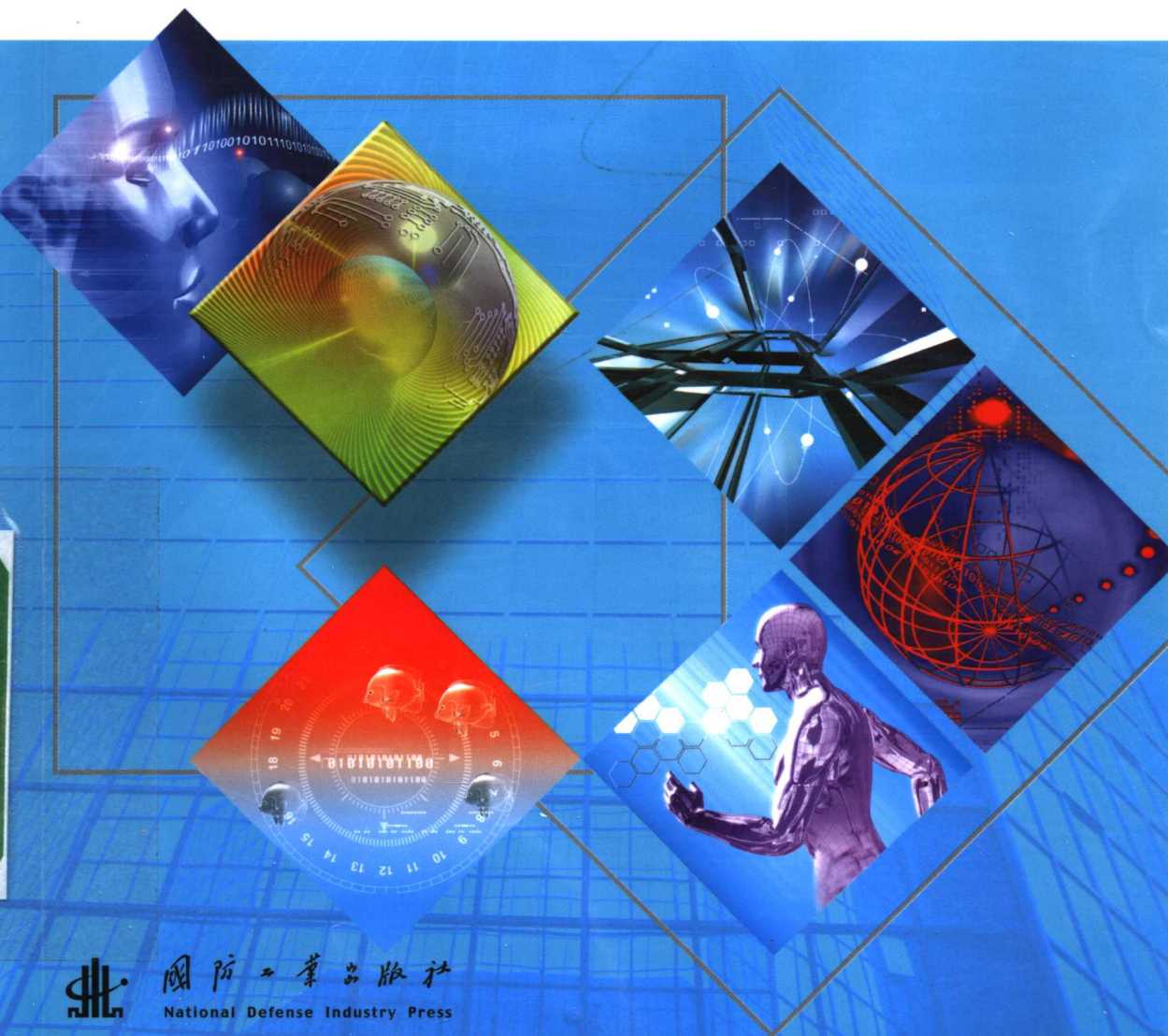


Matlab

Matlab 应用教程丛书

神经网络与应用 (第2版)

董长虹 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TP183/60

2007

Matlab 应用教程丛书

Matlab 神经网络与应用

(第2版)

董长虹 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

Matlab 神经网络与应用/董长虹编著. —2 版. —北京:
国防工业出版社, 2007. 9

(Matlab 应用教程丛书)

