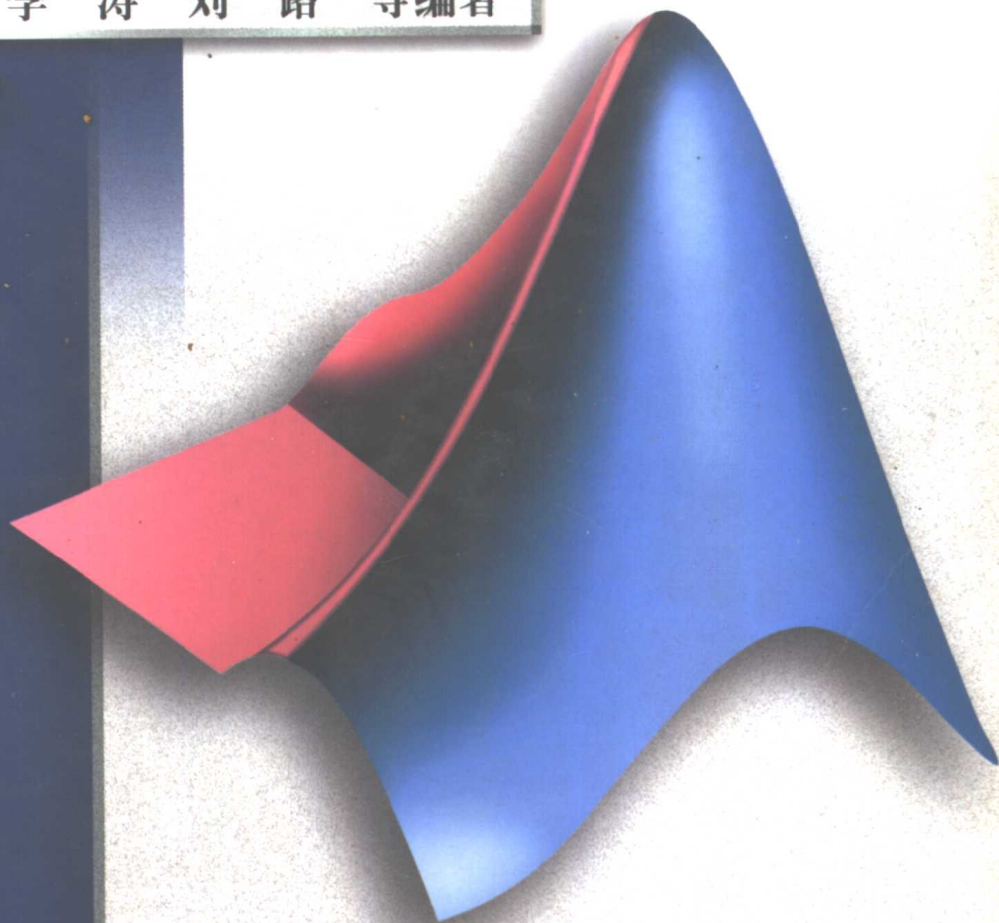


Matlab

工具箱应用指南

——信息工程篇

伯晓晨 李 涛 刘 路 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

Matlab 工具箱应用指南

——信息工程篇

伯晓晨 李 涛 刘 路 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共分7章,系统介绍 Matlab 中与信息工程联系紧密的7个工具箱的使用方法,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)、定点运算工具箱(Fixed - Point Blockset)、小波分析工具箱(Wavelet Toolbox)、高阶谱分析工具箱(High - Order Spectral Analysis Toolbox)及地理信息处理工具箱(Mapping ToolBox)。同时为了方便用户查询,以附录形式给出 Matlab 标准环境下所有函数的简单参考。本书在简要阐明函数原理和算法的基础上,给出详细的函数使用说明和应用例程。对于理工科大学教师、研究生、高年级本科生和广大科研人员具有重要的参考价值。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

Matlab 工具箱应用指南. 信息工程篇/伯晓晨等编著. - 北京:电子工业出版社,2000.4
ISBN 7-5053-5887-1

I . M… II . 伯… III . Matlab 语言 IV . TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 05568 号

