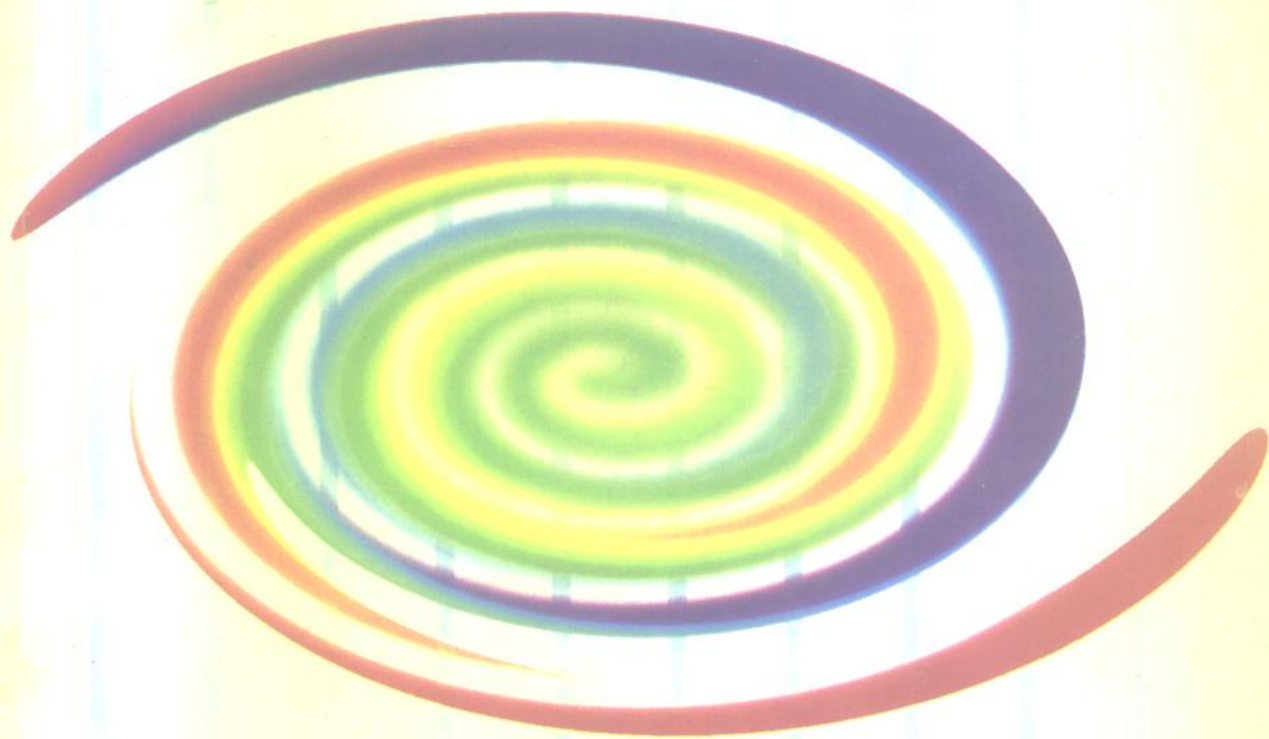




MATLAB

语言工具箱

—— TOOLBOX 实用指南

施 阳 李 俊 等编著

西北工业大学出版社

MATLAB 语言工具箱 **——TOOLBOX 实用指南**

施 阳 李 俊 编 著
王惠刚 严卫生

西北工业大学出版社
1998 年 5 月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 MATLAB 有 30 多种工具箱 (TOOLBOX), 涉及科学计算、自动控制、信号处理、神经网络、财政金融等多个学科领域, 具有极高的编程效率。本书结合具体实例详细介绍了控制系统工具箱、信号处理工具箱、优化设计工具箱、神经网络工具箱、模糊逻辑工具箱等 5 个常用工具箱, 对用户进行专业领域的程序设计具有重要的参考价值。

本书既可作为大专院校师生的指导书, 也可作为科研及工程技术人员高效、实用的工具书。

MATLAB 语言工具箱——TOOLBOX 实用指南

施 阳 李 俊 等编著

责任编辑 张近乐

责任校对 耿明丽

*

© 1998 西北工业大学出版社出版发行

(邮编: 710072 西安市友谊西路 127 号 电话: 8493844)

