



南京理工大学
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

信号检测与估计

仿真实验报告

——多普勒雷达信号处理

院系：电子工程与光电技术学院

专业：电子信息工程

姓名：劳则立

学号：913104210105

指导老师：顾红

设计时间：2016.5.16

目 录

一、	实验条件	1
二、	实验内容	1
三、	实验环境	1
四、	实验原理	1
1、	概述	1
2、	回波视频表达式	2
3、	脉冲压缩	2
4、	信噪比	2
5、	距离分辨力	2
6、	速度分辨力	3
五、	实验结果	3
1、	编程结构	3
2、	信号产生	3
3、	单目标情况	4
(1)	参数设置	4
(2)	回波视频表达式	5
(3)	脉压和 FFT 后的表达式.....	6
(4)	仿真给出脉压和 FFT 后的输出图形.....	8
(5)	通过仿真说明脉压输出和 FFT 输出的 SNR	9
(6)	通过仿真说明脉压输出和 FFT 输出的时宽	10
4、	双目标情况	12
(1)	参数设置	12
(2)	仿真出大目标旁瓣盖掩盖小目标的情况	14
(3)	仿真出距离分辨和速度分辨的情况.....	15
六、	实验心得	18

信号检测与估计仿真实验报告

——仿真脉冲多卜勒雷达的信号处理实验

913104210105 劳则立

一、 实验条件

设脉冲宽度为各学生学号末两位数（05），单位为 μs ，重复周期为 $200 \mu s$ ，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（ $-35dB \sim 10dB$ ），目标速度可变（ $0 \sim 1000m/s$ ），目标幅度可变（ $1 \sim 100$ ），目标距离可变（ $0 \sim 10000m$ ），相干积累总时宽不大于 $10ms$ 。

二、 实验内容

- 1、由 MATLAB 编码实现；
- 2、单目标时，
 - (1) 给出回波视频表达式；
 - (2) 脉压和 FFT 后的表达式；
 - (3) 仿真给出脉压和 FFT 后的输出图形；
 - (4) 通过仿真说明脉压输出和 FFT 输出的 SNR；
- 3、双目标时，
 - (1) 仿真出大目标旁瓣盖掩盖小目标的情况；
 - (2) 仿真出距离分辨和速度分辨的情况。

三、 实验环境

Windows7 系统，MATLAB R2015b。

四、 实验原理

1、概述

多普勒雷达，又名脉冲多普勒雷达，是一种利用多普勒效应来探测运动目标的位置和相对运动速度的雷达。1842 年,奥地利物理学家 J·C·多普勒发现,当波源和观测者有相对运动时,观测者接受到的波的频率和波源发来的频率不同,这种现象被称为多普勒效应。波源和观测者相互接近时,接受

到的频率升高;两者相互离开时,则降低。多普勒雷达就是利用这种多普勒效应制造而成的一种脉冲雷达。脉冲多普勒雷达含有距离波门电路、单边带滤波器、主波束杂波抑制电路和检测滤波器组,能较好地抑制地物干扰。脉冲多普勒雷达可用于机载预警、机载截击、机载导航、低空防御、火控、战场侦察、导弹引导、靶场测量、卫星跟踪和气象探测等方面。

2、回波视频表达式

发射信号经时延和多普勒频移后可得回波信号,其表达式为:

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

3、脉冲压缩

脉冲压缩,就是在雷达发射机中发射时宽较宽,峰值功率较低的脉冲,通过对载频进行编码以增加发射波形的带宽;然后在接收机中对回波实施脉冲压缩,从而达到窄脉冲、高峰值功率的简单脉冲体制雷达所具有的分辨能力和探测性能。

脉压后的表达式为: $R(\tau) = E[S(t)S(t + \tau)]$

$$\text{FFT 后的表达式: } X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N-1}{2}} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{nk}$$

4、信噪比

信噪比,英文名称叫做 SNR 或 S/N (SIGNAL-NOISE RATIO),又称为讯噪比。是指一个电子设备或者电子系统中信号与噪声的比例。这里面的信号指的是来自设备外部需要通过这台设备进行处理的电子信号,噪声是指经过该设备后产生的原信号中并不存在的无规则的额外信号(或信息),并且该种信号并不随原信号的变化而变化。

信噪比的计量单位是 dB,其计算方法是 $10\lg(PS/PN)$,其中 Ps 和 Pn 分别代表信号和噪声的有效功率,也可以换算成电压幅值的比率关系:

$20\lg(VS/VN)$, Vs 和 Vn 分别代表信号和噪声电压的“有效值”。在一般来说,信噪比应该越高越好。

5、距离分辨力

雷达在距离上区分邻近目标的能力,通常以最小可分辨的距离间隔来度量。雷达距离分辨力约为 $c/(2B)$ 。c 为光速;B 为雷达信号带宽。雷达脉

冲宽度若为 1 微秒,在无脉内调制时信号带宽为 1 兆赫,则距离分辨力约 150 米;有 100 兆赫的脉内调频时,信号带宽相应增大为 100 兆赫,则距离分辨力约为 1.5 米。

