



# مباحث ویژه (پردازش سیگنال های راداری)

نیم سال دوم ۰۳-۰۲

الگوریتم Omega-K

- یکی از محدودیت های الگوریتم RDA عدم جبران کامل وابستگی (کوپلینگ) برد-سمت در سیگنال SAR است. این وابستگی تابعی از فرکانس سمت - زمان برد است.
- در نسخه دقیق RDA وابستگی حوزه فرکانس سمت جبران می شود، ولی وابستگی زمان برد جبران نشده باقی می ماند، مخصوصا وقتی که پهنای پرتو در سمت زیاد باشد.
- در الگوریتم CSA نیز وابستگی برد جبران نمی شود که در روزنه بزرگ یا لوچی زیاد خود را نشان می دهد.
- این موضوع در الگوریتم  $\omega$ K در حوزه فرکانس دو بعدی جبران می شود.
- ✓ بنابراین این الگوریتم در روزنه طولانی و لوچی زیاد کارایی خود را حفظ می کند.
- ✗ این الگوریتم سرعت موثر سکو ( $Vr$ ) را در همه بردها ثابت فرض می کند، لذا در حالت فضاپایه و عرض نوار زیاد تا حدی دقت خود را از دست می دهد.

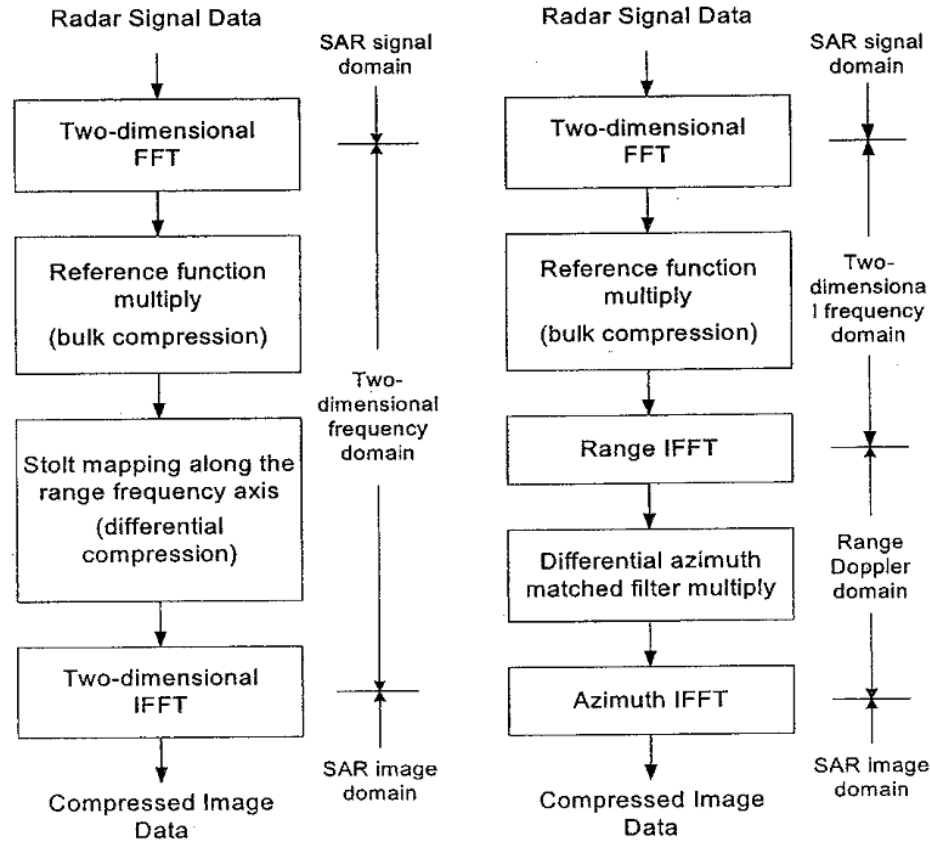


Figure 8.1: The major operations in the (a) accurate and (b) approximate forms of the  $\omega$ -K algorithm.

1. A two-dimensional FFT is performed to transform the SAR signal data into the two-dimensional frequency domain.
2. The first key focusing step is a *reference function multiply*. The reference function is computed for a selected range, usually the midswath range, so that it compensates the phase at that range, including the phase resulting from the frequency modulation in range, RCM, range-azimuth coupling, and the frequency modulation in azimuth. After its application, a target at the reference range is correctly focused, but targets away from that range are only partially focused.
3. The second key step, the *Stolt interpolation*, focuses the remainder of the targets using an interpolation in the range frequency direction. One can view the reference function multiply of Step 2 as *bulk focusing* and the Stolt interpolation as *differential focusing*.
4. A two-dimensional IFFT is performed to transform the data back to the time domain, that is, the SAR image domain.

