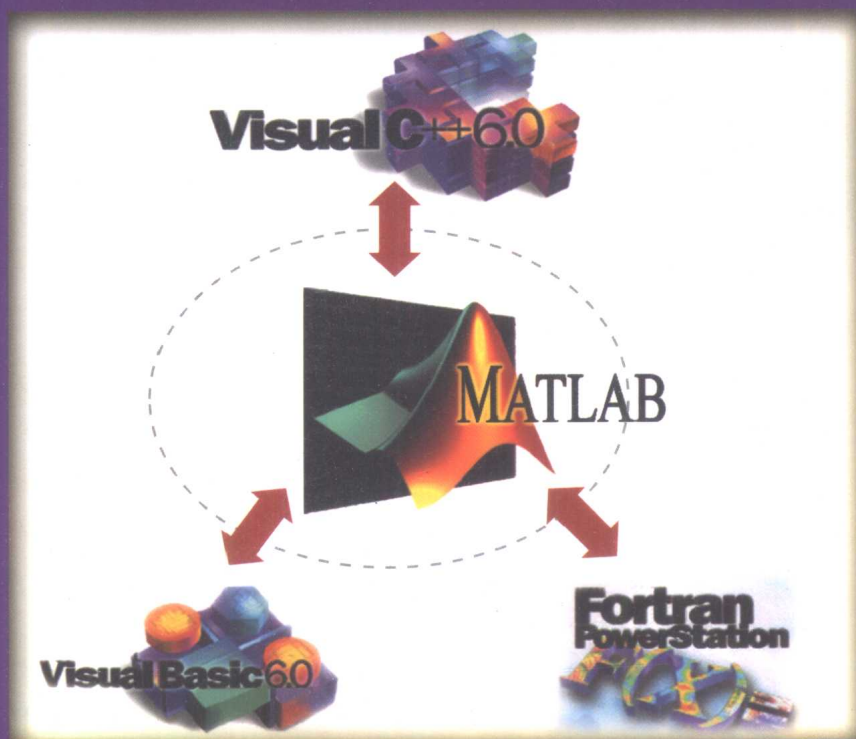


MATLAB 语言应用系列书

MATLAB

应用程序接口用户指南

刘志俭 等 编著



科学出版社

MATLAB 语言应用系列书

MATLAB 应用程序接口 用户指南

刘 志 俭 等 编 著

科 学 出 版 社

2 0 0 0

内 容 简 介

本书是《MATLAB 语言应用系列书》之一。全书共分八章,其中前七章在对 MATLAB 进行简要介绍的基础上,详细而系统地介绍了 MATLAB 应用程序接口的使用,内容包括如何在 MATLAB 环境下调用现有的用 C 语言和 FORTRAN 语言开发的算法;如何完成 C 语言和 FORTRAN 语言应用程序与 MATLAB 间的数据交换;以及如何在 C 语言和 FORTRAN 语言的应用程序中调用 MATLAB 中的各种函数,包括工具箱函数。同时为了方便用户对 MATLAB 应用程序接口的使用,书中对 MATLAB 应用程序接口中所提供的接口函数进行了详细说明。本书第八章在简要分析 MATLAB 应用程序接口和 MATLAB C++ 数学函数库之间异同的基础上,对 MATLAB C++ 数学函数库进行了简单的介绍,内容包括类 `mwArray` 的说明、阵列对象的操作、库函数及运算符的使用和简单的程序设计。

本书可作为高等学校数学、计算机、电子工程、信息工程、机械工程等专业师生的参考教材,对从事上述领域工作的广大科技工作者和开发应用人员具有重要的参考应用价值。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 应用程序接口用户指南/刘志俭等编著. -北京:科学出版社, 2000

MATLAB 语言应用系列书

ISBN 7-03-008669-4

I. M… I. 刘… II. 程序语言, MATLAB N. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 65346 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

北京双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2000 年 8 月第一次印刷 印张: 26 1/2

印数: 1—4 000 字数: 613 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

前 言

自 1984 年 MathWorks 公司首次推出 MATLAB V1.0 版本, 到目前为止的 MATLAB V5.3 版本, MATLAB 采用了开放性开发的思想, 不断吸收各学科领域权威人士所编写的实用程序, 经过不断地发展和扩充, MATLAB 现已发展成为国际上最优秀的科技应用软件之一。其强大的科学计算与可视化功能、简单易用的开放式可扩展环境以及多达 30 多个面向不同领域而扩展的工具箱 (Toolbox) 支持, 包括了通信系统、信号处理、图像处理、小波分析、鲁棒控制、系统辨识、非线性控制、模糊控制、神经网络、优化理论、样条、商用统计分析等等大量现代工程技术学科的内容, 使得 MATLAB 在许多学科领域中成为计算机辅助设计与分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。在我国, MATLAB 已经拥有许多用户, 许多高校陆续开设了有关 MATLAB 的课程, 清华大学、华中理工大学等高校的 BBS 上还专门设立了 MATLAB 讨论区。

