

Digital Signal Processing Practical Approach

Based on MATLAB Simulation

数字信号处理 实验教程

——基于MATLAB仿真

唐向安 孙国平 编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

数字信号处理实验教程

——基于 MATLAB 仿真

唐向宏 孙闽红 应 娜 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字信号处理实验教程:基于 MATLAB 仿真 / 唐向宏,
孙闽红,应娜编著. —杭州:浙江大学出版社, 2017. 9
ISBN 978-7-308-17191-5

I. ①数… II. ①唐… ②孙… ③应… III. ①数字信
号处理—Matlab 软件—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 182964 号

内容简介

本教程是“数字信号处理”理论课程的配套实验教材。本教材根据课程内容和学生们普遍反映的重点难点问题,配合《数字信号处理》教程各章的教学内容,编写了 19 个实验。其中 16 个实验内容与《数字信号处理》教材各章节对应,主要涉及离散时间信号的产生、序列的卷积运算、连续时间信号的抽样与重建、用 Z 变换分析系统特性、LTI 系统对信号的响应分析、DFT 及信号的频谱分析、序列圆周卷积与线性相关运算、快速傅里叶变换(FFT)、线性卷积的快速计算、LTI 系统结构设计、IIR 数字滤波器设计——模拟滤波器的数字化、IIR 数字滤波器设计——频率变换法、FIR 数字滤波器设计——窗函数法、FIR 数字滤波器设计——频率抽样法、多抽样率信号处理、有限长长效应等内容。同时,结合具体应用,设计了 3 个综合性实验,主要涉及带噪语音/图像信号分析与处理、FFT 在信号频分复用中的应用、多抽样率 FDMA 系统设计与实现。

本书可作为高等院校电子信息类各专业以及相近专业本科生的实验指导书,也可供有关科研人员和工程技术人员参考。

数字信号处理实验教程——基于 MATLAB 仿真

唐向宏 孙闽红 应 娜 编著

责任编辑 樊晓燕

责任校对 陈静毅 候鉴峰

封面设计 续设计

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.25

字 数 420 千

版 次 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-17191-5

定 价 42.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>



前言

“数字信号处理”是各高等院校电气信息类专业的一门非常重要的专业基础课,该课程的理论性和实践性都很强。为了有助于学生系统地理解和消化数字信号处理的基本理论,掌握其基本的实现方法和技能,我们编写了本实验教程。

本书是“数字信号处理”理论课程的配套实验教材,用以补充和完善理论教学,帮助学生深入理解所学的基本概念与基本理论,提高学生的实践应用能力。本书根据“数字信号处理”课程内容和学生普遍反映的重点难点问题,从强化理论与实际应用结合的角度,配合理论课程的教学内容,在每一章的实验中都新增加了与理论知识紧密结合的具体应用实例,以促进学生对所学知识的理解与消化,使本书与理论教材之间紧密结合,相互对应,让学生对数字信号处理的实际应用有更深入的理解;同时结合具体应用背景,增加综合实验设计,让学生综合应用所学的理论和方法,设计和实现数字信号处理系统的特定功能,锻炼和提高学生综合应用知识解决实际问题的能力。

本实验教程采用 MATLAB 应用程序编程。MATLAB 的基本语法、句型与 C 语言类似,如果学习过 C 语言,就可以很快掌握它的使用。通过本实验教程的实践学习,学生可以逐步学会利用 MATLAB 编写一些简易的程序,最终达到能够利用 MATLAB 来解决一些较为复杂的数字信号处理的实际问题的目的。

在实验的编排上本教程采取由验证性实验逐步过渡到综合性实验的方法,从简单到复杂,循序渐进,逐步深入。通过前期的验证性实验,提高学生兴趣,使其逐步熟悉与掌握 MATLAB 编程技术。后期增设的综合性实验,要求学生编写必要的 MATLAB 程序,加深对数字信号处理原理的理解,加强其对数字信号处理技术的应用能力。全书共有 19 个实验,前 16 个实验为基础实验,后 3 个实验为综合性实验。本实验教程所有的例程均在 MATLAB 7.1 平台上调试运行通过。

书中实验 1 到实验 9 由应娜编写,实验 10 到实验 14 由唐向宏编写,实验 15 到实验 19 由孙闽红编写,全书由唐向宏统稿。由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2017 年 5 月于杭州电子科技大学



