

## 实验一 基本信号在 MATLAB 中的表示、卷积和相关运算

### 一、[实验目的]

- 1.学会常用信号的 MATLAB 表示方法;
- 2.通过卷积积分运算,观察两个时限信号的卷积积分结果所具有的特点;
- 3.掌握信号相关与卷积的关系;
- 4.通过实验熟悉相关的应用及物理意义。

### 二、[实验原理]

#### 1. 连续信号的 MATLAB 表示

对任意的连续信号  $f(t)$ , 用 MATLAB 来表示, 是用连续信号在等时间间隔点的样值来近似表示的。当取样时间间隔足够小时, 这些离散的样值就能较好地表示连续信号。因此, 对任意的连续信号  $f(t)$  的 MATLAB 表示, 需用两个向量: 一个表示自变量  $t$  的离散化及取值范围, 另一个表示对应于  $t$  的函数值。

通常, 在 MATLAB 中, 连续信号的表示可以采用任意指定时间区间和足够小采样间隔的方法来实现。

如:  $t=t1:dt:t2$ , 表示  $t$  在  $[t1,t2]$  时间区间内以步长  $dt$  进行的时域离散化,  $dt$  任意给定, 只要  $dt$  足够小, 就可以很好的表示出对应的连续信号。

#### 2. 离散信号的 MATLAB 表示

对任意的离散序列  $f(k)$ , 同样需用两个向量来表示: 一个表示自变量  $k$  的取值范围, 另一个表示序列的值。例如, 序列  $f(k) = \{2, 1, 1, -1, 3, 0, 2\}$  可用 MATLAB 表示为:

```
k=-2:4;
```

```
f=[2,1,1,-1,3,0,2];
```

```
stem(k,f)
```

实际离散信号的获取可通过对连续信号离散化得到。如上述连续信号的表示方法就体现了连续信号离散化的过程。但上述步长任意给定的模拟信号离散化表示方法, 比较随意, 一般不能满足用户或实际要求。通常模拟信号的离散化, 是

按某种要求对模拟信号进行离散化的。如要求按已知的采样点数和采样频率  $F_s$  对连续信号  $f(t)$  进行的离散化。

该方法中， $f(t)$  按某一采样频率  $F_s$  (或采样周期  $T_s$ ) 得到的离散信号可表示为

$$f(k) = f(t)|_{t=kT_s} = f(kT_s) = f\left(\frac{k}{F_s}\right)$$

。例如，对  $f=10\text{Hz}$  的模拟信号  $f(t) = \cos(2\pi ft)$ ，

通过  $F_s=500\text{Hz}$  采样得到  $N=50$  个数据点的离散化，一般可用 MATLAB 表示为：

`N=50;Fs=500; Ts=1/Fs %采样点数 N、采样频率 Fs、采样间隔`

`n=0:N-1; nTs=k*Ts; %时间序列`

`fk=cos(2*pi*10*kTs); %频率为 10Hz 的余弦信号的离散化。`

`stem(nTs, fk)`

### 3. 常见连续信号的 MATLAB 表示

MATLAB 提供了大量生成基本连续信号的函数，如常用的指数信号、正（余）弦信号均是 MATLAB 的内部函数，可直接调用。再比如信号  $Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$  称为采样信号，可利用 MATLAB 中的 sinc 函数来生成。

sinc 函数定义为  $\text{sinc}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$ ，则

绘制  $Sa(t)$  波形的程序如下：

`t=-10:pi/100:10;`

`ft=sinc(t/pi);`

`plot(t,ft);grid on`

### 4. 卷积积分的 MATLAB 实现

卷积积分在信号与系统理论中占有重要地位，利用卷积积分可求解 LTI 系统对任意激励的零状态响应。MATLAB 中函数 conv 可以实现两个时限信号的卷积积分。其调用格式为：

$$y = \text{conv}(f1, f2)$$

函数说明：

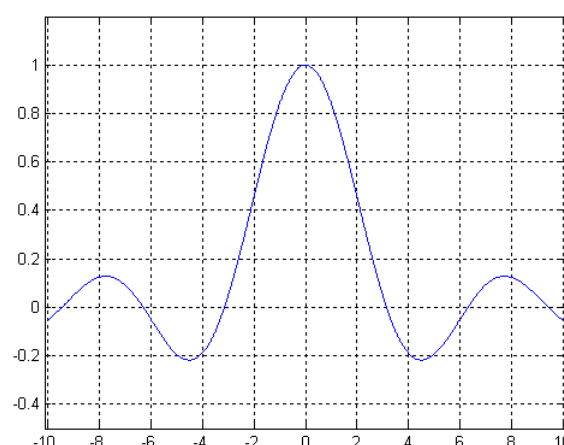


图 1-1 抽样信号

(1) 函数conv调用后只返回卷积结果值y，而卷积结果对应的自变量t的范围需根据参加卷积的两个时限信号自变量的区间来确定；

(2) 卷积的结果会受到两个时限信号进行离散化时所选步长dt的大小的影响，步长越小，则卷积结果越大。所以，为得到步长为1的卷积结果需对函数conv调用所得结果进行修正，即： $y_{\text{conv}}=y*dt$ 。

