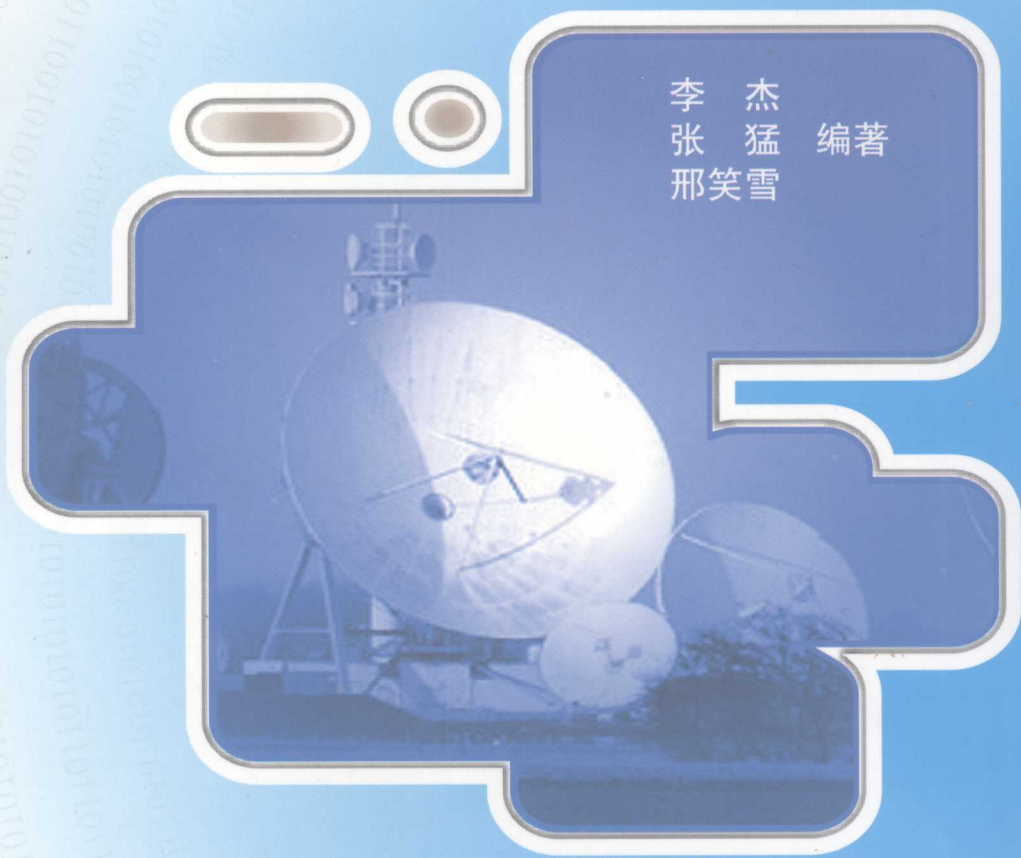




21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

信号处理MATLAB实验教程

李 杰 编著
张 猛
邢笑雪



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是依据教育部《高等学校电气工程及其自动化专业本科指导性专业规范》和《21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材》编写而成的。本书共分10章，主要内容包括：绪论、MATLAB基础知识、信号的采样与量化、信号的频谱分析、信号的时域分析、信号的频域分析、信号的复数域分析、信号的离散化、信号的连续化、信号的混合化。本书可作为电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。

信号处理 MATLAB 实验教程

李 杰 张 猛 邢笑雪 编著

本书是依据教育部《高等学校电气工程及其自动化专业本科指导性专业规范》和《21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材》编写而成的。本书共分10章，主要内容包括：绪论、MATLAB基础知识、信号的采样与量化、信号的频谱分析、信号的时域分析、信号的频域分析、信号的复数域分析、信号的离散化、信号的连续化、信号的混合化。本书可作为电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。



北京大学出版社

PEKING UNIVERSITY PRESS

地址：北京市海淀区中关村大街22号
电话：010-62752024
电子邮箱：bjup@pku.edu.cn

内 容 简 介

本书是按照“信号与系统”和“数字信号处理”两门课程整合的思路,在充分考虑其理论体系结构的基础上,依托于 MATLAB 平台编写的实验教程。全书分 4 个部分,分别是 MATLAB 与 Simulink 基础、信号与系统实验、数字信号处理实验、信号分析与处理综合实验。每个实验都包含实验目的、实验原理、实验内容与方法、程序设计实验、实验预习要求、实验报告要求、思考题等几部分,实验内容与方法中给出了实验程序的 M 文件程序,既方便学生练习,也有助于学生提高。在实验的安排和选用上,既可以配合两门课程的实验分为两个学期使用,也可以在学习完两门课程后统一安排在单独设课的实验课程中使用。