MATLAB 应用程序接口 (MATLAB Application Program Interface) 是 MATLAB 系统提供的一个非常重要的组件, 通过该接口, 用户可以方便地完成 MATLAB 与外部环境的交互。MATLAB 应用程序接口主要包括三部分内容, 分别为 MEX 文件——外部程序调用接口, MAT 文件应用程序——数据输入输出接口和 MATLAB 计算引擎函数库, 它们实现的功能分别为

- 在 MATLAB 环境中调用 C 语言或 FORTRAN 语言编写的程序, 以提高数据处理的效率;
- 向 MATLAB 环境传送数据或从 MATLAB 环境接收数据, 即实现 MATLAB 系统与外部环境的数据交换;
- 在 MATLAB 和其他应用程序间建立客户机/服务器关系, 将 MATLAB 作为一个计算引擎, 在其他应用程序中调用, 从而降低程序设计的工作量。

MATLAB C/C++ 数学函数库是 MATLAB 扩展中的重要组成部分, 其中包含了约 400 个 MATLAB 数学函数, 用户按照一定的规则, 可以在 C 语言和 C++ 语言的应用程序中轻松地调用它们, 用于完成原本非常繁杂的矩阵运算任务, 从而极大地减少程序设计的工作量。更为重要的是, 使用 MATLAB C/C++ 数学函数库编写的应用程序可以完全脱离 MATLAB 环境独立地执行, 与 MATLAB 应用程序接口相比, 这是其最大的优点。

本书的具体组织如下:

第 1 章对 MATLAB 进行简要的介绍;

第 2 章至第 7 章详细地讲述了 MATLAB 应用程序接口的使用, 并对所有的库函数进行了说明;

第 8 章对 MATLAB C++ 数学函数的基本概念及其使用进行了一般的介绍。

本书中第 5 章的第 1、第 2 节由张志勇编写, 其余各章均由刘志俭编写。

在本书的编写过程中，得到了科学出版社鞠丽娜编辑的大力支持，并为本书的校对作了大量的工作，在此向她表示衷心的感谢。同时也要感谢父母和老师多年来对我的培养和教育，感谢女友刘毅小姐对我的关心和支持，感谢国防科技大学、华中理工大学、上海交通大学和清华大学各位钻研 MATLAB 的网友们的启发。

作者学识有限，希望读者对书中的错误不吝赐教。

刘志俭

2000 年 4 月

目 录

第1章 MATLAB系统及程序设计简介	1
1.1 MATLAB系统简介	1
1.1.1 MATLAB系统的产生	1
1.1.2 MATLAB系统的构成	2
1.1.3 MATLAB共生产品	5
1.2 MATLAB的数据类型	7
1.2.1 MATLAB阵列	7
1.2.2 复杂的MATLAB基本数据类型	10
1.2.3 类(class)和类对象(object)	12
1.2.4 阵列与数组	14
1.3 MATLAB语言程序设计	14
1.3.1 MATLAB的基本运算符	14
1.3.2 MATLAB的基本语句结构	17
1.3.3 MATLAB控制语句	17
1.3.4 MATLAB M文件的编写	21
1.4 基本的MATLAB矩阵操作	24
1.4.1 矩阵的构造	24
1.4.2 矩阵的数学计算	25
第2章 MATLAB应用程序接口概述	28
2.1 MATLAB MEX文件介绍	28
2.1.1 MEX文件概念	29
2.1.2 mx-函数和 mex-函数的区别	29
2.1.3 MATLAB阵列在C语言中的声明	30
2.1.4 系统配置	31
2.2 MATLAB MAT文件介绍	35
2.2.1 MAT文件的概念、格式及功能	35
2.2.2 MAT文件的优势	36
2.2.3 系统的配置及MAT文件应用程序的编译	36
2.3 MATLAB引擎函数库介绍	37
2.3.1 MATLAB引擎的概念及功能	37
2.3.2 系统的配置及MATLAB引擎应用程序的编译	37
2.4 选项文件说明	38
2.4.1 C语言选项文件	38
2.4.2 FORTRAN语言选项文件	39
第3章 C语言MEX文件的编写	40
3.1 C语言MEX文件	40
3.1.1 一个简单的例子	40
3.1.2 C语言MEX文件源程序的构成	41

