
实验报告

——信号检测与估计仿真



学院：电光学院

姓名：施钦凯

学号：913104210322

指导老师：顾红

仿真时间：2016.05

目录

一.	仿真题目要求.....	1
二.	单目标回波表达式.....	1
三.	雷达波形仿真.....	2
1.	m 序列的双值电平循环自相关函数输出波形	2
2.	脉压后输出图形.....	3
1)	无延时, 无多普勒频移脉压仿真.....	3
2)	无延时、有多普勒频移 ($V_r=10$) 脉压仿真.....	4
3)	无延时、有多普勒频移 ($V_r=100$) 脉压仿真.....	6
4)	有延时 ($R=2000$)、有多普勒频移 ($V_r=100$) 脉压仿真.....	7
3.	FFT 后输出图形.....	9
1)	无延时, 无多普勒频移 FFT 仿真.....	9
2)	无延时, 有多普勒频移 ($V_r=10$) FFT 仿真.....	9
3)	无延时, 有多普勒频移 ($V_r=100$) FFT 仿真.....	10
4)	有延时 ($R=2000$), 有多普勒频移 ($V_r=100$) FFT 仿真.....	10
3.	各级增益, 与时宽带宽的关系.....	11
1)	脉压时宽带宽仿真.....	11
2)	脉压后增益	12
3)	FFT 后时宽带宽仿真	13
4)	FFT 后增益.....	14
5.	脉压主旁比与多普勒曲线的仿真	15
6.	双目标时, 大目标旁瓣掩盖小目标的仿真 ($SNR=0dB$)	16
1)	当速度和距离较为接近 (但大于分辨力) 时发生掩盖	16
2)	当距离差距比较大时, 没有掩盖	17
3)	当速度差距比较大时, 没有掩盖	18
7.	距离分辨和速度分辨的仿真	18
1)	距离分辨力的仿真	18
2)	速度分辨力的仿真	20
附录	(MATLAB 仿真源代码)	22
1.	单目标(m 序列的双值电平循环自相关函数、脉压、FFT、各级处理的增益、脉压与 FFT 的时宽和带宽、脉压主旁比与多卜勒的曲线)	22
2.	多目标 (大目标旁瓣掩盖小目标、距离分辨力、速度分辨力)	29

一. 仿真题目要求

仿真伪随机相位编码脉冲雷达的信号处理。设码频为各学生学号末两位数字，单位为 MHz，伪码周期内码长为 127，占空比 10%，雷达载频为 10GHz，输入噪声为高斯白噪声。目标模拟分单目标和双目标两种情况，目标回波输入信噪比可变（-35dB~10dB），目标速度可变（0~1000m/s），目标幅度可变（1~100），目标距离可变（0~10000m），相干积累总时宽不大于 10ms。单目标时，给出回波视频表达式；脉压和 FFT 后的表达式；仿真 m 序列的双值电平循环自相关函数，给出脉压后和 FFT 后的输出图形；通过仿真说明各级处理的增益，与各级时宽和带宽的关系；仿真说明脉压时多卜勒敏感现象和多卜勒容限及其性能损失（脉压主旁比与多卜勒的曲线）。双目标时，仿真出大目标旁瓣盖掩盖小目标的情况；仿真出距离分辨和速度分辨的情况。

二. 单目标回波表达式

(1) 回波视频表达式：

$$S_r(t) = Ac(t - \tau) \cos[2\pi f_0(t - \tau) + 2\pi f_d t]$$

(2) 脉压后的表达式：

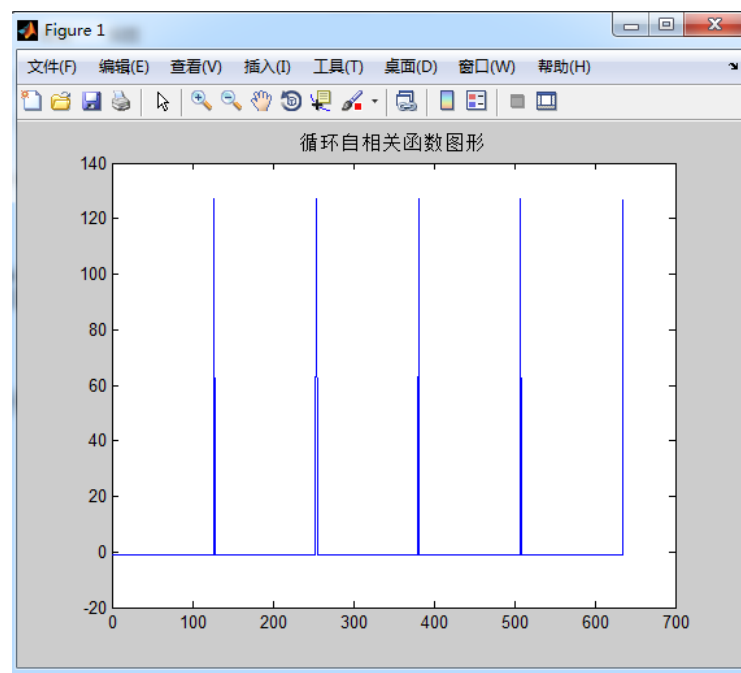
$$S_{my}(t) = S_r(t) * S_0(t) \quad (\text{其中 } S_0(t) \text{ 为匹配滤波器的时域特性表达式})$$

(3) FFT 后的表达式：

$$X(e^{j\omega k}) = \sum_{n=0}^{M-1} x[n] e^{-je^{j\omega k} n}$$

三. 雷达波形仿真

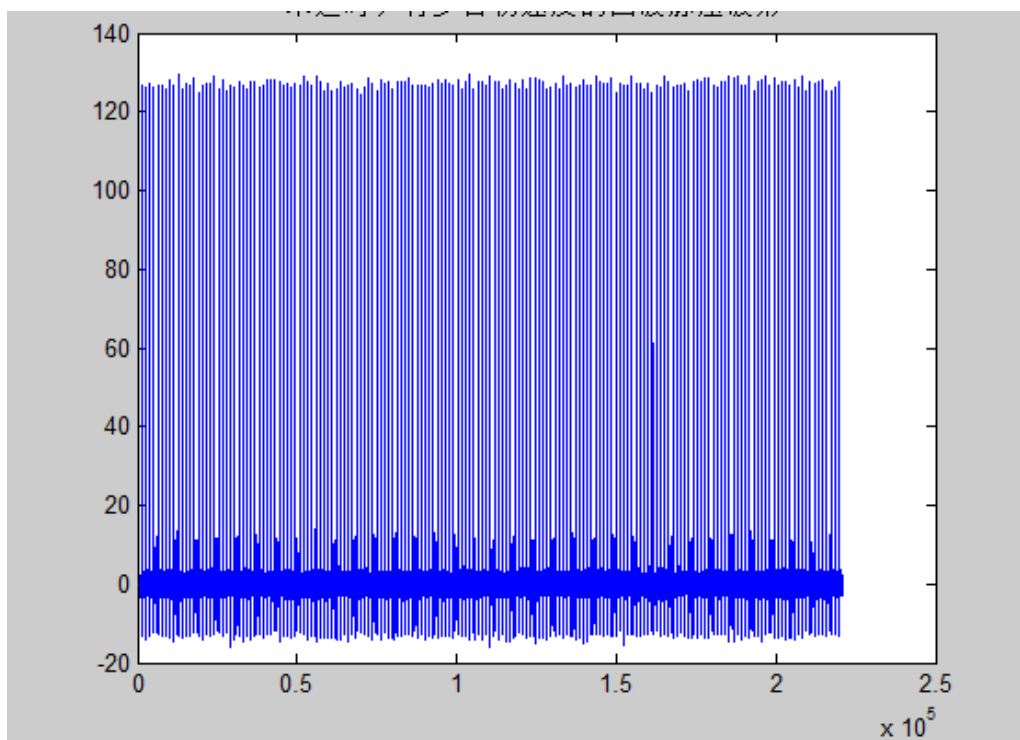
1. m 序列的双值电平循环自相关函数输出波形



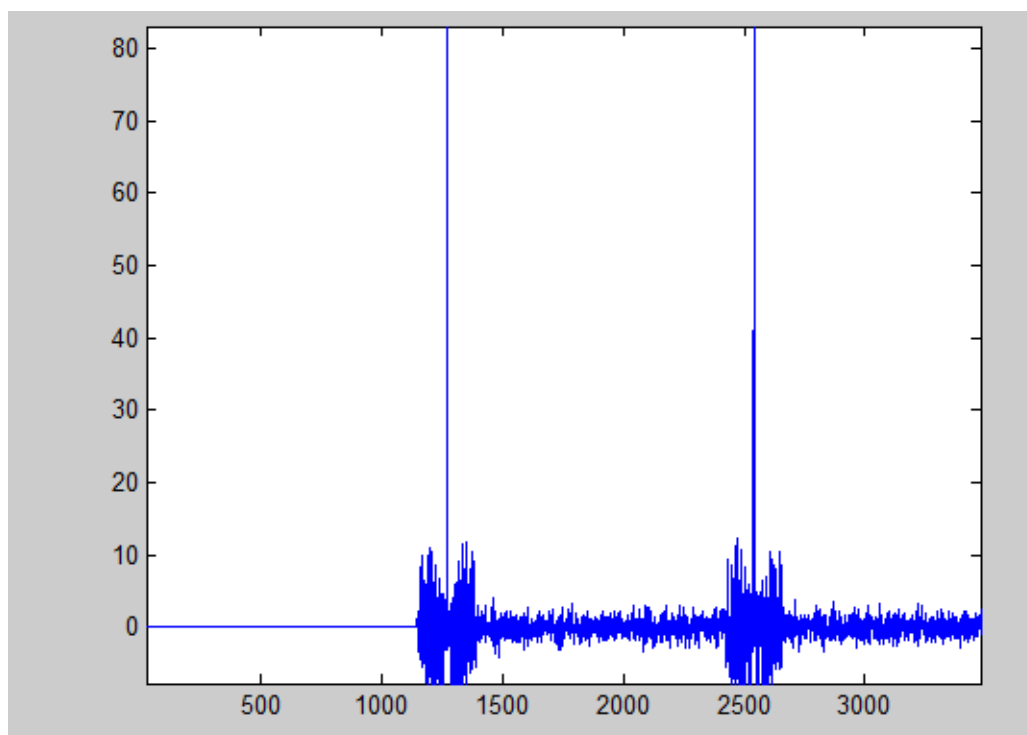
由仿真图可以看出 m 序列的双值电平循环自相关函数在 $127n$ 处为 127，而在其他地方为-1。