- این الگوریتم به لحاظ تاریخی نامهای زیادی دارد:
- $\omega$ KA ، Range Migration Algorithm ، RMA ، Stolt Mapping
- الگوریتم  $\omega$ -K به همراه الگوریتم RDA دو تا از پرکاربردترین الگوریتم ها برای داده نواری هستند.
- این الگوریتم برای داده نورافکنی هم استفاده شده است.
- نسخه تقریبی این روش از نظر پردازش بسیار بهینه است اما در آن RCMC با تقریب انجام می شود.
- داده در ابتدا باید به حوزه فرکانس دو بعدی برده شود:

$$S_{2df}(f_\tau, f_\eta) = A W_r(f_\tau) W_a(f_\eta - f_{\eta_c}) \exp\{j \theta_{2df}(f_\tau, f_\eta)\} \quad (8.1)$$

$$S_{2df}(f_\tau, f_\eta) = A W_\tau(f_\tau) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \exp\{j \theta_{2df}(f_\tau, f_\eta)\}$$

$$\theta_{2df}(f_\tau, f_\eta) = -\frac{4\pi R_0}{c} \sqrt{(f_0 + f_\tau)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_r^2}} - \frac{\pi f_\tau^2}{K_r}$$

□ در کتاب سومخ:

$$S(\omega, k_u) = P(\omega) \sum_n \sigma_n \underbrace{\exp(-j\sqrt{4k^2 - k_u^2} x_n - jk_u y_n)}_{\text{Linear phase function of } (x_n, y_n)}.$$

□ در اینجا مختصات سمت هدف نیز در نظر گرفته شده است.

□  $x_n$  همان  $R_0$  است.

□  $P(\omega)$  همان ترم فاز آخر در عبارت Cumming است.

□ تابع فاز مرجع در حوزه فرکانس دو بعدی (فیلتر منطبق):

$$\theta_{\text{ref}}(f_{\tau}, f_{\eta}) = + \frac{4\pi R_{\text{ref}}}{c} \sqrt{(f_0 + f_{\tau})^2 - \frac{c^2 f_{\eta}^2}{4 V_{r_{\text{ref}}}^2}} + \frac{\pi f_{\tau}^2}{K_r}$$

□ پس از ضرب در تابع مرجع:

$$\theta_{\text{RFM}}(f_{\tau}, f_{\eta}) \approx - \frac{4\pi (R_0 - R_{\text{ref}})}{c} \sqrt{(f_0 + f_{\tau})^2 - \frac{c^2 f_{\eta}^2}{4 V_r^2}}$$

□ به ازای برد مرجع ( $R_{\text{ref}}$ ) تمامی عبارات فاز جبران می شوند، بنابراین اهداف واقع در برد مرجع پس از عکس تبدیل فوریه دو بعدی به طور کامل متمرکز (**focus**) می شوند.

□ در بردهای غیر مرجع، ترم فاز باقی می ماند که عکس تبدیل فوریه دو بعدی باعث می شود این اهداف به طور نسبی متمرکز شوند. (هر چه اهداف از برد مرجع دورتر باشند، محوشدگی بیشتر است.)

□ درون یابی Stolt

$$\sqrt{(f_0 + f_\tau)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4 V_\tau^2}} = f_0 + f'_\tau$$

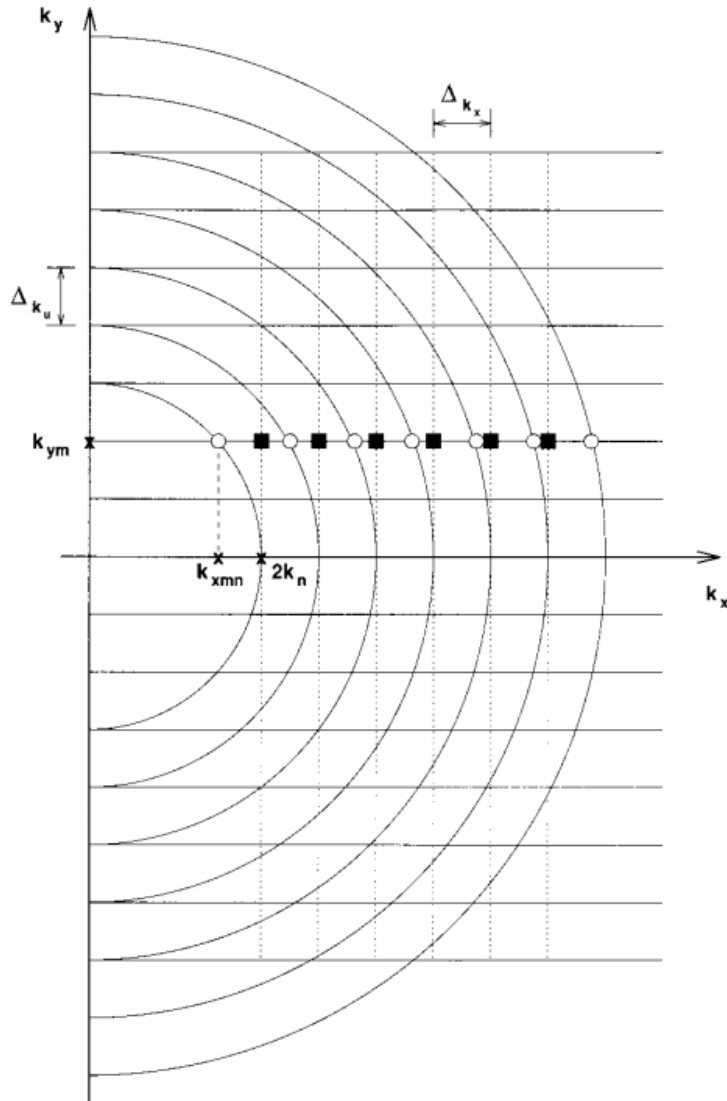
□ در کتاب سومخ:

$$k_x(\omega, k_u) = \sqrt{4k^2 - k_u^2},$$

$$k_y(\omega, k_u) = k_u.$$



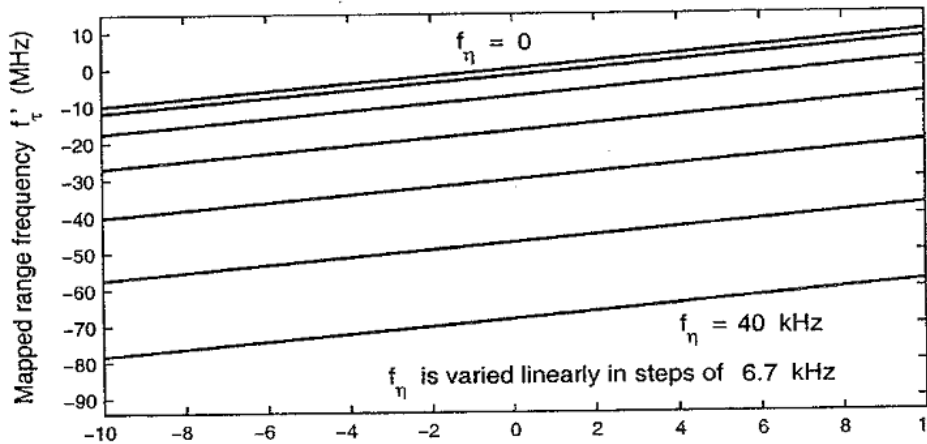
□ نحوه انجام درون یابی



$$\sqrt{(f_0 + f_\tau)^2 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4 V_\tau^2}} = f_0 + f'_\tau$$

□ در کتاب Cumming:

(a) Stolt mapping from the  $f_\tau$  axis to the  $f'_\tau$  axis



(b) Stolt mapping, relative to the  $f_\eta = 0$  case

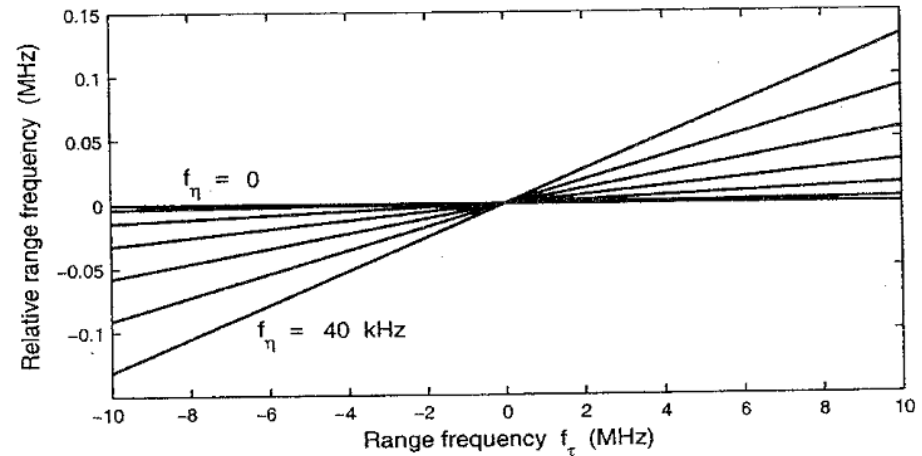


Figure 8.2: Illustrating the Stolt mapping of the variable  $f_\tau$  onto the variable  $f'_\tau$  of (8.5). Panel (b) shows the data of the upper plot with an expanded vertical scale, with the  $f_\eta = 0$  curve subtracted and the offset at  $f_\tau = 0$  of each curve subtracted as well.

