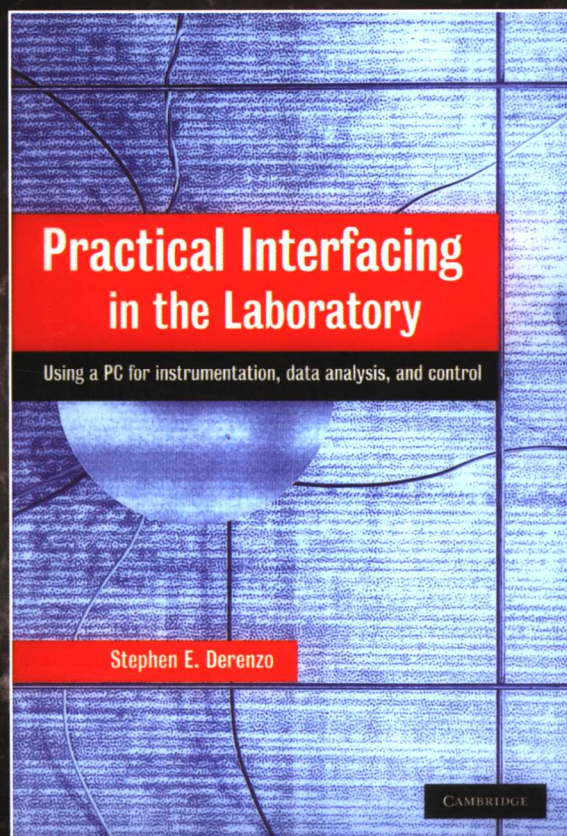


计 算 机 科 学 丛 书

微机接口技术 实验教程

(美) Stephen E. Derenzo 著 蔡梅琳 伍钦 罗晃华 伍拓琦 等译



Practical Interfacing in the Laboratory
Using a PC for Instrumentation, Data Analysis, and Control

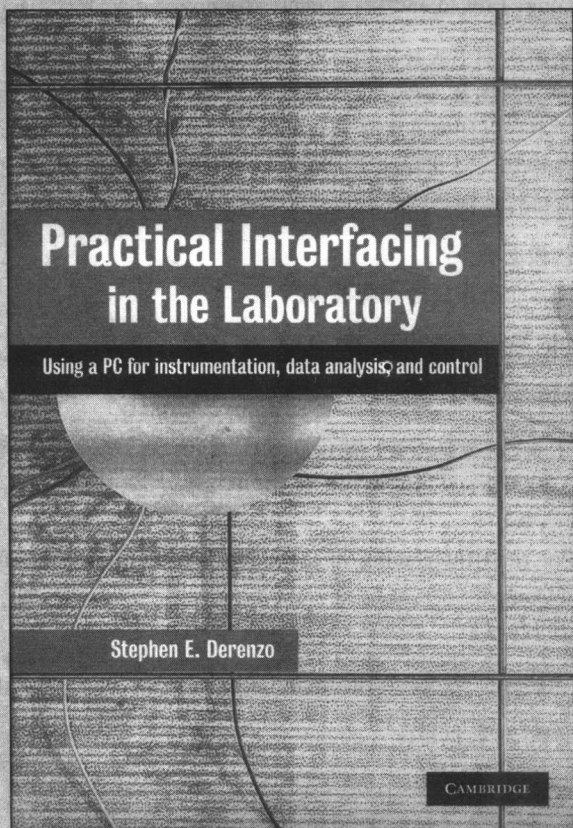


机械工业出版社
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛 书

微机接口技术 实验教程

(美) Stephen E. Derenzo 著 蔡梅琳 伍钦 罗晃华 伍拓琦 等译



Practical Interfacing in the Laboratory
Using a PC for Instrumentation, Data Analysis, and Control



机械工业出版社
China Machine Press

本书详细介绍如何使用通用微型计算机实现数据检测、分析、处理和控制在多个领域的专业技术知识,如计算机接口技术、计算机编程、电子电路、数字信号处理、流体力学等。本书不仅包括大量实验,讲解基本知识,而且包括大量习题,清晰地解释了如何设计电子电路和编写计算机程序去检测、分析和显示实际的物理量,如位移、温度、力、声音、光,甚至生物学和医学上的电势等。

本书既可以用作大学相关专业的实验教材或参考书,也可供相关专业技术人员参考。

Stephen E. Derenzo: Practical Interfacing in the Laboratory: Using a PC for Instrumentation, Data Analysis, and Control (ISBN: 0-521-81527-4).

Originally published by Cambridge University Press in 2003.

This Chinese edition is published with the permission of the Syndicate of the Press of the University of Cambridge, Cambridge, England.

Copyright © 2003 by Cambridge University Press.

This edition is licensed for distribution and sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Taiwan and Macao and may not be distributed and sold elsewhere.