3.1.3 C 语言 MEX 文件的执行流程	42
3.2 C 语言 MEX 文件的编程	43
3.2.1 C 语言 MEX 文件对字符串的操作	43
3.2.2 包含多个输出的 C 语言 MEX 文件	46
3.2.3 C 语言 MEX 文件对 MATLAB 结构体的操作	46
3.2.4 C 语言 MEX 文件对 MATLAB 单元阵列的操作	50
3.2.5 C 语言 MEX 文件对不同位数数据的操作	52
3.2.6 C 语言 MEX 文件对复数的操作	54
3.2.7 C 语言 MEX 文件对稀疏矩阵的操作	56
3.2.8 C 语言 MEX 文件对多维阵列的操作	59
3.2.9 C 语言 MEX 文件对 MATLAB 函数的调用	61
3.3 C 语言 MEX 文件的内存管理	61
3.3.1 自动内存释放	62
3.3.2 持久阵列 (persistent arrays)	62
3.3.3 复合阵列	63
3.4 C 语言 MEX 文件的建立	64
3.4.1 C 语言 MEX 文件的建立	64
3.4.2 基于 Windows 操作系统的 C 语言 MEX 文件的建立流程	66
3.4.3 链接多个文件	70
3.4.4 将 C 语言 MEX 文件与动态链接库 DLLs 链接	70
3.4.5 C 语言 MEX 文件的版本信息	70
3.5 C 语言 MEX 文件的调试	71
3.5.1 Windows 操作系统中 C 语言 MEX 文件的调试	71
3.5.2 UNIX 操作系统中 C 语言 MEX 文件的调试	73
3.6 Microsoft Visual C++ 集成环境中 MEX 文件的建立	73
3.6.1 Microsoft Visual C++ 集成环境中建立 MEX 文件的步骤	74
3.6.2 Microsoft Visual C++ 集成环境中 MEX 文件的调试	75
3.7 C 语言 mex-函数	76
3.7.1 C 语言 mex-函数的声明	77
3.7.2 C 语言 mex-函数的使用说明	77
3.8 C 语言 mx-函数	108
3.8.1 C 语言 mx-函数的声明	108
3.8.2 C 语言 mx-函数的使用说明	111
第 4 章 FORTRAN 语言 MEX 文件的编写	178
4.1 FORTRAN 语言 MEX 文件	178
4.1.1 一个简单的例子	178
4.1.2 FORTRAN 语言 MEX 文件源程序的构成	180
4.1.3 指针的概念	182
4.1.4 FORTRAN 语言 MEX 文件的执行流程	184
4.2 FORTRAN 语言 MEX 文件的编程	184
4.2.1 FORTRAN 语言 MEX 文件对字符串的操作	184
4.2.2 FORTRAN 语言 MEX 文件对矩阵的操作	187

4.2.3	FORTRAN 语言 MEX 文件中对 MATLAB 函数的调用	190
4.2.4	FORTRAN 语言 MEX 文件对字符串数组的操作	192
4.2.5	包含多个输出的 FORTRAN 语言 MEX 文件	195
4.2.6	FORTRAN 语言 MEX 文件对复数阵列的操作	197
4.2.7	FORTRAN 语言 MEX 文件对稀疏矩阵的操作	200
4.3	FORTRAN 语言 MEX 文件的建立	203
4.3.1	FORTRAN 语言 MEX 文件的建立	203
4.3.2	基于 Windows 操作系统的 FORTRAN 语言 MEX 文件的建立流程	203
4.3.3	将 FORTRAN 语言 MEX 文件与动态链接库 DLLs 链接	207
4.3.4	语言 MEX 文件的版本信息	207
4.3.5	链接多个文件	207
4.4	FORTRAN 语言 MEX 文件的调试	208
4.5	Microsoft FORTRAN PowerStation 集成环境中 FORTRAN 语言 MEX 文件的建立	208
4.5.1	集成环境中 FORTRAN 语言 MEX 文件的建立步骤	209
4.5.2	集成环境中 MEX 文件的调试	212
4.6	FORTRAN 语言 mex-函数	213
4.6.1	FORTRAN 语言 mex-函数的声明	213
4.6.2	FORTRAN 语言 mex-函数的使用说明	213
4.7	FORTRAN 语言 mx-函数	241
4.7.1	FORTRAN 语言 mx-函数的声明	241
4.7.2	FORTRAN 语言 mx-函数的使用说明	242
第 5 章	MAT 文件的使用	256
5.1	数据的输入和输出	256
5.1.1	向 MATLAB 输入数据	256
5.1.2	从 MATLAB 获取数据	257
5.2	MAT 文件应用程序的编写	258
5.2.1	基于 C 语言的 MAT 文件应用程序的编写	258
5.2.2	基于 FORTRAN 语言的 MAT 库函数的使用例程	264
5.3	MAT 文件应用程序的建立和调试	268
5.3.1	C 语言 MAT 文件应用程序的建立和调试	268
5.3.2	FORTRAN 语言 MAT 文件应用程序的建立和调试	273
5.4	MAT 文件库函数说明	278
5.4.1	C 语言 MAT 文件函数的使用说明	278
5.4.2	FORTRAN 语言 MAT 文件函数的使用说明	294
第 6 章	MATLAB 引擎函数库的使用	306
6.1	MATLAB 引擎的使用	306
6.1.1	基于 C 语言的 MATLAB 引擎的使用	306
6.1.2	基于 FORTRAN 语言的 MATLAB 引擎的使用	311
6.2	MATLAB 引擎程序的建立和调试	314
6.2.1	C 语言 MATLAB 引擎程序的建立和调试	314

