

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FILTROS DE REDUCCIÓN DE SPECKLE EN IMÁGENES ERS2-SAR.

R. García (*), C. González (*), R. de la Vega (**), A. Valverde (**) y E. Sebem (*).

rgarcia@agricolas.upm.es

(*) Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría. E.T.S.I. Agrónomos. C/ Ciudad Universitaria s/n. 28040. Madrid.

(**) Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. E.T.S.I. Minas. C/Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid.

RESUMEN.

El objetivo de este trabajo consiste en evaluar el comportamiento de distintos filtros de reducción del moteado o *speckle*, en imágenes ERS2-SAR diurnas y nocturnas de un área agrícola. La calidad de los filtros se ha evaluado mediante la utilización de los índices SNR y Neq o ENL así como mediante la inspección visual de las imágenes. Del estudio realizado se deduce que el tratamiento en el que se aplica el filtro Gamma-MAP con ventana fija de 3x3 y dos iteraciones, es el que conserva mejor el equilibrio entre reducción de *speckle* y preservación de bordes.

ABSTRACT.

The aim of this paper is to evaluate the performance of several speckle filters on ERS2-SAR day and night time images of agricultural areas. The quality of the filters has been evaluated through SNR and ENL indexes and also through visual inspection of images. From the research carried out, we may conclude that the best treatment was the one in which the Gamma-MAP filter, a 3x3 window, and two iterations were applied, because the treatment was the one which best kept the balance between speckle reduction and edge preservation.

PALABRAS CLAVE: Speckle, filtering, SAR, edge preservation, backscattering.

INTRODUCCIÓN.

El moteado o *speckle* es una característica inherente a las imágenes radar. En estas existen dos tipos de textura: la de la propia escena y la de la varianza de la imagen, conocida como *speckle*, debido al sistema de obtención de la propia imagen (Henderson y Lewis, 1998).

Por lo tanto, se debe distinguir entre la "textura de la escena" que debe ser contemplada como la variación espacial de los patrones de reflectividad, y la "textura de la imagen" que representa la variación espacial de la radiometría captada por un sistema parcialmente coherente como el SAR, siendo la textura de la imagen más compleja que la textura de la escena. La diferencia entre la textura de la escena y la de la imagen se debe al moteado o *speckle*.

La señal emitida por el sensor se transmite en fase, de forma coherente sin producir interferencias hasta que interacciona con el objeto, entonces deja de estar en fase y las ondas producen interferencias que generan píxeles claros y oscuros

denominados "ruido de moteado o *speckle*". El *speckle* debe ser eliminado antes de proceder a la utilización de los datos. Es crucial el orden de aplicación de los algoritmos en las imágenes radar, dado que cualquier proceso aplicado a una imagen antes de reducir el *speckle*, genera un ruido que se incorpora a la propia imagen, produciendo una degradación de la misma. El *speckle* no puede ser nunca eliminado totalmente, pero sí reducido significativamente. Por ello, los filtros de *speckle* tienen como objetivo dicha reducción, procurando conservar las características espaciales y las estructuras lineales de la escena.

Estimadores.

La visualización del histograma de frecuencias de la imagen proporciona información cualitativa sobre el *speckle* de la misma; mientras que los ratios SNR (Signal to Noise Ratio) y Neq (Número equivalente de vistas simples) proporcionan información cuantitativa; cuanto mayor sea el aumento de la relación SNR o del índice Neq, mejor será la actuación del filtro (Chakraborty *et alii*, 1997).

Normalmente se representa el *speckle* como un proceso aleatorio similar a una modulación multiplicativa de la reflectividad de la imagen. Este proceso multiplicativo es estadísticamente independiente del proceso aleatorio de la reflectividad (Henderson y Lewis, 1998). Por lo tanto, este modelo multiplicativo se ajusta mejor en áreas que presentan una reflectividad media constante sobre una gran superficie.

El parámetro SNR (Signal to Noise Ratio), se define como el cociente entre la media de los niveles digitales y su desviación típica, es decir:

$$SNR = \frac{\bar{x}}{\sigma_x}$$

La variación de este índice y, en concreto el aumento de su valor, proporciona una estimación sobre la eficacia de actuación de los filtros de reducción de *speckle* (Paudyal y Aschbacher, 1993 a,b), aunque el aumento del SNR no debe ser el único medio para evaluar la actuación de un filtro, ya que las escenas radar contienen áreas heterogéneas, estructuras lineales y pequeñas dispersiones puntuales que deben mantenerse y que resulta difícil evaluar cuantitativamente. Por eso, la inspección visual de una imagen da con frecuencia la mejor impresión sobre la actuación de un determinado filtro (Wooding *et alii*, 1995).

