

MATLAB 6.5

及其在信号处理中的应用

王 宏 编著

清华大学出版社

MATLAB 6.5

及其在信号处理中的应用

王 宏 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以易学实用为原则,系统介绍了 MATLAB 6.5 及其在数字信号处理(DSP)开发仿真中的应用。书中首先介绍 MATLAB 6.5 软件及其应用开发环境, MATLAB 的三大基础功能(数值计算、符号计算和图形可视化), MATLAB 语言的程序设计方法和 GUI 程序设计, MATLAB 编译器以及与 MATLAB 有关的各种扩展编程技术;然后介绍两个与 DSP 开发和应用密切相关的 MATLAB 工具箱——信号处理工具箱和滤波器设计工具箱;接着介绍 Simulink 的建模仿真功能以及 RTW 实时代码生成工具,并针对 DSP 系统的建模和仿真介绍了两个专用模块库——DSP 模块库和定点 DSP 模块库;最后介绍以 MATLAB 和 Simulink 为基础的 DSP 硬件目标仿真,其中主要结合 TI 的 DSP 集成开发环境 CCS 和 TI 的 C5000/C6000 系列硬件开发工具,介绍 MATLAB 与 TI CCS 的连接,以及 MATLAB 提供的 TI TMS320C6000 DSP 嵌入式目标开发工具,并简单介绍针对 AD DSP 嵌入式目标开发的软件 DSP developer。

本书主要面向有一定计算机语言编程基础和数字信号处理基础的理工科大学生,既可作为高等院校相关专业的本科生教材,也可供研究生和广大科技开发人员自学或参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 6.5 及其在信号处理中的应用 / 王宏编著. —北京:清华大学出版社, 2004.10
ISBN 7-302-09122-6

I. M… II. 王… III. 数字信号-信号处理-计算机辅助计算-软件包, MATLAB 6.5 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 074266 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

组稿编辑: 陈国新

文稿编辑: 佟丽霞

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 22.5 字数: 519 千字

版 次: 2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09122-6/TN·203

印 数: 1~3000

定 价: 29.00 元

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010) 62770175-3103 或 (010) 62795704

前 言

MATLAB 是科研开发和工程设计的有力工具。Simulink 是建立在 MATLAB 基础上的动态系统仿真工具。针对各种硬件目标的开发仿真, MATLAB 提供有相应的实时目标开发工具。利用 MATLAB 及其工具箱可以快速完成各类数值计算、符号计算和数据可视化等任务, 可以解决有关线性代数、矩阵分析、微积分、微分方程、信号与系统、信号分析与处理、系统控制等领域的问题; 利用 Simulink 及其模块库, 则能够方便地创建各种动态系统的模型并进行仿真。MATLAB 的应用涉及众多学科领域, 且内容庞杂, 函数众多。本书在详细介绍 MATLAB 6.5 和 Simulink 5.0 的同时, 重点介绍了 MATLAB 在数字信号处理中的应用。

本书是在作者为南京航空航天大学电子系本科生开设“MATLAB 及其应用”课程的教学讲义基础上编写的。作者在教学过程中意识到, 大家对 MATLAB 如此关注, 是因为它可以帮助我们快速高效地解决问题。但是很少有人愿意去花大量时间来阅读 MATLAB 的英文在线帮助或函数的语法说明。因此本书的重点在于应用, 而不在于枯燥的语法规则, 更不会去介绍那些不常用的晦涩命令。

掌握一门计算机语言的最好方法就是用它写程序。本书通过 240 多个启发式范例来说明 MATLAB 的具体应用。为了说明问题, 这些范例不一定就是最简的或最优的, 但它们都是完全可重现的。尽管这些范例通常只是围绕具体问题来说明 MATLAB 函数的基本使用方法, 但是作者希望这些范例可以起到抛砖引玉的作用, 使广大读者能够从中受到启发, 并结合 MATLAB 函数或组件的在线帮助, 在反复练习中领会到应用 MATLAB 创造性地解决问题的方法。

