

Processamento e análise de grandes imagens PoISAR

Danilo Fernandes

Maio, 2019

Introdução

Principais características das imagens PolSAR (*Polarimetric Synthetic Aperture Radar*):

- Uso de ondas eletromagnéticas no espectro das microondas;
- Descrevem a estrutura geométrica e propriedades dielétricas dos objetos imageados na relação entre a polarização das ondas incidentes e refletidas.

Introdução

Vantagens em relação a sistemas de imageamento ótico:

- Independência de iluminação solar;
- Independência de fatores climáticos.

Introdução

Equações de Maxwell:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (4)$$

Equação de onda:

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (5)$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0 \quad (6)$$

Introdução

Solução para as equações 5:

$$\begin{aligned}\mathbf{E} &= \begin{bmatrix} E_x \cos(\omega t - kz + \delta_x) \\ E_y \cos(\omega t - kz + \delta_y) \end{bmatrix} = \Re \left\{ \begin{bmatrix} E_x e^{j(\omega t - kz + \delta_x)} \\ E_y e^{j(\omega t - kz + \delta_y)} \end{bmatrix} \right\} \\ &= \Re \left\{ \begin{bmatrix} E_x e^{j\delta_x} \\ E_y e^{j\delta_y} \end{bmatrix} e^{j(\omega t - kz)} \right\}\end{aligned}$$

onde $e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$ e $E = \begin{bmatrix} E_x e^{j\delta_x} \\ E_y e^{j\delta_y} \end{bmatrix}$ é chamado Vetor de Jones [LP09].

Introdução

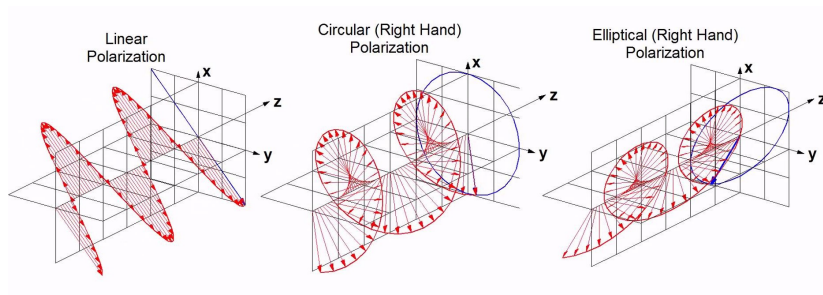


Figura: Da esquerda para a direita temos: $E_y = E_x$ e $\delta_x = \delta_y$; $E_y = E_x$ e $\delta_x = \delta_y + \pi/2$; $E_y \neq E_x$ e $\delta_x = \delta_y + \pi/2$

Introdução

Temos que um pixel de uma imagem PolSAR *Single Look* consiste na matriz de retroespalhamento S tal que [LP09]:

$$E_S = S E_I \quad (7)$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (8)$$

onde E_S e E_I correspondem às ondas refletida e incidente, respectivamente.

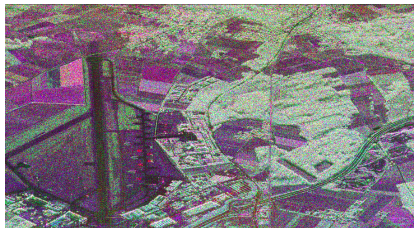
Introdução

Um pixel de uma imagem PolSAR *Multilook* consiste na matriz de covariância C tal que [LP09]:

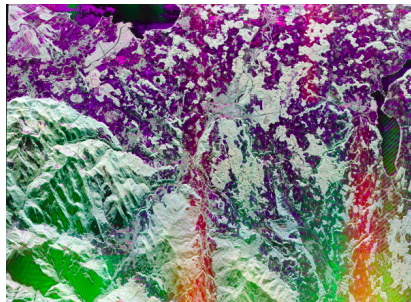
$$T = \frac{1}{L} \sum_{\ell=1}^L k_{\ell}^H k_{\ell} \quad (9)$$

para $k = [S_{HH} \ S_{HV} \ S_{VV}]$.

