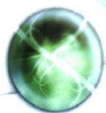


microsoft®

Windows®xp

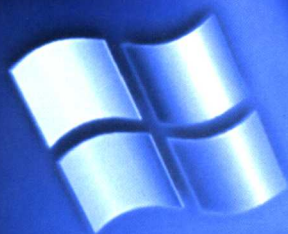
基 于

MATLAB 7.x/Simulink/Stateflow 系统仿真、分析及设计



computer

贾秋玲 袁冬莉 栾云凤 编著



西北工业大学出版社

TP391.75

37

基于 MATLAB 7.x / Simulink / Stateflow 系统仿真、分析及设计

贾秋玲 袁冬莉 栾云凤 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是一本适合高校教学的 MATLAB 教材,有助于学生尽快掌握 MATLAB 语言的特点及其基本功能,学会使用 Simulink、MATLAB 相关专业工具箱的仿真工具进行系统仿真、系统分析和设计,为以后更好地从事科研工作打下扎实的基础。本书由浅入深地展开对常用的 MATLAB 软件工具的介绍。首先介绍了 MATLAB 的基本操作、语言特点及基本功能、MATLAB 程序设计的基础,其次介绍了系统仿真和设计所必需的 Simulink 辅助设计基础及高级仿真技术,最后介绍了基于 Stateflow 事件驱动的状态转换工具。

本书可作为高校理工科各专业的本科生和研究生系统仿真类课程的教材和参考书,亦可作为科技工作者、教师解决系统仿真、设计问题的参考资料,也为有意自学 MATLAB 工程计算语言的读者提供有益的参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于 MATLAB 7. x/Simulink/Stateflow 系统仿真、分析及设计/贾秋玲,袁冬莉,栾云凤编著. —西安:西北工业大学出版社,2006. 6

ISBN 7-5612-2033-2

I. 基… II. ① 贾… ② 袁… ③ 栾… III. 计算机辅助计算—软件包, MATLAB 7. x/Simulink/Stateflow IV. TP391. 75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020040 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www. nwpup. com

印 刷 者:陕西洋源印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15. 875

字 数:391 千字

版 次:2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

定 价:23. 0 元

前言

MATLAB 作为当今工程界最流行的计算软件,其应用范围涵盖了控制、电子、通信、航空、航天、航海等众多领域。在项目开发和系统设计过程中,使用 MATLAB 可以提高设计速度、缩短设计时间、减少试验次数、降低研究成本,所以,熟练掌握 MATLAB 已经成为从事工程设计研究必须具备的基本技能。因此,目前国内绝大多数重点大学都已经开设了 MATLAB 课程。

现在有关 MATLAB 的书籍种类很多,但是由于侧重点和面向的读者不同,存在一定的局限,有的只涉及最基本的知识,不能为工程实践提供较多帮助;有些则针对专业人士,内容艰深,应用面很窄;有的只是英文原版的翻译,罗列的命令很多,举的例子较少,不便于读者自学,作为手册,还可胜任,作为教材,有些勉强。在作者的教学实践中,深深感到寻找一本合适的 MATLAB 教材有一定的困难,这也促使作者下决心为在校学生量身定做一本合适的 MATLAB 教材。

本书在撰写的过程中,听取了很多学习 MATLAB 课程的学生们的意见,综合了身处教学一线老师的体会和自己的教学经验,切实考虑了在校生的知识结构和水平,精心选择内容,合理安排布局,兼顾了一定的深度和广度。在书中,作者结合自己的教学、科研工作,编写了大量的实例,基本覆盖了从事控制工程所需的 MATLAB 知识,使学生在校内就可以接触到一定的工程实际内容,从而能更好地从事实际科研工作,为今后参加工作打好扎实的基础。同时教材的各章中均配备课后上机练习题,方便学生实践并检验自己的学习效果。

与其他 MATLAB 书籍相比,本书具有以下特点:① 内容新颖,主要讲述 MATLAB 7. x 版本;② 内容剪裁得当,兼顾教学与科研,基本覆盖了从事工程研究所需的 MATLAB 知识;③ 讲述深入浅出,实例选择得当,注重与专业知识的结合。全书的内容安排由浅入深,有助于读者了解更专业的知识。

