

信息与计算科学专业系列教材

MATLAB 与数字信号处理实验

林 川 编著



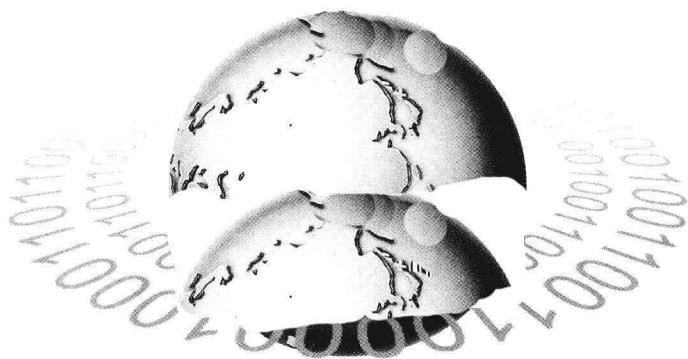
WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

信息与计算科学专业系列教材

MATLAB 与数字信号处理实验

林 川 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 与数字信号处理实验/林川编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2011. 7

信息与计算科学专业系列教材

ISBN 978-7-307-08860-3

I. M… II. 林… III. 数字信号处理—计算机辅助计算—软件包, MATLAB—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 115463 号

责任编辑:顾素萍

责任校对:黄添生

版式设计:马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北省京山德兴印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 13.5 字数: 234 千字 插页: 1

版次: 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-08860-3/TN · 47 定价: 22.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

数字信号处理是一门专业基础课，适用于通信工程、信息工程、电子工程、信息与计算科学专业的大学生学习。数字信号处理也是一门实践性很强的课程，综合性强、难度大。很多专业学生尽管具备了一些理论知识，但对实际的操作非常生疏，鉴于此，我们编写了以 MATLAB 为工具的实验指导书。本书编写的目的是使读者在掌握离散时间信号和系统的基本理论、基本分析方法以及 FFT、Z 变换、数字滤波器等数字信号处理技术的基础上，能够利用 MATLAB 做一些实际的分析和操作。本书采用了大量的实例和 MATLAB 源代码，以帮助读者快速上手。

全书共分 6 章，第一章是 MATLAB 基础，第二章是 MATLAB 数字信号处理基础，第三章为离散线性非时变系统分析，第四章和第五章分别介绍了 IIR 滤波器和 FIR 滤波器设计，第六章介绍了图形化信号处理设计工具——SPTool。

本书的定位是大学本科“数字信号处理”课程的实验教材，可以和《数字信号处理》一书配合使用，通过对本书的学习，使读者在掌握一定信号处理基础理论和基本算法之后，能够利用 MATLAB 做一些应用操作，提高实际动手能力。

本书由林川主编，杜光宝编写了第三章的内容及部分插图，我的学生秦荣君等也参与了本书的编写，美国 Georgia State University 熊乃学博士负责本书的主审，并提出了许多宝贵意见。在此对所有参与和支持本书编写工作的朋友们致以衷心的感谢！

最后，我要向我的家人致以敬意，是他们的关怀和照顾给了我完成本书编写工作的动力。

由于编者水平有限，且编写时间仓促，书中难免有错误与不当之处，希望读者给予批评指正，不胜感激！

编 者

2010 年 12 月于广州

目 录

第一章 MATLAB 基础	1
1.1 MATLAB 历史背景	1
1.2 MATLAB 概述	2
1.3 MATLAB 安装	4
1.4 MATLAB 的启动与退出	5
1.5 MATLAB 的应用窗口	7
1.6 MATLAB 语言初步	19
1.7 程序结构	29
1.8 部分基本数学函数和基本作图函数	31
1.9 编制函数	32
第二章 数字信号处理与 MATLAB 信号处理基础	34
2.1 基本信号序列	34
2.2 一些基本序列的生成	35
2.3 离散序列的基本运算	41
2.4 时域信号的抽样与重建	50
2.5 离散傅里叶变换(DFT)	56
2.6 快速傅里叶变换(FFT)	64
习题	65
第三章 离散线性非时变系统分析	67
3.1 线性时不变系统	67
3.2 卷积和原理及其应用	68
3.3 离散 LTI 系统的冲激响应和阶跃响应	74
3.4 离散 LTI 系统的零极点分析	83
3.5 离散系统的差分方程表示及求解	89
习题	93