全国各地新华书店经销

西北工业大学印刷厂印装

ISBN 7-5612-1013-2/TP·143

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17.25 字数: 415 千字

1998 年 5 月第 1 版

1998 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—5 000 册

定价: 28.00 元

购买本社出版的图书, 如有缺页、错页的, 本社发行部负责调换。

前 言

MATLAB 是一种面向科学与工程计算的高级语言,它集科学计算、自动控制、信号处理、神经网络、图像处理等于一体,具有极高的编程效率。

MATLAB 的工具箱,为不同领域内使用 MATLAB 的研究开发者提供了一条捷径。当信号处理界正沉浸在回味小波变换的绝妙之处时,当控制界正致力于线性矩阵不等式(LMI)的研究时,当神经网络、模糊逻辑取得迅速进展时,MathWorks 公司不失时机地推出了小波工具箱(Wavelet Toolbox)、LMI 控制工具箱(LMI Control Toolbox)、神经网络工具箱(Neural Network Toolbox)、模糊逻辑工具箱(Fuzzy Logic Toolbox)……MATLAB 的工具箱丰富多样,使广大用户一见倾心。迄今为止,已有 30 多种各类工具箱面世,内容涉及信号处理、自动控制、图像处理、经济、数学、化学等不同领域。由于应用工具箱可以大大减小编程时的复杂程度,使用户感到更加简单快捷,因此,MathWorks 公司从创立至今始终追踪各领域的最新进展,及时推出各具特色的工具箱,这无疑是最明智、最富远见的举措,而对广大用户而言,则无疑提供了成功的机会。

虽然国内 MATLAB 的用户越来越多,关于 MATLAB 的书籍也逐渐增多,但是目前还没有一本关于工具箱的详细资料。我们结合实际应用经验,精选了 5 个常用工具箱编成了本书,将它奉献给读者,以期使更多的用户迅速掌握 MATLAB 的精髓。

全书共分 6 章。第一章介绍了 MATLAB 的发展历程以及工具箱概况;第二章在全面介绍控制工具箱函数的基础上,给出了 3 个设计实例;第三章通过大量的例子来讲述信号处理工具箱函数的用法;第四章介绍了优化工具箱的一些应用;第五章结合具体实例详细分析了神经网络的结构、算法、函数的使用以及神经网络的应用;第六章详细介绍了模糊逻辑工具箱中函数的功能、用法以及源代码。有关 MATLAB 语言的基础知识(软件安装、基本使用方法、编程技术)及动态仿真工具 SIMULINK 的技术、技巧知识,读者可阅读“MATLAB 语言系列丛书”之一——《MATLAB 语言精要及动态仿真工具 SIMULINK》。

需要说明的是,MATLAB 是为了方便用户而编制的,为了尊重 MATLAB 语言的特色,并且使程序运行结果图与程序原貌相一致,本书中所有 MATLAB 程序均保持其编写原貌,输出图形中有关标注也与程序中定义的内容及格式相对应。

购买 MATLAB 和 SIMULINK 软件及洽商其它业务可直接与 MathWorks 公司联系,联系方式如下:

The MathWorks , Inc.
24 Prime Park Way
Natick , MA 01760-1500
Phone : (508) 647-7000
Fax : (508) 647-7001

E-mail : info@mathworks.com

WWW : [http : //www. mathworks. com](http://www.mathworks.com)

经过近两个月的艰苦努力,我们终于可以暂时放下手中的笔。此时此刻,我们虽然极度疲惫,但也难抑心中的激动,但愿本书给广大读者带来的益处能使这份良苦用心得到补偿。

对于致力于踏踏实实干实事的人而言,能够得到肯定并得到发挥的机会,这种幸运仅可遇而不可求,而徐德民教授正是我们幸运遇到的这么一位良师,在此,谨向徐教授表示最衷心的感谢!本书从策划到出版得到了西北工业大学出版社的大力支持,对此亦深表谢意!

