



南京理工大学  
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

作 者：顾恒瑞 学 号：913104210118

学 院：电子工程与光电技术学院

专 业：电子信息工程

课 程：信号检测与估计

题 目：伪随机相位编码连续波雷达信号处理

指 导 老 师：顾 红

## 题目：

仿真伪随机相位编码连续波雷达的信号处理。设码频为各学生学号末两位数，单位为 MHz，伪码周期内码长为 127，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。

## 参数指标：

码频：18MHz

码长：127

载频：10Ghz

相干积累周期个数：1024

## 一、单目标

回波视频表达式：

$$s(t) = Ac(t - \tau)e^{j2\pi f_d t}$$

式中 A 是回波幅度， $\tau$  是延时， $f_d$  是多普勒频率， $c(t)$  是伪随机码

脉压后表达式：

$$s_m(t) = s(t) \otimes h(t)$$

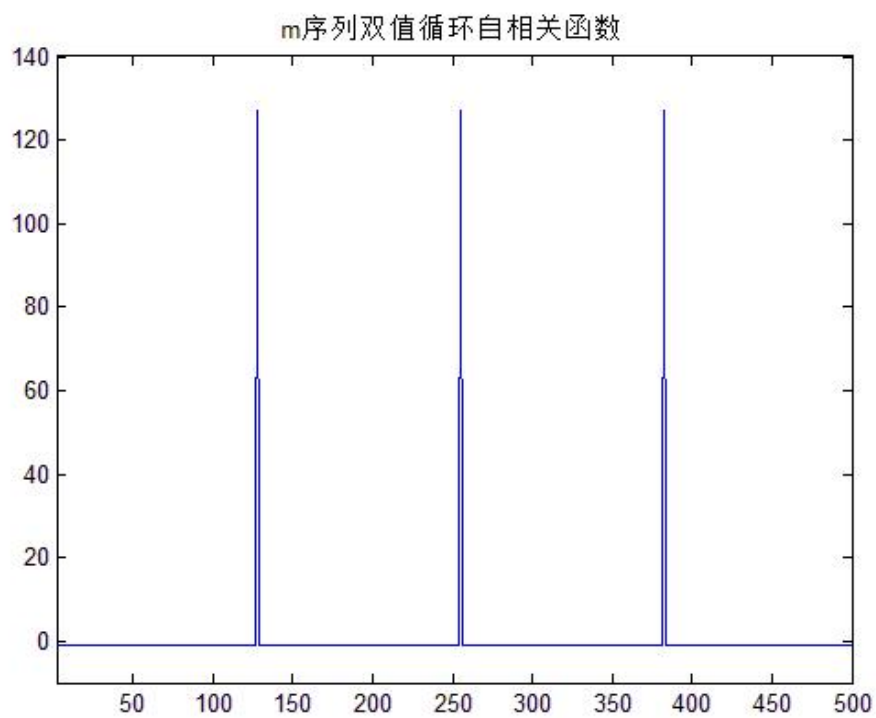
式中  $h(t)$  是匹配滤波器冲激响应

FFT 后表达式:

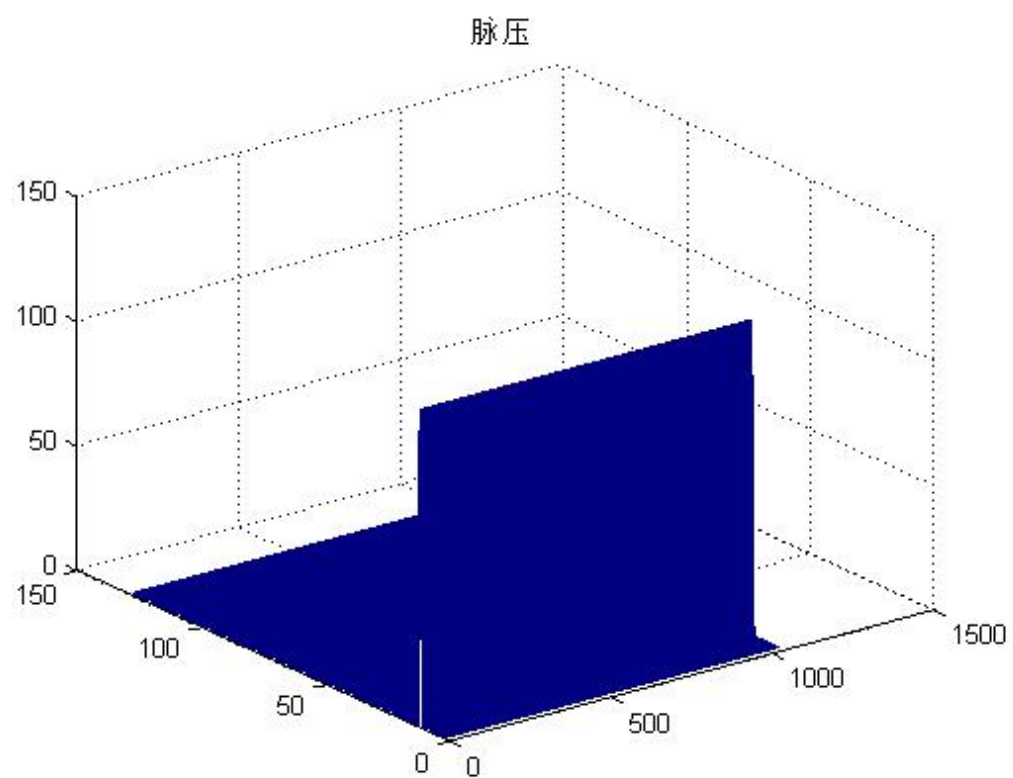
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-jk\frac{2\pi}{N}n}$$