目 录

实验 1 MATLAB 入门与离散时间信号的产生	1
1.1 实验目的	1
1.2 实验原理	1
1.2.1 MATLAB 基本操作	1
1.2.2 常用的离散时间信号	4
1.2.3 序列的运算	5
1.3 预习与参考	6
1.3.1 相关 MATLAB 函数	6
1.3.2 MATLAB 实现	7
1.3.3 应用实例	16
1.4 实验内容	19
1.5 实验要求	19
实验 2 离散序列的卷积运算	20
2.1 实验目的	20
2.2 实验原理	20
2.3 预习与参考	21
2.3.1 相关 MATLAB 函数	21
2.3.2 MATLAB 实现	21
2.3.3 应用实例	25
2.4 实验内容	29
2.5 实验要求	29
实验 3 连续时间信号的抽样与重建	30
3.1 实验目的	30
3.2 实验原理	30
3.2.1 连续信号抽样	30
3.2.2 连续信号的重构	31
3.3 预习与参考	32

3.3.1	相关 MATLAB 函数	32
3.3.2	MATLAB 实现	32
3.3.3	应用实例	42
3.4	实验内容	45
3.5	实验要求	45
实验 4 用 Z 变换分析系统特性		46
4.1	实验目的	46
4.2	实验原理	46
4.2.1	Z 变换和 Z 逆变换	46
4.2.2	离散系统的系统函数与系统特性	46
4.3	预习与参考	49
4.3.1	相关 MATLAB 函数	49
4.3.2	MATLAB 实现	50
4.3.3	应用实例	57
4.4	实验内容	59
4.5	实验要求	60
实验 5 LTI 系统对信号的响应分析		61
5.1	实验目的	61
5.2	实验原理	61
5.2.1	LTI 系统对任意信号的系统响应	61
5.2.2	离散系统的滤波特性	62
5.2.3	LTI 差分方程描述及系统响应	62
5.3	预习与参考	64
5.3.1	MATLAB 对 LTI 系统的描述	64
5.3.2	相关 MATLAB 函数	64
5.3.3	MATLAB 实现	65
5.3.4	应用实例	69
5.4	实验内容	73
5.5	实验要求	74
实验 6 DFT 及信号的频谱分析		75
6.1	实验目的	75
6.2	实验原理	75
6.2.1	非周期序列傅里叶变换	75
6.2.2	周期序列的离散傅里叶级数	76
6.2.3	有限长序列的离散傅里叶变换(DFT)	76
6.2.4	利用 DFT 对连续时间信号的频谱分析	76

6.3 预习与参考	78
6.3.1 相关的 MATLAB 函数	78
6.3.2 MATLAB 实现	78
6.4 实验内容	87
6.5 实验要求	87
实验 7 序列圆周卷积与线性相关运算	88
7.1 实验目的	88
7.2 实验原理	88
7.2.1 周期卷积和运算	88
7.2.2 序列线性相关运算	89
7.3 预习与参考	91
7.3.1 相关 MATLAB 函数	91
7.3.2 MATLAB 实现	91
7.4 实验内容	101
7.5 实验要求	101
实验 8 快速傅里叶变换(FFT)	102
8.1 实验目的	102
8.2 实验原理	102
8.2.1 时域抽取法 FFT(DIT-FFT)算法原理	102
8.2.2 频率抽取法 FFT(DIF-FFT)算法原理	103
8.2.3 FFT 算法的特点	104
8.2.4 离散傅里叶逆变换(IDFT)的快速算法	105
8.3 预习与参考	105
8.3.1 相关的 MATLAB 函数	105
8.3.2 MATLAB 实现	106
8.3.3 应用实例	112
8.4 实验内容	113
8.5 实验要求	114
实验 9 线性卷积的快速计算	115
9.1 实验目的	115
9.2 实验原理	115
9.2.1 重叠相加法	116
9.2.2 重叠保留法	118
9.3 预习与参考	120
9.3.1 相关的 MATLAB 函数	120
9.3.2 MATLAB 实现	120