6、速度分辨力

雷达在径向速度上区分目标的能力。雷达的速度分辨力取决于雷达工作波长 λ 和相干信号处理器的积累时间 T , 约为 $\frac{\lambda}{2T}$ 。

五、 实验结果

1、编程结构

该程序分为六个部分: 参数设定、信号产生、回波信号形成、脉压处理、距离门重排后的 FFT 和测量结果计算。

2、信号产生

脉冲宽度为 $5\mu s$, 重复周期为 $200\mu s$, 雷达载频为 10GHz, 可得发射信号的表达式为:

$$s(t) = f(t) \times \cos(2\pi ft)$$

为一个脉宽为 $5\mu s$ 、周期为 $200\mu s$ 的脉冲信号, f 为载波频率。

其程序为

```
smaichong = 0;
smaichong1 = rectpuls(t-2.5e-6, width);%产生单脉冲
for st0 = 2.5e-6:200e-6:((PulseNumber-1)*200e-6+2.5e-6)
    smaichong = smaichong + rectpuls(t-st0, width);%产生发射信号
end
figure(1);
plot(t,smaichong);
grid on
axis([0,1000e-6,-1.5,1.5]);
xlabel('t/s');
title('发射波形')
```

其信号波形如图 5.1 所示。

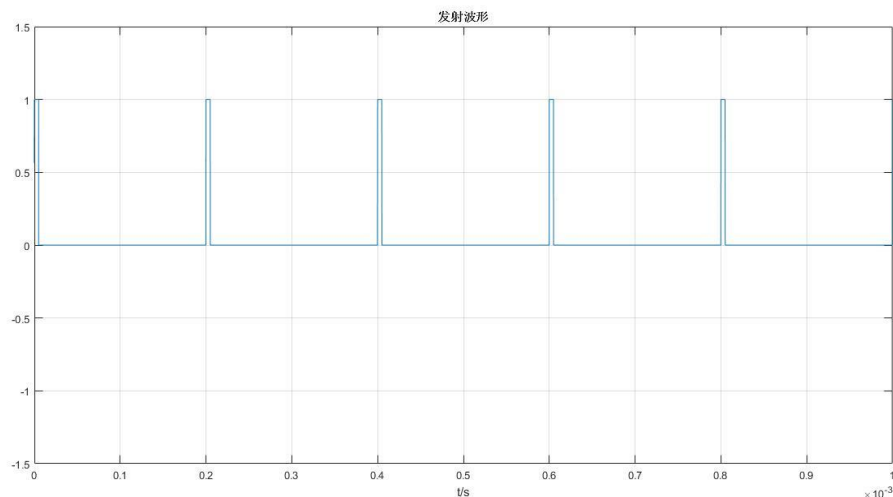


图 5.1 信号发射波形

3、单目标情况

(1) 参数设置

本实验单目标情况以以速度 $v = 20m/s$ ，距离 $d = 5000m$ ，幅度 $A = 100$ 的信号为例，因此其参数设置程序为

%单目标参数

$M = 1$; %目标数量

$d = 5000$; %目标距离/m

$v = 20$; %目标速度/m/s

$A = 100$; %目标幅度

%其余参数

$SNR = 10$; %信噪比/dB

$c = 3e8$; %光速/m/s

$f = 10e9$; %载波频率/Hz

$f_d = 2*v/c*f$; %多普勒频偏/Hz

$F_s = 100e6$; %采样频率/Hz

$width = 5e-6$; %脉宽/s

$BandWidth = 1/width$; %信号带宽/Hz

$TimeWidth = 200e-6$; %信号时宽/s

$Time = 6000e-6$; %信号总时长/s

$TotalNumber = Time*F_s$; %总采样数

```

PulseNumber = Time/TimeWidth;%脉冲数
SampleNumber = TotalNumber/PulseNumber;%单周期采样数
t = -Time: (1/Fs) : Time; %时间/s
t0 = 0 : (1/Fs) : TimeWidth-(1/Fs);
sc = c*t0/2;%距离/m
t1 = 0 : PulseNumber-1;
vc = t1*Fs/TotalNumber*c/f/2;%速度/m/s

```

(2) 回波视频表达式

回波信号根据目标参数变化，目标的距离会引起信号的延时，目标的速度会造成多普勒频移，从而改变信号的频率。根据设置的参数，延时 $\Delta t = \frac{2d}{c} = 3.33 \times 10^{-5} s$ ，多普勒频偏 $f_d = \frac{2v}{c} \times f = 133.33 Hz$ ，因此，其回波方程为

$$S_r(t) = 100f(t - 3.33 \times 10^{-5}) \cos[2\pi f(t - 3.33 \times 10^{-5}) + 266.67\pi t]$$

滤除载波后，其回波视频表达式为

$$S_r(t) = Af(t - \tau) \cos(2\pi f_d t) = 100f(t - 3.33 \times 10^{-5}) \cos(266.67\pi t)$$

其程序为

```

huibo = 0;
for i = 1:M
    maichong = 0;
    for t0 = (2.5e-6+2*d(i)/c):200e-6:((PulseNumber-1)*200e-6+2.5e-
6+2*d(i)/c)
        maichong = maichong + A(i)*rectpuls(t-t0, width);%回波信号
        (不带多普勒频移)
    end
    maichong = maichong .* exp(2*pi*fd(i)*t*j);
    huibo = huibo+maichong;%回波信号（不加噪声）
end
jieshou = awgn(huibo,SNR,'measured');%回波信号（加噪声）
figure(2);

```

```

subplot(2,1,1);
plot(t,real(huibo));
grid on
axis([0,1000e-6,-inf,inf]);
xlabel('t/s');
title('回波波形(无噪声) ');

subplot(2,1,2);
plot(t,real(jieshou));
grid on
axis([0,1000e-6,-inf,inf]);
xlabel('t/s');
title('回波波形(含噪声) ');

