مباحث ویژه
(پردازش سیگنال های راداری)

تحلیل سیگنال SAR

نیم سال دوم ۰۳-۰۲

هندسه عملکرد

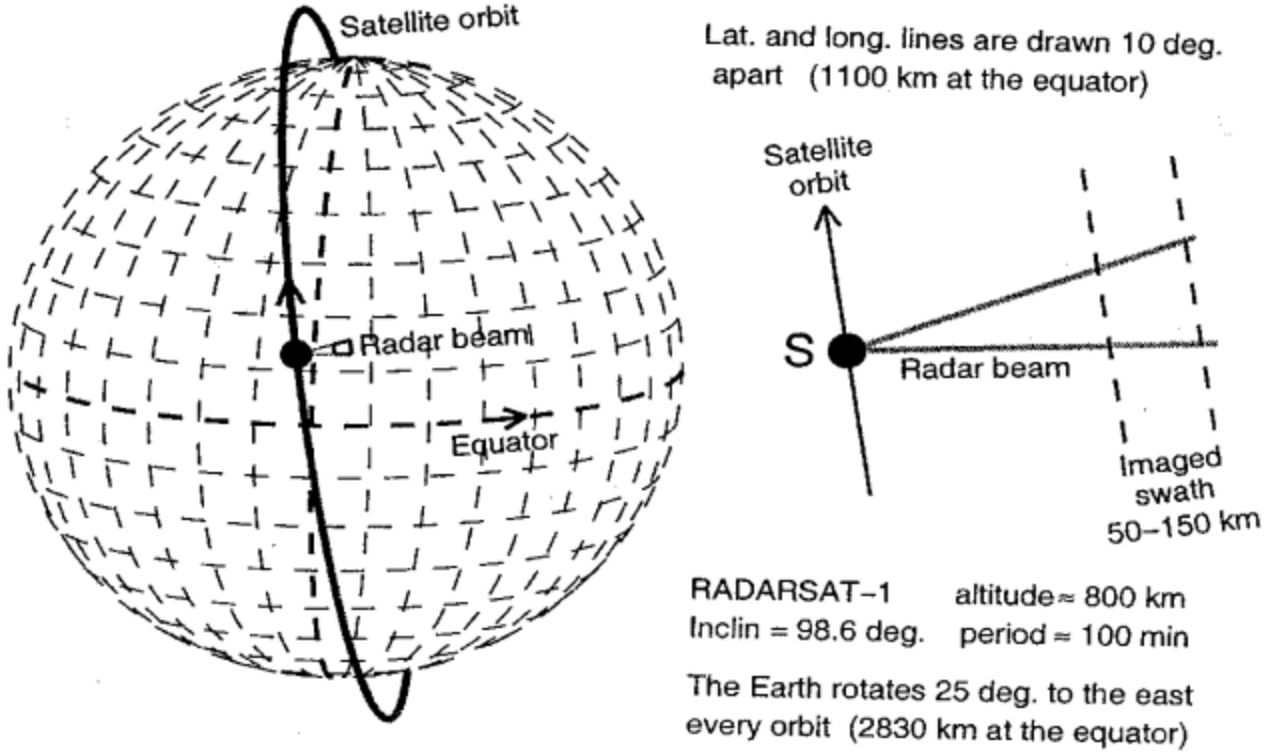


Figure 4.5: Earth/satellite geometry with RADARSAT-1 parameters.