6.2.2	FORTTRAN 语言 MATLAB 引擎程序的建立和调试	317
6.3	MATLAB 引擎函数	320
6.3.1	C 语言引擎函数的使用说明	320
6.3.2	FORTTRAN 语言引擎函数的使用说明	325
第 7 章	客户机/服务器应用程序	332
7.1	ActiveX 的基本概念	332
7.1.1	ActiveX 的诞生	332
7.1.2	ActiveX、OLE 和 Internet	332
7.1.3	ActiveX 组件的类型	333
7.1.4	小结	335
7.2	MATLAB ActiveX 集成	335
7.2.1	MATLAB ActiveX 自动化控制器	336
7.2.2	MATLAB 自动化服务器	347
7.3	动态数据交换	351
7.3.1	DDE 的基本概念和术语	351
7.3.2	MATLAB 的服务器程序功能	352
7.3.3	MATLAB 的客户端程序功能	357
第 8 章	MATLAB C++ 数学函数库的使用	363
8.1	MATLAB C++ 数学函数库简介	364
8.1.1	什么是 MATLAB C++ 数学函数库	364
8.1.2	类 mxArray	365
8.1.3	基于 MATLAB C++ 数学函数库应用程序的建立	374
8.2	阵列对象的创建和索引	381
8.2.1	阵列对象的创建	381
8.2.2	阵列对象的索引操作	395
8.3	应用程序的编写	402
8.3.1	数学运算符的使用	402
8.3.2	库函数的调用	404
8.3.3	范例程序	407
8.3.4	集成环境中 MATLAB C++ 数学函数库应用程序的建立	410
参考文献		414

第 1 章 MATLAB 系统及程序设计简介

本章将从四个方面对 MATLAB 系统进行较为全面的介绍:首先介绍 MATLAB 系统的产生、MATLAB 系统的构成以及 MATLAB 的共生产品,让读者对 MATLAB 系统有一个整体的了解;然后介绍 MATLAB 系统所使用的数据结构;再次简单地介绍 MATLAB 语言程序设计;最后介绍基本的 MATLAB 矩阵操作。熟悉 MATLAB 系统的读者可以越过本章内容,从第 2 章开始阅读本书。

1.1 MATLAB 系统简介

1.1.1 MATLAB 系统的产生

使用过 C、C++ 和 FORTRAN 等高级程序语言进行算法开发的读者可能已经知道,当算法中涉及到对矩阵的处理、运算和一些绘图操作时,程序设计将是一件非常麻烦的任务,这主要是因为两点:第一,这些高级程序设计语言本身并不包含矩阵类型的数据结构(注意,这里所说的数据结构仅仅是指那些程序设计语言本身所包含的数据结构,而不包含第三方开发的一些数据类型,如 C++ 矩阵类等),这样,当读者希望进行一些关于矩阵的算法设计时,首先需要完成的任务就是将矩阵的元素一一读入,并以它们为处理和计算的对象,而并非以矩阵整体为对象,这个步骤将由一系列的循环过程来完成,非常麻烦;第二,在这些高级程序设计语言中,没有嵌入自身的标准计算子程序和函数库,这样读者在进行算法设计时,往往需要重复地编写一些代码来完成固定的功能,这是一个非常费时和枯燥的工作。

MATLAB 的首创者 Cleve Moler 博士在新墨西哥大学讲授线性代数时,发现了同样的问题,便萌生了开发 MATLAB(MATrix LABoratory)——矩阵实验室的想法,并将之付诸实施,利用 FORTRAN 语言和当时极为流行的基于特征值计算的软件包 EISPACK 以及线性代数软件包 LINPACK 中大量可靠的子程序,编写了这一集命令翻译、科学计算于一身的交互式软件。在 MATLAB 下,繁琐的矩阵处理和运算变得异常容易。

随着 MATLAB 的应用范围越来越广泛,Moler 博士等数学家与一些软件专家成立了现在的 MathWorks 公司,致力于开发、扩展和改进 MATLAB 系统。而后由于采用了开放式的开发思想,不断吸收各学科领域权威人士所编写的实用程序,如今的 MATLAB 不但已经完全用 C 语言进行了全面的改写,增添了丰富的图形图像处理和多媒体功能,而且形成了一个规模庞大、覆盖面极广的工具箱(Toolbox),其内容包括了信号处理(Signal Processing)、图像处理(Image Processing)、小波分析(Wavelet)、鲁棒控制(Robust Control)、系统辨识(System Identification)、非线性控制(Non-linear Control)、模糊逻辑(Fuzzy Logic)、神经网络(Neural Network)、优化理论(Optimization)、样条(Spline)、 μ 分析和综合(μ -Analysis and Synthesis)、统计分析(Statistics)等等大量现代工程技术学科的内容,极为实用。1992 年,MathWorks 公司推出了交互式模型输入与仿真环境