```

其波形图如图 5.2 所示。

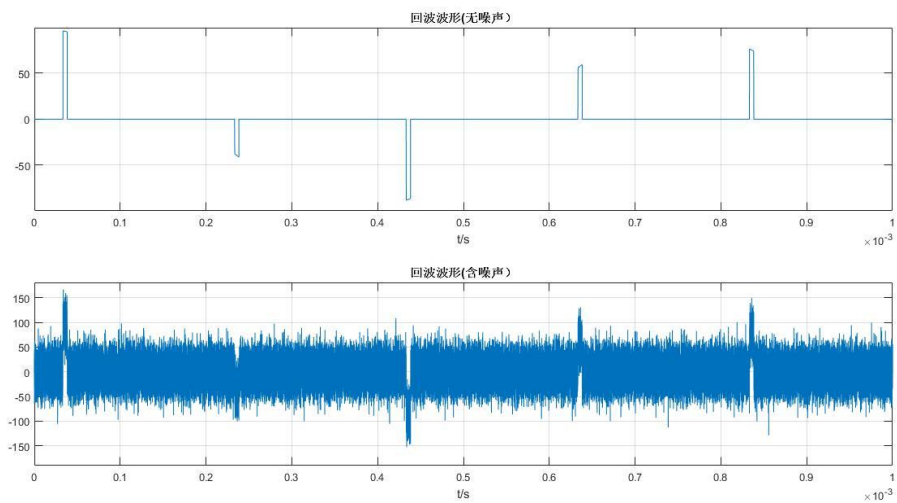


图 5.2 信号回波波形

(3) 脉压和 FFT 后的表达式

脉压相当于匹配滤波，即回波信号与单脉冲信号的卷积运算，因此，该信号脉压后的表达式为

$$S_m(t) = S_r(t) * S_s(T-t)$$

其中， $S_s(t)$ 为单脉冲信号， T 为脉压总时长。

其程序为


```

coeff=fliplr(smaichong1);%将单脉冲翻转
pc_time0=conv(jieshou,coeff);%pc_time0 为回波和单脉冲的卷积
t1=-2*Time: (1/Fs) : 2*Time;
figure(3);
plot(t1,real(pc_time0));
axis([0,Time,-inf,inf]);
xlabel('t/s');
title('时域脉压结果');

```

FFT 相当于离散傅里叶变换，所以其表达式为

$$S_f(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} S_m(2n)W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} S_m(2n+1)W_{\frac{N}{2}}^{nk}$$

其中， $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ ， N 为总采样点数。

其程序为

```

for i=1:SampleNumber
    pt_fft(i,1:PulseNumber)=fft(pt(i,1:PulseNumber));
end
figure(5)
mesh(vc,sc,10*log(abs(pt_fft)));
xlabel('速度 m/s'),ylabel('距离/m'),zlabel('幅度/dB')
title('fft 波形');

```

由于要对信号每周期的和固定点进行 FFT 分析，所以，需对信号先进行距离门重排，即把各个周期的起点对齐，形成一个矩阵。

其程序为

```

for i=1:PulseNumber
    pt(1:SampleNumber,i)=pc_time0(2*TotalNumber+(i-
1)*SampleNumber+1:2*TotalNumber+i*SampleNumber);
end
figure(4)
mesh(1:PulseNumber,sc,real(pt));

