

■ 高等学校理工科电子信息类规划教材

# 信号处理技术实验教程

SIGNAL PROCESSING EXPERIMENT

卢湖川 付海燕 陈 喆 主编

0101010001010101010100010101010001



大连理工大学出版社  
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

**图书在版编目(CIP)数据**

信号处理技术实验教程 / 卢湖川,付海燕,陈喆主编.  
大连:大连理工大学出版社,2007.6  
ISBN 978-7-5611-3569-3

I. 信… II. ①卢… ②付… ③陈… III. 信号处理—高等学校—教材 IV. TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 055553 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连业发印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:11.5 字数:257 千字  
2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

---

责任编辑:梁 锋 范业婷 责任校对:宜 呈  
封面设计:宋 蕾

---

ISBN 978-7-5611-3569-3

定 价:19.80 元

# 前 言

---

信号与系统和数字信号处理是电子与信息工程及其他相关专业的重要基础课,这两门课程不仅要求学生掌握专业的基础理论知识,而且还要求学生具备较强的实践能力。为了适应社会发展对高素质创造性人才的需求,达到宽基础、精专业的培养目标,本专业同时开设了信号综合处理实践、数字图像处理 and 多媒体技术等实验课。根据“新世纪高等教育教改工程”对实验方面的要求,作者结合自己多年的教学和科研工作经验,对相关的实验内容、实验设备、教学方法等进行了一系列改革并逐步完善和补充,与相关教师一起共同编写了本实验教材。

本书在实验内容安排上,将一个大的实验目标分解为一系列小的目标,力求由浅入深,以增强学生对实验的兴趣,提高学生的动手实践能力。此外,本教材在相应章节安排了自选实验和目标管理性实验,以满足不同学校的教学要求,并满足学有余力的学生的学习需求,读者可根据实际情况有选择地使用。

本教材的特点为独立设课,以设计性实验和综合性实验为主,并适当控制实验量。部分实验尝试了将理论教学融于实验教学当中。全书共包括信号与系统、数字信号处

理、信号综合处理实践、数字图像处理、多媒体技术 5 部分内容。

参加本书编写的人员有卢湖川、付海燕、陈喆、宫平、徐钢、张立和、刘文龙。全书由卢湖川、付海燕统稿并最后定稿。

本书在编写过程中得到了殷福亮、邱天爽、蒋国平、马幼军、李建华、马晓红等老师的支持和帮助,郭成安老师审阅了全书并提出了许多宝贵意见,在此一并表示感谢。

由于作者的水平有限,本书的缺点和不足在所难免,敬请相关专家学者指正,也请同学们在学习和使用中对需要完善和补充的地方提出切实的意见,以达到教学相长的目的。大家有任何意见或建议,请通过以下方式与我们联系:

邮箱 jcjf@dutp.cn

电话 0411-84707962; 84708947

编 者  
2007 年 5 月

# 目 录

## 第 1 篇 信号与系统

- |      |                  |      |                     |
|------|------------------|------|---------------------|
| 实验 1 | MATLAB 的基本操作 / 2 | 实验 5 | 连续时间系统的响应 / 15      |
| 实验 2 | 连续时间信号的波形图 / 6   | 实验 6 | 连续时间系统零极点和幅频特性 / 17 |
| 实验 3 | 离散时间信号的波形图 / 9   | 实验 7 | 含噪语音信号的分析 / 19      |
| 实验 4 | 信号的频谱图 / 12      |      |                     |

## 第 2 篇 数字信号处理

- |      |             |      |                  |
|------|-------------|------|------------------|
| 实验 1 | 离散时间信号 / 24 | 实验 4 | 线性卷积与圆周卷积 / 36   |
| 实验 2 | 时域采样定理 / 29 | 实验 5 | IIR 数字滤波器设计 / 41 |
| 实验 3 | 离散时间系统 / 31 | 实验 6 | FIR 数字滤波器设计 / 45 |