هندسه عملکرد

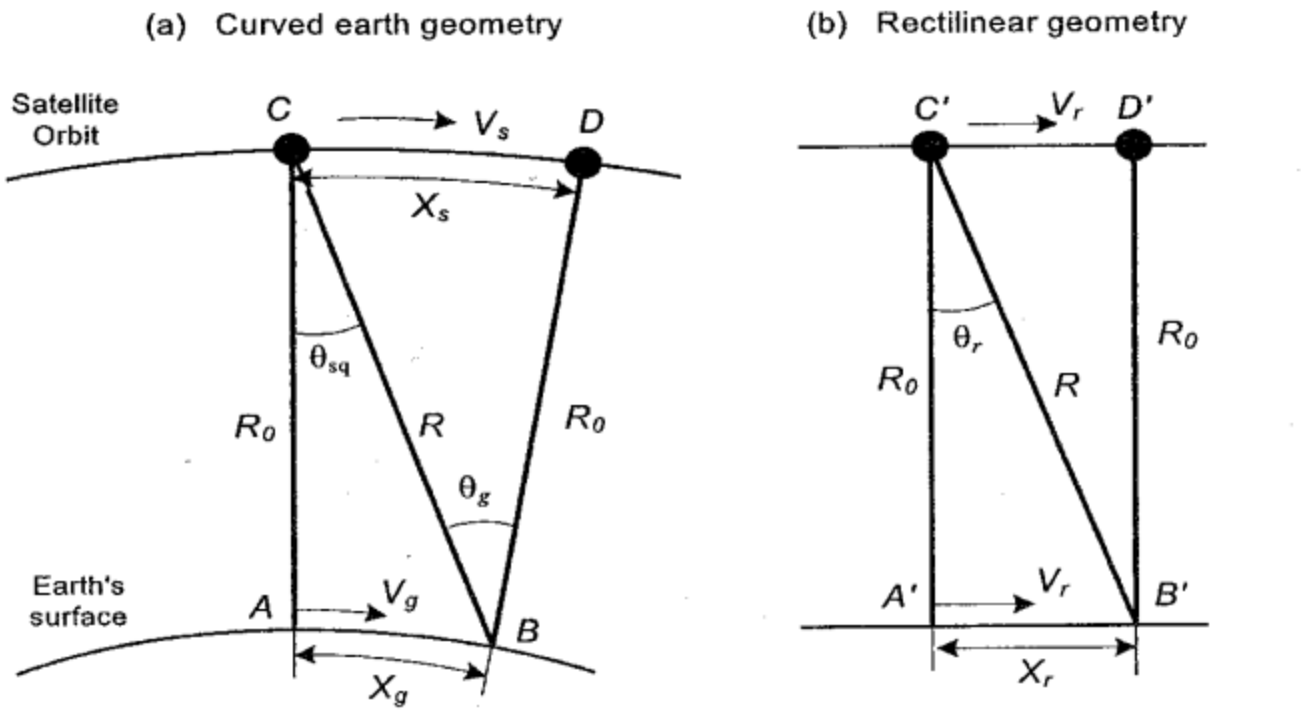
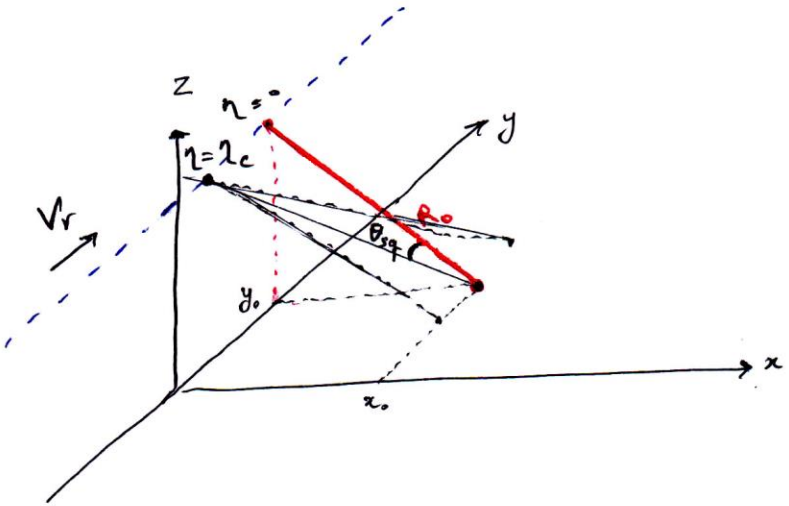


Figure 4.6: Approximation of curved Earth geometry by rectilinear geometry.

سیگنال ارسالی

تحلیل سیگنال SAR



سیگنال باند پایه ارسالی :

$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_r}\right) e^{(j\pi k_r t^2)} = w_r(\tau)\exp(j\pi k_r \tau^2)$$

سیگنال مدوله شده ارسالی :

$$s_{tr}(\tau) = w_r(\tau)\, e^{j\pi k_r \tau^2}\, e^{j2\pi f_0 \tau}$$

معادله برد هدف نقطه‌ای :

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_r^2 \eta^2}$$

توضیح دهید V_r (شکل 4.6) شکل 4.5

سیگنال دریافتی

سیگنال دریافتی

$$S_r(\tau,\eta) = A_0 w_r\left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right) e^{j\pi k_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right)^2} e^{j2\pi f_0 \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right)} \cdot w_a(\eta - \eta_c)$$

سیگنال باند پایه دریافتی (Raw Data)

$$S_0(\tau,\eta) = A_0 w_r\left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right) w_a(\eta-\eta_c) e^{-j2\pi f_0 \frac{2R(\eta)}{c}} e^{j\pi k_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right)^2}$$

$$= w_r\left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right) w_a(\eta-\eta_c) e^{-j\frac{4\pi}{\lambda}R(\eta)} e^{j\pi k_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c}\right)^2}$$

سیگنال حوزه برد — سیگنال حوزه زمان — عرض سیگنال در زمان — RCM و عرض سیگنال در برد

ماتریس داده خام : حاصل نمونه برداری S_0 است.