本书原版由剑桥大学出版社出版。

本书简体字中文版由英国剑桥大学出版社授权机械工业出版社独家出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、台湾、澳门地区)销售发行,未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。

版权所有,侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号:图字:01-2003-6963

图书在版编目(CIP)数据

微机接口技术实验教程/(美)德伦左(Derenzo, S. E.)著;蔡梅琳等译.-北京:机械工业出版社,2006.4

(计算机科学丛书)

书名原文:Practical Interfacing in the Laboratory: Using a PC for Instrumentation, Data Analysis, and Control

ISBN 7-111-17776-2

I. 微… II. ①德… ②蔡… III. 微型计算机-接口-实验-教材 IV. TP364.7-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第127465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:吴 怡

北京北制版印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2006年4月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·29.25印张

定价:56.00元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换

本社购书热线:(010) 68326294

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭橥了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短、从业人员较少的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章图文信息有限公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，华章公司就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过几年的不懈努力，我们与Prentice Hall, Addison-Wesley, McGraw-Hill, Morgan Kaufmann等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从它们现有的数百种教材中甄选出Tanenbaum, Stroustrup, Kernighan, Jim Gray等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及度藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍，为进一步推广与发展打下了坚实的基础。

随着学科建设的初步完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都步入一个新的阶段。为此，华章公司将加大引进教材的力度，在“华章教育”的总规划之下出版三个系列的计算机教材：除“计算机科学丛书”之外，对影印版的教材，则单独开辟出“经典原版书库”；同时，引进全美通行的教学辅导书“Schaum's Outlines”系列组成“全美经典学习指导系列”。为了保证这三套丛书的权威性，同时也为了更好地为学校和老师服务，华章公司聘请了中国科学院、北京大学、清华大学、国防科技大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科技大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、中国人民大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、中山大学、解放军理工大学、郑州大学、湖北工学院、中国国家信息安全测评认证中心等国内重点大学和科研机构在计算机的各个领域的著名学者组成“专家指导委员会”，为我们提供选题意见和出版监督。

这三套丛书是响应教育部提出的使用外版教材的号召，为国内高校的计算机及相关专业的教学度身订造的。其中许多教材均已为M. I. T., Stanford, U.C. Berkeley, C. M. U. 等世界名牌大学所采用。不仅涵盖了程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等国内大学计算机专业普遍开设的核心课程，而且各具特色——有的出自语言设计者之手、有的历经三十年而不衰、有的已被全世界的几百所高校采用。在这些圆熟通博的名师大作的指引之下，读者必将在计算机科学的宫殿中由登堂而入室。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证，但我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。教材的出版只是我们的后续服务的起点。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方法如下：

电子邮件: hzjsj@hzbook.com

联系电话: (010) 68995264

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037

专家指导委员会

(按姓氏笔画顺序)

尤晋元
石教英
张立昂
邵维忠
周克定
郑国梁
高传善
裘宗燕

王 珊
吕 建
李伟琴
陆丽娜
周傲英
施伯乐
梅 宏
戴 葵

冯博琴
孙玉芳
李师贤
陆鑫达
孟小峰
钟玉琢
程 旭

史忠植
吴世忠
李建中
陈向群
岳丽华
唐世渭
程时端

史美林
吴时霖
杨冬青
周伯生
范 明
袁崇义
谢希仁

译者序

随着科技的飞速发展,计算机性能不断提高,计算机的尺寸和价格不断下降,这就使得用通用计算机做自动检测和控制的市场越来越大。本书详细介绍如何使用通用计算机实现数据检测、分析、处理和控制。本书既可以作为大学有关课程(计算机接口技术、电子电路、传感器和执行器、数字信号处理、自动检测技术、计算机控制、控制系统抗干扰技术、生物工程学、物理化学、电化学、流体力学与传热、化工过程控制原理与仪表、热工测量与仪表等)的实验教材或实验参考书,也可以供相关领域内的专业工程技术人员和研究人员实际使用中参考。书中提供了计算机接口技术在自动检测与控制、物理、机械、电化学、分析化学、流体力学、热能工程、医学、考古等领域的应用实例,包括计算机程序、完整的电路图表和元器件列表。

本书的英文原著作者Stephen E. Derenzo是美国加州大学伯克利分校电子工程学和计算机科学系教授、Lawrence伯克利国际实验室的资深科学家。他为学生讲授电子电路、电子传感器和微机接口技术15年余,这本书就是他从这些课程的教授中总结出来的教学经验的结晶。

本书译者在翻译时对书中若干处明显的错误做了修改和更正,因时间紧张,未来得及联系和征求原著作者的意见。

蔡梅琳组织并参加了本书的翻译和审校工作。蔡梅琳翻译了第1、2、3章、目录、索引,伍拓琦翻译了第5章和第4章的实验练习,罗晃华翻译了第4章的正文,蔡梅琳、伍钦、李艳斌翻译了术语表,伍钦翻译了序、书和作者介绍、致谢等,张今宁、田丹翻译了附录,曾淑勤等参与了部分实验练习翻译。全书的最后审校和修改由蔡梅琳、伍钦完成(罗晃华参与了部分校改)。

限于译者的水平,译文中难免有疏漏和错误,敬请读者批评指正。

蔡梅琳

2006年1月16日于华南理工大学

前言

本书从实用角度介绍了如何用微型计算机来测量实际的物理量，如温度、力、声音、光等，从而迅速地分析、处理数据，显示处理结果，或者利用结果来执行控制功能。本书供相关领域内的工程技术人员与研究人员阅读，也可作为电子传感器和微型计算机接口课程的大学生实验教材。

