

Como SAR funciona...

- Radar de Abertura Real, RAR, apresenta resolução espacial pobre em range e azimute

Solução = Usar SAR

SAR é uma técnica de processamento radar que:

- é um radar coerente
- usa compressão de pulso para obter boa resolução em range
- utiliza a frequência Doppler gerada pelo movimento da antena em relação ao alvo para criar uma abertura sintética em azimute.

A partir do processamento das frequências Doppler, SAR pode obter resolução em azimute muito mais fina que a que pode ser obtida por uma RAR.

Vimos que SAR basicamente adquire dados como um SLAR, mas de alguma forma sintetiza uma antena longa enquanto se desloca

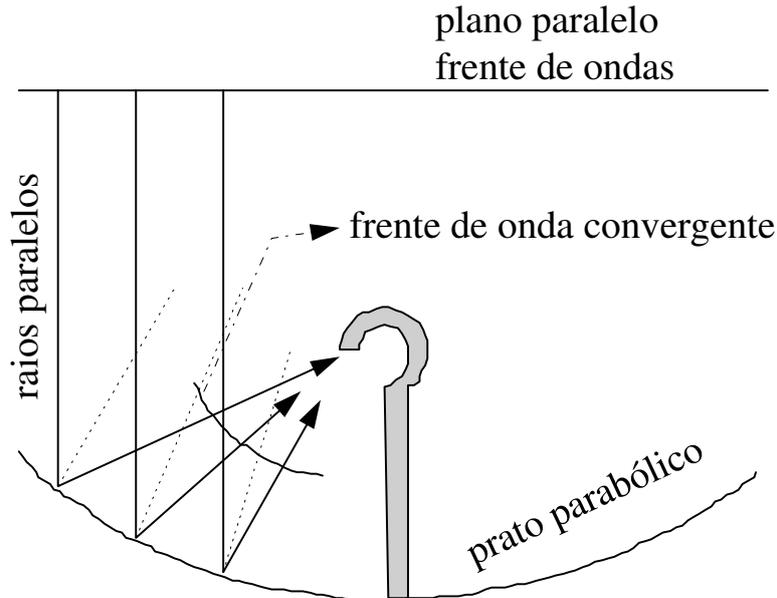
O comprimento da antena sintética não é constante, sendo maior para objetos que estão mais distantes do SAR

Ponto de partida: Tanto em RAR quanto em SAR uma cena consiste de uma seqüência bidimensional de registros de dados relativos a intensidade dos pixels. Para um RAR isto se parece mais ou menos com uma imagem (como estamos acostumados a visualizar), embora com todas as distorções geométricas e variações de resolução com a distância como já visto.

Para um SAR o conjunto de dados gravados é chamado dado sinal. O sinal requer muito processamento para formar uma informação reconhecível. Para o Seasat eram necessários processar 106 sinais para formar um pixel. Em range (perpendicular a trajetória do Radar), SAR e RAR posicionam e

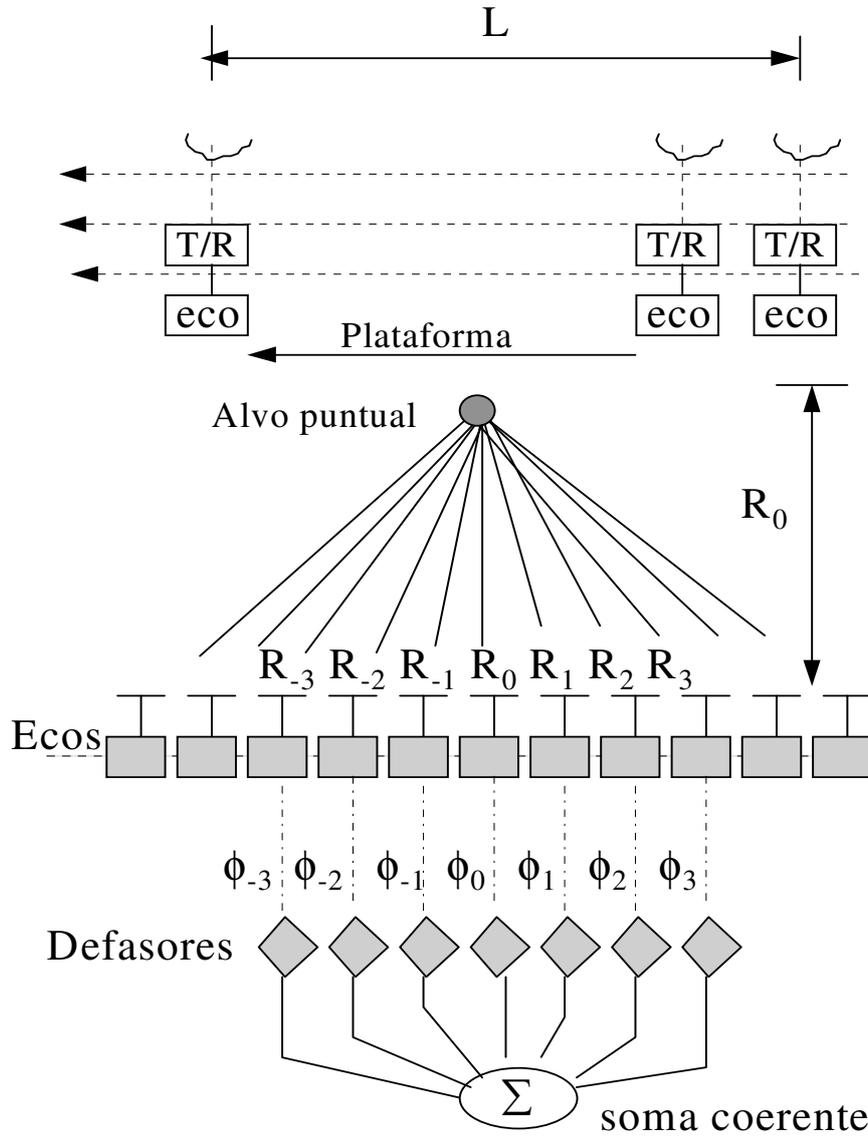
focalizam objetos basicamente da mesma forma (e pouco processamento é necessário). Entretanto, em azimute (direção de vôo), SAR requer muito processamento para formar uma imagem