ISBN 978 - 7 - 118 - 05303 - 6

I. M... II. 董... III. 神经网络—计算机仿真—计算机
辅助计算—软件包, MATLAB—教材 IV. TP391.75 TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 114531 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 960 1/16 印张 21 字数 397 千字

2007 年 9 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 33.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

前 言

Matlab 语言是由 MATrix 和 LABoratory 两个英文单词的前三个字母组成的,称为“矩阵实验室”。目前,Matlab 已经不仅仅是一个“矩阵实验室”了,它已经成为一种具有广泛应用前景的计算机高级编程语言了。

神经网络理论的应用取得了令人瞩目的发展,特别是在人工智能、自动控制、计算机科学、信息处理、机器人、模式识别、CAD/CAM 等方面都有重大的应用。

神经网络工具箱是 Matlab 环境下开发出来的许多工具箱之一,它以人工神经网络理论为基础,应用 Matlab 语言构造典型神经网络的传递函数,并针对特定的网络结构进行网络设计、学习、训练和仿真。神经网络工具箱中含有丰富的工具箱函数,它们是应用 Matlab 语言编写的各种网络设计与训练的子程序,网络设计者可以根据自己的需要调用工具箱中有关的设计训练仿真程序,从烦琐的编程中解放出来,从而提高了效率。

随着 Matlab 版本的提高,其相应的神经网络工具箱的版本也相应地提高了,与 Matlab 7.2 对应的神经网络工具箱为 NN Toolbox 5.0 版,其内容非常丰富,涵盖了很多现有的神经网络模型。NN Toolbox 5.0 版本比 4.0.2 版

本有了一定的改进。5.0 版本可以支持三种动态神经网络,即时间延迟神经网络、非线性自回归神经网络(NARX)及层循环网络(LRN),神经网络工具箱中的训练函数允许训练任意复杂系统的动态网络;增加了神经网络匹配工具,能够通过数据匹配逐步进行网络设计;提供了新的数据预处理和后续处理功能,包括自动分离数据、对丢失的数据进行编码、常数处理;增加了一系列预处理和后续处理函数等;废弃了一些导数函数,使得计算速度增加,效率提高。

本书共分 11 章:第 1 章为概论,主要介绍 Matlab 和神经网络的一些基础知识;第 2 章主要讲述感知器网络的模型结构、学习规则、网络设计、训练过程以及感知器网络的局限性,给出了一些感知器的设计和应用实例;第 3 章主要讲述线性神经网络的模型结构、学习规则和训练过程,以及线性神经网络的局限性,最后给出线性神经网络的设计以及在预测和系统辨识应用中的几个实例;第 4 章讲述 BP 网络的模型结构、学习规则、训练算法、BP 网络的局限性,探讨一些如改进 BP 网络的设计等扩展性应用问题,给出 BP 网络的设计和系统建模中的应用实例;第 5 章介绍径向基函数网络,描述了径向基函数网络的模型结构以及初始化、学习、训练、仿真过程,并介绍了广义回归神经网络和概率神经网络;第 6 章介绍了反馈型神经网络,叙述了 Hopfield、Elman 网络的学习规则和训练过程,同时给出了反馈网络的应用实例;第 7 章介绍竞争型神经网络,给出了几种联想学习规则,并对自组织竞争网络、自组织特征映射网络、学习矢量量化网络分别加以介绍;第 8 章介绍了神经网络控制系统,对工具箱中特有的神经网络模型预测控制、反馈线性化控制、模型参考控制三个系统逐一加以描述;第 9 章主要就图形用户界面中如何进行网络设计、训练和仿真,以及数据处理,通过具体的实例演示形象地描述出来;第 10 章描述了 Simulink 建模环境、Simulink 神经网络模块,以及神经网络 Simulink 模型设计;第 11 章介绍如何根据定制要求自行设计神经网络以及神经网络函数。书末给出了 Matlab 神经网络工具箱一览表。

本书具有如下特点:

(1) 基础介绍和算例演示并重。本书在对神经网络基础理论描述、神经网络工具箱函数介绍的同时,提供了许多实例,使得读者在边学边练的过程中潜移默化地加深理解,给读者提供正确的、形象的参照样本,减少了读者对于新知识的不确定感。

