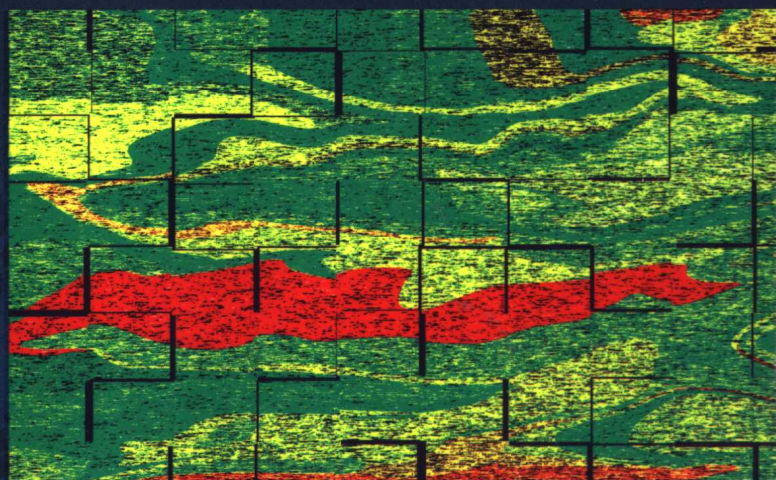


嵌入式微计算机系统 实时接口技术

Embedded Microcomputer Systems
Real Time Interfacing



Jonathan W. Valvano 著
(美) 得克萨斯大学奥斯汀分校

李曦 周学海 方潜生 熊悦 等译



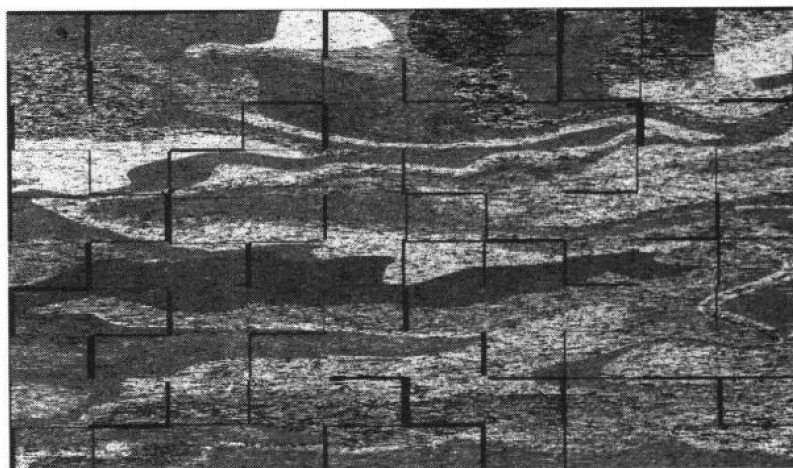
电子与电气工程丛书

嵌入式微计算机系统

实时接口技术

Embedded Microcomputer Systems

Real Time Interfacing



Jonathan W. Valvano 著
(美) 得克萨斯大学奥斯汀分校

李曦 周学海 方潜生 熊悦 等译



机械工业出版社
China Machine Press

嵌入式系统的设计,涉及计算机软硬件、数字信号处理以及计算机网络等学科在内的多个领域的专业知识。本书对嵌入式微控制器的结构、基本接口技术、数据采集系统、数字信号处理、计算机控制系统、简单的计算机网络以及相关的软件设计等问题进行了详细的介绍,内容系统完整,注重综合应用。书中同时给出了大量的应用示例和习题,并且特别提供了仿真调试工具,以加深读者对课程内容的理解并培养读者的实际动手能力。本书可作为高等院校计算机应用及相关专业的教材,对于从事嵌入式系统开发的工程技术人员也极具参考价值。

Jonathan W. Valvano: Embedded Microcomputer Systems: Real Time Interfacing (ISBN 0-534-36642-2).

Original edition copyright © 2000 by Brooks/Cole. All rights reserved.

First published by Brooks/Cole, an imprint of Thomson Learning, United States of America. Simplified Chinese edition published by Thomson Learning Asia and China Machine Press under the authorization of Thomson Learning. No part of this book may be reproduced in any form without the express written permission of Thomson Learning Asia and China Machine Press.

本书中文简体字版由汤姆森学习出版社与机械工业出版社合作出版。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有,侵权必究。

本书版权登记号:图字:01-2001-5207

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式微计算机系统:实时接口技术/(美)沃尔瓦诺(Jonathan, W. V.)著;
李曦等译.-北京:机械工业出版社,2003.5

(电子与电气工程丛书)

书名原文:Embedded Microcomputer Systems: Real Time Interfacing
ISBN 7-111-11802-2

I. 嵌… II. ①沃…②李… III. ①微型计算机-系统设计②微型计算机-接口
IV. TP36

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第017240号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:刘晖 姚蕾

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003年5月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·46印张

印数:0 001-4 000册

定价:78.00元(附光盘)

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换

译者序

后 PC 时代的到来,使得人们开始越来越多地接触到一个新的概念——嵌入式系统。相对于通用计算机系统,嵌入式系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的应用领域的专用计算机系统。嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合的产物,它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序这四个部分组成,用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。目前,嵌入式系统的应用已经渗透到工业、医疗卫生、国防以及人们日常生活的各个方面,如电冰箱、微波炉、手机、PDA、VCD 机、机顶盒、汽车、数控机床、航天器等系统中都包含嵌入式系统。

随着嵌入式系统应用的普及,国内对精通嵌入式系统设计的专业人才的需求越来越大,同时也迫切需要一本好的教科书。嵌入式系统的设计涉及计算机软硬件、数字信号处理以及计算机网络等学科在内的多个领域的专业知识,本书对此进行了系统、完整的介绍,主要包括嵌入式微计算机/微控制器的基本结构与工作原理、嵌入式软件设计的基本技术、嵌入式系统的数字/模拟接口技术、数据采集与信号处理技术、基于微计算机的控制系统和网络互连技术等。虽然本书的介绍基于 Motorola 6805/6808/6811/6812 微处理器,但是本书讲解的基本设计原理和技术是通用的。本书作者 Jonathan W. Valvano 教授从事嵌入式系统应用与教学工作 20 余年,积累了丰富的实践经验,书中的大量示例源于其所设计的实际应用系统,也是本书的重要特色,对培养学生的实际动手能力极为有益。