MATLAB 是一套不断发展的开放式大型软件, 即使是有经验的用户也需要在使用 MATLAB 的过程中不断探索。因此要深入掌握 MATLAB 及其应用可能会需要一段相对长的时间。本书主要通过具体的实例使读者能快速学习到 MATLAB 及其 DSP 应用的精髓, 而深入掌握和领会这些技术则需要进一步的编程实践。

使用 MATLAB 的主要好处就是可以省却从头编写程序的麻烦, 隐藏各种编程细节, 从而专注于具体应用的开发。因此在编写 MATLAB 程序时除了应尽量使用现有的简洁函数外 (如用 `eig(A)` 而不必用 `roots(ploy(A))`), 还应该考虑是否有可直接利用的第三方组件以节省开发时间。

本书在编写过程中得到了周建江教授的鼓励和支持，得到了郑步生、李海林和夏伟杰的帮助，作者向他们表示真诚的感谢。最后还要感谢作者的导师向大威教授。

由于作者水平有限，书中不妥之处希望广大读者给予批评指正。欢迎读者就书中的问题与作者讨论，作者的电子邮箱是 wanghong737@hotmail.com。

作 者

2003 年 8 月

目 录

第 1 章 概论.....	1
1.1 MATLAB 简介.....	1
1.2 MATLAB 的发展历史.....	5
1.3 MATLAB 系统组成.....	6
1.4 Maple 及其他数学类应用软件.....	8
第 2 章 MATLAB 6.5 应用开发环境.....	10
2.1 MATLAB 6.5 安装.....	10
2.2 MATLAB 6.5 操作桌面.....	16
2.2.1 File 菜单.....	17
2.2.2 Edit 菜单.....	23
2.2.3 View 菜单.....	24
2.2.4 Web 菜单.....	25
2.2.5 Window 菜单.....	26
2.2.6 Help 菜单.....	26
2.2.7 操作桌面的工具条.....	27
2.3 MATLAB 6.5 桌面工具.....	27
2.3.1 命令窗.....	27
2.3.2 工作空间浏览器.....	28
2.3.3 当前目录浏览器.....	28
2.3.4 历史命令窗.....	30
2.3.5 数组编辑器.....	31
2.3.6 编辑调试器.....	31
2.3.7 代码剖析器.....	38
2.3.8 帮助浏览器.....	41
2.3.9 快速启动按钮和发射台.....	44
第 3 章 MATLAB 基础.....	45
3.1 命令窗操作初步.....	45
3.1.1 设置工作路径和搜索路径.....	45

3.1.2	MATLAB 启动和退出过程	46
3.1.3	使用帮助	46
3.1.4	常用命令和符号	48
3.1.5	命令行编辑	50
3.1.6	命令窗简单操作示例	52
3.2	MATLAB 笔记本	54
3.3	MATLAB 数值计算功能	57
3.3.1	数值矩阵的创建和存取	57
3.3.2	数组运算和矩阵运算	61
3.3.3	矩阵的访问规则和一般操作	65
3.3.4	解线性方程组和非线性方程组	70
3.3.5	多项式操作	72
3.3.6	数据统计分析	74
3.3.7	数据插值	77
3.3.8	数据（或函数）拟合	79
3.3.9	常微分方程组的数值解	81
3.3.10	数值积分	85
3.3.11	求解优化问题	86
3.3.12	稀疏矩阵	89
3.4	MATLAB 符号计算功能	91
3.4.1	符号操作初步	92
3.4.2	符号矩阵的基本运算	95
3.4.3	符号微积分	96
3.4.4	符号代数方程组的解	98
3.4.5	符号常微分方程组的解	99
3.4.6	积分变换	100
3.4.7	调用 Maple 函数	100
3.4.8	符号函数计算器	101
3.5	MATLAB 图形可视化功能	103
3.5.1	基本绘图入门	103
3.5.2	绘制特殊图形	111
3.5.3	三维曲面图形	116
3.5.4	色彩的使用	119
3.5.5	照相机函数和光照函数	119
3.5.6	立体的可视化	121
3.5.7	符号函数的图形显示	122
3.5.8	图像处理	124
3.5.9	图形输出	125

