

## Estimación del Parámetro de Hurst en Imágenes SAR

J. L. Hamkalo (1), J. M. Medina (1,2), A. Mailing (1), F. Dobarro (3), D. Fernandez (3,4), B. Cernuschi-Frías (1,2).

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires (2) IAM-CONICET

(3) Universidad Nacional de Tierra del Fuego

(4) CADIC-CONICET

TE: +(11)4343-0891 int. 278, FAX: +(11)4331-1852

Email: jhamkal@fi.uba.ar

**Resumen** En el presente trabajo se desarrollan y aplican técnicas basadas en hipótesis de fractalidad sobre imágenes generadas a partir de capturas de radar SAR. Se consideran escenarios que abarcan mar y tierra con preponderancia mayormente marina. Se obtuvo la estimación del parámetro de autosimilitud de Hurst  $H$ . El algoritmo utilizado se aplicó concurrentemente sobre una pequeña porción de la imagen donde la imagen original se reemplaza por una sintética a fin de validar una correcta implementación computacional. Los valores obtenidos para  $H$  permiten una clara diferenciación entre tierra, agua y agua con cierta rugosidad para las imágenes utilizadas.

### 1. Introducción

La clasificación de las distintas partes que componen una imagen es un tema de muchísimo interés científico con innumerables aplicaciones en ciencia e ingeniería. Los patrones se obtienen a partir de los procesos de segmentación, extracción de características y descripción, donde cada parte queda representada por una colección de descriptores. El sistema de reconocimiento debe asignar a cada parte su categoría o clase (conjunto de entidades que comparten alguna característica que las diferencia del resto). El punto esencial del reconocimiento de patrones es la clasificación: se quiere clasificar a futuro las partes de una imagen dependiendo de sus características. Las imágenes, sus características y las partes que la conforman pueden ser de cualquier forma, dependiendo de la aplicación. Algunos ejemplos de técnicas y sus aplicaciones prácticas son: Visión de máquina, reconocimiento de: caracteres, caras, eventos climáticos, etc. En el presente trabajo se aplican técnicas basadas en hipótesis de fractalidad [Coh 13, Fal 90] sobre imágenes capturadas por radar SAR [Cum 05] en escenarios con preponderancia marina [Aiz 01, Ben 99, Guo 09]. La clasificación en componentes como tierra, agua, biomateria, contaminación, etc. resultan de mucho interés. En el presente trabajo se aborda la estimación de parámetro de autosimilitud de Hurst  $H$  [Coh 13, Mar 93, Wor 92]. Se tendrá en cuenta la siguiente definición:

**Definición:** Un proceso estocástico es autosimilar, de parámetro  $H$ , si

$$(X(\lambda p))_{p \in R^n} = (\lambda^H X(p))_{p \in R^n}$$

(donde la igualdad es en distribución).

En particular, una clase de procesos estocásticos que cumplen esta definición son los procesos fraccionarios. Estos procesos, y relacionados, tienen la característica de ser fácilmente caracterizados en el dominio frecuencial y a su vez fueron el primer modelo propuesto por A. N. Kolmogorov para modelar de manera estadística fluidos turbulentos [Ros 85]. Este modelo es completamente empírico pero da una justificación parcial como un primer modelo aproximado para el problema a tratar.

Los Radars de Apertura Sintética o SAR, combinan la información obtenida en varios barridos de la antena para recrear un solo barrido virtual, proporcionándose así el mismo rendimiento que el obtenible si estuviese equipado con una antena mucho más grande y directiva que la que tiene en realidad. Para su uso el radar debe encontrarse en movimiento por lo que son montados en aviones o satélites. Son muy profusamente usados en teledetección y cartografía [Hen 98]. La república Argentina desarrolla este tipo de radares para funcionar a bordo de los satélites SAOCOM, en una cooperación conjunta de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) e INVAP. Esta tecnología es muy avanzada y son pocos los países con la capacidad de observación de la Tierra que otorga el radar SAR, incluyendo a los Estados Unidos, Canadá, Japón, Alemania, Italia e Inglaterra. SAR es único en su capacidad de imagen dados por los siguientes aspectos: proporciona alta resolución en dos dimensiones, imágenes independientes de la luz del día, imágenes independientes de nubes, cobertura y condiciones climatológicas. Estas imágenes son aprovechadas por una multitud de aplicaciones que van desde la geociencia y la investigación del cambio climático, monitoreo ambiental [Ben 99] y del sistema terrestre 2-D y 3-D, mapeo, detección de cambios, mapeo 4-D (espacio y tiempo), aplicaciones relacionadas con la seguridad y la exploración planetaria.