式中 N 是 FFT 点数

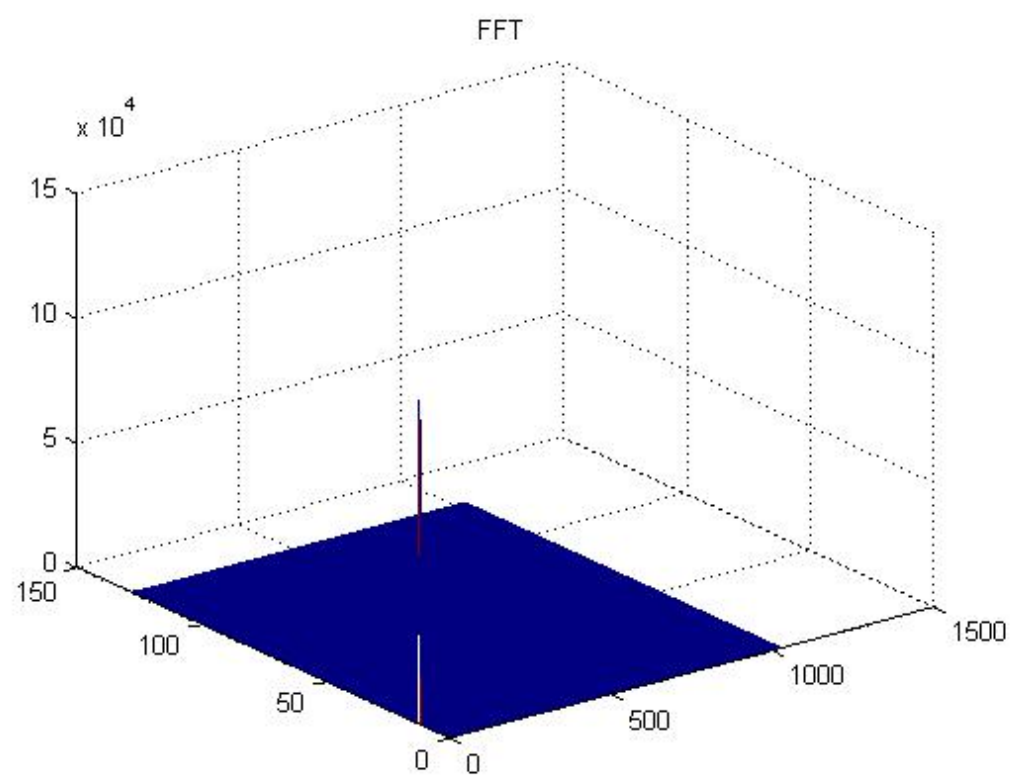
m 序列的双值电平循环自相关函数:



脉压后输出图形：



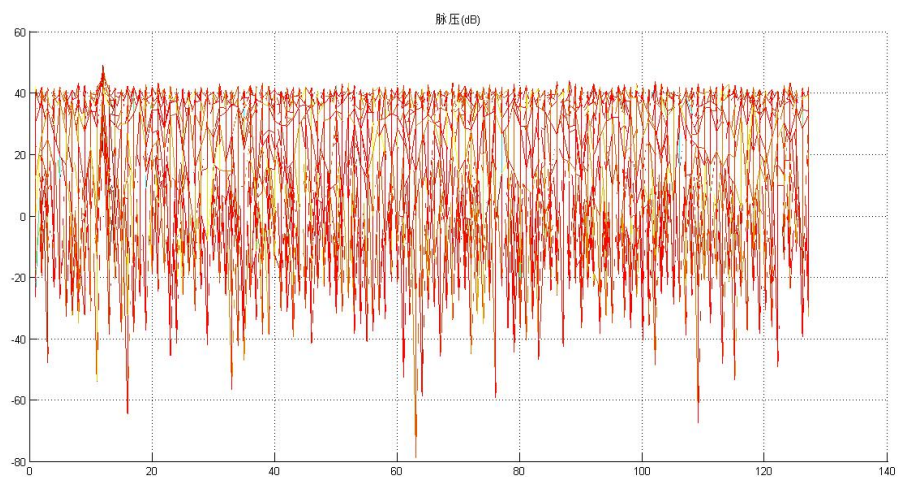
FFT 后输出图形：



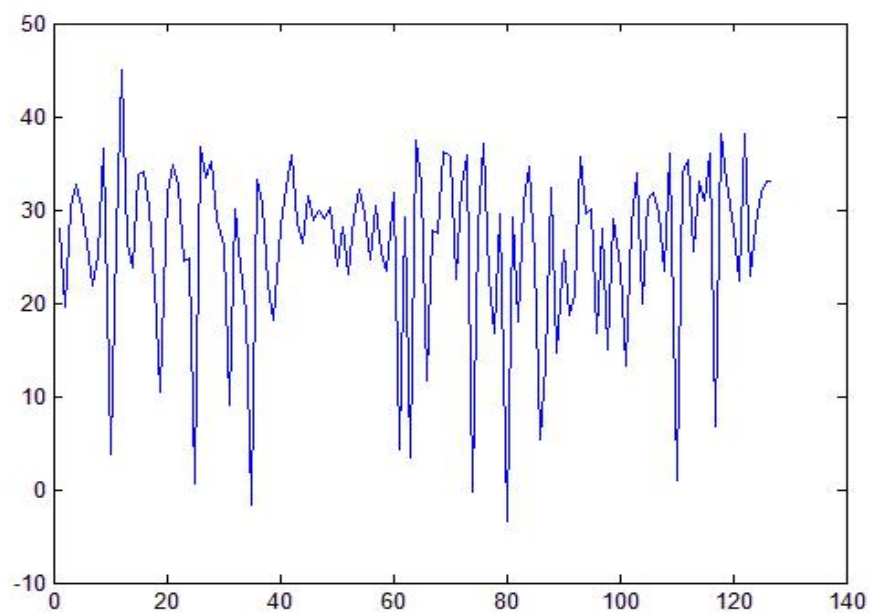
## (1) 脉压增益

输入信噪比: **-10dB**

脉压后输出图形:

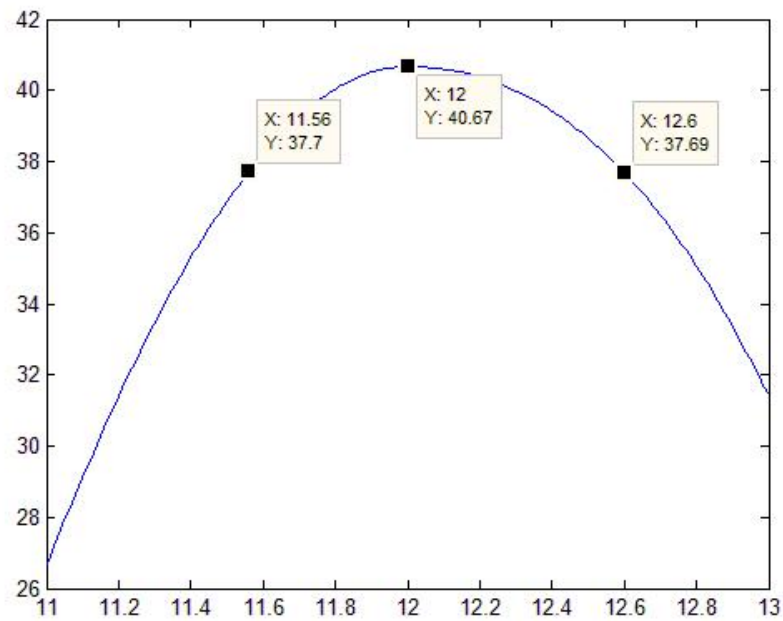


取一组曲线:



输出信噪比约为 10dB，则脉压增益约为 20dB

脉压后时宽：



插值处理后，脉压后时宽约为一个码元宽度；  
而脉压后带宽不变。

脉压后时宽：  $\tau = \frac{1}{f_m} = 5.56 \times 10^{-8} s$

相位编码信号时宽：  $T = p \times \frac{1}{f_m}$

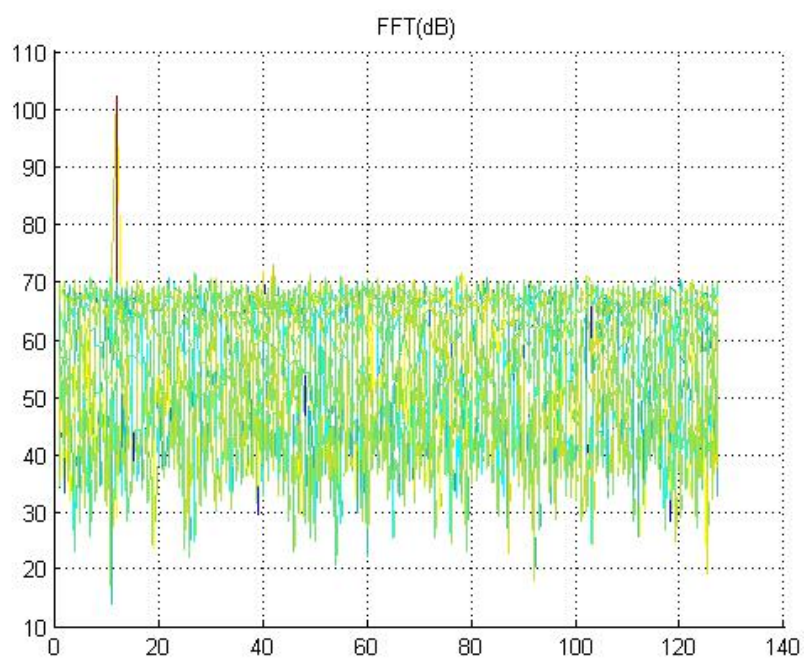
相位编码信号带宽：  $B = f_m$

相位编码信号时宽带宽积：  $D = p \times \frac{1}{f_m} \times f_m = p$

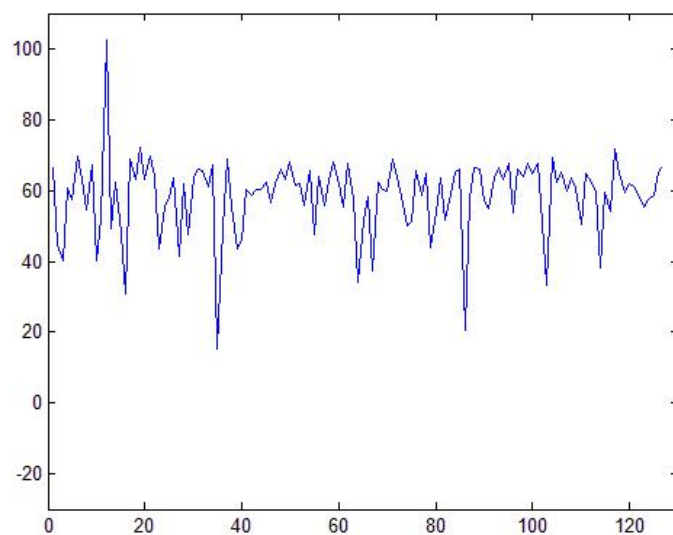
脉压增益=时宽带宽积=输入输出时宽比

## (2) FFT 增益

FFT 后的输出图形:

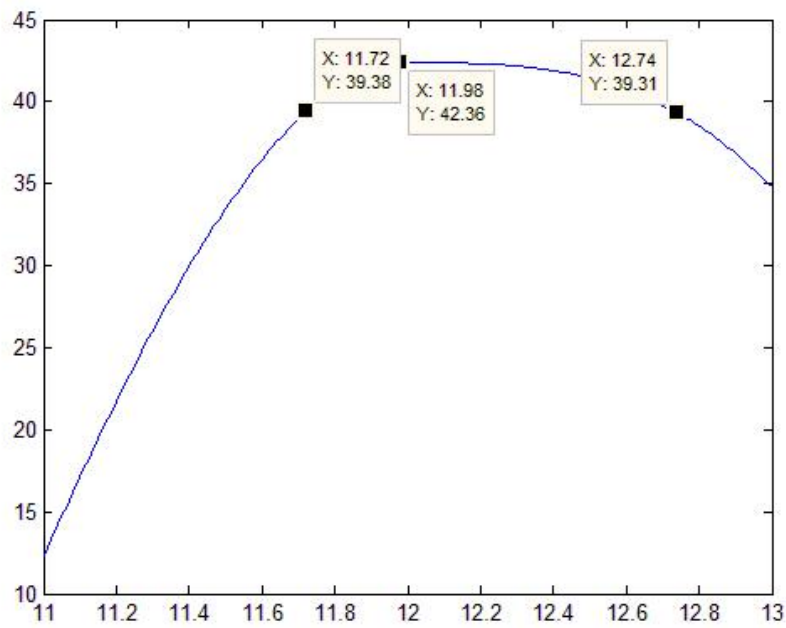


取一组曲线:



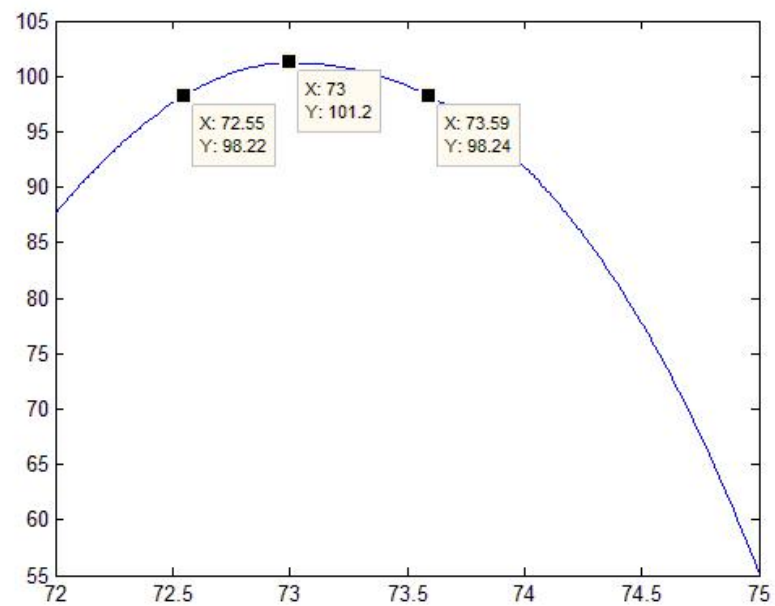
输出信噪比约为 40dB, 则 FFT 的增益约为 30dB

FFT 后时宽:



FFT 时宽不变，仍为一个码元宽度

FFT 后带宽:



FFT 后带宽:

$$B = (73.59 - 72.55) \times \frac{f_m}{127 \times N} = 143.95 \text{ Hz}$$



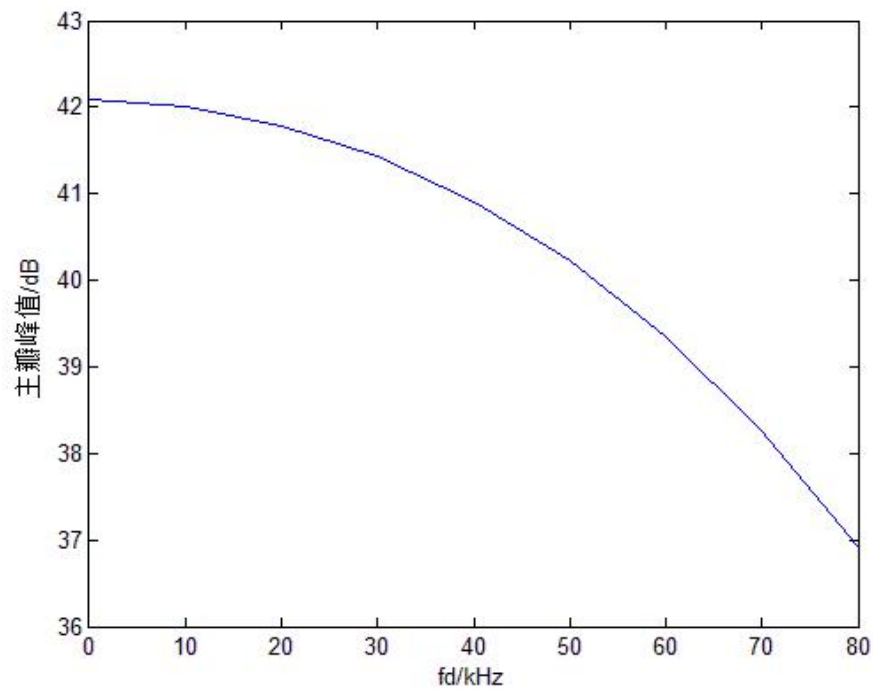
FFT 后带宽理论值：

$$B=\frac{f_m}{127\times N}=138.41Hz$$

FFT 增益=FFT 点数

(3) 多普勒敏感

fd/kHz	0	10	20	30	40	50	60	70	80
主瓣峰值/dB	42.08	42	41.79	41.43	40.91	40.22	39.35	38.26	36.92



