



面向 **21** 世纪高等学校电子信息类教材

信号、系统与信号处理 的软硬件实现

● 吴湘淇 肖 熙 郝晓莉 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

信号、系统与信号处理 的软硬件实现

吴湘淇 肖 熙 郝晓莉 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是按“信号分析为基础、系统分析为桥梁、处理技术为手段、综合实现为目的”的新课程体系编写的。全书在讲清基本概念和原理的基础上,突出用数字的方法对信号、系统进行分析与综合,重在技术实现与实践能力的培养。在软件方面,以离散傅里叶变换 DFT 为依据,以它的快速算法 FFT 为手段,通过 MATLAB 语言来实现。在硬件方面,以单片数字信号处理器 DSP 为基础,由浅入深地系统介绍其功能与使用。结合应用系统的构成、开发与调试阐明开发工具的使用并配有实验,把原理、方法与应用有机地结合起来。

全书有四篇共 11 章。第一篇 信号分析,第二篇 线性系统分析与应用,第三篇 数字信号处理技术实现与应用,第四篇 近代信号分析与处理技术。

本书体系新颖,全书集 CAA、CAD、CAI 于一体,可视化、可操作性和实用性强。在解决编程难,计算难,花时多和原理、方法与应用三结合方面很有特色,适用于作为电子信息类理工科大学《信号与系统》和《数字信号处理》及其相关课程的教材,研究生教学参考书或教材,也可供从事与信息处理、通信、控制和 IT 领域等有关的广大科技工作者学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

信号、系统与信号处理的软硬件实现/吴湘淇等编著. —北京:电子工业出版社, 2002.3

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-5053-7276-9

I. 信… II. 吴… III. ①信号系统—高等学校—教材②信号处理—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 012169 号

责任编辑:徐堃 特约编辑:丛山

印刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:25 字数:636 千字 附光盘 1 张

版 次:2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:35.00 元(含光盘)

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

目 录

导论	(1)
----------	-----

第一篇 信号分析

第 1 章 MATLAB 使用简介	(9)
1.1 MATLAB 的初步安装与简单使用	(9)
1.1.1 MATLAB 的安装	(9)
1.1.2 MATLAB 的简单使用	(10)
1.1.3 MATLAB 的目录	(13)
1.1.4 实用技巧	(13)
1.2 MATLAB 语言的程序编制	(15)
1.2.1 变量	(15)
1.2.2 数组、向量与矩阵	(15)
1.2.3 部分特殊变量和常数	(16)
1.2.4 部分常用运算符	(16)
1.2.5 程序结构	(18)
1.2.6 部分基本数学函数和基本作图函数	(20)
1.2.7 编制函数	(21)
第 2 章 用 MATLAB 实现信号在时域的描述及运算	(25)
2.1 确定性信号的时域分析	(25)
2.2 随机信号时域分析的数字特征	(26)
2.3 连续信号的描述及运算	(28)
2.3.1 常见信号	(28)
2.3.2 常用运算	(32)
2.4 离散信号的描述及运算	(35)
2.4.1 常见信号	(35)
2.4.2 常用运算	(38)
习题	(41)
第 3 章 信号的频谱分析 (傅里叶分析)	(45)
3.1 频谱分析的原理与方法	(45)
3.1.1 四种类型信号频谱变化的规律	(45)
3.1.2 怎样才能实现用计算机对信号直接进行分析	(47)
3.1.3 如何正确选取 DFT 的有关参数, 使误差最小, 结果正确	(49)
3.1.4 如何运用 DFT 的快速算法 FFT, 通过 MATLAB 语言实现各类信号的频谱分析与合成	(51)
3.2 连续信号的频谱分析	(53)
3.2.1 利用 FFT 计算连续周期信号的频谱	(53)

3.2.2 利用 FFT 计算连续非周期信号的频谱	(58)
3.3 离散信号的频谱分析	(65)
3.3.1 利用 FFT 和 IFFT 分析与合成离散周期信号 (周期序列)	(65)
3.3.2 利用 FFT 和 IFFT 分析与合成离散非周期信号 (非周期序列)	(69)
3.3.3 利用 FFT 计算随机序列的功率谱估计	(78)
习题	(83)

