



Sensoriamento Remoto I

GA111

Prof. Dr.Ing. Jorge A.S. Centeno

Departamento de Geomática

UFPR

2020



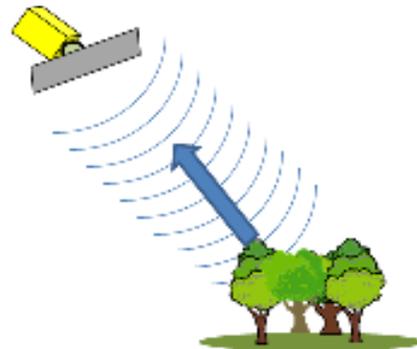
Sistemas Ativos: o RADAR

Sumário:

- Princípio de funcionamento
- RADAR de abertura sintética - SAR
- Propriedades geométricas das imagens:
- Propriedades espectrais
- Sistemas comerciais

Os sistemas ativos:

Os sistemas ativos não dependem de uma fonte externa de radiação, eles emitem radiação eletromagnética em direção ao alvo e medem a parcela da energia refletida pela sua superfície na direção do sensor.

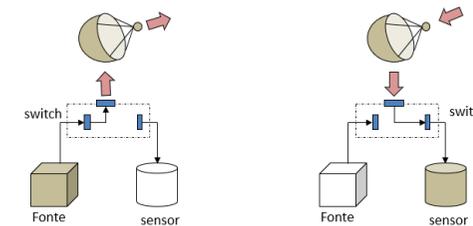


Um exemplo são os sistemas que registram imagens por RADAR (Radio Detection and Ranging), que utilizam energia eletromagnética na faixa das micro-ondas (entre 1mm e 1m).

Por operar em regiões espectrais muito longe do visível, a natureza da informação que pode ser obtida é diferente daquela disponível em uma fotografia. Uma das vantagens

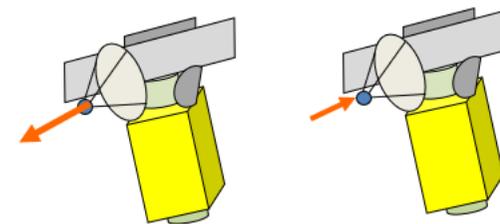
do uso de micro-ondas é que as micro-ondas são capazes de penetrar nas nuvens e poeira, não depende das condições atmosféricas.

Os sistemas de sensoriamento remoto por RADAR são compostos basicamente por um emissor de energia, um receptor, uma antena e um switch para alternar a recepção e emissão de sinais pela antena



Por um curto intervalo de tempo, o switch de controle aciona o módulo de emissão de energia permitindo que a o emissor envie um sinal em direção ao alvo através da antena.

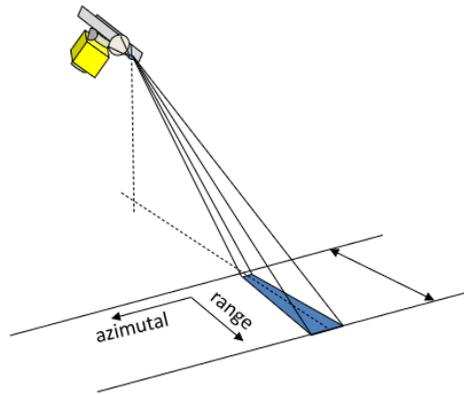
No instante seguinte, o switch é mudado de posição, fazendo com que o sistema passe a funcionar como um sistema de captação de sinais, e os ecos do sinal emitido, que são refletidos pelo objeto, são registrados pela unidade receptora. O sinal captado é posteriormente amplificado e gravado.