第四章 IIR 滤波器的设计	99
4.1 IIR 滤波器的网络结构	99
4.2 IIR 滤波器的设计	103
4.3 IIR 滤波器的直接设计	108
4.4 关于 MATLAB 函数的一些其他的用法	127
习题	129
第五章 FIR 滤波器的设计	130
5.1 FIR 滤波器的网络结构	130
5.2 FIR 滤波器的设计	132
习题	152
第六章 图形化信号处理设计工具——SPTool	153
6.1 SPTool 工具介绍	153
6.2 信号浏览器	157
6.3 滤波器浏览器和滤波器设计器	160
6.4 频谱浏览器	167
6.5 综合实例	168
习题	177
附录 MATLAB 信号处理工具箱函数	178
参考文献	205

第一章 MATLAB 基础



MATLAB 是 Matrix Laboratory（矩阵实验室）的缩写，是一种面向科学与工程计算的高级语言。最初是美国 New Mexico 大学计算机系主任 Cleve Moler 在 20 世纪 70 年代后期开发的教学辅助软件，近年来发展成为适合多学科、多部门要求的应用软件。它具有强大的数值计算和图示能力，编程简单，易学易懂。在高校中，MATLAB 已经成为数学、信息、控制、经济等诸多学科有关课程很有效的教学工具。在设计单位和工程部门中，MATLAB 已被用于科学研究和解决各类实际问题。

通过本章的学习，读者可以轻松地步入 MATLAB 的殿堂中，初步掌握 MATLAB 的历史发展及其主要功能和新特色，熟悉它的操作环境和基本操作，为后面的学习打下坚实的基础。

1.1 MATLAB 历史背景

20 世纪 70 年代中期，Cleve Moler 博士和其同事在美国国家科学基金的资助下开发了调用 EISPACK 和 LINPACK 的 FORTRAN 子程序库。EISPACK 是特征值求解的 FORTRAN 程序库，LINPACK 是解线性方程的程序库。在当时，这两个程序库在计算领域已流行，代表了当时矩阵运算的最高水平。

到 70 年代后期，Cleve Moler 博士已是美国 New Mexico 大学计算机系系主任。当他给学生讲解线性代数时，想让学生使用 EISPACK 和 LINPACK 程序库来编写相关程序。但发现学生利用 FORTRAN 编写接口程序很费时间，于是他自己动手为学生编写 EISPACK 和 LINPACK 的接口程序。Cleve Moler 给这个接口程序取名为 MATLAB，该名称为矩阵（matrix）和实验室（labotatory）两个英文单词的前三个字母的组合。在以后数年里，MATLAB 作为教学辅助软件在大学里被广泛使用，并且是面向大众的免费软件。

1983 年春，Cleve Moler 到 Standford 大学讲学，MATLAB 深深地吸引了 John Little。同年 John Little 和 Cleve Moler，Steve Bangert 一起，用 C 语言开



发了第二代专业版。这一代的 MATLAB 语言同时具备了数值计算和数据图示化的功能。

1984 年, Cleve Moler 和 John Little 成立了 MathWorks 公司, 正式把 MATLAB 推向市场, 并继续进行 MATLAB 的研究和开发。在 MATLAB 问世不久的 80 年代中期, 以前控制领域的一些软件包纷纷被淘汰或在 MATLAB 基础上重建。

直到今天, 经过 MathWorks 公司的不断完善, MATLAB 已经发展成为适合多学科、多种工作平台的功能强大的大型软件, 并且功能还在不断丰富与完善, 用户界面也越来越友好。

1.2 MATLAB 概述

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的一种商业数学软件, 运行于 Windows, GNU/Linux, UNIX, MAC 等跨平台环境下, 是一种用于数值计算及可视化图形处理的工程语言。其在算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算等方面有广泛应用, 主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。

MATLAB 将数值分析、信号处理、矩阵运算、模拟仿真、图形图像处理等诸多强大的功能集成在一个交互式的软件中, 该软件既支持交互式处理, 也可以编写 MATLAB 专用的 M 文件进行代码的编写, 然后运行程序。此软件为科学研究、工程应用提供了一种功能强、效率高的编程工具。它拥有强大的科学计算功能和可视化的图像操作功能, 简单易用, 特别有意义的是其所附带的 30 多种面向不同领域的工具箱支持, 使得其在许多科学领域中成为计算机辅助设计和分析、实验仿真和应用开发的一个首选平台。