2. 脉压后输出图形

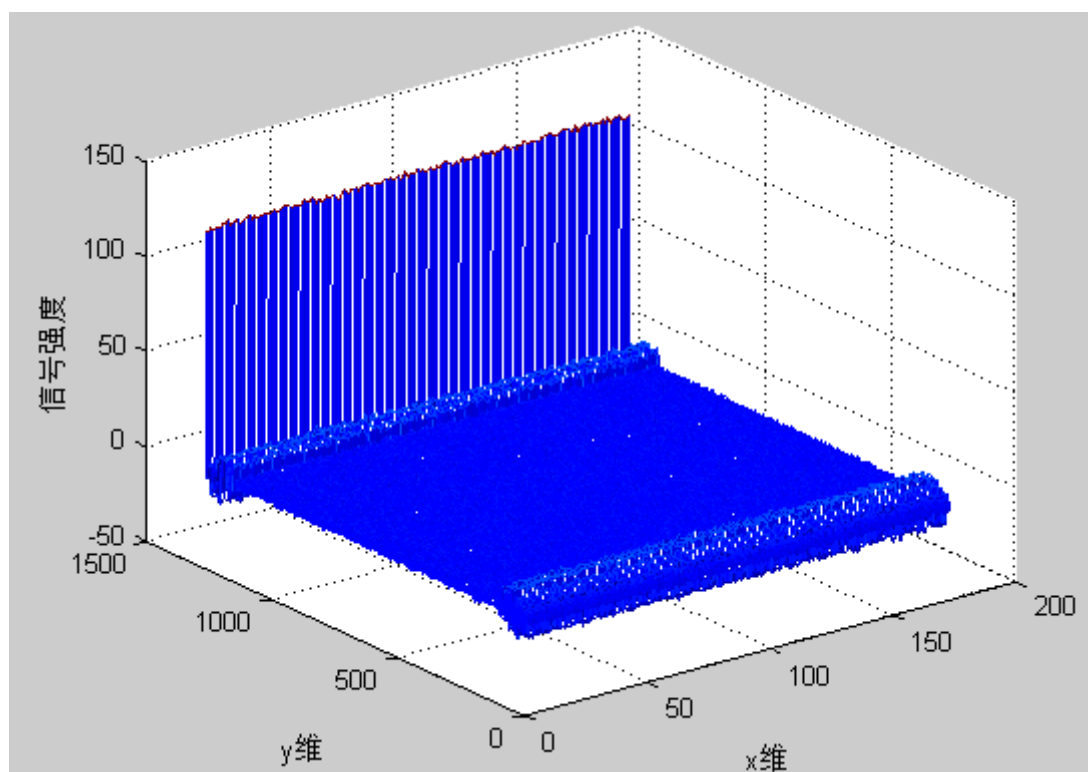
1) 无延时，无多普勒频移脉压仿真



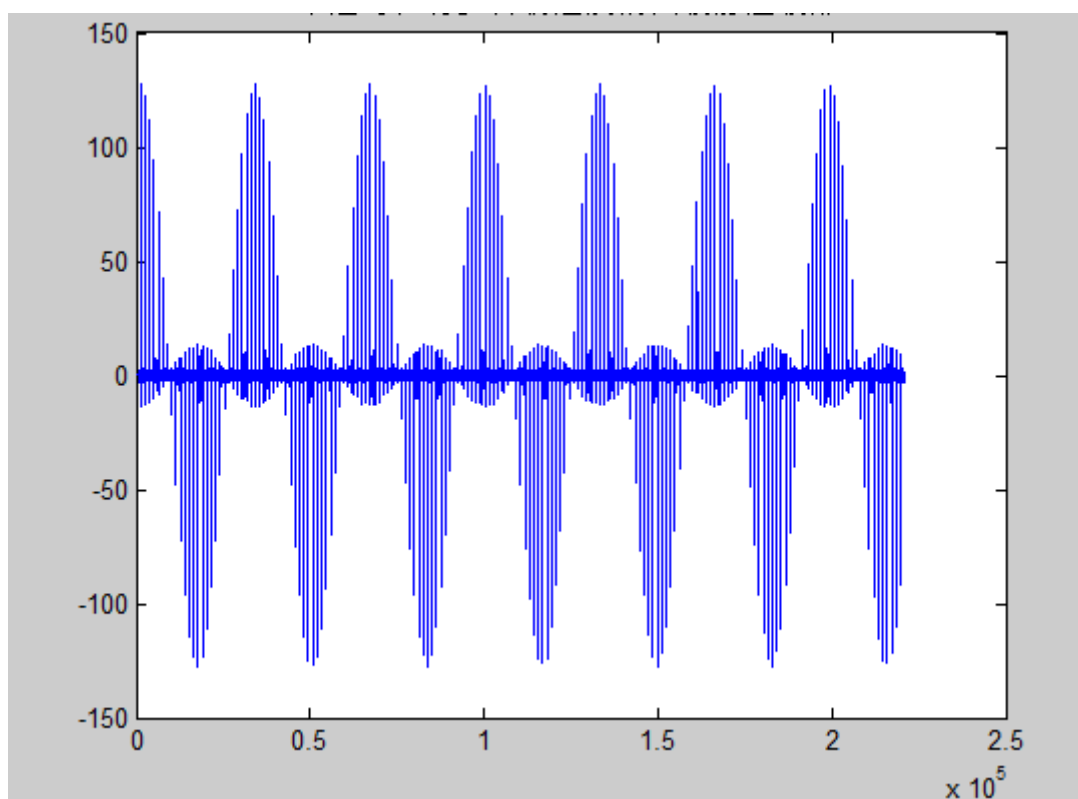
局部放大后



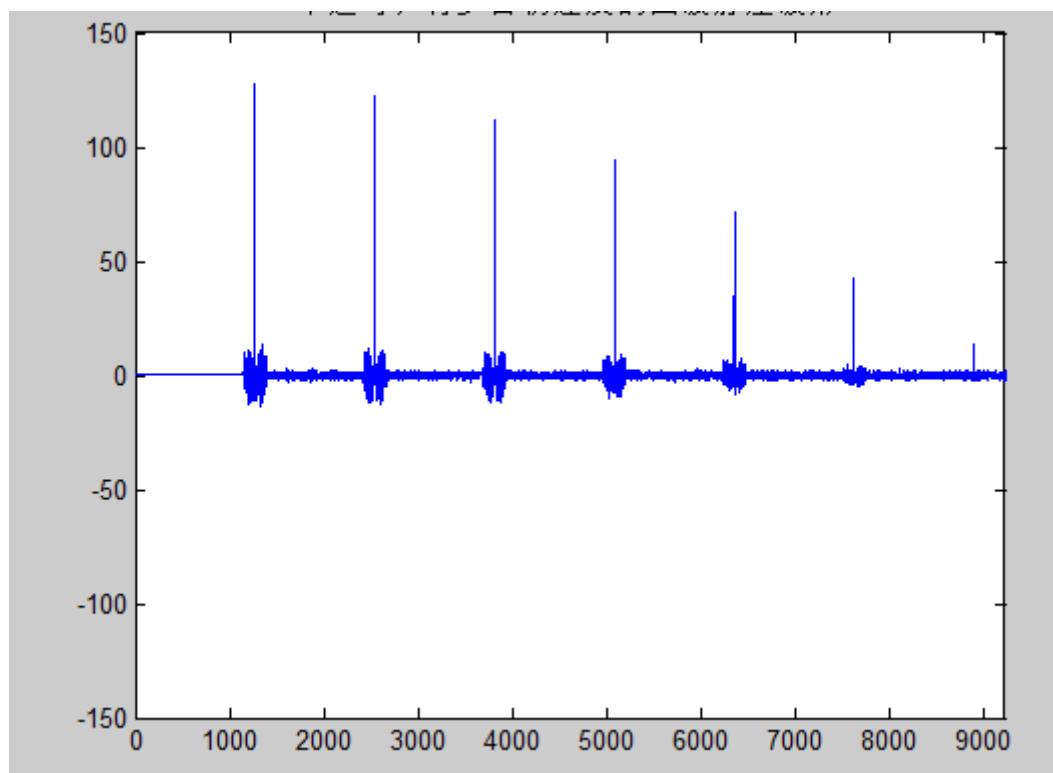
距离门重排后



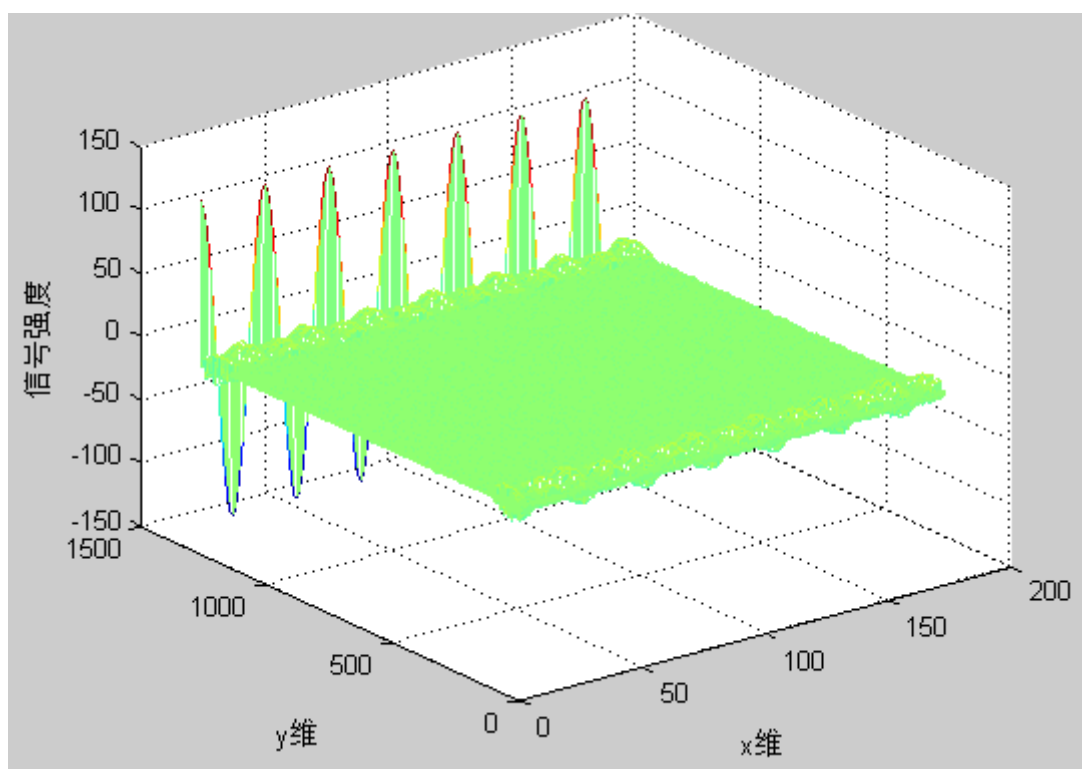
2) 无延时、有多普勒频移 ($V_r=10$) 脉压仿真



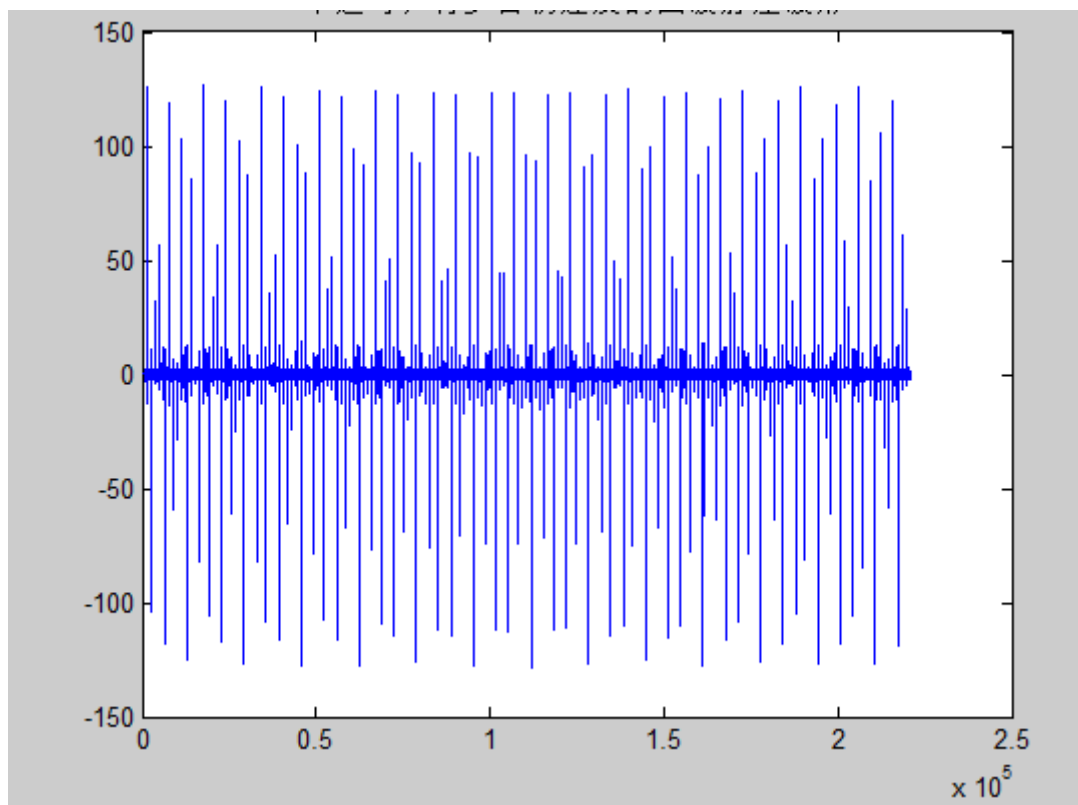
局部放大后



