

## UNA APROXIMACIÓN ENTRÓPICA A LA DETECCIÓN DE BORDES EN IMÁGENES SST

J. TOVAR-PESCADOR (\*), D. POZO-VÁZQUEZ (\*), P. LUQUE-ESCAMILLA (\*\*)  
y M. I. RAMOS-GALÁN (\*\*\*)

jtovar@ujaen.es

(\*). Dept. Física, Universidad de Jaén, E.P.S., Avd. Madrid, 35  
23071, Jaén, España.

(\*\*) Dept. Ingenierías Mecánica y Minera, Universidad de Jaén.  
EUP Linares, 23071, Linares, Jaén

(\*\*\*) Dept. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
Universidad de Jaén, E.P.S., Jaén, España.

**RESUMEN:** Se presenta un nuevo método para la detección de estructuras de meóscala en la temperatura de la superficie del mar (SST). El método está diseñado para ser usado en diferentes aplicaciones, desde climáticas, a estudios medioambientales o pesquerías. Se fundamenta en una aproximación entrópica a la detección de bordes, basada en el uso de la divergencia de Jensen-Shannon. El método es evaluado, usando imágenes AVHRR, y comparado con los resultados obtenidos a partir de diferentes metodologías propuestas en la literatura. Los campos de SST fueron generados usando una técnica split-window para evitar el problema de la perturbación atmosférica; también se llevó a cabo una corrección de emisividad para mejorar la fiabilidad de los datos.

**ABSTRACT:** A new method designed for the detection of mesoscale structures in sea surface temperature (SST) satellite images, to be used in different applications such as climatic and environmental studies or fisheries, is presented. The method is based on an entropic-approach technique to edge-detection, using the Jensen-Shannon divergence. The method is evaluated on a set of advanced very high-resolution radiometer (AVHRR) images. The results have been compared to those obtained using several methods proposed in the literature. The sea surface temperature (SST) fields have been generated using a split-window technique to avoid the problem of atmospheric disturbance; emissivity correction has been carried out to improve the reliability of the data.

**Palabras clave:** Teledetección, SST, detección bordes.

### INTRODUCCIÓN

En numerosas campos de la ciencia (oceanografía, climatología, etc.), es de interés conocer la temperatura del mar (SST) a nivel de mesoscala (es decir, escalas espaciales que van desde unos pocos de kilómetros a 300 kilómetros) de una forma global y continua en el tiempo. Solo los datos proporcionados por satélites son capaces de responder a estas necesidades. Los datos proporcionados por sensores como el AVHRR pueden ser procesados para obtener, con cierta fiabilidad, la SST. El siguiente paso, después de obtener los campos de SST, es obtener las características de mesoscala. Para este fin se pueden usar detectores de borde. Existen diversos estudios previos en la bibliografía sobre detección de

características de mesoscala en imágenes SST (Janowitz, 1985; Hoyle y Peckinpough, 1989; Cayula y Cornillon, 1995). Sin embargo, su aplicación a las imágenes de satélite presenta diversos problemas. Por ejemplo, para detectar solo características de mesoscala, las estructuras finas en las imágenes deben ser rechazadas pero conservando la capacidad de detectar los bordes. En segundo lugar, en la mayoría de los casos, estos algoritmos de detección de bordes son complejos y contiene operaciones ad hoc difíciles de automatizar.

En este trabajo presentamos y probamos un algoritmo de detección de bordes recientemente desarrollado (Pozo-Vázquez *et alii.* 1999), que está basado en un criterio entrópico (la divergencia de Jensen-Shannon). En-

tre otras cualidades, el método propuesto permite una implementación computacional automática, sin operaciones *ad hoc*.

## METODOLOGÍA

El algoritmo de detección de bordes que presentamos hace uso de la divergencia de Jensen-Shannon (Lin, 1991). Esta herramienta ha mostrado su potencialidad en la segmentación de imágenes digitales (Barranco *et alii*, 1995). Se trata de una medida de la cohesión de un conjunto finito de distribuciones de probabilidad con el mismo número de realizaciones:

$$JS_{\pi}(P_1, P_2, \dots, P_r) = H\left(\sum_{i=1}^r \pi_i P\right) - \sum_{i=1}^r \pi_i H(P_i)$$

donde  $P_1, P_2, \dots, P_r$  son distribuciones discretas de probabilidad;  $\pi_i$  son los pesos de la distribución y

$$H(P_i) = -\sum_{j=1}^n P_{ij} \log P_{ij}$$

es la entropía de Shannon. La divergencia es creciente con sus argumentos, por lo que es elevada si las distribuciones son muy diferentes. Puede aprovecharse este comportamiento para detectar bordes, utilizando como distribuciones los histogramas (con igual peso) de dos subventanas iguales y adyacentes que deslicen sobre la imagen: el máximo de la divergencia se obtiene cuando cada ventana cae en una región diferente, por lo que nos indica la presencia de un borde. Para no tener dependencia entre la forma de la ventana y la dirección del borde, se toma como valor de la divergencia el máximo de los obtenidos para las cuatro posibles orientaciones de las subventanas (vertical, horizontal y dos oblicuas),  $JS_1, JS_2, JS_3, JS_4$ . Se asigna de este modo un valor de divergencia a cada píxel de la imagen, indicando la probabilidad de ser borde que posee (matriz de divergencias).

