

Determinación objetiva del nivel de degradación para la fusión de imágenes IKONOS mediante el algoritmo *à trous* ponderado

Consuelo Gonzalo⁽¹⁾ y Mario Lillo-Saavedra⁽²⁾

⁽¹⁾Dep. de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Madrid. Campus de Montegancedo. 28660 Boadilla del Monte. Madrid. chelo@fi.upm.es

⁽²⁾ Departamento de Mecanización y Energía, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Chillán, Avd. De Vicente Méndez s/n, Chile. malillo@udec.cl

Resumen

El objetivo de este trabajo es investigar la dependencia de la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas, aplicando la transformada Wavelet mediante el algoritmo *à trous* ponderado, respecto al nivel de degradación al que se deben someter las imágenes fuente. Los indicadores que se han utilizado para determinar estos niveles, han sido la entropía de los coeficientes de la imagen *PAN*, utilizados en el proceso de fusión; así como los índices ERGAS espacial y espectral de las imágenes fusionadas, su valor medio y desviación estándar. Los resultados obtenidos han mostrado que no es necesario realizar un elevado número de degradaciones, para obtener una “buena” imagen fusionada. En concreto, para los datos utilizados en este trabajo, se ha mostrado que la “mejor imagen fusionada” se obtiene para un nivel de degradación de las imágenes fuente igual a 4.

1. Introducción

La metodología de fusión basada en la transformada de Wavelet, utilizando el algoritmo *à trous* (“con hoyos”) (TWA) [1], presenta dos ventajas fundamentales respecto a los algoritmos de tipo piramidal, tales como el de Wavelet Mallat, por un lado es independiente de la direccionalidad del proceso de filtrado y por otro es redundante. Además desde el punto de vista de su implementación, el algoritmo TWA es muy simple, dado que únicamente implica operaciones algebraicas elementales, tales como productos, sumas y diferencias.

Ahora bien, este método de fusión, al igual que otros métodos, considerados estándares, no permite un control de la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas. De tal forma que si la calidad espectral de una imagen fusionada es muy alta, su

calidad espacial es baja y vice-versa. En este sentido, se ha propuesto una nueva versión ponderada de la estrategia de fusión basada en el algoritmo *à trous* que permite establecer un compromiso objetivo entre la calidad espectral y espacial de las imágenes fusionadas [2 y 3].

Por otro lado, un aspecto que queda indefinido en los métodos de fusión de imágenes mediante cualquiera de las técnicas multiresolución, es la selección del número de planos Wavelet, provenientes de la imagen pancromática que deben ser integrados en el *n*-ésimo nivel de degradación, de la imagen multispectral, para así obtener imágenes fusionadas con calidad espacial y espectral altas y equilibradas.

2. Planteamiento del problema

Con objeto de determinar la influencia del nivel de degradación, *n*, al que se deben someter las imágenes fuente, así como del número de planos Wavelet (*W*) que se integran, en la calidad de las imágenes fusionadas, recientemente se han propuesto y analizado cinco esquemas de fusión [3]. En dicho estudio se ha mostrado que el mejor equilibrio entre la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas, se obtiene cuando ambas imágenes fuente se degradan el mismo número de niveles. Partiendo de esta idea, la cuestión que queda por resolver es cuántas veces se deben degradar las imágenes fuente para mejorar el resultado del proceso de fusión, logrando un compromiso adecuado entre la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas.

En este sentido, el objetivo de este trabajo es investigar la dependencia de la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas, mediante el algoritmo *à trous* ponderado, así como del compromiso entre las citadas calidades, respecto al nivel de degradación de las imágenes fuentes.

3. Metodología

La metodología de fusión empleada en este trabajo se representa de una manera formal en la ecuación (1):

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

Donde, los índices i y $j+n$ representan el número de bandas y el nivel de degradación de la imagen multiespectral (*MULTI*), respectivamente; W corresponde al número de planos Wavelet a integrar desde la imagen pancromática (*PAN*) a la imagen *MULTI*; $C_{PAN_k}^i(x, y)$ son los coeficientes Wavelet de la imagen *PAN*; y α representa los factores de ponderación de dichos coeficientes, de tal forma que para $\alpha=1$, se tiene el algoritmo clásico de fusión, basado en la transformada Wavelet, mediante el algoritmo *à trous* y para $\alpha \neq 1$, este mismo algoritmo, pero ponderado [2]. La ponderación de la cantidad de información aportada por la imagen *PAN* a la imagen *MULTI*, permite controlar de una forma objetiva el compromiso entre la calidad espacial y espectral de la imagen resultante del proceso de fusión.