由于时间紧迫,作者水平有限,经验不足,书中难免有遗漏、错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

1997 年 12 月

目 录

第一章 MATLAB 工具箱概论	1
1.1 MATLAB 发展简介	1
1.2 工具箱简介	1
1.3 如何获取 MATLAB 的最新信息	5
第二章 控制系统工具箱	6
2.1 简介与安装	6
2.1.1 简介	6
2.1.2 安装	6
2.2 控制系统的数学描述	7
2.2.1 连续系统	7
2.2.2 离散系统	9
2.3 模型的转换与连接	10
2.3.1 模型转换	10
2.3.2 系统模型的连接	12
2.3.3 模型降阶与实现	15
2.3.4 模型属性函数	16
2.4 控制系统分析	17
2.4.1 时间响应	17
2.4.2 频率响应	19
2.4.3 根轨迹	21
2.4.4 极点配置	21
2.4.5 线性二次型调节器和估计器设计	22
2.5 控制系统响应及分析图形的绘制	24
2.6 设计实例	25
2.6.1 飞机航向阻尼器设计	26
2.6.2 硬盘读写头控制器设计	34
2.6.3 Kalman 滤波器设计	41
2.7 计算结果的可靠性分析	48
第三章 信号处理工具箱	50
3.1 引言	50

3.2 用 MATLAB 进行信号处理的基本知识	50
3.2.1 信号处理工具箱的主要特征	50
3.2.2 信号表示方法	51
3.2.3 产生波形	51
3.2.4 周期波形	53
3.2.5 Sinc 函数	54
3.2.6 Dirichlet 函数	54
3.2.7 产生数据	55
3.3 滤波器的实现与分析	55
3.3.1 卷积与滤波	55
3.3.2 滤波器与传递函数	56
3.3.3 用 filter 函数进行滤波	56
3.3.4 脉冲响应	57
3.3.5 滤波器的执行与初始条件	57
3.3.6 其它的一些滤波函数	58
3.3.7 频率响应	59
3.3.8 零极点分析	62
3.4 线性系统模型	62
3.4.1 离散系统模型	63
3.4.2 连续系统模型	67
3.4.3 线性系统转换	68
3.5 滤波器设计	68
3.5.1 滤波器性能说明	68
3.5.2 IIR 滤波器设计	69
3.5.3 FIR 滤波器设计	73
3.6 信号变换	80
3.6.1 离散傅立叶变换	80
3.6.2 Chirp z 变换	81
3.6.3 离散因果变换	82
3.6.4 Hilbert 变换	83
3.7 统计信号处理	83
3.7.1 互相关和协方差	84
3.7.2 偏差和标准化	84
3.7.3 多通道	85
3.7.4 谱密度	85
3.7.5 Welch 方法	85
3.7.6 功率谱密度函数	88
3.7.7 Parseval 定理	89
3.7.8 互谱密度函数	89

3.7.9 置信区间	89
3.7.10 传递函数估计	90
3.7.11 相干函数	90
3.8 窗函数	91
3.8.1 基本窗	91
3.8.2 升余弦窗	92
3.8.3 凯瑟窗	92
3.8.4 FIR 设计中的凯瑟窗	93
3.8.5 切比雪夫窗	94
3.9 参数化模型	95
3.9.1 时域模型	95
3.9.2 频域模型	98

第四章 优化工具箱简介 100

4.1 优化工具箱概述	100
4.1.1 简介	100
4.1.2 安装	101
4.1.3 举例	101
4.1.4 缺省参数设置	106
4.1.5 表达式优化	107
4.1.6 常见问题及推荐的解决办法	107
4.2 算法介绍	108
4.2.1 参数优化问题	108
4.2.2 无限定条件优化	109
4.2.3 拟牛顿法实现	110
4.2.4 最小二乘优化	111
4.2.5 非线性最小二乘实现	112
4.2.6 限定条件下的优化	113
4.2.7 SQP 实现	114
4.3 实例	115
4.3.1 工具箱的使用举例	115
4.3.2 Banana 函数最小化示例程序	121

第五章 神经网络工具箱 124

5.1 神经网络工具箱简介	124
5.1.1 神经网络简述	124
5.1.2 神经网络工具箱概述	124
5.2 感知器	125
5.2.1 重要的感知器神经网络函数	125

