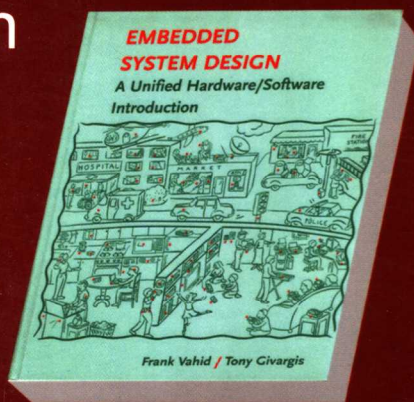


嵌入式系统译丛

[美] Frank Vahid Tony Givargis 著
骆 丽 译

嵌入式系统设计

Embedded System Design
A Unified Hardware/Software
Introduction



北京航空航天大学出版社

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

内 容 简 介

本书介绍嵌入式系统应用设计技术,不仅介绍嵌入式系统技术的基本理论和技术概念,而且突破了以往微机原理或单片机原理等技术书籍的体系,将嵌入式系统硬件和操作系统作为统一的技术平台来介绍,完全符合嵌入式技术的基本特点。另外,还提供并分析了多个应用实例,使得本书不仅具有较高的学术参考价值,还具有重要的技术参考价值。

本书是美国加州大学 Riverside 分校“嵌入式系统入门”课程的教材,先修课程是“逻辑设计”。因此,本书可作为大多数电子和计算机工程/科学本科生、研究生嵌入式系统课程的教材,也可以作为本科生高年级设计课程以及从事嵌入式系统开发的一般工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计 / (美)瓦伊德(Vahid, F.), (美)吉瓦尔吉斯(Givargis, T.)著;骆丽译. — 北京:北京航空航天大学出版社, 2004. 9
书名原文: Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction
ISBN 7-81077-463-8

I. 嵌… II. ①瓦…②吉…③骆… III. ①微型计算机—系统设计 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 084947 号

本书英文版原名: Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction

Copyright © 2002 by John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc.

No part of this production may be reproduced in any form without the written permission of

John Wiley & Sons, Inc.

本书中文简体字版由美国 John Wiley & Sons, Inc. 出版社授权北京航空航天大学出版社独家出版发行。版权所有。

北京市版权局著作权登记号: 图字: 01-2003-8414

嵌入式系统设计 Embedded System Design A Unified Hardware/Software Introduction [美] Frank Vahid Tony Givargis 著

骆 丽 译
责任编辑 王慕冰

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话: (010)82317024 传真: (010)82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail: bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×960 1/16 印张: 20.25 字数: 454 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷 印数: 5 000 册

ISBN 7-81077-463-8 定价: 32.00 元

献 词

*To my world: Amy, Eric, Kelsi and Maya, and to the memory of
our sixth member, Vahid Aminian. —Frank Vahid*

To my family: Neli, Fredrick, Odet, and Edwin. —Tony Givargis

嵌入式计算系统设计的现代方法

如今,嵌入式系统无处不在,如家庭、办公室、汽车、工厂、医院、飞机以及消费电子产品等。巨大的需求数量以及新的复杂性呼唤全新的设计方法,新设计方法的重点在于高级设计工具以及软硬件的取舍,而不在于低级的汇编语言程序设计和逻辑设计。

传统上,软件设计和硬件设计是截然不同的两个领域,而本书以一种统一的新方法介绍这两个领域,包括其发展趋势及所面临的挑战,介绍了专用处理器(硬件)和通用处理器(软件)的设计及使用,描述了存储器和总线,用数码相机实例说明了软硬件的选择方法,并讨论了高级计算模型、控制系统、芯片技术以及现代设计工具。

无论读者是学生还是专业人员,这本新书可以使读者了解如何用一种全新的方法来看待嵌入式系统,如何建立包含软硬件的现代嵌入式系统。

“如今,再也不能把软件和硬件分别看待了。从设计要求到产品技术规范、生产的整个设计流程的各层次都存在软硬件的混合使用。《嵌入式系统设计》一书是一本优秀的教科书,它提供了软硬件概念及设计技术的统一方法,是软件工程、计算机组成或系统设计等后续课程所必需的内容。”

