

## INCIDENCIA DEL TAMAÑO DE LA VENTANA (BOX COUNTING) EN LA CALIDAD DE LAS IMÁGENES FUSIONADAS MEDIANTE MAPAS LOCALES DE DIMENSIÓN FRACTAL

C. Gonzalo (\*) y M. Lillo-Saavedra (\*\*).

\*Dpto. de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática,  
Campus de Montegancedo, Boadilla del Monte, 28660 Madrid consuelo.gonzalo@upm.es

\*\*Dpto. de Mecanización y Energía, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, CHILE.

### RESUMEN

Con objeto de minimizar los efectos de alta variabilidad espacial y baja separabilidad espectral que caracterizan a imágenes de alta resolución espacial, especialmente en aquellas obtenidas mediante algoritmos de fusión, se ha propuesto un nuevo paradigma de fusión basado en mapas locales de dimensión fractal de las imágenes a fusionar. La obtención de estos mapas se ha llevado a cabo mediante un proceso de ventaneado y la utilización del algoritmo box-counting para el cálculo de la dimensión fractal. Este algoritmo implica la definición de un tamaño de ventana,  $\omega_{size}$ , el cual tiene una fuerte influencia en la estimación de la dimensión fractal local y consecuentemente en la calidad de las imágenes fusionadas. En este sentido, se propone investigar la influencia de  $\omega_{size}$  en las prestaciones de un algoritmo de fusión basado en la Transformada Discreta Wavelet calculada mediante el algoritmo *à trous*.

### ABSTRACT

A new images fusion paradigm has been proposed for minimizing the high spatial variability and the low spectral separability that characterized high spatial resolutions images in general and fused images in particular. This paradigm is based on local fractal dimension maps of images to be fused. These maps have been calculated by a windowing process and the box-counting algorithm to estimate the fractal dimension. This algorithm implies the definition of a window size,  $\omega_{size}$ . This size has a strong influence in the estimation of the fractal dimension and in the images fused quality. That has been the motivation of this work, which analyzes the influence of  $\omega_{size}$  in the performance of the fusion algorithm based in a Discrete Wavelet Transform calculated through the *à trous* algorithm.

**Palabras clave:** fusión de imágenes, dimensión fractal, transformada wavelet.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de las técnicas de fusión de imágenes capturadas por sensores ópticos, es obtener imágenes con una calidad espacial lo más próxima posible a la imagen pancromática, minimizando la distorsión espectral de la imagen multiespectral. En general las imágenes de muy alta resolución espacial se caracterizan por una alta variabilidad espacial y una baja separabilidad espectral (Lillo et al 2009), lo que plantea ciertas dificultades en tareas tales como la clasificación. Huang y Zhang (2008) han planteado un esquema de fusión a partir de la extracción de características en diferentes escalas, mediante la transformada Wavelet, que abordan este problema, mejorando los resultados de clasificación. Lillo-Saavedra y Gonzalo (2009) han propuesto un nuevo paradigma aplicable a diferentes algoritmos de fusión, cuyo objetivo es minimizar los efectos antes

mencionados. Para ello, se determina, a partir de mapas locales de la dimensión fractal de las imágenes fuente, la cantidad de detalle procedente de la imagen pancromática que se debe incorporar en la información de baja frecuencia procedente de la imagen multiespectral, para cada píxel y para cada banda, dependiendo del tipo de cubierta bajo análisis. Los mapas locales de dimensión fractal se han obtenido, mediante un proceso de ventaneado de las imágenes fuente y el algoritmo box-counting (Falconer 1990). Este algoritmo, implica la definición de un tamaño de ventana,  $\omega_{size}$ , el cual tiene una fuerte influencia en la estimación de la dimensión fractal local y consecuentemente en la calidad de las imágenes fusionadas. El objetivo de este trabajo es investigar la influencia de  $\omega_{size}$  en las prestaciones de un algoritmo de fusión basado en la Transformada Discreta Wavelet calculada mediante el algoritmo *à trous*, al que se le ha aplicado el paradigma propuesto.

## METODOLOGÍA DE FUSIÓN PONDERADA MEDIANTE MAPAS DE DIMENSIONES FRACTALES

A partir del bien conocido algoritmo de fusión, basado en la Transformada Discreta Wavelet (TWA) calculada mediante el algoritmo à trous (Nuñez et al 1999), Lillo-Saavedra y Gonzalo (2007) propusieron una versión ponderada del mismo que se puede expresar como:

$$I_{Fus}^i(x,y) = I_{MUL_j}^i(x,y) + \alpha^i \sum_{k=1}^W C_{PAN_k}^i(x,y) \quad (1)$$

donde  $I_{MUL_j}^i$  corresponde a la imagen multiespectral y  $C_{PAN_k}^i$  corresponden a los coeficientes de la imagen pancromática. Los índices  $i$  y  $j$  representan el número de bandas y el nivel de degradación de la imagen multiespectral, respectivamente; y  $W$  el número de planos Wavelet a integrar desde la imagen pancromática a la imagen multiespectral. El parámetro de ponderación,  $\alpha^i$ , controla el compromiso entre la calidad espacial y espectral de la imagen fusionada.

