

%%

小斜视角

(3.5°)

CSA 点目标仿真

2014.10.18.

%%

首先，我们还是从单点目标仿真开始。

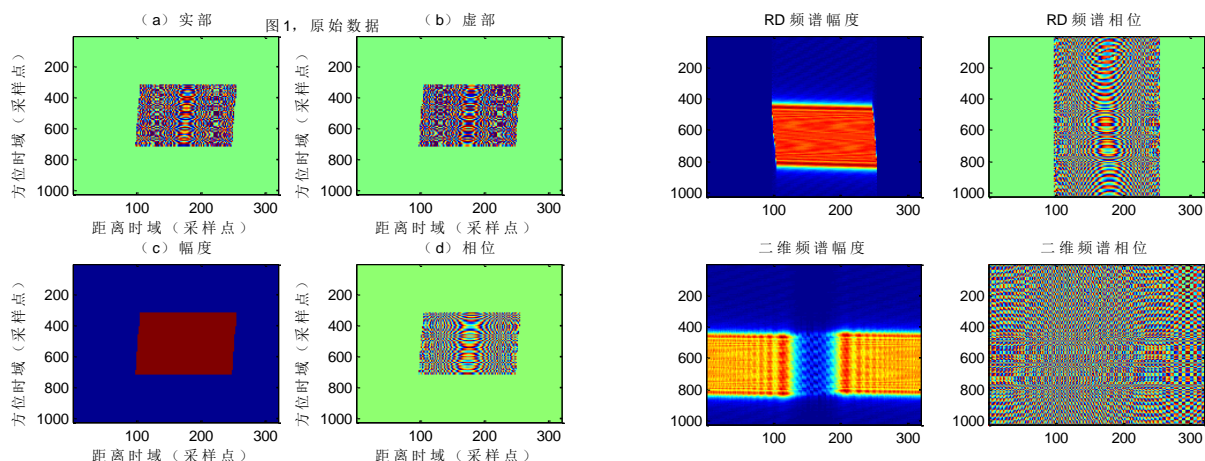
小斜视角下的仿真，其参数设置（除了斜视角从 0° 改为 3.5°）和场景设置都与正侧视情况下完全一致。

此外，由于斜视角会对目标中心产生旋转，因此这里对点目标结果进行升采样和切片分析时，我们不再使用正侧视下的函数 `target_analysis(s_ac,Fr,Fa,Vr)`，而是使用 `target_analysis_2(s_ac,Fr,Fa,Vr)`。

单点目标的仿真结果如下：

1. 原始数据

RD 域和二维频域频谱如下：



原始数据

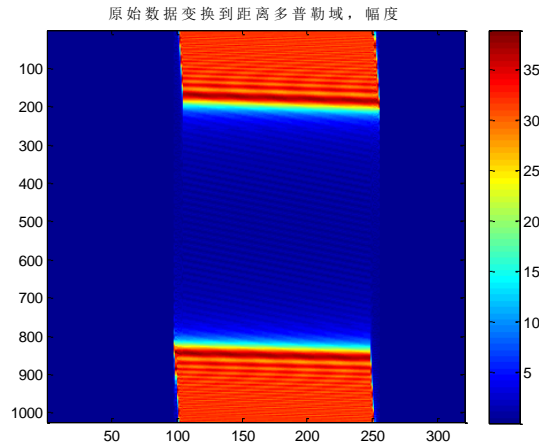
RD 域和二维频域频谱

- 在正侧视仿真时我们说过，在变换到距离多普勒域之前，要对信号进行“预处理”——即乘以一个相位项实现频谱搬移：

```
s_rd = s_echo.*exp(-1j*2*pi*fnc.*(ta.'*ones(1,Nrg))); % 数据搬移
```

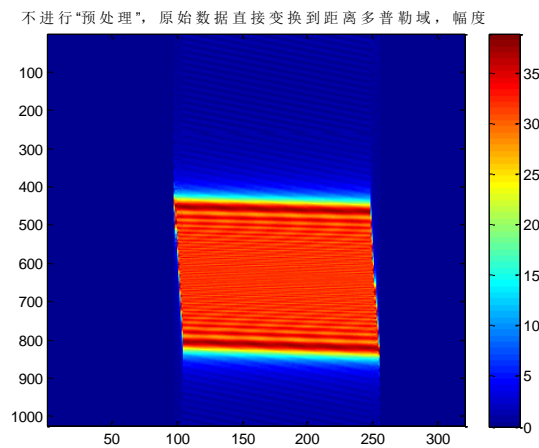
在正侧视情况下，由于多普勒中心频率 $f_{nc} = 0$ ，因此实际上如果不进行此步操作，结果也是一致的。但是在现在的小斜视角下（只要有斜视角），由于 $f_{nc} \neq 0$ ，因此我们可以显著看到经过这一步操作后的区别。

1) 乘以这一相位项后，进行方位向傅里叶变换到距离多普勒域：



“预处理”后，变换到距离多普勒域

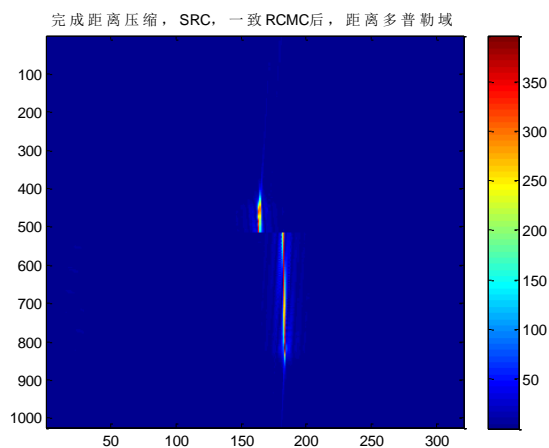
2) 不经过相位相乘，直接将原始数据变换到距离多普勒域：



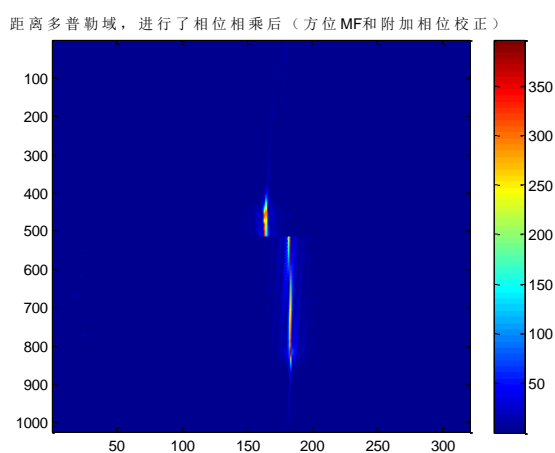
不进行“预处理”，直接变换到距离多普勒域

可以看到，乘以相位项后，方位向的能量间隙是在中心的。这正是我们的目的：得到原始数据在方位向的正确位置的频谱。

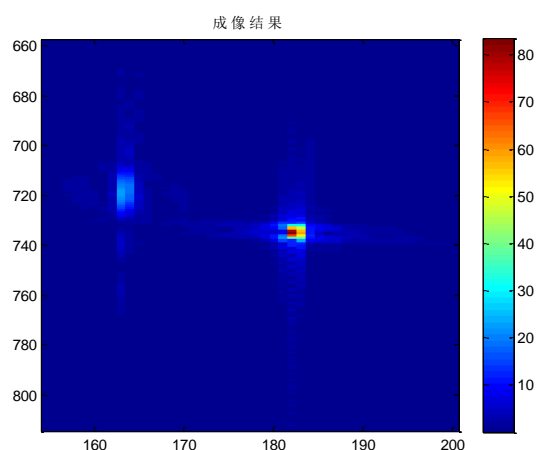
我们还可以进一步得到：如果不进行相位相乘，直接进行仿真，可以看到仿真结果是不正确的，如下：