李曦、周学海、方潜生、熊悦等组织并参加了本书的翻译和审校工作,参加翻译的人员还有瞿晓明、胡潇、雷霆等。李曦翻译了前言和第 1、3、11、13、15 章,周学海翻译了第 4、9、10 章,方潜生翻译了第 12 章、熊悦翻译了第 2、5、14 章,胡潇翻译了第 6 章,瞿晓明翻译了第 7 章,雷霆翻译了第 8 章。全书最后由李曦、周学海和方潜生等进行了审校。

在本书的翻译过程中,译者参照该书的 WWW 主页中的勘误表,对书中的疏漏之处进行了更正。此外,译者对于未包括在勘误表中的明显笔误和排版错误也做了订正。

限于译者水平,译文中的疏漏和错误在所难免,敬请读者批评指正。

译者

2002 年春于科大西区

前 言

嵌入式计算机系统是一种内部包含微计算机用于完成特定任务的电子系统；它的使用已经十分普及。数以百万的微小计算机芯片每周从 Motorola、Mitsubishi 等工厂流出，安装在我们的日用产品中。我们的全球经济、食品加工、交通系统、军事防卫、通信系统以至生活的品质，都依赖于这些嵌入式系统的效率和效果。作为电子与计算机工程师，我们在成就这一过程的各个阶段（包括规划、设计、分析、制造和市场推广）都扮演着重要的角色。

本书的特色体现在以下几个方面。与任何优秀的教科书一样，本书努力展示现今可以学习的，未来实践可以应用的一些基本概念，而不同之处在于其详细程度。读者会发现本书包含了大量的对实例的详细分析，这些分析阐明了那些基本概念。毕竟工程师不是要去发明理论，而是要采用一切手段将其应用到实际的设备之中。在我多年的教学过程中，我发现对工程专业的学生而言，将概念与实例结合起来是一种行之有效的教育方法。即使是作为一名有经验的工程师，在我面对需要掌握的新概念时，我仍然要研究实际可行的范例。

本书的另一个特色在于本书自备有仿真器，名为“TEaS (Test Execute and Simulate)”。与所有优秀的应用软件一样，该仿真器简单易学。它提供了一种自包容的方法进行微计算机软硬件设计与测试。该仿真器与其他仿真器的不同之处有两点：第一点是，运行后，仿真器显示出芯片的内部特征，如地址/数据总线、指令寄存器和有效地址寄存器。以这种方式进行设计，使该软件实现了教育的目的，即解释了计算机是怎样工作的。另一点是，可以连接各种外部设备，如开关、键盘、LED 指示灯、LCD 显示器、串口设备、电动机以及模拟电路；读者还可以使用逻辑探针、电压表、晶振和逻辑分析仪等测试外部硬件。外部设备与微计算机的组合使我们可以理解嵌入式系统。该仿真器支持微计算机的多种 I/O 端口的功能，包括中断、串口、输出比较、输入捕捉、键盘唤醒、计时溢出和模数转换。仿真器在本书所配套的光盘中。打开光盘，执行 Readme.exe，安装 TEaS，就可以学习如何使用。首先，双击 MC6812 子目录下的 tut.uc 文件，以便在仿真器中执行此示例。也可运行其他 4 个示例：tut2.* 显示简单的串行 I/O 功能，tut3.* 为 ADC 数据获取示例，tut4.* 显示中断串行 I/O 功能，tut5.* 为中断方波发生器。尽管软件中包含了许多其他的程序，但有五个示例全面展示了此仿真器的能力。图 P-1 显示了执行 tut2.rtf 示例时的屏幕界面。请注意图中所显示的特征：1) 地址/数据总线的活动；2) 源码中嵌入的图形；3) 外部硬件；4) 电压表和逻辑探针；5) 一个示波器。

本书的目标

本书深入分析了嵌入式微计算机系统的设计问题，包括接口技术的硬件方面、高级软件问题（如中断）以及针对典型嵌入式应用系统的系统化设计方法。本书与其他有关微计算机书籍的不同在于：本书深入分析了对于实时嵌入式应用十分重要的软件和硬件问题。本书的主要目的在于说明以下问题：

