



مباحث ویژه (پردازش سیگنال های راداری)

نیم سال دوم ۰۴-۰۵

تحلیل سیگنال SAR

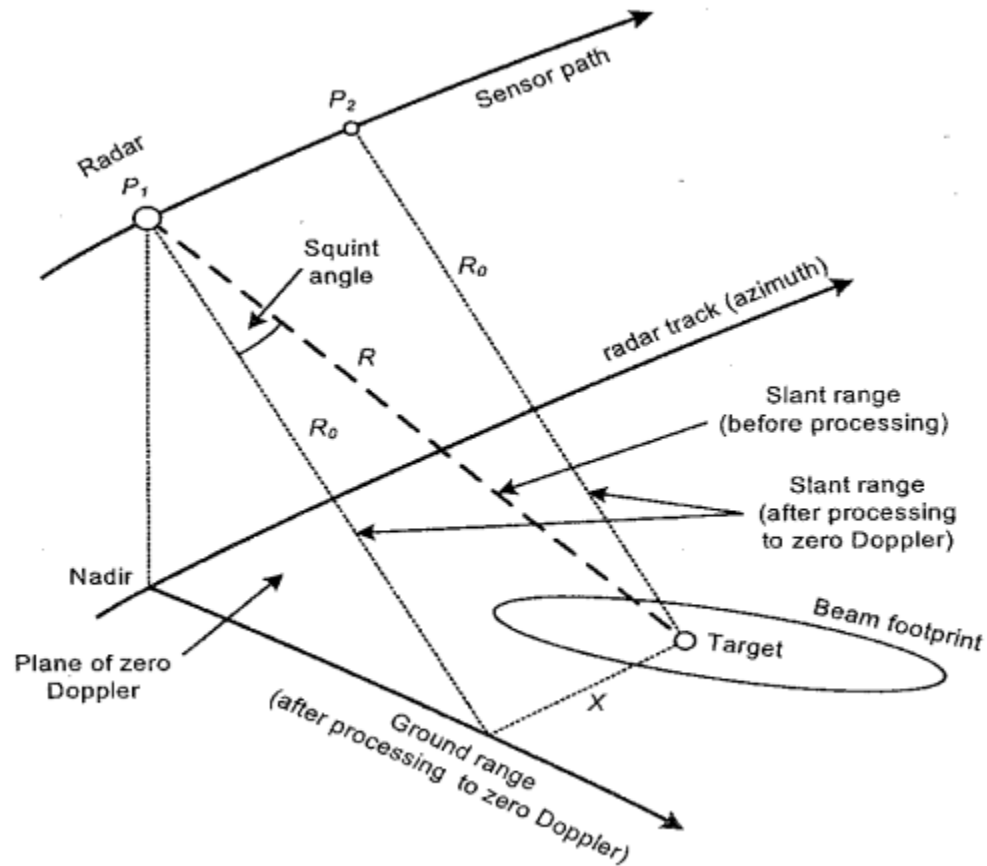


Figure 4.1: Radar data acquisition geometry.