## 第 3 篇 信号综合处理实践

- |       |                             |       |                           |
|-------|-----------------------------|-------|---------------------------|
| 第 1 章 | 数字信号处理的相关背景知识 / 49          | 3.4   | 非线性运算的定点快速实现 / 69         |
| 第 2 章 | DSP 芯片简介 / 51               | 第 4 章 | 实践的题目与要求 / 74             |
| 2.1   | DSP 芯片发展历史 / 51             | 4.1   | 离散伪随机数的产生 / 74            |
| 2.2   | DSP 芯片的典型特点 / 53            | 4.2   | 数字正弦波发生器 / 74             |
| 2.3   | DSP 芯片的分类 / 54              | 4.3   | FIR 数字滤波器 / 76            |
| 2.4   | DSP 芯片的选择 / 55              | 4.4   | IIR 数字滤波器 / 77            |
| 2.5   | DSP 应用系统运算量的确定 / 56         | 4.5   | FFT 算法 / 78               |
| 2.6   | TMS320C54X DSP 芯片的基本结构 / 57 | 4.6   | DTMF 信号检测 / 80            |
| 第 3 章 | DSP 的定点计算 / 61              | 4.7   | DSP 程序优化 / 83             |
| 3.1   | 数的定标 / 61                   | 附录    | / 84                      |
| 3.2   | 用高级语言模拟从浮点到定点的转化 / 62       | 附录 1  | TMS320C5410 的助记符指令简表 / 84 |
| 3.3   | DSP 定点算术运算 / 67             | 附录 2  | USB54X EVM 板的相关信息 / 97    |

## 第 4 篇 数字图像处理

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 实验 1 图像的点运算 / 103 | 实验 4 图像的边缘检测 / 128 |
| 实验 2 图像的变换 / 110  | 实验 5 图像的分析 / 138   |
| 实验 3 图像的增强 / 119  | * 实验 6 图像的编码 / 143 |

## 第 5 篇 多媒体技术

- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 实验 1 彩色数字图像基础 / 162   | 实验 4 图像压缩 / 171 |
| 实验 2 图像处理中的常用技术 / 166 | 实验 5 语音编码 / 175 |
| 实验 3 图像处理中的小波变换 / 168 |                 |

参考文献 / 178

# 第 1 篇

## 信号与系统

信号与系统实验面向电子与信息工程专业学生,其理论课程是电子与信息工程专业学生的必修课,也是研究生入学时必考的专业基础课之一。

在高等学校的教学中,实验教学是理论教学的辅助、补充和延伸,它们各有侧重,互有交叉和融合,是对学生进行创新素质培养的重要环节。为了提高实验教学的效率和效果,我们利用实验室现有的各种资源开发了信号处理实验平台,该平台提供了专业设计的训练条件和学习专业工具软件的环境,培养灵活使用工具的能力。利用这个平台,本篇以系统的概念综合了课程内的多个知识点,将基础理论的物理概念以多媒体的手段展现出来,这对理论的深刻理解和应用的灵活准确有重要意义。

本部分实验由“常用信号时频分析”“系统分析”和“综合设计实验”3 部分共 7 个实验组成。

# 实验 1 MATLAB 的基本操作

## 【实验目的】

- (1)熟悉 MATLAB 的基本语法；
- (2)掌握与本实验有关的常用的 MATLAB 命令。

## 【相关知识】

### 1. MATLAB 基本知识介绍

#### (1)变量

变量的命名规则：

- ①变量名必须以字母开头。
- ②变量名可以由字母、数字和下划线混合组成。
- ③变量名区分字母大小写。

#### (2)数值

MATLAB 通常用十进制表示数,也可用科学计数法或复数表示数。

#### (3)矩阵

矩阵是 MATLAB 进行数据处理和运算的基本元素, MATLAB 的大部分运算或命令都在矩阵意义下执行。

- ①标量: $a=21$ ; MATLAB 将其作为  $1 \times 1$  的矩阵来处理的。
- ②行向量: $a=[1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6]$ ; MATLAB 将其作为仅有一行的矩阵来处理的。
- ③列向量: $a=[1;2;3;4;5;6]$ ; MATLAB 将其作为仅有一列的矩阵来处理的。

