

信号与系统分析及 MATLAB实现

梁虹 梁洁 陈跃斌
飞思科技产品研发中心

等编著
审校

本书附赠
光盘包括
全部实例
代码



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

信号与系统分析及 MATLAB 实现

梁虹 梁洁 陈跃斌 等编著

飞思科技产品研发中心 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是电子信息类专业本科二、三年级“信号与系统”课程的补充教材，目的在于让学生在“信号与系统”课程的同时，掌握 MATLAB 的使用，将大量繁杂数学运算用计算机实现，并将课程中的重点、难点及课后练习用 MATLAB 进行形象、直观的计算机模拟与仿真实现，从而加深对信号与系统基本原理、方法及应用的理 解，使读者从基本理论过渡到实际应用。

本书分两篇，共 12 章，第一篇“MATLAB 应用基础”简明扼要地介绍了 MATLAB 的基本功能（数值计算、符号运算、图形控制）及应用方法、与“信号与系统”相关的常用函数，以及 MATLAB 的程序设计方法，为应用 MATLAB 进行信号与系统分析打下基础。第二篇“MATLAB 实现”以 MATLAB 为工具，对信号与系统在时域、频域、复频域及 Z 域进行了系统的分析及计算机模拟实现，通过大量的应用实例介绍了应用 MATLAB 进行信号与系统分析的具体方法。

本书各章均附有相应的上机练习题，供读者在学习完各章内容后进行上机实践。

本书构思新颖、实践性强，内容叙述清楚、深入浅出，所有应用实例均通过 MATLAB 上机调试，是“信号与系统”及同类课程不可多得的一本参考教材。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。

版权所有，翻版必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统分析及 MATLAB 实现 / 梁虹等编著. —北京: 电子工业出版社, 2002.2

ISBN 7-5053-7454-0

I.信... II.梁... III.信号系统—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV.TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 001771 号

责任编辑: 郭 晶 郝黎明

印 刷: 北京市增富印刷有限责任公司

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 字数: 492.8 千字

版 次: 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 29.00 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

前 言

“信号与系统”课程是一门实用性较强、涉及面较广的专业基础课，是电子信息类专业本科学生的必修课程，也是电子信息类专业硕士研究生入学必考课程。该课程是将学生从电路分析的知识领域引入信号处理与传输领域的关键性课程，对后续专业课起着承上启下的作用。该课程的基本方法和理论大量应用于计算机信息处理的各个领域，特别是通信、数字语音处理、数字图像处理、数字信号分析等领域，应用更为广泛。因此，让学生掌握对信号与系统进行分析的基本方法和理论，无论是对今后专业课的教学，还是学生毕业后从事专业工作的能力，都具有重要的意义。

长期以来，“信号与系统”课程一直采用黑板式的单一教学方式，学生仅依靠做习题来巩固和理解教学内容，对课程中大量的应用性较强的内容不能实际动手设计、调试、分析，严重影响和制约了教学效果。由于黑板式教学，课程中大量信号分析结果缺乏可视化的直观表现，学生自己设计的系统也不能直观地得到系统特性的可视化测试结果，学生将大量的精力和时间用于繁杂的手工数学运算，而未真正理解所得结果在信号处理中的实际应用。因此，该课程迫切需要进行教学方法和教学手段的改革，即在改进教学方法和调整教学内容的同时，实现在实验环境中，以计算机为辅助教学手段，用信号分析的软件帮助学生完成数值计算、信号与系统分析的可视化建模及仿真调试，培养学生主动获取知识和独立解决问题的能力，为学习后继专业课打下坚实的基础。

国际上公认的优秀科技应用软件 **MATLAB** 的出现给“信号与系统”课程的计算机辅助教学带来了福音，使利用计算机辅助学生完成“信号与系统”课程的数值计算、信号与系统分析的可视化建模及仿真调试成为可能。该软件由 **Mathworks** 公司于 1984 年推出，经过十几年的发展与完善，目前已成为科技界最流行的应用软件。它的主要特点是：

