

MATLAB

电子仿真与应用

(第2版)

韩利竹 王华 编著



MATLAB

国防工业出版社

National Defence Industry Press
<http://www.ndip.cn>

MATLAB 电子仿真与应用

(第2版)

韩利竹 王华 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 电子仿真与应用/韩利竹,王华编著. —2版.
北京:国防工业出版社,2003.9
(工程师工具软件应用系列)
ISBN 7-118-03157-7

I .M... II .①韩... ②王... III . 计算机仿真—
计算机辅助计算—软件包,MATLAB IV .TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 040921 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 29¼ 688 千字

2003 年 9 月第 2 版 2003 年 9 月北京第 2 次印刷

印数:4001—8000 册 定价:40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

MATLAB 是 Mathworks 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是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)、模糊逻辑工具箱 (Fuzzy Logic Toolbox)、虚拟现实工具箱 (Virtual Reality Toolbox)、数字信号处理模块库 (DSP Blockset)、神经网络模块库 (Neural Network Blockset) 和航天器控制模块库 (Aerospace Control Blockset) 等简单实用的工具箱和模块库,这些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,而且这些工具箱还在不断增加,目前推出的 MATLAB 6.5 (R13) 不但扩展和完善了某些工具箱的功能,还添加了新的工具箱。因此,借助于日渐完善的 MATLAB 软件,各个领域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。此外,在 MATLAB 中,所有的分析工具都可以立即获得,因此可以很方便地看到运行结果、分析这些结果,并且使结果可视化。

特别需要说明的是作为 MATLAB 扩展功能的 Simulink 软件包,是一个集成在 MATLAB 中的集建模、仿真和系统分析为一体的软件包,它具有相对独立的功能和使用方法。利用 Simulink,设计人员可以建立起一套直观完整的模型图,并依据所描述的系统模型的数学关系对整个系统进行仿真,它是一个非常好的实用工具。事实上,在世界各国的电子系统理论教学中, MATLAB 及 Simulink 都已经成为了必备的辅助教学软件之一,利用这个软件不但可以摆脱繁杂的大规模计算,而且还可以使学生自己动手构建模型。本书的第四章对 Simulink 的使用和仿真过程进行了详细的阐述,目的是希望读者能够掌握并熟练运用这个有用的仿真工具,使用它来解决理论和工程应用中的实际问题必能使你获得事半功倍的效果。

本书共分为四个部分,第一部分为基础篇,包括第一章和第二章,主要介绍 MATLAB 的安装及其界面环境,以及 MATLAB 中常用的数学方法,这是读者进一步学习 MATLAB 的基础。

第二部分为控制理论篇,包括第三章至第六章,主要介绍使用 MATLAB 进行控制系统建模、分析和设计的各种方法,第四章详细介绍了 Simulink 的使用方法,第五章和第六章介绍了控制系统时域和频域中的各种分析和设计方法,并给出了大量实现这些方法的 MATLAB 程序。

第三部分为数字信号处理 (DSP) 篇,包括第七章至第九章,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,并给出了实现这些设计方法的

MATLAB 程序。

第四部分为通信仿真篇，即第十章，主要介绍了 MATLAB 在通信仿真方面的应用。

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，因此本书很好地做到了理论联系实际，使读者对各种 MATLAB 仿真应用有一个感性的认识，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仿真工程应用的系统化，书中严格地按照各种理论系统进行仿真过程的设计，使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仿真函数，这些函数都是 MATLAB 库函数中所没有而工程实际中又经常用到的，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电子仿真，从而大大方便了系统分析设计人员的仿真应用。

由于 MATLAB 是一个极其庞大，而且功能完善的软件，我们不可能将其所有的功能一一介绍给读者，但本书涉及的内容基本覆盖了工程实际中常用的分析工具和分析方法，并向读者详细阐述了 MATLAB 中实现这些方法的步骤。

