



南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

随机信号处理基础

线性调频脉冲雷达信号处理仿真

作 者： 王婧 学 号： 913104680104

学院(系)： 电子工程与光电技术学院

专 业： 电子信息工程

指导老师： 顾 红

实验日期： 2016 年 5 月 15 日

目 录

1 实验准备	4
2 实验要求	4
3 实验原理	4
4 实验步骤及实验仿真波形	5
4.1 线性调频脉冲雷达信号回波产生	5
4.2 线性调频脉冲信号自相关函数	7
4.2.1 第一旁瓣高度分析	8
4.2.2 分析 4dB 输出脉冲宽度分析	9
4.3 线性调频信号脉冲压缩输出分析	10
4.3.1 线性调频信号脉冲压缩输出波形及 SNR 分析	10
4.3.2 线性调频信号脉冲压缩输出 SNR 分析	21
4.3.3 线性调频信号脉冲压缩输出的时宽、带宽分析	21
4.4 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出分析	23
4.4.1 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出波形分析	23
4.4.1 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出的 SNR 分析	29
4.4.2 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出的时宽、带宽分析 ..	30
4.5 线性调频信号脉冲压缩的多普勒敏感现象分析、多普勒容限	31
4.6 双目标线性调频脉冲雷达信号分析	32
4.6.1 两目标同时存在	32

4.6.2 双目标距离分辨及速度分辨分析	33
5 实验总结	42
5.1 技能学习	42
5.2 知识积累	42
5.3 个人感悟	42
附：实验仿真程序	43
1 线性调频信号脉压及 fft 处理	43
2 有延时、多普勒的调频脉冲信号回波处理	45
3 双目标距离分辨和速度分辨仿真	50

1 实验准备

Matlab 2014a 软件环境及应用
《随机信号处理基础》理论基础
《雷达系统与原理》理论基础

2 实验要求

仿真线性调频脉冲雷达的信号处理。设线性调频带宽为 4MHz，时宽为 200 μ s，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 LFM 信号自相关函数，说明第一旁瓣高度，4dB 输出脉冲宽度；给出脉压和 FFT 后的输出图形；通过仿真说明脉压输出和 FFT 输出的 SNR、时宽和带宽；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。

3 实验原理

脉冲压缩雷达能同时提高雷达的作用距离和距离分辨率。这种体制采用宽脉冲发射以提高发射的平均功率，保证足够大的作用距离；而接收时采用相应的脉冲压缩算法获得窄脉冲，以提高距离分辨率，较好的解决雷达作用距离与距离分辨率之间的矛盾。

脉冲压缩雷达最常见的调制信号是线性调频（Linear Frequency Modulation）信号,接收时采用匹配滤波器（Matched Filter）压缩脉冲。

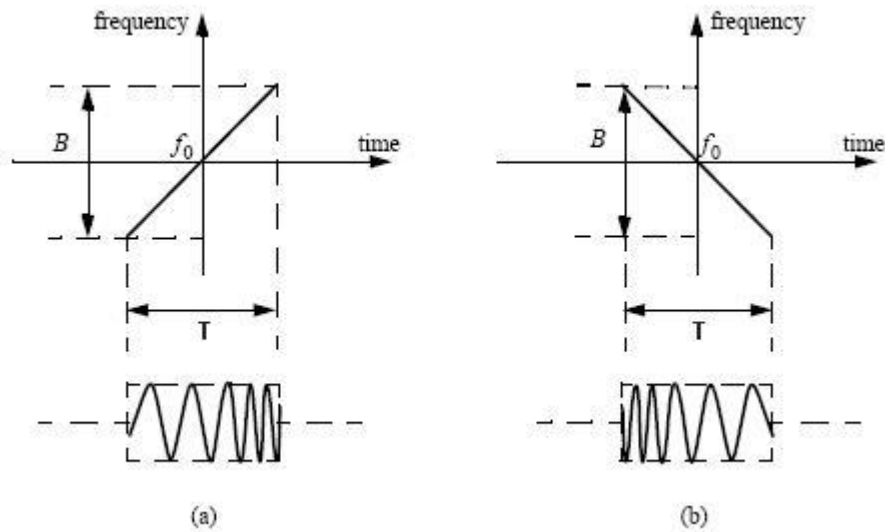
LFM 信号(也称 Chirp 信号)的数学表达式为：

$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) e^{j2\pi(f_c t + \frac{K}{2}t^2)}$$

式中 f_c 为载波频率， $\text{rect}(\frac{t}{T})$ 为矩形信号，

$$\text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) = \begin{cases} 1 & , \quad \left|\frac{t}{T}\right| \leq 1 \\ 0 & , \quad \text{elsewise} \end{cases}$$

$K = \frac{B}{T}$ ，是调频斜率，于是，信号的瞬时频率为 $f_c + Kt$ ($-T/2 \leq t \leq T/2$)，如图



典型的 chirp 信号 (a) up-chirp($K > 0$) (b) down-chirp($K < 0$)
将上式中的 up-chirp 信号重写为：

$$s(t) = S(t) e^{j2\pi f t}$$

式中，

$$S(t) = r e^{j\pi \frac{K}{T} t^2} e^{j\pi K^2 t}$$

是信号 $s(t)$ 的复包络。由傅立叶变换性质， $S(t)$ 与 $s(t)$ 具有相同的幅频特性，只是中心频率不同而以，因此，Matlab 仿真时，只需考虑 $S(t)$ 就可以。

4 实验步骤及实验仿真波形

4.1 线性调频脉冲雷达信号回波产生

回波视频表达式为：

$$\text{huibo} = A * \exp(j * 2 * \pi * f_0 * (t - t_{yc}) + j * \pi * K * (t - t_{yc}))^2$$

$$t = t = -T/20 : T/N : (T/20 - T/N);$$

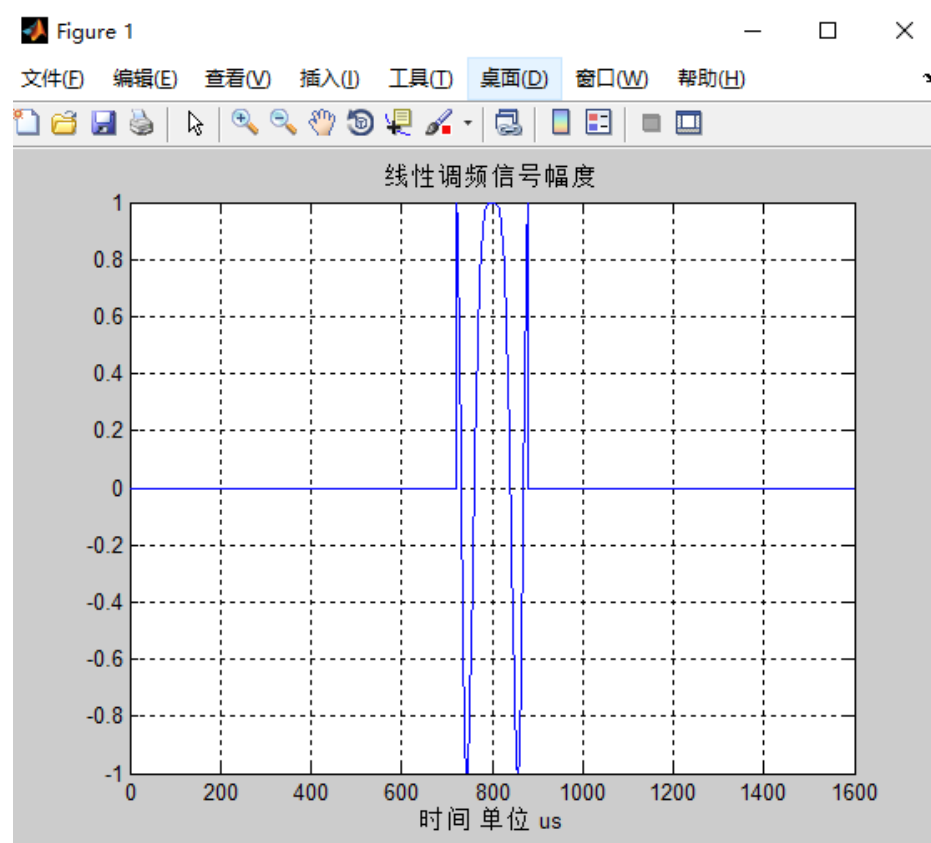
其中 $t_{yc} = 2 * R/c$ ，

R 为雷达到目标的距离， C 为光速。

f_0 为多普勒频移。 $f_0 = 2 * v / \lambda$

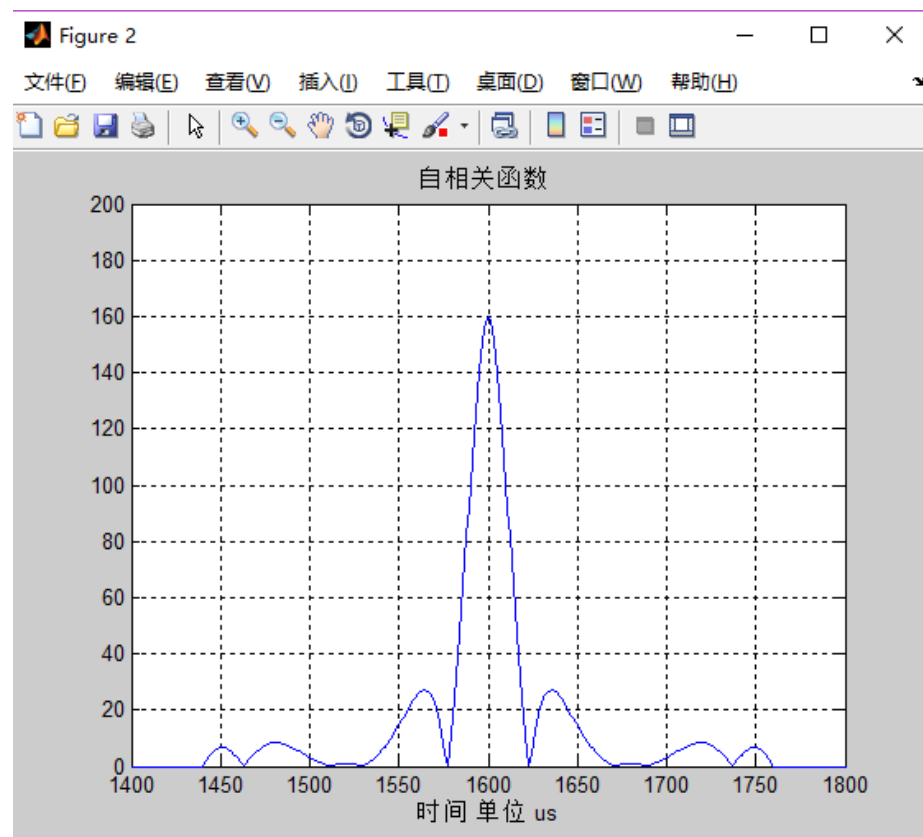
v 为目标运动的速度， λ 为雷达工作波长。

则产生的线性调频脉冲雷达信号为：

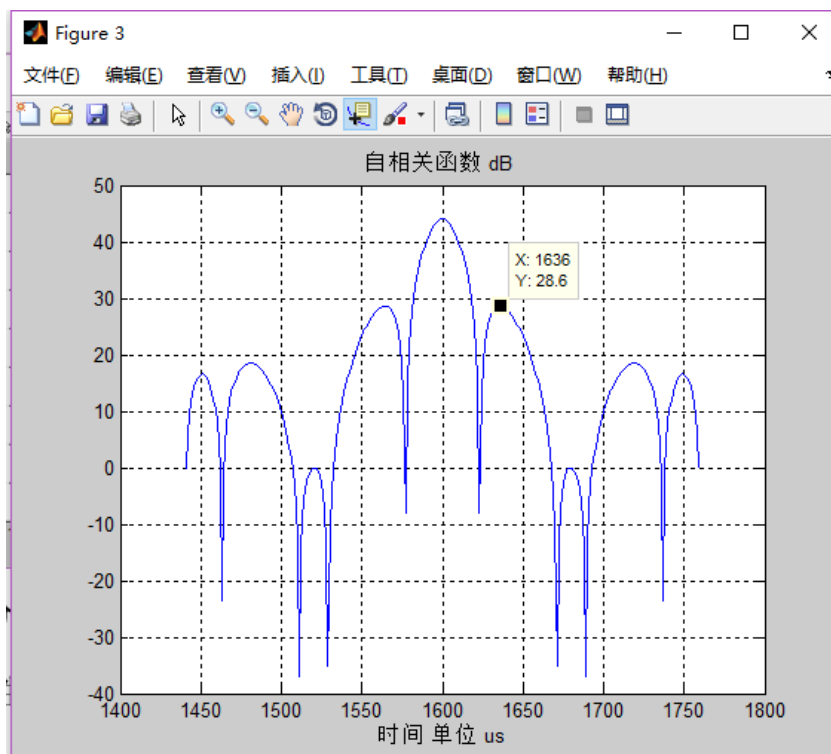
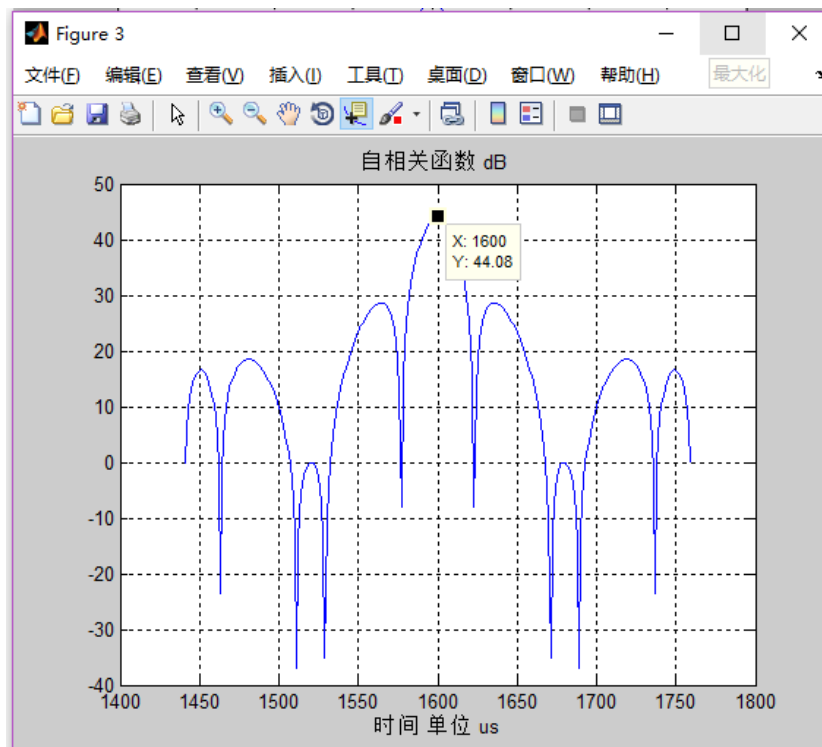


如图：占空比为 10%的线性调频脉冲信号

4.2 线性调频脉冲信号自相关函数

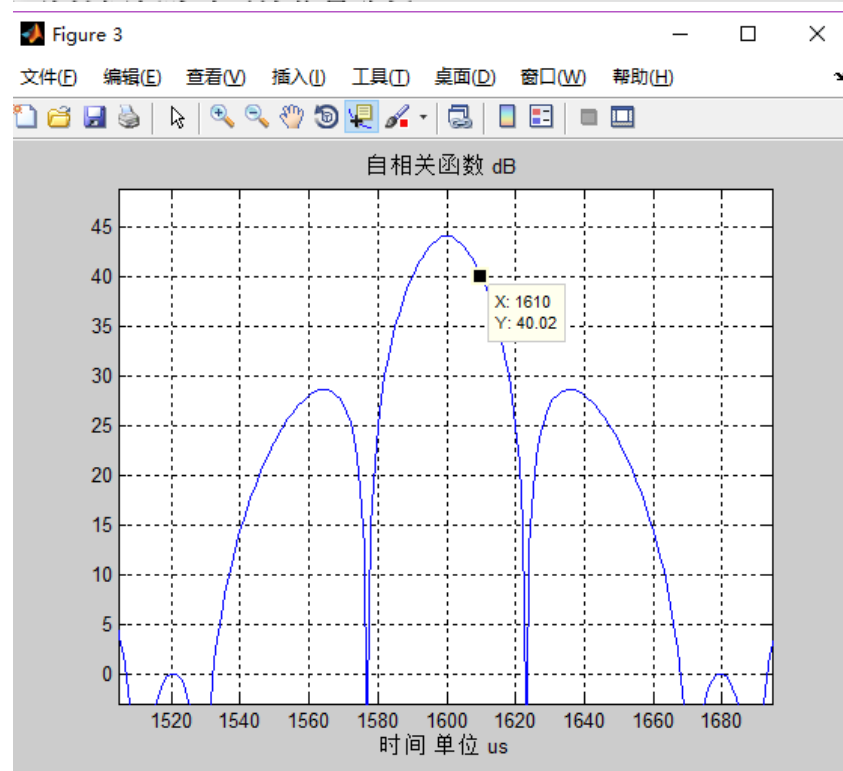
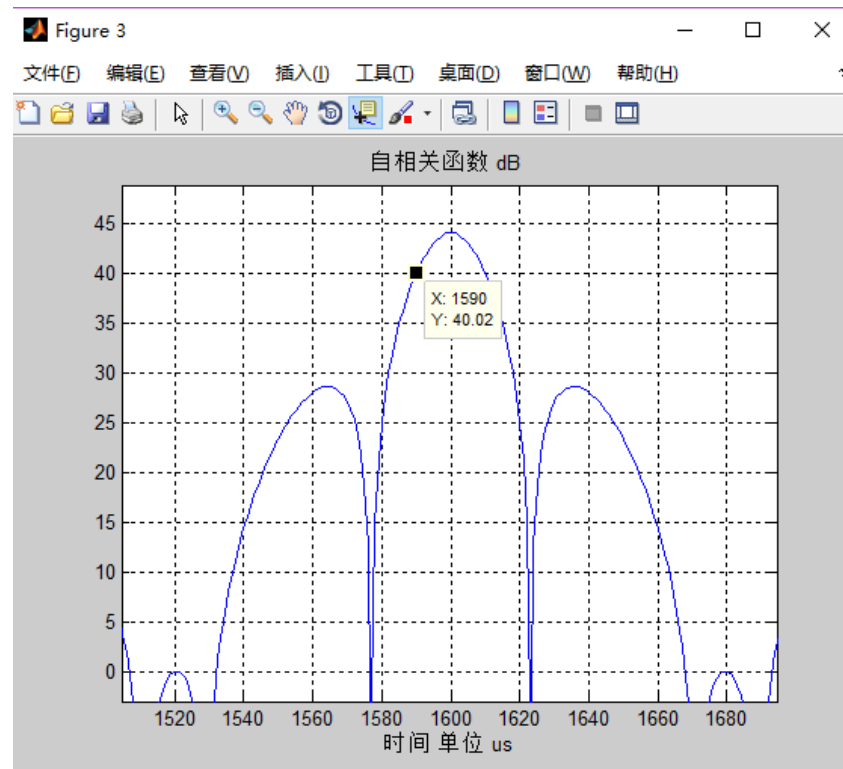


4.2.1 第一旁瓣高度分析



由图可得，主瓣高度为 44.08dB,旁瓣高度为 28.6dB，主旁瓣高度差为 15.48 dB.

