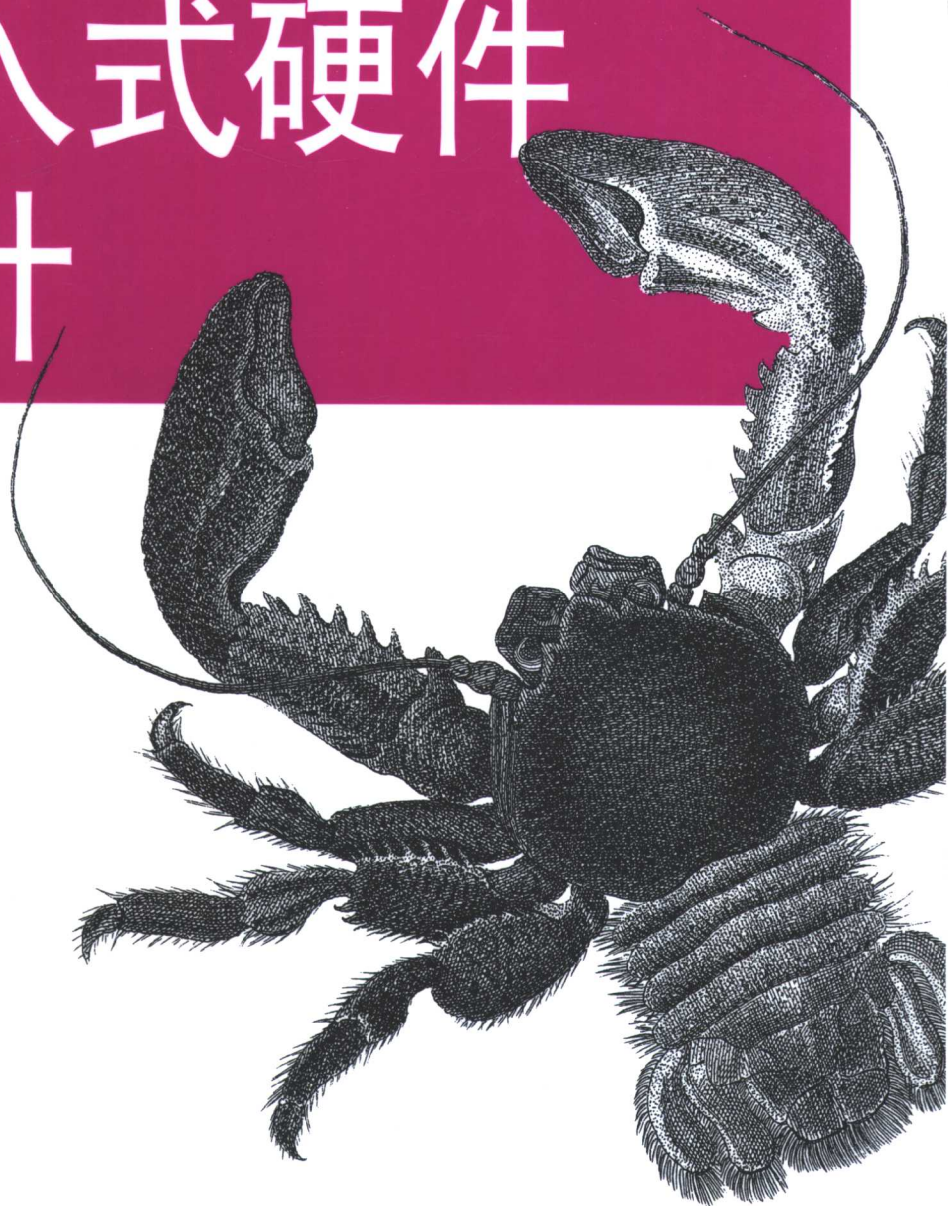


Designing Embedded Hardware

嵌入式硬件 设计



O'REILLY®
中国电力出版社

John Catsoulis 著
徐君明 许铁军 黄年松 等译

嵌入式硬件设计

John Catsoulis 著

徐君明 许铁军 黄年松 等译

O'REILLY®

Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Paris • Sebastopol • Taipei • Tokyo

O'Reilly Media, Inc. 授权中国电力出版社出版

中国电力出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式硬件设计 / (美) 卡特索利斯 (Catsoulis, J.) 著; 徐君明等译. - 北京: 中国电力出版社, 2004

书名原文: Designing Embedded Hardware

ISBN 7-5083-1416-6

I. 嵌... II. ①卡... ②徐... III. 硬件 - 设计 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 014990 号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01-2003-0638 号

©2002 by O'Reilly Media, Inc.