限于作者的水平，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

2003 年 8 月

目 录

第一章 MATLAB 入门	1
1.1 MATLAB 简介	1
1.1.1 MATLAB 的功能及特点	1
1.1.2 MATLAB 系统	2
1.2 MATLAB 安装	2
1.2.1 安装 MATLAB 6.5(R13)的系统要求	2
1.2.2 安装 MATLAB 6.5(R13)的步骤	3
1.2.3 删除或卸载 MATLAB	7
1.2.4 MATLAB 安装的目录结构	8
1.3 MATLAB 开发环境	10
1.3.1 启动 MATLAB	10
1.3.2 设置 MATLAB	10
1.3.3 MATLAB 桌面	12
1.3.4 MATLAB 桌面工具	13
1.3.5 MATLAB 工具栏	20
1.4 MATLAB 语言初步	21
1.4.1 MATLAB 语言的特点	21
1.4.2 MATLAB 的语言结构和编程方法	23
1.4.3 MATLAB 的主要语法和操作符	25
1.5 本章小结	32
第二章 MATLAB 常用数学方法	33
2.1 矩阵和数组的运算	33
2.1.1 矩阵的定义和运算	33
2.1.2 数组的定义和运算	37
2.1.3 数组的关系和逻辑运算	39
2.1.4 多维数组	40
2.2 特殊矩阵的生成	43
2.2.1 零矩阵与单位矩阵	43
2.2.2 对角矩阵	43
2.2.3 伴随矩阵	44
2.2.4 Vandermonde 矩阵	45
2.2.5 Hilber 矩阵及逆 Hilbert 矩阵	45

2.3 矩阵特征参数的提取·····	46
2.3.1 矩阵的秩·····	46
2.3.2 矩阵的行列式·····	47
2.3.3 矩阵的迹·····	48
2.3.4 矩阵的范数·····	48
2.3.5 矩阵的特征多项式、特征方程与特征根·····	50
2.4 矩阵的分解·····	52
2.4.1 三角分解·····	52
2.4.2 Cholesky 分解·····	55
2.4.3 奇异值分解·····	56
2.5 矩阵特征值与特征向量·····	59
2.5.1 矩阵特征值与特征向量的计算·····	59
2.5.2 广义矩阵特征值与特征向量·····	61
2.6 矩阵求逆与线性方程求解·····	62
2.7 矩阵的非线性运算·····	64
2.7.1 对矩阵各个元素的非线性运算·····	64
2.7.2 对整个矩阵的非线性运算·····	65
2.8 其他常用数学方法·····	67
2.8.1 多项式拟合·····	67
2.8.2 非线性方程求解与最优化·····	68
2.9 常用数学方法举例·····	70
2.9.1 解线性方程组的全主元三角分解法·····	70
2.9.2 离散数据多项式拟合的正交化方法·····	72
2.9.3 求矩阵特征值的基本 QR 方法·····	75
2.10 本章小结·····	79
第三章 MATLAB 中控制系统的数学描述与建模·····	80
3.1 微分方程·····	80
3.1.1 微分方程的数值解·····	80
3.1.2 非线性系统·····	84
3.1.3 线性化·····	86
3.2 传递函数·····	86
3.2.1 多项式的根和特征多项式·····	87
3.2.2 传递函数的零点和极点·····	88
3.2.3 部分分式展开·····	89
3.3 状态空间描述·····	90
3.3.1 将微分方程化成状态方程·····	90
3.3.2 矩阵的对角化·····	91
3.4 模型的转换与连接·····	92
3.4.1 数学模型的转换·····	92

3.4.2 系统模型的连接	98
3.5 模型的降阶与实现	106
3.5.1 模型降阶	106
3.5.2 模型实现	112
3.6 控制系统的模型属性	114
3.7 控制系统常用数学方程求解	122
3.8 本章小结	123
第四章 Simulink 建模与仿真	124
4.1 一个使用 Simulink 的小例子	124
4.2 典型控制系统的建模与仿真	132
4.2.1 控制系统建模	132
4.2.2 仿真参数的设置	137
4.2.3 系统仿真	146
4.3 Simulink 模块的操作	148
4.3.1 添加和选取模块	148
4.3.2 调整模块的位置和大小	148
4.3.3 模块名的处理	150
4.3.4 复制和删除模块	151
4.3.5 模块属性和参数的设置	151
4.3.6 模块间的连线	152
4.4 模块的合成、创建与封装	154
4.4.1 模块的合成	154
4.4.2 创建新模块	155
4.4.3 模块的封装	156
4.5 Simulink 的 mdl 文件	162
4.6 本章小结	166
第五章 控制系统的时域分析和设计方法	167
5.1 控制系统的稳定性分析	167
5.2 控制系统的时域分析	173
5.2.1 时域分析的一般方法	173
5.2.2 常用时域分析函数	176
5.2.3 时域分析应用实例	181
5.3 根轨迹分析方法	188
5.3.1 模条件和角条件	188
5.3.2 绘制根轨迹的基本规则	189
5.3.3 根轨迹分析应用实例	190
5.4 极点配置设计方法	194
5.5 解耦控制设计方法	197
5.6 线性二次型最优控制器设计	202

