

## MODELO MEJORADO PARA LA ESTIMACION DE PUNTOS DE BORDE EN IMÁGENES SAR POLARIMETRICAS

<sup>1</sup>Daniel Monferrán, <sup>2</sup>Andrés Sartarelli

<sup>1</sup>Instituto de Industria, <sup>2</sup>Instituto del Desarrollo Humano

Universidad Nacional de General Sarmiento

Juan María Gutiérrez 1150, (1613) Los Polvorines, Buenos Aires, Argentina\

[dmonferr@campus.ungs.edu.ar](mailto:dmonferr@campus.ungs.edu.ar), [asartare@campus.ungs.edu.ar](mailto:asartare@campus.ungs.edu.ar)

### RESUMEN

El Radar de Apertura Sintética polarimétrico es un tipo especial de radar ampliamente utilizado en teledetección, permite obtener imágenes de alta resolución a gran distancia. La interpretación automática de estas imágenes es una tarea difícil, contienen gran volumen de información y se encuentran contaminadas con ruido speckle no Gaussiano ni aditivo. Este ruido hace necesario utilizar métodos estadísticos para el procesamiento y análisis de estas imágenes. El modelo de distribución estadística más utilizado en este tipo de imágenes generadas a partir de datos multilook polarimétricos es la distribución Wishart compleja.

El tiempo de procesamiento para estimar la "posición de los puntos de bordes (PPB)" es relevante y existen trabajos de investigación que analizan y comparan los tiempos de procesamiento de diferentes métodos de estimación de PPB.

Este trabajo tiene por objetivo reducir el tiempo de procesamiento en la estimación de PPB. A tal efecto, se analizan técnicas de estimación de PPB que usan distribución Wishart compleja, máxima verosimilitud y distancias estocásticas. Aplicando el modelo de señal en tiempo discreto se obtienen se obtienen expresiones analíticas optimizadas para la estimación de la posición de los puntos de borde y se evalúan los tiempos de procesamiento mediante Montecarlo en imágenes simuladas.

**Palabras clave:** Imágenes SAR, Verosimilitud, Segmentación PolSAR, Distribución Wishart, Número de Looks

### CONTEXTO

Este trabajo, corresponde al 'Doctorado de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS)', se inserta en el proyecto: "Segmentación de imágenes generadas por fuentes coherentes", en curso en la UNGS, cuya finalidad es el estudio de algoritmos para la segmentación de imágenes obtenidas a partir de fuentes coherentes.

### I. INTRODUCCIÓN

El Radar de Apertura Sintética polarimétrico (PolSAR - *Polarimetric Synthetic Aperture Radar*) es una herramienta eficaz para la teledetección geofísica. A diferencia de los sensores ópticos, el uso de sensores SAR en diferentes bandas, con distintas alternativas de ángulos de incidencia y polarizaciones múltiples, no dependen de la iluminación solar y no se ven comprometidos por perturbaciones atmosféricas como nubes o humo. Muchos trabajos han demostrado el potencial de las imágenes SAR [1], [2]. Los sistemas PolSAR transmiten y reciben pulsos electromagnéticos con diferentes combinaciones de polarización. Cada pixel de la imagen polarimétrica que se obtiene con esta tecnología representa la información registrada por el sensor en cada celda de resolución. El PolSAR no requiere de una fuente de iluminación externa, hace uso de su propia iluminación coherente y, por ello, se obtienen imágenes contaminadas con ruido speckle, característico de imágenes que se obtienen al iluminar con fuentes coherentes. Este ruido, que no es de carácter aditivo,

confiere un aspecto granular a las imágenes y hace necesario un especial modelado en su procesamiento y análisis. Una de las etapas importantes en el análisis de imágenes es encontrar los bordes de las mismas. Estos bordes delimitan diferentes regiones en la imagen que pueden corresponder por ejemplo a pasturas, zonas urbanas, zonas forestales, etc. Técnicas orientadas a la segmentación en este tipo de imágenes [3], [8] son de gran interés como etapa previa al reconocimiento y la interpretación de objetos. Los trabajos de investigación destinados a la determinación de los puntos de borde utilizan una gran variedad de técnicas, como por ejemplo la de “Contornos Activos”, así como de atributos, por ejemplo: máxima verosimilitud, entropía, distancia estocástica, etc. [4], [5]. En [6] se emplean cinco métodos para la detección de bordes, entre ellos máxima verosimilitud. En el artículo [7] se propone un detector de borde para las imágenes SAR que produce un mapa de resistencia de borde sobre píxeles de la imagen, en [8] se desarrolla un proceso jerárquico de optimización paso a paso para la segmentación empleando el método de máxima verosimilitud, utilizan el modelo Gaussiano multivariado, la distribución Wishart y la distribución K. En [9] se propone la combinación de un algoritmo de segmentación basado en campos aleatorios de Markov estructurados en árbol y la clasificación orientada a objetos. Los algoritmos diseñados para determinar las posiciones de los puntos de borde en este tipo de imágenes deben mantener un equilibrio entre la precisión de los resultados obtenidos y el costo computacional. Para identificar puntos de borde en este tipo de imágenes, es necesario modelar los datos con una distribución estadística apropiada y luego estimar los parámetros correspondientes. En el artículo [10], los autores utilizan muestras con un número reducido de datos, con el propósito de reducir el costo computacional.

