

MATLAB应用技术

MATLAB 6.5

辅助神经网络分析与设计

飞思科技产品研发中心

编著

MATLAB



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

MATLAB应用技术

MATLAB 6.5

辅助神经网络 分析与设计

飞思科技产品研发中心

编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

本书是在 MATLAB 6.5 的神经网络工具箱 v4.0.2 基础上编写的。全书共 13 章, 首先简要介绍了神经网络的发展及基本理论, 包括前向型神经网络、反馈型神经网络、自组织与学习向量化神经网络和神经网络控制等方面的内容; 接着对神经网络工具箱函数进行了介绍, 在前向型神经网络设计、反馈神经网络设计、自组织与 LVQ 网络应用设计等方面列举了大量实例, 并进行分析设计; 最后对图形用户接口、SIMULINK、神经网络控制设计和定制网络等高级应用也举例进行了讲解。书中实例的源代码可至飞思在线 <http://www.fecit.com.cn> 下载。

本书内容广泛、结构清晰、例证丰富, 可供神经网络方面的教师、研究生、高年级本科生和广大科研人员做参考书用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 6.5 辅助神经网络分析与设计 / 飞思科技产品研发中心编著. 北京: 电子工业出版社, 2003.1
(MATLAB 应用技术)
ISBN 7-5053-8116-4

I .M... II. 飞... III. 人工神经元网络—计算机辅助计算—软件包, MATLAB 6.5 IV.TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 085831 号

责任编辑: 郭晶 杨章玉

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21 字数: 537.6 千字

版 次: 2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077

关于本丛书

随着计算机性能的不断提高,人们发现工程上的许多问题可以通过计算机强大的计算功能来辅助完成。如此一来, MATLAB 软件强大的数值运算核心开始被关注。经过近 20 年的发展, MATLAB 的核心被进一步完善和强化,同时许多工程领域的专业人员也开始用 MATLAB 构造本领域的专门辅助工具,这些工具后来便发展为 MATLAB 的各种工具箱。特别值得一提的是, MATLAB 是一种开放式的软件,任何人经过一定的程序都可以将自己开发的优秀的应用程序集加入到 MATLAB 工具的行列。这样,许多领域前沿的研究者和科学家都可以将自己的成果集成到 MATLAB 之中,被全人类继承和利用。因此,我们现在看到的 MATLAB 才会如此强大和丰富。

MATLAB 强大的功能在于它的开放式的可扩展环境以及诸多的面向不同应用领域的工具箱 (Toolbox),它包括信号处理工具箱 (signal processing toolbox)、图像处理工具箱 (image processing toolbox)、通信工具箱 (communications toolbox)、小波分析工具箱 (wavelet toolbox)、系统辨识工具箱 (system identification)、优化工具箱 (optimization toolbox)、控制系统工具箱 (control system toolbox)、鲁棒控制工具箱 (robust control toolbox)、非线性控制工具箱 (nonlinear control toolbox) 等,而且工具箱现在还在不断地扩展。

然而,目前国内图书市场上有关 MATLAB 方面的书籍要么侧重于 MATLAB 语言编程介绍,要么侧重于各种工具箱函数的解说,而对怎样应用工具箱函数来解决实际问题鲜有涉及,致使大多数读者面临熟悉 MATLAB 工具箱函数,但不会用来解决实际问题的尴尬局面。针对这种现状,电子工业出版社计算机研发部特意推出了《MATLAB 应用技术》丛书,希望能为读者在 MATLAB 软件工具箱和工程实际问题之间架起一座桥梁,帮助读者提高使用 MATLAB 工具箱分析问题、解决问题的能力。

本丛书主要面向于工程应用及实际问题的解决。通过大量的示例和具体应用实例来讲解一些复杂理论的应用,使读者不必详细了解这些复杂的理论而能够达到使用 MATLAB 提供的方法在工程实际中使用和实现那些复杂的理论。本丛书试图通过简单快速的方法使读者能够通过运用 MATLAB 来解决工程上的实际问题,避免去深究一些复杂的具体理论,通过对大量的实例分析和说明让读者掌握如何去使用 MATLAB 这门辅助工程设计工具,以及在具体问题中怎样来使用 MATLAB 进行分析和辅助设计。

