

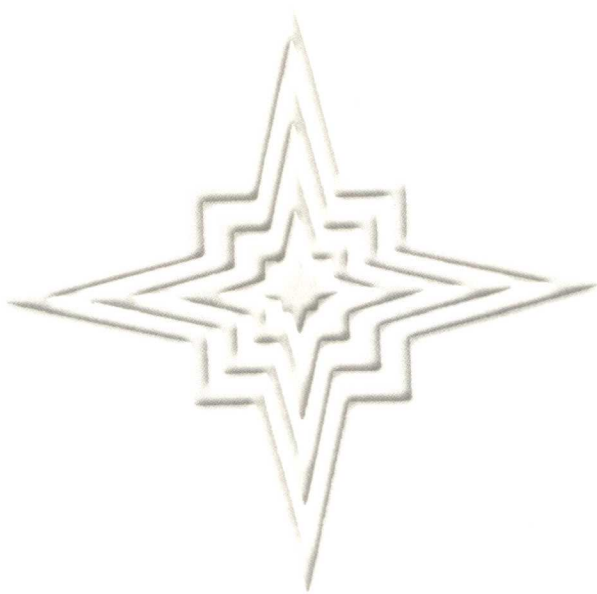


通信原理课程建设教材系列

通信原理

——基于Matlab的计算机仿真

郭文彬 桑 林 编著
庞沁华 审订



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

通 信 原 理

——基于 Matlab 的计算机仿真

郭文彬 桑 林 编著
庞沁华 审订

北 京 邮 电 大 学 出 版 社
· 北 京 ·

内 容 简 介

本书主要针对《通信原理》这门课程,通过实例详细讲解了利用 Matlab 进行仿真的方法。书中给出了大量的 Matlab 脚本文件和范例。通过计算机模拟与仿真,一方面能使读者加深对所学基本理论的理解;另一方面,使读者能迅速掌握 Matlab 进行通信系统仿真的技巧。

全书共 10 章,包括:Matlab 基本知识、确定信号分析、随机过程、模拟调制、数字基带传输、数字频带传输、模拟信号的数字化及编码、信道及信道容量、信道编码、扩频通信与伪随机序列等内容。

本书叙述层次分明简洁,实例广泛,适合高等院校通信工程、信息工程、电子工程等专业本科生作为相关课程的参考书和补充教材,也可作为相关工程技术人员和科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理:基于 Matlab 的计算机仿真/郭文彬,桑林编著. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1175-X

I. 通... II. ①郭...②桑... III. 通信原理—计算机仿真 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 024446 号

书 名: 通信原理——基于 Matlab 的计算机仿真

作 者: 郭文彬 桑 林

责任编辑: 王晓丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

北方营销中心: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

南方营销中心: 电话: 010-62282902 传真: 010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 286 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1175-X/TN·411

定价: 22.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 ·

前 言

Matlab 是 1984 年美国 Math Works 公司的产品,Matlab 的推出得到了各个领域专家学者的广泛关注,其强大的扩展功能为各个领域的应用提供了基础。目前,Matlab 已成为从事科学研究、工程计算的基本计算工具,是目前工程上流行最广泛的科学语言。

本书可用作《通信原理》或其他通信系统方面的理论教科书的参考书或补充教材。因此,在内容的安排上具有以下特点:简要介绍通信原理中涉及到的基本理论;对每一概念及结论给出简短的叙述;建立必要的符号,但未给出证明,因为这样的证明在有关的通信系统方面的教科书中会有较详细的论述。本书着重介绍利用 Matlab 对系统进行分析与设计的实例,通过例子阐明基本概念,不求过细,而强调联系实际。

本书通过大量的 Matlab 脚本文件和范例,为学生熟悉、掌握和熟练应用 Matlab 提供了一个载体,并通过本书探讨如何有效地利用计算机作为辅助教学工具,改进教学方法,让他们能有更多的空间自主学习。本书作者在多年的教学实践的基础上,既考虑了学生的认知过程,也加入了作者自己的编程经验。

本书共分为 10 章。第 1 章:Matlab 基本知识,简要介绍了 Matlab 的基本知识;第 2 章:确定信号分析,对线性系统分析中的一些基本方法和技术进行了复习;第 3 章:随机过程,简要说明了产生随机变量和随机过程样本的方法;第 4 章:模拟调制;第 5 章:数字基带传输;第 6 章:数字频带传输;第 7 章:模拟信号的数字化及编码;第 8 章:信道及信道容量;第 9 章:信道编码;第 10 章:扩频通信与伪随机序列。在这些章节中,通过大量的“例题”、Matlab 脚本