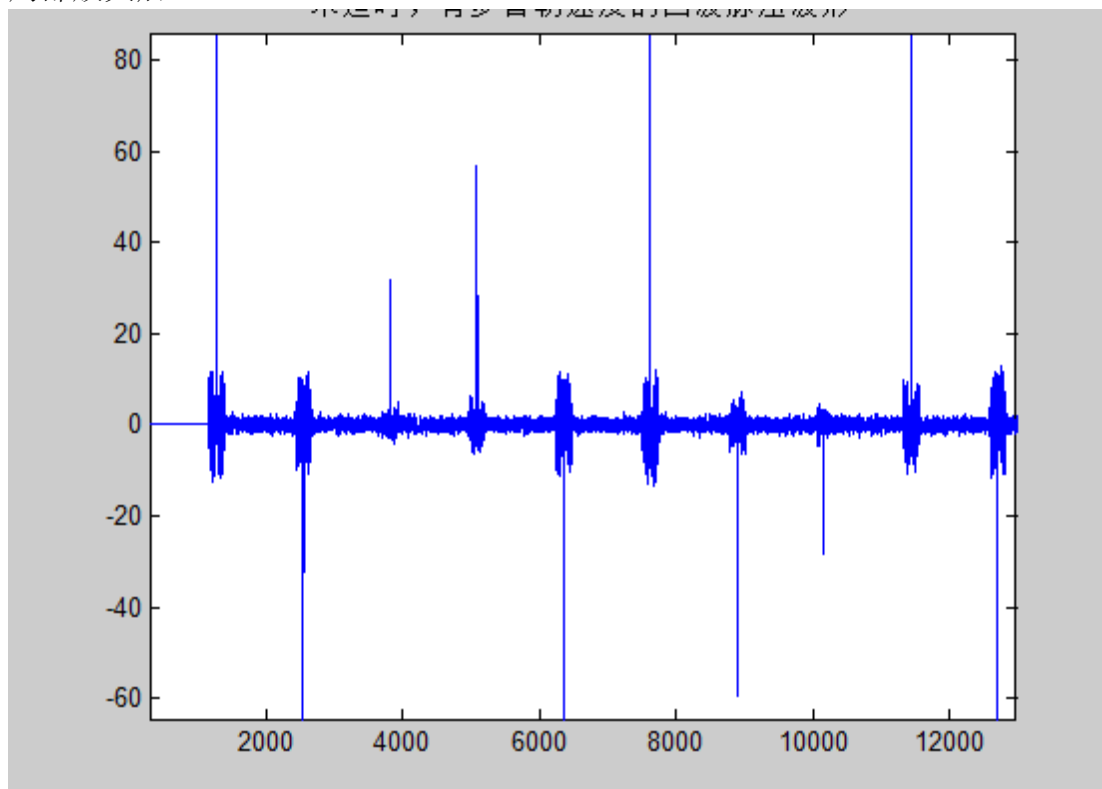
距离门重排后



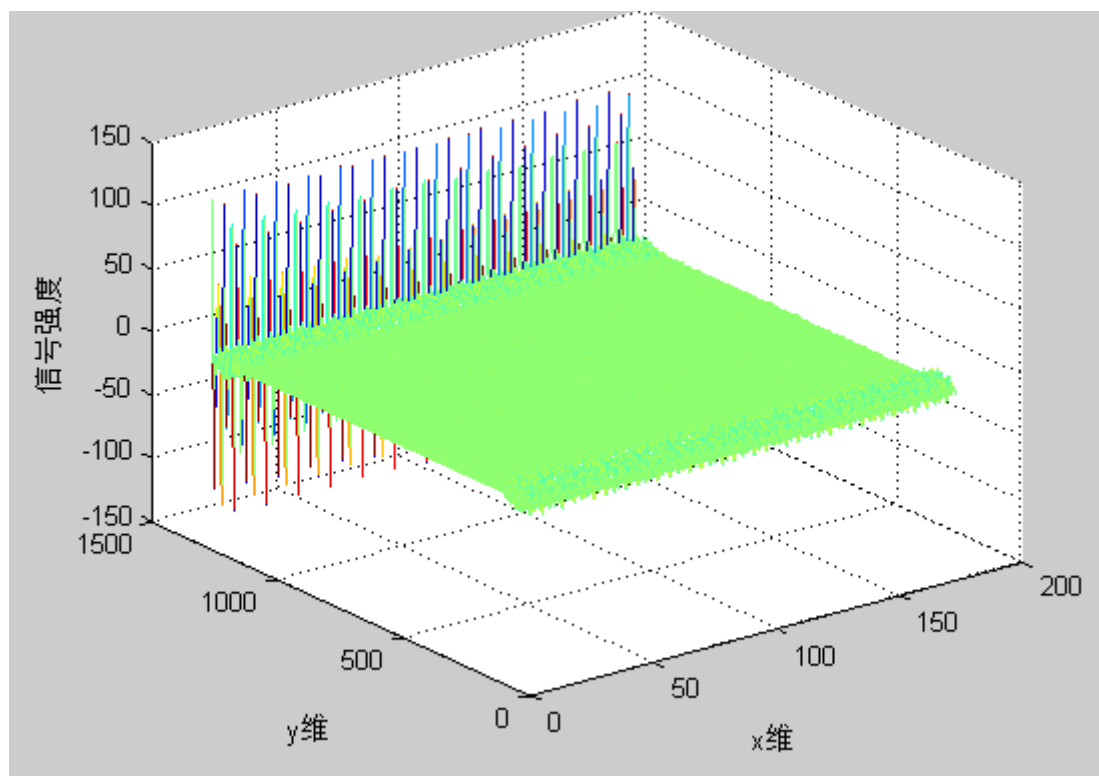
3) 无延时、有多普勒频移 ($V_r=100$) 脉压仿真



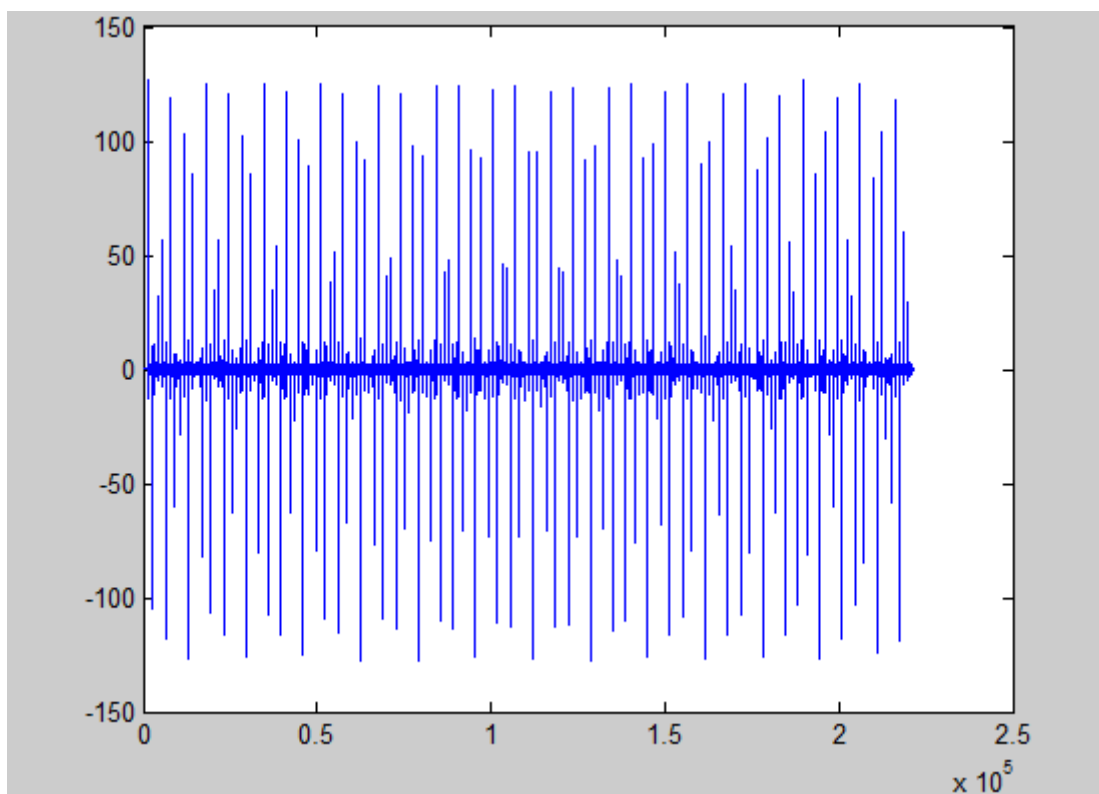
局部放大后



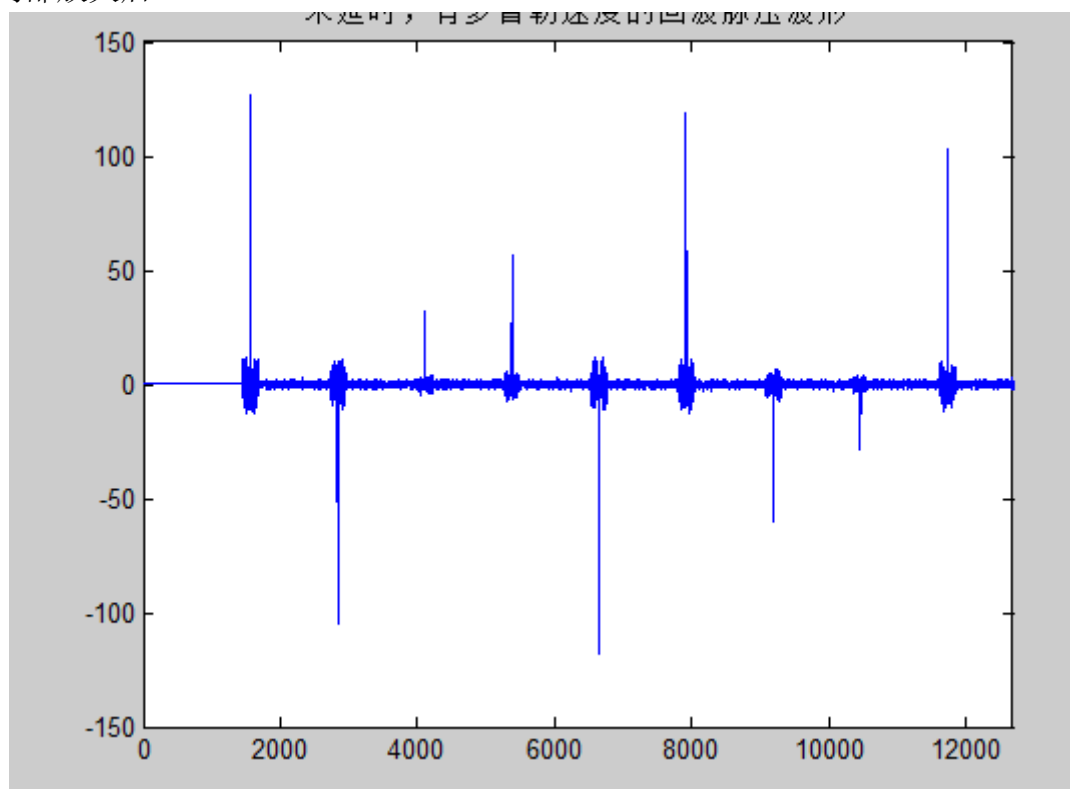
距离门重排后



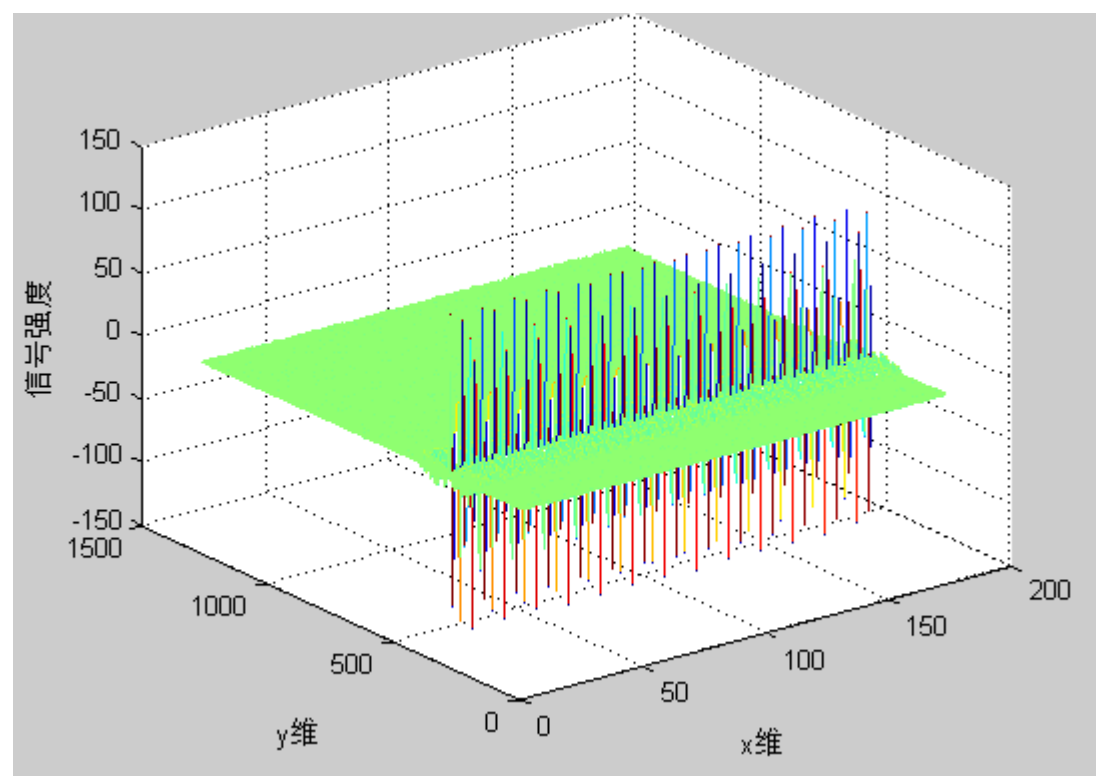
4) 有延时 ($R=2000$)、有多普勒频移 ($V_r=100$) 脉压仿真



