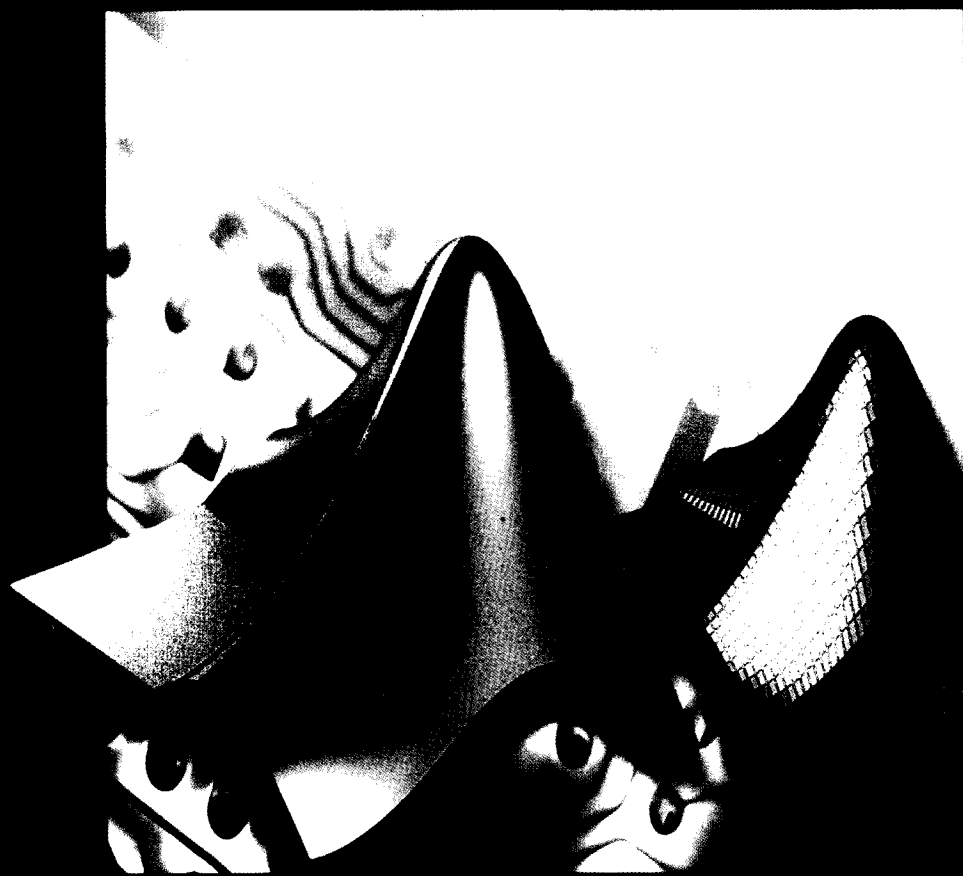

MATLAB 与通信仿真

王立宁 乐光新 詹菲 编著



人民邮电出版社

MATLAB 与通信仿真

王立宁 乐光新 詹菲 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书在介绍 MATLAB 语言的基础上,详细地阐述了 MATLAB 语言在通信系统仿真、信号处理方面的应用。内容包含了大量的 MATLAB 语言源程序,所有的程序都在计算机上用 MATLAB 进行了验算,另外还有大量的上机习题。

MATLAB 与通信仿真

- ◆ 编 著 王立宁 乐光新 詹 菲
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本:787×1092 1/16
印张:28.25
字数:709 千字 2000 年 1 月第 1 版
印数:1-5 000 册 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-08317-7/TP·1466

定价:45.00 元

前 言

随着科学技术的发展，人们认识客观世界的技术也在不断地进步与更新，在计算机领域内，人们更愿意用更加形象直观和具有洞察力的方法去解决工程学中的各种问题。MATLAB正是在这种趋势下进入科学与工程技术领域的。

MATLAB 作为一种强大的科学计算工具，受到专业研究人员的广泛重视。无论是在统计、信号处理、人工智能与自动控制还是通信计算机领域，越来越多的工程技术人员摆脱了 C 及 C++ 语言烦琐语法的束缚，使他们能够更专心地将注意力集中在专业内技术研究的核心问题上。

本书在介绍 MATLAB 语言的基础上，详细地阐述了 MATLAB 在通信系统仿真方面的应用。内容包含了大量的 MATLAB 语言源程序，所有的程序都在计算机上用 MATLAB 进行了验算，另外还有大量的上机习题。读者如果能认真分析相应习题，对整个通信系统的工作，都会产生更加生动、具体的认识。

可以说，这本书非常适合于对现代通信系统进行计算机的仿真演示。对通信技术感兴趣的其他读者朋友也会通过对本书的学习，更加深入地理解通信的实质乃至当前最先进的 CDMA 通信体制。