本书既可作为电气信息、测控技术与仪器等专业学生学习“信号与系统”、“数字信号处理”课程的实验指导书,也可作为其他专业师生掌握用 MATLAB 处理信号分析的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信号处理 MATLAB 实验教程/李杰,张猛,邢笑雪编著. —北京:北京大学出版社,2009.6

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-15168-6

I. 信… II. ①李…②张…③邢… III. 数字信号—信号处理—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 062183 号

书 名: 信号处理 MATLAB 实验教程

著作责任者: 李 杰 张 猛 邢笑雪 编著

责任编辑: 徐 凡

标准书号: ISBN 978-7-301-15168-6/TN · 0049

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 219 千字

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前言

“信号与系统”和“数字信号处理”两门课程是电气信息类专业重要的专业基础课,由于这两门课程关系密切,很多学校都建立了“信号与系统”和“数字信号处理”的课程体系,系统安排这两门课程的理论教学和实践教学。本书就是在这样的大背景下编写的。

作者在两门课程多年的教学过程中一直感到困惑,究其原因,一是没有从整体上把握两门课的体系结构,没有从信号分析、系统分析与处理的角度去思考课程所涉及的基本理论和基本概念;二是实验教学无法有效安排,以达到在较少的学时内既能够对基本概念和理论加深理解,又能够提高学生的分析设计能力和动手能力的实验目的;三是目前两门课程的硬件实验设备很难真正做到使学生自己动手做综合设计性实验,使综合设计性实验很难开展。

在充分考虑这两门课程的理论体系结构的基础上,我们对这两门课程的实验进行统筹安排,并依托 MATLAB 平台,编写了这本书。为了提高本书的使用价值,书中把信号与系统实验和数字信号处理实验分开来编排,并有综合实验的内容,这样本书既可以在两个学期开设两门课程时作为实验指导书来用,也可以把实验学时统筹到一起,作为信号分析的综合实验用书来使用。

全书共分为 4 个部分。

第 1 部分是 MATLAB 与 Simulink 基础。这部分简明扼要地引领学生认识 MATLAB 软件,对于没有接触过 MATLAB 软件的学生,可以起到入门的作用。

第 2 部分是信号与系统实验。这部分可以作为“信号与系统”课程的实验指导书,在讲授“信号与系统”课程的学期使用,也可作为课外书来指导学生熟悉如何使用 MATLAB 实现信号与系统中的相关问题。

第 3 部分是数字信号处理实验。这部分可以作为“数字信号处理”课程的实验指导书使用。

第 4 部分是信号分析与处理综合实验。这部分可以在两个学期中选做,也可作为学习这两门课程的综合实验,在两门课程学习结束之后安排实验,作为学生的综合设计性实验来选做。

本书可以作为开设“信号与系统”、“数字信号处理”课程各专业本科生和研究生的实验指导教材,也可作为其他非电类专业学生自学信号处理类课程的参考书。

本书由李杰统筹安排编写,并编写了第 2 部分和第 4 部分的实验 1、2;张猛编写了第 1 部分和第 3 部分的实验 3,第 4 部分的实验 5;邢笑雪编写了第 3 部分的实验 1、2、4、5、6 和第 4 部分的实验 3、4。全书由李杰统稿。在本书的编写过程中,实验教师史丽娟和马玉静参与了部分内容的组织和讨论,王丽荣、李学军给本书的编写提出了很多宝贵意见,

本书中的部分内容和程序参考了相关文献的内容和各校网络资源的内容，这里对所涉及的原作者一并表示感谢。由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎读者批评指正。

