

Mc
Graw
Hill
Education

嵌入式系统经典丛书

*Introduction to Embedded Systems,
Second Edition*

嵌入式系统设计与 开发实践 (第2版)

[印] Shibu Kizhakke Vallathai
陶永才 巴阳

著
译

Mc
Graw
Hill
Education

清华大学出版社

嵌入式系统经典丛书

嵌入式系统设计与开发实践

(第2版)

[印] Shibu Kizhakke Vallathai 著

陶永才 巴阳 译

清华大学出版社

北 京

Shibu Kizhakke Vallathai
Introduction to Embedded Systems, Second Edition
EISBN 978-93-392-1968-0
Copyright © 2017, 2009 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。

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：01-2017-3862

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

嵌入式系统设计与开发实践(第2版)/(印)施部·基哈克·维拉哈(Shibu Kizhakke Vallathai)著；陶永才，巴阳译。—北京：清华大学出版社，2017

(嵌入式系统经典丛书)

书名原文：Introduction to Embedded Systems, Second Edition

ISBN 978-7-302-47932-1

I. ①嵌… II. ①施… ②陶… ③巴… III. ①微型计算机—系统设计 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 193569 号

责任编辑：王 军 韩宏志

装帧设计：牛艳敏

责任校对：成凤进

责任印制：宋 林

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 装 者：三河市铭诚印务有限公司

经 销：全国新华书店

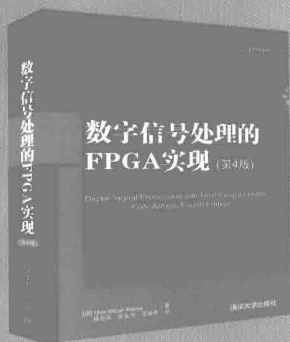
开 本：185mm×260mm 印 张：44.75 字 数：1146 千字

版 次：2017 年 9 月第 1 版 印 次：2017 年 9 月第 1 次印刷

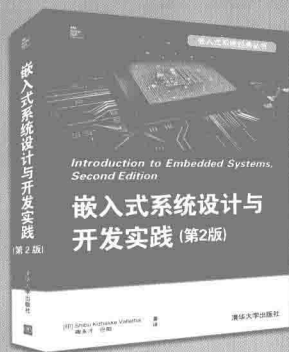
印 数：1~3500

定 价：118.00 元

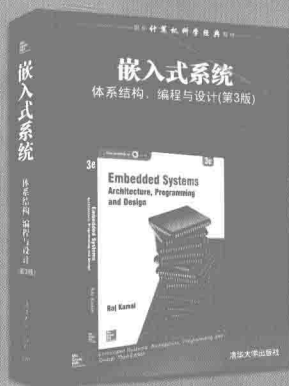
产品编号：074609-01



FPGA正在掀起一场数字信号处理的变革。本书旨在讲解前端数字信号处理算法的高效实现。首先概述了当前的FPGA技术、器件以及用于设计最先进DSP系统的工具。第1章的案例研究是40多个设计示例的基础。随后几章阐述了计算机算法的概念、理论、FIR和IIR滤波器的实现、多抽样率数字信号系统、DFT和FFT算法、未来很可能实现的高级算法以及自适应滤波器等。每一章都包含练习。附录中给出了Verilog源代码和术语。



《嵌入式系统设计与开发实践(第2版)》全面系统地介绍嵌入式硬件和固件的设计、开发、集成技术,并讨论如何高效地管理开发过程。本书编排精当,采用布鲁姆LO(学习目标)分类方法,保证读者通过学习获得预期效果。本书细腻阐明基础乃至高级概念,每章开头列出学习目标,然后穿插大量表格、图和例题来解释相应主题;章末附有课后习题、复习题和实验练习题,以帮助读者巩固所学的知识。本书在上一版的基础上做了全面细致的更新,融入了嵌入式系统设计领域的所有前沿开发技术。



本书特色:

