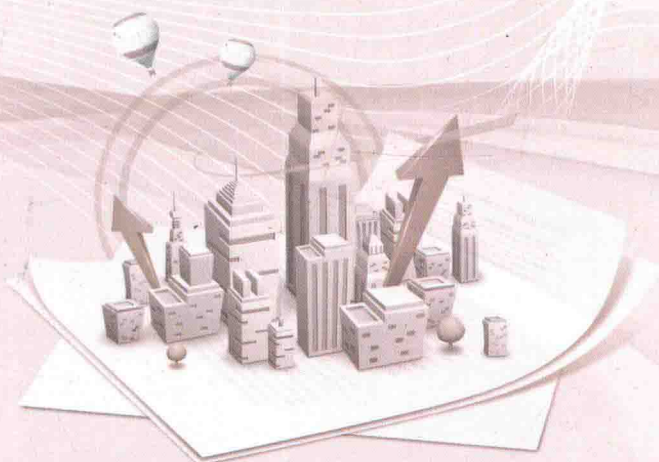


信号与系统

——MATLAB实验综合教程

主 编 胡 钊

副主编 司马莉萍 秦 亮



WUHAN UNIVERSITY PRESS

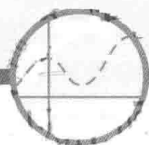
武汉大学出版社

信号与系统

——MATLAB实验综合教程

主 编 胡 钊

副主编 司马莉萍 秦 亮



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统:MATLAB 实验综合教程/胡钊主编. —武汉:武汉大学出版社,2017.8

ISBN 978-7-307-19477-9

I. 信… II. 胡… III. 信号系统—Matlab 软件—教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 172881 号

责任编辑:胡 艳 责任校对:汪欣怡 版式设计:马 佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北睿智印务有限公司

开本: 787×1092 1/16 印张:12.5 字数:293 千字 插页:1

版次: 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-19477-9 定价:29.00 元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

“信号与系统”课程是现代工程类专业学生必须掌握的一门专业基础课程，其教学目的是让学生掌握信号和线性系统分析的基本理论、原理和方法，线性时不变系统的各种描述方法，以及时域、频域和复频域分析方法，有关系统的稳定性、频响、因果性等工程应用中的一些重要结论，并能够在后续课程的学习和工作中灵活应用这些方法来解决工程或科学中的实际问题。

“信号与系统”课程的理论内容较多、抽象性强，其基本理论和方法大量用于计算机信息处理的各个领域，因此，“信号与系统实验”是辅助该课程教学的一种非常有效的手段，但是，传统的硬件电路实验灵活性和实时性较差，严重影响和制约了教学效果，学生自己设计的系统调试困难，得不到可视化的测试结果。利用软件技术构建虚拟实验是提高教学质量及实验效率、降低实验成本的一条有效途径，可以实现在实验环境中，以计算机为辅助教学手段，帮助学生完成信号与系统分析的可视化建模及仿真调试，使学生主动获取知识和独立解决问题的能力不断提高。为此，我们在长期的“信号与系统”软硬件实验教学的过程中编写了本书，其实验内容基本上覆盖了信号与系统理论的所有内容，不仅可以在教学过程中演示，以帮助学生理解抽象的概念和公式，还可以由学生在 PC 机上独立完成各种信号与系统 MATLAB 虚拟仿真任务，用软件仿真的方法替代硬件来实现数据读取、数据分析处理功能，使实验变得更加灵活、简单。仿真实验功能易于扩展，同时也实现了实物实验很难实现的数据编辑、存储、打印图表等功能。但由于虚拟实验过程过于理想化，不利于学生发现问题、解决问题，因而最后与硬件实验有机配合，以全面培养学生动手与创新能力。

