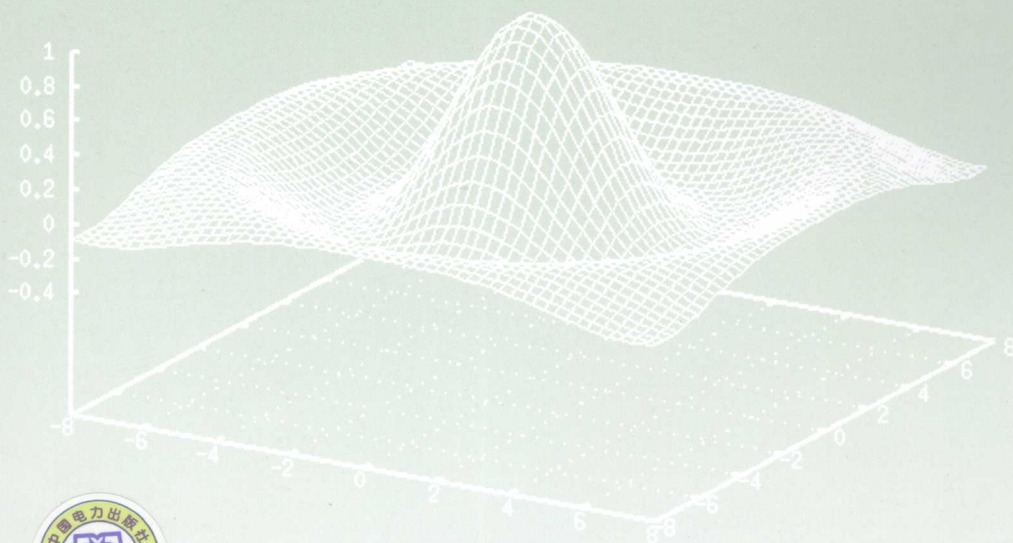


MATLAB JIANMO
FANGZHEN JI YINGYONG

MATLAB

建模、仿真及应用

刘同娟 郭 键 刘 军 编著



中国电力出版社

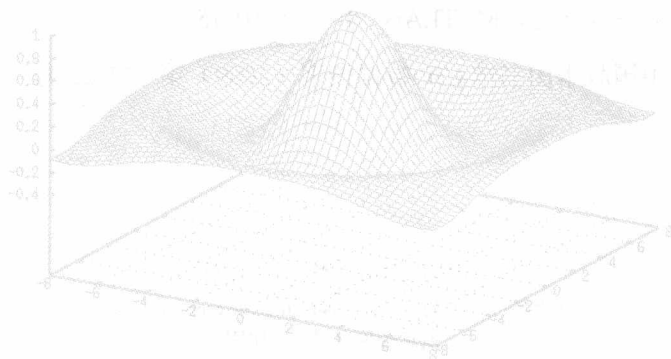
<http://jc.cepp.com.cn>

MATLAB JIANMO
FANGZHEN JI YINGYONG

MATLAB

建模、仿真及应用

编 著 刘同娟 郭 键 刘 军
主 审 夏 宏



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书深入浅出地阐述了 MATLAB 软件设计的基础知识、使用方法及其在电气工程和控制系统中的应用。全书共分为 12 章, 主要内容包括 MATLAB 概述、MATLAB 数值运算、程序设计、图形处理功能、SIMULINK 基础、MATLAB 在电路中的基本应用、直流稳态电路的仿真分析、动态电路的时域仿真分析、正弦交流电路的仿真分析、线性系统的数学模型、线性系统的仿真分析、离散系统的仿真分析。本书结合作者在长期教学和科研工作中的经验与体会, 讲述了应用 MATLAB 软件建模、仿真以及调试中的一些技巧, 从而使读者能够快速地对分析问题与解决问题。

本书具有示例丰富、语言简洁、实用性强、简单易学等特点, 可以作为高等学校计算机、自动控制、信息工程、电子工程等相关专业的参考书, 也可供从事电气工程、控制工程及计算机仿真等领域的工程技术人员和科研人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 建模、仿真及应用 / 刘同娟, 郭键, 刘军编著.
北京: 中国电力出版社, 2009
ISBN 978-7-5083-8606-5

I. M… II. ①刘… ②郭… ③刘… III. 计算机辅助
计算—软件包, MATLAB IV. TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 037425 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 477 千字
印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

MATLAB 是 1984 年由美国的 MathWorks 公司推出的产品,它的名字由 Matrix 和 Laboratory 两个词的前三个字母组成,是一套高性能的数值分析和计算软件,其功能不断扩充、版本不断升级,发展至今,它已经成为一个集数值分析、矩阵运算、程序设计、系统建模、图形显示、系统仿真于一体的,使用方便、用户界面友好的可视化软件,被誉为第四代编程语言,是世界上最流行的计算语言之一。目前,它被广泛应用于信号与图像处理、控制系统设计、计算机应用、通信仿真等诸多领域。