第二篇 线性系统分析与应用

第 4 章 用数字方法实现离散系统的分析	(89)
4.1 利用 DFT 实现线性卷积运算	(89)
4.2 已知离散系统特性和输入, 求系统输出响应	(91)
4.3 已知离散系统特性和输出, 求系统的输入	(95)
4.4 已知离散系统的输入和输出, 求系统函数	(97)
习题	(100)
第 5 章 用数字方法实现连续系统的分析	(101)
5.1 从连续域变换到离散域有关参数的确定	(101)
5.2 已知系统特性和输入, 求连续系统的输出响应	(103)
5.3 已知系统特性和输出, 求连续系统的输入	(108)
5.4 已知系统的输入和输出, 求连续系统的系统函数	(110)
习题	(114)

第三篇 数字信号处理技术实现与应用

第 6 章 基于 MATLAB 语言的数字滤波器设计	(119)
6.1 数字滤波器设计的基本思想、原理与方法	(119)
6.2 IIR 数字滤波器设计	(121)
6.2.1 IIR 滤波器设计步骤简介	(121)
6.2.2 脉冲响应不变法和双线性变换法	(124)
6.3 FIR 数字滤波器设计	(135)
6.3.1 窗口法	(135)
6.3.2 频率取样法	(144)
6.4 FIR 数字滤波器的优化设计	(148)
习题	(157)
第 7 章 数字信号处理的硬件系统	(160)
7.1 硬件系统的构成	(160)
7.1.1 存储单元	(160)
7.1.2 运算单元	(163)
7.1.3 控制单元与接口电路	(167)
7.2 基于通用芯片的数字滤波器硬件实现	(180)
习题	(186)
第 8 章 DSP 数字信号处理器及其应用	(187)

8.1	概述	(187)
8.2	数字信号处理器的发展	(187)
8.3	数字信号处理器的特点	(189)
8.4	数字信号处理器的应用	(191)
8.5	TMS320C54x 系列数字信号处理器	(191)
8.5.1	TMS320 系列数字信号处理器简介	(191)
8.5.2	TMS320C54x 系列 DSP 概述	(194)
8.5.3	TMS320C54x DSP 芯片结构	(195)
8.5.4	TMS320C54x 寻址方式	(207)
8.5.5	TMS320C54x DSP 的流水线操作	(214)
	习题	(215)
第 9 章	DSP 系统开发工具的使用	(216)
9.1	TMS320C54x 汇编语言编译器和链接器的使用	(216)
9.2	TMS320C54x 软件仿真器的使用	(224)
9.3	TMS320C54x DSKplus 开发工具的使用	(227)
9.3.1	TMS320C54x DSKplus 简介	(227)
9.3.2	DSKplus 汇编程序编译器的使用	(231)
9.3.3	DSKplus 程序调试器和程序代码加载器的使用	(250)
9.4	DSKplus DSP 开发系统分析	(252)
9.4.1	DSKplus 通信内核的加载	(252)
9.4.2	DSKplus 通信内核协议分析	(253)
9.4.3	PC 机并行口与 DSKplus 的信号连接	(256)
9.4.4	DSKplus 控制器分析	(258)
9.4.5	C54xHIL.LIB 库函数	(261)
9.4.6	C54xHIL.LIB 库的使用	(266)
9.5	DSKplus 开发环境的软件编程	(267)
9.5.1	DSKplus 系统 DSP 汇编程序的编写	(267)
9.5.2	PC 主机软件编程	(271)
9.6	TMS320VC5402 DSP STARTER KIT 开发工具	(272)
9.6.1	TMS320C5402 DSK 硬件特点	(273)
9.6.2	TMS320C5402 DSK 软件	(274)
9.6.3	TMS320C5402 DSK 开发工具的使用	(277)
	习题	(287)
第 10 章	数字信号处理系统的开发与应用	(288)
10.1	数字信号处理系统的设计	(288)
10.1.1	方案设计	(288)
10.1.2	芯片的选择	(289)
10.1.3	存储器接口电路设计	(290)
10.1.4	软件编程及调试	(294)
10.2	基于 DSKplus 的数字信号处理系统	(294)

10.2.1 DSKplus 系统接口的编程开发	(294)
10.2.2 FIR 滤波器的实现	(307)
10.2.3 IIR 滤波器的实现	(311)
10.2.4 单边带音频调制系统	(314)
10.2.5 DSKplus 的存储器扩展	(322)
习题	(326)

