



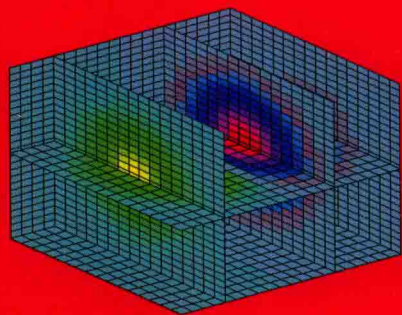
资深作者编写，基于MATLAB R2015b平台的数字计算方法方面的权威著作

系统性、实用性与先进性相结合，理论与实践相交融

书中提供了240多个MATLAB应用典型实例

MATLAB R2015b Numerical Calculation Method

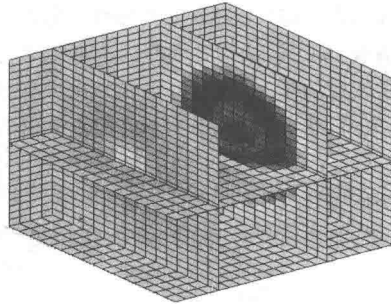
MATLAB R2015b 数值计算方法



◎ 张德丰 编著
Zhang Defeng



清华大学出版社



MATLAB R2015b Numerical Calculation Method

MATLAB R2015b 数值计算方法

© 张德丰 编著
Zhang Defeng



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 MATLAB R2015b 为平台,从实用的角度出发,由浅入深地全面介绍数学中的数值计算方法或基本实验数学内容。全书共分 10 章,分别介绍 MATLAB 编程基础、MATLAB 可视化、符号与多项式运算、数据插值、数据逼近、数据估计与拟合、矩阵分解与线性方程组的求解、非线性方程与非线性方程组求解、数值积分、微分方程等内容。MATLAB 以其独特的魅力,改变了传统数学实验的观念,从而成为数值计算和解决数学问题的有力工具,让读者领略到 MATLAB 的强大功能,其应用范围广泛。

本书作为数值计算方法或数学实验的学习用书,可以作为广大在校本科生和研究生基本数学实验的学习用书,也可以作为广大科研人员、学者、工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB R2015b 数值计算方法/张德丰编著. —北京:清华大学出版社,2017

(精通 MATLAB)

ISBN 978-7-302-45679-7

I. ①M… II. ①张… III. ①计算机辅助计算—Matlab 软件 IV. ①TP391.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 285836 号

责任编辑:刘 星 梅栾芳

封面设计:刘 键

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:26

字 数:633 千字

版 次:2017 年 2 月第 1 版

印 次:2017 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:69.00 元

产品编号:072030-01

在信息时代,科学技术出现了前所未有的发展,其中数学应用的广泛性和深入性是现代科技发展的重要特征。数学与科学计算、理论研究、科学实验成为科学研究的三大支柱,计算机成为不可或缺的工具。

现代数学是自然科学的基本语言,既是应用模式探讨现实世界的主要手段,也是现代工业技术和工程必不可少的工具。数学的学习对于人的素质的培养,至少应该在以下四个方面发挥作用。

(1) 创造。数学能激发人的创造本能,它使人敢于突破常规,不迷信书本、权威;

(2) 归纳。从众多的事物和现象中找出共同性,发掘体现本质内涵的抽象化的思想;

(3) 演绎。从已知的事理中推知新的事实的逻辑性思想;

(4) 数学建模。对现象和过程进行合理的抽象和量化,然后运用数学运算来进行模拟(包括计算机模拟)和验证的一种模式化思维。

早在 1959 年,著名的数学家华罗庚教授就曾形象地概述了数学的各种应用:“宇宙之大,粒子之微,火箭之速,化工之巧,地球之变,生物之谜,日用之繁等各个方面,无处不有数学的重要贡献。”时至今日,计算机计算速度的快速发展使得许多过去无法解决的问题有了解决的可能,大量新兴的数学方法正在被有效地采用,数学的应用范围急剧扩大。

近年来,计算机技术的突破、计算机的日益普及、优秀数学应用软件的开发、应用数学方法的发展,使数学已经成为一种能够普通实施的技术。这使得在大学数学教学中对学生广泛进行数学建模能力的培养成为可能。