本书在写作过程中得到乐光新教授许多有益的指导，具体的分工为：王立宁编写第 1 章~第 4 章和第 13 章，詹菲编写第 5 章~第 12 章。王立宁负责全稿的编排。

感谢美国伊利诺伊州立大学的邓云帆女士对本书的文稿进行了大量的整理工作。另外还要感谢李生红、佟学俭、陈育斌和罗涛等同志的指正。

由于作者水平有限，本书可能包含错误，欢迎读者批评指正。

作者

1999 年 12 月

目 录

MATLAB 基础篇	1
第 1 章 MATLAB 语言基础知识	2
1.1 MATLAB 语言概述	2
1.1.1 MATLAB 的历史	2
1.1.2 MATLAB 的特点	3
1.1.3 MATLAB 工具箱和内容	3
1.2 MATLAB 软件的安装	4
1.3 互联网上的 MATLAB	8
第 2 章 MATLAB 语言入门	9
2.1 MATLAB 语言的基本特性	9
2.1.1 演草纸式的数学运算	9
2.1.2 MATLAB 的工作空间	10
2.1.3 数据的存储和调用	11
2.1.4 数据输出格式	12
2.1.5 变量的命名	14
2.1.6 使用 MATLAB 的技巧	14
2.1.7 文件管理命令	15
2.1.8 联机帮助	15
2.2 MATLAB 语言的基础知识	19
2.2.1 常用的数学函数	19
2.2.2 输入简单矩阵	19
2.2.3 复数和矩阵	21
2.2.4 下标	21
2.2.5 空矩阵	23
2.3 关系和逻辑运算	23
2.3.1 关系运算	23
2.3.2 逻辑运算	24

2.4 矩阵运算	25
2.4.1 转置	25
2.4.2 矩阵的加、减运算	26
2.4.3 矩阵乘法	26
2.4.4 矩阵除法	27
2.4.5 矩阵的乘方	27
2.5 矩阵函数	28
2.5.1 基本矩阵函数	28
2.5.2 三角因子分解	28
2.5.3 正交因子分解	30
2.5.4 奇异值分解	31
2.5.5 特征值	31
2.5.6 秩和条件	32
2.6 数值分析	32
2.6.1 函数图形绘制	32
2.6.2 求极值	34
2.6.3 求零点	34
2.6.4 积分	34
2.7 MATLAB 控制流语句	35
2.7.1 FOR 循环语句	35
2.7.2 WHILE 循环语句	37
2.7.3 IF 和 BREAK 语句	38
第 3 章 图形处理	40
3.1 二维图形的绘制	40
3.1.1 基本绘图函数	40
3.1.2 二维图形绘制入门	41
3.1.3 线型、记号和颜色	42
3.1.4 二维图形的修饰	43
3.1.5 在图上添加曲线	45
3.1.6 虚部和复数数据	46
3.1.7 绘制矩阵	47
3.1.8 二维图形坐标轴的修改	50
3.1.9 图形打印	50
3.1.10 图形窗口的分割	51
3.1.11 特殊二维绘图函数	52
3.1.12 填充多边形	57
3.2 三维图形的绘制	57
3.2.1 绘制三维曲线	58
3.2.2 三维曲面的绘制	59

第 4 章 SIMULINK 入门	63
4.1 SIMULINK 简介	63
4.2 SIMULINK 快速入门	64
4.3 模型的构造	67
4.3.1 创建模型文件	67
4.3.2 标准模块的选取	68
4.3.3 模块的移动、删除和拷贝	68
4.3.4 模块的连接	68
4.3.5 模块属性的修改	69
4.3.6 模型文件的保存	71
4.4 菜单操作下的仿真	71
4.4.1 模型参数和框图的实时操作	71
4.4.2 算法和算法参数的操作	72
MATLAB 应用篇	75
第 5 章 信号和线性系统	76
5.1 前言	76
5.2 傅立叶级数	76
5.2.1 傅立叶级数的由来	76
5.2.2 傅立叶级数的形式	77
5.2.3 周期信号和线性时不变系统	86
5.3 傅立叶变换	90
5.3.1 傅立叶变换的主要性质及傅立叶变换对	91
5.3.2 抽样定理	95
5.3.3 线性时不变系统的频域分析	99
5.4 功率和能量	102
5.5 带通信号的低通等效	105
习题	110
附录 本章所调用的其他 MATLAB 源程序	113
第 6 章 随机过程	116
6.1 前言	116
6.2 随机变量的产生	116
6.3 高斯过程和高斯-马尔科夫过程	120
6.4 随机过程和白噪声过程的功率谱	125
6.5 随机过程的线性滤波	129