第四篇 近代信号分析与处理技术

第 11 章 近代谱估计与小波分析	(329)
11.1 近代谱估计	(329)
11.1.1 综述	(329)
11.1.2 随机信号功率谱估计	(331)
11.1.3 高阶谱估计	(339)
11.2 非平稳信号的时-频域分析	(345)
11.2.1 短时傅里叶变换 (STFT) 及其应用	(345)
11.2.2 小波变换的实质及其与其他变换的区别	(351)
11.2.3 离散小波变换与信号的小波分析	(354)
习题	(362)
附录 1 使用 MATLAB 提供的函数对连续系统进行分析	(365)
习题	(379)
附录 2 使用 MATLAB 提供的函数对离散系统进行分析	(381)
习题	(386)
附录 3 FIR 梳状滤波器系统接线图	(389)
附录 4 IIR 滤波器系统接线图	(390)
参考文献	(391)
光盘目录	

1. 傅里叶变换的性质
2. 常用的傅里叶变换对
3. 拉普拉斯变换的性质
4. 常用的拉普拉斯变换对
5. 离散时间傅里叶变换的基本性质
6. DFT 的性质
7. DFT 对奇、偶、虚、实序列的性质
8. Z 变换的性质
9. 常见 Z 变换对
10. 巴特沃斯多项式系数
11. 巴特沃斯多项式的因式分解
12. 切比雪夫多项式系数
13. 切比雪夫多项式的因式分解
14. 从归一化数字低通滤波器到实际数字滤波器的变换

15. 周期序列周期卷积过程
16. $N=8$ 按时间抽取的分解过程
17. 输入反序输出正序 $N=8$ 按时间抽取的 FFT 算法流程图
18. 修正周期图法流程框图
19. MATLAB 用于验证算法的数据文件
20. MATLAB 一维离散小波变换和反变换的函数
21. 模拟滤波器与低通原型滤波器的变换
22. C54xHIL.LIB 库函数源程序
23. TMS320C5402 DSK 开发系统实验程序
24. DSKplus 开发系统汇编程序
25. FIR 滤波器 DSP 汇编程序
26. IIR 滤波器 DSP 汇编程序
27. 单边带音频调制系统 DSP 汇编程序
28. 扩展片外数据存储器测试程序
29. DSP 芯片参考资料
30. DSK 开发系统参考资料

导 论

《信号与系统》和《数字信号处理》的教学内容不仅在理论上,而且在实践上有着密切的内在联系。它的核心是通过对各种不同信息的分析,实现对不同信号的处理,达到所希望得到的信号。随着科技的发展,数字化时代的到来,其技术实现是以算法为核心,高技术为基础,具有理论性和技术性强的特点,处在技术基础非常重要的地位。它所涵盖的基本概念、原理、方法以及实践技能是电子信息类大学生必修的主干课程。因此如何教好和学好这些课程对学生能力和综合素质的培养,有着重要和深远的影响,其地位相当于电气时代的《电工基础》,也可以说是 21 世纪信息化时代打开电子信息学科的一把钥匙。基于这样的认识,在面向 21 世纪人才培养模式发生深刻变化,教育、教学观念不断更新的思想指导下,从有利于加强基础,拓宽专业,培养具有创新意识和实践能力的专门人才出发,我们以原《信号与系统》和《数字信号处理》两门课程的教学内容为主体,通过有机整合,比较科学地构建新的课程体系,即“以信号分析为基础,系统分析为桥梁,处理技术为手段,系统综合为目的”,在实践的基础上逐步写成《信号、系统与信号处理》一书(以下简称《SSSP》)。该书出版伊始就受到高教界的重视和科技界的欢迎,被许多院校选作教材和主要教学参考书。本教材的出版已在教学改革实践中效果明显,取得了同行共识和社会认可并获得部、市级优秀教材奖。该书已三次印刷,至 2000 年共发行 21000 册。

一、编写目的

本书是在《信号、系统与信号处理》一书的课程体系基础上,进一步体现该书的特点,即

- (1) 在内容上,离散与连续并重,分析与综合并重,经典与近代并重。
- (2) 在分析方法上,解析方法与数字方法并重。
- (3) 在处理技术上以软件实现与硬件实现并重,把计算机辅助分析(CAA)和计算机辅助设计(CAD)作为基本内容。
- (4) 切实加强理论联系实际,力求做到物理概念、数学概念与工程概念并重,讲、练、做三结合。