- 高效的数值计算及符号计算功能，能使用户从繁杂的数学运算分析中解脱出来。
- 完备的图形处理功能，实现计算结果和编程的可视化。
- 友好的用户界面及接近数学表达式的自然化语言，使学者易于学习和掌握。
- 功能丰富的应用工具箱（如信号处理工具箱），为用户提供了大量方便实用的处理工具。

MATLAB 的上述特点，使它深受工程技术人员及科技专家的欢迎，并很快成为应用学科计算机辅助分析、设计、仿真、教学等领域不可缺少的基础软件。目前，在国外高等院校，**MATLAB** 已成为本科生、研究生必须掌握的基础软件，国内一些理工院校也已经或正把 **MATLAB** 作为学生必须掌握的一种软件。

近年来国内大专院校的计算机应用环境和设备均有了较大的改善，许多学生家庭都拥有个人计算机，这使得 **MATLAB** 应用的硬件条件有了保证，同时 **MATLAB** 教学版的推出也大大促进了 **MATLAB** 的推广应用。

正是基于上述考虑及应用背景，我们编写了《信号与系统分析及 **MATLAB** 实现》这

本书。该书在介绍 MATLAB 的使用方法的同时,通过大量的应用实例,全面系统地介绍了应用 MATLAB 对信号与线性系统进行分析与实现的具体方法和过程,其目的在于:

- 让学生在学“信号与系统”课程的同时,掌握 MATLAB 的应用,对 MATLAB 语言在低年级学生中的推广应用起到促进作用。
- 学会应用 MATLAB 的数值计算功能,将学生从繁琐的数学运算中解脱出来,从而将更多的时间留于对信号与系统的基本分析方法和应用的理解与思考。
- 让学生将课程中的重点、难点及部分课后练习用 MATLAB 进行形象、直观的可视化计算机模拟与仿真实现,从而加深对信号与系统基本原理、方法及应用的理,以培养学生主动获取知识和独立解决问题的能力,为学习后续专业课打下坚实的基础。

本书由两篇组成,第一篇“MATLAB 应用基础”包括第 1 章至第 5 章,简明扼要地介绍了 MATLAB 的基本功能(数值计算、符号运算、图形控制)及应用方法、与“信号与系统”相关的常用函数、以及 MATLAB 的程序设计方法,为应用 MATLAB 进行信号与系统分析打下基础。第 1 章介绍 MATLAB 的安装与启动,第 2 章介绍 MATLAB 的数值计算功能,第 3 章介绍 MATLAB 程序设计方法,第 4 章介绍 MATLAB 的符号计算功能,第 5 章介绍 MATLAB 的可视化功能。第二篇“MATLAB 实现”以 MATLAB 为工具,对信号与系统在时域、频域、复频域及 Z 域进行了系统的分析及计算机模拟实现,通过大量的应用实例介绍了应用 MATLAB 进行信号与系统分析的具体方法。第 6 章介绍信号的时域分析及 MATLAB 实现,第 7 章介绍系统的时域分析及 MATLAB 实现,第 8 章介绍周期信号的频谱分析及 MATLAB 实现,第 9 章介绍连续时间信号的频谱分析及 MATLAB 实现,第 10 章介绍系统的频域分析及 MATLAB 实现,第 11 章介绍连续系统的复频域分析及 MATLAB 实现,第 12 章介绍离散信号与系统的 Z 域分析及 MATLAB 实现。

本书的主要服务对象是:理工科高等院校电子类专业的教师、本科生及研究生,从事信号与系统分析、信号处理的科研人员,以及对利用 MATLAB 进行信号与系统分析与实现感兴趣的读者。

本书由梁虹主编,第 1、2、3、7、11、12 章由梁虹编写,第 4、5 章由梁洁编写,第 9、10 章由陈跃斌编写,第 8 章由王嘉梅编写,第 6 章由肖琦编写。

全书由梁虹组稿、定稿和审稿。

陈跃斌和高飞同志完成了书稿的部分审阅工作,并提出了许多宝贵意见,在此表示感谢。

在本书的编写过程中,得到了云南大学信息学院院长余江同志、副院长王世普同志、信息与电子科学系系主任杨鉴同志及云南民族学院高飞同志的大力支持和帮助,谨此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一篇 MATLAB 应用基础

