

## FUSIÓN DE IMÁGENES DE DIFERENTE RESOLUCIÓN ESPACIAL UTILIZANDO EL ANÁLISIS MULTIREOLUCIÓN Y LAS TRANSFORMACIONES WAVELET

M. GONZÁLEZ DE AUDICANA, R. GARCÍA y A. SECO

maria.audicana@unavarra.es

Universidad Pública de Navarra  
Dpto. de Proyectos e Ingeniería Rural. Campus Arrosadía s/n 31006 Pamplona

**RESUMEN:** Existen diferentes técnicas para fusionar imágenes de distinta resolución espacial, pero muchas de ellas, dan lugar a imágenes cuya información espectral varía bastante respecto a la original. En ocasiones, por la utilidad que se desea dar a esa imagen fusionada, tal variación de información espectral no es asumible. A continuación se presenta un procedimiento que permite minimizar este problema respecto a las técnicas clásicas de fusión de imágenes. Este procedimiento, basado en el análisis multiresolución y las transformaciones wavelet, se ha aplicado a dos subimágenes SPOT multiespectral (20m) y pancromática (10m). Se han comparado cuantitativamente las imágenes fusionadas obtenidas siguiendo tres aplicaciones alternativas de esta metodología, y se ha determinado cual es la que permite obtener una imagen fusionada más parecida, en cuanto información espectral, a la imagen original.

**Palabras clave:** fusión de imágenes, transformación wavelet, análisis multiresolución.

**ABSTRACT:** Several techniques have been developed to merge different spatial resolution images, but most of them improve the spatial resolution providing poor quality of the spectral content of the resulting image. Below it is presented a procedure that minimizes this problem. This procedure uses multiresolution analysis and wavelet transforms, and it has been applied to two SPOT multispectral and panchromatic subimages. Results achieved using three alternative applications of this methodology have been quantitatively compared to determine which is the best one to preserve, as much as possible, the spectral information of the original image.

**Key words:** image fusion, wavelet transform, multiresolution analysis

### INTRODUCCIÓN

Para determinadas aplicaciones, las imágenes multiespectrales presentan una resolución espacial insuficiente, lo que puede llegar a solucionarse fusionándolas con otras de mayor resolución espacial.

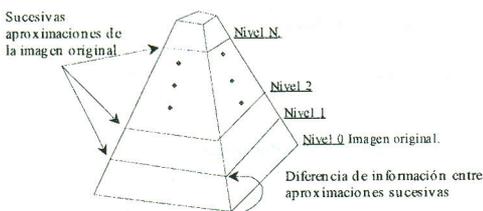
Como resultado de esa fusión se requiere, no sólo una imagen con resolución espacial mejorada, sino también una imagen que mantenga la información espectral de la original.

Existen diversos procedimientos para fusionar imágenes multiespectrales, de baja resolución espacial, con imágenes pancromáticas, de alta resolución espacial pero baja resolución espectral, como la transformación Intensidad - Tono - Saturación (IHS) o los métodos que utilizan el Análisis de Componentes Principales.

A continuación se expone brevemente la metodología de fusión de imágenes basada en el análisis multiresolución que, respecto a los métodos clásicos, permite conservar mejor toda la información de la imagen original (Garguet-Duport *et alii*, 1996; Yocky, 1996; Wald *et alii*, 1997; Zhou *et alii*, 1998; Ranchin y Wald, 2000;).

Además, se analizan cuantitativamente los resultados obtenidos siguiendo tres posibles alternativas de esta metodología, al fusionar subimágenes SPOT multiespectrales y pancromáticas, correspondientes a distintas zonas de regadío de Navarra.

# ANÁLISIS MULTIRESOLUCIÓN Y TRANSFORMACIÓN WAVELET



**Figura 1.** Representación piramidal del análisis multiresolución. (Mallat, 1989).

Para describir el concepto de análisis multiresolución (MRA), y de forma más general el concepto de algoritmos piramidales, es muy útil referirse a la figura 1.

La base de la pirámide representa la imagen original, de "f" filas y "c" columnas. Cada nivel de la pirámide, al que se accede desde el nivel inmediatamente inferior, es una aproximación de la imagen original, de forma que se cumple que en cada nivel N la imagen aproximación tiene "f/2<sup>N</sup>" filas y "c/2<sup>N</sup>" columnas, es decir, conforme ascendemos de escalón o nivel en la pirámide, las sucesivas aproximaciones a la imagen original van teniendo cada vez menor resolución.