5.6.1 线性二次型指标与里卡第(Riccati)方程求解	202
5.6.2 最优控制器设计实例	206
5.7 线性二次型高斯(Gauss)最优控制	221
5.7.1 LQG 问题的一般解法	221
5.7.2 回路传输恢复技术	223
5.7.3 LQG 设计实例	224
5.8 本章小结	228
第六章 控制系统的频域分析和设计方法	229
6.1 控制系统的频域分析	229
6.1.1 频域分析的一般方法	229
6.1.2 常用频域分析函数	234
6.1.3 频域分析应用实例	239
6.2 控制系统的校正	243
6.2.1 单变量系统的两种主要校正方式	243
6.2.2 PD、PI、PID 校正	244
6.2.3 串联校正实例	247
6.3 多变量系统的频域设计方法	251
6.3.1 数学模型与标准型	251
6.3.2 多变量系统的频率响应	253
6.4 定量反馈控制设计方法	255
6.4.1 单变量系统的 QFT 设计方法	256
6.4.2 QFT 设计举例	258
6.4.3 QFT 设计工具箱应用	264
6.5 M1A1 主战坦克观测仪飞轮控制器的设计	268
6.6 本章小结	275
第七章 MATLAB 在数字信号处理中的应用	277
7.1 离散时间信号与系统	277
7.1.1 离散时间信号	277
7.1.2 离散系统的卷积和相关	280
7.1.3 离散系统的差分方程	286
7.2 离散时间傅里叶变换	288
7.2.1 离散时间傅里叶变换定义与计算	288
7.2.2 离散时间傅里叶变换的特性	291
7.3 离散傅里叶变换	296
7.3.1 离散傅里叶级数	296
7.3.2 离散傅里叶变换	298
7.4 数字信号处理信号分析实例	305
7.4.1 实验准备	305
7.4.2 wav 文件的一次性傅里叶变换	305

7.4.3 wav 文件的分段傅里叶分析	308
7.4.4 用 Simulink 进行仿真	312
7.5 本章小结	317
第八章 FIR 滤波器设计	318
8.1 数字滤波器的结构	318
8.1.1 基本元件	318
8.1.2 IIR 滤波器的结构	319
8.1.3 FIR 滤波器的结构	330
8.2 滤波器设计基础	333
8.2.1 滤波器指标的确定	333
8.2.2 问题的描述	334
8.3 线性相位 FIR 滤波器的性质	334
8.3.1 冲激响应	334
8.3.2 频率响应	335
8.3.3 零点位置	337
8.4 FIR 滤波器的窗函数设计技术	341
8.4.1 窗函数设计的基本思想	341
8.4.2 常用窗函数	341
8.4.3 窗函数设计公式	342
8.4.4 FIR 滤波器设计实例	342
8.5 本章小结	351
第九章 IIR 滤波器设计	352
9.1 滤波器的指标	352
9.2 模拟滤波器原型	353
9.2.1 巴特沃斯低通滤波器	353
9.2.2 切比雪夫低通滤波器	359
9.3 滤波器的变换	365
9.3.1 滤波器变换的基本方法	365
9.3.2 滤波器变换实例	366
9.4 用 MATLAB 设计低通滤波器	370
9.4.1 设计低通滤波器的 MATLAB 函数	371
9.4.2 低通滤波器设计实例	371
9.5 本章小结	376
第十章 MATLAB 在通信仿真中的应用	377
10.1 信息论基础	377
10.1.1 信息的度量	377
10.1.2 信道容量的计算	379
10.1.3 信源编码	382
10.2 模拟线性调制	385

10.2.1 常规双边带调幅(AM)	386
10.2.2 抑制载波双边带调幅(DSB-SC)	392
10.2.3 单边带调幅(SSB)	395
10.2.4 残留边带调幅(VSB)	399
10.3 模拟角度调制	399
10.3.1 频率调制	399
10.3.2 相位调制	402
10.3.3 关于模拟调制的总结	405
10.4 脉冲编码调制(PCM)	408
10.4.1 模拟信号的抽样	408
10.4.2 最佳量化及量化误差	414
10.4.3 均匀量化	415
10.4.4 对数量化器及 A 律 PCM 编码	418
10.5 数字信号基带传输	423
10.5.1 数字基带信号的码型	424
10.5.2 码型的功率谱分布	430
10.5.3 基带传输的误码率	434
10.5.4 扰码与解扰	437
10.6 数字信号载波传输	441
10.6.1 幅度键控(ASK)	441
10.6.2 频移键控(FSK)	442
10.6.3 相移键控(PSK、DPSK)	443
10.6.4 正交幅度调制(QAM)	449
10.7 本章小结	452
附录 SIMULINK 模块	453