在大学数学教学中,要培养学生的创造与数学实验能力,必须在尽可能少的学时条件下,结合已学过的数学知识,使学生掌握计算技术和应用数学方法。MATLAB 作为当今最优秀的科技应用软件之一,以强大的科学计算与可视化功能、简单易用和开放式的扩展环境,特别是所附带的 30 多种面向不同领域的工具箱支持,在许多科学领域中成为计算机辅助设计和分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。可以说, MATLAB 不仅是一种编程语言,而且在广义上是一种语言开发系统。

21 世纪培养的各类专业技术人才,应具有将带有专业背景的实际问题建立数学模型的能力,这样才能在实际工作中发挥更大的创新性。将 MATLAB 与数学应用实践结合起来,探索大学数学教学对学生创造能力和数学建模能力的培养,是本书编写的主要目的。

为了满足数学实验发展的需要,结合 MATLAB 的功能特点编写了本书,本书在以下几个方面做了努力:

- 由浅入深,详略得当。本书系统地介绍 MATLAB 编程基础、数学实验、数学实验应用领域等内容,着重介绍怎样利用 MATLAB 求数学实验等问题。
- 结构紧凑,分析全面。本书首先介绍 MATLAB 的使用,然后逐次深入介绍利用 MATLAB 解决数学实验问题,根据读者的学习习惯和内容的梯度合理安排,非

常适合读者学习。

- 内容翔实,实用性强。书中每介绍一个概念或函数都给出相应的用法及实例进行说明,使读者能快速掌握 MATLAB 及 MATLAB 在数学实验中的应用。
- 图文并茂。对于程序的运行结果,本书给出大量的图形。本书不仅注重基础知识,而且非常注重实践,让读者能迅速掌握 MATLAB 在数学实验中的应用。

通过本书的学习,读者不仅可以全面掌握 MATLAB 编程和开发技术,还可以快速提高分析和解决实际问题的能力,从而能够在最短的时间内,以最好的效率解决实际数学建模上遇到的问题,提升工作效率。

全书分为 10 章,其各章内容概述如下。

第 1 章介绍 MATLAB R2015b 软件编程基础,主要包括 MATLAB R2015b 的特点与安装、MATLAB 工作环境、编程基础等内容。

第 2 章介绍 MATLAB 的可视化功能,主要包括绘制二维图形、三维图形、四维图形及图形用户界面等内容。

第 3 章介绍符号与多项式运算,主要包括符号及其运算、多项式及其运算等内容。

第 4 章介绍数据插值,主要 MATLAB 的插值函数、拉格朗日插值法和牛顿插值等内容。

第 5 章介绍 MATLAB 的数据逼近,主要包括 Chebshev 最佳一致逼近、Pade 逼近、最佳平方逼近等内容。

第 6 章介绍数据估计与拟合,主要包括最小二乘估计、Gauss-Markov 估计、正交最小二乘拟合等内容。

第 7 章介绍矩阵分解与线性方程组的求解,主要包括矩阵的分解、线性方程组的求解等内容。

第 8 章介绍非线性方程与非线性方程组求解,主要包括非线性方程的求解、非线性方程组的求解等内容。

第 9 章介绍数值积分,主要包括中点公式、插值型求积公式、梯形求积公式、Simpson 公式等内容。

第 10 章介绍微分方程,主要包括常微分方程、微分方程的数值计算、常微分方程的符号解法、常微分方程的数值解等内容。

本书主要由张德丰编写,此外参加编写的还有栾颖、周品、曾虹雁、邓俊辉、邓秀乾、邓耀隆、高泳崇、李嘉乐、李旭波、梁朗星、梁志成、刘超、刘泳、卢佳华、张棣华、张金林、钟东山、詹锦超、叶利辉、杨平和许兴杰。

本书可以作为数值计算方法或数学实验的学习用书、广大在校本科生和研究生的基本实验数学内容的学习用书,也可以作为广大科研人员、学者、工程技术人员的参考用书。

由于时间仓促,加之作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免。在此诚恳地期望得到各领域的专家和广大读者的批评指正。