丛书侧重于 MATLAB 在工程领域的具体应用,涉及了科学计算、数字信号处理、小波分析、神经网络、图像处理、MATLAB 与 VC 接口等领域,涵盖面之广,可谓空前。

本丛书的编写宗旨是:充分、详尽地介绍当今 MATLAB 最新版本(即 6.5 版)的各种通用性功能。各章节在介绍 MATLAB 各种指令综合运用时都尽量加插了不少的例子,较好地弥补了 MATLAB 用户指南和在线帮助的不足。

书中对于 MATLAB 基本编程语言及一些矩阵运算的知识基本不予介绍,读者在使用本书前应当有最基本的 MATLAB 矩阵运算和简单编程语句的知识,以及一些相关专业的

基本知识。

关于本书

神经网络工具箱是 MATLAB 环境下所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，用 MATLAB 语言构造出典型神经网络的激活函数，如 S 型、线性、竞争层、饱和线性等激活函数，使设计者对所选定网络输出的计算，变成对激活函数的调用。另外，根据各种典型的修正网络权值的规则，加上网络的训练过程，用 MATLAB 编写出各种网络设计与训练的子程序，网络的设计者则可以根据自己的需要去调用工具箱中有关神经网络的设计训练程序，使自己能够从繁琐的编程中解脱出来，集中精力去思考问题和解决问题，从而提高工作效率和解题质量。

2002 年 8 月底，MathWorks 公司推出了其全新的 MATLAB 6.5 正式版（Release 13）。R13 许多新特性的增加，使其超出了一般概念上的升级。当前，如何应用神经网络工具箱函数解决工程实践中的问题已成为燃眉之急，我们根据多年来从事神经网络系统设计和 MATLAB 使用经验编写了本书。除了详细介绍各个工具箱函数之外，着重讲解了利用 MATLAB 进行神经网络系统分析与设计的大量实例。因此，本书对神经网络方面的教师、研究生、高年级本科生和广大科研人员都有重要的参考价值。

本书是在 MATLAB 6.5 的神经网络工具箱 v4.0.2 基础上编写的，与 MATLAB5.x 相比，MATLAB 6.5 增添了许多新的函数和功能，在本书中均有相应的体现。本书首先介绍了神经网络的基本理论，然后详细介绍了各个工具箱函数，并使用大量实例着重介绍了利用 MATLAB 6.5 进行神经网络系统分析与设计的方法。为了查阅方便，本书最后给出了具有重要参考价值的附录。书中实例的源代码可至飞思在线 <http://www.fecit.com.cn> 下载。

本书由飞思科技产品研发中心策划并组织编写，柳林、杨竹青主笔，具体分工为：杨竹青负责理论部分的编写，柳林负责应用及例程分析部分的编写；由柳林负责全书的统稿工作；另外还有很多同志在本书的排版、校对过程中付出了大量的劳动，在此一并致谢！