Simulink, 为 MATLAB 在仿真和 CAD 中的应用开创了新的局面。该公司于同年推出了具有划时代意义的 MATLAB 4.0 版本, 并于 1993 年推出了其基于 PC 机平台的 Windows 版本, 并且不断地升级改进, 现在已经推出了 5.3 版本, 不但适用于各种硬件平台和操作系统, 而且功能得到了进一步的增强, 成为一个高度集成的, 集科学计算、程序设计和可视化于一身的软件环境。在该软件环境中, 问题和问题的解答均以人们熟悉的数学形式表示出来, 极为易用, 其典型应用包括:

- 数学和计算;
- 算法开发;
- 建模和仿真;
- 数值分析, 检测和可视化;
- 应用程序开发(包括图形用户界面)。

此外, MATLAB 在控制界、生物医学工程、语音处理、图像信号处理、雷达工程、信号分析、计算机技术等各行各业中也得到了广泛的应用。

1.1.2 MATLAB 系统的构成

MATLAB 系统主要由五大部分组成, 分别为 MATLAB 语言(the MATLAB Language), MATLAB 工作环境(the MATLAB Working Environment), MATLAB 数学函数库(the MATLAB Math Library), 图形句柄系统(Handle Graphics®)和 MATLAB 应用程序接口(the MATLAB Application Interface)。下面对它们进行分别介绍。

1. MATLAB 语言

MATLAB 语言是一种以矩阵(matrix)和阵列(array)为基本编程单元的, 拥有完整的控制语句、数据结构、函数编写与调用格式和输入输出功能的具有面向对象程序设计特征的高级程序设计语言。读者不但可以利用它方便快捷地完成小规模算法验证、程序开发和调试工作, 而且可以使用它进行大规模的复杂应用程序设计, 非常有效。

与其他高级程序设计语言相比, MATLAB 语言除了执行效率要低于高级语言之外, 无论是在编程的效率、可读性还是可移植性方面都要远远高于其他高级语言, 对于科技工作者来说, 是一种非常实用的编程工具。而且由于 MATLAB 语言轻松地实现了 C 语言和 FORTRAN 语言的几乎全部功能, 并且在图形功能方面有所加强, 同时提供了大量的功能齐全的数学函数, 不但可以使用户编制出功能强大、界面优美的应用程序, 而且可以极大地缩短开发周期。但是严格说来, MATLAB 语言并不是一种真正的计算机语言, 因为它所开发的程序不能脱离 MATLAB 的解释性执行环境而运行。

相关的 MATLAB 语言的数据类型和 MATLAB 语言的语法将分别在 1.2 节和 1.3 节中进行介绍。

2. MATLAB 工作环境

MATLAB 工作环境简而言之就是一系列实用工具的集合, 它不但包括了各种操作工作空间中变量的工具和管理数据输入输出的方法, 而且包括了开发调试 M 文件和 MATLAB 应用程序的集成环境, 使用起来极为方便。当用户在 Window NT 系统下启动

MATLAB 后,将会出现如图 1.1 所示的命令窗口(the Command Window),这是用户同 MATLAB 工作环境交互的主要窗口,在命令提示符(`>`)下,用户可以键入各种相关命令,来完成所希望的操作。例如为了求得矩阵 $A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}$ 的转置矩阵,可在提示符下键入如下两条命令:

```
? A=[1,2,3,4];A=A'.
```

第一条命令终止于中括号后的第一个分号,用于构造矩阵 A,其中中括号为矩阵的构造算符,逗号用于将同一行中的元素分开,而分号则用于区别不同的行;第二条命令用于求矩阵 A 的转置,其中为转置运算符。当键入回车(Enter)后,MATLAB 将显示如下结果:

```
A=
     1     3
     2     4
```

这里注意一点,在 MATLAB 中,同一命令行中可以键入多条命令,中间用逗号或分号隔开,它们的区别是:用逗号时,MATLAB 将回显每一条命令的执行结果,而用分号则不会回显。有关 MATLAB 的具体应用,本书不再赘述,读者可以参阅相关的参考书籍。

