

Análise de filtragem do ruído Speckle em imagens do Radar de Abertura Sintética do SIPAM.

Edinelson Ferrreira de Sena ^{1,2}
Thiago de Souza Mansur Pereira ¹
Antônio Nuno de Castro Santa Rosa ²

¹ Comando-Geral de Operações Aéreas - COMGAR
SHIS QI-05 – Área especial 12, CEP 71615-600 – Brasília-DF,
senaf@unb.br, thmansur@gmail.com

² Universidade de Brasília - UnB
Camus Universitário Darcy Ribeiro CEP 70910-900 Brasília-DF, Brasil
nunos@gmail.com

Abstract. The technology of synthetic aperture radar (SAR) has become widely used in Remote Sensing (RS) in Brazil, especially after the acquisition and use of RS aircraft for the Brazilian Air Force. One of the difficulties of analysis of SAR images is the presence of speckle noise, whose grainy effect complicates the analysis and interpretation of these images, both visual and automatic. The alternative is to try to reduce it by using adaptive filters. Therefore, this study aims to develop a process indicative of quality filters within the parameters of Mean Square Error (MSE), signal to noise ratio (SNR) and evaluation of preservation of edges (Beta). The results suggest that the filter has Lee most suitable parameters for removal of speckle in X band and HH sensor SAR R-99.

Palavras-chave: synthetic aperture radar, remote sensing, speckle noise, filtering.

1. Introdução

Existem vários ruídos em uma imagem SAR, o mais comum e característico é o ruído Speckle. O efeito deste tipo de ruído causa um aspecto granuloso às imagens, muito semelhante à textura “sal e pimenta” (Nepomuceno, 2003b.). É ocasionado no processo de interação da onda incidente com a superfície do terreno (retroespalhamento difuso). As ondas espalhadas e que alcançam a antena de recepção são somadas em direção e fase, o que resulta no sinal recebido (Pinheiro, 1992). A maior presença deste ruído ocorre em áreas de maior intensidade do sinal (SANT'ANNA et. al., 2001).

O ruído Speckle é decorrente da natureza coerente do imageamento SAR. Ele dificulta a interpretação visual dos dados, assim como a classificação e segmentação destas imagens (SANT'ANNA et. al., 2001). Por conseguinte, é necessário reduzir este ruído para se obter uma análise precisa e detalhada da cena. A redução pode ser feita de duas maneiras: através do processamento de multi-visadas (multi looks) e/ou com a utilização de filtros.

Este artigo tem o objetivo principal de avaliar o desempenho dos filtros adaptativos na a eliminação de ruídos de imagens SAR da aeronave R-99.

1.1 Área de Estudo

A Figura 1 representa a área de estudo, situada na região de Cruzeiro do Sul, no Acre, limitada pelas coordenadas geográficas 07° 34' 22" S / 072° 48' 11" W e 07° 37' 14" S / 072° 45' 08" W.



Figura 1 – Região de Cruzeiro do Sul - AC, área adotada para realização dos testes.

2. Referencial Teórico

Em uma imagem de Sensoriamento Remoto (SR), há o parâmetro denominado frequência espacial, que é quantidade de mudança de valores de número de cinza (NC) por unidade de distância, dentro da imagem. Se existirem poucas variações de NC em uma determinada área, esta recebe a denominação de área de baixa frequência; caso contrário, é denominada de alta frequência.

Nesse tipo de imagem, as feições são registradas no sensor em função da cobertura do terreno (solo, vegetação, rochas, área urbana, área de agricultura, etc.). Em cada uma delas, há a representatividade em NC da área imageada. Às vezes, acontecem áreas de contato entre feições (fronteiras). Essas fronteiras representam a transição de intervalo de nível de cinza entre uma feição e outra e são conhecidas como bordas (MATHER, 1999, p. 147 a 165).

O objetivo da filtragem é manipular as frequências (altas, médias ou baixas), de modo a realçar as feições de interesse ou corrigir as incorretas; para isso, adotam-se a utilização de filtros para a eliminação de ruídos, o realce de bordas ou a detecção de feições.