1. 高级体系结构
 - 时序图

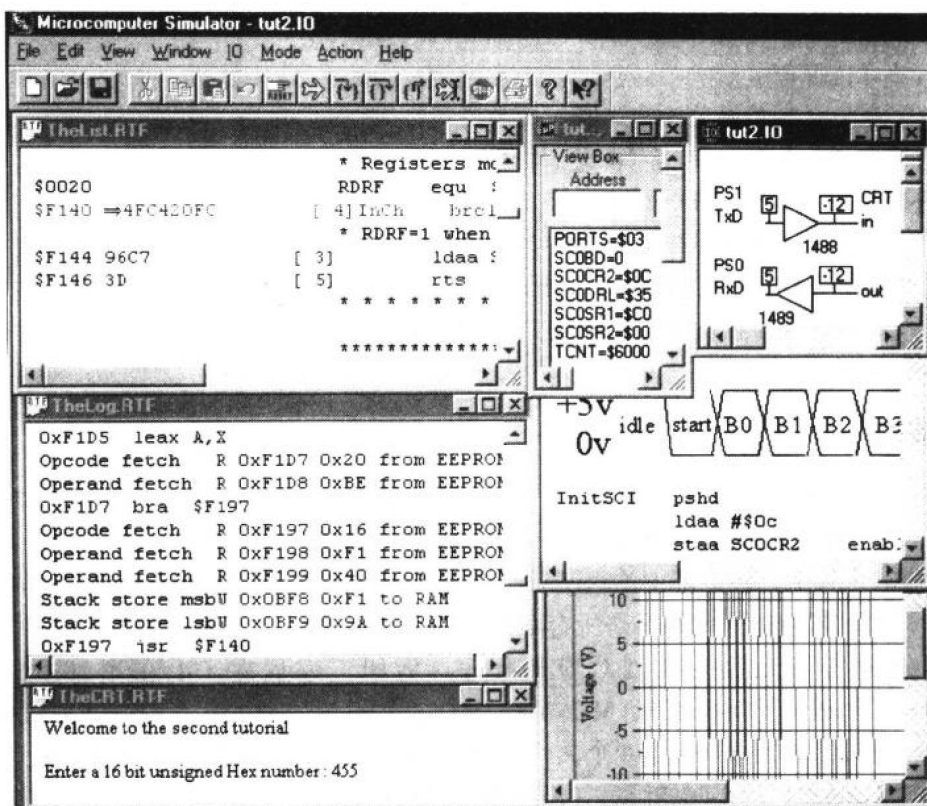


图 P-1 Texus 仿真器可用于设计、实现和测试嵌入式系统

- 存储器和 I/O 设备与地址/数据总线的接口方法
- 2. 外部设备与计算机的接口方法
 - 开关与键盘
 - LED 与 LCD 显示器
 - DC 与步进电机
 - 运算放大器、模拟滤波器、DAC 与 ADC
 - 同步和异步串行端口
- 3. 高级编程
 - 实时嵌入式系统的调试
 - 中断与实时事件
 - 信号发生与测量
 - 线程与信号量
- 4. 嵌入式应用系统
 - 数字滤波的数据获取系统
 - 线性与模糊逻辑控制系统
 - 简单通信网络

预修要求

本书试图作为微计算机编程和接口的中级或高级教程，期望学生在学习本书之前已掌握

以下预备知识:

- 微计算机编程
- 数字逻辑 (多路开关、卡诺图、三态逻辑)
- 基于 C 语言的数据结构 (队列、堆栈、链表)
- 测量仪器 (如万用表、示波器等)
- 分立模拟电子线路 (电阻、电容、电感、晶体管)

尽管本书着重于嵌入式系统设计,但随书赠送的光盘上的扩展示例将帮助学生掌握汇编语言编程和 C 语言程序设计等重要问题。本前言的后续部分将进一步介绍本书附带光盘中包含了哪些内容。

本书的结构

我们将使用 This font 给出汇编语言的示例,而使用 This font 给出由 C 语言编写的高级语言代码。通常我们在研究各个示例时不仅给出汇编语言程序,而且在其后给出用 C 语言编写的程序。大体上,在方框中的程序对所有 4 种微处理器都同样有效,但是由于 6805 和 6808 微计算机的限制,因此并不是所有示例对这两种计算机都有效。程序标题中的程序编号可以帮助读者在光盘上找到对应的程序。例如汇编程序 P-1 在光盘中被命名为 Preface.asm,分别位于 MC6805、MC6808、MC6811 或 MC6812 子目录中。每章中的所有程序都在一个文件中。每章包含 8 个文件,分别对应于不同的处理器 (MC6805、MC6808、MC6811 和 MC6812) 或不同的语言 (汇编语言和 C 语言)。

在汇编语言程序 P-1 中,程序从标号为 Start 的程序行开始执行。第一条汇编指令 (ldaa PORTA) 读入输入端口 A 的当前值 (输入端口拥有外部引脚,可以通过它们向微计算机传送信号)。第二条汇编指令 (staa) 将该值写入存储器。最后一条汇编指令 (bra Start) 产生一个程序分支,使得上述三条指令 (ldaa、staa、bra) 无限地重复执行。汇编代码可使用 TExaS 仿真器中的编辑器/汇编器进行开发。

程序 P-1 从输入端口 A 读数据并存入内存之中的示例程序

<pre> ; MC68HC705J1A PORTA equ \$0000 org \$0300 Programs in EPROM Start lda PORTA input Port A sta \$00C0 save in RAM bra Start org \$07FE fdb Start beginning address </pre>	<pre> ; MC68HC11A8 PORTA equ \$1000 org \$E000 Programs in ROM Start ldaa PORTA input Port A staa 0 save in RAM bra Start org \$FFFE fdb Start beginning address </pre>
<pre> ; MC68HC708XL36 PORTA equ \$0000 org \$6E00 Programs in EPROM Start lda PORTA input Port A sta \$00C0 save in RAM bra Start org \$FFFE fdb Start beginning address </pre>	<pre> ; MC68HC812A4 PORTA equ \$0000 org \$F000 Programs in EEPROM Start ldaa PORTA input Port A staa \$0800 save in RAM bra Start org \$FFFE fdb Start beginning address </pre>

在给出 C 代码时，有时不同计算机的实现是如此的一致，以致于只给出一个版本，但实际上还是经常存在重要的区别。多数情况下只给出 MC68HC11 和 MC68HC12 的 C 代码。本书的 C 代码使用 ImageCraft 编译器（对 6811 而言为 ICC11，对 6812 而言是 ICC12）进行编写、编译和测试。通过修改少量的语法，我们已经成功地将这些程序示例转换成 Hiware 编译器（6805、6808、6811 和 6812）所支持的代码。ImageCraft 编译器与 Hiware 编译器的主要差别在于：嵌入式汇编的语法和中断服务程序的定义。我们也尝试使用各种免费的 SmallC 编译器，但是由于本书中示例的复杂性，因此使用 SmallC 编译器无法编译。SmallC 最大的局限在于其缺乏对数据结构的支持。换句话说，如果在基于本书的课程中使用 SmallC，需要做实质性的修改。与汇编语言程序类似，各种 C 程序采用如程序 P-2 的方框格式给出。C 程序 P-2 在光盘中为命名为 Preface.c 的文件，分别保存在 MC6811 和 MC6812 子目录中。

程序 P-2 从输入端口 A 读数据并存入内存之中的示例程序

<pre>// MC68HC11A8 #define PORTA *(char volatile*) (0x1000) char data; void main(void){ while(1){ data=PORTA;} } #pragma abs_address:0xfffe void (*reset_vector[]) () = { _start }; #pragma end_abs_address</pre>	<pre>// MC68HC812A4/MC68HC912B32 #define PORTA *(char volatile*) (0x0000) char data; void main (void){ while(1){ data=PORTA;} } #pragma abs_address:0xfffe void (*reset_vector[]) () = { _start }; #pragma end_abs_address</pre>
---	--

我们假设读者已经阅读过针对自己所使用的特定微计算机的 Motorola 编程指南，该指南详细解释了每条汇编指令的含义。读者也应拥有详细描述自己将要使用的 I/O 端口的微计算机技术参考手册。例如，如果读者要使用输入捕获的方法测量 Motorola 6808 的周期，则可以在本书中找到基本原理和示例，但必须阅读《6808 技术汇编》以便全面掌握各种细节问题。也就是说，我们期望读者在使用本书的同时参考 Motorola 的手册。虽然光盘中有这些手册的 pdf 文档，但最好是能从 Motorola 公司图书中心订购这些文本，或在其网站上下载其最终版。

