



登记号 \_\_\_\_\_

**北京航空航天大学**  
B E I H A N G U N I V E R S I T Y

# 数字信号处理实验一

## 指 导 书

机械与控制工程国家级虚拟仿真实验教学中心

2020 年 4 月

## 实验一 序列生成与滑动平均滤波

### 一、实验目的

1. 熟悉 MATLAB 编程环境、掌握 MATLAB 编程特点、了解数字信号处理工具箱；掌握常用图形绘制与标注方法。
2. 掌握基于计算机软件的正弦序列、指数序列、复正弦序列、多频正弦序列、含噪声序列的生成方法。
3. 掌握 MATLAB 的函数编程方法，掌握滑动平均滤波原理及实现方法，掌握窗口长度对滑动平均结果的影响规律。

### 二、实验内容

本次实验共 4 个学时，主要包括：1) MATLAB 软件及信号处理工具箱介绍、2) 典型数字信号产生与显示方法、3) 含噪声序列的滑动平均滤波方法等内容。

#### 1、MATLAB 软件介绍

##### 1) MATLAB 软件运行环境介绍

MATLAB 是美国 MathWorks 公司出品的商业数学软件，是算法开发、数值计算、数据分析、数据可视化的高级计算语言与交互环境，它将矩阵计算、数值分析、算法仿真、系统建模等功能集成于简单易用的视窗环境，为科学研究与工程设计提供了综合的解决方案，在很大程度上摆脱了非交互式程序语言的编程模式。

MATLAB 可以进行矩阵运算、绘制图形、实现算法、创建用户界面、连接其他编程环境等功能，广泛用于控制系统、信号处理、图像处理、信号检测、金融建模等领域。MATLAB 的基本数据单位是矩阵，表示形式与科学和工程中常用形式类似，用 MATLAB 来解算问题比用 C、FORTRAN 等语言更加便捷。

##### 2) 信号处理工具箱介绍

MATLAB 信号处理工具箱为数字信号生成、分析、处理、存储、显示等提供了大量的函数，主要包括：1) 波形产生；2) 信号变换；3) 窗口函数；5) 系统分析；6) 模拟滤波器设计；7) 模拟滤波器变换；8) IIR 数字滤波器设计；9) FIR 数字滤波器设计；10) 多采样率信号处理；11) 线性系统变换；12) 倒谱分析；13) 随机信号谱分析；14)

线性预测；15) 参数建模；16) 特殊操作函数；17) 图形用户接口等。涵盖了经典数字信号处理领域的几乎所有功能，为算法开发提供了优良的软件平台。

### 3) MATLAB 脚本编写与图形标注

MATLAB 编程语言功能强大、计算环境交互性好。既可以 MATLAB 命令行中一次输入一个命令，又可以向某个文件写入一系列命令，并按照执行 MATLAB 函数方式顺序执行这些命令。使用 MATLAB 编辑器可以创建函数文件，并按照调用 MATLAB 固有函数形式进行调用。脚本是简单的 MATLAB 程序，是扩展名为 .m 的文件，它包含多行连续的执行命令和调用函数，在命令行中键入脚本名即可运行 .m 文件中的指令。

数字信号处理研究与实践中，在 MATLAB 环境下实现波形、频谱的可视化非常重要。MATLAB 绘制的图形显示在 figure 窗口中，调用 subplot 函数可以在同一 figure 中绘制多个子图。通常，调用 Plot 函数绘制连续时间信号，调用 stem 函数绘制离散时间信号，调用 xlabel 和 ylabel 函数标注横纵坐标轴，调用 xlim 与 ylim 函数控制横纵坐标的显示范围，调用 legend 函数在同一 figure 中标注多条曲线。

## 2、数字信号生成

本项内容包括简单序列的生成与显示、复合序列的生成与显示两个部分。

### (1) 简单序列生成

简单序列是能够利用初等数学函数直接生成的离散时间信号。在 MATLAB 环境下编写源代码生成并绘制（stem 函数绘图、xlabel 与 ylabel 标注）以下序列：