本书第一章对 MATLAB 做了简单的介绍;第二章介绍 MATLAB 的基本操作,包括数值及变量、赋值语句、常用数学函数及 MATLAB 语言中的关系与逻辑运算;第三章内容为数组与矩阵的运算;第四章讲解多项式的表达式及其操作;第五章介绍 MATLAB 中的字符串和其他数据类型;第六章阐述 MATLAB 的基本绘图功能;第七章介绍 M 文件与 M 函数;第八章介绍基于 Simulink 的动态系统仿真方法;第九章讲述 Simulink 高级仿真技术;第十章讨论如何用 S-函数扩展 Simulink 功能;第十一章介绍 Simulink 命令行仿真技术;第十二章介绍如何利用状态流 Stateflow 进行控制系统状态转换;第十三章讲解如何应用控制系统工具箱分析设计系统。

本书的写作分工是第一、二、四章由栾云凤执笔,第五章至第十二章由贾秋玲执笔,第三、十三章由袁冬莉执笔。

在从创意、酝酿到完成全稿的写作过程中,我们得到了西北工业大学自动化学院信息与控制专业各位老师的大力支持和鼓励,同时也得到了很多有效的建议,在此深表谢意。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2005 年 9 月

目 录

CONTENTS

第一章 MATLAB 简介	1
1.1 MATLAB 简介	1
1.2 MATLAB 的安装	2
1.3 MATLAB 的工作环境	3
1.4 MATLAB 的系统命令	4
1.5 在线帮助	5
习题.....	7
第二章 MATLAB 的基本操作	8
2.1 数值及变量	8
2.2 MATLAB 赋值语句	9
2.3 MATLAB 常用数学函数	10
2.4 MATLAB 语言中的关系与逻辑运算	11
习题	13
第三章 数组与矩阵的运算	15
3.1 数组和矩阵的产生	15
3.2 矩阵的子矩阵的寻访与赋值.....	17
3.3 矩阵的运算.....	19
3.4 矩阵函数.....	20
习题	24
第四章 多项式的表达式及其操作	25
4.1 多项式的表达和生成.....	25
4.2 多项式运算函数.....	26
习题	27

第五章 字符串和其他数据类型	28
5.1 字符串及其处理	28
5.2 元胞数组	31
5.3 结构体数组	34
习题	36
第六章 MATLAB 基本绘图功能	37
6.1 二维图形的绘制	37
6.2 三维图形的绘制	45
习题	47
第七章 M 文件与 M 函数	49
7.1 M 文件编辑器	49
7.2 MATLAB 语言的语法	50
7.3 脚本文件和 M 函数的编写与调用	58
习题	60
第八章 基于 Simulink 的动态系统仿真入门	61
8.1 启用 Simulink 并建立系统模型	61
8.2 Simulink 模型库简介	61
8.3 Simulink 模型的构建	73
8.4 基于 Simulink 系统仿真技术应用举例	80
8.5 Simulink 的子系统技术	87
8.6 Simulink 的调试技术	101
习题	108
第九章 Simulink 高级仿真技术	111
9.1 Scope 模块的高级使用技术	111
9.2 Simulink 的工作原理	115
9.3 系统过零的概念与解决方案	118
9.4 系统代数环的概念与解决方案	122
9.5 高级积分器	125
习题	129
第十章 用 S-函数扩展 Simulink	130
10.1 S-函数概述	130
10.2 S-函数工作原理	134
10.3 编写 M 文件 S-函数	136

10.4 编写 C MEX S-函数	144
习题.....	154
第十一章 Simulink 命令行仿真技术及回调函数概念.....	156
11.1 Simulink 与 MATLAB 的接口.....	156
11.2 使用命令行方式对动态系统进行建模和仿真分析.....	162
11.3 使用 MATLAB 脚本文件分析系统.....	170
11.4 回调函数.....	172
习题.....	175
第十二章 利用状态流 Stateflow 进行控制系统状态转换	176
12.1 有限状态机简介.....	176
12.2 Stateflow 应用基础	177
12.3 利用 Stateflow 完成复杂的状态逻辑判断及其动作	214
习题.....	225
第十三章 反馈控制系统的数学模型及设计工具.....	226
13.1 数学模型的表示方法.....	226
13.2 模型的基本结构.....	230
13.3 不同模型对象的相互转换和模型数据的还原.....	232
13.4 控制系统分析与设计.....	233
习题.....	243
参考文献.....	245