第一章 MATLAB 入门

在计算机技术日益发展的今天，计算机的应用正逐步将科技人员从繁重的计算工作中解脱出来。在科学研究和工程应用中，往往需要进行大量的数学计算，一些科技人员曾经尝试使用 BASIC、FORTRAN 以及 C 语言编写程序，以减轻工作量。但编制程序需要掌握高级语言的语法，还需要对各种算法有深刻的了解，这对大多数科技人员来说是不大现实的，而且也是没有必要的。

为了满足用户对数学计算的要求，一些著名的软件公司都分别推出了一批数学类计算应用软件，例如 MATLAB、Mathematica、Maple 和 MathCAD。其中 Mathworks 公司推出的 MATLAB，由于其强大的功能以及应用性，受到越来越多的科技工作者的欢迎。在美国、欧洲等发达国家的大学中，已成为一种必须掌握的编程语言。

在这一章里，将简要介绍 MATLAB 的功能特点、安装过程及其用户界面，希望读者通过这些内容能够对 MATLAB 有一定程度的感性了解。

1.1 MATLAB 简介

目前，在国际流行的科技应用软件中，数学类（区别于文字处理和图像处理类）软件共有 30 多种。从它们的数学处理的原始内核来看，不外乎两种类型：数值计算型和数学分析型。前者如 MATLAB、Xmath 等，它们对大量数据具有较强的管理、计算和可视化能力，运行效率较高；后者如 Mathematica、Maple 等，它们长于符号计算，可以得到问题的解析符号解和任意精度解，但处理大量数据速度较慢。

1.1.1 MATLAB 的功能及特点

MATLAB 是一个高精度的科学计算语言，它将计算、可视化和编程结合在一个容易使用的环境中，在这个环境中，用户可以把提出的问题 and 解决问题的办法用熟悉的数学符号表示出来，它的典型使用包括：

- (1) 数学和计算；
- (2) 运算法则；
- (3) 建模、仿真；
- (4) 数据分析、研究和可视化；
- (5) 科学的工程图形；
- (6) 应用程序开发，包括创建图形用户接口。

MATLAB 是一个交互式系统，它的基本数据单元是数组，这个数组不要求固定的大小，因此可以让用户解决许多技术上的计算问题，特别是那些包含矩阵和向量运算的问

题。MATLAB 的指令表达与数学、工程中常用的习惯形式十分相似,与 C、Fortran 等高级语言相比, MATLAB 的语法规则更简单、表达更符合工程习惯。正因为如此,人们用 MATLAB 语言编写程序就有如在便笺上书写公式和求解,因而 MATLAB 被称为“便笺式”的科学工程计算语言。

MATLAB 的最重要的特征是它拥有解决特定应用问题的程序组,也就是 TOOLBOX (工具箱),如信号处理工具箱、控制系统工具箱、神经网络工具箱、模糊逻辑工具箱、通信工具箱和数据采集工具箱等许多专用工具箱。对大多数用户来说,要想灵活高效地运用这些工具箱,通常都需要学习相应的专业知识。

此外,开放性也许是 MATLAB 最重要和最受人欢迎的特点之一。除内部函数外,所有的 MATLAB 主包文件和各工具箱文件都是可读可改的源文件,因为工具箱实际上是由一组复杂的 MATLAB 函数(M 文件)组成,它扩展了 MATLAB 的功能,用以解决特定的问题,因此用户可以通过对源文件进行修改和加入自己编写的文件去构建新的专用工具箱。

1.1.2 MATLAB 系统

MATLAB 系统由下面五个主要部分组成:

(1) MATLAB 开发环境。开发环境是一组实用工具,利用这些工具用户可以使用 MATLAB 函数和文件,这其中的很多工具都是图形用户接口,它包括 MATLAB 桌面和命令窗口,命令的历史记录以及用来查看帮助的浏览器、工作间、文件和搜索路径。

(2) MATLAB 数学函数库。这是一个庞大的计算算法库,包括从基本函数,如 sum、sine、cosine 和复杂算法到更复杂的函数运算,如矩阵求逆、矩阵特征值、贝塞尔函数和快速傅里叶变换。

(3) MATLAB 语言。这是一个高级的矩阵/数组编程语言,该语言带有流程控制语句、函数、数据结构、输入/输出和面向对象编程的特点。它既可以编写快速执行的短小程序,也可以编写庞大复杂的应用程序。

(4) MATLAB 图形处理系统。这是 MATLAB 的图形系统,它既包括生成二维和三维数据可视化、图像处理、动画及演示图形的高级命令,也包括完全由用户自定制图形显示及在 MATLAB 应用程序中创建完整的图形用户接口的低级命令。

