

# TÉCNICAS DE INTERFEROMETRIA DIFERENCIAL SAR PARA MONITORIZACIÓN DE DEFORMACIONES EN UN ENTORNO MULTI-SENSOR.

P. Blanco, R. Arbiol y F. Pérez.

*Departamento de Teledetección  
Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)  
Parc de Montjuïc, s/n, 08038 Barcelona pablo.blanco@icc.cat*

## RESUMEN

La aparición de nuevas misiones SAR orbitales como PALSAR (banda L) y TerraSAR-X (banda X) no solo mejoran la resolución espacial de las antiguas, si no que aportan capacidades polarimétricas nuevas hasta ahora. Además sirven como complemento a misiones ya contrastadas como ENVISAT-ASAR (banda C). En el marco de las técnicas DInSAR para monitorización de movimiento, se propone analizar los beneficios de las diferentes bandas radar y desarrollar estrategias de combinación entre ellas. Además, se investigarán métodos de combinación de los canales polarimétricos PALSAR para aumentar la cobertura espacial y la calidad de los resultados DInSAR.

## ABSTRACT

The launch of new orbital SAR missions as PALSAR (L band) and TerraSAR-X (X band) not only improve the existent spatial resolution but also include full polarimetric capabilities not seen up to now. Besides, they complement other successful missions such as ENVISAT-ASAR (C band). In the framework of the DInSAR techniques for movement monitoring, it is proposed to analyze the benefits of the different wavelengths and the combination between them. Furthermore, combination strategies between PALSAR polarimetric channels will be investigated to increase spatial coverage and improve DInSAR results.

**Palabras clave:** radar, coherencia, DInSAR, polarimetría, deformación del terreno.

## INTRODUCCION

En los últimos años, las técnicas Interferométricas de Radar de Apertura Sintética (DInSAR) han sido extensamente desarrolladas (Berardino et al. 2002, Ferretti 2001, Mora 2003). En particular, las técnicas DInSAR con muchas imágenes (MI DInSAR) han demostrado ser una herramienta excelente para monitorización de deformación superficial terrestre. Éstas son capaces de proveer el patrón temporal de deformación del área de estudio minimizando el efecto de los artefactos atmosféricos. La aparición de nuevos sensores amplía la capacidad de éstas técnicas hacia una caracterización más completa del fenómeno de deformación a estudiar.

En particular, las recientes misiones PALSAR y TerraSAR-X (TX) presentan nuevas características, a complementar con la lista de misiones SAR ya existentes. PALSAR tiene una frecuencia central de 1280 MHz (banda L) además de capacidades completamente polarimétricas. TX tiene una frecuencia central de 9.6 GHz, alcanzando una resolución espacial que puede llegar al metro y capacidades parcialmente polarimétricas.

La banda L es especialmente interesante

en zonas vegetadas, ya que su mayor penetración en relación con bandas de menor  $\lambda$  (C o X) permite tener acceso a la componente superficial del terreno. En términos de coherencia (calidad de fase) esto supondría un aumento de la misma en los interferogramas PALSAR, accediendo a zonas incoherentes en otras bandas. Por otro lado, la banda X es más sensible a deformaciones de menor magnitud. Estos compromisos hacen pensar en desarrollar estrategias de combinación de los diferentes datos encaminadas a caracterizar completamente el movimiento de la zona de estudio.

En la segunda sección se analiza el mismo fenómeno de subsidencia fuerte (~30 cm/año) a partir de interferogramas ASAR, PALSAR y TX. El objetivo es analizar la sensibilidad de  $\lambda$  al movimiento.

En la tercera sección se estudia la influencia de la banda de trabajo y el canal polarimétrico sobre la calidad de los respectivos conjuntos de interferogramas. Primero, se analiza la coherencia sobre dos conjuntos de interferogramas de la misma zona, uno ASAR y otro PALSAR (el cual consta de imágenes HH y HV). Con ello se pretende estudiar si la banda L permite acceso a

zonas de vegetación en oposición a la C y si existe un canal polarimétrico preferente. Debido a la indisponibilidad de datos suficientes, este estudio no se realiza sobre TX. En cualquier caso, los métodos desarrollados son extrapolables a dicho sensor.