```

```
xlabel('距离门序数'),ylabel('距离/m'),zlabel('幅度')
title('距离门重排后波形');
```

(4) 仿真给出脉压和 FFT 后的输出图形

脉压后波形如图 5.3 所示。

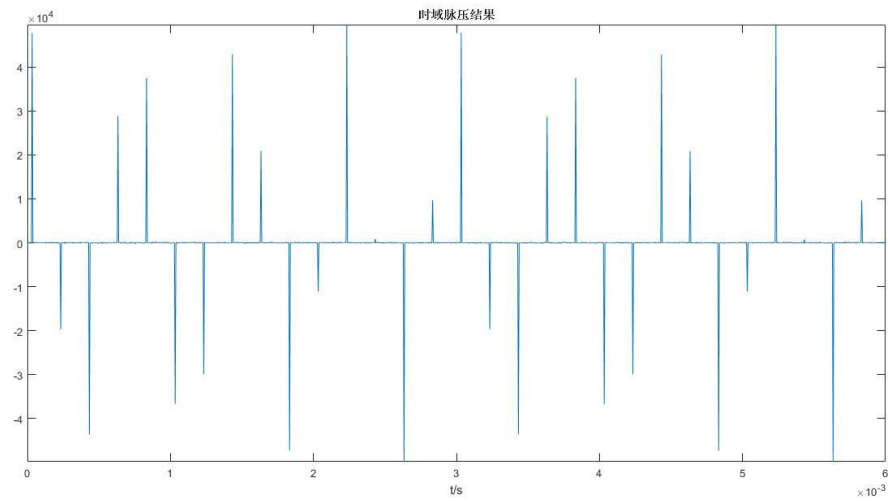


图 5.3 脉压波形

距离门重排后波形如图 5.4 所示。

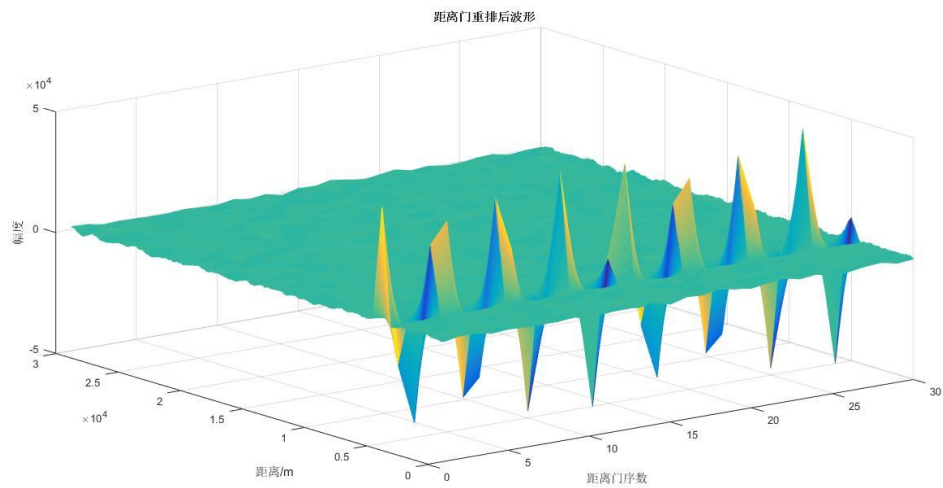


图 5.4 距离门重排后波形

FFT 后波形如图 5.5 所示。

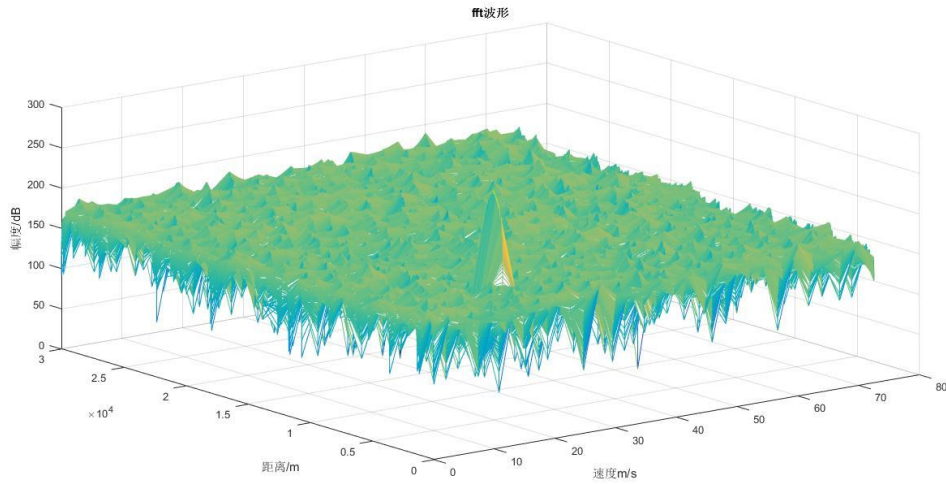


图 5.5 FFT 后波形

由图中可以读出，峰值在 $v = 20.0m/s$ ， $d = 5001.0m$ 出现，结果符合所设置的参数。

(5) 通过仿真说明脉压输出和 FFT 输出的 SNR

信噪比为信号与噪声的比，即回波波形的最高点与最低点绝对值的比值，其计算程序为

```
%计算脉压后 SNR
zaosheng = jieshou-huibo;%计算噪声
Pzaosheng = sum(zaosheng.*zaosheng)/TotalNumber;
ptMax=pt_R(1,1);
maxa = 1;
maxb = 1;
for a = 1:SampleNumber
    for b = 1:PulseNumber
        if pt_R(a,b)>ptMax
            ptMax = pt_R(a,b);%计算信号峰值
            maxa = a;
            maxb = b;
        end
    end
end
end
```

```

ptSNR = 10*log((ptMax)^2/Pzaosheng);
fprintf('脉压后的信噪比为%fdB\n',ptSNR);
%?计算 fft 后 SNR
pt_fftMax=pt_fft_R(1,1);
maxa = 1;
maxb = 1;
for a = 1:SampleNumber
    for b = 1:PulseNumber
        if pt_fft_R(a,b)>pt_fftMax
            pt_fftMax = pt_fft_R(a,b);
            maxa = a;
            maxb = b;
        end
    end
end
dmc = c*(maxa-1)/Fs/2;%目标距离
vmc = (maxb-1)*Fs/TotalNumber*c/f/2;%目标速度
ptSNR = 10*log((pt_fftMax)^2/Pzaosheng);
fprintf('fft 后的信噪比为%fdB\n',ptSNR);

```

输出结果为

脉压后的信噪比为 77.130646dB

fft 后的信噪比为 91.262385dB

由于信号原先输入信噪比为-10dB，可见脉压和 FFT 对信噪比均有一定的提升。

(6) 通过仿真说明脉压输出和 FFT 输出的时宽

信号时宽为信号最高点下降 3dB 后的时间宽度。首先进行内插，然后根据内插后函数读出时宽值。

其实现程序为

%计算脉压后时宽

```

x = maxb-1:maxb+1;

```

```

y = [pt_R(maxa,maxb-1),pt_R(maxa,maxb),pt_R(maxa,maxb+1)];
xi = maxb-2:1/360:maxb+2;
yi = interp1(x,y,xi,'spuline');
figure(7)
plot(x/Fs,real(20*log(y)),'o',xi/Fs,real(20*log(yi)));
xlabel('时间/s');
ylabel('幅度');
title('脉压后时宽求取');