□ تعاریف مختلف برد

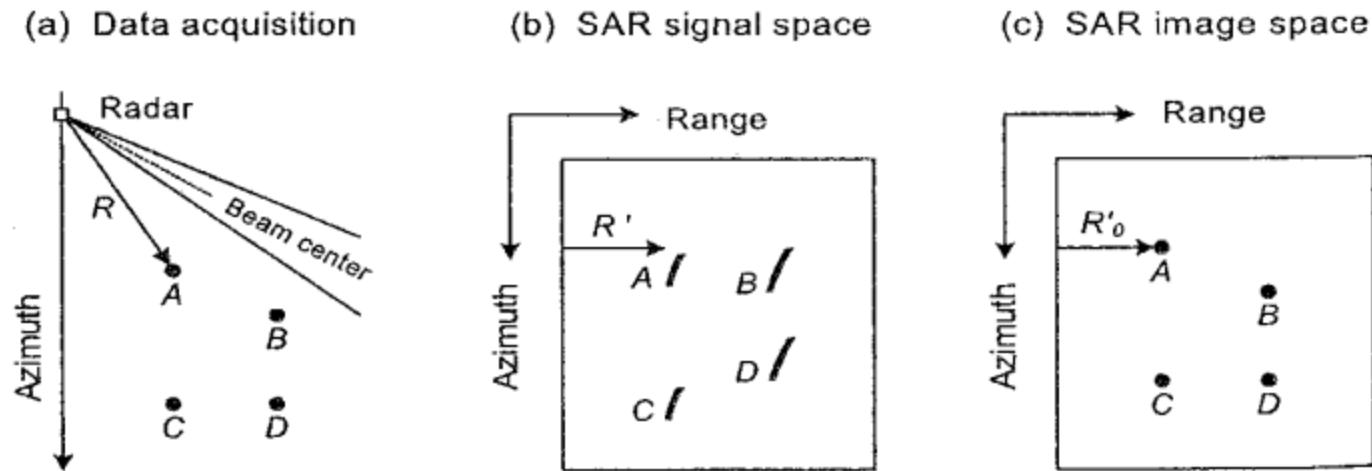
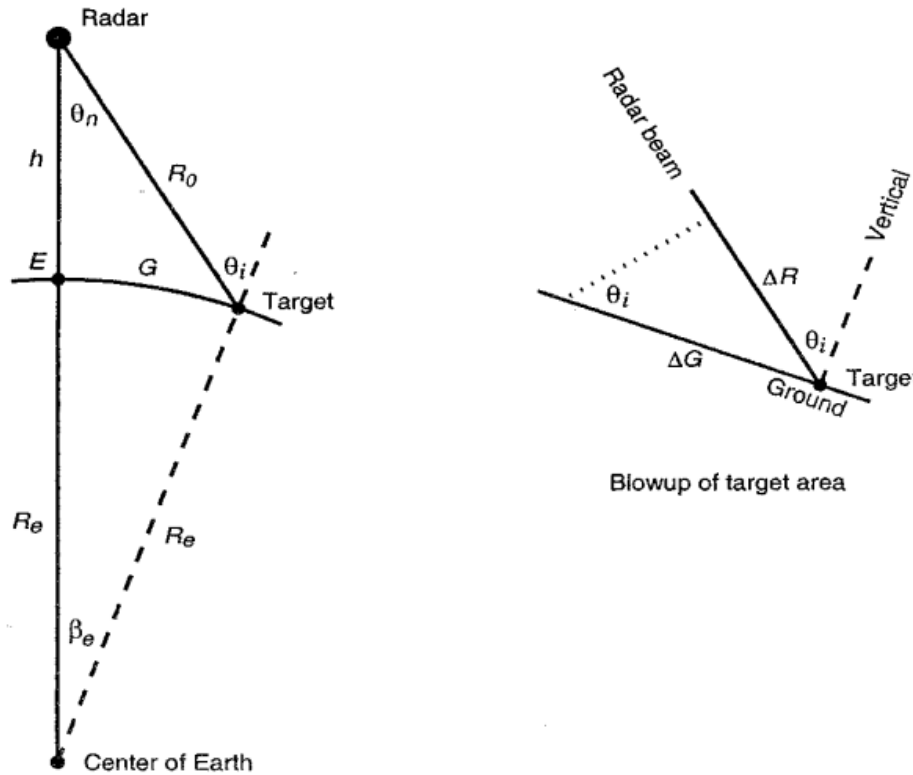


Figure 4.2: Definitions of range at different points in the SAR system and processor.

هندسه ماهواره □



$$\Delta G = \frac{\Delta R}{\sin \theta_i}$$

$$\frac{R_e}{\sin \theta_n} = \frac{R_e + h}{\sin \theta_i} = \frac{R_0}{\sin \beta_e}$$

$$\cos \beta_e = \frac{R_e^2 + (R_e + h)^2 - R_0^2}{2 R_e (R_e + h)}$$

$$G = R_e \beta_e$$

Figure 4.3: Satellite cross-track geometry, illustrating slant range, R_0 , versus ground range, G , and the associated sample spacings, ΔR and ΔG .

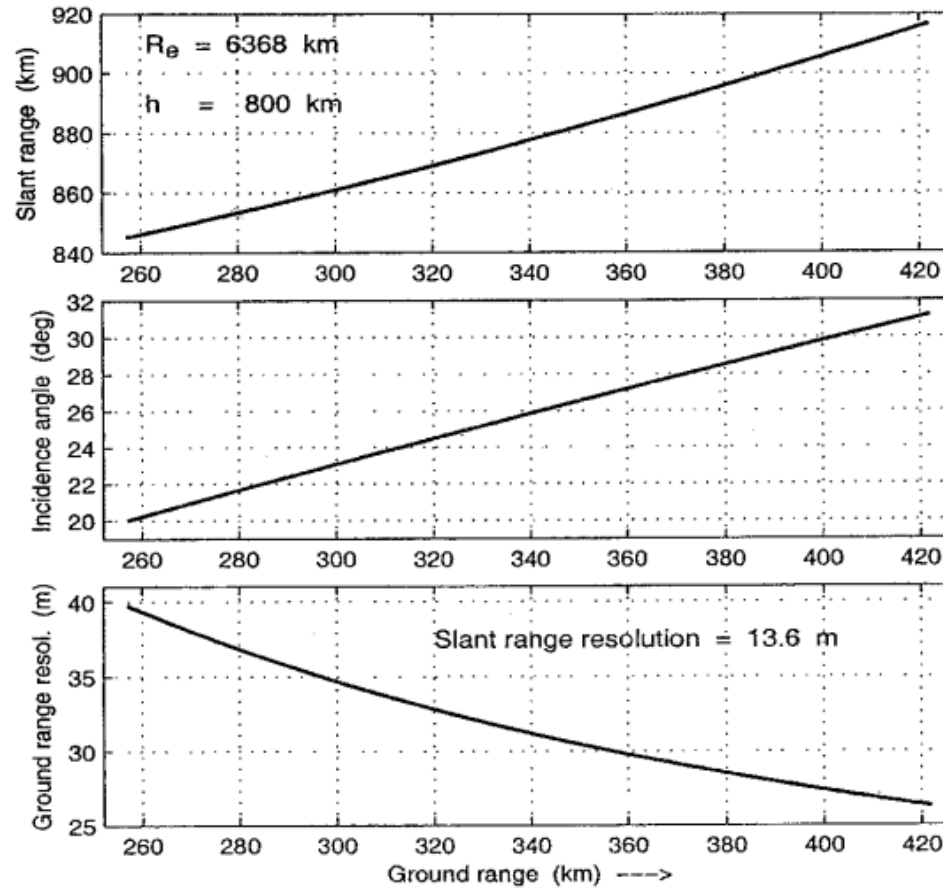


Figure 4.4: The variation of ground range resolution for the RADARSAT-1 W1 beam.