第 1 章	MATLAB 的安装、启动与退出	3
1.1	MATLAB 简介	4
1.2	MATLAB 的安装	5
1.3	MATLAB 的启动与退出	7
1.3.1	MATLAB 的启动	7
1.3.2	命令窗口及操作	8
1.3.3	MATLAB 的退出	9
1.4	如何获取帮助信息	9
1.5	使用演示功能 (Demo)	11
第 2 章	MATLAB 的数值计算功能	13
2.1	基本概念	14
2.2	矩阵的创建与保存	18
2.2.1	直接输入法创建矩阵	18
2.2.2	利用 MATLAB 函数创建矩阵	19
2.2.3	利用外部数据文件 (*.mat) 保存和装载矩阵	20
2.3	向量的生成	20
2.4	矩阵的下标	21
2.5	MATLAB 的基本管理命令	23
2.6	矩阵运算和数组运算	25
2.6.1	矩阵加减与数组加减	26
2.6.2	矩阵乘与数组乘	27
2.6.3	矩阵除与数组除	28
2.7	MATLAB 的常用矩阵运算函数	29
2.8	关系运算及逻辑运算	33
2.9	MATLAB 的常用数学函数	35
2.10	多项式及其运算	36
第 3 章	MATLAB 程序设计入门	39
3.1	MATLAB 语言概述	40
3.2	创建、保存与编辑 M 文件	40
3.3	命令文件	42
3.4	函数文件	42
3.5	全局变量和局部变量	43

3.6	程序流程控制.....	44
3.6.1	循环控制语句.....	44
3.6.2	条件控制语句.....	46
第 4 章	MATLAB 的符号运算功能	49
4.1	符号对象的创建和使用.....	50
4.1.1	符号运算入门.....	50
4.1.2	定义符号变量.....	50
4.1.3	定义符号表达式和符号方程.....	51
4.1.4	定义抽象函数和符号数学函数.....	51
4.2	数值与符号的转换.....	52
4.3	符号算术运算.....	53
4.3.1	定义符号矩阵.....	53
4.3.2	符号矩阵的加、减运算.....	54
4.3.3	符号矩阵的乘、除运算.....	55
4.3.4	符号变量替换.....	55
4.4	符号微积分运算.....	56
4.4.1	确定符号变量.....	56
4.4.2	符号微分运算.....	57
4.4.3	符号积分运算.....	58
4.4.4	符号微积分运算示例.....	59
4.5	符号函数的可视化.....	63
4.5.1	绘制二维符号函数曲线.....	63
4.5.2	绘制三维符号函数曲线.....	66
第 5 章	MATLAB 的可视化功能	71
5.1	绘制二维图形.....	72
5.1.1	绘制简单的二维曲线.....	72
5.1.2	离散序列图的绘制.....	73
5.1.3	二维图形的修饰.....	74
5.2	绘制三维图形.....	79
5.2.1	三维折线及曲线的基本绘图命令.....	79
5.2.2	三维网格曲面的绘制.....	80
5.2.3	三维阴影曲面的绘制.....	82
5.2.4	三维图形的视角变换.....	84
5.3	图形窗口的控制与表现.....	86
5.3.1	创建或打开图形窗口.....	86
5.3.2	图形重叠.....	86
5.3.3	图形窗口分割.....	87
5.4	图形对象及其属性设置.....	89
5.4.1	MATLAB 的图形对象.....	89