9.3.3 应用实例	125
9.4 实验内容	128
9.5 实验要求	129
实验 10 LTI 系统结构设计	130
10.1 实验目的	130
10.2 实验原理	130
10.2.1 无限长单位冲激响应(IIR)数字滤波器的基本结构	130
10.2.2 有限长单位冲激响应(FIR)数字滤波器的基本结构	133
10.2.3 数字滤波器的格型结构	134
10.3 预习与参考	135
10.3.1 相关 MATLAB 函数	135
10.3.2 MATLAB 实现	137
10.3.3 应用实例	144
10.4 实验内容	146
10.5 实验要求	147
实验 11 IIR 数字滤波器设计——模拟滤波器的数字化	148
11.1 实验目的	148
11.2 实验原理	148
11.2.1 冲激响应不变法	151
11.2.2 双线性变换法	151
11.3 预习与参考	152
11.3.1 相关 MATLAB 函数	152
11.3.2 MATLAB 实现	153
11.3.3 应用实例	160
11.4 实验内容	162
11.5 实验要求	162
实验 12 IIR 数字滤波器设计——频率变换法	163
12.1 实验目的	163
12.2 实验原理	163
12.2.1 模拟域频率变换法设计 IIR 数字滤波器	163
12.2.2 数字域频率变换法设计 IIR 数字滤波器	164
12.3 预习与参考	166
12.3.1 相关 MATLAB 函数	166
12.3.2 MATLAB 实现	167
12.3.3 应用实例	178
12.4 实验内容	181

12.5 实验要求	181
实验 13 FIR 数字滤波器设计——窗函数法	182
13.1 实验目的	182
13.2 实验原理	182
13.2.1 线性相位 FIR 数字滤波器的特点	182
13.2.2 窗函数设计法	184
13.3 预习与参考	186
13.3.1 相关 MATLAB 函数	186
13.3.2 MATLAB 实现	188
13.3.3 应用实例	193
13.4 实验内容	197
13.5 实验要求	197
实验 14 FIR 数字滤波器设计——频率抽样法	198
14.1 实验目的	198
14.2 实验原理	198
14.2.1 设计原理	198
14.2.2 线性相位的约束	199
14.2.3 频率抽样法的设计步骤	199
14.3 预习与参考	200
14.3.1 相关 MATLAB 函数	200
14.3.2 MATLAB 实现	200
14.3.3 应用实例	207
14.4 实验内容	210
14.5 实验要求	210
实验 15 多抽样率信号处理	211
15.1 实验目的	211
15.2 实验原理	211
15.2.1 抽 取	211
15.2.2 内 插	212
15.2.3 有理数倍抽样率转换	213
15.3 预习与参考	214
15.3.1 相关 MATLAB 函数	214
15.3.2 MATLAB 实现	215
15.3.3 应用实例	222
15.4 实验内容	226
15.5 实验要求	227

实验 16 有限字长效应	228
16.1 实验目的	228
16.2 实验原理	228
16.2.1 A/D 转换的量化效应	228
16.2.2 滤波器的有限字长效应	229
16.2.3 FFT 计算中的有限字长效应	230
16.3 预习与参考	231
16.3.1 MATLAB 实现	231
16.3.2 应用实例	236
16.4 实验内容	238
16.5 实验要求	238
实验 17 带噪语音/图像信号分析与处理	239
17.1 实验目的	239
17.2 实验原理	239
17.3 预习与参考	240
17.3.1 相关 MATLAB 函数	240
17.3.2 MATLAB 实现	240
17.4 实验内容	244
17.5 实验要求	244
实验 18 FFT 在信号频分复用中的应用	245
18.1 实验目的	245
18.2 实验原理	245
18.3 预习与参考	246
18.4 实验内容	251
18.5 实验要求	251
实验 19 多抽样率 FDMA 系统设计	252
19.1 实验目的	252
19.2 实验原理	252
19.3 预习与参考	253
19.4 实验内容	263
19.5 实验要求	263
参考文献	265

MATLAB 入门与离散时间信号的产生

1.1 实验目的

本实验结合理论教材中关于离散时间信号与运算的教学内容。通过实验,掌握 MATLAB 的使用方法,学习利用 MATLAB 产生常用的数字信号以及对信号进行简单运算的方法。