Simplified Chinese Edition, jointly published by O'Reilly Media, Inc. and China Electric Power Press, 2003. Authorized translation of the English edition, 2002 O'Reilly Media, Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

All rights reserved including the rights of reproduction in whole or in part in any form.

英文原案由 O'Reilly Media, Inc. 出版 2002。

简体中文版由中国电力出版社出版 2003。英文原版的翻译得到 O'Reilly Media, Inc. 的授权。此简体中文版的出版和销售得到出版权和销售权的所有者——O'Reilly Media, Inc. 的许可。

版权所有, 未得书面许可, 本书的任何部分和全部不得以任何形式重制。

书 名 / 嵌入式硬件设计

书 号 / ISBN 7-5083-1416-6

责任编辑 / 牛贵华

封面设计 / Emma Colby, 张健

出版发行 / 中国电力出版社 (www.infopower.com.cn)

地 址 / 北京三里河路 6 号 (邮政编码 100044)

经 销 / 全国新华书店

印 刷 / 北京市地矿印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 20.5 印张 295 千字

版 次 / 2004 年 6 月第一版 2004 年 6 月第一次印刷

印 数 / 0001-4000 册

定 价 / 39.50 元 (册)

O'Reilly Media, Inc. 介绍

为了满足读者对网络和软件技术知识的迫切需求,世界著名计算机图书出版机构 O'Reilly Media, Inc. 授权中国电力出版社, 翻译出版一批该公司久负盛名的英文经典技术专著。

O'Reilly Media, Inc. 是世界上在 UNIX、X、Internet 和其他开放系统图书领域具有领导地位的出版公司, 同时是联机出版的先锋。

从最畅销的《The Whole Internet User's Guide & Catalog》(被纽约公共图书馆评为二十世纪最重要的 50 本书之一) 到 GNN (最早的 Internet 门户和商业网站), 再到 WebSite (第一个桌面 PC 的 Web 服务器软件), O'Reilly Media, Inc. 一直处于 Internet 发展的最前沿。

许多书店的反馈表明, O'Reilly Media, Inc. 是最稳定的计算机图书出版商 —— 每一本书都一版再版。与大多数计算机图书出版商相比, O'Reilly Media, Inc. 具有深厚的计算机专业背景, 这使得 O'Reilly Media, Inc. 形成了一个非常不同于其他出版商的出版方针。O'Reilly Media, Inc. 所有的编辑人员以前都是程序员, 或者是顶尖级的技术专家。O'Reilly Media, Inc. 还有许多固定的作者群体 —— 他们本身是相关领域的技术专家、咨询专家, 而现在编写著作, O'Reilly Media, Inc. 依靠他们及时地推出图书。因为 O'Reilly Media, Inc. 紧密地与计算机业界联系着, 所以 O'Reilly Media, Inc. 知道市场上真正需要什么图书。

译者序

对一个嵌入式系统的爱好者而言,如果能够结合自己的应用需求,从最基本电路图的设计到元件的选择,从电路的制板到元件的焊接,从手拿示波器探棒不断调试可能的硬件故障到使硬件电路可以稳定地运转起来,完完整整地搭建起一个嵌入式开发平台,必定是一件极具挑战性和成就感的事情!

面对自己的杰作,你必定会兴奋不已!

在此基础上,如果能够顺利地对系统软件进行裁剪,使其在你的这一平台上跑起来,然后进行一些相关的应用开发,那么你就可以成为一名当之无愧的嵌入式系统顶级高手了!

然而,令人沮丧不已的是,面对大量的嵌入式系统书籍,你会发现,除了针对特定处理器的嵌入式编程教程,以及一些蜻蜓点水般的嵌入式开发的介绍性知识外,如果想涉猎一些嵌入式硬件开发方面的书籍,你可能会一无所获!

你几乎没有任何选择,也没有任何可能去实现自己的杰作。

John Catsoulis 的《嵌入式硬件设计》一书的出版,为全世界的嵌入式硬件爱好者带来了福音!