我们的方法是充分利用微型计算机的价格相对便宜的优势。这些微型计算机有足够强的功能支持高速的并行输入/输出端口、数据采集电路板、图形操作系统、高级程序设计语言以及快速的双精度计算。本书从实用角度阐述问题，并用非常经济有效的方式解决在数据采集、分析、显示和控制方面问题，而且不涉及总线协议和特殊的微处理器本机语言（native language）。

本书包括5章，内容涵盖数字工具、模拟工具、模拟信号和数字信号的转换、传感器和执行器，以及数据分析与控制。还有27个实验练习，可用作大学程度的实验课程；或作为实际案例，供希望将传感器、初级放大和微型计算机原理直接用于实际工作中的工程技术人员和研究人员参考。

本书内容主要是为美国加州大学伯克利分校电子工程系和计算机科学系两门一学期的实验课程而设计的，两门课程是EECS 145L：“电子传感器实验”和EECS 145M：“微型计算机接口实验”。这两门课程的目的是让高年级本科生掌握如何检测和控制实际的物理量，如温度、力，而且将“实时”分析的结果显示出来，如最小平方拟合、“学生”*t*检测、快速傅里叶变换、数字滤波等。这要求学生模拟电路、数字电路、微积分、线性代数、C语言程序设计有基本的了解。

数年来，我们在实验室使用了不同的微型计算机系统，并且在实验练习中，将系统尽可能地设计成独立于测控对象。对所用到的特定的计数器/定时器、并行I/O接口、数据采集板，提供专门介绍（如附录E和F）。最新的技术进展是对C语言调用驱动程序的软件支持，这使得在Windows NT环境下，对单个字和数据块的采集和传输变得相对容易。

由于C语言适用于几乎所有的微型计算机，而且非常适合于数据采集、分析与控制，因此本书采用了C编程语言。C语言提供了字和字节的输入/输出、位处理功能，并具有功能强大的条件分支和数据结构，对于整数和浮点数其精度和比特长度都有较大的选择范围，且执行速度快。

第1章“数字工具”，简要介绍了微型计算机的总体结构、二进制和二进制补码数字系统、以及需要执行的数据采集和控制，例如数字定时器、锁存器、寄存器、三态缓冲器，以及并行输入/输出接口。然后介绍若干数据采集过程的数字和控制方面，并讨论各类应用所需要的握手电平。

实验练习1介绍了Windows NT操作系统、C语言编译器/编辑器，以及将二进制位模式解释作为数字量的许多方式。实验练习2是使用微处理计时器测量人类反应时间的一个例子，实验练习3是介绍并行输入/输出接口、读出一组开关的数据和控制灯。

第2章“模拟工具”，包括：常用的运算放大器电路、对传感器信号进行初级差分放大的

测量放大器、噪声源，以及用来提高信噪比的模拟信号的处理。还介绍可以驱动执行器的B类功率放大器。

实验练习4和实验练习5研究运算放大器电路、测量放大器、差分放大以及噪声源，还包括电磁干扰。实验练习6研究使用运算放大器的模拟信号处理，包括有源高通滤波器、低通滤波器以及陷波滤波器。

第3章“模/数转换、数/模转换以及采样”，包含需要执行数据采集与控制的数据转换器件，如D/A转换器和A/D转换器、采样和保持放大器、比较器。还介绍常用的数据采样方法，以及因不适当采样导致的频率混叠现象的概念（关于在傅里叶域的混叠现象将在第5章提到）。第3章编录和介绍了一些商业上可用的电路板。

对于那些没有做实验练习8和实验练习9的学生，实验练习7使用一个商用的模拟输入/输出板，提供了关于A/D转换和D/A转换的概念。有关模拟量和数字量之间的转换，将在实验练习8和实验练习9中通过使用A/D转换和D/A转换集成电路芯片进行探讨。实验练习8涉及将一个D/A转换器连接到一个并行输入端口和波形产生的知识。实验练习9是通过使用硬件“选通脉冲”与“数据就绪”及“数据有效”的握手协议，将A/D转换器连接到一个并行输出端口。实验练习10使用一个商用的数据采集板，对波形进行周期性采样，并且论证了在时间域内频率混叠的概念。

第4章“传感器和执行器”，涵盖传感器（在许多数据采集系统中的第一个元件）、传感器检测到的实际量、传感器产生信号（和噪声）的性质、执行器（在控制系统中的基本元件）。

实验练习11到实验练习14是研究用于测量位置、温度、张力、力和光的电子传感器。实验练习15探究热电势问题。实验练习16研究了关于裸金属和银（氯化银）电极的交流电和直流电的电性质。实验练习17到实验练习19研究心脏、骨骼肌肉和眼睛的生理学信号。

第5章“数据分析与控制”，涵盖了数据分析，包括统计分析；“学生” t 检验；最小平方拟合和 χ^2 拟合；连续的、离散的和快速的傅里叶变换，以及用于控制实际量的某些运算法则。