Las transformaciones wavelet dan la diferencia existente entre un escalón y otro de la imagen, es decir, las distintas imágenes de aproximación a partir de la imagen original. En cada uno de estas pasos de  $t/2^N$  de resolución espacial respecto a la imagen original, el detalle se separa en tres zonas, caracterizadas por los habitualmente denominados coeficientes de detalle horizontal, vertical y diagonal. Estos coeficientes de detalle recogen la diferencia de información existente entre dos imágenes aproximación pertenecientes a dos niveles sucesivos de la pirámide.

Si se invierte el proceso de análisis multiresolución, la imagen original podrá reconstruirse exactamente a partir de una imagen aproximación y todos los coeficientes de detalle, H, V y D, que recojan las diferencias de información entre la imagen aproximación y la imagen original (Mallat, 1989). Este paso se denomina síntesis.

Teóricamente, la transformación wavelet de una función o de unos datos se realiza empleando una función wavelet ( $\psi$ ) determinada y su correspondiente función de escala asociada ( $\Phi$ ). Pero la implementación

práctica de la transformación wavelet discreta (DWT) no se realiza utilizando directamente las funciones de escala ( $\Phi$ ) y wavelet ( $\psi$ ), sino utilizando sus correspondientes filtros de cuadratura, filtros "h" y "g", asociados a dichas funciones.

El filtro "h", asociado a la función de escala, es un filtro de paso bajo, y permite analizar los datos de baja frecuencia, mientras que el filtro "g", asociado a la función wavelet, es un filtro de paso alto y permite analizar los componentes de alta frecuencia de la imagen que se pretende estudiar. El número de coeficientes de estos filtros y el valor de los mismos depende de la función wavelet madre que se utilice.

## Implementación del análisis multiresolución y la transformación wavelet a datos bidimensionales

Los filtros "g" y "h" se aplican separadamente a las filas y columnas de la imagen. Para ilustrar cual es el procedimiento de aplicación de estos filtros se tomarán como ejemplo los asociados a la función wavelet definida por Daubechies, denominada 'db2', y cuyos coeficientes son:

$$C_0: 0.3415, C_1: 0.5915, C_2: 0.1585, C_3: -0.0915$$

$$\text{Filtro "h": } C_3, C_2, C_1, C_0$$

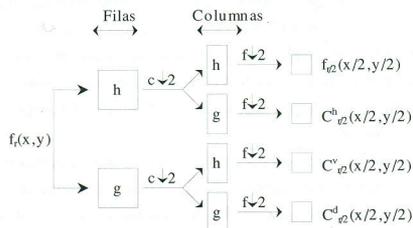
$$\text{Filtro "g": } -C_0, C_1, -C_2, C_3$$

El valor de cualquier píxel de la columna x, fila y, al pasarle el filtro "h" a las filas será:

$$\text{nuevo valor} = C_3f(x-2,y) + C_2f(x-1,y) + C_1f(x,y) + C_0f(x+1,y)$$

**Fase de análisis:** (ver figura 2) sea la imagen  $f_r(x,y)$  una imagen de resolución "r", con "x" columnas e "y" filas. En primer lugar, los filtros "h" y "g" se aplican a todas las filas de la imagen original. Las dos imágenes resultantes son simplificadas, eliminando una de cada dos columnas.

Tras esta simplificación, tendremos dos nuevas imágenes con "x/2" columnas e "y" filas, a cuyas columnas se les aplicará tanto el filtro "h" como el filtro "g". Las cuatro imágenes resultantes se vuelven a simplificar, en este caso, eliminando una de cada dos filas.

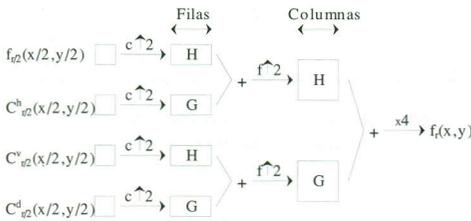


**Figura 2.** Aplicación de TWD combinada con el algoritmo de Mallat a una imagen. Fase de análisis.

Como resultado de esta fase de análisis, obtenemos cuatro nuevas imágenes. La  $f_{r/2}(x/2,y/2)$  se denomina coeficiente o imagen de aproximación y contiene la información espectral de la imagen original. Las  $C^H_{r/2}(x/2,y/2)$ ,  $C^V_{r/2}(x/2,y/2)$  y  $C^D_{r/2}(x/2,y/2)$ , se denominan coeficientes de detalle y recogen el detalle espacial (H,V y D) que la imagen pierde al pasar de la resolución original a la mitad de resolución.

