

Estudio de la información aportada por las imágenes radar ERS-1.SAR.PRI a las TM para la identificación de cultivos

A. Lobo¹, O.Chic¹, A. Casterad² y L. Solé¹

¹ Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera". CSIC. C/ Solé Sabarís s/n 08028 Barcelona.

² Servicio de Investigación agraria. Unidad de suelos y riegos. Diputación general de Aragón. 50080 Zaragoza.

RESUMEN

La riqueza textural de las imágenes radar puede ser una valiosa ayuda para la identificación de cultivos, normalmente llevada a cabo mediante imágenes de sensores ópticos como el 1M. Se ha realizado un estudio de la información añadida por la imagen SAR.PRI al conjunto multispectral TM a partir del análisis de las componentes principales de una escena de superficie agraria de Aragón. La primera componente principal es prácticamente igual a la imagen radar, y representa un 14% del total de la variabilidad del conjunto de imágenes TM/SAR, un valor similar al de la segunda componente principal, dominada por el infrarrojo cercano. Asimismo, la correlación de la imagen SAR con las bandas TM es muy baja, indicando una aportación de información potencialmente original. Esta baja correlación no es causada ni por una relación no lineal ni por el speckle del radar. La evaluación de la relevancia de esta información aportada por el radar en el caso concreto de la discriminación de cultivos se lleva a cabo actualmente. Con este fin se ha procedido a segmentar la imagen TM y nos proponemos añadir estadísticos calculados a partir de la imagen SAR a los calculados a partir de las bandas TM en un proceso de análisis discriminante de las facetas resultantes de la segmentación. Esperamos aumentar la significación del análisis discriminante y la calidad de la cartografía derivada de éste gracias a la información textural aportada por el SAR.

PALABRAS CLAVE: Teledetección multisensorial, sinergia TM-SAR, análisis de componentes principales, segmentación.

ABSTRACT

Radar images may improve discrimination of crops done with remotely-sensed optical imagery. We have conducted an evaluation of the information added by a SAR.PRI image to a TM multispectral image over an agricultural scene in Aragon (Spain). A Principal Component Analysis of the multisensorial set shows that the 3rd Principal Component is almost identical to the SAR image and represents a 14 % of the total variance. This value is similar to the one of the 2nd Principal Component, dominated by the TM near infrared band. Correlation between the SAR image and the TM bands is very low, which indicates original information. This low correlation is not due to non-linear relationships nor to the presence of speckle in the SAR image. We are currently evaluating whether this unique information contained by the radar image is of real use in terms of discrimination of agricultural fields. For this, we have segmented the TM image and we will include radar statistics along with TM statistics in the discriminant analysis of the facets.

KEY WORDS: Multisensorial remote sensing, synergy TM-SAR, principal component analysis, segmentation

INTRODUCCIÓN

Algunas desventajas de las imágenes ópticas, como la baja resolución textural asociada a un elevado valor mínimo de energía necesaria para la formación de la imagen, la imposibilidad de captación de imágenes nocturnas y la no penetración de nubes ni de algunos aerosoles son superadas por los sensores radar. Estos utilizan longitudes de onda centimétricas, por lo que son muy sensibles a la información textural (Ulaby, F. T. et al, 1986) e independientes, en gran medida, de las condiciones

atmosféricas complementando la información de los sensores ópticos.

Sin embargo, estos sensores también presentan problemas técnicos específicos. El *speckle* (Goodman, J. W., 1976) es un moteado que aparece en la imagen debido a las interferencias creadas por la retrodispersión de los diferentes reflectores insertos en la misma célula de resolución (London, R. 1973). Se puede modelar como un ruido multiplicativo (Tur, M. et al, 1982) que modula la información textural propia de la imagen, disminuyendo las posibilidades de discriminación.

Asimismo, existen en las imágenes radar distorsiones geométricas importantes (*layover* y *foreshortening*) en zonas de elevada pendiente, debidas a la propia geometría de formación de la imagen en sensores activos.

En general, puede decirse que la modelización de los mecanismos de retrodispersión está insuficientemente desarrollada. Además, la implementación de radares multifrecuenciales y multipolarizadores sólo se ha desarrollado a nivel de plataformas aerotransportadas.

Por estas razones tiene sentido plantearse el uso de la información de sensores SAR como complementaria y no como sustitutiva de las imágenes de sensores ópticos multibanda. Este trabajo se propone una evaluación formal de la ganancia de información que representa añadir información del sensor SAR del ERS-1 a una imagen TM sobre una escena de motivo agrícola en Aragón.