对嵌入式系统设计而言，虽然软件开发是其关键的一个方面，但我们编写本书的意图并不是将其作为 C 语言程序设计指导。然而，如果读者有一本 C 语言程序设计参考会很方便。本书的光盘中有一本 HTML 文档格式的参考资料，名为《使用 ICC11/ICC12/HIWARE C 进行嵌入式软件开发》。虽然与专门介绍 C 语言编程的书籍相比该参考资料并不完备，但是它专用于 6811 和 6812 嵌入式软件编程。

本书中将从汇编语言和 C 语言两个方面针对特定于嵌入式实时系统的编程风格和开发调试策略进行深入的讨论。由于单片机的特点（其运行速度很慢，且与当前的桌面微机相比只有很小很小的 RAM 存储器），因此本书将要使用的大多数针对单片机的 C 编译器不支持对象、双整型数和浮点数。我们认为浮点数只是用在数值范围的量级跨度很大，或在进行软件设计时无法确定数值的范围的场合。我们的经验是嵌入式系统中的数据在很小且预知的范围内变化，因此使用整数运算就足够了。换句话说，我们的兴趣在于应用某些 C++ 的面向

对象的方法进行嵌入式系统设计。书中可以找到一些面向对象设计的示例。

同样，本书不准备作为汇编语言的设计指导。不幸的是，某些学生在使用本书前可能没有学过正规的汇编语言课程，或者其汇编语言训练是在其他的机器上进行的。但是，汇编语言的工作经验是必须具备的，即使是实际上我们所有的软件都是可以采用 C 语言编写也是如此。特别是我们认为读者需要充分掌握汇编语言，以便可以理解编译器生成的汇编列表文件。这种对汇编语言的把握，对于程序调试、编写中断服务程序、计算实时事件以及程序重入的设计都十分关键。为此，有关汇编语言的详细资料包含在光盘中。读者可以从 TExaS 仿真器的交互式在线帮助中找到微计算机的产品数据表，以及 HTML 文档格式的汇编语言编程指导。

本书所使用的电子器件范围很广，例如包括 2764 PROM、1N914 二极管、2N2222 晶体管、7406 集电极开路 TTL 驱动管、74LS 系列 TTL 触发器、74HC573 高速 CMOS 穿透式锁存器、3140 运算放大器、75451 接口驱动器、ULN2074 驱动器、IRF540 MOSFET（场效应晶体管）、6N139 光电耦合器、MC1488 RS232 驱动器、Dallas Semiconductor 公司的 DS1620 温度控制器，以及各种 ADC 转换器件。要求每个学生都建立一个包含所有这些器件的数据资料的个人数据库是不现实的。换句话说，如果公司或学校能够建立一个可被所有学生访问的资料库则比较合适。书中的电路图通常包含了芯片编号和元件参数，但是没有引脚编号或电路板布图信息。当然，如果有了合适的器件数据表，多数电路是可以直接使用的。

如何使用本书进行教学

设计任何课程的第一步都是先创建一张教学目的列表，其中还应包括前期课程所讲授过的内容和为了学习后续课程所必须掌握的内容。某些重要论题（诸如计算机体系结构和模块化软件设计），可能包含在多个课程中。有了课程教学目的列表，导师（或系委员会）会寻找一本以合适的方式覆盖其中大多数教学内容的教材。要在一个学期的时间内讲授完本书的全部内容是不现实的。有两种方法可以选择本书的一个子集进行讲授。第一种方法是选择一种微计算机和编程语言，例如可以只讲授 6811 的汇编语言或只讲授 6812 的 C 语言程序设计，这样可以简单地跳过其他部分。

另一种选择合适的子集的方法是挑选教学内容。例如，对初级实验班，可以指导学生掌握微计算机接口。这种班级可以重点在于讲授接口技术，这样可以只使用第 1 章到第 4 章、第 6 章、第 8 章，以及第 11 章到第 13 章的一小部分。对这些学生而言，本书的剩余部分可供他们在其后的学校实习项目或工作中作为参考。另一种可能是针对一个高级项目实验班。这个班的目标可能集中在实时嵌入式系统的系统层次。在这种情况下，这些学生可能已经学过某些微计算机编程，所以这种课程可以包含第 5、9、10 和 15 章中的高级接口技术，以及第 12 章到第 14 章的应用技术部分。对这些学生而言，本书的前半部分是复习，让他们得以总结前面所学的概念，以解决复杂的嵌入式系统的具体应用问题。

在多数专业系中，模拟电路设计（例如运算放大器和模拟滤波器）已经在不同的课程中教过，所以第 11 章可以作为复习内容。关于模拟电路的特殊和详细的资料也包含在本书中，但着重于进行嵌入式系统设计时的整合问题。换句话说，开发嵌入式系统不仅仅依赖于计算机和软件工程的工具，而且涉及到整个电子学、计算机和软件工程。

下一个必须做出的重要决定是学生实验的组织。作为工程教育者，我们十分看重教学过

程中培养实际动手能力。另一方面，空间、材料和经费的限制迫使我们进行权衡，在力所能及的范围内做得最好。为此，我们依据成本的范围提出了三种可供选用的实验配置。其实读者可能希望在一个混合的仿真/物理实验配置中组合两种或更多的方法。我们的确相信随着技术不断进步，设计周期时间会越来越短，仿真方法的角色也正在变得越来越重要。另一方面，我们将向学生展示工程设计的各个阶段，包括问题定义、概念化、仿真、构建以及分析。