6.6 低通和带通过程	134
习题	138
附录 本章调用的其他 MTALAB 源程序	141
第 7 章 模拟调制	143
7.1 前言	143
7.2 幅度调制	143
7.2.1 DSB 调制	144
7.2.2 一般幅度调制 (AM)	152
7.2.3 单边带幅度调制 (SSB)	158
7.3 AM 信号的解调	163
7.3.1 DSB 调制解调器	164
7.3.2 SSB 调制解调	169
7.3.3 AM 解调	174
7.4 相角调制	179
习题	187
附录 本章调用的其他 MATLAB 源程序	190
第 8 章 模数转换	195
8.1 前言	195
8.2 信息的量度与编码	195
8.2.1 熵	195
8.2.2 HUFFMAN 编码	196
8.3 量化	200
8.3.1 标量量化	200
8.3.2 脉冲编码调制 (PCM)	208
习题	218
附录 本章所调用的其他 MATLAB 源程序	220
第 9 章 基带数字传输	223
9.1 前言	223
9.2 二进制信号传输	223
9.2.1 加性高斯白噪声信道的最佳接收机	223
9.2.2 信号相关器	224
9.2.3 匹配滤波器	226
9.2.4 判决器	228
9.2.5 二进制通信系统的蒙特卡罗仿真	230
9.2.6 其他二进制信号传输	232
9.2.7 信号星座图	240
9.3 多电平信号的传输	242

9.3.1 四电平信号波形	242
9.3.2 高斯信道的最佳接收机	243
9.3.3 信号相关器	243
9.3.4 判决器	244
9.3.5 多电平信号波形	247
9.4 多维信号	249
9.4.1 多维正交信号	249
9.4.2 双正交信号	257
习题	263
附录 本章调用的其他 MATLAB 源程序	265
第 10 章 带限信道中的数字传输	272
10.1 前言	272
10.2 数字 PAM 信号的功率谱	272
10.3 带限信道的特征和信号失真	276
10.4 符号间干扰	284
10.5 带限信道的系统设计	286
10.5.1 无符号间干扰的信号设计	286
10.5.2 减弱符号间干扰的信号设计	290
10.5.3 部分响应	294
10.6 线性均衡器	296
10.6.1 线性均衡器	296
10.6.2 自适应线性均衡器	302
10.7 非线性均衡器	306
习题	309
第 11 章 载波制调的数字通信	313
11.1 前言	313
11.2 载波—幅度调制 (PAM)	313
11.2.1 PAM 信号的调制	313
11.2.2 PAM 信号的解调	316
11.3 载波相位调制 (PSK)	318
11.3.1 相位解调和判决	321
11.3.2 差分相位调制和解调 (DPSK)	327
11.4 正交幅度调制 (QAM)	333
11.4.1 QAM 的解调和判决	334
11.4.2 QAM 误码率性能	335
11.5 载波频率调制 (FSK)	340
11.5.1 频移键控 (FSK)	340
11.5.2 FSK 信号的解调和判决	341

11.5.3 FSK 误码率性能	346
11.6 同步	349
11.6.1 载波同步	350
11.6.2 时钟同步	355
习题	358
附录 本章调用的其他 MATLAB 源程序	362
第 12 章 信道容量和编码	370
12.1 前言	370
12.2 信道模型和信道容量	370
12.2.1 信道模型	370
12.2.2 信道容量	371
12.3 信道编码	379
12.3.1 线性分组码	381
12.3.2 卷积码	392
习题	406
附录 本章所调用的其他 MATLAB 源程序	408
第 13 章 扩频通信系统	410
13.1 概述	410
13.2 直接序列扩频 (DS SS) 系统	411
13.2.1 信号解调	413
13.2.2 直接序列扩频系统的误码率	414
13.2.3 直接序列扩频技术的两个应用	415
13.3 PN 序列的产生	420
13.4 跳频扩频系统	424
13.4.1 跳频系统的误码率	425
13.4.2 利用信号分集克服部分边带干扰影响	430
习题	434
附录 本章所调用的其他 MATLAB 源程序	435
参考文献	439

MATLAB

基础篇

📁 *MATLAB 语言基础知识*

📁 *MATLAB 语言入门*

📁 *图形处理*

📁 *SIMULINK 入门*

第1章 MATLAB语言基础知识

1.1 MATLAB 语言概述

计算机对科学技术的几乎一切领域产生了极其深远的影响。熟练掌握利用计算机进行科学研究和工程应用的技术,已经成为广大科研设计人员必须具备的基本能力之一。

从事科学研究和工程应用的读者朋友可能都已经注意到并为之所困扰的是,当我们在计算涉及矩阵运算或画图时,采用 FORTRAN、C 及 C++ 语言等计算机语言进行程序设计是一项很麻烦的工作。不仅需要对所利用的有关算法有深刻的了解,还需要熟练掌握所用语言的语法和编程技巧。

