



普通高校“十一五”规划教材

赵 静 张 瑾 高新科 编著

基于MATLAB的 通信系统仿真

 北京航空航天大学出版社

TN914/43

2007

普通高校“十一五”规划教材

基于 MATLAB 的通信系统仿真

赵 静 张 瑾 高新科 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书通过大量 MATLAB、Simulink 仿真实例,加深读者对通信原理的理解。本书共 6 章,包括 MATLAB 语言基础、Simulink 仿真基础、信号系统分析基础、模拟信号的数字传输、数字信号基带传输、载波调制的数字传输等内容。每个部分的重点内容都通过 MATLAB 函数或 Simulink 模块进行了仿真。附录中列出了通信工具箱提供的全部函数和通信模块库中的所有模块以供读者查找。

本书层次分明,浅显易懂。实例有助于读者对通信原理及仿真实践的理解。本书可作为高等院校通信工程、电子信息技术等专业本专科学生的通信仿真课程教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于 MATLAB 的通信系统仿真/赵静,张瑾,高新科编著.

—北京:北京航空航天大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-81124-152-5

I. 基… II. ①赵…②张…③高… III. 通信系统—系统
仿真—计算机辅助计算—软件包, MATLAB IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 148731 号

基于 MATLAB 的通信系统仿真

赵 静 张 瑾 高新科 编著

策划编辑 蔡 喆

责任编辑 韩文礼

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpresse@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 787×960 1/16 印张: 10.75 字数: 241 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数: 4 000 册

ISBN 978-7-81124-152-5 定价: 18.00 元

前 言

MATLAB是由美国的MathWorks公司推出的一种科学计算和工程仿真软件,将高性能的科学计算、结果可视化和编程集中在一个易于操作的环境中。目前,在世界范围内被科研工作者、工程技术人员和院校师生广泛应用,已经成为国际控制界公认的标准计算软件。本书是在MATLAB 7.0平台上进行仿真,通过大量MATLAB、Simulink仿真实例,加深读者对通信原理的理解。

本书共6章。第1章MATLAB语言基础,介绍了MATLAB家族产品构成、MATLAB的发展及特点、7.0版本的界面环境、MATLAB的基本操作和语法、通信仿真工具箱等内容;第2章Simulink仿真基础,介绍了Simulink界面、Simulink基本模块库、建模仿真的一般过程和通信模块库;第3章信号系统分析基础,介绍了傅里叶变换和随机过程等信号系统分析的基础;第4章模拟信号的数字传输,介绍了“抽样—量化—编码”三个步骤;第5章基带数字传输,介绍了基带信号的码型、码间串扰、基带传输的差错率分析;第6章载波调制的数字传输,介绍了ASK、PSK、MSK。每部分内容都通过MATLAB函数或Simulink模块进行了仿真。

本书层次分明,浅显易懂,份量适中,大量实例有助于读者对通信原理及仿真实践的理解。适合高等院校通信工程、电子信息技术等专业本专科学生作为通信仿真课程教材和参考书。

参与本书编写工作的老师有:成都大学赵静;西安交通大学张瑾;洛阳师范学院高新科。教材编写过程中得到了北京航空航天大学出版社的帮助和李明富老师的支持,编者在此表示诚挚的感谢!

由于时间仓促和编者水平有限,书中错漏之处恳请广大读者指教。

编 者

2007年5月

目 录

第1章 MATLAB 语言基础

1.1 MATLAB 概述	1
1.1.1 MATLAB 家族	1
1.1.2 MATLAB 发展及特点	5
1.1.3 MATLAB 7.0 界面环境	6
1.2 MATLAB 基本语法和基本操作	8
1.2.1 变量赋值	8
1.2.2 矩阵运算	10
1.2.3 程序控制语句	11
1.2.4 基本绘图方法	14
1.3 MATLAB 在通信仿真中的应用	17
练 习	18

第2章 Simulink 仿真基础

2.1 Simulink 简介	19
2.1.1 Simulink 家族	19
2.1.2 Simulink 基本模块库	21
2.1.3 Simulink 建模仿真的一般过程	22
2.2 Simulink 在通信仿真中的应用	24
练 习	28