由此可见,本书与《SSSP》有着紧密联系,但又有所不同。本书以离散傅里叶变换 DFT 为依据,着重用数字方法分析信号与系统。以易学、易懂的 MATLAB 语言取代《SSSP》书中的 C 语言。在硬件实现方面由浅入深,更加系统化和典型化,把原理、方法与应用更好地结合起来。同时在每章的开头都对重要的原理和方法做了承上启下的阐述和扼要的总结,所以本书又能自成体系,独立于《SSSP》,有较大的灵活性。因此编写本书的目的是重在加强实践能力的培养,解决编程难、计算难、费时多和原理、方法与实际应用结合难等问题。由于理论学习是积累知识的过程,实践学习则是获取客观知识和加工知识的过程,只有理论联系实际的实践才有可能获得完整的知识,才能使人们对感觉到的东西进行更深刻的理解,对理解到的东西能够更深刻地感觉。通过自身的实践,充分调动学习的愿望与激情,既有利

于加深对基本理论的理解,又能开阔思路,切实提高能力,为今后从事创新实践奠定可靠的技术基础。

二、本书的特色

1. 在内容上

(1) 分清主次,抓住根本,打好基础

本书强调以信号分析为基础,强化信号的频域分析(周期、非周期、随机)。这是因为在信息系统和工程中传输的是信号,处理的是信号,接收的仍然是信号(从被干扰的信号中提取所需要的信号),系统则是把输入信号经过处理,变换为所希望得到的输出信号的设备的总称(包括软设备与硬设备)。所以,一旦掌握输入信号和输出信号的分析结果和特征参数,则所期望的系统的数学模型(系统函数)即确定下来(对随机信号也一样,只是用功率谱来表示),进而为系统的实现提供依据。可见,信号分析对信息系统的分析与综合起着非常重要的作用。尤其随着以数字化技术为特征的信息化时代的到来,来自不同学科的信息,如地球物理和生命科学,虽然学科的差异很大,但人们可以通过不同方法、不同途径,从地层和人体中取得不同信号,经数字化以后又都变成了数据。为了实现不同信息的有效传输和可靠交换,必须对数字信号进行分析与处理。由此可见,随着社会发展和技术进步,信号分析在实际中的应用范围大大扩展,无所不在,对数字信号的分析 and 处理成为诸多学科和不同工程领域的共同技术基础。所以有人把信号喻为“信息工程的灵魂”,抓住信号分析,就抓住了根本,从而加强了基础。使读者通过学习,能用数字的方法对实际信号进行分析,学了会用,奠定比较宽广和坚实的理论基础和实践的基本技能。

(2) 突出数字化,用数字方法对信号、系统进行分析,综合处理与技术实现

全书以离散傅里叶变换 DFT 为依据,以它的快速算法 FFT 为手段,通过 MATLAB 语言,用软件实现对信号的分析、处理与系统的综合。在硬件实现方面,以具有高速度、高灵活性和高可靠性的先进单片信号处理器 DSP TMS320C542 为典型,通过剖析,系统地介绍其基本构成、功能与操作,并结合应用系统的开发、设计和调试,阐明开发工具的使用。这种把 CAA 与 CAD 作为教学内容,把数字系统的技术实现作为本课程的学习目的,符合信息化时代的技术特征,适应科学技术发展的方向。有了数字化,才能进一步实现智能化、网络化和全球的信息化。

(3) 软件与硬件并重,实现原理、方法与应用三结合,在“用”字上下功夫

例如对于信号分析,在讲清频域分析的理论依据以后,就提出如何用数字方法对信号进行分析。一旦解决提出的问题,本书并不停留在一般原理和方法上,而是进一步讨论如何在不同情况下对实际信号进行分析。同样,在讨论 FIR 数字滤波器设计时,除了紧密联系信号分析(DTFT、DFT)、系统分析($H(z)$ 、 $h(n)$)讲清原理与方法外,还结合实际应用,如抗混叠、噪声抑制、均衡器、解调器等需要设计一个滤波器。对软件的实现如此,对硬件的技术实现也是如此。如在讲清 C54x 数字信号处理器的特点、功能和操作的基础上,进一步结合应用系统的需要,以该芯片为核心构成 Hilbert 变换器,实现单边带调制。以上把原理、方法与应用三者的学习内容有机地结合起来,并融汇在统一的教学过程中,体现了本书理论紧密联系实际的特点,克服了长期以来在技术基础课程的教学内容中原理、方法与应

