
大斜视角（ 21.9° ）
采用方式 2 实现 SRC
RDA 点目标仿真
报告

WD

2014.10.10

说明:

1. 目前达到的结果:

- a) 原始数据生成时, 方位向只考虑一个合成孔径长度限制。这种情况下, 成像结果的方位向切片: **PSLR**, **ISLR** 都基本达到了理论值;
- b) 原始数据生成时, 方位向用天线双程方向图加权, 我同时还利用合成孔径长度进行长度限制。我从《合成孔径雷达成像——算法与实现》书上 137 页, 图 5.16 计算得到了一个数值: 1.135 个合成孔径长度。因此, 我在采用天线双程方向图加权时, 同时再加上一个 1.135 个合成孔径长度的矩形窗 (作数据长度限制)。这种情况下, 基本得到了 **PSLR**, **ISLR** 在理论上的指标
- c) 距离压缩时, 其距离匹配滤波器加窗或者不加窗, 其成像结果的距离向切片: **PSLR**, **ISLR** 都基本达到了理论值;
- d) 对于 **IRW** 的计算有了改进: 原来求找峰值以下 3dB 点处的坐标, 采用的是临近取整的方法, 这不准确。现在采用了线性插值的方法, 由最靠近 3dB 值的两个整数点坐标求得我们需要的 3dB 宽度;
- e) 方位向频率轴设置——这是最关键的地方之一。以前的报告已经写出了这部分的改进: 目前能够基本正确的进行方位向的处理: **RCMC** 和方位 **MF**;
- f) 考虑了成像点目标方位轴和距离轴的旋转: 先利用 Matlab 的函数 `imrotate()` 对距离向切片和方位向切片进行了旋转, 然后再求得其指标;
- g) 设计的不同点目标, 其相对位置能够计算, 并且正确;
- h) 采用原来的方法对点目标切片进行二维升采样时, 在大斜视角下的结果有问题: 问题来源于, 补零时没有真正在频谱间隙处补零。原因是原来的二维升采样, 先行后列, 逐个判断最小值处并补零。这有问题。采取的改进方式是: 更改先后顺序, 采取先列后行, 逐个判断最小值处并补零。得到了理想的结果。

2. 还存在的问题:

- a) 原始数据生成时, 方位向加权问题。如果采用天线双程方向图加权, 到底应该怎么样加? 如果用合成孔径长度限制, 应该选多长? 理论依据是什么? 目前我还不知道。
- b) 由于旋转中用了函数 `imrotate`, 该函数具体的操作不清楚 (比如是否进行了插值), 所以距离向、方位向切片的 **IRW** 计算结果都不正确——该问题没有解决。
- c) 某一个点目标的绝对位置还无法计算得到。

1. 程序说明：

%%%

% RDA 成像——点目标仿真

% 大斜视角

% SRC 方式 2

% 在二维频域采用相位相乘

%%%

% 截止到 2014.10.10. 10:37 a.m.

% 2014.10.09. 修改：计算 IRW 指标时，采用修改后的函数：zhibiao_2()

% 2014.10.09. 修改：对取出的成像切片进行二维升采样时，原来是先逐行判断最小值处，

% 然后补零；再逐列判断最小值处，并补零。

% ——这会带来一些问题

% 于是采取的方法是：修改上面的先后顺序，先对每列补零，再对

% 每行补零。

% ——这样修改后的二维升采样，效果便很理想。

% ——对函数 target_analysis_2() 进行修改

%

% 2014.10.10. 修改：对天线双程方向图的修改。我认为，其方向图的长度不应该任由

% 它随着 Naz 的大小而变，也应该用一个矩形窗（比如合成孔径长度）

% 加以限制。我原来试过 1 个合成孔径长度，但是这样的结果，其 PSRL

% 稍大概在 17,18dB。因此，我现在用书上图 5.16（137 页）进行计算，

% 取 1.135 个合成孔径长度。

% ——也就是说，生成天线双程方向图的方法不变。但是加上一个

% 1.135 个合成孔径长度的矩形窗，对数据进行限制。

%

% 还存在的问题：

% 1. 计算 IRW 之前，由于使用了函数 imrotate 对切片进行旋转，使得距离向或方位向

% 转到水平轴或者垂直轴。这过程当中可能会涉及到插值，所以直接利用点数计算

% IRW 不正确。

% —— 由于不知道函数 imrotate 具体怎么操作的, 所以在这种情况下计算

% IRW 不好办。最好的方法是自己写一个转角的程序, 但是工作量比较大

% 我现在暂时不考虑这个问题了。

% 2. 绝位置的计算

% ——始终没有解决

2. 参数定义:

R_nc = 20e3; % 景中心斜距
Vr = 150; % 雷达有效速度
Tr = 2.5e-6; % 发射脉冲时宽
Kr = 20e12; % 距离调频率
f0 = 5.3e9; % 雷达工作频率
BW_dop = 80; % 多普勒带宽
Fr = 60e6; % 距离采样率
Fa = 200; % 方位采样率
Naz = 1024; % 距离线数 (即数据矩阵, 行数)
Nrg = 5*320; % 距离线采样点数 (即数据矩阵, 列数)
% ——这里的 Nrg 设计的足够大, 使得原始数据能够被完整包括。
sita_r_c = (21.9*pi)/180;
% 波束斜视角, 21.9 度, 这里转换为弧度——大斜视角下
c = 3e8; % 光速

R0 = R_nc*cos(sita_r_c); % 与 R_nc 相对应的最近斜距, 记为 R0
Nr = Tr*Fr; % 线性调频信号采样点数
BW_range = Kr*Tr; % 距离向带宽
lamda = c/f0; % 波长
fnc = 2*Vr*sin(sita_r_c)/lamda; % 多普勒中心频率, 根据公式 (4.33) 计算。
La_real = 0.886*2*Vr*cos(sita_r_c)/BW_dop; % 方位向天线长度, 根据公式 (4.36)
beta_bw = 0.886*lamda/La_real; % 雷达 3dB 波束
La = 0.886*R_nc*lamda/La_real; % 合成孔径长度
a_sr = Fr / BW_range; % 距离向过采样因子
a_sa = Fa / BW_dop; % 方位向过采样因子

Mamb = round(fnc/Fa); % 多普勒模糊

NFFT_r = Nrg; % 距离向 FFT 长度
NFFT_a = Naz; % 方位向 FFT 长度

3. 三个点目标的位置设定:

```
% -----  
% 设定仿真点目标的位置  
% 以距离向作为 x 轴正方向  
% 以方位向作为 y 轴正方向  
% -----  
delta_R0 = 0;          % 将目标 1 的波束中心穿越时刻, 定义为方位向时间零点。  
delta_R1 = 120;        % 目标 1 和目标 2 的方位向距离差, 120m  
delta_R2 = 50;         % 目标 2 和目标 3 的距离向距离差, 50m  
  
% 目标 1  
x1 = R0;              % 目标 1 的距离向距离  
y1 = delta_R0 + x1*tan(sita_r_c); % 目标 1 的方位向距离  
  
% 目标 2  
x2 = x1;              % 目标 2 和目标 1 的距离向距离相同  
y2 = y1 + delta_R1;   % 目标 2 的方位向距离  
% 目标 3  
x3 = x2 + delta_R2;   % 目标 3 和目标 2 有距离向的距离差, 为 delta_R2  
y3 = y2 + delta_R2*tan(sita_r_c); % 目标 3 的方位向距离  
% 定义以下数组, 便于处理  
x_range = [x1,x2,x3];  
y_azimuth = [y1,y2,y3];  
  
% 计算三个目标各自的波束中心穿越时刻  
nc_1 = (y1-x1*tan(sita_r_c))/Vr; % 目标 1 的波束中心穿越时刻。  
nc_2 = (y2-x2*tan(sita_r_c))/Vr; % 目标 2 的波束中心穿越时刻。  
nc_3 = (y3-x3*tan(sita_r_c))/Vr; % 目标 3 的波束中心穿越时刻。  
nc_target = [nc_1,nc_2,nc_3]; % 定义该数组, 便于处理。
```

4. 距离（方位）向时间, 频率相关定义

```
% 距离  
tr = 2*R0/c + (-Nrg/2 : (Nrg/2-1))/Fr; % 距离时间轴  
fr = (-NFFT_r/2 : NFFT_r/2-1)*(Fr/NFFT_r); % 距离频率轴  
% 方位  
ta = (-Naz/2 : Naz/2-1)/Fa; % 方位时间轴  
fa = fnc + fftshift(-NFFT_a/2 : NFFT_a/2-1)*(Fa/NFFT_a); % 方位频率轴  
  
% 生成距离（方位）时间（频率）矩阵  
tr_mtx = ones(Naz,1)*tr; % 距离时间轴矩阵, 大小: Naz*Nrg  
ta_mtx = ta.'*ones(1,Nrg); % 方位时间轴矩阵, 大小: Naz*Nrg
```

5. 仿真结果

1) 情况 1:

- 原始数据生成: 方位向只考虑一个合成孔径长度限制;
- 距离脉冲压缩不加窗;
- 距离脉压结果, 去除弃置区;

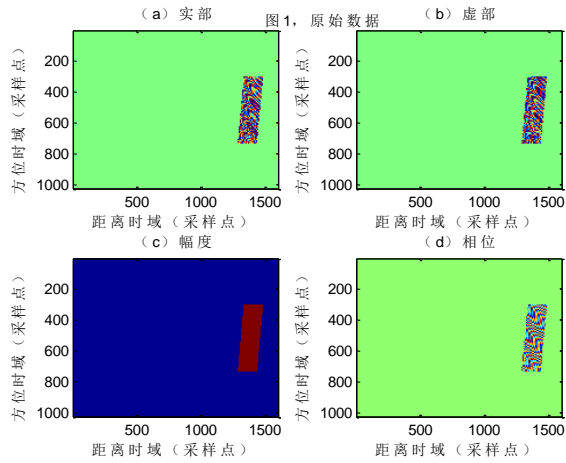


图 1 原始数据

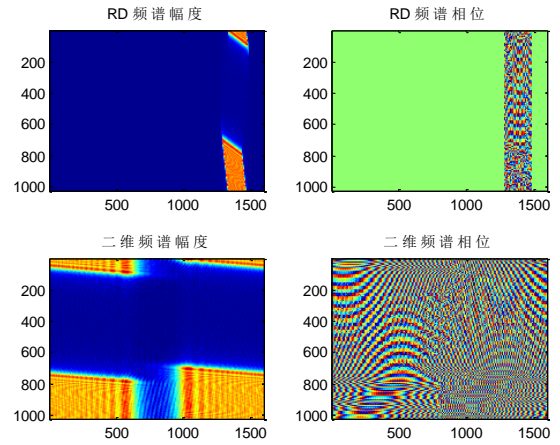


图 2 RD 域频谱及二维频域频谱

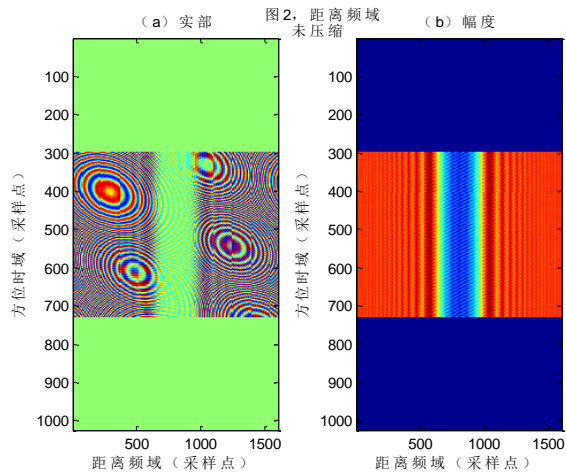


图 3 距离频域, 未压缩

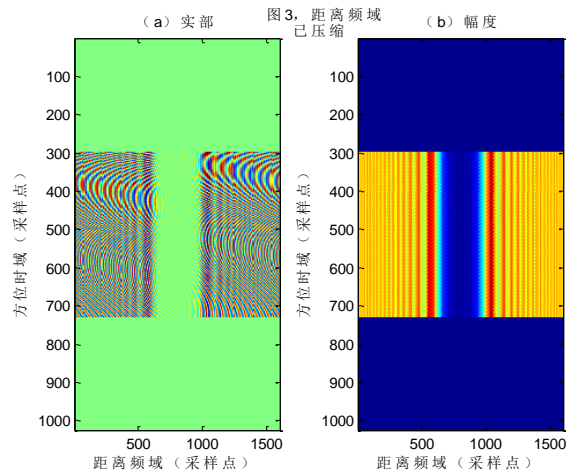


图 4 距离频域, 已压缩

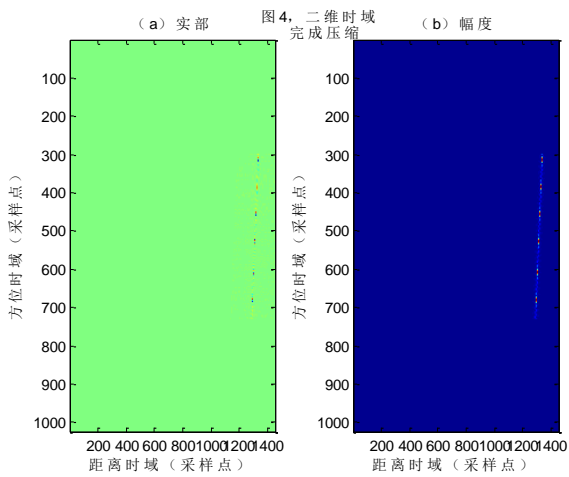


图 5 (a) 二维时域, 完成压缩

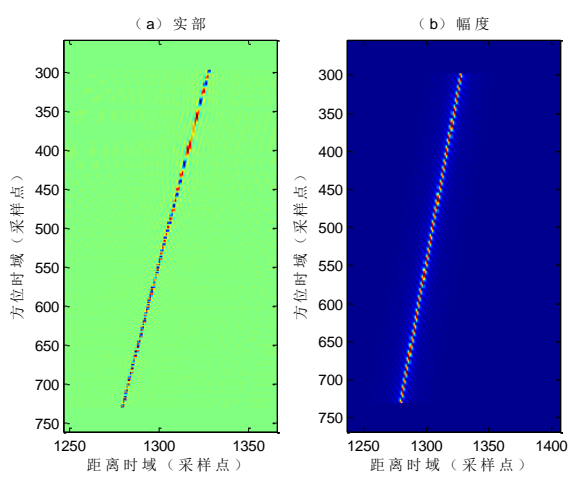


图 5 (b) 二维时域, 完成压缩 (局部放大)