在第一种实验配置中，我们使用传统的方法进行接口实验。对两组参加实验的学生，每组使用一块真实的微计算机开发板。这里有各种可能。Motorola 自己为其微计算机制作了测试板。在诸如《Circuit Cellar INC》和《Electronics Now》等各种商业杂志的背面，我们可以找到许多商业代理。除了微计算机开发板，每个小组需要一台电源，一块用于搭建外部电路的面包板（prototyping area），以及相应的外部设备。还需要配置各种公用的开发/调试工作站。在这些专用的 PC 兼容机上，要安装汇编器或编译器。如果使用汇编语言进行开发，则可使用 TExaS 仿真器编辑和汇编软件。TExaS 将创建标准的 S19 目标码文件供下载。可以使用 ICC11 的早期版本生成 EVB 代码。如果使用 C 语言编程，多数情形下最好使用 C 语言交叉编译器的当前版本。如前所述，本书中的特殊的 C 语言示例可以使用 ImageCraft 公司的 ICC11 和 ICC12 进行编译（<http://www.imagecraft.com>）。另一方面，HIWARE 编译器是一种很好但比较昂贵的选择。每个工作站还需要配备测试仪器，例如示波器、数字万用表和信号发生器。昂贵的仪器（如逻辑分析仪和打印机）可以公用。某些邮购公司销售的二手或转让的电子仪器也可装备到实验室（有必要的，话，可以参看作者的网页 <http://www.ece.utexas.edu/~valvano/book.HTML>）。可以使用这种传统的实验环境完成许多实验任务。对已经采用本书的大学，可以下载这些任务的 Microsoft Word 格式文档，然后进行修改、打印，并将这些基于示例任务而形成的实验任务分发给学生。由于实验设计的繁琐和特殊性，修改肯定是必要的。在示范实验方案中，指定配置使用 Technological Art 公司的 Adapt812 板和 ImageCraft 公司的 ICC12 交叉编译器，但是，对于大多数的基于 6805、6808、6811 和 6812 的微计算机开发板而言，此示例方案同样是合适的。

第二种实验配置完全基于 TExaS 仿真器。本书中包含一张光盘，允许学生仅在一台计算机上安装该软件。多数情况下，学生使用此软件是为了完成学业，以及为了帮助完成学业而做助教或得到实验学分。使用此配置，读者既可以使用 TExaS 汇编器采用汇编语言进行软件开发，又可以使用 ICC11 或 HIWARE 的演示版开发 C 程序。如前所述，ICC11 的这种免费版只能用于生成 6811 EVB 代码。幸运的是，此仿真器支持 6811 的 EVB 结构。如果愿意尝试这种 ICC11/TExaS 组合方式，可以运行 TExaS 应用程序的 ICC11 子目录中的示例。HIWARE 的演示版也非常受限制，但可用于编写很短的程序。还可以得到使用仿真器的示例实验方案。同样，对已经采用本书的大学，可以下载这些方案的 Microsoft Word 格式文档，然后进行修改、打印，并将这些基于示例方案而形成的实验任务分发给学生。

第三种配置用于完成 6812 C 语言程序的仿真。在这个实验计划中，要使用一间标准的 PC 兼容机实验室。安装 TExaS 和 6812 交叉编译器的专业版（如 ImageCraft 的 ICC12 或 HIWARE），并且将学生集中在此进行实验。除了这两个软件外，不需要其他的开销。前面两段中所提到的实验任务可用于此配置。这种方法的优点在于以适当的代价就可以使用最新的微计算机技术完成 C 语言编程。

每章结尾的习题可作为实验任务的补充。实际上，这些习题中的多数都是从过去的小测

验和期末考试中收集的。当然，这些习题强调各章的基本教学目的，没有超越常规实验任务的复杂程度。

光盘中有什

Readme.exe 是关于 TExaS 的一个 15 分钟的入门介绍。这个文件不需拷贝到硬盘中，读者可以直接在光盘中观看电影演示。

TExaS 是针对 6805、6808、6811 和 6812 微计算机的一个完整的编辑器、汇编器和仿真器。它仿真外部硬件、I/O 端口、中断、存储器和程序的执行，是学习嵌入式系统的工具。此软件不是免费软件，但购买本书则意味着有权安装该软件的一个拷贝。TExaS 目录包含其安装程序，这是读者在使用该软件之前必须做的。一旦安装，TExaS 将创建 9 个子目录：

- MC6805 包含 6805 汇编语言示例
- MC6808 包含 6808 汇编语言示例
- MC6811 包含 6811 汇编语言示例
- MC6812 包含 6812 汇编语言示例
- Hiware08 包含 6808 使用演示版编译器的 C 语言示例
- Hiware11 包含 6811 使用演示版编译器的 C 语言示例
- Hiware12 包含 6812 使用演示版编译器的 C 语言示例
- ICC11 包含 6811 使用免费软件版编译器的 C 语言示例
- ICC12 包含 6812 的 C 语言示例（不使用免费软件版编译器）

在 ICC11 子目录中同时包含 ImageCraft 免费软件版编译器。读者可以运行已有的 ICC12 示例，但是要编辑和重新编译，就需要商业版 C 编译器。

在 PDF 目录中包含许多 Adobe pdf 格式的产品数据表。这些信息不需要拷贝到硬盘中，读者可以直接在光盘上阅读这些数据表。特别是其中有许多微计算机、数字逻辑、存储器芯片、运算放大器、ADC、DAC、计时器芯片和接口芯片的数据表。如果希望下载最新的数据表，或者搜索其他的器件，在站点 <http://www.ece.utexas.edu/~valvano/book.HTML> 上有一个链接网页。

在 example 目录中包含本书的软件。例如，第 1 章中的所有汇编语言程序都可以在“Chap1.asm”文件中找到。类似，第 1 章中的所有 C 语言程序都可以在“Chap1.c”文件中找到。针对不同微计算机的版本位于对应的子目录 MC6805、MC6808、MC6811 和 MC6812 之中。并不是所有程序都有每个微计算机版本。

在 assembly 目录中包含一个 HTML 文档，用于描述在 TExaS 环境中如何使用汇编语言为嵌入式系统编程。该文档不需要拷贝到硬盘中，读者可以直接在光盘上阅读此文档。（同时请注意，作为其联机帮助的组成部分，TExaS 软件自身包含许多关于汇编语言开发的信息。）

在 embed 目录中包含一个描述如何使用 C 语言为嵌入式系统编程的 HTML 文档。该文档不需要拷贝到硬盘中，读者可以直接在光盘上阅读此文档。

在 lab 目录包含用于实验的 ICC11 和 ICC12 软件。

在 Hiware 目录中包含 Hiware 6805/6808/6811/6812 C/C++ 编译器。该限制版可用于开发函数数量少于 10 个、目标代码小于 1000 字节的小程序。Hiware 软件在使用之前必须先安装。

