

COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE FUSIÓN DE IMÁGENES SPOT 4 MULTIESPECTRALES Y PANCROMÁTICAS

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

maria.audicana@unavarra.es

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

RESUMEN: La fusión de imágenes multiespectrales y pancromáticas es un proceso ampliamente utilizado por la naturaleza complementaria de estos datos. Se han desarrollado diferentes técnicas para fusionar imágenes de distinta resolución espacial, que permiten obtener imágenes fusionadas con resolución espacial mejorada, pero, en muchos casos, con baja calidad en cuanto a su contenido espectral, comparado con el de la multiespectral original. En este trabajo se han fusionado dos imágenes SPOT 4, multiespectral y pancromática por tres métodos distintos, el primero basado en la transformación IHS, el segundo en el Análisis de Componentes Principales y el tercero en las transformaciones wavelet. Las imágenes fusionadas obtenidas se han comparado con la multiespectral original. Esta comparación se ha basado en características espectrales y se ha realizado utilizando parámetros cuantitativos.

Palabras clave: fusión de imágenes, IHS, PCS, transformación wavelet.

ABSTRACT: The merging of multispectral and panchromatic images is becoming a widely used procedure because of the complementary nature of these data sets. 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. In this paper we present the results achieved using three different methods applied to SPOT 4 multispectral and panchromatic images. These three methods are the Intensity-hue-Saturation (IHS), Principal Component Analysis (PCA) and the Multiresolution Wavelet Transform procedures. The comparison of these methods is based on spectral characteristics and is made using quantitative parameters.

Key words: image fusion, HSI, PCS, wavelet transform.

INTRODUCCIÓN

La fusión de imágenes multiespectrales y pancromáticas es un proceso cada vez más usado por la naturaleza complementaria de estos datos (Chavez *et alii*. 1991). Las imágenes multiespectrales presentan mejor resolución espectral y en ocasiones, mayor resolución radiométrica, mientras que las pancromáticas proporcionan en general información más detallada, mayor resolución espacial.

La fusión de dos conjuntos de datos (imagen multiespectral e imagen pancromática) da lugar a un único conjunto de datos (imagen fusionada).

Idealmente, el método utilizado para fusionar imágenes multiespectrales y pancromáticas, debe permitir obtener una imagen fusionada cuya información espectral no varíe respecto a la multiespectral original (Chavez *et alii*. 1991).

El objetivo de esta comunicación es el de presentar los resultados obtenidos por tres métodos de fusión, aplicados a imágenes SPOT 4 multiespectral y pancromática. Los tres métodos utilizados han sido el método de la transformación Intensidad – Tono – Saturación (IHS), el del análisis de componentes principales (PCA) y el basado en el análisis multiresolución (MRA).

IMÁGENES DE TRABAJO

Las imágenes seleccionadas para realizar estas fusiones fueron captadas por el sensor HRVIR 2 del SPOT 4, el 4 de noviembre de 1999.

Cubren una superficie de 6km por 3km, que abarca en su totalidad el regadío de 'La Plana', situado en el municipio de Funes, al sudoeste de Navarra.



Figura 1. Degradación y remuestreo de las imágenes originales.

Para poder calibrar la bondad de los distintos métodos de fusión aplicados a las imágenes SPOT 4 multispectral y pancromática, se decidió degradar la resolución de la primera de 20m a 40m y la de la segunda de 10m a 20m (figura 1).

Para aplicar cualquier método de fusión de imágenes, éstas deben ser superponibles. Por ello, la multispectral de 40m (X') se georreferenció utilizando la pancromática de 20m (Pan') como imagen de referencia y se remuestreó a 20m de resolución espacial (X'').

De este modo se consigue que las imágenes fusionadas resultantes tengan una resolución espacial de 20m y puedan compararse con la multispectral original.

FUSIÓN DE IMÁGENES SPOT MULTIESPECTRALES Y PANCROMÁTICAS

Método IHS

Este es uno de los métodos más empleados para fusionar imágenes captadas por distintos sensores (Chavez *et alii.* 1991). Hace casi 20 años, Haydn *et alii.* (1982), fusionaron imágenes Landsat MSS (Multispectral Scanner) con imágenes RBV (Return Bean Vidicom) utilizando el método IHS. En 1987, Thormodsgard y Feuguay fusionaron imágenes SPOT pancromáticas y multispectrales utilizando el mismo método.

La transformación HSI se realiza partiendo de una composición RGB, lo que implica que la fusión se podrá aplicar únicamente a tres de las bandas de la imagen multispectral. Para la imagen 'La Plana', se ha calculado cual es la combinación de bandas que maximiza el denominado 'Índice óptimo' (Optimum Index Factor, OIF)

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 s_k}{\sum_{j=1}^3 r_j}$$

donde s_k representa la desviación estándar de las tres bandas que intervienen en la composición, y r_j el coeficiente de correlación entre cada par de bandas. (Chavez *et alii.* 1982)

Los resultados obtenidos indican que la combinación 234 es la que recoge mayor la proporción de la información total de la imagen original.