1. MATLAB 语言简介

MATLAB 能够如此迅速地普及, 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。MATLAB 称为第四代计算机语言, 由于其丰富的函数资源, 使编程人员从繁琐的程序代码中解放出来, 被通俗地称为演算纸式的科学算法语言。

MATLAB 最突出的特点是简洁。MATLAB 用更简洁、更直观且更符合人们思维习惯的代码, 代替了 C/C++、FORTRAN 等语言冗长的代码, 给用户带来了更直观、更简洁的程序开发环境。

MATLAB 语言核心是采用 C 语言进行编写, 所以其语言模式与 C 语言

相似,采用函数驱动,所有高级功能都采用函数的格式,函数文件可以自己进行编写。

MATLAB 在控制、通信、金融、统计、信号处理方面和科学高精度计算中得到广泛的应用,已经被认可为能够有效地提高工作效率、改善设计手段的工具软件。

以下简单介绍一下 MATLAB 的主要特点:

(1) 语言简洁紧凑,使用方便灵活,库函数极其丰富。

(2) 含有功能强大的工具箱。MATLAB 附带有三十多个面向不同领域可选的工具箱。工具箱大致分为功能性工具箱和学科性工具箱,这些工具箱使 MATLAB 在各个领域的应用得到大大的拓展,使用更为方便,功能也更为强大。

(3) 运算符丰富。由于 MATLAB 是用 C 语言编写的, MATLAB 提供了和 C 语言几乎一样多的运算符,灵活使用 MATLAB 的运算符将使程序变得极为简短。

(4) MATLAB 既具有结构化的控制语句(如 for 循环, while 循环, break 语句和 if 语句),又有面向对象编程的特性。可用于复杂的编程需要,但同其他高级程序语言相比,其执行效率稍慢。

(5) 程序限制不严格,程序设计自由度大。

(6) 程序的可移植性很好。

(7) MATLAB 在图形处理方面非常方便且功能强大。在 C/C++、FORTRAN 中,绘图和对图像的处理不方便, MATLAB 提供了强大的图像处理功能,使用户能够方便地对图像按需要进行处理。

(8) 源程序具有开放性。除内部函数外,所有 MATLAB 的核心文件和工具箱都是可读可写的源文件。用户可以按照自己的需要,对源文件进行有个性的修改和增删,使其更贴近自己的实际需要。

2. MATLAB 的主要功能

MATLAB 有如下主要功能:

- ◇ 可用于技术计算。
- ◇ 可对代码、文件和数据进行管理。
- ◇ 交互式工具可以按迭代的方式探查、设计及求解问题。
- ◇ 数学函数可用于线性代数、统计、傅里叶分析、筛选、优化以及数值积分等。
- ◇ 二维和三维图形函数可用于可视化数据。



- ◇ 各种工具可用于构建自定义的图形用户界面。
- ◇ 各种函数可将基于 MATLAB 的算法与外部应用程序和语言（如 C、C++、FORTRAN、Java、COM 以及 Microsoft Excel）集成。

1.3 MATLAB 安装

1. 安装 MATLAB 的基本要求

操作系统：98/Me/NT/2000/XP/2003/Vista/Windows>

CPU：Intel Pentium 3/Athlon

内存：256 MB RAM

硬盘剩余空间：2.00 GB

2. MATLAB 的安装

(1) 光盘安装：

- ① 将 MATLAB 的安装光盘放入光驱中，安装程序会自动运行。
- ② 按照安装程序的提示，进入用户信息输入画面。

(2) 用虚拟光驱镜像安装：

① 从官方网站下载 MATLAB 镜像文件，本书以 MATLAB R2008a 版本为例。

② 从网上下载 WinMount 免费版（如版本 v3.2.1127），并安装到电脑。

③ 点击 MATLAB 镜像文件，如图 1-1，用虚拟光驱加载，会出现一个虚拟的光驱盘符。

④ 点击该盘符，打开镜像文件，如图 1-2 所示，然后点击 setup.exe 文件，按照提示完成安装。

在相应的位置输入用户名称、单位及 25 位用户口令，即可继续安装。当复制完文件后弹出对话框，询问是否安装 notebook；选择后，安装程序继续执行。安装完毕，将在硬盘中建立 MATLAB 的目录。