#### (4)数组

在 MATLAB 中,矩阵在某些情况下,可视为二维数组。

#### (5)函数

MATLAB 为用户提供了丰富且功能各异的函数。函数由函数名和参数组成,如:

[输出参数]= 函数名(输入参数)

函数调用的格式可选。

#### (6)运算符

MATLAB 的基本运算为算术运算、关系运算和逻辑运算,分别见表 1-1-1~表 1-1-3。

表 1-1-1

MATLAB 的算术运算

| 运算 | 符号 | 运算 | 符号 | 运算 | 符号 | 运算 | 符号  |
|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 加法 | +  | 乘法 | *  | 指数 | .^ | 点除 | ./\ |
| 减法 | -  | 点乘 | .* | 除法 | \  |    |     |



表 1-1-2 MATLAB 的关系运算

| 运算   | 符号 | 运算 | 符号 | 运算   | 符号 |
|------|----|----|----|------|----|
| 小于   | <  | 等于 | == | 大于等于 | >= |
| 小于等于 | <= | 大于 | >  | 不等于  | ~= |

表 1-1-3 MATLAB 的逻辑运算

| 运算 | 符号 | 运算 | 符号 | 运算 | 符号 |
|----|----|----|----|----|----|
| 与  | &  | 或  |    | 非  | ~  |

## (7) MATLAB 语句

MATLAB 采用命令行式的表达式语言, 每一个命令行就是一条语句。用户在命令窗口输入语句并按下回车键, 该语句由 MATLAB 系统解释运行, 同时给出运行结果。

MATLAB 命令行的表达形式:

变量 = 表达式

表达式由变量名、常数、函数和运算符构成。

## 2. 基本操作

(1) 生成一个  $2 \times 3$  的全 0 矩阵

①  $a = \text{zeros}(2, 3);$

②  $a = [0 \ 0 \ 0; 0 \ 0 \ 0];$

③  $a = [0, 0, 0; 0, 0, 0].$

(2) 生成一个  $4 \times 4$  的全 1 矩阵

①  $a = \text{ones}(4);$

②  $a = [1, 1, 1, 1; 1, 1, 1, 1; 1, 1, 1, 1; 1, 1, 1, 1];$

③  $a = [1 \ 1 \ 1 \ 1; 1 \ 1 \ 1 \ 1; 1 \ 1 \ 1 \ 1; 1 \ 1 \ 1 \ 1].$

(3) 求下列运算的结果

$a = [1 \ 2 \ 3; 2 \ 5 \ 4; 3 \ 2 \ 4], b = [5 \ 14 \ 2; 6 \ 14 \ 3; 3 \ 5 \ 8],$  求:

①  $c = a + b;$

②  $c = b - a;$

③  $c = 4 * a;$

④  $c = a * b;$

⑤  $c = a. * b.$

程序:

```
a=[1 2 3;2 5 4;3 2 4];
b=[5 14 2;6 14 3;3 5 8];
c=a+b;
c=b-a;
c=4*a;
c=a*b;
c=a.*b;
```

(4) 编程完成以下功能:  $x \in \{1, 2, \dots, 10\}$ ; 绘制  $y = x^2 + 3x + 6$  的曲线。

clear;

```

i=1;
for x=0:10
    y(i)=x * x+3 * x+6;
    i=i+1;
end
x=0:10;
subplot(2,2,1);
plot(x,y,'r');
xlabel('x');
ylabel('y');
title('红色 plot 曲线图');
grid on;

subplot(2,2,2);
plot(x,y,'b * ');
xlabel('x');
ylabel('y');
title('蓝色 plot 曲线图');
grid on;

subplot(2,2,3);
stem(x,y,'ks');
xlabel('x');
ylabel('y');
title('黑色 stem 条形图');
grid on;

subplot(2,2,4);
stem(x,y,'filled');
xlabel('x');
ylabel('y');
title('紫色 stem 条形图');
grid on;