完成距离压缩，SRC，一致RCMC后，距离多普勒域



距离多普勒域，进行了方位MF和附加相位校正后



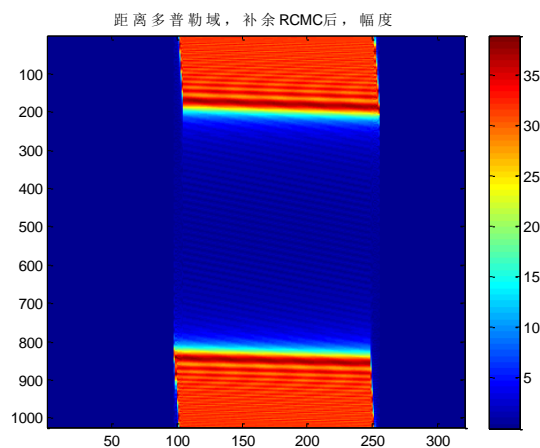
成像结果

显然可以看到：此时完成距离处理后（补余RCMC，距离压缩，SRC，一致RCMC），结果是显然不正确的。最终的成像结果也不对。这就是因为没有进行该“预处理”，本质是因为此时我们没有得到数据正确的方位频谱，也没有进行正确的方位处理。

从这里，我们能够了解到这一步的关键性。

下面继续分析。当然这是在进行了“预处理”后。

3. 在距离多普勒域，进行“补余 RCMC”后，其幅度：

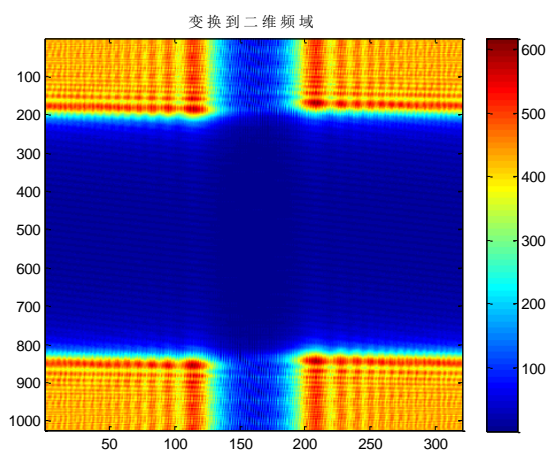


距离多普勒域，补余 RCMC 后，幅度

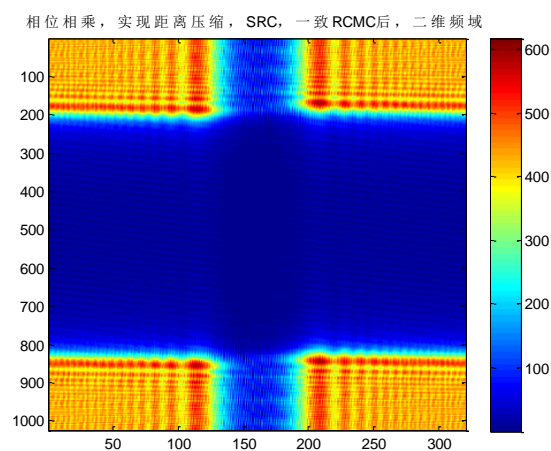
这里的幅度结果，和补余 RCMC 前看上去是一样的。因为补余 RCMC 是对原始的距离多普勒域频谱乘以了一个相位项，并没有改变幅度。因此补余 RCMC 前后的幅度图像显然应该是一致的。