——Dan Gajski, 加州大学 Irvine 分校嵌入式计算机系统中心主任

译者序

嵌入式系统不仅是一种新的计算机系统应用技术,更是现代电子系统的核心技术之一。由于嵌入式系统具有功能强大、开发方便的优点,目前已经成为电子信息产品的基本技术。作为嵌入式系统的技术书籍,本书提供了最基本的嵌入式系统技术概念和应用设计方法。

随着嵌入式计算系统的广泛普及,嵌入式系统的复杂度也在迅速增长。复杂度的增加需要具有能跨越传统硬件和软件设计界限的新型设计者,这是嵌入式系统技术与传统单片机和微处理器系统技术的重要区别。

与传统的或人们已经习惯的单片机或微处理器应用系统设计技术不同,嵌入式系统应用设计技术具有如下几方面的特点:

- 嵌入式是微处理器、单片机和 DSP 处理器的应用技术,包含硬件系统和操作系统两大部分。因此,嵌入式系统具有系统级应用开发技术的基本特征。而以往的微处理器、单片机和 DSP 处理器应用设计,则属于器件或芯片级应用开发技术。
- 硬件系统的功能和技术复杂程度由所使用的 CPU 器件来决定。嵌入式系统硬件与应用领域和应用目标直接相关,只要能满足应用系统的需要,任何含有 CPU 的系统都可以作为嵌入式技术中的硬件系统。
- 以操作系统和硬件系统提供的接口作为应用系统设计的基础,其开发技术与 PC 机的应用开发颇为相似。在嵌入式系



统应用开发中,设计者不必了解很多底层知识和技术,只需要在操作系统之上完成应用系统设计即可。

- 并不是所有的嵌入式系统都具有相应的硬件和软件复杂性。只要是以 CPU 为核心的应用硬件系统,并附有相应的操作系统和应用开发平台,则无论使用什么样的处理器,嵌入式系统都必须提供相应的操作系统,以供应用开发。

由于嵌入式应用技术与微处理器、单片机和 DSP 处理器的应用技术有较大的差别,本书原作者在调查了现有相关课程和教材的适用性之后,提出了“硬件和软件统一”的教学观点。这种“硬件和软件统一”的教学观点突破了以往的微机原理或单片机原理等技术课程的教学体系,把嵌入式系统硬件和操作系统作为统一的技术平台来介绍,完全符合嵌入式技术的基本特点。用原作者的话说,就是“本书没有将软件和硬件看作两个不同的领域,而是视为两个实现选项,随设计需要来选择,如成本、性能、功率、体积和灵活性等。”译者认为,这种新的教学观点可以作为一种重要的借鉴,引入我国的嵌入式技术的教学中;“硬件和软件统一”的观点不仅是教学的概念,也是嵌入式系统的基本特征,以及学习嵌入式系统和应用技术的重要方法。

本书的作者是国际嵌入式技术领域中公认为的专家,不仅具有渊博的理论知识,更具有相当深厚的技术功底。作者在书中不仅提供了基本的理论和技术概念,还提供并分析了多个应用实例,这就使得本书不仅具有较高的学术参考价值,还具有重要的技术参考价值。

本书前言以及第 1~9 章由骆丽翻译,第 10、11 章及附录由张岳强翻译。张梅、李维敏、刘元盛、李晓光、李兵、张姝、罗俊、贾庭兰、杨玲参与了其中部分章节的翻译工作,魏晓燕、卢萧静、何国才、赵俊良、李鹏、张荣君等完成了本书的录入工作,全书由李哲英教授主审。在此,对这些老师和同学为本书所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。

