

# 前 言

随着科学技术的发展,人们认识客观世界的技术也在不断地进步与更新,在计算机领域内,人们更愿意用更加形象、直观和具有洞察力的方法去解决工程应用中的各种问题。MATLAB 语言正是在这种趋势下进入科学与工程技术领域的。

MATLAB 语言作为一种强大的科学计算工具,受到了专业研究人员的广泛重视。无论是在统计、信号处理、人工智能与自动控制,还是在雷达、通信、计算机等领域,越来越多的工程技术人员摆脱了 C 及 C++ 语言繁琐语法的束缚,从而能够更专心地将注意力集中在专业内技术研究的核心问题上。

在现代科学技术领域里,电子信息系统的应用范围极为广泛,主要有通信、导航、雷达、声纳、地震勘探、医学仪器、振动工程和射电天文等等。在短短几十年的时间里,这些系统几经更新换代,发展极其迅速。系统的发展进程和信息的利用程度是分不开的,而信息的利用程度又和信号与信息处理技术的发展紧密相连。

20 世纪 40 年代,在检测、估计、滤波等方面就建立了一系列基础理论和方法,为电子信息系统的发展指明了方向。但是,由于当时技术条件的限制,优化系统难以实现,实际应用的只是一些简单的处理技术。

20 世纪 60 年代以来,随着微电子集成电路技术、工艺的迅猛发展,信号处理的研究不仅限于一般理论和方法的探讨,而且更多地侧重于实现方面,新的实现方法与算法的成果层出不穷。在此基础上发展起来的新一代系统,其优化和自适应性能已大大提高。

如今,信号处理又进入了一个新的发展时期,信号处理的一些主要领域,如优化、自适应、高分辨、多维和多通道等,其理论和方法均日趋系统化。对系统的分析已不再限于理想模型,而是考虑各种实际因素,研究其鲁棒性,同时对性能也不再限于定性描述,而要作出统计性能评价,使理论和实际在更高水平上密切结合。

信号处理应用领域的不断扩大,也促使人们在理论和方法上向更深层次探索,此前均假设信号及其背景噪声是高斯的、平稳的,而对信号的分析只是基于它的二阶矩特性和功率谱,其对象系统也限于时不变的线性和因果最小相位系统。虽然上述假设及由此而构建的系统在许多场合是适用的,但随着应用领域的扩大,要求人们去研究非平稳、非高斯信号,以及时变、非因果、非最小相位、非线性系统,这些已成为现代信号处理研究热点的一个方面,如用时频分布和子波变换研究非平稳信号、用高阶统计量分析非高斯信号等也属于这类研究。

根据当前该学科理论与实际密切结合的特点,本书突出了基本概念和基本思想的阐明,同时注重了理论的严密性和方法的实用性,使读者易于领会和掌握问题的实质,并能较快地用以解决实际问题。

本书内容简明扼要,包含了大量的 MATLAB 语言源程序,所有源程序都在计算机上用 MATLAB5.3 和 MATLAB6.1 进行了验算,对具体工程应用具有较大的参考价值。

本书由李勇、徐震、沈辉、张亮、徐凯等编写；文字由李飞、刘涛、李凯、王华等录入；图像由李燕、胡利明、曾飞、刘丽等编辑处理；全书由沈辉、李勇、林哲辉审校。本书在编写过程中还得到了王德军、赵文峰等人的帮助，毛红兵女士为本书的策划工作付出了大量的心血与汗水。另外还有很多同志在本书的编辑、排版、校对过程中付出了大量的劳动，在此一并表示衷心的感谢。

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，作者不胜感激。

作 者  
2002 年 8 月

# 目 录

<b>第一章 离散时间系统与 Z 变换</b>	1
1.1 引言	1
1.2 离散时间信号	1
1.2.1 离散时间信号的基本概念	1
1.2.2 离散时间信号的分类	7
1.2.3 离散时间信号的运算	9
1.2.4 MATLAB 常用信号生成函数	11
1.2.5 MATLAB 信号数据的载入	12
1.3 离散时间系统	13
1.3.1 离散时间系统的基本概念	13
1.3.2 线性时不变系统(LSI)的输入、输出关系	14
1.3.3 离散时间信号的相关函数	15
1.3.4 差分方程	20
1.4 Z 变换	22
1.4.1 Z 变换的定义	22
1.4.2 Z 变换的收敛域	23
1.4.3 Z 变换的性质	24
1.4.4 离散时间系统的 MATLAB 描述和转换	24
1.5 小结	28
<b>第二章 离散傅里叶变换</b>	29
2.1 引言	29
2.2 离散傅里叶级数(DFS)	29
2.2.1 DFS 的定义	30
2.2.2 DFS 的性质	34
2.3 离散傅里叶变换(DFT)	36
2.3.1 离散傅里叶变换(DFT)的定义	36
2.3.2 补零 DFT	39
2.3.3 离散傅里叶变换(DFT)的性质	42
2.3.4 DFT 的应用	46
2.4 快速傅里叶变换(FFT)	49
2.4.1 FFT 的基本思想及其实现	49
2.4.2 FFT 的应用	52
2.5 傅里叶信号分析	54
2.6 小结	62
<b>第三章 数字滤波器及其结构</b>	63
3.1 引言	63