4. 进行距离向傅里叶变换到二维频域：

在二维频域进行相位相乘，实现距离压缩，SRC，一致 RCMC（此时没有进行距离向加窗），结果如下：

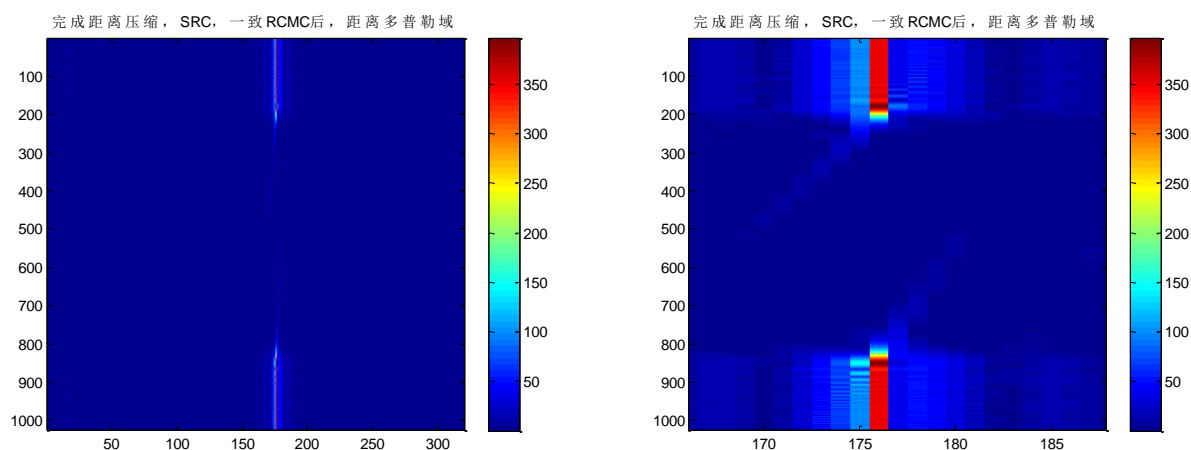


变换到二维频域



相位相乘后，二维频域

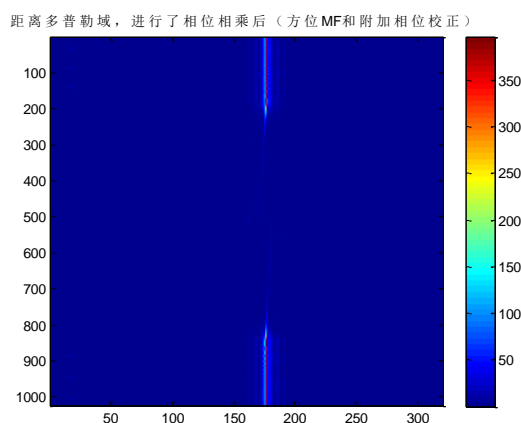
5. 进行距离向傅里叶逆变换，回到距离多普勒域，此时已经完成全部距离处理。



完成距离处理后，距离多普勒域

局部放大

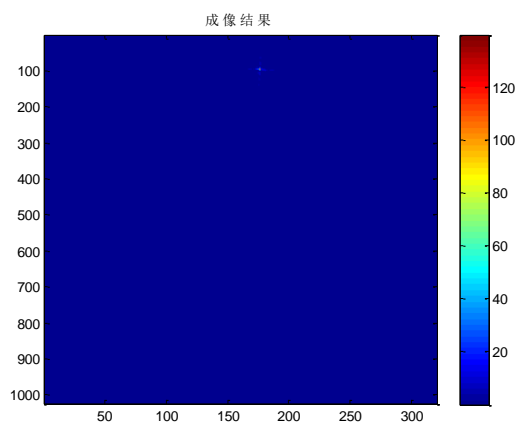
6. 在距离多普勒域，进行相位相乘后（方位 MF 和附加相位校正）



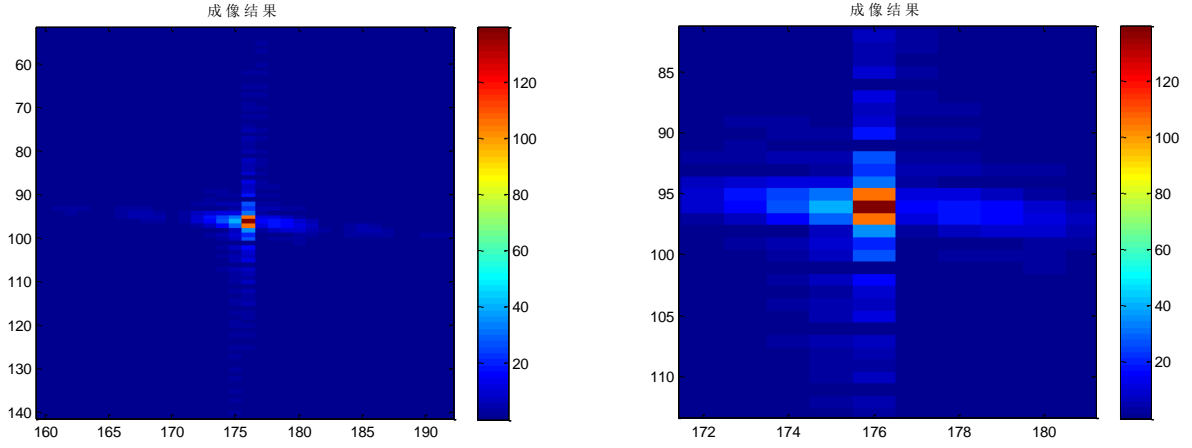
距离多普勒域，完成方位 MF 和附加相位校正后

从幅度图像上来看，这和没有进行方位处理前是相同的。

7. 进行方位向傅里叶逆变换，变换到图像域，成像过程结束。



成像结果



局部放大

进一步放大

可以看到，这时候的成像结果很理想：距离向和方位向的压缩结果都很好。由于有斜视角 (3.5°)，距离向和方位向有略微的倾斜。

这里有一个很重要的情况：如果我们仔细分析会发现，这时候的目标位置是偏离了距离向中心的!! 为什么这么说？因为这个点目标我们是设置在 R_0 处，也就是场景中心，也是参考距离处。如果是 RDA 成像，点目标中心被压至零多普勒，该点目标中心就应该在 R_0 ，也就是我们图像的距离向中心。这里不在，为什么？

我们在正侧视的报告中已经说过：这就是 CSA 算法与 RDA 算法很不同的一点。只是当时看不出区别。

现在，对于有斜视角的情况：CSA 算法，不是把目标压至零多普勒，而是将目标压至参考频率 $f_{\eta_{ref}}$ 对应的距离单元处，即 $\frac{R_0}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)}$ 。由于 $D(f_{\eta_{ref}}, V_r) \neq 1$ ，因此点目标中心会偏离距离向中心。

现在我要做的，就是根据此理论推导该点目标中心应该出现在什么位置，并验证仿真中的位置是不是符合这样的结果：

- 1) 首先，距离向长度 $N_{rg} = 320$ 。则： $N_{rg}/2+1=161$ ，若点目标被压至零多普勒，则距离向位置就应该在此处。
- 2) 仿真结果的图像中，点目标中心在第 176 个距离单元处；
- 3) 下面进行理论分析：

设置的点目标位置位于 R_0 ，而 CSA 算法得到的点目标位置中心是在 $\frac{R_0}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)}$ ，因

此两者之间的差值（并换算成采样点数），有：

$$\begin{aligned} \text{距离差: } & \frac{R_0}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)} - R_0 \\ \Rightarrow \text{采样点数: } & \frac{2 \left(\frac{R_0}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)} - R_0 \right)}{c} \times F_r \approx 14.9216 \end{aligned}$$

以上说明，由于 CSA 算法的结果，实际得到的该点目标的中心位置比压至零多普勒时要向右偏离约 14.9216 个采样点数。

- 4) 前面已经说明：压至零多普勒时，应该在第 161 个采样点处；该仿真结果在第 176 个采样点处。它们的差为：

$$176 - 161 = 15$$

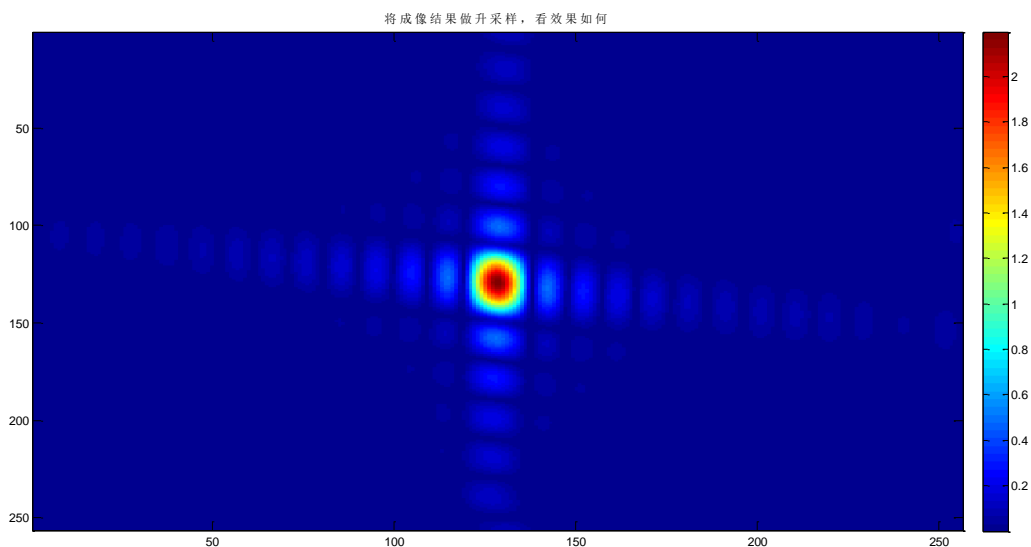
很好地符合了上面的理论结果（14.9216）。这种差异是可能存在的：因为仿真的距离向采样间隔是一定的，我们通过图中只能读出整数结果，因此这两者的差别是可以接受的。