Se define como Número Equivalente de Vistas (Neq), o ENL (Equivalent Number of Looks), para una región homogénea de una imagen, como la relación entre la media al cuadrado y la varianza, ambas estimadas a partir de los datos de la imagen expresados en potencia (σ^0) radiométrica (Laur *et alii*, 1996). El Neq está relacionado con el número de vistas simples estadísticamente independientes y se expresa como:

$$Neq = \frac{Media^2}{Varianza}$$

Filtros de Reducción de *speckle*.

Entre los numerosos filtros de reducción de *speckle*, se va a analizar el comportamiento de los filtros específicos de Frost, Gamma-MAP, Lee-Sigma y Region Local que han demostrado su interés en el análisis de distintos tipos de cubiertas vegetales (Paudyal y Aschbacher, 1993 a,b).

Filtro de la región local.

Este filtro (Nagao y Matsuyama, 1979) divide la ventana móvil en 8 regiones locales basadas en su posición angular (E, W, N, S, NW, EN, SE y SW) y calcula la varianza en cada una de

las regiones como:

$$Varianza = \frac{\sum (ND_{x,y} - Media)^2}{n - 1}$$

El algoritmo compara las 8 regiones que rodean al píxel considerado, y su valor es sustituido por el de la media de los niveles digitales de los píxeles de la región con menor varianza, es decir, la región más uniforme. Se supone que una región con varianza baja tiene sus píxeles mínimamente afectados por la interferencia de la señal, y su nivel digital medio es muy similar al del píxel considerado.

Filtros Lee y Sigma.

Los filtros Lee y Sigma (Lee, 1981) utilizan la distribución estadística de los niveles digitales de la ventana móvil definida por el usuario para estimar cuál debe ser el del píxel considerado.

El filtro de Lee se basa en suponer que la media y la varianza del píxel considerado son iguales a la media y la varianza local de los píxeles de la ventana móvil definida por el usuario, según las siguientes expresiones:

$$ND_s = \bar{V} + K(ND_e - \bar{V})$$

Donde:

ND_s = Nivel Digital de salida

ND_e = Nivel Digital de entrada

\bar{V} = Media de los Niveles Digitales de los píxeles de la ventana móvil.

$$K = \frac{Var(x)}{(\bar{V})^2 \sigma^2 + Var(x)}$$

siendo:

$$Var(x) = \frac{Var(V) + (\bar{V})^2}{\sigma^2 + 1} - (\bar{V})^2$$

donde $Var(V)$ es la varianza de la ventana móvil.

Filtro de Frost.

Se trata de un algoritmo (Lopes *et alii*, 1990) basado en el error medio cuadrático mínimo que se adapte a las estadísticas locales de la imagen, las cuales proporcionan el peso de los parámetros que provocan la respuesta del filtro (ventana móvil). Este algoritmo asume que el ruido es multiplicativo con estadísticas estacionarias. La expresión utilizada en el cálculo del filtro es:

$$ND = \sum_{nxn} K \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha|x|}$$

siendo:

K = Constante de normalización.

\bar{I} = Media local

σ = Varianza local

$\bar{\sigma}$ = Coeficiente de variación de la imagen

$$|\hat{t}| = |x - x_0| + |y - y_0|$$

n = Tamaño de la ventana móvil

$$\alpha = \frac{4}{n \cdot \bar{\sigma}^2} \cdot \frac{\sigma^2}{\bar{I}^2}$$

Filtro Gamma-MAP.

El filtro de máximo a posteriori (MAP) (Frost *et alii*, 1982) intenta estimar el nivel digital original del píxel, que se asume debe estar entre la media local y el nivel digital del píxel degradado (actual). La lógica del MAP maximiza la función de densidad de probabilidad a posteriori respecto a la imagen original. El algoritmo para la aplicación de este filtro se basa en la siguiente expresión:

$$\hat{I}^3 - \bar{I}^2 + \sigma(\hat{I} - ND) = 0$$

siendo:

\hat{I} = Valor buscado

\bar{I} = Media local

ND = Nivel Digital de entrada (inicial)

σ = Varianza de la imagen original

MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se han utilizado dos imágenes PRI de la zona de Aranjuez (Madrid) de 28 de Abril y 8 de Mayo de 1998, correspondientes respectivamente a las pasadas nocturna (ascendente) y diurna (descendente), que cubren una superficie aproximada de 15 km². Se han aplicado a ambas imágenes los cuatro filtros descritos, diseñando los siguientes tratamientos:

T1.- Ventana 3x3 fija en 3 iteraciones.