作者

2016 年 12 月

第 1 章	MATLAB R2015b 软件编程基础	1
1.1	MATLAB 的简概	1
1.1.1	MATLAB 发展史	1
1.1.2	MATLAB 产品说明	2
1.1.3	MATLAB 的特点	3
1.1.4	MATLAB R2015b 新功能	4
1.2	MATLAB 应用实例	6
1.3	MATLAB 工作环境	7
1.4	MATLAB 帮助使用	15
1.5	MATLAB 语言基本元素	18
1.5.1	变量	19
1.5.2	赋值语句	19
1.5.3	矩阵及其元素表示	20
1.6	矩阵运算	24
1.6.1	矩阵的代数运算	24
1.6.2	矩阵的关系运算	29
1.6.3	矩阵的逻辑运算	30
1.7	MATLAB 的程序流程	31
1.7.1	循环控制结构	31
1.7.2	条件选择结构	33
1.8	M 文件编写	36
1.8.1	脚本文件	36
1.8.2	函数文件	37
第 2 章	MATLAB R2015b 可视化功能	39
2.1	图形绘制的基本步骤	39
2.2	二维绘图	39
2.2.1	基本二维绘图	39
2.2.2	格栅	42
2.2.3	文字说明	43
2.2.4	坐标轴设置	45
2.2.5	图形迭绘	47
2.2.6	子图绘制	47
2.2.7	交互式绘图	48

目录

2.2.8	双坐标轴绘制	52
2.2.9	函数绘图	53
2.2.10	二维特殊图形	55
2.3	三维绘图	59
2.3.1	曲线图	60
2.3.2	网格图	61
2.3.3	曲面图	62
2.3.4	光照模型	63
2.3.5	等值线	67
2.3.6	三维特殊图形	68
2.3.7	视角设置	69
2.4	四维绘图	72
2.5	图形用户界面	74
2.5.1	图形用户界面控件	75
2.5.2	对话框对象	83
2.5.3	界面菜单	93
2.6	图形用户界面的应用	96
第3章	符号与多项式运算	98
3.1	符号及其运算	98
3.1.1	字符型数据变量的创建	98
3.1.2	符号型数据变量的创建	99
3.1.3	符号计算的运算符与函数	102
3.1.4	寻找符号变量	105
3.1.5	符号精度计算	105
3.1.6	显示符号表达式	107
3.1.7	合并符号表达式	108
3.1.8	展开符号表达式	108
3.1.9	嵌套符号表达式	109
3.1.10	分解符号表达式	109
3.1.11	化简符号表达式	110
3.1.12	替换符号表达式	111
3.1.13	符号函数的操作	112
3.1.14	符号微积分	114
3.1.15	符号积分变换	119

3.2 多项式及其运算	123
3.2.1 多项式的求根	123
3.2.2 多项式的四则运算	124
3.2.3 多项式的导数	126
3.2.4 多项式的积分	126
3.2.5 多项式的估值	127
3.2.6 有理多项式	128
3.2.7 多项式的微分	129
 第4章 数据插值	130
4.1 概述	130
4.2 插值函数	130
4.2.1 一维插值	131
4.2.2 二维插值	139
4.2.3 三维插值	144
4.2.4 n 维插值	145
4.2.5 栅格数据插值	146
4.2.6 三次样条插值	148
4.2.7 分段三次插值	149
4.3 拉格朗日插值法	151
4.4 牛顿插值	153
4.5 等距节点插值公式	156
4.6 插值中的龙格现象	160
4.7 Hermite 插值	161
4.8 艾特肯插值	164
4.9 拉格朗日插值与埃尔米特插值的比较	165
4.10 拉格朗日插值式与三次样条插值的比较	167
 第5章 数据逼近	170
5.1 一般提法	170
5.2 Chebshev 最佳一致逼近	170
5.3 正交多项式	173
5.4 Legendre 多项式	177
5.5 Laguerre 多项式	180
5.6 Hermite 多项式	182