至此，我们分析了由于 CSA 算法是将目标压至参考频率所对应的距离单元处，而导致的距离向位置不在零多普勒位置。通过计算理论结果，我们验证了仿真结果是符合理论计算的。

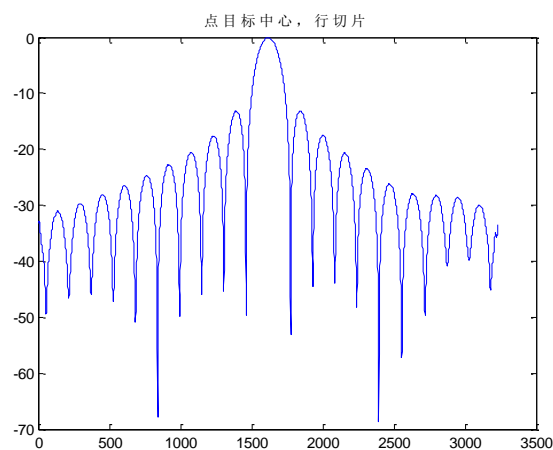
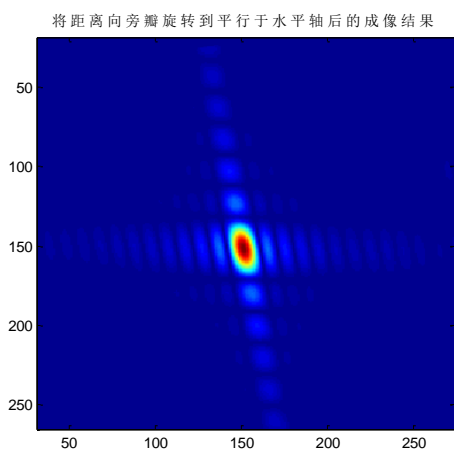
但是，这里值得说明的是：对于方位向位置的计算，我依旧没有解决。这里的结果（点目标中心的方位向位置）和我之前在 RDA 中的结果是一致的。如何理论推导出方位向位置，这还有待解决。

8. 取出点目标中心处一定范围的切片，进行二维升采样；

进一步地，得到距离向切片和方位向切片，并计算得到其指标（PSLR, ISLR, IRW）：

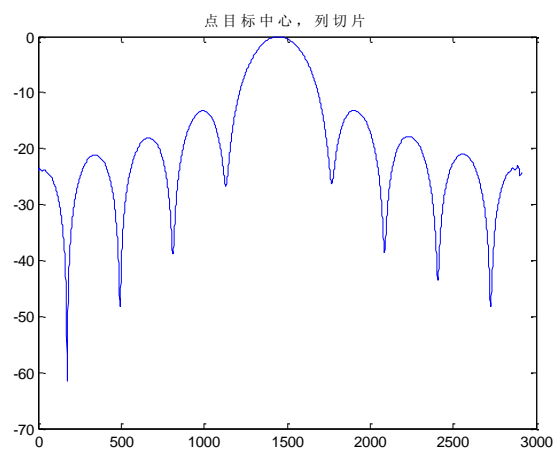
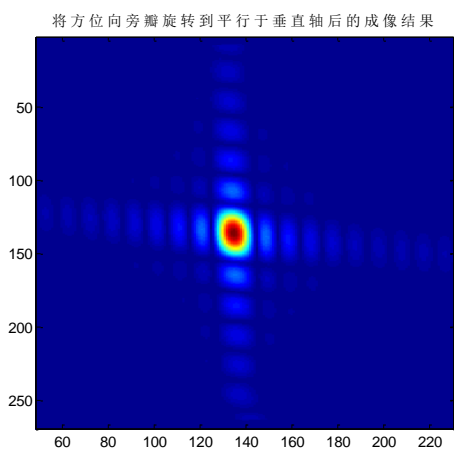


进行二维升采样



将距离向旁瓣旋转到平行于水平轴后的结果

距离向切片



将方位向旁瓣旋转到平行于垂直轴后的结果

方位向切片

升采样结果，以及切片情况都是很理想的。

下面给出它们的指标:

行切片, 点目标中心距离向指标

PSLR	ISLR	IRW
-13.0944	-10.1542	2.7177

列切片, 点目标中心方位向指标

PSLR	ISLR	IRW
-13.2044	-10.8544	1.6622

指标结果也基本符合我们的理论结果。

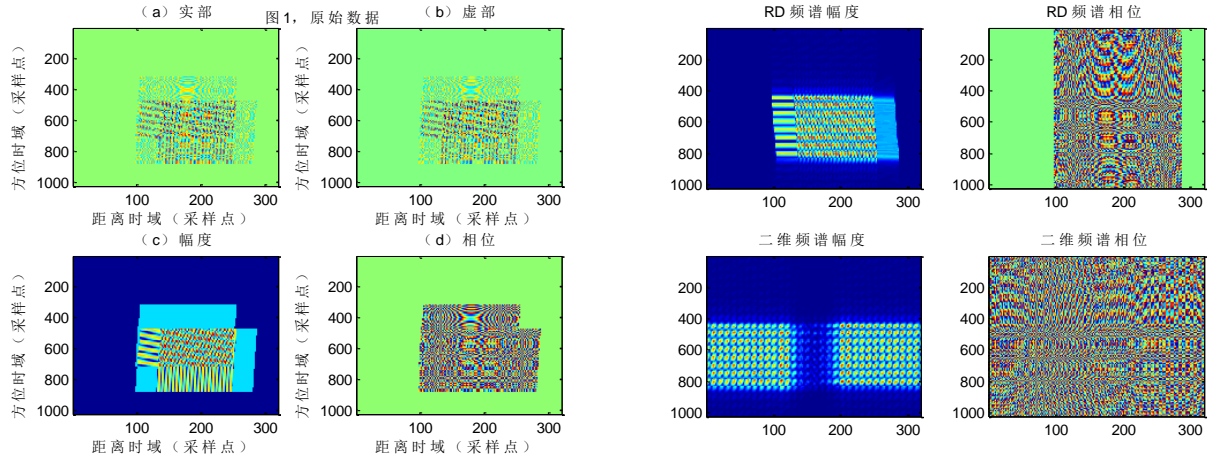
注: 上面的仿真条件是:

- 1) 原始数据生成时, 方位向只考虑一个合成孔径长度限制;
- 2) 距离向 MF 没有加窗 (即在二维频域处理时, 没有进行加权)