局部放大后

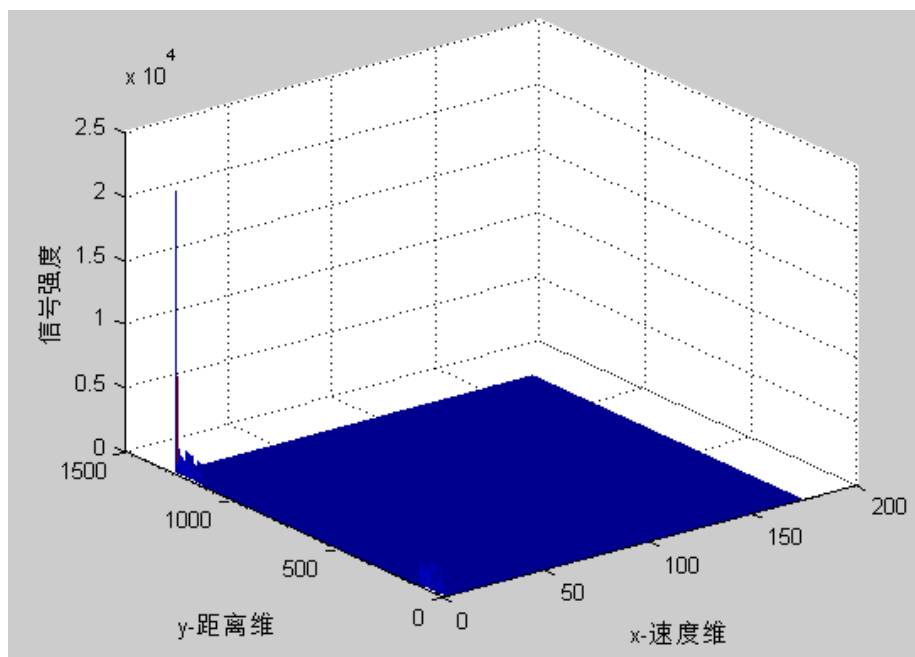


距离门重排后

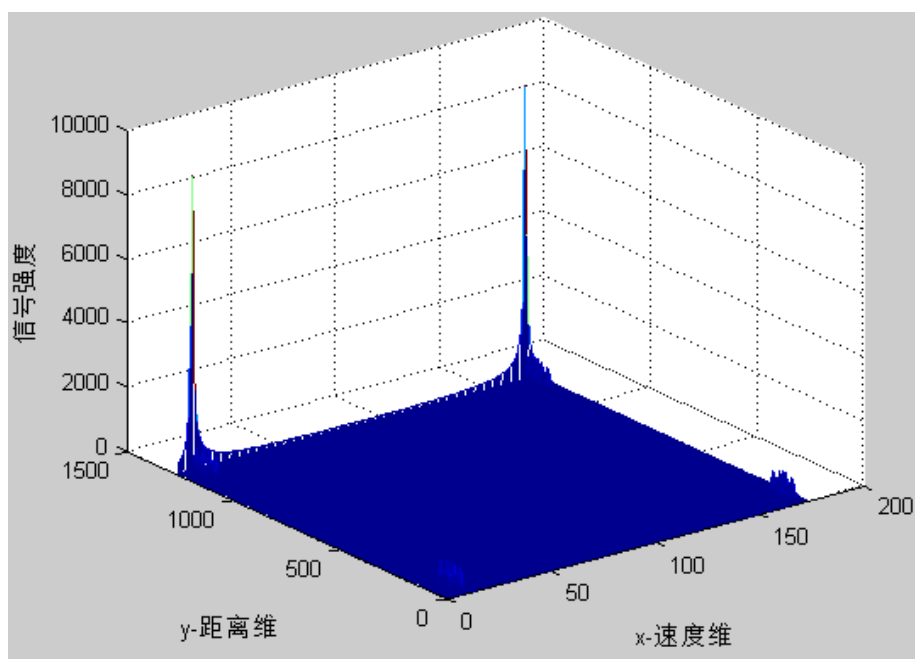


3.FFT 后输出图形

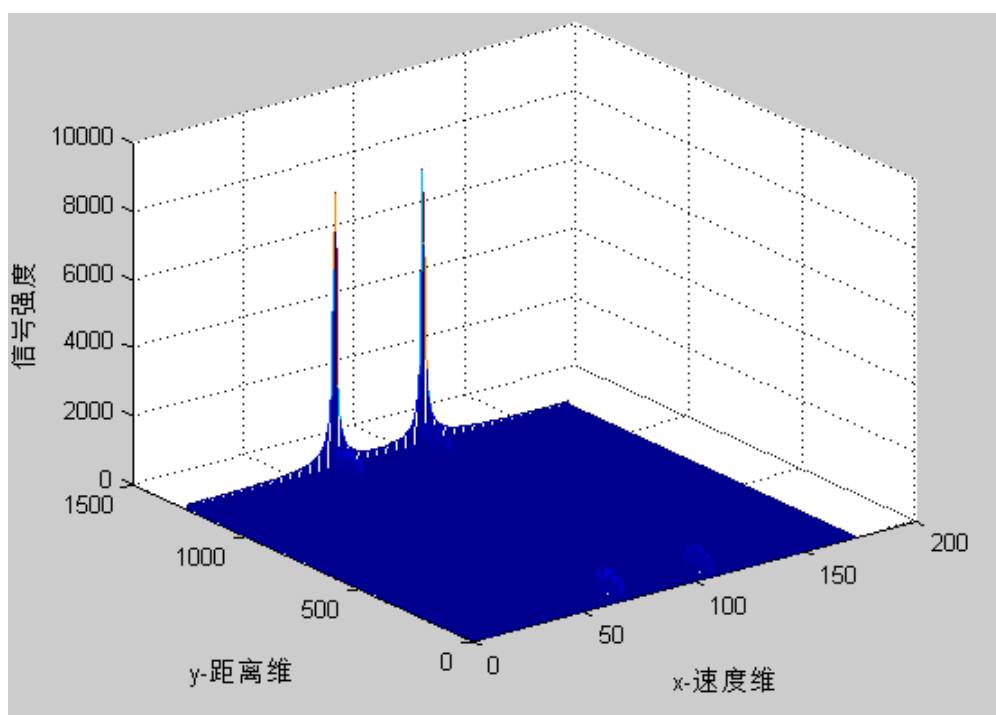
1)无延时，无多普勒频移 FFT 仿真



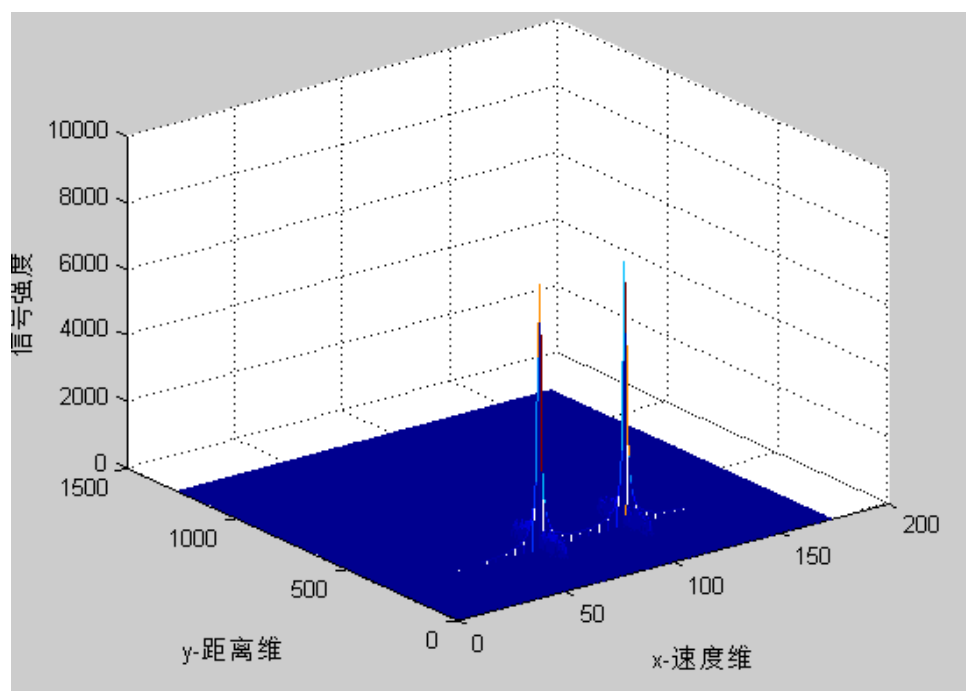
2)无延时，有多普勒频移 ($V_r=10$) FFT 仿真



3)无延时，有多普勒频移 ($V_r=100$) FFT 仿真



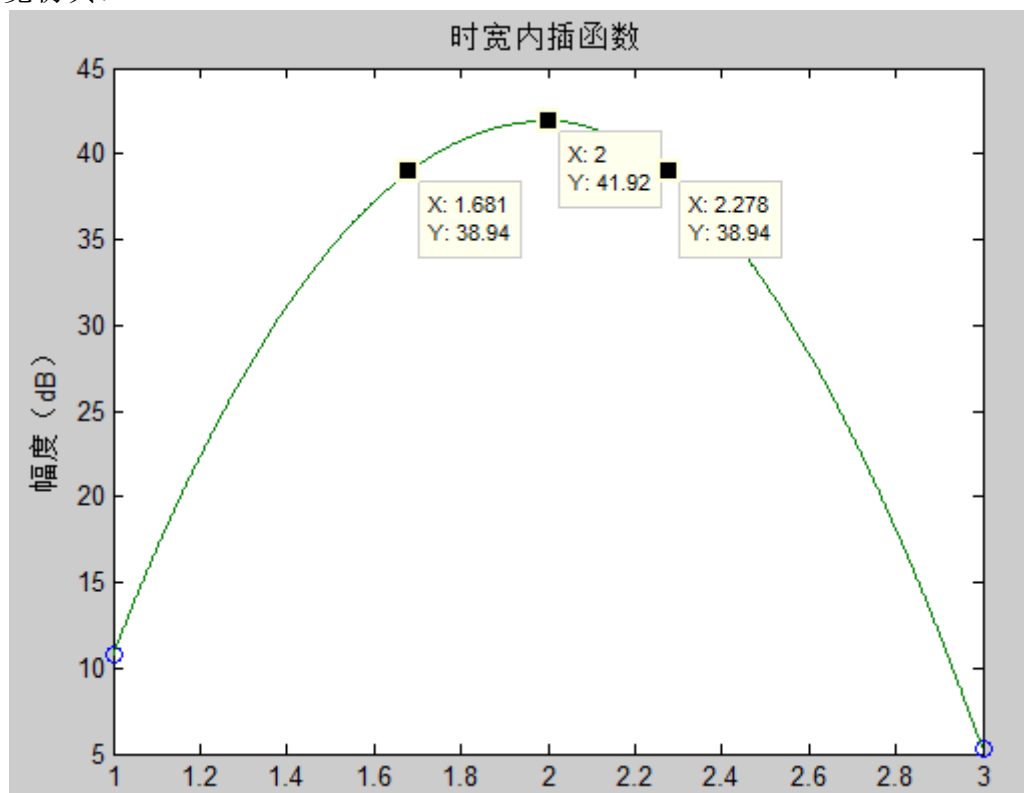
4)有延时 ($R=2000$), 有多普勒频移 ($V_r=100$) FFT 仿真



