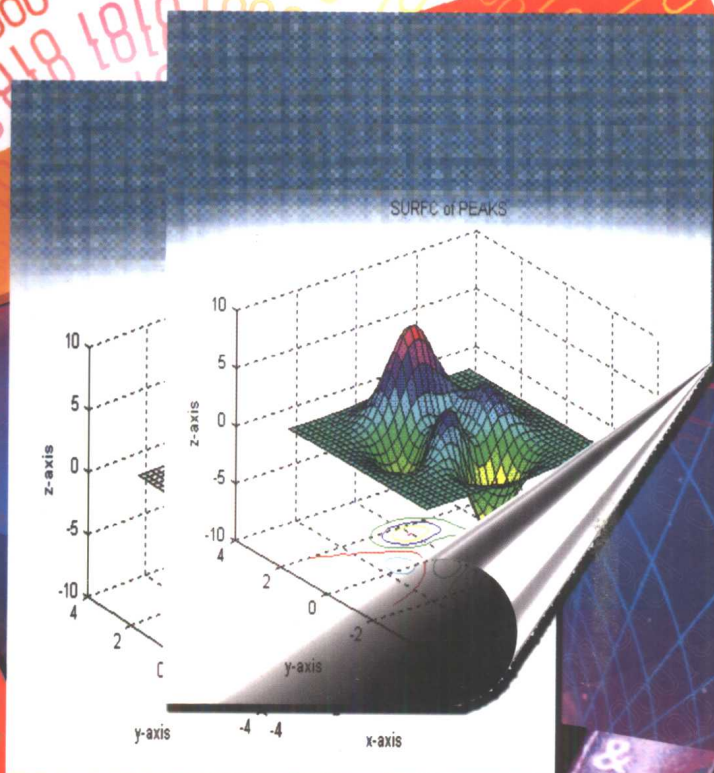


Matlab

在电信工程中的应用

本书特点:

与工程实际紧密结合
注重电信工程应用的系统化
包括大量的仿真工程实例



王华 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

Matlab 在电信工程中的应用

王华 等编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书主要介绍 Matlab 在电信工程中的应用技术, 全书共分 10 章, 内容涉及 Matlab 在电信工程中应用的基本方法和数学基础; 应用 Matlab 进行 DSP 信号分析、FIR 滤波器设计和 IIR 滤波器设计; 应用 Matlab 进行神经网络分析和设计的方法; 应用 Matlab 进行控制系统建模、分析、频域设计和时域设计的各种方法以及 Simulink 的应用等方面。这些内容基本上涵盖了 Matlab 在电信工程中应用的各个方面, 也反映了近年来电子仿真发展的主要趋势。书中提供了大量电子仿真工程实例, 可以帮助用户迅速进入电子仿真应用领域。

本书可作为工程技术人员的参考资料, 也可作为各类高等学校本科高年级学生或研究生“电信工程分析与设计”课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

Matlab 在电信工程中的应用/王华 等编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2001.3

ISBN 7-5084-0616-8

I . M… II . 王… III. 通信网-计算机辅助设计-软件包, Matlab
IV.TN915.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 13922 号

书 名	Matlab 在电信工程中的应用
作 者	王华 等编著
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@public3.bta.net.cn (万水) sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 68359286 (万水)、63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 40.25 印张 893 千字
版 次	2001 年 4 月第一版 2001 年 4 月北京第一次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	65.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

Matlab 是 Mathwork 公司推出的一套高效率的数值计算和可视化软件, 它集数值分析、矩阵运算、信号处理和图形显示于一体, 构成了一个方便的、界面友好的用户环境。Matlab 的推出得到了各个领域专家学者的广泛关注, 其强大的扩展功能更为各个工程领域提供了分析和设计的基础。随着 Matlab 在各个工程领域应用的日益广泛, 专家学者们相继推出了控制系统工具箱 (control systems toolbox)、信号处理工具箱 (signal processing toolbox)、系统辨识工具箱 (system identification toolbox)、最优化控制箱 (optimisation)、小波分析工具箱 (wavelet) 等简单实用的库函数, 这些日益增加的工具箱给各个领域的研究和工程应用提供了强有力的工具。借助于日渐完善的 Matlab 软件, 各个层次的研究人员可以直观、方便地进行分析、计算和设计工作, 大大节省了时间, 提高了工作效率。