第3章 信号系统分析基础

3.1 概 述	29
3.2 傅里叶变换的主要性质及傅里叶变换对	32
3.2.1 周期信号的傅里叶级数	32
3.2.2 傅里叶变换及其性质	36
3.3 功率和能量	44
3.4 随机变量的产生	46
3.5 高斯过程	51
3.6 随机过程和白噪声的功率谱	54
3.6.1 随机过程的能量和功率谱密度	54

3.6.2 白噪声功率谱密度和二进制随机数序列	57
3.7 随机过程的线性滤波	61
练 习	66
第 4 章 模拟信号的数字传输	
4.1 概 述	68
4.2 抽样定理	70
4.2.1 低通抽样定理	70
4.2.2 带通抽样定理	75
4.3 量 化	75
4.3.1 标量量化	75
4.3.2 均匀量化	78
4.3.3 非均匀量化	81
4.4 PCM 编码	88
4.5 DPCM	90
练 习	92
第 5 章 数字信号基带传输	
5.1 数字基带信号的码型	93
5.2 码型的功率谱分布	101
5.2.1 理论分析	101
5.2.2 MATLAB 程序实现	102
5.3 码间串扰	105
5.3.1 基带传输系统模型及码间串扰的定义	105
5.3.2 无码间串扰的传输条件	106
5.3.3 降低码间串扰的脉冲波形	107
5.3.4 眼 图	109
5.4 基带传输的差错率分析	114
5.4.1 分析模型	115
5.4.2 MATLAB 提供的分析工具	115
5.4.3 分析举例	118
练 习	121
第 6 章 载波调制的数字传输	
6.1 数字载波调制原理	122
6.2 幅移键控(ASK)	122
6.2.1 调制原理介绍	122

6.2.2 调制举例	123
6.3 频移键控(FSK)	124
6.3.1 原理介绍	124
6.3.2 调制举例	125
6.3.3 解调与检测	128
6.4 相移键控(PSK、DPSK)	137
6.4.1 PSK 调制原理介绍	137
6.4.2 PSK 调制举例	138
6.4.3 PSK 解调与检测	142
6.4.4 DPSK 调制与解调	151
练 习	156
附录 A Communications Toolbox 3.0 函数列表	157
附录 B Communications Blockset 3.0 模块列表	160
参考文献	163

第 1 章 MATLAB 语言基础

MATLAB 是由美国的 MathWorks 公司推出的一种科学计算和工程仿真软件,它的名称源自 Matrix Laboratory(矩阵实验室),专门以矩阵的形式处理数据。MATLAB 将高性能的科学计算、结果可视化和编程集中在一个易于操作的环境中,并提供了大量的内置函数,具有强大的矩阵计算和绘图功能,适用于科学计算、控制系统、信息处理等领域的分析、仿真和设计工作。目前,在世界范围内被科研工作者、工程技术人员和院校师生广泛应用。

本章将介绍 MATLAB 家族产品构成、MATLAB 的发展及特点、7.0 版本的界面环境、MATLAB 的基本操作和语法、通信仿真工具箱等内容。

1.1 MATLAB 概述

1.1.1 MATLAB 家族

The MathWorks 总部位于美国马塞诸塞州的 Natick 市,是世界领先的基于技术计算和模型设计的软件开发商和供应商。自 1984 年成立至今,全球现有超过 50 万的企业用户和上千万的个人用户,广泛地分布在航空航天、金融财务、机械化工、电信、教育等各个行业。2007 年 5 月,MathWorks 公司在中国北京成立独资公司,直接为中国用户提供销售、培训和支持服务。

The MathWorks 的 MATLAB & Simulink 产品家族是一个高度整合的科学计算环境,提供了强大的设计工具。MATLAB& Simulink 产品的大致组成如图 1-1 所示。