```

### 【实验内容】

1. 生成一个  $3 \times 3$  的单位阵。
2. 当  $t \in \{0, 1, \dots, 10\}$  时, 在同一个图像窗口中用 plot 绘制  $y_1 = \sin t$  和  $y_2 = \cos t$  的曲线, 其中  $y_1$  用红色 \* 表示,  $y_2$  用黑色的虚线表示。
3. 编程绘制下列曲线: 当  $x \in \{-2, -3, \dots, 9\}$  时
  - (1)  $y = x + 5$ ;
  - (2)  $y = x^2 + x + 4$ 。

### 【附录】

常用的数学函数和命令见表 1-1-4。

表 1-1-4

常用的数学函数和命令

| 函数名 | 功能   | 函数名  | 功能    |
|-----|------|------|-------|
| sin | 正弦函数 | asin | 反正弦函数 |
| cos | 余弦函数 | acos | 反余弦函数 |
| tan | 正切函数 | atan | 反正切函数 |

(续表)

| 函数名   | 功能             | 函数名     | 功能          |
|-------|----------------|---------|-------------|
| abs   | 求实数绝对值或复数的值    | grid    | 设置网格线       |
| angle | 求复数的幅角         | gtext   | 利用鼠标添加文本标注  |
| sqrt  | 平方根函数          | help    | 在线帮助        |
| real  | 求复数的实部         | plot    | 以折线形式绘制二维图形 |
| imag  | 求复数的虚部         | stem    | 绘制离散序列图     |
| conj  | 求复数的共轭         | subplot | 图形窗口分割      |
| sign  | 符号函数           | text    | 添加文本标注      |
| exp   | 自然指数函数(以 e 为底) | title   | 设置图形标题      |
| log   | 自然对数函数(以 e 为底) | xlabel  | 设置横坐标标题     |
| log10 | 以 10 为底的对数函数   | ylabel  | 设置纵坐标标题     |
| clc   | 清除工作空间显示的所有内容  | zeros   | 产生全 0 矩阵    |
| clear | 清除工作空间变量       | ones    | 产生全 1 矩阵    |

## 实验 2 连续时间信号的波形图

### 【实验目的】

- (1) 熟悉 MATLAB 环境, 掌握常用 MATLAB 语句和命令;
- (2) 熟悉用 MATLAB 生成常用信号的方法;
- (3) 掌握用 MATLAB 绘制信号波形图的方法。

### 【相关知识】

对于大多数连续时间信号, 两个关键要素是信号起始和中止时间、信号幅度。另外对于部分信号, 例如正弦信号, 频率也是一个必需的因素。以下列出了几种常用的连续时间信号的 MATLAB 实现程序和波形图。

#### (1) 单边指数信号(图 1-2-1)

```
t=0:0.01:10;  
A=1;  
a=-0.4;  
ft=A * exp(a * t);  
plot(t,ft);  
xlabel('t');  
ylabel('f(t)');
```

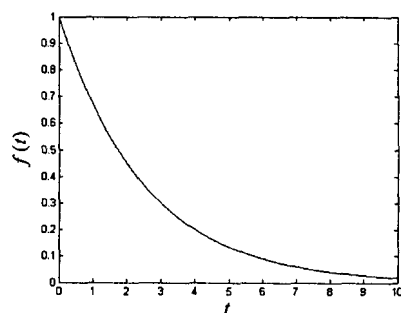


图 1-2-1 单边指数信号

#### (2) 正弦信号(图 1-2-2)

```
t=0:0.001:8;  
A=1;  
w0=2 * pi;  
phi=pi/6;  
ft=A * sin(w0 * t+phi);  
plot(t,ft);  
xlabel('t');  
ylabel('f(t)');
```