安装程序将在桌面上创建 MATLAB 图标，每次双击桌面上的 MATLAB 图标，即可启动 MATLAB。或者点击屏幕左下角的“开始”，指向“程序”，再指向 MATLAB R2008a，单击即可。

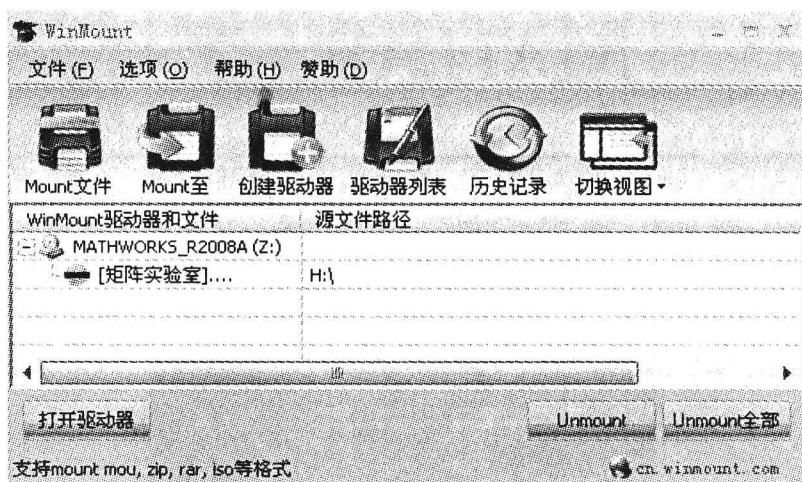


图 1-1 虚拟光驱加载 MATLAB 镜像文件

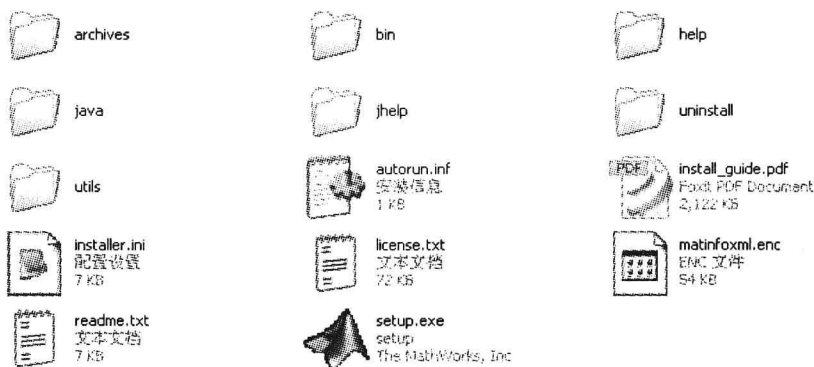


图 1-2 使用虚拟光驱打开镜像安装文件

1.4 MATLAB 的启动与退出

1. MATLAB 的启动

在桌面双击 MATLAB 图标，或将鼠标指向“开始”菜单，指向“程序”，找到 MATLAB 中的 MATLAB 选项，单击 MATLAB 图标，我们将会看到如图 1-3 所示的启动画面。

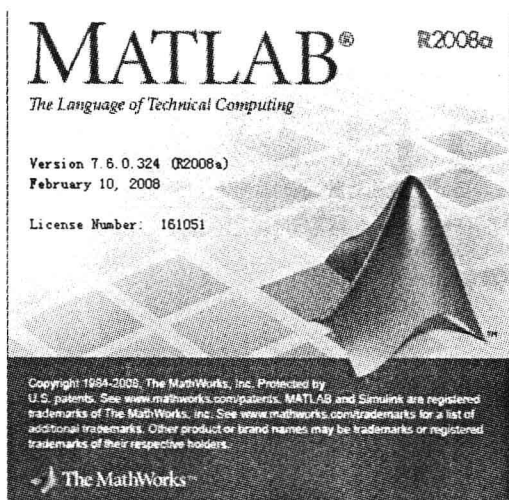


图 1-3 MATLAB 启动画面

稍等之后我们就可以看到 MATLAB 的界面了, 如图 1-4 所示。左上方是工作空间和当前工作目录, 关于工作空间和当前目录以及其他的窗口, 后面将会详细介绍。