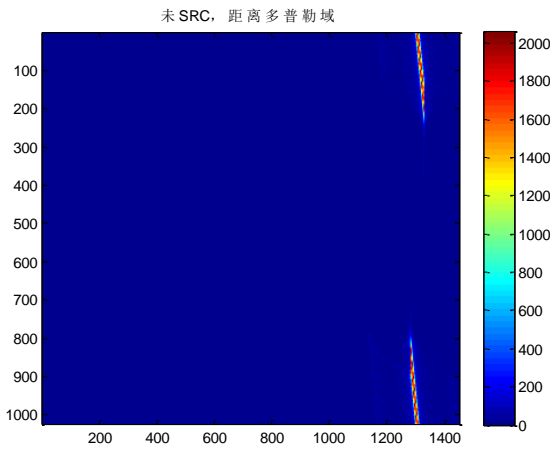


图 6 (a) 未 SRC, 距离多普勒域

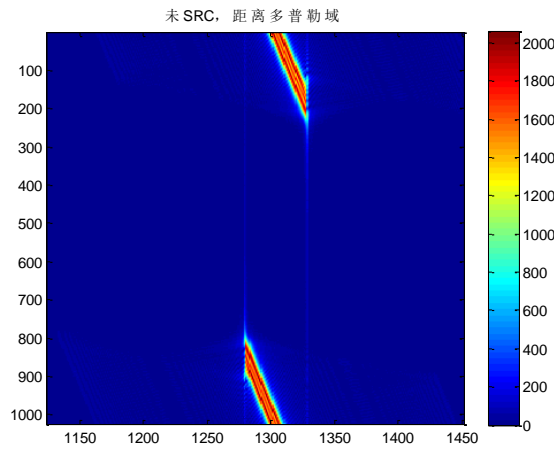


图 6 (b) 未 SRC, 距离多普勒域 (局部放大)

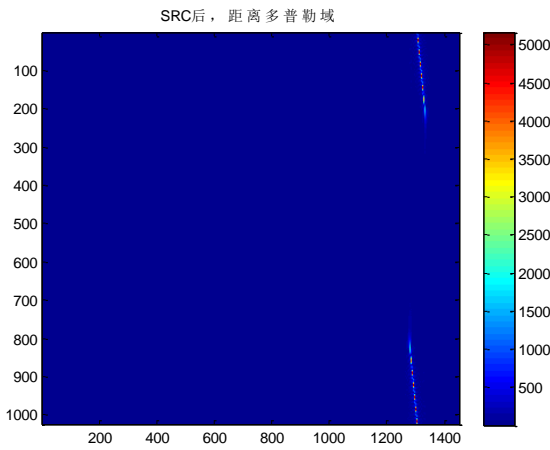


图 7 (a) SRC 后, 距离多普勒域

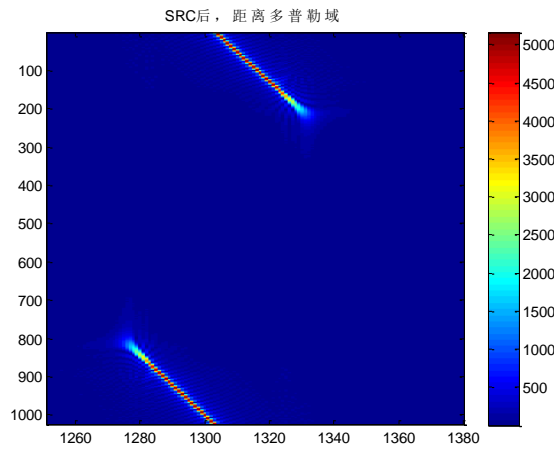


图 7 (b) SRC 后, 距离多普勒域 (局部放大)

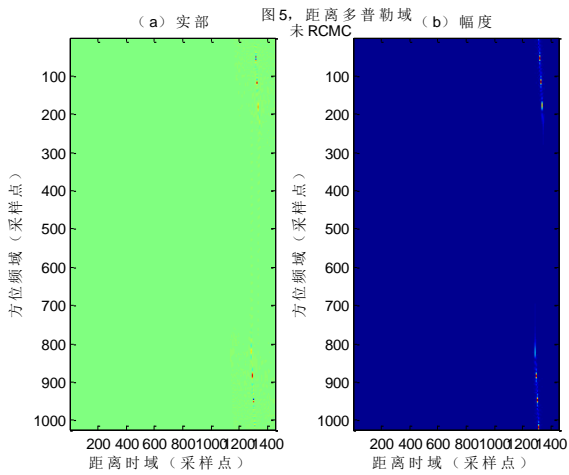


图 8 距离多普勒域, 未 RCMC

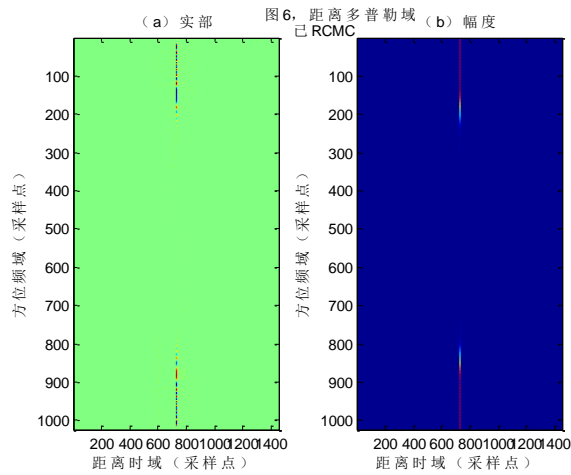


图 9 距离多普勒域, 已 RCMC

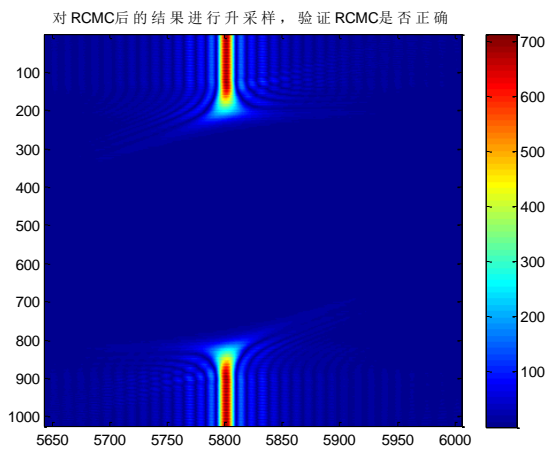


图 10 对 RCMC 后的结果进行升采样, 验证 RCMC 是否正确 (局部放大)

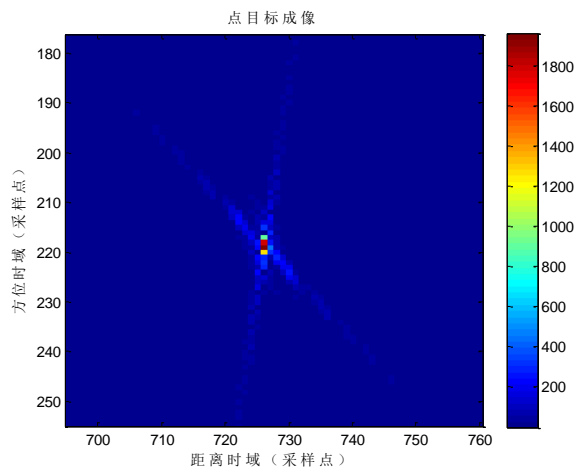


图 11 点目标成像 (局部放大)