Esta estrategia presenta un avance respecto a otros algoritmos de fusión, al considerar las características particulares de cada imagen, desde el punto de vista espectral y espacial. Sin embargo, los factores de ponderación determinados para cada una de las bandas son aplicados a la totalidad de la misma, sin tener capacidad diferenciadora entre los distintos tipos de cubierta presentes en la imagen. El nuevo paradigma de fusión ya mencionado, propone superar esta limitación, mediante la determinación de mapas de ponderación que proporcionen valores diferentes para cada píxel y cada banda. Estos valores particulares son obtenidos a partir de la información aportada por los mapas de dimensiones fractal tanto de la imagen pancromática como de cada banda de la imagen multiespectral. Aún cuando se determina un valor de ponderación diferente para cada píxel, este valor depende también de los niveles de gris de su vecindario, cuyo tamaño es preciso definir y tiene notables implicaciones en los resultados de fusión.

En este estudio, se han obtenido los mapas de dimensión fractal, mediante la siguiente expresión:

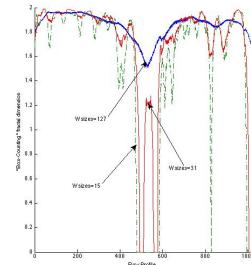
$$\alpha^i(x,y) = \frac{\langle \text{dim\_frac}(I_{MUL}^i(x,y)) \rangle + \langle \text{dim\_frac}(I_{PAN}(x,y)) \rangle}{2} \quad (2)$$

donde  $\langle \cdot \rangle$  corresponde a la indexación de los valores de las dimensiones fractal de las imágenes fuente entre 0 y 1.

A partir de las ecuaciones 1 y 2, se puede deducir que la metodología propuesta permite

integrar una mayor cantidad de información espacial en la medida que la dimensión fractal de la cubierta sea alta (cubierta rugosa) en al menos alguna de las imágenes fuente, sin embargo, si la cubierta presenta una dimensión fractal baja en ambas imágenes, la integración de información espacial será baja.

Se han llevado a cabo numerosos experimentos de fusión para diferentes imágenes, variando el tamaño de la ventana,  $\omega_{size}$ . La (Figura 1) ilustra la influencia de  $\omega_{size}$  en el proceso de captura de la dimensión fractal. En ella, se han representado los perfiles de los mapas de dimensión fractal para una fila específica de una imagen dada, para  $\omega_{size}=15, 31$  y  $127$ . Se puede observar que para tamaños de ventana pequeños ( $\omega_{size}=15$ ) los mapas de dimensión fractal no permiten detectar adecuadamente variaciones en los patrones texturales, ya que considera completamente homogéneas zonas muy extensas. Desde el punto de vista del proceso de fusión, esto se traduce en la integración de una gran cantidad de información procedente de los coeficientes de la imagen pancromática en las zonas de detalle y una integración casi nula en las zonas homogéneas. En este sentido, se podría considerar prácticamente, como una ponderación binaria, que proporcionaría imágenes fusionadas muy semejantes a las proporcionadas por el método de fusión TWA estándar en las zonas de detalle e iguales a la imagen multiespectral en las zonas de muy baja dimensión fractal, ofreciendo una baja calidad visual.



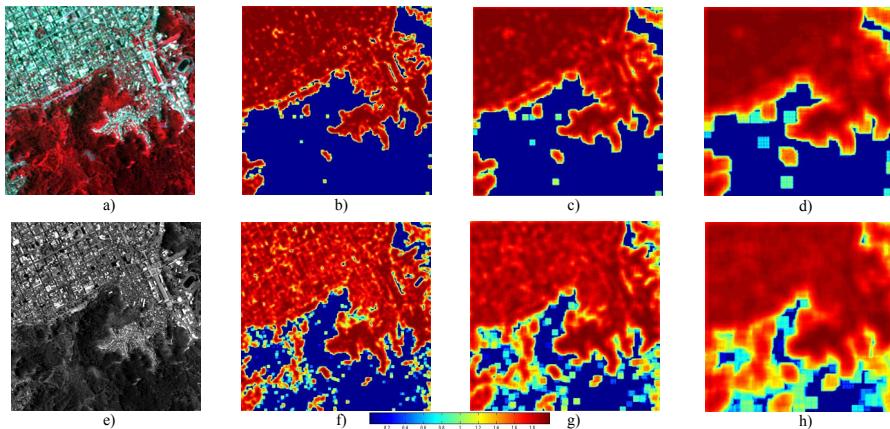
**Figura 1.-**Perfiles de mapas de dimensión fractal, para una línea de una imagen dada y diferentes tamaños de  $\omega_{size}$ .