(2) 统一介绍和重点讲解兼顾。本书以神经网络模型结构的形式分类,逐一介绍了各种神经网络,并就每种神经网络的网络模型结构、学习规则、网络设计、训练、仿真言简意赅地加以描述,但同时又兼顾了神经网络应用普及情况,对某些网络加重了讲解力度。

(3) 形象系统、简单易学。本书以范例为主,图文为辅,通过标准算法和神经网络模型的实例演示,逐步带领读者了解神经网络工具箱。只要是具备一定的神经网络和 Matlab 基础知识的读者均可达到很好的效果,为了照顾不同层次的读者,书中概述性地介绍了一些入门知识。

本书由作者本人独立进行编写,在编写过程中,参阅了大量的国内外书籍、文献。由于作者多年来一直从事神经网络应用方面的研究,并能够熟练应用 Matlab 语言和神经网络工具箱,因此书中的算例程序有一定的可信度。

由于作者的水平有限,书中难免会存在一些不足和错误,欢迎读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月于北京

目 录

第 1 章 神经网络概述	1
1.1 Matlab 7.2 语言简介	1
1.1.1 Matlab 的产生背景及主要产品	1
1.1.2 Matlab 的语言特点	2
1.1.3 Matlab 7.2 的新特点	4
1.2 神经网络的发展和应用	6
1.2.1 神经网络的发展	6
1.2.2 神经网络的研究内容	7
1.2.3 神经网络的应用	8
1.3 神经网络模型	8
1.3.1 生物神经元模型	9
1.3.2 神经元模型	10
1.3.3 神经元网络模型	11
1.4 神经网络工具箱概述	13
第 2 章 感知器	14
2.1 感知器神经网络模型结构	14
2.1.1 神经元模型	14
2.1.2 网络结构	15
2.2 感知器神经网络的构建	16
2.2.1 生成网络	16
2.2.2 网络仿真	17
2.2.3 网络初始化	18

2.3	感知器神经网络的学习和训练	20
2.3.1	学习规则	20
2.3.2	网络训练	22
2.4	感知器网络的局限性	24
2.4.1	标准化感知器学习规则	24
2.4.2	多层感知器	25
2.5	感知器网络设计实例	26
2.5.1	二输入感知器分类问题	26
2.5.2	输入奇异样本对网络训练的影响	28
2.5.3	线性不可分输入量	31
第3章	线性神经网络	33
3.1	线性神经网络模型结构	33
3.1.1	神经元模型	33
3.1.2	网络结构	33
3.2	线性神经网络的构建	34
3.2.1	生成线性神经元	34
3.2.2	线性系统设计	36
3.2.3	线性滤波器	36
3.3	线性神经网络的学习和训练	38
3.3.1	均方误差	38
3.3.2	LMS 算法	38
3.3.3	网络训练	39
3.4	线性网络的局限性	41
3.4.1	超定系统	41
3.4.2	不定系统	44
3.4.3	线性相关向量	47
3.4.4	学习速率过大	49
3.5	线性神经网络应用实例分析	51
3.5.1	应用线性网络进行预测	51
3.5.2	自适应预测	54
3.5.3	线性系统辨识	57
3.5.4	自适应系统辨识	60
第4章	BP 网络	64

4.1	BP 网络模型结构	64
4.1.1	神经元模型	64
4.1.2	前馈型神经网络结构	66
4.2	BP 神经网络的构建	66
4.3	BP 神经网络的训练	67
4.3.1	BP 算法	68
4.3.2	BP 网络批处理训练模式	71
4.4	BP 网络的局限性	91
4.5	BP 网络应用实例分析	92
4.5.1	函数逼近	92
4.5.2	胆固醇含量估计	100
4.5.3	模式识别	106
第 5 章	径向基函数网络	121
5.1	径向基函数网络模型	121
5.1.1	径向基函数神经元模型	121
5.1.2	径向基函数网络的结构	122
5.1.3	径向基函数网络的工作原理	122
5.2	径向基函数网络的构建	123
5.2.1	径向基函数网络的严格设计	123
5.2.2	更有效的径向基函数网络的设计	124
5.3	广义回归神经网络	124
5.3.1	GRNN 网络结构	125
5.3.2	GRNN 网络的工作原理	125
5.3.3	GRNN 网络设计	126
5.4	概率神经网络	126
5.4.1	PNN 网络结构	126
5.4.2	PNN 网络的工作原理	127
5.4.3	概率神经网络的设计	127
5.5	径向基函数网络的应用实例	129
5.5.1	函数逼近	129
5.5.2	散布常数对径向基函数网络设计的影响	132
5.5.3	应用 GRNN 进行函数逼近	137
5.5.4	应用 PNN 进行变量分类	139