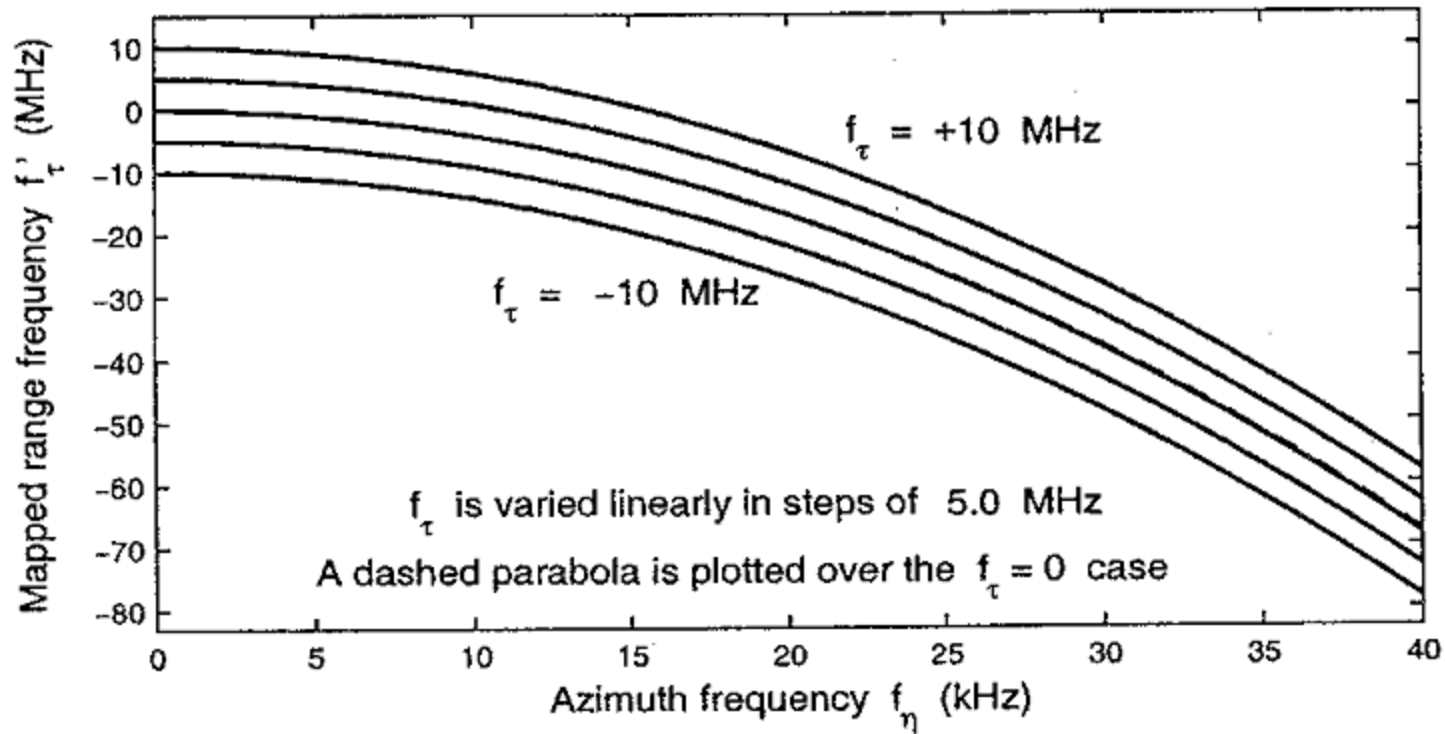


Figure 8.3: Stolt mapping as a function of  $f_\eta$ .

□ تابع فاز بعد از درون یابی (Stolt Mapping)

$$\theta_{\text{Stolt}}(f'_\tau, f_\eta) = -\frac{4\pi(R_0 - R_{\text{ref}})}{c}(f_0 + f'_\tau)$$

□ در واقع پس از درون یابی داریم:

$$S_2(f'_\tau, f_\eta) = A W_\tau(f'_\tau) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \exp\left\{-j \frac{4\pi(R_0 - R_{\text{ref}})}{c}(f_0 + f'_\tau)\right\}$$

□ که پس از عکس تبدیل فوریه دو بعدی به یک سینک دوبعدی در مکان متناسب با مکان هدف دست می یابیم.