下面以连续时间信号  $f_1(t)$  与  $f_2(t)$  卷积的过程说明函数 conv 的使用：

例1.1 求如图1-3所示函数  $f_1(t)$  和  $f_2(t)$  的卷积积分

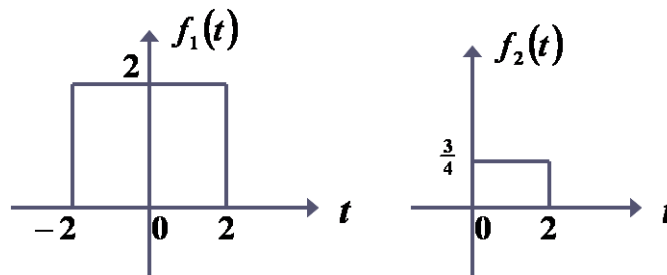


图1-3两个门宽不相等矩形脉冲信号

```
clc,clear all
dt=...           %采样间隔，即步长；
t1=...; t2=...;
f1=...; f2=.....; %时限信号f1(t)、f2(t)的表示
f1_conv_f2=conv(f1,f2); %完成f1(t)与f2(t)的卷积积分运算
f=.....         %取消因步长对卷积积分结果带来的影响
t=...;           %根据参加运算的两个时限信号的绘图区间，给定卷积结果的绘图区间
subplot(2,2,1);
plot(t1,f1);
set(gca,'xtick',[-2 -1 0 1 2]); %指定时限信号t轴的显示刻度值
axis([-3,3,-0.1,2.1]);
subplot(2,2,2);
plot(t2,f2);
set(gca,'xtick',[-1 0 1 2]);
subplot(2,2,3);
plot(t,f);
set(gca,'xtick',[-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6]);
%指定卷积结果在t轴的显示刻度值，以便观察结果
```

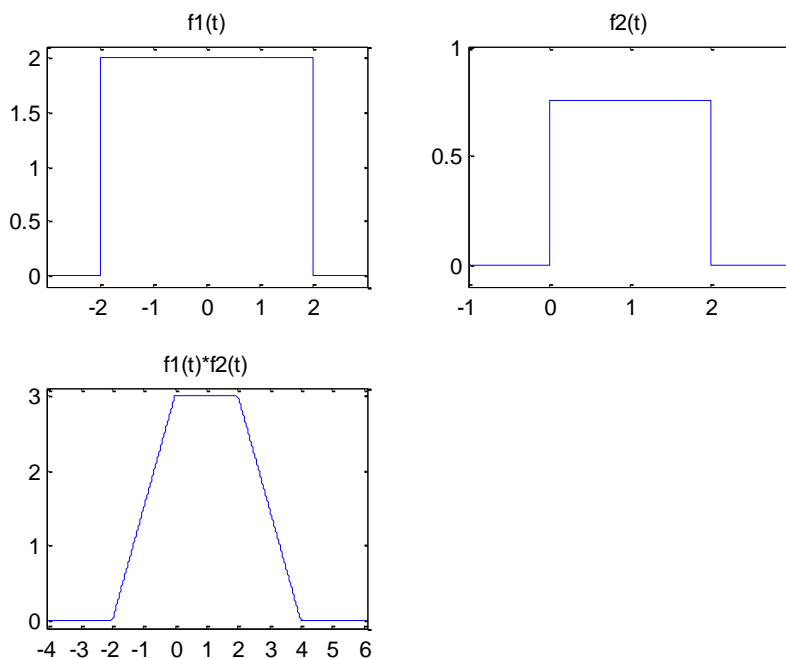


图 1-4 函数  $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$  及其卷积积分

#### 5. 相关函数与卷积的关系及 MATLAB 实现

信号自相关与卷积的关系为： $R(\tau) = f(t) * f(-t)$ ；信号互相关与卷积的关系为： $R_{12}(\tau) = f_1(t) * f_2(-t)$ 。