这是一本为嵌入式应用设计小型机器的综合性图书,起始于基本知识,而又不乏深度,但也没有拘泥于细节;它透彻地诠释了嵌入式硬件设计的方法学,同时又与实践密切相关。

此书没有假定读者应该具有多么丰富的嵌入式开发经验,然而为了使读者成为嵌入式硬件开发的高手,此书又确实为读者准备了完备的知识。

正如 John Catsoulis 所说的那样,当读者读完此书时,他们就有能力去设计适宜销售的嵌入式计算机产品了。本书采用概念性的、模块化的组织方式,使读者能够把来自各方面的信息有效地组合起来,搭建一个适应于自己需求的嵌入式系统,而这实际上就是一个“数字拼装玩具”。

参与本书翻译的人员主要有徐君明、许铁军、黄年松、包孔林、邓毅等人,全书由徐君明统稿。

最后,我们非常感谢本书的策划编辑高军认真细致的工作,对为本书的出版默默无闻工作的审校人员我们也表示感谢。由于我们自身知识水平有限,加之有些科技术语上的表达差异,书中难免有些纰漏。对于读者朋友所提的任何建议和批评,我们都将万分感激!

译者

作者简介

John Catsoulis 是一名电子工程师、程序员和物理学家，致力于高级计算机体系结构的研究。他负责设计了25个以上的嵌入式计算机系统，并且自1996年以来，他一直担任 Embedded Pty Ltd. 公司的常务董事。Embedded Pty Ltd. 是一个为工业界、政府部门、军队以及科研机构设计计算机的公司。

封面介绍

本书封面上的小动物是一只瓷蟹。这种微小的无脊椎生灵通常躲在沿太平洋海岸的石沼里，黄褐色的外壳，躯干也只有5毫米长。瓷蟹有六对腿，其中很小的一对隐藏于尾巴的底部。尽管它们能够游于水中，但它们的步行足末端那突起的、锐利的刺就能使其非常容易地紧紧抓住浸于水中的坚硬岩石的表面。瓷蟹腿上的绒毛可以粘附海底的泥土，有助于它们伪装成食肉动物。贻贝堆、海绵以及海藻也是它们的避难所。一旦瓷蟹藏匿于这些较佳的栖息地，就可以摆动着它们那柔臂游弋于水中，捕捉浮游生物和其他微小的动、植物。当受到食肉动物的威胁时，瓷蟹就抛掉一条腿或爪来分散攻击者的注意力，诡计多端的瓷蟹便可以逃之夭夭了，而它们所丢掉的附肢最终也会再长出来。

目录

序	1
---------	---

前言	3
----------	---

第一部分 背景知识

第一章 计算机体系结构介绍	11
----------------------------	-----------

概念	12
----------	----

存储器	30
-----------	----

输入 / 输出	33
---------------	----

DMA	34
-----------	----

嵌入式计算机体系结构	40
------------------	----

第二章 电子学概览	44
------------------------	-----------

电压和电流	44
-------------	----

模拟信号	46
------------	----

功率	47
----------	----

电阻	47
----------	----

电容	51
----------	----

RC 电路	53
电感	57
变压器	59
二极管	60
晶体	63
数字信号	67
理解电路原理图	68
阅读技术手册	73
第三章 电源	75
来自壁上插座的电流	75
电池	76
稳压器	77
第四章 搭建硬件平台	83
消除噪声	83
迅速而又随性地构造	88
印刷电路板	89
为一个设计布线	96
调试工具	100
制作电路板	102
上电	105
添加处理器	105
关于调试的一些思考	106
第二部分 嵌入式处理器和系统	
第五章 PIC 微控制器	113
两款处理器的发展史	113

一个简单的实例	115
一个更大的 PIC 处理器	119
第六章 AVR 微控制器	121
AVR 处理器的体系结构	122
ATtiny15 处理器	124
代码的下载	131
更强大的 AVR 处理器	133
总线接口	134
第七章 68000 系列处理器	162
68000 处理器的体系结构	163
简单的基于 68000 的计算机	167
第八章 基于 DSP 的控制器	176
DSP56800	179
基于 DSP56805 的计算机	183
JTAG	189
第三部分 外设和接口	
第九章 使用 SPI 和 I²C 接口添加外围设备	195
串行外围设备接口 (SPI)	195
内部集成电路 (I ² C) 总线	209
使用 I ² C 接口添加一个实时时钟	213
使用 I ² C 添加一个小显示设备	214
第十章 串口	216
通用异步收发器 (UART)	217

错误检测	218
历史久而可靠的 RS-232C	219
RS-422	226
红外通信	228
USB	234
第十一章 网络	246
RS-485	246
控制器局域网 CAN	249
以太网 (Ethernet)	253
第十二章 模拟量	261
放大器	261
模 / 数转换	265
连接外部 ADC	268
温度传感器	270
光电传感器	272
加速计	275
压力传感器	276
磁场传感器	279
数 / 模转换	280
脉宽调制 (PWM)	282
电机控制	283
开关大负载	290
参考书目	293
索引	297