3. 各级增益，与时宽带宽的关系

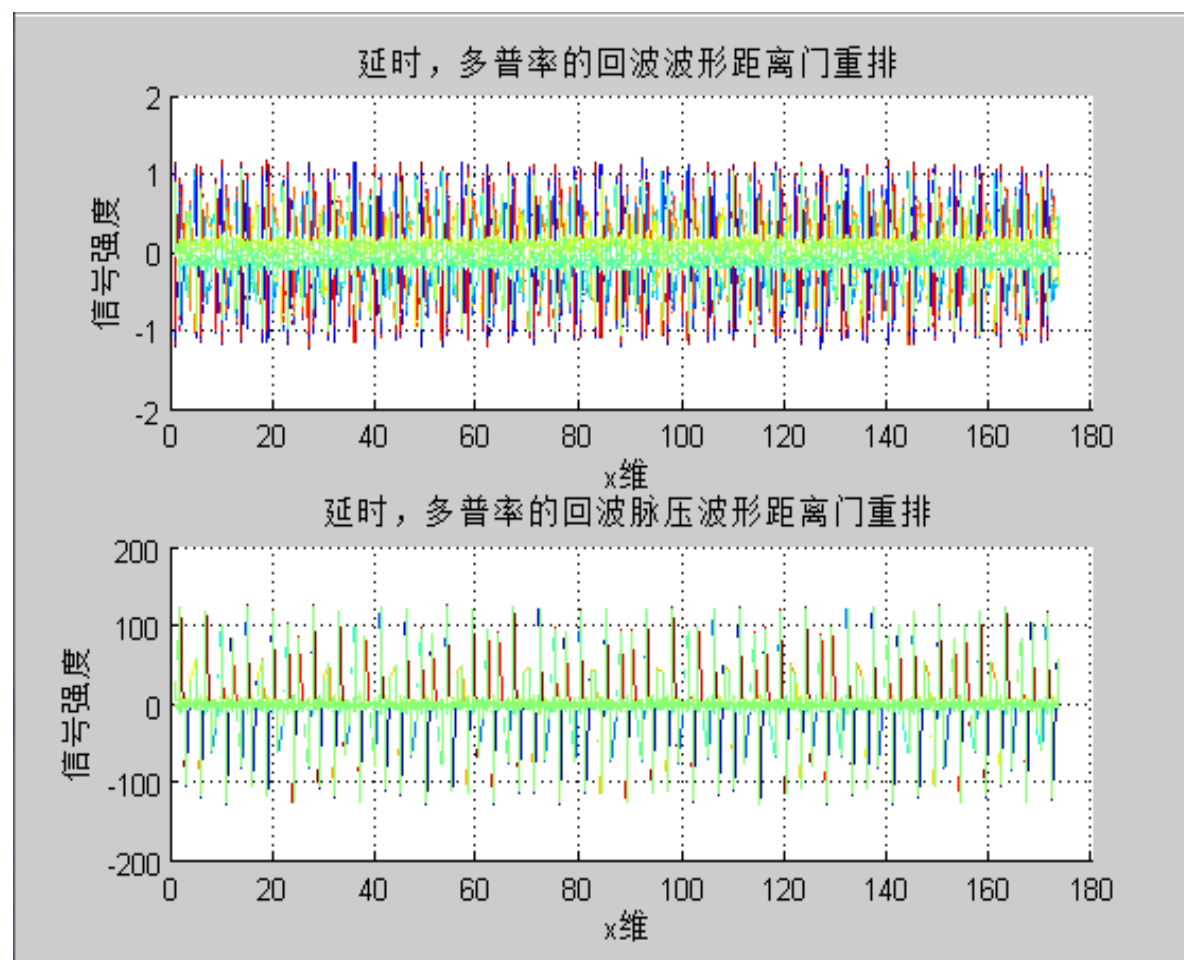
1) 脉压时宽带宽仿真

时宽仿真：



由图可知 时宽 $\tau=0.597T_m$

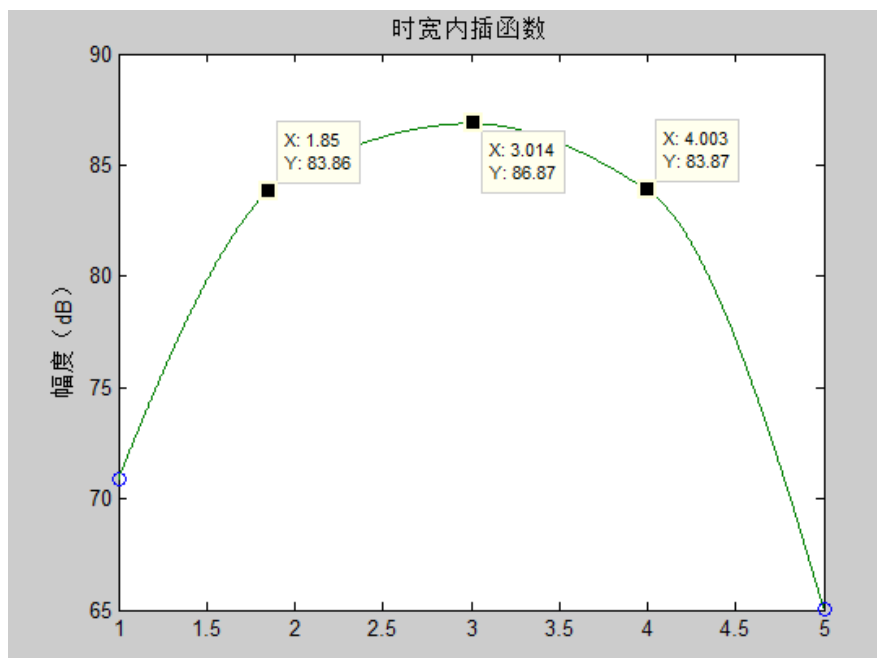
2) 脉压后增益



由 MATLAB 计算后 $D=21.04\text{dB}=127\approx 127=TB$ (时宽带宽积)