本书由两篇组成，第一篇介绍信号与系统仿真实验所必需的 MATLAB 基础知识，包括 MATLAB 简介、MATLAB 数学和科学计算基础、MATLAB 绘图、MATLAB 程序设计以及 Simulink 的基本内容。Simulink 是 MATLAB 推出的一个图形化的仿真计算工具，通过它可以形象生动地实现系统的构造和仿真，其教学效果大大优于枯燥的公式推导以及流程化的仿真程序。通过学习 Simulink 这部分内容，学生不仅能够进一步加深对信号与系统中的框图、系统串并联等部分内容的理解，也可以为学习后续自动控制、数字信号处理、通信系统等课程中相关模型的建立和仿真计算打下良好的基础。第二篇为信号与系统 MATLAB 基本仿真实验，包含基本信号的时域表示及分析、连续 LTI 系统的时域分析、连续 LTI 系统的频域分析、连续信号的复频域分析、离散时间系统的时域分析、离散傅里叶变换、 z 变换与离散时间系统的复频域分析、系统的状态变量分析。

本书体系新颖，内容取舍适度，重点突出，通俗易懂。为了便于读者自学，书中列举

了大量的仿真实例，它们都经过了实际验证，具有可重复性，因此，读者可以在 MATLAB 中进行验证，并且可以与理论分析的结果进行对比分析。

我们相信，读者通过本书的学习与实践，不但对后续课程的学习有所帮助，对今后的工作也会大有裨益。

本书第 1~3 章由司马莉萍编写，第 4~7 章由秦亮编写，第 8~13 章由胡钊编写。全书由胡钊教授任主编并负责统稿。在本书的编写过程中，得到唐炬、查晓明、徐箭、陈红坤、阮江军等有关专家以及武汉大学信号与系统教学团队全体教师的大力支持，刘开培教授审阅了全书，提出了很多非常宝贵意见，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中恐有疏误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 7 月

目 录

第一篇 MATLAB 基础

第 1 章 MATLAB 简介	3
1.1 MATLAB 的发展历史	3
1.2 MATLAB 的特点	4
1.3 MATLAB 的工作环境	5
1.4 MATLAB 帮助系统	7
第 2 章 MATLAB 基础	9
2.1 数值和变量	9
2.2 矩阵的运算	10
2.3 运算符	13
2.4 MATLAB 常用命令	16
第 3 章 MATLAB 科学计算	17
3.1 数值运算	17
3.2 符号运算	23
第 4 章 MATLAB 绘图	25
4.1 二维图形	25
4.2 三维图形	29
4.3 句柄图形	32
第 5 章 MATLAB 程序设计	36
5.1 M 文件	36
5.2 程序控制语句	38
第 6 章 Simulink	43
6.1 Simulink 简介	43
6.2 Simulink 的基本模块	44

6.3 Simulink 模型的仿真	49
第二篇 信号与系统基本实验	
第 7 章 连续线性时不变系统的时域分析	59
实验一 连续信号的表示及可视化	59
实验二 连续信号在 MATLAB 中的运算	68
实验三 连续信号的卷积计算	74
实验四 连续 LTI 系统的时域分析	78
第 8 章 连续 LTI 系统的频域分析	84
实验一 周期信号的傅里叶级数	84
实验二 傅里叶变换	96
实验三 连续 LTI 系统的频域分析	106
实验四 信号抽样	113
第 9 章 连续信号的 s 域分析	120
实验一 拉普拉斯变换	120
实验二 连续时间系统的 s 域分析	127
第 10 章 离散时间系统的时域分析	136
实验一 离散时间信号的表示及运算	136
实验二 序列的基本运算	146
实验三 离散时间系统的时域分析	150
第 11 章 离散傅里叶变换	157
实验一 周期序列离散时间傅里叶级数	157
实验二 离散傅里叶变换	162
实验三 快速傅里叶变换	166
第 12 章 z 变换	170
实验一 z 变换的 MATLAB 实现	170
实验二 离散时间系统的复频域分析	177
第 13 章 系统的状态变量分析	185
实验一 状态空间的建立	185
实验二 系统的可控性和可观测性	190
参考文献	193

第一篇 MATLAB 基础

第 1 章 MATLAB 简介

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，是一种用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。因为其可信度高、灵活性好，因而在世界范围内被科学工作者、工程师和大学生广泛使用。

1.1 MATLAB 的发展历史

MATLAB 是 Matrix Laboratory 的缩写，译为矩阵实验室。1980 年，美国新墨西哥州大学计算机系主任 Cleve Moler 在给 学生讲授线性代数课程时，发现学生在高级语言编程上花费了很多时间，于是着手编写供学生使用的 FORTRAN 子程序库接口程序，并将这个程序命名为 MATLAB。这个程序获得了很大的成功，深受广大学生好评。