T2.- Ventanas 3x3, 5x5 y 7x7 en 3 iteraciones.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos (Tablas 1 y 2), y de la observación de las imágenes resultantes de los procesos aplicados se desprenden las siguientes conclusiones:

- En ambas fechas, el filtro Gamma-MAP es el que da los valores de Neq más altos para las ventanas de 7x7 y 5x5, seguido de Lee-Sigma para ventana de 7x7 y de Gamma-MAP para ventana de 3x3 en la tercera iteración.
- También para ambas fechas, las tres imágenes que presentan los mejores resultados del índice Neq, son las que resultan más borrosas.
- De todas las imágenes obtenidas en las dos pasadas, las que parecen guardar el mejor equilibrio entre reducción del *speckle* y

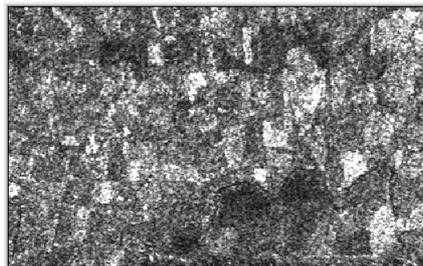
conservación de bordes son las resultantes de aplicar el filtro Gamma-MAP en segunda iteración para ventana de 3x3 (Figuras 1 a 4) y también en segunda iteración para ventana de 5x5, aunque este último presenta un aspecto más difuminado.

IMAGEN	Filtro	Iter.	Tam. Vent.	SNR	Neq
980508pm		-	1x1	2,227	4,96
980508pmsf31	Frost	1	3x3	2,519	6,34
980508pmsf32	Frost	2	3x3	2,643	6,98
980508pmsf33	Frost	3	3x3	2,714	7,36
980508pmsf52	Frost	2	5x5	2,744	7,53
980508pmsf73	Frost	3	7x7	2,853	8,14
980508pmsg31	Gamma-MAP	1	3x3	2,911	8,47
980508pmsg32	Gamma-MAP	2	3x3	3,237	10,48
980508pmsg33	Gamma-MAP	3	3x3	3,454	11,93
980508pmsg52	Gamma-MAP	2	5x5	3,590	12,89
980508pmsg73	Gamma-MAP	3	7x7	4,069	16,55
980508pmsl31	Lee-Sigma	1	3x3	2,628	6,90
980508pmsl32	Lee-Sigma	2	3x3	2,794	7,81
980508pmsl33	Lee-Sigma	3	3x3	2,889	8,35
980508pmsl52	Lee-Sigma	2	5x5	2,939	8,64
980508pmsl73	Lee-Sigma	3	7x7	3,164	10,01
980508pmsr31	Región Local	1	3x3	2,530	6,40
980508pmsr32	Región Local	2	3x3	2,735	7,48
980508pmsr33	Región Local	3	3x3	2,904	8,43
980508pmsr52	Región Local	2	5x5	3,190	10,17
980508pmsr73	Región Local	3	7x7	3,678	13,53

Tabla 1.-Tratamientos correspondientes a la escena nocturna (28 de Abril de 1998).

IMAGEN	Filtro	Iter.	Tam. Vent.	SNR	Neq
980428pm		-	1x1	2,149	4,62
980428pmsf31	Frost	1	3x3	2,405	5,78
980428pmsf32	Frost	2	3x3	2,516	6,33
980428pmsf33	Frost	3	3x3	2,582	6,66
980428pmsf52	Frost	2	5x5	2,605	6,79
980428pmsf73	Frost	3	7x7	2,699	7,28
980428pmsg31	Gamma-MAP	1	3x3	2,722	7,41
980428pmsg32	Gamma-MAP	2	3x3	2,972	8,84
980428pmsg33	Gamma-MAP	3	3x3	3,135	9,83
980428pmsg52	Gamma-MAP	2	5x5	3,245	10,53
980428pmsg73	Gamma-MAP	3	7x7	3,637	13,23
980428pmsl31	Lee-Sigma	1	3x3	2,478	6,14
980428pmsl32	Lee-Sigma	2	3x3	2,619	6,86
980428pmsl33	Lee-Sigma	3	3x3	2,697	7,27
980428pmsl52	Lee-Sigma	2	5x5	2,724	7,42
980428pmsl73	Lee-Sigma	3	7x7	2,904	8,43
980428pmsr31	Región Local	1	3x3	2,397	5,75
980428pmsr32	Región Local	2	3x3	2,554	6,52
980428pmsr33	Región Local	3	3x3	2,668	7,12
980428pmsr52	Región Local	2	5x5	2,839	8,06
980428pmsr73	Región Local	3	7x7	3,177	10,09