2009 年 2 月

目 录

第 1 部分 MATLAB 与 Simulink

基础 1

第 1 章 MATLAB 基础 1

1.1 什么是 MATLAB 1

1.2 MATLAB 基本运算与表达式 2

1.2.1 MATLAB 计算单元 2

1.2.2 MATLAB 计算单元的基本操作 4

1.2.3 多项式表达与基本运算 6

1.3 MATLAB 的基本绘图功能 7

1.4 M 文件与 MATLAB 函数 11

1.4.1 M 文件编辑器 11

1.4.2 MATLAB 语言的语法 12

1.4.3 MATLAB 脚本文件 13

与 M 函数 15

1.5 MATLAB 的单元与结构体 18

习题 1 19

第 2 章 Simulink 基础 20

2.1 Simulink 初步 20

2.1.1 Simulink 简介 20

2.1.2 运行 Simulink 21

2.2 Simulink 的基本模块 22

2.3 Simulink 建模 24

2.3.1 模块的创建及操作 24

2.3.2 模型的修饰 25

2.4 仿真计算与分析方法 26

2.4.1 连续系统建模 26

2.4.2 Simulink 结果的分析 27

习题 2 32

第 2 部分 信号与系统实验 33

实验 1 连续时间信号的产生与运算 33

一、实验目的 33

二、实验原理 33

三、实验内容与方法 33

四、程序设计实验 41

五、实验预习要求 42

六、实验报告要求 42

七、思考题 42

实验 2 离散时间信号的产生与运算 42

一、实验目的 42

二、实验原理 42

三、实验内容与方法 43

四、程序设计实验 47

五、实验预习要求 47

六、实验报告要求 47

七、思考题 48

实验 3 连续 LTI 系统的时域分析 48

一、实验目的 48

二、实验原理 48

三、实验内容与方法 49

四、程序设计实验 52

五、实验预习要求 52

六、实验报告要求 53

七、思考题 53

实验 4 离散 LTI 系统的时域分析 53

一、实验目的 53

二、实验原理 53

三、实验内容与方法 54

四、程序设计实验 56

五、实验预习要求 56

六、实验报告要求 56

七、思考题 56

实验 5 连续系统的频域分析 57

一、实验目的 57

二、实验原理 57

三、实验内容与方法 57

四、程序设计实验	62	一、实验目的	86
五、实验预习要求	62	二、实验原理	86
六、实验报告要求	62	三、实验内容与方法	88
七、思考题	62	四、程序设计实验	90
实验 6 连续系统的复频域分析	62	五、实验预习要求	91
一、实验目的	62	六、实验报告要求	91
二、实验原理	63	七、思考题	91
三、实验内容与方法	64	实验 4 IIR 数字滤波器的设计	91
四、程序设计实验	69	一、实验目的	91
五、实验预习要求	69	二、实验原理	91
六、实验报告要求	69	三、实验内容与方法	93
七、思考题	69	四、程序设计实验	98
实验 7 离散连续的 z 域分析	70	五、实验预习要求	99
一、实验目的	70	六、实验报告要求	99
二、实验原理	70	七、思考题	99
三、实验内容与方法	70	实验 5 FIR 数字滤波器的设计	99
四、程序设计实验	72	一、实验目的	99
五、实验预习要求	73	二、实验原理	99
六、实验报告要求	73	三、实验内容与方法	100
七、思考题	73	四、程序设计实验	105
第 3 部分 数字信号处理实验	74	五、实验预习要求	105
实验 1 离散傅里叶变换及性质	74	六、实验报告要求	106
一、实验目的	74	七、思考题	106
二、实验原理	74	实验 6 FIR 数字滤波器的优化	106
三、实验内容与方法	75	一、实验目的	106
四、程序设计实验	79	二、实验原理	106
五、实验预习要求	79	三、实验内容与方法	108
六、实验报告要求	79	四、程序设计实验	110
七、思考题	79	五、实验预习要求	111
实验 2 FFT 频谱分析	80	六、实验报告要求	111
一、实验目的	80	七、思考题	111
二、实验原理	80	第 4 部分 信号分析与处理综合实验	112
三、实验内容与方法	81	实验 1 信号的调制与解调	112
四、程序设计实验	85	一、实验目的	112
五、实验预习要求	85	二、实验原理	112
六、实验报告要求	85	三、实验内容与方法	113
七、思考题	85	四、程序设计实验	114
实验 3 数字滤波器结构设计分析	86	五、实验预习要求	115

六、实验报告要求	115	二、实验原理	125
七、思考题	115	三、实验内容与方法	126
实验 2 信号的采样与恢复	115	四、程序设计实验	131
一、实验目的	115	五、实验预习要求	131
二、实验原理	115	六、实验报告要求	131
三、实验内容与方法	116	七、思考题	131
四、程序设计实验	118	实验 5 连续系统的建模与仿真	131
五、实验预习要求	118	一、实验目的	131
六、实验报告要求	119	二、实验原理	132
七、思考题	119	三、实验内容与方法	133
实验 3 音乐信号处理	119	四、程序设计实验	134
一、实验目的	119	五、实验预习要求	135
二、实验原理	119	六、实验报告要求	135
三、实验内容与方法	121	七、思考题	135
四、程序设计实验	124	附录	136
五、实验预习要求	124	1. MATLAB 数字信号处理常用函数	136
六、实验报告要求	124	2. MATLAB 常用命令	137
七、思考题	125	参考文献	145
实验 4 变采样率数字滤波	125		
一、实验目的	125		