Aproximação óptica



Teoria de raios: o ângulo de incidência = ângulo de reflexão; a parábola é a forma que redireciona todos os raios paralelos (vindos de uma fonte no infinito) para um foco comum.

Teoria de ondas: as ondas que chegam possuem frentes paralelas. A parábola faz com que as frentes de onda sejam “curvadas” (mudam suas fases) de forma que todas chegam ao mesmo lugar e ao mesmo tempo. Isto permite possam ser somadas de forma coerente: todas estão em fase. Neste ponto a teoria de ondas é superior a teoria de raios. Na teoria de raios, a “luz” possui apenas brilho e cor, sem fase. Na teoria de ondas, ela é composta de ondas que podem interferir construtivamente e destrutivamente, produzindo muitos fenômenos interessantes, e fazendo SAR possível.

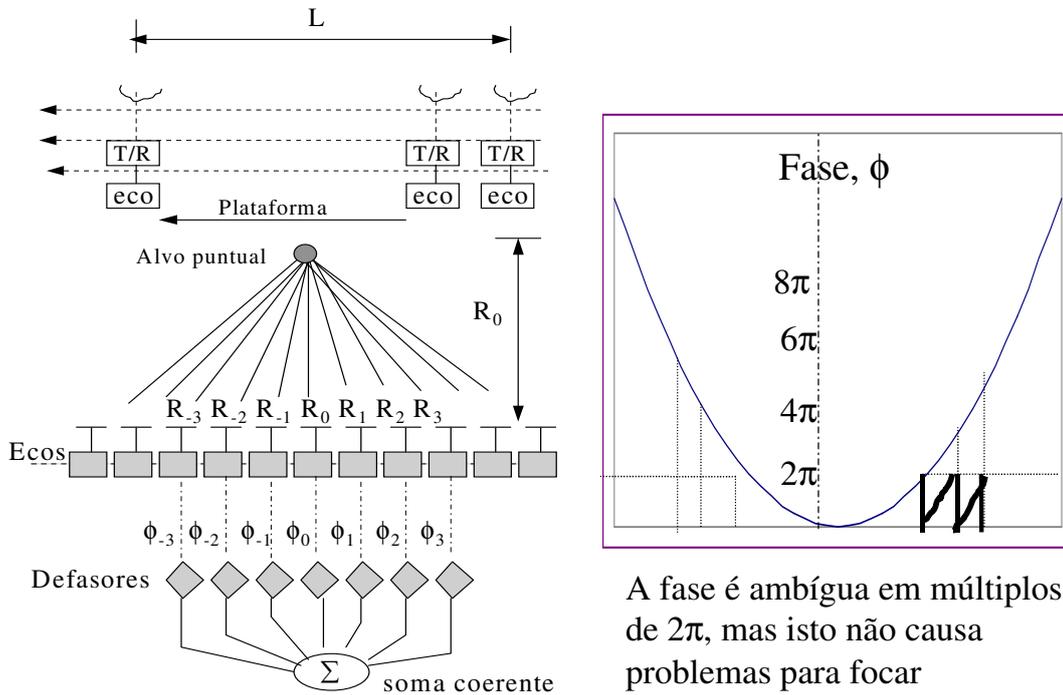


No I^{th} elemento, o retorno do alvo puntiforme de coeficiente de retroespalhamento σ^0 é:

$$S_i = \sqrt{\sigma^0} \exp\{j(\phi_T + 2\kappa R_i)\}$$

E a correção de fase a ser aplicada para o No I^{th} elemento é tão somente:

$$\phi_i = -2\kappa R_i$$



A fase é ambígua em múltiplos de 2π , mas isto não causa problemas para focar

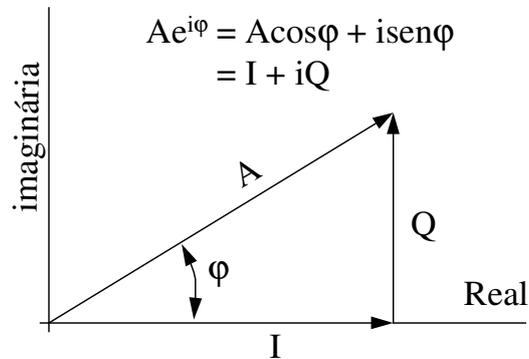
Formação da imagem SAR/ Processador SAR

Usando a analogia óptica, podemos considerar o processamento SAR como uma operação de focagem, na qual cada pixel de saída é formado por mudanças de fase e a soma de todos os sinais de um dado registro contribui para formar o pixel. As posições do pixel podem ser calculadas previamente.

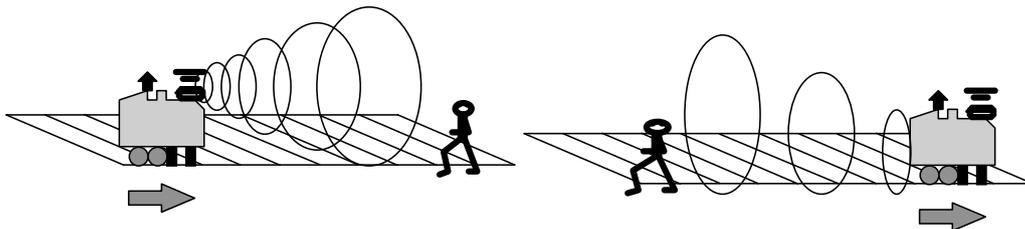
O processador necessita trabalhar com ambas as informações de amplitude e de fase, de forma que o dado sinal de conter informação de amplitude e de fase para cada amostra de entrada. Em outras palavras, cada sinal analisado é representado por um número complexo.

Existem duas maneiras diferentes de representar números complexos: usando valores para amplitude e fase, ou em termos das componentes real (em fase, ou “in phase”, I) e imaginária (quadratura de fase, ou “quad-phase”, Q). A representação com I e

Q é equivalente a representar uma onda senoidal de amplitude e fase arbitrária em termos de seu coseno (in-phase) e seno (90° fora de fase).



Efeito Doppler



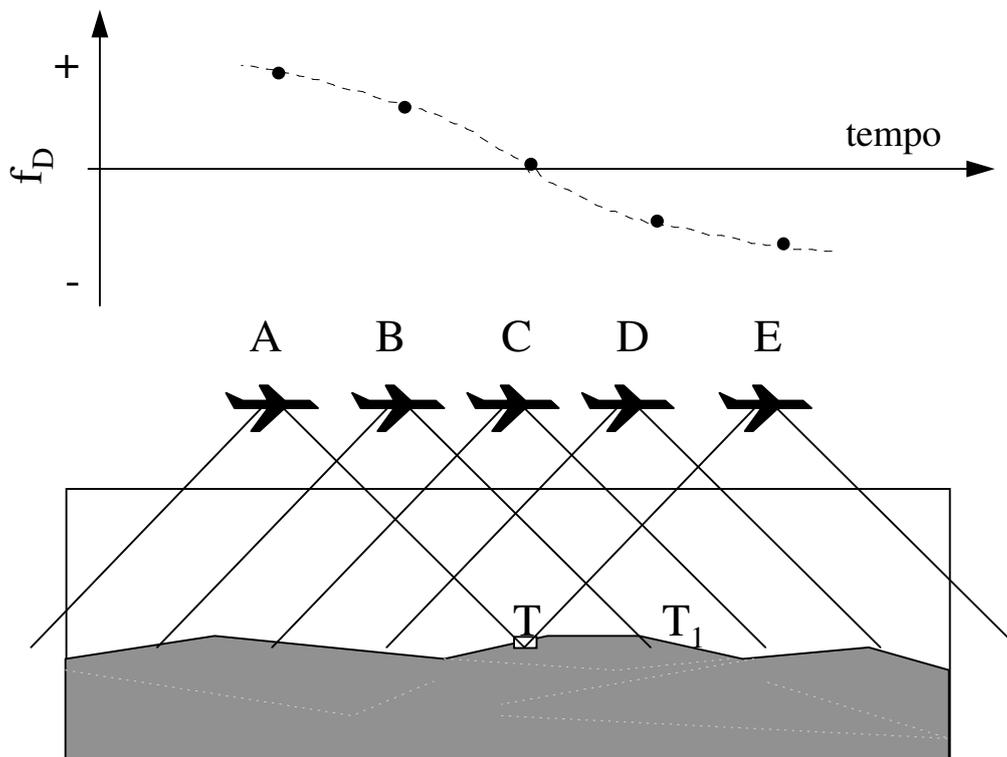
Uma forma comum de radar imageador utilizado para medir a velocidade de veículos é o sistema de radar Doppler (que utiliza a mudança de frequência devida ao efeito Doppler nos sinais transmitidos e refletidos para determinar a velocidade do objeto em relação ao radar)