20 世纪 80 年代初，Moler 等一批数学家与软件专家组建了 MathWorks 软件开发公司，继续从事 MATLAB 的研究和开发工作，并在 1984 年推出了第一个 MATLAB 商业版本，其核心是用 C 语言编写的。之后，又添加了丰富多彩的图形图像处理、多媒体、符号运算以及与其他流行软件的接口功能，使得 MATLAB 的功能越来越强大。

1990 年，MathWorks 公司推出了以框图为基础的控制 系统仿真工具 Simulink，它方便了系统的研究和开发，使控制工程师可以直接构造系统框图进行仿真，并提供了控制系统中常用的各个环节的模块库。

1992 年，MathWorks 公司推出了具有划时代意义的 MATLAB 4.0 版本，并于 1993 年做了较大的改进，推出支持 Windows 3. x 的 MATLAB，运用范围越来越广。

1997 年，MathWorks 公司推出了 MATLAB 5.0 版本，相对于之前的版本，它可以说是 一个质的飞跃：真正的 32 位运算、功能强大、数值计算加快、图形表现有效、编程简洁直观、用户界面友好。

2000 年 10 月底，MathWorks 公司推出了全新的 MATLAB 6.0 正式版本，其在核心数值算法、界面设计、外部接口、应用桌面等诸多方面都有极大的改进。

2004 年，MathWorks 公司推出了 MATLAB 7.0 版本，该版本在编程、计算、数据获取和运行以及图形处理等方面又有许多重大改进。

2012 年，公司推出了 MATLAB 8.0 版本，该版本在语言和编程、数学计算、数据的导入导出等方面又做出了巨大的提升。

MATLAB 已经成为国际上最流行的科学与工程计算软件工具，现在的 MATLAB 已经

不仅仅是一个“矩阵实验室”了，它已经成为一种具有广泛应用前景的计算机高级编程语言，它在国内外高校和科研部门中扮演着重要的角色。MATLAB 不断适应新的要求，并提出新的办法，使得其语言的功能越来越强大。可以预见，MATLAB 在科学运算和科学绘图等领域将保持着独一无二的地位。

1.2 MATLAB 的特点

MATLAB 集计算、可视化及编程于一身，是 MathWorks 产品家族中所有产品的基础。在 MATLAB 中，无论是问题的提出还是结果的表达，都采用人们习惯的数学描述方法，而不需要用传统的编程语言进行前后处理。这一特点为数学分析、算法开发及应用程序开发营造出了良好的环境。MATLAB 主要有以下五个优点：

(1) 强大的科学计算功能。MATLAB 拥有 500 多种数学、统计及工程函数，可使用户实现所需的强大的数学计算功能。由各领域的专家学者们开发的数值计算程序，使用了安全、成熟、可靠的算法，从而保证了最大的运算速度和可靠的结果。

(2) 简单易用。MATLAB 是一种高级的矩阵/阵列语言，它具有控制语句、函数、数据结构、输入和输出和面向对象编程特点。用户可以在 MATLAB 的命令窗口中将输入语句与执行命令同步，也可以先编写好一个较大的、复杂的应用程序后，再一起运行。新版本 MATLAB 语言是基于最为流行的 C++ 语言之上的，因此语法特征与 C++ 语言极为相似，但是更加简单，更加符合科技人员对数学表达式的书写格式，使之更利于非计算机专业的科技人员使用。而且这种语言可移植性好、可拓展性极强，这也是 MATLAB 能够深入到科学研究及工程计算各个领域的重要原因。

(3) 具备先进的可视化工具。MATLAB 提供功能强大的、交互式的二维和三维绘图功能，可创建富有表现力的彩色图形。可视化工具包括：曲面渲染、线框图、伪彩图、光源、三维等高线图、图像显示、动画、体积可视化等。