MATLAB 在中国流行起来是在 20 世纪 90 年代,目前已经成为广大科研工作者进行科学研究、工程计算的必备工具。其中的仿真集成环境 SIMULINK 工具箱,是进行系统分析与设计的有力工具。在系统开发之间,通过仿真可以优化系统参数,大大缩短了系统开发的时间,并提高了系统的性能。全书从实用角度出发,通过大量典型实例,对 MATLAB/SIMULINK 的功能、操作及其在电路分析以及控制系统中的应用进行了详细论述,书中涉及的大部分内容和例子已在本科生教学过程中进行过验证。

全书共分为 12 章,其中第 1 章是 MATLAB R2008a 的基本概述,介绍了 MATLAB 的基本特点及概况,如何安装和启动 MATLAB,并详细介绍了 MATLAB 的开发环境;第 2 章介绍了 MATLAB 进行数值计算功能;第 3 章介绍了如何应用 MATLAB 进行程序设计,本章是后续章节的基础;第 4、5 章分别介绍了 MATLAB 的有关图形处理功能以及其自带的功能非常强大的仿真集成环境 SIMULINK;第 6~9 章介绍了 MATLAB 在电路中的基本应用、直流稳态电路的仿真分析、动态电路的时域仿真分析和正弦交流电路的仿真分析,每一章都列举了大量实例,每个实例同时用 M 文件和 SIMULINK 进行建模仿真,并对两种方法结果进行验证比较;第 10~12 章介绍了 MATLAB 在自动控制中的应用,主要包括如何使用 MATLAB 对线性系统进行模型建立,如何在系统不同的数学模型之间进行方便的转换,还介绍了线性连续系统的仿真,主要包括时域分析、根轨迹分析、频域分析等,最后介绍了离散系统的 MATLAB 仿真,每一部分都附有相应的 SIMULINK 建模仿真。通过本书的学习,读者可以充分领略 MATLAB 的强大功能。

全书内容深入浅出、图文并茂,各章节之间既有联系,又相对独立,读者可根据需要选择阅读。每章后面都附有作者精心挑选的思考题,可帮助读者进一步巩固所学知识。

本书第 1~9 章由刘同娟编写,第 10~12 章由郭键编写,书稿经刘军教授统稿,并提出了许多宝贵的修改意见。本书由夏宏主审。此外本书在编写过程中还得到了北京物资学院信息学院领导、同事的热情支持,在此一并表示感谢。

本书还得到了中国电力出版社的大力支持，在此也要特别感谢本书的责任编辑为本书的编辑工作提供了多方面的帮助，并为本书的早日出版竭尽了全力。

本书在编写的过程中，参考了大量的资料和文献，由于篇幅所限，没有全部列入参考文献，在此对这些资料的作者深表谢意。

由于 MATLAB 语言涉及面宽，编写时间仓促，加之作者水平和经验有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正，以使我们在未来的教学和科研工作中不断改进。欢迎读者通过作者电子邮箱 ltj7905@163.com 和 guojian@hotmail.com 与作者联系。

编 者

2009 年 1 月

目 录

前 言

第 1 章 MATLAB 概述	1
1.1 什么是 MATLAB	1
1.2 MATLAB 的特点	2
1.3 MATLAB 的安装	3
1.4 MATLAB 的开发环境	8
1.5 思考题	14

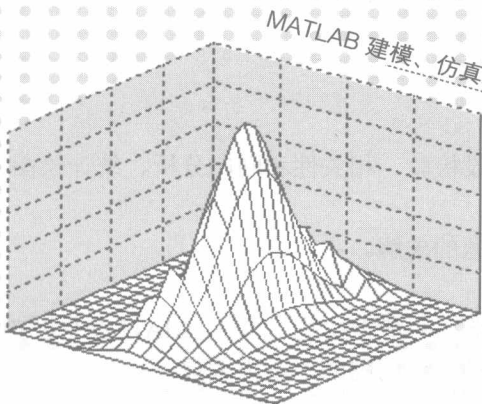
第 2 章 MATLAB 数值运算	15
2.1 基本运算与函数	15
2.2 矩阵	21
2.3 线性方程组	35
2.4 思考题	41

第 3 章 程序设计	42
3.1 M 文件	42
3.2 控制流	47
3.3 变量和函数种类	54
3.4 程序举例	55
3.5 思考题	58

第 4 章 图形处理功能	59
4.1 二维图形	59
4.2 三维图形	66
4.3 颜色与光照模式命令	71
4.4 图形用户界面操作	75
4.5 思考题	87