致谢

本书是许多人共同努力的结果。首先，我想感谢许多与我一起愉快工作过的出色助教，在这些努力工作、不计报酬的工作者之中包括 Pankaj Bishnoi、Rajeev Sethia、Adson da Rocha、Bao Hua、Raj Randeri、Santosh Jodh、Naresh Bhavaraju、Ashutosh Kulkarni、Bryan Stiles、V. Krishnamurthy、Paul Johnson、Craig Kochis、Sean Askew、George Panayi、Jeehyun Kim、Vikran Godbole、Andres Zambrano 和 Ann Meyer。自从 1981 年我第一次以早期的 Motorola MC6809 为例教授微计算机接口课程时起，我一直梦想编写此书。经过这么多年的风风雨雨，我的助教们一直在为本书的成功做着巨大的贡献，特别是在实验的设计方面。同样，每个学期我的学生们也用他们的热情、奉献和求知欲激励着我。

其次，我要感谢得克萨斯大学奥斯汀分校中我的同事们的宽容精神和专业修养。从我个人的角度，John Pearce 博士在我的教学生涯中一直给予我十分必要的鼓励和支持。还有 John Cogdell 博士和 Francis Bostick 博士协助我进行模拟电路设计，Baxter Womack 博士和 Robert Flake 博士为我提供了关于控制系统的有益资料。本书及其所配的软件包含了许多从数字逻辑实例中抽取出的有限状态机模型，Charles Roth 博士为我做了说明。还要感谢 Jack Lipovski 博士对我的鼓励和支持，旁观者也许会认为 Jack 博士与我在每个问题上都持对立的立场，然而实际上这种友好的竞争让我们可以组织好我们飘忽不定的思想，使得在此过程中所做的每一件事都能做得更好。

最后，我要感谢我的祖父母和父母在品德和信用方面对于我的宝贵教育，更重要的是要感谢全家人给予我的关爱、宽容和支持，特别是我的孩子们，Ben、Dan 和 Liz。

Jonathan W. Valvano

目 录

译者序	
前 言	
第 1 章 基于微计算机的系统	1
1.1 嵌入式计算机系统	1
1.1.1 应用	1
1.1.2 软件问题	4
1.1.3 存储映像体系结构	5
1.2 MC68HC05 体系结构	7
1.2.1 MC68HC705J1A	7
1.2.2 MC68HC05C4	9
1.2.3 MC68HC05 寄存器	9
1.2.4 MC68HC05 寻址模式	10
1.3 MC68HC08 体系结构	13
1.3.1 MC68HC708XL36 介绍	13
1.3.2 MC68HC708XL36 存储映像	14
1.3.3 MC68HC08 寄存器	15
1.3.4 MC68HC08 寻址模式	16
1.4 MC68HC11 体系结构	19
1.4.1 MC68HC11 家族	19
1.4.2 MC68HC11 扩展模式	24
1.4.3 MC68HC11 寄存器	26
1.4.4 MC68HC11 寻址模式	27
1.4.5 MC68HC11 EEPROM 的擦除与 编程	30
1.5 MC68HC12 体系结构	31
1.5.1 MC68HC12 家族	31
1.5.2 MC68HC12 扩展模式	36
1.5.3 MC68HC12 寄存器	37
1.5.4 MC68HC12 寻址模式	38
1.5.5 MC68HC12 EEPROM 的擦除与 编程	43
1.5.6 MC68HC912B32 快 EEPROM 的 擦除与编程	45
1.6 数字逻辑与集电极开路逻辑	46
1.7 初始化和访问 I/O 端口	51
1.7.1 I/O 端口的地址和方向寄存器的 基本概念	51
1.7.2 简单 I/O 软件	56
1.7.3 I/O 示例	59
1.8 微计算机选择	61
1.9 词汇	63
1.10 习题	65
第 2 章 软件开发	71
2.1 高质量的编程	71
2.1.1 定量性能指标	72
2.1.2 定性性能指标	72
2.2 内存分配	72
2.3 自成文档的代码	75
2.4 抽象	78
2.4.1 定义	78
2.4.2 米勒型 FSM	78
2.4.3 摩尔型 FSM	81
2.5 模块化软件开发	82
2.5.1 模块	82
2.5.2 将软件任务划分为模块	86
2.5.3 使用汇编语言开发模块化软件的 规则	89
2.6 层次化软件系统	90
2.7 设备驱动程序	93
2.7.1 设备驱动程序的基本概念	93
2.7.2 串行通信接口设备驱动程序	96
2.8 面向对象接口	100
2.8.1 使用标准 C 封装的对象	100
2.8.2 使用 C++ 的面向对象接口	101
2.8.3 使用标准 C 和 C++ 的可移植性	102
2.9 线程	104
2.9.1 单线程执行	104
2.9.2 多线程和重入	104
2.10 递归	106
2.11 调试策略	106
2.11.1 调试工具	106
2.11.2 调试理论	108
2.11.3 功能调试	109