第 6 章 反馈型神经网络	144
6.1 Hopfield 网络	144
6.1.1 离散 Hopfield 网络(DHNN)	145
6.1.2 连续 Hopfield 网络(CHNN)	151
6.1.3 Hopfield 网络模型结构	153
6.1.4 Hopfield 网络的设计	154
6.2 Elman 神经网络	155
6.2.1 构建 Elman 网络	156
6.2.2 网络仿真	156
6.2.3 Elman 神经网络训练	157
6.3 反馈网络应用实例分析	158
6.3.1 二神经元的 Hopfield 神经网络设计	158
6.3.2 Hopfield 网络的不稳定性	161
6.3.3 三神经元的 Hopfield 神经网络设计	164
6.3.4 应用 Elman 网络进行振幅检测	167
第 7 章 竞争型神经网络	173
7.1 自组织竞争神经网络	174
7.1.1 几种联想学习规则	174
7.1.2 自组织竞争神经网络的结构	180
7.1.3 自组织竞争神经网络的设计	181
7.2 自组织特征映射神经网络	185
7.2.1 SOFM 网络模型	185
7.2.2 SOFM 网络结构	194
7.2.3 SOFM 的构建	195
7.2.4 SOFM 网络的训练	196
7.3 学习向量量化神经网络	200
7.3.1 LVQ 网络结构	200
7.3.2 LVQ 网络建立	200
7.3.3 LVQ 网络学习和训练	203
7.4 实例分析	206
7.4.1 自组织竞争网络在模式分类中的应用	206
7.4.2 一维自组织特征映射网络设计	209
7.4.3 二维自组织特征映射网络设计	211
7.4.4 LVQ 模式分类网络设计	214

第 8 章 神经网络控制系统	218
8.1 神经网络模型预测控制	218
8.1.1 系统辨识	219
8.1.2 预测控制	219
8.1.3 神经网络模型预测控制器实例分析	220
8.2 NARMA-L2(反馈线性化)控制	226
8.2.1 NARMA-L2 模型辨识	226
8.2.2 NARMA-L2 控制器	228
8.2.3 NARMA-L2 控制器实例分析	229
8.3 模型参考控制	233
8.3.1 模型参考控制理论	233
8.3.2 模型参考控制实例分析	234
第 9 章 图形用户界面	240
9.1 网络的创建	240
9.1.1 设置输入和期望输出	240
9.1.2 网络生成	243
9.2 网络的训练仿真	246
9.2.1 网络训练	246
9.2.2 网络仿真	248
9.3 GUI 的数据处理	250
9.3.1 GUI 导出数据到 Matlab 工作空间	250
9.3.2 GUI 的数据清除	252
9.3.3 GUI 从 Matlab 工作空间导入数据	252
9.3.4 GUI 数据文件的存取	253
第 10 章 Simulink	257
10.1 Simulink 交互式仿真集成环境	257
10.1.1 Simulink 模型的创建	258
10.1.2 Simulink 仿真	260
10.1.3 Simulink 简单实例演示	262
10.2 Simulink 神经网络模块	265
10.2.1 传递函数模块	266
10.2.2 网络输入模块	267
10.2.3 权值设置模块	267

10.2.4	控制系统模块	268
10.3	神经网络 Simulink 模型设计	268
10.3.1	模型构建	269
10.3.2	模型仿真	272
10.3.3	进一步试验	272
第 11 章	自定义神经网络	275
11.1	自定义网络	275
11.1.1	定制网络	276
11.1.2	网络设计	276
11.1.3	网络训练	285
11.2	自定义函数	288
11.2.1	仿真函数	289
11.2.2	初始化函数	302
11.2.3	学习函数	304
11.2.4	自组织映射函数	311
附录	神经网络工具箱函数	315
参考文献		323