第 5 章	SIMULINK 基础	89
5.1	SIMULINK 概述	89
5.2	SIMULINK 模型创建	92
5.3	SIMULINK 仿真的运行	103
5.4	SIMULINK 子系统介绍	107
5.5	思考题	112
第 6 章	MATLAB 在电路中的基本应用	113
6.1	基本电气元件	113
6.2	电路的 MATLAB/SIMULINK 设计仿真	123
6.3	电路的 MATLAB M 文件建模仿真	127
6.4	思考题	134
第 7 章	直流稳态电路的仿真分析	135
7.1	电路定理	135
7.2	电路分析方法	139
7.3	直流稳态电路的 MATLAB 建模仿真	145
7.4	思考题	151
第 8 章	动态电路的时域仿真分析	154
8.1	概述	154
8.2	一阶电路的时域分析方法	154
8.3	二阶电路的时域分析方法	163
8.4	动态电路的时域 MATLAB 建模仿真	169
8.5	思考题	182
第 9 章	正弦交流电路的仿真分析	184
9.1	正弦交流电的基本概念	184
9.2	正弦量的相量表示法	186
9.3	正弦交流电路的分析方法	188
9.4	正弦交流电路的 MATLAB 仿真分析	191
9.5	思考题	204
第 10 章	线性系统的数学模型	206
10.1	线性系统的数学模型描述	206
10.2	线性系统数学模型的建立	209
10.3	线性系统数学模型之间的相互转换	221
10.4	方框图模型的化简	231

10.5	SIMULINK 建模.....	243
10.6	思考题	245
第 11 章	线性系统的仿真分析.....	247
11.1	线性系统的时域分析.....	247
11.2	线性系统的根轨迹分析.....	262
11.3	线性系统的频域分析.....	267
11.4	LTI Viewer 应用	274
11.5	SIMULINK 仿真	280
11.6	思考题.....	286
第 12 章	离散系统的仿真分析.....	287
12.1	离散系统的数学模型.....	287
12.2	MATLAB 仿真	292
12.3	SIMULINK 仿真	300
12.4	思考题	302
参考文献		304



1.1 什么是 MATLAB

MATLAB 由 MATrix 和 LABoratory 两词的前 3 个字母组合而成。20 世纪 70 年代后期, 时任美国新墨西哥大学计算机科学系主任的 Cleve Moler 教授出于减轻学生编程负担的动机, 为学生设计了一组调用 LINPACK 和 EISPACK 库程序的“通俗易懂”的接口, 此即用 FORTRAN 编写的萌芽状态的 MATLAB。

经过几年的校际流传, 在 Little 的推动下, 由 Little、Moler、Steve Bangert 合作, 于 1984 年成立了 MathWorks 公司, 并把 MATLAB 正式推向市场。从那时起, MATLAB 的内核采用 C 语言编写, 而且除原有的数值计算功能外, 还新增了数据图视功能。

MATLAB 在以商品形式出现后的短短几年内, 就以其良好的开放性和运行的可靠性, 使原先控制领域里的封闭式软件包纷纷被淘汰, 而改在 MATLAB 平台上重建。在 20 世纪 90 年代, MATLAB 已经成为国际控制界公认的标准计算软件。20 世纪 90 年代初期, 在国际上 30 几个数学类科技应用软件中, MATLAB 在数值计算方面独占鳌头, 而 Mathematica 和 Maple 则分居符号计算软件的前两名。MATLAB 因提供计算、图形、文字处理的统一环境而深受欢迎。

MathWorks 公司于 1993 年推出了基于 Windows 平台的 MATLAB 4.0。4.x 版在继承和发展其原有的数值计算和图形可视能力的同时, 发生了以下几个重要变化:

(1) 推出了 SIMULINK, 一个交互式操作的动态系统建模、仿真、分析集成环境。

(2) 推出了符号计算工具包, 一个以 Maple 为“引擎”的 Symbolic Math Toolbox 1.0。此举结束了国际上数值计算、符号计算孰优孰劣的长期争论, 促使两种计算互补发展的新时代到来。

(3) 构造了 Notebook。MathWorks 公司瞄准应用范围最广的 Word, 运用 DDE 和 OLE, 实现了 MATLAB 与 Word 的无缝连接, 从而为专业科技工作者创造了融科学计算、图形可视、文字处理于一体的高水准环境。从 1997 年的 5.0 版起, 后历经 5.1、5.2、5.3、6.0、6.1、6.5、7.0 等多个版本的不断改进, MATLAB “面向对象”的特点愈加突出, 数据类型愈加丰富, 操作界面愈加友善。

现在, MATLAB 不仅仅是一个“矩阵实验室”, 它已经发展为适合多学科的、功能强大的大型软件, 成为高级课程的基本教学工具。如 MATLAB 可以做以下各种分析、运算。