然而面对国际上 Matlab 在各个工程领域中应用的迅猛发展的形势, 国内系统地介绍 Matlab 工程应用, 尤其是 Matlab 在电信工程应用方面的书籍资料还很缺乏, 而本书就是在这种背景下应运而生的。本书分为四个部分, 第一部分为基础篇, 包括第 1 章和第 2 章, 主要介绍 Matlab 在电信工程中应用的基本方法和数学基础; 第二部分为数字信号处理 (DSP) 篇, 包括第 3 章和第 4 章, 主要介绍应用 Matlab 进行 DSP 信号分析、FIR 滤波器设计和 IIR 滤波器设计; 第三部分为神经网络篇, 包括第 5 章, 主要介绍应用 Matlab 进行神经网络的分析和设计的方法; 第四部分为控制理论篇, 包括第 6 章至第 10 章, 主要介绍使用 Matlab 进行控制系统建模、分析、频域设计和时域设计及控件系统的 Simulink 仿真的各种方法。全书系统地介绍了 Matlab 在电信工程中应用的各个方面, 基本上涵盖了目前国内外 Matlab 在电信工程中应用的主要内容。当然, 限于篇幅本书无法涉及到电信工程的方方面面, 但应用本书所介绍的方法一般可以解决大多数电信领域中的问题。

本书的最大特点就是与工程实际的紧密结合, 书中所列举的例子基本上都来源于工程实际, 甚至有些就是现实当中的工程设计。这样就使本书能够很好地做到理论联系实际, 使读者对 Matlab 在电信工程应用中有一个感性的认识, 也使得书中的内容更加易学易用。

本书的另一大特色就是注重电信工程应用的系统化, 书中严格地按照各种理论系统来介绍 Matlab 在该领域中的应用, 使得所有的工程内容都可以找到理论根源, 从而方便了读者对各种理论背景的查询。

同时本书根据各种理论设计一套严整的函数, 这些函数都是 Matlab 库函数中所没有而工程实际中又必须用到的, 因而工程设计人员可以直接调用书中提供的一些函数来进行分析与设计, 从而大大方便了电信工程人员对 Matlab 的应用。

本书由北京万水电子信息有限公司策划, 由王华主编, 此外参加本书编写的人员还有:

李泉、何旭洪、周扬平、欧阳军、黄明、王琦、王薪、杨建强、孙庆南、王春华、冉阳、翟虹强、杭大明、吴海桑、唐昇、田瑞雄、柳攀、刘勇攀、周明、包毅、江鹏、葛欣、杨旭、吴萌野、应军、陈实。另外，参加本书编辑和制作的人员包括刘全胜、李东震、杭永霞、卢静等。

特别应该指出的是，在本书的编写过程中，作者的父母王新民先生、张金玲女士给予了大力支持和热心帮助，为本书能够在新世纪到来之际献给广大读者做出了巨大奉献，在此谨向他们致以最诚挚的谢意。同时也向徐媛女士表示最崇高的敬意，感谢她在本书的编写过程中给予作者的支持和鼓励。

当然，限于编写时间与作者的水平，本书的不足之处在所难免，欢迎广大读者和用户批评指正。

编者

2001年2月

目 录

前言

第一章 Matlab 应用基础	1
1.1 Matlab 的语言特点	1
1.1.1 编程简单使用方便	1
1.1.2 函数库可任意扩充	2
1.1.3 语言简单内涵丰富	2
1.1.4 简便的绘图功能	3
1.2 Matlab 的基本操作方法	4
1.2.1 Matlab 的语言结构和编程方法	4
1.2.2 Matlab 的主要语法和操作符	6
1.3 构造 Matlab 函数	14
1.4 Matlab 的三维图形绘制方法	22
1.4.1 三维图形的基本绘制方法	22
1.4.2 常用三维图形的绘制方法	25
1.4.3 常用三维绘图函数小结	36
1.5 常用数据分析方法	38
1.5.1 数据分析的基本方法	38
1.5.2 数据分析函数	45
1.6 Matlab 的网络资源	46
1.6.1 USENET 新闻组	46
1.6.2 FTP 资源	46
1.6.3 全球广域网 WWW	50
1.6.4 Matlab 的自动电子邮件自动应答系统	51
1.6.5 MathWorks Matlab 文摘	52
1.6.6 Matlab 通报	52
1.6.7 MathWorks 电子邮件及网络地址	52
第二章 电信工程中的常用数学方法	54
2.1 矩阵的基本操作	54
2.1.1 特殊矩阵的生成	54
2.1.2 矩阵特征参数的提取	57