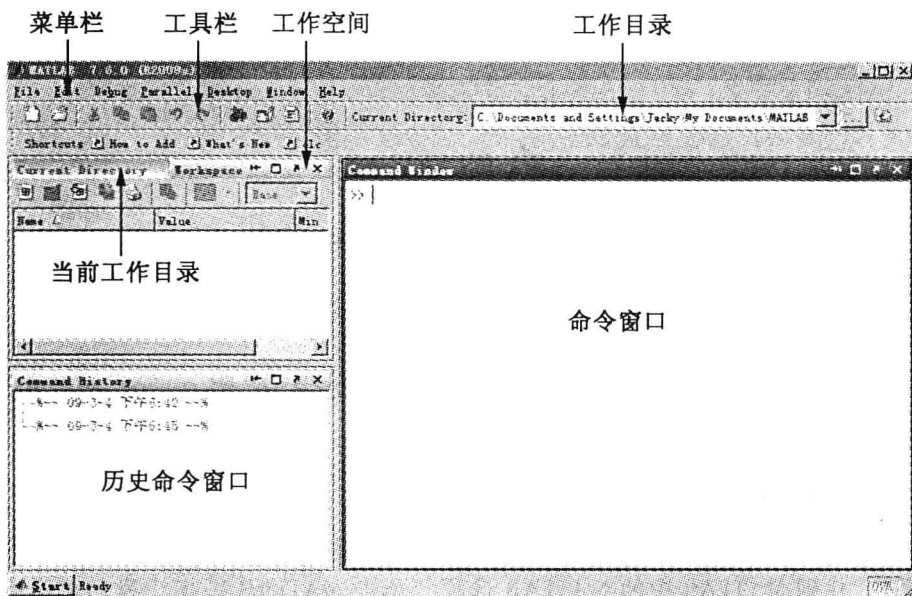


图 1-4 MATLAB 主界面

2. MATLAB 的退出

当我们做完工作，保存好编写的 M 文件之后，便需要退出 MATLAB 了，此时，可以按如下方法之一操作：

- ◇ 点击图 1-4 上的  按钮。
- ◇ 双击图 1-4 上的  按钮。
- ◇ 依次点击 File→Exit MATLAB。
- ◇ 按快捷键：Ctrl+Q。
- ◇ 在命令窗口输入 exit 或者 quit。

1.5 MATLAB 的应用窗口

下面对 MATLAB 界面上的窗口进行介绍，界面如图 1-4 所示。

1.5.1 MATLAB 桌面平台的菜单栏和工具栏

图 1-4 中右边最大的窗口是 MATLAB 的主窗口，也是最重要的交互式窗口，**File Edit Debug Parallel Desktop Window Help** 为其菜单栏，下面我们对菜单栏进行简单的介绍。