微积分: 微分、积分、求极限、泰勒展开、级数求和。

代数: 求逆、特征值、行列式、代数方程解的简化、数学表达式的指定精度求值。

数值分析: 插值与拟合、数值微分与积分、函数逼近、代数方程和微分方程的数值解和符号解。

统计计算：均值、方差、概率、参数估计、假设检验、相关性和回归分析、统计绘图、随机数产生器等。

优化问题的求解：线性规划、非线性规划等问题的求解。

动态系统模拟仿真等。

它已成为工科大学生、硕士生和博士生所必须掌握的基本技能。同时，MATLAB 也被研究单位和工业部门广泛应用，使科学研究和解决各种具体问题的效率大大提高。

1.2 MATLAB 的特点

被称为第四代计算机语言的 MATLAB，之所以能如此迅速地普及，显示出如此旺盛的生命力，是由于它有着不同于其他语言的特点，它使人们无须直接对计算机硬件资源进行操作，利用其丰富的函数资源，将编程人员从烦琐的程序代码中解放出来。MATLAB 最突出的特点就是简洁，它用更直观的、符合人们思维习惯的代码，代替了 C 和 FORTRAN 语言的冗长代码。MATLAB 给用户带来的是最直观、最简洁的程序开发环境。下面简单介绍一下 MATLAB 的主要特点。

1. 简洁灵活的语言风格

语言十分简单，使用灵活方便，书写形式自由，具有“草稿纸”功能。如果任务不是太多，那么可以在命令窗口中按照自己的思路直接写入命令，并且可以即时看到结果。

2. 方便的数值运算

在 MATLAB 环境中，有超过 500 种的数学、统计、科学及工程方面的函数可使用，函数的标识自然，使得问题和解答像计算数学式子一般简单、明了，让使用者可全力发挥在解题方面，而非浪费在计算机操作上。

3. 先进的数据视觉化功能

MATLAB 的面向图形架构让使用者可执行视觉数据分析，并制作高品质的图形，完成科学性或工程性的图文并茂的文章。

4. 功能强大的工具箱

工具箱可分两类：功能性工具箱和学科性工具箱。前者主要用来扩充其符号计算、图示建模仿真、文字处理及与硬件实时交互的功能；而学科性工具箱是专业性较强的工具箱，如优化、统计、控制、小波、图像处理和通信工具箱等。

5. 高阶但简单的程序环境

作为一种解释型的程序语言，MATLAB 允许用户在短时间内写完程序，所花的时间约为用 FORTRAN 或 C 的几分之一，而且不需要编译（compile）及连接（link）即能执行，同时包含了更多及更容易使用的内置功能。

6. 开放及可延伸的架构

MATLAB 允许用户接触它大多数的数学源代码，查看算法，更改函数，甚至加入自己的函数使 MATLAB 成为用户所需要的环境。

7. 完善的帮助系统

MATLAB 有非常完善的帮助系统。总体来讲，有以下几个方面：

（1）在线帮助。这些帮助内容，大多嵌附在 M 文件中，即时性强，反应速度快。它对求助内容的回答及时准确。用 help 命令查询即可，方便可靠。

(2) 综合型在线帮助文档 helpdesk。该文档以 HTML 超文本形式独立存在。整个文档按 MATLAB 的功能和核心内容编排, 系统性强, 且可以借助“超链接”方便地进行交叉查阅。

(3) 演示软件 demo。这是一个内容丰富的演示程序。MATLAB 一向重视演示软件的设计, 软件本身就带有完善的演示程序。

1.3 MATLAB 的安装

1.3.1 MATLAB R2008a 对软件和硬件的要求

1. MATLAB 对硬件的要求

- (1) CPU: Pentium II、Pentium III、AMD Athlon 或者更高;
- (2) 光驱: 8 倍速以上;
- (3) 内存: 至少 64MB, 推荐 128MB 以上;
- (4) 硬盘: 视安装方式不同, 要求不统一, 但至少留 1GB 用于安装;
- (5) 显卡: 8 位以上。

2. MATLAB 对软件的要求

- (1) Windows 95、Windows 98、Windows NT 或 Windows 2000;
- (2) Word 97 以上版本, 用于使用 MATLAB Notebook;
- (3) Adobe Acrobat Reader 用于阅读 MATLAB 的 PDF 的帮助信息。

1.3.2 MATLAB 的安装

随着 MATLAB 版本的更新, 安装也越来越简便。对于 MATLAB R2008a, 用户只要按照安装界面的提示逐步进行即可。下面介绍在 Windows 系统下的安装过程。

步骤 1: 安装前的准备

准备好安装密码 (PLP): 退出正在运行的其他版本的 MATLAB, 确保系统满足安装的要求, 获得用户的许可权。最好不要在安装过程中运行病毒扫描程序, 因为这样会降低安装速度。

步骤 2: 开始安装

将 MATLAB R2008a 系统光盘插入 CD-ROM 驱动器中, 一般情况下, 安装程序会自动运行。假如没有自动运行, 则双击 setup.exe 文件即可运行。运行后, 将进入 MATLAB 安装程序的 Installer Welcome 欢迎对话框, 如图 1-1 所示。