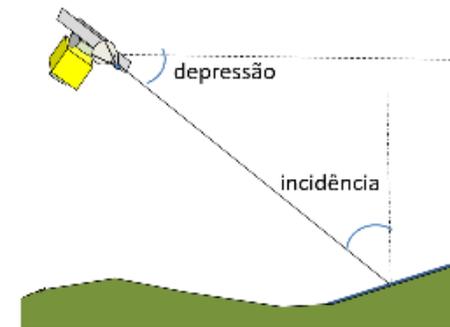
Visada lateral

Geralmente o transmissor envia pulsos em intervalos regulares na direção perpendicular ao deslocamento. Ou seja, as imagens não são obtidas na posição nadiral. Por este motivo, estes sistemas são também conhecidos como side looking airborne RADAR (SLAR).

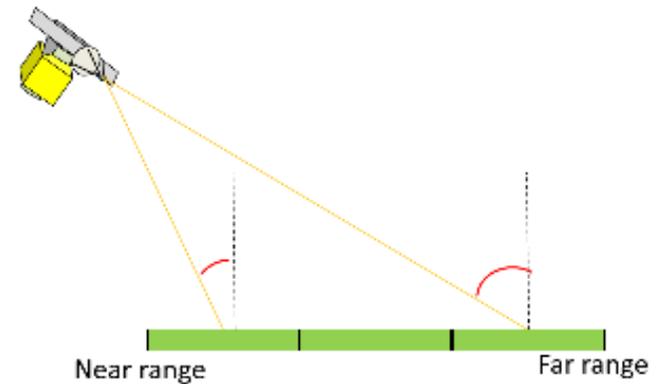


A geometria de emissão é importante no imageamento por RADAR.

- O ângulo com que o feixe incide na superfície é chamado de ângulo incidente.
- O ângulo com o qual o feixe é emitido é chamado de ângulo de depressão.



O ângulo de incidência é maior para as regiões mais próximas à plataforma (near range), e menor nas regiões mais afastadas na direção perpendicular à linha de vôo (far range).





Resolução espacial

A resolução espacial de uma imagem de RADAR não é uniforme devido à variação do ângulo de incidência e a distância que separa o sensor do objeto. Por isso, pode-se dizer que a resolução espacial é função da posição do pixel em relação à trajetória da plataforma.

Para um sistema RADAR de abertura real a resolução espacial é diferente na direção perpendicular à trajetória (range) e na direção azimutal.

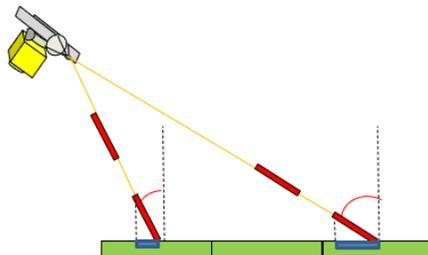
Na direção perpendicular (range), o tamanho do pixel depende do comprimento do pulso. Sendo o tempo de duração do pulso "t" que se propaga à velocidade da luz "c", o comprimento do pulso é dado por

$$dx = c * t$$

A projeção deste pulso no terreno é de

$$Rr = (c * t) / (2 \sin(\theta))$$

• θ = ângulo de incidência.



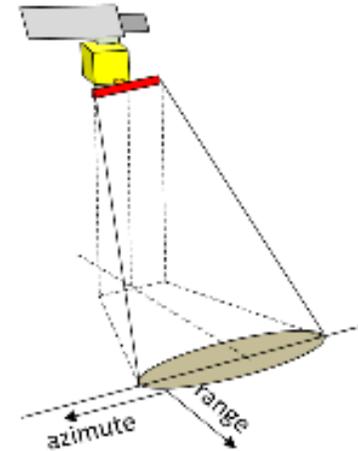
Na direção azimutal, o tamanho do pixel depende da distância que separa a antena do objeto (A) e do tamanho da antena, seu comprimento (d), bem como do comprimento de onda utilizado (λ).

$$Ra = A * (\lambda/d)$$

Na equação, (λ/d) representa a relação entre o comprimento de onda e o tamanho da antena.