实验练习20研究：对于模拟信号储存的模拟信号到数字信号的转换，对于那些信号恢复成模拟信号的数字信号到模拟信号的转换，以及决定了信号恢复精度的最小平方拟合。实验练习21涉及正弦波、方波和三角波的采样及其快速傅里叶变换（FFT）的计算。实验练习22是这些技术用在对人类声音的采样和快速傅里叶变换。实验练习23是将模拟信号与实时数字滤波进行比较，而实验练习24则是演示微型计算机如何测量线性的、不随时间变化的系统的冲激响应，以及如何使用快速傅里叶变换技术去确定数字滤波器，当系统的频率响应满足一定的要求时，这种数字滤波器能够补偿由于系统引起的信号失真。实验练习25提供了模拟温度信号的检测和控制。实验练习26是通过使用电阻加热器和若干的运算法则，使用计算机进行数字温度检测和控制。实验练习27与实验练习26相类似，只是使用了热电势，这里用的热电势能够灵活地加热和制冷。一个基本的元器件是LM12功率运算放大器。

在若干实验练习中，搭建和检测了许多相关的电路。在这些实验练习的开始部分都列出了器件清单，包括要求学生进入实验室之前需要他们搭建的所有电路所需要的所有元器件。由于实验练习时间通常是非常有限的，这种方法比仅给学生提供实验时需要的最少量元器件，而且在实验练习期间让他们在开始下一个实验前要先拆除上一个电路的做法要好。

每一章都设有期中考试和期末考试将涉及的问题。

附录A提供一些物理和电子的单位和常量，可供各章习题练习中参考。附录B讨论误差传

播的问题以及电子屏蔽和接地。附录C总结了在C编程中一些有价值的提示。附录D提供了C语言代码清单和一些数值方法的流程图，包括快速傅里叶变换、非线性函数的最小化（用于数值的曲线拟合）、用于自适应正交的数值积分以及使用牛顿方法和二次逼近的函数反演。作为一个例子，本书给出了一个程序，用以计算超出“学生” t 的概率。

附录E介绍需要使用数据传输DT3010 PCI插板的硬件和软件，附录F介绍如何使用HP VEE去记录数字示波器上的波形。附录G讨论电的危害和预防的方法。附录H列出标准的电阻器和电容器的值，以及给出电阻器的颜色编码。附录I列出ASCII字符码。最后列出本书使用到的术语。

致教师

尽管整本书是用于全年课程的，但把它作为一个学期的课程也是可以的，在伯克利，我们是这样做的。

关于数字接口、数据分析和控制的一个学期课程可以包括第1、3、5章和实验练习1~3、8~10、20~24、26、27。

关于传感器、初级放大和模拟信号处理的一个学期课程可以包括第2、4章和实验练习4~6、11~19。第5章的一部分和实验习题25将提供模拟控制的介绍。

关于生物工程学的一个学期课程可以根据需要选讲第2、4、5章和实验练习2、4~7、11~19、20~22，实验可选做。

想对这本书作进一步详细了解，请发邮件至solutions@cambridge.org。

致谢

衷心感谢Kenneth Krieg，他是微机接口实验EECS 145M课程的始创人之一，几年来一直是我的教学同事，他为多数实验练习做了非常重要的贡献！同时我还要感谢许多助教和学生，他们也为实验练习的改进做出了贡献！

在这里我还要非常感谢几位专家：Ted Lewis教授，本书第4章就是来自他的EECS 145A课程“传感器、执行器和电极”；Thomas Budinger博士，本书第5章就是来自他的EECS 145B课程“计算机在生物医学上的应用”。一些实验练习来自EECS 182课程“生物信号和传感器”，这些都是Ted Lewis教授和Ed Keller教授（20世纪70年代）在伯克利研究出来的，我衷心地感激他们。另外，我还要感谢John Cahoon、Matt Ho 和William Moses，他们为电路设计提出了很多建议，还有Ronald Huesman和Gerald Lynch也为统计分析和拟合提出了建议，Orin Dahl为伪随机数字发生器提出过建议。