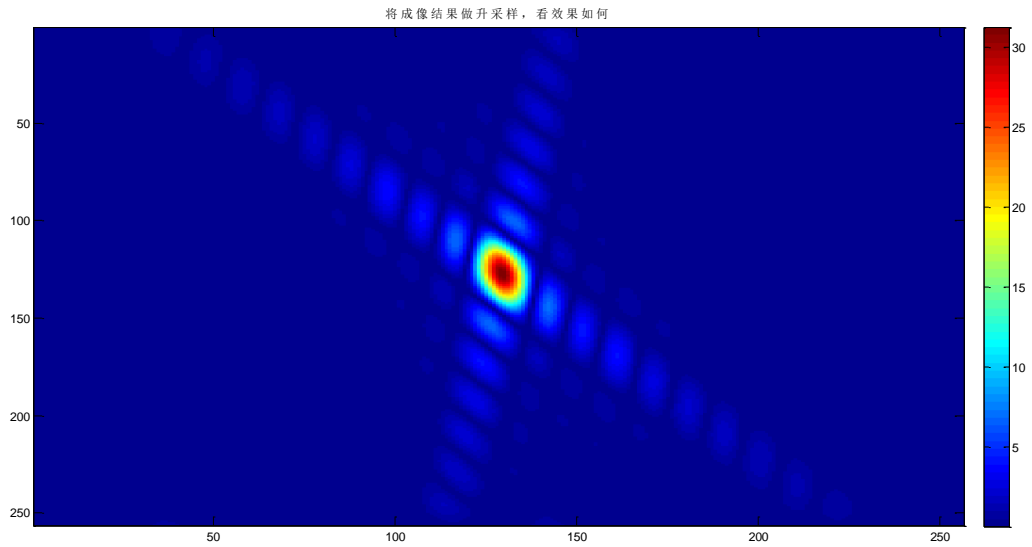


图 12 二维升采样

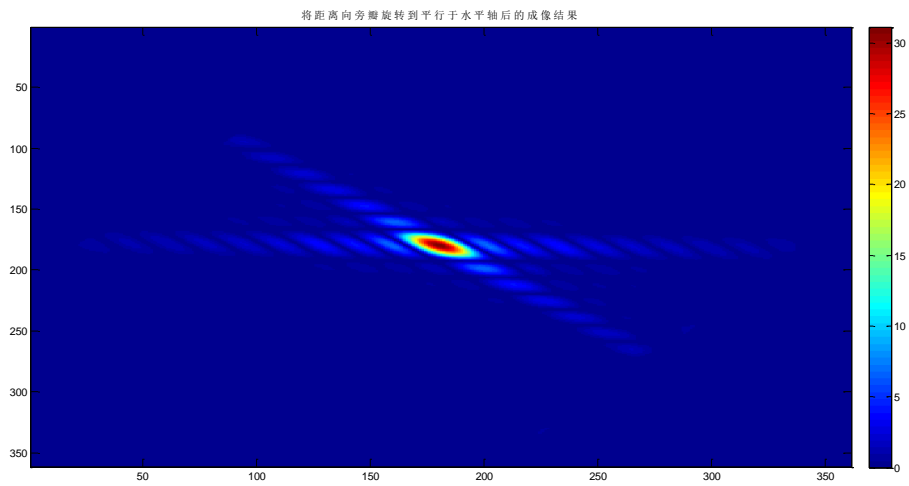


图 13 (a) 以距离向为标准，旋转

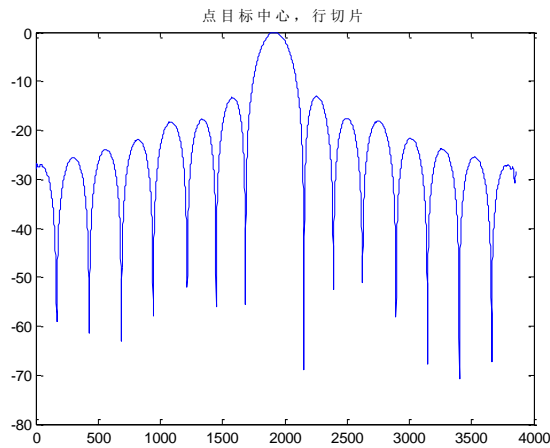


图 13 (b) 取出距离向切片

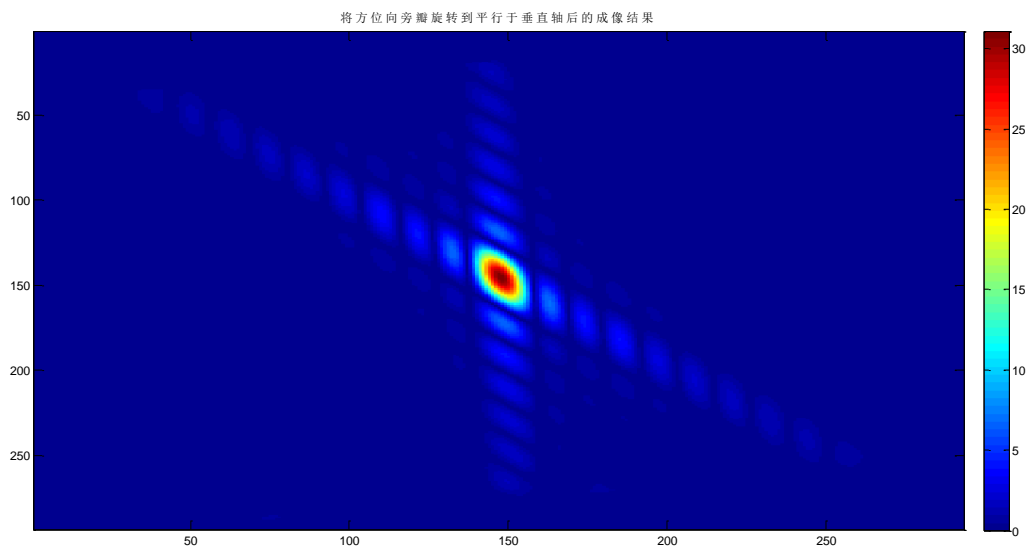


图 14 (a) 以方位向为标准, 旋转

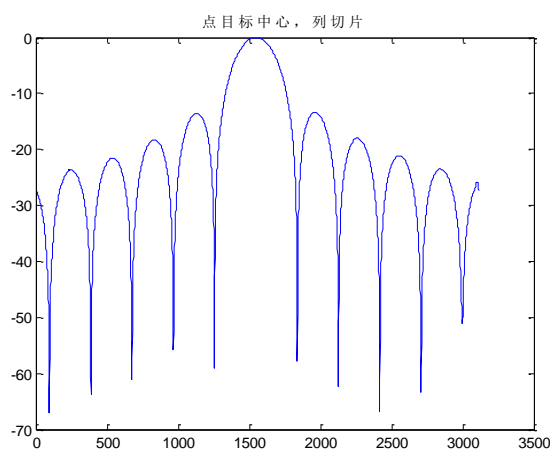


图 14 (b) 取出方位向切片

为了检验 RCMC 的效果, 以及检查方位向采样率是否足够而不会产生混叠。

我选取了第 $N_{rs}/2$ 列 (即距离向能量中心所在的位置, 也就是距离线的中心), 分别得到其 RCMC 前后的幅度结果, 对比如下:

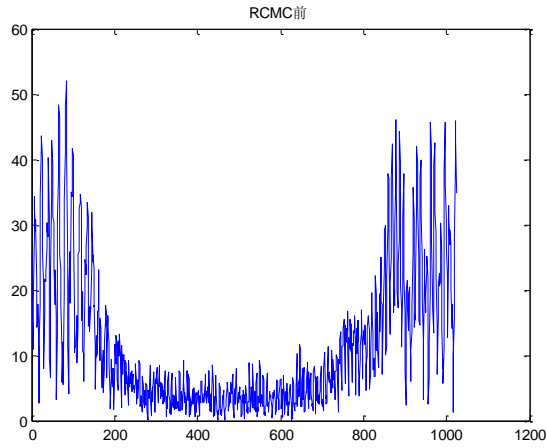


图 15 (a) 第 $N_{rg}/2$ 列, RCMC 前

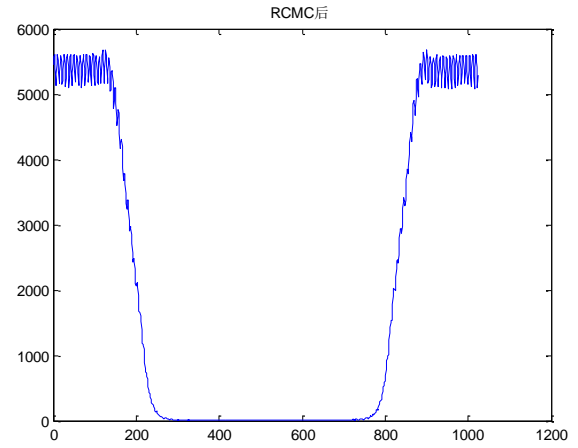


图 15 (b) 第 $N_{rg}/2$ 列, RCMC 后

可以看到, 方位向没有混叠, 说明采样率 PRF 是足够高的。

同时, RCMC 的效果很理想。

另外, 之前提到过, 我始终无法确定某一个点的绝对位置。

在这里, 对于单点目标 (点目标 A), 其距离向位置我能够预计: 一定是被压缩距离向的中心的, 但是方位向的我始终无法计算。

由于在 RCMC 前, 距离压缩后, 二维时域乘以了一个 \exp 的指数项, 相当于在距离多普勒域对频谱进行了一个移动。我怀疑正是因为这里的原因, 导致了最后的方位向没有被压在我预计的方位向的中心。

下面的结果将会显示这一点: 我得到了方位向第 $N_{rg}/2$ 列, 方位压缩前后的相位。可以看到, 在方位压缩后有一个近似线性的相位。但是按照理论公式, 这时相位应该是一个常数。因此我认为, 正是因为这里的线性相位存在, 导致了点目标方位向位置的偏离——距离多普勒域的线性相位 (也刚好相当于一个 \exp 的指数项), 在时域的表现就是数据的移动。

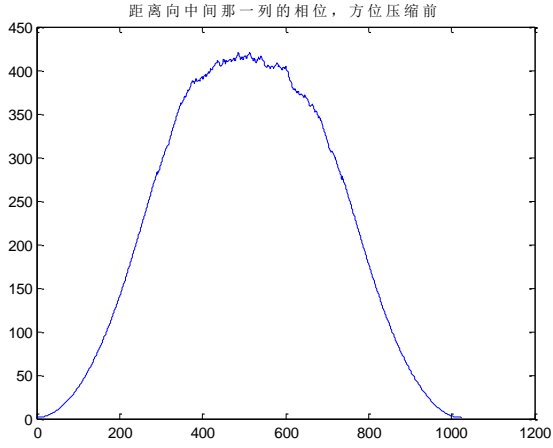


图 16 (a) 第 $N_{rg}/2$ 列相位, 方位压缩前

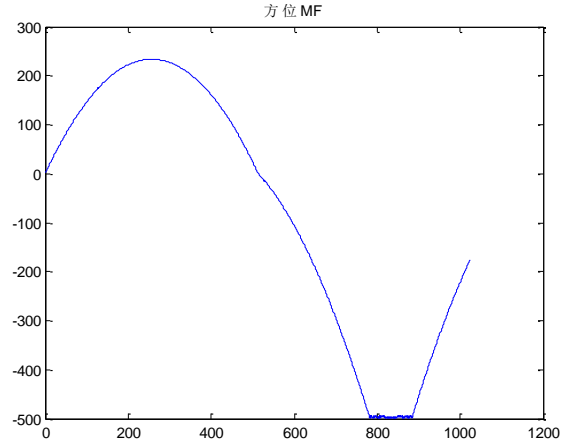


图 16 (b) 方位 MF, 第 $N_{rg}/2$ 列相位

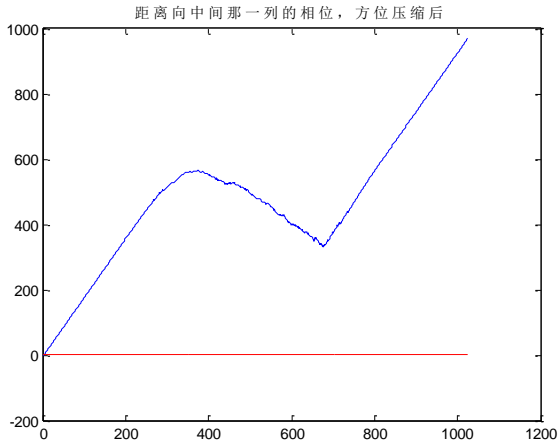


图 16 (c) 第 $N_{rg}/2$ 列相位, 方位压缩后

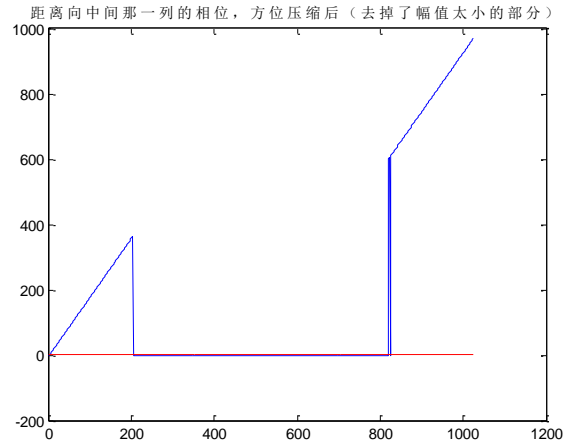
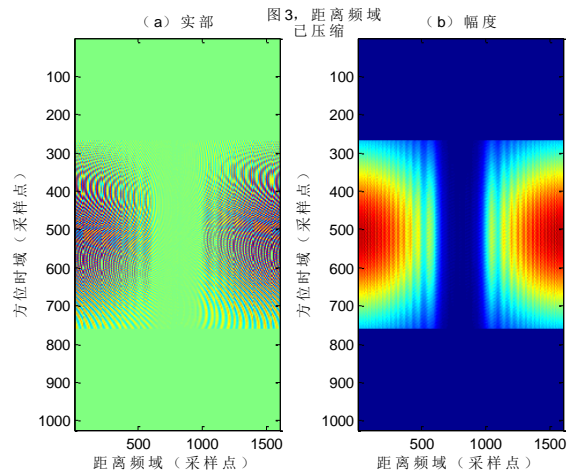
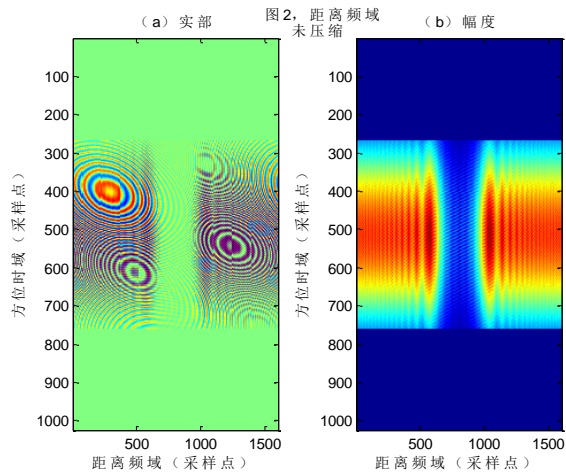
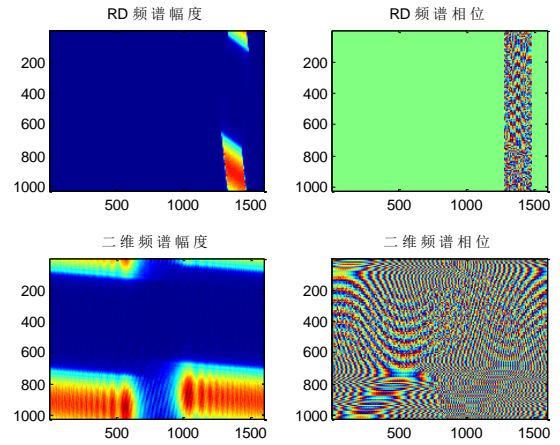
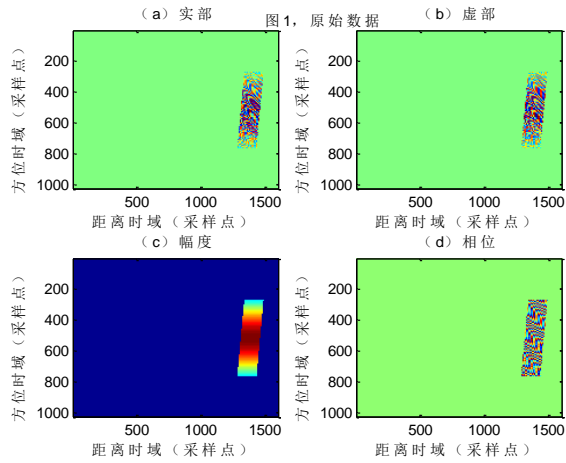


图 16 (d) 第 $N_{rg}/2$ 列相位, 方位压缩后
(去掉了幅值太小的部分)

2) 情况 2:

- 原始数据生成: 方位向采用天线双程方向图加权, 同时用 1.135 个合成孔径长度的矩形窗作数据长度限制;
- 距离脉冲压缩加窗;
- 距离脉压结果, 去除弃置区;



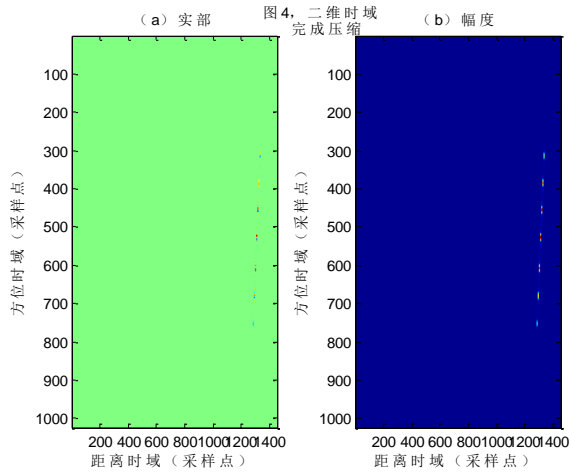


图 21 (a) 二维时域, 完成压缩

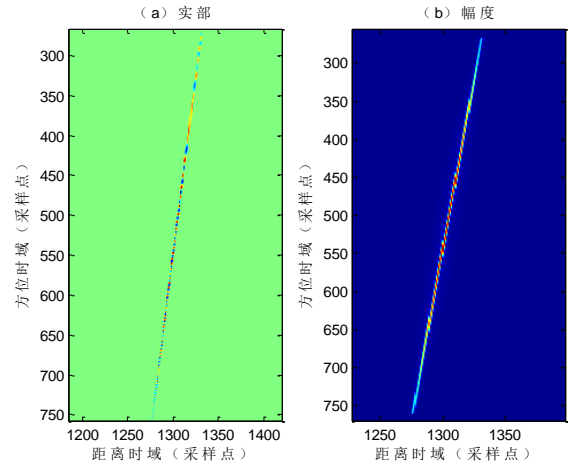


图 21 (b) 二维时域, 完成压缩 (局部放大)