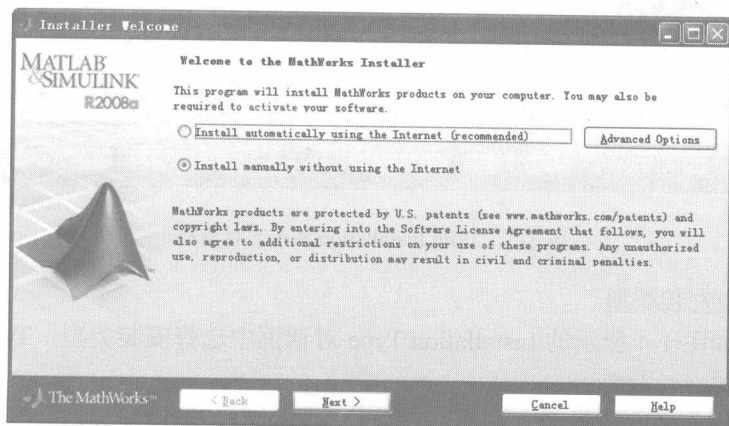


图 1-1 “Installer Welcome” 对话框

步骤 3: 软件许可协议

在欢迎对话框中, 单击 “Install manually without the Internet” 单选框, 单击 Next 按钮, 将进入 License Agreement 软件许可协议对话框, 如图 1-2 所示。

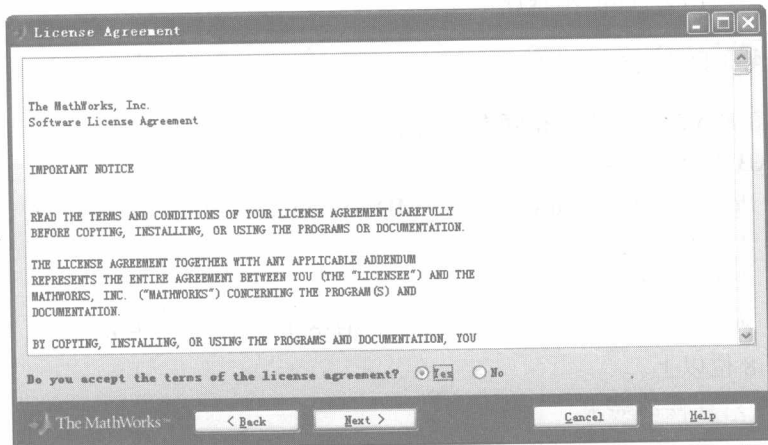


图 1-2 “License Agreement”对话框

步骤 4: 安装序列号

如图 1-3 所示, 在软件许可协议对话框中, 单击 Yes 单选按钮表示接受使用协议, 然后单击 Next 按钮。将进入 File Installation Key 安装序列号对话框。单击 “I have the file Installation key for my license” 单选框, 输入序列号, 然后单击 Next。

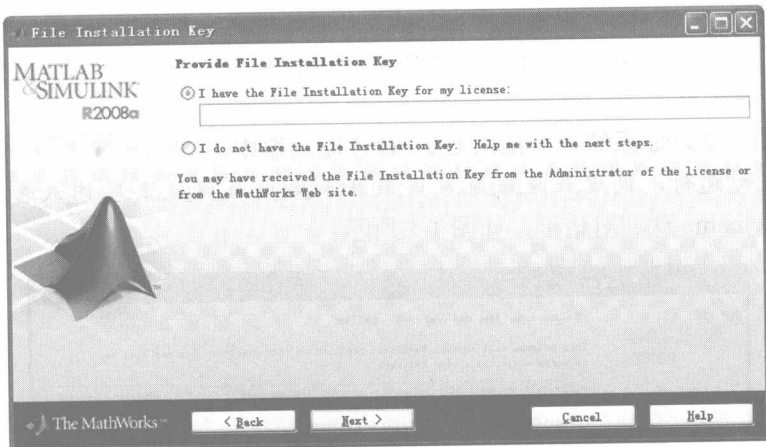


图 1-3 “File Installation Key”对话框

步骤 5: 选择安装类型

用户可以在如图 1-4 所示的 Installation Type 对话框中选择安装类型: Typical (典型) 或 Custom (自定义)。

这里选择的是典型安装类型, 这样可以简化安装过程, 不过安装后会有如下限制:

(1) 拥有个人许可证;