文件和范例来演绎和深化概念,联系实际,并在重要概念上作适当延伸。

本书叙述层次分明简洁,实例广泛,适合高等院校通信工程、信息工程、电子工程等专业本科生作为相关课程的参考书和补充教材,也可作为相关工程技术人员和科研人员的参考书。

本书由郭文彬、桑林编写,由北京邮电大学的庞沁华教授主审。在本书的编写过程中杨鸿文教授、李卫东老师给予了很大的帮助和支持,并提出了许多宝贵建议,编者在此表示诚挚的感谢。由于时间仓促和水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者来信、来函批评指正。

编 者
2006 年 4 月

目 录

第 1 章 Matlab 基本知识

1.1 Matlab 基本语法	3
1.2 常用的 Matlab 函数	6
1.3 Matlab 基本操作	8
1.3.1 矢量运算	8
1.3.2 矩阵运算	10
1.3.3 子函数编写	13

第 2 章 确定信号分析

2.1 周期信号的傅里叶级数	14
2.2 信号的傅里叶变换及其性质	16
2.2.1 傅里叶变换与反变换	16
2.2.2 信号的能量、功率及其自相关	20
2.2.3 信号带宽	23
2.3 信号的希尔伯特变换及其性质	25
2.3.1 希尔伯特变换及其性质	25
2.3.2 解析信号及等效基带信号	27
2.3.3 等效基带系统	27
练习题	32

第 3 章 随机过程

3.1 随机变量及其分布	34
3.2 蒙特卡罗仿真算法	37
3.3 信息论初步	38
3.4 平稳随机过程	40
3.4.1 随机过程	40
3.4.2 平稳随机过程	41

3.5 平稳随机过程经过线性非时变系统·····	43
3.6 窄带平稳随机过程·····	43
练习题·····	47

第4章 模拟调制

4.1 幅度调制·····	49
4.1.1 双边带抑制载波调幅(DSB-SC)·····	49
4.1.2 具有离散大载波的双边带调幅(AM)·····	52
4.1.3 单边带调幅(SSB)·····	55
4.1.4 残留边带调幅(VSB)·····	58
4.1.5 幅度调制信号的解调性能·····	61
4.2 角度调制·····	67
4.2.1 调频信号·····	67
4.2.2 调相·····	67
4.2.3 调频、调相信号的解调·····	68
练习题·····	72

第5章 数字基带传输

5.1 数字基带信号·····	74
5.2 数字基带接收·····	78
5.3 带限系统下的基带信号·····	84
5.3.1 抽样点无码间干扰的基带成形·····	85
5.3.2 升余弦滚降系统·····	86
5.3.3 最佳基带系统·····	88
5.3.4 基带信号眼图·····	89
5.4 部分响应系统·····	92
练习题·····	96

第6章 数字频带传输

6.1 二进制数字调制·····	97
6.1.1 OOK·····	97
6.1.2 2PSK·····	98
6.1.3 2FSK·····	99
6.2 多进制数字调制·····	103
6.2.1 MPSK(一维信号)·····	103

6.2.2	MPSK(二维信号)	103
6.2.3	MQAM(二维信号)	104
6.2.4	正交 MFSK(M 维信号)	105
6.2.5	平均每符号能量与平均每比特能量	106
6.2.6	M 进制信号的最佳接收	106
6.2.7	OQPSK 与 QPSK 信号	112
练习题		118

第 7 章 模拟信号的数字化及编码

7.1	抽样定理	120
7.2	量化	123
7.2.1	均匀量化	123
7.2.2	非均匀量化	124
7.3	脉冲编码调制(PCM)	129
7.4	多路复用	135
7.4.1	频分多路复用	135
7.4.2	时分复用	136
练习题		137

第 8 章 信道及信道容量

8.1	热噪声	138
8.2	连续信道模型	140
8.2.1	AWGN 信道模型	140
8.2.2	线性非时变信道模型	140
8.2.3	多径时变信道	145
8.3	离散信道模型	154
8.3.1	离散输入离散输出信道模型	154
8.3.2	离散输入连续输出信道模型	155
8.4	信道容量	155
8.4.1	互熵、联合熵、条件熵	155
8.4.2	信道容量	156
练习题		157