4.2.2 分析 4dB 输出脉冲宽度分析

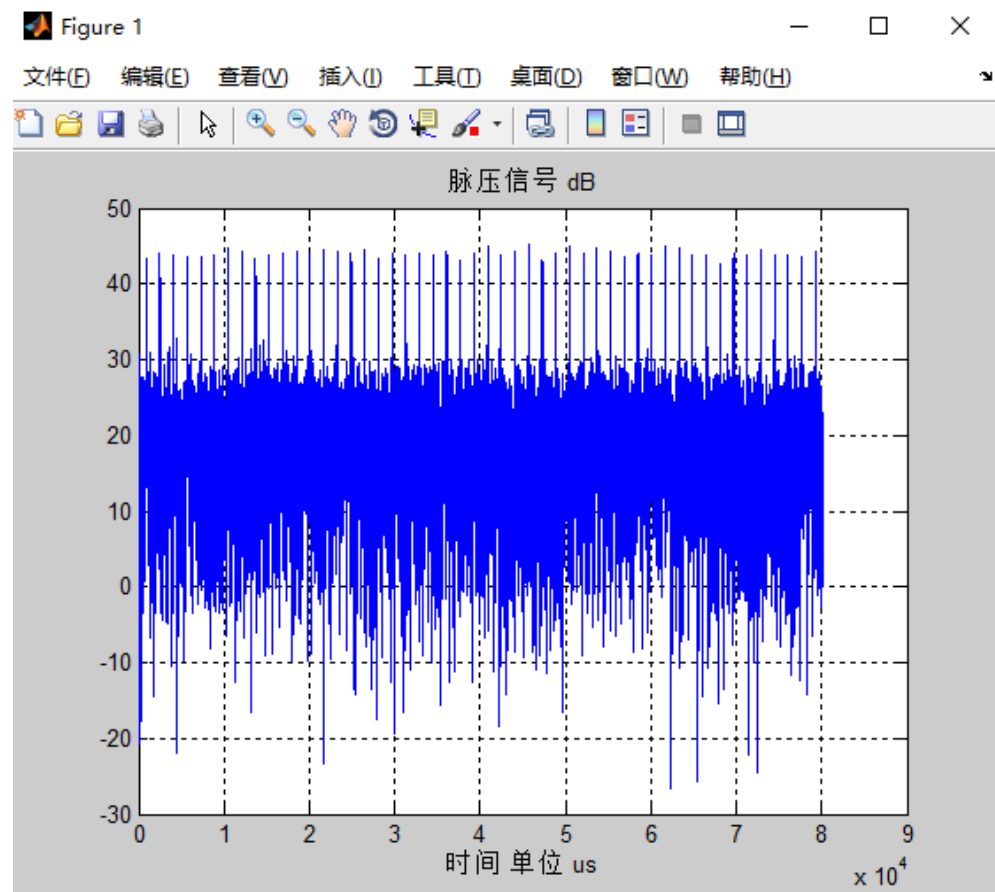


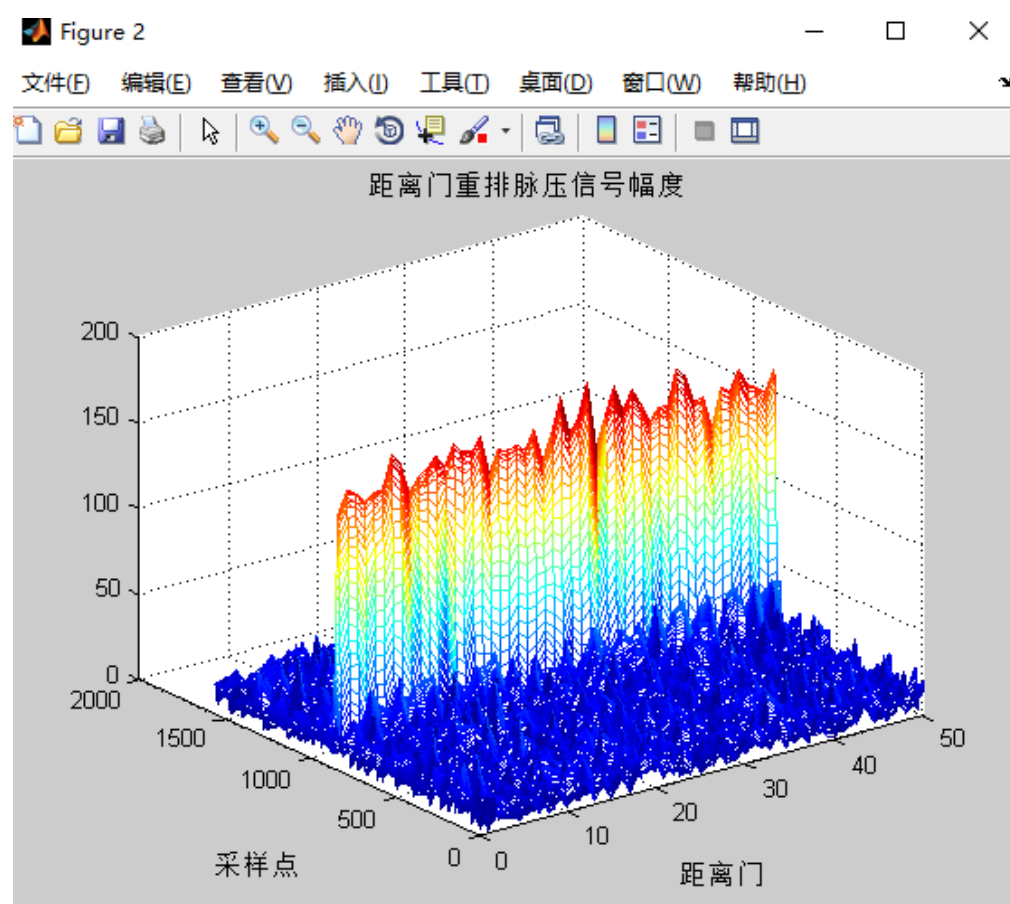
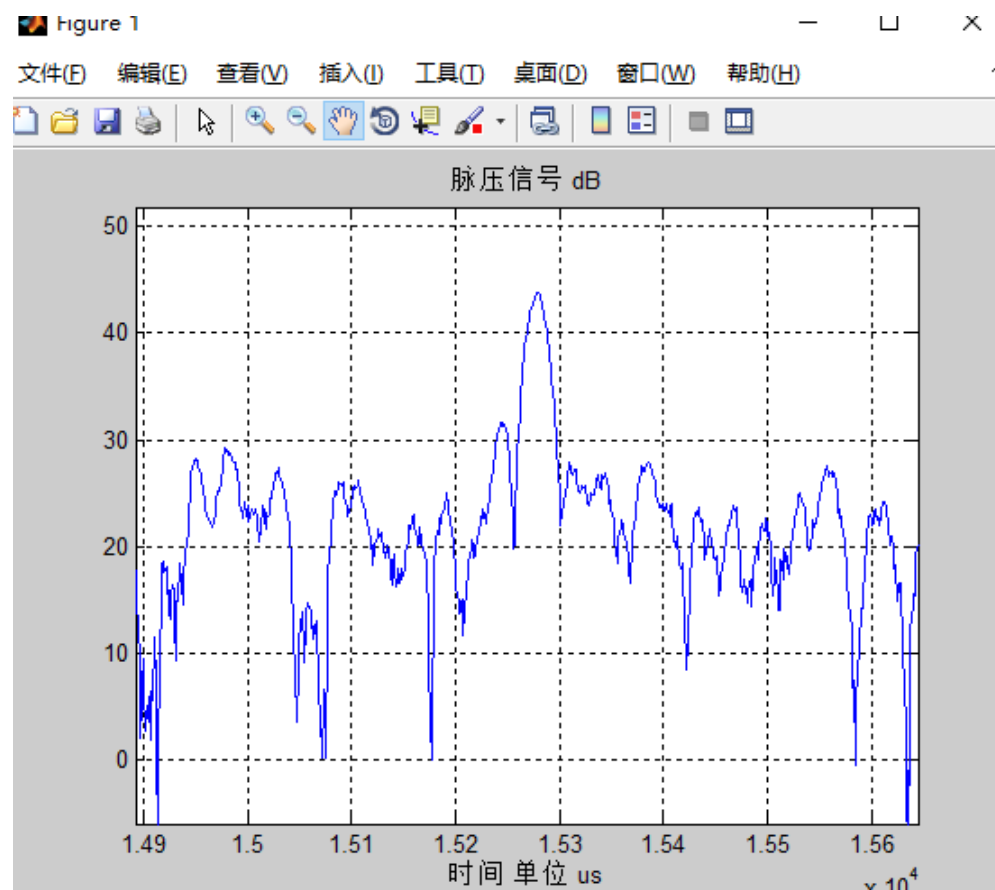
由图可得，4 dB 输出脉冲宽度为 $\frac{(1610-1590)*200us}{1600} = 2.5us$

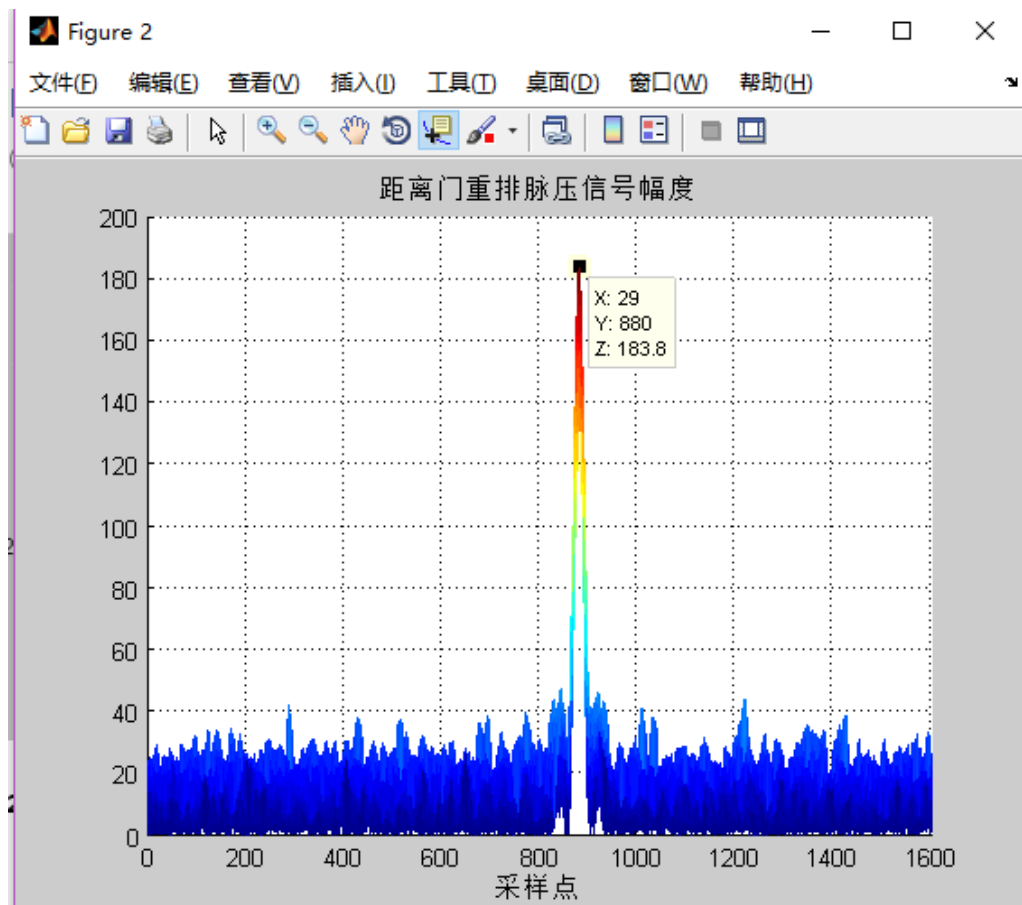
4.3 线性调频信号脉冲压缩输出分析

4.3.1 线性调频信号脉冲压缩输出波形及 SNR 分析

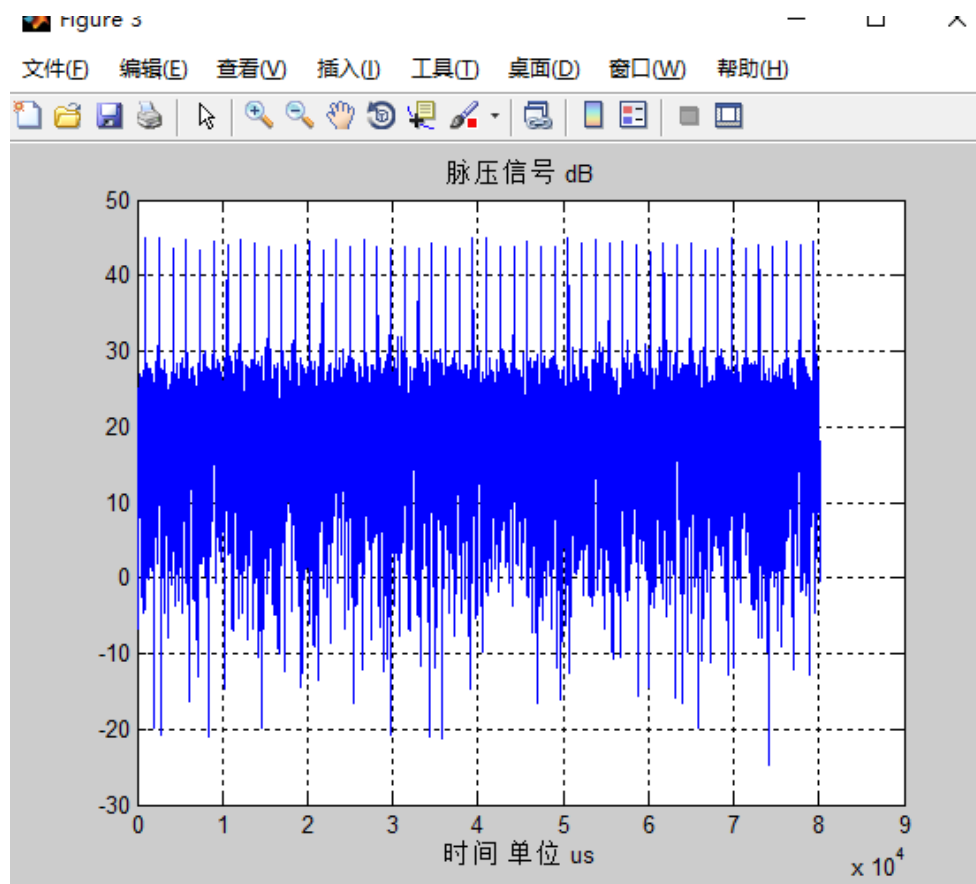
4.3.1.1 无时延 ($R=0$)、无多普勒 ($V=0$) 仿真图

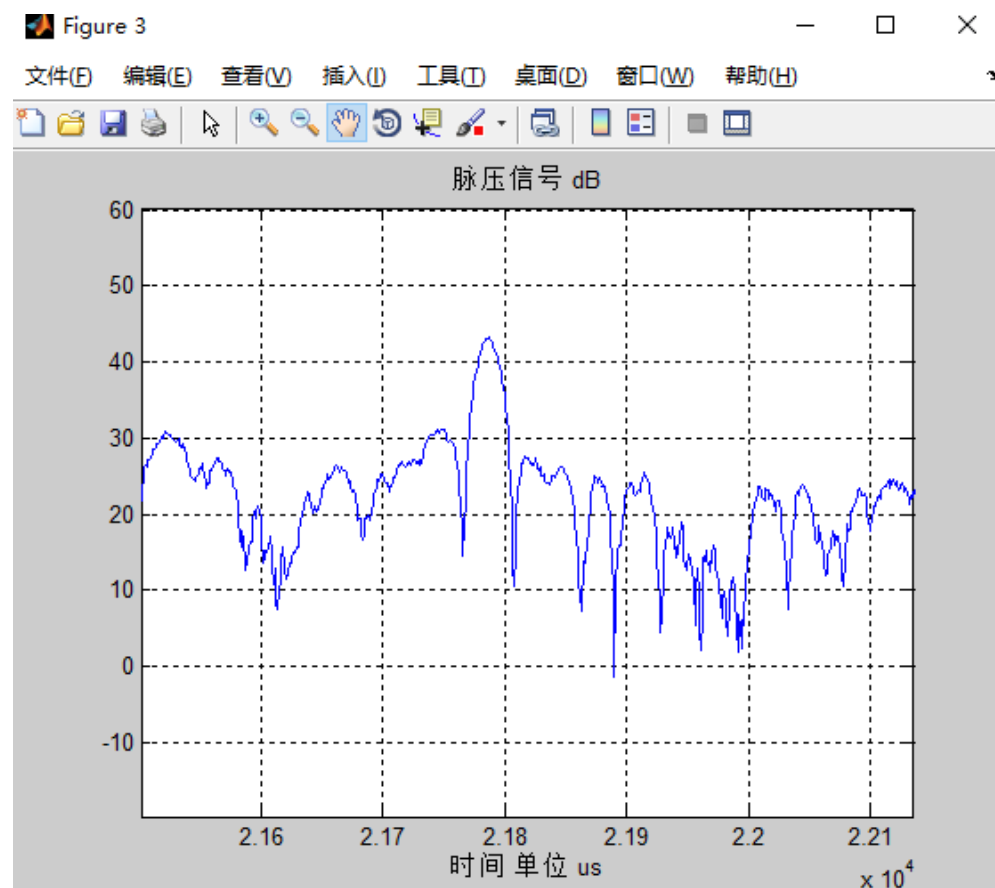


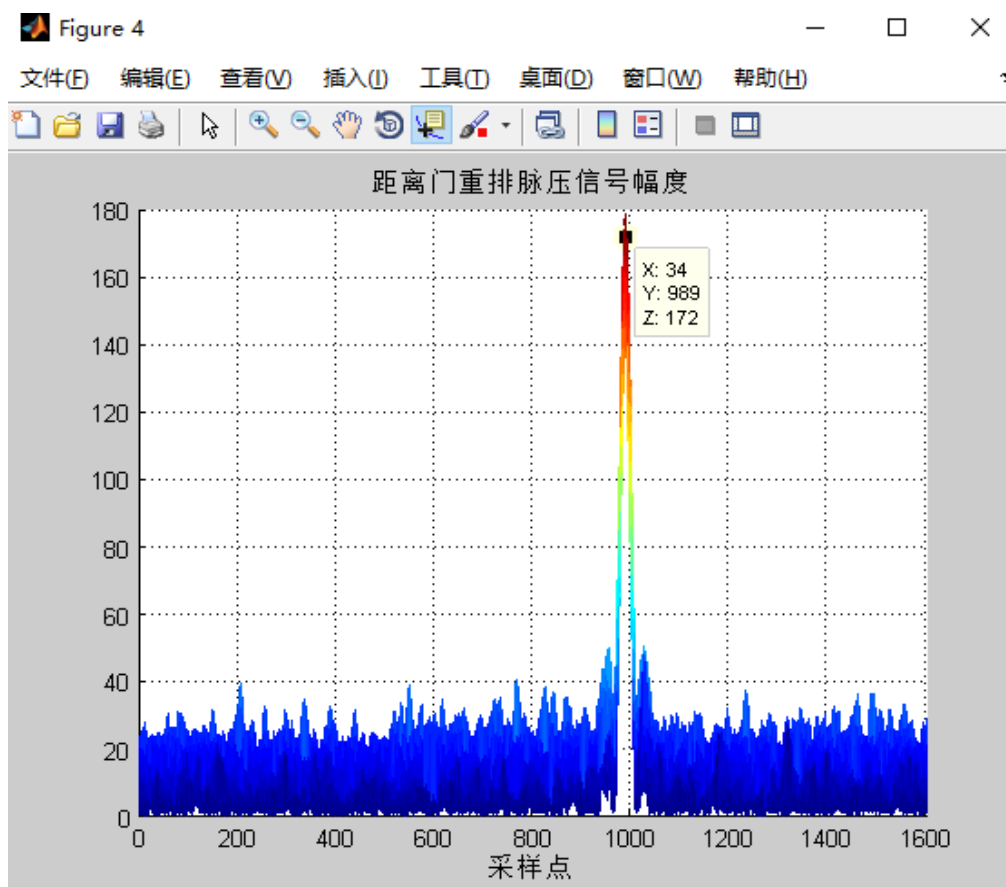
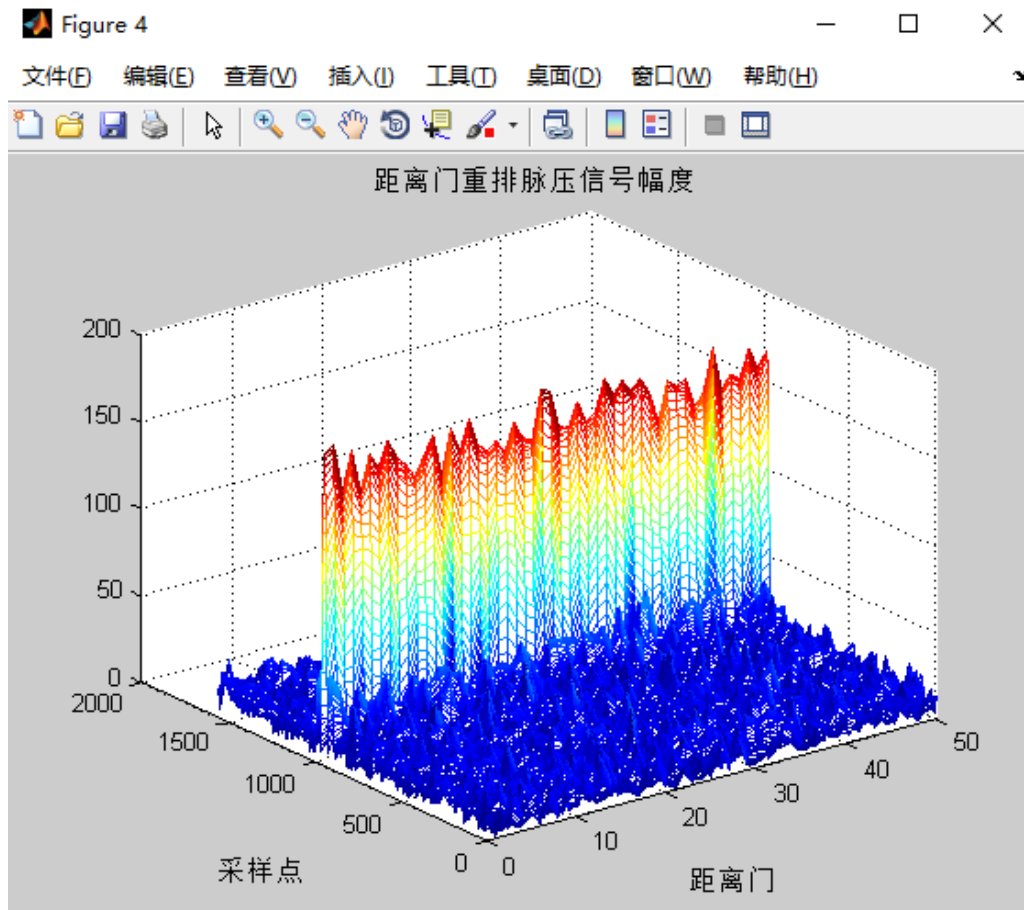