(a) 正弦序列：生成频率  $\omega_1 = \pi/16$ 、长度  $N_1 = 100$  的余弦序列  $x_1[n] = \cos(\omega_1 n)$ ，其中  $0 \leq n \leq N_1 - 1$ ；生成频率为  $\omega_2 = 31\pi/16$ 、长度  $N_2 = 100$  的余弦序列  $x_2[n] = \cos(\omega_2 n)$ ，其中  $0 \leq n \leq N_2 - 1$ 。要求：A) 调用 subplot 函数将  $x_1[n]$  与  $x_2[n]$  绘制在同一 figure 窗口上；B) 横坐标、纵坐标要标注完整。

(b) 指数序列：生成  $r_1 = 0.9$ 、长度  $N_1 = 30$  的序列  $x_1[n] = r_1^n$ ，其中  $0 \leq n \leq N_1 - 1$ ；生成  $r_2 = -0.9$ 、长度  $N_2 = 30$  的序列  $x_2[n] = r_2^n$ ，其中  $0 \leq n \leq N_2 - 1$ 。要求：A) 调用 subplot 函数将  $x_1[n]$  与  $x_2[n]$  绘制在同一 figure 窗口上；B) 横坐标、纵坐标要标注完整。

(c) 复正弦序列：生成指数因子  $r = 0.9$ 、数字频率  $\omega = \pi/8$ 、长度  $N = 50$  的序列  $x[n] = r^n e^{j\omega n}$ ，其中  $0 \leq n \leq N - 1$ 。要求：A) 调用 subplot 函数将正弦分量与余弦分量绘

制在同一 figure 窗口上；B）横坐标、纵坐标要标注完整。

## （2）复合序列生成

复合序列是由若干个初等函数生成的离散时间信号叠加而成的序列，在 MATLAB 环境下编写源代码生成并绘制（stem 函数绘图、xlabel 与 ylabel 标注）以下序列：

（a）多频正弦序列：生成幅度为  $A_1=1.0$ 、频率为  $\omega_1=\pi/32$ 、相位为  $\theta_1=0$  的序列  $x_1[n]=A_1 \cos(\omega_1 n + \theta_1)$ ；生成幅度为  $A_2=0.75$ 、频率为  $\omega_2=3\pi/32$ 、相位为  $\theta_2=\pi/3$  的序列  $x_2[n]=A_2 \cos(\omega_2 n + \theta_2)$ ；生成幅度为  $A_3=0.25$ 、频率为  $\omega_3=5\pi/32$ 、相位为  $\theta_3=2\pi/3$  的序列  $x_3[n]=A_3 \cos(\omega_3 n + \theta_3)$ ；以此为基础生成复合序列  $x[n]=x_1[n]+x_2[n]+x_3[n]$ ，其中： $N=150$ ， $0 \leq n \leq N-1$ 。要求：A）调用 subplot 函数将  $x_1[n]$  与  $x_2[n]$  绘制在同一 figure 窗口上、将  $x_3[n]$  与  $x[n]$  绘制在同一 figure 窗口上。B）横坐标、纵坐标要标注完整。

（b）含噪声正弦序列：生成幅度为  $A=1.0$ 、频率  $\omega=\pi/16$ 、相位为  $\theta=0$  的、长度为  $N=150$  的正弦序列  $s[n]=A \cos(\omega n + \theta)$ ；用 rand 函数生成最大幅度为  $A_m=0.3$ 、均值  $\bar{m}=0$ 、长度为  $N=150$  的噪声序列  $z[n]$ 。以此为基础生成含噪声正弦序列  $x[n]=s[n]+z[n]$ 。要求：A）调用 subplot 函数将  $s[n]$  与  $x[n]$  绘制在同一 figure 窗口上。B）横坐标、纵坐标要标注完整。提示：MATLAB 提供的 rand 函数可用于生成变化范围为  $[0,1]$ 、均值为  $\bar{m}=0.5$  的随机序列，在实验中需要进行幅度与均值的简单换算。

## 3、滑动平均滤波

（1）编写滑动平均函数：基于  $2M+1$  点滑动平均滤波方程  $y[n] = \frac{1}{2M+1} \sum_{k=-M}^M x[n-k]$ ，

在 MATLAB 环境下编写滑动平均函数。注意：A）不得调用 MATLAB 中已有的滑动平均滤波函数，本人利用 function 语句编写 MATLAB 函数；B）暂时不考虑左边缘向右的  $M$  个点、右边缘向左的  $M$  个点的滤波问题。