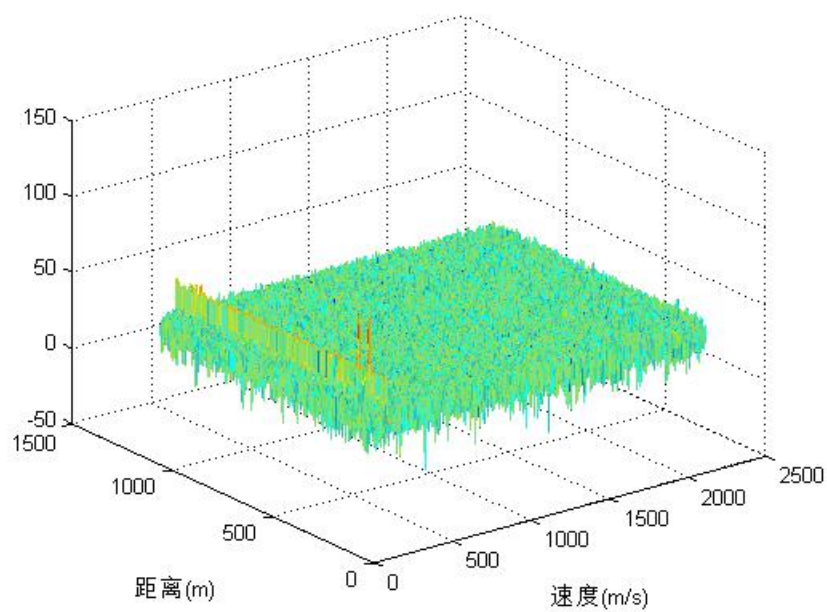
多普勒容限：

$$(f_d)_{\max}=\frac{f_m}{127\times 2}=70.87kHz$$

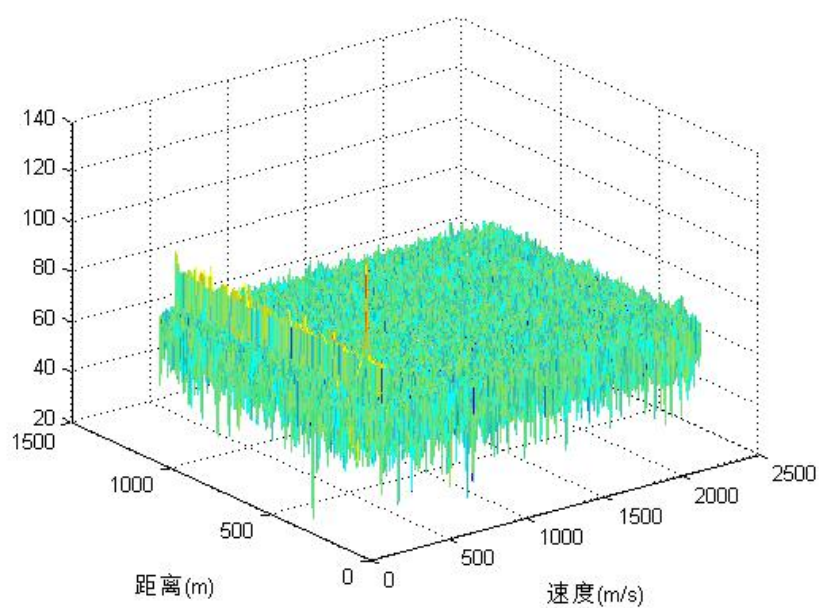
## 二、双目标

### (1) 大目标掩盖小目标

目标 1 的速度是 100m/s, 距离是 100m, 幅度是 1; 目标 2 的速度是 100m/s, 距离是 150m, 幅度是 2 ; 没有掩盖。



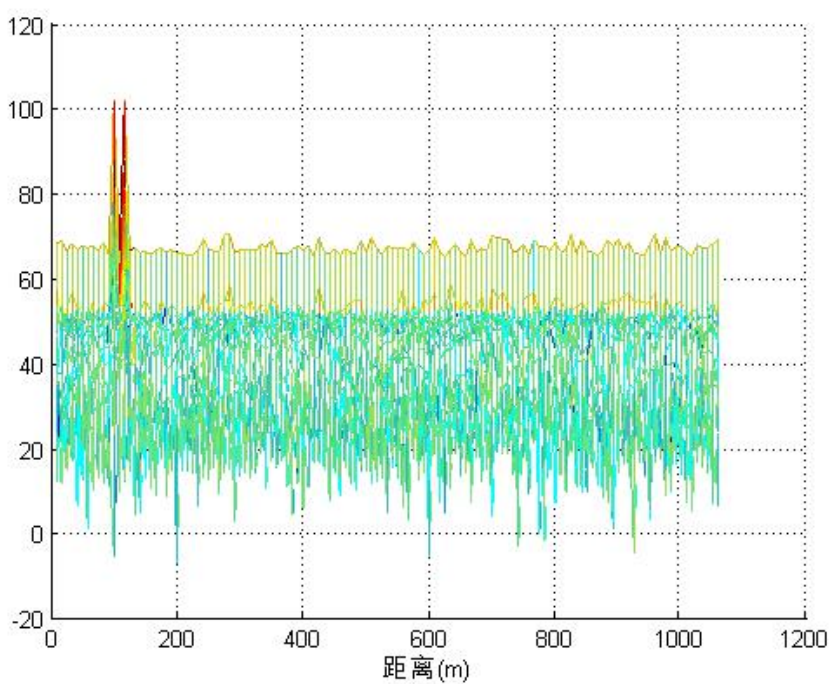
目标 1 的速度是 100m/s, 距离是 100m, 幅度是 20; 目标 2 的速度是 100m/s, 距离是 150m, 幅度是 2 ; 目标 1 掩盖目标 2。



## (2) 距离分辨

$$r_{\min} = \frac{c \times t}{2} = \frac{c}{2 \times f_m} = 8.33m$$

目标 1 的速度是 100m/s, 距离是 100m, 幅度是 1; 目标 2 的速度是 100m/s, 距离是 120m, 幅度是 1。距离上可以分辨。



最大测量距离

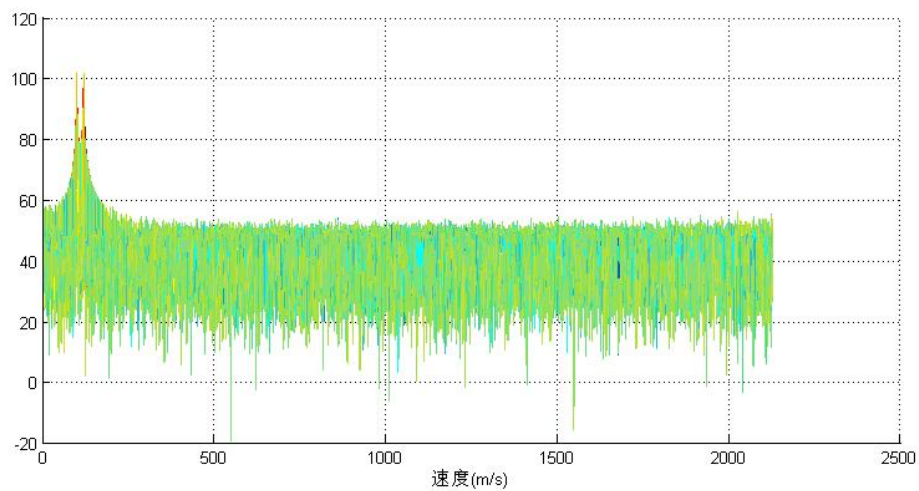
$$r_{\max} = \frac{c \times T}{2} = \frac{127 \times c}{2 \times f_m} = 1058m$$

当测量距离大于 1058m 时会产生距离模糊。

### (3) 速度分辨

$$v_{\min} = \frac{f_d \times c}{2 \times f_c} = \frac{1}{N \times T} \times \frac{c}{2 \times f_c} = 2.08m/s$$

目标 1 的速度是 100m/s, 距离是 100m, 幅度是 1; 目标 2 的速度是 120m/s, 距离是 100m, 幅度是 1 ; 速度上可以分辨。



## 附录：matlab 程序

### m 序列产生函数：

```
function[mseq]=m_sequence(fbconnection)
n=length(fbconnection);
N=2^n-1;
register=zeros(1,n-1) 1];
mseq(1)=register(n);
for i=2:N
newregister(1)=mod(sum(fbconnection.*register),2);
for j=2:n
newregister(j)=register(j-1);
end;
register=newregister;
mseq(i)=register(n);
end
```