由于时间仓促及作者本身水平有限，书中错误之处在所难免，敬请各位专家和广大读者批评指正！

我们的联系方式：

电 话：(010) 68134545 68131648

电子邮件：support@fecit.com.cn

飞思在线：<http://www.fecit.com.cn> <http://www.fecit.net>

勘误网址：<http://www.fecit.com.cn/question.htm>

通用网址：计算机图书、飞思、飞思教育、飞思科技、FECIT

飞思科技产品研发中心

第 1 章 神经网络概述	1
1.1 MATLAB 6.5 语言简介	1
1.1.1 MATLAB 的产生背景及主要产品	1
1.1.2 MATLAB 语言特点	3
1.1.3 MATLAB 6.5 的新特点	4
1.2 神经网络发展史	6
1.3 神经网络模型	9
1.3.1 生物神经元模型	9
1.3.2 神经元模型	9
1.3.3 神经网络模型	11
1.4 人工神经网络的特性	11
第 2 章 神经网络工具箱函数及实例	13
2.1 神经网络工具箱概述	13
2.2 感知器的神经网络工具箱函数	14
2.2.1 MATLAB 6.5 中有关感知器的工具箱函数	14
2.2.2 工具箱函数详解	15
2.3 BP 网络的神经网络工具箱函数	21
2.3.1 MATLAB 6.5 中有关 BP 网络的重要函数	21
2.3.2 工具箱函数详解	22
2.4 线性网络的神经网络工具箱函数	32
2.4.1 MATLAB 6.5 中有关线性网络的工具箱函数	32
2.4.2 工具箱函数详解	33
2.5 自组织竞争网络工具箱函数	36
2.5.1 MATLAB 6.5 中有关自组织网络的工具箱函数	36
2.5.2 工具箱函数详解	37
2.6 径向基神经网络工具箱函数	50
2.7 回归网络的神经网络工具箱函数	55
2.7.1 Hopfield 神经网络的工具箱函数	55
2.7.2 Elman 神经网络的工具箱函数	57
第 3 章 前向型神经网络理论及实例	59
3.1 感知器网络	59
3.1.1 感知器模型	59
3.1.2 感知器神经元的网络结构	61
3.1.3 感知器神经网络的初始化	62

3.1.4	感知器神经网络的学习规则	62
3.1.5	感知器神经网络的训练	63
3.1.6	感知器的局限性	63
3.1.7	多层感知器	64
3.2	BP 网络	64
3.2.1	BP 网络结构	65
3.2.2	BP 算法的数学描述	66
3.2.3	BP 网络中的神经元模型	68
3.2.4	BP 网络的训练过程	68
3.2.5	BP 算法的改进	69
3.3	线性神经网络	69
3.3.1	线性神经元模型	70
3.3.2	线性神经网络的模型	71
3.3.3	线性网络的初始化	71
3.3.4	线性网络的学习规则	71
3.3.5	线性网络的训练	72
3.4	径向基函数网络	72
3.4.1	径向基函数网络模型	73
3.4.2	基函数的形式	73
3.4.3	RBF 学习过程	74
3.5	GMDH 网络	74
第 4 章	前向型神经网络设计分析	77
4.1	引言	77
4.2	感知器神经网络设计	78
4.2.1	问题描述	78
4.2.2	网络初始化	79
4.2.3	网络训练	79
4.2.4	神经网络性能测试	80
4.2.5	结论及讨论	82
4.3	利用线性网络进行信号预测	86
4.3.1	问题描述	86
4.3.2	网络设计	87
4.3.3	测试网络	88
4.3.4	结论	90
4.4	自适应预测	90
4.4.1	问题描述	90
4.4.2	网络初始化	91
4.4.3	网络训练	92

4.4.4	网络性能测试	92
4.4.5	结论	94
4.5	线性系统辨识	94
4.5.1	问题描述	94
4.5.2	建立网络	96
4.5.3	测试网络	96
4.5.4	结论	98
4.6	自适应系统辨识	98
4.6.1	问题描述	98
4.6.2	网络的建立	100
4.6.3	网络训练	100
4.6.4	网络测试	100
4.6.5	结论	102
4.7	函数逼近	103
4.7.1	问题描述	103
4.7.2	网络建立	104
4.7.3	网络训练	105
4.7.4	网络测试	105
4.7.5	讨论	106
4.8	胆固醇含量估计	107
4.8.1	问题描述	107
4.8.2	建立网络	108
4.8.3	网络训练	108
4.8.4	分析及讨论	109
4.8.5	结论	113
4.9	特征识别	113
4.9.1	问题描述	113
4.9.2	神经元网络	114
4.9.3	系统性能评估	121
4.9.4	结论	126
4.10	径向基函数网络设计	126
4.10.1	问题描述	127
4.10.2	网络的建立	128
4.10.3	仿真网络	129
4.10.4	结论	131
第 5 章	反馈型神经网络理论及实例	133
5.1	Elman 神经网络	134
5.2	Hopfield 神经网络	134