Las técnicas MI DInSAR generan resultados de deformación únicamente en los píxeles que tienen una calidad suficiente a lo largo del conjunto de interferogramas. Un aumento de la coherencia media en una u otra banda o canal polarimétrico, debe revertir en un número mayor de píxeles útiles en los que proporcionar una medida de deformación. Para comprobar esto, se ha aplicado el algoritmo MI DInSAR desarrollado en el ICC sobre ambos conjuntos ASAR y PALSAR en una zona con una subsidencia moderada. Esto permite la comparación entre las el número de píxeles útiles y las medidas de deformación estimadas. Este estudio se realiza en la cuarta sección. Además, para aprovechar el canal polarimétrico de más alta calidad sobre cada píxel, se propone un método de combinación de ambos conjuntos HH y HV para formar un único conjunto óptimo sobre el que extraer la deformación.

Finalmente, se exponen las conclusiones y el trabajo futuro.

#### COMPARACION DE INTERFEROGRAMAS DE INTERFEROGRAMAS DE DISTINTAS BANDAS

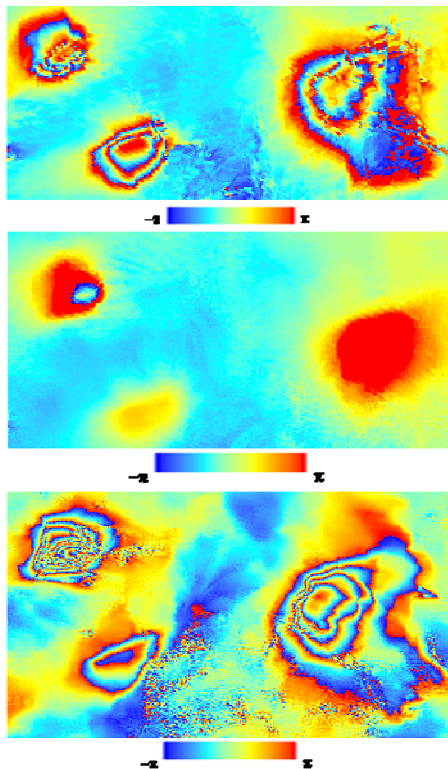
A partir de los datos ASAR, PALSAR y TX, se han generado los correspondientes interferogramas diferenciales, estudiando una deformación de alta magnitud (entorno -30 cm/año) provocado por la fuerte explotación minera de la zona (área de Suria, Cataluña). Un ejemplo ilustrativo de cada uno de estos interferogramas se encuentra en las figura 1. Las líneas de base temporales correspondientes a cada uno de los interferogramas son 105 días (ASAR), 92 días (PALSAR) y 77 días (TX).

Existen tres focos de deformación, caracterizados por tres zonas concéntricas de franjas. Aquí, es interesante notar la sensibilidad al movimiento de cada una de las bandas, expresada por la frecuencia de las franjas (un salto de fase equivale a un incremento de deformación de  $\lambda/2$ ).

#### ESTUDIO DE LA COHERENCIA EN BANDA L Y BANDA C.

El conjunto ASAR se compone de 43 interferogramas formados a partir de 13 imágenes con una línea de base máxima de 300 m. El conjunto

PALSAR está formado por 10 interferogramas constituidos a partir de 2 imágenes single-pol (HH), 5 dual-pol (HH, HV) y línea de base máxima de 1200 m. Hay que notar que el número de interferogramas y la cobertura temporal de ambos conjuntos no es la misma. El conjunto ASAR [2005.5, 2008] se podría haber restringido al intervalo [2007, 2008] en concordancia con PALSAR. Sin embargo, se ha preferido poder aprovechar todo el conjunto para tener una mejor caracterización estadística por lo menos en ASAR.



**Figura 1.-** Fase en rads. ASAR, PALSAR y TX debidas a movimiento superficial por explotación minera (> 30 cm/año).

A partir de dichos conjuntos, se han calculado los respectivos mapas de coherencia media sobre toda el área de estudio (área del Bages, Cataluña). Estos se muestran en la figuras 2 y 3 respectivamente para ASAR y el canal HH PALSAR. Esta zona incluye área urbana y rural. Dos de los principales núcleos urbanos (Manresa y Sallent) se han señalado en negro.