### 一、单目标

```
clc;
clear;
close all;

fm=18e6;%码频
fc=10e9;%载频
tr=10e-3;%相干积累总时宽
T=1/fm*127; %周期
fs=fm/127;
N=1024;%相干积累时间小于 10ms
c=3e8;%光速
vd=100;%目标速度
snr=-10;%信噪比
r=100;%距离
delay=round(2*r*fm/c);%延迟的码元数
fd=10000;%多普勒频率
A=1;%回波幅度

m_127=m_sequence([1 0 1 0 1 0 1]);
m=2*m_127-1;%生成 m 序列

m_t = zeros(1,127);
m_t(1:delay) = m(127-delay+1:127);
m_t(delay+1:127) = m(1:127-delay);%延迟后的回波
```

```

m_1= repmat(m,1,5);
for i=1:500
    m_z(i)=sum(m*m_1(i:i+126)');
end
figure;plot(m_z);
axis([2 500 -10 140]);%m 序列双值循环自相关函数
title('m 序列双值循环自相关函数');

sr= repmat(m_t,1,N+1);
jj=1:127*(N+1);
dpl=A*exp(j*2*pi*fd/fm*jj); %以 fm 归一化多普勒频率
srr=sr.*dpl;%包含多普勒信息的回波
srr=awgn(srr,snr,'measured');%回波添加高斯白噪声

mf=fliplr(m);%匹配滤波器
st=conv(mf,srr);%脉压
for q=2:N
    for h=1:127
        sf(h,q)=st((q-1)*127+h);
    end
end
sf(h,1)=sf(h,2);%重排距离门
figure;mesh(1:N,1:127,abs(sf));title('脉压');
figure;mesh(1:N,1:127,20*log10(abs(sf)));title('脉压(dB)');

for h=1:127
    fft1(h,:)=abs(fft(sf(h,:))); %FFT
end
figure;mesh(1:N,1:127,fft1); title('FFT');
figure;mesh(1:N,1:127,20*log10(fft1)); title('FFT(dB)');

```

## 二、双目标

```

clc;
clear;
close all;

fm=18e6;%码频
fc=10e9;%载频
tr=10e-3;%相干积累总时宽
T=1/fm*127; %周期
fs=30e9;%采样频率
N=1024;%相干积累时间小于 10ms
c=3e8;%光速

```

```

vd1=100;%目标 1 速度
vd2=120;%目标 2 速度
snr1=10;%目标 1 信噪比
snr2=10;%目标 2 信噪比
r1=100;%目标 1 距离
r2=100;%目标 2 距离
delay1=round(2*r1*fm/c);%目标 1 延迟的码元数
delay2=round(2*r2*fm/c);%目标 2 延迟的码元数
fd1=2*vd1*fc/c;%目标 1 多普勒频率
fd2=2*vd2*fc/c;%目标 2 多普勒频率
A1=1;%目标 1 回波幅度
A2=1;%目标 2 回波振幅

m_127=m_sequence([1 0 1 0 1 0 1]);
m=exp(j*pi*m_127);%生成 m 序列

m_t1 = zeros(1,127);
m_t1(1:delay1) = m(127-delay1+1:127);
m_t1(delay1+1:127) = m(1:127-delay1);%目标 1 延迟后的回波
m_t2 = zeros(1,127);
m_t2(1:delay2) = m(127-delay2+1:127);
m_t2(delay2+1:127) = m(1:127-delay2);%目标 2 延迟后的回波

sr1= repmat(m_t1,1,N);
j1=1:127*N;
dpl1=A1*exp(2*j*pi*fd1/fm*j1);
srr1=sr1.*dpl1;%目标 1 包含多普勒信息的回波
srr1=awgn(srr1,snr1,'measured');%目标 1 回波添加高斯白噪声
sr2= repmat(m_t2,1,N);
j2=1:127*N;
dpl2=A2*exp(2*j*pi*fd2/fm*j2);
srr2=sr2.*dpl2;%包含多普勒信息的回波
srr2=awgn(srr2,snr2,'measured');%回波添加高斯白噪声

mf=flipplr(m);%匹配滤波器
srr3=srr1+srr2;
st=conv(mf,srr3);%脉压

for q=1:N
    for h=1:127
        sf(h,q)=st((q-1)*127+h);
    end
end
%重排距离门

```

```
for h=1:127
    fft1(h,:)=abs(fft(sf(h,:))); %FFT
end

i1 = 1:N;
i2 = 1:127;
Speed = (i1-1)*fm*c/127/N/2/fc;
Distance = i2*c/fm/2;
figure;
mesh(Speed,Distance,20*log10(fft1))
xlabel('速度(m/s)');ylabel('距离(m)');
```