

Evaluación del Error en la Detección de Puntos de Borde en Imágenes SAR Polarimétricas

Daniel Monferrán¹, Juliana Gambini² y Alejandro C. Frery³

¹Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento, Pcia. de Buenos Aires, Argentina. - Dpto. de Ingeniería en Sistemas de Información, Universidad Tecnológica Nacional San Martín Pcia. de Buenos Aires, Argentina dmonferr@ungs.edu.ar

²Dpto. de Ingeniería Informática, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina - Dpto. de Ingeniería en Computación, Universidad Nacional de Tres de Febrero Pcia. de Buenos Aires, Argentina. mgambini@itba.edu.ar

³LaCCAN, Universidad Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brazil, acfrery@gmail.com

RESUMEN

El Radar de Apertura Sintética polarimétrico (PolSAR - Polarimetric Synthetic Aperture Radar) es ampliamente utilizado en teledetección porque permite capturar imágenes terrestres de alta resolución. La interpretación automática de imágenes PolSAR es una tarea muy difícil porque éstas contienen un gran volumen de información y además se encuentran contaminadas con ruido speckle. Las características de este ruido hacen necesario utilizar métodos estadísticos para el procesamiento digital de este tipo de imágenes. En esta línea de investigación se pretende evaluar el error que se comete al calcular las posiciones de los puntos de borde dentro de la imagen, utilizando la distribución Wishart compleja y experimentos de Montecarlo en imágenes PolSAR simuladas.

Palabras claves: Imágenes PolSAR, Segmentación automática de Imágenes, Distribución Wishart.

CONTEXTO

Esta línea de investigación se inserta en el proyecto titulado Interpretación automática de Imágenes SAR Polarimétricas por medio de Modelos Estadísticos y Contornos Activos, correspondiente al Doctorado en Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Las otras dos instituciones

involucradas son el Depto. de Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico de Buenos Aires y la Universidad Federal de Alagoas, Brasil.

1. INTRODUCCIÓN

El Radar de Apertura Sintética polarimétrico ha demostrado ser una herramienta eficaz para la teledetección geofísica. Se trata de una tecnología que aporta información complementaria con la de otras modalidades de teledetección. Los sistemas PolSAR transmiten y reciben trenes de pulsos electromagnéticos con diferentes combinaciones de polarización. El PolSAR no requiere de una fuente de iluminación externa, hace uso de su propia iluminación de tipo coherente y por lo tanto pueden tomarse imágenes de día o noche, pero tienen el problema de que están afectadas por ruido speckle característico de este tipo de iluminación. Este ruido, que no es aditivo ni gaussiano, confiere un aspecto granular a las imágenes y hace necesario el modelado con distribuciones estadísticas apropiadas para su procesamiento y análisis.

Una de las etapas importantes en el análisis de imágenes es encontrar los bordes que delimitan las regiones correspondientes a áreas de la imagen que pueden ser de pastura, de forestación o urbanas.

Los trabajos de investigación destinados a determinar las posiciones de los puntos de borde

en imágenes PolSAR, utilizan diferentes métodos, en (J. Gambini, 2008) se emplean cinco métodos para la detección de bordes, entre ellos, máxima verosimilitud con la distribución GA0, y contornos activos, para la delineación de los bordes usan curvas B-spline. En el artículo (R. Fjortoft, 1998) se propone un detector de borde para las imágenes SAR que produce un mapa de resistencia de borde sobre píxeles de la imagen, en (J.-M. Beaulieu, 2004) 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 (C. D'Elia, 2014) 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 (A. D. C. Nascimento M. M., 2014), los autores utilizan muestras con un número reducido de datos, con el propósito de reducir el costo computacional. Esto posee la desventaja de que muestras pequeñas pueden no entregar suficiente información para identificar la presencia de borde. Por esta razón, resulta relevante evaluar la magnitud del error teniendo en cuenta el tamaño de las mismas.

El objetivo de esta línea de investigación es estudiar métodos para determinar la magnitud del error que se introduce cuando se calculan puntos de borde sobre una imagen de PolSAR, en aquellos casos en que se utiliza la distribución Wishart compleja (A. D. C. Nascimento A. C., 2014), (H. Skriver, 2001) y la función de verosimilitud para la estimación de las posiciones de los puntos de borde.