5.2.2	感知器神经元模型	125
5.2.3	感知器神经网络详解	126
5.3	线性神经网络	140
5.3.1	重要的线性神经网络函数	140
5.3.2	线性神经元模型	140
5.3.3	线性神经网络详解	141
5.3.4	自适应网络	143
5.3.5	线性神经网络的设计实例	143
5.4	BP 网络	149
5.4.1	重要的 BP 网络函数	149
5.4.2	BP 神经元模型	149
5.4.3	BP 神经网络详解	150
5.4.4	BP 算法的改进及其设计实例	156
5.5	径向基函数网络	165
5.5.1	重要的径向基函数网络函数	165
5.5.2	径向基函数神经元模型	165
5.5.3	径向基函数网络的网络结构	166
5.5.4	径向基函数网络的设计及实例	166
5.6	关联学习算法	169
5.6.1	重要的关联学习算法函数	169
5.6.2	Hebb 学习规则	169
5.6.3	Hebb 学习规则设计实例	170
5.6.4	Instar 学习规则设计实例	172
5.6.5	Kohonen 学习规则设计实例	174
5.6.6	Outstar 学习规则设计实例	175
5.7	自组织网络	176
5.7.1	自组织特征映射模型简介	176
5.7.2	重要的自组织网络	176
5.7.3	自组织网络详解	177
5.7.4	竞争学习网络设计实例	178
5.7.5	自组织特征映射	180
5.7.6	自组织特征映射设计实例	181
5.8	学习向量量化	182
5.8.1	重要的 LVQ 函数	183
5.8.2	LVQ 神经网络的网络结构	183
5.9	回归网络	184
5.9.1	重要的回归网络函数	185
5.9.2	回归神经网络的网络结构	185
5.9.3	Elman 网络的初始化	185

5.9.4 Elman 网络的训练	186
5.9.5 Hopfield 网络	186
5.10 神经网络的应用实例	189
5.10.1 利用线性网络进行线性预测	189
5.10.2 利用线性网络进行自适应预测	192
5.10.3 线性系统辨识	195
5.10.4 自适应系统辨识	198
5.10.5 非线性系统辨识	201
5.10.6 非线性系统的反馈线性化	202
5.10.7 特征识别	205
5.11 神经网络库函数详解	209
第六章 模糊推理系统工具箱	258
6.1 模糊推理系统工具箱简介	258
6.1.1 模糊集合理论简述	258
6.1.2 模糊推理系统工具箱的内容	259
6.2 模糊推理系统工具箱使用入门	259
6.3 模糊推理系统工具箱函数详解	260

第一章 MATLAB 工具箱概论

1.1 MATLAB 发展简介

MATLAB 是 MathWorks 公司的软件产品。现在, John Little 是 MathWorks 公司的总裁, Cleve Moler 是 MathWorks 公司的首席科学家。MATLAB 能有今天如此繁荣的市场同他们两人有很大关系。MATLAB 的诞生和发展经历了以下几个阶段:

(1) 70 年代中期, Cleve Moler 和其同事在美国国家科学基金的资助下研究开发了调用 LINPACK 和 EISPACK 的 FORTRAN 子程序库。LINPACK 是解线性方程的 FORTRAN 程序库, EISPACK 则是解特征值问题的程序库。这两个程序库代表着当时矩阵计算软件的最高水平。

(2) 70 年代后期, Cleve Moler 编写了方便使用 LINPACK 和 EISPACK 的接口程序, 并把这个接口程序取名为 MATLAB。

(3) 1983 年春, 由于 Cleve Moler 对斯坦福大学的访问, John Little 受到了 MATLAB 的影响。作为工程师的 Little 觉察到 MATLAB 潜在的应用天地在工程领域。同年, 他与 Moler、Steve Bangert 一起合作开发第二代专业版 MATLAB。从这一代开始, MATLAB 的核心就采用 C 语言编写。也是从这一代开始, MATLAB 不仅具有数值计算能力, 而且具有了数据图视功能。

(4) 1984 年, MathWorks 公司成立, 并把 MATLAB 推向市场。

(5) 1992 年, MathWorks 公司推出了划时代意义的 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, 使之应用范围越来越广。