1.2 实验原理

1.2.1 MATLAB 基本操作

MATLAB(Matrix Laboratory,矩阵实验室)是 MathWorks 公司于 1984 年推出的一套高性能的数值计算和可视化软件。MATLAB 提供了一个人机交互的数学系统环境,该系统的基本数据结构是矩阵,在生成矩阵对象时,不要求明确的维数说明。与利用 C 语言或 FORTRAN 语言做数值计算的程序设计相比,利用 MATLAB 可以节省大量的编程时间。它是适合于工程应用各领域的分析、设计和复杂计算的数学软件,易学易用。在工程技术界,MATLAB 已广泛应用于自动控制理论、数理统计、数字信号处理、时间序列分析、动态系统仿真、图像处理等领域。

作为一个编程环境,MATLAB 提供了很多方便用户管理变量、输入输出数据以及生成和管理 M 文件的工具。下面以 MATLAB 7.1 为例介绍基本操作方法。

MATLAB 7.1 的工作桌面由标题栏、菜单栏、工具栏、命令窗口(Command Window)、工作空间窗口(Workspace)、当前目录窗口(Current Directory)、历史命令窗口(Command History)及状态栏组成,如图 1.1 所示。

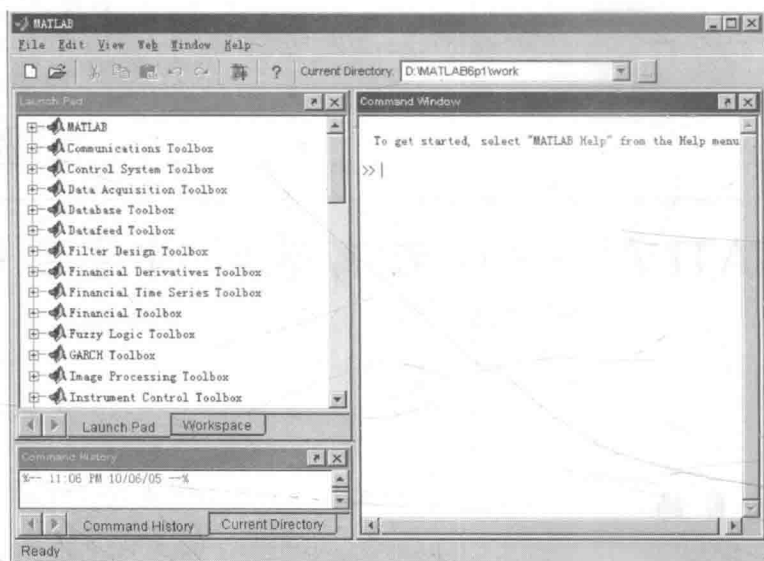


图 1.1 MATLAB 用户界面

MATLAB 的命令窗口是接收用户输入命令及显示输出数据的窗口,几乎所有的 MATLAB 行为都是在命令窗口中进行的。当启动 MATLAB 软件时,命令窗口就做好了接收指令和输入的准备,并出现命令提示符“»”。在命令提示符后输入指令通常会创建一个或多个变量。变量可以是多种类型的,包括函数和字符串,但通常的变量只是数据。这些变量被放置在 MATLAB 的工作空间中。工作空间窗口提供了变量的一些重要信息,包括变量的名称、维数大小、占用内存大小以及数据类型等。历史命令窗口是用来显示当前操作之前输入的命令。

此外,操作 MATLAB 时有一些值得注意的事项。

(1)在 MATLAB 命令窗口工作区输入 MATLAB 命令后,还需按下 Enter 键,MATLAB 系统才能执行输入的 MATLAB 命令,否则 MATLAB 不执行命令。一般每输入一个命令并按下 Enter 键,计算机就会显示此次输入的执行结果。如果用户不希望计算机显示此次输入的结果,只需在所输入命令的后面再加上一个分号“;”即可。

(2)MATLAB 可以输入字母、汉字,但是标点符号必须在英文状态下书写。

(3)MATLAB 中不需要专门定义变量的类型,系统可以自动根据表达式的值或输入的值来确定变量的数据类型。MATLAB 中数据是以矩阵的形式存储的。

(4)变量名可以由字母、数字和下划线混合组成,但必须以字母开头,字符长度不能大于 63。MATLAB 中的变量名是区分大小写字母的。

(5)命令行与 M 文件中的百分号“%”标明注释。在语句行中,百分号后面的语句被忽略而不被执行;在 M 文件中,百分号后面的语句可以用 help 命令打印出来。

MATLAB 作为一种高级计算机应用程序,它不仅能以人机交互式的命令行的方式工作,还可以像 BASIC、FORTRAN、C 等高级计算机语言一样进行控制流程的程序设计,即编制一种以 .m 为扩展名的文件,简称为 M 文件。