书 名: Matlab 工具箱应用指南——信息工程篇

编 著 者: 伯晓晨 李 涛 刘 路 等

责任编辑: 郭 立

特约编辑: 明足群

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京大中印刷厂

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

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 41.25 字数: 1056 千字

版 次: 2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5887-1
TP·3056

印 数: 5000 册 定价: 56.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

序

1984年美国的 MathWorks 公司推出 Matlab, 到目前为止, 它已发展成为国际上最优秀的科技应用软件之一。其强大的科学计算与可视化功能、简单易用的开放式可扩展环境以及多达 30 多个面向不同领域而扩展的工具箱(Toolbox)支持, 使得 Matlab 在许多学科领域中成为计算机辅助设计与分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。在我国, Matlab 已经拥有许多用户, 许多高校陆续开设了有关 Matlab 的课程, 清华大学、华中理工大学等高校的 BBS 上还专门设立了 Matlab 讨论区。

Matlab 最初用于自动控制系统的辅助设计, 而后采用了开放性开发的思想, 不断吸收各学科领域权威人士所编写的实用程序, 形成了一系列规模庞大、覆盖面极广的工具箱(Toolbox)。所谓工具箱, 其实是一组一组的函数, 包括了通信系统、信号处理、图像处理、小波分析、鲁棒控制、系统辨识、非线性控制、模糊控制、神经网络、优化理论、样条、商用统计分析等等大量现代工程技术学科的内容, 非常实用。至今, 国内有关 Matlab 的书都把内容集中在 Matlab 语言和经典控制系统的设计上, 很少涉及 Matlab 工具箱, 致使大多数 Matlab 用户难以使用工具箱中丰富的函数。

在长期的学习、应用过程中, 我们感觉 Matlab 脚本式的语言其实不难掌握, 难点在于如何理解和掌握 Matlab 及其工具箱中大量函数的功能及用法, 避免重复性的劳动, 尽快地“站在巨人肩上”开展工作。本套书的目的就是希望通过详尽的介绍众多工具箱中的函数功能及使用方法, 以帮助用户更好更快地理解、掌握和使用 Matlab 及其工具箱, 希望这套书能给予 Matlab 用户们一点帮助, 让大家在学习和使用过程中少花点力气, 少走点弯路。

根据各个工具箱涉及的学科领域, 该套丛书分为 3 篇, 即信息工程篇、应用数学篇和控制工程篇, 共涉及 17 个工具箱。

信息工程篇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)、定点运算工具箱(Fixed-Point Blockset)、小波分析工具箱(Wavelet Toolbox)、高阶谱分析工具箱(High-Order Spectral Analysis Toolbox)及地理信息处理工具箱(Mapping Toolbox)。

应用数学篇包括统计工具箱(Statistics Toolbox)、偏微分方程工具箱(Partial Differential Equation Toolbox)、样条工具箱(Spline Toolbox)及优化工具箱(Optimization Toolbox)。

控制工程篇包括系统辨识工具箱(System Identification Toolbox)、控制系统工具箱(Control System Toolbox)、鲁棒控制工具箱(Robust Control Toolbox)、模型预测控制工具箱(Model Predictive Control Toolbox)、模糊逻辑工具箱(Fuzzy Logic Toolbox)及非线性控制设计模块(Nonlinear Control Design Blockset)。

本套丛书在简要阐明函数原理和算法的基础上, 给出了详细的函数使用说明, 大部分函数给出了应用实例。对于理工科学生和广大科技人员具有重要的参考价值。同时为完整起见, 以附录形式给出了 Matlab 标准环境下的所有函数的简单参考, 以供用户快速查询。

Matlab 工具箱涉及多个学科的理论知识,内容非常丰富。由于我们水平和时间有限,对于书中出现的错误和不妥之处,恳请读者指正。

编 者
1999 年 11 月

前 言

20 世纪 60 年代以来,计算机技术突飞猛进,带动了一大批有关信息处理的学科的发展。数字信号处理、数字图像处理、地理信息系统等等许多领域成为研究的热点,新的理论、新的算法层出不穷。为适应这种形势,MathWork 公司在 Matlab 中集成了许多信息工程方面的工具箱,供广大教学、科研和开发人员使用。本书主要讲述其中几个比较重要的工具箱的使用方法。为方便读者阅读,书中将每个工具箱中的函数按内容分类,各成一节,并将每一学科的基本理论与基本算法穿插到相应的章节中去。