IMAGENES UTILIZADAS

Se ha utilizado una imagen SAR.PRI de ERS-1 (fig.1) del 15 de Julio de 1993 enmarcada en la zona de regadío del Humen(Aragón) y una imagen TM del 12 de Julio de 1993.

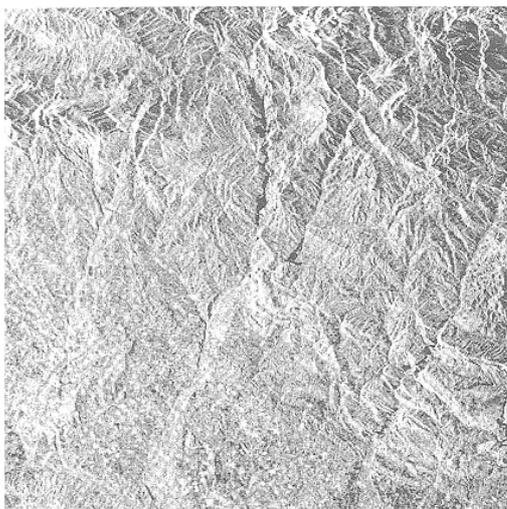


Figura 1. Imagen SAR.PRI original.

PROCESADO DE LAS IMAGENES RADAR

La correcta interpretación de las imágenes radar SAR.PRI exige conocer las diferentes fases del procesado realizadas sobre éstas, es decir, cómo se ha realizado la conversión de la señal recibida por el sensor a imagen (Leberl, F. W. 1990). Hay una primera fase de focalización e integración de datos (*focusing and matched filter integration*) que permite dotar al SAR de una resolución en azimut (la dirección del movimiento del satélite) comparable a la resolución en rango (dirección perpendicular a la del movimiento del satélite), además de corregir algunas deformaciones geométricas producidas en

la captación de la señal. La segunda fase, la de detección (*detection*), produce una reducción de la información con la pérdida de la fase. Las imágenes son codificadas en amplitud y sus valores digitales son proporcionales a la raíz cuadrada de la intensidad, hecho que habrá de ser tenido en cuenta puesto que las estadísticas de las imágenes SAR en amplitud o en intensidad son distintas. La tercera fase consiste en el promediado de varias de estas amplitudes (*looks*) correspondientes a distintas realizaciones o muestras en azimut sin superposición total entre ellas. A cambio de una disminución en la resolución se consigue una reducción del *speckle*. Aunque el *speckle* se puede considerar como información, esta es difícilmente interpretable y el efecto de granulosidad que confiere a la imagen hace difícil posteriores tratamientos como la georreferenciación. En esta fase se consigue una imagen con una resolución de aproximadamente 30 m en azimut y de 33 m en rango. La última fase del procesado es un remuestreo (*oversampling*) a 12.5 m x 12.5 m, conteniendo cada pixel información redundante.

Un hecho destacable de las imágenes radar, es la presencia de reflectores angulares (*corner reflectors*) que en la imagen aparecen como píxeles de nivel de gris por encima, aproximadamente, de 800. Cuando alguno de estos reflectores se presenta aislado en una zona de la imagen de baja reflectividad se dan las circunstancias ideales para simular la respuesta impulsional del sistema (*point spreadfunction*) sobre la misma imagen (fig.2). La presencia del *speckle*, sin embargo, nos aleja de tener la respuesta impulsional ideal de un sistema lineal.



Figura 2. Imagen de un reflector angular.

CODIFICACION A 8 BITS DE LA IMAGEN RADAR

Las imágenes SAR.PRI están codificadas a 16 bits con un rango dinámico de 0 a 32767. Para tratamientos digitales posteriores y, sobre todo, para la visualización de las imágenes, es conve-

niente algunas veces, reescalar la información radar a 8 bits. Una linearización teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de la imagen radar no da buenos resultados ya que el histograma original es muy asimétrico (fig.3). Los histogramas de las imágenes radar se pueden dividir en dos zonas bien diferenciadas desde el punto de vista de interpretación de imagen. Los valores de gris inferiores, que van hasta los valores de gris 800-1000, corresponden al grueso de la información textural de la imagen. La parte restante, hasta valores digitales de 15000 aproximadamente, lleva la información correspondiente a los reflectores angulares. Si se desea estudiar la respuesta impulsional se tendrá que analizar esta parte del histograma y trabajar con los valores originales de la imagen. Una reducción a 8 bits con poca pérdida de información relevante se obtiene haciendo una transformación logarítmica que convierte el histograma en gaussiano seguida de una transformación lineal entre 1.98 desviaciones típicas alrededor de la media (fig.4). Otra transformación posible es hacer una linearización del 99% con una saturación del 1 % por la parte alta del histograma. Este reescalado es equivalente a considerar que los valores de los reflectores angulares se sitúan a partir de la media y dos desviaciones estándar aproximadamente.