3.5.10 句柄图形系统.....	126
3.5.11 图形窗界面操作.....	130
第 4 章 MATLAB 程序设计.....	138
4.1 MATLAB 编程基础.....	138
4.1.1 MATLAB 脚本和函数.....	138
4.1.2 函数的调用和分类.....	141
4.1.3 程序流程控制.....	143
4.1.4 字符串操作.....	145
4.1.5 常用的时间日期函数.....	146
4.1.6 常用的文件操作函数.....	147
4.1.7 运算符及其优先级.....	148
4.2 MATLAB 数据类型.....	148
4.2.1 单元数组.....	149
4.2.2 结构数组.....	150
4.2.3 多维数组.....	153
4.3 MATLAB 编程说明.....	154
4.3.1 提高 MATLAB 程序的速度和性能.....	154
4.3.2 程序风格.....	155
4.4 面向对象程序设计.....	155
4.5 GUI 程序设计.....	159
4.5.1 一般图形界面工具.....	159
4.5.2 直接用 M 文件编写 GUI 程序.....	163
4.5.3 GUIDE 设计工具.....	165
4.6 MATLAB 扩展编程.....	168
4.6.1 MEX 文件.....	169
4.6.2 MATLAB 引擎.....	171
4.6.3 COM 接口.....	174
4.6.4 DDE 对话.....	178
4.6.5 MatrixVB.....	179
4.7 MATLAB 编译器.....	181
4.7.1 创建 MEX 文件.....	183
4.7.2 创建独立应用程序.....	184
4.7.3 MSVC++6.0 中的 MATLAB 插件.....	188
第 5 章 信号处理工具箱.....	192
5.1 基本概念.....	192
5.1.1 数字系统模型.....	193
5.1.2 数字滤波器的基本结构.....	195

5.2	信号的表示和生成.....	196
5.3	数字滤波	200
5.3.1	正常滤波	200
5.3.2	反因果滤波	202
5.3.3	中值滤波	203
5.4	滤波器分析	203
5.4.1	数字滤波器分析.....	203
5.4.2	模拟滤波器的性能分析.....	206
5.5	窗函数	207
5.6	数字滤波器设计.....	210
5.6.1	IIR 滤波器设计	210
5.6.2	FIR 滤波器设计	213
5.6.3	数字滤波器的实现.....	221
5.7	随机信号分析	221
5.7.1	互相关和互协方差.....	221
5.7.2	谱估计	222
5.8	数字信号处理中的其他问题.....	227
5.8.1	重采样	227
5.8.2	FFT	229
5.8.3	倒谱分析	230
5.8.4	离散余弦变换.....	230
5.9	滤波器分析设计工具 FDATool.....	231
5.10	信号处理工具 SPTool.....	235
第 6 章	滤波器设计工具箱.....	241
6.1	滤波器量化	241
6.2	滤波器频率响应变换.....	247
6.3	高级滤波器设计函数.....	249
6.4	自适应滤波器设计.....	251
第 7 章	Simulink 系统仿真	253
7.1	Simulink 基础.....	254
7.1.1	模型编辑器	254
7.1.2	创建和仿真 Simulink 模型	254
7.1.3	创建子系统	258
7.1.4	自定义模块库.....	259
7.1.5	子系统封装	260
7.1.6	条件子系统	263