而，其图形窗口中可输入 MATLAB 命令，也可在 MATLAB 命令窗口中输入 MATLAB 命令。MATLAB 命令窗口中可输入 MATLAB 命令，也可在 MATLAB 命令窗口中输入 MATLAB 命令。MATLAB 命令窗口中可输入 MATLAB 命令，也可在 MATLAB 命令窗口中输入 MATLAB 命令。

第 1 部分 MATLAB 与

Simulink 基础

第 1 章 MATLAB 基础

MATLAB 语言是一种高性能、用于科学和技术计算的计算机语言。它使得计算和图像一体化，并且编程容易，它所使用的环境是将问题和解答用大家熟悉的数学标记来表达。1984 年美国 MathWorks 公司首先推出了 MATLAB 1.0 版，并受到科学技术界的广泛欢迎。后来在 MathWorks 公司不断地更新和充实 MATLAB 后，如今市场上已经达到 MATLAB 7.1 版以上。与 MATLAB 组合在一起的软件是 Simulink，它是用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件，它支持连续、离散和非线性系统。Simulink 不能独立运行，必须在 MATLAB 环境下运行。MATLAB 具有以下特点。

1.1 什么是 MATLAB

MATLAB 的全名是 Matrix Laboratory，意思是矩阵实验室。早期的 MATLAB 是建立在 DOS 操作系统上的，直到 20 世纪 90 年代才发展成在 Windows 操作系统上，同时它的功能也大为加强，不但可以进行数值计算，还具有从事符号解析运算、逻辑运算、数理统计、控制系统分析、最优化运算、金融的分析、数据的可视化、动力系统的建模和仿真等功能。

MATLAB 语言是一种高性能、用于科学和技术计算的计算机语言。它使得计算和图像一体化，并且编程容易，它所使用的环境是将问题和解答用大家熟悉的数学标记来表达。1984 年美国 MathWorks 公司首先推出了 MATLAB 1.0 版，并受到科学技术界的广泛欢迎。后来在 MathWorks 公司不断地更新和充实 MATLAB 后，如今市场上已经达到 MATLAB 7.1 版以上。与 MATLAB 组合在一起的软件是 Simulink，它是用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件，它支持连续、离散和非线性系统。Simulink 不能独立运行，必须在 MATLAB 环境下运行。MATLAB 具有以下特点。

1. 数学和计算

MATLAB 能执行矩阵运算、符号运算、公式化简、线性性和非线性方程式求解、高阶方程求根、线性规划、数理统计、微分和积分运算、最优化运算以及自动控制系统的分析计算等。MATLAB 可以说改变了计算数学的历史，使得复杂的计算变得容易，使脑力劳动者从大量烦琐的计算中解放出来，使数学分析和计算成为轻松愉快而有意义的事情。例如，过去分析高阶、多变量自动控制系统的稳定性和参数选择往往需要数天时间，而现在应用 MATLAB 只需几分钟就可完成，大大缩短了分析和设计时间，并且还能提供详尽的图表和过渡过程曲线。

2. 直译式编程语言

MATLAB 可以直接在命令窗口进行运算,也可以在 M 文件窗口中进行编程运算,而无需编译(compile)和链接(link)。由于 MATLAB 包含 1 000 多条数学函数和工程计算函数,因而可直接调用而不用另行编程。例如计算逆矩阵 X 时,只需调用 $\text{inv}(X)$ 即可,这样大大节省了编程时间和运算时间。

3. 先进的数据可视化功能

MATLAB 能够按数据产生高质量的二维和三维数据图形,如散点图、直方图、饼图、树干图、阶梯图、向量图和函数图形等,给用户提供了既直观又精确的图像。

4. 丰富的工具箱

为了协助解决各个技术领域的应用, MATLAB 设置了 30 多个工具箱。例如生物仪器工具箱、通信工具箱、控制工具箱、鲁棒控制工具箱、模糊逻辑工具箱、滤波器设计工具箱、曲线拟合工具箱、神经网络工具箱、最优化工具箱、金融工具箱、金融衍生工具箱、金融时间序列工具箱、系统识别工具箱、统计工具箱、偏微分方程工具箱和图像处理工具箱等。用户可以从工具箱中找到相应的帮助文本、应用举例和演示程序(DEMO)。

5. 科学计算功能

Simulink 工具箱被广泛应用于线性、离散、连续及多变量系统的仿真和分析中。由于它的运行需要 MATLAB 环境的支持,因此在介绍 Simulink 建模、仿真及分析之前,有必要先了解一些与之相关的 MATLAB 的基础知识。