4.3.1.2 有时延 (R=2000)、无多普勒 (V=0) 仿真图





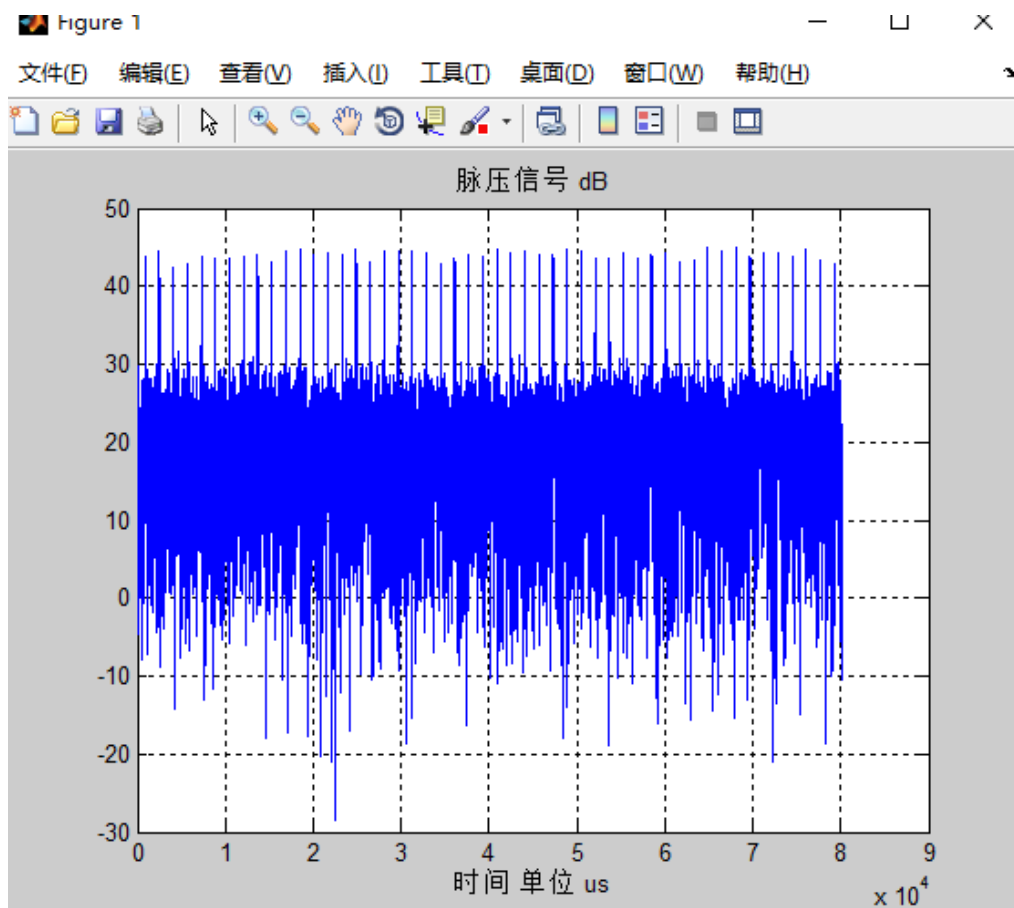


由 matlab 可读，此时的延时点数为

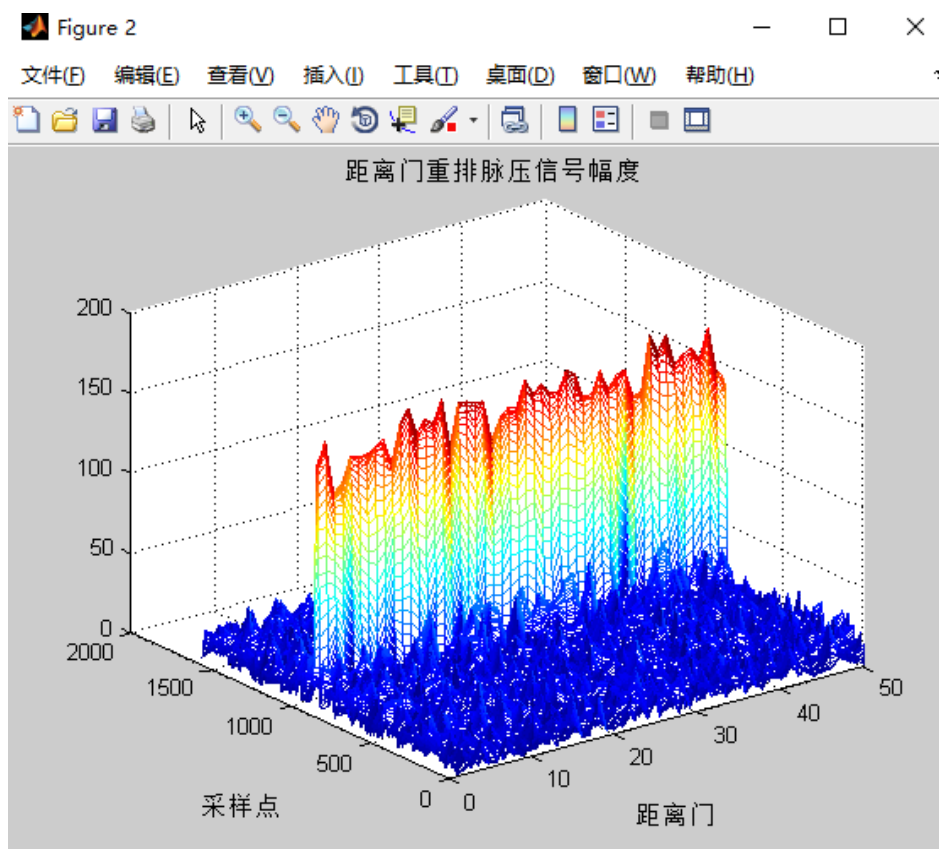
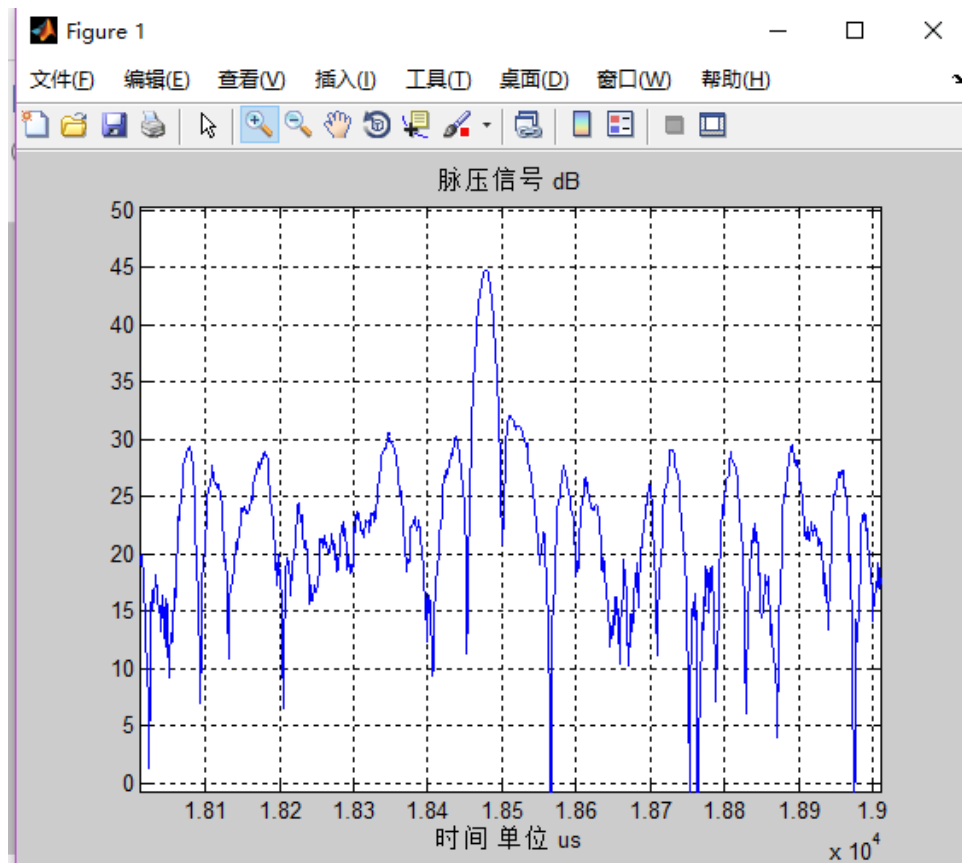


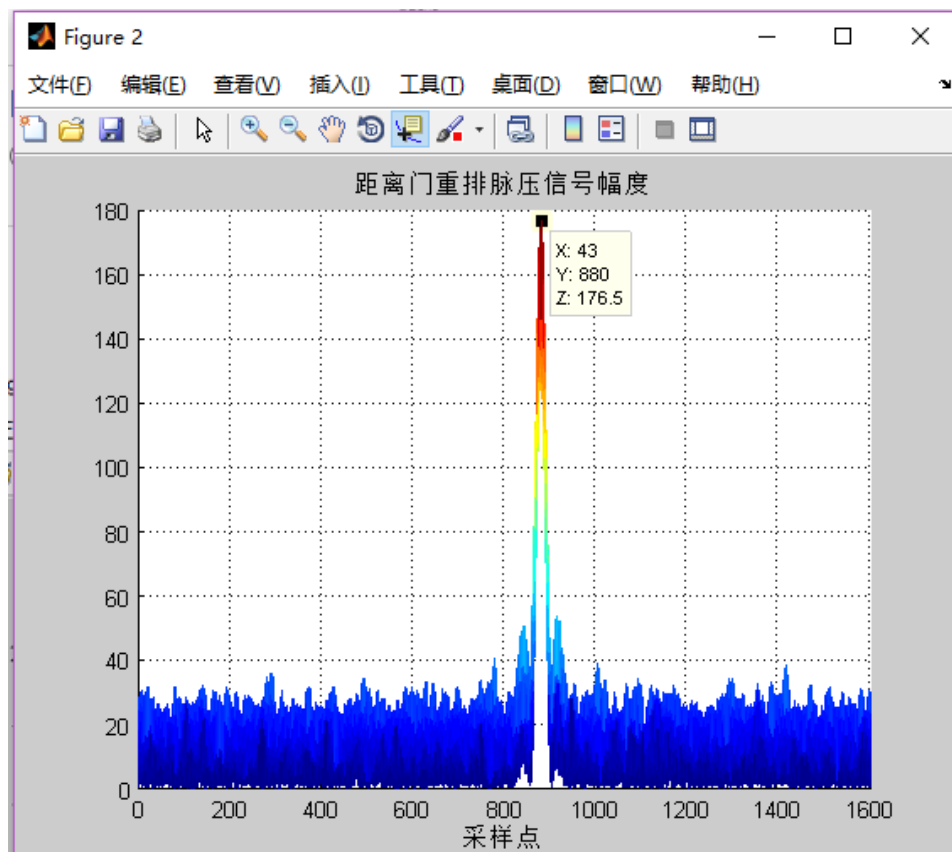
由图可得，延时点数为 $989-880=109$ 个点，与理论值相近。

4.3.1.3 无时延 ($R=0$)、有多普勒 ($V=50$) 仿真图

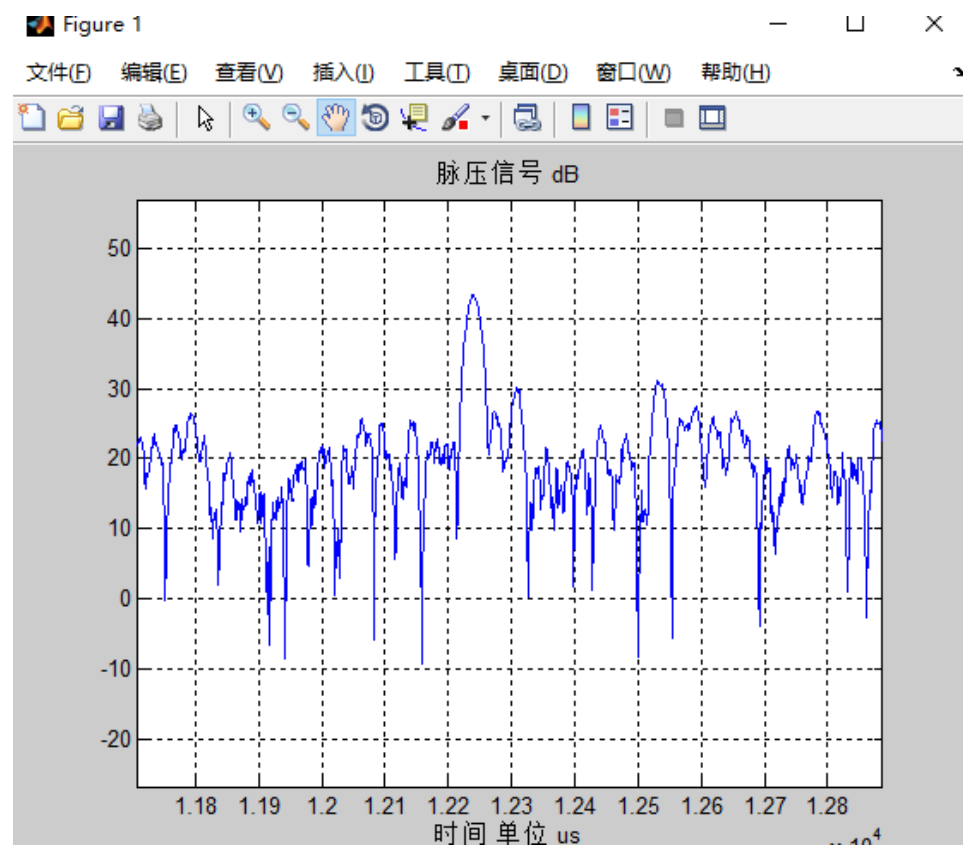
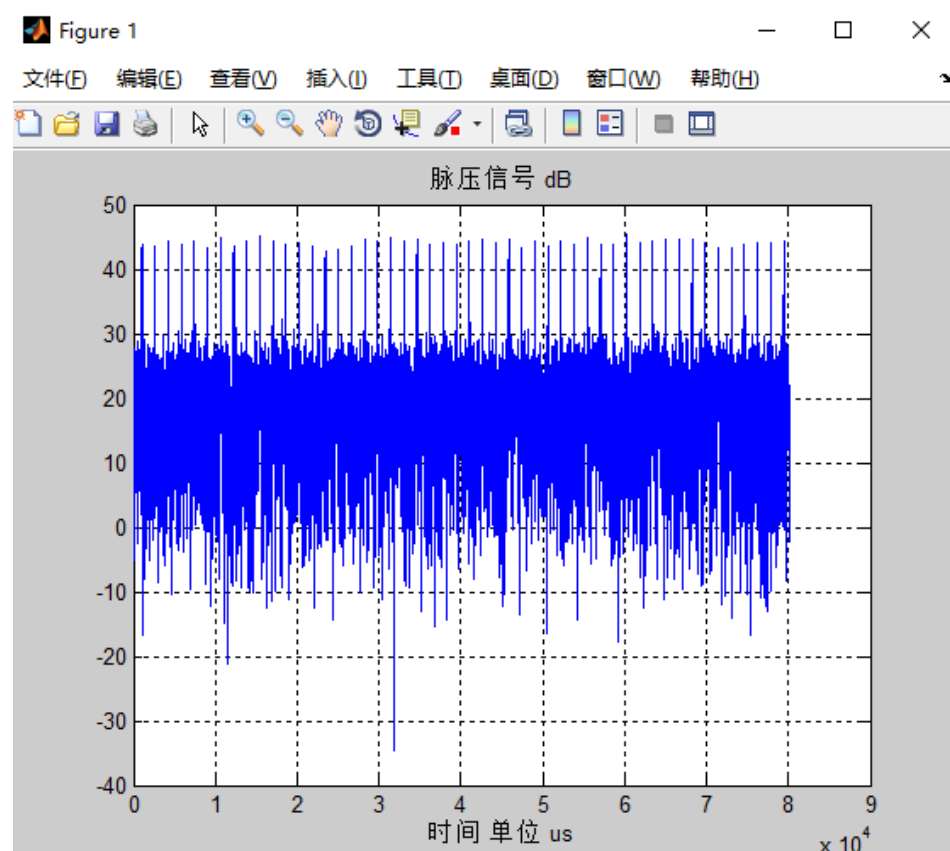