7.1.7 输出模块图	265
7.2 Simulink 仿真原理	266
7.2.1 与 Simulink 模型有关的基本概念	267
7.2.2 与 Simulink 模型仿真有关的基本概念	270
7.3 Simulink 模块库及常用模块	276
7.3.1 示波器模块	276
7.3.2 信号构造模块	277
7.3.3 逻辑控制类模块	279
7.3.4 专业模块库中的模块	280
7.4 Simulink 模型仿真	281
7.4.1 仿真参数设置	281
7.4.2 简单系统的仿真	283
7.4.3 动态系统的仿真	284
7.4.4 模型离散化	285
7.4.5 模型的线性化分析	288
7.4.6 仿真性能分析	289
7.4.7 Simulink 调试器	289
7.4.8 仿真的命令行操作	290
7.5 Real-Time Workshop 简介	291
7.5.1 Real-Time Workshop 综述	291
7.5.2 建立普通实时应用程序示例	293
第 8 章 DSP 模块库和定点 DSP 模块库	296
8.1 DSP 模块库简介	296
8.1.1 DSP 模块库中信号的基本概念	296
8.1.2 信号的采样周期和帧周期	298
8.1.3 信号的基本操作	300
8.1.4 滤波模块	302
8.1.5 其他 DSP 模块	303
8.2 定点 DSP 模块库简介	304
8.2.1 定点数和浮点数	305
8.2.2 定点数的定标	305
8.2.3 定点 DSP 模块特有的数据类型	306
8.2.4 定点算术运算	308
8.2.5 定点滤波器仿真	309
8.2.6 自动定标	311
8.2.7 定点函数表设计	314

第 9 章 DSP 硬件目标仿真	321
9.1 MATLAB 与 TI CCS 的连接	321
9.1.1 CCS IDE 连接演示	322
9.1.2 RTDX 连接演示	325
9.2 TI C6000 DSP 嵌入式目标开发工具	327
9.3 DSPdeveloper	331
附录 常用模块库参考	334

第 1 章 概 论

1.1 MATLAB 简介

MATLAB 是美国 Mathworks 公司开发的新一代科学计算软件；MATLAB 是英文 MATrix LABoratory（矩阵实验室）的缩写；MATLAB 是一个专门为科学计算而设计的可视化计算器。利用这个计算器中的简单命令，能快速完成其他高级语言只有通过复杂编程才能实现的数值计算和图形显示。

MATLAB 是一种既可交互使用又能解释执行的计算机编程语言。所谓交互使用，是指用户输入一条语句后立即就能得到该语句的计算结果，而无需像 C 语言那样首先编写源程序，然后对之进行编译、连接，才能最终形成可执行文件。

MATLAB 语言可以用直观的数学表达式来描述问题，从而避开繁琐的底层编程，并把有限的时间和精力更多地花在要解决的问题上，因此可大大提高工作效率。MATLAB 的编程语法与交互使用是一致的，因此交互使用时输入的代码能够很方便地转化为可重用的函数或过程。

MATLAB 是解决工程技术问题的计算平台。利用它能够轻松完成复杂的数值计算、数据分析、符号计算和数据可视化等任务。其中，符号计算能够得到符号表达式的符号解（如函数积分）和任意精度数值解（如精确到小数点后 100 位的 π 值）。相对于数值计算，符号计算不会带来任何机器误差，但是需要耗费更多的计算机内存和时间。另外，利用 MATLAB 软件包中的 Simulink 等组件，能够对各种动态系统进行仿真分析，并且能为多种实时目标生成可执行代码，这显然有利于缩短软硬件系统的研发周期。

MATLAB 软件由主包和各类工具箱构成。其中，主包基本上是一个用 C/C++ 等语言编写的函数库。该函数库提供矩阵（或数组）的各种算法以及建立在此基础上的各种应用函数和一些相关的用户友好操作界面。而工具箱则从深度和广度上大大扩展了 MATLAB 主包的功能和应用领域。从使用角度看，这些工具箱可分为功能性工具箱和学科性工具箱两大类。前一类工具箱通用于各个学科领域，如“符号工具箱”；后一类工具箱则与专门学科密切相关，如“信号处理工具箱”、“神经网络工具箱”、“金融分析工具箱”等。此外，市场上还有大量不断涌现的基于 MATLAB 的第三方软硬件产品。