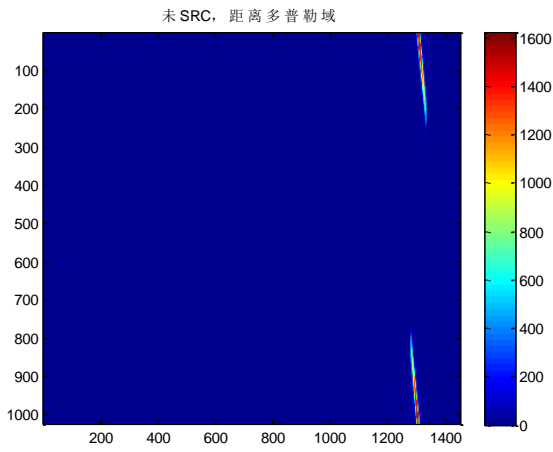


图 22 (a) 未 SRC, 距离多普勒域

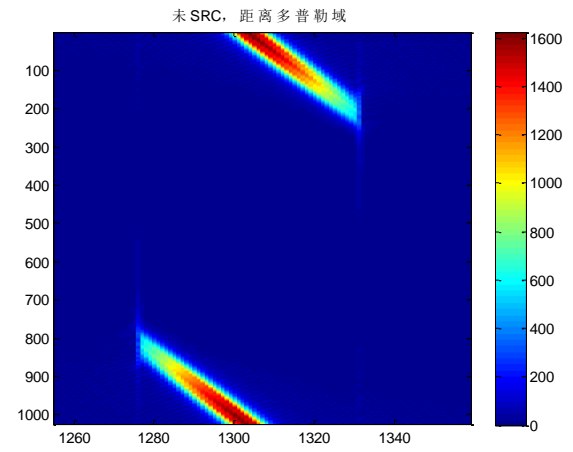


图 22 (b) 未 SRC, 距离多普勒域 (局部放大)

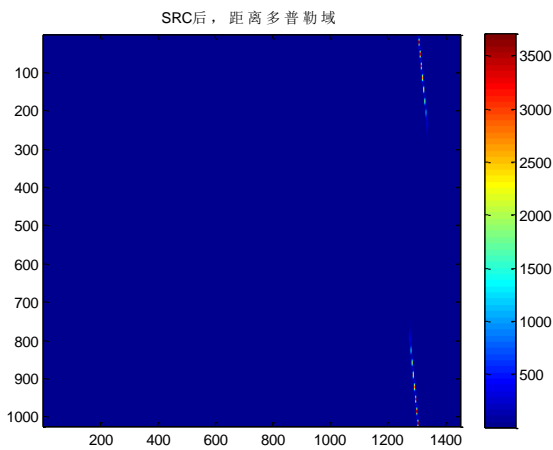


图 23 (a) SRC 后, 距离多普勒域

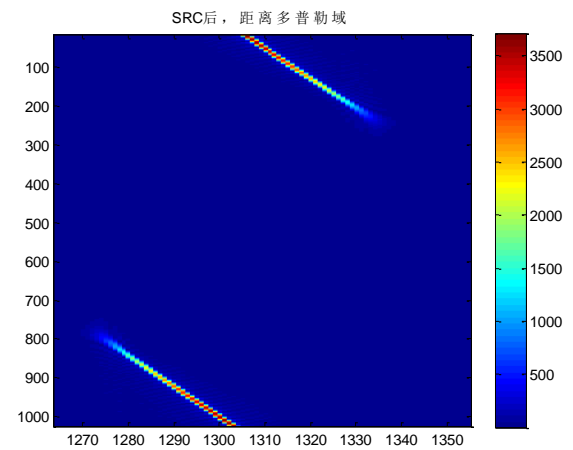


图 23 (b) SRC 后, 距离多普勒域 (局部放大)

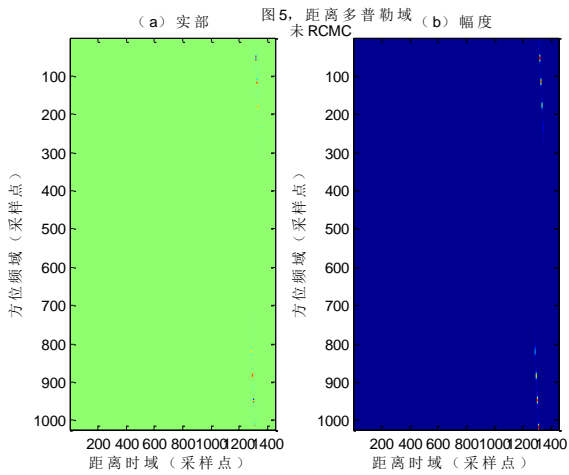


图 24 距离多普勒域, 未 RCMC

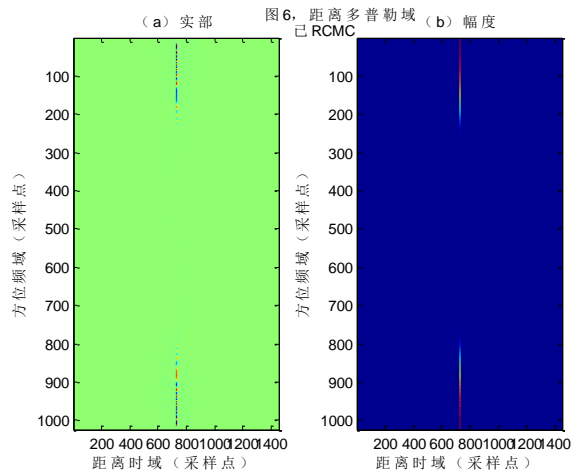


图 25 距离多普勒域, 已 RCMC

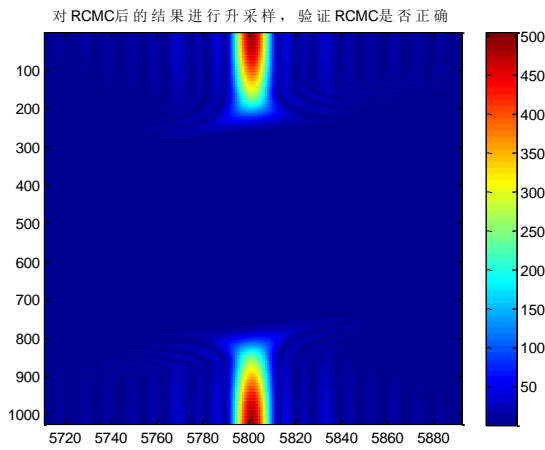


图 26 对 RCMC 后的结果进行升采样, 验证 RCMC 是否正确 (局部放大)

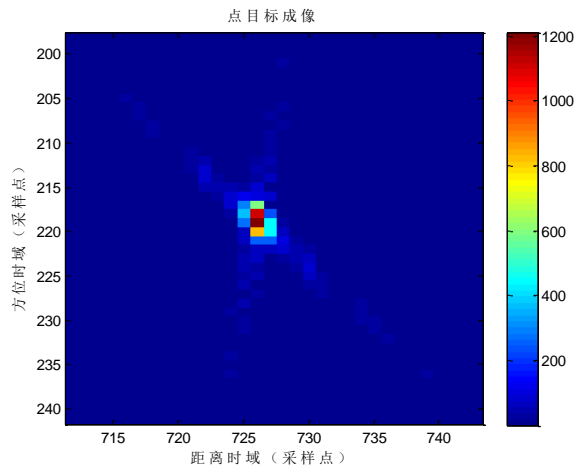


图 27 点目标成像 (局部放大)

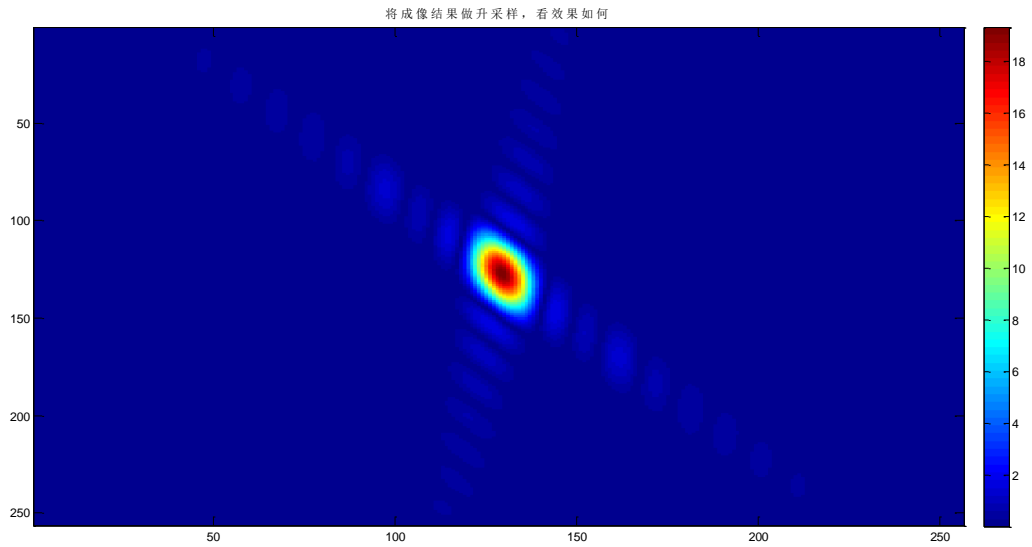


图 28 二维升采样

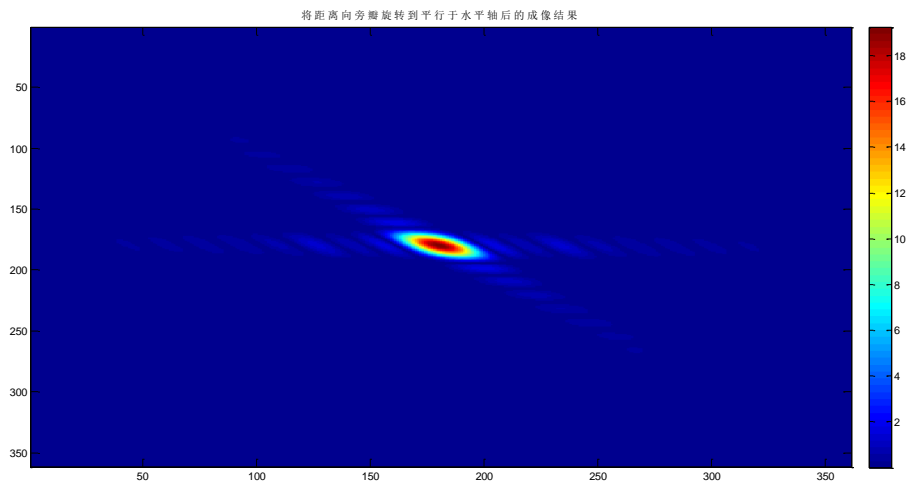


图 29 (a) 以距离向为标准，旋转

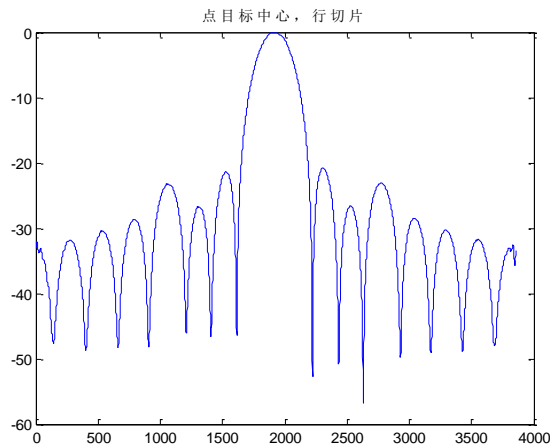


图 29 (b) 取出距离向切片

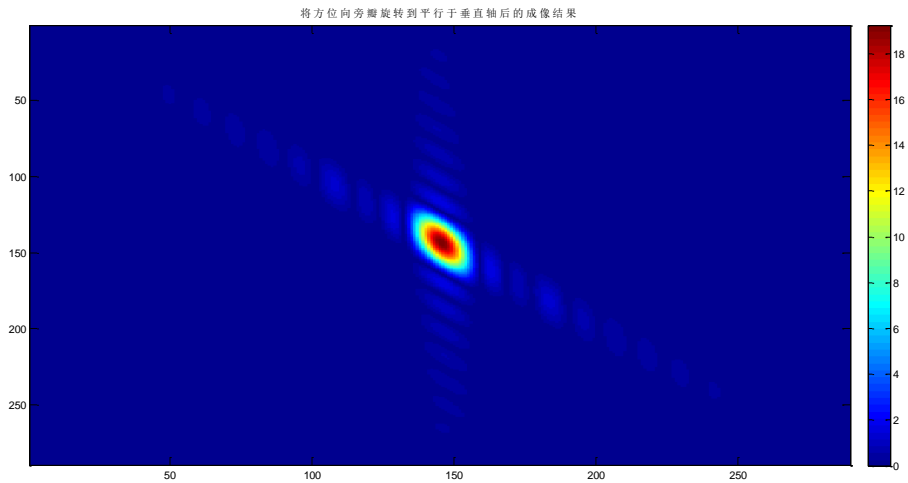


图 30（a） 以方位向为标准，旋转

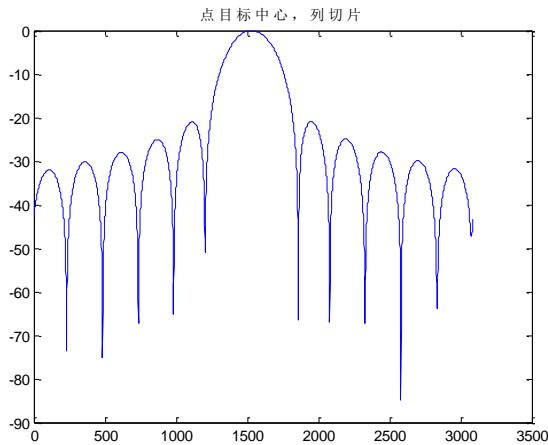


图 30（b） 取出方位向切片

下面给出两种情况的指标计算结果：

1. 情况 1：方位向只用一个合成孔径长度限制；距离 MF 不加窗

表 1 距离 MF 不加窗时，距离向切片和方位向切片的指标

		PSLR (dB)	ISLR (dB)	IRW (m)
距离向	仿真结果	-13.0660	-9.6390	4.0831
	理论值	-13.2	-10	2.6580
方位向	仿真结果	-13.3661	-10.9601	1.5067
	理论值	-13	-10	1.6582