例如对矩阵求逆这样的一种运算,首先要选择一个较好的求逆算法然后利用 FORTRAN 或 C 语言等高级语言编程来逐步地实现此算法,经过了艰苦烦琐的调试工作终于实现算法达到目的后,我们会发现,所编制的百余条甚至几百条语句仅仅是完成了一个矩阵的求逆工作,我们不免为自己的工作效率大发感叹。并不复杂的计算任务,用计算机来实现竟是如此的烦琐,面对手头要完成的研究任务,也许会产生畏惧之感。

特别是在大专院校进行毕业设计、论文研究的同学们经常发现自己的大多数时间是用在算法的学习、程序的编写工作中,而真正留给开创性思考的时间很有限。

1.1.1 MATLAB 的历史

MATLAB 正是为免除无数类似上述的尴尬局面而产生的。在 1980 年前后,美国的 Cleve Moler 博士在 New Mexico 大学讲授线性代数课程时,发现应用其他高级语言编程极为不便,便构思并开发了 MATLAB (MATrix LABoratory, 矩阵实验室),它是集命令翻译、科学计算于一身的一套交互式软件系统,经过在该大学进行了几次的试用之后,于 1984 年推出了该软件的正式版本。它是以著名的线性代数软件包 LINPACK 和特征值计算软件包 EISPACK 中的子程序为基础发展而成的一种开放型程序设计语言,其基本的数据单元是一个维数不加限制的矩阵,这就允许用户可以根据数值计算问题的复杂程度,对问题进行分段甚至逐句编程处理,显然这与 C、FORTRAN 等传统高级语言完全不同。在 MATLAB 下,矩阵的运算变得异常容易,后来的版本中又增添了丰富多彩的图形图像处理及多媒体功能,使得 MATLAB 的应用范围越来越广泛,Moler 博士等一批数学家与软件专家组建了名为

MathWorks 的软件开发公司，专门扩展并改进 MATLAB。

为了准确地把一个控制系统的复杂模型输入给计算机，然后对之进行进一步的分析与仿真，1990 年 MathWorks 软件公司为 MATLAB 提供了新的控制系统模型图形输入与仿真工具，并定名为 SIMULAB，该工具很快在控制界得到了广泛的使用。但因其名字与著名的软件 SIMULA 类似，所以在 1992 年正式改名为 SIMULINK。此软件有两个明显的功能：仿真与连接，亦即可以利用鼠标在模型窗口上画出所需的控制系统模型，然后利用该软件提供的功能来对系统直接进行仿真。很明显，这种做法使得一个很复杂系统的输入变得相当容易。SIMULINK 的出现，更使得 MATLAB 为控制系统的仿真与其在 CAD 中的应用打开了崭新的局面。

1.1.2 MATLAB 的特点

与 C、C++、FORTRAN、PASCAL 和 BASIC 这类高级程序设计语言相比，MATLAB 不但在数学语言的表达与解释方面表现出人机交互的高度一致，而且具有作为优秀高技术计算环境所不可缺少的如下特征：

1. 高质量、高可靠的数值计算能力。
2. 基于向量、数组和矩阵的高级程序设计语言。
3. 高级图形和可视化数据处理能力。
4. 广泛解决各学科专业领域内复杂问题的能力。
5. 拥有一个强大的非线性系统仿真工具箱——SIMULINK。
6. 支持科学和工程计算标准的开放式、可扩充结构。
7. 跨平台兼容。

1.1.3 MATLAB 工具箱和内容

目前 MATLAB 已经成为国际上最为流行的软件之一，它除了传统的交互式编程之外，还提供了丰富可靠的矩阵运算、图形绘制、数据处理、图像处理、方便的 Windows 编程等便利工具，出现了各种以 MATLAB 为基础的实用工具箱，广泛地应用于自动控制、图像信号处理、生物医学工程、语音处理、雷达工程、信号分析、振动理论、时序分析与建模、化学统计学、优化设计等领域，并表现出一般高级语言难以比拟的优势。较为常见的 MATLAB 工具箱主要包括：

1. 控制系统工具箱 (control systems toolbox)。
2. 系统辨识工具箱 (system identification toolbox)。
3. 鲁棒控制工具箱 (robust control toolbox)。
4. 多变量频率设计工具箱 (multivariable frequency design toolbox)。
5. 分析与综合工具箱 (analysis and synthesis toolbox)。
6. 神经网络工具箱 (neural network toolbox)。
7. 最优化工具箱 (optimization toolbox)。