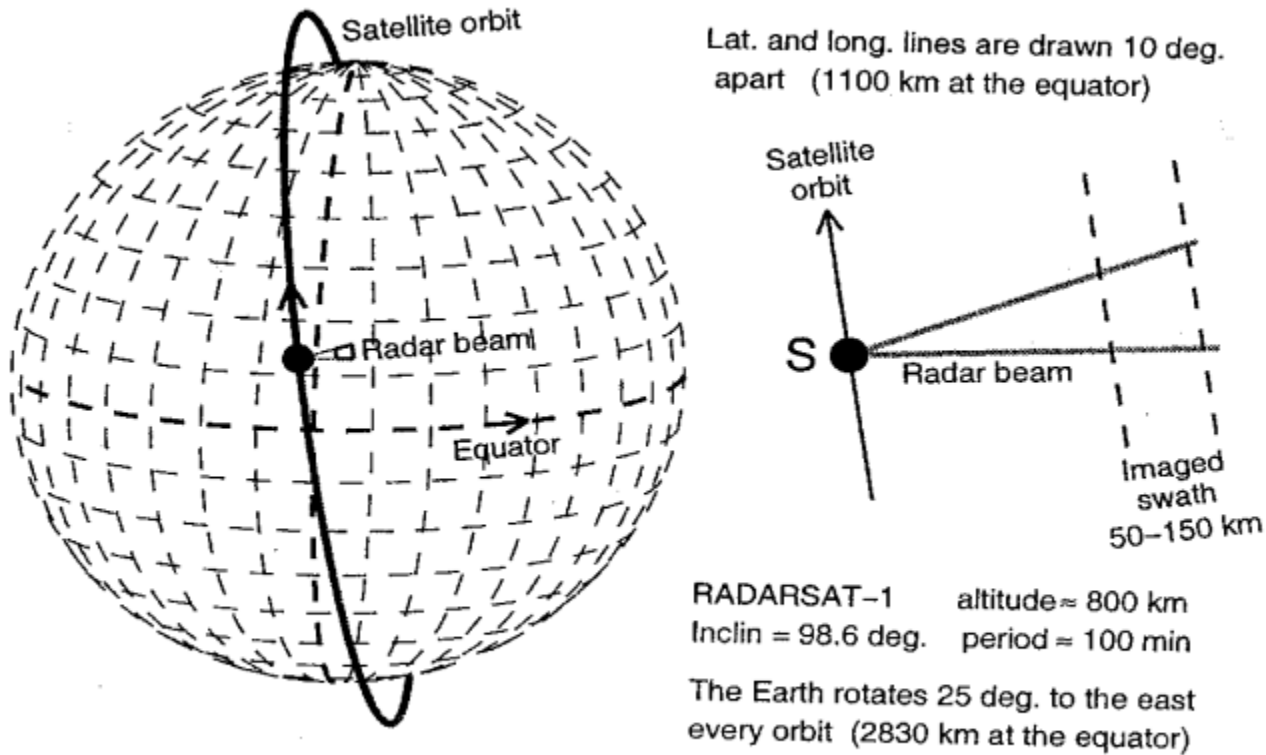


Figure 4.5: Earth/satellite geometry with RADARSAT-1 parameters.

$$P^2 = \frac{4\pi^2 R_s^3}{\mu_e}$$

□ دوره گردش ماهواره:

$\mu_e = 3.9860 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ is the gravitational constant of the Earth,

$$\omega_s = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{\mu_e}{R_s^3}}$$

□ سرعت زاویه ای ماهواره:

$$V_s = R_s \omega_s = \sqrt{\frac{\mu_e}{R_s}}$$

□ سرعت خطی ماهواره:

For example, a satellite with a nominal altitude of 800 km (i.e., an orbit radius of 7168 km) has a period of 100.66 minutes, an angular velocity of 1.0403 mrad/s, and a tangential speed of 7457 m/s, assuming a circular orbit.