- (2) 不能自由地、有选择性地安装所需要的产品;
- (3) 不需要访问安装选项, 例如设置某些文件的访问权限等。

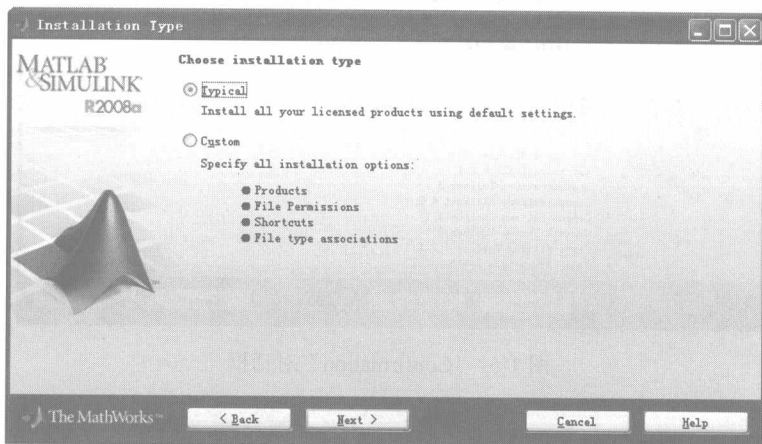


图 1-4 “Installation Type” 对话框

步骤 6: 定义安装的目录

如果用户选择的是典型安装, 则只需要设置安装目录, 如图 1-5 所示。

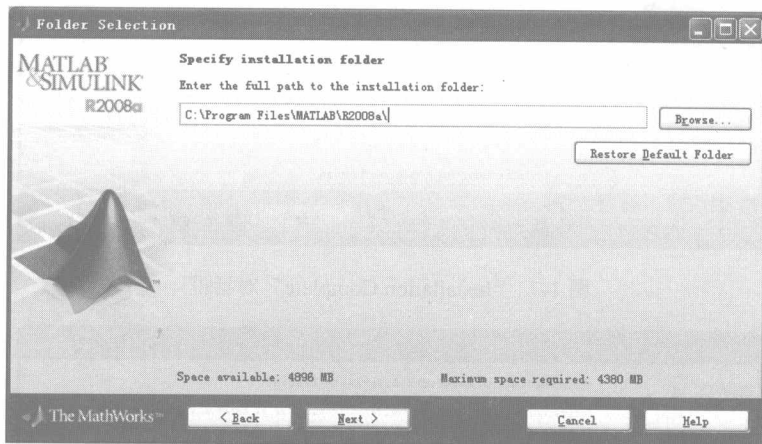


图 1-5 “Folder Selection” 对话框

步骤 7: 确认前面设置的安装目录

单击 Install 按钮即可进行安装, 如图 1-6 所示。

步骤 8: 完成安装

安装完毕时, 会自动弹出 Installation Complete 对话框。在该对话框中, 需要激活 MATLAB, 选中 Activate MATLAB 复选框, 然后单击 Next 按钮, 如图 1-7 所示。

· 步骤 9: 开始激活

在 Activation Welcome 对话框里, 单击 “Activate manually without the Internet” 单选框, 然后单击 Next 按钮, 如图 1-8 所示。