نمونه برداری در حوزه τ (زمان تند) با فرکانس نمونه برداری $F_r \geq B$.

نمونه برداری در حوزه η (زمان آهسته) با فرکانس نمونه برداری PRF

(شکل 4.14)

سیگنال ارسالی و دریافتی

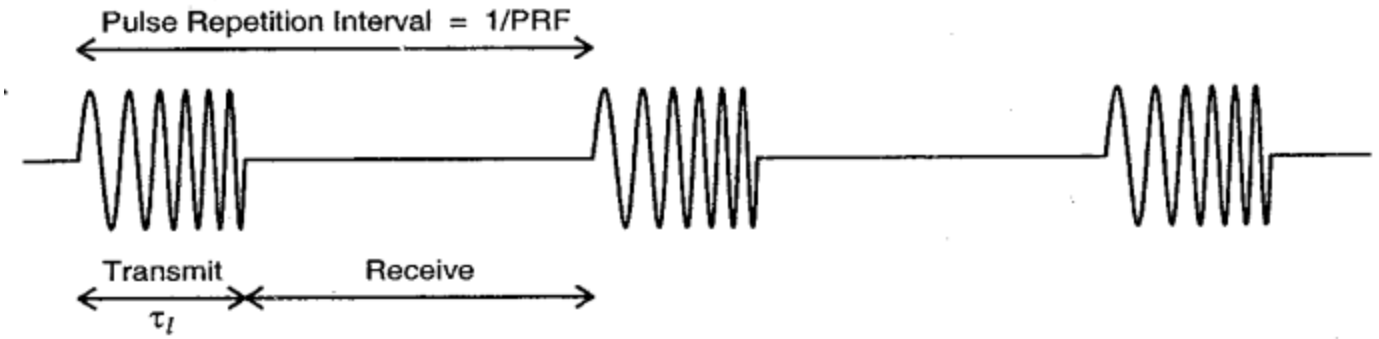


Figure 4.8: Timing of transmitted radar pulses (not to scale).

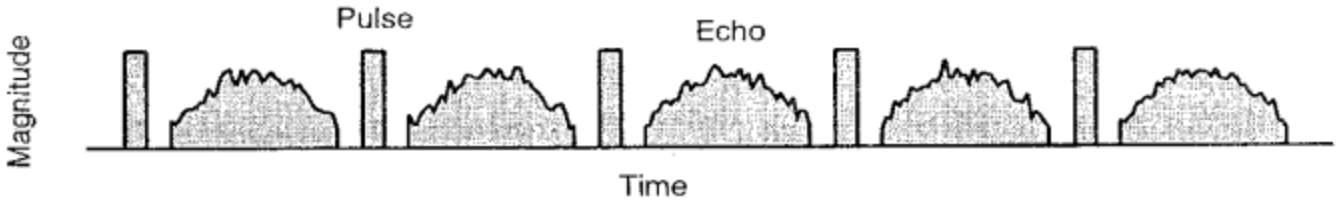


Figure 4.9: Illustrating the transmit and receive cycles of a pulsed radar.