A alteração de frequência devida ao Doppler é uma função da velocidade relativa entre transmissor e refletor. Em ondas sonoras, o efeito Doppler é percebido como uma mudança na frequência dominante da fonte acústica: a frequência aumenta quando a fonte se aproxima (som mais agudo) e decresce quando se afasta (som mais grave).

Aproximação da síntese Doppler

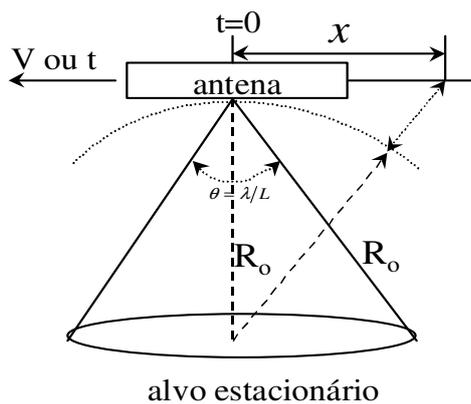
Enquanto o SAR aerotransportado passa sobre o alvo T (figura abaixo), os ecos de T apresentam inicialmente um efeito Doppler positivo a partir do momento em que T entra na abertura da antena na posição A (arranjo sintético). O efeito Doppler decresce até atingir o valor 0 no ponto C (o vetor T-SAR torna-se perpendicular à trajetória da antena SAR) e torna-se cada vez mais negativo até que o alvo T deixa de ser “visto” pelo feixe do arranjo sintético. O alvo T_1 terá a mesma seqüência Doppler do alvo T, mas com uma defasagem no tempo.

As coordenadas naturais em um sistema SAR são os tempos de atraso dos pulsos e o efeito Doppler, que é utilizado para se obter uma resolução fina em azimute.



Teoria SAR

- O que é abertura sintética ? é o mesmo que abertura real ?
 abertura sintética é uma técnica de processamento de sinais na qual uma antena longa é simulada pela compensação coerente de cada eco pela sua fase respectiva em razão da distância antena-alvo.



$$\varphi(t) = \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta R(t) + R_0) \text{ (um caminho)}$$

$$R_0^2 + x^2 = (\Delta R(t) + R_0)^2 \Rightarrow \Delta R(t) \cong \frac{x^2}{2R_0}$$

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \frac{2\pi V^2 t^2}{\lambda R_0} \text{ (ida e volta)}$$

Então, para cada eco, ajustar a fase de:

$$\Delta\varphi = 2\pi \dot{f}_D (n\Delta t)^2$$

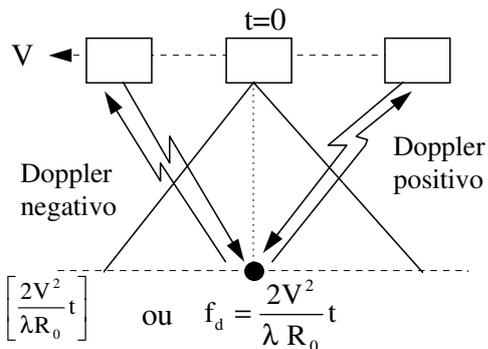
$n\Delta t$ é o número de períodos entre pulsos a partir de $t=0$, multiplicado pelo período entre pulsos

$$\dot{f}_D = \frac{V^2}{\lambda R_0} \text{ é taxa de variação Doppler}$$

Teoria SAR

- De outra forma:

quando o sensor se aproxima do alvo os ecos de retorno são alterados por um Doppler positivo (negativo ao se afastar) dado por:



$$\omega_d = 2\pi f_d = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{2\pi V^2}{\lambda R_0} t^2 + \varphi_0 \right] = 2\pi \left[\frac{2V^2}{\lambda R_0} t \right] \quad \text{ou} \quad f_d = \frac{2V^2}{\lambda R_0} t$$