Um bom filtro é aquele que promove a menor perda da informação do dado original, fornece discriminação entre os alvos de cena, facilita a segmentação automática das imagens e permite a aplicação de realces clássicos desenvolvidos para as imagens geradas por sensores ópticos (Pinheiro, 1992, p.72).

Há duas maneiras para se aplicar a técnica de filtragem de frequência: o processo conhecido como convolução bidimensional, que opera no domínio espacial da imagem, ou a Análise de Fourier, que opera no domínio das frequências que compõe a imagem.

O processo básico de filtragem espacial consiste em realizar a convolução da imagem original ruidosa com uma matriz numérica ou janela (kernel) em movimento. O pixel

considerado, num passo do processo de filtragem, situa-se ao centro do kernel, conforme ilustrado na Figura 2.

Computacionalmente, o processo de filtragem consiste em substituir o Número Digital do pixel de interesse por um ND estimado, considerando o comportamento estatístico da vizinhança ruidosa selecionada pelo kernel.

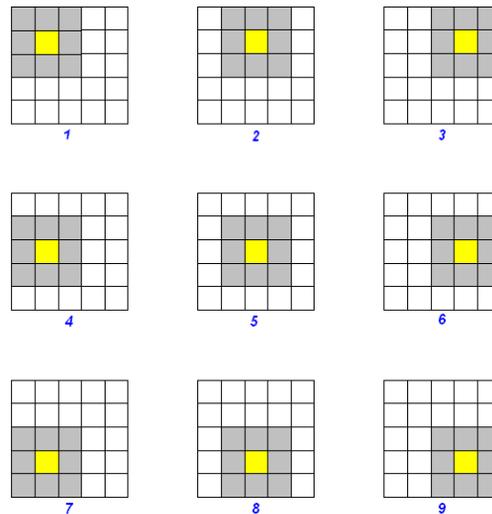


Figura 2 – Movimento de uma janela 3x3 (kernel) pela imagem matricial no processo de filtragem (convolução). O pixel de interesse está ao centro da janela (amarelo).

Neste trabalho, foram realizados testes com os filtros de Lee e de Frost, a kernel de tamanho fixo, em imagens tipo amplitude do R-99 com polarização HH da banda X.

2.1 Filtro de Lee

É um filtro que transforma o modelo multiplicativo em modelo aditivo, através da expansão em série de Taylor de 1ª ordem, em torno da média. Utiliza estatística local para minimizar o Erro Quadrático Médio (EQM), por meio do filtro de Wiener. É um filtro adaptativo e tem como característica a preservação de bordas (Sant'ana et al, 2001).

O filtro de Lee é baseado no pressuposto de que a média e a variância do pixel de interesse são iguais à média e à variância de todos os pixels locais, os quais se referem ao interior da janela adotada.

A estimativa da variância do pixel de interesse é calculada por (1),

$$\hat{\sigma}_{pixel}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{local}^2 + \hat{\mu}_{local}^2}{\sigma_{speckle}^2 + 1} - \hat{\mu}_{local}^2, \quad (1)$$

onde $\hat{\mu}_{local}$ é a estimativa de média e $\hat{\sigma}_{local}^2$ é estimativa de variância, dos ND associados aos pixels locais na imagem original ruidosa, e $\sigma_{speckle}^2$ é a variância do ruído speckle.

O fator k do filtro é dado por (2),

$$k = \frac{\hat{\sigma}_{pixel}^2}{\hat{\mu}_{local}^2 \sigma_{speckle}^2 + \hat{\sigma}_{pixel}^2}. \quad (2)$$

Substituindo (1) e (2) em (3), define-se o filtro por:

$$ND_{\text{filtro}} = \hat{\mu}_{\text{local}} + k(ND_{\text{speckle}} - \hat{\mu}_{\text{local}}), \quad (3)$$

onde, ND_{filtro} é o número digital do pixel de interesse, após filtragem, e ND_{speckle} é o número digital do pixel de interesse na imagem original ruidosa. Este processo é repetido para os outros pixels da imagem.