1. 菜单栏

(1) 单击菜单栏中 File，将弹出如图 1-5 所示的菜单。

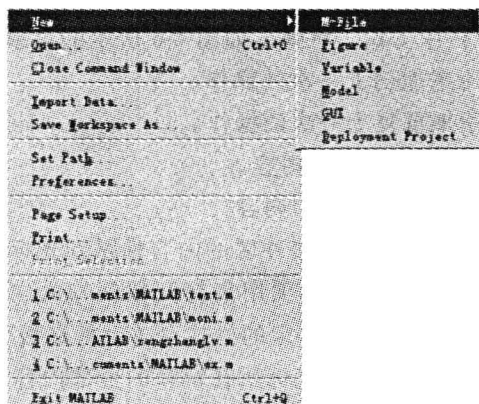


图 1-5 File 菜单



- ◇ New 选项包括 M-File, Figure, Variable, Model, GUI 和 Deployment Project 这 6 个选项。单击 M-File 选项打开 M 文件编辑器；单击 Figure 选项打开一个空白的图形窗口；单击 Variable 选项打开工作空间的窗口；单击 Model 选项打开创建新模型的窗口；单击 GUI 选项打开图形用户界面对话框；单击 Deployment Project 选项新建一个工程。
- ◇ Open... 选项用来打开 Open 对话框，用户可以在对话框中选择想要打开的文件，MATLAB 将用相应的编辑器来打开此文件。
- ◇ Close Command Window 选项用来关闭当前的活动窗口。
- ◇ Import Data... 选项用来打开 Import 对话框，在该对话框中用户可以选择相应的数据文件，将此文件中的数据导入工作空间 Workspace 中。
- ◇ Save Workspace As... 选项用来打开一个存储 .mat 文件的对话框，用户将要保存的工作空间命名后进行存储。
- ◇ Set Path... 选项用来打开页面对话框，在该对话框中，用户可以设置页面的布局、页眉和字体等。
- ◇ Preferences... 选项是对初始化窗口大小、字体、键盘属性的设置。
- ◇ Page Setup... 选项用来对页面进行设置。
- ◇ Print... 选项用来设置打印参数、打印页面内容等。
- ◇ Print Selection... 选项用来打印命令窗口内选定的内容。打印方法是先选定命令窗口中要打印的内容，然后单击该选项，打开“打印”对话框，确定打印参数后进行打印。
- ◇ Exit MATLAB 选项用来关闭 MATLAB。

(2) 单击菜单栏中 Edit，将弹出如图 1-6 所示的菜单。

- ◇ Undo 选项用来撤销上一次的操作。
- ◇ Redo 选项用来重复上一次的操作。
- ◇ Cut 选项用来剪切选定的内容。
- ◇ Copy 选项用来复制选定的内容。
- ◇ Paste 选项用来将存放在缓冲区的内容粘贴到光标所在处。
- ◇ Paste to Workspace... 选项用来打开数据导入向导，引导用户将存放在缓存区的内容按一特定的格式存放到剪贴板变量中去。
- ◇ Select All 选项用来选定光标所在窗口的全部内容。
- ◇ Delete 选项用来删除选定的内容。
- ◇ Find and Replace... 选项用来打开 Find 对话框，可以在当前命令窗

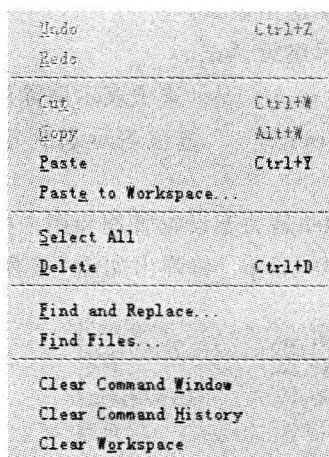


图 1-6 Edit 菜单

口、当前目录或当前目录中 M 文件内查找相应的内容。

- ◇ Find Files... 选项用来查找文件。
- ◇ Clear Command Window 选项用来清除命令窗口中显示的全部内容，但不删除当前工作空间中的变量。
- ◇ Clear Command History 选项用来清除历史命令窗口中显示的全部内容。
- ◇ Clear Workspace 选项用来清除工作空间中的全部内容。

(3) 单击菜单栏中 Debug，将弹出如图 1-7 所示的菜单。

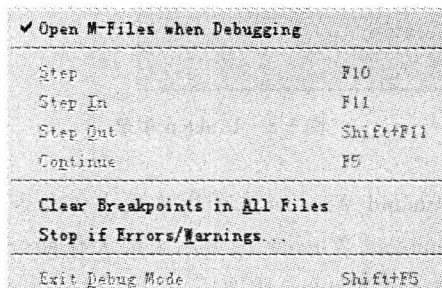


图 1-7 Debug 菜单

- ◇ Open M-Files when Debugging 前打勾说明在调试时打开此 M 文件。
- ◇ Step 选项表示逐个语句进行调试。
- ◇ Step In 选项表示进入下一个语句。



- ◇ Step Out 选项表示退出调试。
 - ◇ Continue 选项表示继续调试。
 - ◇ Clear Breakpoints in All Files 选项表示清除所有文件的断点。
 - ◇ Stop if Errors/Warnings... 选项表示遇到错误和警告断点就停止运行。
- (4) 菜单栏中 Parallel 是关于设置管理和用户中心的。
- (5) 单击菜单栏中 Desktop, 将弹出如图 1-8 所示的菜单。