2. 情况 2：方位向采用天线双程方向图加权，并限制长度；距离 MF 加窗

3. 表 1 距离 MF 不加窗时，距离向切片和方位向切片的指标

		PSLR (dB)	ISLR (dB)	IRW (m)
距离向	仿真结果	-20.7821	-17.7646	4.8354
	理论值	-20	-17	3.1364
方位向	仿真结果	-20.9326	-19.1195	1.5614
	理论值	-20	-17	1.9566

如上所述，**IRW** 的计算结果是有问题的，这里还没有解决。

此外, 前面提到了在大斜视角时, 对点目标中心作二维升采样时的问题解决。

下面针对此进行说明:

1) 二维升采样, 先行后列, 逐个判断最小值处并补零——这有问题。

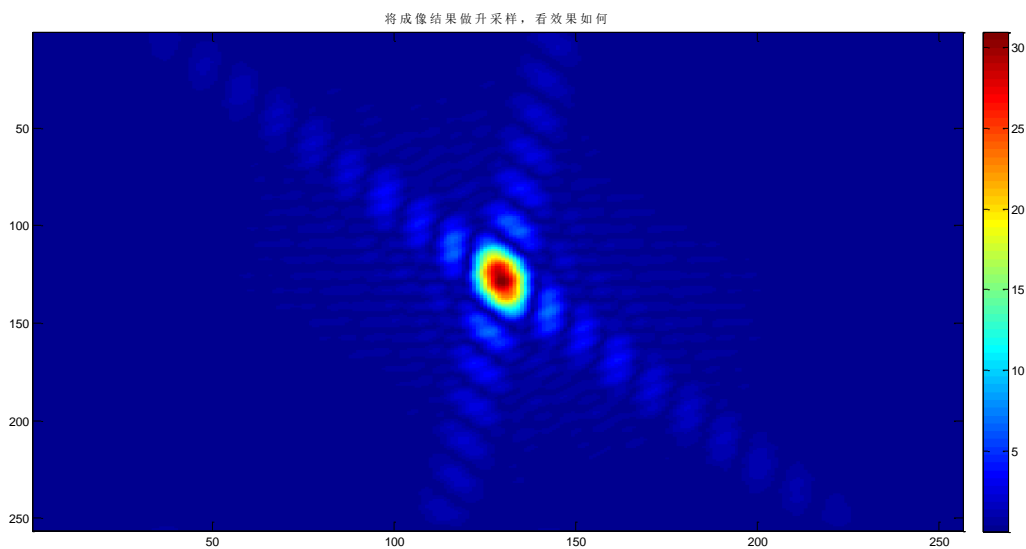
2) 采取的改进方式是:

更改先后顺序, 采取**先列后行**, 逐个判断最小值处并补零。便可得到理想的结果。

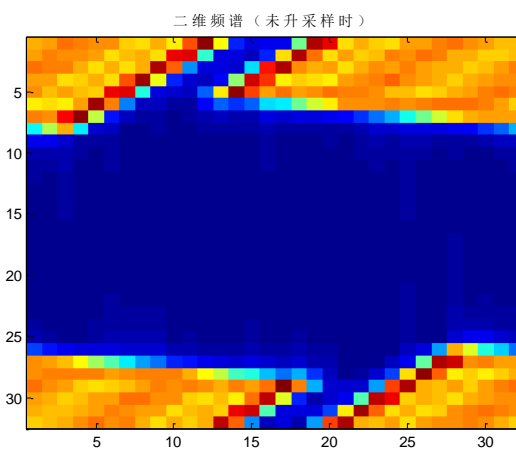
下面, 通过仿真结果说明此问题

仿真条件: 原始数据生成时, 方位向只用一个合成孔径长度限制; 距离 MF 不加窗。

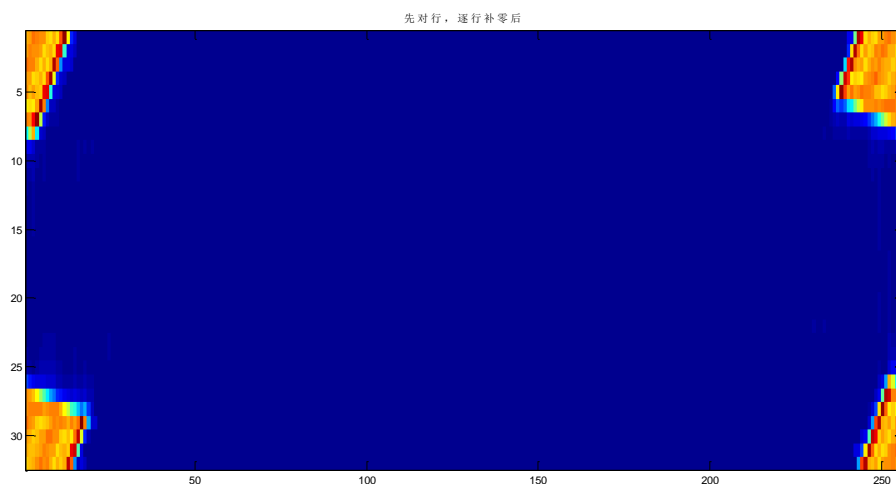
1) 首先采取原来有问题的方式进行升采样。**先行后列补零**



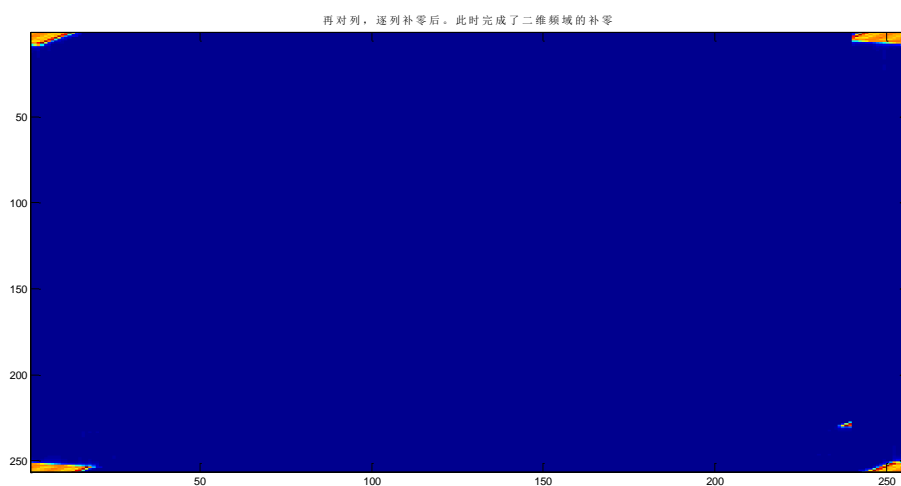
点目标中心升采样结果



其二维频谱 (未升采样时)

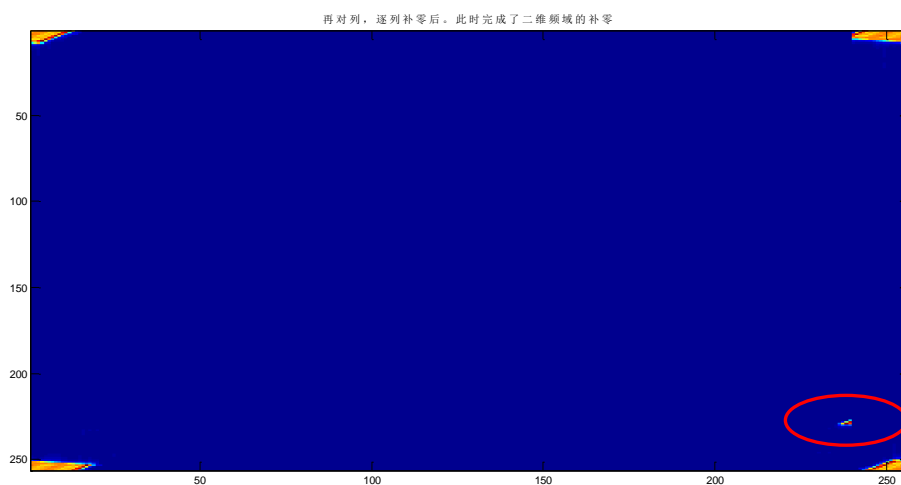


先对行, 逐行补零后

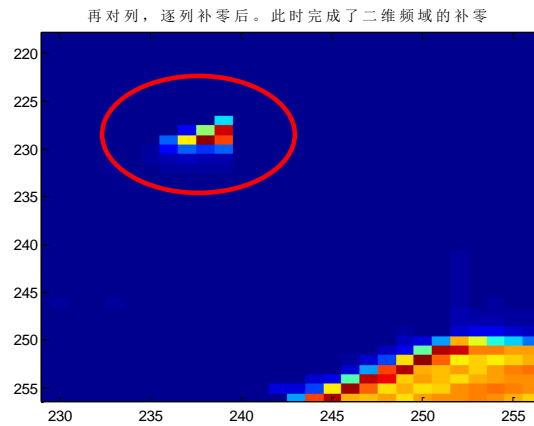


再对列, 逐列补零后。此时完成了二维频域的补零

我们发现右下角有个东西



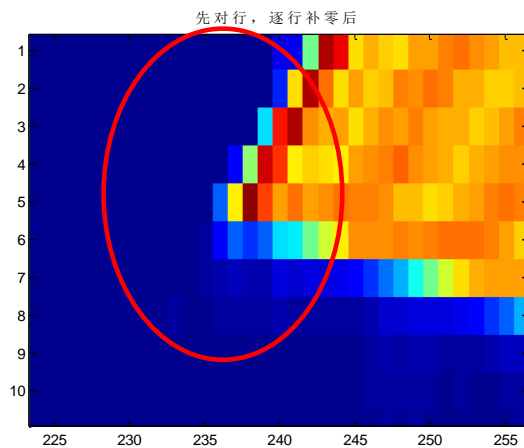
放大可以看到:



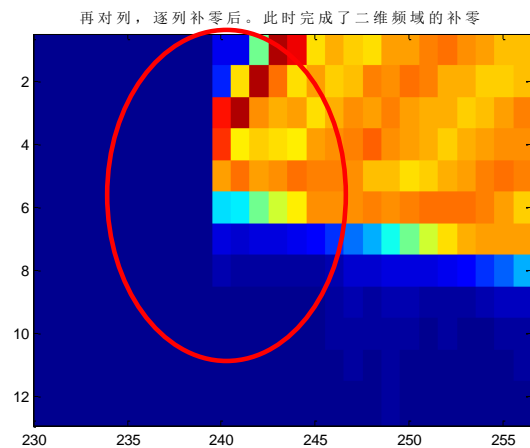
我们把逐列补零前, 右上角的那部分放大;

再将逐列补零后, 右上角的那部分放大;

进行对比, 能看到以下结果:



(a) 逐行补零后, 还没有逐列补零



(b) 逐列补零后

我们可以很清楚的看到, 逐列补零后, 右上角的那部分相比于逐列补零前, 缺少了一块频谱, 而且大概是个三角形的部分——这正是前面的图中多出来的那个东西。

原因就在于, 我们先对行进行补零时, 破坏了每一列最小值的位置 (因为逐行补零后, 原来的最小值位置是在整个方位的中心部分, 但是现在, 对于右上角那一块, 小三角上面会有其他行的补零数据, 这时候最小值的位置就变成了我们补零的位置)

通过这里, 我们首先找到了问题。

再次, 我们也再次知道了频谱补零时发生错误对于结果有多么大的影响, 所以这里要慎之又慎。

接下来, 解决问题的方法有两种:

a) 一种是：既然对每列进行补零时，应该在方位向中心部分补零（因为这里显然是能量间隙）。我们就可以在逐行补零后，人为（就是不用循环找最小值位置，而是直接人工在中间处补零），在方位向（每列）中间位置补零；