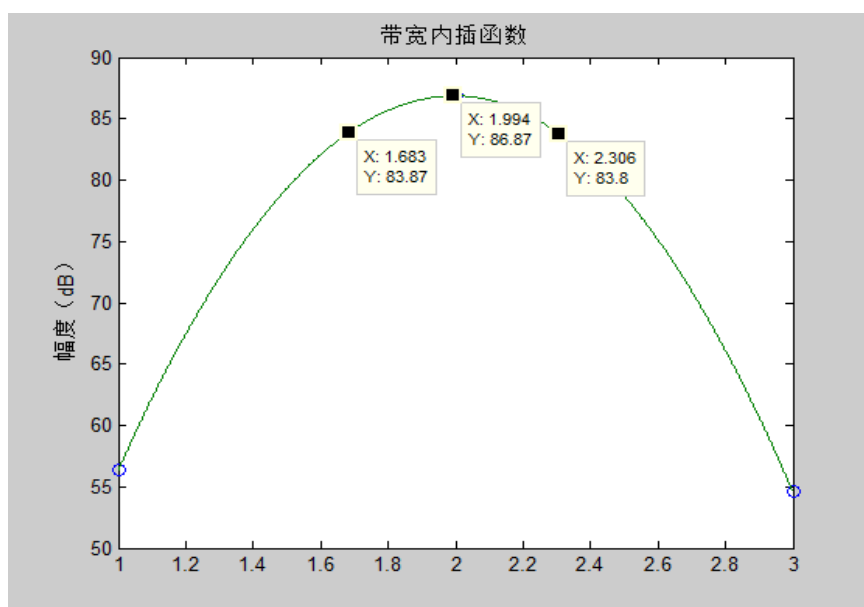
3) FFT 后时宽带宽仿真

时宽仿真：



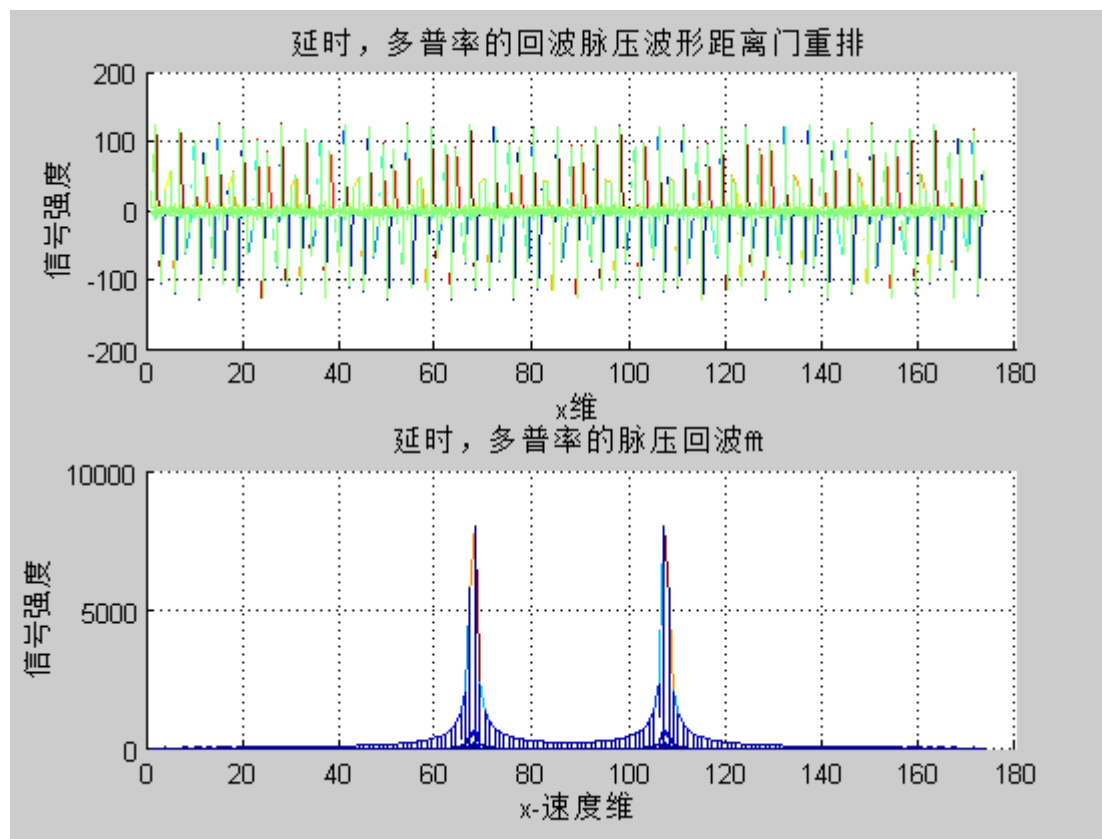
由图可知 $\tau = 2.15T_m$

带宽仿真：



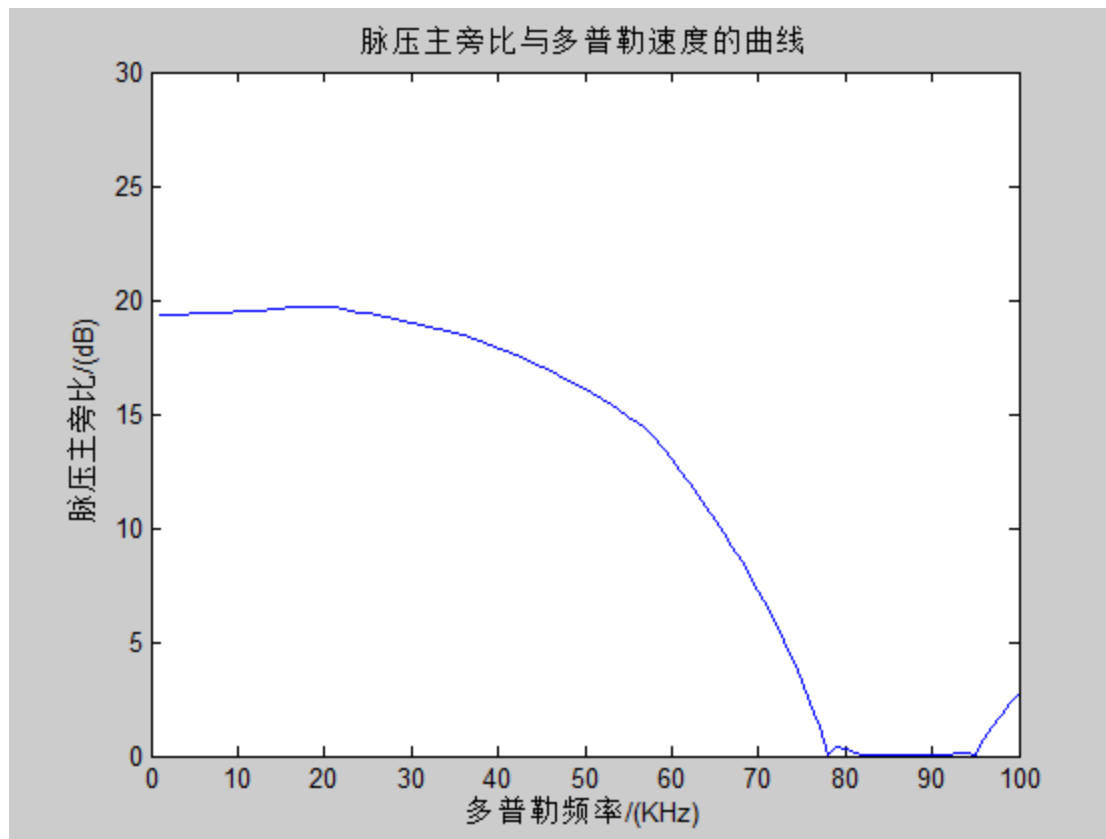
由图可知 $B' = 0.623B$

4) FFT 后增益



由 MATLAB 计算得到 $D_{FFT}=22.4\text{dB}=173.78\approx N=173$ 。

5.脉压主旁比与多普勒曲线的仿真

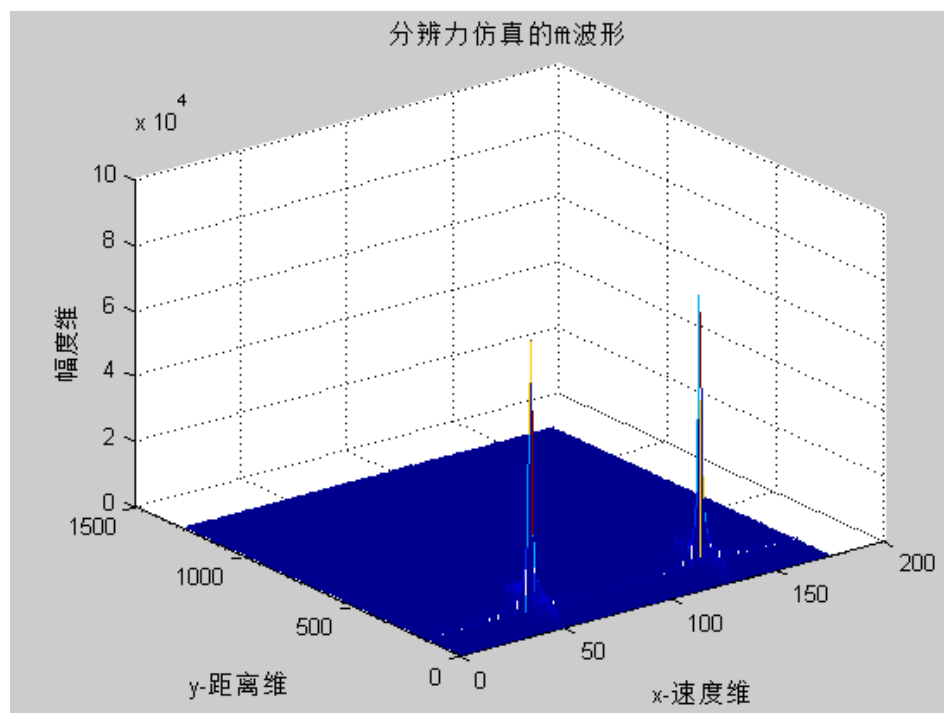


当速度在 $0\sim 1000\text{ m/s}$ 变化时，多普勒频率在 $0\sim 66.7\text{ KHz}$ 范围内变化，由图像可知，在这个范围内脉压主旁比会随着速度的增加而降低。说明在脉压时是多普勒敏感的。

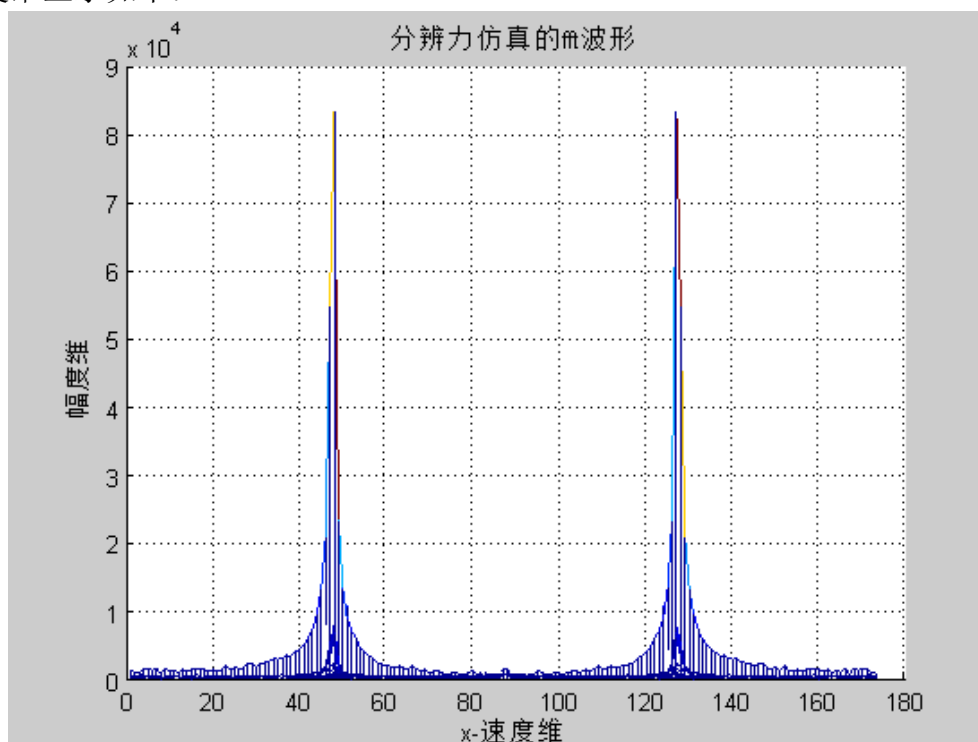
6.双目标时，大目标旁瓣掩盖小目标的仿真（SNR=0dB）

1) 当速度和距离较为接近（但大于分辨力）时发生掩盖

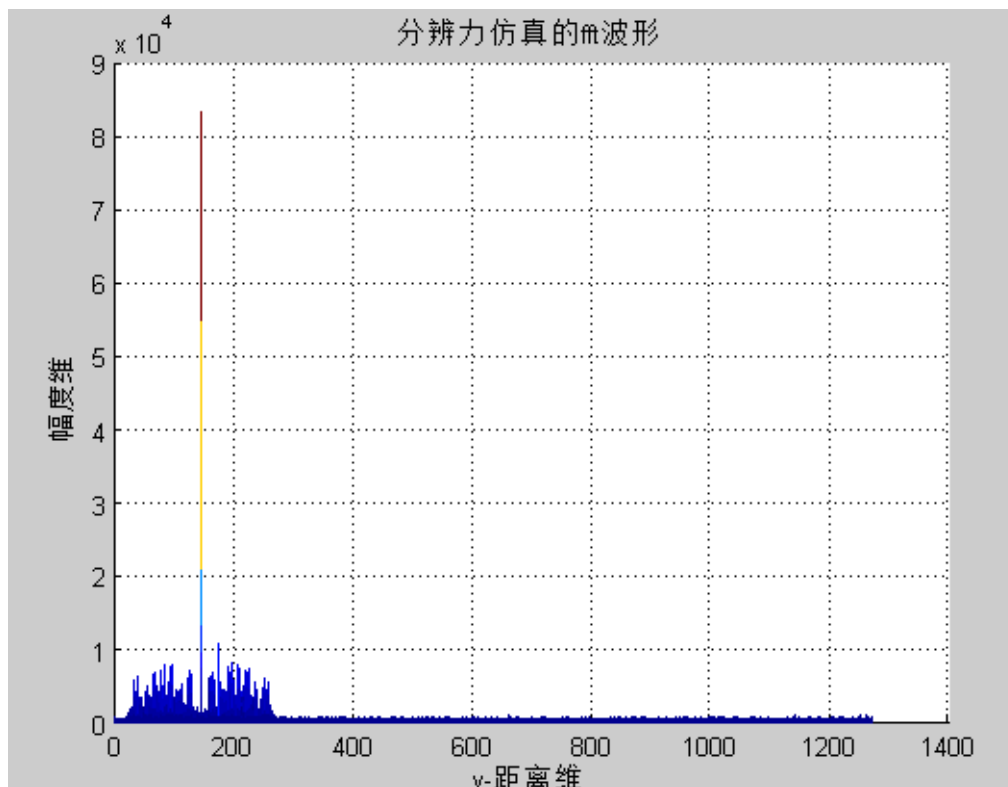
当大目标幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s；小目标幅度为 1，距离为 1200 米，速度为 75 m/s 时，输出 FFT 的波形如下：



速度维显示如下：

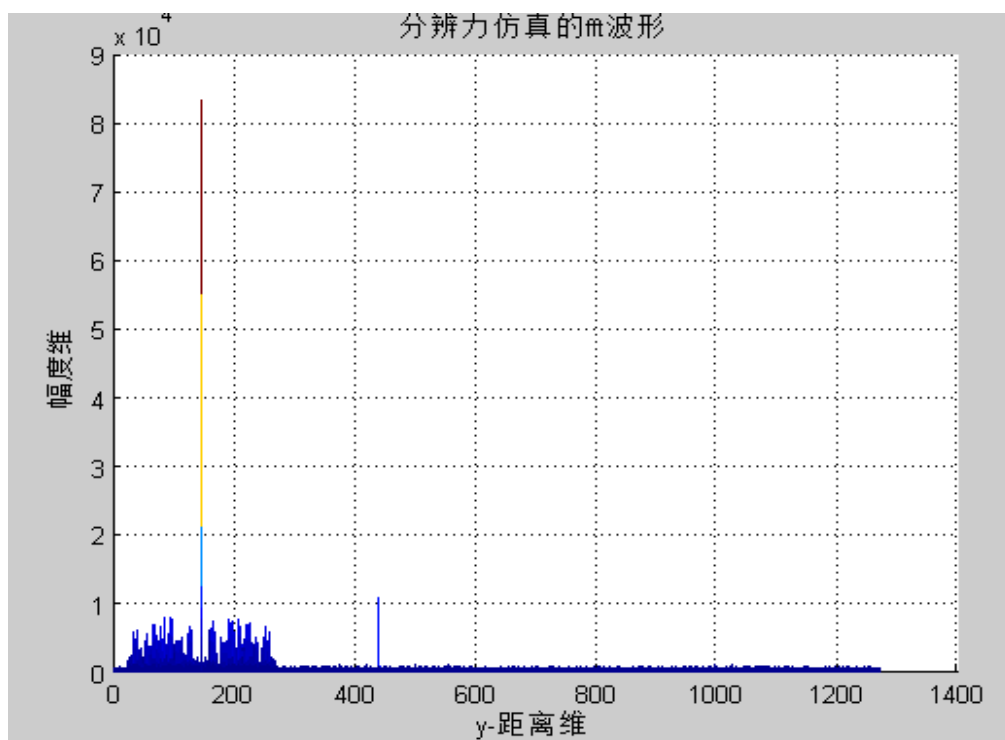


距离维显示如下：



2) 当距离差距比较大时，没有掩盖

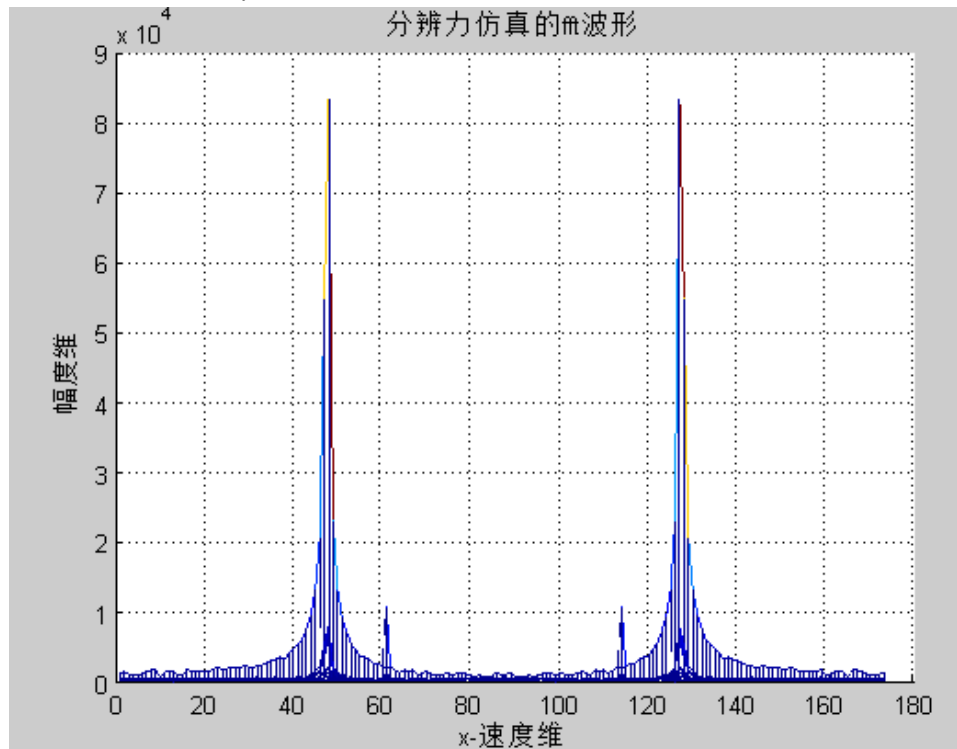
当大目标幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s；小目标幅度为 1，距离为 3000 米，速度为 75 m/s 时，输出 FFT 的波形如下：



在距离维上可以分辨出来，没有被大目标的旁瓣所掩盖

3) 当速度差距较大时，没有掩盖

当大目标幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s；小目标幅度为 1，距离为 1200 米，速度为 90 m/s 时，输出 FFT 的波形如下：



