

MATLAB应用技术

MATLAB 6.5

辅助小波分析与应用

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>

6349.87

MATLAB应用技术

MATLAB 6.5

辅助小波分析与应用

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

内容简介

本书是作者总结多年研究小波分析的心得,以最新推出的 MATLAB 6.5 中的小波分析工具箱 (wavelet toolbox) 2.2 版为基础,在简要介绍小波分析的基础理论之后,重点说明了小波分析工具箱的详细使用方法,并以信号和图像处理领域为例展示了如何应用小波分析工具箱来解决工程中的实际问题,以达到使读者快速入门小波分析的目的。

本书可作为理工科各专业的高年级本科生、研究生学习小波分析的辅助教材,也是希望在这一领域进行研究和应用的科技工作者的参考书。飞思在线 <http://www.fecit.com.cn> “下载专区”提供书中范例源代码。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 6.5 辅助小波分析与应用/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 7-5053-8112-1

I .M... II.飞... III.计算机辅助计算—软件包, MATLAB 6.X IV.TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 088057 号

责任编辑:郭 晶 陆舒敏

印 刷:北京李史山胶印厂

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

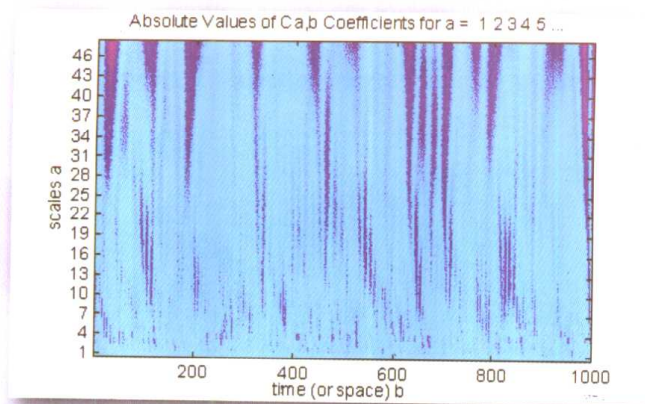
经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:473.6 千字 彩插:1 页

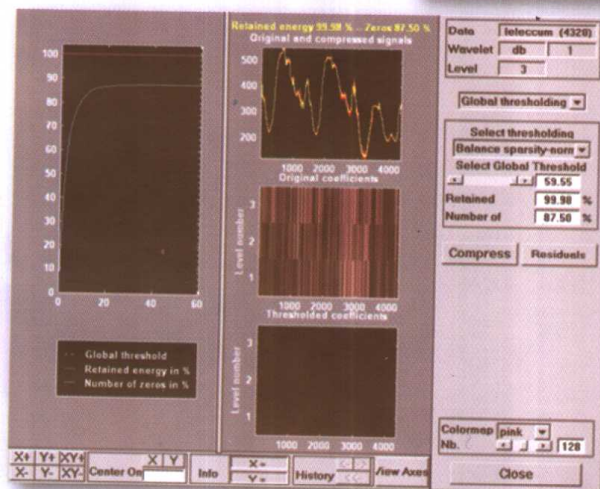
版 次:2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:26.00 元

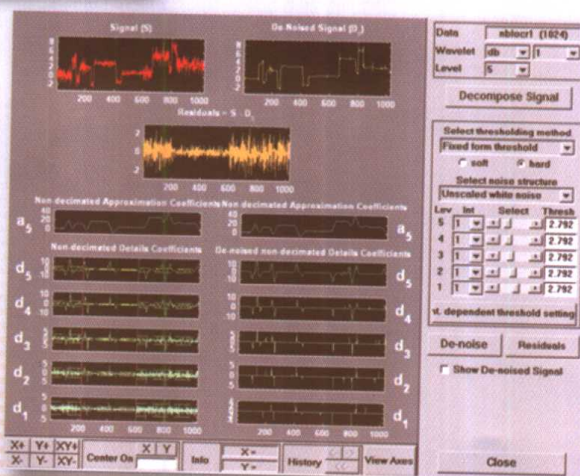
凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077