随着自身的不断完善和发展，MATLAB 功能越来越强大，应用也越来越广泛。无论是在教育研究单位，还是在工业商业部门，MATLAB 普遍被认为是能有效提高工作效率的首选软件工具。在学术界，MATLAB 被认为是科学计算的标准软件（IEEE 称其为同类产品中最具特色的软件），在许多学术刊物上都可以看到 MATLAB 应用的文章；在大学里，MATLAB 成为理工科广大教师和学生常用的辅助教学工具，甚至在中小学教学中也能看到 MATLAB 的各种应用；在工业界，诸如 Boeing, Motorola, Nokia, Quantum, TI 等公司都在利用 MATLAB 来加快产品的研发过程。可见，MATLAB 已经不仅仅是一个“矩阵实

验室”，而是一个能够满足不同科技工程领域中不同层次计算需要的高级计算工具。

与其他高级语言（例如 C）相比，MATLAB 语言具有以下 6 个显著特点。

1) MATLAB 的基本数据类型是双精度的、无须定义的、下标从 1 开始的复数矩阵。其中，行向量是 $1 \times n$ 的矩阵，列向量是 $n \times 1$ 的矩阵，标量是 1×1 的矩阵。这就意味着能够在 MATLAB 程序中使用高度“向量化”的语句以使整个程序易写易读。例如要得到 $t=1,2,3$ 时刻信号 $y=\sin(t)$ 的值，MATLAB 只需两条语句 $t=[1 \ 2 \ 3]; y=\sin(t)$ 就能完成（省却了循环）。这也就是 MATLAB 中频繁使用的“数组运算”。再例如要求解代数方程组，MATLAB 只需一条指令 $x=A \setminus b$ 就能完成。该指令虽然简单，但其内涵却非常丰富（可以求解恰定、欠定或超定方程组）。

2) MATLAB 有命令行操作（像一个高级计算器）和编程执行两种使用方法，分别适用于简单的草稿式计算和复杂的应用开发。

3) 绝大多数 MATLAB 函数的输入输出参数个数都是可变的，调用函数时输入输出参数的个数不同，函数完成的功能会有一定的差异。

4) MATLAB 操作界面友好，编程语言简练，算法高效准确，图形显示和数据可视化功能强大。

5) MATLAB 的帮助系统非常完善，内容包括各个组件的入门指南、完全用户手册和示例演示等，且有多种获取和使用帮助的简便方法。例如，即使是在 help 和 helpdesk 帮助中显示的代码也可通过现场菜单执行或直接打开编辑。另外，MATLAB 帮助内容有 PDF 格式和 Html 格式两套，用户既可以通过阅读相关的 PDF 文档来系统地学习 MATLAB，也可以在使用中随时查找需要的信息。

6) MATLAB 采用开放性结构设计。这具体体现在以下三个方面：一是除少数内部函数外，所有 MATLAB 主包函数和各种工具箱函数都是可读可改的 M 文件（纯文本格式），这也使得新工具箱的开发和扩展非常方便，例如用户可通过修改已有的 M 文件或添加新的 M 文件来生成用户自定义工具箱；二是支持 DDE、COM、ActiveX 等技术，可以提供和接受 Active 组件服务；三是对外提供了 MATLAB 的 C/C++ 数学函数库、图形函数库以及相关的 API 函数，这就便于在其他开发环境（如 MS VC++）中使用 MATLAB 的强大功能，或在 MATLAB 中使用由其他语言（如 C/C++ 或 Fortran）编写的程序以提高执行速度。

下面先在 MATLAB 命令窗中用几个简单的例子来说明 MATLAB 能做些什么（在输入指令的末尾输入回车键后，文本型计算结果会立即在命令窗中显示出来，图形结果则在单独的图形窗中显示）。