目 录

出版者的话	
专家指导委员会	
译者序	
前言	
第1章 数字工具	1
1.1 概述	1
1.2 微型计算机	2
1.3 数字系统	3
1.3.1 二进制数的表示	3
1.3.2 格雷码	5
1.4 数字构件	6
1.4.1 三态缓冲器	7
1.4.2 边缘触发式D型触发器	8
1.4.3 透明锁存器	8
1.4.4 单稳态触发器	9
1.4.5 与门、或门和异或门	9
1.4.6 置位/复位锁存器	10
1.5 数字计数器/定时器	10
1.5.1 数字计数器/定时器的应用	11
1.5.2 8253可编程定时器	11
1.5.3 AM9513 系统定时控制器	12
1.6 并行和串行输入/输出端口	14
1.6.1 握手	15
1.6.2 并行输出端口	16
1.6.3 并行输入端口	19
1.7 数字数据采集过程	22
1.7.1 软件触发状态轮询法	22
1.7.2 硬件触发状态轮询法	23
1.7.3 硬件触发硬件中断法	24
1.7.4 硬件触发直接存储器存取法	24
1.7.5 嵌入式处理器方法	25
1.8 去除开关抖动	25
1.8.1 交叉耦合与非门	26
1.8.2 单稳态触发器	26
1.8.3 软件去抖动	26
1.9 数字接口标准	26
1.9.1 RS-232C	27
1.9.2 RS-422和RS-423	30
1.9.3 RS-485	31
1.9.4 IEEE-488	31
1.9.5 VME总线	33
1.9.6 小型计算机标准接口	34
1.9.7 通用串行总线	34
1.9.8 IEEE-1394	34
1.9.9 ISDN、ADSL和互联网电缆连接	34
1.9.10 各种数字接口标准的相互比较	34
1.10 习题	35
1.11 参考阅读资料	40
实验练习1 C语言程序设计简介	41
实验练习2 测量事件次数	45
实验练习3 数字接口: 开关和灯	50
第2章 模拟工具	57
2.1 概述	57
2.2 运算放大器电路	57
2.2.1 反向放大器	58
2.2.2 同相放大器	59
2.2.3 差动放大器	60
2.2.4 电压跟随器	60
2.2.5 电流-电压转换器	60
2.2.6 求和放大器	61
2.2.7 全波整流器	61
2.2.8 峰值检波器	63
2.2.9 曲线整形放大器	63
2.3 运算放大器特性	63
2.3.1 输入偏移电压和输出偏移电压	63
2.3.2 运算放大器的动态响应	65
2.3.3 具有负反馈的动态响应	66

2.3.4 RC时间常数、上升时间、和带宽 之间的关系	66	3.3.6 逐次逼近式A/D转换器	122
2.4 测量放大器与隔离放大器	67	3.3.7 快速A/D转换器	123
2.4.1 测量放大器	67	3.3.8 分段快速A/D转换器	124
2.4.2 隔离放大器	70	3.3.9 1位重复采样西格马-德尔塔 ($\Sigma - \Delta$) A/D转换器	125
2.5 噪声源	71	3.3.10 常用的A/D转换器	126
2.5.1 约翰逊噪声	71	3.4 采样/保持放大器	126
2.5.2 散射噪声	71	3.4.1 采样模式	126
2.5.3 放大器噪声	72	3.4.2 保持模式	127
2.5.4 电干扰	72	3.4.3 采样/保持转换	128
2.5.5 不适当的接地	73	3.4.4 保持/采样转换	129
2.6 模拟滤波	73	3.4.5 采样/保持放大器的作用	130
2.6.1 简易无源滤波器	75	3.4.6 用采样/保持放大器消除D/A 转换器的尖峰脉冲	130
2.6.2 计算运放滤波器的伯德图	78	3.5 模拟波形采样	131
2.6.3 单极点低通滤波器	78	3.5.1 软件控制的采样	131
2.6.4 高通单极点滤波器	79	3.5.2 硬件控制的DMA采样	131
2.6.5 陷波滤波器	80	3.5.3 使用数据采集子系统的采样	131
2.6.6 高阶低通滤波器	81	3.5.4 脉冲幅度分析	132
2.6.7 高阶高通滤波器	86	3.6 频率混叠	133
2.7 功率放大器	87	3.7 常用的数据采集系统	135
2.8 习题	87	3.7.1 HP 54501A	135
2.9 参考阅读资料	94	3.7.2 几种特殊用途的外部数据采 集系统	136
实验练习4 运算放大器	95	3.7.3 接口软件	136
实验练习5 测量放大器	100	3.8 习题	136
实验练习6 模拟滤波器	106	3.9 参考阅读资料	145
第3章 数/模转换、模/数转换 以及采样	111	实验练习7 A/D和D/A转换简介	146
3.1 概述	111	实验练习8 D/A转换和波形产生	150
3.2 数/模转换电路	111	实验练习9 A/D转换与周期采样	155
3.2.1 D/A转换器的特性	111	实验练习10 频率混叠	161
3.2.2 使用加权加法器的D/A转换器	113	第4章 传感器和执行器	165
3.2.3 运用R-2R电阻梯形网络的D/A 转换器	115	4.1 概述	165
3.2.4 分段D/A转换器	116	4.2 位置传感器与角度传感器	166
3.3 模/数转换器电路	117	4.2.1 电位计	166
3.3.1 A/D转换器的特性	117	4.2.2 数字编码器	168
3.3.2 A/D转换和D/A转换之间的关系	119	4.2.3 步进电机	169
3.3.3 比较器	119	4.3 温度传感器	170
3.3.4 跟踪式A/D转换器	120	4.3.1 温度标准	171
3.3.5 积分式A/D转换器	121	4.3.2 铂电阻温度计	172