序

嵌入式计算机是现代生活的无名英雄。我经常给我那些大学工程学的学生布置一个作业，让他们去确定从早晨醒来至到达学习或者工作的地方的期间，在哪儿他们可能遇到嵌入式计算机。当然，对于那些房子周围有些年久器具、驾驶着破旧汽车的人来说，他们的嵌入式计算机的数目可能少于10个——他们或许有一个CD播放机，而这已经算在这个数目之内了。想像一下，任何以带有按钮和一个显示屏的非基本用户界面而引人注目的器材，任何要求较标准情况有更好能量/水利使用率的设施，任何不得不处理数字化数据的设备（如CD播放器），或者任何与其他设备通信的设备，其背后都有嵌入式硬件！而所有这些，只不过是当你刚迈出门槛之后所见。再想像一下轿车、公共汽车或者火车要开始行驶，想像一下交通控制系统及其工作所需的装置。这个小作业使大家明白了为何嵌入式硬件在数量上远远超过台式PC机。在本书中，John会告诉你如何设计类似的这些东西。

John是一位学术界人士，也是一名嵌入式系统工程师，我认识并与他一起工作了大约有15个年头了。我目睹了他讲授关于嵌入式系统的大学课程以及设计出各种各样的嵌入式机器。John十分喜欢与学生们一起合作，传授他的知识并看到学生们所设计的东西运行起来。学生们也十分喜欢这样的合作。在本书中，哪怕只是捕获到他的专业知识、热情和经验的一个小片断也可以令人兴奋不已了。

John将自己大量的嵌入式计算机开发技能献给了野生动植物研究。他建造了许多数据记录器（Dataloggers），这些机器都紧凑耐用，并且具有很高的数据存储容量和很长的使用寿命。现在，许多在南大洋区域飞翔的信天翁都带有John所设计的机器。通过John设计的这些设备，科学家们发现了大量有关这些珍贵鸟类的迁徙和觅食习性。信天翁是大自然矫健的飞行者，能够以异常高的精度远距离地巡游。然而对于嵌入式计算机来说，这又意味着什么呢？

在本书中,John沿着众所周知的线索带领着读者进行了起始于本质而结束于带许多功能的嵌入式计算机设计的这样一个旅程。这是一个激发智力且令人身心愉快的旅程,它提供的任何事情都那么恰如其分,而其中频繁的轶事却又令人神往。可是,在本书结束时,读者却又会意识到嵌入式计算机旅程才刚刚开始。John的绝佳根基打开了通往广袤的嵌入式世界之门。

从传统意义上讲,有关电子学和微处理器的书都假定读者具有广泛领域内的一些高级能力。典型的情景是:读者兴高采烈于获得了知识,然而经常仍未能设计出一个可运行的系统。并非像采用传统讲授方式所做的那样,只切取嵌入式系统学科中的几个片段来讲述嵌入式系统,John采用了一个更为连续的讲授方式,来引导读者贯穿一些基本的电子学主题,每一主题本身常有整套的教科书或者与之配套的课程。我确信John非常重视此书的严密性,并以此为原则来论述各种各样的电子学器件和系统;当然,本书的读者也会受到鼓舞,从中巩固了他们的知识。然而,本书只是嵌入式硬件开发的入门书籍,期望读者籍此继续深入下去。

— Duncan A. Campbell 博士
澳大利亚昆士兰州布里斯班,
昆士兰州立科技大学电气电子系统工程院

前言

[启迪] 沉浸在数字计算机电路里的惬意之感，就如同站在高山之巅或匿于花瓣之中的那种感觉一样。

— Robert M. Pirsig

《Zen and the Art of Motorcycle Maintenance》

这是一本关于计算机硬件设计方面的书，尤其专注于为嵌入式应用设计小机器。这本书的特殊之处在于它与硬件密切相关。现在已有大量的关于为嵌入式系统编写代码的书（如另外一本由 O'Reilly 出版、Michael Barr 编著的《Programming Embedded Systems in C and C++》），然而所有的这些书中，没有一本涉及开发嵌入式硬件的具体细节。当然，也有一些书是关于微处理器的，但是没有任何书把你所需的硬件收集在一起，构建一个嵌入式计算机并使之运行起来。