سیگنال دریافتی

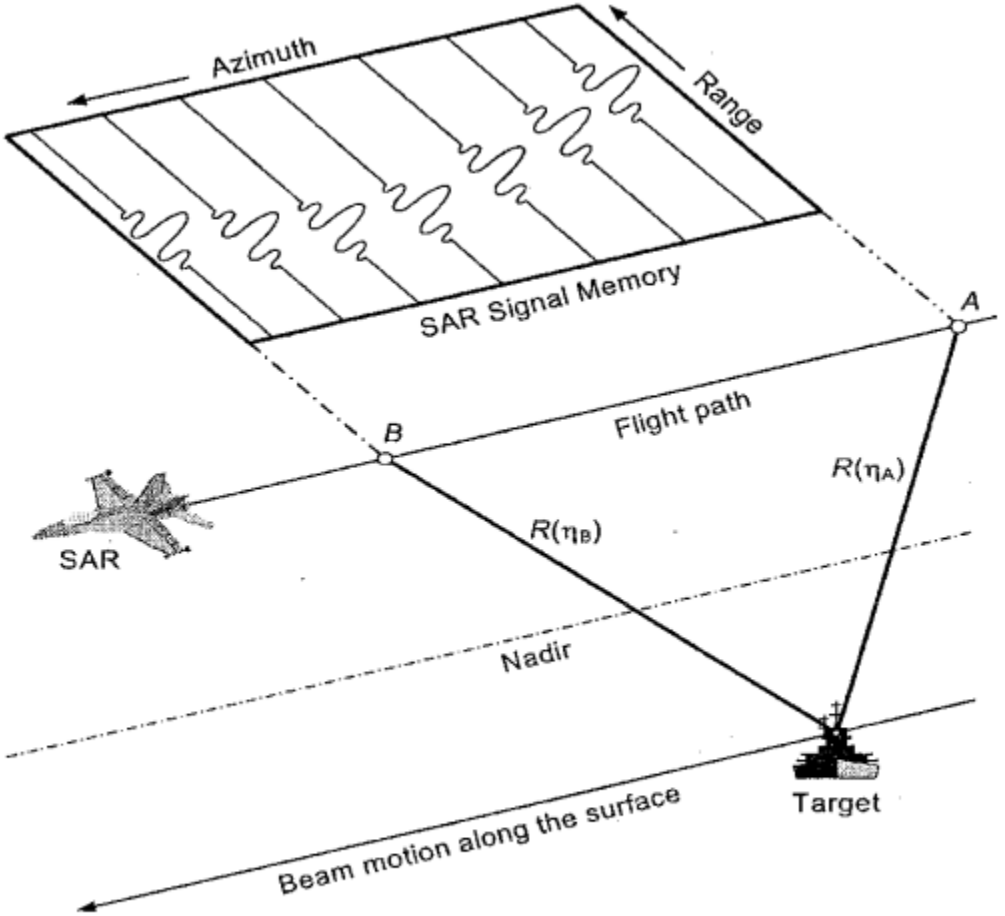


Figure 4.12: How the received SAR data are placed in a two-dimensional signal memory.

سیگنال دریافتی

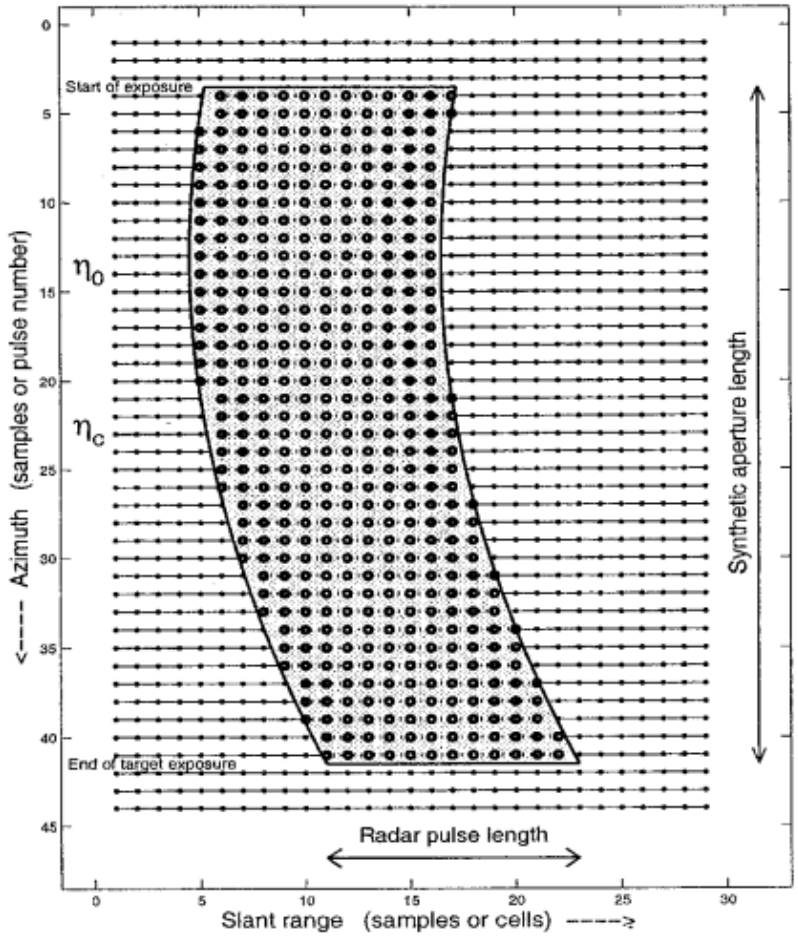


Figure 4.14: The locus of energy of a single point target in the two-dimensional signal processor memory, within the nominal target exposure time (the target energy extends beyond these limits with a smaller magnitude).