Tal y como se observa, la coherencia PALSAR es significativamente mayor que la ASAR en la zona rural. La zona urbana se mantiene coherente en ambas bandas. Como se ha dicho, los interferogramas ASAR tienen una separación temporal mayor. Así pues, se puede esperar que el término de decorrelación sea más significativo en el conjunto ASAR. De todas maneras, al comparar conjuntos pertenecientes a los mismos intervalos temporales, el comportamiento explicado también se reproduce.

El histograma de los mapas de coherencia media se dibuja en la figura 4, con los canales HH y HV PALSAR por separado. Confirmando los resultados anteriores, las coherencias PALSAR son mayores que los ASAR. Además, el canal HH es ligeramente más coherente que el HV.

De aquí podemos extraer dos conclusiones principales. La primera es que la banda L proporciona información coherente en áreas donde no lo hace la banda C. La segunda es que los canales HH y HV son comparables en términos de calidad de fase, por lo que es posible pensar en estrategias para combinarlos.

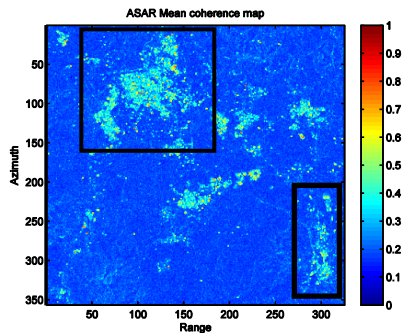


Figura 2.- Mapa de coherencia media ASAR.

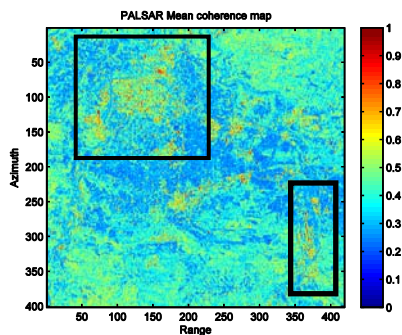


Figura 3.- Mapa de coherencia media PALSAR.

## RESULTADOS DE DEFORMACION MI DINSAR

A continuación se procede a obtener resultados de deformación a partir de los datos ASAR y PALSAR. El estudio se centra sobre la ciudad de Sallent. Aquí, el barrio de la estación presenta un movimiento de subsidencia con una magnitud máxima de entorno a los -2 cm/año.

Las técnicas MI DInSAR solo se aplican a los píxeles seleccionados en el conjunto de interferogramas. Esta selección es realizada aplicando un valor de coherencia media umbral. De este modo, se espera acceder a píxeles en el conjunto PALSAR que no serían seleccionados en el ASAR. Los puntos seleccionados son aquellos que superan una coherencia media de 0.4 en ASAR y 0.55 en PALSAR. Debido al menor número de interferogramas PALSAR, el umbral es aquí más alto.

Los mapas ASAR y PALSAR de velocidad lineal geocodificados de la ciudad de Sallent se muestran en la figura 5 (izquierda y derecha respectivamente). Debido al bajo número de interferogramas PALSAR se ha preferido no considerar la deformación temporal.

Teniendo en cuenta a los resultados PALSAR como aproximados (debido al bajo número de imágenes e interferogramas utilizados) y asumiendo que las coberturas temporales no son idénticas, se pueden extraer dos conclusiones principales. En general, las magnitudes estimadas son muy similares y además, PALSAR permite acceder a áreas donde ASAR se muestra poco coherente (marcadas en negro), siendo este último especialmente útil para permitir una interpretación más rigurosa del fenómeno.