Los radares SAR guardan la información colectada en archivos comprimidos muy complejos. Las visiones obtenidas por los distintos sensores en distintos modos y toda otra información asociada es posible de ser extraída de los mismos con la herramienta SNAP [SNAP]. Las imágenes capturadas siempre son de un gran tamaño, como por ejemplo del orden de  $10^9$  pixels. Mediante la herramienta SNAP y la previsualización es posible extraer las partes de mayor interés de la imagen. Al ser estas de menor tamaño por tratarse solo de un fragmento, afortunadamente se facilita su procesamiento, aunque aún se requiere de buen poder de cálculo. Dependiendo de los sensores y parámetros, los datos de la imagen a ser procesada pueden resultar muy difíciles de procesar y fué necesario realizar algún tipo de pre-procesamiento de la imagen a fin de facilitar la tarea de los algoritmos de detección desarrollados.

La mayoría de los estimadores se basan en que asumiendo que es cierta la autosimilitud, entonces habrá cierta relación de proporción entre distintas mag-

nitudes estadísticas de la imagen. En este trabajo se estudiará la implementación de una variante del método de las variaciones cuadráticas para la estimación de  $H$  en imágenes SAR [Coh 13].

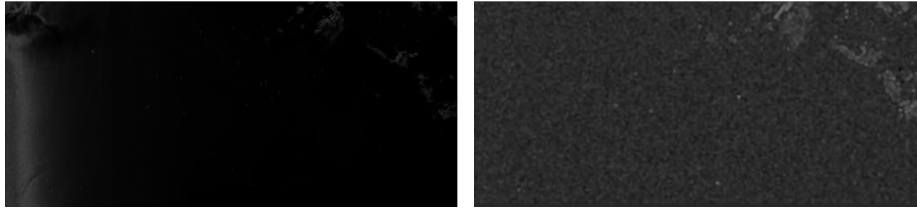
Para la implementación algorítmica discreta usada para la estimación del parámetro de Hurst se define una submatriz de cálculo SUBM cuyo uso se discute a continuación.

La submatriz SUBM utilizada permite las variantes para la estimación del parámetro de Hurst de manera local. Se experimentó con submatrices de distintos tamaños, desde tan pequeñas como 5x5 a 100x100 (o más a efectos de experimentación). Submatrices pequeñas no logran abarcar la suficiente cantidad de datos que permitan revelar la fractalidad de los mismos. La visualización de los  $H$  obtenidos con estas submatrices pequeñas resultan en imágenes con una granularidad pequeña pero usualmente muy contrastada con lo que se enmascara la medición y dificulta la clasificación. En el otro extremo, submatrices grandes logran un buen suavizado pero los distintos objetos tienden a parecerse. Con la idea de suavizar los valores obtenidos que derivan de saltos en los valores vecinos y outlayers, también se ha estimado el parámetro de Hurst promediando los valores del mismo obtenidos para filas y columnas pares con los obtenidos para filas y columnas impares. Esto tiende a dar una imagen de  $H$  menos contrastada entre los gránulos vecinos que provienen del algoritmo.

El trabajo se desarrollará a continuación con una sección de experimentación y luego se desarrollará otra con la validación del entorno creado. Finalmente se darán conclusiones y la continuación del trabajo.