8. 信号处理工具箱 (signal processing toolbox)。
9. 模糊推理系统工具箱 (fuzzy inference system toolbox)。
10. 小波分析工具箱 (wavelet toolbox)。
11. 通信工具箱 (communications toolbox)。

1.2 MATLAB 软件的安装

早期的 MATLAB 版本是基于 DOS 操作系统的, 随着操作系统 Windows 的广泛普及, MATLAB 发展可在 Windows 下运行的版本。目前较为流行的版本是 MATLAB 5, 本书中的大部分叙述都是基于 MATLAB 5.x 的。

MATLAB5.x 的基本部分约要占 200MB 的硬盘空间, 欲进行安装, 首先应该启动 Windows 95/98 环境, 若机器没有安装此环境, 则需先进行 Windows 95/98 的安装。待以上的准备工作做好后, 在计算机的光驱中插入 MATLAB 软件的光盘, 然后利用 Windows 的文件管理器找到软盘上的 setup.exe, 用鼠标双击该文件可开始 MATLAB 的安装。进入安装界面后, 首先要求输入使用者姓名、所在公司以及安装 MATLAB 所需的 ID 密码, 如图 1.1 所示。

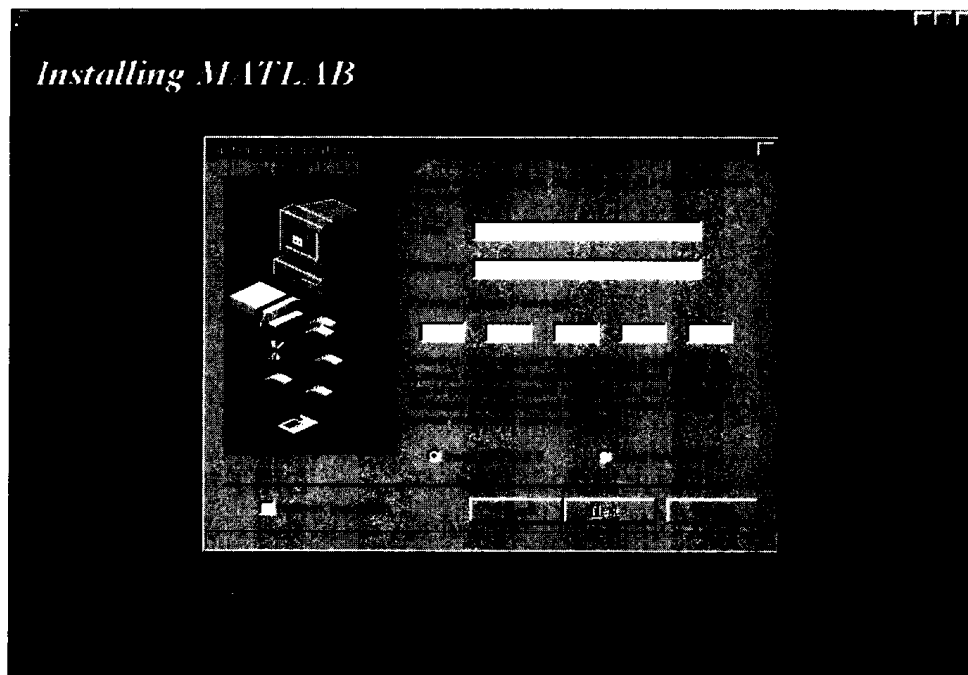


图 1.1 MATLAB 的安装界面

需要说明的是:

1. 在安装的过程中, 计算机会自动要求用户选择 MATLAB 的安装位置, 即工作目录。缺省的位置是 C 盘下的 MATLAB 的子目录, 如图 1.2 所示。此目录并不需要事先存在, 在安装时, 安装程序会自动建立此目录。当然, 用户也将 MATLAB 安装到硬盘上的任何地方, 只需在安装程序给出确定安装位置的提示时进行键入即可。

2. 在路径确定好后, 计算机将给出 MATLAB 的所有组件以及每个组件所需的硬盘空间, 另外还列出了整体所需的硬盘空间及准备安装位置的剩余空间大小这样两个信息框, 用