可以从速度维分辨出来，没有被大目标的旁瓣所掩盖。

7. 距离分辨和速度分辨的仿真

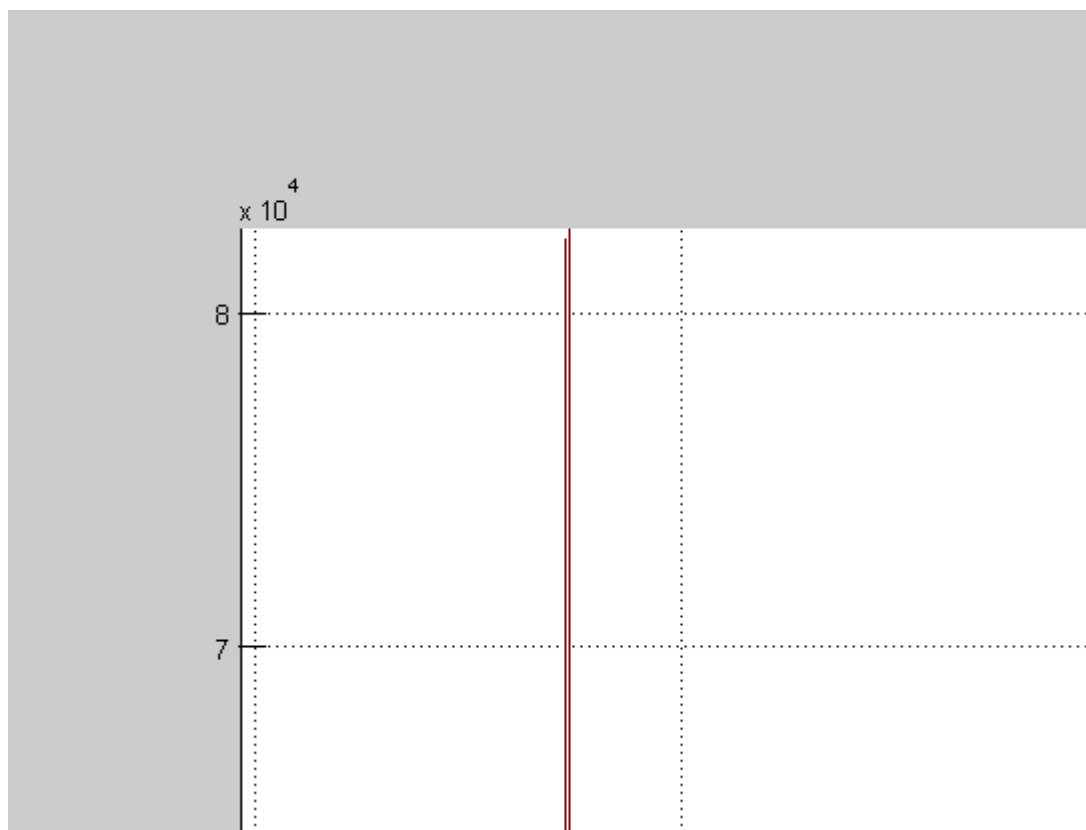
1) 距离分辨力的仿真

由于在一个距离门内的两个信号无法辨认出来，所以可以计算出距离的分辨力

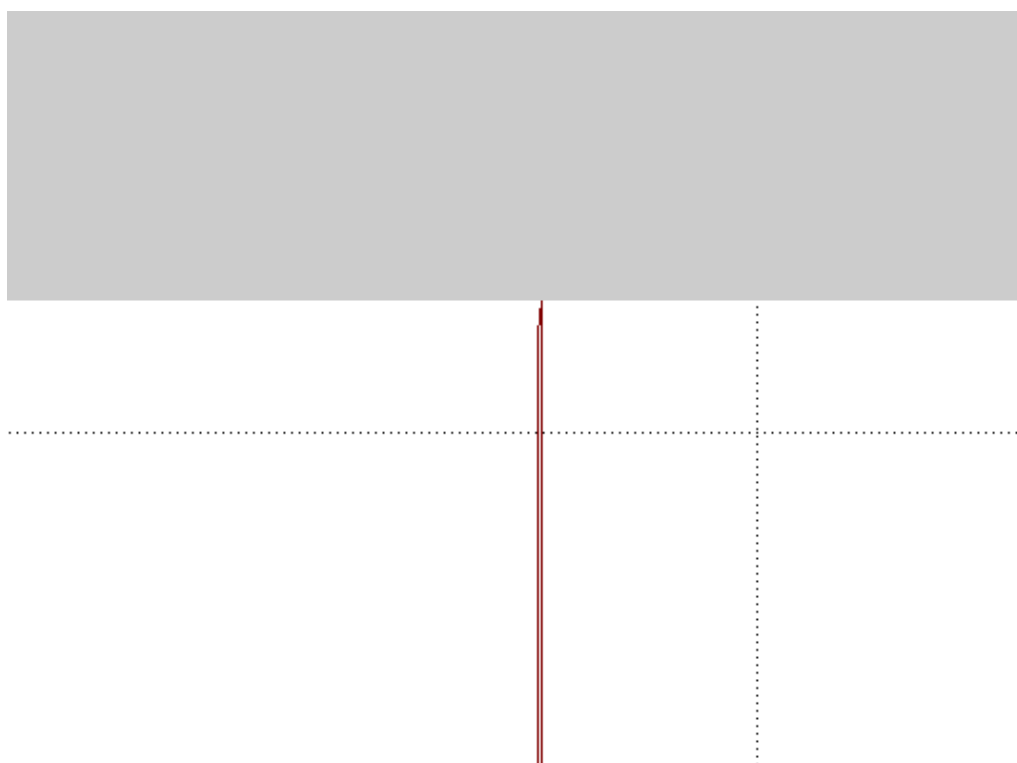
$$\Delta R = \frac{c}{2f_m} = 6.82 \text{ m}$$

仿真结果如下

目标一幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s；目标二幅度为 10，距离为 1010 米，速度为 70 m/s 时，输出 FFT 的波形放大如下：



目标一幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s；目标二幅度为 10，距离为 1009 米，速度为 70 m/s 时，输出 FFT 的波形放大如下：



由仿真可以看出：距离分辨力为 10 米

2) 速度分辨力的仿真

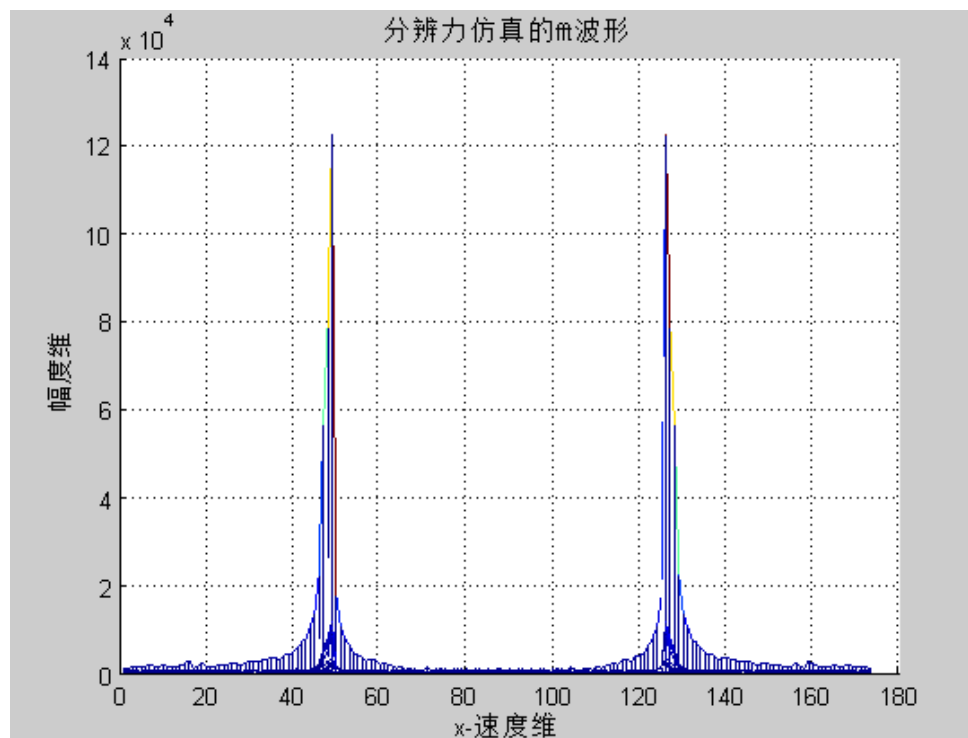
由于经过 FFT 后对频域进行了采样，每一个采样点的频率间隔为

$$\Delta f = \frac{f_m}{\text{采样点数}} = 100\text{Hz}$$

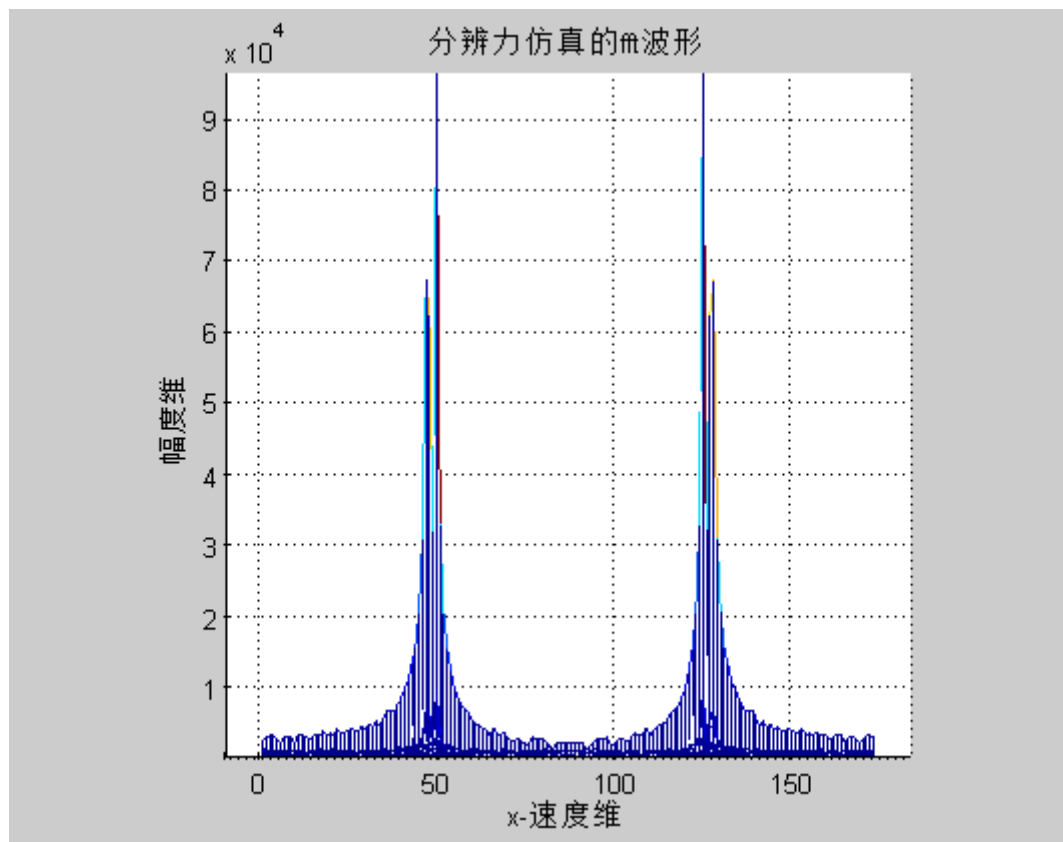
这样可以算出速度分辨力为 $\Delta v = \frac{\lambda \Delta f_d}{2} = 1.5 \text{ m/s}$

仿真结果如下：

目标一幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 72m/s；目标二幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s 时，输出 FFT 的波形放大如下：



目标一幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 73m/s；目标二幅度为 10，距离为 1000 米，速度为 70 m/s 时，输出 FFT 的波形放大如下：



通过仿真可以知道该雷达的速度分辨力为 3m/s.