下面给出三点目标仿真的结果

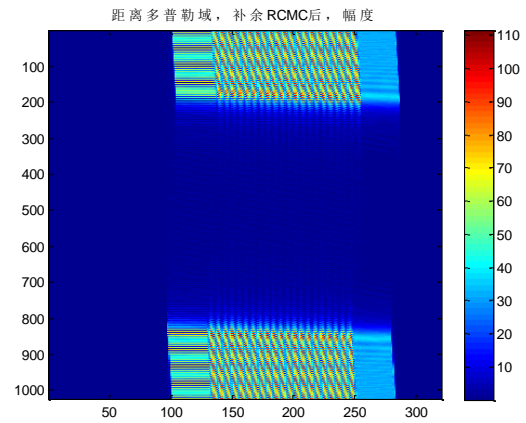
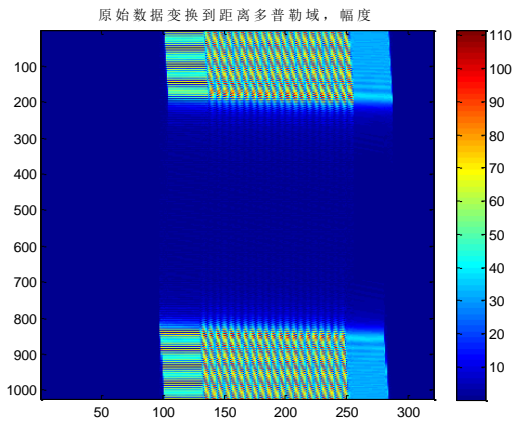
仿真条件：

- 1) 原始数据生成时，方位向只考虑一个合成孔径长度限制；
- 2) 距离向 MF 没有加窗（即在二维频域处理时，没有进行加权）



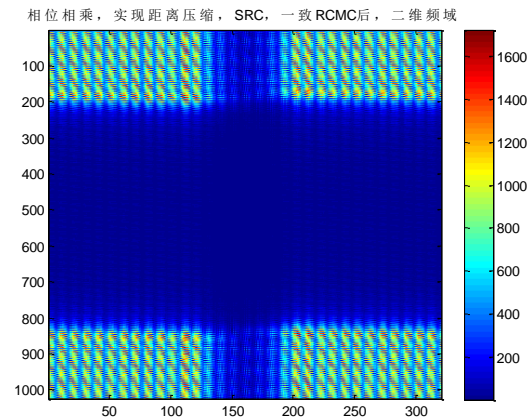
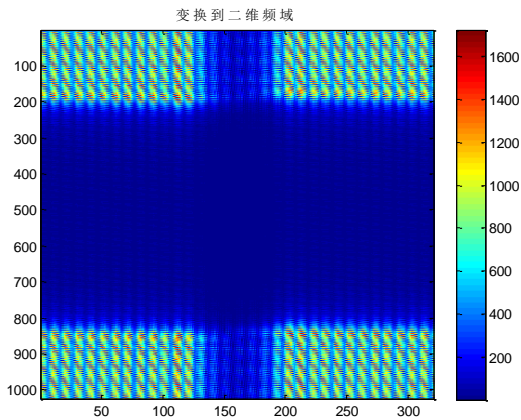
原始数据

RD 域和二维频域频谱



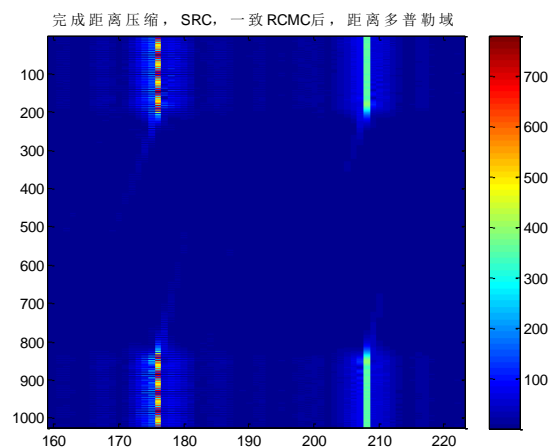
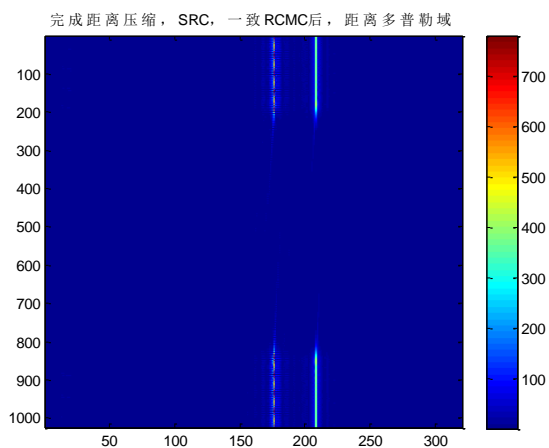
“预处理”后，变换到距离多普勒域

距离多普勒域，补余 RCMC 后，幅度



变换到二维频域

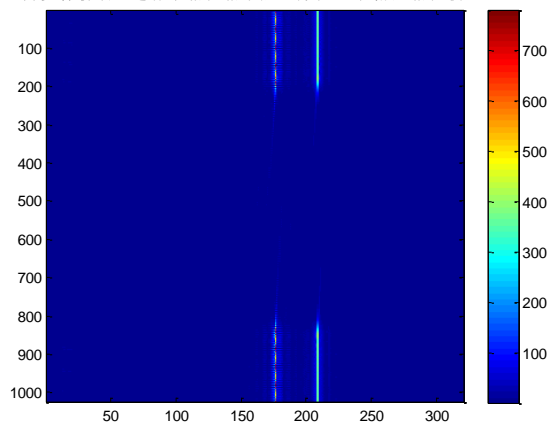
相位相乘后，二维频域



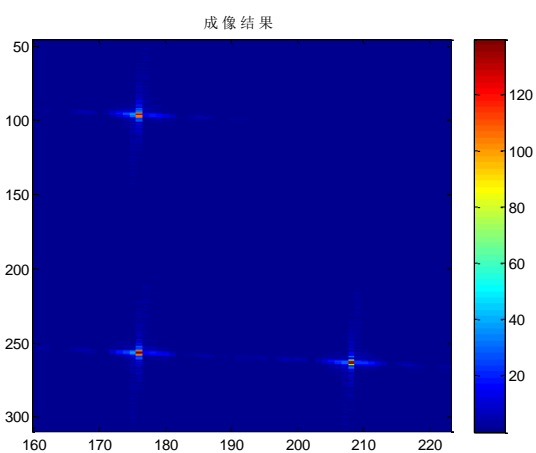
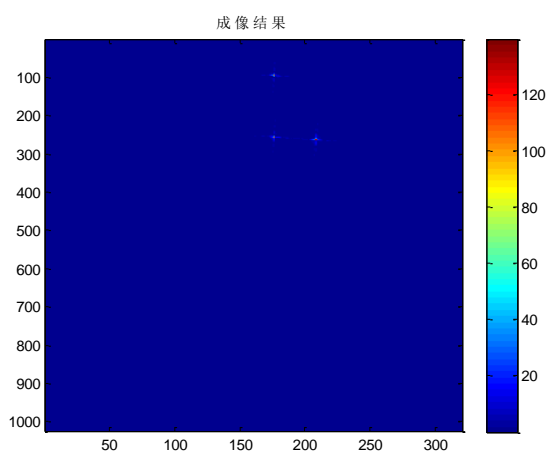
完成距离处理后, 距离多普勒域