- ◆ 新版用更多篇幅讲述嵌入式系统的设计和开发过程
- ◆ 包含学术界和研究人员感兴趣的新技术领域,如片上系统设计、计算系统的高级体系结构、分布式联网嵌入体系结构和车载技术
- ◆ 透彻阐述嵌入式硬件的体系结构、设计过程、设计方法、接口技术、总线、协议、硬件中断、软件中断、嵌入式软件编程、程序建模、进程间同步和实时操作系统
- ◆ 在示例的引导下全面分析广泛使用的RTOS: μ COS-II、VxWorks、Windows CE、OSEK和实时Linux
- ◆ 包含多个案例研究(巧克力自动售卖机、数码相机、TCP/IP堆栈创建、机器人管弦乐队、自动巡航控制、智能卡、在移动电话中输入SMS),呈现程序建模方法以及系统设计的软件工程实践



本书融入了实时系统、嵌入式系统和软件工程的新概念和新主题,为开发实时嵌入式应用软件描绘了一幅完整的图像。在本书中,你不仅可以全面地理解与微处理器、中断和系统引导过程相关的概念,领略到实时建模和调度的重要性,而且也将学习建模文档、建模分析、设计模式和标准的一致性软件等工程实践。

本书分为四个部分,帮助你学习嵌入式系统的关键概念:第I部分介绍了开发过程,包括微处理器和中断章节——这是软件工程师的基本主题;第II部分专门介绍了实时系统的建模技术;第III部分讨论了软件体系架构的设计;第IV部分检验了软件的实现,并重点关注POSIX兼容的操作系统。

译者序

嵌入式系统是一种以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等要求严格的专用计算机系统，是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。嵌入式系统技术具有非常广阔的应用前景，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网络及电子商务、环境工程与自然、机器人等。

信息时代、数字时代使嵌入式产品获得了巨大的发展契机，为嵌入式市场展现了美好的前景，同时也对嵌入式生产厂商提出了新挑战。而嵌入式系统是一门实践性非常强的学科，只有多动手、多实践、多编程、多调试、多看书、多思考，才能真正掌握嵌入式开发技术。在实践之前，需要对嵌入式系统有一个全面的了解。目前，尽管市面上有关 VxWorks、MicroC/OS、WinCE、Linux、DSP、FPGA、ARM 等的嵌入式技术类书籍层出不穷，但这些书籍往往并未使用通俗易懂的系统化方法向读者普及嵌入式系统基础知识；这些书籍更多是从深奥的专业领域入手，只适用于专业对口的实践工程师。

本书是从国外引进的优秀的“嵌入式系统导论”类书籍，分为两个部分，第 I 部分介绍嵌入式系统的基本概念，包括嵌入式系统简介、典型的嵌入式系统、嵌入式系统的特征与质量属性、嵌入式系统——面向特定应用与特定领域、使用 8 位微控制器 8051 设计嵌入式系统、基于 8051 微控制器的编程，以及软硬件协同设计与程序建模。第 II 部分讨论嵌入式产品的设计与开发，包括嵌入式硬件的设计与开发、嵌入式固件的设计与开发、基于实时操作系统的嵌入式系统设计、基于 VxWorks 与 MicroC/OS-II RTOS 的嵌入式系统设计简介、嵌入式硬件与固件的集成与测试、嵌入式系统开发环境、产品外壳的设计与开发、嵌入式产品开发生命周期，以及嵌入式产业发展趋势。最后的两个附录介绍 PIC、AVR 系列微控制器、ARM 处理器，以及设计案例研究。为便于教学，各章后给出了较多的思考题与习题。

本书在编写过程中，注重内容上的由浅入深、循序渐进，既便于初学者理解掌握，也考虑到知识的完整性、详尽性。本书可作为普通高校电子类、计算机类本科生或研究生嵌入式系统课程的教材，也可作为工程技术人员的参考资料。

在这里要感谢清华大学出版社的编辑们，她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。本书全部章节由陶永才和巴阳翻译，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，在此一并表示感谢。

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。

译者

作者简介

Shibu Kizhakke Vellathai 在嵌入式系统与实时系统领域工作已经 15 年有余，参与过嵌入式产品开发生命周期的各个阶段，具有丰富的工程经验与扎实的知识背景。他在印度 Calicut 大学仪表与控制工程学院学习期间，获得了工学学士学位。随后，他来到 Thiruvananthapuram 市(印度 Kerala 邦首府)，就职于印度政府信息与通信技术产业部下属的电子研究与开发中心(ER & DCI, 是印度最大的电子研发中心)，并在该中心 VLSI(Very Large Scale Integration, 超大规模集成电路)与嵌入式系统小组担任助理研究员。在嵌入式领域，由他指导的重要科研项目包括非接触型智能卡技术以及射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术。在非接触型智能卡和射频识别技术方面，他使用了行业中最常用的 8 位微处理器 8051，并已成功开发出多款产品。