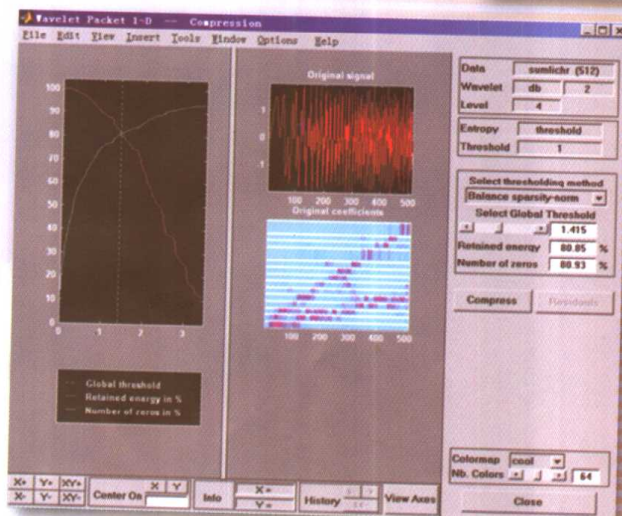
彩插1



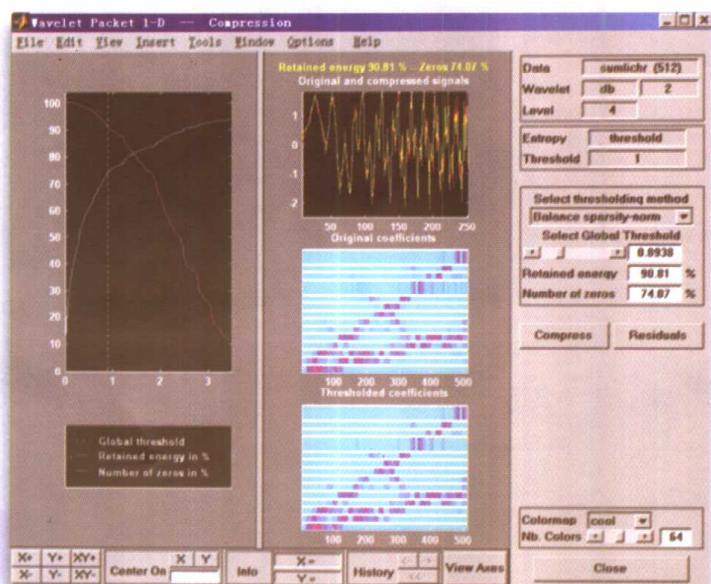
彩插2



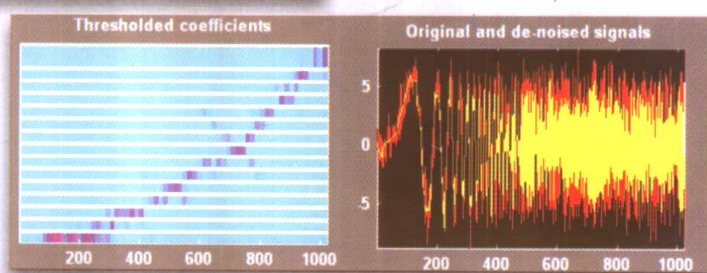
彩插3



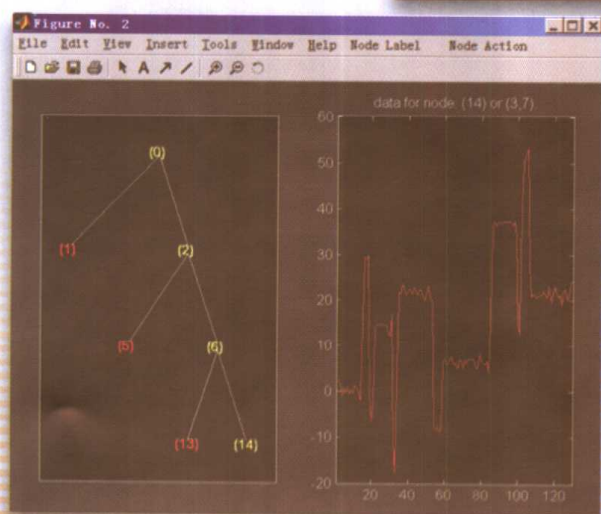
彩插4



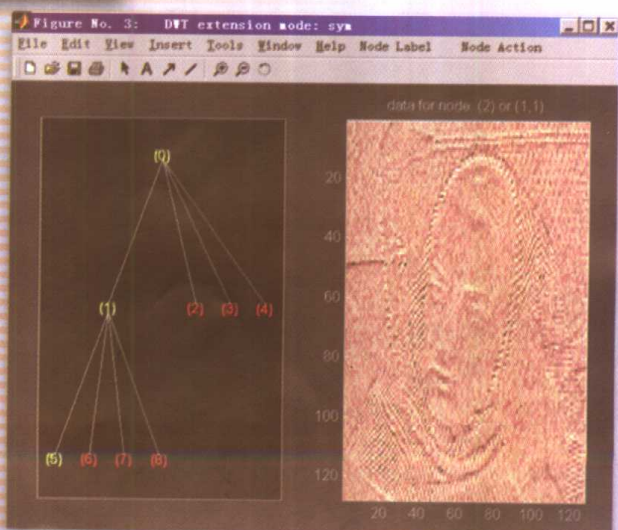
彩插5



彩插6



彩插7



彩插8

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

小波分析是目前国际上公认的最新时-频分析工具,由于其具有自适应性和数学显微镜性质而成为众多学科共同关注的焦点,近年来在许多工程领域中被广泛应用,成为科技工作者经常使用的工具之一。**MATLAB** 早期版本的工具箱中就已具有小波分析功能,在其刚刚推出的 6.5 版本中,小波分析工具箱更是得到进一步增强。因此,结合 **MATLAB** 新版本写作一本小波分析与工程应用的图书显得非常必要。

本书以 **MATLAB** 6.5 中的小波分析工具箱 2.2 版为蓝本,结合工程实际中信号和图像处理这两个典型应用领域,由浅入深地引导读者掌握如何应用 **MATLAB** 来实现自己的小波分析任务。

全书共分为 7 章,第 1 章重点讲述了小波分析的由来和小波变换的基本思想;第 2 章到第 5 章主要讲述如何利用 **MATLAB** 6.5 小波工具箱实现基本的小波分析与设计,其中第 2、3 章分别讲述基于 **MATLAB** 6.5 的小波分析和小波包分析,第 4 章讲述小波分析工具箱中的面向对象的设计,第 5 章讲述了如何添加自己的小波函数;第 6 章和第 7 章讲述了小波和小波包分析在一维信号和二维图像处理中的应用实例及在 **MATLAB** 6.5 中的实现。

该书通过大量的实例循序渐进地对小波分析进行讲解,写作中力求图文并茂、深入浅出,具有很强的可操作性和可移植性。读者可以根据本书介绍的内容迅速掌握 **MATLAB** 6.5 小波分析工具箱的使用。为了读者阅读方便,本书对部分变量未做斜体处理。同时本书最后给出了具有重要参考价值的附录。书中实例源代码可至飞思在线 <http://www.fecit.com.cn> “下载专区”下载。