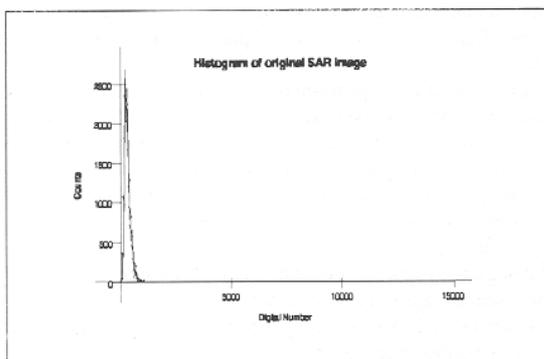


Figura 3. Histograma de la imagen original.

GEORREFERENCIACION

Se ha referenciado la imagen radar referida a la imagen TM ya georreferenciada. La tarea de encontrar puntos homólogos entre las imágenes radar y las TM/LANDSAT es muy engorrosa debido a la distinta interpretación que tienen los niveles de gris en ambas imágenes y a la importante presencia de *speckle* en la imagen radar. Filtrar inicialmente el *speckle* usando alguno de los filtros de tipo adaptativo (Lee) o de *maximum a posteriori* (Lopes, A. et al, 1993) (MAP) para facilitar la tarea de reconocimiento de puntos homólogos no constituye una gran mejora en la identificación de puntos en la imagen radar. Como imagen óptica de referencia la segunda componente principal del conjunto multispectral TM ha sido la más útil. Los puntos de control escogidos son principalmente cruces de carreteras, ya que incluso bordes de

lagos y cursos de agua ocasionan problemas debido a la original sensibilidad del SAR a la humedad. Además, se han incluido los cinco puntos que vienen en la cabecera de la imagen (el centro y los cuatro extremos). Una ayuda notable para la detección de los puntos homólogos entre ambas imágenes es utilizar la correlación entre ventanas. Este algoritmo debe tener en cuenta el posible giro relativo entre las imágenes, por lo que es conveniente corregir primero el giro mediante una transformación de primer orden. Hay que hacer notar que la propia rectificación de la imagen radar implica una reducción de *speckle* por cuanto se está haciendo un promedio, operación básica en todos los filtrados *despeckle* (Chic, O and Solé, L., 1994).

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Una primera evaluación del aporte de información del radar al conjunto multispectral puede llevarse a cabo por medio de un análisis de componentes principales. Para ello se ha seleccionado un área de trabajo de 256 x 256 píxeles. La tabla 1 presentada, es la matriz de correlaciones entre las bandas ópticas y la imagen radar. La baja correlación entre las bandas ópticas y la imagen radar indica complementariedad entre las informaciones procedentes de ambos tipos de imagen.

El análisis de componentes principales se ha llevado a cabo (i) sobre el conjunto multispectral de las imágenes ópticas del TM, y (ii) sobre el conjunto multisensorial resultante de añadir la imagen SAR a las TM. Las tablas 2 y 3 sumarizan ambos análisis. Los pesos de las bandas individuales en las Componentes Principales Primera (CP1) y Segunda (CP2) de ambos conjuntos son muy similares, pero debe notarse que ambas componentes suman el 92.5% de la varianza total en el conjunto óptico contra el 79.4% del multisensorial. Ello es debido a que la información del SAR se concentra principalmente en la Tercera Componente Principal (CP3) del conjunto multisensorial, con un porcentaje de varianza casi igual al de la segunda y muy superior al de la CP3 del conjunto óptico. De la tabla 2 también se concluye que la contribución de la imagen SAR al conjunto de la varianza es

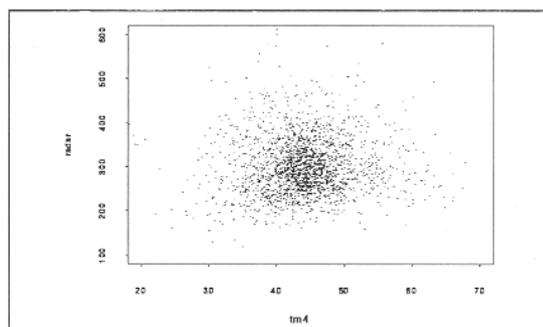


Figura 5. Representación gráfica de la TM4 y la imagen radar. correlación entre el canal

similar a la del infrarrojo cercano. Todas estas observaciones son indicativas de que la información aportada por el radar es original y puede ser importante para mejorar las discriminaciones de coberturas.

TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	SAR
1	0,959755	0,941344	-0,14101	0,768927	0,862853	-0,01065
0,959755	1	0,969634	-0,13514	0,745265	0,858311	-0,0109
0,941344	0,969634	1	-0,19475	0,805816	0,892197	-0,00386
-0,14101	-0,13514	-0,19475	1	0,969634	-0,09535	-0,00407
0,768927	0,745265	0,805816	0,069634	1	0,935847	0,008619
0,862853	0,858311	0,892197	-0,09535	0,935847	1	-0,00029
-0,01065	-0,0109	-0,00386	-0,00407	0,008619	-0,00029	1

Tabla 1. Matriz de correlaciones entre las Imágenes TM y SAR

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
% varianza	75,25	17,3	5,57	0,95	0,7	0,25
TM1	-0,445097	0,036311	-0,36581	-0,77266	0,163646	0,194198
TM2	-0,45112	0,038981	-0,44797	0,260465	-0,19357	-0,69927
TM3	-0,45918	0,078335	-0,20745	0,575371	0,299923	0,564781
TM4	0,064817	-0,96267	-0,23826	0,039972	-0,05533	0,087365
TM5	-0,41834	-0,24467	0,636422	-0,03709	0,513935	-0,30755
TM7	-0,45063	-0,06651	0,400831	-0,03361	-0,76066	0,228267

Tabla 2. Resultado del análisis de componentes principales del conjunto multispectral TM

Debe tenerse en cuenta que el efecto del *speckle* disminuye enormemente la importancia de un único píxel de una imagen radar, por lo que el análisis anterior pudiera ser cuestionable. Según la propia documentación de la ESA el coeficiente de retrodispersión solo es significativo si se extrae de 500 píxeles, aunque otros autores rebajan un poco este umbral y lo sitúan en 300 píxeles. Para intentar dilucidar si la mencionada baja correlación es debida al *speckle*, se repitió el análisis con la imagen SAR suavizada por un filtro de media por facetas obtenidas del proceso de segmentación que se menciona en el apartado siguiente. La tabla 4 recoge la matriz de correlación correspondiente. Debe notarse un cierto aumento de la correlación entre el radar y las imágenes ópticas, lo que indica que parte de la "originalidad" del radar tal y como aparece en la tabla 3, es debida al *speckle*. De todas formas, la correlación sigue siendo muy baja, lo que hace esperar una aportación notable del radar al proceso de discriminación. La figura 5 muestra que las mencionadas bajas correlaciones lineales no esconden relaciones no lineales. En la tabla 2 se han incluido los porcentajes de varianza de cada una de las componentes principales con la imagen SAR suavizada. Estos valores indican un incremento del porcentaje de varianza contenido en las dos primeras componentes y un descenso en las cuatro últimas, mientras que la CP3 (a la cual el SAR contribuye casi en exclusiva) desciende sólo un 0.28%.

Por tanto, de estos dos análisis podemos concluir:

1. La imagen SAR tiene una correlación muy baja con todas las bandas TM.
2. En el análisis de las componentes principales del conjunto TM/SAR, la información del SAR se concentra casi exclusivamente en la tercera componente principal. El tanto por ciento de varianza de esta CP3 es casi tres veces mayor que el de la misma componente principal en un análisis que no incluya el SAR.
3. La imagen SAR aporta al conjunto TM/SAR un porcentaje de varianza similar al que aporta el infrarrojo cercano.
4. Ni la baja correlación ni los porcentajes de varianza del análisis de componentes principales son debidas a la presencia del *speckle*, como lo demuestra el hecho de que los componentes principales con la imagen SAR filtrada produce resultados similares.

RELEVANCIA DE LA INFORMACION SAR EN LA DISCRIMINACION DE CULTIVOS

Una vez determinado el porcentaje total de la varianza aportado por la imagen SAR al conjunto multisensorial y la baja correlación de esta imagen con la proveniente de las bandas ópticas, es necesario determinar la utilidad específica de esta información para la discriminación de cultivos.