2.1.3	矩阵的分解	63
2.1.4	矩阵的非线性运算	70
2.2	矩阵特征值与特征向量	74
2.2.1	矩阵特征值与特征向量的计算	74
2.2.2	计算矩阵主特征值与主特征向量的幂法	76
2.2.3	广义矩阵特征值与特征向量	83
2.3	线性方程求解	84
2.3.1	矩阵求逆与解析法线性方程求解	85
2.3.2	大型线性方程组求解的迭代法	87
2.4	曲线拟合与插值	108
2.4.1	曲线拟合	109
2.4.2	一维插值	111
2.4.3	二维插值	115
2.5	非线性方程求解	117
2.5.1	非线性方程的简单解法	117
2.5.2	非线性方程的一般解法	118
2.6	常用数学方法举例	132
2.6.1	解线性方程组的全主元三角分解法	132
2.6.2	离散数据多项式拟合的正交化方法	135
2.6.3	求矩阵特征值的基本 QR 方法	139
第三章	数字信号处理基础	144
3.1	离散时间信号与系统	144
3.1.1	离散时间信号	144
3.1.2	离散系统的卷积和相关	149
3.1.3	离散系统的差分方程	155
3.2	离散时间傅立叶变换	157
3.2.1	离散时间傅立叶变换定义与计算	157
3.2.2	离散时间傅立叶变换的特性	161
3.3	离散傅立叶变换	167
3.3.1	离散傅立叶级数	167
3.3.2	离散傅立叶变换	170
3.3.3	离散傅立叶变换的性质	178
第四章	数字滤波器的设计	197
4.1	数字滤波器的结构	197
4.1.1	基本元件	197

4.1.2	IIR 滤波器的结构	198
4.1.3	FIR 滤波器的结构	212
4.2	滤波器设计基础	216
4.2.1	滤波器的指标	216
4.2.2	滤波器指标的确定	217
4.2.3	问题的描述	218
4.3	线性相位 FIR 滤波器的性质	218
4.3.1	冲激响应	219
4.3.2	频率响应	219
4.3.3	零点位置	222
4.4	FIR 滤波器的窗函数设计技术	226
4.4.1	窗函数设计的基本思想	226
4.4.2	常用窗函数	226
4.4.3	窗函数设计公式	227
4.4.4	FIR 滤波器设计实例	228
4.5	IIR 滤波器设计	250
4.6	模拟滤波器原型	251
4.6.1	巴特沃斯低通滤波器	251
4.6.2	切比雪夫低通滤波器	258
4.7	滤波器的变换	268
4.7.1	滤波器变换的基本方法	268
4.7.2	滤波器变换实例	272
4.8	用 Matlab 设计低通滤波器	277
4.8.1	设计低通滤波器的 Matlab 函数	277
4.8.2	低通滤波器设计实例	278
第五章	神经网络的分析与设计	284
5.1	人工神经网络基础	284
5.1.1	人工神经网络的基本结构与模型	285
5.1.2	神经网络的层次	288
5.1.3	用 Matlab 计算人工神经网络的输出	291
5.2	神经网络工具箱的基本函数	296
5.2.1	神经网络的初始化函数	296
5.2.2	与神经网络有关的绘图函数	300
5.2.3	神经网络的误差分析函数	307
5.3	感知器神经网络	312