无论是使用 EDA 工具进行嵌入式硬件开发，还是使用汇编语言以及嵌入式 C 语言在各种 IDE 和交叉编译器中进行嵌入式固件开发(基于各种 8 位/16 位/32 位微处理器/微控制器以及片上系统)，Shibu 都已经积累了丰富的专业知识。他还是基于 RTOS(Real Time Operating System, 实时操作系统)嵌入式系统设计方面的专家，精通各种常用的 RTOS(包括 Windows CE、VxWorks、MicroC/OS-II、RTX51)设计。此外，他对各种工业标准协议和总线接口也相当熟悉。目前，Shibu 供职于美国微软公司的设备部，是高级固件工程师。在加入微软之前，他曾供职于 Infosys 技术有限公司(公司首页为 www.infosys.com)Thiruvananthapuram 分部的嵌入式系统与产品工程业务部，担任高级技术架构师。

致 谢

我要借此机会感谢 Mohammed Rijas 先生(Thiruvananthapuram 市 Infosys 技术有限公司移动与嵌入式系统业务部前项目经理, 现任 Arrinad 软件 CEO)和 Shafeer Badharudeen 先生(Thiruvananthapuram 市 Infosys 技术有限公司移动与嵌入式系统业务部前高级项目经理, 现任 Arrinad 软件 CTO), 他们为本书提出了宝贵的意见和建议。感谢我的工作小组和 Infosys 技术有限公司嵌入式系统小组的所有其他成员, 他们推进了本书的撰写。还要感谢 Infosys 技术有限公司移动与嵌入式系统业务部的高级领导组—— Rohit P、Srinivasa Rao M、Tadimeti Srinivasan、Darshan Shankavaram 和 Ramesh Adig——他们不断地鼓励我, 帮助我。非常感谢 R Ravindra Kumar 先生(Thiruvananthapuram 市高级计算研发中心 CDAC 高级主任, CDAC 是 ER & DCI 的前身), 他使我有机会参与 CDAC 硬件设计小组的工作; 感谢 K G Sulochana 夫人(Thiruvananthapuram 市 CDAC 联席主任), 她是我职业生涯的引路人, 使我能够第一次负责嵌入式项目, 并为我在 CDAC 工作期间提供了很大的帮助与支持。我还要感谢 Biju C Oommen 先生(Thiruvananthapuram 市 CDAC 硬件设计小组主任助理), 他给了我极大灵感, 我从他那里学到了嵌入式技术的基本课程。还要感谢 S Krishna Kumar Rao 先生、Sanju Gopal 先生、Deepa R S 女士、Shaji N M 先生和 Suresh R Pillai 先生, 他们为我在 CDAC 期间的研究活动提供了帮助。感谢 Praveen V L 先生, 他为本书的图像设计提供了极大帮助。我还要衷心感谢我所有的朋友以及之前在 Thiruvananthapuram 市 CDAC 硬件设计小组的同事——没有他们的帮助与支持, 本书是不可能完成的。最后感谢好友 Sreeja 博士, 在我努力工作的过程中, 他在精神上给予我很大的支持; 还要感谢我的家庭成员, 他们在我著书期间给予了极大的理解与支持。

特别感谢 S Krishnakumar Rao 先生(Thiruvananthapuram 市 CDAC 硬件设计小组副主任), 他帮助收集了本书有关 VLSI 设计的章节; 感谢 Shammeeerudheen P T 先生, 他帮助收集了本书有关使用 Orcad 布局工具设计 PCB 的章节。