M 文件有两种形式,即命令式和函数式。命令式文件就是命令行的简单叠加,MATLAB 会自动按顺序执行文件中的命令,其运行相当于在命令窗口中逐行输入并运行命令。因此,用户在编制此类文件时,只需把所要执行的命令按行编辑到指定的文件中,且变量不需预先定义,也不存在文件名对应问题,还可以访问存在于整个工作空间内的数据。但要注意,命令式文件在运行中所产生的所有变量均为全局变量。也就是说,这些变量一旦生成,就一直保存在内存空间中,直到用户执行 clear 或 quit 时为止。

为了实现计算中的参数传递,需要用到函数式文件。函数式文件在 MATLAB 中应用得十分广泛,MATLAB 所提供的绝大多数功能函数都是由函数式文件实现的。函数式文件的结构为

```
function [输出参数]=函数名(输入参数)
函数体 %注释
```

使用 M 文件时要注意以下几个问题:

- (1)文件扩展名一定为.m;
- (2)以符号%引导的行是注释行,不可执行,可供 help 命令查询;
- (3)不需要用 end 语句作为 M 文件的结束标志;
- (4)在运行此文件之前,需要把它所在目录加到 MATLAB 的搜索路径上去,或将文件所在目录设为当前目录。

MATLAB 系统最初依托的操作系统是 DOS 系统,因此它保留了许多 DOS 系统下的命令,仍可在命令窗口内输入执行。下面简要介绍常用的命令。

clc:清除命令窗口的所有显示内容,并把光标移到命令窗口的左上角。

clear all:清除工作空间保存的所有变量。

clf:清除 MATLAB 当前图形窗口的图形。

who:列出当前工作空间的变量。

whos:列出当前工作空间的变量的更多信息。

which:显示指定函数和文件的路径。

what:显示当前目录或者指定目录下的 M 文件。

help:按照指定关键字查阅函数功能。

look for:按照指定的关键字查找所有相关的 M 文件。

MATLAB 系统中还有很多变量和常数,用以表达特殊含义,在编程过程中应该注意不要用 MATLAB 中的内部函数或命令名作为新的变量名。这些变量和常数主要有:

变量 ans:指当前未定义变量名的答案。

常数 eps:表示浮点相对精度,其值是 1.0 与下一个最大浮点数之间的差值。该变量值作为一些 MATLAB 函数计算的相对精度,按 IEEE 标准, $\text{eps}=2^{-52}$,近似为 2.2204e^{-16} 。

常数 Inf:表示无穷大。当输入或计算中有除以 0 时产生 Inf。

虚数单位 i, j : 表示复数虚部单位, 相当于 $\sqrt{-1}$ 。

NaN: 表示不定型值, 是由 $0/0$ 运算产生的。

常数 π : 表示圆周率 π , 其值为 $3.1415926535897\cdots$

从最原始版本的 MATLAB 开始, 图形功能就已经成为基本的功能之一。随着 MATLAB 版本的逐步升级, MATLAB 的图形工具箱从简单的点、线、面处理发展到了集二维图形、三维图形甚至四维表现图和对图形进行着色、消隐、光照处理、渲染及多视角处理等多项功能于一身的强大功能包。本教程只涉及二维基本绘图命令及图形修饰命令, 相关内容将在预习与参考部分介绍。关于 MATLAB 的详细说明和操作可参考教材《计算机仿真技术——基于 MATLAB 的电子信息类课程》。

1.2.2 常用的离散时间信号

离散时间信号是指在离散时刻才有定义的信号, 简称离散信号, 或者序列。离散序列通常用 $x(n)$ 来表示, 自变量 n 必须是整数。典型的离散时间信号有以下几种。