**Fase de síntesis:** a partir de la imagen de aproximación  $f_{r/2}(x/2,y/2)$ , y los tres coeficientes wavelet de detalle, puede reconstruirse exactamente la imagen original  $f_r(x,y)$ .

El proceso está descrito en la figura 3, donde el símbolo -2 indica adición de filas o columnas de ceros, intercaladas entre filas o columnas de valores. Los filtros "H" y "G", que se aplicarán en esta fase de síntesis, son filtros espejo de "h" y "g".



**Figura 3.** Aplicación de TWD combinada con el algoritmo de Mallat a una imagen. Fase de síntesis.

**FUSIÓN DE IMÁGENES SPOT MULTIESPECTRALES Y PANCROMÁTICAS. BONDAD DE DISTINTAS ALTERNATIVAS DE FUSIÓN UTILIZANDO EL MRA.**

En este apartado se comparan tres alternativas distintas de fusión de imágenes utilizando el análisis multiresolución (MRA) y las transformaciones wavelet.

Estas alternativas se han aplicado a dos subimágenes SPOT 4, multiespectrales y pancromáticas, del 4 de noviembre de 1999, de zonas de regadío de Navarra (donde, debido al pequeño tamaño de las parcelas, resulta interesante cualquier mejora de resolución espacial).

El tamaño de estas dos subimágenes es el siguiente:

- Imagen 'Zona I': de 6km \* 3km
- Imagen 'Zona II': de 18.5km \* 21.2km

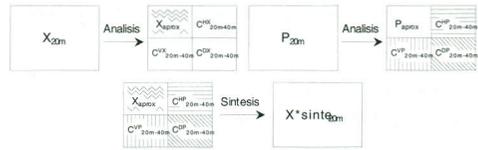
Para poder estudiar la calidad de las imágenes fusionadas, se decidió remuestrear a 20m la imagen pancromática y a 40m la multiespectral, de forma que la imagen fusionada resultante, de 20m de resolución se podría comparar con la multiespectral original.

En primer lugar, y antes de comenzar con la fusión propiamente dicha, es necesario rectificar la imagen multiespectral utilizando como imagen referencia la imagen pancromática.

La fusión se realiza separadamente a cada una de las bandas de la imagen multiespectral, y la función wavelet que se ha utilizado en todas las alternativas es la descrita por Daubechies, 'db2', cuyos coeficientes se han detallado anteriormente.

**Alternativa 1**

Aplicación de la fase de análisis de la transformación wavelet a las imágenes pancromática y multiespectral y obtención de los coeficientes de aproximación y de detalle para cada caso.



**Figura 4.** Esquema Aplicación de la Alternativa 1.

A continuación, aplicación de la fase de síntesis al coeficiente de aproximación de la multiespectral y los coeficientes de detalle de la pancromática.

**Alternativa 2**

En este caso, se intenta que los coeficientes de detalle horizontal, vertical y diagonal de la pancromática se parezcan espectralmente a los de la multiespectral. Para ello, se utilizan las ecuaciones propuestas por Mangolini, 1992

$$C_{20m-40m}^{HP} = (a^h * C_{20m-40m}^{HX}) + b^h; \text{ igual para V y D}$$

$$a^{ff} = \frac{sdv \cdot C^{fX}}{sdv \cdot C^{fP}} \quad b^{ff} = \overline{C^{fX}} - a^{ff} \overline{C^{fP}}$$

	$C^{X1}$	$C^{X2}$	$C^{X3}$	$C^{X4}$
$a^h$	0,8034	1,0258	0,9608	1,2177
$b^h$	-0,106	-0,033	-0,301	-0,162
$a^v$	0,9068	0,9793	0,7834	1,0068
$b^v$	-0,021	0,0106	0,0509	0,0036
$a^d$	0,7373	1,0763	0,8991	1,1949
$b^d$	0,0023	-0,013	-0,035	-0,001

**Tabla 1.** Coeficientes  $a^{ff}$  y  $b^{ff}$  para la imagen 'Zona I'

Aplicamos la fase de síntesis de la transformación wavelet utilizando el coeficiente de aproximación de la multispectral y los coeficientes de aproximación pancromáticos corregidos por los valores  $a^f$  y  $b^f$ .

Alternativa 3

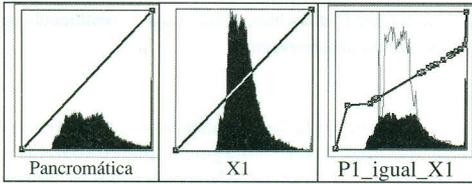


Figura 5. Equiparación del histograma de la imagen pancromática, tomando como referencia el de la banda 1, imagen ‘Zona I’.