A geometria do pixel varia na direção range. Na faixa próxima à plataforma o ângulo de incidência é baixo, logo a resolução na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma é maior. Como os objetos encontram-se mais próximos da plataforma nesta região, a resolução azimutal é menor.

O contrário ocorre na região mais afastada da plataforma, ou seja, far range. Neste caso, verificam-se células com dimensões menores na direção range e maiores na direção azimutal.

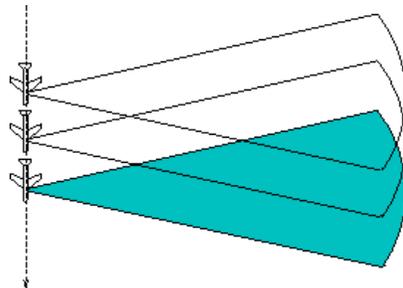




RADAR de abertura sintética - SAR

As opções para aumentar a resolução azimutal mantendo a distância ao objeto passam por modificar a relação entre o comprimento de onda (λ) e o tamanho da antena. O tamanho da antena não pode ser ampliado ilimitadamente, pois os satélites não poderiam carregar antenas muito longas. Porém, uma técnica foi desenvolvida para simular uma antena longa: o SAR (Synthetic Aperture RADAR)

O RADAR de abertura sintética (Synthetic Aperture RADAR - SAR) aproveita o deslocamento da antena na direção azimutal para simular uma antena mais comprida. O sinal é emitido por um tempo mais longo, desde vários pontos ao longo da orbita, o que emula a emissão de uma antena longa.



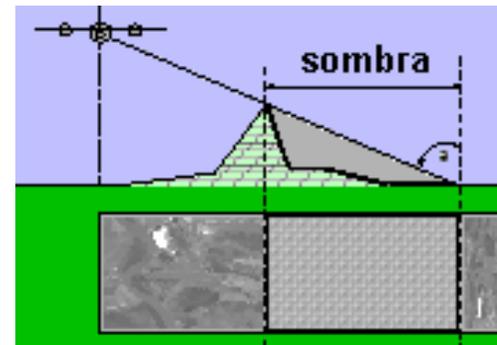
Propriedades geométricas

Como os sistemas de RADAR emitem um pulso e registram a intensidade da parcela refletida pela superfície, o ângulo de emissão, o ângulo de incidência e as características do pulso emitido condicionam as medições. Alguns efeitos, como deformações espaciais, podem resultar destas características.

As características particulares dos sistemas de RADAR de visada lateral introduzem algumas deformações sistemáticas em suas imagens em função da topografia. Este tipo de deformação pode ser modelado e corrigido através de técnicas de processamento digital de imagens.

sombra

Em regiões de relevo acentuado, a relação entre o ângulo incidente e a inclinação do terreno é importante. Quando ocorrem encostas com declividade maior que o ângulo de incidência e orientação paralela à direção range, então algumas regiões podem ficar sem ser registradas, pois elas passam a ser encobertas por outros pontos do terreno.



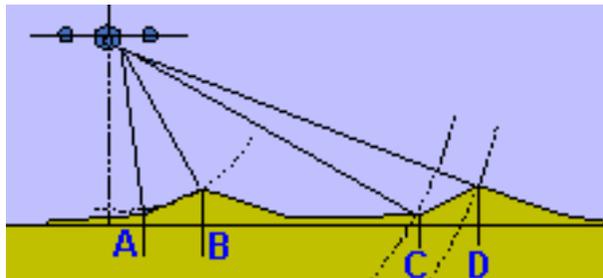


Encurtamento de rampa

Alteração do tamanho aparente de planos inclinados em função do ângulo de depressão e a distância à antena..