第一章 MATLAB 简介

本章主要介绍 MATLAB 计算软件的基本用途、功能、安装方法、启动界面以及一些系统命令,为后面章节的学习做准备。

1.1 MATLAB 简介

MATLAB 计算软件(以下简称 MATLAB)产品家族是美国 MathWorks 公司开发的用于概念设计、算法开发、建模仿真、实时实现的理想的集成环境。自 1980 年问世以来,由于其完整的专业体系和先进的设计开发思路,使得 MATLAB 在众多领域都有着广阔的应用空间,特别是在 MATLAB 的主要应用方面——科学计算、建模仿真以及信息工程系统的设计开发上已经成为行业内的首选设计工具,广泛应用于生物医学工程、图像信号处理、语言信号处理、信号分析、电信、时间序列分析、控制论和系统论等各个领域。

由于使用 MATLAB 编程运算与人类进行科学计算的思路和表达方式完全一致,所以学习 MATLAB 不像学习其他高级语言,如 Basic, Fortran 和 C 等那样难于掌握。MATLAB 具有用法简易、运用灵活、程序结构性强且兼具延展性等特点。

MATLAB 的含义是矩阵实验室(Matrix Laboratory),其名字来自“matrix”和“laboratory”两个词的前三个字母的组合。主要用于矩阵的方便存取,其基本元素是无须定义维数的矩阵。MATLAB 自问世以来,就是以数值计算见长。MATLAB 具有很强的数值运算功能,在 MATLAB 环境中,有超过 500 种数学、统计、科学及工程方面的函数可使用。MATLAB 进行数值计算的基本单位是复数数组(或称阵列),这使得 MATLAB 高度“向量化”。经过十多年的完善和扩充, MATLAB 现已发展成为线性代数课程的标准工具。由于它不须定义数组的维数,并给出了矩阵函数、特殊矩阵专门的库函数,使之在求解诸如信号处理、建模、系统识别、控制、优化等领域的问题时,显得大为简捷、高效、方便,这是其他高级语言所无法比拟的。

在 MATLAB 产品体系的演化历程中最重要的一個体系变更是引入了 Simulink。Simulink 是在 MATLAB 仿真平台下的一种图形仿真工具,它可以和 MATLAB 通过求解器进行无缝连接。Simulink 是一个进行动态系统建模、仿真和综合分析的集成软件包。其框图化的设计方式和良好的交互性,对工程人员本身的计算机操作与编程的熟练程度的要求降到了最低,工程人员可以把更多的精力放到理论和技术的创新上去。

针对控制逻辑的开发、协议栈的仿真等要求, MathWorks 公司在 Simulink 平台上还提供

了用于描述复杂事件驱动系统的逻辑行为的建模仿真工具——Stateflow。通过 Stateflow, 用户可以用图形化的方式描述事件驱动系统的逻辑行为, 并无缝地结合到 Simulink 的动态系统仿真中。

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, 这就是大量的 Toolbox 和 Blockset。在从 1985 年推出第一个版本以后的近 20 年发展过程中, MATLAB 已经从单纯的 Fortran 数学函数库演变为多学科、多领域的函数包或模块库的提供者。这些 Toolbox 和 Blockset 是为了解答特殊类型的问题而扩展的 MATLAB 环境下的 MATLAB 函数(M 文件)的综合, 给用户提供了特别应用领域所需的许多函数, 可用来求解各类学科的问题。现有工具箱有符号运算(利用 Maple V 的计算核心执行)、图像处理、统计分析、信号处理、神经网络、控制系统辨识、模拟分析、最优化、模糊逻辑、 μ 分析及综合、化学计量分析等。随着 MATLAB 版本的不断升级, 其所含的工具箱的功能也越来越丰富, 因此, MATLAB 的应用范围也越来越广泛, 成为涉及数值分析的各类工程师不可缺少的工具。

MATLAB 中包括了图形界面编辑 GUI, 改变了以前单一的在指令窗通过文本形式的指令进行各种操作的状况, 使用者可以像使用 VB, VC, VJ 和 DELPHI 软件那样进行一般的可视化的程序编辑。