□ تبدیل هندسه منحنی به مستطیلی

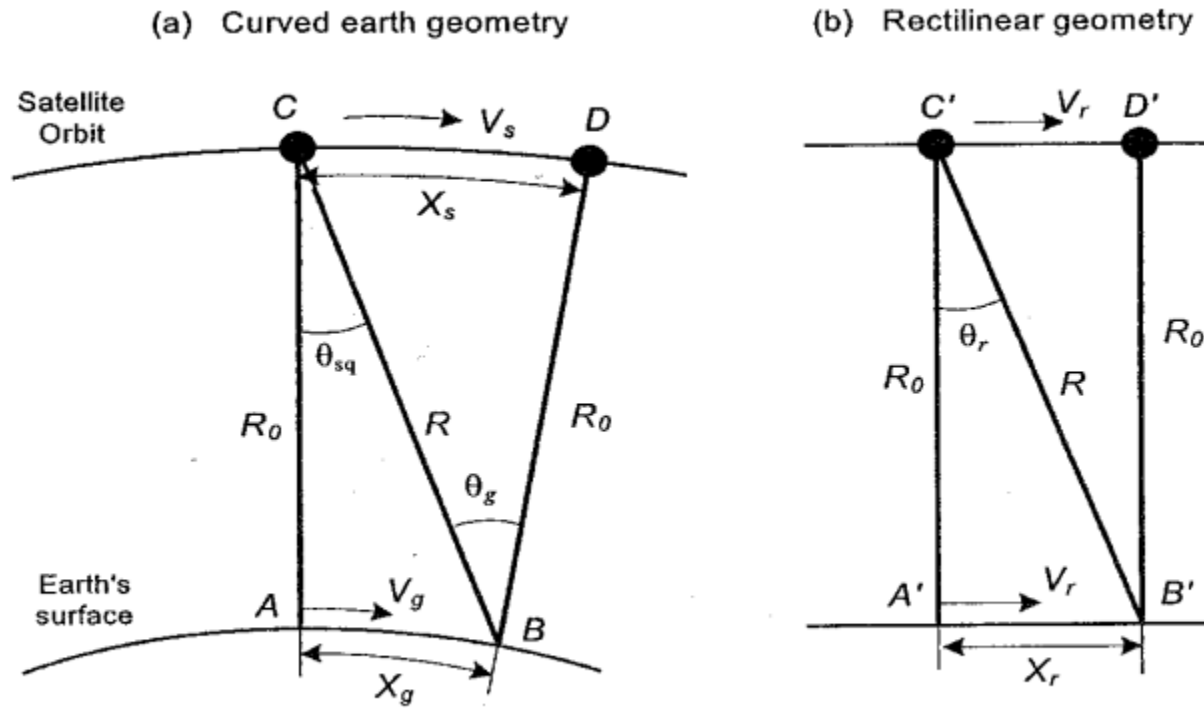


Figure 4.6: Approximation of curved Earth geometry by rectilinear geometry.

$$V_r \approx \sqrt{V_s V_g}$$

- V_s , X_s , and θ_{sq} in curved Earth geometry along the orbit;
- V_g , X_g , and θ_g in curved Earth geometry on the ground;
- V_r , X_r , and θ_r in rectilinear geometry.

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

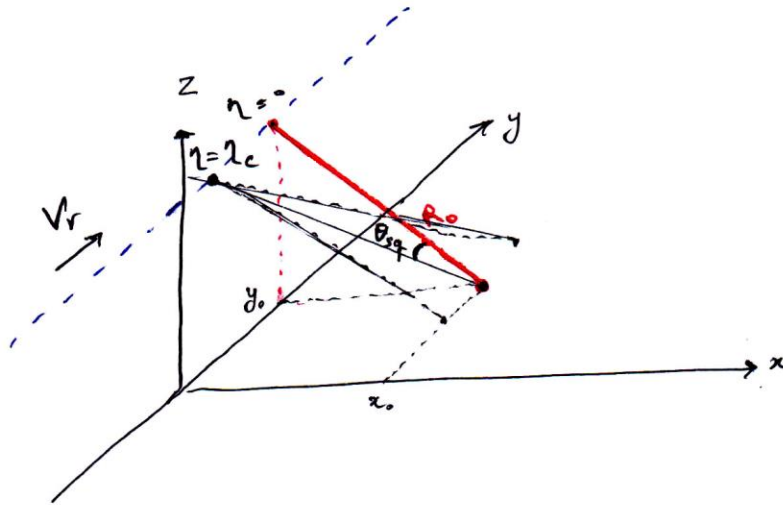
$$\sin \theta_g = \frac{X_s}{R(\eta)} = -\frac{V_s \eta}{R(\eta)}$$

$$\sin \theta_r = \frac{X_r}{R(\eta)} = -\frac{V_r \eta}{R(\eta)}$$

$$\theta_{sq} : \theta_r : \theta_g = V_g : V_r : V_s = X_g : X_r : X_s$$

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

تحليل سيگنال SAR



سيگنال با بنياد ارسالى :

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

سيگنال مودول شده ارسالى :

$$S_{tr}(\tau) = \omega_r(\tau) e^{j\pi k_r \tau^2} e^{j2\pi f_0 \tau}$$

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

معادله برد هدفى نقطه :
 توضيح ديگرى V_r (شکل 4.6)
 شکل 4.5

$$S_r(\tau, \eta) = A \omega_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right) e^{j\pi k_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right)^2} e^{j2\pi f_0 \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right)} \omega_a(\eta - \eta_c)$$

سیگنال دریافتی

سیگنال مبدا یا سیگنال در دسترس (Raw Data)

$$S_o(\tau, \eta) = A \omega_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right) \omega_a(\eta - \eta_c) e^{-j2\pi f_0 \frac{2R(\eta)}{c}} e^{j\pi k_r \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right)^2}$$

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

سیگنال حوزه برد
سیگنال حوزه فرکانس
عرض سیگنال در برد
RCM

ماتریس داده خام: حاصل نمونه برداری S_o است.