3.2 滤波器的原理及分类 .....	63
3.2.1 滤波器的基本概念 .....	63
3.2.2 滤波器的分类 .....	64
3.2.3 工程滤波器的技术指标要求 .....	65
3.2.4 滤波器的 MATLAB 实现 .....	67
3.3 数字滤波器的原理 .....	73
3.3.1 数字滤波器概述 .....	73
3.3.2 数字滤波器的分类 .....	74
3.3.3 数字滤波器的工作原理 .....	74
3.4 数字滤波器的结构 .....	75
3.4.1 IIR 数字滤波器的结构 .....	75
3.4.2 FIR 数字滤波器基本结构 .....	81
3.5 小结 .....	82
<b>第四章 工程数字滤波器的设计</b> .....	<b>83</b>
4.1 引言 .....	83
4.2 IIR 数字滤波器的设计 .....	83
4.2.1 IIR 滤波器的经典设计 .....	83
4.2.2 工程 IIR 滤波器的直接设计 .....	92
4.2.3 最大平滑 IIR 数字滤波器设计 .....	93
4.3 工程 FIR 数字滤波器的设计 .....	95
4.3.1 窗函数法设计 FIR 数字滤波器 .....	96
4.3.2 频率采样法设计 FIR 滤波器 .....	99
4.3.3 最优化法设计 FIR 滤波器 .....	101
4.4 小结 .....	104
<b>第五章 平稳随机信号分析</b> .....	<b>105</b>
5.1 引言 .....	105
5.2 平稳随机信号的描述 .....	105
5.2.1 平稳随机信号的时域描述 .....	105
5.2.2 平稳随机信号的频域描述 .....	110
5.3 相关函数的估计与应用 .....	111
5.3.1 相关函数的估计 .....	111
5.3.2 相关函数的应用 .....	112
5.4 功率谱估计与应用 .....	114
5.4.1 周期图法 .....	115
5.4.2 改进的周期图法 .....	117
5.4.3 多窗口法 .....	123
5.4.4 最大熵法 .....	124
5.4.5 特征向量法 .....	126
5.5 小结 .....	127
<b>第六章 交互式图形用户界面</b> .....	<b>128</b>
6.1 引言 .....	128
6.2 滤波器设计与分析工具(FDATool) .....	128

6.2.1	FDATool 用户界面的组成	128
6.2.2	滤波器的设计与编辑	130
6.2.3	滤波器的分析	132
6.3	信号频谱分析和滤波设计工具(SPTool)	134
6.3.1	SPTool 用户界面的组成	134
6.3.2	信号的时域分析	136
6.3.3	滤波器设计、编辑和观察	139
6.3.4	信号的频谱分析	143
6.3.5	SPTool 参数设置	145
6.4	小结	146
<b>第七章</b>	<b>同态信号处理</b>	<b>147</b>
7.1	引言	147
7.2	同态系统	147
7.3	卷积同态信号处理	148
7.3.1	典范系统	149
7.3.2	系统的数学表示	149
7.3.3	复倒谱的性质	151
7.3.4	具体应用分析	155
7.4	小结	159
<b>第八章</b>	<b>Kalman 波形估计及其应用</b>	<b>160</b>
8.1	引言	160
8.2	算法原理及其 MATLAB 实现	160
8.3	Kalman 波形估计在雷达数据处理中的应用	168
8.3.1	目标跟踪的基本方法	169
8.3.2	机动模型的滤波跟踪	171
8.4	小结	186
<b>第九章</b>	<b>自适应信号分析与处理</b>	<b>187</b>
9.1	引言	187
9.2	LMS 自适应滤波器	187
9.2.1	LMS 算法基本原理	188
9.2.2	LMS 算法性能简析	190
9.2.3	基本 LMS 自适应算法	190
9.3	自适应噪声对消器	191
9.4	自适应信号分离器	192
9.5	自适应陷波器	194
9.6	小结	196
<b>第十章</b>	<b>非平稳信号分析与处理</b>	<b>197</b>
10.1	引言	197
10.2	短时傅里叶分析	197
10.2.1	时域窗法	198
10.2.2	频域窗法	198
10.2.3	不确定性原理	199

10.3 维格纳时频分布 .....	205
10.3.1 连续时间 WD 分布 .....	205
10.3.2 离散时间 WD 分布 .....	209
10.4 小结 .....	218
<b>第十一章 随机信号的高阶谱分析</b> .....	219
11.1 引言 .....	219
11.2 高阶累积量与高阶谱 .....	219
11.2.1 累积量 .....	219
11.2.2 高阶谱 .....	221
11.3 累积量与双谱的性质 .....	221
11.3.1 累积量的性质 .....	221
11.3.2 双谱的性质 .....	221
11.4 双谱估计 .....	222
11.4.1 非参数化双谱估计 .....	222
11.4.2 参数化双谱估计 .....	226
11.5 高阶谱分析的应用 .....	233
11.5.1 利用双谱进行时延估计 .....	233
11.5.2 噪声中信号检测 .....	236
11.6 小结 .....	238
<b>第十二章 多速率数字信号处理</b> .....	239
12.1 引言 .....	239
12.2 信号整数倍抽取 .....	239
12.2.1 抽取过程的时域描述 .....	239
12.2.2 抽取过程的频域描述 .....	240
12.2.3 抽取过程的实际结构 .....	240
12.3 信号整数倍插值 .....	243
12.3.1 插值过程的时域描述 .....	243
12.3.2 插值过程的频域描述 .....	244
12.3.3 插值过程的实际结构 .....	244
12.4 信号有理数倍速率转换 .....	246
12.4.1 信号有理数倍速率转换实现结构 .....	246
12.4.2 信号有理数倍速率转换频谱变化 .....	246
12.5 小结 .....	248
<b>附录 信号处理工具箱函数</b> .....	249
<b>参考文献</b> .....	253