(6) 1994 年, MathWorks 公司推出了 MATLAB 4.2 版本, 扩充了 4.0 版本的功能, 尤其是在图形设计方面提供了新的方法。1995 年 5 月, 又推出了 MATLAB 4.2 C 版本, 该版本目前应用最广。

(7) 1997 年夏, MathWorks 公司推出了 Windows 95 下的 MATLAB 5.0 和 SIMULINK 2.0, 该版本在继承 MATLAB 4.2 C 和 SIMULINK 1.3 版本功能的基础上, 实现了真正的 32 位运作, 数值计算更快, 图形表现更丰富有效, 编程更简捷直观, 用户界面更友好。

1.2 工具箱简介

现在, MATLAB 已经成为一个系列产品: MATLAB 主包和各种工具箱 (TOOLBOX)。功能丰富的工具箱将不同领域、不同方向的研究者吸引到 MATLAB 的编程环境中来, 成为 MATLAB 的忠实用户。迄今所有的 30 多个工具箱大致可分为两类: 功能型工具箱和领域型工具箱。功能型工具箱主要用来扩充 MATLAB 的符号计算功能、图形建模仿真功能、文字处

理功能以及与硬件实时交互功能,能用于多种学科。而领域型工具箱是专业性很强的,如控制工具箱(Control Toolbox)、信号处理工具箱(Signal Processing Toolbox)等。下面,将 MATLAB 工具箱内所包含的主要内容做简要介绍:

(1) 通讯工具箱(Communication Toolbox)。

- ◆ 提供 100 多个函数和 150 多个 SIMULINK 模块用于通讯系统的仿真和分析:
 - 信号编码
 - 调制解调
 - 滤波器和均衡器设计
 - 通道模型
 - 同步
- ◆ 可由结构图直接生成可应用的 C 语言源代码。

(2) 控制系统工具箱(Control System Toolbox)。

- ◆ 连续系统设计和离散系统设计
- ◆ 状态空间和传递函数
- ◆ 模型转换
- ◆ 频域响应: Bode 图、Nyquist 图、Nichols 图
- ◆ 时域响应: 冲击响应、阶跃响应、斜坡响应等
- ◆ 根轨迹、极点配置、LQG

(3) 财政金融工具箱(Financial Toolbox)。

- ◆ 成本、利润分析,市场灵敏度分析
- ◆ 业务量分析及优化
- ◆ 偏差分析
- ◆ 资金流量估算
- ◆ 财务报表

(4) 频率域系统辨识工具箱(Frequency Domain System Identification Toolbox)。

- ◆ 辨识具有未知延迟的连续和离散系统
- ◆ 计算幅值/相位、零点/极点的置信区间
- ◆ 设计周期激励信号、最小峰值、最优能量谱等

(5) 模糊逻辑工具箱(Fuzzy Logic Toolbox)。

- ◆ 友好的交互设计界面
- ◆ 自适应神经-模糊学习、聚类以及 Sugeno 推理
- ◆ 支持 SIMULINK 动态仿真
- ◆ 可生成 C 语言源代码用于实时应用