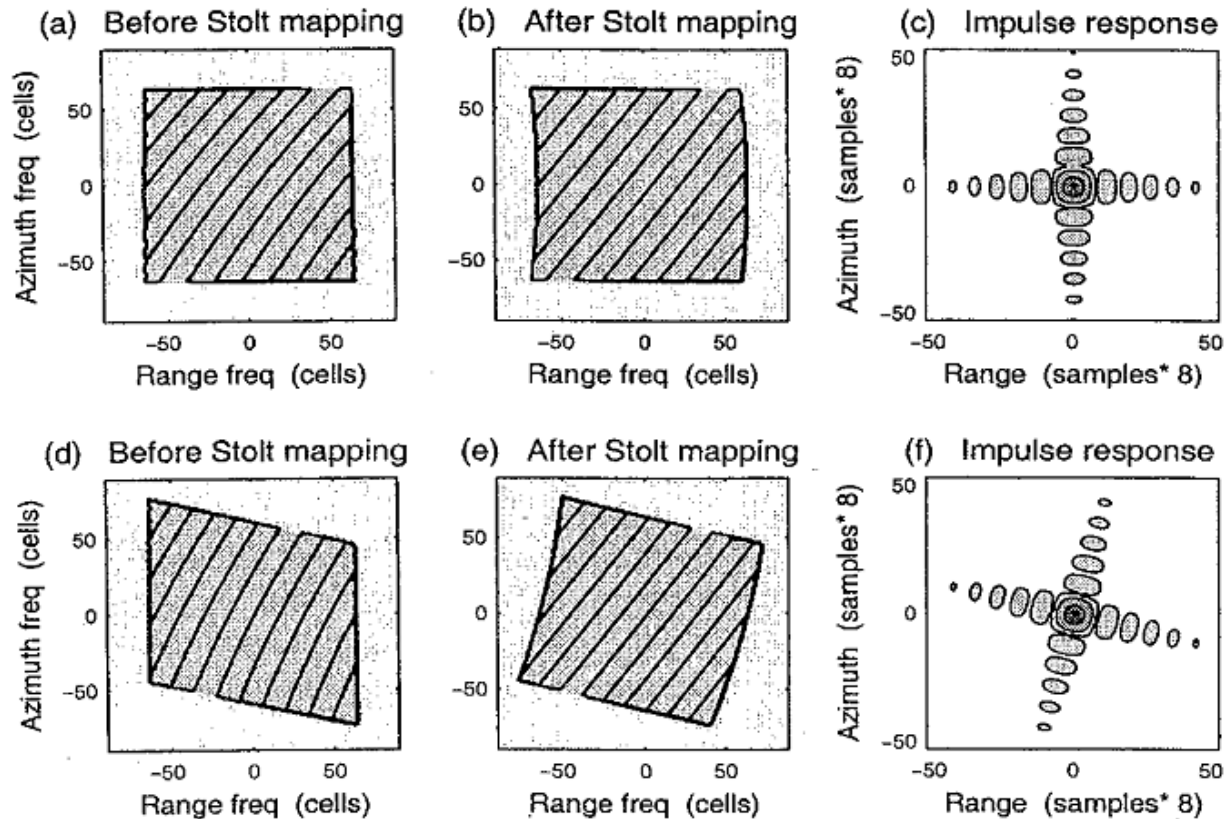


Figure 8.6: Two-dimensional spectra of a target and the impulse response after compression. The top row (a–c) is the zero squint case, while the bottom row (d–f) illustrates the skew of the spectrum when significant squint is present. The solid lines in the two leftmost columns represent phase contours.