1.2 MATLAB 基本运算与表达式

1.2.1 MATLAB 计算单元

MATLAB 作为一个高性能的科学计算平台,主要用于高级科学计算。MATLAB 的基本计算单元是矩阵与向量,其中向量是矩阵特例。一般而言,二维矩阵是由应用行、列元素构成的矩阵表示:对于 m 行、 n 列的矩阵,其大小为 $m \times n$ 。在 MATLAB 中表示矩阵与向量的方法直观,下面举例进行说明。

【例 1-2-1】矩阵 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$, 行向量 $B = [1 \ 2 \ 3]$, 列向量 $C = \begin{bmatrix} 4 \\ 5 \\ 6 \end{bmatrix}$, 在 MATLAB

中可以分别表示为

```
>> A=[1 2 3;4 5 6]
```

```
>> B=[1 2 3]
```

```
>> C=[4;5;6]
```

注意:

(1) MATLAB 中所有的矩阵与向量均包含在中括号 $[]$ 中。如果矩阵的大小为 1×1 ,

则它表示一个标量, 如

```
>>a=3
```

% a 表示一个数

- (2) 矩阵与向量的元素可以为复数, 在 MATLAB 中内置了虚数单元 i 、 j , 作为虚数的直观表达, 如 $3+4*i$ 或 $3+4*j$ 。
- (3) MATLAB 中对矩阵或向量元素的引用方式与通常矩阵的引用方式一致, 如 $A(2,3)$ 表示矩阵 A 的第 2 行第 3 列的元素。若想对 A 的第 2 行第 3 列的元素重新赋值, 则只需键入如下命令:

```
>>A(2,3)=8
```

则矩阵 A 变为

```
A=
```

```
1    2    3
4    5    8
```

- (4) MATLAB 中分号“;”的作用有两点: 一是为矩阵或向量的分行符, 二是作为矩阵向量的输出开关控制符。即如果输入矩阵或向量后键入分号, 则矩阵与向量不会在 MATLAB 命令窗口中显示, 否则将在命令窗口中显示。如输入矩阵:

```
>> A=[1 2 3;4 5 6]
```

%按 Enter 键, 则会在 MATLAB 命令窗口中显示

```
A=
```

```
1    2    3
4    5    6
```

除了对二维矩阵的支持之外, MATLAB 还支持包括三维矩阵在内的多维矩阵, 对于多维矩阵的表示也很直观。

如由二维矩阵 $D = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$ 与 $E = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 5 \\ 3 & 7 & 8 \end{bmatrix}$ 构成的三维矩阵 F 可以表示为

```
>>F(:, :, 1)=D;
```

```
>>F(:, :, 2)=E;
```

即

```
>>F(:, :, 1)=[1 2 3;4 5 6];
```

```
>>F(:, :, 2)=[0 2 5;3 7 8];
```

对于维数大于 3 的多维矩阵的建立和表达与此相似。同样, 多维矩阵的引用和赋值也与二维矩阵类似, 这里不再赘述。

- (5) 冒号操作符“:”的应用。冒号操作符在建立矩阵的索引与引用时非常方便且直接。如上述对多维矩阵 F 的建立中, 冒号操作符表示对矩阵 F 第一维与第二维所有元素按照其顺序进行引用, 从而对 F 进行快速赋值, 无需逐一进行赋值。如输入:

```
>> B=2:5
```

%对向量进行赋值

```
B =
```

```
2    3    4    5
```

```
>> B(1:3)=2
```

%向量 B 从第 1 个到第 3 个元素全部赋值为 2

```
B =
```

```

      2      2      2      5
>> C=0:2:6      %将向量C进行递增赋值，初始值为0，终止值为6，步长为2
C =
      0      2      4      6

```

冒号操作符的使用很灵活，如图 1.1.1 所示。

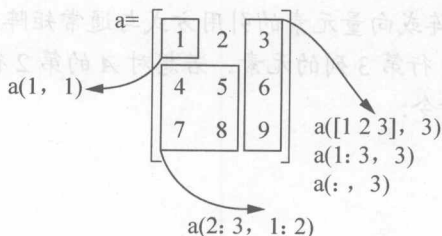


图 1.1.1 冒号操作符使用示意图

从图 1.1.1 中可以看出，使用冒号操作符对矩阵元素进行引用非常灵活和方便，它可以有效地对矩阵的指定元素或区域进行各种操作与控制。这使得 MATLAB 对矩阵的操作方式非常符合习惯的用法，易于理解与引用。此外，MATLAB 还支持多种不同类型的数据，它们的建立和基本引用与本节介绍的基本相同，这里不再赘述，有兴趣的读者可以参考 MATLAB 的联机帮助。