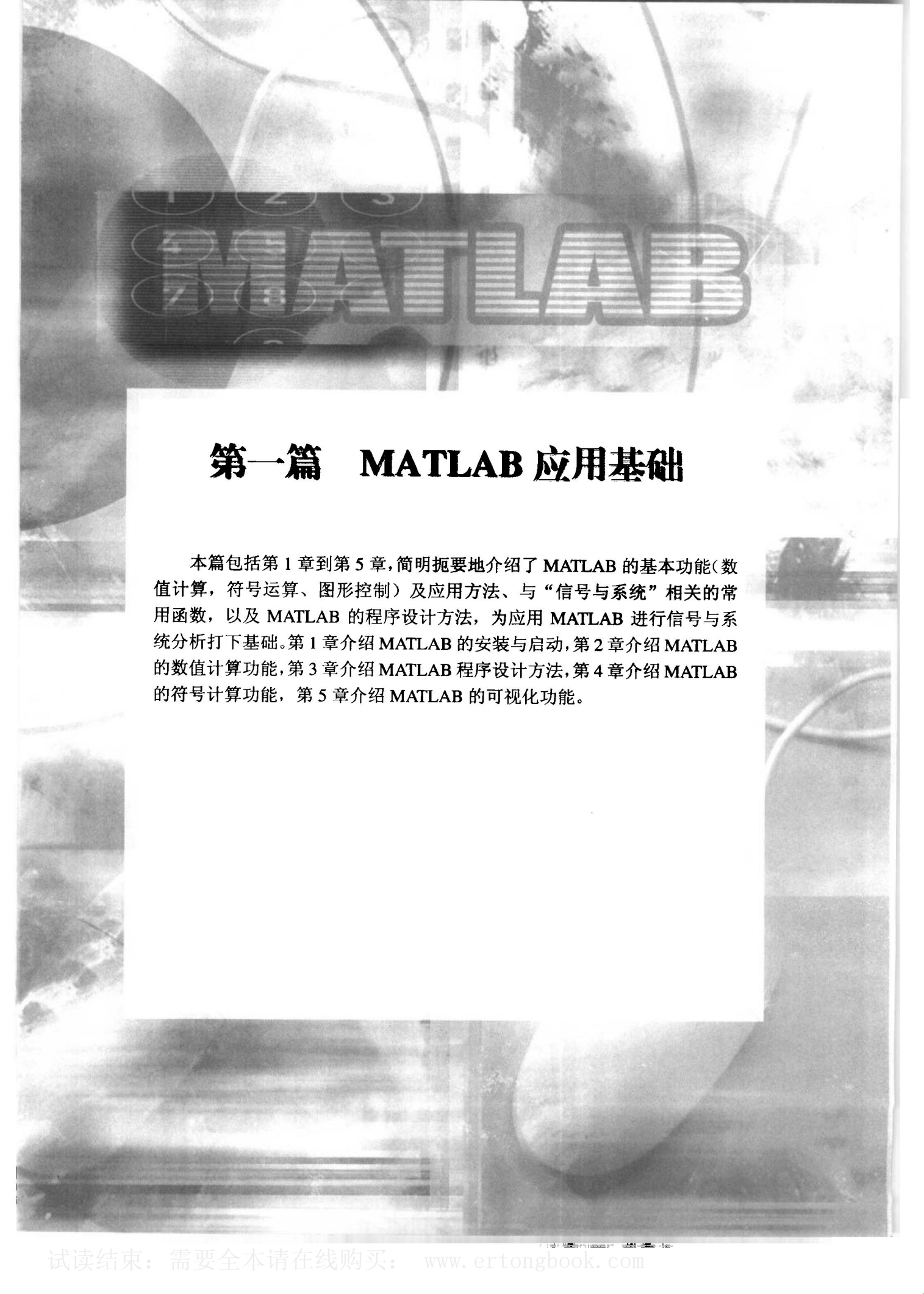
5.4.2	句柄——图形对象的标识.....	89
5.4.3	图形对象属性的获取与设定.....	90
5.4.4	图形对象常用属性.....	91
5.4.5	MATLAB 5.3 的图形可视编辑工具.....	94