附录（MATLAB 仿真源代码）

1.单目标（m 序列的双值电平循环自相关函数、脉压、FFT、各级处理的增益、脉压与 FFT 的时宽和带宽、脉压主旁比与多卜勒的曲线）

```
clc;
clear;
close all;
fm=22e6;%码频
Tm=1/fm;
Ts=Tm*10;
fc=10e9;%载频
t=10e-3;%相干积累总时宽
l=1270;
T=Ts*127;%周期
N=floor(t/T);%floor()为向下取整，求相干积累时宽内的伪码个数
snr=10;%信噪比
fbconnection=[ 0 0 1 0 0 0 1];
n = length(fbconnection);
m = 2^n-1;
l=10*m;
register = [1 0 1 0 1 0 1];%定义移位寄存器的初始状态
mseqmatrix(1)= register(n);
for i = 2:m
    newregister(1)= mod(sum(fbconnection.*register),2);
    for j = 2:n
        newregister(j)= register(j-1);
    end
    register = newregister;
    mseqmatrix(i) = register(n);
end
m_127=2*mseqmatrix-1;
%产生脉冲信号
for i=128:1270
    m_127(i)=0;
end
hb0=repmat(m_127,1,N);%展现一个相干积累时间的码序列
```



```

hb=awgn(hb0,snr,'measured');%加入高斯白噪声
hb1=hb;
zaosheng=hb1-hb0;

%-----循环自相关函数
for i=1:127
    m_127a(i)=m_127(i);
end
for j=1:127*5
    c=0;
    for k=1:127
        if (mod((j+k),127)==0)
            m=127;
        else
            m=mod(j+k,127);
        end
        c=c+m_127(k)*m_127(m);
    end
    zixiangguan(j)=c;
end
figure;
plot(zixiangguan);
title('循环自相关函数图形');

%-----延时，多普率的回波

Vr=100;%目标的速度
c=3e8;%波速
A=1; %幅度
bc=c/fc;%波长
fd=2*Vr/bc;%多普勒频移
i=1:1270*N;
duopule=cos(2*pi*fd/fm*i);
R=2000;%目标距离
t_yanshi=2*R/c;
N_yanshi=floor(t_yanshi/Tm);
dpl_hb0=A*hb0.*duopule;
dpl_hb=awgn(dpl_hb0,snr,'measured');%加入高斯白噪声
for i=1:1270*N;
    hb2(i+N_yanshi)=dpl_hb(i);
end
for j=1:N_yanshi
    hb2(j)=0;

```

```

end

%-----距离门重排
for r=1:N
    for h=1:l
        s_hb1(h,r)=hb2((r-1)*l+h);
        s_hb0(h,r)=10*log(hb2((r-1)*l+h));
    end
end
end
%-----脉压
pipei=fliplr(m_127);
hbb2=conv(pipei,hb2);
m_hb1=hbb2;
figure;
plot(m_hb1);
title('延时，有多普勒速度的回波脉压波形');
%-----脉压时宽带宽计算
for i=1:1600
    m_hb11(i)=m_hb1(i); %取一个周期
end
[max0,address]=max(m_hb11);%取出最大值的位置
for i=(address-1):(address+1);
    y0(i-(address-2))=m_hb1(i);
    y(i-(address-2))=20*log10(y0(i-(address-2)));
end
x=1:1:3;
xi=1:1/360:3;
yi=interp1(x,y,xi,'pchip');%内插函数
figure;
plot(x,y,'o',xi,yi);
ylabel('幅度 (dB) ');
title('时宽内插函数');
%-----距离门重排
for r=1:N
    for h=1:l
        s_hb2(h,r)=m_hb1((r-1)*l+h);
        s_hb00(h,r)=10*log(m_hb1((r-1)*l+h));
    end
end
end

%-----出图形
figure;
subplot(2,1,1);

```

```

mesh(1:N,1:1270,s_hb1);
title('延时，多普率的回波波形距离门重排');
xlabel('x 维');
ylabel('y 维');
zlabel('信号强度');
subplot(2,1,2);
mesh(1:N,1:1270,s_hb2);
title('延时，多普率的回波脉压波形距离门重排');
xlabel('x 维');
ylabel('y 维');
zlabel('信号强度');
figure;
subplot(2,1,1);
mesh(1:N,1:1270,s_hb0);
title('延时，多普率的回波波形距离门重排');
xlabel('x 维');
ylabel('y 维');
zlabel('信号强度/(dB)');
subplot(2,1,2);
mesh(1:N,1:1270,s_hb00);
title('延时，多普率的回波脉压波形距离门重排');
xlabel('x 维');
ylabel('y 维');
zlabel('信号强度/(dB)');
figure;
mesh(1:N,1:1270,s_hb2);
title('延时，多普率的回波脉压波形距离门重排');
xlabel('x 维');
ylabel('y 维');
zlabel('信号强度');
% %-----fft

for h=1:l
r_fft2(h,:)=abs(fft(s_hb2(h,:)));
r_fft3(h,:)=fft(fft(s_hb2(h,:)));
end
figure;
subplot(2,1,1);
mesh(1:N,1:1270,s_hb2);
title('延时，多普率的回波脉压波形距离门重排');
xlabel('x 维');
ylabel('y 维');
zlabel('信号强度');
subplot(2,1,2);

```

```

mesh(1:N,1:1270,r_fft2);
title('延时，多普率的脉压回波 fft');
xlabel('x-速度维');
ylabel('y-距离维');
zlabel('信号强度');
figure;
mesh(1:N,1:1270,r_fft2);
title('延时，多普率的脉压回波 fft');
xlabel('x-速度维');
ylabel('y-距离维');
zlabel('信号强度');
%-----FFT 的时宽和带宽
%求时宽
for i=1:l
for j=1:N
m_hb1(N*(i-1)+j)=r_fft3(i,j);
end
end
%把 FFT 后的矩阵转换为一维数组

[max0,adress]=max(m_hb1);%取出最大值的位置
for i=(adress-2):(adress+2);
y0(i-(adress-3))=m_hb1(i);
y(i-(adress-3))=20*log10(y0(i-(adress-3)));
end
x=1:1:5;
xi=1:1/360:5;
yi=interp1(x,y,xi,'pchip');%内插函数
figure;
plot(x,y,'o',xi,yi);
ylabel('幅度 (dB) ');
title('时宽内插函数');
%求带宽
for i=1:N
for j=1:l
m_hb1(l*(i-1)+j)=r_fft3(j,i);
end
end
%把 FFT 后的矩阵转换为一维数组
[max0,adress]=max(m_hb1);%取出最大值的位置
for i=(adress-1):(adress+1);
y0(i-(adress-2))=m_hb1(i);
y1(i-(adress-2))=20*log10(y0(i-(adress-2)));
end
x1=1:1:3;
xi1=1:1/360:3;

```

```

yi1=interp1(x1,y1,xi1,'pchip');%内插函数
figure;
plot(x1,y1,'o',xi1,yi1);
ylabel('幅度 (dB) ');
title('带宽内插函数');
%-----求脉压和 fft 增益
zaoshengmaiya=conv(pipei,zaosheng);
wuzaomaiya=conv(pipei,hb0);
Si_my=10*log10(max(abs(hb0))^2);
Ni_my=10*log10(sum(zaosheng.*zaosheng)/(1270*N));
snr_in=Si_my-Ni_my;
So_my=10*log10(max(wuzaomaiya)^2);
No_my=10*log10(sum(zaoshengmaiya.^2)/(1270*N));
snr_out=So_my-No_my;
D=snr_out-snr_in      %脉压增益
%无噪信号和噪声距离门重排
for r=1:N
    for h=1:l
        s_wuzaomaiya(h,r)=wuzaomaiya((r-1)*l+h);
    end
end
for r=1:N
    for h=1:l
        s_zaoshengmaiya(h,r)=zaoshengmaiya((r-1)*l+h);
    end
end
%无噪信号和噪声 fft
for h=1:l
    r_fftwuzaomaiya(h,:)=abs(fft(s_wuzaomaiya(h,:)));
end

for h=1:l
    r_fftzaoshengmaiya(h,:)=abs(fft(s_zaoshengmaiya(h,:)));
end
Si_fft=10*log10((max(wuzaomaiya))*max(wuzaomaiya));
Ni_fft=10*log10(sum(zaoshengmaiya.*zaoshengmaiya)/(1270*N));
snr_in1=Si_fft-Ni_fft;
aa=max(r_fftwuzaomaiya);
bb=max(aa);
So_fft=10*log10(bb^2);
aa=r_fftzaoshengmaiya.^2;
No_fft=10*log10(sum(aa(:))/(1270*N));
snr_out1=So_fft-No_fft;
D_fft=snr_out1-snr_in1      %fft 增益

```

```
%-----脉压主旁比
for ffd=1:100

fd=1000*ffd;%多普勒频移
i=1:1270*N;
duopule=cos(2*pi*fd/fm*i);
hb2=hb.*duopule;

%脉压
pipei=fliplr(m_127);
hbb2=conv(pipei,hb2);
m_hb1=abs(hbb2);
%求主旁比
b=0;
for j=1:1600
    mm(j)=m_hb1(j);
end
a=max(mm);
for i=1:1600
    if(mm(i)<a)
        if(b<mm(i))
            b=mm(i);
        end
    end
end
end
zhupangbi(ffd)=20*log10(a/b);
end
figure;
plot(zhupangbi);
axis([0,100,0,30]);
title('脉压主旁比与多普勒速度的曲线');
xlabel('多普勒频率/(KHz)');
ylabel('脉压主旁比/(dB)');
```

2.多目标（大目标旁瓣掩盖小目标、距离分辨力、速度分辨力）

```

clc;
clear;
close all;
fm=22e6;%码频
Tm=1/fm;
Ts=Tm*10;
fc=10e9;%载频
t=10e-3;%相干积累总时宽
l=1270;
T=Ts*127;%周期
N=floor(t/T);%floor()为向下取整，求相干积累时宽内的伪码个数
snr=0;%信噪比
%-----127 位 m 序列产生
fbconnection=[0 0 1 0 0 0 1];
n = length(fbconnection);
m = 2^n-1;
l=m*10;
register = [1 0 1 0 1 0 1];%定义移位寄存器的初始状态
mseqmatrix(1)= register(n);
for i = 2:m
    newregister(1)= mod(sum(fbconnection.*register),2);
    for j = 2:n
        newregister(j)= register(j-1);
    end
    register = newregister;
    mseqmatrix(i) = register(n);
end
m_127=2*mseqmatrix-1;
%产生脉冲信号
for i=128:1270
    m_127(i)=0;
end
hb0=repmat(m_127,1,N);%展现一个相干积累时间的码序列

hb=awgn(hb0,snr,'measured');%加入高斯白噪声
hb1=hb;
zaosheng=hb1-hb0;
%%%%%%%%%%%%%%
%大目标

```

```
Vr1=70;%目标的速度
c=3e8;%波速
A=10;%目标幅度
bc=c/fc;%波长
fd=2*Vr1/bc;%多普勒频移
k=1:1270*N;
duopule=cos(2*pi*fd/fm*k);
R1=1000;%目标距离
t_yanshi=2*R1/c;
N_yanshi=floor(t_yanshi/Tm);
dpl_hb=A*hb0.*duopule;
dpl_hb1=awgn(dpl_hb,snr,'measured');%加入高斯白噪声
for i=1:(1270*N);
    damubiao(i+N_yanshi)=dpl_hb(i);
end
for j=1:N_yanshi
    damubiao(j)=0;
end %无噪信号
for i=1:(1270*N);
    damubiao1(i+N_yanshi)=dpl_hb1(i);
end
for j=1:N_yanshi
    damubiao1(j)=0;
end %有噪信号
%小目标
Vr2=73;%目标的速度
c=3e8;%波速
A=10;%目标幅度
bc=c/fc;%波长
fd=2*Vr2/bc;%多普勒频移
k=1:(1270*N);
duopule=cos(2*pi*fd/fm*k);
R2=1000;%目标距离
t_yanshi=2*R2/c;
N_yanshi=floor(t_yanshi/Tm);
dpl_hb=A*hb0.*duopule;
dpl_hb1=awgn(dpl_hb,snr,'measured');%加入高斯白噪声
for i=1:1270*N;
    xiaomubiao(i+N_yanshi)=dpl_hb(i);
end
for j=1:N_yanshi
    xiaomubiao(j)=0;
end
for i=1:1270*N;
```



```

        xiaomubiao1(i+N_yanshi)=dpl_hb1(i);
    end
    for j=1:N_yanshi
        xiaomubiao1(j)=0;
    end        %有噪信号
    for i=1:N*1270
        mubiao(i)=damubiao1(i)+xiaomubiao1(i);
    end

    %-----脉压
    pipei=fliplr(m_127);
    hbb2=conv(pipei,mubiao);
    m_mubiao=hbb2; %有噪信号
    %-----距离门重排
    for r=1:N
        for h=1:l
            s_mubiao(h,r)=m_mubiao((r-1)*l+h);
        end
    end        %有噪信号

    % %-----fft

    for h=1:l
        r_fftmubiao(h,:)=abs(fft(s_mubiao(h,:)));
    end        %有噪信号
    %%%%%%%%%%%%%%
    mesh(1:N,1:1270,r_fftmubiao);
    title('分辨力仿真的 fft 波形')
    xlabel('x-速度维');
    ylabel('y-距离维');
    zlabel('幅度维');

```