用相脱节的倾向,以致难学、难懂或学了不会用的缺点。由于实际应用是检验理论联系实际有效性的标准,也是培养开发能力与创新能力的�前提,尤其是联系应用系统硬件实现的实践涉及许多实际知识和技能,知识面广,所以不仅有利于掌握方法与技能,而且能够促使把知识转化为能力。能力的提高是认识上的一个飞跃,它蕴涵着把知识升华为生产力的最基本也是最重要的素质,从而从根本上提高了教学质量。

2. 在方法上

以“学”为中心,调动学习积极性与主动性,充分发挥学生的主体作用,力求融有用知识的传授、能力的培养与素质的提高于教材之中。

(1) 以计算机为工具,以易学易用的 MATLAB 语言为主要教学手段。由于 MATLAB 具有强大的科学计算和可视化功能,加上编程简单,操作容易,是辅助学习的一种很有效的工具。通过独立上机操作,可以形象、生动地加深对问题的理解,调动了学习的积极性。可以自行编程,进行解题、实验和从事自己感兴趣的问题的研究,投身实践往往收到事半功倍的效果。

(2) 在编写过程强调物理概念、数学概念与工程概念并重,在“用字”上下功夫。从实际中提出问题,安排综合题、思考题,让读者带着问题想,带着问题学,带着问题干。遵循技术基础课的教学规律,通过自身的努力实现讲、练、做的三结合。

(3) 充分重视那些行之有效,在发展过程具有生命力的新观点、新方法和新技术的介绍,以利开拓思路,激励创新,提高文化素质。书中写进高阶谱信号分析和信号的小波分析的内容,就是基于这样的观点,因为前者反映目前对非平稳、非高斯信号分析的进展,后者表明人们已能应用小波变换解决信号时-频域分析与处理。由于当今数字信号处理技术是电子信息学科高新技术的集成,因此本书除了重点介绍典型的 DSP 芯片外,对在未来相当长时间内有发展前景,在多媒体技术中获得广泛应用的 TI 主流产品 5000 和 6000 新系列芯片也给以简要的介绍。

以典型带路,启发思路,由浅入深,从理想到实际。全书在扼要地阐明概念、原理和方法的基础上,以较大篇幅用典型的题例具体说明概念、原理和方法的应用,如信号分析以方波为典型,系统分析以滤波器为代表,软件实现以 MATLAB 为主,硬件实现以 TI 公司产品为核心。重点突出一种最新、最好(有效)的方法,对两种以上的方法进行综合比较,说明异同点、优缺点和应用范围,力求给读者留下清晰和明确的结论。通过典型带路,以期举一反三,充分发挥榜样的作用。

以上特色是在我们通过改革实践,在认识上有了不断提高,在观念上有了下列转变的基础上树立的:

(1) 教学过程中教师起主导作用,学生起主体作用,因此整个教学过程应以“学”为中心来取代传统上以教为中心。教师的主导作用不在于教师教给学生多少知识,而在于学生掌握多少有用知识,以及是否能使学生把知识转化为能力,产生认识上的飞跃。学生的主体作用有赖于教师主导作用的发挥,因此教师应尽职尽责地给学生创造机遇和条件,引导他们在实践中增长才干。只有充分发挥学生的主体作用,“主导”作用才能显示其生命力。

(2) 基础应包括理论基础和实践技能两方面,是知识结构中最具有生命力和可持续发展的内容。所谓打下比较厚实的技术基础,其实质就是把基础理论、基本原理以及相应的方法与技能教活、学活,学了会用。总的来说,加强基础与拓宽专业是统一的,对综合素质的