第二篇 MATLAB 实现

第 6 章	信号的时域分析及 MATLAB 实现.....	101
6.1	信号的表示及可视化.....	102
6.1.1	连续时间信号.....	102
6.1.2	离散时间信号.....	109
6.2	信号的时域运算、时域变换及 MATLAB 实现.....	112
6.2.1	连续信号的时域运算与时域变换.....	112
6.2.2	离散序列的时域运算及时域变换.....	116
6.3	用 MATLAB 分析常用时间信号.....	120
6.3.1	连续时间信号.....	120
6.3.2	离散时间序列.....	125
	上机练习题.....	130
第 7 章	线性系统的时域分析及 MATLAB 实现.....	133
7.1	离散时间序列卷积和 MATLAB 实现.....	134
7.2	连续时间信号卷积及 MATLAB 实现.....	138
7.2.1	卷积积分.....	138
7.2.2	用 MATLAB 实现连续时间信号的卷积.....	140
7.3	连续系统的冲激响应、阶跃响应及 MATLAB 实现.....	144
7.4	离散系统的单位响应及 MATLAB 实现.....	148
7.5	利用 MATLAB 求 LTI 连续系统的响应.....	152
7.6	利用 MATLAB 求 LTI 离散系统的响应.....	153
	上机练习题.....	156
第 8 章	周期信号频域分析及 MATLAB 实现.....	161
8.1	连续时间周期信号的傅里叶级数及 MATLAB 实现.....	162
8.1.1	连续时间周期信号的傅里叶级数——CTFS.....	162
8.1.2	利用 MATLAB 实现周期信号的傅里叶级数分解与综合.....	165
8.2	连续时间周期信号的频谱分析及 MATLAB 实现.....	169
8.2.1	连续时间周期信号的频谱分析.....	169
8.2.2	周期信号频谱分析及 MATLAB 实现.....	171
8.3	用 MATLAB 实现典型周期脉冲的频谱.....	178
8.3.1	周期方波脉冲频谱的 MATLAB 实现.....	178
8.3.2	周期三角波脉冲频谱的 MATLAB 实现.....	181
8.3.3	用 FFT 实现周期信号的频谱分析.....	183

上机练习题.....	187
第 9 章 连续时间信号的频域分析及 MATLAB 实现.....	191
9.1 傅里叶变换及 MATLAB 实现	192
9.2 连续时间信号傅里叶变换的数值计算.....	195
9.3 信号的幅度调制及 MATLAB 实现	197
9.4 傅里叶变换的性质及 MATLAB 实现	201
9.4.1 傅里叶变换的尺度变换特性.....	201
9.4.2 傅里叶变换的时移特性.....	202
9.4.3 傅里叶变换的频移特性.....	205
9.4.4 傅里叶变换的时域卷积定理.....	206
9.3.5 傅里叶变换的对称性.....	208
9.4.6 傅里叶变换的时域微分特性.....	210
上机练习题.....	212
第 10 章 连续系统的频域分析及连续信号的采样与重构.....	215
10.1 系统的频率响应.....	216
10.2 利用 MATLAB 分析系统的频率特性	217
10.3 连续信号的采样及重构.....	221
10.3.1 信号的采样.....	221
10.3.2 信号的重构.....	224
上机练习题.....	228
第 11 章 连续系统的复频域分析及 MATLAB 实现.....	231
11.1 拉普拉斯变换及其曲面图.....	232
11.1.1 用 MATLAB 绘制拉普拉斯变换的曲面图.....	232
11.1.2 由拉普拉斯曲面图观察频域与复频域的关系.....	234
11.1.3 拉普拉斯变换零极点分布对曲面图的影响.....	236
11.2 利用 MATLAB 绘制连续系统零极点图.....	237
11.3 连续系统零极点分析.....	240
11.3.1 零极点分布与系统稳定性.....	240
11.3.2 零极点分布与系统冲激响应时域特性.....	241
11.3.3 由连续系统零极点分布分析系统的频率特性.....	245
11.4 巴特沃兹滤波器分析及 MATLAB 实现.....	251
11.5 拉普拉斯逆变换及 MATLAB 实现	256
11.5.1 $F(s)$ 的所有极点为单实极点.....	257
11.5.2 $F(z)$ 有共轭极点.....	257
上机练习题.....	260
第 12 章 离散系统的 Z 域分析及 MATLAB 实现	263
12.1 利用 MATLAB 绘制离散系统零极点图	264
12.2 离散系统的零极点分析.....	268
12.2.1 离散系统的零极点分布与系统稳定性.....	268