Para  $\omega_{size}=31$ , los efectos descritos disminuyen, permitiendo que la dimensión fractal discrimine áreas de textura semejante por medio de valores de transición entre las zonas de mayor y menor homogeneidad. No obstante, si el tamaño de ventana es excesivamente grande puede ocurrir, que aunque la dimensión fractal sea alta (zonas rugosas),

se asigne valores similares de dimensión a zonas demasiado extensas, con diferentes características texturales, lo que se traduce en un deterioro de las características espetrales de la imagen, como se puede observar en la (Figura 1) para  $\omega_{size}=127$ .

## RESULTADOS

Con objeto de ilustrar la influencia del parámetro  $\omega_{size}$  en el proceso de fusión, se ha seleccionado una escena de una imagen FORMOSAT correspondiente a un área del Campus de la Universidad de Concepción (Chile), registrada el 28 de abril de 2008. En ella aparecen dos tipos de cubiertas fundamentalmente, zona urbana y zona boscosa. En la (Fig. 2) se ha incluido una composición RGB de la imagen multiespectral y la imagen pancromática, así como los mapas de dimensión fractal obtenidos para  $\omega_{size}=15, 31$  y 63.

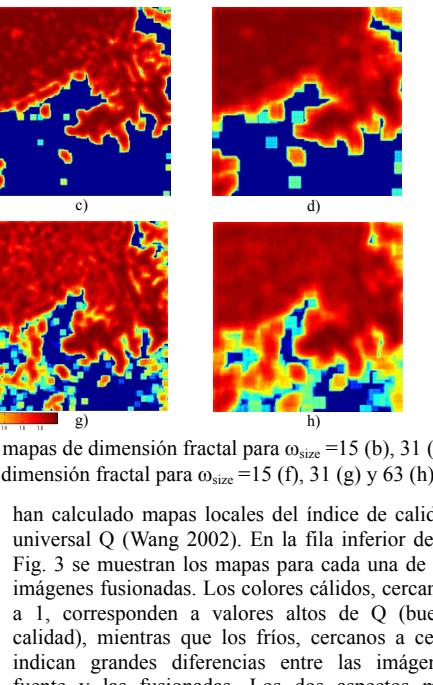


**Figura 2.** Fila superior: Imagen multiespectral original (a) y mapas de dimensión fractal para  $\omega_{size}=15$  (b), 31 (c) y 63 (d). Fila inferior: imagen pancromática (e), y mapa de dimensión fractal para  $\omega_{size}=15$  (f), 31 (g) y 63 (h).

En la fila superior de la (Fig. 3), se han incluido composiciones color de las imágenes fusionadas mediante el método propuesto para  $\omega_{size}=15$  (a), 31 (b) y 63 (c) y mediante el método estándar TWA ( $\alpha'(x,y)=1$ ) (d). La calidad de las imágenes fusionadas se ha calculado de forma global y local. En el primer caso, se han calculado para cada tamaño de ventana ( $\omega_{size}$ ), diferentes índices de calidad de imágenes fusionadas propuestos en la literatura: ERGAS, índice de Zhou, Correlación Espectral (CC) (Gonzalo & Lillo 2008), Q4 y el índice SAM (Alparone et al 2004). Estos valores se han incluido en la Tabla 1. Donde se puede observar que el método propuesto siempre proporciona mejores valores de los índices que el método TWA. Para la medida de la calidad local se

En el caso de la imagen multiespectral, estos mapas corresponden a la banda 3.

Se puede apreciar como los mapas de dimensión fractal definidos, tienden de forma local a mantener la característica de rugosidad presente a diferente escala (resoluciones espaciales) en cada una de las imágenes fuente. En definitiva, se puede afirmar que la principal aportación de este tipo de mapas, es que recogen las características de rugosidad de las cubiertas presentes en las imágenes bajo análisis. Esta información permite discriminar las zonas que requieren mayor integración de información espacial proveniente de la imagen pancromática a la imagen multiespectral. Dado que el coste computacional del proceso tiene un aumento no lineal con el tamaño de la ventana, cabría recomendar tamaños de ventana intermedios como los más aconsejables para aplicar esta metodología.



han calculado mapas locales del índice de calidad universal Q (Wang 2002). En la fila inferior de la Fig. 3 se muestran los mapas para cada una de las imágenes fusionadas. Los colores cálidos, cercanos a 1, corresponden a valores altos de Q (buena calidad), mientras que los fríos, cercanos a cero, indican grandes diferencias entre las imágenes fuente y las fusionadas. Los dos aspectos más destacables de estos resultados son: las variaciones de los mapas con el tamaño de la ventana y el hecho de que mientras el método TWA, proporciona buena calidad en la zona urbana y peor en la boscosa, el método propuesto, proporciona una calidad de fusión mucho más homogénea.