5.3.1	感知器神经网络的常用函数	312
5.3.2	感知器神经元模型	312
5.3.3	感知器神经网络	313
5.3.4	感知器神经网络设计实例	315
5.4	自适应线性神经网络	327
5.4.1	自适应线性神经网络的模型和结构	328
5.4.2	自适应线性神经网络的学习规则与训练	329
5.4.3	自适应线性神经网络设计实例	334
5.5	反向传播神经网络	345
5.5.1	BP神经网络的结构	346
5.5.2	BP神经网络的初始化	348
5.5.3	BP神经网络的学习和训练	348
5.5.4	BP神经网络设计实例	364
第六章	控制系统的数学描述与建模	369
6.1	微分方程	369
6.1.1	微分方程的数值解	369
6.1.2	非线性系统	375
6.1.3	线性化	377
6.2	传递函数	378
6.2.1	多项式的根和特征多项式	378
6.2.2	传递函数的零点和极点	379
6.2.3	部分分式展开	381
6.3	状态空间描述	382
6.3.1	将微分方程化成状态方程	382
6.3.2	矩阵的对角化	383
6.4	模型的转换与连接	385
6.4.1	数学模型的转换	385
6.4.2	系统模型的连接	391
6.5	模型的降阶与实现	400
6.5.1	模型降阶	401
6.5.2	模型实现	408
6.6	控制系统的模型属性	410
6.7	控制系统常用数学方程求解	418
第六章附录	函数 ode23() 的源代码	420
第七章	控制系统的分析方法	437

7.1	控制系统的稳定性分析	437
7.2	控制系统的时域分析	443
7.2.1	时域分析的一般方法	443
7.2.2	常用时域分析函数	447
7.2.3	时域分析应用实例	452
7.3	控制系统的频域分析	459
7.3.1	频域分析的一般方法	460
7.3.2	常用频域分析函数	465
7.3.3	频域分析应用实例	470
7.4	根轨迹分析方法	477
7.4.1	模条件和角条件	478
7.4.2	绘制根轨迹的基本规则	479
7.4.3	根轨迹分析应用实例	480
第七章附录 常用根轨迹函数的源代码		485
第八章	控制系统的频域设计方法	501
8.1	控制系统的校正	501
8.1.1	单变量系统的两种主要校正方式	501
8.1.2	PD、PI、PID 校正	502
8.1.3	串联校正实例	506
8.2	多变量系统的频域设计方法	511
8.2.1	数学模型与标准型	511
8.2.2	多变量系统的频率响应	515
8.3	定量反馈控制设计方法	517
8.3.1	单变量系统的 QFT 设计方法	517
8.3.2	QFT 设计举例	520
8.3.3	QFT 设计工具箱的应用	528
8.4	M1A1 主战坦克观测仪飞轮控制器的设计	532
第九章	控制系统的时域设计方法	543
9.1	极点配置设计方法	543
9.2	解耦控制设计方法	546
9.3	线性二次型最优控制器设计	552
9.3.1	线性二次型指标与里卡第 (Riccati) 方程求解	553
9.3.2	最优控制器设计实例	557
9.4	线性二次型高斯 (Gauss) 最优控制	576
9.4.1	LQG 问题的一般解法	576

9.4.2	回路传输恢复技术	578
9.4.3	LQG 设计实例	579
第十章	控制系统的 Simulink 仿真	585
10.1	系统建模	585
10.2	Simulink 仿真方法	592
10.2.1	仿真过程的设置	592
10.2.2	系统仿真	600
10.3	模型图的优化	603
10.3.1	模块的翻转与旋转	603
10.3.2	信号线的分叉和弯转	605
10.3.3	模型图的标注	606
10.3.4	对模型图的其他优化方法	610
10.4	模块的合成、创建与封装	613
10.4.1	模块的合成	613
10.4.2	创建新模块	615
10.4.3	模块的封装	616
10.5	Simulink 的 mdl 文件	619

第一章 Matlab 应用基础

Matlab 是美国 Mathworks 公司开发的大型数学计算软件，它提供了强大的矩阵处理和绘图功能。它可信度高、灵活性好，因而在世界范围内被科学工作者、工程师和大中学生广泛使用。它带有一些强大的具有特殊功能的工具箱（toolbox），这些工具箱均由名家编写，如美国学者 Alan Laud 与 John Little 编写的控制系统工具箱（control systems toolbox）、美国的 John Little 与 Loren Shure 编写的信号处理工具箱（signal processing toolbox）、瑞典学者 Leonard Ljung 编写的系统辨识工具箱（system identification toolbox）等，这些著名的工具箱广泛应用于典型工程领域。