(6) 高阶谱分析工具箱(Higher - Order Spectral Analysis Toolbox)。

- ◆ 高阶谱估计
- ◆ 信号中非线性特征的检测和刻画
- ◆ 延时估计
- ◆ 幅值和相位重构
- ◆ 阵列信号处理

- ◆ 谐波重构
- (7) 图像处理工具箱(Image Processing Toolbox)。
 - ◆ 二维滤波器设计和滤波
 - ◆ 图像恢复增强
 - ◆ 色彩、集合及形态操作
 - ◆ 二维变换
 - ◆ 图像分析和统计
- (8) 线性矩阵不等式控制工具箱(LMI Control Toolbox)。
 - ◆ LMI 的基本用途
 - ◆ 基于 GUI 的 LMI 编辑器
 - ◆ LMI 问题的有效解法
 - ◆ LMI 问题解决方案
- (9) 模型预测控制工具箱(Model Predictive Control Toolbox)。
 - ◆ 建模、辨识及验证
 - ◆ 支持 MISO 模型和 MIMO 模型
 - ◆ 阶跃响应和状态空间模型
- (10) μ 分析与综合工具箱(μ -Analysis and Synthesis Toolbox)。
 - ◆ μ 分析与综合
 - ◆ H_2 和 H_∞ 最优综合
 - ◆ 模型降阶
 - ◆ 连续和离散系统
 - ◆ μ 分析与综合理论
- (11) 神经网络工具箱(Neural Network Toolbox)。
 - ◆ BP, Hopfield, Kohonen、自组织、径向基函数等网络
 - ◆ 竞争、线性、Sigmoidal 等传递函数
 - ◆ 前馈、递归等网络结构
 - ◆ 性能分析及应用
- (12) 优化工具箱(Optimization Toolbox)。
 - ◆ 线性规划和二次规划
 - ◆ 求函数的最大值和最小值
 - ◆ 多目标优化
 - ◆ 约束条件下的优化
 - ◆ 非线性方程求解
- (13) 偏微分方程工具箱(Partial Differential Equation Toolbox)。
 - ◆ 二维偏微分方程的图形处理
 - ◆ 几何表示
 - ◆ 自适应曲面绘制
 - ◆ 有限元方法
- (14) 鲁棒控制工具箱(Robust Control Toolbox)。

- ◆ LQG / LTR 最优综合
- ◆ H_2 和 H_∞ 最优综合
- ◆ 奇异值模型降阶
- ◆ 谱分解和建模

(15) 信号处理工具箱 (Signal Processing Toolbox)。

- ◆ 数字和模拟滤波器设计、应用及仿真
- ◆ 谱分析和估计
- ◆ FFT, DCT 等变换
- ◆ 参数化模型

(16) 样条工具箱 (Spline Toolbox)。

- ◆ 分段多项式和 B 样条
- ◆ 样条的构造
- ◆ 曲线拟合及平滑
- ◆ 函数微分、积分

(17) 统计工具箱 (Statistics Toolbox)。

- ◆ 概率分布和随机数生成
- ◆ 多变量分析
- ◆ 回归分析
- ◆ 主元分析
- ◆ 假设检验

(18) 符号数学工具箱 (Symbolic Math Toolbox)。

- ◆ 符号表达式和符号矩阵的创建
- ◆ 符号微积分、线性代数、方程求解
- ◆ 因式分解、展开和简化
- ◆ 符号函数的二维图形
- ◆ 图形化函数计算器

(19) 系统辨识工具箱 (System Identification Toolbox)。

- ◆ 状态空间和传递函数模型
- ◆ 模型验证
- ◆ MA, AR, ARMA 等
- ◆ 基于模型的信号处理
- ◆ 谱分析

(20) 小波工具箱 (Wavelet Toolbox)。

- ◆ 基于小波的分析 and 综合
- ◆ 图形界面和命令行接口
- ◆ 连续和离散小波变换及小波包
- ◆ 一维、二维小波
- ◆ 自适应去噪和压缩

1.3 如何获取 MATLAB 的最新信息

MathWorks 公司为用户提供良好的服务,用户有什么想法和需求,可以直接通过网络同 MathWorks 公司取得联系。下面给出一些有用的网址:

- (1) 产品技术支持——support@mathworks.com。
- (2) 改进产品建议——suggest@mathworks.com。
- (3) 产品价格以及最新产品介绍——info@mathworks.com。
- (4) MATLAB 会议信息——conference@mathworks.com。
- (5) MATLAB 新闻——[news - notes@mathworks.com](mailto:news-notes@mathworks.com)。
- (6) 万维网网址——[http: //www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)。

第二章 控制系统工具箱

2.1 简介与安装

2.1.1 简介

控制系统的计算机辅助设计技术从成为一门专门的学科以来已有 20 多年的历史,它一直受到控制界的普遍重视,在其发展过程中出现了各种各样的实用工具和理论成果。MATLAB 正是进行这种设计技术的方便可行的工具, MATLAB 已经成为国际控制界应用最广的语言和工具。

MATLAB 中含有极为丰富的专用于控制工程与系统分析的函数。一些常见的运算如复数运算、求特征值、求根、矩阵逆运算与 FFT 等,我们可能会觉得它们特别麻烦,但在 MATLAB 的控制系统工具箱中,它们仅仅是几个简单例子而已,用一条语句即可解决。更为一般的是, MATLAB 中的线性代数、矩阵计算和数值分析等功能为进行控制系统的分析与设计提供了可靠的和方便的支持。

