

MIDIENDO LA HUMEDAD SUPERFICIAL DEL SUELO DESDE EL ESPACIO

A. Camps^{1,2}, M. Vall-llossera^{1,2}, A. Aguasca¹, A. Monerris³, M. Piles^{1,2}, N. Rodríguez-Alvarez¹

¹ Dept. De Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universitat Politècnica de Catalunya and Institut d'Estudis Espacials de Catalunya. UPC Campus Nord, D4-016, E-08034 Barcelona, Spain. e-mail: camps@tsc.upc.edu

² SMOS Barcelona Expert Center (SMOS-BEC), Institute of Marine Sciences, Passeig Marítim de la Barceloneta, 37-49 E-08003 Barcelona, Spain

³ Faculty of Engineering Room 147, Building 60, Clayton Campus, Monash University, Victoria, 3800 Australia.

RESUMEN. En este artículo se describen dos nuevas técnicas para la monitorización remota de la humedad superficial del suelo en las que el grupo de Teledetección de la Universitat Politècnica de Catalunya viene trabajando desde la última década:

1) la radiometría de microondas en banda L (1,4 Ghz), fundamentalmente los trabajos relacionados con la misión SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) de la Agencia Europea del Espacio, y sus aplicaciones aerostransportadas, y 2) la reflectometría utilizando señales de oportunidad de navegación por satélite o GNSS-R (Global Navigation Satellite Systems signals Reflectometry).

ABSTRACT. This article describes two new techniques for remote sensing of surface soil moisture in which the Remote Sensing Lab at the Universitat Politècnica de Catalunya has been working on in the past decade:

1) microwave radiometry at L-band (1.4 Ghz), mainly the results related to our participation in the SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) mission from the European Space Agency, and the airborne applications derived, and 2) reflectometry using satellite navigation signals of opportunity or GNSS-R (Global Navigation Satellite Systems signals Reflectometry).

1.- Introducción

La radiometría de microondas se basa en la emisión espontánea de todo cuerpo a una temperatura diferente de cero Kelvin. En el caso del terreno, la potencia emitida por éste depende de varios factores: la humedad y la temperatura superficiales (típicamente se asume que son los primeros 5 cm), la textura, la rugosidad de la superficie, y la vegetación (caso de existir). El principal problema de la radiometría de microondas es su pobre resolución espacial, limitada por el máximo tamaño de las antenas. El tamaño de los píxeles es de aproximadamente unos 50 km desde un satélite en órbita baja, por ejemplo SMOS. Para mejorar el tamaño de píxel, se están estudiando técnicas de desagregación mediante fusión de datos con el visible e infrarrojo próximo que permiten alcanzar tamaños de píxel de aproximadamente 1 km.

Por otra parte, la reflectometría utilizando señales de oportunidad de navegación por satélite utiliza las señales

GPS, Compass (y en un futuro Galileo, Beidou etc.) a modo de radar, midiendo la reflectividad de la superficie, que depende fundamentalmente de los mismos parámetros que la emisividad (salvo la temperatura superficial, con la que sólo depende marginalmente). La ventaja de estas nuevas técnicas, todavía en fase muy preliminar, es que la resolución espacial no depende del tamaño de las antenas utilizadas, que los receptores son muy sencillos y baratos, y que -en principio- son más robustas a las interferencias de radio-frecuencia que las técnicas radiométricas.

Las siguientes secciones, extraídas de (Piles et al., 2011) y (Rodríguez-Álvarez et al., 2011), describen brevemente ambas técnicas. Ejemplos de resultados obtenidos con ambas técnicas se presentarán en la conferencia.

2.- Midiendo la humedad superficial del suelo mediante radiometría de microondas

La misión Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) de la Agencia Espacial Europea (ESA), se puso en órbita el 2 de Noviembre de 2009. SMOS es la primera misión dedicada a la medición global de la humedad del suelo y la salinidad del mar. SMOS proporciona datos globales de estas dos variables cada 3 días con una resolución espacial de ~50 km (Font et al, 2010; Kerr et al., 2010), datos que permitirán mejorar nuestro conocimiento sobre el ciclo del agua, y que son necesarios para estudios meteorológicos y climatológicos a escala global. Sin embargo, la resolución espacial de los datos de humedad (~50 km) es claramente insuficiente para aplicaciones regionales –predicciones meteorológicas locales, estudios hidrológicos, mejora de la productividad agrícola y gestión sostenible de recursos hídricos–, donde se requiere una resolución espacial de 1 a 10 km. En este contexto, la combinación de datos SMOS con datos provenientes de otros satélites a más alta resolución podría ser la solución para obtener un producto de humedad a la resolución requerida.

El uso de sensores en el visible/infrarrojo (VIS/IR) para la detección de humedad se ha estudiado ampliamente en el pasado, y diferentes estudios han demostrado la posibilidad de utilizar sensores en el VIS/IR para proporcionar una medida indirecta de humedad del suelo, ya que tienen la ventaja de que su resolución espacial es habitualmente alta (del orden de decenas a centenares de metros en el caso de LANDSAT o MODIS).