本书由飞思科技产品研发中心策划并组织编写,葛哲学、王晓飞、陈仲生、李一鸣、王新峰、谢光军、李娟、何静、明德祥、淳静、朱文献、潘俊荣等参加了本书的写作工作,葛哲学、王晓飞、陈仲生负责全书的统稿和审校工作。由于时间仓促以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,谨在此表示感谢!

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>

答疑网址: <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 小波分析基础理论	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 新特点	4
1.2 小波变换的由来	6
1.3 小波变换定义及特点	7
1.4 一维连续小波变换	9
1.5 离散小波变换	12
1.6 小波包分析	17
1.7 常用小波函数	18
第 2 章 MATLAB 6.5 小波分析示例	27
2.1 一维连续小波分析	27
2.1.1 一维连续小波分析——命令行方式	27
2.1.2 一维连续小波分析——图形接口方式	29
2.1.3 图形接口方式中的信息交互	33
2.2 一维连续复小波分析	34
2.2.1 一维连续复小波分析——命令行方式	34
2.2.2 一维连续复小波分析——图形接口方式	35
2.2.3 图形接口方式中的信息交互	37
2.3 一维离散小波分析	37
2.3.1 一维离散小波分析——命令行方式	37
2.3.2 一维离散小波分析——图形接口方式	42
2.3.3 图形接口方式中的信息交互	49
2.4 二维离散小波分析	52
2.4.1 二维离散小波分析——命令行方式	52
2.4.2 二维离散小波分析——图形接口方式	58
2.4.3 图形接口方式中的信息交互	62
2.5 一维离散平稳小波分析	65
2.5.1 一维离散平稳小波分析——命令行方式	65
2.5.2 一维离散平稳小波分析（消噪）——图形接口方式	70
2.5.3 图形接口方式中的信息交互	72
2.6 二维离散平稳小波分析	72
2.6.1 二维离散平稳小波分析——命令行方式	72
2.6.2 二维离散平稳小波分析（消噪）——图形接口方式	79