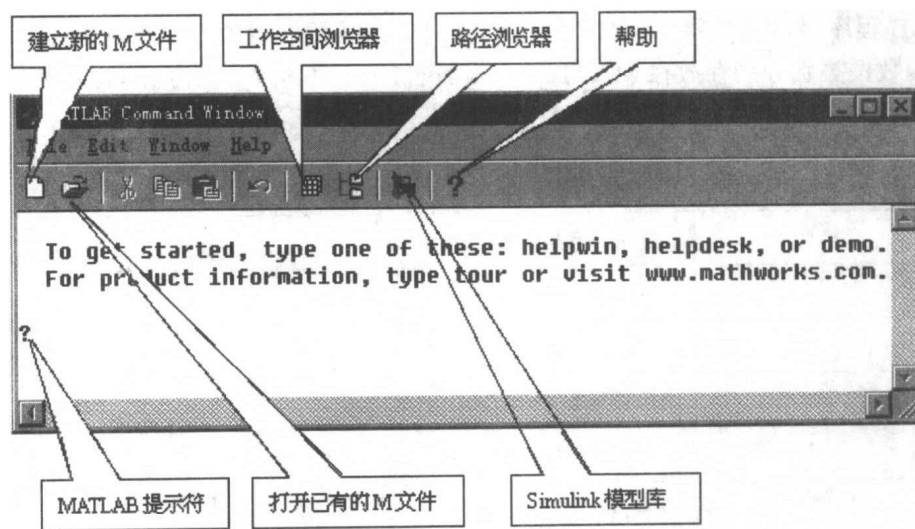


图 1.1 MATLAB 命令窗口

在命令窗口中,用户除了可以在命令提示符下键入命令执行操作外,还可以通过菜单和工具条执行多种任务,如图 1.1 所示,通过建立新的 M 文件按钮和打开已有的 M 文件按钮可以开启 Medit 编辑调试器,如图 1.2 所示,这是一个功能非常完善的编辑调试环境;通过工作空间浏览器按钮,可以开启工作空间浏览器,察看当前工作空间浏览器中各变量的类型和内容;通过路径浏览器按钮,可以开启路径浏览器,让用户设置当前 MATLAB 工作环境所使用的默认路径;通过帮助按钮,可以打开帮助窗口,让用户查找在线帮助;通过 Simulink 模型库按钮,可以打开 Simulink 模型库,让用户向自己的模型中添加新

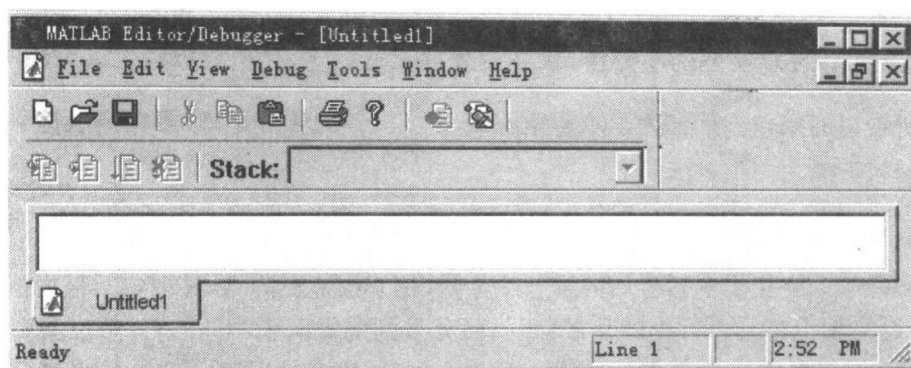


图 1.2 Medit 编辑调试窗口

的模块。总之, MATLAB 工作环境是一个功能异常强大的工具集合, 可以令用户完成几乎所有的操作, 并且简单易用。

3. MATLAB 数学函数库

MATLAB 数学函数库是大量的各种形式的数学函数和算法的集合, 它不但包括了最基本的初等函数, 如 `sum`、`sine`、`cosine` 和复数运算等, 而且包含了大量复杂的高级函数和算法, 如贝塞尔 (Bessel) 函数, 快速傅里叶变换和矩阵求逆等。用户在编写自己的 MATLAB 程序时, 可以轻松地调用这些函数和算法, 从而极大地方便了算法的开发。所有这些函数按类别分别存放在 MATLAB 工具箱目录下的八个子目录中, 详见表 1.1。

表 1.1 MATLAB 数学函数库的分类和组织

目 录 名	函 数 功 能
elmat	对矩阵和矩阵元素的操作
elfun	初等数学函数
specfun	专门数学函数
matfun	矩阵函数——数值线性代数
datafun	数值分析和傅里叶变换
polyfun	插值和多边形近似
funfun	功能函数和 ODE 求解
sparfun	稀疏矩阵函数

4. 图形句柄系统

Handle Graphics[®], 为 MathWorks 公司的注册商标, 是 MATLAB 的图形系统。它在包含了大量高级的 2D 和 3D 数据可视化、图形显示、动画生成和图像处理命令的同时, 还提供了许多低级的图形命令, 允许用户按照自己的需求显示图形和定制应用程序图形用户接口, 既不失方便, 又不失灵活。具体的函数分为五大类, 分别放置于 MATLAB 工具箱

下五个不同的目录内,详见表 1.2。

表 1.2 MATLAB 图形函数的分类和组织

目 录 名	函 数 功 能
graph2d	二维图形函数
graph3d	三维图形函数
specgraph	专用图形函数
graphics	图形句柄函数
uitools	图形用户界面工具

5. MATLAB 应用程序接口

MATLAB 应用程序接口是 MATLAB 为用户提供的—个功能完善的函数库,它包含了大量的 MATLAB 与 C 语言和 FORTRAN 语言之间的接口函数,是 MATLAB 的一个非常重要的组成部分。通过它,不仅可以在 MATLAB 下以动态链接库的形式调用 C 语言或 FORTRAN 语言编写的子程序,而且可以在 C 语言和 FORTRAN 语言中调用 MATLAB 的大量函数,将 MATLAB 作为一个计算引擎,同时还能够完成 MATLAB 与外界必要的数 据交换,极大地增强了 MATLAB 的灵活性,非常实用。本书将着重讲述这一部分内容,使读者能够熟练地应用 MATLAB 应用程序接口。