(4) 图像处理功能强大。MATLAB 自产生之日起，就具有方便的数据可视化功能，以将向量和矩阵用图形表现出来，并且可以对图形进行标注和打印。高层次的作图包括二维和三维的可视化、图象处理、动画和表达式作图，可用于科学计算和工程绘图。新版本 MATLAB 对整个图形处理功能做了很大的改进和完善，使它不仅在一般数据可视化软件都具有的功能(例如二维曲线和三维曲面的绘制和处理等)方面更加完善，而且对于一些其他软件所没有的功能(例如图形的光照处理、色度处理以及四维数据的表现等)，MATLAB 同样表现了出色的处理能力。同时，对一些特殊的可视化要求，例如图形对话框等，MATLAB 也有相应的功能函数，保证了用户不同层次的要求。另外，新版本 MATLAB 还着重在图形用户界面(GUI)的制作上做了很大的改善，对这方面有特殊要求的用户也可以得到满足。

(5) 具有众多面向领域应用的工具箱和模块集。MATLAB 的工具箱加强了对工程及科学中特殊应用的支持。工具箱和 MATLAB 一样，完全用户化，可拓展性强。若将某个或某几个工具箱与 MATLAB 联合使用，则可以得到一个功能强大的计算组合包，满足用户的要求。

1.3 MATLAB 的工作环境

找到安装完成的 MATLAB 并启动 MATLAB，其主界面如图 1-1 所示。其中主要包括工具栏选项、当前工作路径、命令窗口和工作区窗口。

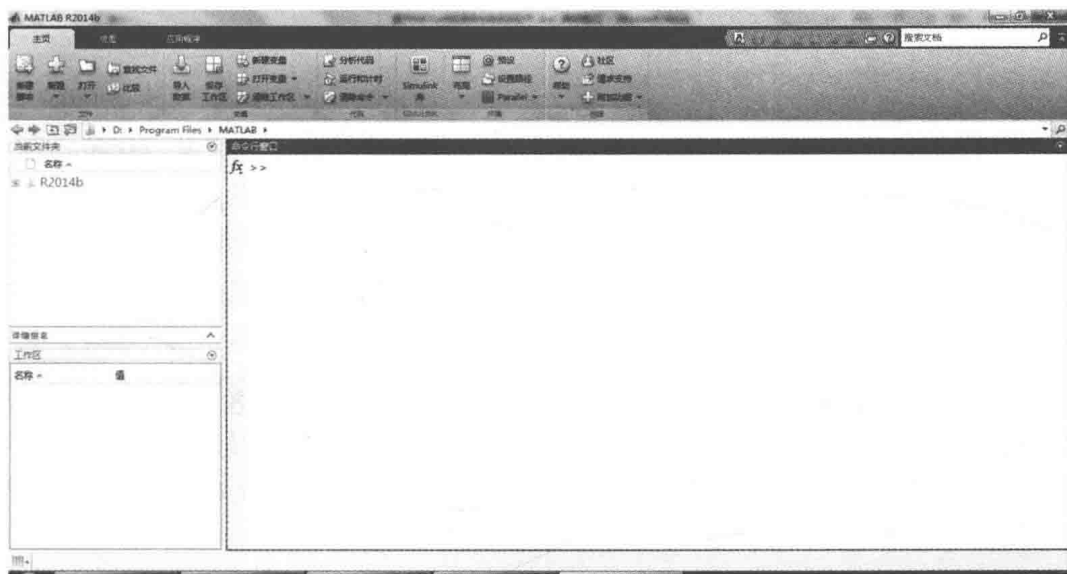




图 1-1 MATLAB 主界面

命令窗口：MATLAB 的主要工作界面，用户可通过其来输入各种 MATLAB 指令，操作和运算的结果也会显示在该窗口。在 MATLAB 运行时，命令窗口会出现命令行提示符“>>”。如果命令后带有分号，则 MATLAB 执行命令，但是不显示结果。如果点击命令窗口右上角的，将会出现如图 1-2 所示的命令窗口操作菜单。

清空命令行窗口(W)	
全选(S)	Ctrl+A
查找(F)...	Ctrl+F
打印(P)...	Ctrl+P
页面设置(G)...	
还原	
取消停靠	Ctrl+Shift+U

图 1-2 命令窗口操作菜单

工作区：MATLAB 用来存储各种变量和结果的空间。该窗口处于 MATLAB 操作界面的左下方。用户能在工作区观察、编辑和提取这些变量。单击工作区右上侧的，可打开如图 1-3 所示的工作区菜单。