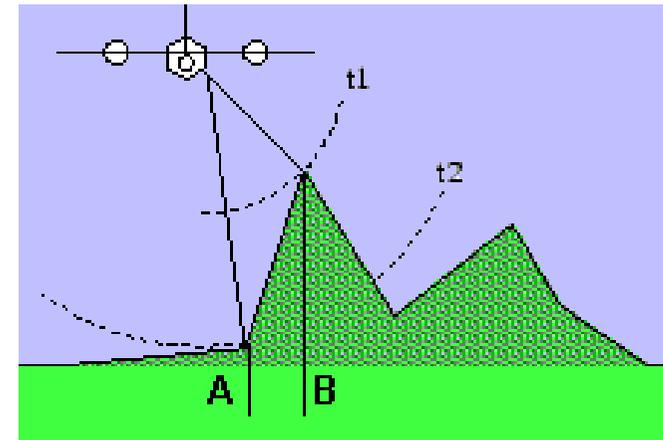
Caracterizado pela alteração da dimensão aparente de terrenos inclinados.

Os pontos [A] e [B] são registrados como um único ponto, em virtude de ser eqüidistantes à antena. Por isto, esta rampa aparece curta na imagem. Já os extremos da rampa [CD] , mesmo sendo igual a [AB], são registrados em pixels diferentes por ficarem mais afastados da antena.



Inversão do relevo

A inversão do relevo é o caso extremo do encurtamento de rampa. Neste caso, a deformação é tão acentuada, que o ponto mais alto (e mais distante da antena) é registrado primeiro e o ponto mais próximo da antena (na base da rampa) é captado por último, dando a sensação de relevo invertido.





bandas espectrais

As imagens de RADAR são obtidas usando micro-ondas, que variam na ordem de centímetros ou metros. Esta região do espectro também foi organizada em faixas espectrais (banda), sendo as principais:

Nome	faixa espectral
• Ka	0.75 - 1.1 cm
• K	1.1 - 1.67 cm
• Ku	1.6 - 2.4 cm
• X	2.4 - 7.5 cm
• C	3.75 - 7.5 cm
• S	7,5 - 15cm
• L	15 - 30 cm
• P	30 -100 cm

A banda [C] é comum em muitos sistemas aerotransportados e em sistemas transportados por satélites, como ERS-1 e 2 e RADARSAT.

A banda [L] é usada a bordo do SEASAT (USA), o JERS-1 (Japão) e sistemas aerotransportados da NASA

Polarização

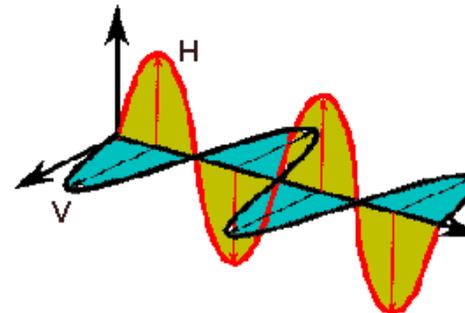
A polarização se refere à orientação do campo eletromagnético emitido e do retorno registrado. Ela pode ser vertical [V] ou horizontal [H]. A polarização do sinal emitido pode ser modificada pela interação com a superfície dos objetos:

HH - Emissão e recepção horizontal

VV - Emissão e recepção vertical

VH - Emissão vertical e recepção horizontal (polarização cruzada)

HV - Emissão horizontal e recepção vertical (polarização cruzada).



A radiação usada em RADAR deve ser descrita pelo binômio comprimento de onda - polarização. As imagens são então batizadas por termos que combinam o nome da banda usada e a polarização:

Ex. C-HH, L-VH, L-VH

Polarizações múltiplas ajudam a distinguir a estrutura física dos alvos através do retroespalhamento

- O alinhamento em relação ao radar (HH versus VV)
- A aleatoriedade do espalhamento (ex: vegetação - HV)
- As estruturas com vértices proeminentes (ex: ângulo de fase HH VV)
- Espalhamento de Bragg (ex: oceanos - VV)