معادله برد

چند نکته : طبق شکل 4.6 ، برای معادلات برد، روابط 4.11 تا 4.18 را داریم.

$$\sin\theta_{sq} = \frac{x_g}{R(\eta)} = -\frac{V_g\eta}{R(\eta)}$$

علامت منفی به این دلیل است که به ازای $\theta_{sq}>0$ (نگاه به جلو) سکو وقتی به نزدیکترین فاصله می‌رسد $\eta<0$ می‌شود، یعنی قبل از آن η منفی است.

$$\sin\theta_g = \frac{x_s}{R(\eta)} = -\frac{V_s\eta}{R(\eta)}$$

$$\sin\theta_r = \frac{x_r}{R(\eta)} = -\frac{V_r\eta}{R(\eta)} \Rightarrow \cos\theta_r = \sqrt{1-\left[\frac{V_r\eta}{R(\eta)}\right]^2}$$

نسبت ها:

$$\theta_{sq} : \theta_r : \theta_g = V_g : V_r : V_s = x_g : x_r : x_s$$

$$\theta_r = \frac{V_r}{V_g}\theta_{sq} = \frac{V_s}{V_r}\theta_{sq}$$

در معادله برد داریم:

$$R_0 = \sqrt{R^2(\eta) - V_r^2\eta^2} = R(\eta)\sqrt{1-\left(\frac{V_r\eta}{R(\eta)}\right)^2} = R(\eta)\cos\theta_r$$

روابط حوزه برد

پهنای باند حوزه برد:

سیگنال حوزه برد یک LFM است، بنابراین پهنای باند آن به نرخ چیرپ و عرض پالس بستگی دارد.

$$B_r = |k_r| T_r \quad \Rightarrow \quad F_r = \alpha_{os,r} \; |k_r| T_r$$

$\alpha_{os,r}$: ضریب بیش‌نمونه‌برداری (over sampling factor)

$|k_r| T_r$: پهنای باند سیگنال

حد تفکیک در حوزه برد (برد پالس)

$$\rho_r = \frac{c}{2} \cdot \frac{0.886}{|k_r| T_r} \cdot \gamma_{w,r} \simeq \frac{c}{2 |k_r| T_r} = \frac{c}{2 B_r}$$

$\gamma_{w,r}$: IRW broadening factor

نسبت فشرده‌سازی پالس (نسبت پهنای پالس قبل از فشرده‌سازی به پهنای پالس بعد از فشرده‌سازی)

$$C_{r,r} = B_r \cdot T_r \simeq |k_r| T_r^2$$

روابط حوزه سمت

الگوی باند رادیو (سیگنال حوزه سمت)

تابع $w_a(\eta)$ ← شکل 4.10

$$p_a(\theta) \propto \operatorname{sinc}\left(\frac{0.886\,\theta}{\beta_{bw}}\right) \qquad \beta_{bw} = \frac{0.886\,\lambda}{L_a}$$

one-way beam pattern — azimuth beamwidth

$$w_a(\eta+\eta_c) = p_a^2(\theta(\eta)) = p_a^2\left[\arctan\left(\frac{V_g(\eta-\eta_c)}{R_0}\right)\right]$$

beam center crossing time: η_c

فرکانس رادیو:

$$f_d(\eta) = -\frac{2}{\lambda}\frac{dR(\eta)}{d\eta}$$

$$R(\eta) = (R_0^2 + V_r^2\eta^2)^{1/2} \Rightarrow \frac{dR(\eta)}{d\eta} = \frac{V_r^2\eta}{R(\eta)}$$