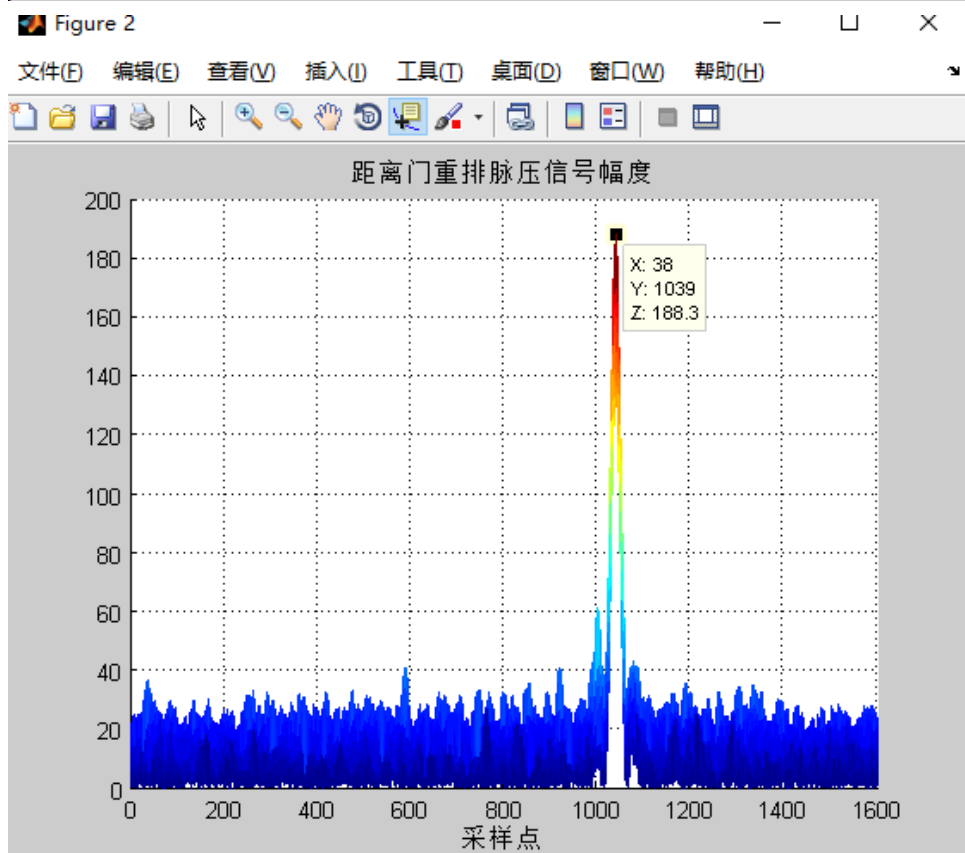
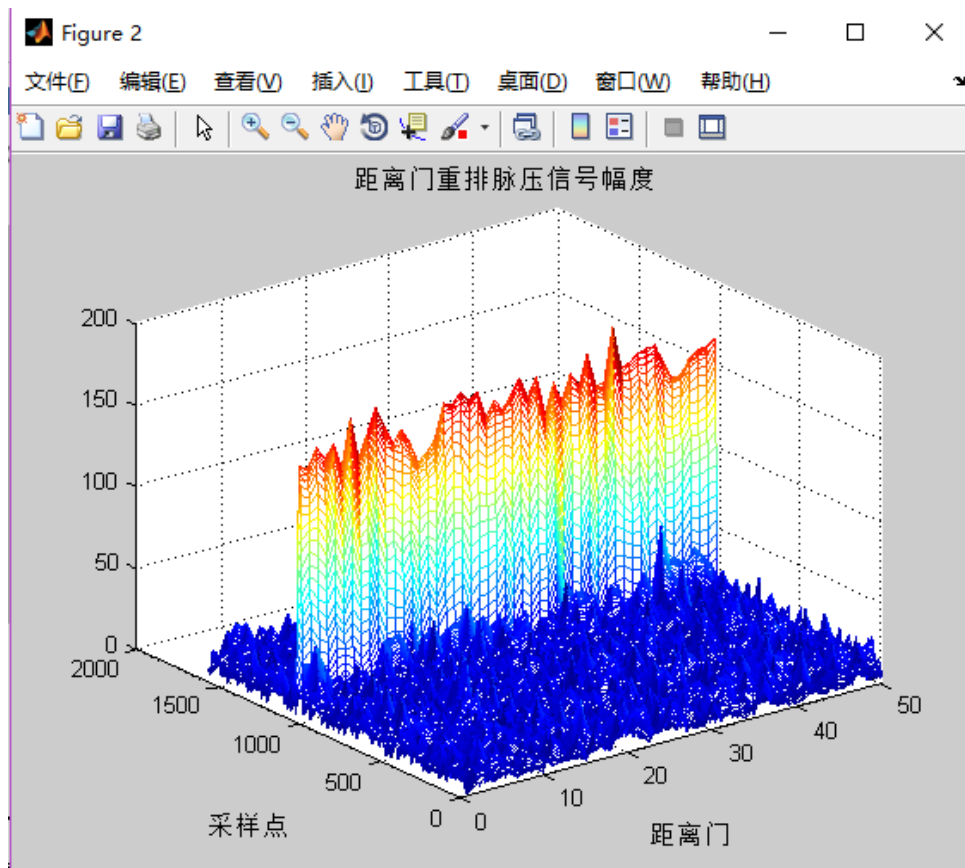
如图可得，线性调频脉冲雷达是多普勒不敏感信号。





4.3.1.4 有时延 (R=3000)、有多普勒 (V=60) 仿真图





由 matlab 可读，此时的延时点数为

名称	值	最小值
t_y0	160	160

由图可得，延时点数为 $1039-880=159$ 个点，与理论值相近。

4.3.2 线性调频信号脉冲压缩输出 SNR 分析

输入的信噪比为-10dB

输出的信噪比为

snr_out	21.9492	21.94...	21.94...
---------	---------	----------	----------

增益实际值为：

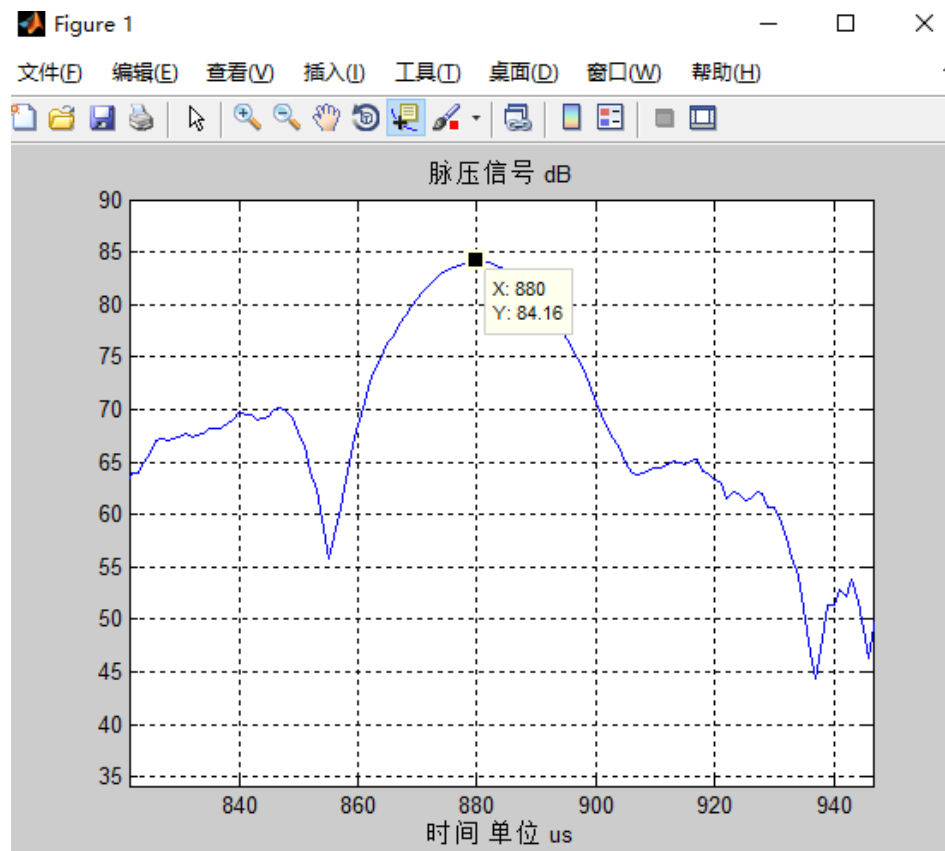
D	31.9492	31.94...	31.94...
---	---------	----------	----------

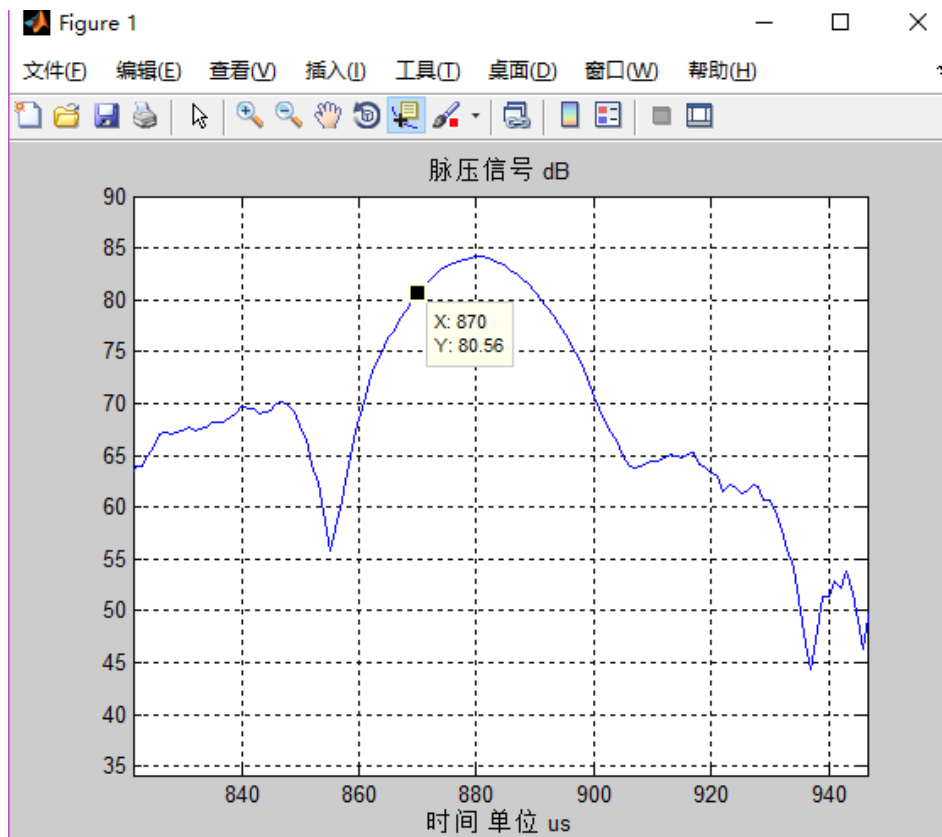
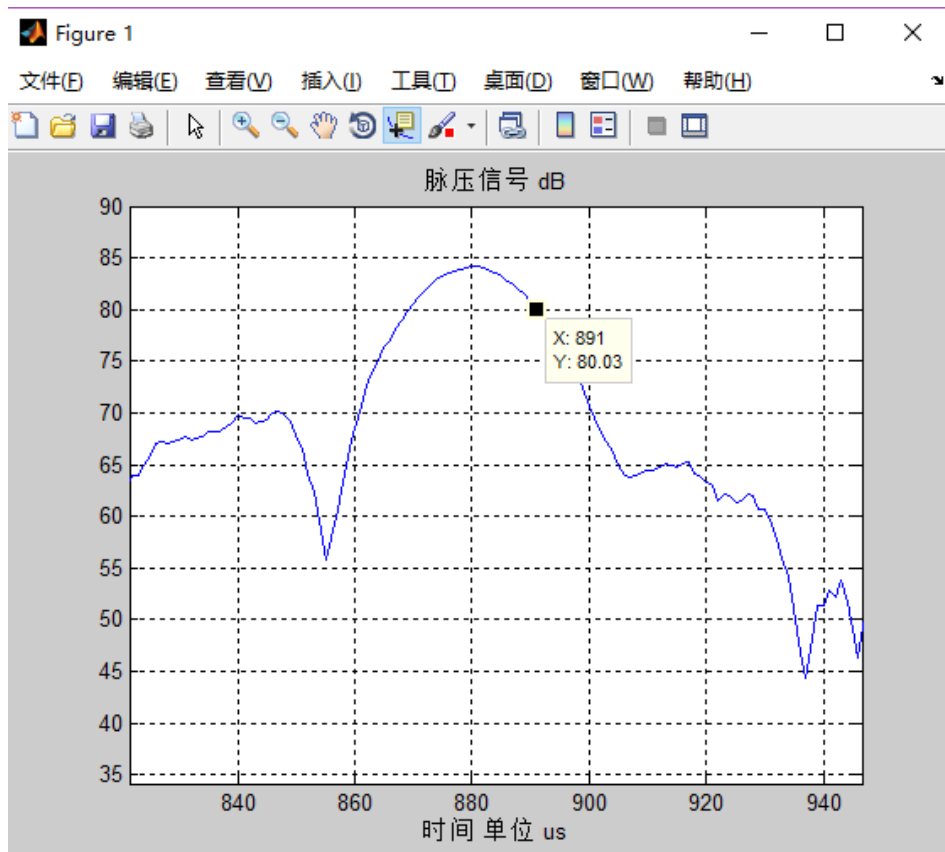
理论值为： $10\lg B\tau = 10 * \lg(4 * 10^6 * 200 * 10^{-6}) = 29.03\text{dB}$

误差值较大。分析原因：

匹配滤波器不能对回波信号进行完全匹配，可能会导致轻微失配，能量会分散在部分旁瓣中，使主瓣信号峰值下降，最终导致输出信噪比下降，增益下降。

4.3.3 线性调频信号脉冲压缩输出的时宽、带宽分析



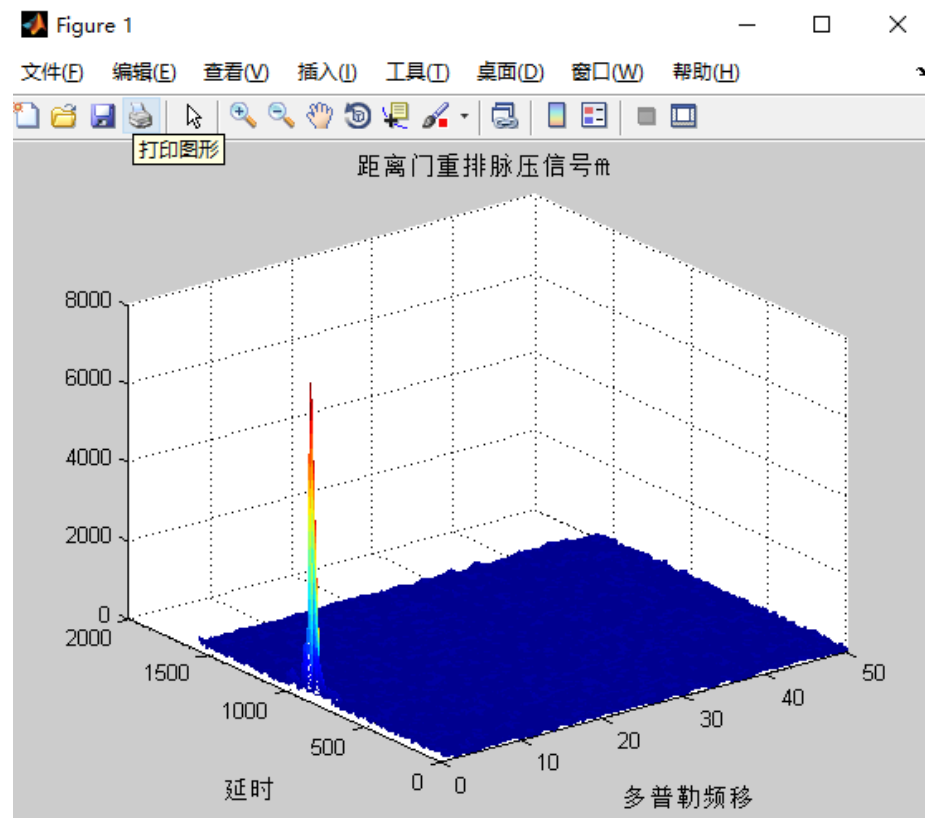


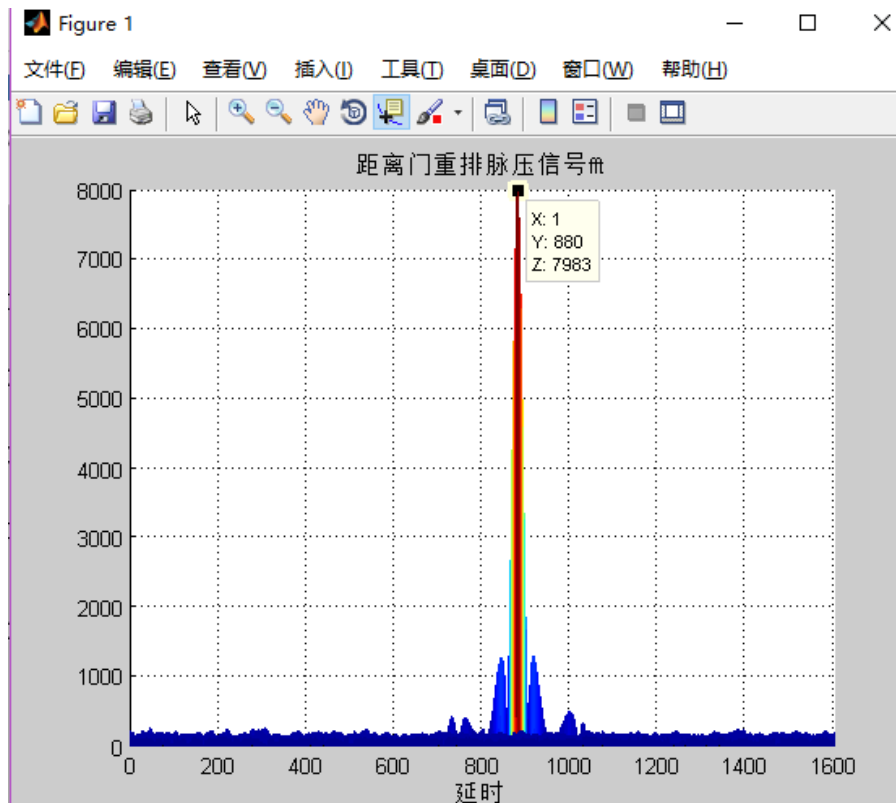
时宽 (4dB) 为 $(891 - 870) * T_s = 2.625\mu s$

4.4 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出分析

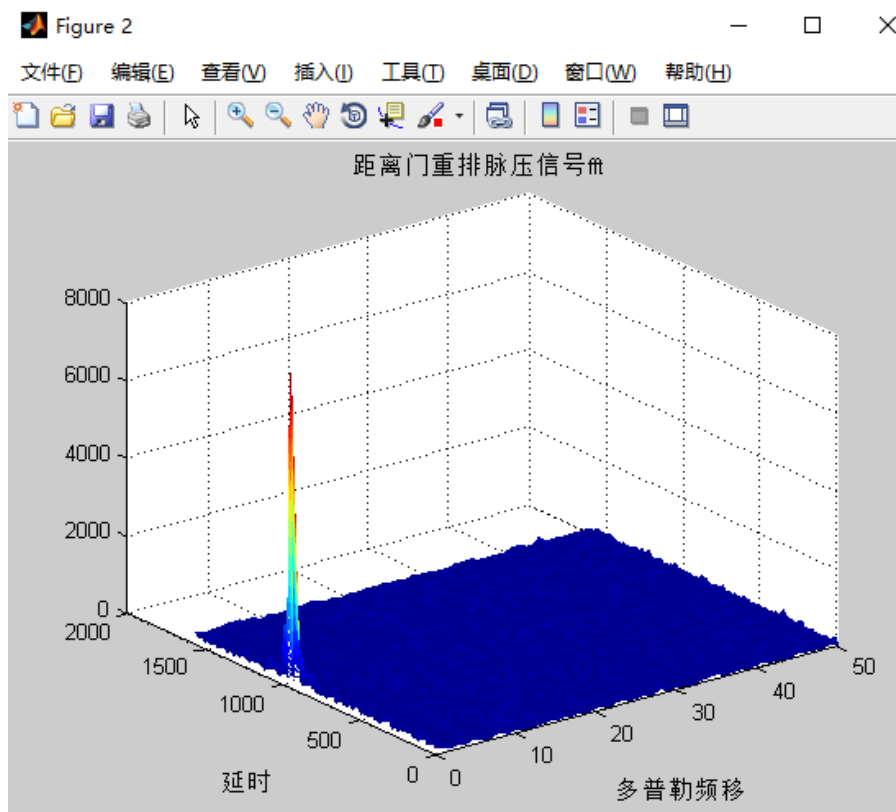
4.4.1 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出波形分析