## II. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El objetivo del plan de trabajo de tesis del doctorado es la segmentación automática de

Imágenes SAR polarimétricas utilizando modelos estadísticos y contornos activos

El objetivo de este trabajo es encontrar expresiones analíticas optimizadas para la estimación de PPB, que puedan usarse en un algoritmo para la interpretación automática de imágenes PolSAR. Que además, pueda ejecutarse en un tiempo comparativamente menor con respecto a otros algoritmos tradicionalmente usados, sin perder precisión en la estimación de PPB.

### A. Distribución Wishart

La función de densidad de la distribución Wishart compleja está indexada por dos parámetros: la matriz de covarianzas  $\Sigma$  y el número equivalente de looks  $L$  de la imagen.

$$f_Z(Z', \Sigma, L) = \frac{L^m |\Sigma|^{-L} \Gamma_m(L)}{|\Sigma|^L \Gamma_m(L)} \exp(-L \operatorname{tr}(\Sigma^{-1} Z')) \quad (1)$$

Donde,  $Z'$  representa los posibles resultados de  $Z$ ,  $\Sigma$  es el valor estimado de la matriz de covarianzas,  $L$  es el número equivalente de looks,  $m$  es el número de canales de polarización,  $\Gamma_m(L)$  es la función Gamma polarimétrica,  $|\cdot|$  es el operador determinante y  $\operatorname{tr}(\cdot)$  es el operador traza.

### B. Función de Verosimilitud para Muestra de Datos

Dada una partición  $A, B$  de los datos sobre un segmento, la función de verosimilitud se expresa:

$$p(j) = \prod_{k=1}^j f_Z(Z'_k; \Sigma_A, L_A) \prod_{k=j+1}^N f_Z(Z'_k; \Sigma_B, L_B) \quad (2)$$

La matriz  $Z'_k$  es hermitiana, definida positiva y sigue una distribución Wishart compleja,  $j$  es la posición del pixel que determina la partición dentro del segmento,  $\Sigma_A$  y  $\Sigma_B$  son valores estimados de las matrices de covarianza de los conjuntos  $A$  y  $B$  que satisfacen la siguiente condición para  $Z'_k$

$$Z_k^{(i)} \sim W(\Sigma_A^{(i)}, L_A^{(i)}), \text{ for } k = 1, \dots, j^{(i)}, \quad (3)$$

$$Z_q^{(i)} \sim W(\Sigma_B^{(i)}, L_B^{(i)}), \text{ for } q = j^{(i)} + 1, \dots, N^{(i)}$$

### C. Posición del Punto de Borde

Siendo  $\ell(j)$  el logaritmo de la función de verosimilitud, el estimador de la posición del punto de borde se expresa como:

$$\hat{J}_{ML} = \arg \max_j \ell(j) \quad (4)$$

### D. Optimización de $\ell(j)$

Siendo que  $A, B$  pertenecen a una misma imagen, puede considerarse el mismo número equivalente de looks para ambos conjuntos, es decir  $L_A = L_B = L$ . En un proceso de manipulación algebraica, partiendo de la ec.(2) se obtiene la siguiente expresión analítica:

$$\begin{aligned} \ell(j) = & L[-j \log|\Sigma_A(j)| - (N-j) \log|\Sigma_B(j)|] \\ & - 3NL \\ & + (L-m) \left( \sum_{k=1}^N \log|Z'_k| \right) \\ & + N[mL \log L \\ & - \log \Gamma_m(L)] \end{aligned} \quad (5)$$

Esta expresión es similar a la que puede encontrarse en algunos trabajos de investigación que utilizan distribución Wishart y Logaritmo de Verosimilitud. En [10] la expresión usada es:

$$\ell(j) = N[-mL(1 - \log L) - \log \Gamma_m(L)] + L[j \log|\Sigma_A(j)| + (N-j) \log|\Sigma_B(j)|] \quad (6)$$