目前，Matlab 已经成为国际上最流行的电信工程计算机辅助设计的软件工具。现在的 Matlab 已经不仅仅是一个“矩阵实验室（Matrix Laboratory）”，它已经成为一种实用的、全新的计算机高级编程语言了。

作为工程实际应用的基础，本章首先向用户介绍 Matlab 的操作方法。限于篇幅和本书所讨论的范围，本章将仅对在电信工程中应用较为广泛的 Matlab 的函数构造、三维绘图、数据分析和网络资源获取等四方面问题作详细介绍，而对其他方面仅作概括性的介绍。

1.1 Matlab 的语言特点

Matlab 现在已经广泛地应用于工程设计的各个领域，而它之所以能够在各个方面都表现得如鱼得水，其原因就在于它实用性的语言特点。

1.1.1 编程简单使用方便

矩阵和向量运算是工程数学计算的基础，而 Matlab 的基本数据单元是既不需要指定维数、也不需要说明数据类型的矩阵（向量和标量是矩阵的特例），而且数学表达形式和运算规则与通常的习惯相同。因此，在 Matlab 环境下，数组的操作与数的操作一样简单，进行数学运算可以像在草稿纸上一样随心所欲。它使得计算机兼备高级计算器的优点，使用十分方便。

例 1.1 下列语句串实现矩阵和向量的定义与赋值，并完成矩阵与矩阵相乘和矩阵与向量相乘的运算。

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

```
B=[3 4 5; 5 7 9; 7 3 1];
```

```
x=[5 7 6];  
C=A*B;  
y=A*x;
```

其中 A 和 B 是 3 阶方阵, x 是 3 维向量。运算结果如下:

```
c =  
    94    83    86  
    89    82    87  
    69    55    53  
  
y =  
    109  
    109  
     77
```

可见, Matlab 语言省掉了 Fortran 和 C 语言的定维和类型语句, 也省掉了许多循环语句。编程时只要写入输入数据和计算过程, 即可得到计算结果。Matlab 语言具有强大的矩阵和向量操作功能, 是 Fortran 和 C 语言无法比拟的, 对此稍候将作简要的介绍。

1.1.2 函数库可任意扩充

Matlab 语言的函数库, 除基本初等函数外, 还有初等矩阵和矩阵变换、数值线性代数 (包括线性代数方程组和矩阵特征值问题等)、多项式运算和求根、函数的插值和数据的多项式拟合、数值积分和常微分方程数值解、单变量非线性方程求根、函数求极值、数据分析和傅里叶变换, 以及某些特殊的矩阵函数和数学函数等, 这些函数都可以直接调用。特别是由于库函数与用户文件的形式相同, 所以用户文件可以像库函数一样随意调用。简而言之, 用户可根据自己的需要任意扩充函数库。

1.1.3 语言简单内涵丰富

Matlab 语言中最基本最重要的成分是函数, 其一般形式为:

```
function [a,b,c...]=fun(d,e,f...)
```

(1.1)

其中, fun 是自定义的函数名, 只要不与库函数名相重, 并且符合字符串的书写规则即可。“d,e,f...”是输入量, 可以是形参, 也可以是实参。“a,b,c...”是输出变量。如果没有输入变量或没有输出变量, 输入和输出变量可以缺省。因此, 这里的函数既可以是数学上的函数, 也可以是程序块或子程序, 内涵包罗万象, 十分丰富。每个函数建立一个同名的 M 文件, 如上述函数的文件名为 fun.m。这种文件简单、短小、高效, 并且便于调试。

1.1.4 简便的绘图功能

Matlab 具有二维和三维绘图功能, 使用方法十分简便。而且用户可以根据需要在坐标图上加标题、坐标轴标记、文本注释及栅格等, 也可以指定图线形式(如实线、虚线等)和颜色, 也可以在同一张图上画不同函数的曲线, 对于曲面图还可以画出等高线。