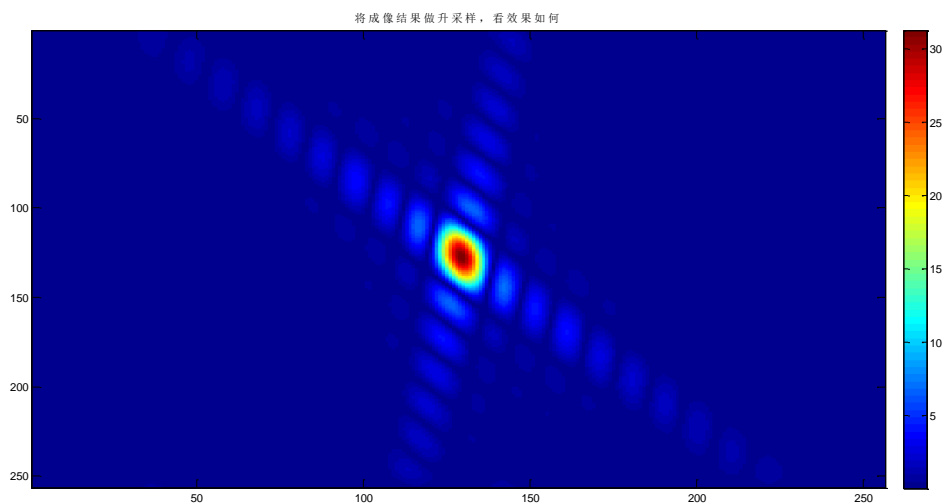
b) 另一种是：就是之前所说，修改补零的顺序。先对每列进行补零，再对每行进行补零。

即先列后行补零。这看似很简单的顺序更改，但却真正的非常有效。

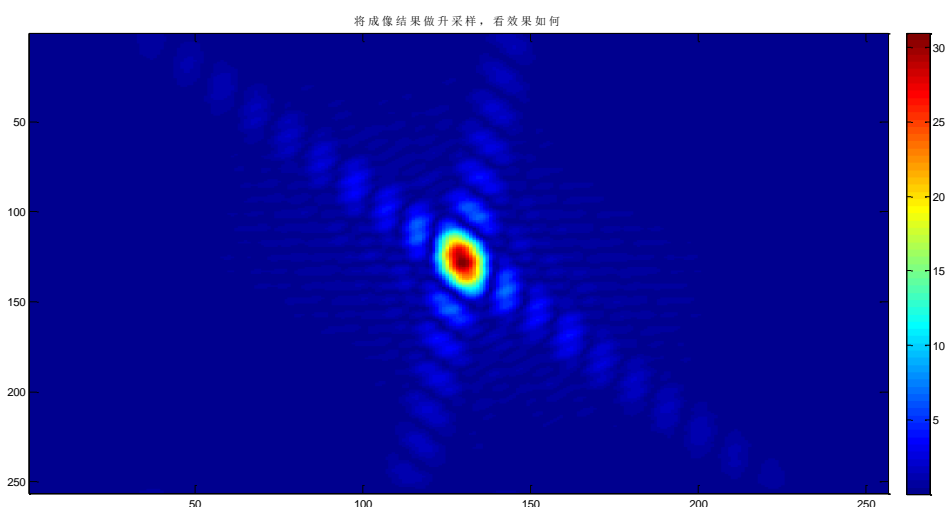
对于第一种方法，即（a）。我通过仿真验证，证明其也是可行的。升采样结果也很理想。

但是下面我用第二种方法，即（b），来完成升采样。以此说明这里选择对行或对列补零顺序的必要性，也可以更好地使程序具有通用性、自动性；

2) 进行修改：采取先列后行补零

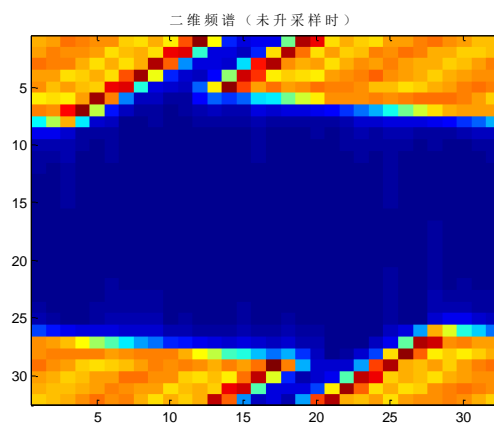


上面是我修改后得到的升采样结果。作为对比，下面是原来的升采样结果

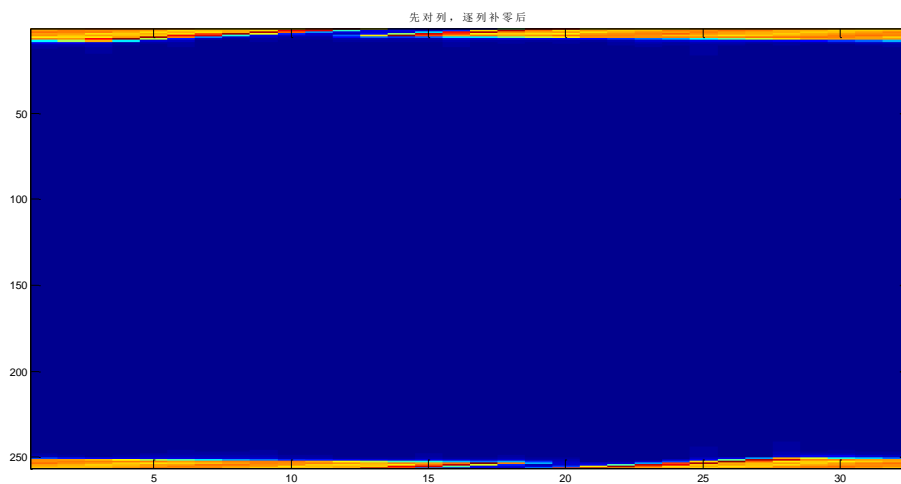


如此简单对比, 对升采样程序进行修改的效果就看出来了。

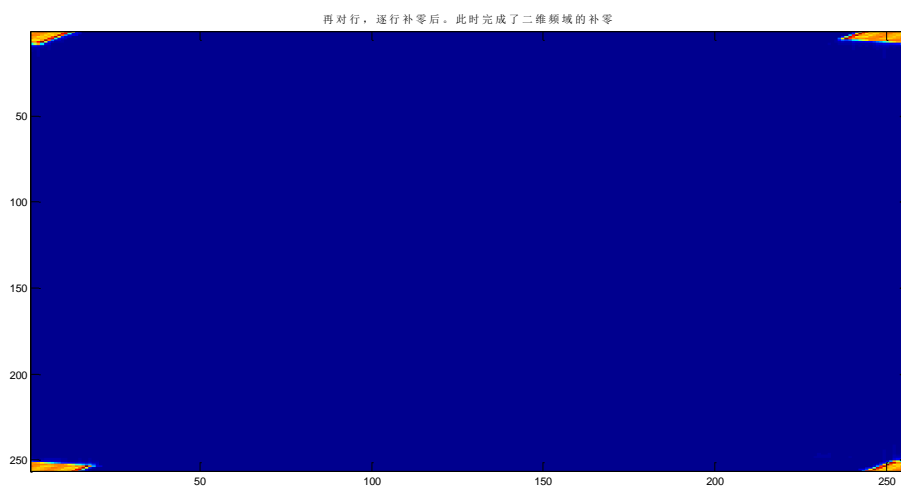
下面再进一步说明, 这样修改后, 补零过程中的区别



其二维频谱 (未升采样时)



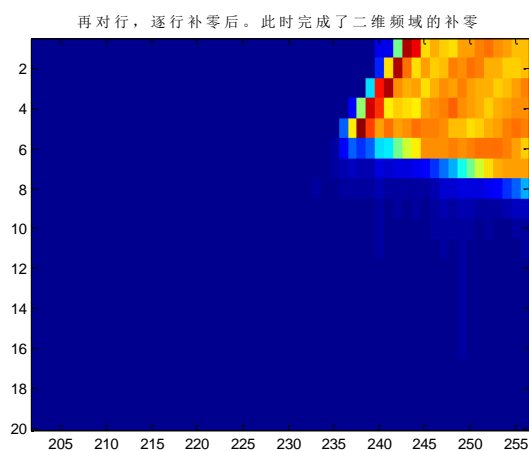
先对列, 逐列补零后



再对行, 逐行补零后。此时完成了二维频域的补零

我们可以看到, 这个时候的补零结果, 完全在能量间隙部分。补零非常干净。

我们再对原来出现了问题的右上角进行放大, 可以看到, 此时的结果是理想的。

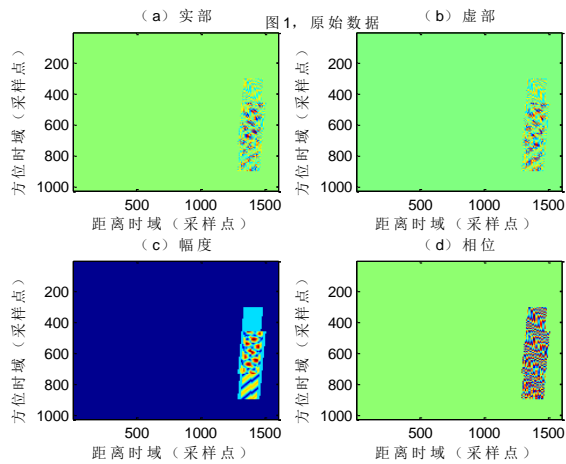


右上角部分的放大

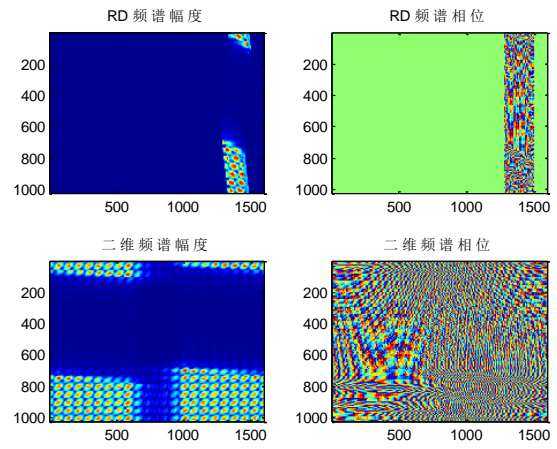
至此, 对于点目标二维升采样部分的修改说明, 也已经完成了。

最后, 下面再给出: 三点目标的仿真结果

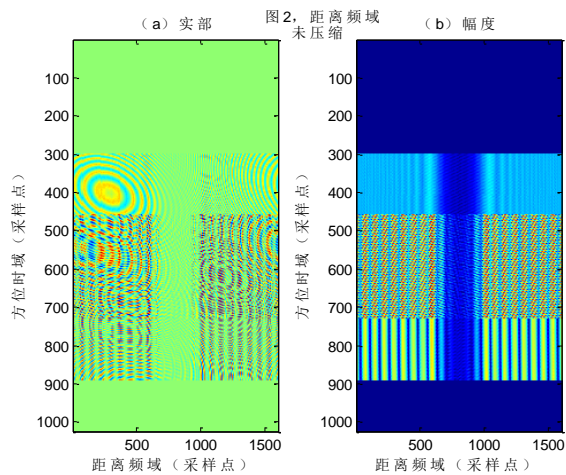
仿真条件: 原始数据生成时, 方位向用一个合成孔径长度限制; 距离 MF 不加窗。