5.2.1	Hopfield 神经网络的演变过程	134
5.2.2	离散型 Hopfield 神经网络 (DHNN)	135
5.2.3	连续型 Hopfield 神经网络	137
5.3	CG 网络模型	140
5.4	盒中脑 (BSB) 模型	140
5.5	双向联想记忆 (BAM)	141
5.6	回归 BP 网络	142
5.7	Boltzmann 机网络	143
第 6 章	反馈型神经网络设计分析	145
6.1	引言	145
6.2	振幅检测	145
6.2.1	问题描述	146
6.2.2	网络初始化	147
6.2.3	网络训练	147
6.2.4	网络测试	149
6.2.5	网络的推广应用及完善	150
6.3	两神经元的 Hopfield 神经网络设计	151
6.3.1	问题描述	151
6.3.2	建立网络	152
6.3.3	网络的测试	153
6.4	三神经元的 Hopfield 神经网络设计	157
6.4.1	问题描述	157
6.4.2	建立网络	158
6.4.3	网络的测试	159
第 7 章	自组织与 LVQ 神经网络理论及实例	165
7.1	自组织竞争网络	165
7.1.1	自组织竞争网络的形成	165
7.1.2	自组织竞争网络的基本思想	166
7.1.3	两种联想学习规则	166
7.1.4	基本竞争型人工神经网络	167
7.2	自组织特征映射神经网络	169
7.2.1	自组织特征映射网络的结构	169
7.2.2	自组织特征映射的算法	169
7.2.3	自组织特征映射网络的学习及工作规则	170
7.3	自适应共振理论 (ART)	173
7.4	CPN 模型	175

第 8 章 自组织与 LVQ 神经网络应用设计分析	177
8.1 引言	177
8.2 自组织竞争网络在模式分类中的应用	178
8.2.1 问题描述	178
8.2.2 网络建立	179
8.2.3 网络训练	180
8.2.4 网络测试与使用	181
8.2.5 小结	181
8.3 二维自组织特征映射网络设计	183
8.3.1 问题描述	183
8.3.2 网络建立	184
8.3.3 网络训练	185
8.3.4 网络测试与应用	186
8.4 LVQ 模式分类网络设计	187
8.4.1 问题描述	188
8.4.2 网络建立	188
8.4.3 网络训练	189
8.4.4 网络测试及使用	190
8.4.5 结论	190
第 9 章 神经控制器结构分析	193
9.1 NN 学习控制	193
9.2 NN 直接逆模型控制	194
9.3 NN 自适应控制	194
9.3.1 NN 自校正控制 (STC)	195
9.3.2 NN 模型参考自适应控制	196
9.4 NN 内模控制	197
9.5 NN 预测控制	197
9.6 NN 自适应判断控制	198
9.7 基于 CMAC 的控制	199
9.8 多层 NN 控制	200
9.9 分级 NN 控制	202
第 10 章 神经网络控制理论及应用设计	205
10.1 模型预测控制理论	205
10.1.1 系统辨识	206
10.1.2 模型预测	206
10.2 模型预测控制实例分析	207
10.2.1 问题的描述	207

10.2.2	建立模型	208
10.2.3	系统辨识	210
10.2.4	系统仿真	213
10.3	反馈线性化控制理论	214
10.3.1	辨识 NARMA-L2 模型	214
10.3.2	NARMA-L2 控制器	215
10.4	NARMA-L2 (反馈线性化) 控制实例分析	216
10.4.1	问题的描述	216
10.4.2	建立模型	217
10.4.3	系统辨识	218
10.4.4	系统仿真	220
10.5	模型参考控制理论	221
10.6	模型参考控制实例分析	222
10.6.1	问题的描述	222
10.6.2	模型的建立	223
10.6.3	系统辨识	224
10.6.4	系统仿真	226
10.7	总结	226
第 11 章	图形用户接口 GUI	229
11.1	引言	229
11.2	建立网络	229
11.2.1	输入和目标	230
11.2.2	建立网络	232
11.3	训练网络	233
11.3.1	训练网络	234
11.3.2	仿真网络	235
11.4	将数据导出到命令行工作空间中	236
11.5	清除数据	237
11.6	从命令行工作空间中导入数据	237
11.7	变量存盘与读取	238
第 12 章	SIMULINK	241
12.1	模块的设置	241
12.1.1	传递函数模块	241
12.1.2	网络输入模块	242
12.1.3	权重模块	242
12.1.4	控制系统模块	243
12.2	模块的生成	243