注意：本书用 Courier New 粗体字表示用户在命令窗中的输入；用 Courier New 字体表示 MATLAB 命令窗中显示的计算结果；用 s1)，s2) 等表示问题的不同解法；用 b1)，b2) 表示解的步骤。

【例 1.1】 最简单的计算器用法：计算 $(1+2 \times \cos(\pi/5))^{1.3}$ 。

b1) 在 MATLAB 命令窗的提示符 `>>` 后输入需要计算的表达式：

```
>>(1+2*cos(pi/5))^1.3
```

b2) 按回车键，MATLAB 执行该表达式并给出计算结果如下：

```
ans = 3.4944
```

【例 1.2】 计算 $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$, 其中 $n=10, k=3$ 。

```
nchoosek(100,3)
ans = 161700
```

【例 1.3】 复数运算: 已知 $z_1=1+2i, z_2=3+4i, z_3=5+6i, z_4=7e^{\frac{\pi}{8}i}, z=\frac{z_1 z_2}{z_3}+z_4$, 试计算 z , 并计算出 z 的模和相角, 其中相角用度数表示。

```
z1=1+2i,z2=3+j*4,z3=complex(5,6),z4=7*exp(pi/8*i)
z=z1*z2/z3+zm,zm=abs(z),za=angle(z)*180/pi
z1 = 1.0000 + 2.0000i
z2 = 3.0000 + 4.0000i
z3 = 5.0000 + 6.0000i
z4 = 6.4672 + 2.6788i
z = 7.0409 + 3.9903i
zm = 8.0930
za = 29.5413
```

【例 1.4】 矩阵计算: 已知 $A=\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}, B=\begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}$, 求 $A \times B$ 。

```
A=[1 2;3 4];B=[2 3;4 5];A*B
ans = 10 13
      22 29
```

【例 1.5】 字符串操作: 统计一段文本中某字符出现的次数。

```
s=input('please input string:','s');
c=input('please input a char:','s');
n=length(findstr(s,c))
please input string: MATLAB is a good thing for everybody.
please input a char: i
n = 2
```

【例 1.6】 符号运算: 求函数 $\sin(x)(1+x^2)$ 关于 x 的一阶导数。

```
diff('sin(x)*(1+x*x)')
ans = cos(x)*(1+x^2)+2*sin(x)*x
```

【例 1.7】 任意精度符号解: 写出 π 的前 30 位有效数字。

```
vpa(pi,30)
ans = 3.14159265358979323846264338328
```

【例 1.8】 函数图示: 绘制函数 $y = \text{sinc}(x)$ 在区间 $[-5,8]$ 上的图形。

```
ezplot('sinc(x)',-4,6)
```

结果如图 1.1.1 所示。

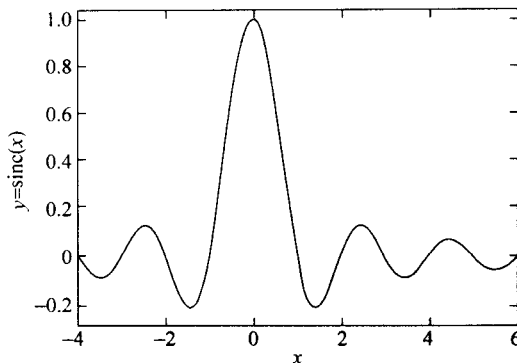


图 1.1.1 $y=\text{sinc}(x)$ 函数在 $[-5, 8]$ 区间上的图形

【例 1.9】 数据图示：设有一批数据点 (t, y) ，其中 t 在区间 $[0, 2\pi]$ 上以 $\pi/30$ 等间隔分布， y 在每个 t 上由函数 $y=\sin(t^2)$ 计算得到，试绘出这些数据点的图形。

```
t=0:pi/30:pi*2;y=sin(t.^2);plot(t,y)
```