Con este fin nos proponemos incluir información derivada del SAR en el proceso de discriminación. Dos razones aconsejan no llevar a cabo este proceso simplemente incluyendo la imagen SAR en un proceso de clasificación "píxel por píxel". En primer lugar, la presencia del *speckle* y la misma naturaleza de las imágenes radar hace que el valor de un píxel considerado aisladamente sea irrelevante. En segundo lugar, incluso en el caso de sensores ópticos y de escenas agrícolas, las discriminaciones son siempre mejores si se llevan a cabo por parcelas (facetas) que si se llevan a cabo "por píxeles".

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
(1)	64,49	14,88	14,25	4,76	0,21	0,82	0,6
(2)	67,11	15,45	13,97	2,89	0,34	0,18	0,06
TM1	0,450962	0,039005	-0,00451	0,365322	0,194131	-0,77311	-0,16199
TM2	0,45111	0,041934	-0,00509	0,447631	-0,69932	0,260729	0,193153
TM3	0,459179	0,075752	0,019907	0,207945	0,564894	0,574664	-0,30072
TM4	-0,06481	-0,91991	-0,28434	0,237542	0,08735	0,04003	0,055322
TM5	0,418346	-0,24092	-0,04696	-0,63588	-0,30739	-0,03776	-0,51428
TM7	0,450634	-0,06588	-0,01123	-0,40122	0,228114	-0,03206	0,760542
SAR	0,001528	-0,28701	0,957274	0,034431	-0,00101	-0,00454	0,006637

Tabla 3. Resultado del análisis de componentes principales del Conjunto multisensorial TM y SAR. Se ha calculado la varianza píxel a píxel (1) y por facetas (2).

Por ello se ha realizado una segmentación de la imagen óptica mediante el método de Lobo (Lobo, A. et. al, 1994; Lobo, A. 1994). De este proceso resulta una segmentación de la imagen en facetas

internamente homogéneas que pasan a ser los individuos a identificar, substituyendo en este sentido a los píxeles. Para cada faceta se calculan parámetros estadísticos y se efectúa un análisis discriminante. La aportación del SAR a esta discriminación se medirá por el incremento de la significación del análisis y de la calidad de la cartografía resultante.

TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	SAR
1	0,998999	0,968432	-0,0944	0,832184	0,929234	-0,02651
0,998999	1	0,977664	-0,09602	0,82583	0,923412	-0,03176
0,968432	0,977664	1	-0,13682	0,878943	0,953875	-0,00607
-0,0944	-0,09602	-0,13682	1	0,144372	-0,02558	0,03093
0,832184	0,82583	0,878943	0,144372	1	0,957935	0,045483
0,929234	0,923412	0,953875	-0,02558	0,957935	1	0,014357
-0,02651	-0,03176	-0,00607	0,03093	0,045483	0,014357	1

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre las imágenes TM y SAR suavizadas por la media de facetas

BIBLIOGRAFIA

- GOODMAN, J. W. 1976. Some fundamental properties of speckle *J.O.SA.66:1145-1150.*
- LOPPB, A., NEZRY, E., TOUZI, R. and LAUR, H. 1993. Structure detection and statistical adaptive speckle filtering in SAR images. *Int. J. Remote Sensing. 14:1735-1758.*
- LOUDON, R. 1973. The quantum theory of light. *Clarendon Press. Oxford University Press. Oxford. pp 82-119.*
- TUR, M., CHIN, K. C. and GOODMAN, J. W. 1982. When is speckle noise multiplicative?. *Applied Optics. 21:1157-1159.*
- ULABY, F. T., KOUYATE, F., BRISCO, B. and LEE WILLIAMS, T. H. 1986. Textural information in SAR images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. GE-24:235-245.*
- LEBERL F. W. 1990, Radargrammetric image processing, *Artech House.*
- CHIC, O. & SOLÉ L. 1994. SAR Imagery Segmentation and Speckle Reduction in the Ebro Delta, Spain. *Pilot Project Workshop (PP2-EO2). Toledo.*
- LOBO, A., MOLONEY K. & CHIARIELLO N., 1994. Finescale pattern of Serpentine Grassland: a study based on digitized CIR imagery. *Ecology, submitted.*
- LOBO, A. 1994. Image segmentation in discriminant analysis for the analysis of digital remotely-sensed imagery of natural areas. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, submitted.*