En primer lugar y con objeto de investigar como varía la cantidad de información de la imagen fusionada, medida en términos de entropía, respecto a la cantidad de información aportada por las imágenes fuente, para diferentes niveles de degradación, se propone evaluar la entropía de las imágenes fusionadas, de las *MULTI* degradadas y del promedio de los coeficientes de la imagen *PAN*, utilizados en el proceso de fusión.

Posteriormente se evaluará la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas, así como el compromiso entre ellas, para diferentes valores de n , mediante el cómputo de los correspondientes índices *ERGAS*. El espectral definido por Wald [4]:

$$ERGAS_{espectral} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N^o \text{ Bandas}} \sum_{i=1}^{N^o \text{ Bandas}} \left(\frac{RMSE_{espectral}(Bandas_i)^2}{(MULTI_i)^2} \right)} \quad (2)$$

Donde h y l son las resoluciones espaciales de las imágenes fuente, *MULTI* y *PAN*, respectivamente. En la literatura [4], se ha propuesto que un valor de *ERGAS* menor que tres indica que la calidad de la imagen fusionada es buena, alcanzándose el valor de cero para una imagen ideal, cuya calidad espectral fuera idéntica a la de la imagen fuente de alta resolución espectral.

Y el índice *ERGAS* espacial definido por Lillo *et al* [3].

$$ERGAS_{espacial} = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N^o \text{ Bandas}} \sum_{i=1}^{N^o \text{ Bandas}} \left(\frac{RMSE_{espacial}(Bandas_i)^2}{(PAN_i)^2} \right)} \quad (3)$$

donde PAN_i es la imagen obtenida al ajustar el histograma de la imagen *PAN* original, al histograma de la banda i -ésima de la imagen *MULTI*. $RMSE_{espectral}$ está inspirado en su equivalente espectral:

$$RMSE_{espectral}(Band_i) = \frac{1}{NP} \sqrt{\sum_{k=1}^{NP} (PAN_i(k) - FUS_i(k))^2} \quad (4)$$

NP representa el número de píxeles de las imágenes PAN_i y FUS_i .

Dado que un mayor valor de n supone una mayor degradación de las imágenes fuentes y por lo tanto un mayor número de coeficientes Wavelet a integrar en la imagen fusionada, cabría esperar que la calidad espacial de las imágenes fusionadas aumentara con el valor de n y contrariamente, la calidad espectral fuera disminuyendo. En este sentido, se puede presumir la existencia de un valor de n en el que se igualen la calidad espacial y espectral. Sin embargo, esto solo se cumple para $\alpha=1$; ya que para $\alpha \neq 1$, el compromiso entre los índices *ERGAS* se mantendrá para todos los valores de n . Por lo tanto, lo que habrá que determinar es el valor de n para el cual el valor promedio de los índices y su desviación sean mínimos.

4. Resultados

La metodología descrita en la sección anterior se ha aplicado a una escena (1600 m²) de las imágenes registradas el día 10 de Marzo de 2000, por los sensores pancromático y multiespectral del satélite IKONOS. Geográficamente esta zona, está ubicada en el cajón del Maipo, localizada en las proximidades de Santiago de Chile. Las Figuras 1 a) y b) muestra las imágenes fuente (*MULTI* y *PAN*) correspondientes a esa escena.

Los resultados obtenidos al evaluar la variación de la entropía de las imágenes fusionadas, y las imágenes fuentes respecto al nivel de degradación, n , se muestran en la Figura 2. Se puede observar, como la cantidad de información aportada por la imagen *PAN* a la imagen fusionada, disminuye en los primeros niveles, hasta $n=4$, aumentando a partir de este valor. Este comportamiento es debido a la ponderación de los coeficientes Wavelet de la *PAN*. Otro aspecto a señalar, es el efecto de saturación que la entropía de las imágenes fusionadas presenta para valores de n superiores a 4. Es decir, aun cuando se llevará a cabo un número mayor de niveles de degradación, ello no implicaría un aumento en la cantidad de información contenida en las imágenes fusionadas.

a)



b)



c)



Figura 1: a) Composición RGB de la imagen MULTI original; b) Imagen PAN. c) Composición RGB de una imagen fusionada con $n=4$

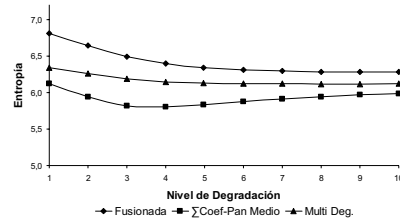


Figura 2: Variación de la entropía con n

Con el objeto de determinar el nivel de degradación que proporcione las imágenes fusionadas con mejor calidad, se han realizado numerosos experimentos de fusión variando n desde 1 hasta 10. En la Tabla 2, se muestran los índices *ERGAS*, tanto espacial como espectral, así como su valor medio y desviación típica para todas las imágenes fusionadas.