La ec.(5) es una función de variable independiente  $j$ , si se la aplica sobre los datos de una muestra o segmento de  $N$  puntos, los siguientes términos no dependen de  $j$  y por lo tanto son ctes. para esa función:

$$N, m, L, \Gamma_m(L) \text{ y } \sum_{k=1}^N \log|Z'_k|$$

Se define la constante  $b$  y la función  $\ell^*(j)$

$$\begin{aligned} b = & -3NL + (L-m) \left( \sum_{k=1}^N \log|Z'_k| \right) \\ & + N[mL \log L \\ & - \log \Gamma_m(L)] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\ell^*(j) = -j \log|\Sigma_A(j)| - (N-j) \log|\Sigma_B(j)| \quad (8)$$

Resulta:

$$\ell(j) = L\ell^*(j) + b \quad (9)$$

Teniendo en cuenta que las señales discretas o señales para una variable discreta pueden representarse matemáticamente como funciones de esa variable discreta [12], la función  $\ell(j)$  con  $j \in N$  se puede interpretar como tal. Para dos señales discretas  $f(j)$  y  $f^*(j)$  con  $f(j) = a + b f^*(j)$  resulta ser  $b$  un factor constante que escala la señal  $f^*(j)$  y  $a$  un término constante que desplaza  $f^*(j)$ . Vale decir que,  $f(j)$  es la señal  $f^*(j)$  escalada en  $b$  y desplazada en  $a$ .

Los valores máximos de  $\ell(j)$  y  $\ell^*(j)$  se alcanza para el mismo valor de  $j$ . Dado que interesa hallar el valor  $j$  donde la función  $\ell(j)$  presenta un máximo y no el valor  $\ell(j)$ , para estimar la posición de los puntos de borde se empleará la ec. (8) en lugar de la ec. (5).

El estimador de la posición del punto de borde para esta nueva expresión analítica es:

$$\hat{J}_{ML} = \arg \max_j \ell^*(j) \quad (10)$$

## III. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

### A. Imagen Sintética

En la Fig. 1 se ilustra en color rojo las posiciones estimadas de 4 puntos de borde en una imagen sintética de 421 x 421 píxeles - Canal HH. Las posiciones estimadas se obtuvieron aplicando las ecuaciones (5), (6) y (8), esas posiciones resultaron ser las mismas

independientemente de la ecuación usada.

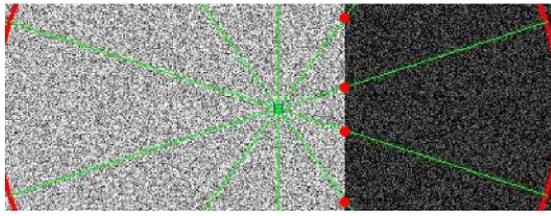


Fig. 1. Puntos de borde en una imagen sintética.  
Canal HH

### B. Imagen SAR Polarimétrica

En las Figuras 2, 3 y 4 se ilustran en color rojo las posiciones estimadas de 11 puntos de borde. Se compararon las posiciones estimadas aplicando a las tres imágenes las ecuaciones (5), (6) y (8). Las posiciones estimadas resultaron ser las mismas independientemente de la ecuación usada

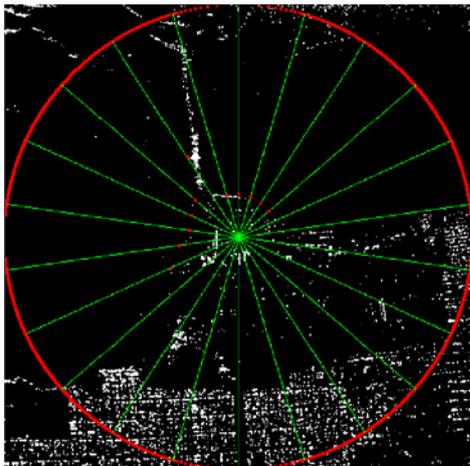


Fig. 2. Puntos de borde sobre una imagen SAR polarimétrica, Imagen de 363 x 363 píxeles. Canal HH. AIRSAR - Bahía de San Francisco, California, EE. UU

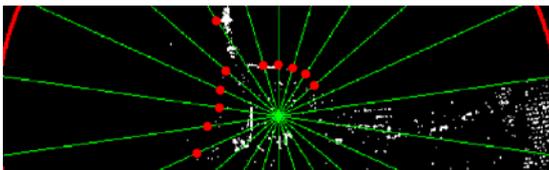


Fig. 3. Puntos de borde sobre una imagen SAR polarimétrica, Imagen de 363 x 363 píxeles. Canal HH. AIRSAR - Bahía de San Francisco, California, EE. UU