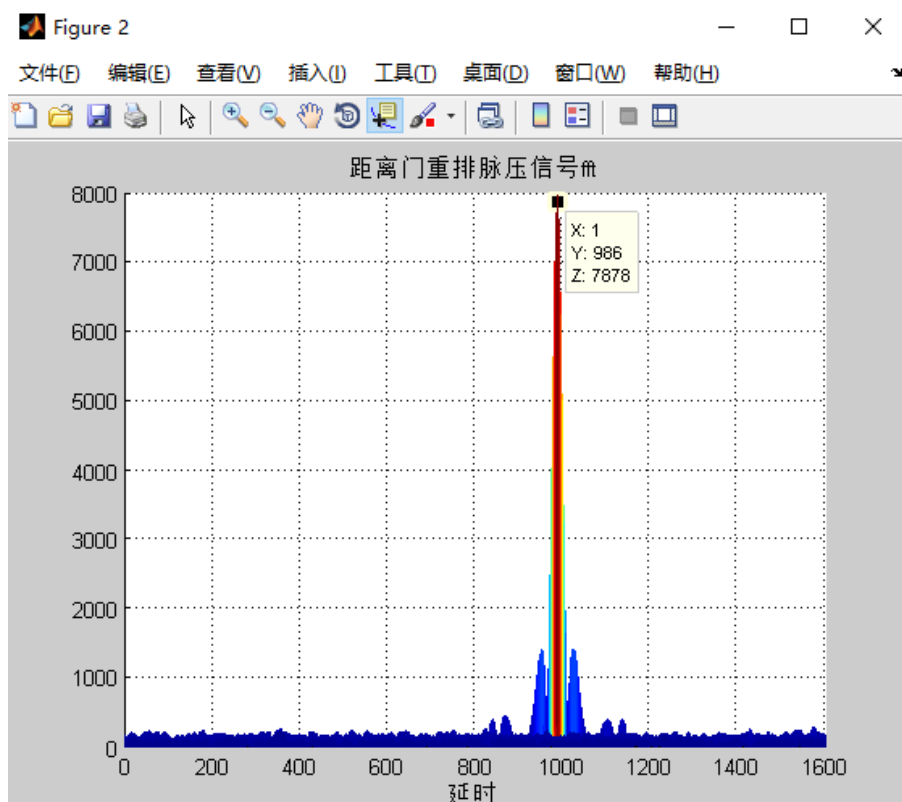
4.4.1.1 有时延 ($R=0$)、有多普勒 ($V=0$) 仿真图



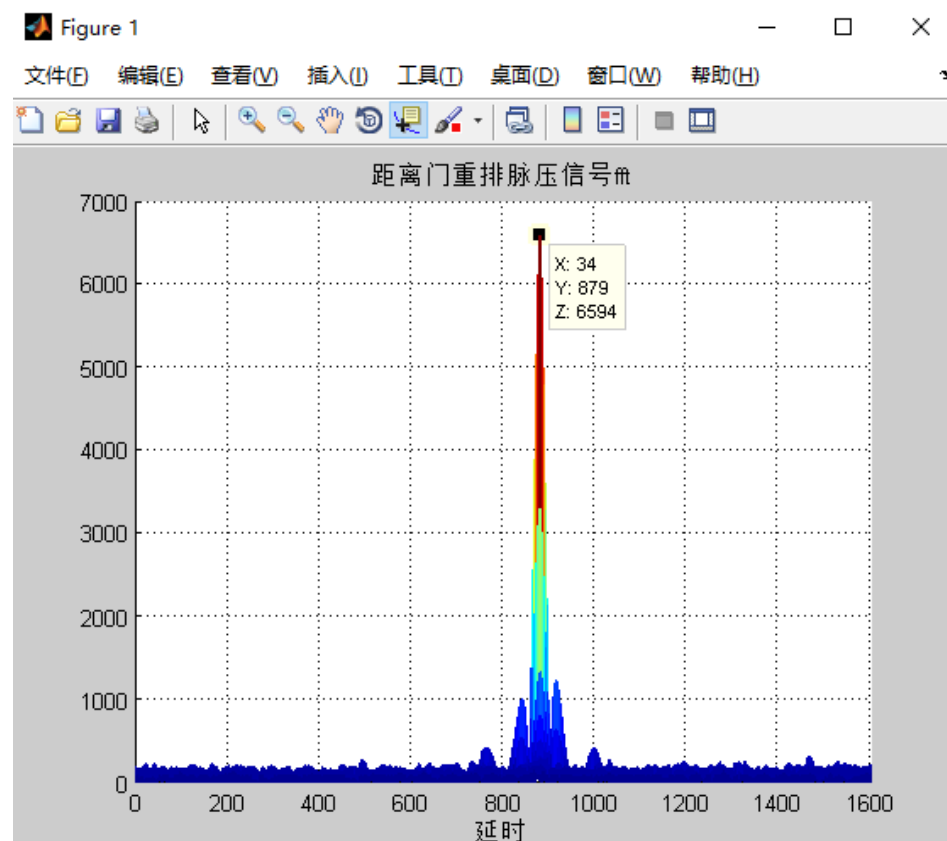
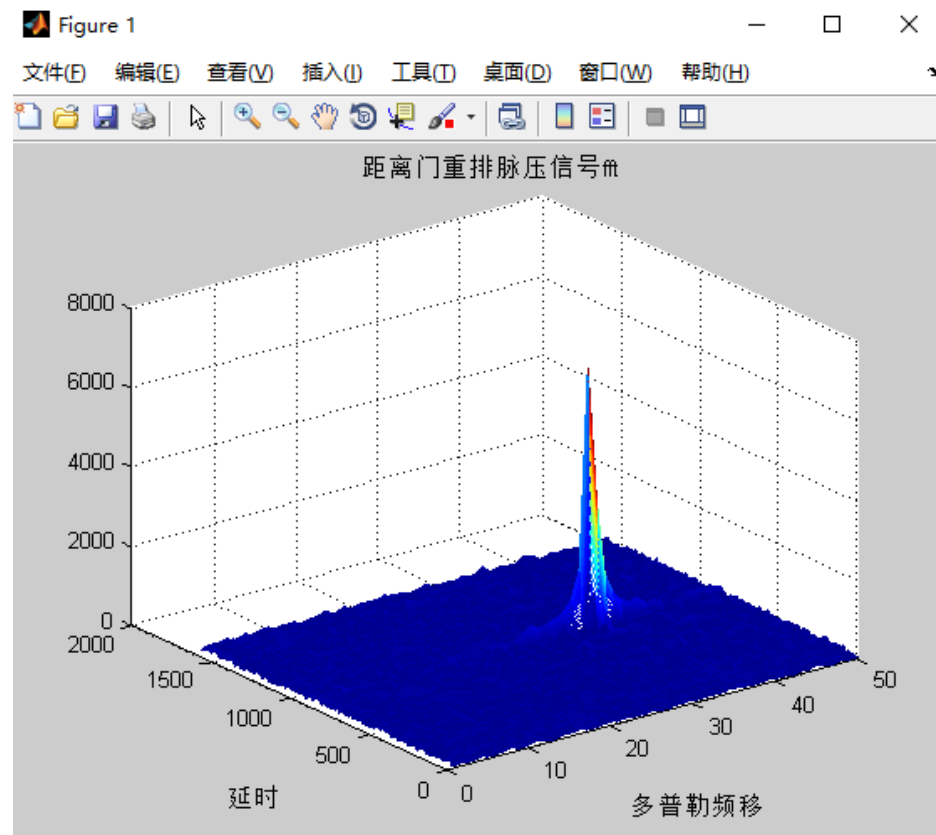


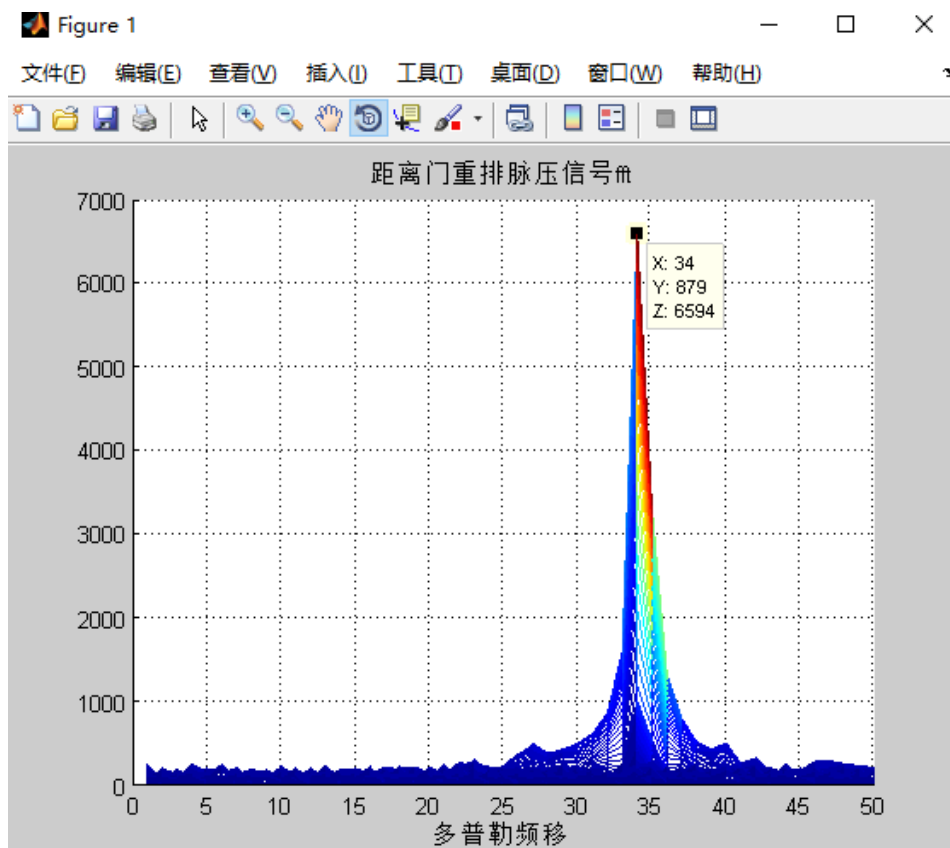
4.4.1.2 有时延 ($R=2000$)、有多普勒 ($V=0$) 仿真图



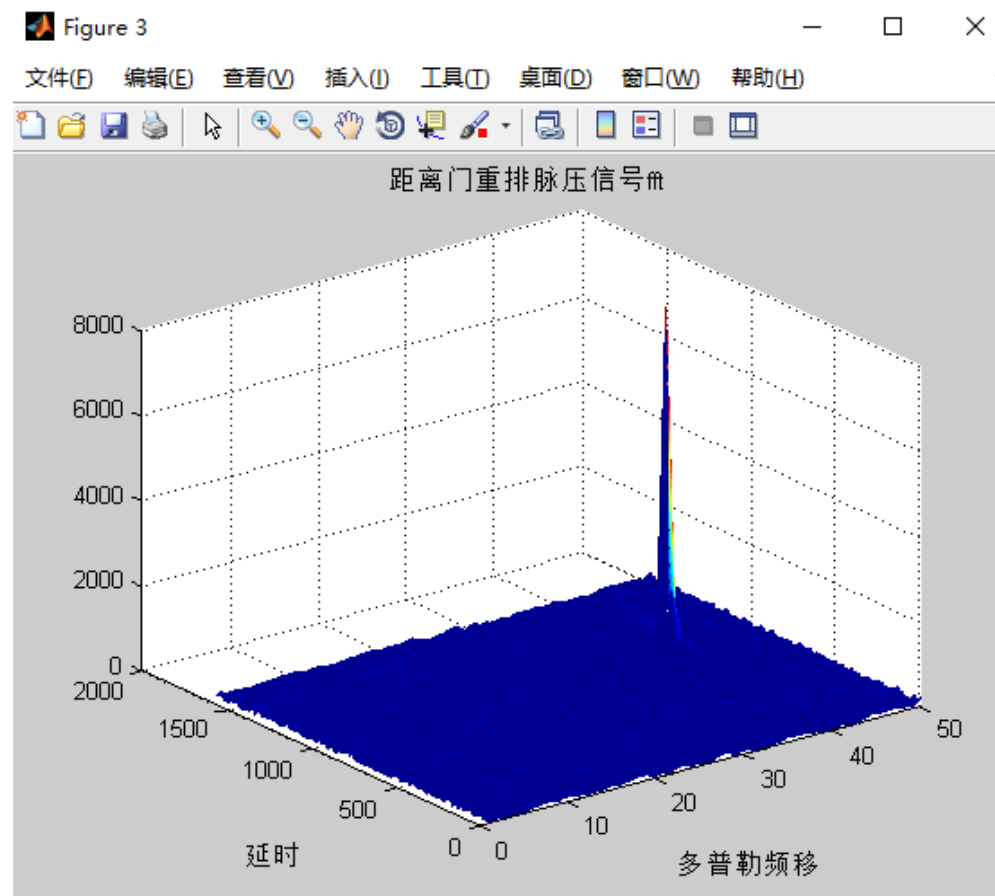


4.4.1.3 有时延 (R=0)、有多普勒 (V=50) 仿真图

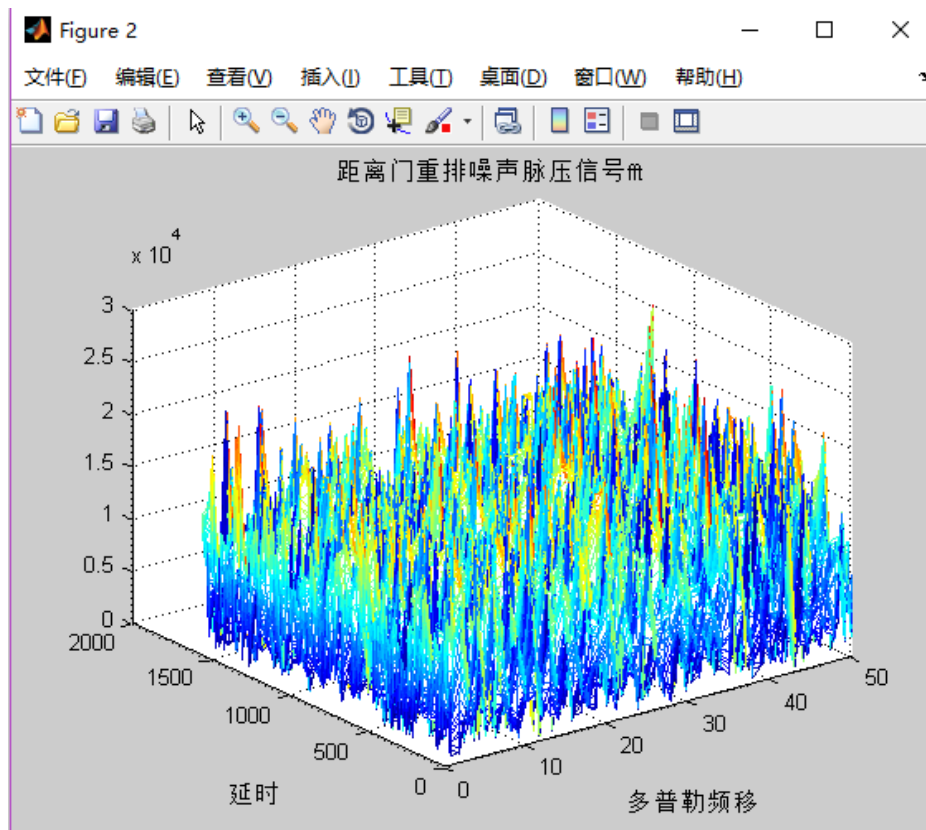
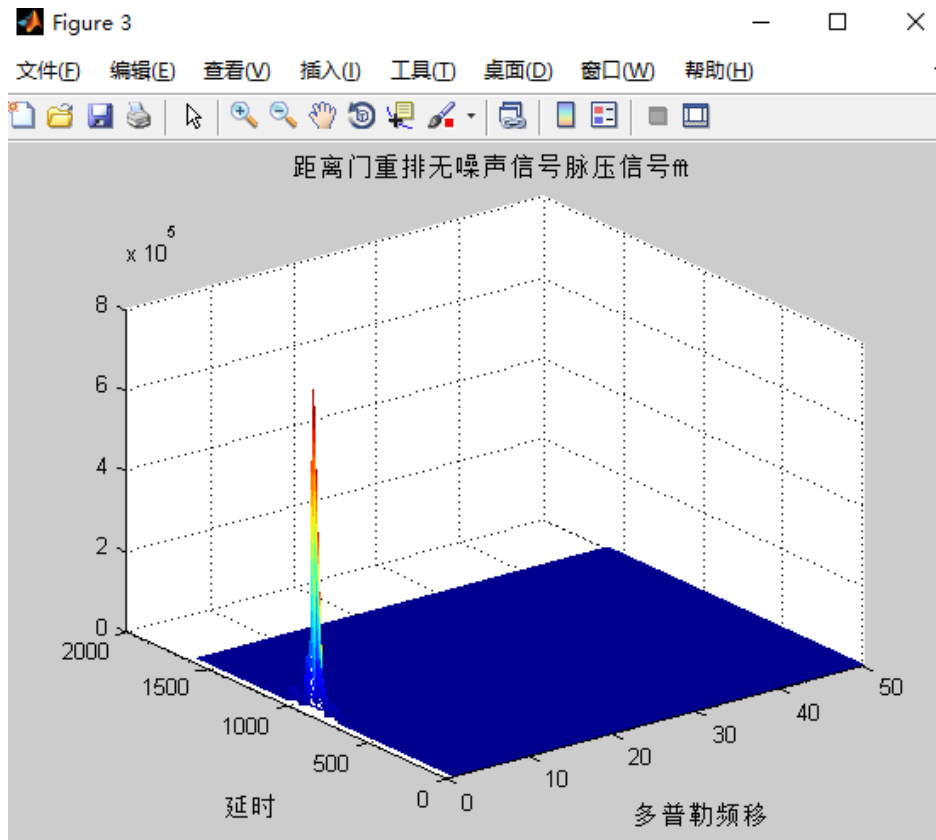