1.2.2 MATLAB 计算单元的基本操作

1.2.1 节介绍了 MATLAB 的基本计算单元，即矩阵与向量的建立与引用方法。本节将简单介绍在 MATLAB 环境下矩阵与向量的操作与运算。

1. 矩阵的加法与减法

如果矩阵 A 与矩阵 B 具有相同的维数，则可以定义矩阵的加法与减法，其结果为矩阵相应元素作运算所构成的矩阵。矩阵的加法与减法在 MATLAB 中的表达方式为

```

>> C=A+B      %C 为矩阵 A 与 B 之和
>> D=A-B      %D 为矩阵 A 与 B 之差

```

【例 1-2-2】 若 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$ ， $B = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 1 & 5 & 6 \end{bmatrix}$ ，计算 $C = A + B$ ， $D = A - B$ 。

执行：

```
>> C=A+B
```

得到结果：

```

C =
      1      4      6
      5     10     12

```

```
>> D=A-B
```

```

D =
      1      0      0
      3      0      0

```

矩阵与标量的加减法是指标量本身与矩阵所有元素进行相应的运算, 如 $b=2$, $E=A+b$, 则可以得到

```
>> E=A+b
```

```
E =
```

```
    3    4    5
    6    7    8
```

2. 矩阵的乘法与除法

如果矩阵 A 的列数等于矩阵 B 的行数, 则矩阵 A 、 B 可以相乘。其结果 $C=AB$ 在 MATLAB 中可表示为

```
C=A*B
```

%A、B 相乘, 若 A、B 不满足矩阵的乘法法则, 则 MATLAB 会给出出错信息

【例 1-2-3】若 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 0 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$, 计算 $C=A*B$ 。

执行:

```
>> C=A*B
```

得到结果:

```
C =
```

```
    7    11
   16    29
```

如果矩阵 A 为方阵, A 的 p 次方可以用 A^p 表示。如果 p 是一个正数, 那么这个幂可以由矩阵的连续相乘定义。当 $p=0$ 时, 其结果为与 A 相同的矩阵; 当 $p<0$ 时, 只有在 A 的逆存在时才可定义 A^p , 其意义为 $\text{inv}(A)^{(-p)}$ 。

在 MATLAB 中, 矩阵除法有两种形式, 即左除(/)和右除(/)。如果 A 是一个非奇异方阵, 那么输入如下程序:

```
>> A\B
```

%表示 A 的逆与 B 的左乘, 即 $\text{inv}(A)*B$

```
>> B/A
```

%表示 A 的逆与 B 的右乘, 即 $B*\text{inv}(A)$

矩阵的左除和右除运算还可以用来求解矩阵方程 $AX=B$, 输入如下程序:

```
>> X=A\B
```

如果 A 是一个方阵, X 就是方程的解; 如果 A 是一个行数大于列数的矩阵, X 就是方程的最小二乘解。

3. 矩阵的转置

转置是一种重要的矩阵运算, 在 MATLAB 中用撇号来表示, 程序如下:

```
>> B= A'
```

%则 B 为 A 的转置

如果 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix}$, 则 $B = \begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 5 \\ 3 & 6 \end{bmatrix}$ 。

如果 A 中含有复数元素, 则 A 的转置矩阵中的元素为原来元素的共轭。

4. 对矩阵元素的操作与运算

在上述各种常用运算中, 所有的操作都是针对矩阵中所有元素或一部分元素来操作的。其实还可以对矩阵元素进行单独的操作运算。对于加法和减法, 对矩阵元素的操作和对矩阵的操作是一致的。其他运算对于所有矩阵元素的操作都需要在操作符前加点。

【例 1-2-4】若 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 7 & 2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 1+2i & 5-2i \\ 3+i & 1+3i \end{bmatrix}$, 则

```
>> X=A.*B           %矩阵的对应元素相乘
X =
     7     4
     3     0

>> Y=B./A           %矩阵的对应元素相除
Y =
    7.0000    1.0000
    0.3333     0

>> Z=B.^2           %矩阵元素的乘方运算
Z =
    49     4
     1     0

>> Z1=A.^B          %矩阵对应元素的幂运算
Z1 =
     1     4
     3     1

>> Z2=C.'           %矩阵的转置
Z2 =
    1.0000 + 2.0000i    3.0000 + 1.0000i
    5.0000 - 2.0000i    1.0000 + 3.0000i
```

作为高性能的科学计算工具, MATLAB 对矩阵与向量提供了强大的支持。本书主要讲述 MATLAB 的基础知识, 因此对这部分内容仅作简单介绍, 感兴趣的读者可以参考任何一本 MATLAB 参考书。