$$\Rightarrow f_d(\eta) = -\frac{2V_r^2\eta}{\lambda R(\eta)}$$

دامنه سیگنال در سمت

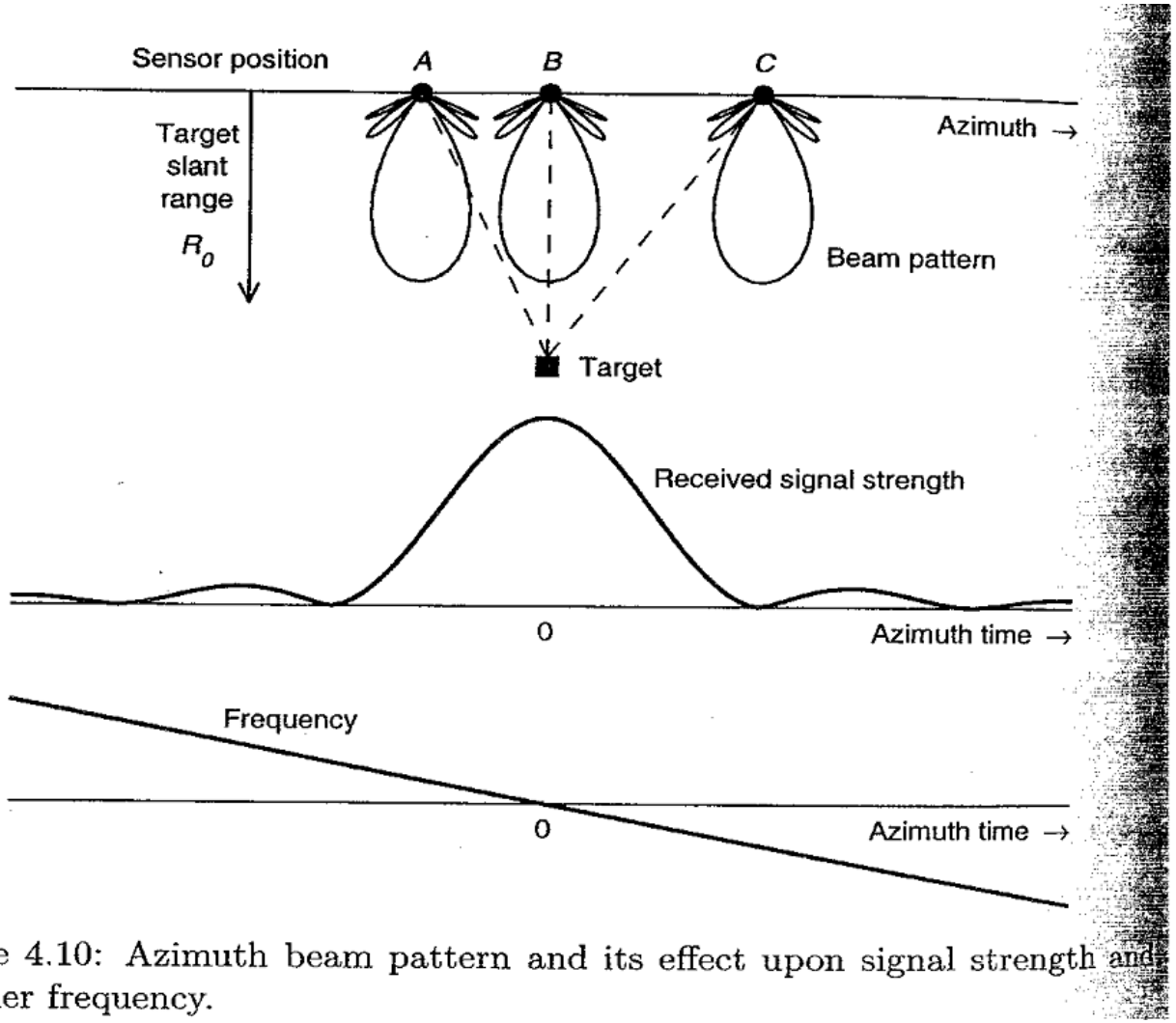


Figure 4.10: Azimuth beam pattern and its effect upon signal strength and Doppler frequency.

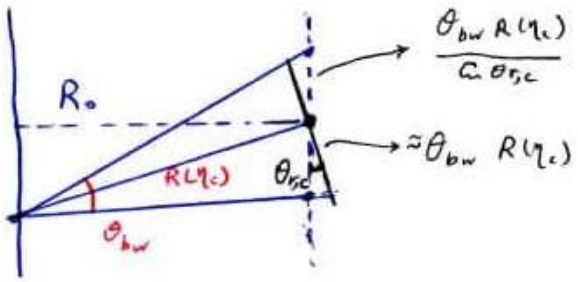
روابط حوزه سمت

مرکز داپلر : مرکز داپلر، فرکانس داپلر است در لحظه $\eta = \eta_c$

$$f_d(\eta_c) = -\frac{2V_r^2 \eta_c}{\lambda R(\eta_c)} = \frac{2V_r \sin\theta_{rc}}{\lambda}$$

زمان روشن شدن هدف (Target Exposure Time)