Introdução



(a) *Single Look*



(b) *Multilook*

Figura: Visualização de imagens PolSAR através dos dados de intensidade

Distância Geodésica

Dada a matriz de covariância T , a sua correspondente matriz de Kennaugh K é dada por [RBF18]:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{T_{11} + T_{22} + T_{33}}{2} & \Re(T_{12}) & \Re(T_{13}) & \Im(T_{23}) \\ \Re(T_{12}) & \frac{T_{11} + T_{22} - T_{33}}{2} & \Re(T_{23}) & \Im(T_{13}) \\ \Re(T_{13}) & \Re(T_{23}) & \frac{T_{11} - T_{22} + T_{33}}{2} & -\Im(T_{12}) \\ \Im(T_{23}) & \Im(T_{13}) & -\Im(T_{12}) & \frac{-T_{11} + T_{22} + T_{33}}{2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Distância Geodésica

Dada as matrizes de Kennaugh K_1 e K_2 , é possível medir a distância entre as mesmas – usando a Distância Geodésica – da seguinte forma [RBF18]:

$$\text{GD}(K_1, K_2) = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{\text{Tr}(K_1^T K_2)}{\sqrt{\text{Tr}(K_1^T K_1)} \sqrt{\text{Tr}(K_2^T K_2)}} \right). \quad (11)$$

onde $\text{GD}(K_1, K_2) \in [0, 1]$.

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

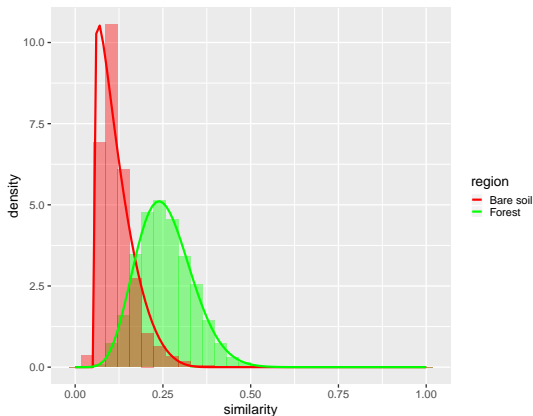


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar $-1/4$ -wave

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

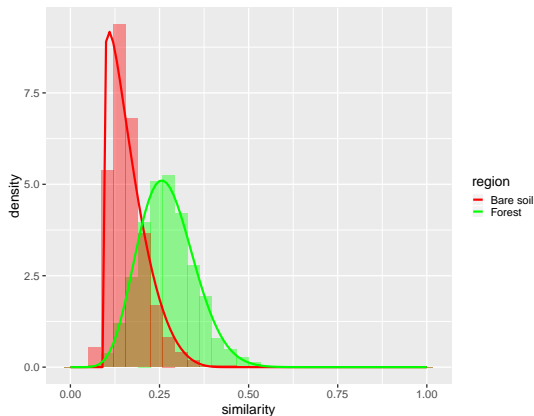


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar $+1/4$ -wave

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

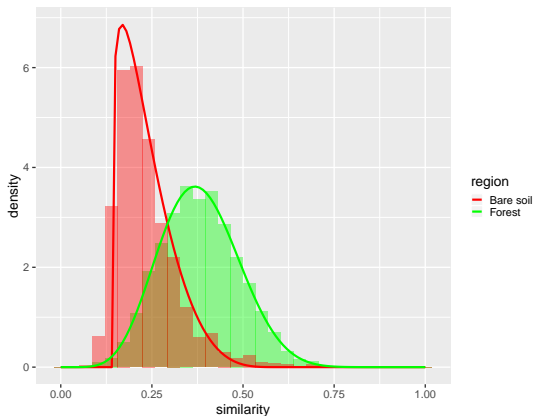


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *cylinder*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

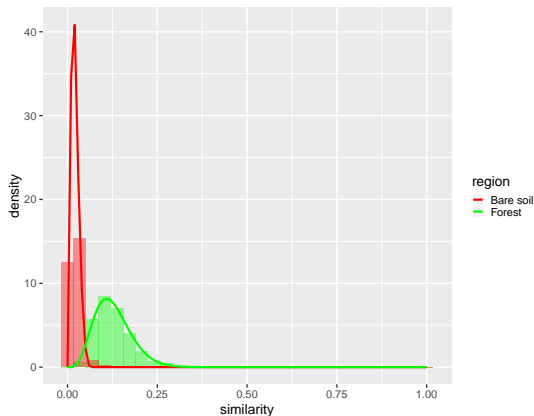


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *dihedral*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