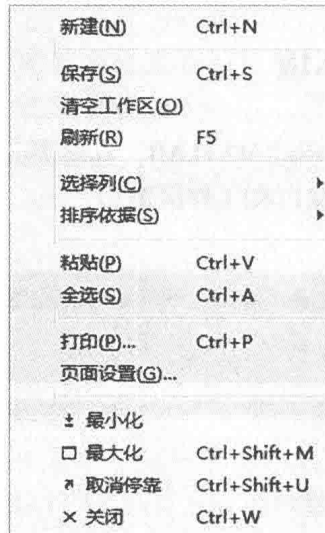


图 1-3 工作区操作菜单

当前路径：MATLAB 借用了 Windows 资源管理器管理磁盘的思路，设计了当前路径的窗口。利用该窗口，用户可以在这里新建或者删除一个文件，也可以通过双击打开文件。

文本编辑窗：MATLAB 在编写和修改 .m 这一类文件时要用到文本编辑器。点击新建脚本选项，可以打开文本编辑窗口的空白页，如图 1-4 所示。

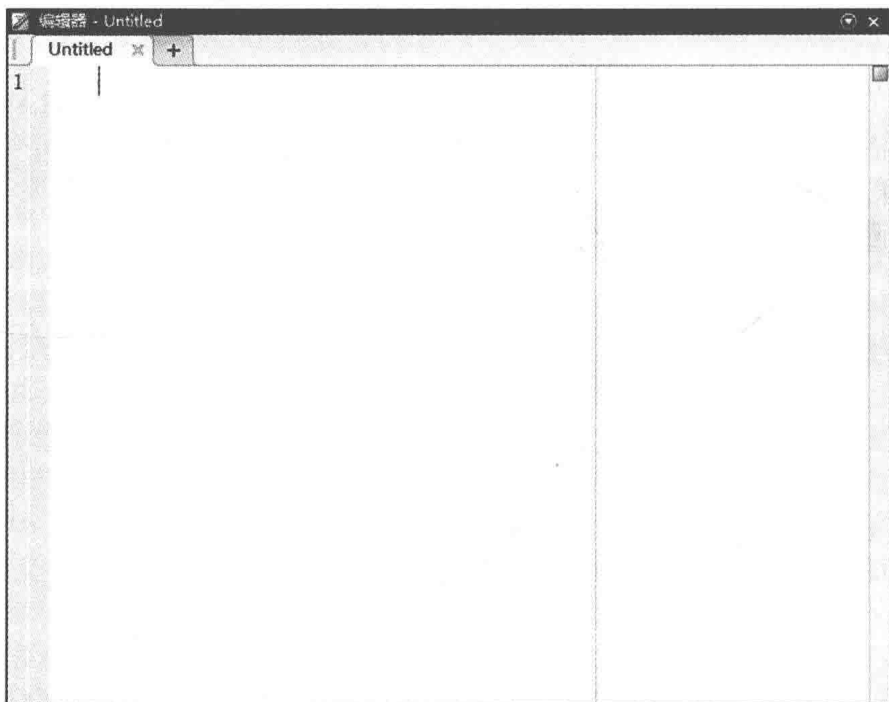


图 1-4 文本编辑窗

1.4 MATLAB 帮助系统

为了方便用户使用，MATLAB 提供了详细的帮助文件系统，能够帮助用户掌握 MATLAB 的使用方法。

MATLAB 为用户提供了强大的在线帮助功能，让用户能够在工作区内直接输入 help 命令，也可以通过菜单命令得到帮助。用户因此能够轻松获得帮助信息，并能通过帮助系统进一步学习 MATLAB。

通常 MATLAB 可以通过 4 种方式获得帮助，分别是：帮助命令、帮助窗口、MATLAB 帮助界面和阅读在线帮助页。

(1) 帮助命令：帮助命令 help 是查询函数库、工具箱等相关信息的最基本方法，查询的结果会显示在命令窗口中。

输入 help，显示系统中所有安装的 MATLAB 函数库和工具箱的名称和相关信息。点击其名称，可以逐级显示函数库或者工具箱中的命令以及命令的功能介绍。

输入 help 库名/工具箱名，可直接显示函数库或工具箱包含的命令信息。

输入 help 命令/函数名，可以直接显示命令的含义和用法。

帮助命令 lookfor 与 help 效果相似，他们都只对 M 文件的第一行进行关键字搜索。help 只搜索与关键字完全匹配的结果，而 lookfor 对搜索范围内的 M 文件进行关键字搜索的条件比较宽松。对 lookfor 命令加上 all 选项，可以对 M 文件全文进行检索。