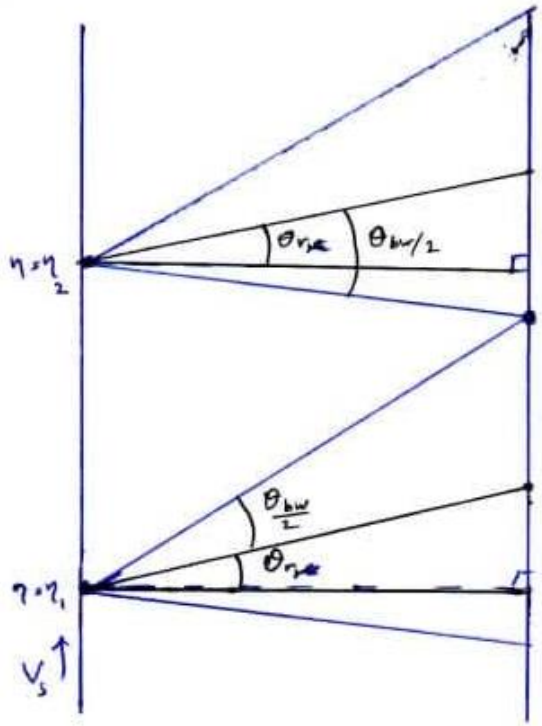
$$\text{زمان روشن شدن هدف} = \frac{\text{پهنای پرتو در راستای سمت}}{\text{سرعت زمینی}} = \frac{\theta_{bw} \cdot R(\eta_c) / \cos\theta_{rc}}{V_g} = 0.886 \frac{\lambda R(\eta_c)}{L_a V_g \cos\theta_{rc}}$$



پهنای باند داپلر :

$$\Delta f_{dop} = \frac{2V_s \cos\theta_{rc}}{\lambda} \theta_{bw}$$

روابط حوزه سمت



نحوه محاسبه برای لوچی کم:

$$f_d(\eta_1) = \frac{2V_s}{\lambda}\sin\left(\frac{\theta_{bw}}{2} + \theta_{rc}\right)$$

$$f_d(\eta_2) = -\frac{2V_s}{\lambda}\sin\left(\frac{\theta_{bw}}{2} - \theta_{rc}\right)$$

$$\Delta f_{dop} = \left|f_d(\eta_1) - f_d(\eta_2)\right|$$

$$= \frac{4V_s}{\lambda}\sin\left(\frac{\theta_{bw}}{2}\right)\cos(\theta_{rc}) \simeq \frac{2V_s}{\lambda}\theta_{bw}\cos\theta_{rc}$$

$$\theta_{bw} = 0.886\frac{\lambda}{L_a} \Rightarrow \Delta f_{dop} = 0.886\frac{2V_s\cos\theta_{rc}}{L_a}$$

مقدار PRF باید از Δf_{dop} بزرگتر باشد:

$$PRF = \alpha_{os,a}\,0.886\frac{2V_s\cos\theta_{rc}}{L_a} \simeq \frac{2V_s}{L_a}\cos\theta_{rc}$$

روابط حوزه سمت

حد تفکیک در رنج:

اگر از فشرده‌سازی در رنج استفاده نشود (Real Aperture)

$$\rho_a' = R(\eta_c)\,\theta_{bw} = \frac{0.886\,R(\eta_c)\,\lambda}{L_a}$$

اگر از فشرده‌سازی در رنج استفاده شود (Synthetic Aperture)

$$\rho_a = \underbrace{\frac{0.886}{\Delta f_{dop}}}_{\text{پهنای زمانی پس از فشرده‌سازی در رنج یا همان حد تفکیک زمانی در رنج است}} \cdot \underbrace{V_g \cdot \Delta\theta_{rc}}_{\text{سرعت}} \cdot \underbrace{\gamma_{w,a}}_{\text{IRW broadening factor due to a processing window}}$$

$$\rho_a = \frac{L_a}{2}\,\frac{V_g}{V_s}\,\gamma_{w,a} \simeq \frac{L_a}{2}$$

حد تفکیک در سمت = نصف طول آنتن

که با استفاده از آن می‌توان حد تفکیک در رنج را (شکل 9.16) :

$$\Delta f_{dop} = \frac{2V_g\,\Delta\theta_{rc}}{\lambda}\,\theta_{syn} \Rightarrow \rho_a = \frac{0.886\,\lambda}{2\,\theta_{syn}}$$