12.2.2	零极点分布与系统单位响应时域特性的关系	269
12.3	离散系统的频率响应 $H(e^{j\omega})$	273
12.4	用 MATLAB 实现离散系统的频率特性分析	276
12.4.1	直接法	276
12.4.2	几何矢量法	278
12.5	逆 Z 变换及 MATLAB 实现	283
12.5.1	$F(z)$ 的所有极点为单实极点	284
12.5.2	$F(z)$ 有共轭极点	284
	上机练习题	287
附录	MATLAB 常用函数表	291



MATLAB

第一篇 MATLAB 应用基础

本篇包括第 1 章到第 5 章, 简明扼要地介绍了 MATLAB 的基本功能(数值计算, 符号运算、图形控制) 及应用方法、与“信号与系统”相关的常用函数, 以及 MATLAB 的程序设计方法, 为应用 MATLAB 进行信号与系统分析打下基础。第 1 章介绍 MATLAB 的安装与启动, 第 2 章介绍 MATLAB 的数值计算功能, 第 3 章介绍 MATLAB 程序设计方法, 第 4 章介绍 MATLAB 的符号计算功能, 第 5 章介绍 MATLAB 的可视化功能。



第 1 章 MATLAB 的安装、 启动与退出



1.1 MATLAB 简介

在科学技术飞速发展的今天，计算机正扮演着越来越重要的角色。在进行科学研究与工程应用的过程中，科技人员往往会遇到大量繁重的数学运算和数值分析，传统的高级语言 BASIC、FORTRAN 及 C 语言等虽然能在一定程度上减轻计算量，但它们均要求应用人员具有较强的编程能力和对算法有深入的研究。

另外，在运用这些高级语言进行计算结果的可视化分析及图形处理方面，对非计算机专业的普通用户来说，仍存在着一定的难度。MATLAB 正是在这一应用要求背景下产生的数学类科技应用软件。它具有的顶尖的数值计算功能、强大的图形可视化功能及简洁易学的“科学便笺式”工作环境和编程语言，从根本上满足了科技人员对工程数学计算的要求，并将科技人员从繁重的数学运算中解放出来，因而，越来越受到广大科技工作者的普遍欢迎。

MATLAB 是 matrix 和 laboratory 前三个字母的缩写，意思是“矩阵实验室”，是 MathWorks 公司推出的数学类科技应用软件。其 DOS 版本 (MATLAB 1.0) 发行于 1984 年，现已推出了 Windows 版本 (MATLAB 5.3)。经过十多年的不断发展与完善，MATLAB 已发展成为由 MATLAB 语言、MATLAB 工作环境、MATLAB 图形处理系统、MATLAB 数学函数库和 MATLAB 应用程序接口五大部分组成的集数值计算、图形处理、程序开发为一体的功能强大的系统。MATLAB 由“主包”和三十多个扩展功能和应用学科性的工具箱 (Toolboxes) 组成。

MATLAB 具有以下基本功能：

- 数值计算功能
- 符号计算功能
- 图形处理及可视化功能
- 可视化建模及动态仿真功能

MATLAB 语言是以矩阵计算为基础的程序设计语言，语法规则简单易学，用户不用花太多时间即可掌握其编程技巧。其指令格式与教科书中的数学表达式非常相近，用 MATLAB 编写程序犹如在便笺上列写公式和求解，因而被称为“便笺式”的编程语言。另外，MATLAB 还具有功能丰富和完备的数学函数库及工具箱，大量繁杂的数学运算和分析可通过调用 MATLAB 函数直接求解，大大提高了编程效率，其程序编译和执行速度远远超过了传统的 C 和 FORTRAN 语言，因而用 MATLAB 编写程序，往往可以达到事半功倍的效果。在图形处理方面，MATLAB 可以给数据以二维、三维乃至四维的直观表现，并在图形色彩、视角、品性等具有较强的渲染和控制能力，使科技人员对大量原始数据的分析变得轻松和得心应手。