(2) 帮助窗口：帮助窗口给出的帮助信息和帮助命令给出的信息是一样的，但是在帮助窗口更容易浏览相关的函数。可以通过双击菜单条上的问号按钮、在命令窗口输入 helpwin 命令或者选择帮助菜单下的文档选项，在浏览器中显示帮助信息。

(3) 帮助台：在命令行输入 helpdesk，可以进入帮助台。MATLAB 的帮助台比帮助命令和帮助窗口所提供的帮助信息更多。大部分帮助台的帮助信息使用超文本标记语言 (HTML) 来描述，可以通过浏览器阅读，用户可以利用浏览器的功能来浏览帮助信息。

在 MATLAB 的帮助台上，可以单击想要查找的内容来获取相应的帮助信息，也可以通过 Search 来查找想要获取的帮助信息，如图 1-5 所示。

(4) Demo 演示：MATLAB 的主包和各个工具包都有很好的演示程序，如图 1-6 所示。用户可以通过在命令窗口键入 demo 命令进入演示程序。该组演示程序由交互式界面引导，操作十分方便。用户可以通过演示系统进行直观的感受和学习，对用户十分有益。它的示范作用十分有效，是任何相关书籍都无法代替的。如果想要学习 MATLAB，就一定要掌握这组程序。

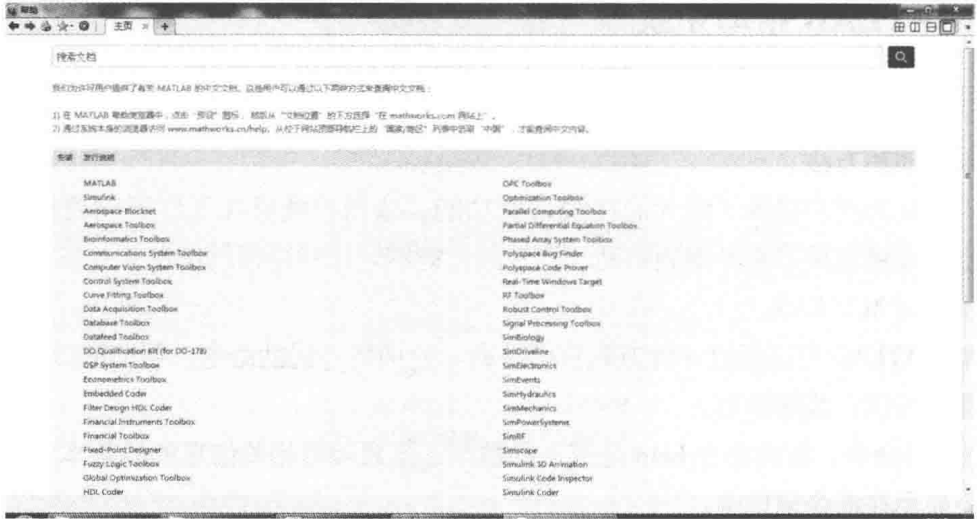


图 1-5 MATLAB 的帮助台窗口

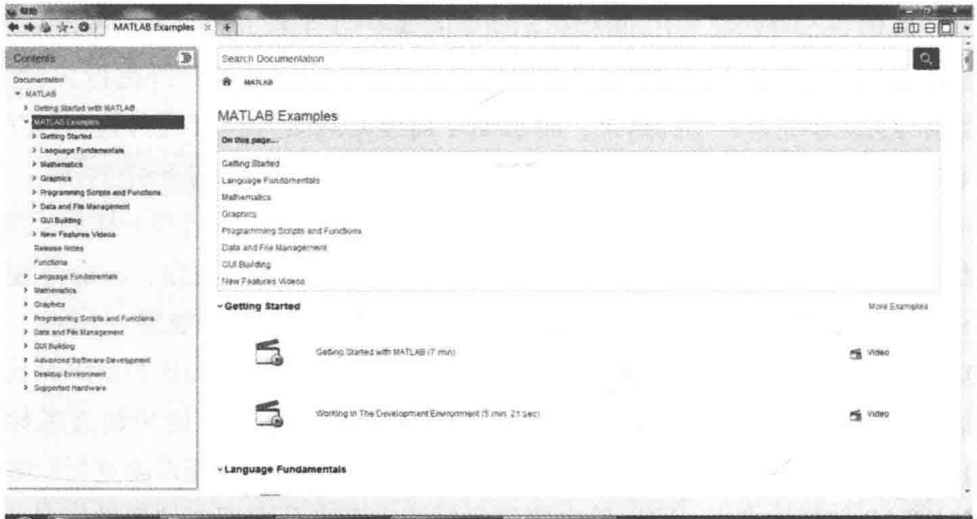


图 1-6 MATLAB 的演示窗口

第 2 章 MATLAB 基础

2.1 数值和变量

2.1.1 数值

MATLAB 中数值采用十进制计数，并且最多大约能保持 16 位有效数字。

以下计数都属于合法的：2、-24、0.03、 $2.6e-5$ 。

2.1.2 变量

变量是任何程序设计语言的基本元素之一，MATLAB 语言也不例外。和一般常规的程序设计语言不同的是，MATLAB 语言不需要对所使用的变量进行事先声明，也不需要指定变量类型，它会自动根据所赋予变量的值或对变量所进行的操作来确定变量的类型。

在 MATLAB 语言中，变量的命名规则如下：

(1) 变量名长度不超过 31 位，超过 31 位的字符将会被忽略不计；

(2) 变量名大小写具有不同的含义；

(3) 变量名必须以字母开头，变量名中可以包含字母、数字或者下划线，但是不能使用标点符号。