## 2. Experimentación

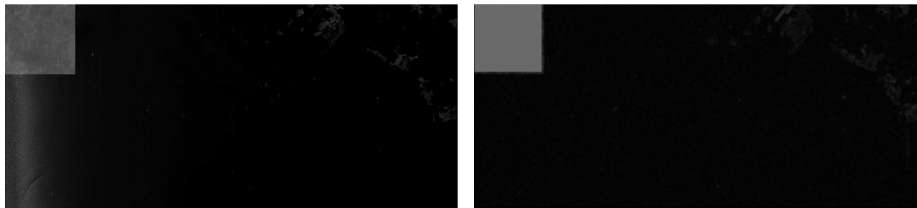
Se comenzó la experimentación a partir de dos primeras imágenes SAR disponibles para el grupo de investigación. Una de ellas, generada por el grupo a partir de los datos, se muestra a continuación en la Figura 1 (a) y corresponde al golfo de México. La misma corresponde a un escenario preponderantemente marino con islas en la parte superior derecha y una cierta rugosidad en la parte izquierda. Dependiente de cómo se asignan los niveles de intensidad a los datos es posible resaltar ciertos objetos y patrones presentes en la imagen. Esto lleva inevitablemente a ocultar otros. En la visualización elegida se resalta lo visible en la figura a fin de ejemplificar lo que obtiene el algoritmo de estimación. La Figura 1 (b) muestra la estimación de  $H$  para la imagen de la Figura 1 (a). Para la misma se utilizó una localidad de 21x21. La Figura 1 permite apreciar cómo se ha estimado un valor distinto de  $H$  para la zona de tierra y para el agua. La rugosidad presente es entonces segmentada y clasificada. Algunos puntos brillantes o asimismo trazas corresponden a barcos y artefactos de la medición.



**Figura 1.** a-Golfo de México. Imagen SAR (izquierda). b-Golfo de México. Estimación de  $H$  (derecha)

### 3. Validación del Entorno

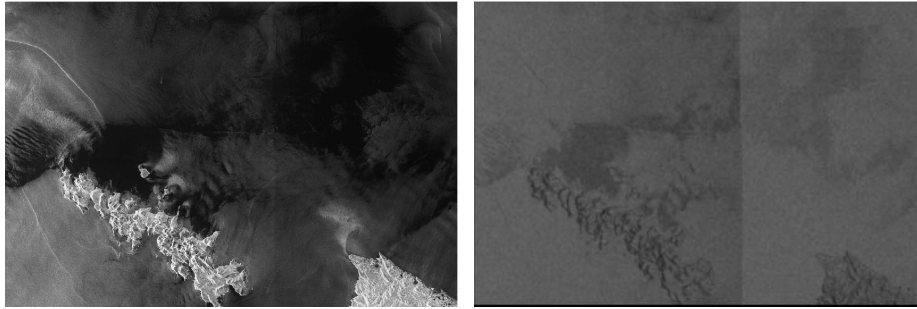
A efectos de validar el entorno y la correcta implementación algorítmica en software del estimador se procedió con el siguiente experimento: en la parte superior izquierda de la imagen se reemplazaron los datos originales por datos de una imagen generada sintéticamente (100000 términos de iteración y  $H=0,01$ ) [FracSim, Cor 1D, Fla 92, Gne 04]. La misma se muestra en la Figura 2 (a).



**Figura 2.** a-Golfo de México. Imagen SAR con imagen fractal generada sintéticamente insertada (izquierda). b-Golfo de México. Imagen SAR con imagen fractal generada sintéticamente insertada, estimación de  $H$  (derecha).

Aplicado el algoritmo de estimación para la imagen de la Figura 2 (a) se obtuvo la estimación de  $H$  dada en la Figura 2 (b). Es notable ver como en la zona modificada se obtuvo un tono constante, lo cual implica un  $H$  constante en toda la misma. Este resultado, que teóricamente debe ser así, permite validar la implementación desarrollada, lo cual no es menor dada la complejidad de la misma. Esto permite encarar el análisis de los datos obtenidos para esta y otras estimaciones de una manera confiable. Continuando la experimentación con imágenes SAR adicionales, se muestra a continuación en la Figura 3 (a) una toma que corresponde a la Isla de los Estados en el Territorio Austral Argentino. Cabe aclarar que esta es una de las zonas de interés del grupo para su estudio. Similarmente a la imagen anterior se tiene un escenario preponderantemente marino en la zona de la Isla de los Estados y Tierra del Fuego. La rugosidad

observable se debe a la acción del viento sobre el agua. Las zonas más oscuras corresponden a aguas resguardadas del viento por la presencia de las propias islas. La figura 3 (b) muestra la estimación de  $H$  para la imagen de la figura 3