本书共分 7 章,分别讲述 7 个工具箱的使用方法,它们是信号处理工具箱(Signal Processing Toolbox)、图像处理工具箱(Image Processing Toolbox)、通信工具箱(Communication Toolbox)、定点运算工具箱(Fixed - Point Toolbox)、小波分析工具箱(Wavelet Toolbox)、高阶谱分析工具箱(Higher - Order Spectral Analysis Toolbox)和地理信息处理工具箱(Mapping Toolbox)。

信号处理工具箱涵盖了经典信号处理理论的大多数内容,是一个非常优秀的算法研究和辅助设计工具。其内容包括信号和波形的产生、信号的数学变换、数字和模拟滤波器的设计与分析、随机信号处理与经典谱估计、参数模型功率谱估计、多采样率信号处理、时 - 频分析和倒谱分析。

图像处理工具箱包含了数字图像处理的大多数经典算法,其内容包括图像类型转换、图像文件 I/O 和显示、图像的空间变换(插值缩放、插值旋转、剪切)、图像的数学变换、线性滤波及线性滤波器设计、图像的统计分析、图像增强、二值图像处理、图像形态学和彩色图像处理(调色板控制、色彩空间转换)。

通信工具箱提供一系列用于通信系统设计、分析、仿真的工具函数和 Simulink 模块,是一个完整的理论研究和工程设计平台。其内容包括信号发生器、信源编码和量化、差错控制编码、调制与解调、基带和通带信道模型、模拟与数字的锁相环同步技术、多路存取、伽罗华(Galois)域计算。

定点运算工具箱包含了基本定点运算模块,可以进行动态系统设计和仿真。

小波分析工具箱集成了小波分析的许多研究成果,是一个很好的算法研究和工程设计、仿真和应用平台,特别适用于信号和图像分析、综合、去噪、压缩等领域的研究人员。其内容包括常用的小波基函数、连续小波变换及其应用、离散小波变换及其应用、小波包变换、信号和图像的多分辨率分解、基于小波的信号去噪和基于小波的信号压缩。

高阶谱分析工具箱是分析非高斯信号和非线性系统的有效工具。其内容包括经典(非参数模型)高阶谱估计、参数模型高阶谱估计、二阶 Volterra 系统、幅值和相位恢复、自适应线性预测、谐波恢复、时 - 频估计、二次相位耦合、时延估计和阵列信号处理。

地理信息处理工具箱为地理信息处理提供一个使用方便,功能强大的信息处理环境。其内容包括地理信息分析与操纵、地图投影、地图显示和外部数据引入。

另外,本书最后还附有 Matlab 的基本函数列表,供读者查询。

本书第 1、2、5、6 章由伯晓晨编写,第 3 章由吴作顺、张志刚、伯晓晨共同编写,第 4 章由刘路编写、第 7 章和附录由李涛编写,全书由伯晓晨统稿,伯晓晨、徐昕、李涛审校。

参加编写的还有王建国、高平、陈明、刘锋、冯旭东、姚崎、王军、李相迎、王滨华、翟继双、武元新、卢亚和、张丽红、陈晓敏、崔琦、孙旭东、李爱华等。

在本书的编写过程中,得到了电子工业出版社几位编辑的大力支持,特约编辑为审阅本书付出了大量的心血,在此向他们表示衷心的感谢。

感谢父母和老师多年来对我的培养和教育,感谢女友应晓敏小姐对我的关心和支持,感谢国防科技大学、华中理工大学、上海交通大学和清华大学各位钻研 Matlab 的网友们的启发。