局部放大

距离多普勒域, 进行了相位相乘后 (方位MF和附加相位校正)

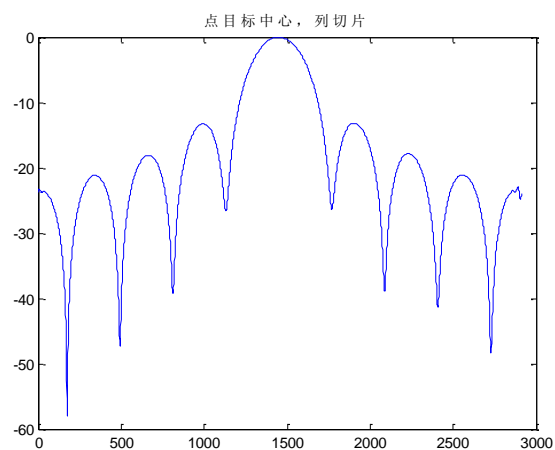
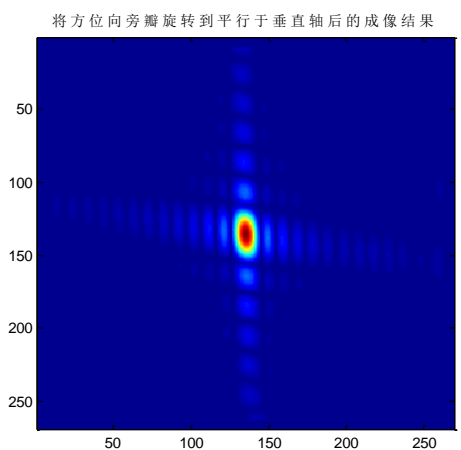
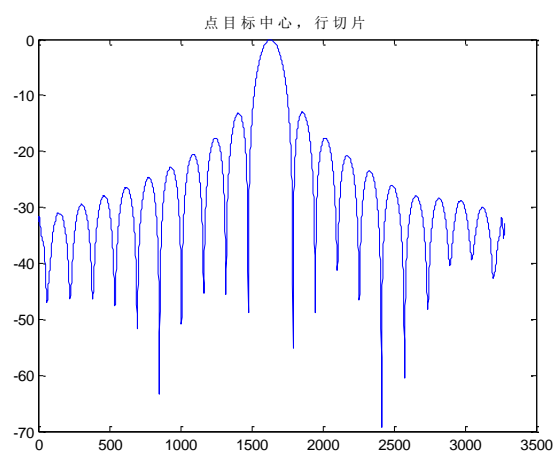
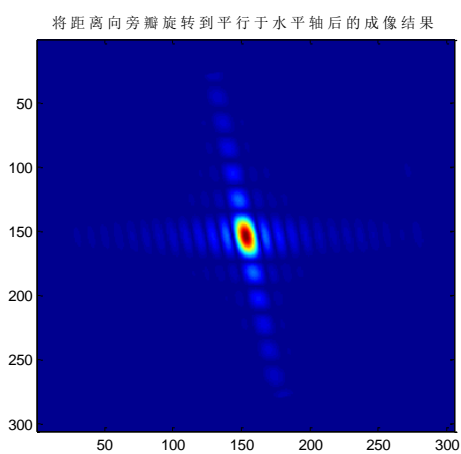
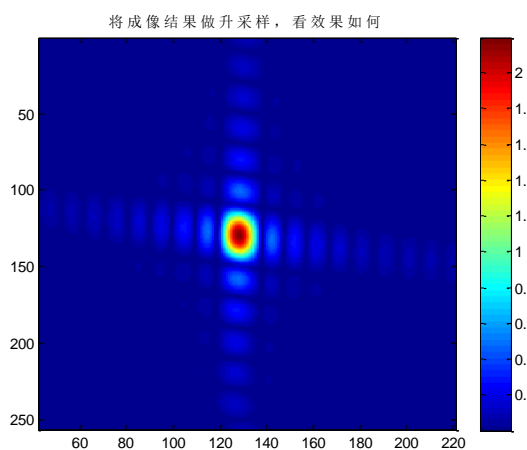
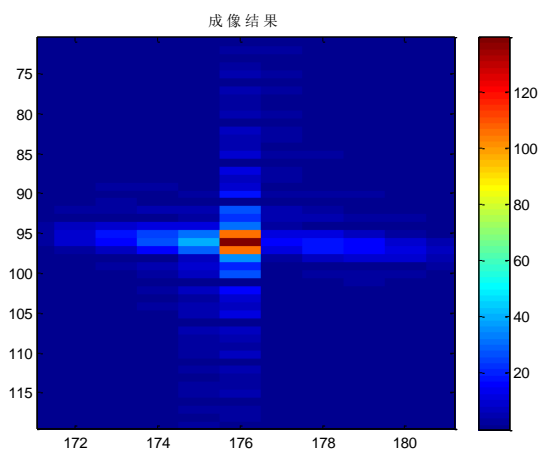