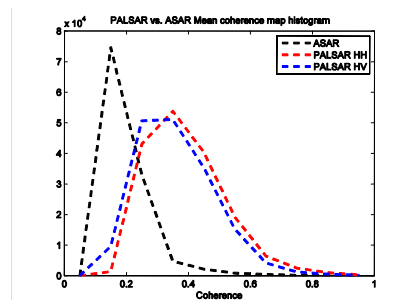
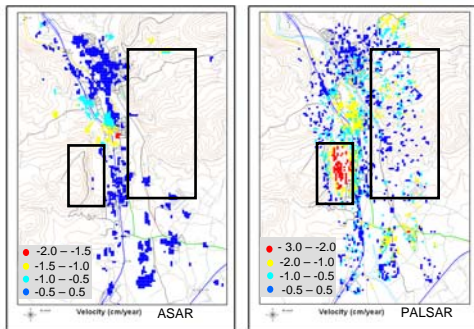


Figura 4.- Histogramas de los mapas de coherencia media ASAR (negro) y PALSAR (HH en rojo y HV en azul).

Combinación polarimétrica para aumentar el número de puntos coherentes.

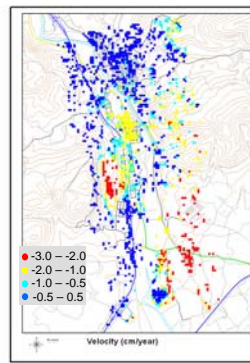
Con intención de aprovechar ambos canales PALSAR HH y HV, se propone la siguiente estrategia de combinación. El objetivo es doble, aumentar el número de puntos útiles y mejorar los resultados de deformación maximizando el valor de la coherencia.



**Figura 5.-** Mapa de velocidad lineal de Sallent a partir de datos ASAR (izquierda) y PALSAR (derecha).

El primer paso es seleccionar los puntos coherentes. Para ello se aplica el umbral de coherencia media sobre los interferogramas HH y sobre los HV. Después, sobre los píxeles seleccionados, se comprueba que canal tiene un valor mayor de coherencia media. Esto provoca la aparición de dos máscaras de píxeles, HH>HV y la HH<HV. A partir de estas se genera una única capa de puntos coherentes donde a cada pixel se les asignará el conjunto de interferogramas perteneciente al canal polarimétrico de mayor coherencia. Esto aporta un incremento al número de puntos útiles con respecto al uso de un solo canal como el HH (10169 (HH) < 9078 (HH>HV)+ 4666 (HV>HH)).

Por último, el algoritmo MI DInSAR del ICC es aplicado sobre esta capa única. Un valor alto de coherencia indica un mecanismo polarimétrico estable de una imagen a otra. Así pues, el correspondiente factor de decorrelación será bajo por lo que la componente de fase debida al movimiento se mantendrá constante independientemente del canal de polarización. El mapa de velocidad estimado en cm/año de la ciudad de Sallent se presenta en la figura 6. Comparando este resultado con los mostrados en las figura 5, se puede concluir que el movimiento detectado es muy similar remarcando que el número de píxeles útiles se aumentó con respecto al caso de un único canal.



**Figura 6.-** Mapa de velocidad de Sallent combinando los canales HH y HV.

## CONCLUSIONES

Conjuntos de interferogramas con características diferentes ( $\lambda$  y presencia de canales polarimétricos) han sido analizados con el objetivo de combinarlos mejorando los resultados MI DInSAR. En el análisis se ha demostrado que la banda L permite el acceso a zonas no coherentes en banda C. A su vez, la combinación de canales polarimétricos aumenta el número de puntos útiles en los que estimar la deformación. Futuros estudios con más imágenes (incluyendo TX) son de gran interés hacia la completa caracterización de la deformación DInSAR.

## Bibliografía:

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E., "A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential Interferograms", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 40, No. 11, pp. 2375-2383, 2002.

Ferretti, A, Prati, C. and F. Rocca, F. "Permanent scatterers in SAR interferometry", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, No 1, pp. 8-30, 2001.

Mora, O., Mallorquí, J.J. and Broquetas, A. "Linear and Nonlinear Terrain Deformation Maps From a Reduced Set of Interferometric SAR Images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41, No. 10, 2003.

## Agradecimientos:

Los autores agradecen a la Subdirección General de Proyectos de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación (proyecto CGL2006-05415) y JAXA y ESA (proyecto ALOS ADEN AOALO.3655).