4.4.1.4 有时延 (R=3000)、有多普勒 (V=60) 仿真图

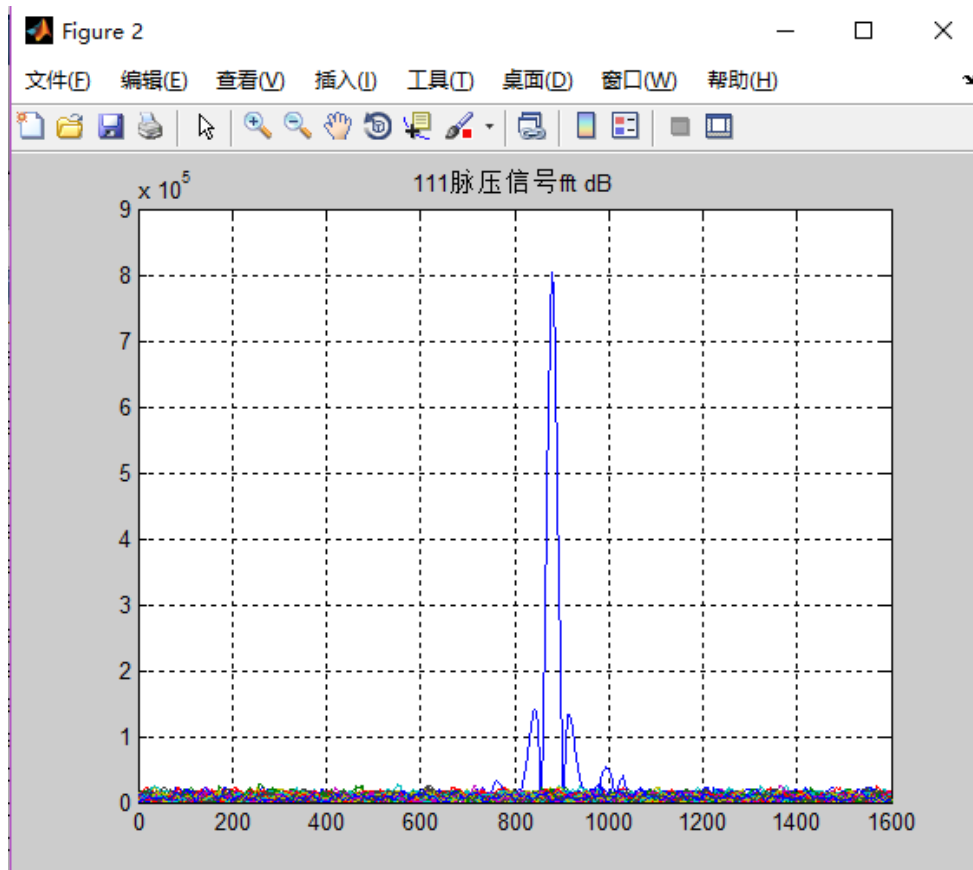


4.4.1 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出的 SNR 分析

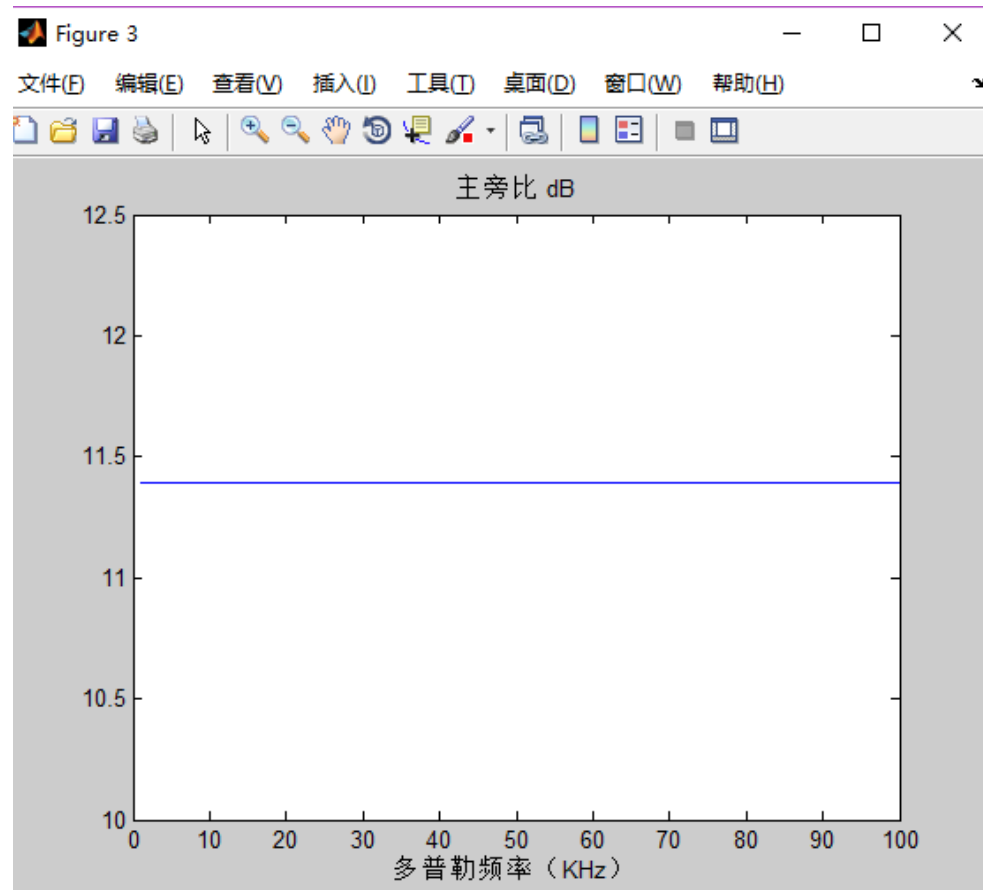


D_fft 48.9387 48.93... 48.93.
得到 输出信噪比为 48.94dB

4.4.2 线性调频信号脉冲压缩 FFT 输出的时宽、带宽分析



4.5 线性调频信号脉冲压缩的多普勒敏感现象分析、多普勒容限

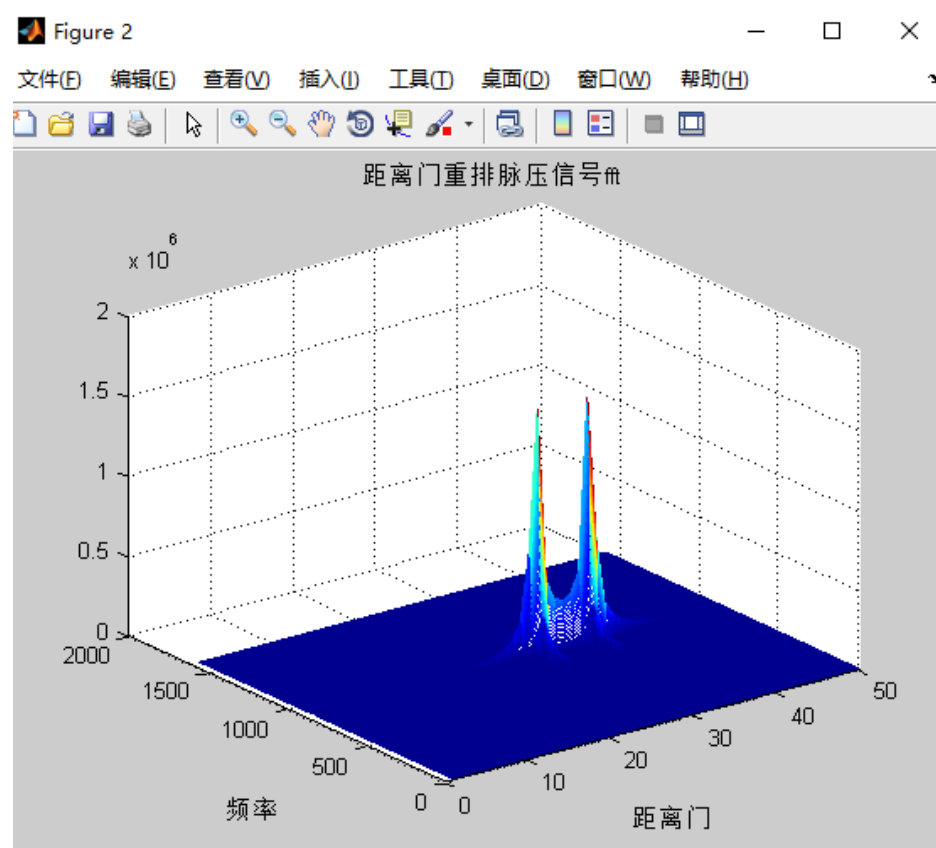


由图分析可知，线性调频脉冲雷达的多普勒容限为无穷，为多普勒不敏感信号。

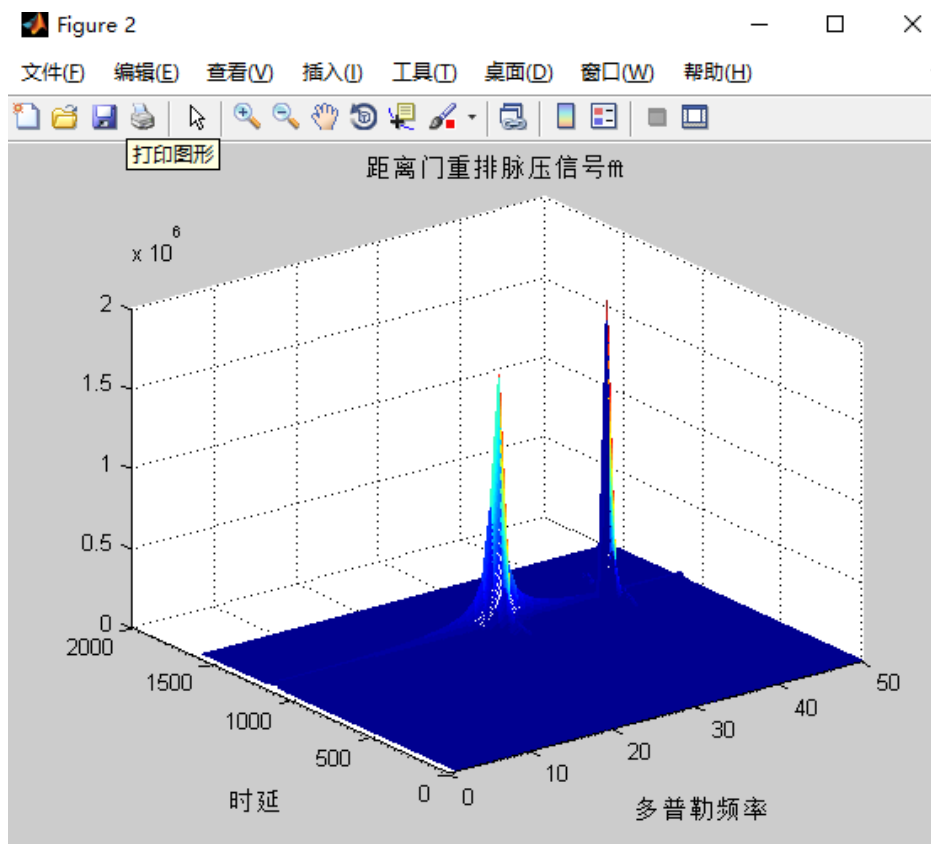
4.6 双目标线性调频脉冲雷达信号分析

4.6.1 两目标同时存在

4.6.1.1 幅度相同



4.6.1.2 幅度不同



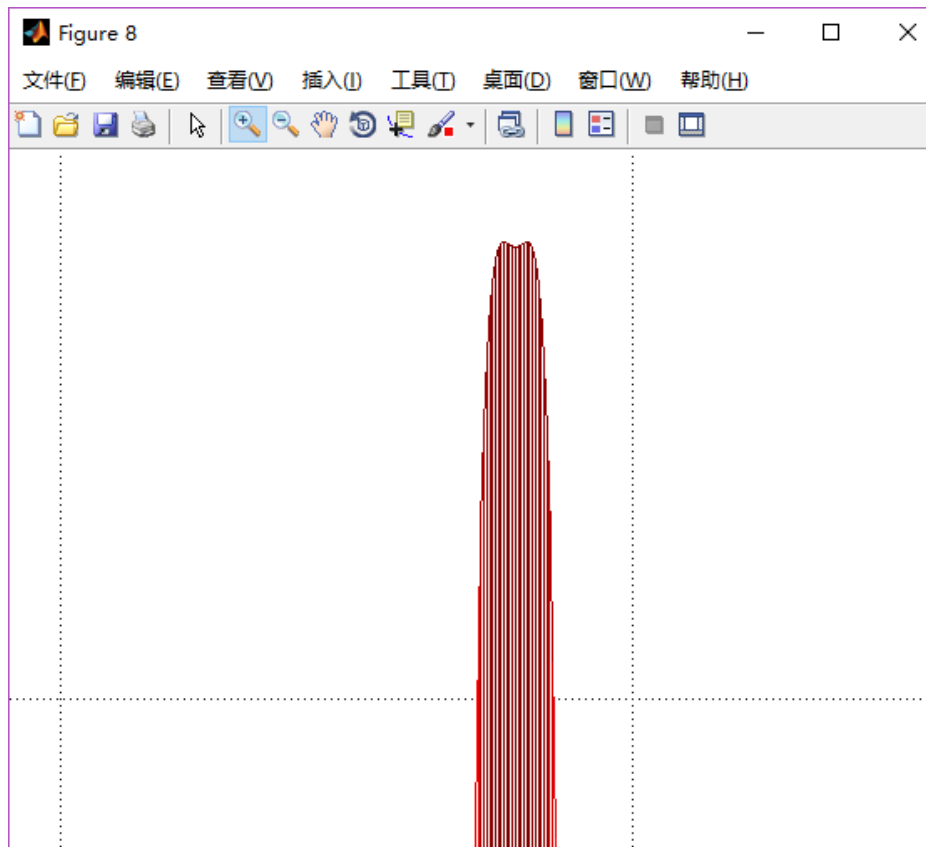
4.6.2 双目标距离分辨及速度分辨分析

4.6.2.1 距离分辨分析

由 $\Delta R = C/(2 * B)$ 得

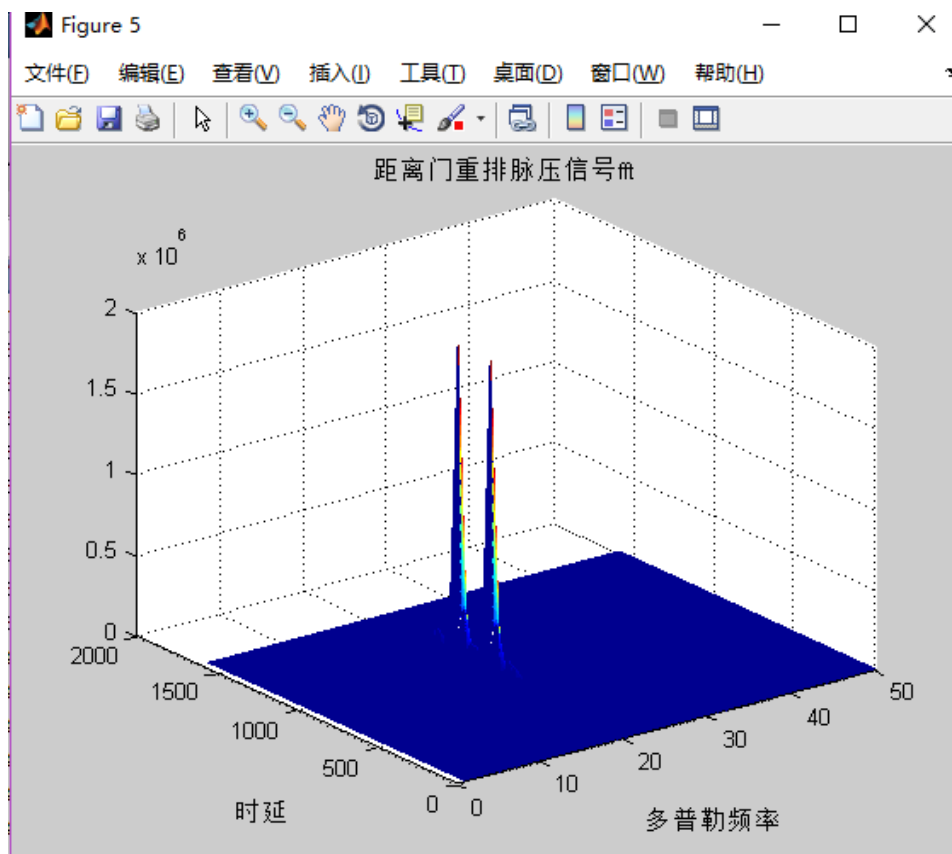
最小分辨距离为 37.5 米

设置 当 $R_1=5000, R_2=4500$, $v_1=v_2=30\text{m/s}, a_1=a_2$ 时, 两目标能够分开。



距离维度上分开

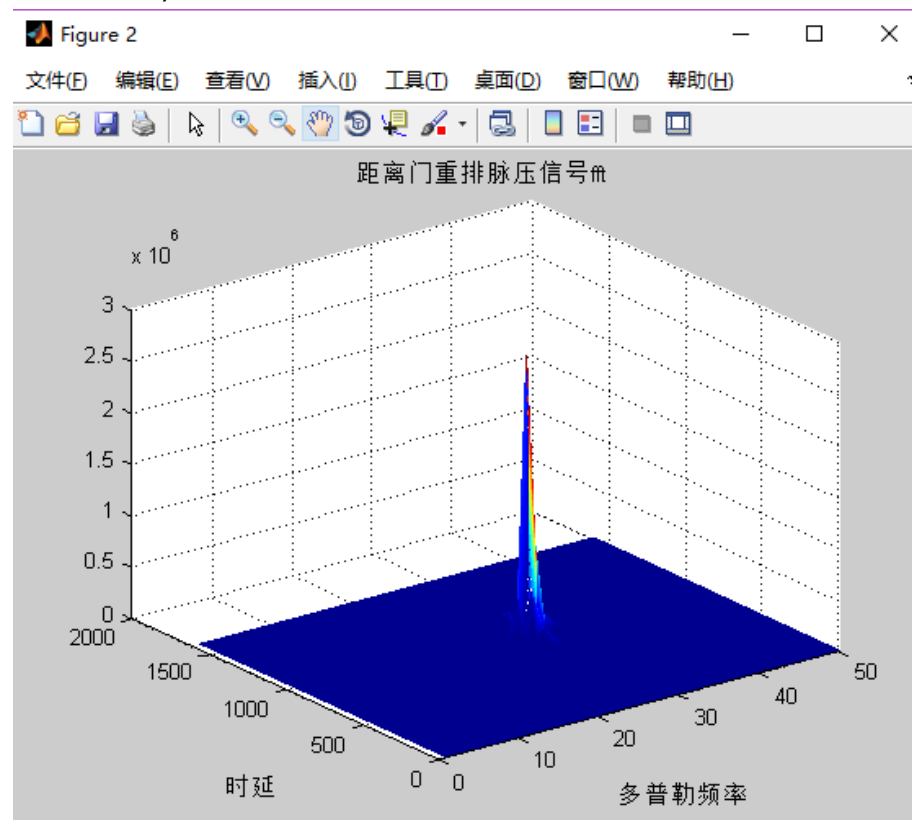
$R_1=4000, R_2=5000, v_1=v_2=30\text{m/s}, a_1=a_2$ 时，两目标能够分开。