En primer lugar (figura 1), las tres bandas de la composición RGB se transforman en los correspondientes componentes IHS, Intensidad, Tono y Saturación.

A continuación, el histograma de la imagen pancromática se equipara al de la imagen intensidad, de forma que sus medias y varianzas sean aproximadamente iguales (Chavez *et alii.* 1991), y se reemplaza la imagen intensidad por la imagen pancromática modificada. Aplicando la transformación inversa de componentes HSI a RGB, se obtienen las nuevas bandas fusionadas ($X_{2\text{fus}}$, $X_{3\text{fus}}$ y $X_{4\text{fus}}$)

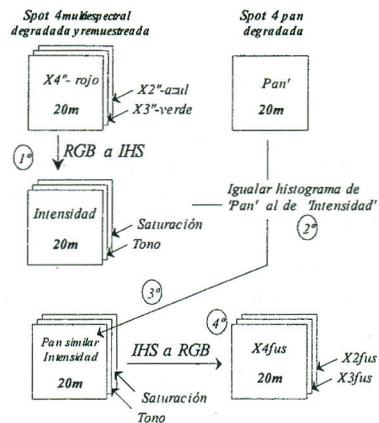


Figura 2. Fusión mediante el método IHS de imágenes SPOT 4 multispectral y pancromática.

Método PCA

En el método de Análisis de Componentes Principales (PCA), el número de bandas de la imagen multispectral a fusionar, en contra de lo que ocurre con el método IHS, no está limitado.

En el caso de la fusión de imágenes SPOT 4 multispectral y pancromática, las cuatro bandas de la imagen multispectral original constituyen los datos de entrada para la aplicación del PCA.

Como resultado de este proceso, se obtienen cuatro nuevas imágenes, no correlacionadas entre sí, las componentes principales (figura 2). La primera componente principal recoge la información que es común a todas las bandas multispectrales, mientras que la informa-

ción espectral específica de cada banda se recoge en el resto de componentes principales (Chavez y Kwarteng, 1989).

A continuación, se equipara el histograma de la imagen pancromática al de la primera componente principal.

Finalmente, se sustituye la primera componente principal (por ello habitualmente a este método se le denomina Principal Component Substitution, PCS), por la imagen pancromática modificada y al conjunto de esta imagen pancromática y los componentes principales restantes (CP2, CP3 y CP4) se le aplica el análisis inverso, de forma que se obtienen cuatro nuevas bandas, la X1fus,..., X4fus.

Transformaciones Wavelet

En este caso, la fusión no se realiza al conjunto de bandas de la imagen multispectral, sino que se realiza separadamente, banda a banda.

Las transformaciones wavelet permiten descomponer una imagen de resolución espacial 'r' en una imagen de aproximación y unos coeficientes de detalle. Si la transformación es de orden 1, la imagen original de resolución 'r', se descompondrá en una imagen de aproximación, de resolución 'r/2' y tres coeficientes de detalle horizontal, vertical y diagonal, que recogen la diferencia de información entre la imagen original, y la imagen aproximación. A esta fase se le denomina 'de análisis'.

Si se invierte el proceso, fase 'de síntesis', la imagen original podrá reconstruirse a partir de la imagen aproximación y los coeficientes de detalle que recogen la diferencia de información entre la imagen aproximación, de resolución 'r/2' y la original, de resolución 'r' (Mallat, 1989).

Teóricamente, la transformación wavelet de una función o de unos datos se realiza empleando una función wavelet (ψ) determinada y su correspondiente función de escala asociada (ϕ). Pero la implementación práctica de la transformación wavelet discreta (DWT) no se realiza utilizando directamente las funciones de escala (ϕ) y wavelet (ψ), 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.

Los filtros "g" y "h" se aplican separadamente a las filas y columnas de la imagen.

En este caso, se han empleado los filtros asociados a la función wavelet definida por Daubechies (1992), denominada 'db2', y sus coeficientes son:

Filtro "h": -0.0915, 0.1585, 0.5915, 0.3415

Filtro "g": -0.3415, 0.5915, -0.1585, -0.0915

Para una explicación más completa, consultar la ponencia "Fusión de imágenes de diferente resolución espacial utilizando el análisis multiresolución y las transformaciones wavelet".

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 cada una de las bandas de la imagen multispectral, se iguala el histograma de la pancromática al de cada una de las bandas de la multispectral.