第 1 章 神经网络概述

神经网络特有的非线性适应性信息处理能力,克服了传统人工智能方法对于直觉的缺陷,使之在神经专家系统、模式识别、智能控制、组合优化、预测等领域得到成功应用。神经网络与其他传统方法相结合,将推动人工智能和信息处理技术不断发展。近年来,神经网络在模拟人类认知的道路上更加深入发展,并与模糊系统、遗传算法、进化机制等结合,形成计算智能,成为人工智能的一个重要方向。

应用 Matlab 语言构造典型神经网络的激活传递函数,编写各种网络设计与训练的子程序,网络的设计者可以根据需要调用工具箱中有关神经网络的设计训练程序,使自己能够从烦琐的编程中解脱出来。

本章主要介绍 Matlab 语言和神经网络,包括 Matlab 7.2 语言简介、神经网络的发展和应用、神经网络模型。

1.1 Matlab 7.2 语言简介

Matlab 语言是一种非常强大的工程语言,本节主要对该语言进行简单的介绍,包括 Matlab 的产生背景及主要产品、Matlab 的语言特点,以及 Matlab 7.2 所具有的新特点等。

1.1.1 Matlab 的产生背景及主要产品

Matlab 语言的首创者 Cleve Moler 教授在数值分析,特别是在数值线性代数领域中很有影响,他参与编写了数值分析领域中一些著名的著作和两个重要的 Fortran 程序:EISPACK 和 LINPACK。他曾在密西根大学、斯坦福大学和新墨西哥大学任数学与计算机科学教授。1980 年前后,当他在讲授线性代数课程时,发现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)。这一软件利用了当时数值线性代数领域最高水平的 EISPACK 和 LINPACK 两大软件包中可靠的子程序,并用 Fortran 语言编写了集命令翻译、科学计算于一身的交互式软件系统。

所谓交互式语言,是指人们给出一条命令,立即就可以得出该命令的结果。该语言无须像 C 和 Fortran 语言那样,首先要求使用者编写源程序,然后对之进行编译、连接,最终形成可执行文件。早期的 Matlab 是用 Fortran 语言编写的,只能作

矩阵运算;绘图也只能用极其原始的方法,即用星号描点的形式画图;内部函数也只提供了几十个。但即使当时的功能十分简单,当它作为免费软件出现以后,还是吸引了大批的使用者。

Cleve Moler 和 John Little 等人成立了 MathWorks 公司, Cleve Moler 一直任该公司的首席科学家。该公司于 1984 年推出了第一个 Matlab 商业版本。当时的版本已经用 C 语言作了完全的改写,又增添了丰富多彩的图形图像处理、多媒体功能、符号运算及与其他软件的接口功能,使得 Matlab 的功能越来越强大。

MathWorks 公司于 1992 年推出了具有划时代意义的 Matlab 4.0 版本,并于 1993 年推出了其微机版,可以配合 Microsoft Windows 一起使用,使之应用范围更为广泛。1994 年推出的 4.2 版本扩充了 4.0 版本的功能,尤其在图形界面设计方面更提供了新的方法。1997 年推出的 Matlab 5.0 版本允许了更多的数据结构,如单元数据、数据结构体、多维矩阵、对象与类等,使其成为一种更方便编程的语言。1999 年初推出的 Matlab 5.3 版本在很多方面又进一步改进了 Matlab 语言的功能。2000 年 10 月底推出了 Matlab 6.0 正式版本,在核心数值算法、界面设计、外部接口、应用桌面等诸多方面都有了极大的改进。2002 年 8 月, Matlab 6.5 开始发布了, Matlab 6.5 的特点在于其全新的桌面及各种不同领域的集成工具,使用户易于使用。2003 年推出了 Matlab 6.5.1 正式版,改造了 MEX 文件格式以及动态链接库界面的方程和数据名称。2004 年 6 月 Matlab 7.0 的第一版推出了,经过近两年的改进, Matlab 7.2(即 Matlab 2006a)于 2006 年 3 月面世。每一次版本的推出都使 Matlab 有很大的进步,界面越来越友好,内容越来越丰富,功能越来越强大。