2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Para la estimación de la posición del punto de borde se utilizan imágenes SAR polarimétricas

simuladas, formadas por dos regiones que representan una zona de pastizal y una zona urbana, generadas con la distribución Wishart compleja con diferentes parámetros para cada región. Luego, se toma una muestra con datos en un entorno de la posible ubicación del punto de borde y se maximiza la función de verosimilitud variando las particiones de la muestra, la posición donde se da el máximo es el punto de transición y por lo tanto la posición del punto de borde.

La distribución Wishart compleja está indexada por dos parámetros: la matriz de covarianzas Σ , y el número equivalente de looks L con que la imagen fue formada, el cual es el mismo para toda la imagen.

La función de densidad de la distribución Wishart compleja está dada por:

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

donde, Σ es 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.

Dada una partición A, B de los datos sobre un segmento, la función logaritmo de la verosimilitud está dada por.

$$l(j) = \sum_{k=1}^j \ln f(Z_k, \Sigma_A, L) + \sum_{k=j+1}^N \ln f(Z_k, \Sigma_B, L)$$

donde j es la posición del pixel dentro del segmento, Σ_A y Σ_B son valores estimados de las matrices de covarianza de los conjuntos A y B que satisfacen la siguiente condición:

$$\begin{aligned} Z_k &\in A \text{ para } k = [1, \dots, j], \\ Z_k &\in B \text{ para } k = [j + 1, \dots, N] \end{aligned}$$

Finalmente, el estimador de la posición del punto de borde:

$$\hat{j}_{ML} = \operatorname{argmáx}_j(l(j))$$

En este trabajo utilizamos un experimento de Monte Carlo, para evaluar la precisión en el cálculo de los puntos de borde. Con un número total de 400 ensayos para cada muestra.

El experimento consiste en:

1. Generar la imagen simulada de 600 x 600 píxeles conformada por dos regiones contiguas de 300 x 600 píxeles caracterizadas por las siguientes matrices de covarianza:

$$\Sigma_p = \begin{bmatrix} 360932 & 11050 + j3759 & 63896 + j1581 \\ - & 98960 & 6593 + j6868 \\ - & - & 208843 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} 962892 & 19171 - j3759 & -154638 + j191388 \\ - & 56707 & -5798 + j16812 \\ - & - & 472251 \end{bmatrix}$$

Número de looks $L = 6$.

Las matrices de covarianza utilizadas Σ_p y Σ_u se obtuvieron a partir de muestras de zonas tomadas de una imagen capturada por el sensor de E-SAR sobre Weßling, Bayern, Alemania y corresponden a una zona de pastizal y una zona urbana, respectivamente.

Los elementos omitidos en las dos matrices se pueden obtener como complejos conjugados de sus respectivos simétricos. En la Figura 1 puede observarse una imagen PolSAR simulada de 203 x 60 píxeles y un segmento de $N = 101$ píxeles (representado en rojo) de donde se toma la muestra.



Figura 1 (80,21)

2-Se trazan segmentos de ancho un píxel y de un mismo largo N sobre la imagen, los datos de los píxeles bajo cada segmento constituyen cada una de las muestras. La Figura 2 permite apreciar los segmentos en verde y las marcas rojas de las posiciones estimadas de puntos de borde en el proceso de detección.

3-La cantidad de píxeles que aporta cada región se denota como (a,b) con, N : número total de píxeles del segmento, a : número de píxeles pertenecientes a la región A, b : número de píxeles pertenecientes a la región B.

Por ejemplo, la Figura 1 representa una muestra de 101 píxeles, el par $(80,21)$ indica que 80 píxeles pertenecen a la región A, 21 píxeles pertenecen a la región B y para esta relación no se encontró el verdadero punto de borde en ningún experimento.

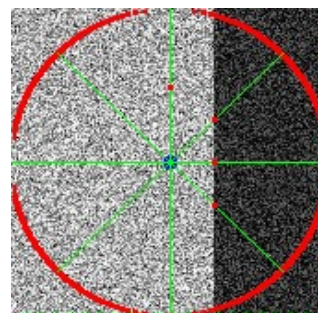


Figura 2.

4- Se determina el punto de borde P en cada segmento maximizando la función de verosimilitud en función de la posición del punto de cambio j , variando j entre $0.1N$ y $0.9N$ como se muestra en la Figura 3.