在产品家族中,MATLAB 是整个体系的基座,它是一个语言编程型开发平台,提供了体系中其他工具所需要的集成环境。MATLAB 集成了二维和三维图形功能,以完成数值可视化的工作,并利用交互式的高级编程语言——M 语言编写脚本或者函数文件实现自己的算法。

MATLAB Compiler 是一个编译工具,自动将 MATLAB 中的 M 文件转换成 C 和 C++ 代码,用于独立应用开发。

Simulink 是一个交互式动态系统建模、仿真和分析工具。它的建模范围广泛,可以针对任何能够用数学描述的系统进行建模,例如通信系统、卫星控制制导系统、航空航天动力学系统、船舶及汽车等,其中包括了连续、离散、条件执行、事件驱动、单速率、多速率和混杂系统等。Simulink 利用鼠标拖放的方法建立系统模型的图形界面,而且 Simulink 提供了丰富的功能

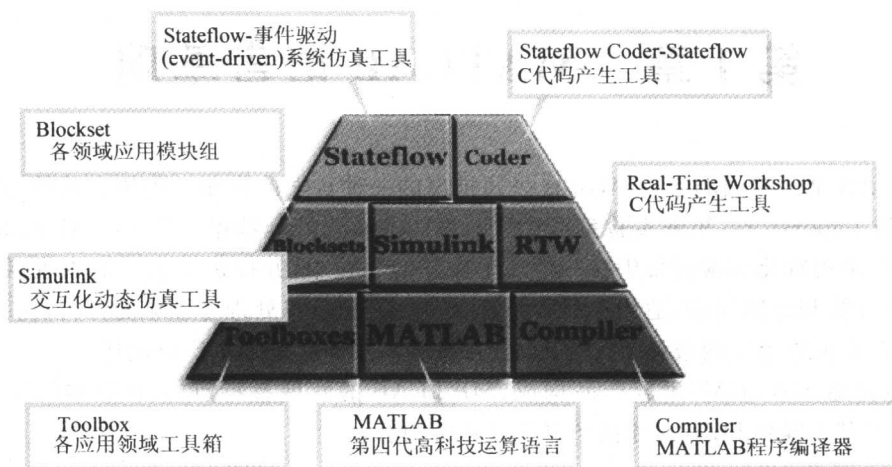


图 1-1 MATLAB& Simulink 产品大致组成

块,几乎可以做到不书写一行代码就完成整个动态系统的建模工作,将工程人员对计算机编程的熟练程度的要求降到了最低。

在 MATLAB& Simulink 基本环境之上,MathWorks 公司为用户提供了丰富的扩展资源 Toolbox 和 Blockset。函数库和模块库是可扩展的,用户可以对其进行修改,甚至可以开发自己的算法以扩充工具箱的功能。MATLAB 已经从单纯的数学函数库演变为多学科多领域的函数包、模块库的提供者。目前 MATLAB 产品的工具箱已涵盖数据获取、科学计算、控制系统设计与分析、数字信号处理、数字图像处理、金融财务分析以及生物遗传工程等专业领域。

Stateflow 是一种利用有限状态机理论建模和仿真事件驱动系统的可视化设计工具,适合用于描述复杂的开关控制逻辑、状态转移图以及流程图等。

在 MATLAB 产品族中,自动化的代码生成工具主要有 Real-Time Workshop(RTW)和 Stateflow Coder,这两种代码生成工具可以直接将 Simulink 的模型框图和 Stateflow 的状态图转换成高效优化的程序代码。整个代码的生成、编译以及相应的目标下载过程都是自动完成的,用户仅仅使用鼠标单击几个按钮即可。