```

插值后的图像如图 5.6 所示。

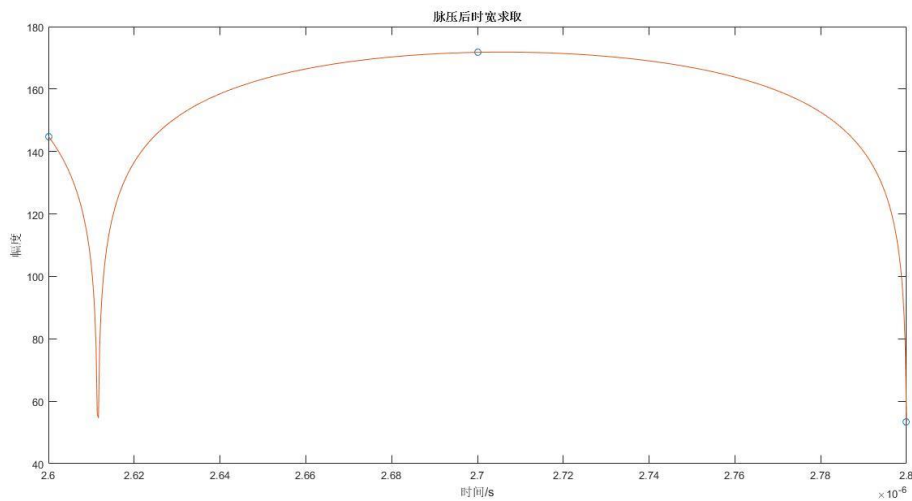


图 5.6 脉压时宽插值结果

由上图可得，其时宽为 $5.8 \times 10^{-6} s$ 。

FFT 后的时宽也同理可得，其程序为

%计算 fft 后时宽

```

x = maxb-1:maxb+1;
y = [pt_fft_R(maxa,maxb-
1),pt_fft_R(maxa,maxb),pt_fft_R(maxa,maxb+1)];
xi = maxb-1:1/360:maxb+3;
yi = interp1(x,y,xi,'spuline');
figure(8)
plot(x/TotalNumber*Time,real(20*log(y)),'o',xi/TotalNumber*Time,real(20*log(yi)));

```

```

xlabel('时间/s');
ylabel('幅度');
title('FFT 后时宽求取');

```

插值后的图像如图 5.7 所示。

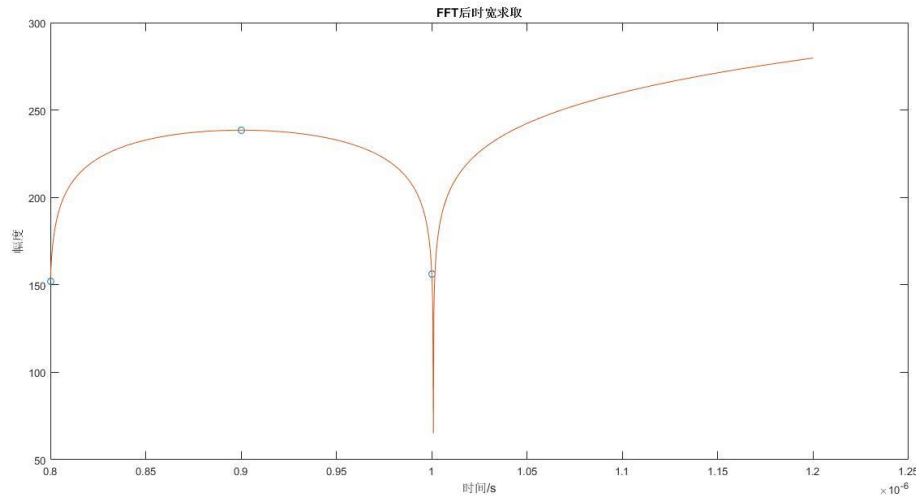


图 5.7 FFT 时宽插值结果

由上图可得，其时宽为 $7.5 \times 10^{-6} s$ 。

4、双目标情况

(1) 参数设置

设两目标的距离分别为 5000 米和 8000 米，速度分别为 20 米/秒和 60 米/秒，幅度分别为 100 和 50，所以其参数设置程序为

```

M = 2;%目标数量
d = [5000 8000];%目标距离/m
v = [20 60];%目标速度/m/s
A = [100 50];%目标幅度