1. 单位冲激序列

单位冲激序列 $\delta(n)$, 也称为单位取样序列, 定义为

$$\delta(n) = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1-1)$$

注意: 单位冲激序列不是单位冲激函数的简单离散抽样, 它在 $n=0$ 处取确定的值 1。

2. 单位阶跃序列

单位阶跃序列 $u(n)$ 定义为

$$u(n) = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad (1-2)$$

3. 矩形序列

矩形序列 $R_N(n)$ 定义为

$$R_N(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1-3)$$

矩形序列有一个重要的参数, 就是序列宽度 N 。 $R_N(n)$ 与 $u(n)$ 之间的关系为 $R_N(n) = u(n) - u(n-N)$ 。

4. 实指数序列

单边指数序列定义为

$$x(n) = a^n u(n) \quad (1-4)$$

式中: a 为实数。如果 $|a| < 1$, $x(n)$ 的幅度随 n 的增大而减小, 序列 $x(n)$ 收敛; 如果 $|a| > 1$, 则序列 $x(n)$ 发散。

5. 正弦型序列

正弦型序列定义为

$$x(n) = \sin(n\omega_0 + \phi) \quad (1-5)$$

式中: ω_0 是正弦型序列的数字域频率; ϕ 为初相。

与连续的正弦信号不同, 正弦型序列的自变量 n 必须为整数。可以证明, 只有当 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 为有理数时, 正弦型序列才具有周期性。

6. 复指数序列

复指数序列定义为

$$x(n) = e^{(\alpha + j\omega_0)n} \quad (1-6)$$

当 $\alpha=0$ 时, 得到虚指数序列 $x(n) = e^{j\omega_0 n}$, 式中 ω_0 是正弦型序列的数字域频率。由欧拉公式知, 复指数序列可进一步表示为

$$x(n) = e^{(\alpha + j\omega_0)n} = e^{\alpha n} e^{j\omega_0 n} = e^{\alpha n} [\cos(n\omega_0) + j\sin(n\omega_0)] \quad (1-7)$$

与连续复指数信号一样, 将复指数序列的实部和虚部的波形分开讨论, 得出如下结论:

- (1) 当 $\alpha > 0$ 时, 复指数序列 $x(n)$ 的实部和虚部分别是按指数规律增长的正弦振荡序列;
- (2) 当 $\alpha < 0$ 时, 复指数序列 $x(n)$ 的实部和虚部分别是按指数规律衰减的正弦振荡序列;
- (3) 当 $\alpha = 0$ 时, 复指数序列 $x(n)$ 即为虚指数序列, 其实部和虚部分别是等幅的正弦振荡序列。

1.2.3 序列的运算

序列的运算通常包括移位、和、积、尺度变换、翻褶、卷积等。序列通过运算后将产生新的离散时间信号(或新序列)。

1. 序列移位

设某一序列为 $x(n]$, 当 $m > 0$ 时, 它的移位序列 $x(n-m)$ 是由序列 $x(n)$ 延后或者右移 m 位形成的新序列, 称为 $x(n)$ 的延时序列。而 $x(n+m)$ 是由 $x(n)$ 超前或者左移 m 形成的, 称为 $x(n)$ 的超前序列。

2. 序列之和

两序列的和是指两序列中同序号 n (或同时刻) 的序列值逐项对应相加而构成的一个新的序列, 表示为 $z(n) = x(n) + y(n)$ 。

3. 序列之积

两序列的积是指两序列中同序号 n (或同时刻) 的序列值逐项对应相乘而构成的一个新的序列, 表示为 $z(n) = x(n) \cdot y(n)$ 。

4. 时间尺度变换

序列 $x(n)$ 的尺度变换序列为 $x(nm)$ 或 $x\left(\frac{n}{m}\right)$, 其中 m 为正整数。注意对 $x\left(\frac{n}{m}\right)$, 当 $\frac{n}{m}$ 为整数时才有意义。