结果如图 1.1.2 所示。

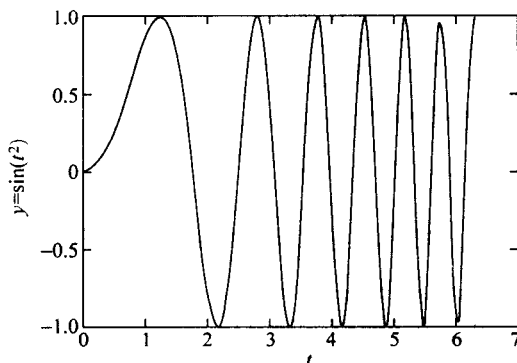


图 1.1.2 函数 $y=\sin(t^2)$ 在区间 $[0, 2\pi]$ 上的图形

【例 1.10】 文件操作：获取文件的大小。

```
s=dir('myfile.dat');filesize=s.bytes
filesize = 518
```

【例 1.11】 几何应用：已知空间三点 $A(1,1,-1)$, $B(3,3,0)$, $C(5,4,4)$ ，求 $\triangle ABC$ 的面积。

```
A=[1 1 -1];B=[3 3 0];C=[5 4 4];AB=B-A;AC=C-A;
t=cross(AB,AC); %计算两个向量的叉积
Sn=sqrt(sum(t.^2))/2 %由叉积计算面积（数值解）
Sf=sqrt(sum(sym(t).^2))/2 %由叉积计算面积（精确符号解）
Sn = 4.7170
Sf = 1/2*89^(1/2)
```

【例 1.12】 数据分析和处理：有一批试验数据（1 3 -5 100 9 6 -2 50 7

2 4)。①剔除数据中的“野点”，即保留误差小于标准差的数据；②在经过①处理的数据中，把小于0的数据全部用0代替。

```
x=[1 3 -5 100 9 6 -2 50 7 2 4]
y=x(abs(x-mean(x))<=std(x))      %完成①问
y(find(y<0))=0                    %完成②问，等价于 y(y<0)=0
x = 1      3      -5      100      9      6      -2      50      7      2      4
y = 1      3      -5      9      6      -2      7      2      4
y = 1      3      0      9      6      0      7      2      4
```

【例 1.13】 输出声音：用计算机声卡放出标准音阶的 7 个单频正弦音符。

```
m=1:7;f=262*2.^(m-1)/12);      %产生 7 个音符的频率
fs=8000;t=0:1/fs:.3;y=[];      %采样频率 8kHz，音符时长 0.3s
for i=1:length(f);
    y=[y,sin(2*pi*f(i)*t)];      %所有音符串接成一路信号
end;
%放音，等价于 wavplay(y,fs)。(注：录音函数为 wavrecord)
sound(y,fs);
```

1.2 MATLAB 的发展历史

20 世纪 70 年代后期，Cleve Moler 教授利用代表当时数值线性代数计算最高水平的 EISPACK 和 LINPACK 两大软件包，用 Fortran 语言编写了一个集命令翻译、科学计算于一体的交互式软件系统。这就是最初的 MATLAB 程序，它只能作矩阵运算和粗糙的星号描点式绘图。

1984 年，Jack Little 和 Cleve Moler 等合作成立了 MathWorks 公司，并推出用 C 语言开发的 MATLAB 1.0。从此，MathWorks 公司不断推出新的商业版本，为 MATLAB 逐渐增加了图形图像处理、多媒体处理、应用程序接口等功能，并引进了针对各种专业应用的工具箱，使 MATLAB 的功能越来越强大。

20 世纪 90 年代初，运行于 Windows 系统上的 MATLAB 4.0 问世。在此后的发展中，4.x 版除了继承和发展原有的数值计算和图形可视化功能外，还增加了 Simulink、符号运算工具箱和 Notebook 等新的组件。其中，Simulink 是一个用于动态系统建模仿真的交互式集成环境，它不能独立运行，只能在 MATLAB 环境中运行；符号运算工具箱是以 Maple 为“引擎”构造的；Notebook 则实现了 MATLAB 与 MS-Word 的无缝连接，从而为广大科技工作者提供了一个融科学计算、图形可视和文字处理于一体的工作环境。1997 年，MATLAB 5.0 问世，紧接着问世的是 5.1 版，5.2 版以及 1999 年的 5.3 版。尤其值得一提的是 5.3 版，它在很多方面（如单元数组、结构数组、多维矩阵、对象和类等）进一步改进了 MATLAB 语言，使其编程更加方便。