距离多普勒域, 完成方位 MF 和附加相位校正后

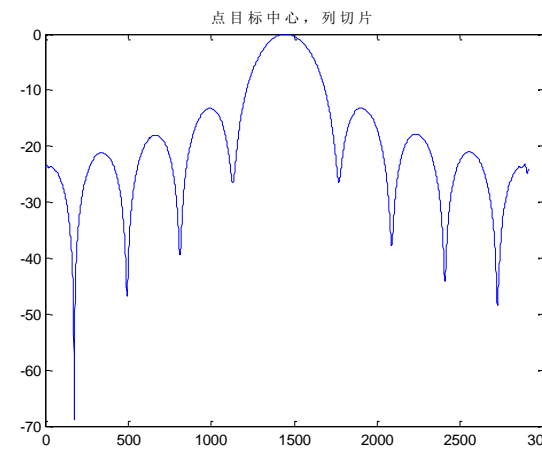
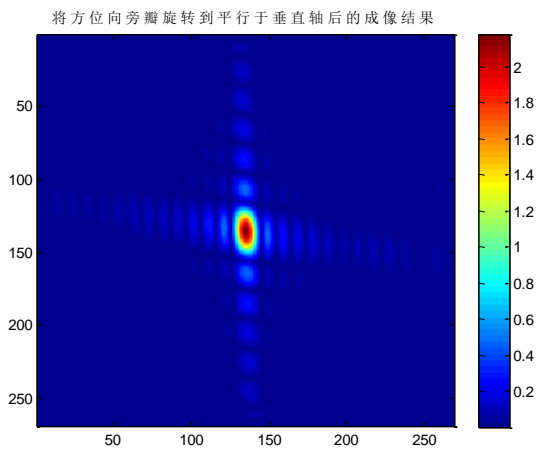
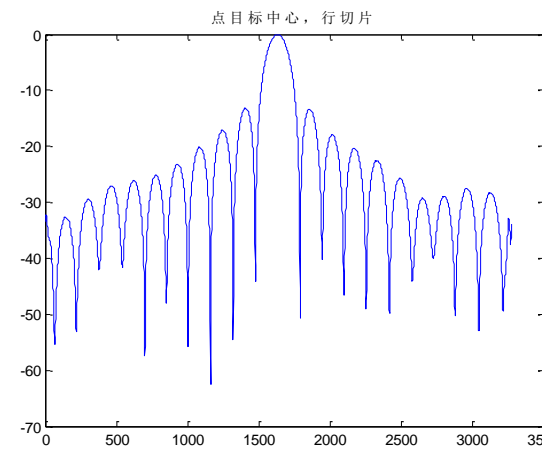
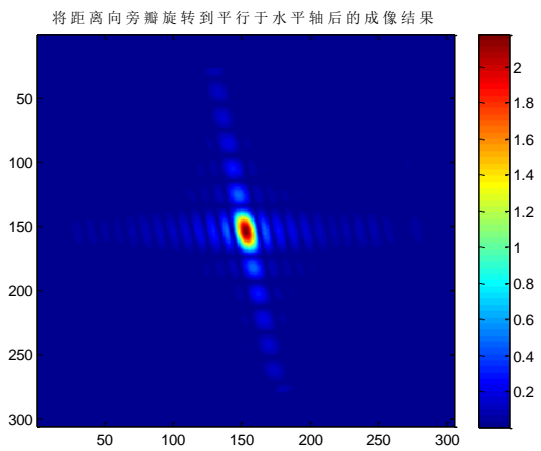
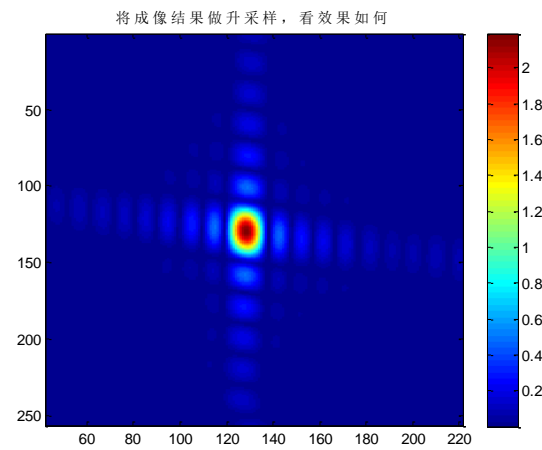
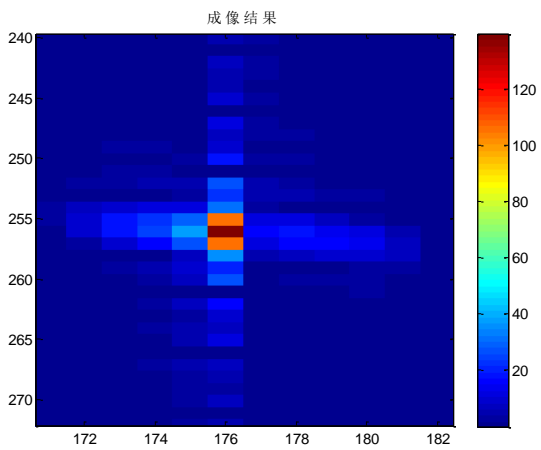


成像结果

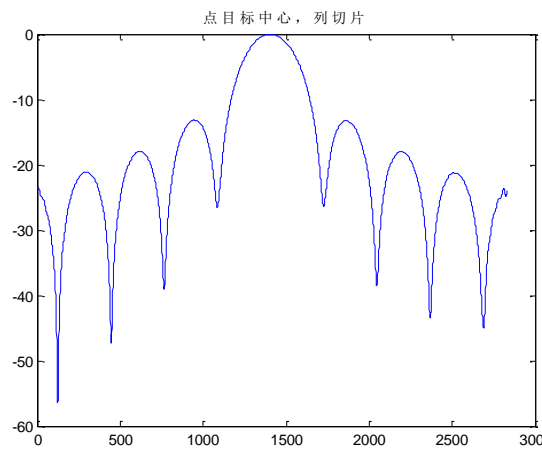
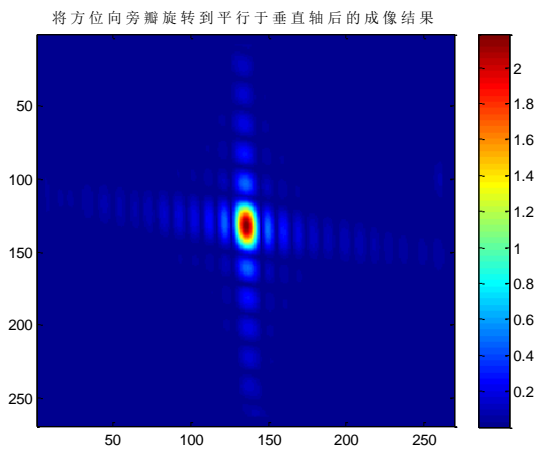
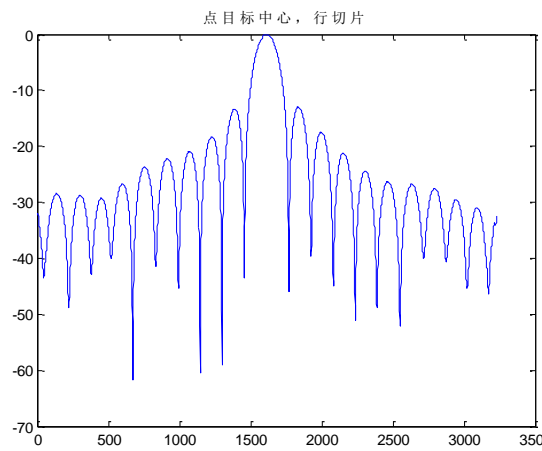
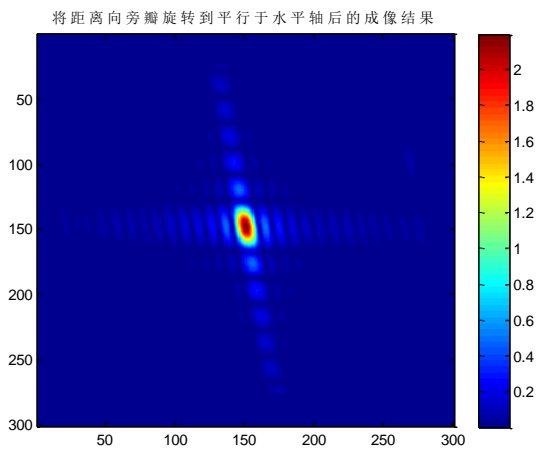
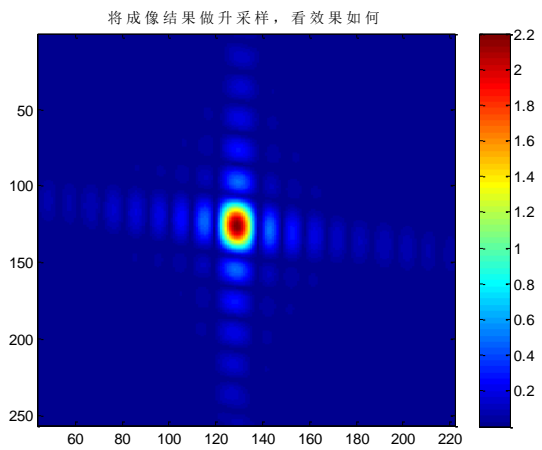
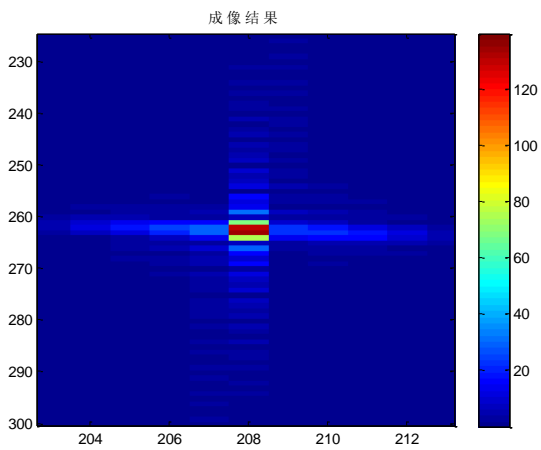
局部放大