虽然 Matlab 语言是由计算数学专家倡导并开发的,但其普及和发展离不开自动控制领域学者的贡献。甚至可以说, Matlab 语言是自动控制领域学者和工程技术人员捧红的,因为在 Matlab 语言的发展进程中,许多有代表性的成就和控制界的要求与贡献是分不开的。迄今为止,大多数工具箱也都是控制方面的。Matlab 具有强大的数学运算能力、方便实用的绘图功能及语言的高度集成性,它在其他科学与工程领域的应用也是越来越广,并且有着更广阔的应用前景和无穷无尽的潜能。

1.1.2 Matlab 的语言特点

Matlab 语言具有不同于其他高级语言的特点,被称为“第四代”计算机语言。与第三代计算机语言如 Fortran 语言和 C 语言等一样, Matlab 语言使人们从烦琐的程序代码中解放出来。其丰富的函数使开发者无须重复编程,只要简单地调用和使用即可。下面逐一介绍 Matlab 语言的主要特点。

编程效率高

Matlab 是一种面向科学与工程计算的高级语言,允许用数学形式的语言编写程序,且比 Fortran 和 C 语言更加接近书写计算公式的思维方式,用 Matlab 语言编程犹如在演算纸上排列出公式和求解问题。因此,Matlab 语言也可通俗地称为“演算纸式”科学算法语言。由于它编写简单,所以编程效率高,易学易懂。

用户使用方便

人们用任何一种语言编写程序和调试程序时一般都要经过四个步骤:编辑、编译、连接及执行和调试。各个步骤之间是顺序关系,编程的过程就是在它们之间作瀑布型的循环。Matlab 语言与其他语言相比,较好地解决了上述问题,将编辑、编译、连接和执行融为一体。它能在同一画面上进行灵活操作,快速排除输入程序中的书写错误、语法错误及语义错误,从而加快了用户编写、修改和调试程序的速度,可以说在编程和调试过程中它是一种比 VB 还要简单的语言。

具体地说,Matlab 运行时,如直接在命令行输入 Matlab 语句,包括调用 M 文件的语句,就立即对其进行处理,完成编译、连接和运行的全过程。又如,将 Matlab 源程序编辑为 M 文件,由于 Matlab 磁盘文件也是 M 文件,所以编辑后的原文件就可直接运行,而不需进行编译和连接。在运行 M 文件时,如果有错,计算机屏幕上会给出详细的出错信息,用户经修改后再执行,直到正确为止。可以说,Matlab 语言不仅是一种语言,而且广义上是一种语言开发系统,即语言调试系统。

扩充能力强,交互性好

高版本的 Matlab 语言具有丰富的库函数,在进行复杂的数学运算时可以直接调用,而且 Matlab 的库函数与用户文件在形式上一样,所以用户文件也可作为 Matlab 的库函数来调用。因而,用户可以根据自己的需要方便地建立和扩充新的库函数,以便提高 Matlab 的使用效率。另外,为了充分利用 Fortran、C 等语言的资源,包括用户已编好的 Fortran、C 语言程序,方便地调用有关 Fortran、C 语言的子程序;还可以在 C 语言和 Fortran 语言中方便地使用 Matlab 的数值计算功能,这样良好的交互性使程序员可以使用以前编写过的程序,以减少重复性工作,也使现在编写的程序具有重复利用的价值。

移植性和开放性都很好

Matlab 是用 C 语言编写的,且 C 语言的可移植性很好,因此 Matlab 可以很方便地移植到可运行 C 语言的操作平台上。Matlab 适合的工作平台有 Windows 系列、Unix、Linux、VMS6.1、PowerMac。除了内部函数外,Matlab 所有的核心文件和工

具箱文件都是公开的,都是可读可写的源文件,用户可以通过对源文件的修改和自己编程建成新的工具箱。

语句简单、内涵丰富

Matlab 语言中最基本的成分是函数,函数一般由变量名、输入变量和输出变量组成。同一个函数名,不同数目的输入变量及不同数目的输出变量,代表着不同的含义。这不仅使 Matlab 的库函数功能更丰富,而且大大减小了需要的磁盘空间,使得 Matlab 编写的 M 文件简单、短小而高效。