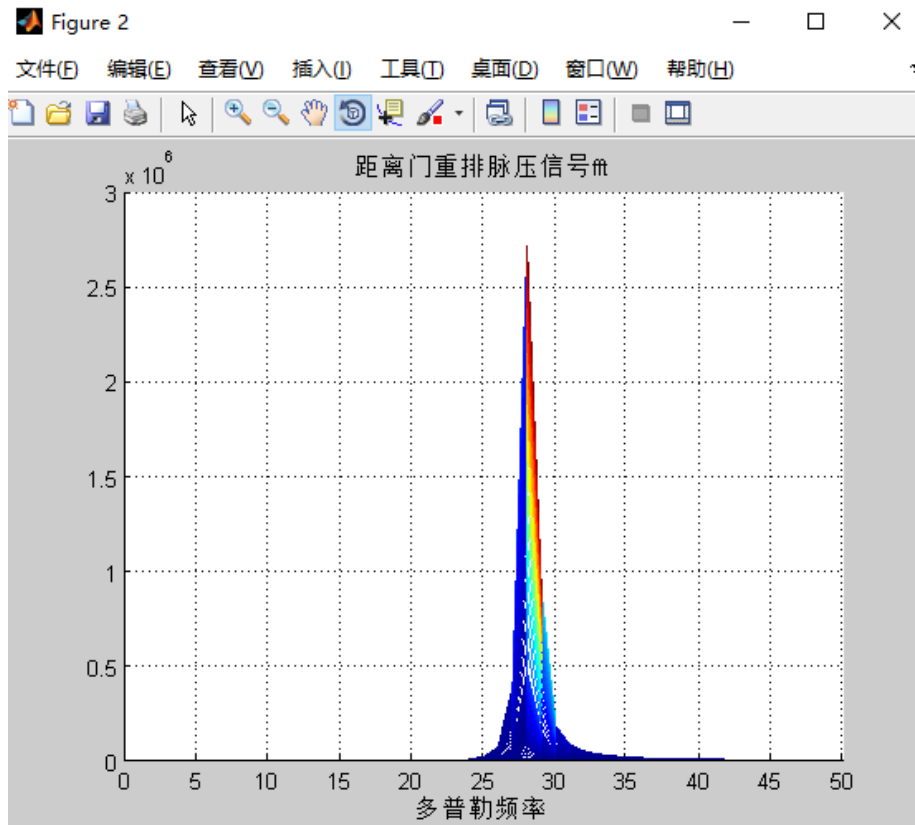


4.6.2.2 速度分辨率分析

由理论值计算得，速度分辨率为 1.5m/s

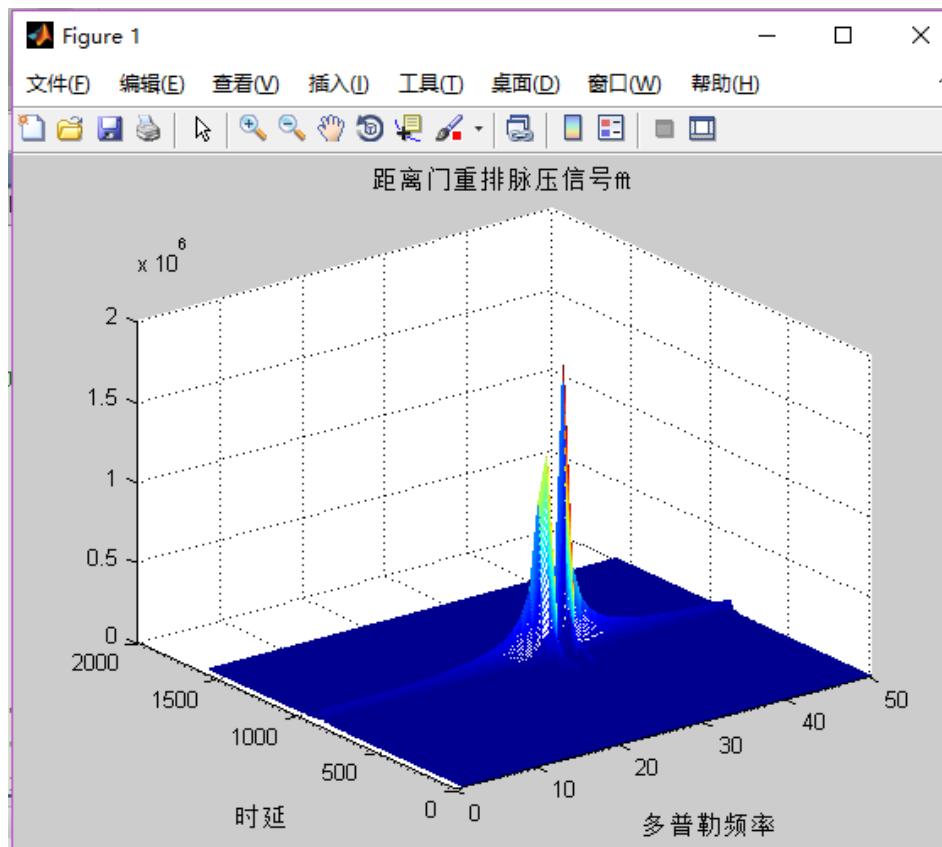
$\Delta R = 1.5\text{m/s}$,此时不能分辨开，

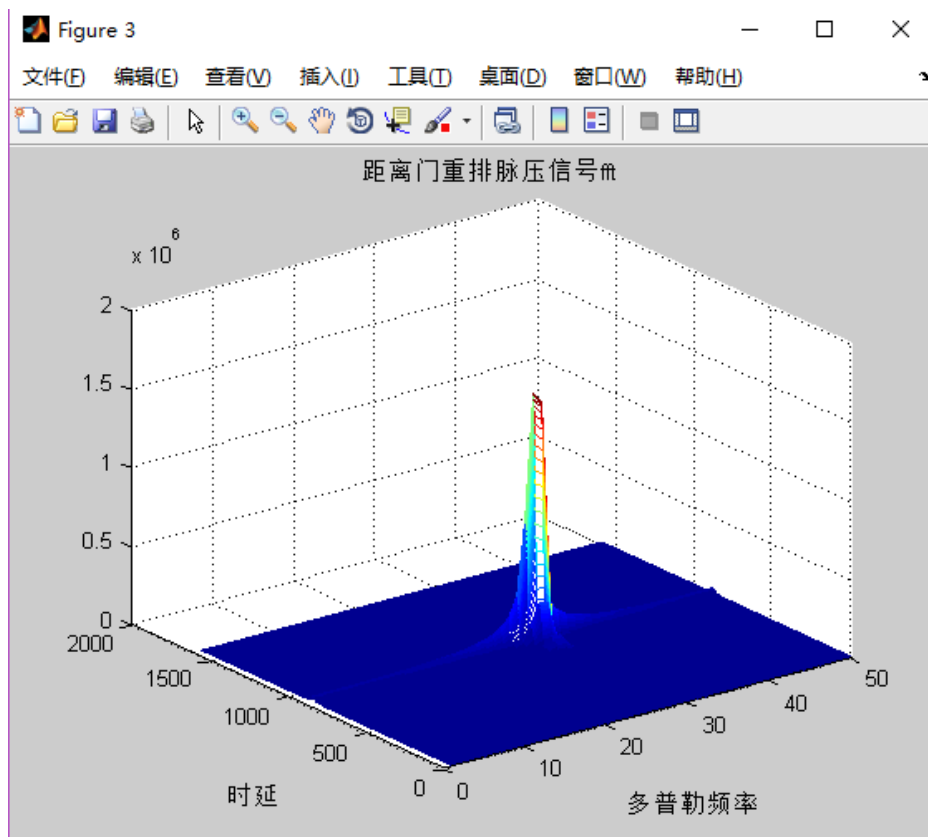
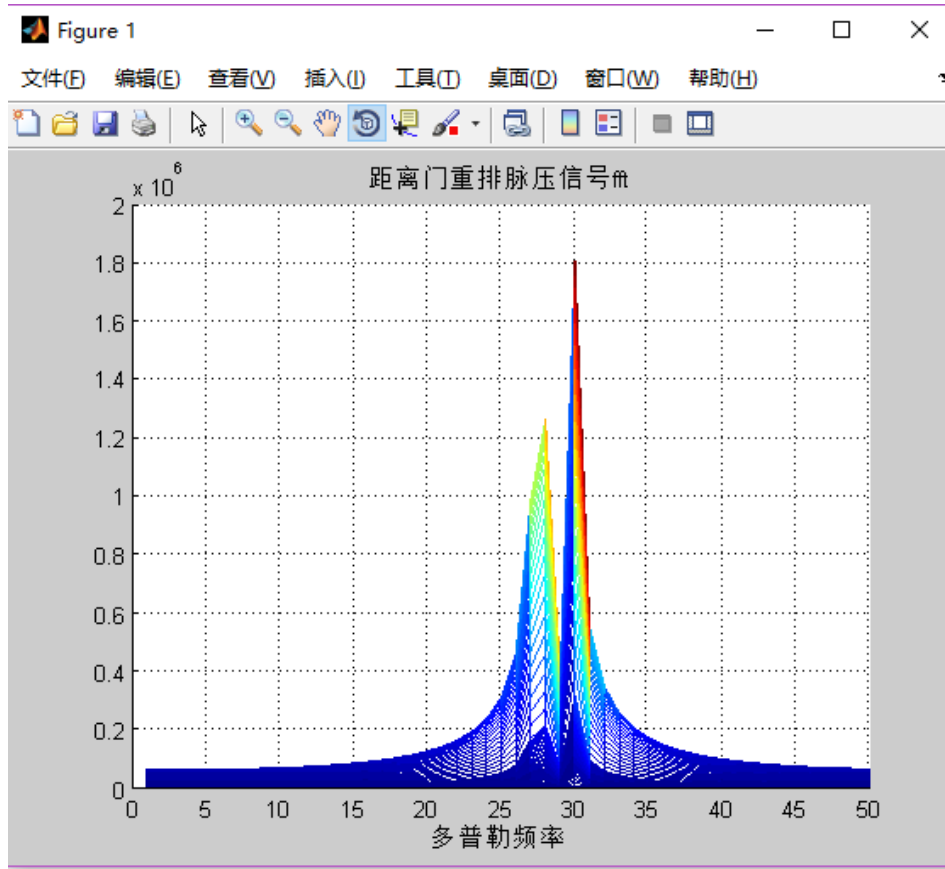




$\Delta R = 3\text{m/s}$

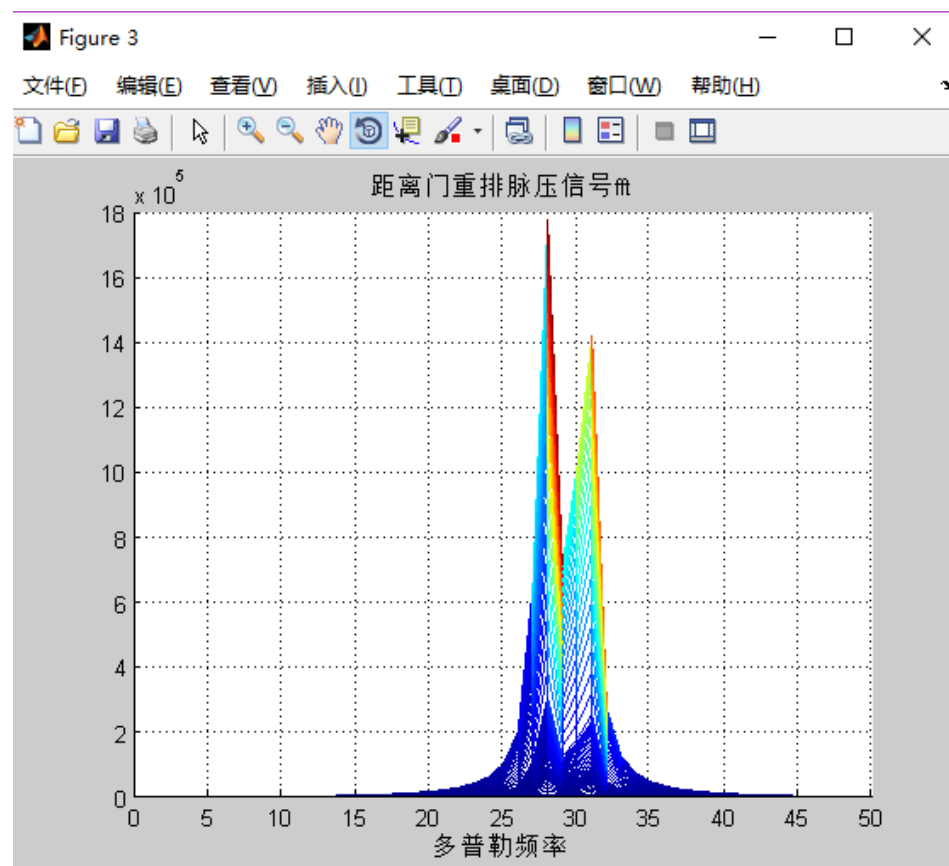
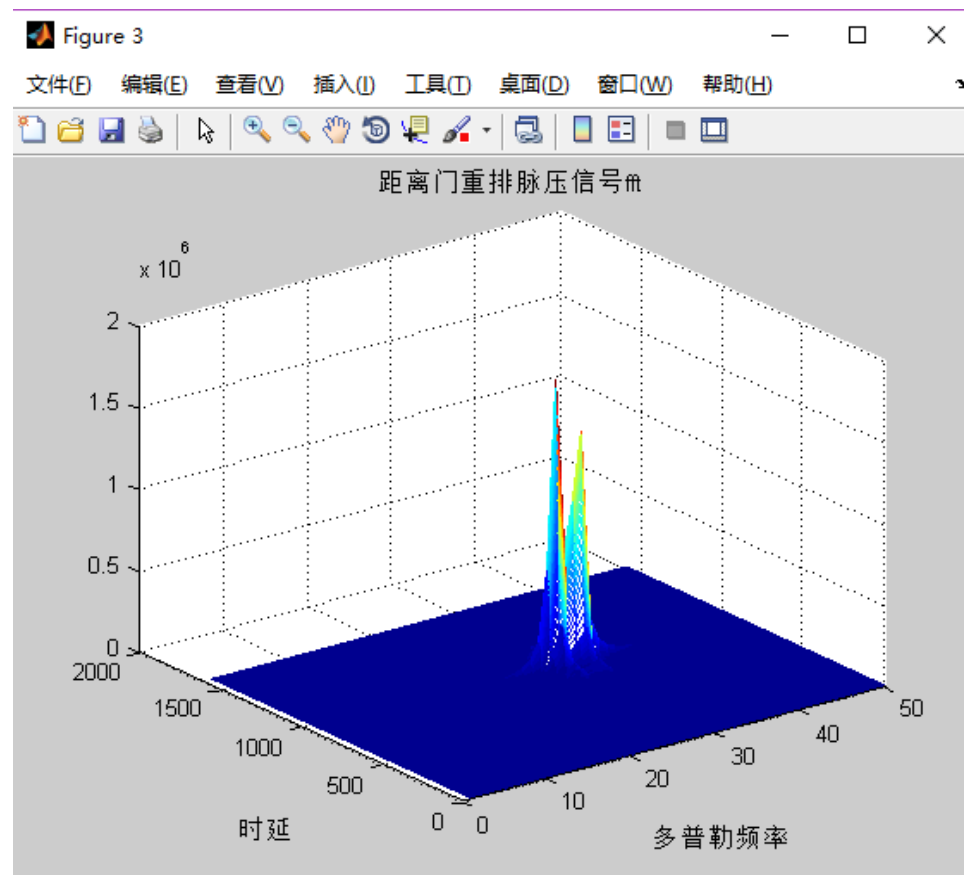
设置 当 $v_1=40\text{m/s}$, $v_2=43\text{m/s}$, $R_1=R_2=200$, $a_1=a_2=10$ 时, 两目标可以分开。