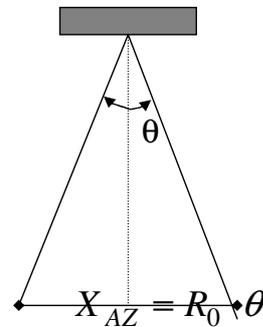
como a área iluminada é $X_{AZ} = \frac{\lambda R_0}{L}$ o tempo que o alvo permanece no feixe é $t = \frac{\lambda R_0}{LV}$ e então a banda Doppler é $BW = \frac{2V}{L}$

- um sinal com esta banda é filtrado (casado) para dar uma resposta impulso no domínio espacial $X_{AZ_{eff}} = V\tau = \frac{V}{BW} = L/2$

Nota: o filtro é o complexo conjugado da FT de $\varphi(t)$

- A largura do feixe em azimute é $\theta = \lambda/L$
- A resolução de abertura real é $X_{AZ} = R_0 \cdot \theta$
- Em SAR o eco é integrado para todos os pulsos enquanto o alvo está no interior do feixe. Então:

$$L_{efet} = \theta \cdot R_0 = \frac{\lambda}{L} \cdot R_0$$

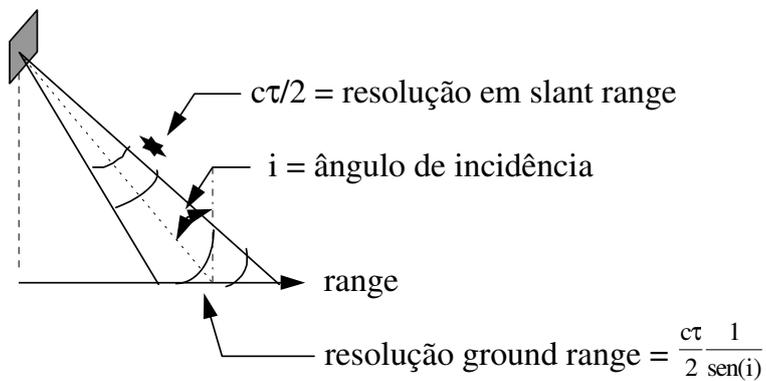


- E a abertura sintética é $\theta_{efet} = \frac{\lambda}{L_{efet}} = \frac{L}{2R_0}$ (ida e volta)

- Então, $X_{AZ_{efet}} = \theta_{efet} \cdot R_0 = \frac{L}{2}$

- Teoricamente, pode-se conseguir uma resolução em azimute equivalente a metade do comprimento da antena, para qualquer R_0 ou λ

Resolução em range



- como um pulso muito curto requer elevadíssima potência, é preciso alongar o pulso (degradando a resolução)
- para alongar o pulso e obter alta resolução modula-se o pulso em frequência ou fase de banda BW. usando um filtro casado temos:

$$r_{GR} = \frac{c\tau}{2 \sin(i)} = \frac{c}{2BW} \frac{1}{\sin(i)}$$

Antena e Potência

- Mostra-se que a razão SNR é dada por:

$$\text{SNR} = \frac{P_r}{kTB_n} \propto \frac{P_t G_t G_r \sigma^0}{LR^3 (kTB_n)}$$

SNR é degradada pela distância “slant range” ao cubo para sensores orbitais. Então devemos ter antenas grandes (ganho \propto área) e alta potência significa pequenas perdas (L) e picos de alta potência (visto que os pulsos são muito curtos)

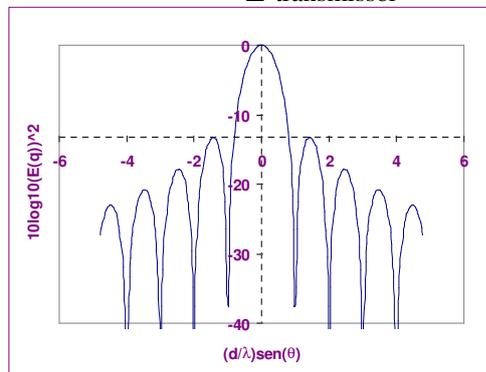
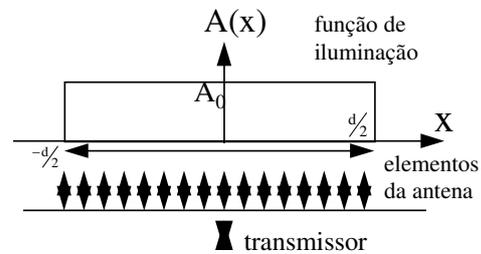
Padrão de antena