Tabla 2.-Tratamientos correspondientes a la escena



diurna (8 de Mayo de 1998)

Figura 1.- Imagen original de 280498

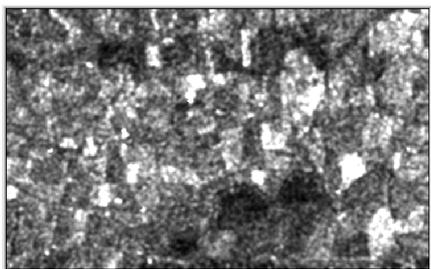


Figura 2.- Tratamiento sobre la imagen de 280498, filtro Gamma-MAP, 3x3, 2 iteraciones.

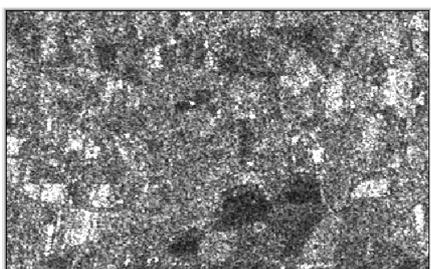


Figura 3.- Imagen original de 80598

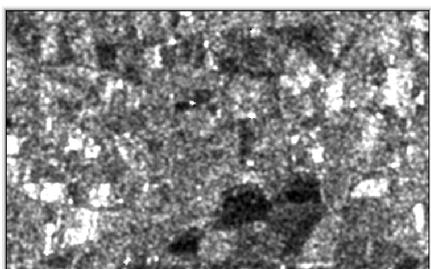


Figura 4.- Tratamiento sobre la imagen de 80598, filtro Gamma-MAP, 3x3, 2 iteraciones.

BIBLIOGRAFÍA

Chakraborty, M.; Panygrahy, S.; Sharma, S.A. 1997. Discrimination of rice crop grown under different cultural practices using temporal ERS-1 synthetic aperture radar data. *Int. J. Remote Sensing*. 52: 183-191.

Frost, V.S., Stiles, J.A., Shanmugan, K.S. and

Holtzman, J.C. 1982. A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-4, n°2.

Henderson, F.M.; Lewis, A.J. (Edit.) 1998. *Manual of remote sensing. Volume 2. Principles and applications of imaging radar*. 3rd Edition. John Wiley and Sons Inc. Published in cooperation with the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA. 866p.

Laur, H.; Bally, P.; Meadows, P.; Sanchez, J.; Schaettler, B.; Lopinto, E. 1996. *ERS SAR calibration. derivation of the backscattering coefficient σ^0 in ESA ERS SAR PRI products*. ESA Doc.Nº:ES-TN-RS-PM-HL09, Issue 2, Rev.2.

Lee, J-S. 1981. Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images. *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 17: 24-32.

Lopes, A., Netzry, E., Touzi, R. And Laur, H. 1990. Maximun a posteriori speckle filtering and first order texture models in SAR images. Intern. Geosc. Rem. Sensing Symp. (IGASS).

Nagao, M and Matsuyama, T. 1978. Edge preserving smoothing. *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 9: 394-407.

Paudyal, D.R.; Aschbacher, J. 1993a. Evaluation and performance test of selected SAR speckle filters. *Proc. Intl. Symp. On Operationalization of Remote Sensing*. ITC. Enschede. The Netherlands. 5: 89-96.

Paudyal, D.R.; Aschbacher, J. 1993b. Land cover separability studies of filtered ERS-1/SAR images in the tropics. *Proc. IGARSS'93*, Tokyo, Japan, 1216-1218.

Wooding, M.G.; Attema, E.; Aschbacher, J.; Borgeaud, M.; Cordey, R.A.; De Groof, H.; Harms, J.; Lichtenegger, J.; Nieuwenhuis, G.; Schmullius, C.; Zmunda, A.D. 1995. *Satellite radar in agriculture. Experience with ERS-1*. European Space Agency. Noordwijk. The Netherlands. ESA SP-1185.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se basa en datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA), Crop Area Estimation Using ERS/SAR Imagery (CAESAR AO3-170). El

preprocesado y la georreferenciación de las imágenes han sido realizados por INDRA Espacio. Igualmente se agradece al Instituto Madrileño de Investigaciones Agrarias y Alimentarias (IMIA) y al Instituto Tecnológico de Desarrollo Agrario (ITDA) las facilidades dadas para la adquisición de la verdad terreno.