我要特别感谢下列各界人士, 对于与本书相关的产品开发、服务公司、半导体厂商以及产品信息网页, 他们整理并提供了及时的反馈意见。

Angela Williams, Keil 软件公司

Natasha Wan、*Jessen Wehrwein* 和 *Scott Wayne*, AD 公司

Derek Chan, Atmel 亚洲分公司

Moe Rubenzahl, Maxim/Dallas 半导体公司

Mark Aaldering 和 *Theresa Warren*, Xilinx 公司

Anders Edholm, Electrolux 公司

Vijayeta Karol, 印度 Siel 本田汽车有限公司

Mark David, 《电子设计》杂志

Vidur Naik, Adidas 印度分公司

Steven Kamin, Cadence 设计系统

Deepak Pingle 和 *Pralhad Joshi*, Advanced Micronic Devices Limited(AMDL)公司

Regina Kim, WIZnet 公司

Taranbir Singh Kochar, 西门子印度分公司

Crystal Whitcomb, Linksys 公司——Cisco 公司下属的子公司

Kulbhushan Seth, Casio 印度分公司

Jitesh Mathur 和 *Meggy Chan*, Philips 医疗系统

John Symonds, Burn 技术有限公司

Citron Chang, Advantech 器材公司

Michael Barr, Netrino Consultants Networks

Peggy Vezina, GM 传媒

David Mindell, MIT

Frank Miller, Pulsar.gs

Gautam Awasthi, Agilent 印度分公司

还要感谢为本书提出宝贵意见的审阅人员, 他们是:

Jayesh Sharma, Uttar Pradesh 的 Hindustan 技术与管理学院

Meenakshi Kaul, Indore 的 IPS 学院, 计算机与电子系

Mohit Singh, Uttar Pradesh 的 Meerut 工程与技术学院

Kinnar Vaghela, Gujarat Modasa, 管理过程学院

Seema Varshney, Uttar Pradesh 的 Hindustan 技术与管理学院

Prakash Kumar, Uttar Pradesh 的 Jaypee 信息技术学院

Megha Khatri, Gurgaon 的 Ansal 大学

Subrajit Mohapatra, BIT, Mesra, JharkHand

最后感谢 McGraw-Hill 出版社印度分部的出版小组, 具体包括 Vibha Mahajan、Piyush Priyadarshi、Suhaib Ali 和 Kritika Lakhera, 他们在书籍出版管理方面的高效与敬业态度给我留下了深刻印象。

Shibu Kizhakke Vellathai

前言

青年学生与实践工程师普遍存在这样一个误解：嵌入式系统设计就是编写 C 代码。这样的理解是完全错误的，这里必须强调——嵌入式系统设计是指设计嵌入式硬件，并使用 C 语言或其他支持语言设计嵌入式固件，然后对硬件和固件进行系统集成，并对系统功能进行测试。

嵌入式系统设计是电子工程领域中一个非常专业的分支，该分支集合了电子学的技术优势与机械工程的专业设计技术，将前沿科技和高端产品引入多个不同领域，如消费类电子产品、无线电通信、汽车、零售行业以及银行业等。嵌入式系统是计算机硬件与软件的整合体，其中，软件编程用于开发专用的计算机系统，设计执行一项或多项特定功能。

嵌入式产业在全球范围内提供了大量工作机会。嵌入式系统设计是一门艺术，需要有能力的人才迎接其设计挑战，并时刻关注产品设计的时间范围。嵌入式产业当今面临的最大挑战就是该领域缺乏拥有熟练技术的人员。虽然电子与计算机科技工程专业的大多数大学毕业生有天赋也有才能，但他们在嵌入式领域缺少正确的培训，往往对嵌入式系统缺乏必需的理解。此外，缺少合适的学习教材与读物也是造成上述危机的主要原因之一。尽管业界已经出版了许多介绍嵌入式技术的书籍，但这些书籍往往并未使用通俗易懂的系统化方法向读者普及嵌入式系统的基础知识；这些书籍更多是从深奥的专业领域入手，只适用于专业对口的实践工程师。

本书是一本入门书籍，向学生全面介绍了嵌入式系统，并且可以作为实践工程师与项目经理的技术指南，开创了此类书籍的先河。本书可以用作计算机科学与工程、信息技术、电气工程、电子学与通信工程、仪表与控制工程等专业的本科教程，也可以作为计算机科学/信息技术/电子学专业的理学学士/理学硕士/工学硕士、计算机应用硕士以及备考印度计算机等级考试(DOEACC)B 级的学生的重要参考资料。