第 13 章 高级话题	247
13.1 定制网络	247
13.1.1 定制网络	248
13.1.2 网络定义	248
13.1.3 网络行为	260
13.2 附加的工具箱函数	263
13.2.1 初始化函数	263
13.2.2 传递函数	264
13.2.3 学习函数	266
13.3 定制函数	272
13.3.1 仿真函数	273
13.3.2 初始化函数	286
13.3.3 学习函数	289
13.3.4 自组织映射函数	300
附录 A MATLAB 6.5 的其他新特性	305
A.1 SIMULINK 5.0 的新特性	305
A.2 MathWorks Release 13 新产品	305
附录 B MATLAB 6.5 安装问题指南	309
B.1 MATLAB 6.5 为什么安装后不能启动	309
B.2 安装时更新 Java 虚拟机的问题	311
B.3 PDF 文档的获取	311
附录 C MATLAB 神经网络工具箱函数参考	313
C.1 工具箱函数	313
C.2 传递函数图形	320
参考文献	322

第 1 章 神经网络概述

人工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，如模式、语音识别、非结构化信息处理方面的缺陷，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。人工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，人工神经网络正向模拟人类认知的道路上更加深入发展，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，将在实际应用中得到发展。

用 MATLAB 语言构造典型神经网络的激活函数，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自己的需要去调用工具箱中有关神经网络的设计训练程序，使自己能够从繁琐的编程中解脱出来。

本章主要对 MATLAB 语言和神经网络做简要的介绍，已经有这方面基础的读者可以跳过本章的学习。

本章主要内容包括：

- MATLAB 6.5 语言简介
- 神经网络发展史
- 神经网络模型
- 人工神经网络的特性

1.1 MATLAB 6.5 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 6.5 新版本所具有的新特点。

1.1.1 MATLAB 的产生背景及主要产品

MATLAB 诞生于 20 世纪 70 年代，它的编写者是 Cleve Moler 博士和他的同事。当时，Cleve Moler 博士与他的同事开发了 EISPACK 和 LINPACK 的 Fortran 子程序库。这两个程序库主要是求解线性方程的程序库。但是，Cleve Moler 发现学生使用这两个程序库时有困难，主要是接口程序不好写，很费时间。于是 Cleve Moler 自己动手，在业余时间编写了 EISPACK 和 LINPACK 的接口程序。Cleve Moler 给这个接口程序取名为 MATLAB，意为矩阵（MATRIX）和实验室（LABORATORY）的组合。以后几年，MATLAB 作为免费软件在大学里使用，深受大学生的喜爱。

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 的开发。1993 年, MathWorks 公司推出 MATLAB 4.0; 1995 年, MathWorks 公司推出 MATLAB4.2C 版 (For Win3.x); 1997 年推出 MATLAB 5.0, 2000 年 10 月, MathWorks 公司推出 MATLAB 6.0, 2002 年 8 月, 新的版本 MATLAB 6.5 已经开始发布了。每一次版本的推出都使 MATLAB 有长足的进步, 界面越来越友好, 内容越来越丰富, 功能越来越强大。它的帮助信息采用超文本格式和 PDF 格式, 可以很方便地阅读。

MATLAB 长于数值计算, 能处理大量的数据, 而且效率比较高。MathWorks 公司在此基础上开拓了符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力, 增强了 MATLAB 的市场竞争力, 使 MATLAB 成为了市场主流的数值计算软件。

MATLAB 产品族是支持从概念设计、算法开发、建模仿真、实时实现的理想的集成环境。无论是进行科学研究和产品开发, MATLAB 产品族都是必不可少的工具。

MATLAB 产品族可用来进行:

- 数据分析
- 数值和符号计算
- 工程与科学绘图
- 控制系统设计
- 数字图像信号处理
- 财务工程
- 建模、仿真、原型开发
- 应用开发
- 图形用户界面设计

MATLAB 产品族被广泛地应用于包括信号与图像处理、控制系统设计、通信、系统仿真等诸多领域。开放式的结构使 MATLAB 产品族很容易针对特定的需求进行扩充, 从而在不断深化对问题的认识的同时, 提高自身的竞争力。

MATLAB 产品族的一大特性是有众多的面向具体应用的工具箱和仿真块, 包含了完整的函数集用来对信号图像处理、控制系统设计、神经网络等特殊应用进行分析和设计。其他的产品延伸了 MATLAB 的能力, 包括数据采集、报告生成和依靠 MATLAB 语言编程产生独立 C/C++ 代码等。

MATLAB 主要产品构成如下:

- MATLAB 所有 MathWorks 公司产品的数值分析和图形基础环境。MATLAB 将 2D 和 3D 图形、MATLAB 语言能力集成到一个单一的、易学易用的环境之中。
- MATLAB Toolbox 一系列专用的 MATLAB 函数库, 解决特定领域的问题。工具箱是开放的可扩展的: 可以查看其中的算法或开发自己的算法。
- MATLAB Compiler 将 MATLAB 语言编写的 M 文件自动转换成 C 或 C++ 文件, 支持用户进行独立应用开发。结合 Mathworks 提供的 C/C++ 数学库和图形库, 用户可以利用 MATLAB 快速地开发出功能强大的独立应用。
- Simulink 是结合了框图界面和交互仿真能力的非线性动态系统仿真工具。它以 MATLAB 的核心数学、图形和语言为基础。
- Stateflow 与 Simulink 框图模型相结合, 描述复杂事件驱动系统的逻辑行为, 驱

动系统在不同的模式之间进行切换。

- **Real-Time Workshop** 直接从 Simulink 框图自动生成 C 或 Ada 代码, 用于快速原型和硬件在回路仿真, 整个代码生成可以根据需要完全定制。
- **Simulink Blockset** 专门为特定领域设计的 Simulink 功能块的集合, 用户也可以利用已有的块或自编写的 C 和 MATLAB 程序建立自己的块。

1.1.2 MATLAB 语言特点

MATLAB 语言有不同于其他高级语言的特点, 它被称为第四代计算机语言。正如第三代计算机语言如 Fortran 语言与 C 语言等使人们摆脱了对计算机硬件的操作一样, MATLAB 语言使人们从繁琐的程序代码中解放出来。它的丰富的函数使开发者无需重复编程, 只要简单地调用和使用即可。MATLAB 语言最大的特点是简单和直接。MATLAB 语言的主要特点有以下几点。

1. 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 Basic、Fortran 和 C 等语言更加接近我们书写计算公式的思维方式, 用 MATLAB 编写程序犹如在演算纸上排列出公式与求解问题。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。

2. 用户使用方便

MATLAB 语言是一种解释执行的语言 (在没有被专门的工具编译之前), 它灵活、方便, 其调试程序手段丰富, 调试速度快, 需要学习时间少。人们用任何一种语言编写程序和调试程序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做瀑布型的循环。MATLAB 语言与其他语言相比, 较好地解决了上述问题, 把编辑、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、语法错误及语意错误, 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 (命令), 包括调用 M 文件的语句, 每输入一条语句, 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, 所以编辑后的源文件就可直接运行, 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。所以可以说, MATLAB 语言不仅是一种语言, 而且从广义上讲是一种该语言开发系统, 即语言调试系统。

3. 扩充能力强, 交互性好

高版本的 MATLAB 语言有丰富的库函数, 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成上一样, 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 的使用效率和扩充它的功能。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，通过建立 Me 调文件的形式，混合编程，方便地调用有关的 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，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。