我写此书的愿望由来已久。这可追溯到 1993 年，当时我在澳大利亚墨尔本的 La Trobe 大学里讲学。几乎在讲学的最后时期，我接到这样一个任务：为大学二年级的学生讲授一门微处理器方面的课程。学校所给我的这门课的课本很不理想。它谈到了计算机硬件，但却没有说明如何设计计算机硬件。那课本采用梦想的方式——建造出它来它就能运行，而不考虑时序、电压、电流或其他一些重要的内容。虽说那是一本当时最新出版的书，但它所涉及的器件已经好多年没有用到过了，所讨论的存储芯片也只有 128 字节（注意是字节而不是千字节）。那是一本与所授课程既不相关又没有用的教科书。

在与众多出版公司谈及此事之后，我很快便发现也没有什么更为可用的书籍了。因此，我便通过为这些学生撰写详细的讲稿来解决这一问题，并让他们忘掉课本。我很快便写完了这些讲稿，因此这些讲稿也非常粗糙。于是，我便在授课中对其进行修订和补充。我决定有朝一日将撰写一本适合的书出来。

现在，O'Reilly 提供了撰写此书的机会，并使之变成了现实。现在我早已不在 La Trobe 大学教书了，好多年以前我就离开并创建了自己的公司。自那时以来，我比以往任何时候更想把现实世界中的知识和必要的经验结合起来，构建一个可运行的嵌入式系统。这本书着眼于创建嵌入式硬件的设计过程以及确定这一硬件可以运行的分析过程。除了要求读者对数字和模拟电子学知识有最起码的了解以外，本书对读者的知识没有做任何假定，惟一的前提就是要善于动脑并具有分析意识。正如我在开始时所说的那样，这是一本关于硬件方面的书，因此读者不会从中发现软件方面的内容。这一点也将贯穿于全书始终。

正如好的软件都有闪亮之处一样，一个设计完美的硬件也会有可取之处。就嵌入式计算机而言，你要在各个层次上对这一机器进行了解，同时要掌握通过电线的电流流动以及软件执行的复杂算法。事实上，如果没有对硬件的理解就不可能编写嵌入式软件；同样，没有对软件的理解也不可能设计出硬件。超过你对台式计算机可能的了解程度，你潜心于这一机器并达到了一个层次，最为可贵的是其中充满了乐趣。

对于本书，在选择芯片和设计布局上，我有意选择了那些实现起来价格不高而又极其有用的器件。除了我自己的公司（Embedded Pty. Ltd.）之外，我与本书中提到过的任何公司没有商业、金融或其他方面的关系。之所以使用他们的芯片，仅仅反映了基于我自身经验上的个人偏好罢了。这些公司生产的芯片使用起来容易，是值得信赖的，也是强大的，并且具有良好的技术支持，提供了完整而全面的技术资料。简而言之，本书所选的芯片更适合初学者。

本书中的多数设计看起来简单，事实上也确实如此。这些设计可以看作是简单的积木，你可以对其进行混合和搭配以实现你所需要的嵌入式系统。还有其他一些非常复杂的处理器及其支持芯片，基于这些器件的设计可能异常复杂，令人困惑和沮丧不已。但你在本书中不会遇到上述器件，因为本书旨在开发微型、低价位并且相对简单的嵌入式应用。我希望你会发现此书对你有所帮助。

本书的结构

本书分为三个部分。第一部分包括了一些基本概念和介绍性的资料；第二部分涉及到了嵌入式处理器以及将它们集成到系统中的设计过程；第三部分介绍了一些外部设备以及如何向嵌入式系统中添加功能模块。

第一章介绍了计算机体系结构的概况，讨论了组成嵌入式系统的基本要素。第二章提供了一些电子学理论的背景知识，介绍了一些重要的概念。如果你对电子学很精通的话就可以跳到第三章，这一章讲述了如何向嵌入式系统提供电源。在第四章中，你将看到如

何具体地制造和调试一个嵌入式计算机系统,以及如何保护你的嵌入式计算机免受电气干扰和其他能够引起其故障的小毛病的干扰。

第五章作为本书第二部分的开始,讲述了第一个嵌入式处理器的结构:微芯片PIC。PIC是一种小巧、独立的计算机,以此来构建嵌入式系统简单且有趣。第六章讨论了ATMEL公司的AVR处理器,这是另外一种理想的适合小规模简单应用的嵌入式微处理器。你还将学到如何向基于总线的处理器添加内存和外部设备,并获得内存管理的基础知识。在第七章中,我们将关注Motorola 68000系列的微处理器。Motorla的这些芯片已经面市很长时间,并且仍旧在被广泛使用。一旦你拥有了较多的嵌入式方面的经验,而打算进入更为复杂的嵌入式处理器开发,那么这些芯片就是一个很好的起点。第八章分析了基于DSP(Digital Signal Processing, 数字信号处理)体系结构的微处理器。这些微处理器主要适用于算术密集型和复杂算法环境,尤其适合控制和采样应用(例如处理数字信号之类的应用)。