5. 序列翻褶

$x(-n)$ 是 $x(n)$ 的翻褶序列, 它是以 $n=0$ 的纵轴为对称轴将序列 $x(n)$ 加以翻褶形成的。

1.3 预习与参考

1.3.1 相关 MATLAB 函数

$Y=\text{zeros}(M)$: 生成 $M \times M$ 大小的全零矩阵。

$Y=\text{zeros}(M,N)$: 生成 $M \times N$ 大小的全零矩阵。

$Y=\text{ones}(M)$: 生成 $M \times M$ 大小的全 1 矩阵。

$Y=\text{ones}(M,N)$: 生成 $M \times N$ 大小的全 1 矩阵。

$Y=\text{rand}(M)$: 生成 $M \times M$ 大小的随机矩阵, 元素在 $(0,1)$ 之间服从均匀分布。

$Y=\text{rand}(M,N)$: 生成 $M \times N$ 大小的随机矩阵, 元素在 $(0,1)$ 之间服从均匀分布。

$Y=\text{randn}(M)$: 生成 $M \times M$ 大小的随机矩阵, 元素服从均值为 0、方差为 1 的正态分布。

$Y=\text{randn}(M,N)$: 生成 $M \times N$ 大小的随机矩阵, 元素服从均值为 0、方差为 1 的正态分布。

$Y=\sin(x)$: 计算 x 的正弦函数。

$Y=\cos(x)$: 计算 x 的余弦函数。

$Y=\exp(x)$: 计算自然数 e 的 x 次方。

$Y=\text{real}(x)$: 求 x 的实数部分函数。

$Y=\text{imag}(x)$: 求 x 的虚数部分函数。

$Y=\text{abs}(x)$: 求 x 的绝对值或复数模值函数。

$Y=\text{angle}(x)$: 求 x 的相角函数。

$M=\text{mod}(X,Y)$: 返回 X 关于 Y 的余数。

$Y=\text{length}(x)$: 求 x 序列长度的函数。

$\text{plot}(y)$: 绘制 Y 轴为 y 值的连续信号图形函数。

$\text{plot}(x,y)$: 绘制 X 轴为 x 值、 Y 轴为 y 值的连续信号图形函数。

$\text{stem}(y)$: 绘制垂直坐标为 y 值的离散信号图形函数。

$\text{stem}(x,y)$: 绘制水平坐标为 x 值、垂直坐标为 y 值的离散信号图形函数。

$\text{subplot}(X,Y,Z)$: 分割图形窗口函数。输入参数 X 和 Y 分别表示图形分割窗口的行数和列数, Z 表示分割后的小窗口序号。

`line([X1, X2], [Y1, Y2])`: 绘制直线函数。输入参数 X_1 和 Y_1 表示所需绘制直线的起始坐标, X_2 和 Y_2 表示直线终点的坐标。

`axis([xmin, xmax, ymin, ymax])`: 限定坐标范围函数。输入参数 $xmin$ 和 $xmax$ 分别表示 X 轴最小和最大取值范围, $ymin$ 和 $ymax$ 分别表示 Y 轴最小和最大取值范围。

`grid on`: 在图形中添加网格函数。

`xlabel ( )`: 将括号内的字符串作为 X 轴的标注。

`ylabel ( )`: 将括号内的字符串作为 Y 轴的标注。

`title ( )`: 将括号内的字符串作为图形标题。

1.3.2 MATLAB 实现

【例 1-1】 利用 MATLAB 编程绘制常用的离散时间信号。

解 常用的离散时间信号可参考实验原理部分相关内容, 要产生这些信号需要使用到前面介绍过的 MATLAB 相关函数。程序代码如下:

```
clear; close all; clc;
N=50;                                %序列长度
x1=[1,zeros(1,N-1)];                 %单位冲激序列
x2=ones(1,N);                         %单位阶跃序列
n=0:N-1; a=0.6; x3=a.^n;             %实指数序列
w0=pi/3; ang=pi/15; x4=sin(n*w0+ang); %正弦型序列
x5=exp((a+j*w0)*n);                  %复指数序列
figure(1);
subplot(3,1,1); stem(x1);             %绘制单位冲激序列
ylabel('x_1(n)=\delta(n)');
subplot(3,1,2); stem(x2);             %绘制单位阶跃序列
ylabel('x_2(n)=u(n)');
subplot(3,1,3); stem(x3);             %绘制实指数序列
ylabel('x_3(n)=0.6^n'); xlabel('n');
figure(2);
subplot(2,1,1); stem(x4);
ylabel('x_4(n)=sin(\pi n/3+\pi/5)');   %绘制正弦序列
subplot(2,1,2); stem(abs(x5));         %绘制复指数序列
ylabel('x_5(n)=e^{(0.6+j*\pi/3)*n}'); xlabel('n');
```

程序运行结果如图 1.2 所示。

因此, 可将以上产生常用的离散时间信号程序, 利用 `function` 改写成相应的函数命令, 以便在后续实验中调用, 例如:

(1) 单位冲激序列函数命令 `impseq ( )`