目录

5.7	Pade 逼近	184
5.8	最佳平方逼近	186
第 6 章	数据估计与拟合	189
6.1	最小二乘估计	189
6.1.1	线性最小二乘的基本公式	189
6.1.2	最小二乘估计的原理	190
6.1.3	超定方程组的最小二乘解	191
6.1.4	最小二乘法估计的 SVD 分解	193
6.1.5	最小二乘拟合	195
6.2	Gauss-Markov 估计	205
6.3	正交最小二乘拟合	207
6.4	加权最小方差拟合	210
6.5	指数拟合	212
6.6	Kalman 滤波	213
6.7	人口增长模型	216
6.7.1	Malthus 人口模型	216
6.7.2	Logistic 人口模型	216
第 7 章	矩阵分解与线性方程组的求解	220
7.1	矩阵的分解	220
7.1.1	LU 分解	220
7.1.2	Cholesky 分解	221
7.1.3	QR 分解	222
7.1.4	Schur 分解	223
7.1.5	奇异值分解	224
7.1.6	特征值分解	226
7.1.7	Hessenberg 分解	227
7.2	求逆法求解线性方程组	228
7.3	分解法求解线性方程组	230
7.3.1	LU 分解法求解线性方程	231
7.3.2	QR 分解法求解线性方程组	232
7.3.3	Cholesky 分解法求解线性方程组	232
7.3.4	SVD 分解法求解线性方程组	233
7.4	消去法求解线性方程组	234

7.4.1	高斯消元法	234
7.4.2	高斯列消去法	237
7.5	迭代法求解线性方程组	239
7.5.1	Jacobi 迭代法	240
7.5.2	Gauss-Seidel 迭代法	241
7.5.3	SOR 迭代法	243
7.6	梯度法	245
7.6.1	共轭梯度法	245
7.6.2	双共轭梯度法	247
7.6.3	稳定双共轭梯度法	249
7.6.4	共轭梯度的 LSQR 法	251
7.6.5	复共轭梯度法	254
7.7	残差法	256
7.7.1	最小残差法	256
7.7.2	标准最小残差法	258
7.7.3	广义最小残差法	259
7.8	综合实例分析	261
第 8 章	非线性方程与非线性方程组求解	266
8.1	MATLAB 内置函数求解非线性方程	266
8.1.1	roots 函数求解非线性方程	266
8.1.2	fzero 函数求解非线性方程	268
8.1.3	fsolve 函数求解非线性方程组	269
8.1.4	solve 函数求解非线性方程	271
8.2	数值法求解非线性方程	272
8.2.1	二分法	272
8.2.2	不动点迭代	274
8.2.3	Aitken 加速法	275
8.2.4	Steffensen 迭代法	276
8.2.5	牛顿迭代法	279
8.2.6	重根法	280
8.2.7	割线法	281
8.2.8	Halley 迭代法	283
8.2.9	抛物线法	284
8.3	数值法求解非线性方程组	286

目录

8.3.1	高斯-塞德尔迭代法	286
8.3.2	不动点迭代法	288
8.3.3	牛顿迭代法	290
8.3.4	简化牛顿迭代法	292
8.3.5	拟牛顿法	295
8.3.6	最速下降法	299
8.3.7	松弛迭代法	302
第 9 章	数值积分	305
9.1	中点公式	305
9.2	插值型求积公式	306
9.3	梯形求积公式	306
9.3.1	梯形求积公式	306
9.3.2	复合梯形公式	307
9.4	Simpson 公式	308
9.4.1	Simpson 求积公式	308
9.4.2	复合 Simpson 公式	308
9.5	Newton-Cotes 求积分公式	309
9.6	复合抛物线求积公式	311
9.7	自适应步长公式	312
9.7.1	自适应步长梯形公式	312
9.7.2	自适应步长 Simpson 公式	313
9.7.3	Romberg 求积公式	314
9.8	高精度求积公式	317
9.8.1	高斯型求积公式	317
9.8.2	Lobatto 求积公式	321
9.9	曲线与曲面积分	322
9.9.1	第一型曲线积分	322
9.9.2	第二型曲线积分	324
9.9.3	第一型曲面积分	325
9.9.4	第二曲面积分	327
9.10	数值积分的 MATLAB 实现	328
第 10 章	微分方程	334
10.1	微分方程的概述	334

10.2	常微分方程	335
10.2.1	单步法	336
10.2.2	Runge-Kutta 法	342
10.2.3	单步法的收敛性	345
10.2.4	单步法的稳定性	347
10.3	线性多步法	349
10.3.1	Adams 外推公式	349
10.3.2	Adams 内插法	351
10.4	微分方程的数值计算	354
10.4.1	一阶微分方程组	354
10.4.2	刚性方程组	356
10.4.3	阻尼振动方程	357
10.4.4	打靶法	359
10.5	常微分方程的符号解法	362
10.6	常微分方程的数值解	364
10.6.1	初值问题求解	364
10.6.2	延迟微分方程的求解	372
10.6.3	常微分方程的边界问题	376
10.7	偏微分方程	379
10.7.1	定解问题	380
10.7.2	差分解法	381
10.8	偏微分方程的数值解	383
10.8.1	求解偏微分方程组	383
10.8.2	边界条件及网格化	385
10.8.3	二阶偏微分方程	389