本书介绍嵌入式系统的基础知识、嵌入式硬件与固件的设计与开发步骤(包括硬件与固件的系统集成)以及嵌入式系统开发生命周期管理知识。第 1 章~第 4 章介绍嵌入式系统的基本知识。第 5 章~第 13 章介绍有关嵌入式硬件与固件设计的进阶知识，对于嵌入式系统的实践工程师来说，这些知识是非常有帮助的。第 15 章说明了嵌入式系统设计的生命周期，该章的内容对实践工程师和项目经理都是有益的。每章开头列出学习目标，然后使用简明的文字说明以及大量的表格、图例、例题解答来阐明相应概念。每章的末尾列出重要知识点，其中包括本章小结、重要术语、课后习题(多项选择题)以及复习题。为了方便学生在实验室也能进行相关的实验，本书还在相关章节提供了实验练习题。本书附录介绍了 PIC 与 AVR 系列微控制器，以及 ARM 处理器，列举了贴近实际的最新嵌入式设计案例，将使你受益匪浅。

本书主要特色如下:

- 给出了学习嵌入式系统的全新方法。本书将嵌入式系统视为一个整体,说明其定义、组成结构、注意事项以及嵌入式系统设计的完整过程与方法。
- 采用面向设计与面向开发的方法,详细说明 Keil Micro Vision(即嵌入式系统/集成开发环境)、ORCAD(PCB 设计软件工具)以及 PCB(Printed Circuit Board, 印刷电路板)制造技术。
- 列举实际应用,比如洗衣机、汽车、步进电机以及其他输入/输出设备接口电路。
- 基于嵌入式 C 语言的编程概念,深入研究基础知识,揭示更高级的概念。
- 全面描述 8051 微控制器架构以及汇编语言编程。
- 详细说明 RTOS 内部机理、多任务、任务管理、任务调度、任务通信与同步。对于各种任务调度策略都列举了大量的相关实例。
- 全面说明 MicroC/OS-II 与 VxWorks 的 RTOS 内核。
- 行文清晰易懂,着重强调实例与图表。
- 对于不是很熟悉嵌入式系统及其应用的实践工程师来说,本书是非常有用的参考书。
- 丰富的教学特色,包括课后习题、实验练习题、例题解答以及复习题。

感兴趣的学生、教师以及专业人员可以进一步访问本书在互联网上的在线学习中心——

<http://www.mhhe.com/shibu/es2e>。该网址提供了与本书相关的有价值的学习资料。

在线学习中心为教师提供了以下资料:

- 各章的 PowerPoint 幻灯片
- 有关嵌入式编程语言 C++/Java 的简要介绍
- 书中给出的学习案例
- 各章的习题参考答案
- 小问题与小测验,包括填空题、判断题和多项选择题(共 25 道题),以及附带答案的编程题(共 5 道题,难度级别较高)
- 与各章内容相关的重要网址及文字材料的链接
- 数字步数计
- Micro/OSIII
- 用 TI MSP430 RISC 微控制器进行设计

在线学习中心为学生提供了以下资料:

- 各章的内容提要
- 有关嵌入式编程语言 C++/Java 的简要介绍
- 书中给出的学习案例
- 本书课后习题与部分复习题的答案,以及各章实验练习题的提示
- 数字步数计
- Micro/OSIII 的其他详细阅读材料
- 用 TI MSP430 RISC 微控制器进行设计
- 小问题与自测题,包括填空题、判断题和多项选择题(共 25 道题),以及附带答案的编程题(共 5 道题,难度级别容易/中等)
- 项目概念清单

- 与各章内容相关的重要网址及文字材料的链接

有兴趣获取这些信息的读者，可填写书末的“麦格劳-希尔教育教师服务表”，与销售代表联系获取。

本书的编写完全基于我在嵌入式硬件与固件设计领域多年工作的知识积累，以及在嵌入式系统生命周期管理方面掌握的专业技术。书中使用了一些摘自互联网的文字描述与图像，作者已经事先与相关作者或网站取得联系，并获得了版权许可。

关于器件的设计参考和数据手册(包括本书相关应用实例引用的参数)，都摘自下面的网址。通过访问这些网址，读者可以获得相关设计文章的更新以及更多信息。此外，读者还可以从这些网站订购一些免费的样例，从而方便自己的设计。

www.intel.com	Intel 公司
www.maxim-ic.com	Maxim/Dallas 半导体公司
www.atmel.com	Atmel 公司
www.analog.com	AD 公司
www.microchip.com	Microchip 技术公司
www.ti.com	TI 公司
www.nxp.com	NXP 半导体公司
www.national.com	National 半导体公司
www.fairchildsemi.com	Fairchild 半导体公司
www.intersil.com	Intersil 公司
www.freescale.com	Freescale 半导体公司
www.xilinx.com	Xilinx 公司(提供可编程器件)
www.orcad.com	Cadence 系统公司(提供 Orcad 工具)
www.keil.com	Keil 公司(提供 Micro Vision 3 IDE)
www.embedded.com	《在线嵌入式》杂志
www.electronicdesign.com	《电子设计》杂志