MATLAB 产品家族具体包括以下部分,如表 1-1 所列(Simulink 家族的具体内容在第 2 章中介绍)。

表 1-1 MATLAB 产品家族

 MATLAB产品家族	
• MATLAB ®	MATLAB 科学计算语言
• Distributed Computing Toolbox	分布式计算工具箱
• MATLAB ® Distributed Computing Engine	分布式计算引擎
<数学及最优化>	
Optimization Toolbox	最优化工具箱
Symbolic Math Toolbox	符号计算工具箱
• Extended Symbolic Math Toolbox	(延伸)符号计算工具箱
• Partial Differential Equation Toolbox	偏微分工具箱
• Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox	智能算法及直接搜索工具箱
<统计及资料分析>	
• Statistics Toolbox	统计工具箱
• Neural Network Toolbox	神经网络工具箱
• Curve Fitting Toolbox	曲线拟合工具箱
• Spline Toolbox	样条工具箱
• Model-Based Calibration Toolbox	基于模型的标定工具箱
<控制系统设计及分析>	
• Control System Toolbox	控制系统工具箱
• System Identification Toolbox	系统识别工具箱
• Fuzzy Logic Toolbox	模糊逻辑工具箱
• Robust Control Toolbox	控制工具箱
• Model Predictive Control Toolbox	模型预测控制工具箱
<信号处理及通信>	
• Signal Processing Toolbox	信号处理工具箱
• Communications Toolbox	通信工具箱
• Filter Design Toolbox	滤波器设计工具箱
• Filter Design HDL Coder	滤波器设计 HDL 转码工具
• Wavelet Toolbox	小波工具箱
• Fixed-Point Toolbox	定点工具箱
• RF Toolbox	射频工具箱

续表 1-1

<图像处理>	
• Image Processing Toolbox	图像处理工具箱
• Image Acquisition Toolbox	图像采集工具箱
• Mapping Toolbox	地理信息处理工具箱
<测试及测量>	
• Data Acquisition Toolbox	数据采集工具箱
• Instrument Control Toolbox	仪器仪表控制工具箱
• SystemTest	系统测试工具箱
• OPC Toolbox	OPC 工具箱
<生物运算>	
• Bioinformatics Toolbox	生物信息学工具箱
• SimBiology	生物模拟工具箱
<财务模型及分析>	
• Financial Toolbox	财经工具箱
• Financial Derivatives Toolbox	衍生性金融商品工具箱
• GARCH Toolbox	异质条件变异数自我回归工具箱
• Datafeed Toolbox	财务资料来源工具箱
• Fixed-Income Toolbox	固定收益商品工具箱
<应用程式转档分享>	
• MATLAB [®] Compiler	MATLAB 编译器
• Excel Link	Excel 连接工具箱
• MATLAB [®] Web Server	网页结合工具箱
<应用程式转档方享目标环境>	
• MATLAB [®] Builder for Excel [®]	Excel 增益集工具箱
• MATLAB [®] Builder for .NET	.NET 增益集工具箱
<资料库连接与产生报告>	
• Database Toolbox	资料库连接工具箱
• MATLAB [®] Report Generator	MATLAB 报告产生器

欲知更多 MATLAB & Simulink 产品家族相关信息可参考 MathWorks 公司网站：
www.mathworks.com。



1.1.2 MATLAB 发展及特点

1967年,美国新墨西哥州大学计算机系主任 Clever Moler 博士在给 学生讲授线性代数课程时,为了方便学生调用用于矩阵运算的 EISPACK 和 LINPACK 的 FORTRAN 子程序库,利用业余时间为学生编写了 EISPACK 和 LINPACK 的接口程序,取名为 MATLAB。这个程序推出后受到了学生们的广泛欢迎,并广为流传。

1984年,Clever Moler 博士和一批数学家和软件专家成立了 MathWorks 公司,发行了 MATLAB 第 1 版(DOS 版本 1.0),正式把 MATLAB 推向市场。内核改用 C 语言编写,大大提高了运算效率,并增加了计算结果可视化。使研究人员从大量的矩阵运算和繁琐的编程中解脱出来。

1990年,MathWorks 公司推出了以框图为基础的控制 系统仿真工具 Simulink,并提供了控制系统中常用的模块库。

1992年,MathWorks 公司推出 4.0 版本,在原来的基础上又进行了较大调整,推出了 Windows 版本,可以在多个窗口进行命令执行和图形绘制。

1999年,推出 MATLAB 5.3 版(Release 11.0),实现了 32 位运算,并为用户提供了在线帮助。

2000年 10 月底推出了 MATLAB 6.0 正式版(Release 12.0),在核心数值算法、界面设计、外部接口、应用桌面等诸多方面有了极大的改进,并添加了很多新的工具箱和功能函数。