```

其余程序与单目标相同，其结果如图 5.8-图 5.12 所示。

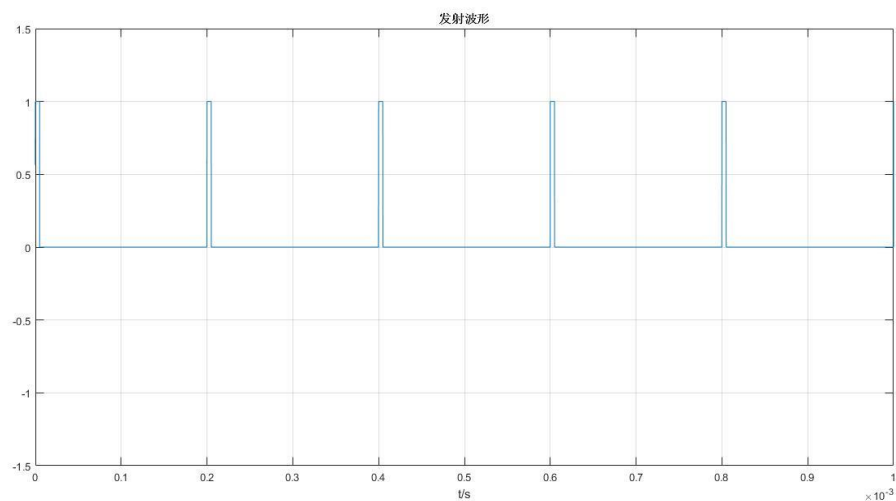


图 5.8 双目标发射波形

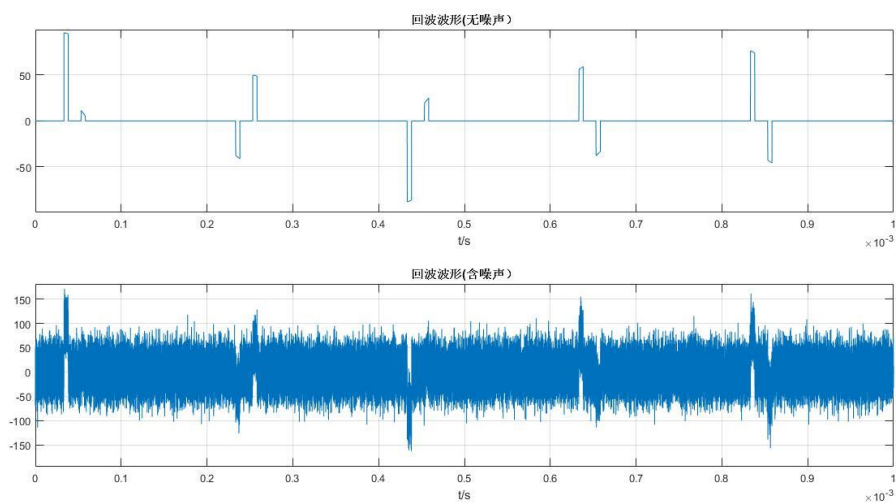


图 5.9 双目标回波波形

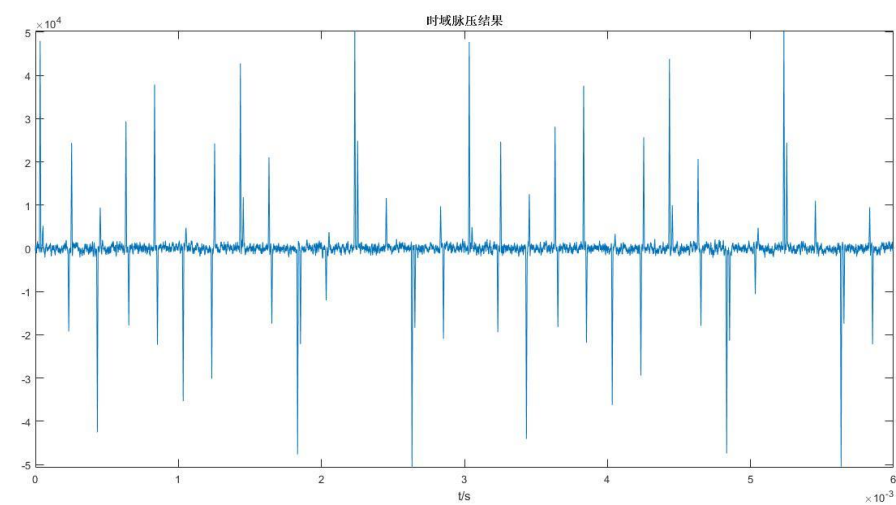


图 5.10 双目标脉压波形

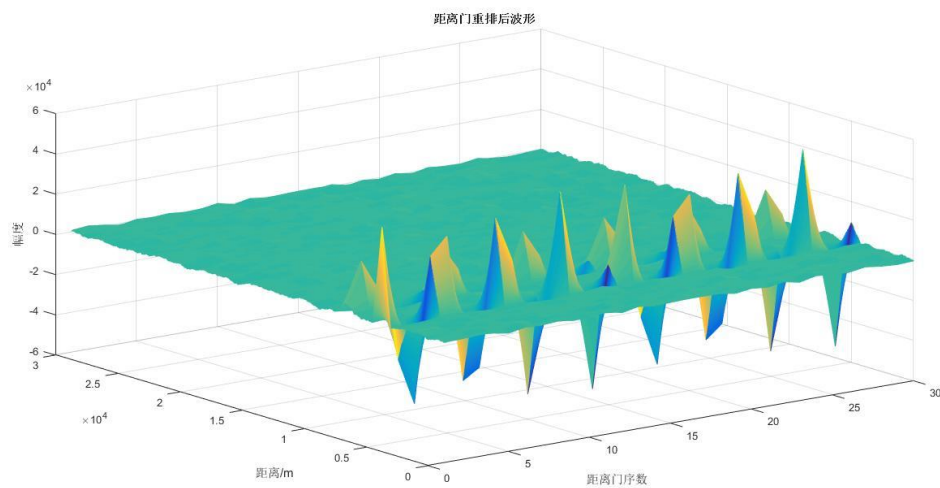


图 5.11 双目标距离门重排波形

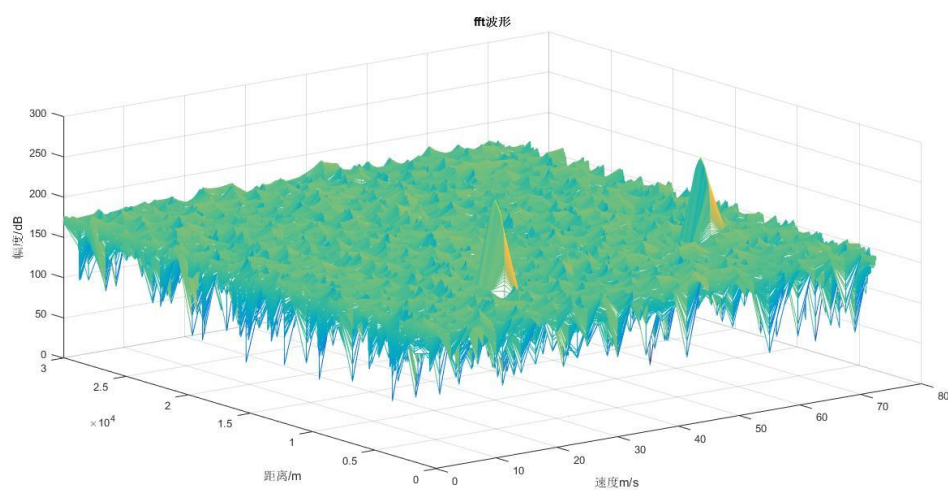


图 5.12 双目标 FFT 后波形

(2) 仿真出大目标旁瓣盖掩盖小目标的情况

当一个信号比另一个信号小太多时，大信号的旁瓣就会淹没小信号。比如当把上述参数中的第二个信号幅度改为 1 时，其 FFT 波形如图 5.13 所示，小信号即消失不见了。