(5) MATLAB 应用程序接口(API)。这是一个用户编写与 MATLAB 接口的 C 和 Fortran 程序的函数库,它包括从 MATLAB (动态链接) 中调用指令和读写 M 文件的程序。

1.2 MATLAB 安装

本节介绍在计算机上安装 MATLAB 6.5(R13)的系统要求及安装步骤,并介绍了 MATLAB 安装到系统后的目录结构。

1.2.1 安装 MATLAB 6.5(R13)的系统要求

安装 MATLAB 6.5(R13)的系统要求如下:

(1) Pentium, Pentium Pro, Pentium II, Pentium III, Pentium IV, Intel Xeon, AMD Athlon;

(2) Microsoft Windows 98, Windows Millennium Edition (ME), Windows NT 4.0, Windows 2000或 Windows XP;

(3) CD-ROM驱动器;

(4) 内存至少128MB, 推荐256MB;

(5) 磁盘空间依据用户安装组件的多少及在线帮助文件的大小而不同, 安装过程会自动通知用户选择组件后所需要的磁盘空间容量;

(6) 8位图形适配器(可同时显示256色), 推荐使用16位、24位或32位OpenGL图形适配器;

其他的推荐要求还包括:

(1) Microsoft Windows支持的图形加速卡, 打印机和声卡;

(2) Microsoft Word 8.0 (Office 97), Office 2000或Office XP, 运行MATLAB说明书时要求使用这些软件(说明: 不再支持Office 95);

(3) 当使用注册服务器(license server)时, 在所有的运行平台上都要求有TCP/IP协议;

(4) 某些注册类型要求运行FLEXlm 8.0d的注册服务器, 它可以由MathWorks安装时提供。

说明: 关于最新的系统要求信息, 查看 MathWorks 网站 <http://www.mathworks.com>。

1.2.2 安装 MATLAB 6.5(R13)的步骤

将MATLAB 6.5的安装盘放入CD-ROM驱动器, 光盘里的自动运行程序会启动执行, 进入初始化界面, 如图1-1所示。如果自动运行程序没有执行, 可能是系统的设置中禁止光驱自动运行程序, 这时可以在MATLAB目录下运行“Setup.exe”命令执行安装。

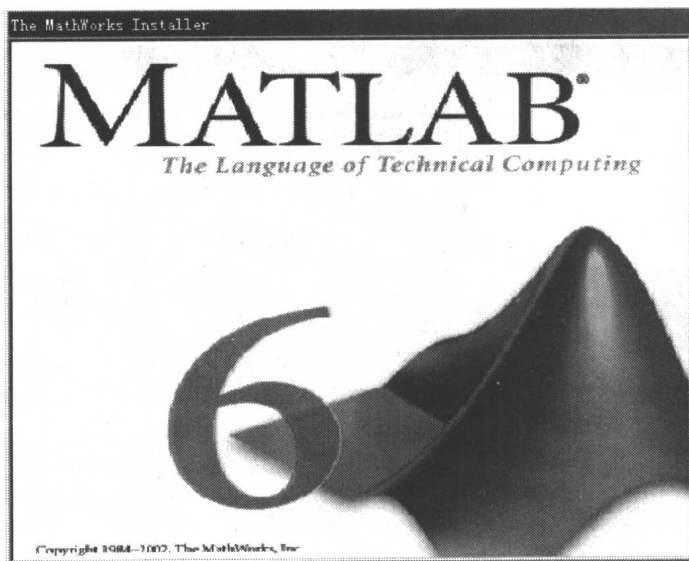


图 1-1 MATLAB 6.5 安装的启动界面

第一步: 启动安装

安装程序运行后, 会显示 Welcome to The MathWorks Installer 对话框, 如图1-2所示, 单击 Next 按钮进入下一步, 若想取消安装, 单击 Cancel 按钮。