2.6.3	图形接口方式中的信息交互	81
2.7	一维小波回归估计	81
2.7.1	一维等间距观测估计 (确定性设计 Fixed Design)	82
2.7.2	一维随机间距观测估计 (随机性设计 Stochastic Design)	84
2.7.3	回归估计专有图形工具中的信息交互	85
2.8	一维小波密度估计	86
2.8.1	密度估计概述	86
2.8.2	一维小波密度估计图形工具的使用	87
2.9	一维小波系数的自适应阈值处理	90
2.9.1	一维局部阈值处理图形工具——消噪	90
2.9.2	采用按时间间隔设置阈值进行消噪后的信息保存与装载	93
2.10	小波系数选取	94
2.10.1	一维离散小波系数选择——图形接口方式	94
2.10.2	二维离散小波系数选择——图形接口方式	99
2.11	一维信号延拓或截断	102
2.11.1	一维延拓——命令行方式	102
2.11.2	一维延拓——图形接口工具	104
2.11.3	延拓或截断后的信号保存	107
2.12	二维信号延拓或截断	107
2.12.1	二维延拓——命令行方式	107
2.12.2	二维延拓——图形接口方式	108
2.12.3	延拓或截断后的图像保存	108
第 3 章	MATLAB 6.5 小波包分析示例	109
3.1	MATLAB 6.5 小波包分析简介	109
3.2	一维小波包分析——图形接口方式	110
3.2.1	采用一维小波包进行信号压缩	110
3.2.2	采用一维小波包进行信号消噪	114
3.3	二维小波包分析——图形接口方式	117
3.3.1	启动 Wavelet Packet 2-D 工具	117
3.3.2	装载信号	118
3.3.3	分析图像	118
3.3.4	计算最佳树	119
3.3.5	利用小波包压缩图像	119
3.4	图形工具中的数据交互	121
第 4 章	面向对象的设计及应用	123
4.1	小波工具箱里的对象简介	123

4.2	对象的简单应用.....	125
4.2.1	画树结构和小波包系数.....	125
4.2.2	drawtree 和 readtree 的使用.....	127
4.2.3	对称图形.....	128
4.2.4	小波包阈值处理 (Thresholding Wavelet Packets)	129
4.3	对象的进一步讨论.....	131
4.3.1	WTBO.....	131
4.3.2	NTREE.....	132
4.3.3	DTREE.....	133
4.3.4	WPTREE.....	134
4.4	对象的高级应用.....	135
第 5 章	小波函数的添加	139
5.1	小波函数的添加.....	139
5.1.1	选择小波函数的全名称 (full name)	139
5.1.2	选择小波函数的缩写名 (short name)	139
5.1.3	选择小波类型.....	139
5.1.4	定义在给定小波家簇里的序列号.....	140
5.1.5	建立相应的*.mat 文件或*.m 文件.....	140
5.1.6	定义有效支撑长度.....	142
5.2	小波函数系列的添加.....	142
5.3	添加小波函数系列之后的工作.....	149
第 6 章	小波分析用于信号处理	151
6.1	概述.....	151
6.2	常用信号的小波分析.....	152
6.2.1	正弦波的线性组合.....	153
6.2.2	分段信号.....	154
6.2.3	均匀白噪声.....	154
6.2.4	染噪的多项式信号.....	156
6.2.5	阶跃信号.....	156
6.2.6	染噪的斜坡信号.....	157
6.2.7	染噪的正弦信号.....	158
6.2.8	三角波与正弦波的合成信号.....	159
6.3	信号的特征提取.....	159
6.4	信号处理.....	163
6.4.1	信号的奇异性检测.....	163
6.4.2	信号自相似性的检测.....	167
6.4.3	信号发展趋势的识别.....	168

