

ESTIMACIÓN DE LA ALTURA DE COSECHAS MEDIANTE INTERFEROMETRÍA POLARIMÉTRICA RADAR: EXPERIMENTOS EN LABORATORIO

J. M. LÓPEZ (*) y J. FORTUNY (**)

juanma@disc.ua.es

(*) *Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal (DFISTS), Universidad de Alicante Apdo. Correos 99, 03080 Alicante*

(**) *Technologies for Detection and Positioning Unit, Space Applications Institute, Joint Research Centre JRC, TP 272, 21020 Ispra (Va), Italia*

RESUMEN: En este estudio se ha comprobado experimentalmente una aplicación de la interferometría polarimétrica radar consistente en la extracción de la altura de las plantas en áreas cultivadas. Para ello se han llevado a cabo una serie de experimentos con diferentes muestras vegetales (maíz, arroz y abetos pequeños) en la cámara anecoica del European Microwave Signature Laboratory (EMSL), del JRC Ispra (Italia). Las medidas se han realizado con un radar polarimétrico en las bandas L, S, C y X. Se han obtenido resultados satisfactorios para maíz y arroz. El algoritmo de estimación proporciona un parámetro directamente relacionado con la altura absoluta de las plantas. Con estos experimentos en condiciones controladas se ha identificado la configuración necesaria de un sistema real de medida para esta aplicación (banda de frecuencias, ángulo de incidencia, combinación de polarizaciones, etc.), así como las posibilidades y limitaciones del método. Estas medidas de laboratorio constituyen un paso fundamental para demostrar la viabilidad y el éxito que esta técnica puede tener en sensores aerotransportados o en satélites.

ABSTRACT: Crop height estimation by means of polarimetric radar interferometry is experimentally tested in this work. Some experiments have been carried out with vegetation samples (maize, rice and fir trees) in the anechoic chamber of the European Microwave Signature Laboratory (EMSL), at JRC Ispra, Italy. The radar system is fully polarimetric and operates in L, S, C and X band. Satisfactory estimates have been obtained for maize and rice. A parameter directly related with the crop height can be retrieved by means of this algorithm. With these experiments in controlled conditions we have identified the best configuration of a real system to implement this application (frequency, incidence angle, polarization selection, etc.) besides the limitations and potentials of this method. These laboratory measurements constitute a major milestone in the assessment of the feasibility and success of this technique when incorporated in air- or spaceborne systems.

Palabras clave: interferometría, polarimetría, radar, vegetación, estimación de parámetros.

INTRODUCCIÓN

La interferometría radar ha sido generalizada recientemente al uso de datos polarimétricos (Cloude y Papathanassiou, 1998). Esta nueva técnica, conocida como interferometría polarimétrica radar, permite generar simultáneamente varios interferogramas de la misma escena, donde cada interferograma se obtiene combinando la información de todos los canales polarimétricos (HH, HV, VH y VV) en un valor escalar. Esta combinación es equivalente a proyectar los datos en un tipo de mecanismo de dispersión electromagnética.

Se sabe que los diversos componentes de las plantas y árboles (hojas, ramas, tronco, etc.) muestran diferentes características de dispersión electromagnética en función de su forma y estructura. En general, esas par-

tes se sitúan a diferentes alturas dentro del volumen ocupado por las plantas, o bien presentan diferentes distribuciones espaciales. Por ello, si se generan interferogramas centrados en los diferentes tipos de dispersión, corresponderán a las alturas de estas partes de las plantas. De este modo, la diferencia de alturas estará relacionada con la altura de las plantas.

Los últimos desarrollos teóricos han establecido un importante requerimiento de la escena observada para que se pueda estimar la altura con esta técnica: la escena debe cambiar las propiedades de polarización de la señal radar (Treuhaft y Cloude, 1999). En nuestro caso, las plantas típicas en agricultura (cosechas) suelen mostrar una orientación dominante que es la verticalidad de los tallos. Además, al no tener alturas excesivas, la pe-

netración de las microondas es suficiente para recibir una respuesta fuerte proveniente del suelo. El suelo es pues un importante alterador de la polarización. Por lo tanto, la estimación de la altura de cosechas (importante en aplicaciones de monitorización) debería ser una aplicación válida de esta técnica.