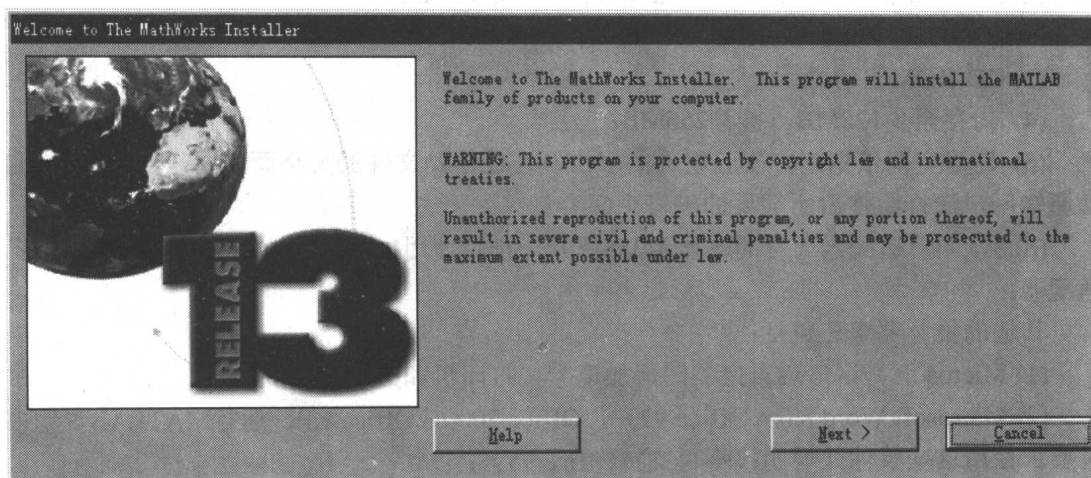


图 1-2 Welcome to The MathWorks Installer 对话框

第二步：输入用户注册密码

Personal License Password 对话框要求用户输入 PLP (Personal License Password, 即用户注册密码) 密码, 用户在购买 MATLAB 软件时应该已经由 E-mail 或传真获得这个密码, 若没有 PLP, 可以单击 Get my PLP 按钮通过网络获得密码。为了避免输入错误, 可以直接把 PLP 密码拷贝到文本框内 (使用 Ctrl+V 粘贴命令), PLP 是由一系列五位数组成的前缀为两位数版本号的代码, 如 13-12345-12345-12345……。在文本框中输入 PLP 后, 单击 Next 按钮进入下一个安装界面, 若单击 Back 按钮返回上一个安装界面, 单击 Cancel 按钮取消安装, 如图 1-3 所示。

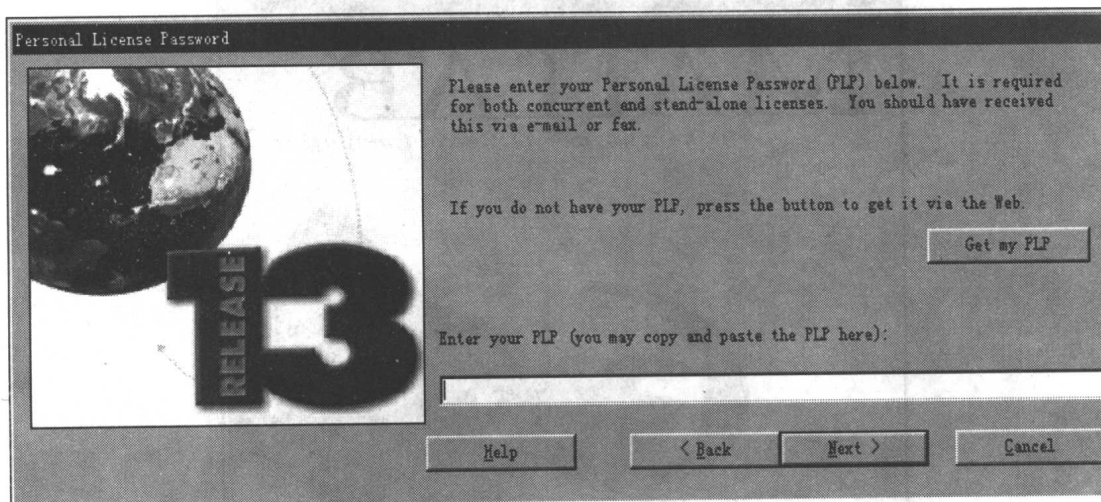


图 1-3 Personal License Password 对话框

第三步：注册协议

查看软件注册协议, 若接受协议, 单击 Yes 按钮。安装完成后, 也可以在 MATLAB 安装目录下打开 license.txt 文件查看注册协议。单击 Next 按钮进入下一步安装, 单击 Back 按钮返回上一步安装, 如图 1-4 所示。