我非常期待你给本书提出建议，以改进本书，请将建议发送到 info.india@mheduction.com。请在标题行里添加本书的书名和作者。祝你拥有愉快的职业生涯！

本书编排形式

学习目标

每章开头都列出学习目标，读者在掌握了该章内容后，应该能够达到这些学习目标。

学习目标标记

每章的这个内容表示本章要达到哪个特定的学习目标，还帮助学生确定章节对这些目标的重要性。

节和小节

每章都分为节和小节，以便在学习概念的过程中有条理地研究各个主题。

例题解答

例题解答出现在各章节合适的位置，有助于读者理解嵌入式硬件与固件设计的基本原理。

照片

重要概念、设计与架构的照片向读者直观展示了相应的实物。

图示说明

准确有效的图示说明向读者展示了嵌入式系统设计中的概念、设计问题及步骤。

小结与重要术语

每章的最后是带有学习目标的小结，重温该章各主题的要点，重要术语则列出了该章重要的术语说明。

课后习题与复习题

通过以多项选择的方式解答课后习题，读者可以评测自己的学习情况。通过解答复习题，学生可以进一步应用和结合该章的内容。它们加上了该章的学习目标标记。

实验练习题

为指导学生在实验室更好地开展实验，在相关章节的末尾给出了实验练习题。

研究案例

本书末尾给出了4个研究案例，展示了理论概念的应用。

各种微处理器和控制器系列的附录说明

附录简单介绍了PIC系列微控制器、AVR系列微控制器以及ARM处理器。

目 录

第 I 部分 理解嵌入式系统的基本概念

第 1 章 嵌入式系统简介	3
1.1 嵌入式系统的含义	3
1.2 对比嵌入式系统与通用 计算系统	4
1.3 嵌入式系统的发展历程	5
1.4 嵌入式系统的分类	6
1.4.1 基于时代的分类	6
1.4.2 基于复杂度和性能的分类	7
1.5 嵌入式系统的主要应用领域	7
1.6 嵌入式系统的用途	8
1.6.1 数据的采集、存储与显示	8
1.6.2 数据通信	9
1.6.3 数据(信号)处理	10
1.6.4 监测	10
1.6.5 控制	10
1.6.6 专用用户界面	11
1.7 可穿戴设备——嵌入式技术与 生活方式的创新结合	11
1.8 本章小结	12
1.9 重要术语	13
1.10 课后习题	14
1.11 复习题	14
第 2 章 典型的嵌入式系统	15
2.1 嵌入式系统的内核	17
2.1.1 通用处理器与专用处理器	17

2.1.2 专用集成电路	24
2.1.3 可编程逻辑器件	25
2.1.4 商用现货	26
2.2 存储器	27
2.2.1 程序存储器	27
2.2.2 读-写存储器/随机存取 存储器	29
2.2.3 基于接口类型的存储器 分类	31
2.2.4 存储器映射	31
2.2.5 嵌入式系统中的存储器 选型	32
2.3 传感器与激励器	33
2.3.1 传感器	34
2.3.2 激励器	34
2.3.3 I/O 子系统	34
2.4 通信接口	42
2.4.1 板上通信接口	43
2.4.2 外部通信接口	48
2.5 嵌入式固件	56
2.6 系统其他元件	57
2.6.1 复位电路	57
2.6.2 欠压保护电路	58
2.6.3 振荡器	58
2.6.4 实时时钟	59
2.6.5 看门狗定时器	59
2.7 PCB 与无源元件	60
2.8 本章小结	60