正是由于 MATLAB 在数值计算及符号计算等方面的强大功能，使 MATLAB 一路领先，成为数学类科技应用软件中的佼佼者。目前，MATLAB 已成为国际上公认的最优秀的科技应用软件。MATLAB 的上述特点，使它深受工程技术人员及科技专家的欢迎，并很快成为应用学科计算机辅助分析、设计、仿真、教学等领域不可缺少的基础软件。目前，

在国外高等院校，MATLAB 已成为本科生、研究生必须掌握的基础软件，国内一些理工院校也已经把 MATLAB 作为学生必须掌握的一种软件，“教育部全国计算机专业课程指导委员会”已将 MATLAB 语言列为推荐课程。

1.2 MATLAB 的安装

MATLAB 既可在 PC 机单机环境下亦可在网络环境下安装运行，本书仅介绍 MATLAB 5.3 在 PC 机单机环境使用 Microsoft Windows 98 操作系统进行安装的情况。

MATLAB 5.3 对系统的基本要求为：

- Microsoft Windows 95/98/Me/NT/2000 操作系统
- 奔腾处理器
- 16 MB 以上内存（推荐更多内存）
- 1 GB 以上剩余硬盘空间
- 4 倍速以上光驱
- 8 位以上显卡
- 推荐使用声卡

在系统满足上述要求的情况下，即可进行 MATLAB 5.3 的安装，安装过程如下：

（1）将 MATLAB 5.3 光盘放入光驱，计算机将自动运行 MATLAB 安装程序，并显示如图 1-1 所示的安装对话框（MATLAB 的版权信息）。

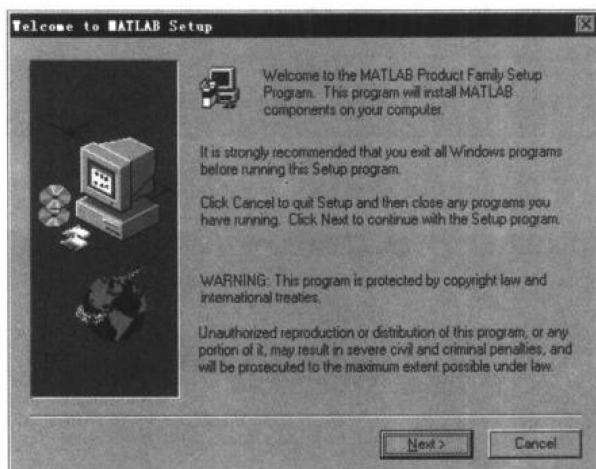


图 1-1 MATLAB 安装对话框一

（2）单击【Next】按钮继续下一步，屏幕显示如图 1-2 所示的安装对话框（MATLAB 的安装协议）。

（3）单击【No】按钮不接受协议，退出安装；单击【Yes】按钮接受协议，则屏幕显示如图 1-3 所示的安装对话框。

（4）在如图 1-3 所示的对话框中，分别输入用户名、公司名及 MATLAB 的产品序列号，然后单击【Next】按钮，则出现如图 1-4 所示的安装组件选择对话框。