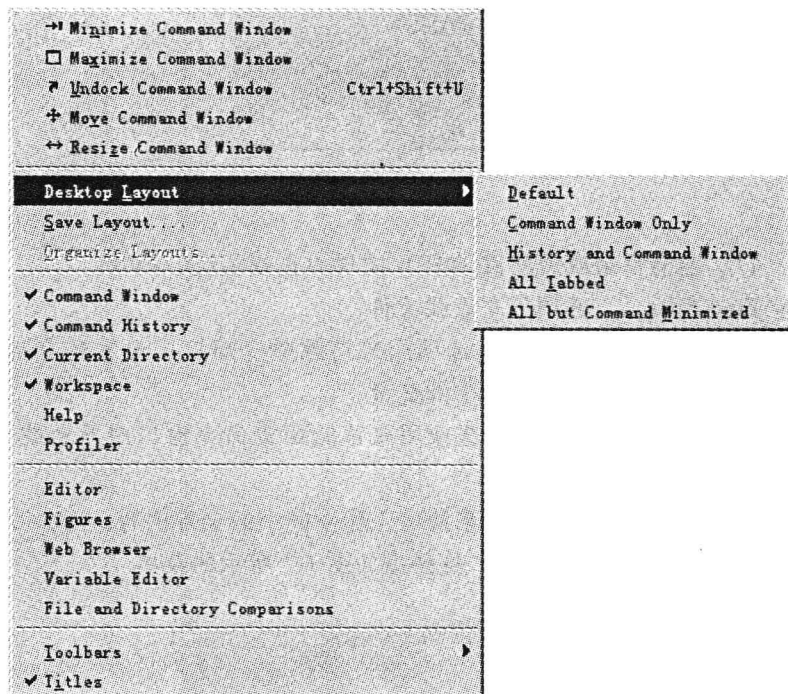


图 1-8 Desktop 菜单

- ◇ Minimize Command Window 选项用来最小化命令窗口。
- ◇ Maximize Command Window 选项用来最大化命令窗口。
- ◇ Undock Command Window 选项用来取消对命令的操作。
- ◇ Move Command Window 选项用来移除窗口命令。
- ◇ Resize Command Window 选项用来重新调整窗口的大小。
- ◇ Desktop Layout... 选项表示窗口布局。它有 5 个菜单项, 分别是 Default (默认布局)、Command Window Only (只显示命令窗口)、History and Command Window (只显示命令窗口和历史命令窗口)、

All Tabbed (同时显示) 和 All but Command Minimized (全部显示但是命令窗口最小化)。

- ◇ Save Layout... 选项表示存储版式。
- ◇ Organize Layouts... 选项表示组织版式, 由用户自定义版面中哪些窗口显示, 哪些窗口不显示。
- ◇ 接下来 6 个可选的窗口复选菜单项是 Command Window (命令窗口)、Command History (历史命令窗口)、Current Directory (当前记录窗口或称为路径)、Workspace (工作空间窗口)、Help (帮助窗口)、Profiler (评述器窗口), 被选中的菜单项就会有一个勾, 被选中的菜单项对应的工具栏或标题将显示。
- ◇ 5 个复选的编辑器菜单、图形、浏览器菜单分别是 Editor (编辑器) 和 Figures (多图形窗口)、Web Browser (网页浏览器)、Variable Editor (变量编辑器) 和 File and Directory Comparisons (文件比较器), 被选中的菜单项左边有一个勾, 被选中的菜单项对应的编辑器、多图形窗口、浏览器将显示出来。
- ◇ 3 个复选的功能菜单分别是 Toolbars (主窗口工具栏)、Shortcuts Toolbars (子窗口工具栏) 和 Titles (子窗口标题), 同样, 被选中的菜单项左边出现一个勾, 被选中的项目将被显示出来。

(6) 单击菜单栏中 Window, 将弹出如图 1-9 所示的菜单。

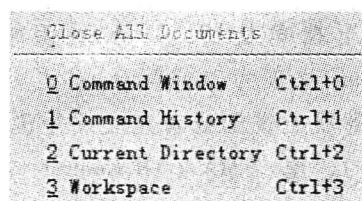


图 1-9 Window 菜单

- ◇ Close All Documents 选项用来关闭所有打开的编辑窗口, 包括 M-File, Figure, Model 和 GUI 窗口。
- ◇ 当某一个窗口被打开时, MATLAB 将自动在 Window 菜单栏生成这个窗口的名称, 并在名称的左边加一个序号, 点击此选项便激活对应的窗口。

(7) 单击菜单栏中 Help, 将弹出如图 1-10 所示的菜单。

- ◇ Product Help 选项打开 MATLAB 系列产品家族的文件。