2004年,推出 MATLAB 7.0(Release 14.0),本书以 7.0 版本为平台进行编写,7.0 版本将在后面章节中介绍。

目前,在国际上 30 多个数学类科技应用软件中,MATLAB 在数值计算方面独占鳌头,已经成为国际控制界公认的标准计算软件。

MATLAB 的基本特点:

1. 简单易学

由于 MATLAB 是由 C 语言开发的,其中的流程控制语句与 C 语言几乎一致,使用者只要会 C 语言就能容易的掌握 MATLAB 语言。

2. 编程简洁,效率高

MATLAB 语言被称为“演算纸式”科学计算语言,语言规则与书写习惯相近。规则省略了 C 语言等高级语言的指定维数和定义数据类型,矩阵的行列数无需定义,输入的数据行列数就决定了它的阶数。在命令窗口中直接输入数据和算式就可得到结果,无需编译。

3. 强大而简单的绘图功能

MATLAB 具有强大的二维、三维绘图功能,可以在程序运行过程中,方便迅速地用图形直接表现计算结果。MATLAB 可以绘制线图、饼图、散点图、直方图、曲面图、玫瑰花图等,可以对图形的不同颜色、线型、视角等进行调整。

4. 扩展功能强

MATLAB 软件包括基本部分和专业扩展工具箱两部分。基本部分提供了科学计算、数据分析、可视化等功能。针对不同领域的应用,又推出了自动控制、信号处理、通信、神经网络、数理统计、财政金融等 30 多个专业工具箱。这些函数都可以直接调用。

1.1.3 MATLAB 7.0 界面环境

双击 Windows 桌面上的快捷图标



,首次启动后的界面窗口如图 1-2 所示。

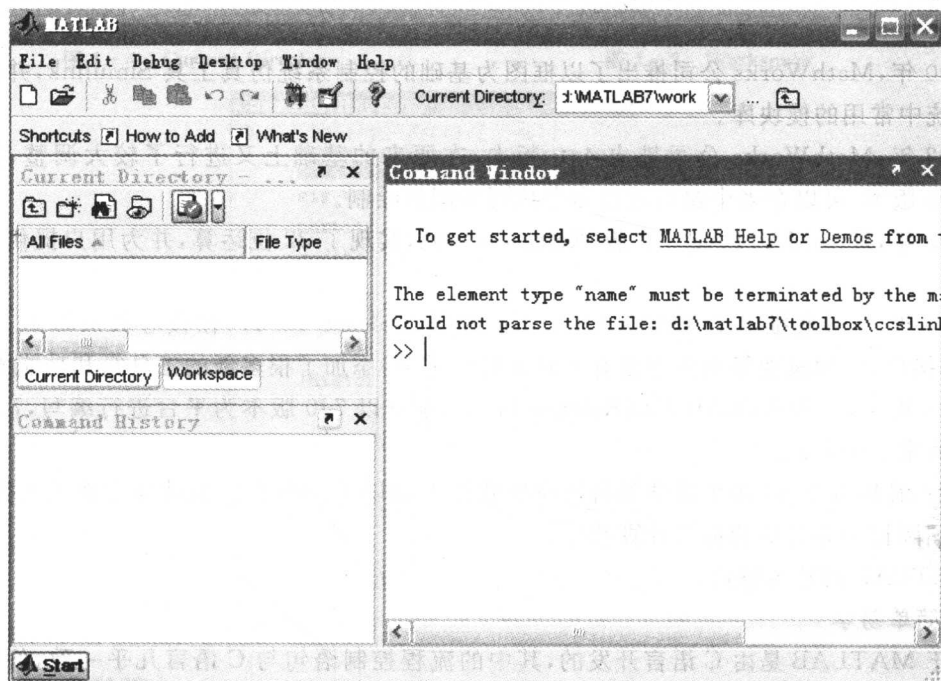


图 1-2 MATLAB7.0 的界面窗口

MATLAB 的工作环境主要由 Command Window(命令窗口)、Current Directory(当前目录窗口)、Workspace(工作台窗口)、Command History(命令历史记录)等部分组成。与之前版本相比,MATLAB 7.0 在工具栏下新增了一个快捷工具栏“Shortcuts”。对这些窗口的认识,是掌握 MATLAB 7.0 的基础。下面将对主要窗口做简单介绍。