在本书的第三部分,你将学到如何通过外部设备向嵌入式计算机中添加功能模块。第九章介绍了SPI和I²C,这是两种允许把大量小型外部设备添加到微控制器中的协议。第十章讲述了串行接口。这些接口使得你的嵌入式系统可以与主机以及诸如modem这样的外部设备通信。在这一章中,还将讲述RS-232C、RS-422、红外通信以及USB。网络部分将在第十一章谈到,在这一章里你将看到如何向嵌入式计算机中添加两个低价位的工业网络(RS-485和CAN)。在该章还讲到如何向嵌入式系统中添加以太网端口,通过这一端口,你的嵌入式系统可以连接到其他计算机、服务器和网关上,进而藉由这些设备连到因特网上。在本书的最后,即第十二章涉及到了现实生活中的接口连接。在这一章里,你将学到如何实现处理器上的模数转换,如何在嵌入式系统里通过传感器来测量温度、光、电压、加速度和磁场,以及如何使用嵌入式计算机来控制小型电机。

致谢

过去,我经常在前言中看到作者对出版社的编辑所给予的帮助表示感谢,可是直到现在我才理解编辑的这种帮助所具有的深度和重要性。我要向我的编辑Jon Orwant博士表示特别的谢意,正是由于他的好脾气和富有远见的评论以及卓越的才华才使得本书更为出色。

正如读者已经注意到的那样,O'Reilly出版的图书非常精美。我也要对本书的制作团队的辛苦工作表示谢意,他们是Lorrie LeJeune、Tatiana Diaz、Larry Sweazy、Jessamyn Read、Rob Romano、Norma Emory、Laura Gabler、Emma Colby、Mike Sierra、Ellie Volckhausen、David Futato以及Philip Dangler。他们为提高此书的可读性奉献了大量精力。

我要对Duncan Campbell博士在本书的校对工作中表现出的友好、鼓励和帮助表示感谢，他的友爱之情和专业支持对我意义甚大。

Geoff McDonald 是我很要好的朋友，在本书的内容上他给了我很多有益的建议，他也为此书进行了校对，我对他的所有这些帮助表示感谢。

我要感谢Jeff O'Keefe博士长久以来的友谊和支持。在一起上大学时我们就成为好朋友了，我们曾一起神侃集成电路，一起在二年级实验室里进行启发性讲演。

感谢Michael Barr、John Redford和John Watlington对本书初稿进行了检查，并提出了一些有用的建议。

感谢Anthony Maeder教授以及昆士兰州立科技大学电气电子系统工程院的全体职员所给予的帮助。

同样感谢Agora的职员们的后勤保障，他们对我一直帮助很大。

我要向我的朋友和同事：Michael Lees、David Nicholls、Peter Stewart、Mark Gentile、John Devlin教授、Richard Wiltshire、John Williams、Michelle和Robert Salier以及Peter O'Shea博士表示感谢，还要感谢Louisa Sciacca和David Kerven为本书的一些实例提供了不少想法。

最后，也是最重要的，我要感谢我的大家庭所给予的关爱和支持，尤其是我的妹妹Kris和她的丈夫Duncan以及我的两个小外甥Andrew和James，他们的关爱和幽默使得生活充满乐趣。我也要对Chris和Jeff Goopy以及堂兄弟堂姊妹们Theo、Maree、David、Jenevieve、Michael、Andrew、Karen、Antony和Fiona一直给予的友谊和支持表示感谢。特别要感谢我的叔父Vince和Dave Catsoulis，他们向我展现了爱、荣誉和人格力量的真正内涵，我十分感激他们。

在线资源

有关本书设备的最新详细技术资料，读者可以直接从这些厂商的主页上获得。有些厂商，如Analog Devices公司和Maxim公司，还可以直接通过他们的网页定购免费样品。

下列这些URL可能会有帮助：

<http://www.agere.com>

Agere 系统公司

<http://www.agilent.com>

Agilent 科技公司

<http://www.altera.com>

Altera 公司（提供可编程逻辑）