- FT da função de iluminação

$$E(\theta) = \frac{1}{2} \int_{-d/2}^{d/2} \exp\{j2\pi x \text{sen}(\theta) / \lambda\} dx$$

$$= \frac{\text{sen}(\pi d / \lambda \text{sen}(\theta))}{\pi d / \lambda \text{sen}(\theta)}$$

que é uma função SINC, que possui abertura a 3 dB de λ/d , e 1º pico de lobo secundário a -13.2 dB



O que é um “chirp” ?

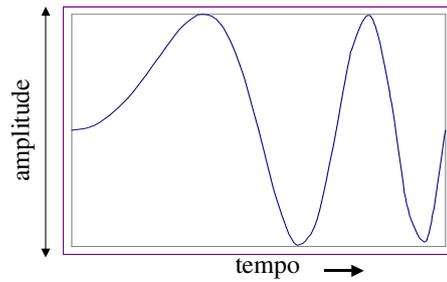
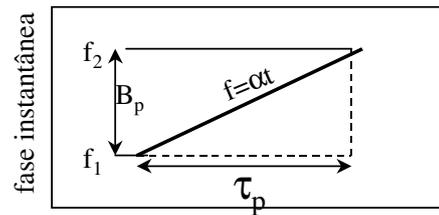
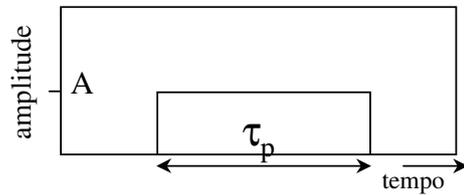
$$p(t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} \left[2\pi \left(f_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \right) \right], & -\tau_p/2 \leq t \leq \tau_p/2 \\ 0, & \text{fora deste intervalo} \end{cases}$$

a fase é dada por:

$$\varphi(t) = 2\pi \left(f_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \right)$$

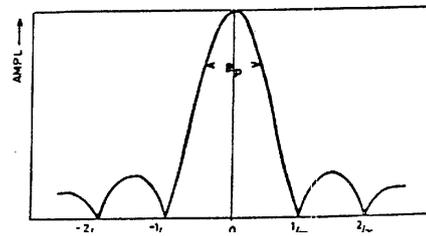
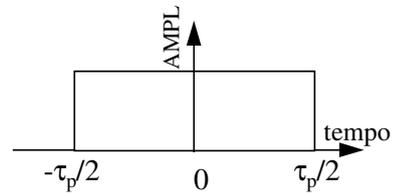
a frequência é dada por:

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt} = f_0 + \alpha t$$



Compressão de pulso

- Slant range é $\rho_r = c\tau_p/2$
- não é possível transmitir pulsos demasiadamente curtos
- a solução é a técnica de compressão do pulso => alta resolução com pulsos longos
- uma forma alternativa para ρ_r em termos de largura de banda, $B_p = 1/\tau_p$, é: $\rho_r = c/2B_p$
- Na compressão de pulso, transmite-se um pulso longo, mas com banda B_p
- Ecos são comprimidos (filtro casado) no processamento
- Compressão do pulso no processamento (“De-chirping”) dá a resolução fina e possibilita um aumento de potência de um fator proporcional a $\tau_p B_p$ - O produto tempo-largura de banda