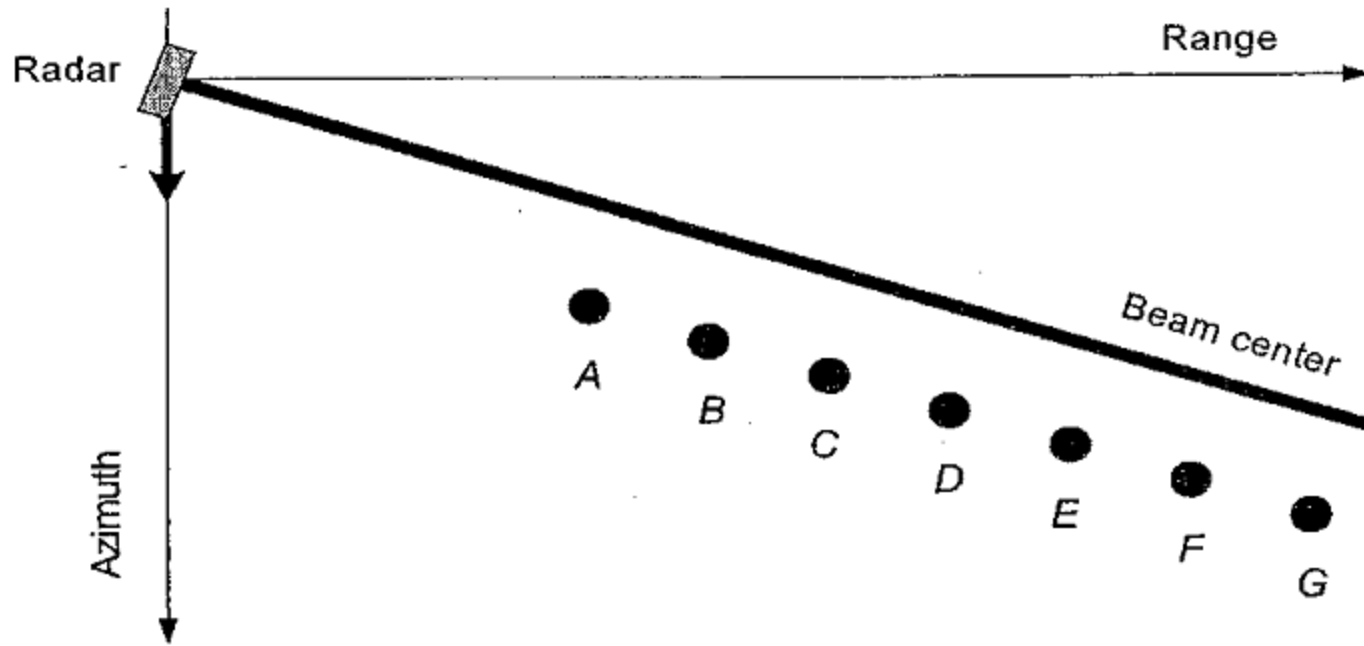
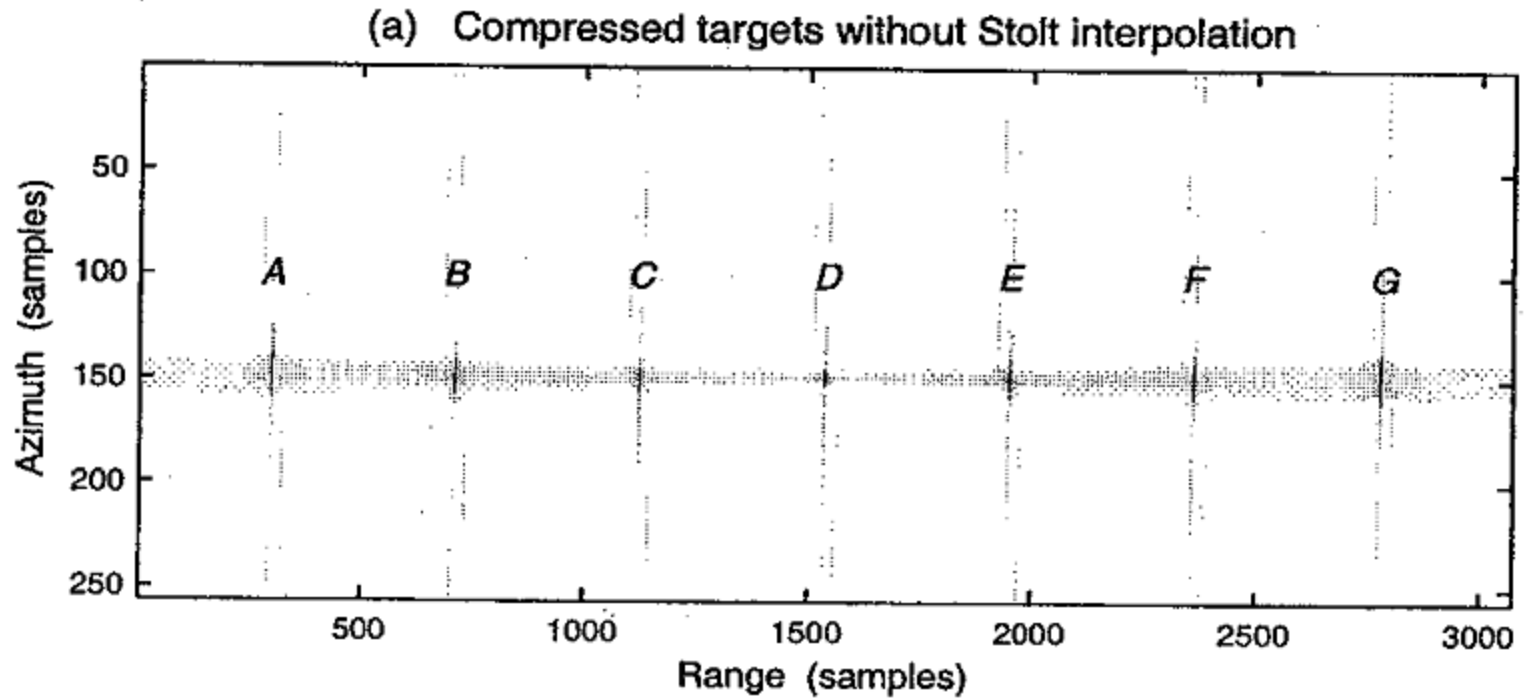