2.9	重要术语	62	第5章	使用8位微控制器8051设计	
2.10	课后习题	64		嵌入式系统	87
2.11	复习题	67	5.1	控制器选型时需要考虑的	
2.12	实验练习题	68		因素	88
第3章	嵌入式系统的特征与质量		5.1.1	功能集合	88
	属性	69	5.1.2	运行速度	88
3.1	嵌入式系统的特征	69	5.1.3	代码存储空间	88
3.1.1	面向特定应用和特定领域	69	5.1.4	数据存储空间	88
3.1.2	反馈与实时性	70	5.1.5	开发环境支持	88
3.1.3	能在恶劣环境中工作	70	5.1.6	可用性	89
3.1.4	分布式	70	5.1.7	功耗	89
3.1.5	尺寸小、重量轻	71	5.1.8	成本	89
3.1.6	低功耗、节能	71	5.2	选用8051微控制器的原因	89
3.2	嵌入式系统的质量属性	71	5.3	基于8051的设计	89
3.2.1	工作模式下的质量属性	71	5.3.1	8051的基本架构	89
3.2.2	非工作模式下的质量属性	73	5.3.2	存储器结构	90
3.3	本章小结	75	5.3.3	寄存器	96
3.4	重要术语	76	5.3.4	振荡器	98
3.5	课后习题	76	5.3.5	端口	99
3.6	复习题	78	5.3.6	中断	114
第4章	嵌入式系统——面向特定应用与		5.3.7	8051中断系统	115
	特定领域	79	5.3.8	定时器	125
4.1	洗衣机——面向特定应用的嵌		5.3.9	串口	132
	入式系统	79	5.3.10	复位电路	143
4.2	汽车——面向特定领域的嵌入式		5.3.11	省电节能模式	144
	系统	81	5.4	8052微控制器	148
4.2.1	汽车嵌入式系统工作的内部		5.5	8051/52的衍生产品	148
	情况	81	5.5.1	Atmel公司的	
4.2.2	汽车通信总线	82		AT89C51RD2/ED2	149
4.2.3	汽车嵌入式市场上的主流		5.5.2	Maxim公司的	
	厂商	83		DS80C320/DS80C323	149
4.3	本章小结	85	5.6	本章小结	149
4.4	重要术语	85	5.7	重要术语	151
4.5	课后习题	86	5.8	课后习题	151
4.6	复习题	86	5.9	复习题	155
			5.10	实验练习题	157

第 6 章 基于 8051 微控制器的编程 … 159

- 6.1 8051 支持的各种寻址模式 …… 160
 - 6.1.1 直接寻址 …… 160
 - 6.1.2 间接寻址 …… 160
 - 6.1.3 寄存器寻址 …… 161
 - 6.1.4 立即寻址 …… 162
 - 6.1.5 索引寻址 …… 162
- 6.2 8051 指令集 …… 166
 - 6.2.1 数据传输指令 …… 166
 - 6.2.2 算术运算指令 …… 171
 - 6.2.3 逻辑指令 …… 178
 - 6.2.4 布尔运算指令 …… 183
 - 6.2.5 程序控制转移指令 …… 185
- 6.3 本章小结 …… 187
- 6.4 重要术语 …… 188
- 6.5 课后习题 …… 189
- 6.6 复习题 …… 195
- 6.7 实验练习题 …… 196

第 7 章 软硬件协同设计与程序

建模 …… 197

- 7.1 软硬件协同设计的基本概念 …… 198
- 7.2 嵌入式设计的计算模型 …… 199
 - 7.2.1 数据流程图模型 …… 200
 - 7.2.2 控制数据流程图 …… 200
 - 7.2.3 状态机模型 …… 201
 - 7.2.4 顺序程序模型 …… 204
 - 7.2.5 并发处理模型/通信处理模型 …… 206
 - 7.2.6 面向对象模型 …… 207
- 7.3 统一建模语言简介 …… 208
 - 7.3.1 UML 构建块 …… 208
 - 7.3.2 UML 工具 …… 212
- 7.4 软硬件权衡 …… 212
- 7.5 本章小结 …… 213
- 7.6 重要术语 …… 214
- 7.7 课后习题 …… 215
- 7.8 复习题 …… 216
- 7.9 实验练习题 …… 217