En este estudio se han analizado, discutido y comprobado todas las fases de la técnica de estimación, desde los requerimientos del radar y la configuración de la medida (banda de frecuencias, incidencia, línea de base, etc.) hasta los mecanismos de dispersión que se deben elegir para obtener mejores estimaciones, pasando por la implementación práctica del método.

EXPERIMENTOS

Los datos experimentales se han obtenido en el European Microwave Signature Laboratory (EMSL) del JRC Ispra, Italia. Se han empleado muestras de maíz y arroz, como las mostradas en las (Figuras 1 y 2).

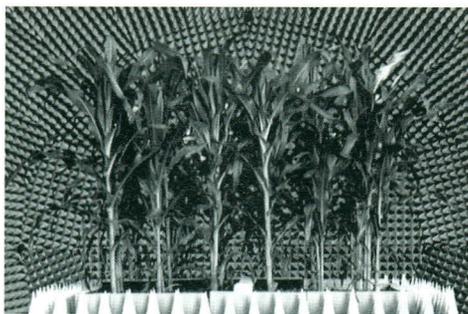


Figura 1. Fotografía de la muestra de maíz.

La muestra de maíz ocupaba un área de 2 x 2 m y tenía una altura de 1.8 m. La muestra de arroz ocupaba 1 x 1 m y medía 60 cm de altura. Más detalles de las muestras y la configuración de los experimentos pueden encontrarse en López (2000).



Figura 2. Fotografía de la muestra de arroz.

SELECCIÓN DE MECANISMOS

Se han discutido y comparado las posibilidades que se plantean en el método a la hora de usar los datos polarimétricos para generar los interferogramas. Todas las opciones pasan por escoger unos mecanismos de dispersión sobre los que proyectar los datos. Sin embargo, esta selección de mecanismos puede estar basada en dos criterios. El primero asume un conocimiento *a priori* de la escena, eligiendo aquellos que se sabe están situados a diferentes alturas. El segundo criterio se basa en optimizar la coherencia interferométrica mediante una adecuada selección de los mecanismos.

En general, la optimización de la coherencia tiene como inconveniente la pérdida de información en cuanto a la localización de los diversos mecanismos, pudiendo corresponder al mismo punto, intercambiarse entre píxeles adyacentes, etc.

Todo esto se ilustra con los resultados de las (Figuras 3 y 4). En ellos se muestran los centros de fase estimados en función de la frecuencia para los diferentes mecanismos de dispersión. Los mecanismos óptimos muestran en ambos casos una gran variabilidad, lo que los hace poco fiables como parámetros de salida. Por su parte, los mecanismos HH y VV sí se comportan regularmente con la frecuencia, y están bastante separados en altura. El mecanismo HH proviene del tallo y de la interacción tallo-suelo, mientras que el VV está producido por las ramas y hojas. Sin embargo, los mejores resultados se consiguen empleando los mecanismos correspondientes a las matrices de Pauli. El mecanismo HH-VV (tipo diedro) proviene de la interacción tronco-suelo, luego debe estar situado cerca del suelo. Por su parte, el HH+VV está producido por las ramas y hojas y, por tanto, está separado espacialmente del otro. Finalmente, aunque no se muestra en este estudio, la diferencia entre estos centros de fase puede convertirse en una estimación de la altura de las plantas mediante algún modelo.

Con el maíz se obtuvieron estimaciones consistentes en las bandas L, S y C, mientras que para el arroz el método funciona mejor en las bandas C y X. Por otra parte, cuando se aplicó el algoritmo a un grupo de abetos, no se obtuvieron resultados útiles debido a que la morfología de la muestra es muy aleatoria (sin orientaciones dominantes) y al bajo nivel de la señal procedente del suelo para el ángulo de incidencia utilizado. Por ello la polarimetría tiene poco que aportar en este caso particular.