进入 21 世纪以来，随着面向对象等程序设计技术的发展，MATLAB 的发展和普及速度也越来越快。2000 年底问世的 MATLAB 6.0 (Release 12)，无论是在核心数值算法，还

是在界面设计、外部接口、应用桌面等诸多方面都较 5.3 版有了极大的改进。

目前最新的 MATLAB 6.5 (Release 13), 除了继续增加组件 (例如 MATLAB 与 TI CCS 的连接、内嵌 TI DSP 目标开发等) 外, 还利用最新的矩阵计算软件库 LAPACK, BLAS 和 MATLAB JIT 加速器等技术, 大大改善了 MATLAB 程序的执行速度, 其中某些数据类型的操作性能几乎与 C 语言相当。另外, MATLAB 6.5 在操作桌面、网络支持、文件操作和外部接口等方面也有不同程度的改进。

1.3 MATLAB 系统组成

MATLAB 系统以 MATLAB 为核心, 由一系列相关软件 (也称为组件) 构成。其基本组成结构如图 1.3.1 所示。

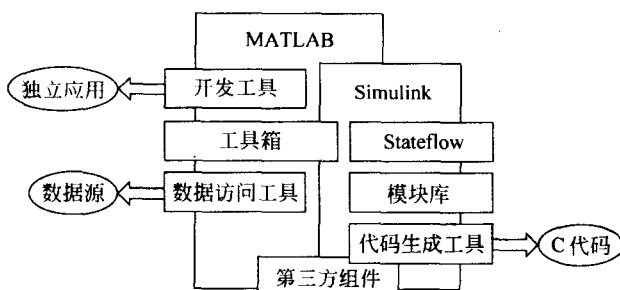


图 1.3.1 MATLAB 系统的基本组成

下面简单介绍 MATLAB 系统的各个基本组成部分。MATLAB 是整个系统的基础, 它提供完整的操作环境和核心计算函数, 完成各种数学运算、数据分析、图形显示和程序编辑调试等功能。

Simulink 提供了动态系统建模仿真的交互环境, 它与 MATLAB 一起共同构成整个 MATLAB 系统的核心。Simulink 可以与其他组件配合使用以扩展其功能, 例如, 与实时组件 (Real-time Workshop) 及代码生成工具相结合, 可以对模型进行实时仿真, 并把模型转化为基于不同硬件目标的可执行 C 代码; 与相关的工具箱和专业模块库相结合, 可完成各种复杂动态系统 (如机械、电子、控制等系统) 的建模仿真。(Simulink 不能独立于 MATLAB 环境运行。)

开发工具包括 MATLAB 编译器, MATLAB WEB 服务器, MATLAB 运行时间服务程序, 以及与 MATLAB 编译器配合使用的 COM 组件创建工具和 Excel 插件创建工具等。这些开发工具大多与创建独立的 MATLAB 应用程序有关。

工具箱基本上是一个用 MATLAB 语言编写的函数集合。MATLAB 6.5 中有 60 多个工具箱 (包括应用组件), 它们从不同领域扩展了 MATLAB 和 Simulink 的功能。例如, 与数据分析有关的工作具有优化工具箱、统计工具箱、符号工具箱、偏微分方程工具箱、样条工具箱、曲线拟合工具箱等; 与信号处理有关的工作具有信号处理工具箱、滤波器设计工具箱、控制系统工具箱、小波分析工具箱、神经网络工具箱、图像处理工具箱、通信工具