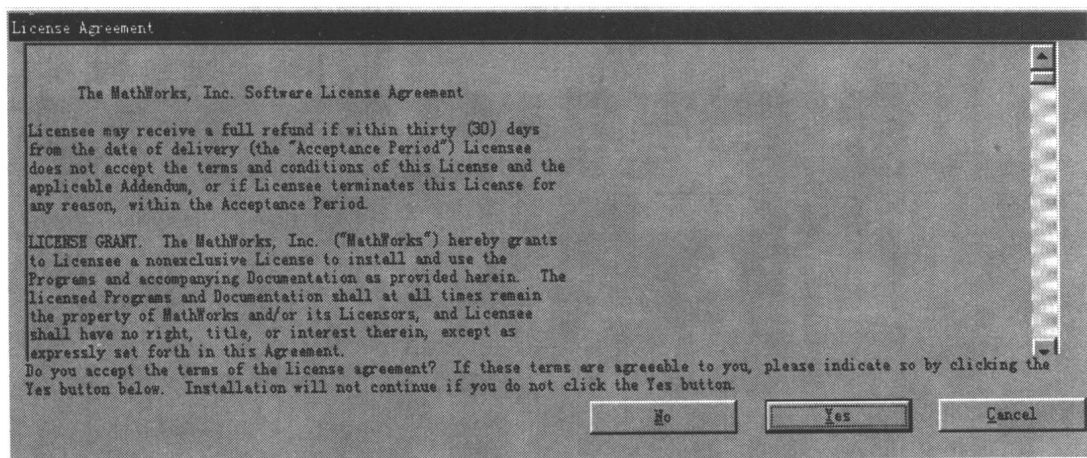


图 1-4 License Agreement 对话框

第四步: Customer Information 对话框

这是用户信息窗口, 要求在文本框内输入用户名称和公司名称, 这是必须输入的两项内容, 单击 Next 按钮进入下一步, 单击 Back 按钮返回上一步安装, 如图 1-5 所示。

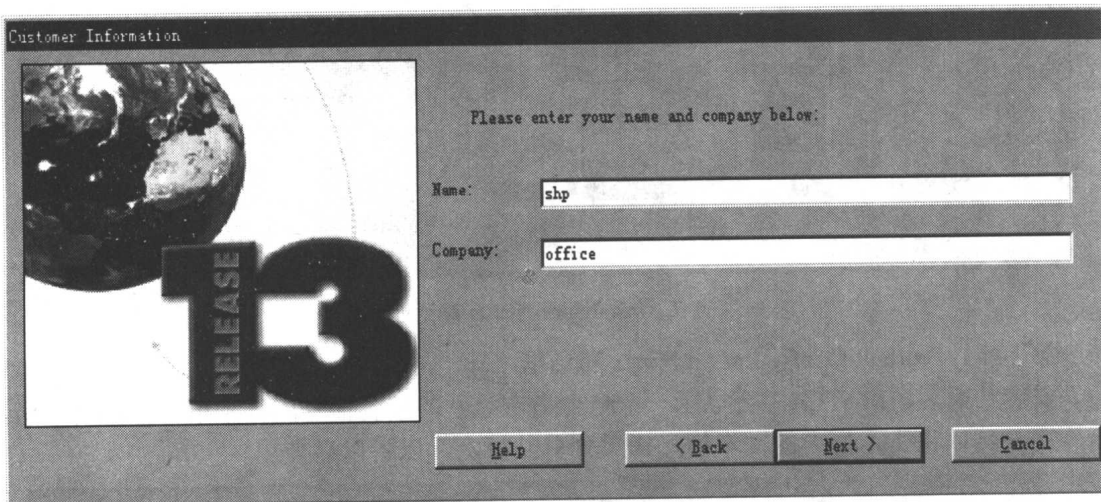


图 1-5 Customer Information 对话框

第五步: Product List 对话框

Product List 对话框要求选择 MATLAB 的安装路径、安装的组件以及是否安装文档, 并选择安装文档的语言, 同时当用户选择这些安装内容时, MATLAB 会在对话框的右侧自动显示选项所占用的空间, 以及安装驱动器上可用的磁盘空间。如果不更改任何选项, 直接单击 Next 按钮, 安装器会安装所有的组件和文档 (这是默认选项), 并将其安装在默认目录 C:\MATLAB6.5 下, 如图 1-6 所示。