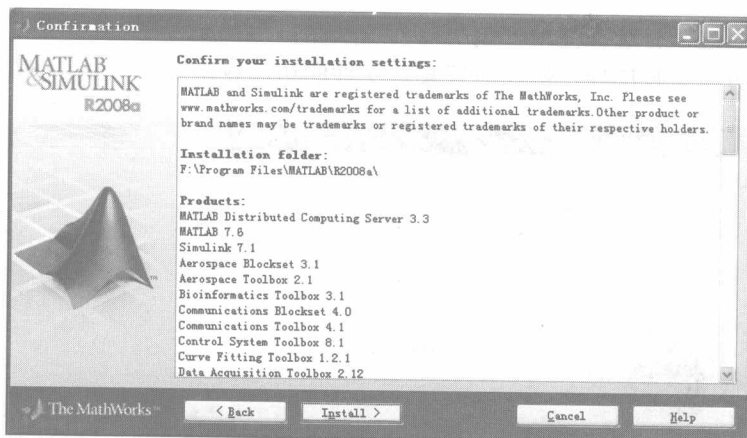


图 1-6 “Confirmation” 对话框

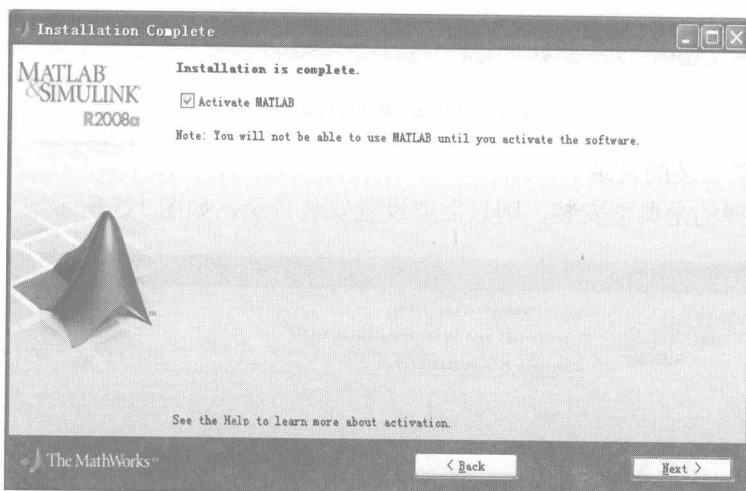


图 1-7 “Installation Complete” 对话框

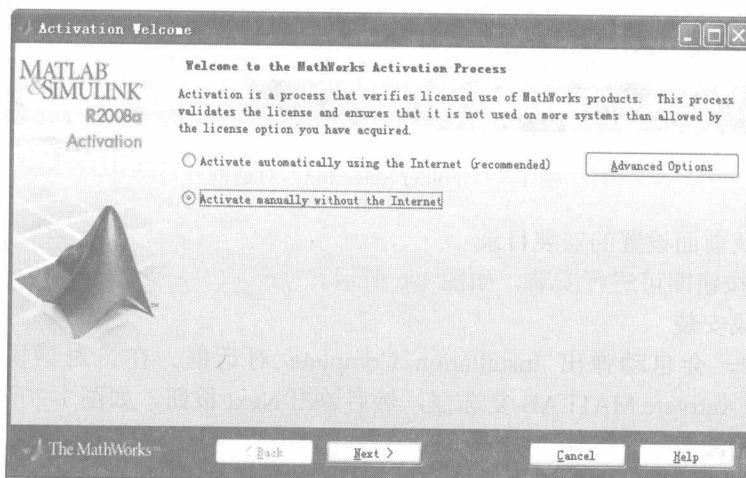


图 1-8 “Activation Welcome” 对话框

步骤 10: 激活成功

选中授权文件对 MATLAB 进行激活, 在 Activation Complete 对话框里, 选中 “Start MATLAB” 复选框, 就可以成功地运行 MATLAB。如图 1-9 所示。

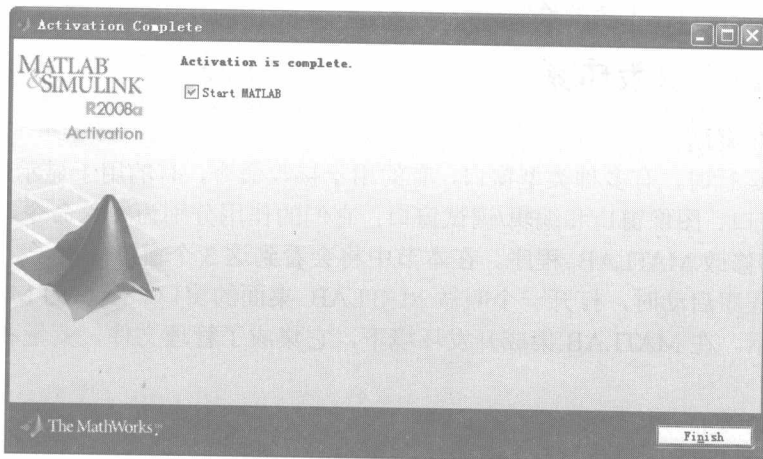


图 1-9 “Activation Complete” 对话框

1.3.3 MATLAB 的启动与退出

1. 启动 MATLAB

在 Windows 操作系统中, 双击桌面上的 MATLAB 快捷方式图标, 或者单击 “开始” 菜单, 选择 “程序” → MATLAB → R2008a → MATLAB R2008a 命令, 将进入 MATLAB 桌面, 如图 1-10 所示。

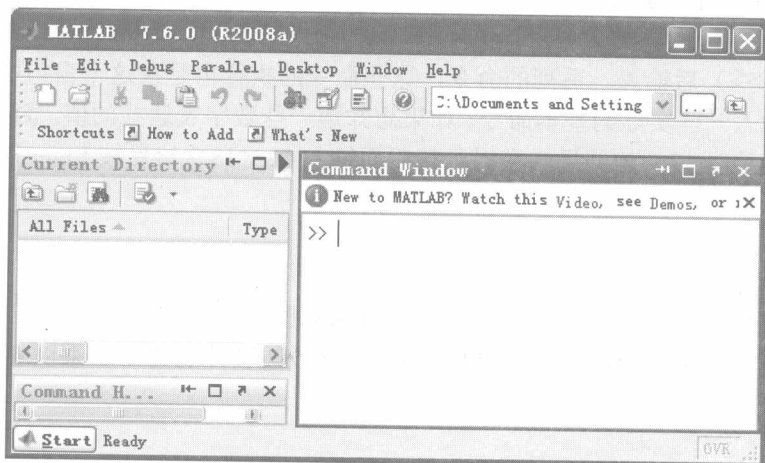


图 1-10 MATLAB 启动界面

2. 退出 MATLAB

退出 MATLAB 的方式如下:

- (1) 在 MATLAB 窗口的 File 菜单下选择 Exit MATLAB 命令;
- (2) 快捷键 Ctrl+q;

- (3) 在命令窗口输入 quit 命令;
- (4) 在命令窗口输入 exit 命令;
- (5) 单击命令窗口右上角的  按钮;
- (6) 双击命令窗口左上角的  图标。

1.4 MATLAB 的开发环境

1.4.1 MATLAB 桌面

MATLAB 运行时,有多种类型窗口,有的用于接收命令,有的用于显示信息。3 个重要的窗口为命令窗口、图像窗口和编辑/调试窗口;它们的作用分别为输入命令、显示图形以及允许用户创建和修改 MATLAB 程序。在本节中将会看到这 3 个窗口的例子。