$F_r \gg B$: نمونه برداری در حوزه τ (زمان کند) با بزرگتر شدن نمونه برداری

نمونه برداری در حوزه η (زمان آهسته) با بزرگتر شدن نمونه برداری

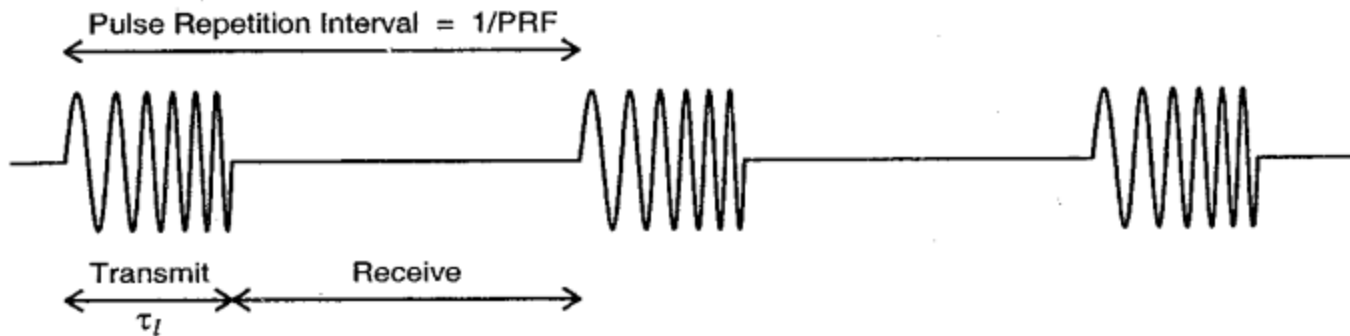


Figure 4.8: Timing of transmitted radar pulses (not to scale).

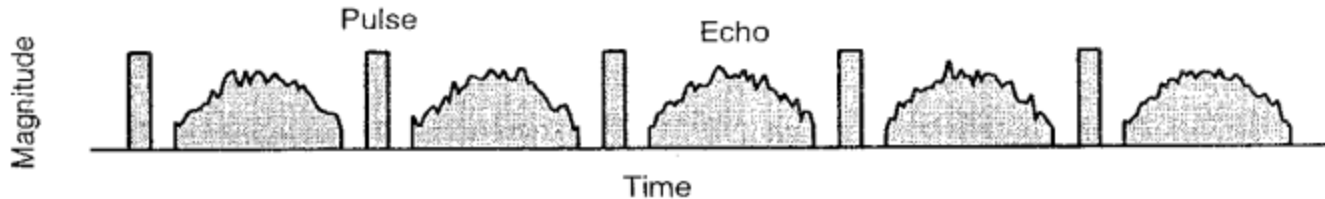


Figure 4.9: Illustrating the transmit and receive cycles of a pulsed radar.