参考文献	402
------	-----

MATLAB 是 MATRIX LABORATORY 的简称,它是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件,用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境,主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。

1.1 MATLAB 的简概

MATLAB 的基本数据单位是矩阵,它的指令表达式与数学、工程中常用的形式十分相似,故用 MATLAB 来解算问题要比用 C、FORTRAN 等语言完成相同的事情简捷得多,并且 MATLAB 也吸收了像 Maple 等软件的优点,使 MATLAB 成为一款强大的数学软件。

1.1.1 MATLAB 发展史

20 世纪 70 年代,美国新墨西哥大学计算机科学系主任 Cleve Moler 为了减轻学生编程的负担,用 FORTRAN 编写了最早的 MATLAB。

1. 正式走向市场

1984 年由 Little、Moler、Steve Bangert 合作成立了 MathWorks 公司,他们用 C 语言开发了第二代 MATLAB,并正式把 MATLAB 推向市场。此时,MATLAB 已经具备了数值计算和数据图示化的功能。

2. MATLAB 4.X 版本

20 世纪 90 年代,MATLAB 已成为国际控制界的标准计算软件。1992 年,MathWorks 公司推出了 MATLAB 4.0 版本,并于第二年推出了微机版,使得软件的应用范围逐渐扩大。1994 年推出的 4.2c 版本更是为图形界面设计方面提供了新方法。

Simulink 的应用起始于 MATLAB 4.0 版本,它被放在 MATLAB 的核心执行文件中。MATLAB 4.2 开始,Simulink 则以工具包的形式单独出现。

3. MATLAB 5.X 版本

MATLAB 5.X 版本是 MathWorks 公司于 20 世纪 90 年代末期推出的。新版本可以处理更多的数据结构,例如结构体、多维矩阵以及类等,这使得 MATLAB 的编程更加简单方便。1999 年推出的 5.3 版本则进一步增强了 MATLAB 语言的功能。

4. MATLAB 6.X 版本

为了提高 MATLAB 在数值算法、界面设计和外部接口等诸多方面的功能,MathWorks 公司在 2000 年 10 月底推出了 MATLAB 6.0。2003 年, MATLAB R6.5 采用新的 JIT 加速技术,为 MATLAB 程序提供了更快的执行速度。

5. MATLAB 7.X 版本

MathWorks 于 2004 年推出的 MATLAB 7.0 版本,为开发者提供了许多新的便捷功能。新版本允许同时使用多个文件和图形窗口,可以根据自己的习惯和喜好来定制桌面环境(如窗口大小、窗口布局),还可以设置自定义快捷键。

在随后的几年中,MathWorks 公司陆续推出了 MATLAB 7.1~7.14 版本,不断地优化和提高 MATLAB 的性能。2012 年的 7.14 版本包括 MATLAB[®]、Simulink[®] 和 Polyspace[®] 三项产品新功能。

6. MATLAB 8.X 版本

MATLAB R2012b 版即 8.0 版,有了很大的改变。最明显的是其桌面,在 MATLAB 主窗口中,工具条取代了菜单和工具栏。帮助文档进行了重新设计,改进了浏览、搜索和筛选功能。命令窗口中输入函数或变量出错时,会得到更正的建议信息。

本书以 MATLAB R2015b 为平台进行编写。

1.1.2 MATLAB 产品说明

如图 1-1 所示, MATLAB 产品主要有 MATLAB、Simulink、Stateflow、Complier、RTW 和 Coder。

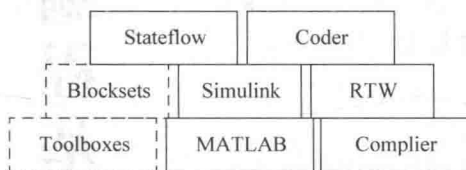


图 1-1 MATLAB 产品

其中,Complier 为编译工具,将以 MATLAB 语言为基础的函数文件编译生成函数库、可执行文件 COM 组成等。Complier 的存在使得 MATLAB 能够与其他高级编程语言(如 C、C++ 语言)进行混合编程,这样提高了程序的运行效率,并丰富了程序的开发手段。