第 II 部分 嵌入式产品的设计与开发

第 8 章 嵌入式硬件设计与开发 …… 223

- 8.1 模拟电子元件 …… 224
- 8.2 数字电子元件 …… 225
 - 8.2.1 集电极开路与三态输出 …… 225
 - 8.2.2 逻辑门 …… 226
 - 8.2.3 缓冲器 …… 227
 - 8.2.4 锁存器 …… 227
 - 8.2.5 译码器 …… 228
 - 8.2.6 编码器 …… 228
 - 8.2.7 多路复用器 …… 229
 - 8.2.8 多路输出选择器 …… 230
 - 8.2.9 组合电路 …… 230
 - 8.2.10 时序电路 …… 232
- 8.3 VLSI 与集成电路设计 …… 236
- 8.4 电子设计自动化工具 …… 241
- 8.5 OrCAD EDA 工具的用法 …… 242
- 8.6 使用 OrCAD 的 Capture CIS 工具实现电路图设计 …… 242
 - 8.6.1 电路图绘制窗口 …… 245
 - 8.6.2 电路图绘图工具 …… 245
 - 8.6.3 电路图绘制明细 …… 249
 - 8.6.4 创建元件编号 …… 251
 - 8.6.5 设计规则检查 …… 252
 - 8.6.6 创建材料清单 …… 253
 - 8.6.7 创建网表 …… 254
- 8.7 PCB 布局布线设计 …… 257
 - 8.7.1 布局布线构建块 …… 257
 - 8.7.2 使用 OrCAD 布局布线工具完成布局布线设计 …… 262
 - 8.7.3 PCB 布局布线准则 …… 277
- 8.8 印刷电路板制造 …… 278
 - 8.8.1 各种类型的 PCB …… 278
 - 8.8.2 PCB 制造方法 …… 279
 - 8.8.3 PCB 设计完成后, 电路板外形及其调试测试 …… 280
- 8.9 本章小结 …… 283
- 8.10 重要术语 …… 284

8.11	课后习题	285	10.6	结合使用线程、进程与调度	410
8.12	复习题	288	10.7	任务通信	414
8.13	实验练习题	289	10.7.1	存储器共享	415
第9章	嵌入式固件设计与开发	293	10.7.2	消息传递	421
9.1	嵌入式固件设计方法	294	10.7.3	远程过程调用与套接字	426
9.1.1	基于超循环的方法	294	10.8	任务同步	430
9.1.2	基于嵌入式操作系统的方法	296	10.8.1	任务通信/同步问题	430
9.2	嵌入式固件开发语言	296	10.8.2	任务同步技术	442
9.2.1	基于汇编语言的开发	296	10.9	设备驱动程序	460
9.2.2	基于高级语言的开发	303	10.10	选择 RTOS 的方法	462
9.2.3	汇编语言与高级语言混合编程	305	10.10.1	功能性需求	462
9.3	嵌入式 C 编程	308	10.10.2	非功能性需求	463
9.3.1	对比 C 语言与嵌入式 C 语言	308	10.11	本章小结	464
9.3.2	对比编译器与交叉编译器	308	10.12	重要术语	466
9.3.3	在嵌入式 C 编程中使用 C 语言	309	10.13	课后习题	468
9.4	本章小结	358	10.14	复习题	479
9.5	重要术语	359	10.15	实验练习题	483
9.6	课后习题	360	第11章	基于 VxWorks 与 MicroC/OS-II RTOS 的嵌入式系统设计简介	485
9.7	复习题	365	11.1	VxWorks	486
9.8	实验练习题	367	11.1.1	任务创建与管理	486
第10章	基于实时操作系统的嵌入式系统设计	369	11.1.2	任务调度	489
10.1	操作系统基础知识	370	11.1.3	内核服务	489
10.2	操作系统分类	374	11.1.4	任务间通信	490
10.2.1	通用操作系统	374	11.1.5	任务同步与互斥	494
10.2.2	实时操作系统	374	11.1.6	中断处理	497
10.3	任务、进程与线程	379	11.1.7	监控任务执行的看门狗	499
10.3.1	进程	379	11.1.8	定时与定时基准	500
10.3.2	线程	381	11.1.9	VxWorks 开发环境	500
10.4	多处理与多任务	390	11.2	MicroC/OS-II	500
10.5	任务调度	391	11.2.1	任务创建与管理	500
10.5.1	非抢占式调度	393	11.2.2	内核函数与初始化	506
10.5.2	抢占式调度	401	11.2.3	任务调度	507
			11.2.4	任务间通信	509
			11.2.5	互斥与任务同步	514
			11.2.6	定时与定时基准	524
			11.2.7	存储器管理	525