第 9 章 信道编码

9.1	基本原理	159
-----	------	-----

9.2 线性分组码	162
9.2.1 线性分组码的概念及性质	162
9.2.2 线性分组码的译码	165
9.2.3 汉明码及其设计	167
9.3 循环码	167
9.4 卷积码	174
9.4.1 卷积码的编码	175
9.4.2 卷积码的传输函数	176
9.4.3 卷积码的译码	177
练习题	183
 第 10 章 扩频通信与伪随机序列	
10.1 伪随机序列	185
10.2 正交编码	191
10.2.1 Walsh 码	191
10.2.2 码分多址通信	191
10.3 直接序列扩频	195
10.4 Rake 接收基本原理	196
练习题	199
参考文献	201

第 1 章 Matlab 基本知识

Matlab 是 Math Works 公司推出的一套高性能的数值计算和可视化的科学工程计算软件,它支持解释性语言输入,编程实现简单,具有丰富的数学函数功能支持。Matlab 允许与 C、Fortran 语言的接口,其部件 Simulink 甚至可以采用图形输入的方式来搭构所研究的系统。由于 Matlab 的功能强大,在系统仿真、数字信号处理、图形图像分析、数理统计、通信及自动控制领域得到广泛应用。Matlab 是一个易于使用的软件,随着该软件包的不断升级,支持的功能越来越多。Matlab 语言已被认为是面向 21 世纪的程序设计语言和科学计算语言。

Matlab 6.0 以上版本由于采用了新的图形系统,因此对计算机的要求至少要达到:

- 操作系统为:Windows 98/Me/2000/XP(Matlab 也有基于其他操作系统的版本,这里只介绍基于 Microsoft 公司的操作系统);
- 内存 16 MB 以上(注:建议系统内存至少 128 MB 以上);
- 剩余磁盘空间 1 GB 以上。

Matlab 软件的安装可以选择组件,如果读者安装 Matlab 的目的主要是进行信号处理与系统性能分析,则推荐安装的组件如表 1-1 所示。

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 文本格式的帮助文件
Matlab Help File[HTML]	超文本格式的帮助文件
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 Toolbox	扩展数学符号工具箱

Matlab 软件安装完毕后,点击 Matlab 图标或命令文件就可以进入 Matlab 运行环境。Matlab 运行环境分成几个部分:桌面和命令窗口、命令历史窗口、帮助信息浏览器、

工作空间浏览器、文件路径检索等,其中主要部分是命令窗口“>>”,它是 Matlab 与用户之间交互式命令输入、输出的界面,用户从这个窗口输入的命令,经过 Matlab 解释后执行,并且将执行结果显示在这个窗口。

Matlab 采用解释性语言,因此所有的程序、子程序、函数、命令在命令窗口中都被视为 Matlab 的命令。表 1-2 是一些最基本的常用 Matlab 命令。

表 1-2 一些常用 Matlab 命令

edit	编写 Matlab 脚本文件 *.m 的工具,编写好的文件 *.m,存储后可以通过用命令 * 执行。
help	Matlab 中的命令或函数的使用帮助,如果不清楚 Matlab 命令的格式,可以通过敲入 help 命令名获得 Matlab 的使用帮助。
help desk	该命令打开 Matlab 帮助环境窗口。
exit	退出 Matlab,关闭主程序,也可以采用 quit 命令达到相同的效果,或者通过菜单项 File 中的 Exit 退出 Matlab。
cd	改变当前 Matlab 运行目录,缺省情况下 Matlab 的当前运行目录是:\Matlab6p1\work。
pwd	显示当前 Matlab 运行目录。

Matlab 作为一种高级语言,不但可以以命令行的方式完成操作,也可以像大多数程序设计语言一样具有数据结构、控制流、输入/输出和面向对象的编程能力,适用于各种应用程序设计。Matlab 语言具有语法相对简单、使用方便、调试容易等优点。关于 Matlab 程序设计的更详细的内容可以参考相关书籍。以下将简单介绍 Matlab 的使用以期使读者能快速入门。