为了将系统开发流程和工程实现进行有效的连接, 也为了使系统级的设计产物和硬件产品直接挂钩。MATLAB 产品体系中加入了连接工程实现的桥梁——实时代码生成工具 Real-Time Workshop(RTW), 称之为实时工作间。RTW 使用户可以直接将 Simulink 框图模型转化为实时标准 C 代码, 进而为快速原型系统、半物理仿真系统或产品提供设计输入。

本教材主要陈述 MATLAB 7. x 的基本功能, 教会读者如何运用 MATLAB 7. x 进行科学计算, 如何利用 MATLAB 7. x 进行简单及复杂动态系统的分析、仿真和设计等。

MATLAB 7. x 是用于分析数据、开发算法并进行应用的一种高级技术语言和开发环境。相比早先的 MATLAB 版本, MATLAB 7. x 针对编程环境、代码效率、数据可视化、数学计算、文件 I/O 等方面进行了升级。

1.2 MATLAB 的安装

MATLAB 只有在适当的环境下才能正常运行。因此适当配置外部系统是保证 MATLAB 运行的先决条件。MATLAB 本身适用于许多机种和系统。在 PC 机上安装 MATLAB 的步骤是非常简单的, 一般来说, 在光盘插入光驱后, 会自动启动“安装向导”。如果没有自动启动, 可以运行该光盘上的 setup.exe 应用程序来启动“安装向导”。在安装过程中出现的所有界面都是标准的, 用户只要按照屏幕提示操作即可。

1.3 MATLAB 的工作环境

运行桌面上的 MATLAB 图标或它的可执行文件,就会自动创建 MATLAB 默认的窗口,如图 1.1 所示。对 MATLAB 窗口说明如下:

1. 命令窗口

MATLAB 命令窗口(Command Window)用来输入变量或运行函数 MATLAB(.m)文件。

例如,若输入

```
>>A = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 10]
```

按下回车键后命令窗口显示如下:

```
A =  
1 2 3  
4 5 6  
7 8 10
```

用户可用 clc 清除命令窗口,只清除了显示,并不清除工作空间,仍可按向上的箭头看到以前发出的命令。

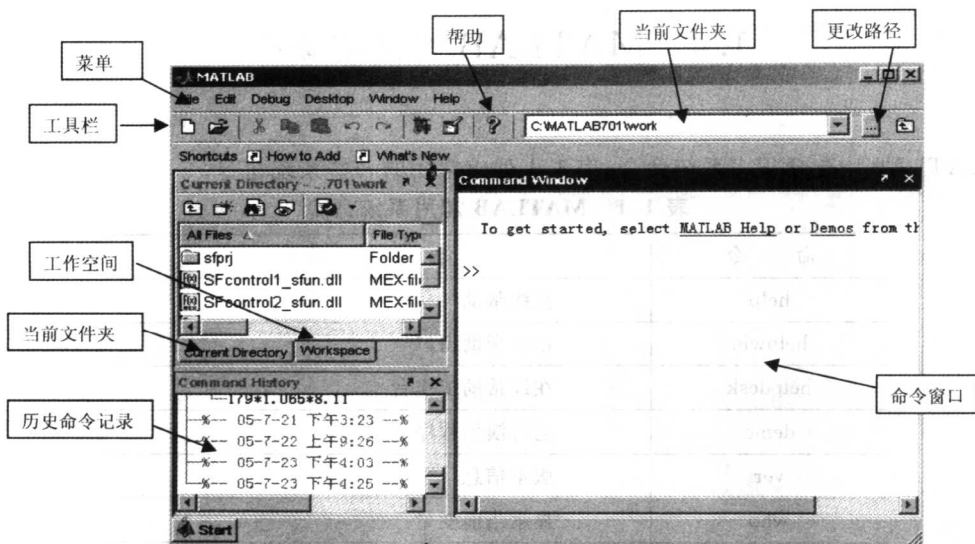


图 1.1 MATLAB 窗口

2. 六个功能菜单

这六个功能菜单(File, Edit, Debug, Desktop, Window, Help)各自有下一层的功能。File 和 Edit 实现对文件的管理和编辑;Help 可检索帮助信息;Debug 是调试程序工具;Desktop 及 Window 可设置 MATLAB 窗口显示界面的形式及窗口;MATLAB 的菜单及选择方式与