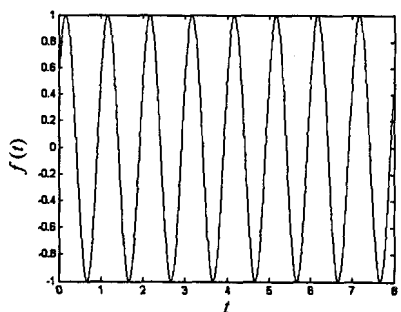


图 1-2-2 正弦信号

#### (3) 矩形脉冲信号(图 1-2-3)

```
t=0:0.001:4;  
T=1;  
ft=rectpuls(t-2 * T,T);  
plot(t,ft);  
axis([0,4,-0.5,1.5]);  
xlabel('t');  
ylabel('rectpuls(t)');
```

#### (4) 抽样函数信号(图 1-2-4)

```
t=-3 * pi/pi/100:3 * pi;
```

```
ft=sinc(t/pi);
plot(t,ft);
xlabel('t');
ylabel('sa(t)');
```

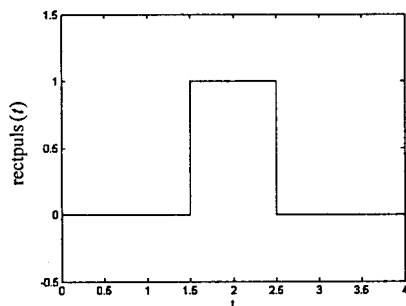


图 1-2-3 矩形脉冲信号

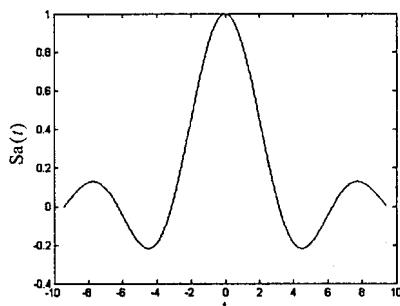


图 1-2-4 抽样函数信号

## (5) 周期方波信号(图 1-2-5)

```
t=0:0.01:10;
duty=50;
x=square(t*2*pi/5,duty);
plot(t,x);
title('周期为 5, 占空比为 50 的方波脉冲');
axis([0 10-1.2 1.2]);
```

## (6) 周期三角波信号(图 1-2-6)

```
t=0:0.01:10;
x=sawtooth(t*2*pi/3,0.5);
plot(t,x);
title('周期为 3, 占空比为 50 的三角波脉冲');
axis([0 10-1.2 1.2]);
line([0 10],[0 0]);
```

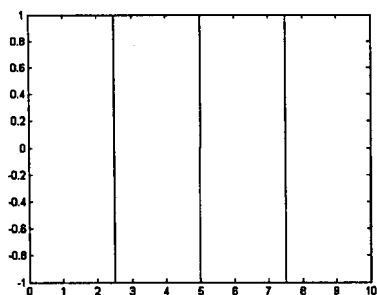


图 1-2-5 周期方波信号

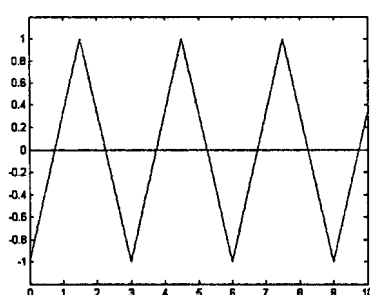


图 1-2-6 周期三角波信号

## 【实验内容】

利用提供的信号处理实验平台,在实验二界面(图 1-2-7)下选择信号类型,通过输入不同的参数,绘制信号的波形图,观察该信号的时域特性;读懂实现这些功能的相关 MATLAB 命令和语句,了解这些命令和语句中各参数的定义,在 MATLAB 环境下运行、调试,培养 MATLAB 编程能力,为后续实验能够独立编程打下基础。