2.2 Filtro de Frost

O filtro de Frost substitui o pixel de interesse pela soma ponderada dos valores interiores à janela ($n \times n$) em movimento (MANSOURPOUR, 2006). A ponderação de fatores decresce com a distância do pixel de interesse aos pixels locais. É um filtro convolucional e linear, que minimiza o EQM. Neste filtro é incorporada a dependência dos pixels vizinhos (correlação exponencial entre os pixels). É adaptativo e preserva estruturas do tipo bordas. É definido por (4),

$$ND_{\text{filtro}} = \sum_{n \times n} k \alpha e^{-\alpha |t|}, \quad (4)$$

com $\alpha = (4/n\bar{\sigma}^2)(\hat{\sigma}^2/\bar{T}^2)$, onde k é uma constante de normalização, \bar{T} é a estimativa da média local, $\hat{\sigma}$ é a estimativa da variância local, $\bar{\sigma}$ é o valor do coeficiente de variação da imagem ruidosa, $|t| = |X - X_0| + |Y - Y_0|$, com (X_0, Y_0) indicando a posição do pixel de interesse, (X, Y) indicando a posição dos pixels locais associados e n é o tamanho da janela. Este processo é repetido para os outros pixels da imagem.

3. Metodologia

Primeiramente, as imagens foram filtradas no software ENVI 4.5, e, em seguida, foram processadas no software Matlab, para calcular figuras de mérito dos referidos filtros.

Através do parâmetro β das estimativas do erro médio quadrático e da relação sinal ruído, conforme definidos adiante, foi possível indicar o melhor filtro para a redução do ruído speckle.

3.1. Estimativa do erro médio quadrático (Mean Square Error – MSE)

Tal estimativa é baseada na média entre amostras e é dada por (5),

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{S}_i - S_i)^2, \quad (5)$$

onde \hat{S}_i e S_i são os i -ésimos pixels da imagem filtrada \hat{S} e da imagem original ruidosa S , respectivamente, e N é o tamanho (quantidade de pixels) da imagem.

Em virtude do processamento SAR disponibilizar apenas imagens com o ruído, para efeito do estudo do MSE, utilizou-se a imagem original do sensor (com ruído) e a imagem pós-filtrada (ruído reduzido).

Na comparação entre filtros, é desejável um baixo valor para (5).

3.2. Estimativa da relação sinal ruído (Signal Noise Ratio – SNR)

Em imagens SAR, há interesse em suprimir o ruído speckle, enquanto se preservam bordas estruturas lineares da imagem original, por isso, é interessante conhecer a relação entre o sinal e o ruído da imagem, que pode ser definida por (6),

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{\sum_{i=1}^N (\hat{S}_i - S_i)^2} \right), \quad (6)$$

com as mesmas variáveis utilizadas em (5).

Na comparação entre filtros, é desejável um alto valor para (6).

3.3. Parâmetro β

Utiliza-se este parâmetro para avaliar a preservação de bordas após a filtragem, dado por (7),

$$\beta = \frac{\Gamma(\Delta S - \Delta \hat{S}, \Delta \hat{S} - \Delta(\bar{\hat{S}}))}{\sqrt{\Gamma(\Delta S - \Delta(\bar{S}), \Delta S - \Delta(\bar{S})) \Gamma(\Delta \hat{S} - \Delta(\bar{\hat{S}}), \Delta \hat{S} - \Delta(\bar{\hat{S}}))}}, \quad (7)$$

onde, S e \hat{S} são as imagens original ruidosa e filtrada, respectivamente, $\Delta(\cdot)$ denota um filtro passa-alta Laplaciano, $\bar{(\cdot)}$ denota o filtro Média e Γ é um operador, aplicados a certas imagens, conforme conveniente em (10).

No presente estudo, o kernel 3x3 adotado para o filtro passa-alta Laplaciano é dado por (8),

$$\text{Kernel Laplaciano} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

enquanto o kernel 3x3 adotado para o filtro Média é dado por (9),

$$\text{Kernel Média} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

O operador Γ é definido por (10),

$$\Gamma(S_1, S_2) = \sum_{i=1}^N (S_1)_i (S_2)_i, \quad (10)$$

onde $(S_1)_i$ e $(S_2)_i$ são os i -ésimos *pixels* das imagens genéricas S_1 e S_2 , respectivamente, as quais são adequadas por (7), e N é o tamanho das imagens.