本书涉及多个学科,涵盖大量的理论知识。作者学识有限,希望读者对书中的错误不吝指正。

伯晓晨
1999 年 11 月

目 录

第 1 章 信号处理工具箱	1
1.1 Matlab 中的信号表示与产生	2
1.1.1 Matlab 中的信号表示方法	2
1.1.2 工具箱中的信号产生函数	3
1.1.3 信号的基本运算和基本属性	9
1.2 Z 变换和离散时间系统	10
1.2.1 Z 变换	10
1.2.2 离散线性系统模型	10
1.2.3 线性系统变换	12
1.3 信号的数学变换	20
1.3.1 离散傅立叶变换 (DFT)	20
1.3.2 快速离散傅立叶变换 (FFT)	21
1.3.3 离散余弦变换 (DCT)	23
1.3.4 离散希尔伯特变换 (HCT)	26
1.3.5 Chrip-Z 变换 (CZT)	27
1.4 滤波器的分析与实现	29
1.4.1 线性系统与滤波器的分析	29
1.4.2 滤波器的实现	36
1.5 模拟滤波器和无限冲激响应 (IIR) 数字滤波器的设计	39
1.5.1 滤波器设计的一些基本概念	39
1.5.2 模拟低通滤波器的设计	41
1.5.3 频率变换和模拟高通、带通、带阻滤波器的设计	46
1.5.4 模拟滤波器的离散化	50
1.5.5 标准模拟 / 数字滤波器设计函数	53
1.5.6 数字滤波器的最小阶次估计	61
1.6 窗函数	66
1.7 有限冲激响应 (FIR) 滤波器的设计	73
1.7.1 窗函数设计法	74
1.7.2 最小平方逼近法	76
1.7.3 一致逼近法	81
1.7.4 用于信号插值的限带滤波器	83
1.8 采样率转换	84
1.8.1 信号的整数倍抽取 (decimation)	84
1.8.2 信号的整数倍插值 (interpolation)	85
1.8.3 任意倍数的信号重采样 (resample)	86
1.9 随机信号分析与经典谱估计	88
1.9.1 随机变量	88
1.9.2 随机信号	89

1.9.3 相关函数和协方差的估计	90
1.9.4 经典功率谱估计	92
1.9.5 基于经典谱估计的系统辨识	97
1.10 参数模型功率谱估计与系统辨识	99
1.10.1 平稳随机信号的参数模型	99
1.10.2 AR 模型的递推估计	100
1.10.3 由冲激响应辨识系统的传递函数	102
1.10.4 由频率响应辨识系统的传递函数	105
1.11 倒谱分析	107
1.12 中值滤波	110
1.13 短时傅立叶变换与时-频分析	111
参考文献	113
第 2 章 图像处理工具箱	114
2.1 Matlab 中的图像类型及类型转换	115
2.1.1 图像和图像数据	115
2.1.2 图像处理工具箱所支持的图像类型	115
2.1.3 图像类型转换	118
2.2 图像文件的读/写和显示	122
2.2.1 图像文件的读写	122
2.2.2 图像显示	125
2.3 图像插值与剪切	130
2.3.1 图像插值	130
2.3.2 图像的插值缩放	132
2.3.3 图像的插值旋转	133
2.3.4 图像的剪切	133
2.4 图像的数学变换	135
2.4.1 快速傅立叶变换 (FFT)	135
2.4.2 离散余弦变换 (DCT)	140
2.4.3 Radon 变换	143
2.5 滑动窗与图像块	147
2.6 二维线性滤波与滤波器设计	150
2.6.1 二维卷积	150
2.6.2 常用算子与二维滤波	151
2.6.3 二维 FIR 滤波器的频率响应和窗函数设计法	154
2.6.4 二维 FIR 滤波器设计的频率采样法	158
2.6.5 二维 FIR 滤波器设计的频率变换法	160
2.7 像素值与统计特征的分析	161
2.7.1 像素颜色值的获取	161
2.7.2 图像的统计特征	165
2.7.3 灰度等值图	166
2.8 图像增强	167

2.8.1 对比度调整.....	167
2.8.2 直方图均衡化.....	169
2.8.3 图像去噪.....	170
2.9 边缘检测.....	173
2.10 四叉树分解.....	176
2.11 二值图像处理.....	178
2.11.1 形态学图像处理.....	179
2.11.2 对象操作.....	182
2.11.3 特征提取.....	186
2.11.4 查寻表.....	187
2.12 对特定区域的处理.....	189
2.13 色彩空间的转换.....	192
参考文献.....	195
第3章 通信工具箱	196
3.1 通信系统与通信工具箱概述.....	196
3.2 信号发生器和显示设备.....	198
3.2.1 随机信号发生器.....	198
3.2.2 显示设备.....	199
3.3 信源编码.....	203
3.3.1 标量量化.....	203
3.3.2 压缩扩展器.....	204
3.3.3 预测量化.....	205
3.3.4 通信工具箱中的信源编码函数.....	206
3.4 差错控制.....	209
3.4.1 常用的编码类型.....	209
3.4.2 纠错编码函数.....	212
3.4.3 底层纠错编码函数.....	221
3.5 调制解调.....	227
3.5.1 带通模拟调制/解调.....	228
3.5.2 带通模拟调制/解调的工具箱函数.....	231
3.5.3 带通数字调制/解调.....	233
3.5.4 带通数字调制/解调的工具箱函数.....	238
3.5.5 基带调制/解调.....	246
3.5.6 基带调制/解调的工具箱函数.....	248
3.5.7 调制/解调的通用函数.....	255
3.6 多路存取.....	256
3.7 通信系统中的专用滤波器.....	259
3.8 有限域计算.....	265
参考文献.....	275
第4章 定点运算工具箱	276
4.1 定点模块的开发模式.....	276
4.2 定点运算原理.....	277