以帮助用户选择安装 MATLAB 的合适组件，如图 1.2 所示。用户就可以根据使用的需要以及硬盘空间的大小来选择需要安装的 MATLAB 组件。

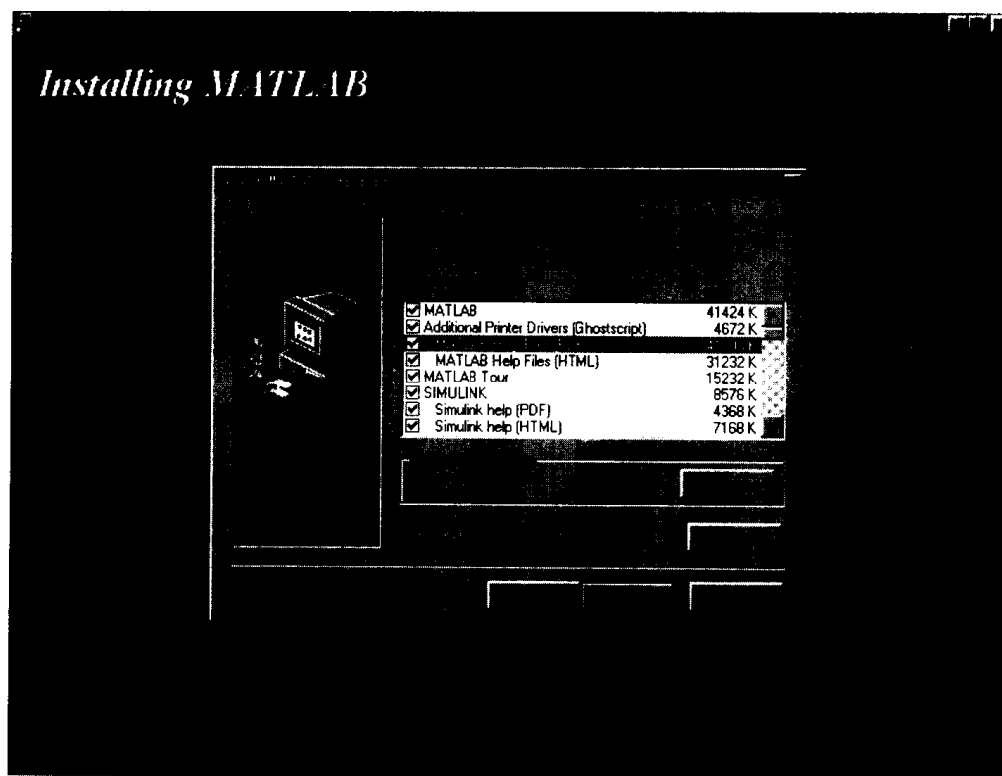


图 1.2 MATLAB 的安装缺省目录以及所有可选组件

3. 用户可选的组件包括 MATLAB 的主程序，用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包 SIMULINK 以及扩充了 MATLAB 在各个领域功能的各种工具箱 (Toolbox)。用户根据需要进行选择安装，如果要将所有组件完全安装大约需要数百 MB 的硬盘空间。

4. 如果用户开始只想安装 MATLAB 的主程序包，那么以后也可以根据需要再进入 MATLAB 的安装程序，再选择需要添加的程序和工具箱来进行安装，安装过程是完全相似的。

以上的工作完成之后，返回到 Windows 的程序管理器窗口中，将会看到一个 MATLAB 程序组窗口已经在安装过程中自动建立。MATLAB 的启动程序 matlab.exe (描述为 MATLAB)、有关 MATLAB 说明书的基本信息 README 和实时帮助功能 MATLAB HELP 三个选项存在于此程序组窗口中。用鼠标双击 MATLAB 图标，就可进入 MATLAB，出现 MATLAB 的命令窗口。

要注意的一点是：安装完毕后，依据 Windows 是中文的或西文的不同，MATLAB 的命令提示符也有所不同，在西文环境下的提示符为 >>，而在中文环境下则没有提示符。用户可在 >> 提示符后键入任何有效的 MATLAB 指令。如果用户初学 MATLAB，可在 >> 后键入 demo 指令，即