1. Command Window(命令窗口)

Command Window 是 MATLAB 中最重要的部分,它是人机交互的主要环境,也是和编译器连接的主要窗口。用户通过在提示符“>>”后直接输入命令符来执行相关的命令。执行

完后,提示符“>>”依然存在,表示 MATLAB 处于准备状态,如图 1-3 所示。

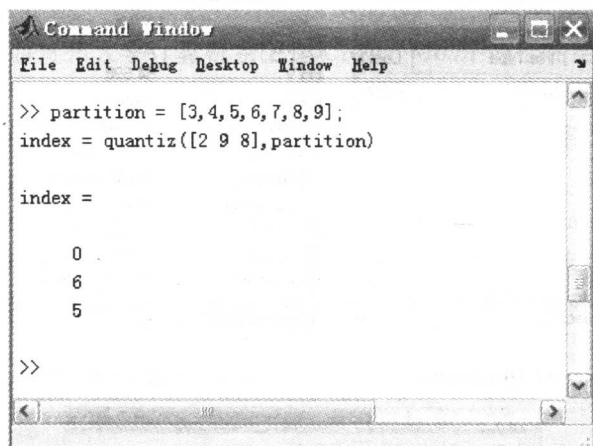


图 1-3 Command Window

MATLAB 的常用窗口命令如下:

clc,清除 Command Window 里的内容;

home,光标回到窗口的左上角;

clf,清除当前 Figure 窗口的所有非隐藏对象;

close,关闭当前 Figure 窗口;

close all,关闭所有 Figure 窗口。

2. Current Directory(当前目录窗口)

该窗口显示当前用户工作所在的路径。在这个窗口中,可以查看 MATLAB 文件,并进行复制、移动、查找等文件操作,如图 1-4 所示。

3. Workspace(工作台窗口)

Workspace 中列出了程序计算过程中产生的变量名称、数学结构、字节数和类型。选中一个变量,单击右键则可根据菜单进行相应的操作。在 MATLAB 中,不同的数据类型对应不同的变量名图标,如图 1-5 所示。

4. Command History(命令历史记录窗口)

用户在 Command Window 运行过的所有命令和对应的时间都在该窗口中有记录。用户可以通过 Command History 查看曾经输入的命令,双击后可以在 Command Window 中重新运行,减少了重新输入的麻烦。如果想从窗口中删除命令,只需选中想要删除的命令,单击右键选择“Delete Selection”即可,如图 1-6 所示。