4.2.1 定点制和浮点制	277
4.2.2 Simulink 定点数据类型	278
4.2.3 定点运算实现控制规律和数字滤波时的非线性效应	279
4.2.4 Simulink 定点数的表示范围	280
4.3 定点运算函数和 Simulink 模块	282
4.3.1 定点运算函数	282
4.3.2 定点运算的 Simulink 模块	284
参考文献	306
第 5 章 小波分析工具箱	307
5.1 小波分析基础	307
5.1.1 傅立叶变换、短时傅立叶变换和小波变换	307
5.1.2 小波基函数及其在工具箱中的表示	308
5.1.3 小波滤波器的计算	313
5.1.4 工具箱中用于验证算法的数据文件	317
5.2 连续小波变换	324
5.3 一维离散小波变换	327
5.4 二维离散小波变换	349
5.5 小波包	361
5.5.1 小波包信号分解	361
5.5.2 树操作	364
5.5.3 小波包分析函数	375
5.6 基于小波的信号去噪和压缩	385
参考文献	397
第 6 章 高阶谱分析工具箱	399
6.1 高阶累积量和高阶谱	400
6.1.1 高阶累积量	400
6.1.2 高阶谱	401
6.1.3 工具箱中用于验证算法的数据文件	402
6.2 非参数化高阶谱估计	411
6.2.1 高阶累积量的估计	411
6.2.2 双谱和互双谱的估计	414
6.2.3 高斯性和线性检验——Hinich 检验	419
6.3 参数模型高阶谱估计	421
6.3.1 ARMA 模型及其模拟产生	421
6.3.2 MA 模型的参数估计	423
6.3.3 AR 模型的参数估计	425
6.3.4 ARMA 模型参数估计	427
6.3.5 基于 ARMA 模型的高阶统计量估计	429
6.4 自适应线性预测	431
6.4.1 误差准则	431

6.4.2 自适应算法.....	432
6.5 基于倒谱的冲激响应辨识和信号恢复	434
6.6 二阶 Volterra 非线性系统的参数估计	437
6.6.1 二阶 Volterra 系统.....	438
6.6.2 输入为高斯信号的参数估计	439
6.6.3 输入为任意信号的参数估计	440
6.7 Wigner 时频分布及其高阶谱	441
6.7.1 Wigner 分布	442
6.7.2 Wigner 高阶矩谱	445
6.8 时延估计	448
6.8.1 基于互相关的时延估计	448
6.8.2 基于互累积量的时延估计	450
6.8.3 基于双谱的时延估计	450
6.9 谐波恢复与达波方向 (DOA) 估计	452
参考文献.....	455
第 7 章 地理信息处理工具箱	456
7.1 地理信息处理的基本知识	457
7.1.1 地理测量.....	457
7.1.2 单位转换.....	468
7.2 操作矢量图	474
7.2.1 数据格式.....	474
7.2.2 矢量数据的生成.....	474
7.2.3 坐标内插.....	481
7.2.4 求交	483
7.2.5 剪切	486
7.2.6 约简	489
7.3 操作栅格地图.....	490
7.3.1 数据格式.....	490
7.3.2 栅格图操作.....	491
7.3.3 规则栅格图的特殊处理	494
7.3.4 特殊矩阵.....	500
7.3.5 格式转换.....	502
7.4 地图投影.....	503
7.4.1 地图投影基础	503
7.4.2 Mapping 中的地图投影	504
7.4.3 纬度转换.....	506
7.5 地图显示.....	508
7.5.1 Map axes 结构.....	508
7.5.2 地图定义与属性控制	514
7.5.3 投影转换.....	522
7.5.4 对象的投影与显示.....	528
7.5.5 交互	552
7.5.6 对象管理	553
7.5.7 类对象操作.....	556