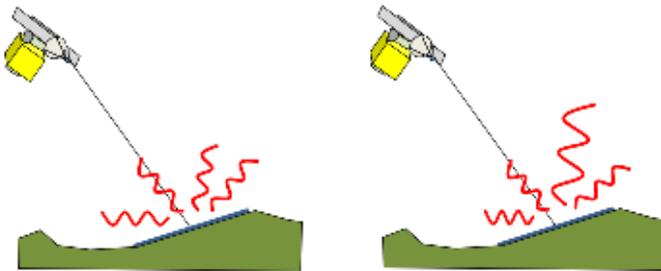


Retroespalhamento

As microondas são emitidas pelo sistema e elas são refletidas pela superfície. Dependendo da superfície, parte da energia é refletida em direção à antena. Esta pequena parcela é amplificada e medida pelo sensor.

Como o sistema é de visada lateral, a maior parte da radiação é refletida longe do sensor.

No caso ideal, uma superfície isotrópica, a radiação incidente na superfície seria refletida por igual em todas as direções. Porém, isto não ocorre na realidade e apenas uma pequena porção da radiação incidente é refletida na direção do RADAR (retroespalhada).



A proporção entre a energia retro-espalhada e o valor correspondente a uma superfície isotrópica é chamada de σ_0 e depende da natureza da superfície dos objetos.

Equação característica do RADAR:

A potência da parcela da radiação retroespalhada (P_r) pela superfície depende da potência emitida (P_t) e outros fatores como:

- $[\sigma]$ a seção específica de retroespalhamento,
- $[G]$ ganho da antena,
- $[A]$ a superfície efetiva da antena e
- $[R]$ a distância entre a antena e o objeto.

$$dP_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma^0 dA$$

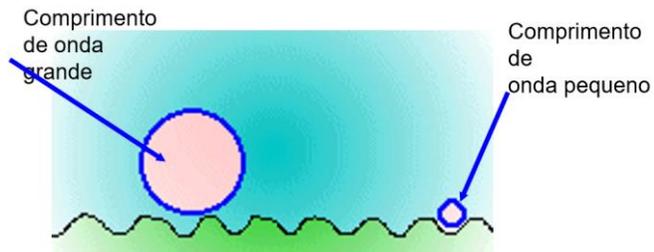
Nesta equação, o único termo associado à superfície do objeto é a seção específica de retroespalhamento (σ). Este parâmetro descreve a intensidade da interação entre o sinal e a superfície e depende de vários fatores como, por exemplo, a rugosidade e as propriedades dielétricas do material, as condições da superfície e a geometria do imageamento.



Efeito da rugosidade

Um dos principais fatores que influenciam a resposta da superfície é sua rugosidade, que é uma grandeza relativa e depende também do comprimento de onda utilizado.

Uma superfície pode parecer lisa quando um feixe de comprimento de onda muito pequeno é utilizado. A mesma superfície ganha aparência de rugosa quando o comprimento de onda do feixe utilizado é aumentado.



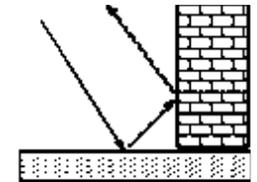
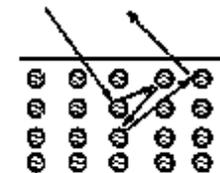
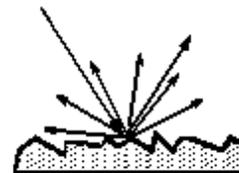
A parede, é lisa?

Tipos de retroespalhamento

A geometria da superfície influencia a parcela retroespalhada. Por exemplo, ela pode causar reflexão especular ou difusa. Se for especular, o pulso refletido pode incidir em outras superfícies e mudar de trajetória. Ainda, se o pulso encontra objetos compostos por várias camadas, como a copa de uma árvore, o sinal pode sofrer múltiplos reflexos.