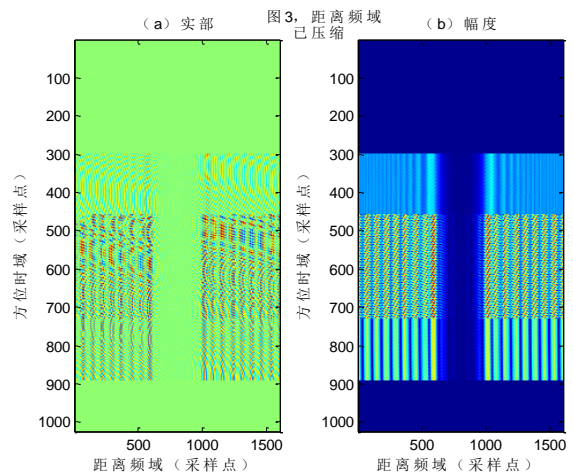
原始数据



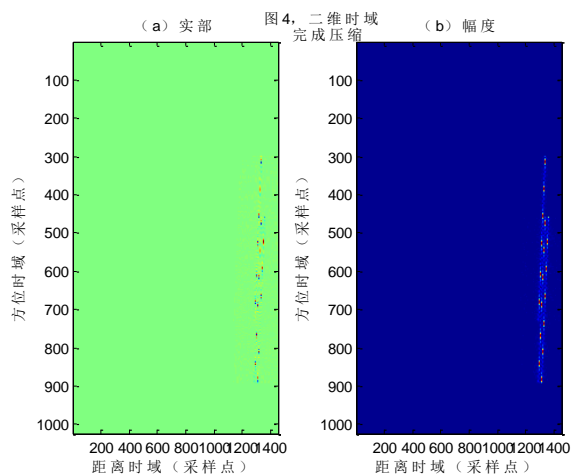
RD 域频谱及二维频域频谱



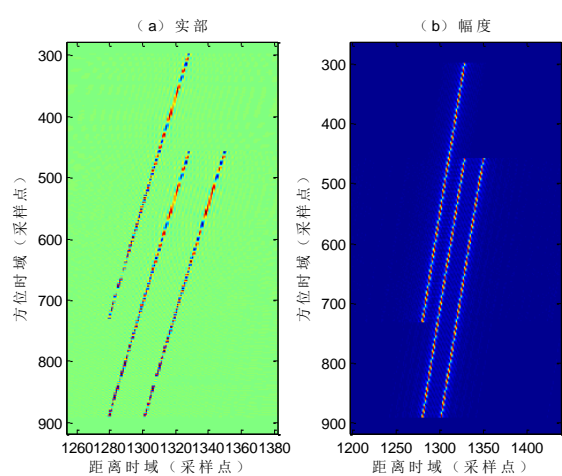
距离频域, 未压缩



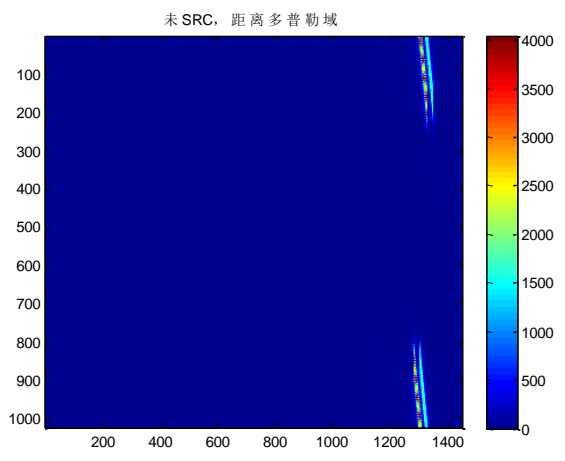
距离频域, 已压缩



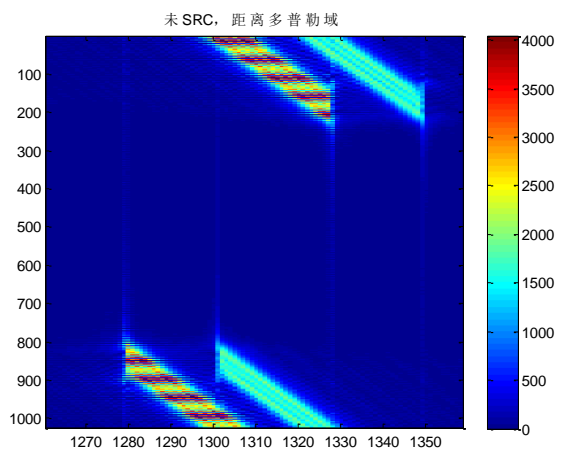
(a) 二维时域, 完成压缩



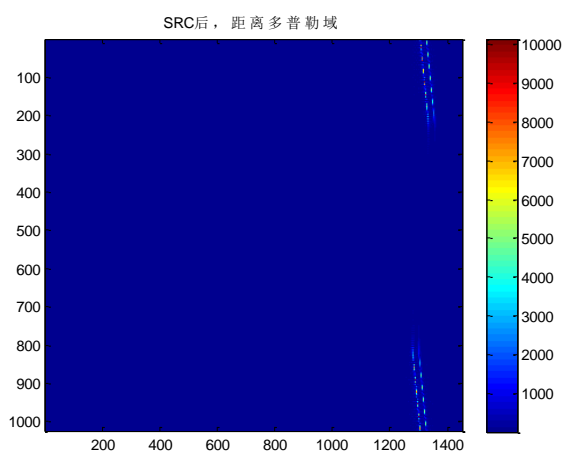
(b) 二维时域, 完成压缩 (局部放大)



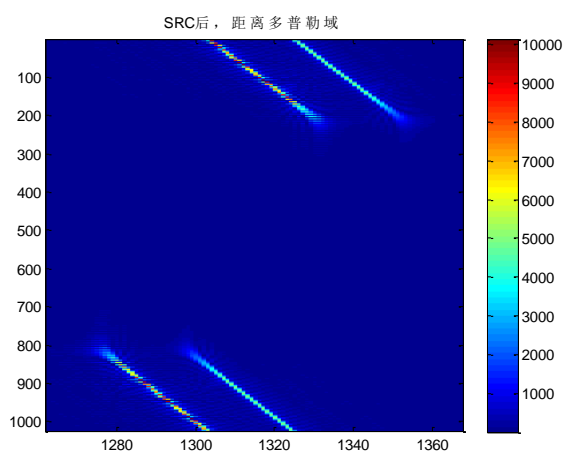
(a) 未 SRC, 距离多普勒域



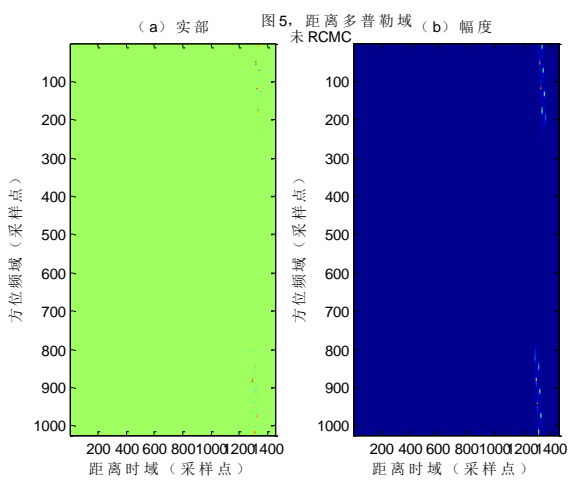
(b) 未 SRC, 距离多普勒域 (局部放大)



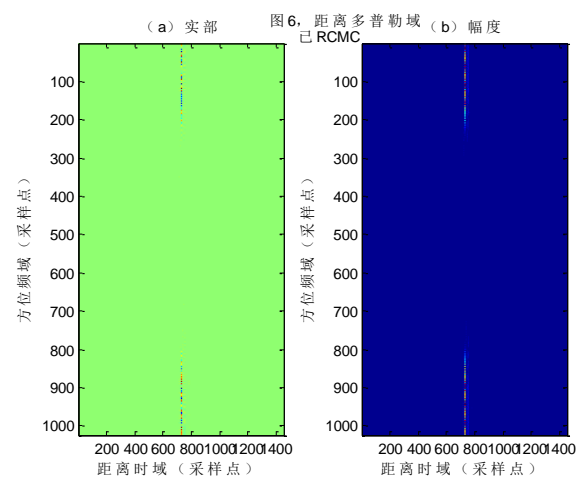
(a) SRC 后, 距离多普勒域



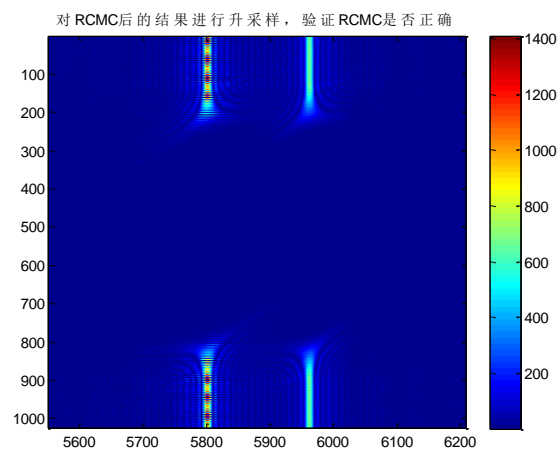
(b) SRC 后, 距离多普勒域 (局部放大)