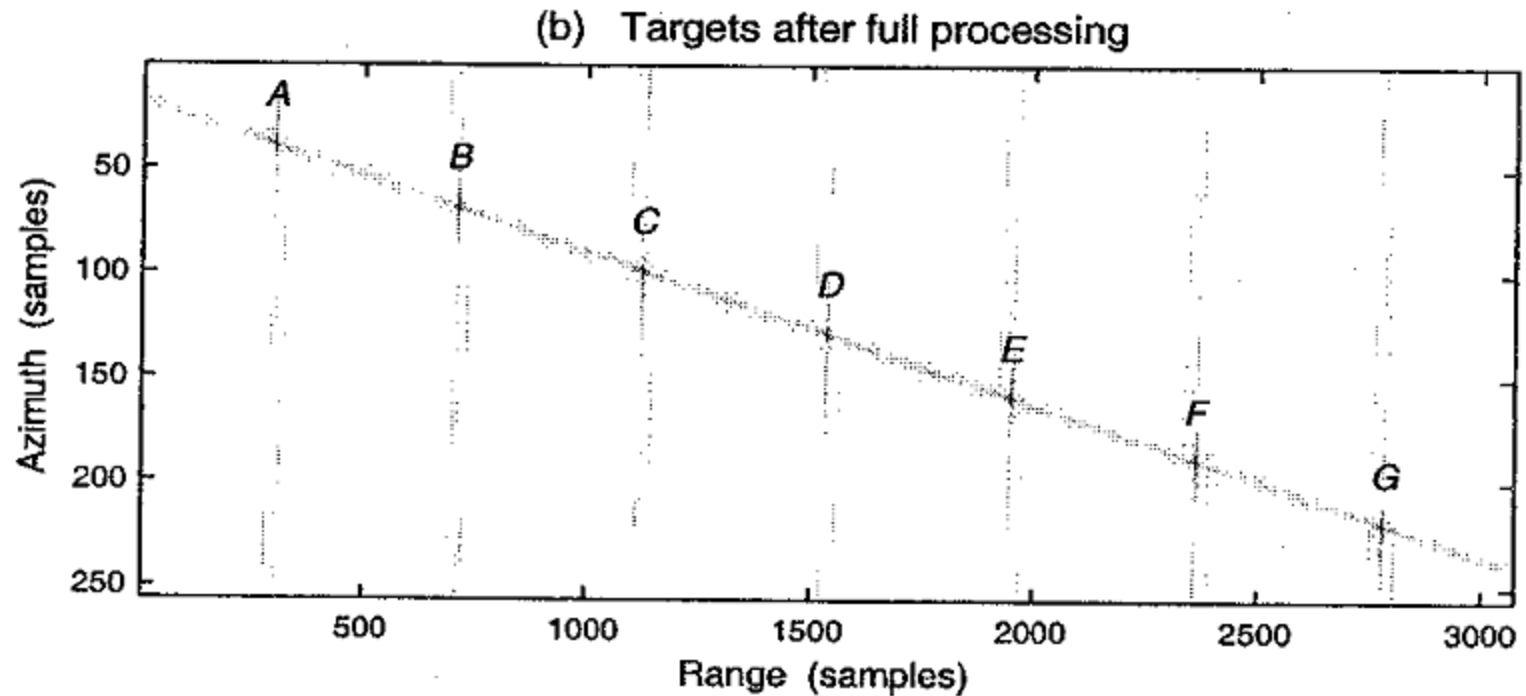
Figure 8.8: Positions of seven targets used in the simulation.