Windows 下各种软件环境中的文件管理方式相同。

3. 工作空间

MATLAB 的工作空间(Workspace)主要用来存放变量。

用户可以在 MATLAB 命令窗口中键入 who 或 whos 来查看当前工作空间中有哪些变量,如

```
>>whos
```

按下回车键后命令窗口显示如下:

```
Name      Size      Bytes  Class
   A        3x3         72  double array
```

Grand total is 9 elements using 72 bytes

用户可以采用 clear 命令删除工作空间中的所有变量。

4. 图形窗口

在命令窗口键入 figure,可产生一个与命令窗口隔离的图形窗口。如在命令窗口键入如下命令:

```
t = 0:pi/100:2 * pi;
y = sin(t);
plot(t,y)
```

plot 函数则会在图形窗口中绘制图形,见图 1.2 所示。

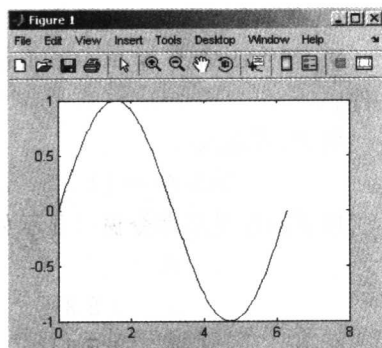


图 1.2 MATLAB 图形窗口

1.4 MATLAB 的系统命令

MATLAB 中包含很多系统命令,表 1.1 列出常用的一些系统命令。

表 1.1 MATLAB 常用系统命令

命 令	含 义
help	在线帮助
helpwin	在线帮助窗口
helpdesk	在线帮助工作台
demo	运行演示程序
ver	版本信息
who	显示当前变量
whos	显示当前变量的详细信息
clear	清空工作空间的变量和函数
pack	整理工作空间的内存
load	把文件中的变量调入到工作空间
save	把变量存入文件中

续 表

命 令	含 义
quit/exit	退出 MATLAB
what	显示指定的 MATLAB 文件
lookfor	在 HELP 里搜索关键字
which	定位函数或文件
path	获取或设置搜索路径
echo	命令回显
cd	改变当前的工作目录
pwd	显示当前的工作目录
dir	显示目录内容
unix	执行 unix 命令
dos	执行 dos 命令
!	执行操作系统命令
computer	显示计算机类型
figure	打开图形窗口
clc	清除命令窗口中的内容
close all	关闭所有图形窗口

1.5 在线帮助

在表 1.1 中所介绍的 MATLAB 系统命令中, help 和 lookfor 指令对于新老用户都是非常重要的, 使用 help 和 lookfor 是获得在线帮助的最简单、有效的途径。help 可以列出用户所寻求帮助的函数的功能描述; 而 lookfor 则列出所有函数的功能描述中含有用户所输入内容的函数简介。

例如, 在 MATLAB 命令窗口键入 help inversion 和 lookfor inversion, 命令窗口给出如下不同的提示:

```
>> help inversion
inversion. m not found.
>> lookfor inversion
COND    Condition number with respect to inversion.
SSINV State-space inversion.
utInv. m: % Metadata management for model inversion
```

AP Affine projection FIR adaptive filter using direct matrix inversion.

InversionFilter. m: %INVERSIONFILTER

TABLEINVERSION Table inversion routine for two-d lookup tables.

InversionFilter. m: %INVERSIONFILTER

tableinversion. m: %TABLEINVERSION

如果用户想了解 MATLAB 中有什么指令可以调用,运行不带任何限定的 help,可以得到分类名称明细表。例

```
>> help
```

HELP topics:

MATLAB\general	—	General purpose commands.
MATLAB\ops	—	Operators and special characters.
MATLAB\lang	—	Programming language constructs.
MATLAB\elmat	—	Elementary matrices and matrix manipulation.
MATLAB\elfun	—	Elementary math functions.
MATLAB\specfun	—	Specialized math functions.
MATLAB\matfun	—	Matrix functions — numerical linear algebra.

.....

采用 help topic 指令形式可以获得具体子类的指令明细,其中 topic 代表子类的名称。如果用户想知道有关初等矩阵和矩阵操作指令一览表,可以运行以下指令。

```
>> help MATLAB\elmat
```

Elementary matrices and matrix manipulation.

Elementary matrices.

zeros	—	Zeros array.
ones	—	Ones array.
eye	—	Identity matrix.