2.11.4 性能调试	111	队列	183
2.11.5 分析	113	4.3.4 使用索引实现 FIFO 队列	185
2.12 词汇	115	4.3.5 FIFO 的动态特性	188
2.13 习题	117	4.4 6805/6808/6811/6812 中断的一般性质	189
第 3 章 接口方法	119	4.4.1 6805 的中断机制	190
3.1 概述	119	4.4.2 6808 的中断机制	191
3.1.1 性能分析	119	4.4.3 6811 的中断机制	191
3.1.2 软件与 I/O 状态的同步	120	4.4.4 6812 的中断机制	192
3.1.3 各种可用的 I/O 端口	122	4.5 中断向量和优先级	195
3.2 盲周期计数同步	124	4.5.1 MC6805 中断向量和优先级	195
3.2.1 盲周期打印机接口	124	4.5.2 MC68HC708XL36 中断向量和 优先级	196
3.2.2 盲周期 ADC 接口	125	4.5.3 MC68HC11A8 中断向量和 优先级	196
3.3 Gadfly 同步或忙等待同步	125	4.5.4 MC68HC812A4 中断向量和 优先级	198
3.4 并行 I/O 接口示例	127	4.5.5 MC68HC912B32 中断向量和 优先级	199
3.4.1 盲周期打印机接口	128	4.6 外部中断设计方法	200
3.4.2 精确延时	130	4.7 轮询方式与向量中断的比较	202
3.4.3 盲周期 ADC 接口	131	4.8 使用中断的键盘接口	205
3.4.4 使用锁存输入的 Gadfly 同步键盘 接口	133	4.9 使用 IRQ 中断的打印机接口	208
3.4.5 使用简单输入的 Gadfly 同步 ADC 接口	135	4.10 使用 XIRQ 同步的电源系统接口	213
3.4.6 使用输入握手的 Gadfly 同步外部 传感器接口	137	4.11 使用链表的中断轮询	215
3.4.7 使用输出握手的 Gadfly 同步打印机 接口	140	4.11.1 使用链表的 6811 中断轮询	216
3.4.8 温度传感器的 Gadfly 同步串行 接口	142	4.11.2 使用链表的 6812 中断轮询	217
3.5 词汇	156	4.12 使用中断请求线实现的固定优先级	219
3.6 习题	157	4.13 使用 XIRQ 实现的固定优先级	220
第 4 章 中断同步	165	4.14 循环轮询	220
4.1 中断的概念	165	4.15 周期轮询	222
4.1.1 中断的定义	165	4.15.1 使用 6811 STRA 的实时中断	222
4.1.2 中断服务程序	167	4.15.2 6811 RTI	223
4.1.3 何时使用中断	167	4.15.3 6812 RTI	224
4.1.4 中断线程间的通信	168	4.15.4 6812 定时器溢出中断	225
4.2 可重入程序	172	4.16 词汇	227
4.3 先进先出队列	178	4.17 习题	228
4.3.1 FIFO 简介	178	第 5 章 线程	233
4.3.2 使用双指针实现 FIFO 队列	179	5.1 多线程抢占式调度器	233
4.3.3 使用双指针/计数器实现 FIFO		5.1.1 循环调度器	234
		5.1.2 其他调度算法	238
		5.1.3 线程的动态分配	239
		5.2 信号量	239

5.2.1 自旋锁信号量实现·····	239	分线路·····	314
5.2.2 阻塞信号量的实现·····	241	7.3.1 RS422 输出规范·····	316
5.3 信号量的应用·····	244	7.3.2 RS422 输入规范·····	317
5.3.1 线程同步或同步点·····	244	7.3.3 RS485 半双工信道·····	317
5.3.2 资源共享、不可重入代码或互斥·····	244	7.4 其他通信协议·····	318
5.3.3 两个线程间使用邮箱进行线程通信·····	245	7.4.1 电流环路信道·····	318
5.3.4 多个线程使用 FIFO 队列进行线程通信·····	245	7.4.2 调制解调器简介·····	318
5.4 词汇·····	246	7.4.3 光纤信道·····	319
5.5 习题·····	247	7.4.4 数字逻辑信道·····	319
第 6 章 时钟生成和测量·····	249	7.5 串行通信接口·····	319
6.1 输入捕获·····	249	7.5.1 异步模式传送·····	320
6.1.1 输入捕获的基本原则·····	249	7.5.2 异步模式接收·····	321
6.1.2 输入捕获详解·····	250	7.5.3 MC68HC05C8 SCI 详解·····	323
6.1.3 使用输入捕获实现实时中断·····	257	7.5.4 MC68HC708XL36 SCI 详解·····	326
6.1.4 周期测量·····	260	7.5.5 MC68HC11A8 SCI 详解·····	330
6.1.5 脉冲宽度测量·····	269	7.5.6 MC68H812A4 SCI 详解·····	332
6.2 输出比较·····	275	7.6 SCI 应用·····	337
6.2.1 一般概念·····	275	7.6.1 SCI 硬件接口·····	337
6.2.2 输出比较详解·····	276	7.6.2 仅用于 SCI 接收的中断接口·····	339
6.2.3 使用输出比较进行周期性中断·····	281	7.6.3 仅用于 SCI 发送的中断接口·····	341
6.2.4 方波的产生·····	284	7.6.4 SCI 的输入和输出中断·····	341
6.2.5 脉宽调制·····	287	7.6.5 串口打印机接口·····	343
6.2.6 延迟脉冲的产生·····	290	7.7 使用 SPI 的同步发送和接收·····	347
6.3 频率测量·····	291	7.7.1 SPI 基础·····	347
6.3.1 频率测量的概念·····	291	7.7.2 MC68HC05C8 SPI 详解·····	350
6.3.2 分辨率为 100 Hz 的频率测量·····	291	7.7.3 MC68HC708XL36 SPI 详解·····	351
6.4 频率和周期之间的转换·····	293	7.7.4 6811 SPI 详解·····	352
6.4.1 使用周期测量来计算频率·····	293	7.7.5 6812 SPI 详解·····	353
6.4.2 使用频率测量来计算周期·····	294	7.7.6 SPI 应用·····	356
6.5 同时使用输入捕获和输出比较的测量·····	294	7.8 词汇·····	363
6.5.1 Δp 为 1 ms 的周期测量·····	294	7.9 习题·····	364
6.5.2 Δf 为 0.1 Hz 的频率测量·····	297	第 8 章 并行端口接口·····	367
6.6 词汇·····	300	8.1 输入开关和键盘·····	367
6.7 习题·····	301	8.1.1 开关与计算机的接口·····	367
第 7 章 串行 I/O 设备·····	307	8.1.2 使用电容的硬件消抖·····	368
7.1 引言与定义·····	307	8.1.3 软件消抖·····	371
7.2 RS232 规范·····	312	8.1.4 多个按键接口的基本方法·····	377
7.3 RS422/AppleTalk/RS423/RS485 平衡差		8.1.5 16 键的电子琴·····	378
		8.1.6 4×4 扫描键盘·····	382
		8.1.7 多路复用/多路分解扫描式键盘·····	385
		8.2 输出 LED·····	387
		8.2.1 单个 LED 接口·····	388