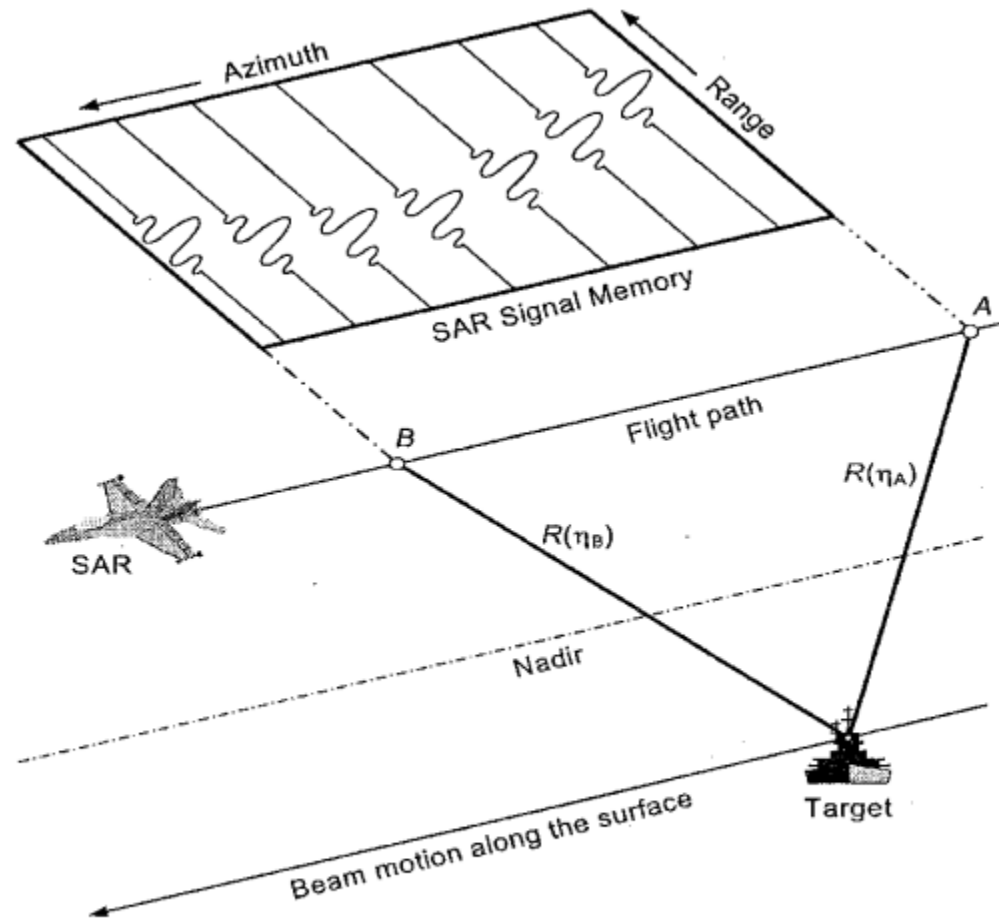


Figure 4.12: How the received SAR data are placed in a two-dimensional signal memory.

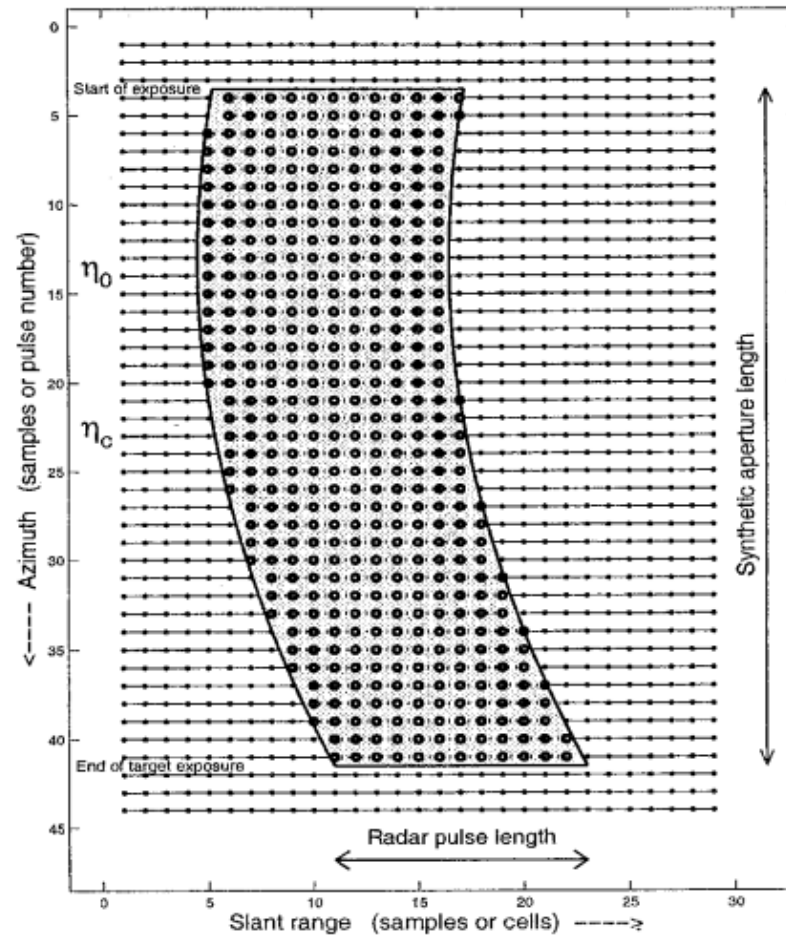


Figure 4.14: The locus of energy of a single point target in the two-dimensional signal processor memory, within the nominal target exposure time (the target energy extends beyond these limits with a smaller magnitude).

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

$$\sin \theta_{sq} = \frac{X_g}{R(\omega)} = - \frac{V_g \tau}{R(\omega)}$$

علامت منفی به این دلیل است که به ازای $\theta_{sq} = 0$ (نقطه جلو) سکودفون نزدیکترین فاصله هر برد $\eta = 0$ می شود، یعنی قبل از آن η منفی است.

$$\sin \theta_g = \frac{X_s}{R(\omega)} = - \frac{V_s \tau}{R(\omega)}$$

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

نسبت ها:

$$\theta_{sq} : \theta_r : \theta_g = V_g : V_r : V_s = X_g : X_r : X_s$$

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

معادله برد داریم:

$$R_o = \sqrt{R(\omega)^2 - V_r^2 \tau^2} = R(\omega) \sqrt{1 - \left(\frac{V_r \tau}{R(\omega)} \right)^2} = R(\omega) \cos \theta_r$$

روابط حوزه برد

پهنای باند حوزه برد:

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

$$B_r = |k_r| T_r \Rightarrow F_r = \underbrace{\alpha_{os,r}}_{\substack{\text{ضریب بیش‌نمونه‌برداری} \\ \text{over-sampling factor}}} \underbrace{|k_r| T_r}_{\text{پهنای باند سندال}}$$