4.3.3 双金属开关和表盘式温度计	172	4.10.2 现代的时间测量方法	201
4.3.4 热电偶	173	4.11 习题	201
4.3.5 热敏电阻器	179	4.12 参考阅读资料	214
4.3.6 固态温度传感器	182	实验练习11 测量角度位置	216
4.3.7 热电偶参考结点的自动补偿 (电子“冰点”)	183	实验练习12 测量温度	220
4.3.8 红外线温度传感器	183	实验练习13 测量应变和力	224
4.3.9 温度传感器小结	183	实验练习14 用光电二极管测量光	228
4.4 应变敏感元件	184	实验练习15 热电热泵	233
4.5 力传感器和压力传感器	185	实验练习16 电极与离子介质	238
4.5.1 力传感器	185	实验练习17 人的心脏	242
4.5.2 压力传感器	187	实验练习18 肌动电流图	250
4.5.3 压电传感器	187	实验练习19 眼动电流图	256
4.5.4 真空传感器和真空泵	188	第5章 数据分析与控制	261
4.6 测量光	189	5.1 概述	261
4.6.1 硅光电二极管	189	5.2 高斯误差分布	261
4.6.2 郎伯-比尔定律	193	5.2.1 相同量的重复测量	261
4.6.3 固态光电探测器小结	193	5.2.2 估计样本均值和标准差	264
4.6.4 真空光电倍增管	193	5.2.3 估计均值的标准误差	265
4.7 产生可见光	194	5.2.4 估计标准差的标准误差	265
4.7.1 白炽光	194	5.3 使用“学生” t 检验	266
4.7.2 发光	195	5.3.1 不配对数据	266
4.7.3 发光效率	196	5.3.2 成对数据	267
4.8 离子电势	197	5.3.3 “学生” t 检验的运用	267
4.8.1 离子电势的产生	197	5.3.4 计算超过 $ t $ 的概率	269
4.8.2 裸金属电极	197	5.4 最小平方拟合	270
4.8.3 银/氯化银电极	197	5.4.1 用所测量的数据拟合一条直线	270
4.9 电离辐射的检测与测量	198	5.4.2 用所测量的数据拟合一条曲线	272
4.9.1 电磁波谱	198	5.5 χ^2 统计	273
4.9.2 辐射的应用	198	5.5.1 数据拟合模型中 χ^2 的使用	273
4.9.3 X射线	199	5.5.2 计算超过 χ^2 的概率	275
4.9.4 γ 射线	199	5.6 解非线性方程	276
4.9.5 中子	199	5.6.1 牛顿法解 $f(x)=0$	276
4.9.6 β 射线	199	5.6.2 二次迭代法解 $f(x)=0$	277
4.9.7 α 射线	200	5.6.3 数值最小化	277
4.9.8 放射性同位素	200	5.7 蒙特卡罗模拟	278
4.9.9 辐射探测器	200	5.8 傅里叶变换	280
4.10 测量时间	201	5.8.1 积分傅里叶变换的例子	281
4.10.1 传统的时间测量方法	201	5.8.2 周期波形的傅里叶变换	285
		5.8.3 周期采样时间函数的傅里叶变换	287

5.8.4 有效地使用混叠——采样示波器 …289

5.8.5 截尾时间函数的傅里叶变换 ……291

5.8.6 离散傅里叶变换 ……292

5.8.7 快速傅里叶变换 ……296

5.8.8 快速傅里叶变换函数和开窗术的
应用 ……299

5.8.9 采样系统设计因数的总结 ……303

5.9 数字滤波器 ……304

5.9.1 有限冲激响应滤波器 ……305

5.9.2 无限冲激响应滤波器 ……305

5.9.3 用FIR和IIR滤波器进行离散
傅里叶变换 ……306

5.10 控制技术 ……307

5.10.1 傅里叶控制 ……307

5.10.2 模拟控制 ……308

5.10.3 基于计算机的数字控制 ……308

5.10.4 开环系统响应 ……309

5.10.5 控制算法的性能标准 ……309

5.10.6 温度控制 ……311

5.10.7 开关控制 ……311

5.10.8 比例控制 ……312

5.10.9 比例积分微分控制 ……313

5.11 习题 ……313

5.12 参考阅读资料 ……329

实验练习20 模/数转换器和最小
平方拟合 ……330

实验练习21 样本数据的快速傅里叶
变换 ……333

实验练习22 语音的快速傅里叶变换 ……338

实验练习23 数字滤波 ……346

实验练习24 用傅里叶反卷积和数字滤波
处理补偿问题 ……350

实验练习25 使用电阻加热器的模拟温度
控制 ……356

实验练习26 使用计算机和电阻加热器的
温度控制 ……360

实验练习27 使用计算机和热电热泵的
温度控制 ……365

附录A 接地与屏蔽 ……370

附录B 实验中的不定度 ……373

附录C C语言编程技巧 ……375

附录D 数值方法与C函数 ……381

附录E 数据转换插卡DT3010 PCI简介 ……411

附录F 用数字示波器记录波形 ……415

附录G 电的危险与安全 ……416

附录H 电阻与电容的标准值 ……420

附录I ASCII字符码 ……423

术语表 ……426

第 1 章

数字工具

1.1 概述

过去的几年里，微型计算机及其关联的模拟电路和数字电路的成本大幅下降，性能大大提高，而且使用更加简单。现在，花费相对较少的钱就可以购买一台微型计算机系统，这个系统可以接收数据、迅速分析数据并显示结果，或者控制一个过程。这要归功于集成电路技术的发展，大规模集成电路技术可以将数百万的晶体管、二极管、电阻、电容和导线集成在一片集成电路芯片（integrated circuit chip）上。