Matlab 的程序编写就像堆积木一样,可以通过编写 .m 文件的方式将 Matlab 命令或函数组合成一个具体功能的命令或函数,通常将 .m 文件称为脚本文件。脚本文件可以是 Matlab 的命令或函数,都可以以命令的形式在 Matlab 的命令窗口“>>”中运行。

[例 1-1] 先创建一个 magicrank.m 的脚本文件如下(采用 edit 命令进行编辑)

```
% Investigate the rank of magic squares
r = zeros(1,32);           % 调用 Matlab 函数,产生 1×32 的 0 向量
for n = 3:32               % 循环 30 次
    r(n) = rank(magic(n)); % 调用幻方函数 magic(n)得到 n×n 的幻方矩阵,
end                         % 并求其秩
r                           % 显示 r 的结果(注:没有分号)
bar(r)                     % 调用 Matlab 函数 bar,画出 r 的示意图
```

然后在 Matlab 环境中执行

```
>>magicrank
```

运行结果如图 1-1 所示。

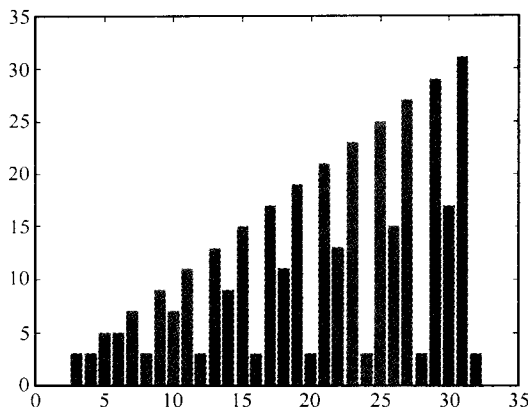


图 1-1 $n \times n$ 幻方矩阵的秩

例 1-1 所示是一个简单的脚本文件,或者也可以称之为一个命令 magicrank,它求出了从 3 到 30 的幻方矩阵的秩,并且用图的形式显示出来。

例 1-1 中涉及到一些基本的 Matlab 语法和变量的存储、赋值方法,下面将介绍这部分内容,你将看到它是如此简单,以至于你马上可以动手编写你自己的命令。

1.1 Matlab 基本语法

本节仅介绍在信号分析和通信系统仿真中常用的基本语法,关于其他的语法部分读者可以参考 Matlab 的联机帮助手册。

1. 变量赋值与存储方式

在 Matlab 中,变量分成如下几类:

标量:标量的赋值如 $a=10$;

矢量:矢量是由多个标量组成的一个 n 元组,其赋值如下:

$a=[1\ 3\ 5\ 7\ 9]$; $a=1:2:9$; $a=[1\ 7\ 6\ 2]$ 等

矩阵:矩阵的赋值如 $A=[1\ 2\ 3; 4\ 5\ 6; 7\ 8\ 9]$,其结果相当于矩阵

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{pmatrix}$$

Matlab 中矩阵的存储是按列存储,即上述 A 矩阵在内存中的存储形式为

1	4	7	2	5	8	3	6	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. 程序控制语句

(1) 判断语句 if

if 语句判断一个逻辑表达式的值,并执行相应的系列命令,其基本语法如下:

```
if 表达式 1
    命令
elseif 表达式 2
    命令
...
else
    命令
end
```

例如:

```
a = 4; b=6;
if a > b
    'a 大于 b'
elseif a < b
    'a 小于 b'
elseif a == b
    'a 等于 b'
else
    error('不可能的事情发生了!!!')
end
```

(2) 分支语句 switch 和 case

```
switch (a)
    case 0
    case 1
    case 2
    ...
    otherwise
end
```

例如:

```
a = 5;
b = mod(5,3);
switch(b)
```

```

case 0
    '模 3 为 0'
case 1
    '模 3 为 1'
case 2
    '模 3 为 2'
otherwise
    '不可能啊!'
end