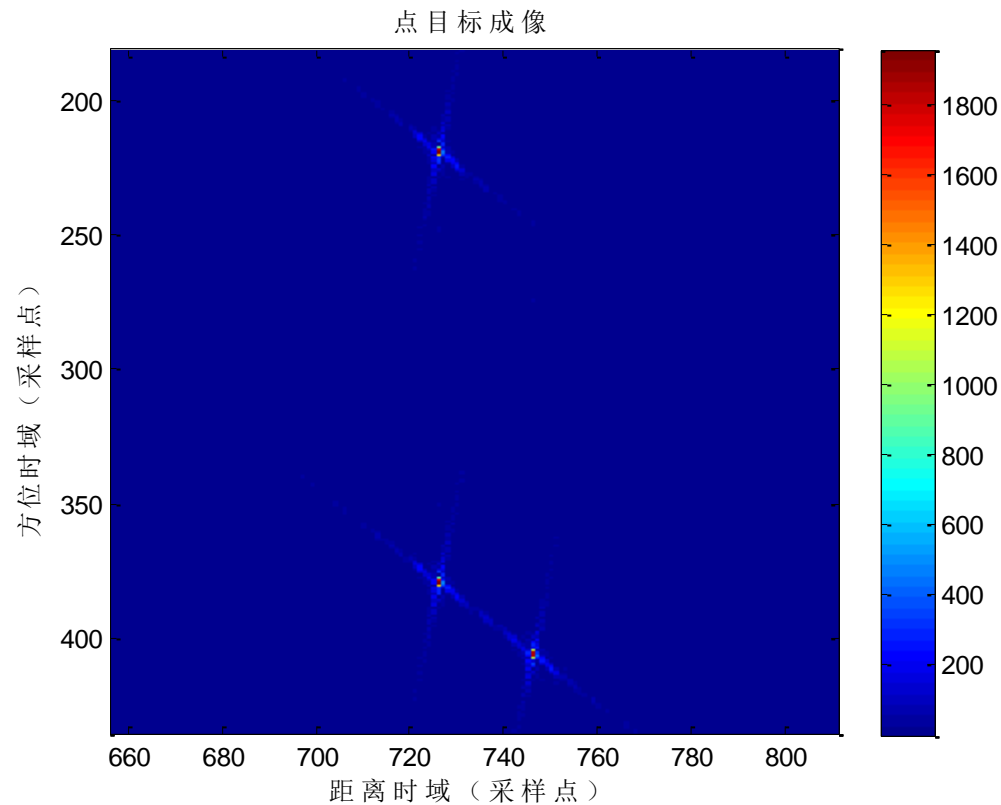
距离多普勒域, 未 RCMC



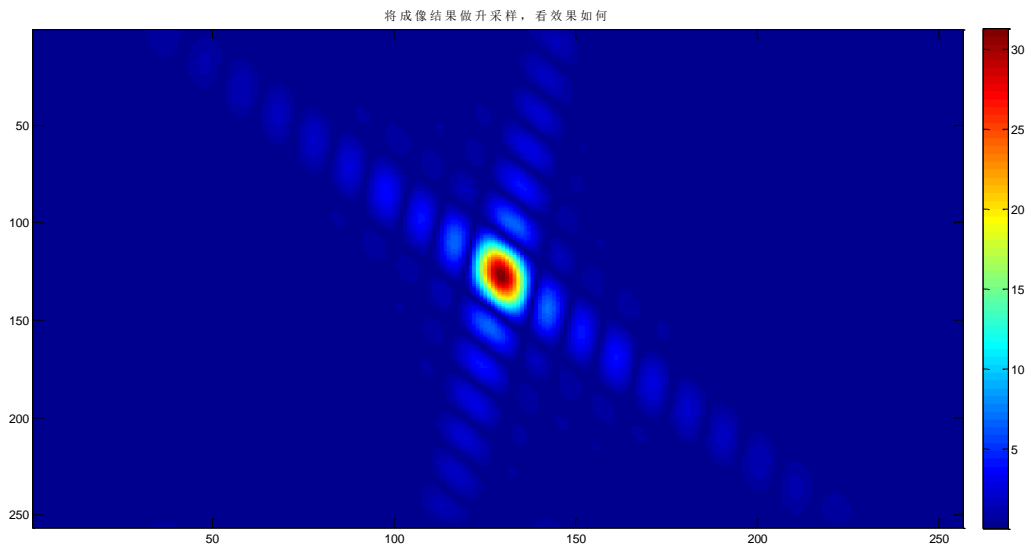
距离多普勒域, 已 RCMC



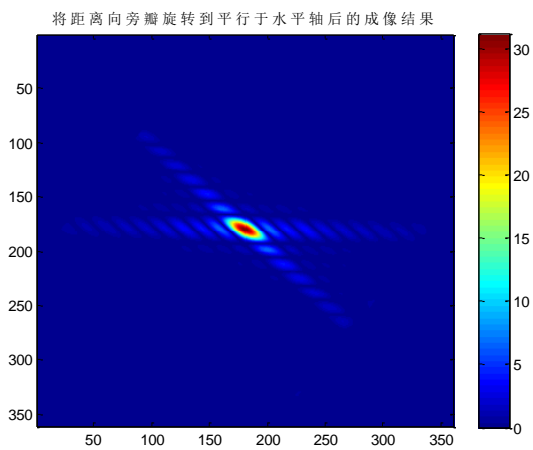
对 RCMC 后的结果进行升采样，验证 RCMC 是否正确（局部放大）



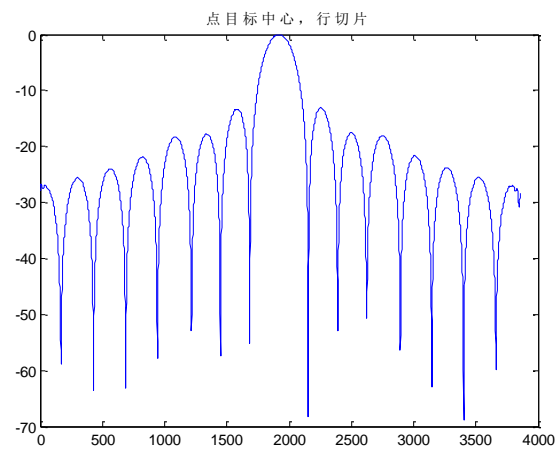
点目标成像（局部放大）



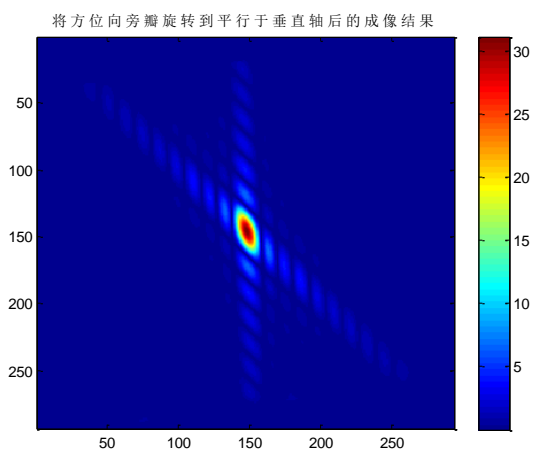
(a) 点目标 A, 二维升采样



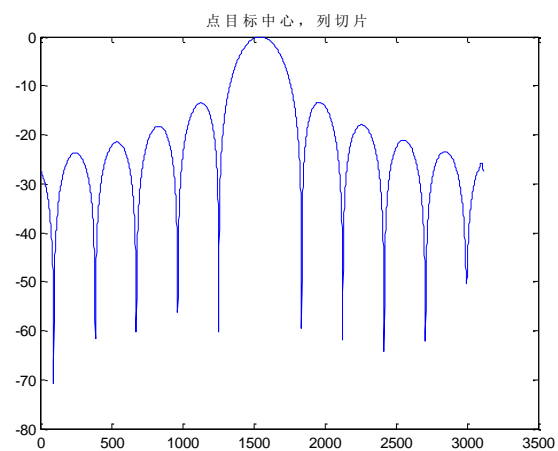
(b) 点目标 A, 以距离向为标准, 旋转



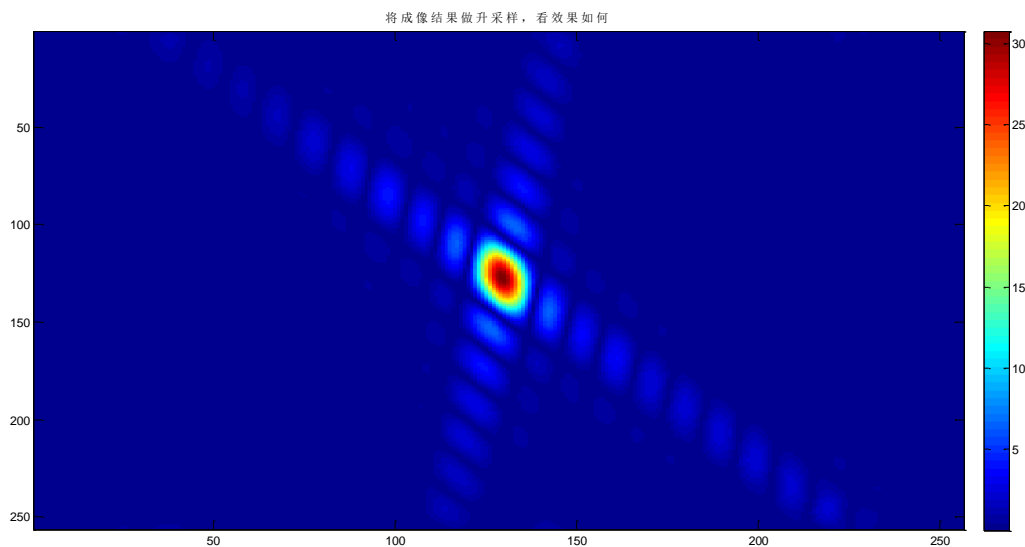
(c) 点目标 A, 取出距离向切片



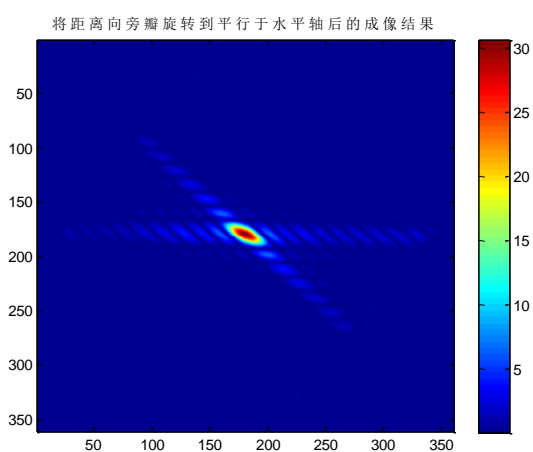
(d) 点目标 A, 以方位向为标准, 旋转



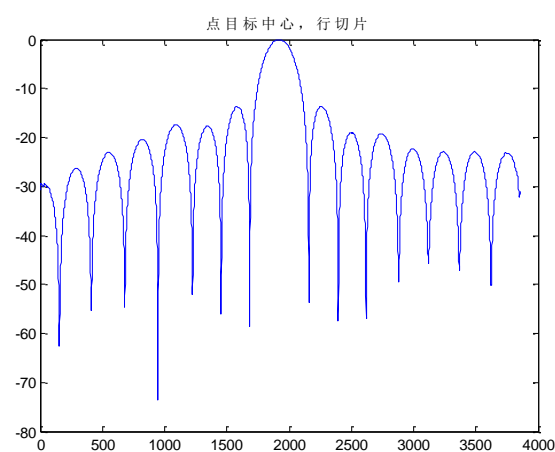
(e) 点目标 A, 取出方位向切片



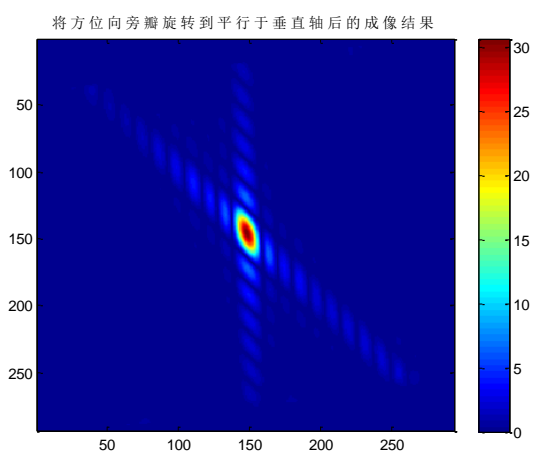
(a) 点目标 B, 二维升采样



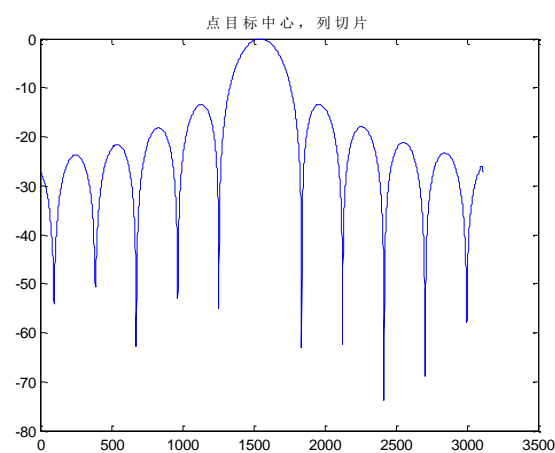
(b) 点目标 B, 以距离向为标准, 旋转



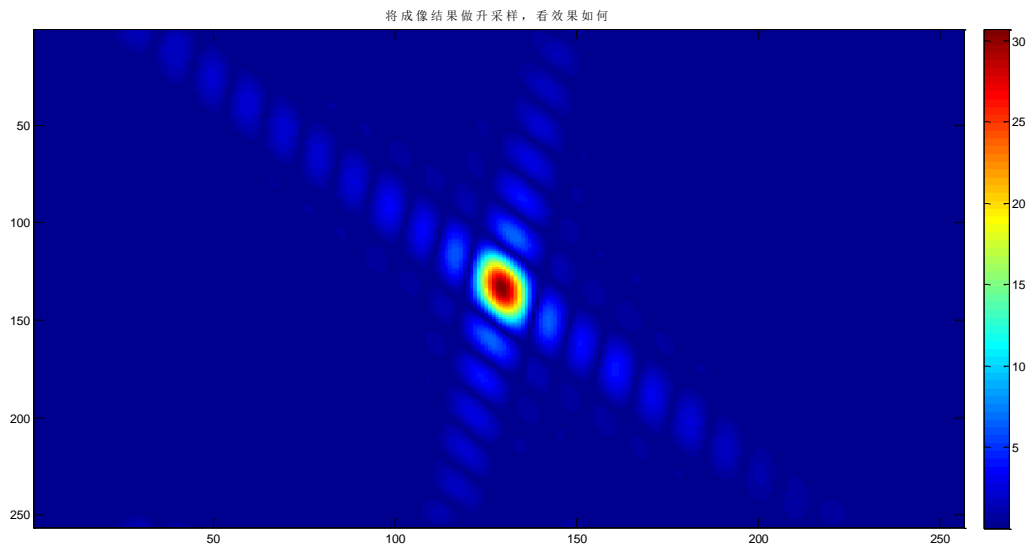
(c) 点目标 B, 取出距离向切片



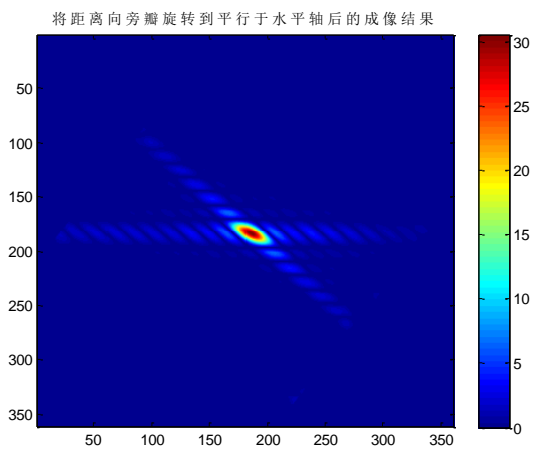
(d) 点目标 B, 以方位向为标准, 旋转



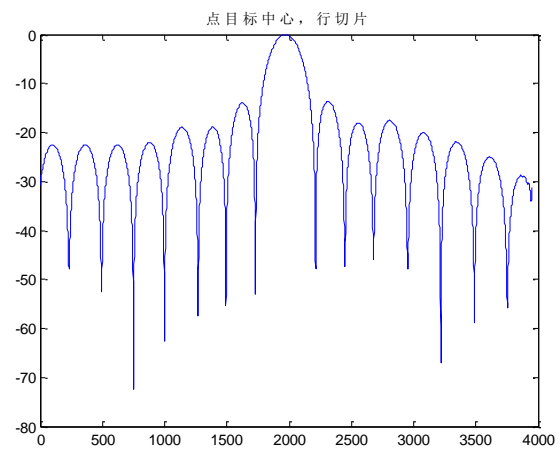
(e) 点目标 B, 取出方位向切片



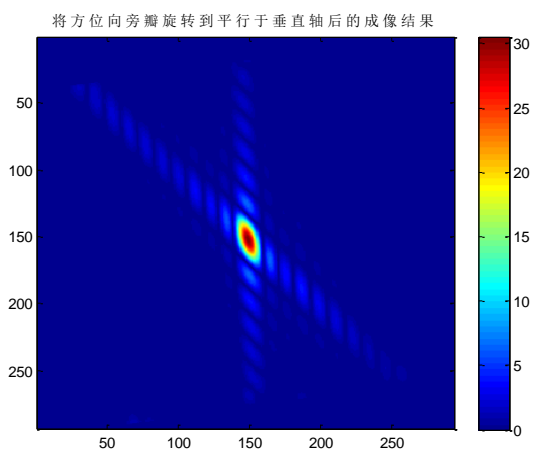
(a) 点目标 C, 二维升采样



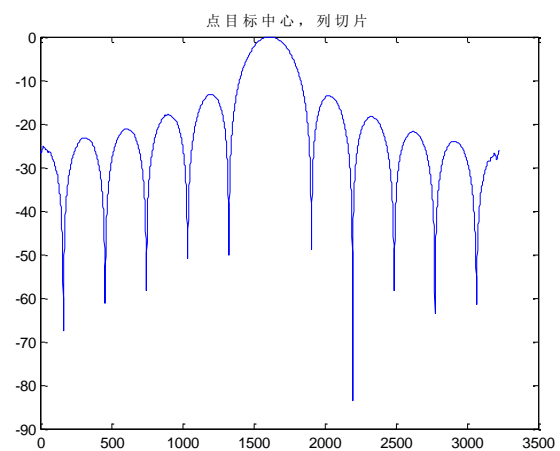
(b) 点目标 C, 以距离向为标准, 旋转



(c) 点目标 C, 取出距离向切片



(d) 点目标 C, 以方位向为标准, 旋转



(e) 点目标 C, 取出方位向切片

表 3 三点目标的仿真结果

(方位向考虑一个合成孔径长度, 距离 MF 不加窗时, 距离向切片和方位向切片的指标)

		PSLR (dB)	ISLR (dB)	IRW (m)
目标 A 距离向	仿真结果	-13.0647	-9.6398	4.0822
	理论值	-13.2	-10	2.6580
目标 A 方位向	仿真结果	-13.3717	-10.9522	1.5065
	理论值	-13	-10	1.6582
目标 B 距离向	仿真结果	-13.5907	-9.8352	4.1056
	理论值	-13.2	-10	2.6580
目标 B 方位向	仿真结果	-13.3912	-10.9274	1.5043
	理论值	-13	-10	1.6582
目标 C 距离向	仿真结果	-13.6436	-9.7964	4.1398
	理论值	-13.2	-10	2.6580
目标 C 方位向	仿真结果	-13.2663	-10.9058	1.5004
	理论值	-13	-10	1.6582

注: IRW 的计算结果是有问题的, 特此说明。

以上结果, 以及程序都截止到 2014.10.10 晚