提高有着深远的影响。因此加强基础是为实现培养目标服务,而不是传统的狭隘地针对某一专业或专业课服务。

(3) 技术基础课的设置是科学技术发展到一个新的阶段,在理论(原理)、方法、技能诸多方面的一个综合体现。随着全球性新技术革命的到来,在内容上已经发展到一个新的水平,因此技术基础课的教学内容应及时反映时代的特点和科技发展的方向,以适应客观形势对人才培养的需要。在技术上要厚今薄古,在理论上要古今并重。旧的观点认为技术基础课程的教材应着重介绍成熟的一般原理和方法,能为后续的专业课打好“基础”就行了,对近代的或正在发展的高新技术很少介绍或不介绍,而始终保持一定距离。这样厚古薄今的结果怎能启迪思路,开拓学生视野,树立创新意识?又怎能实现高等教育必须超前发展的方向?由此可见,当前主干技术基础课程教材建设的关键是要改变旧观念,正确处理知识与能力、经典与近代、专业与基础、理论与实践等的关系,站在时代的高度,以理论联系实际为突破口,通过理顺体系,推陈出新。

教材反映了深化教学改革的发展和成果,是直接为培养人才服务的。因此本书的出版在一定程度上反映了多年来作者从事教学实践、教学改革和科研实践的成果。书中的软件实现与硬件实现都经过作者精心编程、调试并与理论进行校验。尤其是对硬件应用系统的调试与开发,作者对已有的技术资料进行了修改和完善,使之更实际可行。

本书共有 11 章,第 1 章由北方交通大学郝晓莉编写,第 7 章~第 10 章由清华大学肖熙编写,第 2 章~第 6 章以及第 11 章由郝晓莉、吴湘淇共同编写。全书由吴湘淇统稿。

三、内容组织与安排

1. 第一篇 信号分析

本书把信号分为连续信号与离散信号两大类。就其随时间变化规律的特点,每类均按周期、非周期与随机来划分。第一篇信号分析是全书的基础,其中心是讨论如何从理论上和实际中对不同类型的信号,利用数字的方法对它们进行分析,通过分析求出它们的频谱结构。重点弄清如何通过离散化,把连续变换成数字而不损失原有的信息,进而利用 DFT 的关系式及其快速算法,通过 MATLAB 语言实现对不同类型信号的频谱作准确的和近似的计算。对于在时域的随机信号,计算其相关函数,在频域计算其功率谱密度。在分析过程中充分重视如何解决实际中存在的问题,工程中常用的处理技术(补零、内插、抽取、加窗等)以及可能出现的误差和减少误差的方法。由于本书是以 MATLAB 语言为主,所以本篇一开始就对 MATLAB 的初步安装、使用、编程要点作了简介,以便读者及早上机操作。

本篇共有 3 章:第 1 章“MATLAB 使用简介”,第 2 章“用 MATLAB 实现信号在时域的描述及运算”,第 3 章“信号的频谱分析”,用数字方法实现信号在频域的分析与合成。

2. 第二篇 线性系统分析和应用

本篇首先阐述系统分析的内涵以及为什么把信号的恢复(提取)和系统的辨识也作为本篇关注的问题。本篇的中心是要解决如何用数字的方法对系统进行分析(时域和频域),指出分析系统的目的在于综合,所以应重在求零状态响应。本篇对系统的分析与传统做法有两点明显不同:

- (1) 全部采用数字方法
- (2) 在安排上先离散后连续

对于离散系统的分析,关键是如何用 DFT 计算线性卷积。对连续系统的分析,关键是在第一篇信号分析的基础上,讲清如何把连续系统转换成离散系统,进而按离散系统的分析方法作准确或近似的计算。这样就把信号分析、系统分析与数字处理有机地结合起来,方法统一,达到既简便又快速的目的。考虑到变换域对系统分析(拉氏变换与 Z 变换)有它的优点且目前仍在使用,所以把如何运用 MATLAB 实现变换域分析列在附录中,供参考使用。