Simulink 是 MATLAB 的一个工具箱,主要用来实现对工程问题的模型化及动态仿真,其本身具有良好的图形交互界面。通过采用 Simulink 模块组合的方法,能够快速、准确地创建动态系统的计算机模型。

Stateflow 为交互式设计工具,基于有限状态机理论,用于对复杂的事件驱动系统进行建模和仿真。

RTW 是 Real-Time Workshop 的简称,它与 Coder 都是代码自动生成工具,可以直接将 Simulink 模型框图和 Stateflow 状态图转换成高效优化的程序代码。

MATLAB 是整个 MATLAB 产品体系的基石,也是一个语言编程型开发平台,为其他工具提供所需要的集成环境。同时,其对矩阵和线性代数的支持,使得 MATLAB 本身也具有强大的数学计算功能。

图 1-2 所示为 MATLAB/Simulink 的主要产品及其相互关系。

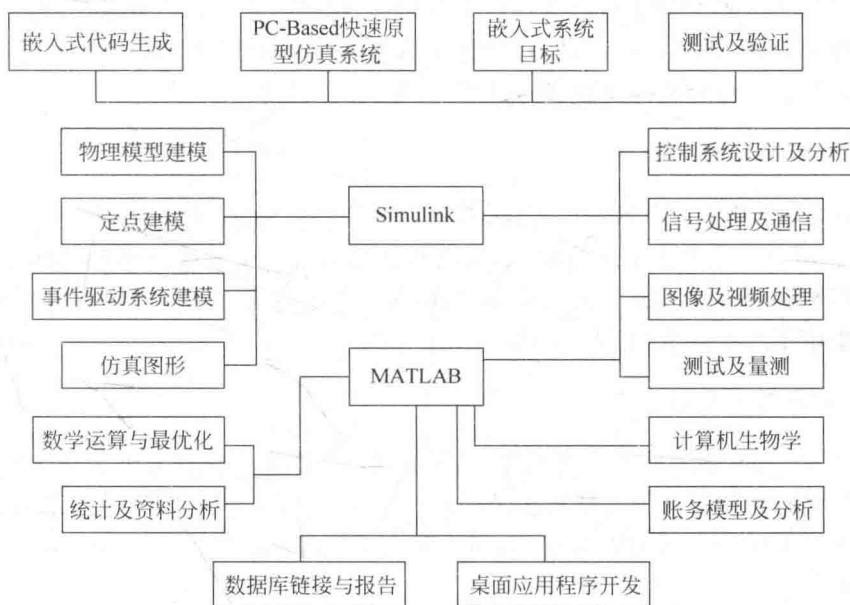


图 1-2 MATLAB/Simulink 主要产品及其相互关系图

1.1.3 MATLAB 的特点

MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制函数和数据、实现算法、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等,主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通信、图像处理、信号检测、金融建模设计与分析等领域。

1. 简单易用

MATLAB 是一个高级的矩阵/阵列语言,包含控制语句、函数、数据结构、输入/输出和面向对象编程特点。用户可以在命令窗口中将输入语句与执行命令同步,也可以先编写好一个较大的复杂应用程序(M 文件)后再一起运行。新版本的 MATLAB 语言是基于最为流行的 C++ 语言基础上的,因此语法特征与 C++ 语言极为相似,而且更加简单,更加符合科技人员对数学表达式的书写格式。使之更利于非计算机专业的科技人员使用。而且这种语言可移植性好、可拓展性强,这也是 MATLAB 能够深入到科学研究及工程计算各个领域的重要原因。

2. 平台可移植性强

解释型语言的平台兼容性一般要强于编译型语言。MATLAB 拥有大量的平台独立

措施,支持 Windows 98/2000/NT 和许多版本的 UNIX 系统。用户在一个平台上编写的代码不需修改就可以在另一个平台上运行,为研究人员节省了大量的时间成本。

3. 丰富的预定义函数

MATLAB 提供了极为庞大的预定义函数库,提供了许多打包好的基本工程问题的函数,如求解微分方程、求矩阵的行列式、求样本方差等,都可以直接调用预定义函数完成。另外,MATLAB 提供了许多专用的工具箱,以解决特定领域的复杂问题。系统提供了信号处理工具箱、控制系统工具箱、图像工具箱等一系列解决专业问题的工具箱。用户也可以自行编写自定义的函数,将其作为自定义的工具箱。