.....

Basic array information.

size	—	Size of array.
length	—	Length of vector.

.....

Matrix manipulation.

cat	—	Concatenate arrays.
reshape	—	Change size.
diag	—	Diagonal matrices and diagonals of matrix.

.....

Multi-dimensional array functions.

ndgrid	—	Generate arrays for N-D functions and interpolation.
permute	—	Permute array dimensions.

.....

Array utility functions.

isscalar — True for scalar.

isvector — True for vector.

.....

Special variables and constants.

ans — Most recent answer.

eps — Floating point relative accuracy.

.....

Specialized matrices.

compan — Companion matrix.

gallery — Higham test matrices.

.....

在命令窗口中键入 computer 可以显示计算机类型,如

```
>>computer
```

```
ans =
```

```
PCWIN
```

习 题

1.1 熟悉下列 MATLAB 常用系统命令的用途: help, ver, clc, clear, figure, close, who 等。

第二章 MATLAB 的基本操作

本章讲述 MATLAB 的基本操作,包括介绍 MATLAB 中数值及变量的表示、赋值语句、常用的数学函数和 MATLAB 语言中的关系与逻辑运算。

2.1 数值及变量

2.1.1 数值的记述

数值是科学计算中最重要元素。MATLAB 的数值采用十进制表示,可以带小数点或负号。以下记述都是合法的:

3 -99 0.002 1.3e-2 4.5e33

MATLAB 的所有计算都以双精度格式计算。任何 MATLAB 的语句的执行结果都可以在屏幕上显示,同时赋值给指定的变量,没有指定变量时,赋值给一个特殊的变量 `ans`,数据的显示格式由 `format` 命令控制。

`format` 只是影响结果的显示,不影响其计算与存储;MATLAB 总是以双字长浮点数(双精度)来执行所有的运算。缺省的数据显示格式为短格式,只显示含 4 位小数的十进制数。

`Format long` 长格式计数法,显示含 14 位小数的十进制数

`Format long e` 长格式(科学)计数法

`Format short e` 短格式(科学)计数法

例如,在 MATLAB 命令窗口中键入数据 12.3,有以下几种格式:

`format (short):` 短格式(5 位定点数)12.3000

`format long:` 长格式(15 位定点数) 12.300000000000000

`format short e:` 短格式 e 方式 1.2300e+001

`format long e:` 长格式 e 方式 1.230000000000000e+001

`format bank:` 2 位十进制 12.30

`format hex:` 十六进制格式

用户可以在命令窗口键入 `help format`,详细了解数据显示格式的种类。

2.1.2 变量

用户在 MATLAB 编程过程中需要定义很多变量。MATLAB 的变量命名必须遵循下列

3 个命名规则:

- (1) 变量名中的英文字母大小写是有区别的,如 myvar 和 MyVar 表示两个不同的变量。
- (2) 变量名的第一个字符必须为英文字母,不能超过 31 个字符,如 myvar31。
- (3) 变量名可以包含下连字符、数字,但不能包含空格符、标点,如 my_var_31 是合法的。

MATLAB 中含有如表 2.1 所示的预定义变量。当 MATLAB 启动时,这些变量就会自动产生。

表 2.1 MATLAB 的预定义变量

预定义变量	说 明
ans	预设的计算结果的变量名
eps	MATLAB 定义的正的极小值 $= 2.2204e-16$
pi	内建的 π 值
inf	∞ 值,无限大 ($\frac{1}{0}$)
NaN	非数,无法定义一个数目 ($\frac{0}{0}$)
i 或 j	虚数单位 $i=j=\sqrt{-1}$
nargin	函数输入参数个数
nargout	函数输出参数个数
realmax	最大的正实数
realmin	最小的正实数
flops	浮点运算次数

2.2 MATLAB 赋值语句

MATLAB 中书写表达式的规则与“手写算式”的方法几乎完全相同,具体规则如下:

- (1) 表达式由变量名、运算符和函数名组成;
- (2) 表达式将按常规的优先级从左向右运算。

如果一个指令过长可以在结尾加上“...”(表示此行指令与下一行连续),例如 $4 * \sin(0.3) * 8$ 可以输入为

```
>> 4 * sin(0.3) * ...
```

```
8
```

则输出为

```
ans =
```

```
9.4566
```