7.6 地质统计分析	559
7.6.1 地理位置均值	560
7.6.2 地理标准差与标准距离	561
7.6.3 等积坐标转换	563
7.6.4 统计直方图	564
7.6.5 其他函数	566
7.7 图形窗口工具	567
7.7.1 maptool 简介	567
7.7.2 一个实际例子	568
7.7.3 maptool 环境	572
7.7.4 GUI 函数说明	576
7.8 地图集与外部数据接口	615
7.8.1 读取 DCW 数据	616
7.8.2 读取 TIGER 数据	619
7.8.3 读取 ETOPO5 和 TerrainBase 数据	625
7.8.4 获取 DCW-DEM 数据	626
7.8.5 读取美国高程数据	627
7.8.6 读取 FK5 天文数据	628
参考文献	630
附录 Matlab 函数参考	631
附录 1 常用命令	631
附录 2 运算符与特殊字符	632
附录 3 语言结构与调试	633
附录 4 基本矩阵及矩阵处理	634
附录 5 特殊矩阵	635
附录 6 数学函数	635
附录 7 坐标转换	636
附录 8 矩阵函数	636
附录 9 数据分析与 Fourier 变换函数	637
附录 10 多项式处理函数	638
附录 11 非线性数值方法	638
附录 12 稀疏矩阵函数	639
附录 13 图形绘制	640
附录 14 特殊图形	642
附录 15 图形处理	643
附录 16 GUI(图形用户接口)	644
附录 17 声音处理	645
附录 18 字符串处理函数	645
附录 19 文件输入输出函数	646
附录 20 位操作	646
附录 21 复杂数据类型	647
附录 22 日期与时间	648
附录 23 动态数据交换	648
参考文献	648

第1章 信号处理工具箱

(Signal Processing Toolbox, Ver 4.0)

20 世纪 60 年代以来,随着计算机和信息科学的飞速发展,信号处理逐渐发展成一门独立的学科,成为信息科学的重要组成部分,在语音处理、雷达、图像处理、通信、生物医学工程、航空航天、地质勘探等众多领域中得到广泛的应用。

近些年来,信号处理的理论和方法有了很大的发展,非线性、非因果、非高斯信号处理成为研究的热点,高阶统计量、小波变换和神经网络成为新的理论工具。

Matlab 的信号处理工具箱(Signal Processing Toolbox)覆盖了经典信号处理理论的大多数内容,是一个非常优秀的算法研究和辅助设计工具。它不仅提供大量的工具函数,而且还提供交互式的滤波器分析、设计工具和谱分析工具。

Matlab 信号处理工具箱在语音信号处理、生物医学工程、实时控制、雷达信号处理等多个研究领域得到成功的应用。台湾学者用信号处理工具箱和高阶谱分析工具箱对单个运动元的肌电图信号进行了分析,得到诊断和治疗神经肌生理失调的方法。苹果公司的 Richard 博士使用信号处理工具箱分析语音信号,取得了一系列有价值的研究成果。

按照功能,可以将信号处理工具箱中的函数分为以下 9 类。

1. 信号和波形的产生。
2. FFT、DCT、Hilbert 和其他一些数学变换。
3. 数字和模拟滤波器的设计、分析与实现,包括幅值和相位分析、零/极点分析、计算冲激响应和阶跃响应。
4. 随机信号处理与经典谱估计。
5. 参数模型功率谱估计。
6. 多采样率信号处理。
7. 窗函数。
8. 时-频分析。
9. 倒谱分析。

高阶谱分析、小波分析和神经网络由于其本身发展很快,已经形成较为独立的学科体系,而其应用又不仅仅限于信号处理,所以 Matlab 提供了相应的专用工具箱,这些内容也就没有包含在信号处理工具箱中。另外,数字图像虽然从本质上说是二维数字信号,但它具有一些特殊的性质,尤其是与人的感知紧密联系在一起。图像处理发展成一门独立的学科,Matlab 也提供了专门的工具箱,有关二维信号处理的内容请读者参考第 2 章。调制与解调是通信理论的重要内容,虽然信号处理工具箱提供了这方面的函数,但考虑到内容上的一致性,我们把这部分内容放在通信系统工具箱中,请读者参阅第 3 章。