Antes de aplicar la transformación wavelet a las imágenes pancromática y multispectral, y con el fin de que los coeficientes de detalle tengan una información espectral lo más parecida posible a la de la multispectral, se equipara el histograma de la pancromática al de cada una de las bandas de la multispectral.

A partir de este punto se procede de forma similar a la indicada en el apartado ‘Alternativa 1’.

Análisis de resultados

Para cada procedimiento, se obtuvieron cuatro imágenes sintetizadas (una por banda). Estas imágenes sintetizadas, de 20m de resolución, se compararon con las multispectrales originales.

Visualmente, las imágenes sintetizadas son muy parecidas a las multispectrales originales.

De forma cuantitativa, se han estudiado diferentes parámetros para determinar la diferencia de información entre la imagen sintetizada y la original:

1.  $\overline{ND}_{original} - \overline{ND}_{fusionada}$  Valor ideal, cero.
2. Desviación estándar de la imagen diferencia (original-sintetizada). Valor ideal, cero.
3. Correlación entre la imagen original y la sintetizada. Valor ideal, uno.
4. Índice RASE (Relative Average Spectral Error), mejor cuanto más bajo:

$$RASE = \frac{100}{M} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (RMSE(B_i))^2}$$

donde  $M$  es la radiancia media de todas las bandas originales,  $N$  el número de bandas fusionadas y  $RMSE^2$  la suma de los parámetros 1 y 2 antes descritos, elevados al cuadrado. Para más información consultar Ranchin y Wald (2000).

		Método 1 'Zona I'	Método 2 'Zona I'	Método 3 'Zona I'
Diferencia de radiancia media entre original y sintetizada	B1	0,0035	0,0134	0,0002
	B2	0,0002	0,0010	0,0004
	B3	0,0019	0,0105	0,0050
	B4	0,0045	0,0019	0,0003
Desviación estándar (en radiancia ) de la imagen diferencia	B1	1,9160	1,5016	1,3726
	B2	1,5984	1,6103	1,6021
	B3	3,3241	3,0409	2,8067
	B4	0,5750	0,5984	0,5618
Coefficiente de correlación entre la imagen original y la sintetizada	B1	0,959	0,974	0,978
	B2	0,984	0,983	0,983
	B3	0,940	0,949	0,956
	B4	0,971	0,969	0,972
RASE		8,62%	7,486%	7,00%

Tabla 2. Resumen resultados correspondientes al análisis de calidad de las fusiones realizadas a la imagen ‘Zona I’.

En las tablas 2 y 3 se exponen los resultados de estos cuatro parámetros para las dos imágenes fusionadas, ‘Zona I’ y ‘Zona II’, siguiendo los procedimientos o métodos anteriormente expuestos.

		Método 1 'Zona II'	Método 2 'Zona II'
Diferencia de radiancia media entre original y sintetizada	B1	0,0023	0,0002
	B2	0,0000	0,0000
	B3	0,0044	0,0011
	B4	0,0011	0,0000
Desviación estándar (en radiancia ) de la imagen diferencia	B1	1,9902	1,5270
	B2	1,8526	1,8543
	B3	3,5797	3,0808
	B4	0,5773	0,5490
Coefficiente de correlación entre la imagen original y la sintetizada	B1	0,967	0,980
	B2	0,982	0,982
	B3	0,932	0,948
	B4	0,973	0,976
RASE		8,84%	7,7%

Tabla 3. Resumen resultados correspondientes al análisis de calidad de las fusiones realizadas a la imagen ‘Zona II’.

## BIBLIOGRAFÍA

- GARGUET-DUPORT, B., GIREL, J., CHASSERY, J. M. y PAUTOU, G. 1996. The use of Multiresolution Analysis and Wavelets Transform for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 62 (9), pp. 1057-1066.
- MALLAT, S. G. 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), pp. 674-693.
- MANGOLINI, M., RANCHIN, T. y WALD, L. 1992. *Procédé pour l'amélioration de la résolution spatiale d'images à partir d'autres images de meilleure résolution spatiale*, Patente Française n° 92-13961.
- RANCHIN, T. y WALD, L. 2000. Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images: The ARSIS Concept and Its Implementation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(1), pp. 49-61.
- WALD, L., RANCHIN, T. y MANGOLINI, M. 1997. Fusion of Different Spatial Resolution: Assessing the Quality of Resulting Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 63(6), pp. 691-699.
- YOCKY, D. A. 1996. Multiresolution Wavelet Decomposition Image Merger of Landsat Thematic Mapper and SPOT Panchromatic Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 62(9), pp. 1067-1074.