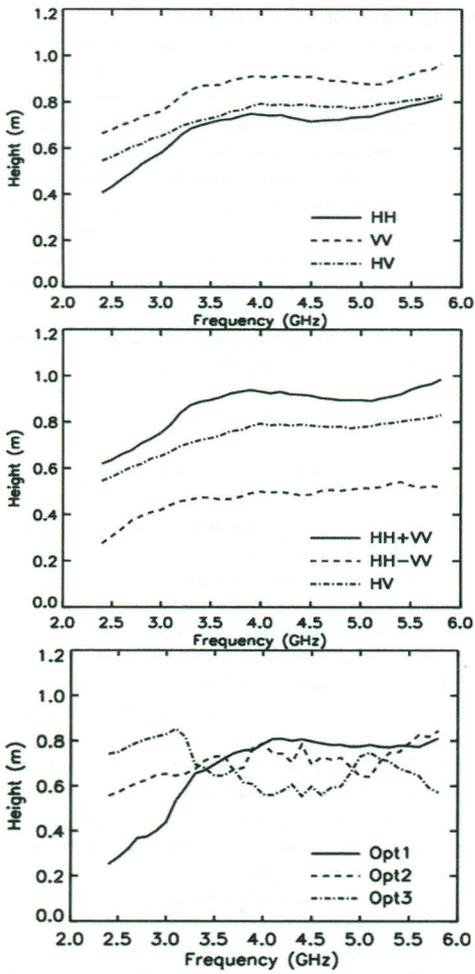


Figura 3. Alturas estimadas para el maíz. (a) Polarizaciones lineales HV (b) Base de Pauli (c) Mecanismos óptimos.

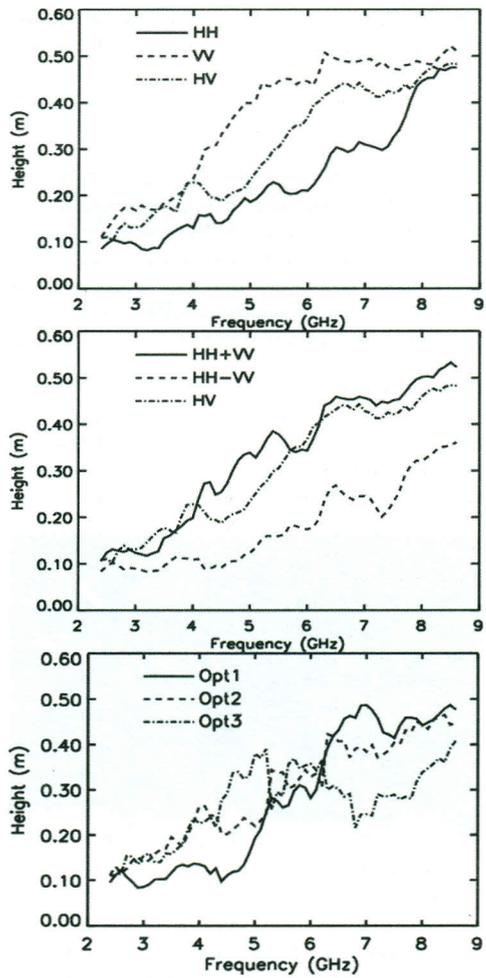


Figura 4. Alturas estimadas para el arroz. (a) Polarizaciones lineales HV (b) Base de Pauli (c) Mecanismos óptimos

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACIÓN EN SISTEMAS AEROTRANSPORTADOS Y EN SATÉLITE

Si la aplicación del sistema es el control o monitorización de cosechas (por ejemplo, maíz o arroz), se aconseja el uso de banda C frente a bandas inferiores porque es necesario tener una respuesta suficientemente perceptible procedente del volumen (ramas y hojas) de las plantas. En banda L la señal recibida está dominada fuertemente por la interacción tronco-suelo, de tal forma que el resto de elementos de las plantas quedan enmascarados. Además, como los campos cultivados están constituidos por plantas de altura moderada (no más de 4 metros), la banda C proporciona mejor sensibilidad a pequeños cambios de altura que la banda L, para la misma línea de base.