第六步: Installation Status 对话框

在这一步中, Installation Status 对话框显示安装进度, 如图 1-7 所示。

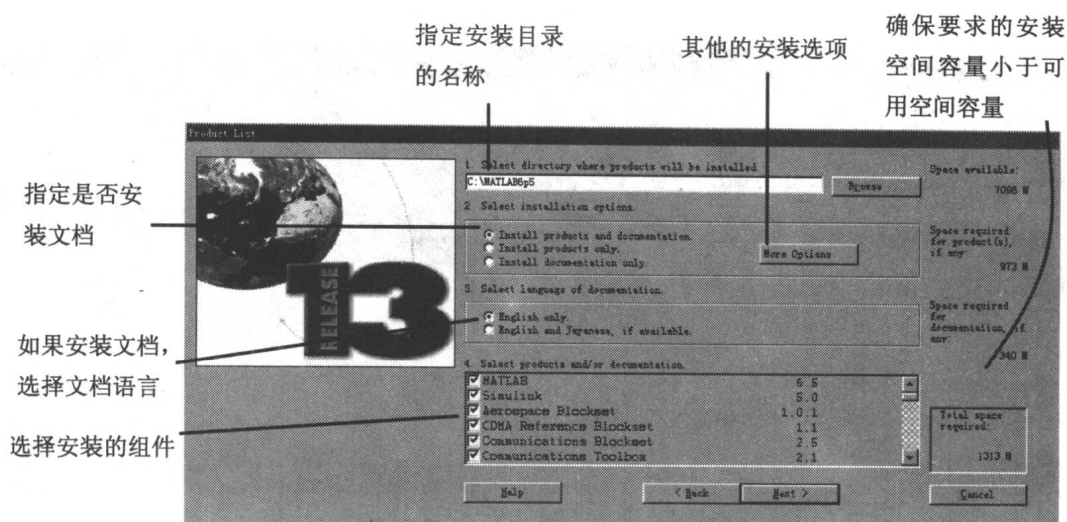


图 1-6 Product List 对话框

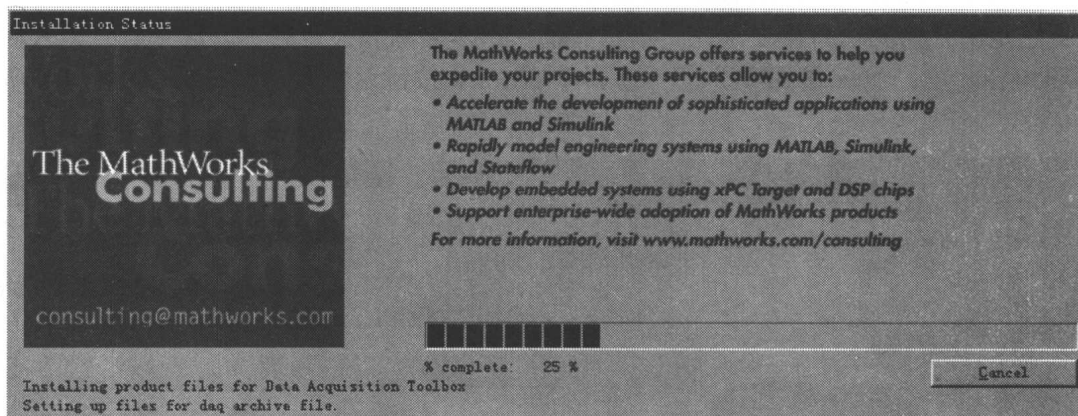


图 1-7 Installation Status 对话框

第七步: Product Configuration Notes 对话框

安装结束后, MATLAB 会显示一个包含指定组件的结构信息的文本框, 如图 1-8 所示。用户可以将文本框内的文本信息拷贝到剪贴板上, 以备以后使用。

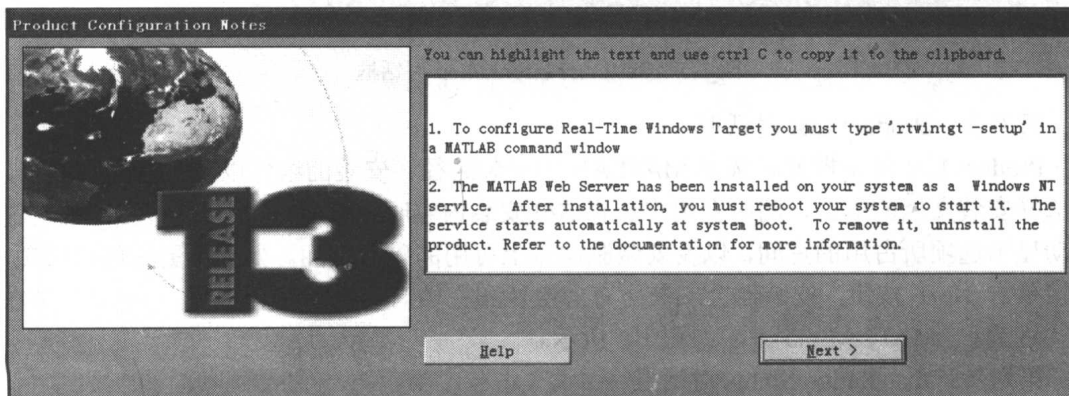


图 1-8 Product Configuration Notes 对话框