روابط حوزه سمت

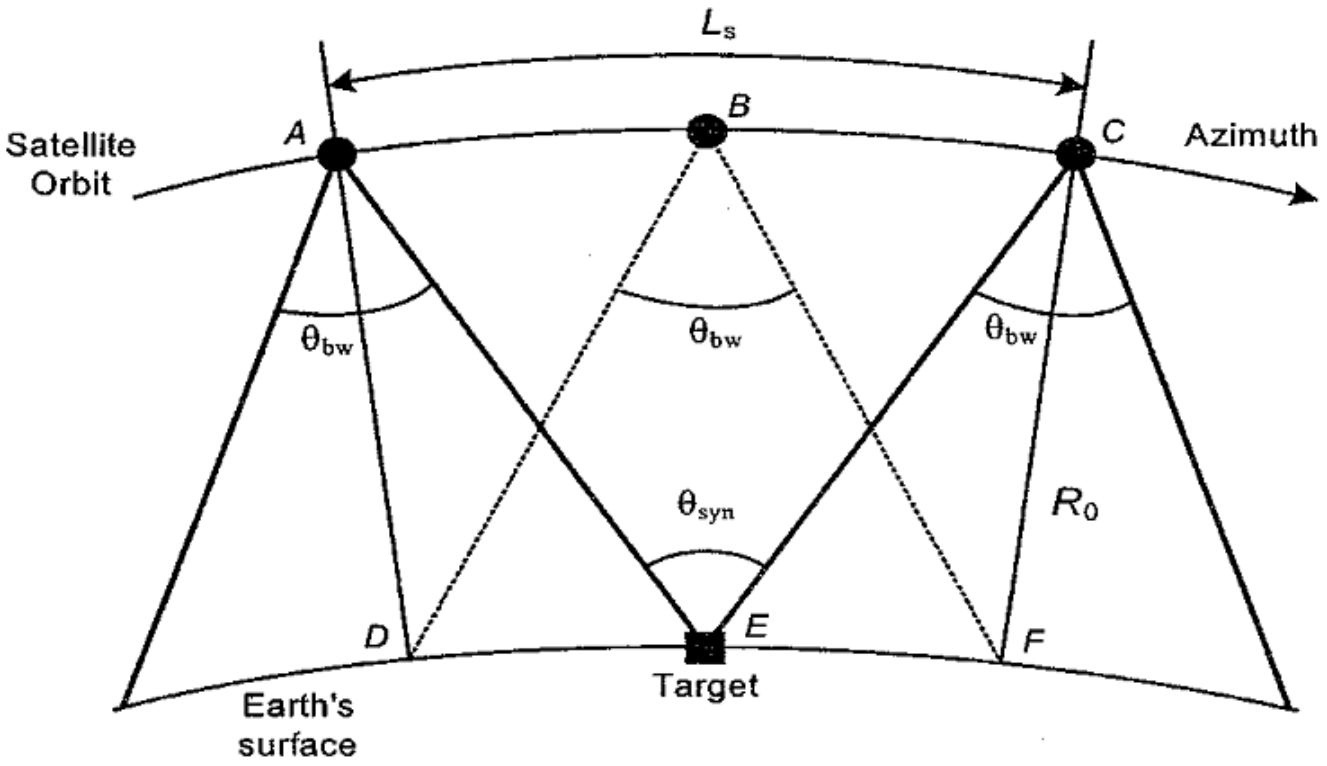


Figure 4.16: Antenna azimuth beamwidth and synthetic angle. For clarity, the beamwidth and synthetic angle are exaggerated, and a zero squint angle is used.

روابط حوزه سمت

طول روزنه مصنوعی :

$$L_s = \frac{R_0 \theta_{bw}}{C \theta_{\eta c}} \frac{V_s}{V_g} = \frac{0.886 R_0 \lambda}{L_a C \theta_{\eta c}} \frac{V_s}{V_g} = \frac{0.886 R(\eta_c) \lambda}{L_a} \frac{V_s}{V_g}$$

نرخ چرپ درلت :

$$k_a = \frac{2}{\lambda} \frac{d^2 R(\eta)}{d\eta^2}\Big|_{\eta=\eta_c} = \frac{2 V_r^2 C^2 \theta_{\eta c}}{\lambda R(\eta_c)} \simeq \frac{2 V_r^2 C^2 \theta_{\eta c}}{\lambda R_0}$$

ضریب فشرده سازی درلت :

$$C_{rsa} \simeq k_a T_a^2$$

(جداول 4.2 و 4.3 مفید هستند)

تقریب رابطه برد :

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_r^2 \eta^2} = R_0 \sqrt{1 + \frac{V_r^2 \eta^2}{R_0^2}} \simeq R_0 + \frac{V_r^2 \eta^2}{2 R_0}$$

دو نتیجه : ۱- منحنی RCM بصورت یک سهمی است ۲- فاز سیگنال حوزه سمت درجه ۲ است (LFM)