在 MATLAB 中有一些变量被预定义了某个特定的值，所以可以称这些变量为预定义变量。MATLAB 中主要的常量如表 2-1 所示。

下面介绍几种常用的预定义变量的用法：

(1) 在 MATLAB 中如果出现超过最大正浮点数的数据时，不像其他系统一样可能会出现死机的现象，而是会用 `Inf` 代替无穷大输出结果。例如，在命令行输入 `1/0` 时，MATLAB 会返回如下结果：

```
>> 1/0
ans =
    Inf
```

(2) 在 MATLAB 中如果出现分子、分母均为 0 时，会得到 `NaN`，它是 `Not-a-Number` 的缩写，代表非数字的意思。例如，在命令行输入 `0/0` 时，MATLAB 会返回如下结果：

```
>>0/0
ans =
```


表 2-1

MATLAB 的预定义变量

预定义变量	含 义
ans	计算结果的默认名称
inf(Inf)	无穷大
pi	圆周率, π
eps	浮点数相对误差
i 或 j	虚数单位
NaN	无定义的数
bitmax	最大正整数
realmax	最大的正浮点数
realmin	最小的正浮点数

NaN

(3) MATLAB 中 pi 用来表示圆周率 π 的数值。在命令行输入 pi, 若 pi 未被赋值, 则 MATLAB 会返回如下结果:

```
>> pi
ans =
    3.1416
```

2.2 矩阵的运算

MATLAB 中的数据一般以数组的形式存在, 各种运算以及函数也是针对数组进行的。这里说的数组, 是广义的数组, 按数组的位数可以将其分为:

- (1) 对于只有一个元素的数组, 称为标量;
- (2) 对于只有一行或一列元素的数组, 称为向量;
- (3) 对于具有多行多列元素的数组, 称为矩阵;
- (4) 对于超过二维的数组, 统称为多维数组。

2.2.1 矩阵的创建

1. 直接输入法

创建数值矩阵, 可以直接在键盘上输入矩阵, 这种方法比较方便直接, 适合较小的简单矩阵, 在创建矩阵时, 需要保证:

- (1) 矩阵的元素应放在“[]”内部;
- (2) 矩阵的列与列之间用空格或者“,”分隔, 行与行之间用“;”或者回车符分隔;
- (3) 矩阵的元素不仅可以是数值, 也可以是运算表达式。