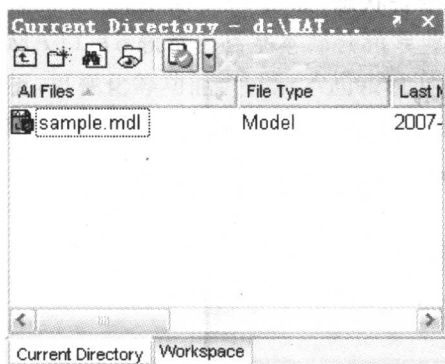


图 1-4 Current Directory

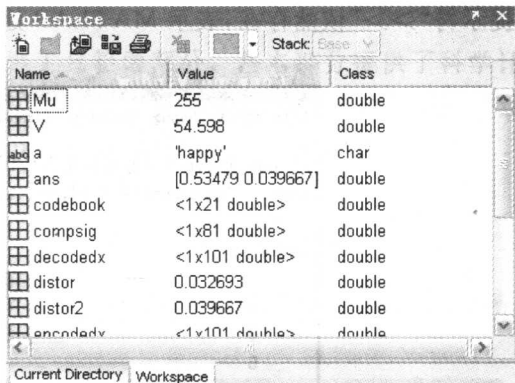


图 1-5 Workspace

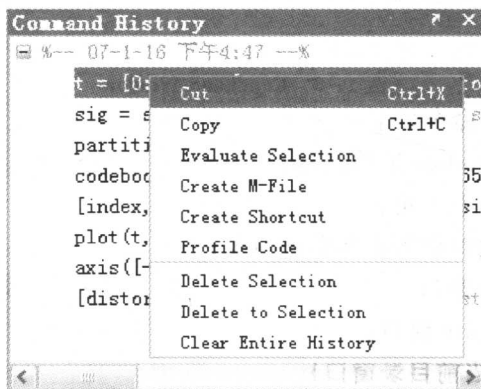


图 1-6 Command History

1.2 MATLAB 基本语法和基本操作

1.2.1 变量赋值

在 MATLAB 内部所有变量均保存成 double 的形式,即双精度(64 位)二进制。这是为了简化编程,MATLAB 省去了多种数据格式。

MATLAB 是基于矩阵运算的,MATLAB 中的所有变量或常量都以矩阵形式保存。一个数也是矩阵,只不过它是 1×1 阶的矩阵。

MATLAB 对大小写敏感,所以命名变量名和函数名时注意区分大小写,且最多只能含有 63 个字符。这些字符只能用英文字母、数字和下划线组成,第一个字母必须是英文字母。字符间不能留空格。

赋值语句的一般形式为:变量 = 表达式(或数)。



例如:

```
>> a=[1 2 3;4 5 6;7 8 9]
```

```
a =
```

```
1 2 3
```

```
4 5 6
```

```
7 8 9
```

注意:同一行中各元素之间用“空格”或“,”分开,行与行之间用“;”或“回车”分开。

当用表达式赋值时,例如:

```
>> a=1:2:10
```

```
a =
```

```
1 3 5 7 9
```

该例产生了一个初值为 1,终值为 10,步长为 2 的行向量。

再举例:

```
>> zeros(3,2)
```

```
ans =
```

```
0 0
```

```
0 0
```

```
0 0
```

该例产生了一个三行两列的全零矩阵。

注意:当只有“表达式”时,MATLAB 会给出一个临时变量“ans”暂存运算结果。

在调试程序时,往往需要检查工作空间(Workspace)中的变量。常用的用于检查变量的命令如下。

who:用于检查现存于工作空间(Workspace)的变量;

```
>> who
```

```
Your variables are:
```

```
a ans
```

whos:用于检查现存于工作空间(Workspace)的变量的详细资料;

```
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class
a	1x5	40	double array

```
ans      3x2      48  double array

Grand total is 11 elements using 88 bytes

clear:用于删除工作空间的变量。
```

1.2.2 矩阵运算

矩阵是 MATLAB 数据存储的基本单元,而矩阵的运算是 MATLAB 语言的核心,在 MATLAB 语言系统中几乎一切运算均是以对矩阵的操作为基础的。矩阵运算包括矩阵的四则运算、特征根、奇异解的求解等。

MATLAB 提供的关于矩阵运算的常用函数如表 1-2 所列。

表 1-2 关于矩阵运算的常用函数

norm	求向量或矩阵的范数
det	求矩阵的行列式
inv	求方阵的逆矩阵
size	求矩阵的阶数
rank	求矩阵的秩
trace	求矩阵的迹
eig	求特征值及特征向量
$\wedge$	矩阵的乘方运算
sqrtn	矩阵的开方运算
expm	矩阵的指数运算
logm	矩阵的对数运算

下面这个例子中包括矩阵与常数的运算、矩阵的逆、矩阵与矩阵的运算:

```
>>A=[6 7 5;3 6 9;4 1 5]
```

```
B=20+A
```

```
C=inv(A)*B
```

```
A=
```

```
6  7  5
3  6  9
4  1  5
```

```
B=
```

```
26  27  25
23  26  29
24  21  25
```