本篇共有两章:第 4 章“用数字方法实现离散系统分析”和第 5 章“用数字方法实现连续系统分析”。

3. 第三篇 数字信号处理技术实现与应用

数字信号处理理论性和技术性强,它综合应用多学科的理论基础和技术,可以说是电子信息学科领域高新技术的集成。所以在掌握 DSP 原理、方法和技术实现的过程中,对深化基础理论,提高实践技能,加强理论联系实际能力的培养起着非常重要的作用。为此,本篇除了第 6 章介绍用 MATLAB 软件实现频率选择数字滤波器的设计外,以较大篇幅讨论了数字信号处理的硬件实现,有三部分内容:第一部分是基于通用微处理器的硬件实现,初步介绍硬件系统的构成及各单元的功能,并结合频率取样型 FIR 数字滤波器的结构特点,具体分析如何通过查表法进行乘法和加法运算,用硬件实现 IIR 数字滤波器、FIR 滤波器和频谱分析。第二部分是本篇的重点,它是基于单片数字信号处理器 DSP(专用的微处理器)的硬件实现。这部分以 TMS320C54X 为典型,比较系统和深入地剖析其构成、功能、操作,特别是与运算速度关系密切的硬件资源,如总线结构、片内存储器的配置和 CPU。以'C54x DSKplus 开发工具为代表,从软件编程到硬件操作(如仿真器、编译器等)以及如何进行软、硬件调试都结合实例一一做了说明。最后以 DSKplus 为平台,构成以 DSP 为核心的单边带调制应用系统,并安排系列实验,使读者通过实践掌握正确的使用方法,充分发挥 DSP 芯片的优点和开发工具的功能。本篇的第三部分结合实例简要介绍应用系统方案的构成、设计与开发过程,介绍 DSP 的最新产品及其发展远景。

本篇共有 5 章:第 6 章“基于 MATLAB 语言的数字滤波器设计”,第 7 章“数字信号处理的硬件系统”,第 8 章“DSP 数字信号处理器及其应用”,第 9 章“DSP 系统开发工具的使用”,第 10 章“数字信号处理系统的开发与应用”。

4. 第四篇 近代信号分析与处理技术

本篇只有 1 章,即第 11 章功率谱估计与小波分析。本章重点从概念上阐明小波变换的本质,以及它与其他变换(DFT 和 STFT)的区别,介绍如何用 MATLAB 实现功率谱估计和小波分析,并结合实例进行分析比较,说明在实际中的应用。

四、读者对象及使用

本书是按《信号、系统与信号处理》一书的新课程体系编写的。根据具体情况可以设一门课,也可以分设《信号与系统》和《数字信号处理》两门课。由于实用性和技术性强,因此适用面广,比较灵活。适合作为电子信息类理工科大学学生教材、研究生主要教学参考书

或教材，以及从事与信息处理、通信、控制和信息技术（IT）领域等有关的广大科技人员参考。作为教材，可参考下列方案安排使用：

（1）作为《信号、系统与信号处理》一书的配套教材。

（2）第 1 章～第 5 章作为本科生《信号与系统》课程的配套教材。第 6 章～第 11 章作为本科生或研究生《数字信号处理》课程的配套教材。

（3）作为理科电子信息类本科生或研究生教材，其中理论教学参考学时 30～40，实践教学参考学时 30～40。

（4）作为本科生实验、课程设计和毕业设计的教材，参考学时 30～40。

本书所涉及的原理、方法在《信号、系统与信号处理》一书中均可找到相应的较详细的解释。

本书在编写过程中得到清华大学-TI 公司 DSPLAB 实验室主任张旭东博士，美国得州仪器公司以及陈后金教授、姚若河教授等的热情支持并提供了宝贵的资料。在出版过程中，还得到北方交通大学等许多院校同行的支持和热情鼓励，在此谨向支持和帮助本书出版工作的同仁和单位表示最诚挚的感谢。对始终给予无限关怀、体谅和帮助的作者亲属深表感激。

由于我们水平有限，书中存在缺点和错误之处，诚恳希望读者批评指正。

作 者

2001 年 10 月

第一篇 信号分析

信号是信息学科研究的基本内容,无论是信息的获取,信息的传输,还是信息的处理和信息的交换,为了达到安全可靠和有效灵活地传递信息,对信号特征量的研究都是至关重要的。可以这样说,信号是信息工程的灵魂。由此可见,本书一开始就对信号进行分析,从中找出其变化规律,特别是频谱结构的特征,在理论上和实际上都具有十分重要的意义。

从描述一维信号的信号函数自变量 t 和幅度 A 的取值观点出发,信号基本上可分为连续时间信号和离散时间信号。如果时间和幅度的取值都是连续的,则称为模拟信号或连续信号;如果时间与幅度的取值都是离散的(量化)则称为数字信号或离散信号。考虑到本书是以数字的方法为基础,利用数字计算机对信号进行分析,同时为了更切合实际的需要,所以把信号的分类从总体上归纳为连续信号和离散信号两大类。但就信号变化规律的特性来划分,则无论是连续信号还是离散信号,又分为周期、非周期和随机三类。前两类因可以用某个函数准确地描述,所以称为确定性信号,而后一类随机信号由于不能用精确的函数来描述,未来值无法准确预测,因而信号函数是随机的,故又称为不确定信号。本书就是按这样的分类对不同信号进行分析的。