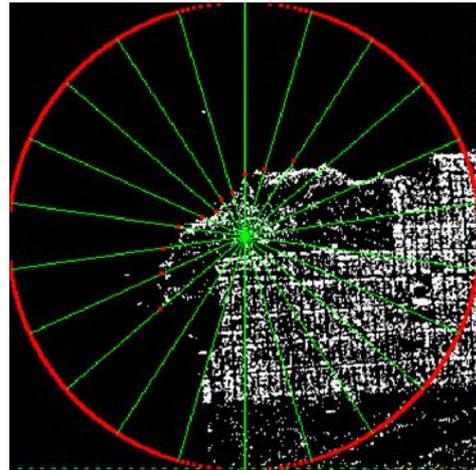


Fig. 4. puntos de borde en una imagen SAR polarimétrica, Imagen de 341 x 341 píxeles. Canal HH. AIRSAR - Bahía de San Francisco, California, EE. UU.

TABLA I  
RELACIÓN DE TIEMPOS DE PROCESAMIENTO

Item	Región seleccionada	Rel_TP
Fig. 2	363 x 363 píxeles, 11 puntos,	0,7904
Fig. 4	341 x 341 píxeles, 11 puntos,	0,7757

La “relación de tiempos de procesamiento, (*Rel\_TP*)” se calcula como el cociente de los tiempos de procesamiento medidos al estimar las PPB.

*TiempoOpt* es el tiempo medido cuando se usa la ec. (8) correspondiente a la expresión optimizada.

*TiempoTrd* es el tiempo medido cuando se usa la ec.(6) correspondiente a la expresión tradicional

$$rel\_TP = \frac{TiempoOpt}{TiempoTrd}$$

En la Tabla I se observan valores de relación de tiempos menores a la unidad, es decir que el tiempo de procesamiento cuando se usa la ec.(8) es significativamente menor al tiempo de procesamiento que se requiere cuando se usa la ec.(6). Se ha podido alcanzar el objetivo principal de este trabajo de investigación.

Si se usa la ec.(8), aplicando distribución Wishart y el método de máxima verosimilitud para la estimación de la posición de los puntos de borde, es evidente lo innecesario de estimar o

conocer el número de looks  $L$ , *igualmente innecesario* calcular la función Gamma polarimétrica. Esto implica ahorro en el tiempo de procesamiento.

#### IV. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Tal como se menciona en la Sección I, este trabajo es uno de los trabajos que corresponde al 'Doctorado de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS)', se inserta en el proyecto: ``Segmentación de imágenes generadas por fuentes coherentes'', en curso en la UNGS, cuya finalidad es el estudio de algoritmos para la segmentación de imágenes obtenidas a partir de fuentes coherentes.

#### V. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. S. Lee and E. Pottier, Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications, CRC Press: Boca Raton, FL, EE. UU., 2009.
- [2] V. Akbari, A. Doulgeris and T. Eltoft, "Monitoring glacier changes using multitemporal multipolarization SAR images", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., pp. 3729–3741, Jun. 2014.
- [3] K. Ersahin, I. Cumming, and R. K. Ward, "Segmentation and classification of polarimetric SAR data using spectral graph partitioning", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 48, pp. 164–174, Sep. 2009.
- [4] C. J. Oliver, D. Blacknell, and R. G. White, "Optimum edge detection in SAR", IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation vol. 143, pp. 31–40, Feb. 1996.
- [5] R. Touzi, A. Lopes, and P. Bousquet, "A statistical and geometrical edge detector for SAR images", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 26, pp. 764–773, Nov. 1988.
- [6] J. Gambini, M. E. Mejail, J. Jacobo-Berlles and A. C. Frery, Accuracy of edge detection methods with local information in speckled imagery, "Statistics and Computing", vol. 18, pp. 15–26, Mar. 2008.
- [7] R. Fjortoft, A. Lopes, P. Marthon and E. Cubero-Castan, "An Optimal Multiedge Detector for SAR Image Segmentation", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 36, pp. 793–802, May. 1998.
- [8] J.-M. Beaulieu and R. Touzi, "Segmentation of textured polarimetric SAR scenes by likelihood approximation", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 42, pp. 2063–2072 Oct. 2004.
- [9] C. D'Elia, S. Ruscino, M. Abbate, B. Aiazzi, S. Baronti and L. Alparone, "SAR Image Classification Through Information-Theoretic Textural Features, MRF Segmentation, and Object-Oriented Learning Vector Quantization", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 7, pp. 1116–1126, Apr. 2014.
- [10] A. D. C. Nascimento, M. M. Horta, A. C. Frery and R. J. Cintra, "Comparing edge detection methods based on stochastic entropies and distances for PolSAR imagery", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 7, pp. 648–663, Feb. 2014.