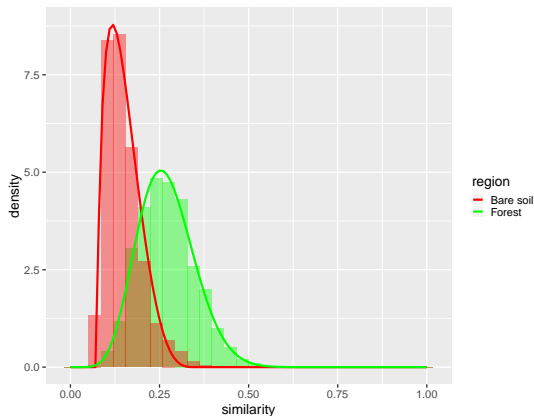


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *dipole*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

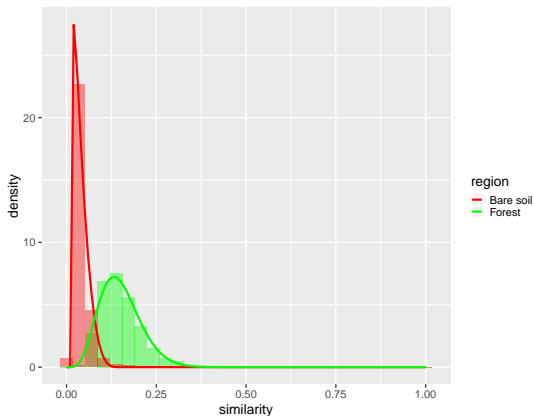


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *narrow dihedral*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

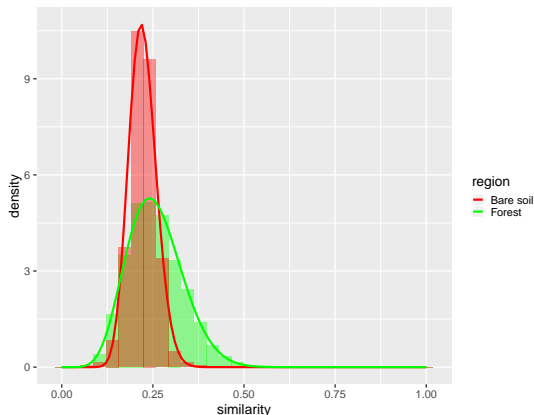


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *left helix*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

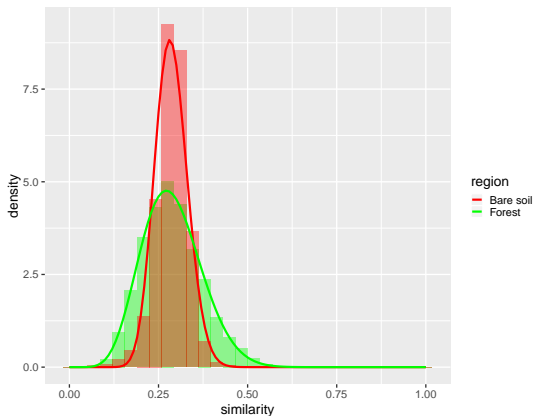


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *right helix*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