De esos valores se extraen puntos de borde utilizando un criterio local (puesto que la divergencia depende de la composición de texturas adyacentes), por ejemplo que el píxel en cuestión sea el que tiene la máxima divergencia de entre sus vecinos. Esto se puede hacer usando una ventana monodimensional centrada en el píxel y orientada en las cuatro direcciones posibles, de modo que al menos en una dirección  $[JS_{\text{central}} - JS_j] \geq T_d$ , siendo  $T_d$  un parámetro definido por el usuario. Es posible realizar una suavización previa de la matriz de divergencias para evitar la detección de falsos máximos.

En este punto sólo se han detectado aquellos píxeles con alta probabilidad de ser borde. Para unirlos entre sí para obtener el resultado final, se emplea un método de enlazado basado en la información de la dirección prevista del borde. Ésta se obtiene a partir de la estimación de la dirección en la que se producen los máximos de

divergencia, mediante un spline cuadrático calculado interpolando los ya conocidos  $JS_1, JS_2, JS_3, JS_4$  a una función sinusoidal ajustada por mínimos cuadrados:

$$1) \text{ if } (JS_1 - JS_3 \geq 0) \text{ and } (JS_2 - JS_4 \geq 0)$$

$$x = \frac{JS_2 - JS_4}{4 [(JS_1 - JS_3) - (JS_2 - JS_4)]} \in [0, 1/4]$$

$$2) \text{ if } (JS_1 - JS_3 \geq 0) \text{ and } (JS_2 - JS_4 \leq 0)$$

$$x = \frac{4(JS_1 - JS_3) - 3(JS_2 - JS_4)}{4 [(JS_1 - JS_3) - (JS_2 - JS_4)]} \in [3/4, 1]$$

$$3) \text{ if } (JS_1 - JS_3 \leq 0) \text{ and } (JS_2 - JS_4 \geq 0)$$

$$x = \frac{2(JS_1 - JS_3) - (JS_2 - JS_4)}{4 [(JS_1 - JS_3) - (JS_2 - JS_4)]} \in [1/4, 1/2]$$

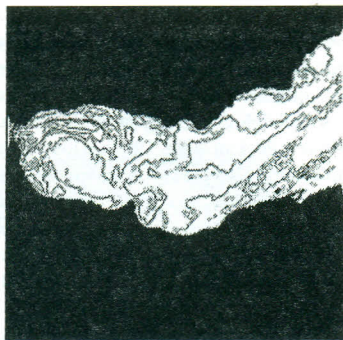
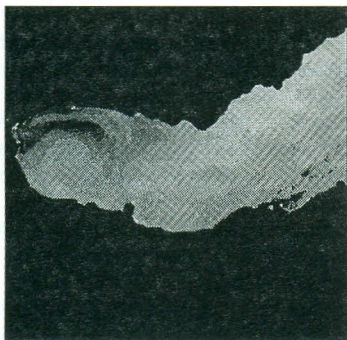
$$4) \text{ if } (JS_1 - JS_3 \leq 0) \text{ and } (JS_2 - JS_4 \leq 0)$$

$$x = \frac{2(JS_1 - JS_3) + 3(JS_2 - JS_4)}{4 [(JS_1 - JS_3) - (JS_2 - JS_4)]} \in [3/4, 1]$$

siendo  $\alpha = \pi x \in [0, \pi)$  la dirección estimada. Entonces, a cada píxel extremo de un borde incompleto se le van añadiendo píxeles de borde que satisfagan que su divergencia sea razonablemente alta, y que la dirección de la prolongación sea acorde a la estimada. De este modo se consigue una imagen de bordes cerrados, de un solo píxel de grosor, que es el resultado de la detección de bordes (Pozo-Vázquez *et alii*, 1999).

## DATOS

Se presenta aquí la evaluación del algoritmo haciendo uso de una imagen HRPT del NOAA-14 adquirida por la estación de recepción de imágenes de satélite de la Universidad de Granada y correspondiente a abril de 1997. Hemos usado el algoritmo de Olivieri *et alii* (1994) para la generación de la imagen SST y para la corrección de la perturbación atmosférica, empleándose como valores de emisividad  $e_4=0.993$  y  $e_5=0.989$  en los canales 4 y 5 respectivamente (Coll *et alii*, 1992). El algoritmo ha sido evaluado en trabajos previos (Pozo-Vázquez *et alii*, 1997a; 1997b), demostrando que tiene en cuenta apropiadamente las condiciones atmosféricas medias de la situación geográfica donde se enclava la Península.