此时将出现它的演示程序，如图 1.3 所示，该演示程序将展示给用户 MATLAB 强大的计算、图形、图像处理及仿真功能。

出现 MATLAB 的命令窗口后，我们就可以开始使用 MATLAB 了。

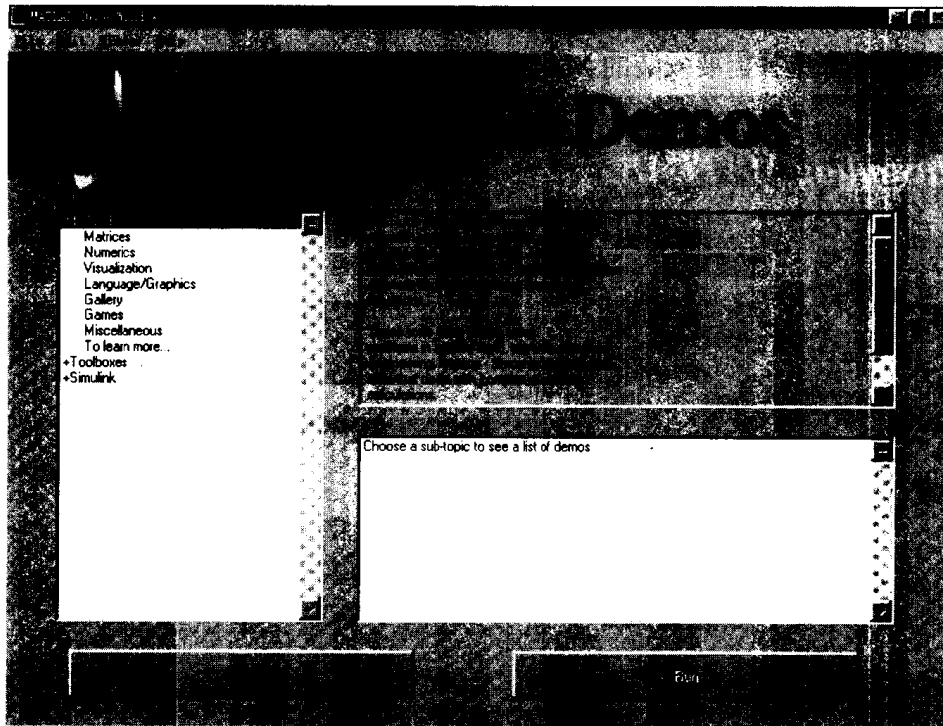


图 1.3 MATLAB 的演示程序界面

图 1.3 为 MATLAB 演示程序界面，读者可以用鼠标点击相关内容，进入需要的显示页面，浏览 MATLAB 的各项演示功能。

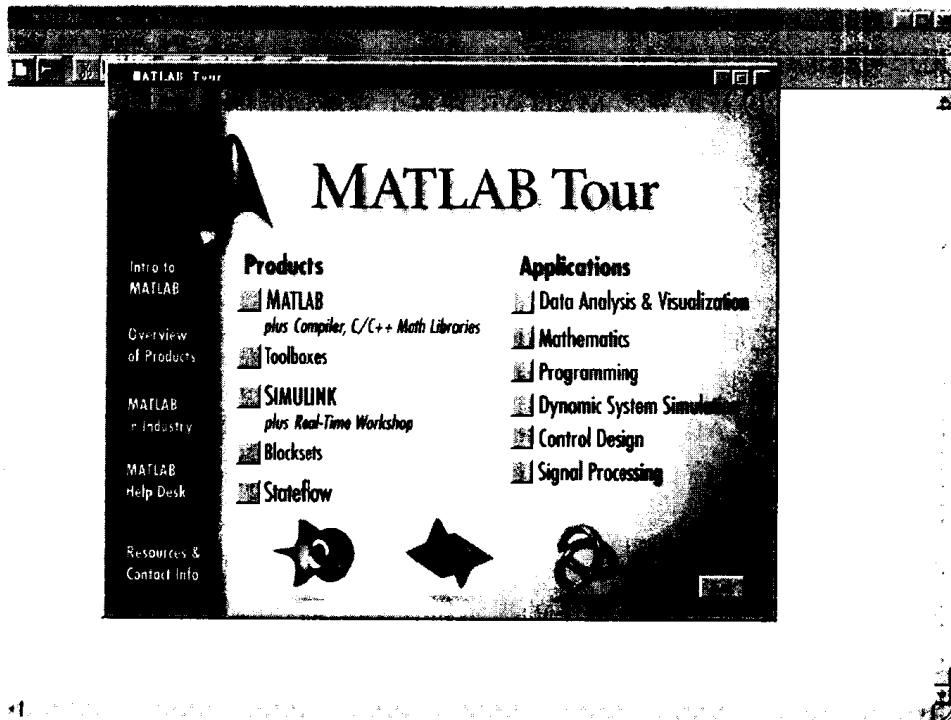


图 1.4 MATLAB 软件联机介绍