El análisis de los valores representados en la Tabla 2, inferiores en todos los casos a 3, indica que cualquiera de las imágenes fusionadas en este trabajo, mediante el algoritmo *à trous* ponderado, presenta una muy buena calidad, tanto espacial como espectral. Ahora bien, dado que el valor mínimo se ha obtenido para $n=4$, el proceso de fusión llevado a cabo en este nivel de degradación, sería el que proporcionaría la imagen fusionada de mejor calidad. Esta imagen se muestra en la Figura 1 c). Comparando la imagen mostrada en esta Figura, con la *MULTI* original (Figura 1 a)), se puede apreciar como manteniendo los colores, se obtiene una importante mejora desde el punto de la calidad espacial, muy próxima a la de la imagen *PAN*.

Tabla 2: Valores de *ERGAS*

n	Espacial	Espectral	Promedio	Desviación
1	1,4774	1,3876	1,4325	0,0635
2	1,1536	1,1545	1,1541	0,0006
3	1,0512	1,0521	1,0517	0,0006
4	1,0458	1,0466	1,0462	0,0006
5	1,0774	1,0788	1,0781	0,0010
6	1,1235	1,1247	1,1241	0,0009
7	1,1745	1,1753	1,1749	0,0006
8	1,2267	1,2273	1,2270	0,0004
9	1,2790	1,2797	1,2794	0,0005
10	1,3323	1,3329	1,3326	0,0004

Por otro lado, cabe mencionar que los valores casi nulos de la desviación entre el índice *ERGAS* espacial y espectral, indican el alto compromiso existente entre la calidad espacial y espectral de las imágenes fusionadas, mediante el método *à trous* ponderado, como se puede visualizar en la Figura 3. En esta Figura, se representan las curvas de *ERGAS* (espacial y espectral) y su valor promedio, al variar el nivel de degradación, n , entre 1 y 10.

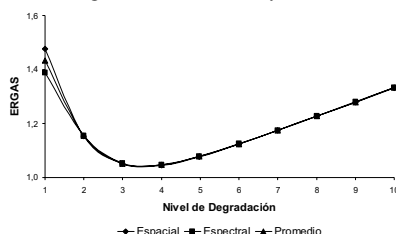


Figura 3: Variación de los índices de calidad *ERGAS* (espacial y espectral), de su valor promedio y desviación típica con n

5. Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la influencia del nivel de degradación al que se someten las imágenes fuentes, para obtener una imagen fusionada mediante la transformada Wavelet, calculada con el algoritmo *à trous* ponderado, en la calidad final de esta imagen.

Una de las conclusiones que se pueden derivar de los resultados obtenidos, es que no es necesario llevar a cabo un elevado número de degradaciones de las imágenes fuentes, para obtener imágenes fusionadas de muy buena calidad, así como un buen equilibrio entre la calidad espacial y espectral de dichas imágenes.

Además, se ha mostrado que la variación de la entropía de la imagen fusionada con el nivel de degradación, presenta un efecto de saturación,

pudiendo ser a priori, el valor de n para el cual se produce dicho efecto, un buen indicador del nivel de degradación más adecuada para la fusión.

La coincidencia en el nivel de degradación obtenido mediante la evaluación de la entropía y la medida de la calidad de la imagen fusionada mediante el método ponderado, indica que este método implica un control muy adecuado de la cantidad de información aportada por cada una de las imágenes fuentes a la imagen fusionada.

6. Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo bajo la financiación de las Universidades Politécnica de Madrid y Concepción de Chile, mediante los Proyectos AL2004-1001-2.55 y DIUC 204.131.007-1.0.

7. Referencias

- [1] Dutilleul, P., "An Implementation of the Algorithm *à trous* to Compute the Wavelet Transform", *Compt-rendus du congrès ondelettes et méthodes temps-fréquence et espace des phases*, Marseille, Springer-Verlag., 298-304. 1987
- [2] Gonzalo, C., y Lillo, M., "Customized Fusion of Satellite Images Based on a New *à trous* Algorithm", *Image and Signal Processing for Remote Sensing*, vol. 5573, 444-451, Bellingham, WA, 2004.
- [3] C. Gonzalo y M. Lillo-Saavedra, "Control de la calidad espacial y espectral de imágenes de satélite fusionadas mediante el algoritmo wavelet *à trous*", *Revista de Teledetección*, nº 22, diciembre, 2004.
- [4] Wald, L., "Data Fusion, Definition and Architectures: Fusion of Image of Different Spatial Resolution", *Le Presses de l'École des Mines*, Paris, 2002.