目标 A



目标 B



目标 C

表 1 三点目标的距离向和方位向切片指标

		PSLR (dB)	ISLR (dB)	IRW (m)
目标 A	距离向	-13.0250	-10.1306	2.7278
	方位向	-13.1803	-10.8591	1.6623
目标 B	距离向	-13.2111	-10.1187	2.7277
	方位向	-13.2257	-10.8793	1.6630
目标 C	距离向	-12.9892	-10.1749	2.7106
	方位向	-13.1565	-10.9166	1.6679

最后，还要说一点：三个点目标位置（距离向）的计算：

前面单点目标仿真时，我已经说明了如何进行距离向位置的计算，并且验证了仿真结果是符合理论分析的（单点即为这里的目标 A）

这里要说明的是，如何计算目标 B 和目标 C 的位置。

在 RDA 中，我只要能知道目标 A（或者任意一个目标的位置），都可以通过计算相对位置得到另外两个目标的位置。这里也是一样，但有一点要说明的是：这里的相对位置其实和 RDA 是有一定区别的，因为也受到了 CSA 的结果不是将目标压至零多普勒，而是压至参考频率对应的距离单元。

在程序中，我对三个点目标位置的计算及调用函数 `target_analysis_2(s_ac,Fr,Fa,Vr)` 进行指标分析部分的代码是：

```

% 下面通过调用函数，得到三个点目标各自的切片，并进行升采样
% 同时对点目标中心做距离向切片，方位向切片
% 计算出相应的指标：PSLR，ISLR，IRW

```

```

NN = 20;

```

```

% 分别得到每个点目标的切片放大；行切片、列切片；和相应的指标

```

```

% 目标 1，点目标中心在 ( tg_1_x, tg_1_y )

```

```

tg_1_x = 96;

```

```

% 下面计算目标 1 的距离向位置:

```

```

% 由于 CSA 的变标作用，从原来的压至零多普勒 (R0)，变为压至方位参考频率 (fn_ref)
处的距离单元 (即 R0/D_fn_ref_Vr)，因此对应的目标 1 的 y 轴位置如下，为 tg_1_y :

```

```

tg_1_y = round( (Nrg/2+1) + 2*(R0/D_fn_ref_Vr-R0)/c*Fr );
target_1 = target_analysis_2( s_image(tg_1_x-NN:tg_1_x+NN,tg_1_y-NN:tg_1_y+NN),Fr,Fa,Vr);

% 目标 2, 点目标中心在 (tg_2_x, target_2_y)
tg_2_x = tg_1_x + delta_R1/Vr*Fa;
tg_2_y = tg_1_y;
target_2 = target_analysis_2( s_image(tg_2_x-NN:tg_2_x+NN,tg_2_y-NN:tg_2_y+NN),Fr,Fa,Vr);

% 目标 3, 点目标中心在 (tg_3_x, tg_3_y)
tg_3_x = tg_2_x + delta_R2*tan(sita_r_c)/Vr*Fa;
tg_3_x = fix(tg_3_x);
tg_3_y = tg_2_y + 2*(delta_R2/D_fn_ref_Vr)/c*Fr;
target_3 = target_analysis_2( s_image(tg_3_x-NN:tg_3_x+NN,tg_3_y-NN:tg_3_y+NN),Fr,Fa,Vr);
-----

```

说明:

目标 2 和目标 1 的距离位置是一样的, 因此只需要说明目标 3 的距离位置如何计算。

程序中我采用的方法是:

$$tg_3_y = tg_2_y + 2*(delta_R2/D_fn_ref_Vr)/c*Fr;$$

delta_R2 = 80; 表示目标 2 和目标 3 的距离向距离差, 为 80m。

根据前面所说:

1) 目标 1 (目标 2) 的距离向位置, 被压至: $\frac{R_0}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)}$

2) 目标 3 的距离向位置, 被压至: $\frac{R_3}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)} = \frac{R_0 + \Delta R}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)}$

3) 因此, 目标 3 和目标 1 的距离向位置差, 并换算成采样单元数, 应该是:

$$\begin{aligned}
 \text{距离差: } & \frac{R_0 + \Delta R}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)} - \frac{R_0}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)} = \frac{\Delta R}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)} \\
 \Rightarrow \text{换算成采样单元数: } & \frac{2 \frac{\Delta R}{D(f_{\eta_{ref}}, V_r)}}{c} \times F_r = 32.0598
 \end{aligned}$$

因此, 目标 3 的距离位置应该是: $176 + 32.0598 = 208.0598$

4) 通过图中得出的目标 3 的距离向位置是: 第 208 个采样单元, 和理论符合的很好。

- 5) 注意到, 在 “ $tg_3_y = tg_2_y + 2 * (\delta_R2 / D_fn_ref_Vr) / c * Fr;$ ” 中, 我实际上就是采用上面所述的方法来计算。
- 6) 同样, 对于方位向位置的计算, 我目前还没有解决。

WD

2014.10.18. 21:06 p.m.