6.4.4	某一频率区间上信号的识别	169
6.4.5	信号抑制与衰减	171
6.4.6	信号消噪与提取弱信号	174
6.4.7	信号的压缩	184
6.5	应用图形界面 (GUI) 方式进行信号处理	187
6.5.1	第一种类型间断点的检测	187
6.5.2	第二种类型间断点的检测	187
6.5.3	信号发展趋势的检测	188
6.5.4	信号自相似性的检测	189
6.5.5	信号识别	189
6.5.6	信号抑制	190
6.5.7	信号消噪	190
6.5.8	信号压缩	191
第 7 章	小波分析用于图像处理	193
7.1	计算机数字图像文件	193
7.1.1	数字图像文件格式	193
7.1.2	MATLAB 小波工具箱与索引图像	194
7.2	图像编码方式和处理概述	200
7.2.1	图像编码方式	200
7.2.2	小波分析图像处理概述	202
7.3	二维小波分析用于图像处理	213
7.3.1	图像消噪	213
7.3.2	图像压缩	220
7.3.3	图像增强	227
7.3.4	图像平滑	228
7.3.5	图像融合	229
7.4	应用 GUI 进行图像处理	231
7.4.1	图像的分解与重构	231
7.4.2	图像消噪	232
7.4.3	图像压缩	233
附录 A	MATLAB 6.5 小波工具箱新特性	235
A.1	新的图形用户接口工具	235
A.2	新添加的小波函数系列	237
A.3	新增小波分析工具箱函数	237
A.4	增强功能 (Enhancements)	238
A.5	与老版本的兼容性	239
附录 B	MATLAB 6.5 其他新特性	241

B.1	MATLAB 6.5 新特性.....	241
B.2	Simulink 5.0 新特性	241
B.3	MATLAB 6.5 新产品.....	242
B.4	MATLAB 6.5 主要更新的产品.....	244
B.5	MATLAB 6.5 其他更新的产品.....	247
附录 C	MATLAB 6.5 安装问题指南	249
C.1	MATLAB 6.5 为什么安装上不能启动.....	249
C.2	安装时的更新 Java 虚拟机的问题	251
C.3	PDF 文档的获取.....	251
附录 D	MATLAB 6.5 小波分析工具箱函数.....	253
D.1	一般函数.....	253
D.2	小波函数族.....	258
D.3	一维连续小波变换	264
D.4	一维离散小波变换	265
D.5	二维离散小波变换	269
D.6	小波包算法.....	274
D.7	离散静态小波变换	277
D.8	信号/图像的去噪和压缩函数.....	278

第 1 章 小波分析基础理论

小波分析 (Wavelet Analysis) 是在现代调和分析的基础上发展起来的一门新兴学科, 其基础理论知识涉及到泛函分析、傅里叶分析、信号与系统、数字信号处理等诸方面, 同时具有理论深刻和应用十分广泛双重意义。这里我们只准备对小波分析的整体思想进行介绍, 不进行相关的详细数学推导和证明, 以让大多数读者尽快对小波分析有一个感性认识, 并能初步应用小波分析来解决工程中的实际问题。如果读者想在此基础上进一步了解小波分析的理论背景, 可参考相关的资料。

本章主要内容:

- MATLAB 6.5 语言简介
- 小波变换的由来
- 小波变换定义及特点
- 一维连续小波变换
- 离散小波变换
- 小波包分析
- 常用小波函数

1.1 MATLAB 6.5 语言简介

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 博士和他的同事开发了 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 MATLAB 4.2C 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 有了长足的进步, 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 成为市场主流的数值计算软件。

MATLAB 产品组是支持从概念设计、算法开发、建模仿真,到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 产品组都是必不可少的工具。

MATLAB 产品组可用来进行:

- 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 产品组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 产品组很容易针对特定的需求进行扩充,从而在不断深化对问题认识的同时,提高自身的竞争力。

MATLAB 产品组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++ 代码等等。

MATLAB 主要产品构成:

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) Simulink

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。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 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。MATLAB 语言最大的特点是简单和直接。MATLAB 语言的主要特点有:

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, 以及执行和调试。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, 以至语意错误, 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, 计算机会在屏幕上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, 广义上讲是一种语言开发系统, 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 的库函数同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 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. 移植性很好，开放性很好

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，而且还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 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 字节；

(2) 支持 64 位的文件偏移量，能够为大于 2G 字节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，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

新的数学计算和算法改进：在 Pentium 4 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。