译者 骆 丽

2004 年 8 月于北京交通大学

前言

目 的

近年来,随着嵌入式计算系统的广泛普及,嵌入式系统的复杂度也迅速增长。复杂度的增加需要具有能跨越传统硬件和软件设计界限的新型设计者。在调查了现有相关课程和教材的适用性之后,作者感觉到需要新课程以及相应的教材,以便从硬件和软件统一的观点来介绍嵌入式计算系统设计。本书没有将软件和硬件看作两个不同的领域,而是视为两个实现选项,随设计需要来选择,如成本、性能、功率、体积和灵活性等。

软硬件协同设计主要有三个趋势。第一,集成电路(IC, Integrated Circuit)容量已经增长到可以让软处理器和定制硬处理器共存于单个芯片。第二,高质量的编译器和程序大小使得在嵌入式系统设计中可以广泛使用与处理器无关的 C、C++、Java 编译器以及集成设计环境(IDE, Integrated Design Enviroment),这就大大减轻了对使用内部微处理器和汇编语言编程的重视,而这恰好是现有嵌入式系统设计课程和教材主要介绍的内容。第三,综合技术已经发展到在数字硬件设计中普遍使用综合工具。综合工具对硬件设计的贡献就像编译工具对软件设计的贡献一样:允许设计者用高级编程语言描述功能,然后自动产生有效的定制硬件处理器实现。第一个趋势使得过去软件和硬件设计的分离不再现实。幸运的是,第二和第三个趋势使得软硬件协同设计成为可能,将嵌入式系统设计问题变成了选择编程(软件)、设计(硬件)和集成的问题。

覆盖范围

本书前 4 章主要以统一观点介绍软件和硬件,重点是处理器能实现的计算。处理器有多种类型,包括通用处理器(软件)、定制单用途处理器(硬件)、标准单用途处理器(外部



设备)等等。这些处理器的成本、功率、性能、设计时间、灵活性等均不同,但其功能基本相同。第1章简要介绍嵌入式系统及其所面临的设计问题。第2章介绍单用途处理器,重点在可综合的 Top-Down 数字设计技术,可以选择其他有关数字设计的书籍。第3章介绍通用处理器及其用法,对大多数读者而言,这一章主要是复习,然后展示如何用第2章的技术来设计一个通用处理器。第4章介绍几个在嵌入式系统中常用的标准单用途处理器(外部设备)。第5章和第6章分别介绍存储器和接口的概念,这是建立基本嵌入式系统所需的基础知识。第7章给出一个数码相机的实例,说明用硬件、软件和外部设备来实现现在功率、性能和体积上的不同。这7章是本书的核心。

本书没有详细介绍微处理器内部以及汇编语言编程,而是介绍有关嵌入式系统的内容。第8章介绍高层次状态机计算模型,该模型常用于描述复杂嵌入式系统的行为。同时还介绍了并发进程模型以及实时系统。第9章介绍控制系统基础,使学生了解控制系统的基本原理。第10章介绍各种常用的 IC 技术,设计者在系统实现时可从中选择。最后,第11章着重介绍建立嵌入式系统的各种设计技术,包括软硬件协同设计讨论、综合介绍(行为级到电路级)以及基于 IP(Intellectual Property)设计的主要发展趋势。