MATLAB 程序启动时,打开一个叫做 MATLAB 桌面的窗口。默认的 MATLAB 桌面结构如图 1-10 所示。在 MATLAB 集成开发环境下,它集成了管理文件、变量和应用程序的许多编程工具。

在 MATLAB 桌面上可以得到和访问的窗口主要有:

- (1) 命令窗口 (The Command Window);
- (2) 历史命令窗口 (The Command History Window);
- (3) 启动平台 (Launch Pad);
- (4) 编辑调试窗口 (The Edit/Debug Window);
- (5) 工作台窗口和数组编辑器 (Workspace Browser and Array Editor);
- (6) 帮助空间窗口 (Help Browser);
- (7) 当前路径窗口 (Current Directory Browser)。

1.4.2 MATLAB 的命令窗口

MATLAB 桌面的右边是命令窗口 (The Command Window)。在命令窗口中,用户可以在命令行提示符 (>>) 后输入一系列的命令,这些命令的执行也是在这个窗口中实现的。

这里开始输入一些实际的基本命令。如果想知道一些数字表达式的值,简单的输入即可。假设想知道 525 乘以 18.9 的结果,在提示符后面输入 525*18.9 然后按 Enter 键,结果如下:

```
>> 525*18.9
ans =
    9.9225e+003
```

MATLAB 方便地输出答案,并命名为 ans——这是一个变量(符号),可以用来表示值。如果想要使用自己定义的变量名,例如叫变量 x,假设想要让它等于 5 乘以 6,则输入如下:

```
>> x=5*6
x =
    30
```

此时 MATLAB 会直接显示 x 的值。由上例可知, MATLAB 识别所有一般常用到的加 (+)、减 (-)、乘 (*)、除 (/) 等数学运算符号,以及幂次运算符号 (^)。

MATLAB 将所有变量均存成 double 的形式,所以无须经过变量定义 (Variable declaration)。MATLAB 同时也会自动进行内存的使用和回收,而不必像 C 语言那样,必须由用户一一指定。这些功能使得 MATLAB 易学易用,用户可专心致力于编写程序,而不必被

软件枝节问题干扰。

若不想让 MATLAB 每次都显示运算结果, 只需在运算式最后加上分号 (;) 即可, 如下例:

```
>>y = sin(10)*exp(-0.3*4^2);
```

若要显示变量 y 的值, 直接输入 y 即可:

```
>>y  
y = -0.0045
```

将一系列命令写入一个文件, 在命令窗口 (The Command Window) 输入此文件的文件名, MATLAB 就开始执行这个文件, 而不是用直接在命令窗口 (The Command Window) 输入的方法, 这样的文件叫做脚本文件 (Script file), 由于脚本文件 (Script file) 的扩展名为 “.m”, 所以它也叫做 M 文件。

1.4.3 历史命令窗口

历史命令窗口 (The Command History Window) 用于记录用户在命令窗口 (The Command Window) 中使用过的命令, 它们是按逆序排列的, 即最早的命令排在最下面, 最后的命令排在最上面。这些命令会一直存在, 直到被人为删除。双击这些命令可使其被再次执行。在历史命令窗口 (The History Command Window) 删除一个或多个命令, 可以先选择, 然后单击鼠标右键, 这时就弹出一个菜单, 选择 Delete Section 命令, 任务就完成了。

1.4.4 当前工作目录窗口

在当前工作目录窗口中可显示或改变当前目录, 还可以显示当前目录下的文件, 以及实现搜索功能。与命令窗口类似, 该窗口也可以成为一个独立的窗口, 如图 1-11 所示。

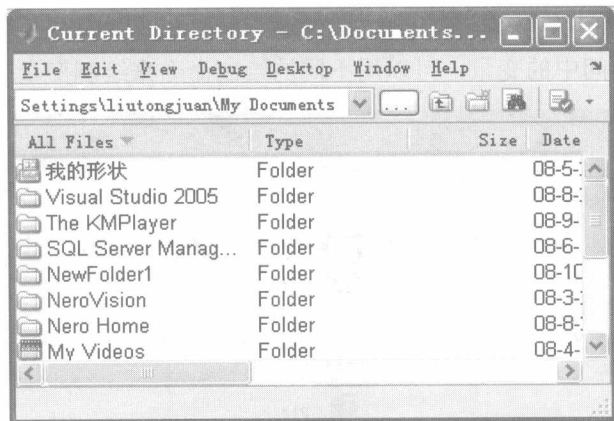


图 1-11 当前工作目录窗口

下面介绍当前工作目录窗口中部分按钮的功能。

Settings\liutongjuan\My Documents: 显示并改变当前目录;

: 进入所显示目录的上一级目录;

: 在当前目录中创建一个新的子目录;

: 在当前目录中查找一个文件;

: 单击该按钮后, 即可生成一个当前目录中 M 文件的报告文件。