8.2.2 7 段 LED 接口	391	9.3.1 有效时间区间和请求时间区间	442
8.2.3 扫描式 7 段 LED 连接	391	9.3.2 时序图	444
8.2.4 使用 7447 7 段式译码器的扫描 LED 接口	393	9.4 一般的存储器总线时序	445
8.2.5 使用 MC14489 显示驱动器的集成 LED 接口	395	9.4.1 同步总线时序	445
8.3 液晶显示	397	9.4.2 部分异步总线时序	446
8.3.1 LCD 基础知识	397	9.4.3 全异步总线时序	447
8.3.2 使用 MC14543 的简单 LCD 接口	398	9.5 外部总线时序	448
8.3.3 使用 MC145000 和 MC145001 的 扫描 LCD 接口	399	9.5.1 同步和非同步信号	448
8.3.4 使用 HD44780 控制器的并口 LCD 接口	403	9.5.2 Motorola MC68HC11A8 外部总线 时序	449
8.4 用于实现计算机控制的电流开关的 晶体管	405	9.5.3 Motorola MC68HC812A4 外部总线 时序	452
8.5 计算机控制的继电器、螺线管和直流 电动机	406	9.5.4 Motorola MC68HC912B32 外部总线 时序	456
8.5.1 继电器简介	406	9.6 接口的一般方法	460
8.5.2 电磁继电器基础	408	9.6.1 6811 的接口设计	460
8.5.3 弹簧继电器	409	9.6.2 在扩展窄模式下的 6812 接口 设计	461
8.5.4 螺线管	410	9.6.3 在扩展宽模式下的 6812 接口 设计	461
8.5.5 脉宽调制直流电动机	411	9.7 存储器接口设计举例	463
8.5.6 电磁继电器、螺线管和直流电动机 的接口	411	9.7.1 32K PROM 接口设计	463
8.5.7 固态继电器	414	9.7.2 8K RAM 接口	468
8.6 步进电机	415	9.7.3 32K 16 位 PROM 与 MC68HC812A4 的接口	479
8.6.1 步进电机示例	416	9.7.4 16 位 8K RAM 的接口	481
8.6.2 基本操作	420	9.7.5 扩展的地址数据页与 MC68HC812A4 的接口	483
8.6.3 步进电机硬件接口	424	9.7.6 扩展地址程序页与 MC68HC812A4 的接口	484
8.6.4 步进电机轴编码器	426	9.8 动态 RAM (DRAM)	487
8.7 词汇	427	9.9 词汇	488
8.8 习题	428	9.10 习题	489
第 9 章 存储器接口	432	第 10 章 高速 I/O 接口	497
9.1 简介	432	10.1 速度需求	497
9.2 地址译码	434	10.2 高速 I/O 应用	498
9.2.1 全译码方式	435	10.2.1 存储设备	498
9.2.2 最小代价译码	437	10.2.2 高速数据采集	498
9.2.3 地址译码中的一些特殊情况	438	10.2.3 视频显示	499
9.2.4 灵活的全地址译码器	440	10.2.4 高速信号生成	499
9.2.5 MC68HC812A4 上集成的地址 译码器	441	10.2.5 网络通信	500
9.3 时序关系表示的语法	442	10.3 高速接口的一般方法	500

10.3.1 硬件 FIFO	500	11.4.1 DAC 的参数	536
10.3.2 双端口存储器	500	11.4.2 使用求和放大器实现 DAC	538
10.3.3 分体切换存储器	501	11.4.3 R-2R 梯形 3 位 DAC	539
10.4 DMA 的基本原理	501	11.4.4 采用 DAC8043 的 12 位 DAC	542
10.4.1 DMA 周期	502	11.4.5 DAC 器件的选择	542
10.4.2 DMA 初始化	502	11.4.6 DAC 波形发生器	545
10.4.3 突发方式与周期窃取 DMA	502	11.5 模拟数字转换	548
10.4.4 单地址与双地址 DMA	503	11.5.1 ADC 的参数	548
10.4.5 DMA 编程	505	11.5.2 2 位快速 ADC	549
10.5 MC68HC708XL36 举例	505	11.5.3 8 位斜坡 ADC	550
10.5.1 DMA I/O 寄存器	505	11.5.4 逐次逼近 ADC	550
10.5.2 存储器到存储器的块传送	508	11.5.5 实现 ADC 的软件算法	551
10.5.3 SCI 发送	509	11.5.6 16 位双斜率 ADC	553
10.5.4 SPI 接收	509	11.5.7 $\Sigma\Delta$ ADC	555
10.5.5 简单波形生成	510	11.5.8 ADC 接口	556
10.6 词汇	511	11.6 采样与保持	556
10.7 习题	512	11.7 双极型场效应管模拟多路选择器	557
第 11 章 模拟接口	514	11.8 ADC 系统	559
11.1 电阻与电容	514	11.8.1 ADC 系统框图	559
11.1.1 电阻	514	11.8.2 ADC 系统的电源与接地	560
11.1.2 电容	515	11.8.3 高速 CMOS 模拟输入端的输入 保护	560
11.2 运算放大器 (运放)	516	11.9 多访问循环队列	562
11.2.1 晶体管模型	516	11.10 内部 ADC 模块	563
11.2.2 理想运算放大器	517	11.10.1 6805 的 ADC 系统	563
11.2.3 真实运算放大器模型	517	11.10.2 6808 的 ADC 系统	564
11.2.4 运算放大器的类型	521	11.10.3 6811 的 ADC 系统	566
11.2.5 饱和属性	521	11.10.4 6812 的 ADC 系统	567
11.2.6 线性运算放大器电路的基本 规则	522	11.10.5 ADC 软件	571
11.2.7 运算放大器电路的线性模式	524	11.11 词汇	573
11.2.8 偏置补偿运算放大器电路	528	11.12 习题	574
11.2.9 高增益运算放大器电路	529	第 12 章 数据采集系统	577
11.2.10 电流电压转换电路	530	12.1 概述	577
11.2.11 电压电流转换电路	530	12.1.1 准确度	580
11.2.12 积分电路	530	12.1.2 分辨率	580
11.2.13 微分电路	531	12.1.3 精度	581
11.2.14 滞后电压比较器	531	12.1.4 可再生性或可重复性	581
11.3 模拟滤波器	532	12.2 传感器	582
11.3.1 简单的滤波器	532	12.2.1 传感器的静态指标	582
11.3.2 巴特沃思滤波器	533	12.2.2 传感器的动态指标	585
11.3.3 带通和带阻滤波器	535	12.2.3 非线性传感器	585
11.4 数模转换	536	12.2.4 位置传感器	586