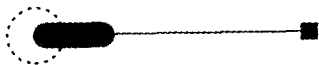
如何使用本书

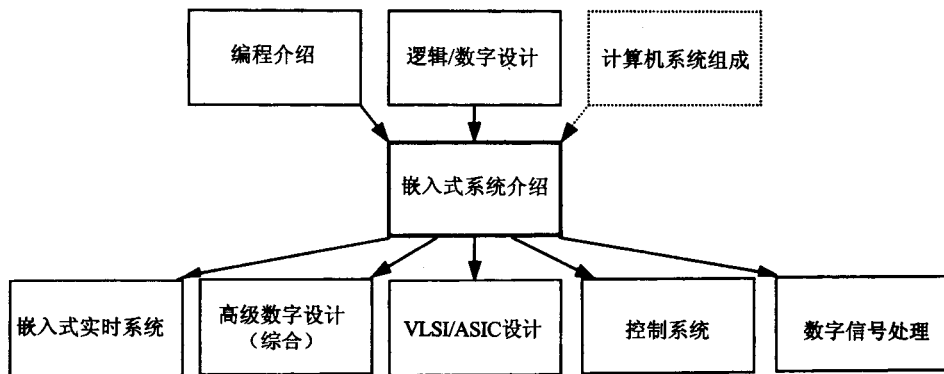
本书是加州大学 Riverside 两个学季课程“嵌入式系统入门”的教材,先修课程是“逻辑设计”。“嵌入式系统入门”是计算机科学、计算机工程以及电子工程大学二年级学生所学课程。本课程在系列课程中的位置靠前表明了这样一种观点,即早用软硬件统一观点对学生学习后续专业课程大有好处。本课程在大学课程中的位置如前言图所示,第一季的课程覆盖第1~7章,第二季的课程是“嵌入式系统”,覆盖第8~12章,补充实时系统部分。如果是一学期的课程,可以覆盖第1~7章以及教师另选的2章或3章。

可以预料,在大多数电子和计算机工程/科学的课程中,本书可以作为现有基于微机的系统设计或微机接口课程中处理器部分的教材,作为其实验内容,将汇编层次编程变为使用更现代的工具以及集成微处理器和定制硬件(如 FPGA)。在其他课程中,有必要开设嵌入式系统的新课程。据调查,很多大学正引入这类课程,常把数字设计的第二部分课程换为嵌入式系统课程。本书还可以作为高年级设计课程的资料(这类课程不止一本书)。本书也可以用于研究生的嵌入式系统课程。

实验室

使用本书的课程最好有相应的实验室,理想的实验计划应包括基于嵌入微处理器或微控制器平台的软件开发以及基于 FPGA 平台的硬件开发(或在仿真环境下的开发)。





前言图 嵌入式系统设计在课程中的位置,较早地建立了软硬件统一的概念

本书作者在写作时特别留意不与任何特定微处理器相关。其中一个原因是嵌入式系统工具和产品升级很快,实验环境的改变不要引起教材的改变。第二个原因是因为嵌入式系统领域发展很快,要保证本书是一本基于原理的书。但是,需要实践的课程还需要特定处理器的手册作为本书的补充,这种手册成本较低或免费,也可以使用当今广泛使用的特定处理器教材(扩展数据手册)作为本书的补充。

同时,本书也与特定的硬件描述语言、综合工具、仿真器或 FPGA 无关。可以使用描述特定硬件环境的资料作为补充教材,这些资料也是低成本或免费的。

在加州大学 Riverside 中,所有实验都是基于 8051 微处理器和 Xilinx FPGA 的。使用 Keil C 作为 8051 微处理器的编译器,Xilinx 公司的 Foundation Express 作为 Xilinx FPGA 的综合软件,并且使用 Xess 公司的开发板,该开发板包含 8051 和 FPGA。另外,还使用 Philips 公司的 8051 仿真器和单个 8051 芯片。

在本书的 Web 页上还提供了有关实验和安排的其他信息。因此,本书与特定微处理器无关的特点既可以使教师选择任何实验环境,同时在开发相应实验时又为教师提供了联机帮助。

其他材料

本书相关 Web 页是 <http://www.cs.ucr.edu/esd>。该 Web 页包含补充材料以及各章的链接,还包含 Microsoft PowerPoint 格式的演讲幻灯片。由于本书本身都是 Microsoft Word 格式的,PowerPoint 幻灯片中的图是 PowerPoint 图形(不是导入的图片),所以教师可以根据需要修改。

另外,本书的 Web 页还包括与本书相应的扩展实验,大约有 30 多个实验练习,包括



详细的描述、电路图以及全部或部分答案。这些练习按章组织,从简到繁,循序渐进。例如,第2章的练习从一个简单的闪灯开始,以碳酸水机控制器和计算器结束。附录A给出了本书Web的新信息。