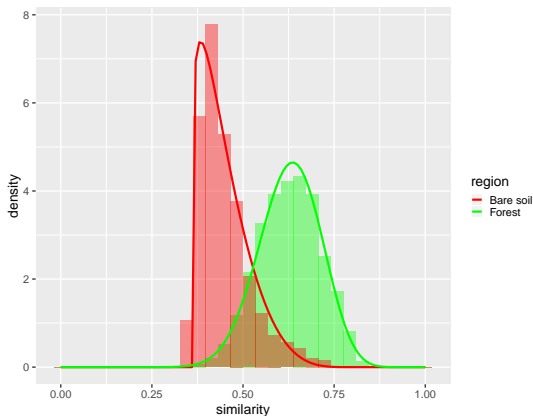


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *random volume*

Histogramas das similaridades em relação aos retroespalhadores elementares

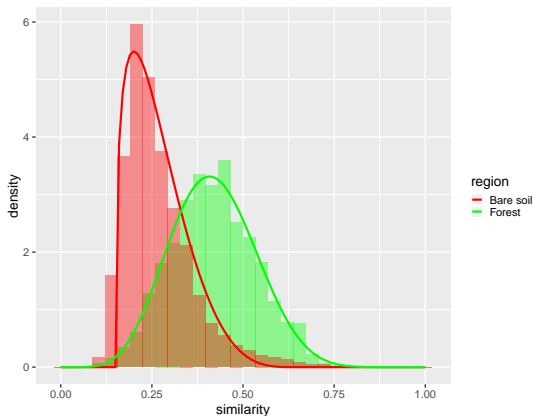


Figura: Similaridade entre os dados PolSAR de regiões de vegetação e solo exposta em relação ao retroespalhador elementar *trihedral*

Distribuição Beta

A função de densidade de probabilidade da distribuição beta é dada por:

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)(\max - \min)^{\alpha+\beta-1}} (x - \min)^{\alpha-1} (\max - x)^{\beta-1},$$

com $x \in [\min, \max]$, $\alpha, \beta > 0$.

Estimativa dos parâmetros da distribuição Beta e média para as similaridades analisadas

	min	max	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\mu}$
-1/4-wave					
Forest	0.000	1.000	7.830	22.758	0.255
Bare soil	0.055	0.400	1.127	4.872	0.119
+1/4-wave					
Forest	0.000	1.000	8.681	23.277	0.271
Bare soil	0.090	0.450	1.200	4.800	0.162
Cylinder					
Forest	0.000	1.000	7.500	12.165	0.381
Bare soil	0.140	0.600	1.243	4.756	0.235

Estimativa dos parâmetros da distribuição Beta e média para as similaridades analisadas

	min	max	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\mu}$
Dihedral					
Forest	0.000	1.000	5.380	36.870	0.127
Bare soil	0.009	0.070	1.327	4.672	0.022
Dipole					
Forest	0.000	1.000	8.358	22.658	0.269
Bare soil	0.075	0.350	1.625	4.374	0.149
Narrow dihedral					
Forest	0.000	1.000	5.890	33.198	0.150
Bare soil	0.016	0.150	1.119	4.880	0.041

Estimativa dos parâmetros da distribuição Beta e média para as similaridades analisadas

	min	max	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\mu}$
Left helix					
Forest	0.000	1.000	27.408	96.013	0.222
Bare soil	0.000	1.000	8.380	24.286	0.256
Right helix					
Forest	0.000	1.000	28.522	71.238	0.285
Bare soil	0.000	1.000	8.316	20.574	0.287
Random volume					
Forest	0.000	1.000	20.074	11.910	0.627
Bare soil	0.360	0.800	1.218	4.781	0.449

Estimativa dos parâmetros da distribuição Beta e média para as similaridades analisadas

	min	max	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\mu}$
	Trihedral				
Forest	0.000	1.000	7.197	9.996	0.418
Bare soil	0.150	0.650	1.408	4.592	0.267

p-valores obtidos através do teste de aderência *Kolmogorov-Smirnov*

	−1/4- wave	+1/4- wave	Cylinder	Dihedral	Dipole
Forest	0.979	0.808	0.763	0.733	0.975
Bare soil	0.361	0.893	0.264	0.443	0.475
	Left helix	Narrow dihedral	Random volume	Right helix	Trihedral
Forest	0.959	0.787	0.589	0.344	0.582
Bare soil	0.099	0.206	0.480	0.072	0.127

Referências



J.-S. Lee and E. Pottier, *Polarimetric radar imaging: From basics to applications*, Optical Science and Engineering, CRC Press, 2009.



D. Ratha, A. Bhattacharya, and A. C. Frery, *Unsupervised classification of PolSAR data using a scattering similarity measure derived from a geodesic distance*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters (2018), 151–155.