掌握实验平台上实验二的内容,熟悉相关的出入口参数,熟练掌握 MATLAB 编程方法。编程完成下列题目。

实验报告要求:作业题目、完整的程序、实验结果(表达式、数值、图形等)。

- (1) 幅度为 5, 频率为 3 Hz 的正弦信号;
- (2) 幅度为 13, 脉宽为 2, 时间范围为  $-6 \sim 6$  s 的矩形脉冲信号;
- (3) 幅度为 1, 脉冲宽度占空比为 30, 周期为 6 的周期方波脉冲信号;
- (4) 幅度为 1, 占空比为 70, 周期为 8 的周期三角波脉冲信号。

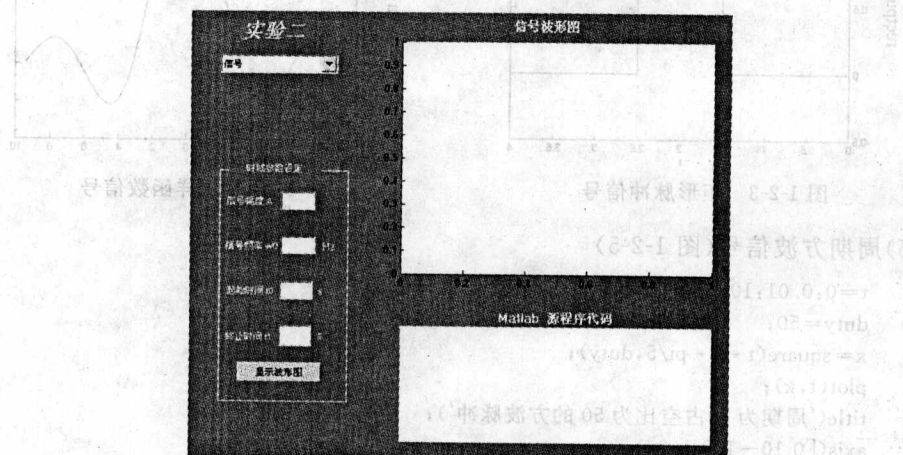


图 1-2-7 实验二界面

### 【附录】

信号发生相关的 MATLAB 命令见表 1-2-1。

表 1-2-1 信号发生相关的 MATLAB 命令

| 函数                             | 功 能                                                                                            |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>zeros(1,n)</code>        | 由 $n$ 个 0 组成的行向量                                                                               |
| <code>ones(1,n)</code>         | 由 $n$ 个 1 组成的行向量                                                                               |
| <code>sign(x)</code>           | 符号函数                                                                                           |
| <code>sawtooth(x,width)</code> | 三角波, $width$ 为该位置的横坐标和周期的比值( $0 \sim 1$ 的标量), $width = 1$ 时, 产生锯齿波, $width = 0.5$ 时, 产生标准对称三角波 |
| <code>square(x,duty)</code>    | $duty$ 是占空比, 即信号为正的区域在一个周期内所占的百分比                                                              |
| <code>sinc(x)</code>           | sinc 函数                                                                                        |
| <code>rectpuls(x,w)</code>     | 产生连续、非周期、单位高度的矩形脉冲, 宽度为 $w$                                                                    |
| <code>tripuls</code>           | 非周期三角脉冲                                                                                        |
| <code>diric</code>             | 周期 sinc 函数                                                                                     |
| <code>fliplr</code>            | 数组操作函数(以数组“垂直中线”为对称轴, 交换左右对称位置上的数组元素)                                                          |
| <code>exp(x)</code>            | 指数函数                                                                                           |
| <code>sin(x)</code>            | 正弦函数                                                                                           |
| <code>cos(x)</code>            | 余弦函数                                                                                           |

## 实验3 离散时间信号的波形图

### 【实验目的】

- (1)熟悉单位脉冲序列、单位阶跃序列、单位矩形序列、正弦序列和指数序列的产生;
- (2)熟悉用 MATLAB 生成常用离散时间信号的方法;
- (3)熟悉离散时间信号的反折、时间移位和尺度变换等运算。