感谢

感谢在本书编写过程中给予帮助的人们,Notre Dame的Sharon Hu、UC Irvine的Nikil Dutt、UC Davis和Synplicity公司的Smita Bakshi提供了评审意见,Sharon Hu、Denmark技术大学的Jan Madsen和UC Riverside的Enoch Hwang在其嵌入式系统课程中最早使用本书的草稿。Susan Cotterell对本书提供了很大的帮助,包括多个实例、相应的实验材料以及Web站点建立。Jason Villarreal和Kris Miller每次都参与校对,UC Riverside的Jay Farrell编写了本书控制系统的章节。Karen Schechter将本书的设计理念转换为三维的场景。Philips、Xilinx公司分别捐赠了8051和FPGA设备。另外,本书还得到了国家自然科学基金CAREER的支持。感谢Wiley公司的Caroline Sieg负责本书的印制,Madelyn Lesure负责本书的封面设计。最后,深深地感谢Wiley公司的Bill Zobrist在编写初期对本书的信心、安排本书的评审以及负责本书印制过程中的所有工作。

关于作者

Frank Vahid是UC Riverside计算机科学系的副教授,受聘于1994年,他也是UC Irvine嵌入式计算系统中心的成员。在Urbana/Champaign的Illinois大学获得计算机工程专业学士学位,在UC Irvine获得计算机科学硕士及博士学位,在那里他得到半导体研究公司研究生奖学金。他还是惠普公司的一名工程师和很多公司的顾问,包括NEC和Motorola公司。他是研究生教材*Specification and Design of Embedded Systems* (Prentice-Hall, 1994)的著作者之一,是系统综合国际会议和软硬件协同设计国际会议的程序委员会主席和常务主席。自1988年以来,他一直活跃在嵌入式系统设计领域,共发表了50多篇论文,多次获得最佳论文奖,包括2000年IEEE Transaction on VLSI的最佳论文奖。其研究兴趣主要在嵌入式系统结构、低功耗设计以及SoC设计方法。

Tony Givargis是UC Irvine信息与计算机科学系的副教授以及嵌入式计算系统中心的成员。在UC Riverside获得计算机科学学士及博士学位,在那里他得到计算机科学系的最佳论文奖以及UC Riverside工程大学的优秀学生奖,得到GAANN奖学金、MICRO奖学金以及设计自动化会议奖学金。他是多家公司的顾问,开发了多个嵌入式系统,从灌溉管理系统到GPS自导航自动汽车。在嵌入式系统领域公开发表论文20多篇。其研究兴趣包括嵌入式和实时系统设计、低功耗设计以及处理器/SoC结构。

目 录

第1章 绪 论

1.1 嵌入式系统综述	1
1.2 设计上的挑战——设计指标的最佳化	4
1.2.1 常用设计指标	4
1.2.2 上市时间	5
1.2.3 NRE 与单位成本	6
1.2.4 性 能	7
1.3 处理器技术	8
1.3.1 通用处理器——软件	9
1.3.2 单用途处理器——硬件	9
1.3.3 专用处理器	10
1.4 IC 技术	11
1.4.1 全定制/VLSI	12
1.4.2 半定制 ASIC(逻辑门阵列和标准单元)	12
1.4.3 PLD	13
1.4.4 发展趋势	13
1.5 设计技术	14
1.5.1 编译/综合	15
1.5.2 库/IP	16
1.5.3 测试/验证	16
1.5.4 其他提高效率的方法	17



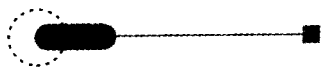
1.5.5 发展趋势	17
1.6 设计方法的取舍	18
1.7 小结与本书概要	22
1.8 参考文献	22
1.9 习 题	23

第2章 定制单用途处理器——硬件

2.1 引 言	25
2.2 组合逻辑	26
2.2.1 晶体管与逻辑门	26
2.2.2 基本组合逻辑设计	27
2.2.3 RTL 组合元件	28
2.3 时序逻辑	30
2.3.1 触发器	30
2.3.2 RTL 时序元件	31
2.3.3 时序逻辑设计	32
2.4 定制单用途处理器的设计	34
2.5 RTL 定制单用途处理器设计	39
2.6 定制单用途处理器的最佳化	42
2.6.1 原始程序的最佳化	42
2.6.2 FSM 的最佳化	43
2.6.3 数据路径的最佳化	45
2.6.4 FSM 的最佳化	45
2.7 小 结	46
2.8 参考文献	46
2.9 习 题	46