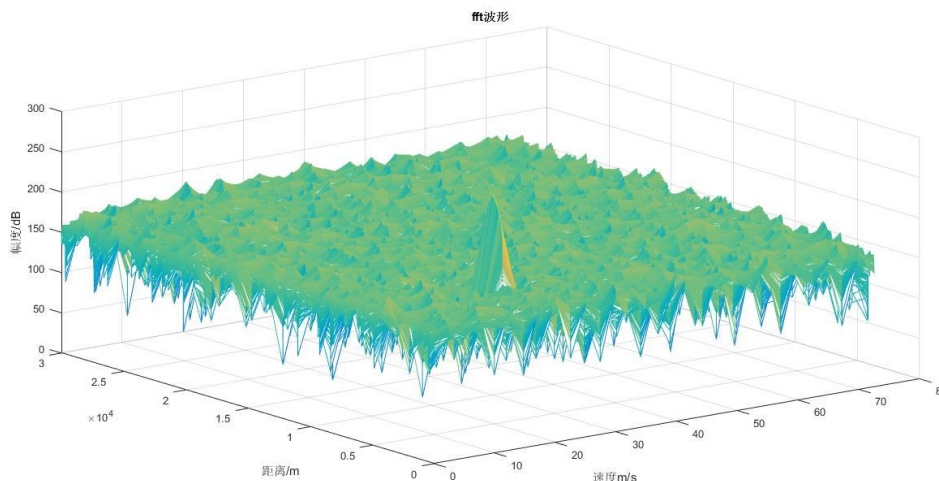


图 5.13 大信号遮盖小信号情况波形图

(3) 仿真出距离分辨和速度分辨的情况

距离分辨和采样点有关，两个点数之间由时间差，这个时间差代表一定的距离，这个距离就是距离分辨率。

速度分辨率则取决于发射波长、采样点数和脉冲宽度。

两者的计算程序为

```
sf = c/2*TimeWidth;
```

```
vf = c/f/(2*PulseNumber*TimeWidth);
```

```
fprintf('距离分辨力为%f 米\n',sf);
```

```
fprintf('速度分辨力为%f 米/秒\n',vf);
```

其参数为上述单目标参数时，其输出结果为

距离分辨力为 750.0000 米

速度分辨力为 2.500000 米/秒

所以当两目标的距离分别为 5000 米和 5800 米，速度分别为 20 米/秒和 20 米/秒，幅度分别为 100 和 100 时，其 FFT 后波形如图 5.12 所示，尖峰放大后如图 5.15 所示，刚好可以分辨两信号。

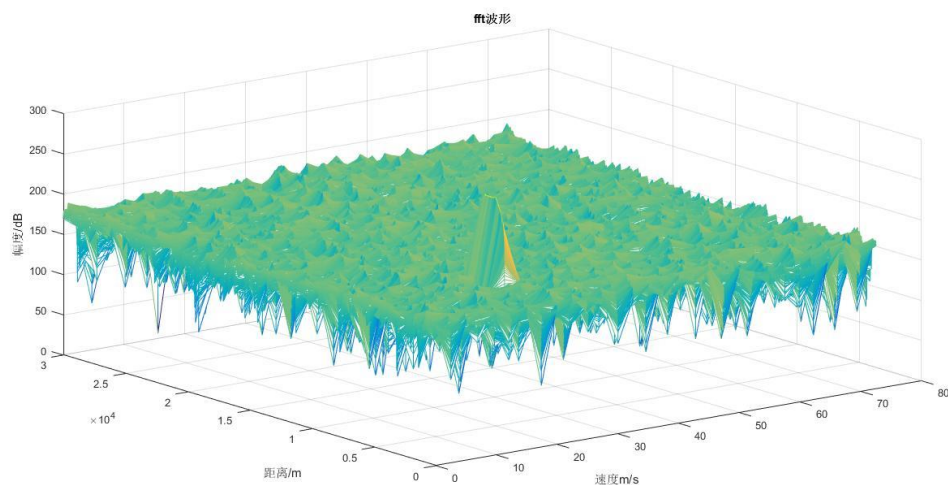


图 5.14 距离分辨 FFT 波形

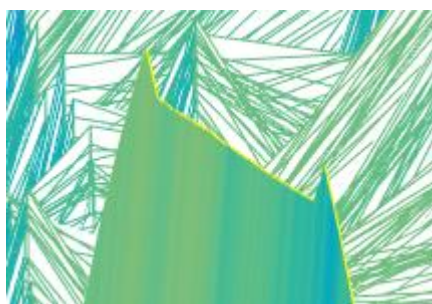


图 5.15 距离分辨尖峰波形

当两目标的距离分别为 5000 米和 5600 米，速度分别为 20 米/秒和 22.5 米/秒，幅度分别为 100 和 100 时，其 FFT 后波形如图 5.16 所示，尖峰放大后如图 5.17 所示，不能分辨两信号。