# مثال شبیه سازی

□ تصویر بدون Stolt Mapping



□ تصویر پس از Stolt Mapping





□ خصوصیات هدف متمرکز

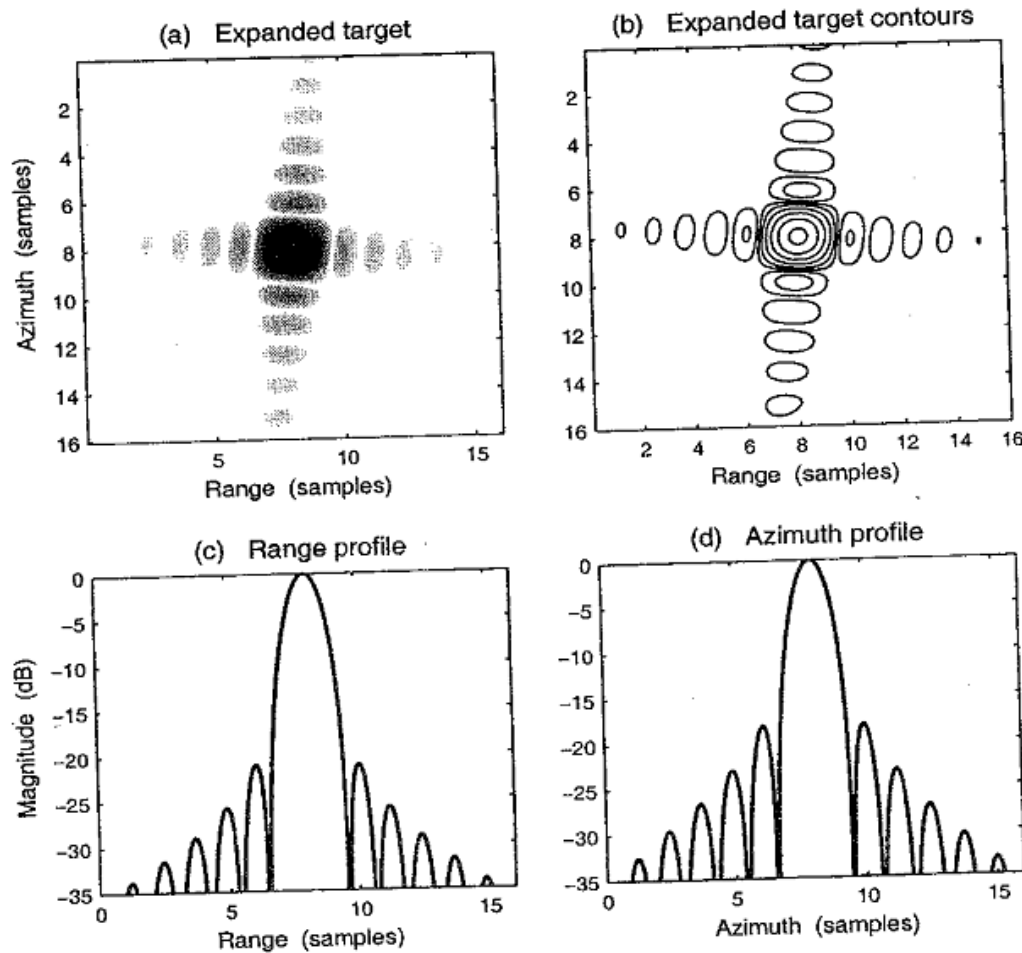
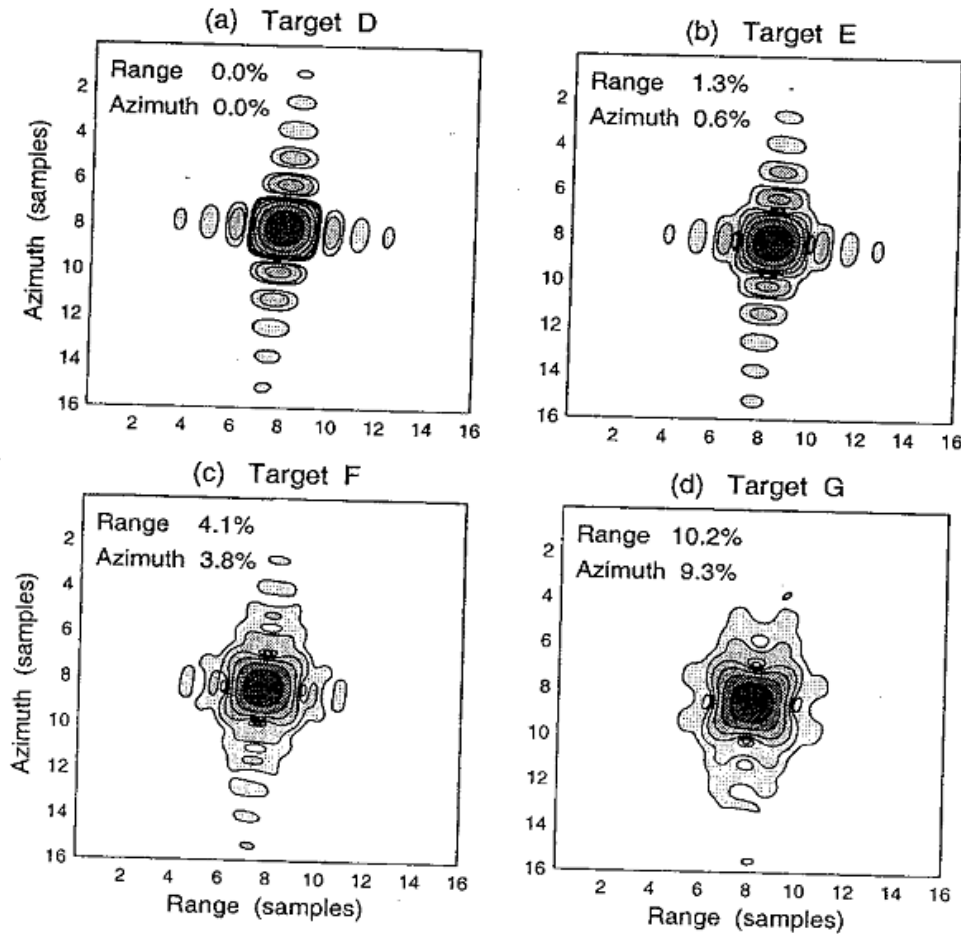


Figure 8.10: Analysis of the impulse response of Target A.



□ اهداف نقطه ای  
در نسخه تقریبی

Figure 8.14: Impulse responses of targets *D* to *G*, using the approximate Stolt interpolation. The range and azimuth broadening is shown in the annotation.



Figure 8.15: An X-band airborne spotlight radar image processed with the  $\omega$ KA algorithm. Courtesy of MacDonald Dettwiler.