1.1.3 MATLAB 共生产品

由图 1.3 所示的 MATLAB 产品家族可以看到, MATLAB 产品家族是一个非常庞大的系统, MATLAB 系统仅仅是其中的一个部分,它还有许多其他重要的成员,如 Simulink 等,下面我们对它们进行—些简单的介绍。

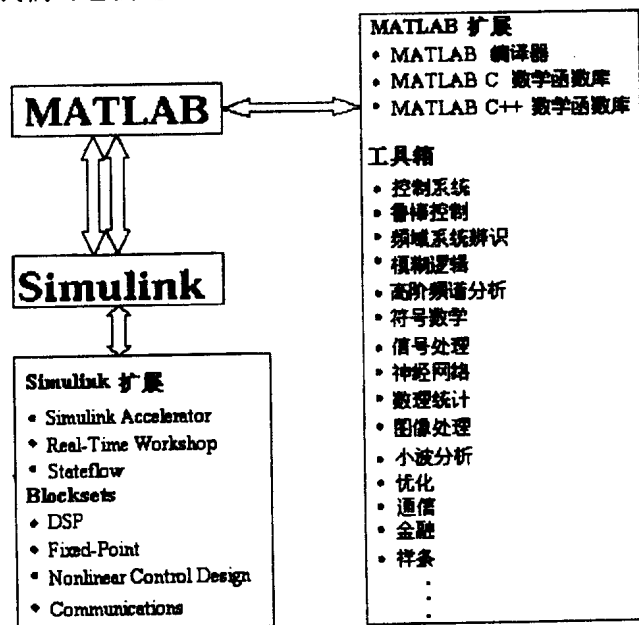


图 1.3 MATLAB 产品家族

1. Simulink 及其扩展

Simulink 是一个用来对非线性动态系统进行仿真的、鼠标驱动的交互式图形系统,它允许用户通过绘制一系列的方框图来完成建模工作,并动态地对模型进行操作,适用于各种系统,包括线性系统、非线性系统、连续系统、离散系统和多变量系统,是 MATLAB 系统的一个非常重要的共生产品。

Blocksets 是 Simulink 的一个插件集,它为 Simulink 提供了大量额外的专用模块库,如信号处理、通信等。

Real-Time Workshop 是一个非常实用的应用程序,它可以由用户的方框图生成 C 语言的代码,并且能够运行在各种各样的实时系统上。

2. MATLAB 编译器

MATLAB 编译器是 MATLAB 系统扩展的重要组成部分,通过它,用户可以将 MATLAB 的 M 文件转化为 C 或 C++ 语言的源代码,增强了 MATLAB 应用的灵活性。转换后的源代码主要有以下三种类型:

- 可生产 MEX 文件的 C 语言源代码;
- 可与其他模块结合,生成可执行程序的 C 或 C++ 源代码,所生成的可执行程序可以独立于 MATLAB 的解释性环境单独运行,但是需要 MATLAB C/C++ 数学函数库的支持;
- 用于 Simulink 和 Real-Time Workshop 的 C 语言 S 函数。

3. MATLAB C/C++ 数学函数库

MATLAB C 数学函数库是 MATLAB 系统扩展的另一重要组成部分,包含了大约 400 个用 C 语言进行重新编写的 MATLAB 数学函数,不但包括大量的 MATLAB 内置函数,而且包含了许多 MATLAB 的 M 文件,是 MATLAB 系统数学计算核心的 C 语言的再现。任何能够调用 C 语言函数的程序,均能够调用该函数库所包含的所有数学函数,为应用程序开发者提供了一种方便的使用 MATLAB 强大计算能力的途径,其核心结构是 mxArray 结构体。这里需要明确的一点是该函数库包含的仅仅是数学函数,并没有包含其他的一些专用函数,如图形句柄系统函数、Simulink 函数等。

MATLAB C++ 数学函数库的功能与 MATLAB C 数学函数库的功能相同,不过它是构建在 MATLAB C 数学函数库的上层,用 mxArray 类代替了 mxArray 结构体,对许多功能进行了封装。在本书的最后一章,我们将对 MATLAB C++ 数学函数库的使用进行简要的说明。

4. MATLAB 工具箱

MATLAB 工具箱是由一系列各式各样的函数库组成,内容涉及方方面面,包括了大量的 M 文件和 MEX 文件,主要由各行各业的专业人士编写,其目的是为了更方便某一领域内的科学研究和工程应用,将一些已经非常成熟或完善的算法标准化供人调用。到目前为止,由 MathWorks 公司正式发布的工具箱已达 22 个,图 1.3 中仅仅列出了其中的一部