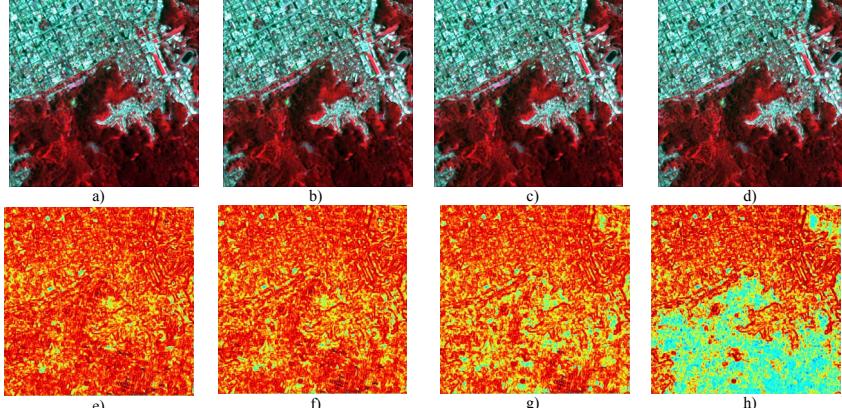
**Tabla 1:** Índices de calidad de las imágenes fusionadas.

Método	ERGAS	Zhou	Q4	CC	SAM
WATF_W7	<b>1.07</b>	0.89	<b>0.68</b>	<b>0.92</b>	<b>2.59</b>
WATF_W15	1.08	0.89	0.68	<b>0.92</b>	2.62
WATF_W31	1.09	0.90	0.67	<b>0.92</b>	2.65
WATF_W63	1.09	0.90	0.67	0.91	2.67
WATF_W127	1.1	0.91	<b>0.68</b>	0.91	2.69
WAT	1.14	0.91	0.66	0.91	2.76

## CONCLUSIONES

Se ha mostrado que los resultados proporcionados por la metodología propuesta

dependen del tamaño de ventana utilizado para el cálculo de la dimensión fractal. Por un lado, el coste computacional aumenta con el tamaño de la ventana ( $\omega_{size}$ ); sin embargo, desde el punto de vista de la extracción de información textural un tamaño de ventana demasiado pequeño, produce mapas de dimensión fractal cuasi-binarios, esto implica que en la imagen fusionada existirán zonas en las que se integre la casi totalidad de la información espacial, proveniente de la imagen panchromática, mientras que en las zonas de baja rugosidad, solo existirá información proveniente de la imagen multi-espectral. Es por tanto necesario establecer un compromiso entre el tamaño de ventana que mejor integre la información de las imágenes fuente y cuyo coste computacional no sea elevado.



**Figura 3.**-Fila superior imágenes fusionadas: con el método propuesto para diferentes tamaños de ventana, 15 (a), 31 (b) y 63 (c) y mediante el método TWA (d). Fila inferior: mapas de calidad de las imágenes fusionadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alparone, L., Baronti, S., Garzelli, A. y Nencino, F. 2004. A Global Quality Measurement of Pan-Sharpened Multispectral Imagery, *IEEE Geos. and Rem. Sens. Letters*, 1 (4), 313-317.
- Falconer, K. 1990. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations & Applications*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Huang, X., Zhang, L., y Li, P. 2008. A multiscale feature fusion approach for classification of very HR satellite imagery based on wavelet transform, *Int. J. R. Sens.*, vol. 29, n.20, pp. 5923-41.
- Gonzalo, C. y Lillo-Saavedra, M. 2008. A directed search algorithm for setting the spectral-spatial quality trade-off of fused images by wavelet à trous method, *Can. J. R. S.*, vol 34, no 4, pp. 367-75.
- Lillo-Saavedra, M. y Gonzalo, C. 2006. Spectral or spatial quality for fused satellite imagery? A trade-off solution using the wavelet à trous algorithm. *Int. J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 7, pp. 1453-1464.
- Lillo-Saavedra, M. y Gonzalo, C. 2009. Integration of panchromatic and multispectral images by local fractal dimension, in *Remote Sensing for a Changing Europe*, vol. 1, (en prensa).
- Nuñez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V.y Arbiol, R. 1999. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition, *Int. J. Remote Sens.*, vol. 37, no. 3, pp. 1024-1211.
- Wang, Z.y Bovik, A. 2002. A Universal Image Quality Index, *IEEE Signal Processing Letters*, 9 (3), 2002, 81-84.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el soporte financiero de la C.N.C.T. de Chile (FONDECYT-11060056) y de la UPM, España (AL09-P(I+D)20).