Assim sendo, é comum classificar o retroespalhamento em três classe:

- Difuso: uma pequena parte do sinal emitido é retornado em direção à antena.
- De volume: o sinal é refletido por várias superfícies pela superposição de várias camadas (como as folhas de uma árvore).
- Especular: quando ocorre reflexão total do sinal. (efeito das esquinas).





Exemplos de sistemas de RADAR

Copernicus

Engloba uma série de satélites com sensores SAR (Synthetic Aperture Radar) incluindo

- ESA: ERS-2 and Envisat,
- Italia: Cosmo-SkyMed,
- Canada: Radarsat-2,
- Alemanha:TerraSAR-X and TanDEM-X.

ERS-2/SAR (European Space Agency ESA) Lançamento 1995

Bandas: C

Dois modos:

- wide-swath mode : faixa de 100 km. Resolução espacial de 26 m range e 6–30 m azimutal.
- Wave mode: imagens de 5×5 km em intervalos de 200 km.

Envisat/ASAR lançamento: 2002

Carrega 10 instrumentos sensores sendo um deles o Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR).

Banda: C

modos:

- imageamento, (30m)
- Wave (30m)
- wide-swath (150×150m)
- global monitoring (1000×1000 m).

Cosmo-SkyMed

Constelação de 4 satélites.

banda X

Modos:

- StripMap: faixa de 3040 km e resolução de 3–15 m,
- ScanSar: faixa de 200 km e resolução de 30 m a 100 m.
- Spotlight-2: imagens de 10×10 km e resolução espacial de 1x1 m.

Radarsat-2

Lançado em 2007

Banda: C.

Opera em vários modos.

- Resolução espacial varia de 3 a 100 m
- Largura da faixa varia de 20 a 500 km.

É previsto formar uma constelação com 3 satélites: Radarsat Constellation Mission (RCM) .

TerraSAR-X e TanDEM-X

TerraSAR-X lançado em 2007 Banda: X-band.

Modos:

- SpotLight: resolução espacial de 1 m cobrindo 5×10 km,
- StripMap: resolução espacial de 3 m cobrindo 30×50 km
- ScanSAR: resolução espacial de 16 m cobrindo 100×150 km.



TanDEM-X lançamento: 2010 .

É muito similar a TerraSAR-X.

Pretende-se usar os dois em conjunto, orbitando muito próximos (250 - 500 m) para a obtenção de modelos digitais do terreno globais.

ERS-1

A imagem corresponde à cidade do Cabo, na África do Sul, obtida em agosto de 2001. As áreas urbanas aparecem claras e são caracterizadas por uma textura rugosa. Nota-se também a presença de montanhas na região leste. Nesta região montanhosa, o efeito da direção de visada é evidente, pois as montanhas apresentam um lado claro e outro com sombras.

TAREFA

Busque informações a respeito das imagens de RADAR do sistema SENTINEL.



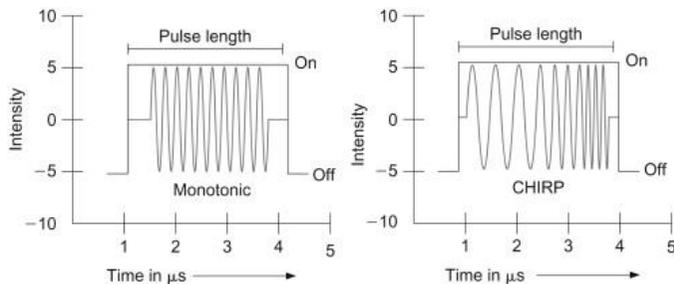
CHIRP (compressed high intensity radar pulse)

Uma técnica comum para muitos sistemas de radar (geralmente também são encontrados em sistemas de SAR) é o CHIRP.

Usa-se um pulso muito mais longo, que sofre uma mudança de frequência durante a emissão (daí o "gorjeio" ou mudança de frequência).

Quando o eco é registrado, ele deve ser correlacionado com o pulso enviado para análise.