حد تقلب در حوزه برد (برونمان)

$$P_r = \frac{C}{2} \cdot \frac{0.886}{|k_r| T_r} \cdot \underbrace{\gamma_{os,r}}_{\text{IRW broadening factor}} \approx \frac{C}{2 |k_r| T_r} = \frac{C}{2 B_r}$$

IRW broadening factor

نسبت فرکانس سازی پالس (نسبت پهنای پالس قبل از فشرده سازی به پهنای پالس بعد از فشرده سازی)

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

روابط حوزه سمت

دینامیک رادار (سیگنال حوزه سمت)
تابع $w_a(\eta)$ ← شکل 4.10

$$P_a(\theta) \approx \text{sinc} \left(\frac{0.886 \theta}{\beta_{bw}} \right)$$

one-way beam pattern

$$\beta_{bw} = \frac{0.886 \lambda}{L_a}$$

azimuth beamwidth

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

beam center crossing time = η_c

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

فرکانس رادار:

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

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

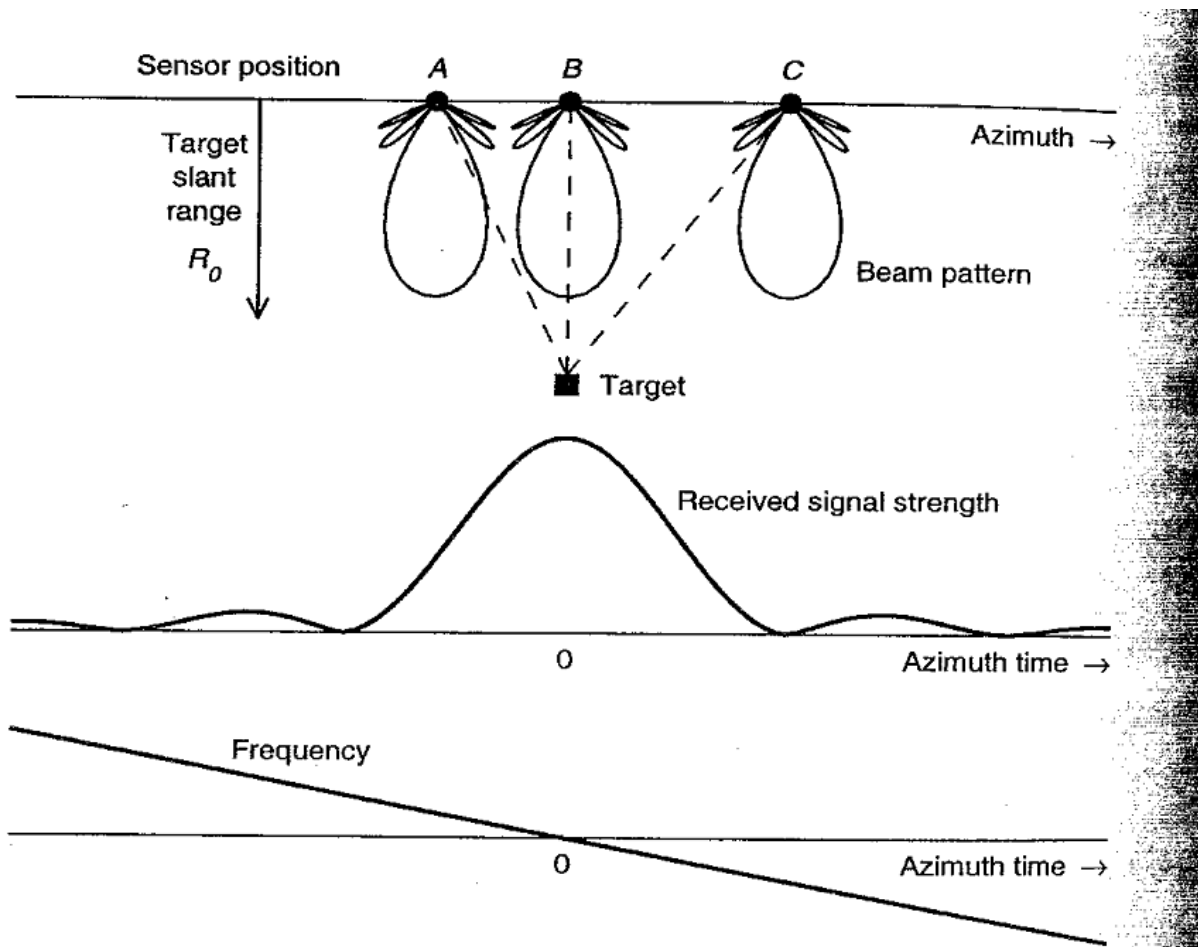


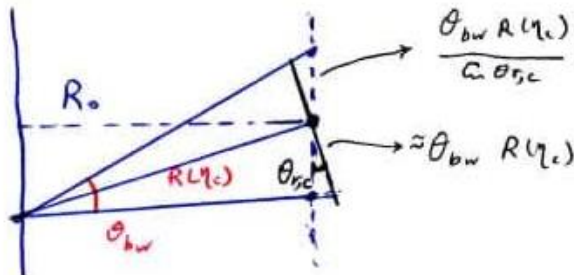
Figure 4.10: Azimuth beam pattern and its effect upon signal strength and Doppler frequency.