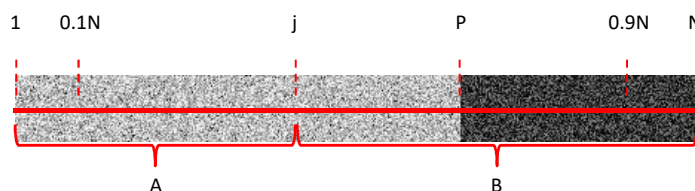


Figura 3. $0.1N \leq j \leq 0.9N$

3. RESULTADOS OBTENIDOS

El error porcentual calculado para cada par (a,b) se obtiene como:

$$\frac{\text{nro. de ensayos con error}_{(a,b)}}{\text{nro. total de ensayos}_{(a,b)}} * 100$$

Donde $\text{nro. total de ensayos}_{(a,b)} = 400$

Las Figuras 4 y 5 muestran los errores porcentuales que resultan de los ensayos para distintas relaciones (a,b) , para muestras de 101 píxeles y 201 píxeles, respectivamente.

Para los valores resaltados en círculo, en las Figuras 4 y 5, se tiene que a/b si $a < b$ ó b/a si $b < a$, en todos los casos el resultado nos da aproximadamente 0.3. Se interpreta que la variación del error no depende del tamaño de estas muestras y si de la relación en el aporte de píxeles de cada región.

Si $\frac{a}{b} = 0,3$ y $b = N - a$, implica que
 $a = \frac{3}{10}(N - a)$, operando queda $\frac{13}{10}a = \frac{3}{10}N$,

finalmente $a = \frac{3}{13}N \cong 0.23N$, es decir que el aporte de cada región a la muestra tiene que ser al menos un 23% del total de datos de la muestra.

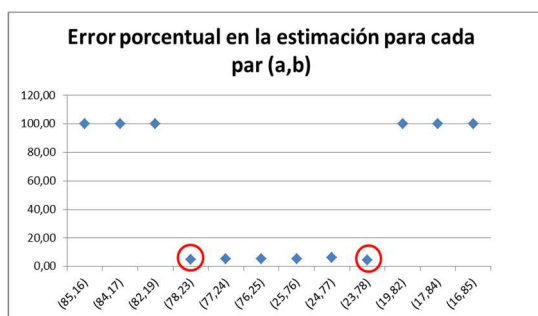


Figura 4 Muestras de 101 píxeles

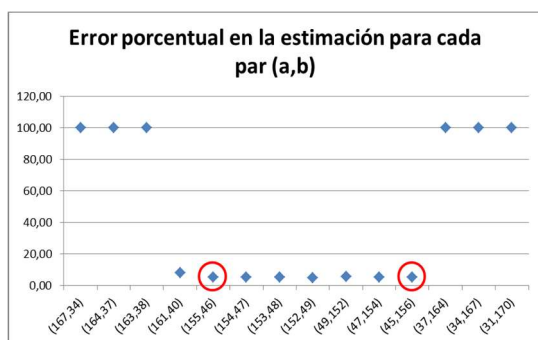


Figura 5 Muestras de 201 píxeles

En un estudio posterior se puede evaluar cómo influye la relación entre matrices de covarianzas de las dos regiones sobre la distribución del error mostrada en la Figura 4. También se puede analizar cómo se distribuye el valor del error para cada relación (a,b).

4. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Este trabajo forma parte de la tesis de doctorado del Ing. Daniel Monferran.

5. BIBLIOGRAFIA

- A. D. C. Nascimento, A. C. (Agosto de 2014). Bias correction and modified profile likelihood under the Wishart complex distribution. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 52(8), 4932-4941.
- A. D. C. Nascimento, M. M. (Febrero de 2014). 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, 7(2), 648-663.
- C. D'Elia, S. R. (Abril de 2014). 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, 7(4), 1116 - 1126.
- H. Skriver, J. S. (2001). Polarimetric edge detector based on the complex Wishart distribution. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 7.
- J. Gambini, M. M.-B. (2008). Accuracy of edge detection methods with local information in speckled imagery. Statistics and Computing, 8(1), 15-26.
- J.-M. Beaulieu, R. T. (Octubre de 2004). Segmentation of textured polarimetric SAR scenes by likelihood approximation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(10), 2063-2072.
- R. Fjortoft, A. L. (Mayo de 1998). An Optimal Multiedge Detector for SAR Image Segmentation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(3), 793-802.
- A. D. C. Nascimento, A. C. (Agosto de 2014). Bias correction and modified profile likelihood under the Wishart complex distribution. IEEE Transactions on