```

(3) 循环语句

循环语句可以用 for 或 while 实现。

例如：

```

for n = 3:32
    r(n) = n;
end
while 条件
    命令或函数
end

```

当条件不满足时,循环执行中间的命令或函数,当条件满足时,跳出循环执行下面的命令。

例如：

```

n = 1;
while n < 30
    r(n) = n;
    n = n + 1;
end

```

(4) 跳出循环语句

有时可能需要在循环体中的某个点跳出,这可通过 continue 和 break 实现：

- continue 语句执行后,直接从该点跳到循环体的开始；
- break 语句执行后,直接从该点跳出循环体。

例如：

n = 0;	n = 0;
while n < 30	while n < 30
n = n + 1;	n = n + 1;

if n == 15	if n == 15
continue;	break;
end	end
r(n) = n;	r(n) = n;
end	end
n	n

执行结果分别为

30	15
----	----

1.2 常用的 Matlab 函数

1. 随机数产生类

见表 1-3。

表 1-3 Matlab 中的随机数产生类函数

函数名	注 释	函数名	注 释
randn	产生标准正态随机变量	rand	产生 0~1 之间的均匀分布随机变量
randperm	产生随机的排序	hist	对矢量自动进行直方图统计

2. 数学函数类

见表 1-4。

表 1-4 Matlab 中的数学函数

Matlab 函数名	注 释	Matlab 函数名	注 释
acos(x)	反余弦函数	cos(x)	余弦函数
acot(x)	反余切函数	cot(x)	余切函数
asin(x)	反正弦函数	sin(x)	正弦函数
atan(x)	反正切函数	tan(x)	正切函数
exp(x)	自然指数函数	pow2(x)	以 2 为底的指数
log(x)	自然对数函数	sqrt(x)	根号函数
log2(x)	以 2 为底的对数函数	floor(x)	向下取整数
log10(x)	以 10 为底的对数函数	ceil(x)	向上取整数
mod(x,y)	x 对 y 的模	round(x)	四舍五入函数
rem(x,y)	x 除以 y 的余数	sign(x)	符号函数

3. 做图类函数

见表 1-5。

表 1-5 Matlab 中的常用做图类函数

函数名	注 释	函数名	注 释
plot	打印图形	figure()	创建一个图的窗口
subplot	打印子图	semilogy	打印图形,纵轴为对数
loglog	打印图形,两轴都为对数	stem	打印离散点序列
stairs	打印序列的方波图形	xlabel	标注横轴
ylabel	标注纵轴	title	图的标题
legend	图的注释	hold	图是否重叠打印
grid	图是否有格线显示		

4. 信号处理类

见表 1-6。

表 1-6 Matlab 中常用信号处理类函数

函数名	注 释	函数名	注 释
fft	快速傅里叶变换	ifft	快速傅里叶反变换
dft	离散傅里叶变换	idft	离散反傅里叶变换
filter	滤波器函数	hilbert	希尔伯特变换
conv	卷积	xcorr	相关
deconv	解卷积		

5. 其他

见表 1-7。

表 1-7 Matlab 中常用其他函数

函数名	注 释	函数名	注 释
ones	全 0 序列	length	获得序列长度
zeros	全 1 序列	size	获得矩阵维数
reshape	重组序列	bin2dec	二进制到十进制转换
sum	求和	mean	求平均

注:所有函数的调用可以用>>help 函数名 在 Matlab 命令窗口中得到调用说明。更详细的内容可以参见Matlab的联机帮助。

1.3 Matlab 基本操作

1.3.1 矢量运算

以下叙述中，“>>”表示 Matlab 环境中输入的命令。

矢量的赋值可以通过：

```
>>a = [1 2 3 4 6 4 3 4 5]
```

a =

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

将每个 **a** 中的每个元素加 2, 并且用矢量 **b** 表示；

```
>>b = a + 2
```

b =

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

打印 **b**

```
>>plot(b)
```

```
>>grid on
```

给图 1-2 加上横坐标、纵坐标的名称, 如图 1-3 所示。

```
>>xlabel('Sample #')
```

```
>>ylabel('Pounds')
```

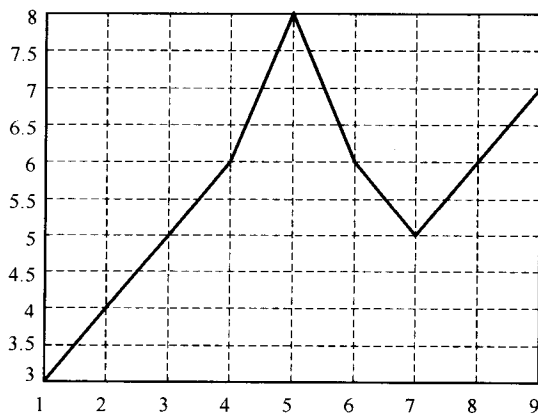


图 1-2 矢量 **b** 的图