4. 移植性和开放性都很好

MATLAB 是用 C 语言编写的，而 C 语言的可移植性很好。于是 MATLAB 可以很方便地移植到能运行 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构成新的工具箱。

5. 语句简单，内涵丰富

MATLAB 语言中最基本最重要的成分是函数，其一般形式为 $[a, b, c, \dots] = \text{fun}(d, e, f, \dots)$ ，即一个函数由函数名、输入变量 $(d, e, f, \dots)$ 和输出变量 $(a, b, c, \dots)$ 组成。同一函数名 F，不同数目的输入变量（包括无输入变量）及不同数目的输出变量，代表着不同的含义（有点像面向对象中的多态性。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。

6. 高效方便的矩阵和数组运算

MATLAB 语言像 Basic、Fortran 和 C 语言一样规定了矩阵的算术运算符、关系运算符、逻辑运算符、条件运算符及赋值运算符，而且这些运算符大部分都可以毫无改变地照搬到数组间的运算，有些如算术运算符只要增加“.”就可用于数组间的运算。另外，它不需定义数组的维数，并给出矩阵函数、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，这是其他高级语言所不能比拟的。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“万能演算纸式的”科学算法语言。

7. 方便的绘图功能

MATLAB 的绘图是十分方便的，它有一系列绘图函数（命令），例如线性坐标、对数坐标、半对数坐标及极坐标，均只需调用不同的绘图函数（命令），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。这种为科学研究着想的设计是通用的编程语言所不及的。

1.1.3 MATLAB 6.5 的新特点

2002 年，MathWorks 公司发布 MATLAB 最新 6.5 版产品。MATLAB 6.5 的特点在于全新的桌面及各种不同领域的集成工具，使用户易于使用。多种新工具简化了一般的工作如资料输入、快速分析，并创造高品质且具实用性的图表分析等。MATLAB 6.5 包含了新

的 JIT 加速度计, JIT 加速度计有力地增加了 MATLAB 中的许多操作和数据类型的计算速度。其他新的特色和加强包括以下三个方面。

1. 编程和数据类型

- (1) 增加了变量名、函数名和文件名的最大长度: 变量名、函数名、子函数名、结构域名、M 文件名、MEX 文件名和 MDL 文件名可以达到 63 个字节;
- (2) 支持 64 位的文件偏移量, 能够为大于 2 GB 的数据文件实现低层次的 I/O 函数;
- (3) 支持有符号和无符号的 64 位整数;
- (4) 支持使用动态域名来访问和修改结构数组;
- (5) 简化了 AND 和 OR 逻辑运算;
- (6) 支持新的 MATLAB 定时器, 而不是定时执行 MATLAB 命令;
- (7) 改进了音频支持;
- (8) 加强了警告和错误提示功能: 新支持格式化的字符串和消息标识符。

2. 外部接口

- (1) 改进了自动化客户接口: 新的查看和修改属性用户接口, 增强了事件和例外句柄;
- (2) 增强了网络集成: 读 URL 的内容, 在 MATLAB 中发送 E-mail, 以及解压缩文件。

3. 开发环境

- (1) 新的 M-文件接口, 能更好地理解 M-代码;
- (2) 新的启动按钮, 易于执行共同的命令;
- (3) 改进了文件和目录管理工具;
- (4) 增强了数组编辑器: 与 Excel 之间剪切、复制、删除和交换单元的新功能, 支持更大的数组;
- (5) 改进了编辑和调试工具;
- (6) 改进与 PC 平台的控制接口;
- (7) 支持新的图形用户接口, 从 HDF 或 HDF-EOS 文件导入数据;
- (8) JVM1.3.1 支持 Windows, Linux 和 Solaris 平台。

4. 图形

提高了图形性能: 新的彩色图形编辑器; 改进了图形特性编辑器。

5. 数学

- (1) 新的数学计算和算法改进;
 - (2) 在 Pentium4 上更快地计算许多函数, 比如矩阵乘法、矩阵转置和线性代数运算;
- 特别指出的是, 许多新特色并不是适合于所有的平台。