按照信号的基本形式,可将其分成连续时间信号和离散时间信号。连续时间信号在自变量的连续值上都有定义,而离散时间信号仅仅定义在离散时间点上。对连续时间信号的处理大多数是采用模拟电路来实现的,而对离散时间信号的处理从本质上说就是数值运算,更加适于计算机实现。总的说,离散时间信号具有易于存储、算法灵活、运算精度高的特点。由于 Matlab 是通过软件进行信号处理的,所以我们不加说明地认为本书中涉及的“信号”为“离散时间信号”。当然,Matlab 也提供了一些用于模拟信号处理的工具箱函数,但只涉及到滤波器的设计,所以不会引起概念上的混乱。

1.1 Matlab 中的信号表示与产生

1.1.1 Matlab 中的信号表示方法

Matlab 语言中的基本数据类型是向量和矩阵,所以很自然地,信号处理工具箱中的信号也用向量或矩阵表示。列向量和行向量表示单通道信号,矩阵表示多通道信号,矩阵中的每一列表示一个通道。例如,输入语句

```
x = [4 3 7 9 1]'
```

就定义了一个 5 采样点的离散信号。以 x 为基础,可以定义三通道信号

```
y = [x 2*x x /2],
```

结果为

```
y =  
4.000    8.000    2.000  
3.000    6.000    1.500  
7.000   14.000    3.500  
9.000   18.000    4.500  
1.000    2.000    0.500
```

需要注意的是,Matlab 约定向量和矩阵的下标从 1 开始,如果用户要指定信号的真实时间下标,则应另外构造一个向量作为时间轴。例如表示离散信号

```
x(n) = {x(n)} = {x(-3), x(-2), x(-1), x(0), x(1), x(2), x(3), x(4), x(5)}
```

则应定义时间轴向量

```
n = [-3 -2 -1 0 1 2 3 4 5]
```

然后定义采样点向量

```
y = [1 4 3 2 0 4 5 2 1]
```

键入命令

```
stem(n,y)
```

可以得到具有真实时间下标的信号图形,见图 1.1.1。

若要产生具有特定采样频率的信号,也需定义时间轴向量。例如要产生一个采样频率为 1000Hz 的离散信号,应先定义时间轴

```
Fs=1000;
```

```
t=(0:1/Fs:1);
```