مركز دایره: مركز دایره، فرکانس دایره در لحظه $\eta_c = \eta$

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

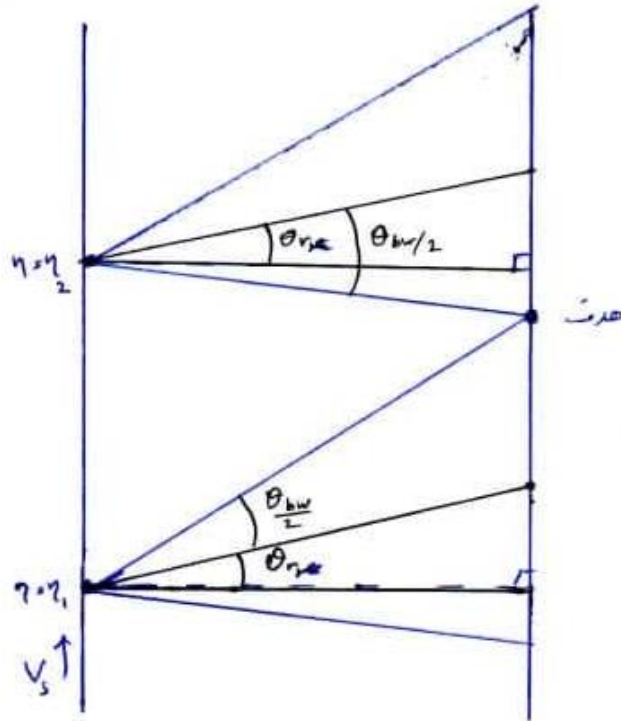
زمان روشن شدن هدف (Target Exposure Time)

زمان روشن شدن هدف = $\frac{\text{کشیده پرتو که روشن است}}{\text{سرفه زمین}} = \frac{\theta_{bw} \cdot R(\eta_c) / \cos \theta_{nc}}{V_g} = 0.886 \frac{\lambda R(\eta_c)}{L_a V_g \cos \theta_{nc}}$



پهنای دایره

$$\Delta f_{top} = \frac{2V_s \cos \theta_{nc}}{\lambda} \theta_{bw}$$



مقدار محاسبه برای لری کم:

$$f_d(r_1) = \frac{2V_s}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta_{bw}}{2} + \theta_{rtc}\right)$$

$$f_d(r_2) = -\frac{2V_s}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta_{bw}}{2} - \theta_{rtc}\right)$$

$$\Delta f_{dop} = |f_d(r_1) - f_d(r_2)|$$

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

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

مقدار PRF باید از Δf_{dop} بزرگتر باشد:

$$PRF = \alpha_{os,a} \cdot 0.886 \frac{2V_s \cos\theta_{rtc}}{L_a} \approx \frac{2V_s}{L_a} \cos\theta_{rtc}$$

حد تکلیف درست :

آراز فشرده سازی درست استناد تئور (Real Aperture)

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

آراز فشرده سازی درست استناد سئور (Synthetic Aperture)

$$\rho_a = \frac{0.886}{\Delta f_{dop}} \cdot \underbrace{V_0 \cdot \Omega_{\eta_c}}_{\text{سرعت}} \cdot \underbrace{\delta_{w,a}}_{\text{IRW broadening factor due to a processing window}}$$

اینجا زمان پس از فشرده سازی درست
یعنی همان حد تکلیف زمان درست

$$\rho_a = \frac{L_a}{2} \frac{V_0}{V_s} \delta_{w,a} \approx \frac{L_a}{2} \quad \text{حد تکلیف درست} = \text{نصف طول آنتن}$$

$$\Delta f_{dop} = \frac{2V_0 \Omega_{\eta_c}}{\lambda} \theta_{syn} \quad \Rightarrow \quad \rho_a = \frac{0.886 \lambda}{2 \theta_{syn}} \quad \text{یک جانب دیگر حد تکلیف درست : (مطلوب 4.16)}$$

روابط حوزه سمت

طول روزنه مشخص:

$$L_s = \frac{R_o \theta_{hw}}{C \theta_{nc}} \frac{V_s}{v_g} = \frac{0.886 R_o \lambda}{L_a C \theta_{nc}} \frac{V_s}{v_g} = \frac{0.886 R(\eta_c) \lambda}{L_a} \frac{V_s}{v_g}$$

$$k_a = \frac{2}{\lambda} \frac{d^2 R(\eta)}{d\eta^2} \Big|_{\eta=\eta_c} = \frac{2V_r^2 C^2 \theta_{nc}}{\lambda R(\eta_c)} = \frac{2V_r^2 C^3 \theta_{nc}}{\lambda R_o}$$

فرخ چرب در سمت

$$C_{3a} \approx k_a T_a^2$$

مقطع نسبت فرود سازی در سمت

(جدول 4.2⁴¹، 4.3 مفید هستند)

تقریب رابط برر:

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

دو تقسیم: ۱- معنی Rem و C_{3a} یکسان است ۲- بازسازی حوزه سمت در سمت (LFM)