$$\Delta R = 4.5\text{m/s}$$

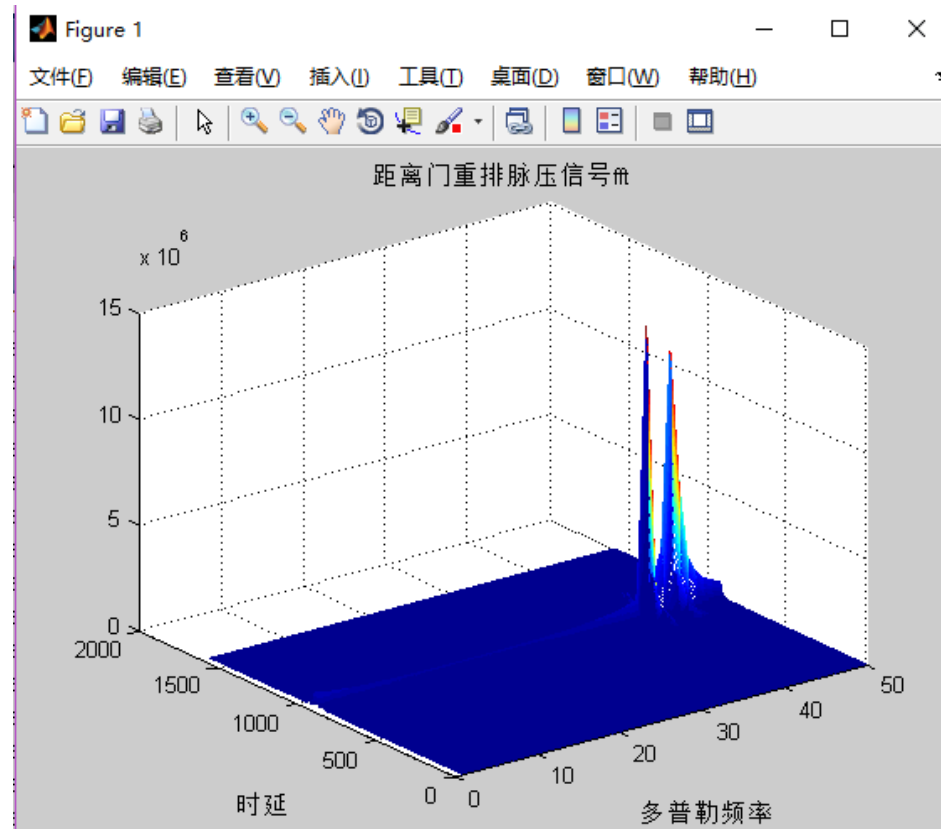
此时两目标能分辨开

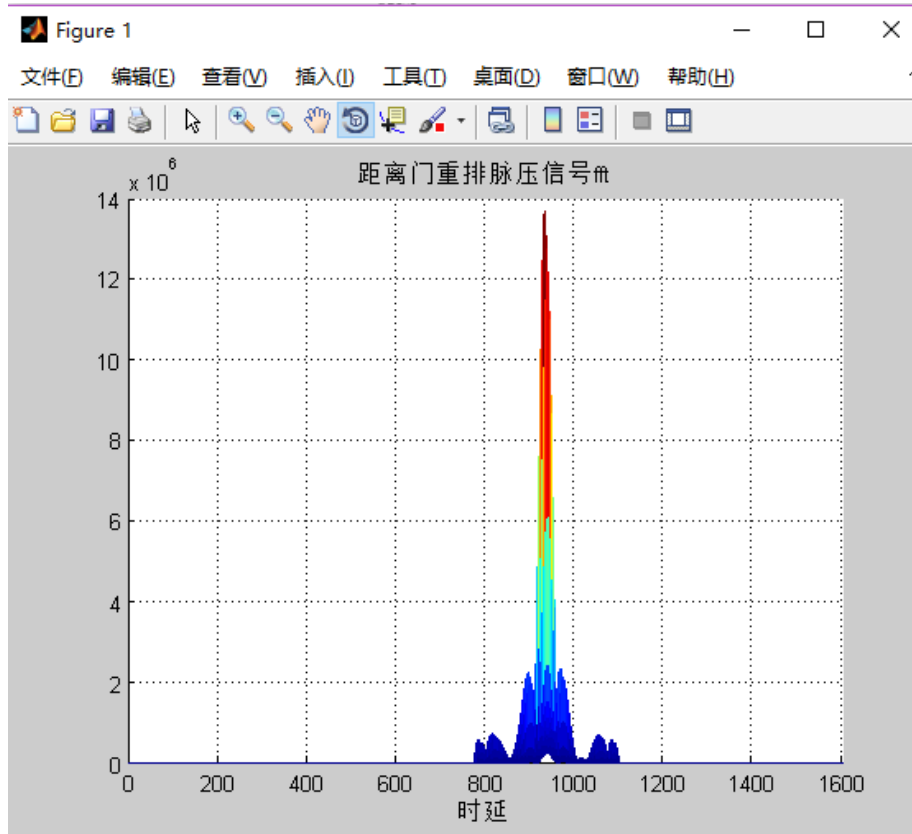


4.6.2.3 大目标旁瓣掩盖小目标情况

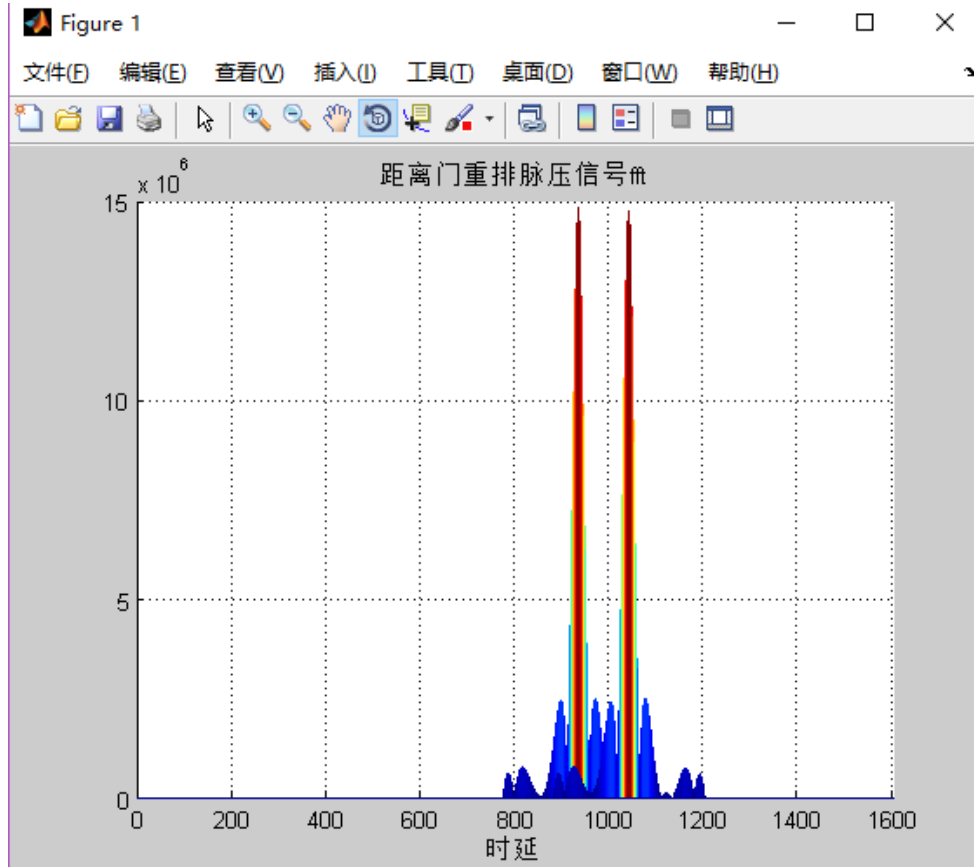
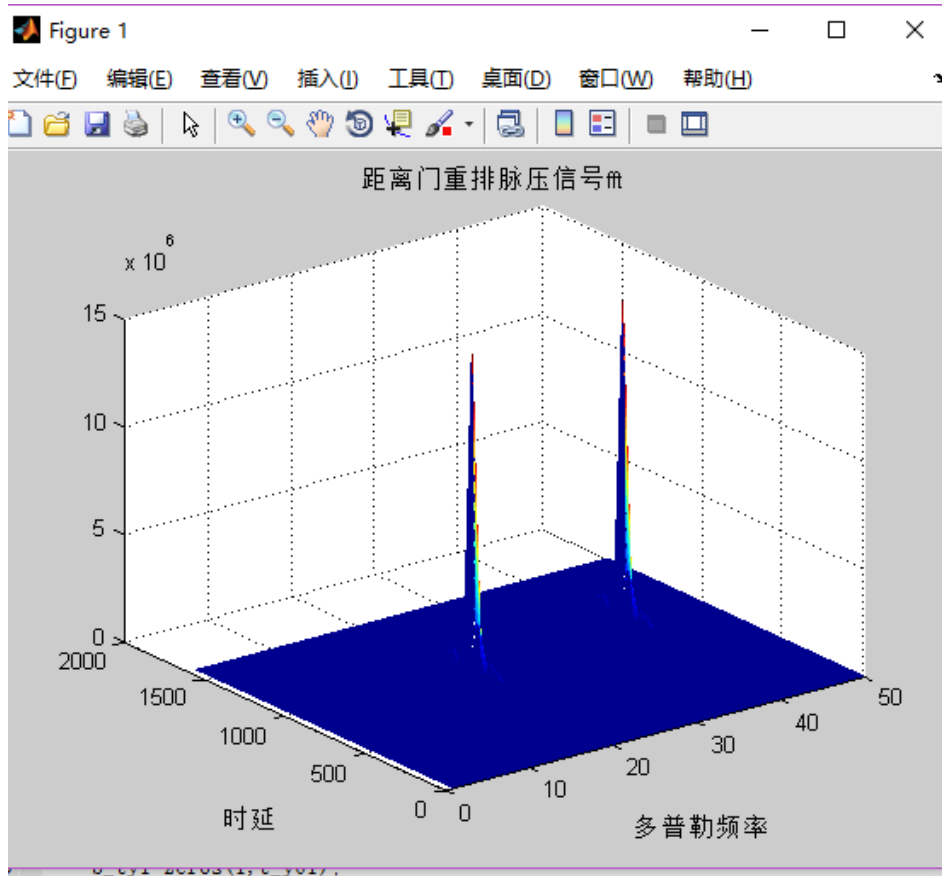
当两个目标幅度不同，但距离和速度大小相近时，即可能产生大目标掩盖小目标的现象。

当大目标幅度为 30，距离为 1000 米，速度为 60 m/s；小目标幅度为 1，距离为 1100 米，速度为 65 m/s 时，输出 FFT 的波形如下：





距离维（时延）方向已经不能分，即小目标被掩盖
当大目标幅度为 30，距离为 1000 米，速度为 30 m/s；小目标幅度为 1，距离为 1100 米，速度为 65 m/s 时，输出 FFT 的波形如下：



此时虽然目标幅度大小不相同，但因为距离和速度差别较大，仍能很好的分辨开。

5 实验总结

5.1 技能学习

本次实验，让我充分回顾并巩固了 **matlab** 软件使用方法及编程规则，对运用仿真软件实现信号的处理的概念更加清晰。我懂得了，在学习的过程中，一味地看书做题是没有用的，只有真正的开始用软件仿真，或者在具体的实验中应用所学的知识，才能对自己所学的知识更加理解透彻。

在最初的时候，我对 **matlab** 的仿真概念并没有理解的这么透彻，只是觉得 **matlab** 是一个数学矩阵仿真工具。这次的仿真实验以后，我将在以后的学习生活中充分认识到 **matlab** 工具的强大性。在以后的学习中，多多使用软件仿真，提高自己的事件能力。

5.2 知识积累

本次实验，我做的是线性调频脉冲雷达信号仿真。从最初的信号波形的产生，加入时延和多普勒产生回波，通过对回波信号进行匹配滤波产生脉压信号，对脉压信号进行距离门重排，并做 **fft** 处理最终得到 **fft** 处理后的频域信号。

在这一系列的过程中，我对线性调频信号以及雷达信号的产生，发送，接收的全过程有了一个更加深刻的理解。这将有助于我以后的关于雷达课程的理论学习、理解和应用。

5.3 个人感悟

本次实验是在结课后就开始布置的。至今已经有一个月的时间。在这一个月的时间里，我前期进行了大量资料的搜集和整理，但在后期真正用软件开始实现时，却遇到了很大的问题。理论和实践的结合在我之前的学习生活中还是比较少的。因此，在前期的仿真实验进展不大。整个人也有点变得心浮气躁，一方面是因为自己进展的落后，一方面是因为自己的学习压力相对较大。后期，在老师一次又一次耐心的指导下，我终于静下心来认真分析自己的不足和缺点，找到自己的弱项，加以改正，最终完成了本次实验的仿真。

尽管整个实验的创新点仍有所欠缺，但我会在接下来的时间里，认真补充完善，不断改进自己。

最后，真的很感谢老师一次又一次耐心地指导。感谢您给了我们这样一次实践

锻炼的机会。

附：实验仿真程序

1 线性调频信号脉压及 fft 处理

```
T=200e-6; %时宽 200us
B=4e6; %带宽 4MHz
K=B/T; %线性调频斜率
Fs=2*B; %采样频率
Ts=1/Fs; %采样周期
N1=T/Ts; %采样点个数
N=round(N1);
c=3e8; %光速
jilei=10e-3; %相干积累总时宽
M=50; %积累时间不大于 10ms，周期重复次数
snr=-10;%信噪比
t0=20;
tm=720;
bm=zeros(1,tm);
%t=-T/20:T/N:T/20;
N2=round(N/10)
t=linspace(-T/20,T/20,N2);
St_tt1=exp(j*pi*K*t.^2);
St=[bm,St_tt1,bm];
%%%-----波形输出 1
figure;
plot(real(St));
xlabel('时间 单位 us');
title('线性调频信号幅度');
grid on;
freq=linspace(-Fs/2,Fs/2,N);
%%%-----波形输出 2
figure;
plot(freq*1e-6,fftshift(abs(fft(St))));
xlabel('频率 单位 MHz');
title('调频信号频域幅度');
grid on;
%-----零延时，零多普勒的回波
huibo= repmat(St,1,M); %信号重复
% huiboN=awgn(huibo,snr,'measured');
```

```

%%%-----波形输出 3
figure;
plot(real(huibo));
xlabel('时间 单位 us');
title('雷达回波信号幅度(观察两个周期)');
axis([1e2 3e3 0 1.1]);
grid on;
St_2=fliplr(St_tt1);
pipei=conj(St_tt1);
%-----自相关函数
zixiangguan=conv(pipei,St);
figure;
plot(abs(zixiangguan));
xlabel('时间 单位 us');
title('自相关函数 ');
axis([1400 1800 0 200]);
grid on;
zxcg_db=10*log10(abs(zixiangguan).^2);
figure;
plot(zxcg_db);
grid on;
xlabel('时间 单位 us');
title('自相关函数 dB ');
%axis([1400 1800 -40 50]);
%%%%%-脉压信号
maiya=conv(pipei,huibo);
figure;
plot(abs(maiya));
xlabel('时间 单位 us');
title('脉压信号 ');
axis([1400 1800 0 1000]);
grid on;
St_db=20*log10(abs(maiya));
figure;
xlabel('时间 单位 us');
title('脉压信号 dB');
%axis([1400 1800 0 100]);
grid on;

%%%%%-距离门重排
for r=1:M
    for h=1:N

```

```

        s_hb1(h,r)=maiya((r-1)*N+h);
    end
end
outmaiya=abs(s_hb1);
figure;
mesh(1:M,1:1600,outmaiya);
xlabel('距离门');
ylabel('采样点');
title('距离门重排脉压信号幅度');

    St_db=20*log10(abs(maiya+1e-6));
figure;
plot(St_db)
grid on;
title('距离门重排脉压信号幅度 dB');

%%%%%%-----脉压信号 fft
for h=1:N
    r_fft(h,:)=abs(fft(s_hb1(h,:)));
end
figure;
mesh(1:M,1:N,r_fft);
xlabel('距离门');
ylabel('频率');
title('距离门重排脉压信号 fft');时延、多普勒的回波处理

```

2 有延时、多普勒的调频脉冲信号回波处理

```

%线性调频脉冲信号
T=200e-6;           %时宽 200us
B=4e6;              %带宽 4MHz
K=B/T;              %线性调频斜率
Fs=2*B;             %采样频率
Ts=1/Fs;            %采样周期
N=T/Ts;             %采样点个数
N=round(N);
c=3e8;              %光速
t=10e-3;            %相干积累总时宽
M=50;               %积累时间不大于 10ms，周期重复次数
fudu=10;
snr=-10;%信噪比

```

```

fc=10e9;
tm=720;
bm=zeros(1,tm);
t=-T/20:T/N:(T/20-T/N);
St_tt1=fudu*exp(j*pi*K*t.^2);
St=[bm,St_tt1,bm];
St_m= repmat(St,1,M);           %信号重复

%%%%%%-----加时延
R=0;
t_yy=2*R/c;
t_y0=t_yy*N/T;
t_y0=round(t_y0);
b_ty=zeros(1,t_y0);
% huibo_ty=[b_ty,St_m(1:(N*M-t_y0))];

%%%%-----加多普勒频移
lamda=c/fc;                     %波长
v=0;                             %物体运动速度
fd=2*v/lamda;                   %多普勒频移
tt=-T*M/2:T/N:(T*M/2-T/N);     %多普勒频率延迟时间单位
St_fdt1=exp(j*2*pi*fd.*tt);    %多普勒频移信号部分

huibont=St_m.*St_fdt1;          %多普勒频移信号

huibo=[b_ty,huibont(1:(N*M-t_y0))];
huiboN=awgn(huibo,snr,'measured');

St_2=fliplr(St_tt1);
pipei=conj(St_2);
% pipei=exp(-j*pi*K*t.^2);
maiya=conv(pipei,huiboN);

HMY=20*log10(abs(maiya));
figure;
plot(HMY);
xlabel('时间 单位 us');
title('脉压信号 dB');
grid on;

```

```

%%%%%%%%%-----距离门重排
for r=1:M
    for h=1:N
        s_hb1(h,r)=maiya((r-1)*N+h);
%         s_hb1(h,r)=20*log10(maiya((r-1)*N+h));
    end
end

% for r=1:N*M

outmaiya=abs(s_hb1);
% figure;
% mesh(1:M,1:1600,outmaiya);
% xlabel('距离门');
% ylabel('采样点');
% title('距离门重排脉压信号幅度 ');

% %-----脉压时宽带宽计算
% for i=1:1600
%     s_hb11(i)=s_hb1(i); %取一个周期
%     end
%     [max1,weizhi]=max(s_hb11);%取出最大值的位置
%     for i=(weizhi-3):(weizhi+3);
%         y0(i-(weizhi-5))=s_hb1(i);
%         y1(i-(weizhi-4))=20*log10(y0(i-(weizhi-5)));
%     end
%     x=1:1:7;
%     xi=1:1/400:5;
%     yi=interp1(x,y1,xi,'nearest');%内插函数
%     figure;
%     plot(x,y,'o',xi,yi);
%     ylabel('幅度 (dB) ');
%     title('内插函数求时宽');

% %%%%%%%%%%-----脉压信号 fft
for h=1:N
    r_fft(h,:)=abs(fft(s_hb1(h,:)));
end
mo=max(r_fft(h,:))
r=10*log10(abs(r_fft(h,:)/mo));

```

```

figure;
plot(r_fft);
title('脉压信号 fft dB')
grid on
% %%%-----距离门重排
% for r=1:M
%     for h=1:N
%         s_hb1(h,r)=maiya((r-1)*N+h);
%         s_hb1(h,r)=20*log10(maiya((r-1)*N+h));
%     end
% end
% %%%-----噪声脉压信号 fft
% for h=1:N
%     r_fft(h,:)=abs(fft(s_hb1(h,:)));
% end
% figure;
% plot(r_fft);
%
% title('距离门重排脉压信号 fft')
% %%%-----距离门重排
% for r=1:M
%     for h=1:N
%         s_hb1(h,r)=maiya((r-1)*N+h);
%         s_hb1(h,r)=20*log10(maiya((r-1)*N+h));
%     end
% end
% %%%-----信号脉压信号 fft
% for h=1:N
%     r_fft(h,:)=abs(fft(s_hb1(h,:)));
% end
% figure;
% mesh(1:M,1:N,r_fft);
% xlabel('多普勒频移');
% ylabel('延时');
% title('距离门重排脉压信号 fft');

%%%-----求脉压增益
huibo_an=huiboN;
huibo_nn=huiboN-huibo;
maiya_zhin=conv(pipei,huibo_nn);
maiya_non=conv(pipei,huibo);
So_1=10*log10(max(abs(maiya_non))^2);

```



```

No_1=10*log10(sum(abs(maiya_zhin.^2))/(M*N-1));
snr_out=So_1-No_1
% So_1=max(abs(maiya_non));
% No_1=(sum(abs(maiya_zhin.^2)))/(M*N-1);
% snr_out=10*log10((So_1^2)/No_1)
D=snr_out-snr

% % % % %-----脉压信号 fft
for h=1:N
    r_fft(h,:)=abs(fft(s_hb1(h,:)));
end
% % % % %-----噪声脉压距离门重排
for r=1:M
    for h=1:N
        s_hb1zn(h,r)=maiya_zhin((r-1)*N+h);
%         s_hb1(h,r)=20*log10(maiya((r-1)*N+h));
    end
end
% % % % %-----噪声脉压信号 fft
for h=1:N
    r_fftn(h,:)=abs(fft(s_hb1zn(h,:)));
end
figure;
mesh(1:M,1:N,r_fftn);
xlabel('多普勒频移');
ylabel('延时');
title('距离门重排噪声脉压信号 fft');

% % % % %-----距离门重排
for r=1:M
    for h=1:N
        s_hb1nn(h,r)=maiya_non((r-1)*N+h);
%         s_hb1(h,r)=20*log10(maiya((r-1)*N+h));
    end
end
% % % % %-----信号脉压信号 fft
for h=1:N
    r_fftn(h,:)=abs(fft(s_hb1nn(h,:)));
end
figure;
mesh(1:M,1:N,r_fftn);
xlabel('多普勒频移');

```

```

ylabel('延时');
title('距离门重排无噪声信号脉压信号 fft');

```

```

%%%-----求 fft 增益
m1=max(r_fftn);
m2=max(m1);
So_fft=10*log10(m2^2);
m3=r_fftn.^2;
No_fft=10*log10(sum(m3(:))/(M*N-1));
snr_out1=So_fft-No_fft;
D_fft=snr_out1-snr

```

3 双目标距离分辨和速度分辨仿真

```

%线性调频脉冲信号
T=200e-6; %时宽 200us
B=4e6; %带宽 4MHz
K=B/T; %线性调频斜率
Fs=2*B; %采样频率
Ts=1/Fs; %采样周期
N=T/Ts; %采样点个数
N=round(N);
fc=10e9;
c=3e8; %光速
jilei=10e-3; %相干积累总时宽
M=50; %积累时间不大于 10ms，周期重复次数
snr=-10;%信噪比

tm=720;
bm=zeros(1,tm);
a1=30;
a2=1;
%t=linspace(-T/20,T/20,N/10);
t=-T/20:T/N:(T/20-T/N);
St_tt1=a1*exp(j*pi*K*t.^2);
St_tt2=a2*exp(j*pi*K*t.^2);
St11=[bm,St_tt1,bm];
St22=[bm,St_tt1,bm];
St_m1=repmat(St11,1,M); %信号重复
St_m2=repmat(St22,1,M); %信号重复

%%%%%%%%-----加时延

```

```

St=St_tt1+St_tt2;
St_m=St_m1+St_m2;

%
% t_y01=2*R1*N/(c*T);
% t_y02=2*R2*N/(c*T);
% t_y01=round(t_y01);
% t_y02=round(t_y02);
R1=1000;
R2=3000;
t_yy1=2*R1/c;
t_y01=t_yy1*N/T;
t_y01=round(t_y01);
t_yy2=2*R2/c;
t_y02=t_yy2*N/T;
t_y02=round(t_y02);

b_ty1=zeros(1,t_y01);
b_ty2=zeros(1,t_y02);
huibo_ty1=[b_ty1,St_m(1:(N*M-t_y01))];
huibo_ty2=[b_ty2,St_m(1:(N*M-t_y02))];
%%-----加多普勒频移
lamda=c/fc; %波长
fenbianR=37.5;
fenbianV=c/(fc*2*M*T);

v1=30; %物体运动速度
v2=60; %物体运动速度
fd1=2*v1/lamda; %多普勒频移
fd2=2*v2/lamda; %多普勒频移

tt=-T*M/2:T/N:(T*M/2-T/N); %多普勒频率延迟时间单位
% tt=linspace(-T*M/2,T*M/2,N*M); %多普勒频率延迟时间单位
St_fdt1=exp(j*2*pi*fd1.*tt); %多普勒频移信号部分
St_fdt2=exp(j*2*pi*fd2.*tt); %多普勒频移信号部分
huibo1=huibo_ty1.*St_fdt1; %多普勒频移信号
huibo2=huibo_ty2.*St_fdt2; %多普勒频移信号
huibo=huibo1+huibo2;
% huiboN=awgn(huibo,snr,'measured');

```

```

St_2=fliplr(St);
pipei=conj(St_2);
maiya=conv(pipei,huibo);
% figure;
% plot(abs(maiya));
% xlabel('时间 单位 us');
% title('脉压信号 ');
% %axis([1400 1800 0 200]);
% grid on;
%%%%%%-----距离门重排
for r=1:M
    for h=1:N
        s_hb1(h,r)=maiya((r-1)*N+h);
    end
end
outmaiya=abs(s_hb1);
% figure;
% mesh(1:M,1:1600,outmaiya);
% xlabel('距离门');
% ylabel('采样点');
% title('距离门重排脉压信号幅度');

%%%%%%-----脉压信号 fft
for h=1:N
    r_fft(h,:)=abs(fft(s_hb1(h,:)));
end
figure;
mesh(1:M,1:N,r_fft);
xlabel('多普勒频率');
ylabel('时延');
title('距离门重排脉压信号 fft');

```