然后定义采样信号

```
y=sin(2*pi*50*t)+2*sin(2*pi*120*t)+0.5*randn(size(t));
```

键入命令

```
plot(t(1:50),y(1:50))
```

可以绘出信号 y 的前 50 个采样点的图形, 见图 1.1.2。

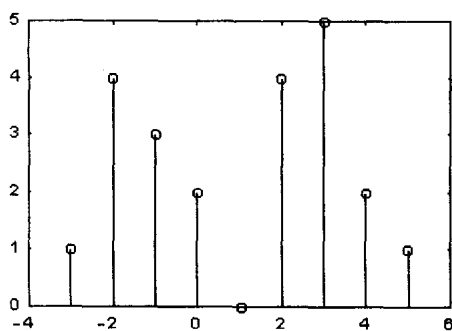


图 1.1.1 具有真实时间下标的信号

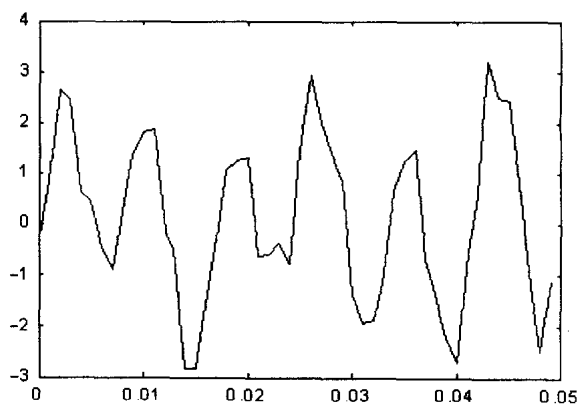


图 1.1.2 具有特定采样频率的信号

表 1.1.1 是一些典型信号的数学描述和 Matlab 实现。

表 1.1.1 典型信号的数学描述和 Matlab 实现

名 称	数 学 描 述	Matlab 实现
单位采样信号	$\delta(n) = \begin{cases} 1 & n=0 \\ 0 & n \neq 0 \end{cases}$	<code>x = zeros(1,N);</code> <code>x(1)=1</code>
单位阶跃信号	$u(n) = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases}$	<code>x = ones(1,N)</code>
实指数信号	$x(n) = a^n \quad \forall n, a \in R$	<code>n = 0:N-1;</code> <code>x = a.^n</code>
复指数信号	$x(n) = e^{(\sigma + j\omega)n} \quad \forall n$	<code>n = 0:N-1;</code> <code>x = exp((sigema+jw)*n);</code>
正(余)弦信号	$x(n) = \cos(\omega n + \theta) \quad \forall n$	<code>n = 0:N-1;</code> <code>x = cos(w*n+sita)</code>
周期信号	$x(n) = x(x+n) \quad \forall n$	重复罗列一个周期的信号即可, 如产生三个周期的信号, 可写为 <code>x(n)=(xx xx xx)</code>

另外, 可用 Matlab 本身所带的函数 `rand` 和 `randn` 产生随机信号:

1. `rand(1,N)` 产生 $[0, 1]$ 上均匀分布的随机信号;
2. `randn(1,N)` 产生均值为 0, 方差为 1 的白噪声信号。

1.1.2 工具箱中的信号产生函数

信号处理工具箱提供了 8 个信号产生函数, 分别用于产生锯齿波 (或三角波)、方波、

sinc 函数波形和 Dirichlet 函数（或周期 sinc 函数）波形，见表 1.1.2。

表 1.1.2 工具箱中的信号产生函数

函 数 名	功 能
sawtooth	产生锯齿波或三角波
square	产生方波
sinc	产生 sinc 或 $\sin(\pi t)/\pi t$ 函数波形
chirp	产生调频余弦信号
pulstran	产生冲激串
rectpuls	产生非周期的方波
tripuls	产生非周期的三角波
diric	产生 Dirichlet 或周期 sinc 函数波形

1 sawtooth

功能：产生锯齿波或三角波。

格式：x = sawtooth(t)

x = sawtooth(t,width)

说明：sawtooth(t)类似于 $\sin(t)$ ，产生周期为 2π ，幅值从-1 到+1 的锯齿波。在 2π 的整数倍处，值为-1，从-1 到+1 这一段波形的斜率为 $1/\pi$ 。

sawtooth(t,width)产生三角波。

举例：产生周期为0.02的三角波，结果见图1.1.3。

```

Fs = 10000;
t = 0:1/Fs:1.5;
x = sawtooth(2*pi*50*t);
plot(t,x), axis([0 0.2 -1 1])

```

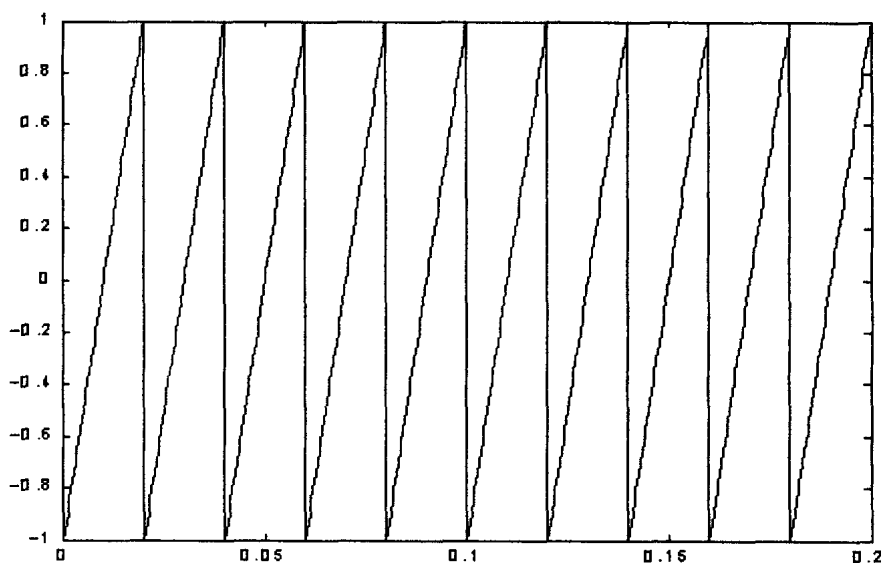


图 1.1.3 三角波波形