4. 以矩阵为基础的运算

MATLAB 被称为矩阵实验室,其运算是以矩阵为基础的,如标量常数可以被认为是 1×1 矩阵。用户不需要为矩阵的输入、输出和显示编写一个关于矩阵的子函数,以矩阵为基础数据结构的机制减少了大量编程时间,将烦琐的工作交给系统来完成,使用户可以将精力集中于所需解决的实际问题。

5. 强大的图形界面

MATLAB 具有强大的图形处理能力,带有很多绘图和图形设置的预定义函数,可以用区区几行代码绘制复杂的二维和三维图形。MATLAB 的 GUIDE 则允许用户编写完整的图形界面程序,在 GUIDE 环境中,用户可以使用图形界面所需的各种控制以及菜单栏和工具栏。

1.1.4 MATLAB R2015b 新功能

1. MATLAB 方面

MATLAB 方面主要增加了以下功能。

(1) MATLAB 产品:

- 新增更快运行 MATLAB 代码的执行引擎;
- 用于创建、分析图形和网络并实现可视化的图形函数和有向图函数;
- 附加浏览器——用于增加社区创作的工具箱和 MathWorks 工具箱、应用、功能、模型及硬件支持的单一界面;
- 对 iOS 传感器、Raspberry Pi 2 和 BeagleBone Black 的硬件支持。

(2) MATLAB Compiler SDK: 部署的 MATLAB 组件,可与采用 Python 编写的应用程序集成。

(3) Statistics and Machine Learning Toolbox: 用于拟合模型的 SVR(支持向量回归)和高斯过程(Kriging),用于分类学习应用的 PCA 特征变换和 65 个函数的 GPU 加速。

(4) Parallel Computing Toolbox: Statistics and Machine Learning Toolbox 中函数的 GPU 加速,包括概率分布、描述性统计和假设检验,以及其他 MATLAB 函数。

(5) Image Processing Toolbox: Gabor 及盒滤波,使用 MATLAB Coder 为 20 个函

数生成 C 代码,改进了灰度形态和滤波性能。

(6) Computer Vision System Toolbox: 3-D 点云处理,包括几何形状拟合、法向矢量估算和可视化。

(7) Database Toolbox: 数据库读取和写入速度更快。

(8) Control System Toolbox: 2-DOF PID 控制器调节。

(9) Robust Control Toolbox: 使用 systune 和 Control System Tuner 为带有不确定参数的对象调节鲁棒控制器。

2. Simulink 产品系列

Simulink 产品系列增加了以下的功能。

(1) Simulink:

- 新增在示波器中通过光标和测量值来查看和调试信号的 UI;
- 用于创建可重用组件和简化大型建模项目的引用项目;
- 在仿真过程中,始终开启模块参数和工作空间变量的调整;
- 可用于 Simulink、Stateflow 和 Simulink Coder 的多语言模块名称、信号名称和 MATLAB 函数注释。

(2) Stateflow: 消息——新增可承载数据并且可以排队对象。

(3) Simscape: 两相流体模块库和为线性切换系统改进了仿真速度。

(4) Simulink Design Optimization: 借助 Simulink 快速重启,提高了参数估算速度,优化了响应时间。

3. 代码生成

代码生成主要增加了以下新功能。

(1) MATLAB Coder: 元胞数组的 C 代码生成。

(2) Embedded Coder: 快速配置模型,以生成高效、可重用代码。

(3) HDL Coder: 使用 AXI4 接口为 Xilinx Zynq 和 Altera SoC FPGA 调节运行时硬件参数。

(4) Simulink PLC Coder: 可以为 Siemens TIA Portal IDE 生成代码,并在 Siemens TIA Portal 和 STEP 7 IDE 中支持全局变量。

4. 信号处理和通信

信号处理和通信方面增加了以下功能。

(1) Antenna Toolbox: 无限阵列分析和 E-H 域的可视化。

(2) LTE System Toolbox: Release 12 Small cells 下行 256 QAM 调制、Release 11 多区零功率 CSI-RS 模式和增强波形生成。

5. 测试和验证

测试和验证方面增加了以下功能。

(1) Simulink Design Verifier: C 代码 S function 分析和 Model Advisor 运行时错误