1.2.3 多项式表达与基本运算

在做动态系统建模、仿真与分析时, 将会大量使用多项式。许多系统的模型描述(如系统的传递函数)都需要使用多项式, 并在多项式描述的基础上对系统进行仿真分析。本节将简单介绍 MATLAB 中的多项式表示及其运算。

1. 多项式的建立

在 MATLAB 中, n 阶多项式 $p(x)$ 由一个长度为 $n+1$ 的向量 p 表示, 向量 p 的元素为多项式的系数, 且按照自变量 x 的降序进行排列。若 n 阶多项式为

大式何就，而在 $p(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \cdots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$ (其中 $n \neq 0$)

则其在 MATLAB 中的表示方法为

```
>> p=[an an-1 ... a2 a1 a0]
```

注意：多项式中系数为 0 的项不能忽略， p 中相应元素应置为 0。如多项式 $p(x) = 3x^3 + 2x + 1$

在 MATLAB 中应表示为

```
>> p=[3 0 2 1]
```

2. MATLAB 中多项式操作函数简介

roots(p): 长度为 n 的向量，表示 n 阶多项式的根，即方程 $p(x)=0$ 的根，可以为复数。

conv(p,q): 表示多项式 p , q 的乘积，一般也指 p , q 的卷积。

poly(A): 计算矩阵 A 的特征多项式向量。

poly(p): 由长度为 n 的向量中的元素为根建立的多项式，结果是长度为 $n+1$ 的向量。

polyval(p,x): 若 x 为一数值，则计算多项式在 x 处的值；若 x 为向量，则计算多项式在 x 中每一元素处的值。

3. 举例分析

【例 1-2-5】 求多项式 $p(x) = 3x^3 + 2x + 1$ 的根。

解：在 MATLAB 的命令窗口中依次输入以下命令，即可求出其根。

```
>> p=[3 0 2 1];
>> rootp=roots(p)           %rootp 为多项式的根
rootp =
    0.2012 + 0.8877i
    0.2012 - 0.8877i
   -0.4023
```

【例 1-2-6】 求多项式 $q(x)=2x+3$ 与 $p(x)=3x^3+2x+1$ 的乘积。

解：在 MATLAB 的命令窗口中依次输入以下命令，即可求出其乘积。

```
>> p=[3 0 2 1];
>> q=[2 3];
>> prod=conv(q,p)           %prod 为多项式 p,q 乘积多项式的系数
prod =
     6     9     4     8     3
```

即多项式 $q(x)$ 和 $p(x)$ 的乘积为多项式：

$$prod(x) = 6x^4 + 9x^3 + 4x^2 + 8x + 3$$

1.3 MATLAB 的基本绘图功能

MATLAB 作为高性能、交互式的科学计算工具，具有非常友好的图形界面，这使得 MATLAB 的应用非常广泛。同时 MATLAB 也提供了强大的绘图功能，这使得用户通过对 MATLAB 内置绘图函数的简单调用，便可迅速绘制出具有专业水平的图形。在利用 Simulink

进行动态系统仿真时,图形输出可以使设计者快速地对系统性能进行定性分析,故可大大缩短系统开发时间。

MATLAB 的图形系统是面向对象的。图形的要素,如坐标轴、标签、观察点等都是独立的图形。通过本节的学习,用户能够快速掌握图形绘制技术。

1. 基本的二维图形绘制命令

`plot(x,y)`: 输出以向量 x 为横坐标,以向量 y 为纵坐标且按照 x,y 元素的顺序有序绘制的图形。 x 与 y 必须具有相同的长度。

`plot(y)`: 输出以向量 y 元素序号 m 为横坐标,以向量 y 对应元素 y_m 为纵坐标绘制的图形。

`Plot(x1,y1,'str1',x2,y2,'str2',...)`: 用 'str1' 指定的方式,输出以 x_1 为横坐标的图形。用 'str2' 指定的方式,输出以 x_2 为横坐标、 y_2 为纵坐标的图形。若省略 'str', 则 MATLAB 会自动为每条曲线选择颜色与线型。'str' 选项中的部分参数见表 1-1。

表 1-1 plot 命令选项

颜 色		线 型			
'g'	绿色	'.'	粗点线	'--'	虚线
'y'	黄色	'.'	点线	'-.'	点划线
'r'	红色	'*'	星线	'.'	实线
'b'	蓝色	'o'	圆圈	'+'	加号
'm'	品红色	'x'	叉	's'	方形
'y'	黄色	'd'	菱形	'p'	五角形
'k'	黑色	'^'	上三角	'h'	六角形