第3章 通用处理器——软件

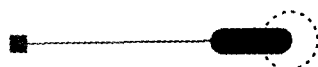
3.1 引 言	49
3.2 基本结构	50
3.2.1 数据路径	50
3.2.2 控制单元	51
3.2.3 存储器	52
3.3 运 算	53



3.3.1 指令执行.....	53
3.3.2 流水线技术.....	53
3.3.3 超标量和超长指令字结构.....	54
3.4 程序员的观点.....	55
3.4.1 指令集.....	55
3.4.2 程序和数据存储器空间.....	58
3.4.3 寄存器.....	58
3.4.4 输入/输出	58
3.4.5 中 断.....	59
3.4.6 实例:设备驱动程序的汇编语言编程	59
3.4.7 操作系统.....	61
3.5 开发环境.....	62
3.5.1 设计流程和工具.....	62
3.5.2 实例:一个简单处理器的指令集仿真程序	64
3.5.3 测试和调试.....	64
3.6 专用指令集处理器.....	66
3.6.1 单片机.....	67
3.6.2 数字信号处理器.....	67
3.6.3 较不通用的 ASIP 环境	68
3.7 微处理器的选择.....	68
3.8 通用处理器设计.....	69
3.9 小 结.....	72
3.10 参考文献	73
3.11 习 题	73

第4章 标准单用途处理器——外部设备

4.1 引 言.....	74
4.2 定时器、计数器与看门狗定时器	75
4.2.1 定时器和计数器.....	75
4.2.2 实例:反应定时器	77
4.2.3 看门狗定时器.....	78
4.2.4 实例:利用看门狗定时器实现自动提款机的计时超时功能	79
4.3 UART	80
4.4 脉宽调制器.....	82

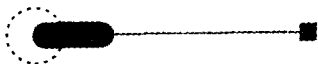




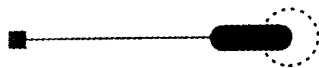
4.4.1 概 述	82
4.4.2 实例：利用 PWM 控制直流电机	84
4.5 LCD 控制器	85
4.5.1 概 述	85
4.5.2 实例：LCD 初始化	86
4.6 键盘控制器	87
4.7 步进电机控制器	88
4.7.1 概 述	88
4.7.2 实例：步进电机驱动器的使用	89
4.7.3 实例：直接控制步进电机	90
4.8 模数转换器	91
4.9 实时时钟	95
4.10 小 结	95
4.11 参考文献	95
4.12 习 题	96

第 5 章 存储器

5.1 引 言	98
5.2 存储器写入能力和存储的永久性	99
5.2.1 写入能力	99
5.2.2 存储的永久性	100
5.2.3 选 择	100
5.3 常见存储器类型	101
5.3.1 只读存储器简介	101
5.3.2 掩膜编程程序 ROM	103
5.3.3 OPT ROM——一次可编程 ROM	103
5.3.4 EPROM——可擦除的可编程 ROM	104
5.3.5 EEPROM——电擦除的可编程 ROM	104
5.3.6 快闪存储器	106
5.3.7 随机存取存储器简介	106
5.3.8 SRAM——静态 RAM	108
5.3.9 DRAM——动态 RAM	108
5.3.10 PSRAM——准静态 RAM	108
5.3.11 NVRAM——非易失性 RAM	109