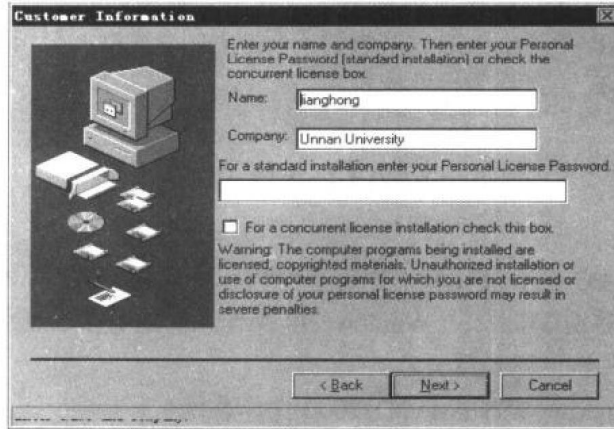


图 1-2 MATLAB 安装对话框二

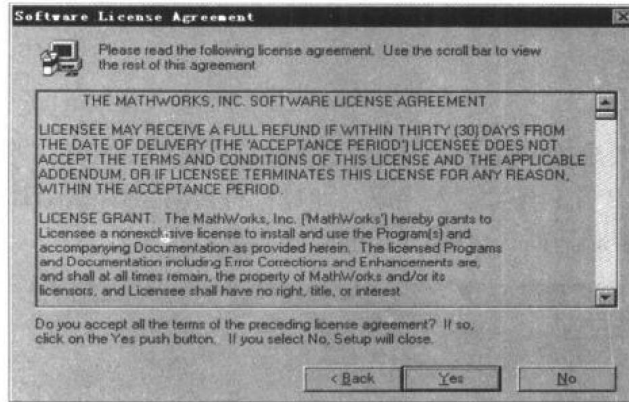


图 1-3 MATLAB 安装对话框三

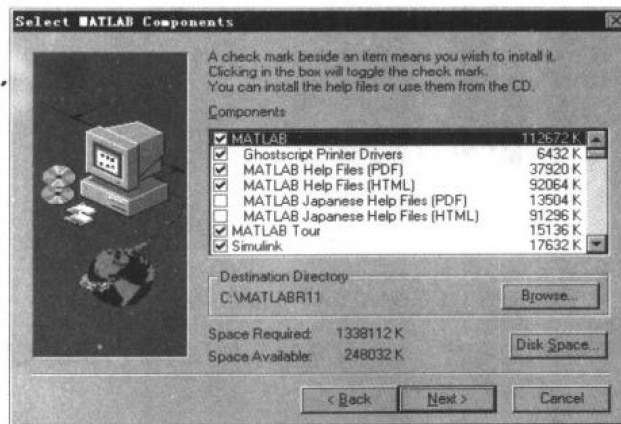


图 1-4 安装组件选择对话框

该对话框显示了 MATLAB 的所有可选安装组件 (Components)，其中包括“主包”

第1章 MATLAB 的安装、启动与退出

和三十多个工具箱 (Toolbox), 均通过该对话框中的复选框来选择。若读者安装 MATLAB 主要目的是进行信号处理与系统性能的分析, 则推荐安装的组件如表 1-1 所示。通过单击安装组件选择对话框的【Browse】按钮用户还可以更改和设置安装目录。安装组件及安装目录选择设置完毕后, 单击【Next】按钮, 则屏幕显示如图 1-5 所示, 系统正式开始安装 MATLAB 直至结束。MATLAB 安装完毕后, 在系统桌面上将出现 MATLAB 的快捷方式及图标。

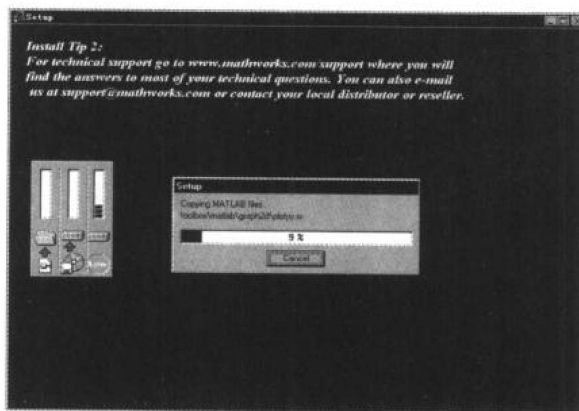


图 1-5 系统正在安装 MATLAB

表 1-1 信号与系统分析推荐安装组件

MATLAB	MATLAB 主包
MATLAB Help File [PDF]	Adobe 文档格式的帮助文件
MATLAB Help File [HTML]	超文本文档格式的帮助文件
Simulink	动态建模仿真软件包
Signal Processing Toolbox	信号处理工具箱
Image Processing Toolbox	图像处理工具箱
Control System Toolbox	控制工具箱
Wavelet Toolbox	小波工具箱
Communication Toolbox	通信工具箱
Extended Symbolic Math Toolbox	扩展符号数学工具箱

1.3 MATLAB 的启动与退出

1.3.1 MATLAB 的启动

MATLAB 的启动有如下两种方式:

方式一: 双击 Windows 98 操作系统桌面上的 MATLAB 快捷方式, 即可启动并打开