分,可见其涉及的领域是相当广泛。而且由于采用了开放式的开发思想,在因特网上,有相当多的个人或团体将自己开发的工具箱置于网上,供人借鉴和免费下载,从而形成了巨大的资源宝库,同时也促进了 MATLAB 的发展。

1.2 MATLAB 的数据类型

在上一节中,我们对 MATLAB 系统作了全面的介绍,讲述了 MATLAB 系统的产生、MATLAB 系统的组成以及 MATLAB 系统的一些共生产品,使读者对 MATLAB 系统有了个大概的了解。在本节中,我们将对 MATLAB 所使用的数据结构进行介绍,以加深读者对 MATLAB 系统的理解。在本节中,为了讲解方便,举例一般为二维,但是同样可以推广到多维情况下。

1.2.1 MATLAB 阵列

MATLAB 阵列(array)是 MATLAB 语言惟一能够处理的对象类型, MATLAB 所有的的基本数据类型,包括数量(scalar),向量(vector),矩阵(matrix),字符串(string),单元阵列(cell array),结构体(structure),都属于阵列对象,只不过是阵列对象的不同构成方式。在本小节中,我们将首先对 MATLAB 的数据存储方式进行说明,然后讲述一些简单的 MATLAB 基本数据类型。

1. MATLAB 数据的存储

所有的 MATLAB 数据类型的存储方式均为按列存储,这主要是因为最初的 MATLAB 系统采用的是 FORTRAN 语言进行编写,而 FORTRAN 语言的数据存储方式为按列存储。这与 C 语言按行进行数据存储的方式有着较大的差异,对于习惯使用 C 语言的读者来说,需要特别注意这一点。例如在 MATLAB 命令提示符下键入如下给定矩阵:

```
A = ['MATLAB' ; 'ABACUS' ; 'DEDUCE']
```

回车后得到如下结果:

```
A =
    MATLAB
    ABACUS
    DEDUCE
```

为一个 3×6 的矩阵。在 MATLAB 的内存中,它是按如下方式进行存储的:

```
M A D A B E T A D L C U A U C B S E
```

2. 数量、向量和矩阵

复数矩阵(complex matrix)是 MATLAB 中最常用和最基本的数据类型,大小可以表示为 $m \times n$,其中 m 和 n 分别为矩阵的行数和列数。数量(scalar)和向量(vector)是特殊的矩阵形式,其中数量为 1×1 的单元矩阵,向量则是维数为 $1 \times n$ 或 $m \times 1$ 的单行或单列的矩阵。按照矩阵元素的类型,可以将 MATLAB 矩阵分为以下几类:双精度浮点型,单

精度浮点型,逻辑型,8 位、16 位或 32 位有符号和无符号整数型,其中以双精度浮点型最为常用。在 MATLAB 中,双精度的复数矩阵用两个向量来表示,分别用来存储矩阵的实数部分和虚数部分,通过指针 pr(实部)和 pi(虚部)可以得到相应的数据。对于实数型的矩阵来说,存储和表示方法与复数型矩阵相同,只不过虚部指针为空(NULL)。同时,在 MATLAB 中还提供了一些可判断和转换矩阵数据类型的函数,如 isa 函数可以判断矩阵所属的数据类型,uint8 函数可以将任何类型的数值矩阵转换为用 8 位整数表示的矩阵,而 double 函数可以将矩阵转换为双精度浮点型。具体的函数使用格式,读者可参阅联机帮助。

3. 字符串

MATLAB 字符串(string)是 MATLAB 矩阵的另一种表现形式,其元素类型为用 16 位无符号整数表示的 Unicode ASCII 字符(character)。与 C 语言不同的是,在 MATLAB 中字符串不以空子符 NULL 来表示字符串的结束。如果 MATLAB 工作空间中存在一个 $A = 'CDEF'$ 的字符串,使用 whos 命令,MATLAB 将显示如下结果:

Name	Size	Bytes	Class
A	1×4	8	char array

可以清楚地看到,MATLAB 系统将该字符串作为一个 1×4 的矩阵,并且占用 8 个字节的存储空间。

同时在 MATLAB 系统中,提供了相当多的对字符串进行操作和转换的内部函数(见表 1.3),使得对字符串的操作极为方便。

表 1.3 字符串操作及转换函数(部分)

函 数 名	功 能
char	构造字符串
blank	构造空格字符串
Ischar	判断矩阵是否为字符串类型
Strcmp	字符串比较
Strcat	字符串拼接
Upper	将字符串转换为大写
Lower	将字符串转换为小写
num2str	将数字转换为字符串

4. 稀疏矩阵

MATLAB 中,为矩阵提供了两种完全不同的存储方式,即满(full)和稀疏(sparse),在一般情况下,MATLAB 所创建的矩阵均为 full 的存储类型。

稀疏矩阵(sparse matrix)是 MATLAB 矩阵的一种特殊类型,它包含了大量的值为零的矩阵元素。正是由于这个特性,MATLAB 系统为稀疏矩阵提供了完全不同的存储方