控制系统工具箱实际上是一个算法的集合,它使用关于复数矩阵的函数来提供控制工程的专用函数,其中大部分是 M 文件,都可以直接调用。利用这些函数就可以完成控制系统的时域或频域设计、分析与建模。

无论是对于连续的还是离散的系统,在控制系统工具箱中都能用传递函数或状态空间等形式来表示,利用经典或现代控制技术来处理。不仅如此,利用工具箱还可进行模型之间的转换。我们大家熟知的控制系统分析中的时间响应、频域响应、根轨迹等都能够进行方便的计算并画出图形。利用其它的一些函数还可以进行像极点配置、最优控制与估计方面的设计。更为重要的一点是,用户可以通过编制 M 文件来任意地添加工具箱中原来没有的工具函数。

2.1.2 安装

MATLAB 的安装指示中有控制系统工具箱的安装提示,可以在安装 MATLAB 时按提示插入含控制系统工具箱的磁盘进行工具箱安装,也可以在安装完 MATLAB 后随时添加控制系统工具箱,只需在 Windows 环境下运行磁盘中的 setup.exe 即可。

用户在此工具箱中可以找到 5 个演示用的 M 文件,其中示例程序 ctrldemo.m 演示一些基本的控制设计函数,而 jetdemo.m, diskdemo.m, boildemo.m 和 kalmdemo.m 则是 4 个设计实例(本章将在设计实例部分介绍)。可以通过在 MATLAB 的命令窗口中直接键入文件名并回车来进行控制系统设计实例的演示。

2.2 控制系统的数学描述

MATLAB 处理的是矩阵对象,其元素可以是复数的。控制系统工具箱处理的系统是线性时不变(LTI)模型。本部分就从介绍如何用矩阵来表示不同类型的 LTI 系统模型开始。

2.2.1 连续系统

一、系统的状态空间描述

LTI 系统总是能用一阶微分方程组来表示,写成矩阵或者说是状态空间的形式,这些方程可以表示为

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}$$

其中, u 是 n_u 维控制输入向量, x 是 n_x 维状态向量, y 是 n_y 维输出向量。

用状态空间表示的系统在 MATLAB 中用 (A, B, C, D) 形式很容易表示, A, B, C, D 都是矩阵, 并且被当作独立变量来对待, 例如, 假设有一个由一对极点组成的二阶系统, 其自然频率 $\omega_n = 1.5$, 阻尼因子 $\xi = 0.2$, 则在命令窗口或正在编辑的 M 文件中键入如下语句可以输入系统的状态空间描述形式:

```
wn=1.5;  
z=0.2;  
a=[0 1  
    -wn^2 -2*z*wn];  
b=[0  
    wn^2];  
c=[1 0];  
d=0;
```

状态空间描述是 MATLAB 中对 LTI 系统最为自然的一种模型描述方法, 而对于多输入多输出(MIMO)系统而言, 状态空间描述是唯一方便的模型描述方法。

二、系统的传递函数描述

描述系统状态空间的一种等价方式是如下的拉普拉斯传递函数描述

$$Y(s) = H(s) \cdot u(s)$$

其中

$$H(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$$

在 MATLAB 中用如下的公式描述一个单输入单输出(SISO)系统

$$H(s) = \frac{\text{num}(s)}{\text{den}(s)} = \frac{\text{num}(1)s^{nn-1} + \text{num}(2)s^{nn-2} + \cdots + \text{num}(nn)}{\text{den}(1)s^{nd-1} + \text{den}(2)s^{nd-2} + \cdots + \text{den}(nd)}$$

其中 nn 和 nd 分别是分子和分母的数目。 den 是行向量, 为传递函数分母多项式的系数, 按 s 的降幂排列, 且 $\text{den}(1) \neq 0$; 分子系数则包含在矩阵 num 中, num 的行数与输出 y 的维数一致, 每列对应一个输出。这样, 在用这种形式表示一个系统时, 只需分别给定上述的两个向量 num 和 den , 就可以方便地由其分子和分母系数所构成的两个向量唯一地确定出来, 这两个向量在 MATLAB 中分别用 num 和 den 表示。