图 1.4 为 MATLAB 联机介绍界面，包含 MATLAB 所含的各种软件包和应用程序库。用鼠标点击相关链接，可以进入各子页面进行内容的查询和浏览。

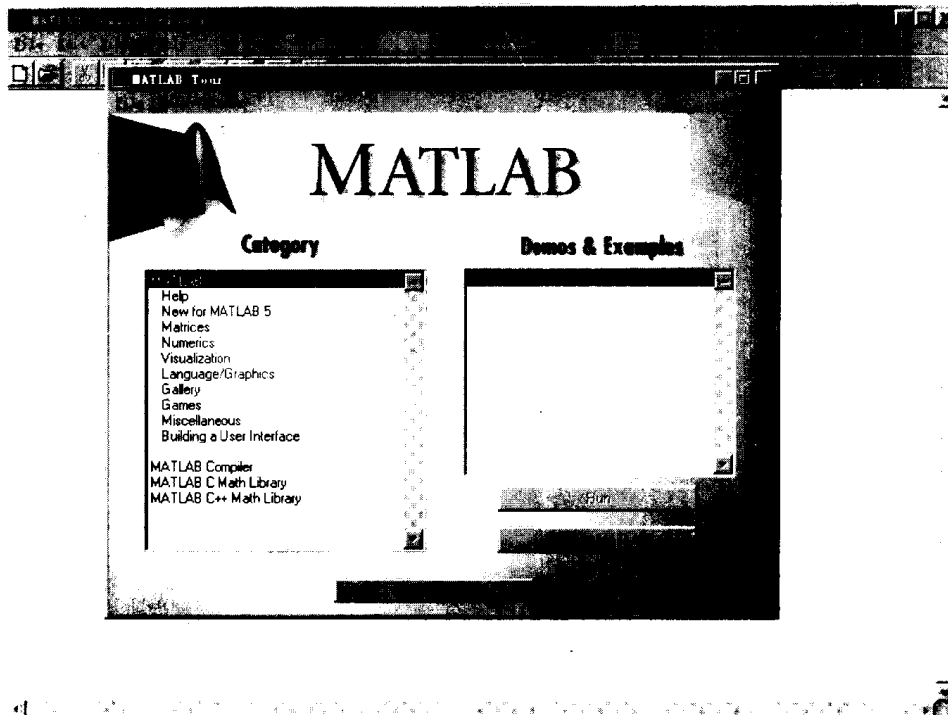


图 1.5 MATLAB 目录

图 1.5 所示为 MATLAB 软件各项功能的详细目录，选中相应内容，可以观看演示程序和范例。

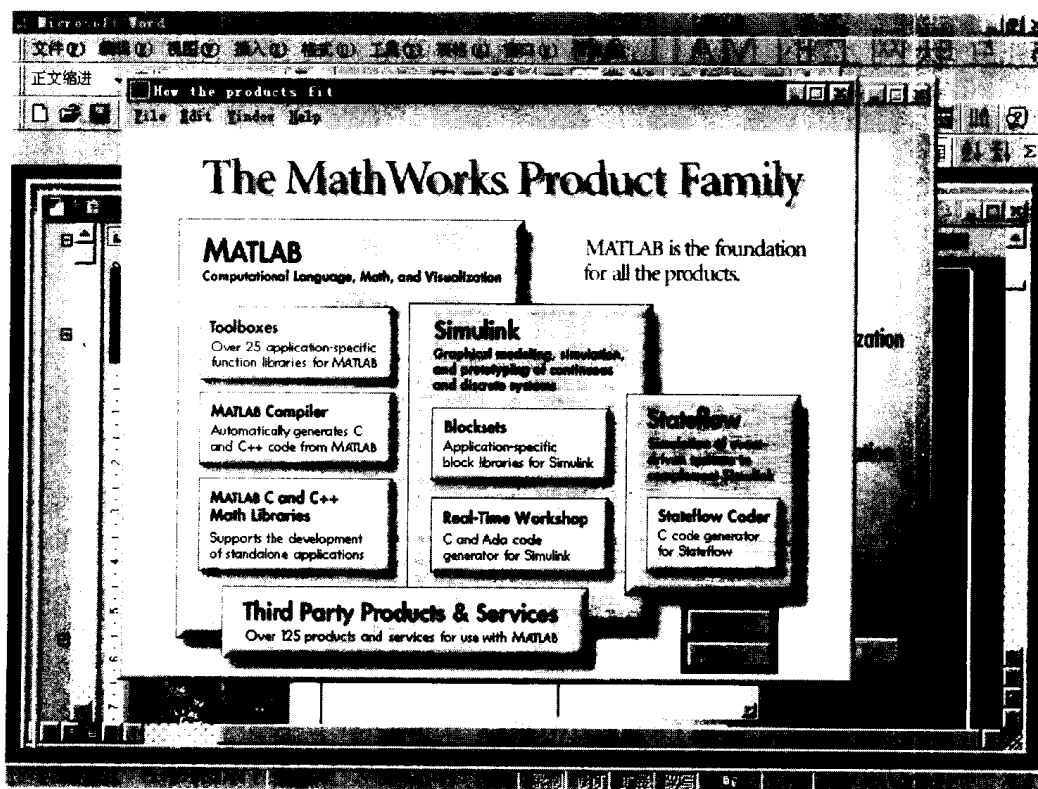


图 1.6 MATHWORKS 公司仿真软件家族

图 1.6 所示为 MATLAB 及其所支持的 MATHWORKS 公司出品的各种基于 MATLAB 的仿真软件家族列表页面。