例 1.2 下列程序在 x-y 直角坐标中绘出两个函数:

$$y = \frac{10}{1+x^2}, \quad y = 5 + 4\sin x, \quad x \in [-5, 5] \quad (1.2)$$

的图形, 如图 1-1 所示。

```
x=-5:0.1:5;  
y=10./(1+x.^2);  
z=5+4*sin(x);  
plot(x,y,x,z,'-');  
title('图 1-1.Matlab 的绘图功能');  
xlabel('x');  
ylabel('y');  
text(1.5,5,'y=10/(1+x^2)');  
text(-3.5,7.5,'y=5+4sin(x)');  
grid;
```

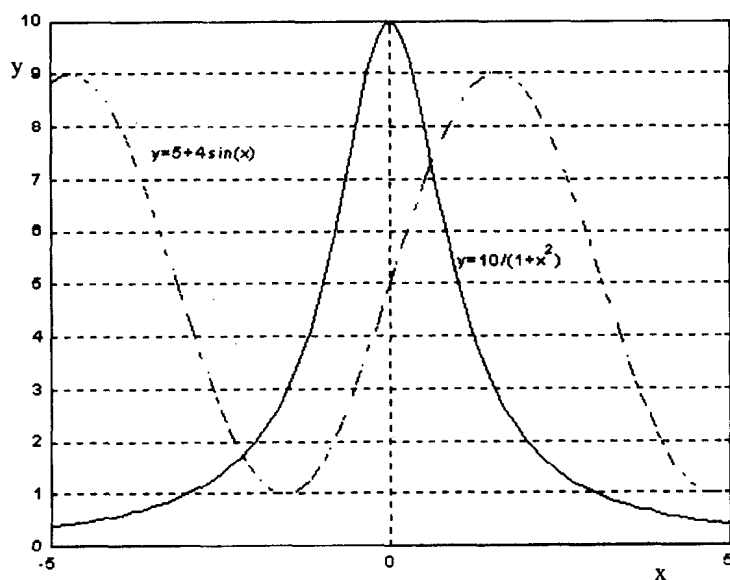


图 1-1 Matlab 的绘图功能

其中,第1个语句定义了从-5到5步长为0.1的向量 x ,第2个和第3个语句分别定义了以上两个函数对应于向量 x 的值向量,其他语句可对照图形作相应的解释。

这里先仅仅给用户一个绘图方面的感性认识,更详细的 Matlab 下的三维图形的绘制请参阅 1.4 节。

值得注意的是:

在 Matlab 语言中,库函数(如正弦函数等)都有向量运算功能,即允许自变量是多维向量。

对于自定义函数,只要把其中的乘、除和乘幂运算前面加一个点,即“.”,“./”,“.^”,就可以实现上述的向量运算。

1.2 Matlab 的基本操作方法

Matlab 是一种功能强大的数学计算语言,本节首先对它的基本操作进行概括性介绍,为实现后面一些更加复杂的操作铺垫。

1.2.1 Matlab 的语言结构和编程方法

Matlab 有两个环境窗口,一个是命令窗口(Command Window),即工作环境;一个是记事本窗口(Notepad),主要用于创建和编辑函数文档。

Matlab 的语言结构很简单,一般可以归结为:

Matlab 语言结构 = 窗口命令 + M 文件

在命令窗口输入的 Matlab 语句称为窗口命令,用以调用并执行 M 文件。

M 文件在记事本窗口建立,扩展名为.m。M 文件可以有很多个,它们可以互相调用,也可以调用自己。在功能上 M 文件可分为两种类型:

(1) 文本文件。文本文件包含一些列 Matlab 命令,当命令窗口调用它时,自动执行这些命令。文本文件的语句在工作空间中对全局变量进行运算。

(2) 函数文件。函数文件的第1行是以 function 开头的语句(文本文件没有这一行),如式(1.1)所示,其中至少有一个输入或输出参数,然后是一系列的 Matlab 语句。函数文件中定义的变量都是局部变量,它们只在本函数内部起作用。

值得注意的是:

一个函数可以作为另一个函数的参数,与 feval 联合使用。如果函数 $y=f(x)$ 的文件名为 fun1,那么当 fun1 是另一个函数 fun2 的参数时,在 fun2 中可以用 $y=feval(fun,x)$ 语句求 $y=f(x)$ 的函数值,只要在调用 fun2 时将其形参 fun 带入实参 fun1 即可。这样可以使函数具有更广泛的通用性。