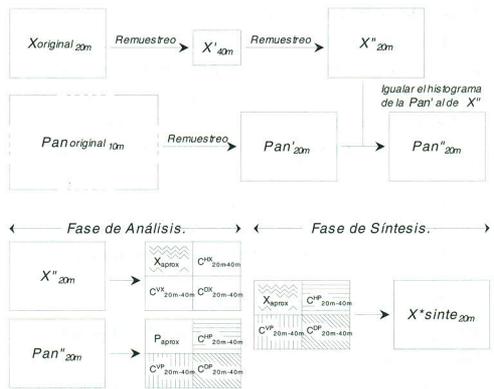


Figura 3. Fusión de imágenes SPOT 4, multispectral y pancromática, por el método del MRA y las transformaciones wavelet.

A continuación (figura 3) se aplica la transformación (en este caso de orden uno) wavelet a cada banda de la imagen multispectral y a su correspondiente pancromática modificada, y se obtienen las imágenes de aproximación, los coeficientes de detalle.

Utilizando el coeficiente de aproximación de la banda multispectral y los coeficientes de detalle de la pancromática, obtenemos la imagen sintetizada, o fusionada, correspondiente a cada banda de la multispectral.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las imágenes fusionadas obtenidas en cada caso se han comparado con la imagen multispectral original, para determinar qué método, permite obtener una imagen fusionada que, además de mejorar su resolución es-

pacial, mantenga o conserve la información espectral de la multispectral original.

		IHS-432	Comp.	MRA
			Principales	Wavelets
Diferencia de radiancia media entre original y 'fusionada'	B1	-	0,1580	0,0002
	B2	-0,9796	0,2176	0,0004
	B3	0,2849	0,1220	0,0050
	B4	-0,0644	0,0578	0,0003
Desviación estándar (en radiancia) de la imagen diferencia 'original' y 'fusionada'	B1	-	2,5410	1,3726
	B2	3,6025	3,3583	1,6021
	B3	6,6818	3,3715	2,8067
	B4	1,1821	0,9776	0,5618
Coeficiente de correlación entre imagen 'original' y 'fusionada'	B1	-	0,933	0,978
	B2	0,929	0,940	0,983
	B3	0,683	0,935	0,956
	B4	0,874	0,919	0,972
$\Sigma RMSE^2$		59,880	30,147	12,644
RASE		18,57%	10,81%	7,00%
Píxeles con ND de -5 a 5, en la imagen diferencia 'original' y 'fusionada'	B1	-	9,7%	29,87%
	B2	6,77%	6,24%	24,60%
	B3	7,53%	9,66%	18,32%
Píxeles con ND de -1 a 1, en la imagen diferencia 'original' y 'fusionada'	B1	-	45,31%	75,85%
	B2	26,20%	29,32%	65,38%
	B3	28,80%	44,78%	54,16%
	B4	22,46%	27,51%	52,00%

Tabla 1. Resultados correspondientes al análisis de calidad de las diferentes fusiones realizadas a la imagen de 'La Plana', por distintos métodos.

Se han estudiado varios parámetros cuantitativos para determinar la diferencia de información espectral entre las imágenes fusionadas y la original y con ello, la calidad de las fusiones realizadas.

1. $\overline{ND}_{original} - \overline{ND}_{fusionada}$. Ideal, cero.
2. Desviación estándar de la imagen diferencia (original-fusionada). Ideal, cero.
3. Correlación entre la imagen original y la sintetizada. 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 el $RMSE^2$ la suma de los parámetros 1 y 2 antes descritos, elevados al cuadrado. Para más información consultar Ranchin y Wald (2000).

5. Porcentaje de píxeles con valores entre -1 y 1 en la imagen diferencia (original-fusionada). Mejor cuanto más alto sea este parámetro.

6. Porcentaje de píxeles con valores entre -5 y 5 en la imagen diferencia (original-fusionada). Mejor cuanto más alto sea este parámetro.

El método de fusión de imágenes basado en el MRA y las transformaciones wavelet es el que permite obtener imágenes fusionadas, en las que la mejora en la resolución espacial conlleva una menor variación en la información espectral respecto de la multispectral original, tal y como puede apreciarse en los resultados obtenidos para los 6 parámetros de calidad antes descritos, y que hemos recogido en la tabla 1.

BIBLIOGRAFÍA

- CHAVEZ, P., BERLIN, G. L. y SOWERS, L. B., 1982. Statistical methods for selecting Landsat MSS ratios, *Journal of Applied Photographic Engineering*, vol. 8, pp. 23-30.
- CHAVEZ, P. y KWARTENG, A. Y., 1989. Extracting spectral contrast in Landsat TM image data using selective principal componen analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55(3), pp. 339-348.
- CHAVEZ, P., SIDES, S. C. y ANDERSON, J. A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: TM & SPOT pan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 57(3), pp. 295-303
- DAUBECHIES, I. 1992. *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- 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.
- 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.