5.3.12 实例: HM6264 和 27C256 RAM/ROM 器件	109
5.3.13 实例: TC55V2325FF-100 存储器件	109
5.4 存储器的组合	111
5.5 存储器分级和高速缓冲存储器	113
5.5.1 高速缓冲存储器映射技术	114
5.5.2 高速缓冲存储器置换策略	116
5.5.3 高速缓冲存储器写入技术	117
5.5.4 高速缓冲存储器对系统性能的影响	117
5.6 高级 RAM	119
5.6.1 基本 DRAM	119
5.6.2 快速页模式 DRAM(FPM DRAM)	120
5.6.3 扩展数据输出 DRAM(EDO DRAM)	120
5.6.4 同步(S)和增强型同步(ES)DRAM	121
5.6.5 Rambus DRAM(RDRAM)	122
5.6.6 DRAM 集成问题	122
5.6.7 存储器管理单元(MMU)	122
5.7 小 结	123
5.8 参考文献	123
5.9 习 题	123
 第 6 章 接 口	
6.1 引 言	125
6.2 通信基础	126
6.2.1 基本术语	126
6.2.2 基本协议概念	128
6.2.3 实例: ISA 总线协议——存储器存取	131
6.3 微处理器接口: I/O 寻址	132
6.3.1 基于端口的 I/O 和基于总线的 I/O	132
6.3.2 存储器映射 I/O 和标准 I/O	133
6.3.3 实例: ISA 总线协议——标准 I/O	134
6.3.4 实例: 一个基本的存储器协议	135
6.3.5 实例: 复杂的存储器协议	136
6.4 微处理器接口技术: 中断	136
6.5 微处理器接口技术: 直接存储器存取(DMA)	141

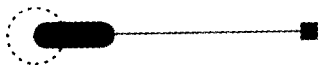




6.6 仲裁	146
6.6.1 优先权仲裁器	147
6.6.2 菊花链仲裁	148
6.6.3 面向网络的仲裁方法	149
6.6.4 实例：使用中断表的向量中断	150
6.7 多级总线结构	152
6.8 高级通信原理	153
6.8.1 并行通信	153
6.8.2 串行通信	154
6.8.3 无线通信	154
6.8.4 分层	155
6.8.5 检错和纠错	155
6.9 串行协议	156
6.9.1 I ² C	156
6.9.2 CAN	158
6.9.3 Firewire	159
6.9.4 USB	159
6.10 并行协议	160
6.10.1 PCI 总线	160
6.10.2 ARM 总线	160
6.11 无线协议	160
6.11.1 IrDA	161
6.11.2 蓝牙	161
6.11.3 IEEE 802.11	161
6.12 小结	162
6.13 参考文献	163
6.14 习题	163

第7章 数码相机实例

7.1 引言	165
7.2 简单数码相机的简介	165
7.2.1 用户的观点	166
7.2.2 设计者的观点	166
7.3 需求规范	171



7.3.1 非功能要求	172
7.3.2 非正式的功能规范	172
7.3.3 精确的功能规范	173
7.4 设计	180
7.4.1 实现一：只使用控制器	180
7.4.2 实现二：单片机和 CCDPP	180
7.4.3 实现三：单片机和 CCDPP/定点 DCT	185
7.4.4 实现四：单片机和 CCDPP/DCT	188
7.5 小结	189
7.6 参考文献	190
7.7 习题	190

第 8 章 状态机与并发进程模型

8.1 引言	191
8.2 模型与语言、文字与图形	192
8.2.1 模型与语言	193
8.2.2 文字语言与图形语言	193
8.3 一个简单的实例	194
8.4 一个基本的状态模型：有限状态机	195
8.5 具有数据路径的有限状态机模型：FSMD	196
8.6 状态机的使用	197
8.6.1 将系统描述为状态机	197
8.6.2 状态机与时序程序模型的比较	198
8.6.3 用时序程序语言表达状态机	198
8.7 HCFSM 和状态图表语言	200
8.8 程序状态机模型(PSM)	203
8.9 适当模型和语言的角色	205
8.10 并发进程模型	206
8.11 并发进程	208
8.11.1 进程的创建和终止	209
8.11.2 进程的暂停和恢复	210
8.11.3 进程的连接	210
8.12 进程通信	210
8.12.1 共享存储器	210