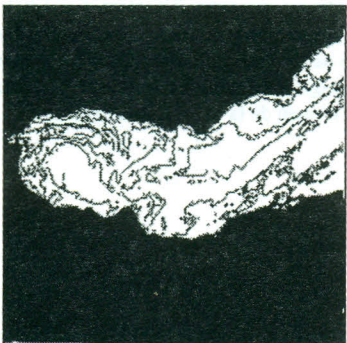
c)



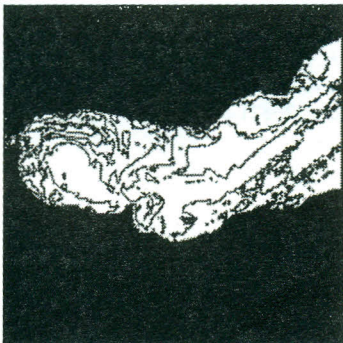
d)



e)



f)



**Figura 1.** a) Imagen NOAA-HRPT de SST del mar Mediterráneo al sur de la Península Ibérica. b) Imagen de divergencia. c) Resultado de la detección de bordes con el algoritmo propuesto. d) Resultado usando el algoritmo CSED. e) Resultado usando el algoritmo Sobel. f) Resultado utilizando el Laplaciano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra los resultados de la aplicación del algoritmo propuesto a la imagen SST. Los resultados han sido comparados frente a los obtenidos usando tres distintas metodologías recogidas en la bibliografía (CSED, Holyer y Peckinpaugh, 1989), y los algoritmos Sobel y Laplaciano. La figura también muestra la imagen de divergencia. En el caso del algoritmo CSED hemos usado los parámetros propuestos por los autores, para el caso de los algoritmos Sobel y Laplaciano, hemos usado una ventana de tamaño 3\*3 y un prefiltrado de mediana.

Como puede observarse, el algoritmo propuesto proporciona los mejores resultados. Algunas características remarcables, señaladas con flechas, son solo detectadas con el método propuesto. Estas corresponden a áreas con un débil cambio en las temperaturas en comparación con sus alrededores. Por otra parte las líneas de costa no son bien detectadas por el CSED. El Sobel y el Laplaciano proporcionan unos resultados pobres, principalmente debido a que los bordes son demasiado anchos y a que detectan muchas estructuras indeseadas. Por otra parte, el método CSED proporciona bordes espurios y algunas características no son detectadas. Además, el método que proponemos da lugar a que el borde tenga un solo píxel de anchura, mientras que los otros métodos proporcionan bordes mucho más anchos. Esta característica de la metodología presentada hace las isolíneas mucho más fáciles de entender.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARRANCO, LOPEZ, V., P. LUQUE ESCAMILLA, J. MARTÍNEZ AROZA, and R. ROMÁN ROLDÁN, 1995: Entropic texture-edge detection for image segmentation. *Electronic Letters*, **31**, 867-869.
- CAYULA, J. F., and P. CORNILLON, 1995: Multi-image edge detection for SST images. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **12**, 821-829.
- COLL, C., V. CASELLES, and J. A. SOBRINO, 1992: Desarrollo de un modelo de corrección atmosférica en el térmico. II Aplicación a los canales 4 y 5 del NOAA. *Anales de Física*, **88**, 120-132.
- HOLYER, R. J., and S. H. PECKINPAUGH, 1989: Edge detection applied to sea surface temperature fields. *IEEE -Transactions on Geosci. and Remote-Sens.*, **GE-27**, 46-56.
- JANOWITZ, M. F., 1985: Automatic detection of Gulf Stream rings. Office of Naval Research, Tech. Rep. TR-J8501, Contr. N-00014-79-C-0629.
- LIN, J., 1991: Divergence measures based on the Shannon entropy. *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-37**, 145-150.
- POZO, D., ATAE-ALLAH, C. and P. LUQUE-ESCAMILLA, 1999: Entropic approach to edge detection for SST images. *J. Atmos. Oceanic. Tech.*, **16**, 970-979.
- POZO, D., F. J. OLMO-REYES, and L. ALADOS-ARBOLEDAS, 1997a: A comparative study of algorithms for estimating land surface temperature from avhrr data. *Remote Sens. Environ.*, **62**: 215-222.
- POZO, D., F. J. OLMO-REYES, and L. ALADOS-ARBOLEDAS, 1997b: Fire detection and growth monitoring using a multitemporal technique on AVHRR Mid-infrared and Thermal Channels. *Remote Sens. Environ.*, **60**: 111-120.
- ÚLIVIERI, C., M. M. CASTRONOUVO, R. FRANCONI, and A. CARDILLO, 1994: A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satellites, *Adv. Space Res.*, **14**, 59-65.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de los proyectos TIC94-0535 y CICYT95-1840. Estamos en deuda con el Dr. J.M. Cotos (Univ. de Santiago de Compostela), por su ayuda en el procesado de las imágenes, y con los profesores Lucas Alados y Ramón Román de la Universidad de Granada.