**Figura 3.** a-Isla de los Estados. Imagen SAR (izquierda). b-Isla de los Estados. Estimación de  $H$  (derecha)

(a). Para la misma se utilizó una localidad de  $57 \times 57$ . Se puede apreciar cómo se ha obtenido una estimación de  $H$  más fluida en comparación con la del Golfo de México mostrado en la figura 1. Esto es así debido a que se ha utilizado una localidad mayor ( $57 \times 57$ ). Del mismo modo que para el golfo de México se observa aquí también un valor distinto de  $H$  estimado para la zona de tierra y para el agua. Notar como toda la rugosidad causada por el viento sobre el agua ha producido en la imagen un determinado nivel de  $H$  y otro para la zona de agua resguardada. Es así que se tienen tres niveles de  $H$  diferentes, agua con rugosidad, agua calma y tierra. Entonces aquí también las distintas regiones presentes son segmentadas y clasificadas.

#### 4. Conclusiones

En el presente trabajo se han desarrollado técnicas que permiten segmentar partes de imágenes generadas a partir de capturas de radar SAR, basadas en la hipótesis de fractalidad de la imagen. Se han considerado escenarios que abarcan mar y tierra con preponderancia mayormente marina. Complejidades de las imágenes tales como rango dinámico de los datos, outlayers y tamaños de imagen entre otras, fueron abordadas y se obtuvo la estimación del parámetro de autosimilitud de Hurst  $H$ . Asimismo, el algoritmo utilizado se aplicó concurrentemente sobre una pequeña porción de la imagen donde la imagen original se reemplaza por una sintética a fin de validar la correcta implementación computacional de los algoritmos. Los valores obtenidos para  $H$  permiten una clara diferenciación entre tierra y agua con distinta rugosidad para las imágenes utilizadas tales como las zonas de mar con y sin viento.

## 5. Continuación del Trabajo

El trabajo se continuará enfocado principalmente a la detección de derrames de petróleo en el mar. Entre otros aspectos se considerarán pre-procesamientos y filtros adicionales, otros algoritmos de estimación, utilización de Redes Neuronales para clasificación automática, uso de bibliotecas avanzadas open-cv y herramienta SNAP. El presente trabajo tiene el subsidio 20020100100503 de la Universidad de Buenos Aires.

## Referencias

- Aiazzi, B., Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A.: Multiresolution Estimation of Fractal Dimension from Noisy Images. *SPIE-IST Journal of Electronic Imaging* 10, 339–348 (2001).
- Benelli, G., Garzelli, A.: Oil-spill Detection in SAR Images by Fractal Dimension Estimation. In: *Proceedings of Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999, IGARSS'99, Hamburg, Germany, 28 June-2 July 1999*, vol. 2, pp. 1123–1126. IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, USA (1999)
- Cohen, S., Istas, J.: *Fractional Fields and Applications*. Springer, New York (2013). <https://github.com/cran/FracSim/find/master>
- Cumming I. G. and F. H. Wong, *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*. Norwood, MA: Artech House, 2005.
- Falconer, K.: *Fractal geometry*. John Wiley Sons, New York (1990)
- Flandrin P. : Wavelet Analysis and Synthesis of Fractional Brownian Motion. *IEEE Transactions on Information Theory*, 38(2), 910-917, 1992.
- FracSim. <https://www.jstatsoft.org/article/view/v014i18>
- Gneiting, T., Schlather, M.: Stochastic Models That Separate Fractal Dimension and the Hurst Effect, *SIAM Review*, Vol. 46, No. 2 : pp. 269-282 (2004)
- Guo, W.J., Wang, Y.X., Xie M.X., Cui, Y.J.: Modelling Oil Spill trajectory in coastal waters based on fractional Brownian motion. In: *Marine Pollution Bulletin*, 58, pp. 1339-1346 (2009)
- Henderson F. and A. Lewis, *Manual of Remote Sensing: Principles and Applications of Imaging Radar*. New York: Wiley, 1998.
- Maragos, P., Sun, F.K.: Measuring the Fractal Dimension of Signals: Morphological Covers and Iterative Optimization. *IEEE Transactions Signal Processing* 41(1993), 108–121 (1993)
- Rosenblatt M. "Stationary Sequences and Random Fields" Birkhäuser Boston, 1985.
- SNAP. <http://step.esa.int/main/>
- Wornell, G.W., Oppenheim, A.: Estimation of fractal signals from noisy measurements using wavelets. *IEEE Transactions Signal Processing* 40, 611–623 (1992)