（2）执行滑动平均滤波：调用第 1）步编写的滑动平均函数，对实验内容 2 中生成的含噪声序列  $x[n]$ ，执行 3 点滑动平均得到  $y_1[n]$ 、执行 5 点滑动平均得到  $y_2[n]$ 、执行 7 点滑动平均得到  $y_3[n]$ 、执行 9 点滑动平均得到  $y_4[n]$ 、执行 11 点滑动平均得到  $y_5[n]$ 。

要求：A) 调用 subplot 函数将  $x[n]$  与  $y_1[n]$  绘制在同一 figure 窗口上、将  $y_2[n]$  与  $y_3[n]$  绘制在同一 figure 窗口上、将  $y_4[n]$  与  $y_5[n]$  绘制在同一 figure 窗口上。B) 横坐标、纵坐标要标注完整。

### 三、实验原理

#### 1、简单序列生成

对于正弦序列、指数序列、复正弦序列等，可以认为它们是对连续时间正弦信号、指数信号、复正弦信号的等间隔采样，即  $x[n] = x(t)|_{t=nT}$ ，其中  $T$  为采样周期。对于因果序列而言，采样下标从  $n=0$  开始。

#### 2、复合序列生成

对于多频正弦序列、含噪声正弦序列等，可以认为是若干个简单序列的叠加，即  $x[n] = \sum_k x_k[n]$ ；工程实践中遇到的很多数字信号都可以认为是简单序列的叠加。

#### 3、滑动平均滤波

窗口长度为奇数  $2M+1$  的滑动平均滤波应用非常普遍，用差分方程可以将它表示为 
$$y[n] = \frac{1}{2M+1} \sum_{k=-M}^M x[n-k]$$
。假定数字信号中的噪声是均匀分布的，且所有噪声为均匀分布的加性噪声（满足  $x[n] = s[n] + z[n]$  形式），因此将当前窗口内不同时刻的序列值求取均值代替当前值，可以消除数字信号中包含的加性随机噪声。受限于滑动平均窗口长度以及窗口内部噪声的随机特性，采用滑动平均滤波并不能完全滤除数字信号中的随机噪声。滑动平均窗口长度对滤波效果产生直接的影响：虽然从理论角度认为窗口长度越长滑动平均效果越明显，但是窗口长度过大会导致信号过度平滑。如何确定窗口长度与滤波效果的最佳平衡，是滑动平均滤波应用中必须考虑的重要内容。

### 四、实验要求

#### 1、数字信号生成

##### (1) 简单序列生成

(a) 正弦序列：提交生成正弦序列的源代码、包括两个不同频率正弦序列的图形 1

幅，不少与 50 字的相关讨论或分析。

(b) 指数序列：提交生成指数序列的源代码、包括两个不同因子指数序列的图形 1 幅，不少与 50 字的相关讨论或分析。

(c) 复正弦序列：提交生成复正弦序列的源代码、包括实部序列与虚部序列的图形 1 幅，不少与 50 字的相关讨论或分析。

## (2) 复合序列生成

(a) 多频正弦序列：提交生成多频正弦序列的源代码、包括 3 个原始正弦序列与 1 个多频正弦序列的 2 幅图形，不少与 50 字的相关讨论或分析。

(b) 含噪声正弦序列：提交生成含噪声正弦序列的源代码、包括原始正弦序列与含噪声正弦序列指数序列的 1 幅图形，不少与 50 字的相关讨论或分析。

## 2、滑动平均滤波

1) 编写滑动平均函数：提交用 MATLAB 脚本编写的滑动平均函数。

2) 执行滑动平均滤波：提交完整的滑动平均滤波的源代码、包含噪声序列及滑动平均降噪后序列的 3 幅图形，不少与 100 字的实验结果讨论与分析。

## 五、参考资料

[1] 高西全，丁玉美，阔永红. 数字信号处理——原理、实现及应用（第 3 版）[M]. 北京：电子工业出版社，2016.

[2] A.V.奥本海姆，R.W.谢弗，J.R.巴克. 离散时间信号处理（第 2 版），西安交通大学出版社，2011.

[3] 程佩青，数字信号处理教程（第 5 版），清华大学出版社，2017.

## 六、实验报告要求

### 1、实验报告内容

按照模板撰写实验报告且排版规范，要包含以下内容

- 1) 实验目的
- 2) 实验过程与实验结果，包含程序源代码
- 3) 结果分析与实验结论

4) 实验收获、体会及建议

2、提交实验报告时间

本次实验结束后 1 周内提交到课程中心。