微型计算机（微机）通常包括以下一些标准配件：微处理器芯片及其关联电路、随机存取存储器芯片、软盘驱动器、硬盘驱动器、光盘驱动器、键盘、视频显示器、串行接口、打印机，以及诸如鼠标、跟踪球、操纵杆、写字板（bitpad）、触摸屏等的输入设备。然而，数据采集与过程控制需要一些附加构件，比如数字输入/输出（I/O）端口、模拟输入/输出（I/O）端口以及计数器/定时器。模拟输入端口包括模拟多路复用器（multiplexer）、采样与保持（S/H）放大器以及模拟-数字（A/D）转换器。模拟输出端口包括数字-模拟（D/A）转换器。

即使是仅需一块微处理器和少量附加电路的设计，如果在开发阶段使用微机上的资源，也是有很多好处的。这些资源包括程序代码编辑器和编译器、用于存储与处理程序代码和数据文件的操作系统，以及充足的随机存取存储器。

本章讨论若干数字接口概念，它们用在基于微型计算机的数据采集与过程控制系统（图1-1）中，包括并行和串行输入/输出端口、握手、以及数字计数器/定时器。第2章介绍模拟工具（放大器和滤波器）。第3章讨论数字-模拟转换、模拟-数字转换、以及采样。第4章介绍传感器和执行器。

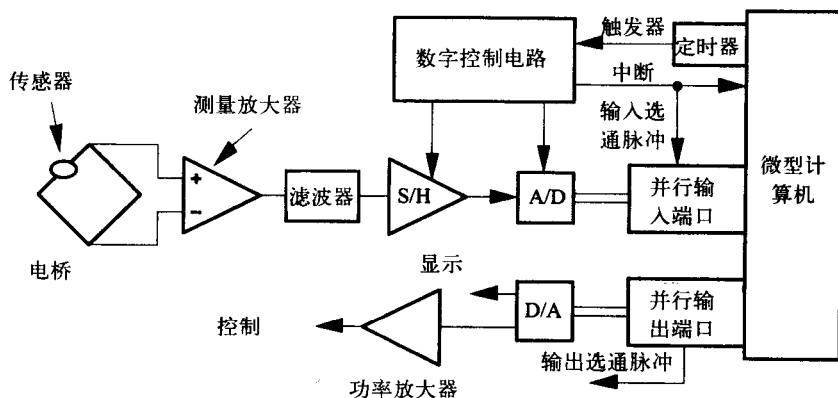


图1-1 连接了传感器和有关的模拟电路的微机系统，用于数据采集、数据分析以及过程控制

1.2 微型计算机

当构建一个用于数据采集与过程控制的系统时，微型计算机（microcomputer，微机）自身就是一个关键的构件（图1-2）。微机应小到可以安置在一张实验台（或桌面）上，而且还应包含下列构件：

1) 微处理器（microprocessor）是一个集成电路，它从内存读取程序指令，然后根据程序指令决定所执行操作的顺序。微处理器通过地址总线、数据总线和若干控制线与内存和外围设备电路相连接。

微处理器的操作包括从内存读取数据和指令、执行计算、执行由计算结果决定的不同的指令、打印数据以及同类似硬盘这样的外围设备交换数据。不同的微处理器在速度和数据处理能力上有很大的差异。

2) 随机存取存储器（Random-access memory, RAM）通常由高速半导体存储芯片组成，这些芯片用于存储和检索程序指令和数据。当微机外部的数据被直接读到RAM时，数据采集达到最高速度，因此，RAM的容量限制了能够被快速采集的数据量。

3) 键盘、视频显示器、打印机、鼠标、操纵杆和跟踪球等普通接口设备。有些系统提供语音输入和人工合成的语音输出。IEEE-1284接口标准包括：标准并行打印机（SPP）端口以及一些其他的增强功能。通用串行总线（USB）是键盘和光标指示器的现行标准。对于更高速的数据传输（例如外部硬件驱动器，数字便携式摄像机，HDTV），IEEE制定了IEEE-1394标准（也称为FireWire或i.Link）。

4) 磁盘存储器（Magnetic disk memory）用于程序和数据的长期保存，由一个或多个表面涂磁的平面电路板组成。对于小的可移动软盘，磁盘容量从500KB到2MB不等；对于硬盘，磁盘容量从1GB到20GB或者更大。访问时间由数十毫秒（读/写头定位目标磁道）的固定延迟和每16位字1μs的典型传输时间组成。