Na comparação entre filtros, é desejável um valor próximo a 1 para (13). Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos.

3. Resultados e Discussões

A Figura 3 representa um conjunto de imagens amplitude com polarização HH na banda X, nas quais se buscou reduzir o ruído speckle com filtragem, de acordo com a metodologia apontada. Todos os filtros foram testados com kernels 3x3.

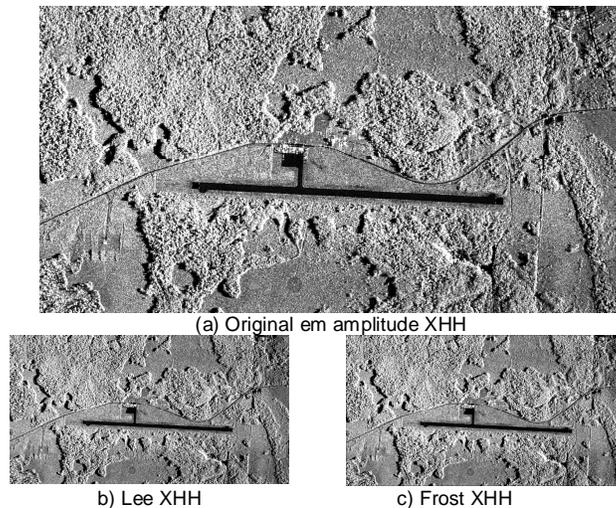


Figura 3 – Resultados obtidos, com *kernel* 3x3, para imagem amplitude com polarização HH na banda X.

A Tabela I relaciona os valores numéricos das figuras de mérito utilizadas, indicando que, ao considerar diversos tipos de filtro, o filtro de Lee apresenta o mais baixo MSE (4,3175), a mais alta SNR (4,4140) e ótimo β (0,8081), com polarização HH na banda X. Por isso, dentro desses parâmetros, é o mais indicado para processamento inicial de imagens do SAR do R-99, na banda X.

Tabela I – Dados de processamento, após a filtragem. O melhor resultado considerado está assinalado.

Imagem Banda X	MSE	SNR	BETA
Lee hh (3x3)	4,3175	4,4140	0,8081
Frost hh (3x3)	6,5740	4,4117	0,3809

4. Conclusões

Existem vários filtros redutores do ruído speckle, porém percebe-se que há uma carência metodológica para indicar qual filtro utilizar com os dados obtidos pelo Radar de Abertura Sintética do R-99.

Neste trabalho, estudou-se um processo indicativo de qualidade de filtros dentro dos parâmetros de erro médio quadrático, relação sinal ruído e avaliação de preservação de bordas.

Os resultados, ainda que preliminares, indicaram que, dentro do escopo deste estudo, o filtro de Lee é o mais indicado, para se trabalhar com a banda X e na polarização HH com o SAR do R-99.

5. Agradecimentos:

À Universidade de Brasília e ao Comando-Geral de Operações Aéreas.

6. Referências Bibliográficas

Nepomuceno, A. M. **Uso de rede neural artificial não-supervisionada na classificação de ados de radar na banda-p para mapeamento de cobertura da terra em floresta tropical.** 2003. 197f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

Pinheiro, G. G. C. **Análise dos dados digitais de imagem de radar (satélite JERS-1, Banda L) para estudos de vegetação, solos e geologia na região do cerrado.** 1992. 102f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade de Brasília, Brasília, 1992.

Sant'anna, S. J. S.; Fernandes, D.; Lacava J. C. S. Análise comparativa do desempenho de filtros redutores de "speckle" em imagens SAR. In: Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBT), 9., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2001.

Mather, Paul M. Computer processing of Remotely - Sensed Images: an introduction. Second ed. England, 319 pp 147-165, 1999.

Mansourpour, M.; Rajabi, M.A; Blais, J.A.R. **Effects and performance of speckle noise reduction filters on active radar and SAR images.** 2006.