高效方便的矩阵和数组运算

与 Basic、Fortran、C 语言一样,Matlab 语言规定了矩阵的算术运算符号、关系运算符号、逻辑运算符号、条件运算符号及赋值运算符号,而且这些运算符号大部分都可以应用于数组间的运算。另外,它不需定义数组的维数,可提供矩阵函数、特殊矩阵专门的库函数,使之在求解诸如信号处理、建模、系统识别、控制、优化等领域的问题时,显得大为简捷、高效、方便,这是其他高级语言不能比拟的。在此基础上,高版本的 Matlab 已逐步扩展到科学及工程计算的其他领域。因此,不久的将来,它一定能名副其实地成为“万能演算式”科学算法语言。

方便的绘图功能

图形和可视化是当代应用软件发展的主要方向。随着 Matlab 版本的不断提高,Matlab 的图形功能也越来越强。人们很难从一大堆原始离散数据中感受到它们的含义,但数据图形恰使人们直接感受到数据的许多内在本质。因此,数据可视化是人们研究科学、认识世界不可缺少的手段。

Matlab 的绘图十分方便,它有一系列绘图函数,例如线性坐标、对数坐标、半对数坐标及极坐标。用户只需调用不同的绘图函数,在图上标出图题、XY 轴标注,格(栅)绘制也只需调用相应的命令,简单易行。另外,在调用绘图函数时,调整自变量可绘出不变颜色的点、线、复线或多重线。

1.1.3 Matlab 7.2 的新特点

Matlab 7.2(2006a)于3月1日正式发布,并在3月3日开始对客户出货。在 Matlab R2006a 中(Matlab 7.2, Simulink 6.4),主要更新了10个产品模块、增加了多达350个新特性、增加了对64位 Windows 的支持,并新推出了.net 工具箱。

作为和 Mathematica、Maple 并列的三大数学软件,其强项就是其强大的矩阵计算以及仿真能力。要知道 Matlab 的由来就是 Matrix + Laboratory = Matlab,所以这个软件在国内也被称做“矩阵实验室”。每次 MathWorks 发布 Matlab 的同时也会

发布仿真工具 Simulink。在欧美,很多大公司在将产品投入实际使用之前都会进行仿真试验,他们主要使用的仿真软件就是 Simulink。Matlab 提供了自己的编译器:全面兼容 C++ 以及 Fortran 两大语言。所以 Matlab 是工程师,科研工作者手上最好的语言,最好的工具和环境。Matlab 已经成为广大科研人员最值得信赖的助手和朋友。

Matlab 7.2 这次的升级做了重大的增强,也升级了以下各版本,提供了 Matlab,Simulink 的升级以及其他最新模块的升级。Matlab 7.2 版本不仅仅提高了产品质量,同时也提供了用于数据分析、大规模建模、固定点开发、编码等的新特征。

Matlab 7.2 主要更新的产品模块为:

Control System Toolbox 7

Embedded Target for TI C2000(tm) DSP 2

Embedded Target for TI C6000(tm) DSP 2

Financial Toolbox 3

Link for ModelSim(r) 2

MTALAB Report Generator 3

Neural Network Toolbox 5

Simulink Control Design 2

Simulink Report Generator 3

Simulink Response Optimization 3

Matlab 7.2 新版本中,推出了下面三个新产品:

MATLAB Builder for .net

SimBiology(R14 SP3)

SimEvents(R14 SP3)

其中 Matlab Builder for .net 扩展了 Matlab Compiler 的功能,主要有:

(1) 可以打包 Matlab 函数,使网络程序员可以通过 C、VB、.net 等语言访问这些函数。

(2) 创建组件来保持 Matlab 的灵活性。

(3) 创建 COM 组件。

(4) 将源自 Matlab 函数的错误作为一个标准的管理异常来处理。

Matlab 7.2 版本中,产品模块进行了一些调整,Matlab Builder for COM 的功能集成到 Matlab Builder for .net 中,Financial Time Series Toolbox 的功能集成到 Financial Toolbox 中。Matlab 将高性能的数值计算和可视化集成在一起,并提供了大量的内置函数,从而被广泛地应用于科学计算、控制系统、信息处理等领域的分析、仿真和设计工作中,而且利用 Matlab 产品的开放式结构,可以非常容易地对 Matlab 的功能进行扩充,从而在不断深化对问题认识的同时,不断完善 Matlab 产品,以提高产品自身的竞争能力。