Essa técnica "compacta" o pulso no tempo – assim se atinge o efeito de um pulso muito curto (maior resolução range), com as vantagens de um maior comprimento de pulso (muito mais sinal retornado).



www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulse-radar

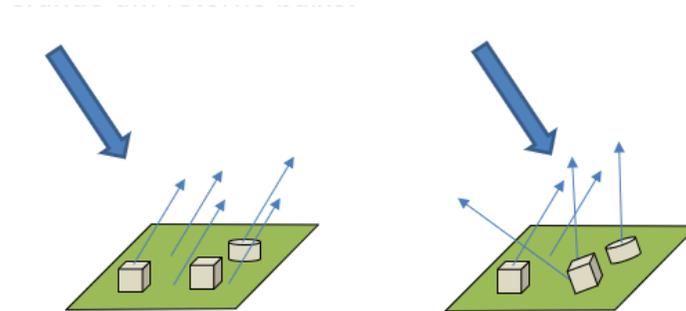
speckle

O speckle é um tipo de ruído típico de imagens de RADAR causado pela soma vetorial (coerente) dos sinais de retorno de vários difusores contidos em cada pixel.

Em algumas situações os vetores se somam, criando um retorno maior, em outros se compensam gerando um retorno baixo.

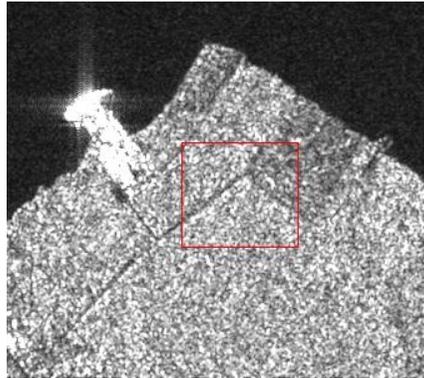
Com a soma ocorre de forma aleatória, a soma dos vetores é aleatória e o speckle gera na imagem uma aparência granular.

A fase de cada difusor está relacionada à distância entre o difusor e o sensor. Se o sensor se move, as fases dos difusores mudarão, acarretando uma alteração na amplitude total. Então, observações sucessivas da mesma área quando o sensor se move resultarão em diferentes valores de amplitude.





Redução de speckle



O speckle é um efeito indesejado e técnicas para sua redução foram desenvolvidas, elas incluem:

Filtros por múltiplas visadas (multilook)

Neste caso, várias imagens são obtidas da mesma região. Como o ruído é aleatório, umas vezes aumenta o sinal de retorno e outras o diminui. Então, calculado a média de cada pixel com muitas imagens, o efeito do speckle é reduzido, ficando a média mais aproximada do valor do pixel real.

Filtragem espacial

Neste caso, um filtro similar ao passa baixas é usado para suavizar a imagem. O passa-baixas, mesmo, não é recomendado, porque esta filtragem prejudica as bordas. Então, filtros adaptativos próprios para o tratamento de speckle foram concebidos, como o filtro de Lee, Frost, ou Gamma-MAP. Outra opção válida é o uso da mediana.

Interpretação de imagens

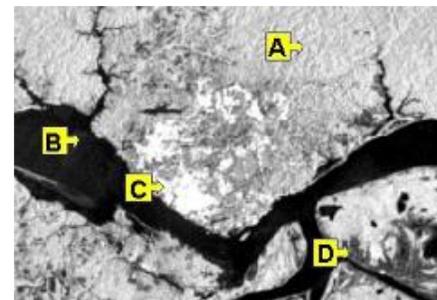
Diferenças entre as imagens de RADAR e imagens ópticas como as da série Landsat.

	RADAR	Sensor óptico
atravessa nuvens	sim	não
fonte	própria	Sol
faixa espectral	microondas cm	VIS-IV micras
penetra em copas de árvores	sim	não

Compare estas imagens:



Composição MIR, NIR, Red.



RADAR