5) 光盘存储器（Optical disk memory）包含CD-ROM盘和DVD-ROM盘。CD-ROM（compact disk-read only memory，光盘只读存储器）和DVD-ROM（digital versatile disk，数字通用盘）驱动器使用光学存储和检索技术，该技术是为音乐制作行业和娱乐业开发的。CD-ROM的容量超过600MB，DVD-ROM的容量约为前者的十倍。CD-ROM和DVD-ROM的直径都是12cm。微机和工作站一般都配有一张CD-ROM，该张CD-ROM上通常包含系统软件和联机文档的备份副本，以代替众多的软盘和数千页的打印文档。CD-W（只写一次）和CD-RW（可重写）以及DVD-RAM（随机存取）技术允许将信息写到这些盘上。

6) 操作系统允许用户操作程序和数据文件，还支持高级编程语言（FORTRAN、Pascal、

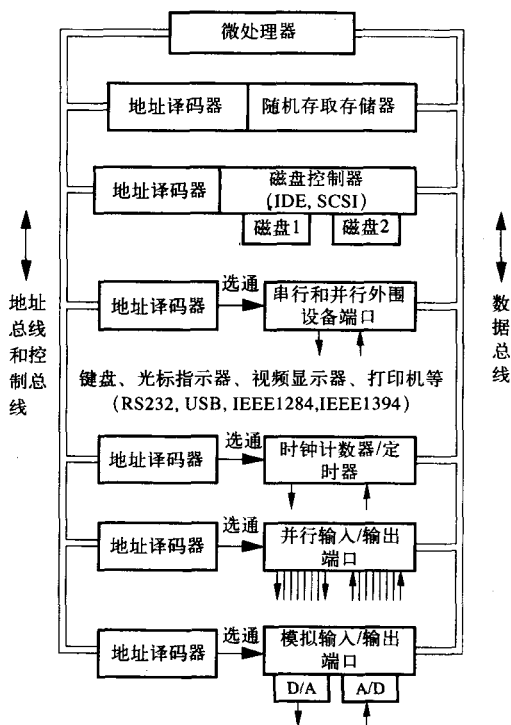


图1-2 微机由通过地址总线、数据总线与内存以及输入/输出设备通信的微处理器构成

C、经过编译的BASIC等)。

7) 编译器 (compiler) 的功能是将高级语言代码翻译成微处理器代码, 微处理器代码能够:

a) 执行数值计算和条件转移。

b) 直接同数据采集与控制电路板或并行I/O端口进行通信 (见下面)。

c) 读写磁盘文件。

编译器附加的功能包括:

- 所有的科学计算函数 (例如sine, cosine, exp, log等) 以及浮点数计算能力, 这种计算能力能够处理很小和很大的数 (例如, 80位扩展精度能处理从 $\pm 10^{-4932}$ 到 $\pm 10^{+4932}$ 的数, 并且处理结果的精度可以达到小数点后19位)。
- 在数据采集期间, 为了获得更快的速度, 用汇编代码写函数的能力 (某些编译器允许汇编代码和更高级语言的代码混用)。
- 一个内置编辑器(editor), 它能显示引起编译错误的行号并允许立即纠正错误。
- 一条特殊命令, 它能编译所有改动过的程序模块、连接所有必需的模块, 进而运行编译连接后的程序。

8) 一个模拟输入/输出端口 (也称为数据采集与过程控制电路), 这个端口应达到所要求的速度, 还应具有足够多的A/D和D/A转换电路。

9) 如果缺少第8项, 就得有一个足够快速的并行输入/输出端口。在这种情况下, 就要设计和搭建一个数据采集电路, 用于连接到并行输入/输出端口 (如实验练习9中所示)。

10) 一个计数器/定时器, 它能以 $1\mu\text{s}$ 的典型精度值确定已消逝的时间, 还能计算输入脉冲数, 或者以 $1\mu\text{s}$ 的典型精度值产生任意宽度和周期的输出脉冲。

微处理器通过地址总线、数据总线和若干控制线与微机的其他构件通信 (图1-2)。地址总线 (address bus) 允许微处理器选择各个特定的构件。不论是RAM单元、I/O端口寄存器还是其他外围设备电路, 每一个构件都被分配唯一的一个地址 (address)。只要地址出现在地址总线上, 地址译码器 (address decoder) 就产生一个选通 (select) 脉冲。例如, 一片16M位容量的RAM芯片上有一个内部地址译码器, 该内部地址译码器有24根输入线和1.6亿根选通线, 可以寻址芯片上的每一位。数据总线 (data bus) 用于在微处理器和它的关联电路之间传送数据字。

注意 在某些系统中, 用一个特殊的控制位来区别内存单元和外部设备。而另一些系统则为外部设备保留了大块的内存地址空间。

因为有众多设备连接到数据总线和地址总线上, 而任一时刻只能有一个设备传送数据, 所以使用控制线指示总线是否忙、设备是否请求使用总线、请求是否获准等等。这些细节超出了本书的范围, 在此提及是为了概述微机的总体组织结构。

实验练习1是让读者熟悉特定的编辑器和编译器, 它们在以后的实验中也要用到, 这个实验同时也复习了二进制补码、十六进制、实数以及二进制数的整数转换等知识。

1.3 数字系统

1.3.1 二进制数的表示

我们可以用多种方式转换二进制数。表1-1给出了8位二进制编码的不同转换, 分别转换为