例 1.3 对于例 1.1,这里采用两种方法实现其中的运算。

方法 1: 在记事本窗口中建立以 `matrix.m` 为名的文本文件, 内容为例 1.1 中的语句串。然后在命令窗口输入下列命令:

```
matrix
C
y
```

这样即可得到运算结果。如果例 1.1 中最后的两句不加分号 “;”, 那么只要在命令窗口输入命令 `matrix` 即可得到计算结果。这种方法有文本文件, 但没有函数文件。

方法 2: 在记事本窗口中建立以 `matrix.m` 为名的函数文件, 它的第 1 行为:

```
function [C,y]=matrix
```

后面是例 1.1 中的语句串。然后在命令窗口中输入下面的命令:

```
[C,y]=matrix
```

这样即可得到与方法 1 一样的结果。这种方法有函数文件, 但没有文本文件。

例 1.4 对于例 1.2, 也采用两种方法来实现其中的作图功能。

方法 1: 首先建立以 `draw.m` 为名的文本文件, 内容为例 1.2 中的语句串。然后在命令窗口中输入命令 `draw`, 即可绘出函数图形。

方法 2: 首先建立两个函数文件, 用来定义式 1.2 中的两个函数:

```
fun1.m
function y=fun1(x)
y=10./(1+x.^2);
```

```
fun2.m
function y=fun2(x)
y=5+4*sin(x);
```

接着建立一个以 “`draw.m`” 为名的文本文件, 其内容如下:

```
x=-5:0.1:5;
y=fun1(x);
z=fun2(x);
plot(x,y,x,z,'-.');
```

然后在命令窗口中输入命令 `draw`, 即可绘出函数的图形。这里没有加标题、坐标轴标记、文本注释和栅格。事实上, 它们都是可以任意缺省的。这种方法既有文本文件, 也有函数文件。

对于上面两个简单的例题，可以不建立任何 M 文件，只要把相应的语句串直接输入命令窗口即可。但是，对于较复杂的问题这样做显然是不利于工程实际的，因为这样会给调试和修改带来困难。

由此可见，程序的一般结构和调用过程是：

窗口命令 → 文本文件 → 函数文件

其中后两个可以缺省。在通常的情况下，一个工程作业只需要一个文本文件，其主要功能是组织函数文件，完成复杂的计算任务。当有文本文件时，只要在命令窗口输入文本文件的名称，就可以完自动完成规定的全部任务。当没有文本文件但有一个主函数时，只要在命令窗口输入初始数据、该函数文件的函数语句，就可以自动完成规定的全部任务。一个工程作业可能需要很多函数文件，这些函数文件是作业的核心内容。函数文件也就是用户文件，可以把它们看成是库函数，供任何作业调用。

与 Fortran 和 C 不同，Matlab 没有明显的编译、连接和执行阶段之分，它是一气呵成的，即三者同时进行。

注意：

对于任何赋值语句，只要句末不加分号，当执行这条语句时就立即显示该语句左端的值。因此，Matlab 程序可以逐句调试，既方便又快捷。另外，对于每个函数文件，可以单独进行调试。

1.2.2 Matlab 的主要语法和操作符

与 Fortran 和 C 相比，Matlab 的语法更加简单，符号基本相同。

1.2.2.1 变量

Matlab 变量区分字母的大小写，例如 A 和 a 是两个不同的变量。函数名必须用小写字母。但是用户也可以根据实际需要，通过使用 casesen 命令使 Matlab 对程序中的文本不区分字母的大小写。

另外，Matlab 规定了 5 个固定变量（即常量），如表 1-1 所示。

表 1-1 Matlab 规定的 5 个常量

常 量 名	说 明
eps	误差容限， $\text{eps}=2^{-52}\approx 2.22\times 10^{-16}$
i	虚数单位
inf	正无穷大量，-inf 为负无穷大量
NaN	不定值，inf/inf 或 0/0
pi	圆周率 π

字符变量的值用引号括起来，如“高斯消去法”。