### 【相关知识】

离散信号在时间上是离散的,只在某些不连续的规定瞬时给出函数值,在其他时间没有定义。如果离散信号的幅值是连续的,则又可取名为抽样信号。如果离散信号的幅值被限定为某些离散值,即时间与幅度取值都具有离散性,这种信号称为数字信号。一般来说,离散时间信号用  $f(k)$  表示,其中变量  $k$  为整数,代表离散的采样时间点。 $f(k)$  可表示为  $f(k)=\{\dots, f(-2), f(-1), f(0), f(1), f(2), \dots\}$ 。在 MATLAB 中,用一个向量  $f$  即可表示一个有限长度的序列。

#### (1)单位脉冲序列(图 1-3-1)

```
k1=-8;  
k2=12;  
k0=-2;  
k=k1:k2;  
n=length(k);  
f=zeros(1,n);  
f(1,-k0-k1+1)=1;  
stem(k,f,'filled');  
axis([k1,k2,0,1.5]);  
title('单位脉冲序列');
```

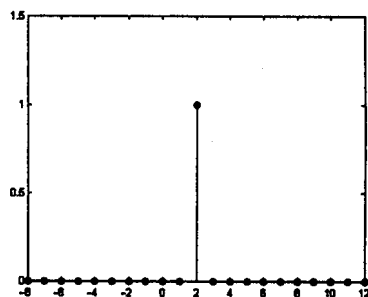


图 1-3-1 单位脉冲序列

#### (2)单位阶跃序列(图 1-3-2)

```
k1=-10;  
k2=10;  
k0=4;  
k=k1:-k0-1;  
kk=-k0:k2;  
n=length(k);  
nn=length(kk);  
u=zeros(1,n);  
uu=ones(1,nn);  
stem(kk,uu,'filled');  
hold on;  
stem(k,u,'filled');
```

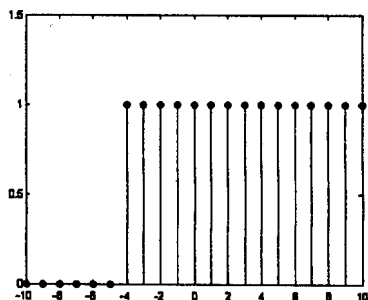


图 1-3-2 单位阶跃序列

```
hold off;
title('单位阶跃序列');
axis([k1,k2,0,1.5]);
```

### (3) 单位矩形序列 (图 1-3-3)

```
k1=-8;
k2=12;
k0=1;
axis([k1,k2,0,1.5]);
k=k1:-k0-1;
kk=-k0:6;
kkk=7:k2;
n=length(k);
nn=length(kk);
nnn=length(kkk);
u=zeros(1,n);
uu=ones(1,nn);
uuu=zeros(1,nnn);
stem(kk,uu,'filled');
hold on;
stem(k,u,'filled');
stem(kkk,uuu,'filled');
hold off;
title('单位矩形序列');
```

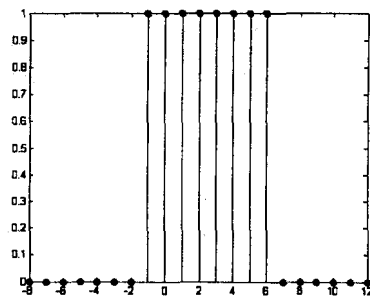


图 1-3-3 单位矩形序列

### (4) 指数序列 (图 1-3-4)

```
c=1;
a=2;
k1=-2;
k2=10;
k=k1:k2;
x=c*(a.^k);
stem(k,x,'filled');
hold on;
plot([k1,k2],[0,0]);
hold off;
title('指数序列');
xlabel('n');
ylabel('f(n)');
```