信号分析的方法目前主要有:时域分析、频域分析和时-频域分析。本书以频域分析为重点,以离散傅里叶变换 DFT 为数字分析的依据,以 DFT 的快速算法 FFT 为手段,通过 MATLAB 语言来实现。因而只要弄清连续与离散(模拟与数字),周期与非周期相互转换过程所建立起来的关系,就会获得概念清楚、思路清晰、运算简便、操作容易的功效。进而为后续系统分析以及其他内容的学习和掌握奠定坚实基础。由于在分析过程注意并强调理论联系工程实际,所以有利开拓思路、提高能力,达到多、快、好、省的目的。

信号的小波分析是近年时-频域分析的最新进展,是目前分析具有时变特性非平稳信号的最有效方法。由于涉及数学等理论基础较多,本书将在《信号、系统与信号处理》一书第四篇第 15 章的基础上,进一步阐明其本质,结合实例说明在实际中的应用。

本书的软件实现是以 MATLAB 语言为主,为使读者掌握 MATLAB 编程,及早上机实践,在本篇的第 1 章先对 MATLAB 使用作一简介。

第 1 章 MATLAB 使用简介

MATLAB 是 matrix laboratory (矩阵实验室) 的缩写, 是一种面向科学与工程计算的高级语言。最初是美国 New Mexico 大学计算机系主任 Cleve Moler 在 20 世纪 70 年代后期开发的教学辅助软件, 近年来发展成为适合多学科、多部门要求的应用软件。它具有强大的数值计算和图示能力, 编程简单, 易学易懂。在高校中, MATLAB 已成为数学、信息、控制、经济等诸多学科有关课程很有效的教学工具。在设计研究单位和工程部门中, MATLAB 已被用于科学研究和解决各类实际问题中。

下面以 MATLAB 的初学者为对象, 以 MATLAB 5.x 为例简单介绍 MATLAB 的安装、使用和编程。

1.1 MATLAB 的初步安装与简单使用

1.1.1 MATLAB 的安装

1. MATLAB 5.x 版本的资源要求

486 以上机型; Win 95 以上或 Win NT 操作系统; 16MB 内存; 光驱。

2. MATLAB 5.x 的安装

- (1) 将 MATLAB 5.x 的光盘放入光驱中, 安装程序就会自动运行。
- (2) 按照安装程序的提示, 进入如图 1.1 所示的用户信息输入画面。

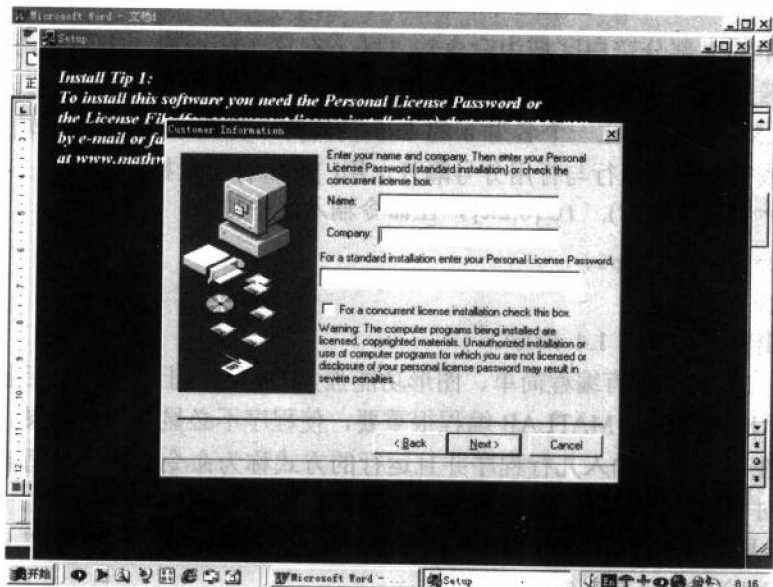


图 1.1 安装开始所显示的用户信息输入画面