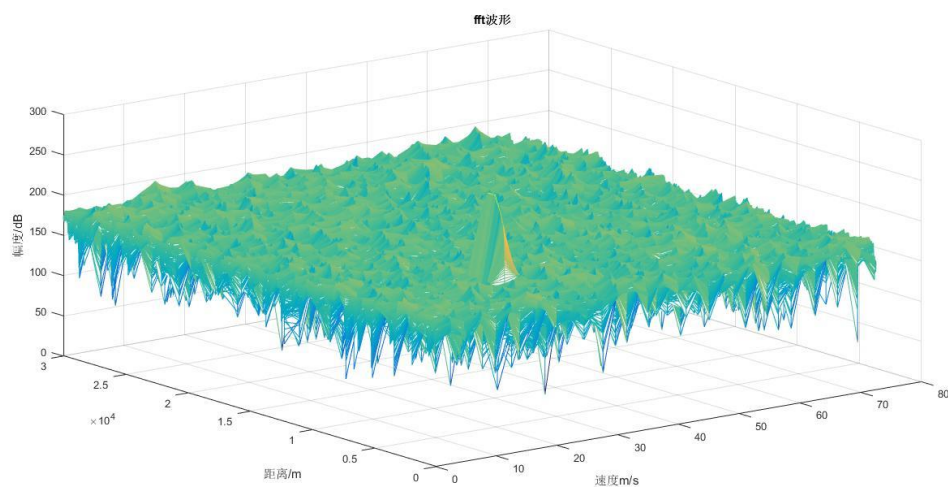


图 5.16 距离不能分辨 FFT 波形



图 5.17 距离不能分辨尖峰波形

当两目标的距离分别为 5000 米和 5000 米，速度分别为 20 米/秒和 24 米/秒，幅度分别为 100 和 100 时，其 FFT 后波形如图 5.18 所示，不能分辨两信号。

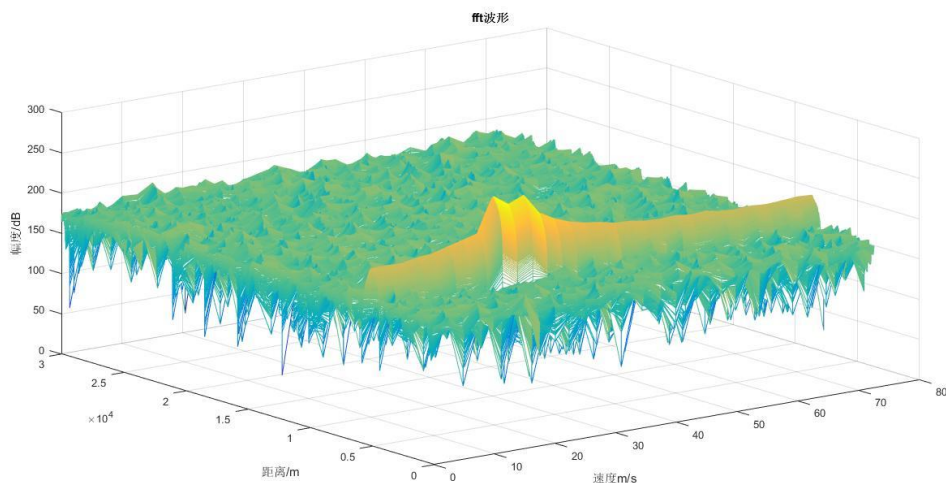


图 5.18 速度分辨 FFT 波形

当两目标的距离分别为 5000 米和 5000 米，速度分别为 20 米/秒和 22 米/秒，幅度分别为 100 和 100 时，其 FFT 后波形如图 5.19 所示，不能分辨两信号。

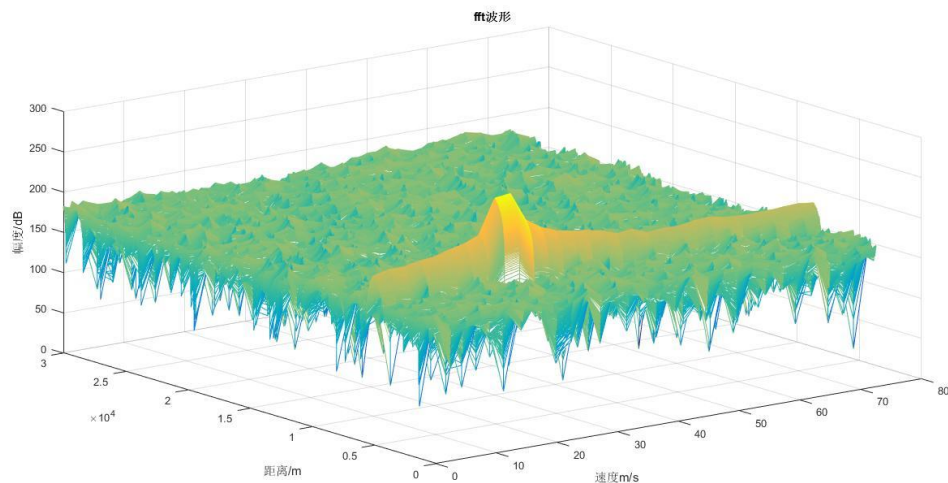


图 5.19 速度不能分辨 FFT 波形

六、 实验心得

本实验不仅让我体会了雷达检测的方法，也让我重温了 MATLAB 编程，感觉受益匪浅。通过该实验，我发现脉压对信号的信噪比没有太大的影响，而 FFT 后可以对信号信噪比有 $10\log N$ 倍的提升。双目标时，小信号可能会被大信号的旁瓣湮灭，速度太接近或者距离太接近的两个信号无法分辨。