El ancho de banda de las medidas no es una limitación, ya que la resolución en *slant range* debe ser peor (mayor) que el espesor de la vegetación para contener toda dentro de la celda de resolución vertical. Si se dispone de un gran ancho de banda, puede aprovecharse para realizar un procesado *multi-look* que mejore la precisión de las estimaciones (Gabriel *et alii*, 1999).

Respecto al ángulo de incidencia del sistema, no existen requerimientos especiales, ya que la incidencia ideal está alrededor de 45 grados. Este valor se recomienda en cualquier sistema interferométrico para encontrar un compromiso entre las probabilidades de *lay-over* y sombra, así como para llevar la región de ángulos ciegos hacia pendientes del terreno menos críticas. Además, éste es también el ángulo óptimo para esta técnica porque permite un equilibrio entre los niveles de señal procedentes de la interacción tronco-suelo y del volumen de las plantas. La línea de base puede elegirse con los mismos criterios que en los sistemas convencionales.

En toda esta discusión queda implícito que para que un sistema interferométrico SAR (InSAR) sea capaz de proporcionar datos útiles debe ser "totalmente polarimétrico" (*fully polarimetric*). De los ejemplos presentados, se sabe que las mejores combinaciones polarimétricas para estimar la altura de las plantas son HH+VV y HH-VV. Por ello, un sistema InSAR más simple podría ser diseñado sin ser totalmente polarimétrico, sino sólo midiendo las dos respuestas copolares (HH y VV). El procedimiento de calibración de un sistema polarimétrico e interfero-métrico está detallado en [Papathanassiou *et alii* 1998], donde también aparecen los requerimientos de hardware y procesado para esta aplicación.

Como la vegetación es un blanco con gran decorrelación temporal, sería preferible disponer de un sistema InSAR de una pasada (*single-pass*) frente a los de paso repetido (*repeat-pass*). Es importante comentar que la extracción de la altura de las plantas mediante

interferometría polarimétrica es inmune a problemas derivados de las medidas de fase absoluta. Como las alturas estimadas resultan de la diferencia de dos interferogramas, no tienen errores por *phase unwrapping* (Sarabandi *et alii*, 1999).

En la actualidad no existe ninguna plataforma espacial operativa que sea interferométrica y totalmente polarimétrica. Sólo unos pocos sistemas aerotransportados, como el E-SAR del DLR, han introducido las características necesarias.

LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Junto a la incorporación de las mejoras tecnológicas necesarias para esta aplicación en los sistemas aerotransportados, la principal línea de investigación en este tema es el desarrollo de modelos electromagnéticos que permitan estudiar el comportamiento de las estimas obtenidas (mediante interferometría polarimétrica) en función de las características de las plantas, así como relacionar dichas estimas con la altura global de la vegetación.

BIBLIOGRAFÍA

- S. R. CLOUDE y K. P. PAPANASSIOU, "Polarimetric SAR interferometry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 36, pp. 1551-1565, Sept. 1998.
- J. GABRIEL *et alii*, "Tree height extraction using polarimetric SAR interferometry," in *Proceedings IEEE IGARSS*, Hamburgo, Alemania, vol. 4, pp. 2131-2133, Junio 1999.
- J. M. LÓPEZ SÁNCHEZ, "Análisis y estimación de parámetros físicos de vegetación mediante polarimetría radar," *Tesis Doctoral*, Depto. Comunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Enero 2000.
- K. P. PAPANASSIOU *et alii*, "Airborne polarimetric SAR interferometry," in *Proceedings IEEE IGARSS*, Seattle, WA, USA, vol. 4, pp. 1901-1903, Julio 1998.
- K. SARABANDI *et alii*, "Tree height estimation from the polarimetric and interferometric radar response," in *Proceedings IEEE IGARSS*, Hamburgo, Alemania, vol. 4, pp. 1986-1988, Junio 1999.
- R. N. TREUHAFT y S. R. CLOUDE, "The structure of oriented vegetation from polarimetric interferometry," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 37, pp. 2620-2624, Sept. 1999.

AGRADECIMIENTOS

La presentación de este trabajo ha sido financiada por la Generalitat Valenciana, con el proyecto GV00-036-14.