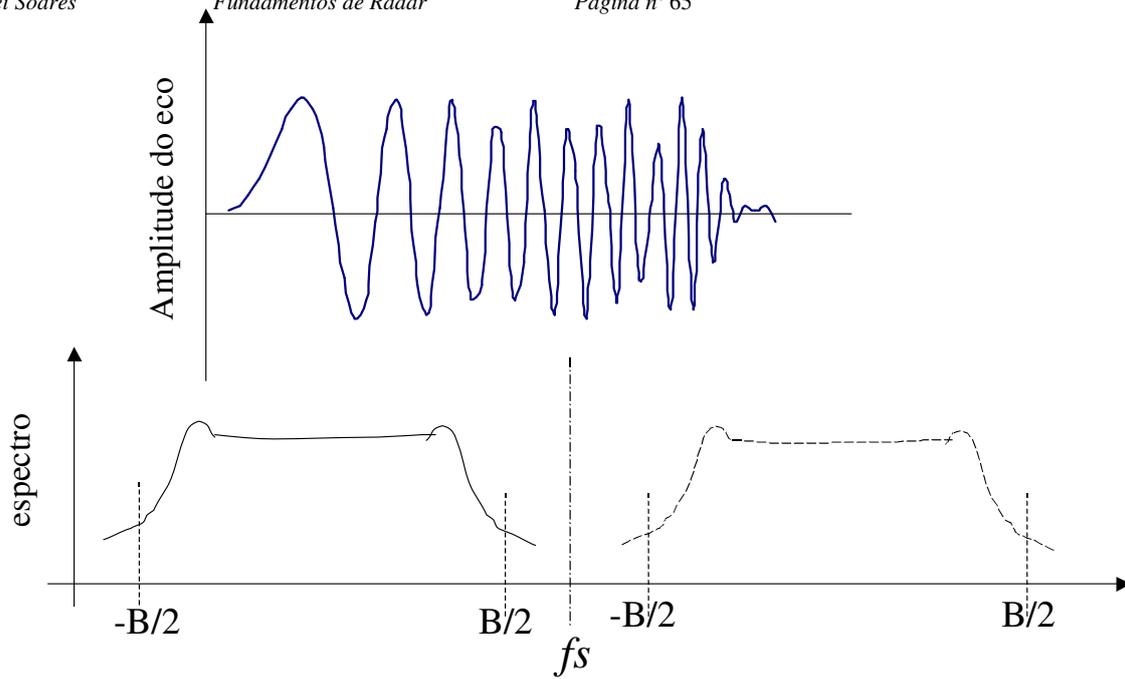


pulso retangular e FT correspondente

João Viane Soares

Fundamentos de Radar

Página nº 65



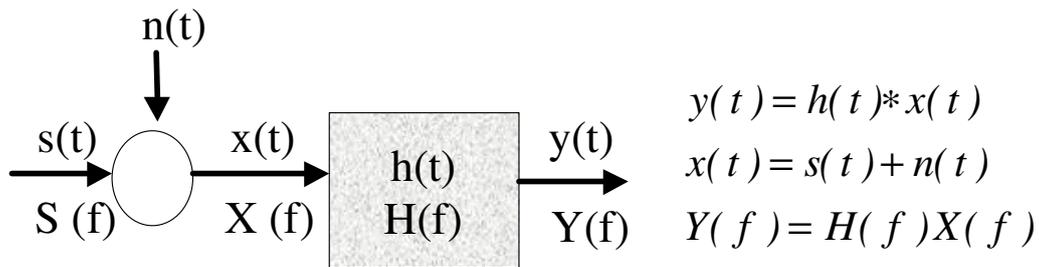
Condição para amostragem sem superposição: $fs > B$

A frequência mínima de amostragem é $fs = B$ (Nyquist)

Se $fs < B$, temos uma região de "aliasing" = $(B-fs)/2$

FILTRO CASADO

Definição: Filtro que maximiza a relação sinal-ruído de um sinal $x(t)$ quando o ruído é Gaussiano, aditivo e branco na banda de passagem do sistema



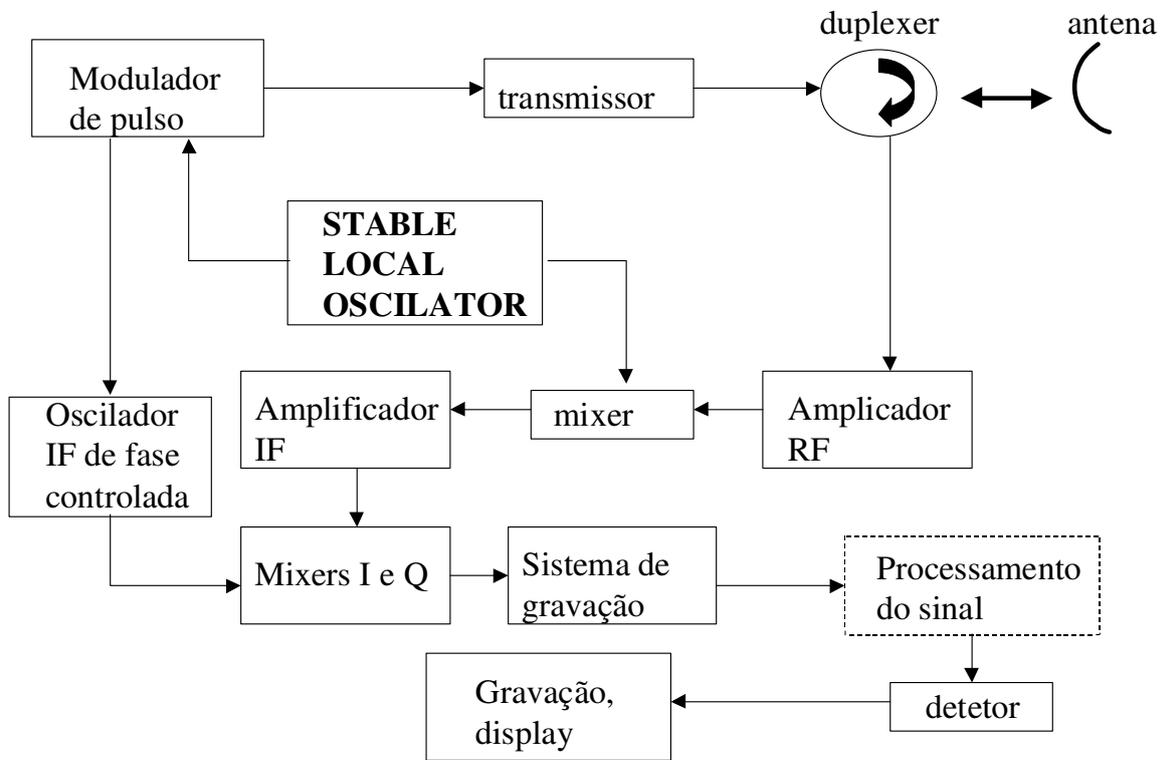
A função de transferência do filtro casado é o complexo conjugado do espectro do sinal de entrada, isto é:

$$H(f) = S^*(f)$$

ou

$$h(t) = s^*(-t)$$

DIAGRAMA DE BLOCOS SIMPLES DE UM SAR

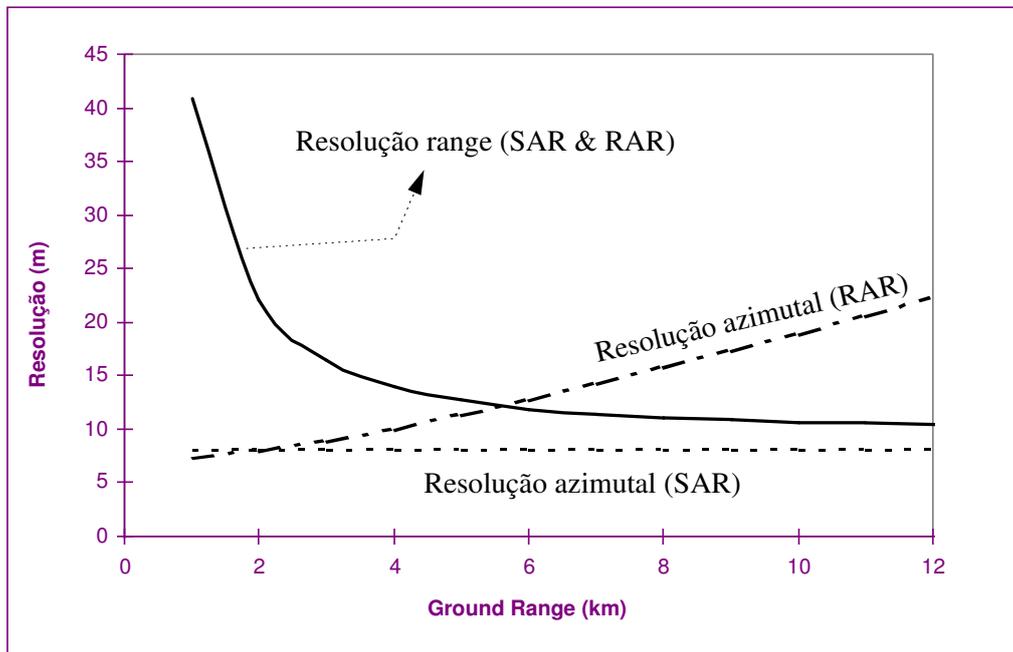


Coerência em SAR

- Para medir o efeito Doppler, é necessário usar um sinal de referência.
- Em SAR, todos os sinais são gerados coerentemente com um “STABLE LOCAL OSCILATOR (STALO)”
- A amplitude e a fase de cada retorno devem ser mantidos até a formação da imagem em azimuth
- Isto necessita ser feito num processo coerente
- É necessário manter a coerência numa fração do comprimento de onda, sobre o registro Doppler

Variação da Resolução

- A resolução em azimuth é degradada em função da distância do alvo num Radar de Abertura Real, RAR; num SAR ela permanece aproximadamente constante com a distância
- Resolução “Ground Range”, em relação a resolução “Slant Range”, varia da mesma forma tanto para RAR quanto para SAR



Sistema de abertura real a 4 km de altura, IFOV de 0.1° , com pulso de 66 ns