说明：

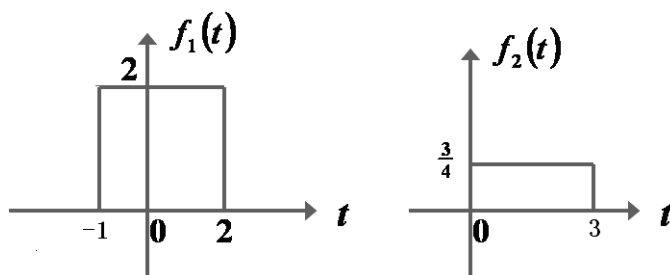
(1) 能量信号的相关函数的 MATLAB 实现可通过函数 `conv` 来实现，但需要对参加卷积运算的函数之一进行反转。

(2) 实函数  $f(t)$  的自相关函数  $R(\tau)$  是时移  $\tau$  的偶函数，且当  $\tau = 0$  时， $R(\tau)$  有最大值。

(3) 设实函数  $f(t)$  和  $f(t + t_0)$  的互相关函数为  $R_{12}(\tau)$ ，其最大值  $R_{12}(\tau)$  出现在两信号时延差  $\tau = t_0$  时刻。利用互相关函数的这一性质，可以准确地计算出两信号时移的大小，进一步可应用于回声信号时延量的检测中。

### 三、[实验内容]

1. 求如图所示函数  $f_1(t)$  和  $f_2(t)$  的卷积积分，并给出卷积结果的图形。



2. 利用相关函数与卷积的关系及 MATLAB 自带的求卷积的函数 `conv`，编写能量信号相关的函数 `[R12, tao]=my_xcorr(f1,t1,f2,t2,dt)`

%R 为相关结果，需消除步长的影响，即  $R12=R12*dt$

%tao 为相关结果  $R_{xy}$  的序号向量

%f1 为参加相关的信号, t1 为信号  $f_1$  的序号向量

%f2 为需反转的信号, t2 为  $f_2$  的序号向量

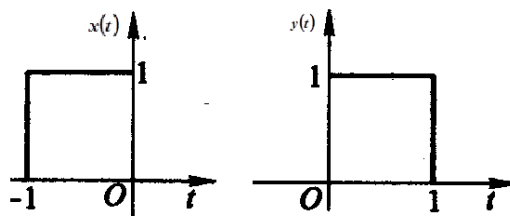
%dt 为  $t_1$  或  $t_2$  的步长 ( $t_1, t_2$  的步长要一致)

3. 已知两信号如图所示：

要求：调用题目 3 中自编相关函数，计算  $y(t)$  与

$x(t)$  的互相关  $R_{yx}$ ，并从相关结果图中读出两

信号的时延差。



4. 《信号与系统》应用设计——回波的产生与消除

【设计题目】回波的产生与消除

回声是一种物理现象。当直达声结束后，声音经过其他物体反射、折射后，又返回来收到的声波，称为回声。当传到入耳的直达声和回声之间的时差在  $1/20s$  以上时，可以很清楚地把它们区分开。

本实验将通过不含噪声的回声信号的建模过程，理解相关在回声测距中的应用。

【设计要求】

(1) 产生原始声音信号  $x$  和带有回波的声音信号  $y$ 。

(2) 从  $y$  中估计回波的延迟时间。

(3) 从带有回波的信号  $y$  中消除回波。

### 【实验步骤】

(1) **语音信号采集**：使用现成的“\*.wav”格式的声音信号。

(2) **声音信号的 matlab 读取**： `[x,Fs]=audioread('*.wav')`

%x 为双声道信号，处理时可只处理单声道，如第一列数据 `x(:,1)`。

%声卡采样率  $F_s$ 。

(3) 带回波信号  $y$  的产生：产生只有一个衰减延迟的回波信号附加到原信号上形成回波信号。其模型可简化为： $y(n) = x(n) + ax(n - N)$ ，其中  $a$  为衰减因子（反射系数）； $N$  为延迟时间。

因为人耳能分辨的声音延迟最少为  $0.05s$ ，因此，最小延迟时间不能小于  $0.05s$ 。在此先设置延迟时间为  $\tau$  秒，即延迟量（点数）应设定为  $N = \tau * f_s$ 。

(4) 保存产生的带回波的信号  $y$ ：`audiowrite('dajiahao_echoes.wav',y,f_s);`

(5) 参数估计：利用相关的结果估计延迟量  $N$  和衰减系数。

提示：利用 MATLAB 中的 `r=xcorr(y)` 函数求取带有回声信号的自相关。

相关结果的特点：带回波的信号的自相关结果出现两个峰值，一个在  $0$  时刻达到峰值，另一处峰值在延迟时刻（本例  $\tau$ ）处，这样通过两个最大值对应的序号差就可以估计延迟  $N$ 。而归一化自相关函数  $\frac{R_{yy}(\tau)}{R_{yy}(0)}$  的大小将给出回声的相对强度的大小即衰减系数。

说明：随机信号的自相关是实偶函数，它的图形如图所示是对称的。