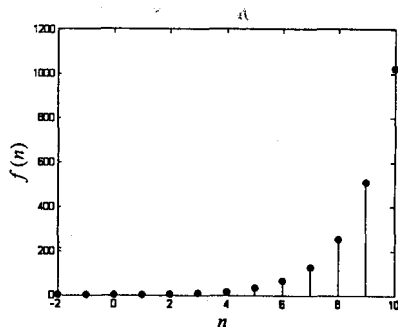


图 1-3-4 指数序列

### (5) 正弦序列 (图 1-3-5)

```
k1=-30;
k2=30;
a=2;
w=0.25;
k=k1:k2;
stem(k,A*sin(k*w),'filled');
title('离散时间正弦序列 f(n)=Asin(wn)');
xlabel('n');
ylabel('f(n)');
```

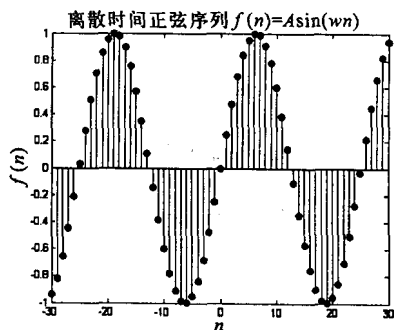


图 1-3-5 正弦序列



## 【实验内容】

在实验平台上点击“实验三”，进入实验三界面。实验三的内容是离散时间信号的波形图。实验平台中给出了5种常用的离散时间信号，即单位脉冲序列、单位阶跃序列、单位矩形序列、指数序列和正弦序列，对于每一种离散信号，平台都有相应的时域波形图和 MATLAB 代码。以单位矩形序列为例，其波形图和相应的 MATLAB 实现程序如图 1-3-6 所示。

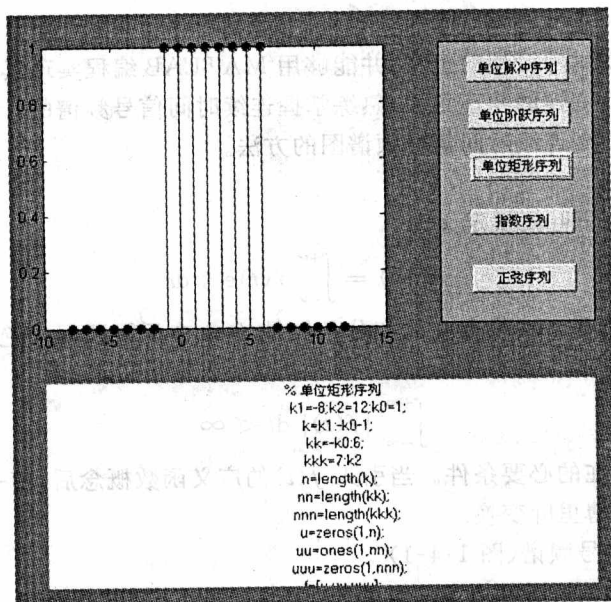


图 1-3-6 单位矩形序列波形图与程序

熟悉实验平台上实验三的内容及相关内容的 MATLAB 函数的出入口参数，熟练掌握 MATLAB 编程方法，完成下列题目。

实验报告要求：作业题目、完整的程序、实验结果（表达式、数值、图形等）。

(1) 任意产生一个序列，如  $a=[7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1]$ ；对其分别进行反折  $b=-a$ ，时间移位和尺度变换等运算，作图比较运算前后的波形。

(2) 绘出下列序列的图形。

① 序列  $x(n)=2^n u(n)$ ,  $n=\{-5, -4, \dots, 6\}$

② 序列  $x(n)=-nu(-n)$ ,  $n=\{-5, -4, \dots, 6\}$

③ 序列  $x(n)=\sin \frac{n\pi}{5}$ ,  $n=\{0, 1, \dots, 10\}$

④ 序列  $x(n)=\left(\frac{5}{6}\right)^n \sin \frac{n\pi}{5}$ ,  $n=\{0, 1, \dots, 10\}$