2. 简单的三维图形绘制命令

`plot3(x,y,z)`: 用向量 x, y 和 z 的相应点绘制有序的三维图形。向量 x, y 和 z 必须具有相同的长度。

`plot3(x1,y1,z1,'str1',x2,y2,z2,'str2',...)`: 用 'str1' 指定的方式,对 x_1, y_1 和 z_1 进行绘图;用 'str2' 指定的方式,对 x_2, y_2 和 z_2 进行绘图;若省略 'str', 则 MATLAB 会自动选择颜色与线型。

3. 图形绘制举例

【例 1-3-1】用 MATLAB 在同一图形窗口中绘制多项式 $q(x)=2x+3$ 与 $p(x)=3x^3+2x+1$ 的曲线,其中 $x \in [-2, 5]$, 要求分别用不同的线型与颜色表示。

解: 在 MATLAB 命令下输入:

```
>> x=-2:0.1:5;
>> q=2*x+3;
>> p=3*x.^2+2*x+1;
>> plot(x,q,'r--',x,p,'b-'), grid;
```

结果如图 1.1.2 所示。

直线(虚线)表示多项式 $q(x)=2x+3$, 曲线(实线)表示多项式 $p(x)=3x^3+2x+1$ 。

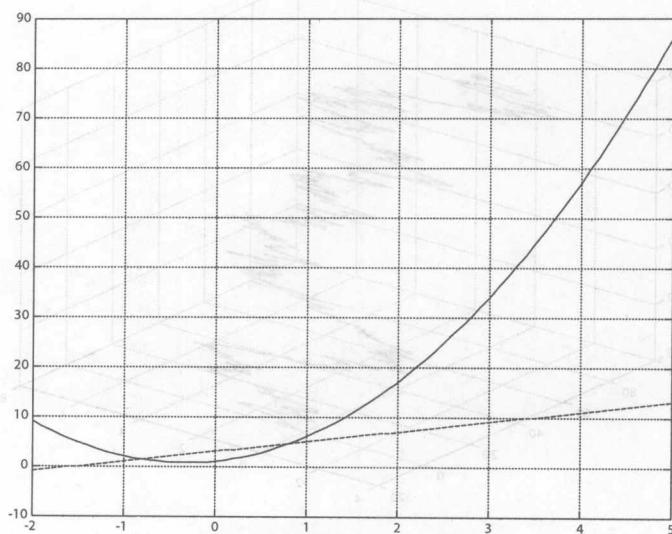


图 1.1.2 图形多项式绘制

4. 简单的图形控制命令

`clc`: 清除命令窗口。

`grid`: 自动在坐标轴上显示虚线型网络。

`hold on`: 保持当前的图形, 允许在当前图形状态下绘制其他图形, 即在同一图形窗口中绘制多幅图形。

`hold off`: 释放当前图形窗口, 绘制的下一幅图形将作为当前图形, 即覆盖原来的图形, 这是 MATLAB 的默认状态。

`hold`: 在 `hold on` 与 `hold off` 之间进行转换。

简单的子图命令如下:

`subplot(m,n,p)`: 将图形窗口分成 m 行 n 列的子窗口, 序号为 p 的子窗口为当前窗口。子窗口的编号由下至上, 由左至右。

`subplot(m,n,p)`: 设置图形窗口为默认模式, 即 `subplot(1,1,1)` 为单窗口模式。

【例 1-3-2】绘出三维空间的随机曲线。

解: 在 MATLAB 命令窗口中输入:

```
>> x=cumsum(rand(1,1000)-0.5);
>> y=cumsum(rand(1,1000)-0.4);
>> z=cumsum(rand(1,1000)-0.3);
>> plot3(x,y,z),grid
```

结果如图 1.1.3 所示。其中函数 `cumsum(x)` 表示对向量 x 的各元素求累加和。`Rand(m,n)` 表示生成 $m \times n$ 的随机矩阵, 且矩阵中的所有元素都服从 $[0, 1]$ 之间的均匀分布。`grid` 表示为各个坐标加上虚线型网络。

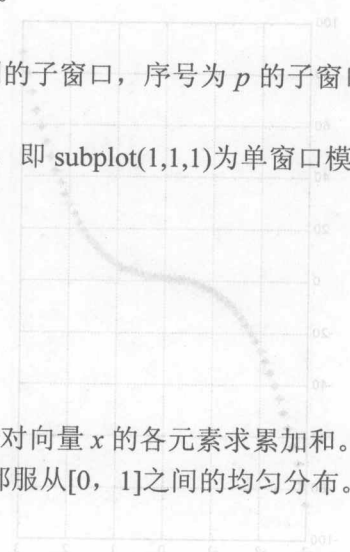


图 1.1.3 三维随机曲线