La resolución de los datos de humedad de SMOS puede aumentarse utilizando datos VIS/IR próximo, por ejemplo de MODIS. El algoritmo se basa en una extensión del concepto de "triángulo universal", que relaciona la humedad del suelo con parámetros VIS/IR, como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI), la temperatura superficial del suelo (Ts) (Carlson, 2001), y ahora también datos de temperatura de brillo proporcionada por (por ejemplo) SMOS (TB). El algoritmo combina la precisión de las observaciones radiométricas, con la alta resolución espacial de los datos VIS/IR.

En preparación para el lanzamiento de SMOS, el algoritmo se probó con imágenes LANDSAT y con medidas radiométricas adquiridas con el Airborne Radlometer at L-band (ARIEL) de la UPC, un radiómetro embarcado en un avión de control remoto, sobre la zona de Vadillo de la Guareña (Zamora, España) en la Red de Medición de la Humedad del Suelo (REMEDIHUS) de la Universidad de Salamanca/CIALE. Los resultados mostraron una buena correlación con las observaciones in situ de la humedad del suelo, e ilustraron la fortaleza de la relación entre los datos de satélite VIS/IR y la humedad del suelo (Piles et al., 2010).

Tras el lanzamiento de SMOS, el método se aplicó a una serie de imágenes SMOS de humedad del terreno adquiridas durante la fase de comisionado de la misión sobre la red de medición de la humedad del suelo OZnet, en el Sudeste de Australia, y utilizando datos NDVI y Ts de MODIS. Los resultados se validaron con datos in situ de humedad y muestran que la variabilidad de la humedad del suelo es efectivamente capturada a escalas espaciales de 10 km y 1 km sin una degradación significativa del error cuadrático medio (Piles et al., 2011). En la actualidad estamos trabajando para proporcionar mapas completos de la península ibérica una vez por semana a resolución de 1 km. En la conferencia se describirá en detalle la técnica y se presentarán los resultados más recientes.

3.- Midiendo la humedad superficial del suelo mediante reflectometría con señales de oportunidad GPS

Las técnicas GNSS-R fueron inicialmente concebidas en 1993 (Martín-Neira, 1993) para altimetría de mesoescala. Básicamente, consisten en correlar las señales GNSS reflejadas con una réplica local de la señal transmitida, lo cual permite inferir el retardo adicional de propagación. Más adelante estas técnicas se aplicaron a la recuperación de parámetros geofísicos como la humedad del suelo en terrenos (Masters et al., 2000), el estado del mar en océanos (Rius et al., 2002), o el espesor de las capas de hielo en terrenos helados (Komjathy et al., 2000). La técnica que se describe en este artículo se basa en la medida de la potencia de la señal resultante de la interferencia entre las señales directa (del satélite) y reflejada (en el suelo) a medida que los satélites de navegación avanzan en la órbita. Algunos estudios previos describen una técnica similar (Kavak et al., 1998 y Jacobson, 2008) pero utilizando una antena polarizada circular a izquierdas (LHCP, siglas en inglés). En

(Rodríguez-Alvarez et al., 2009 y Rodríguez-Alvarez et al., 2011) se demostró que la polarización óptima no es la circular, sino la lineal vertical, ya que la información sobre la constante dieléctrica reside en el ángulo de Brewster.

Esta técnica ha sido aplicada con éxito sobre terrenos agrícolas para la medida de la topografía de las superficies, la altura de la vegetación, la humedad del suelo, sobre reservas de agua para la medida del nivel de agua, y sobre zonas nevadas para medir el espesor de la capa de nieve. En la actualidad estamos trabajando para coonstruir redes de sensores inalámbricos para extender el alcance y cobertura de estos sensores. En la conferencia se describirá en detalle la técnica interferométrica y se presentarán los resultados más recientes.

Agradecimientos. Los autores agradecen al CIALE, de la Universidad de Salamanca, al Institut Geològic de Catalunya (IGC), y al Consell de la Vall d'Aran, la información proporcionada así como la posibilidad de medir en sus instalaciones. Los resultados han sido posibles gracias a la financiación con fondos de proyectos del Plan Nacional Español: ESP2007-65667-C04-02 (referencia de beca FPI BES-2008-001902) y -04, AYA2008-05906-C0201/ESP, y el proyecto EURYI 2004.

4.- Bibliografía

- Carlson, T., 2007. An overview of the "triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite Imagery. *Sensors*, vol. 7, pp. 1612–1629.
- Font, J., et al., 2010. SMOS: The Challenging Sea Surface Salinity Measurement from Space, *Proc. IEEE*, vol. 98, no. 5, pp. 649-665
- Jacobson, M. D. 2008, Dielectric-Covered Ground Reflectors in GPS Multipath Reception—Theory and Measurement, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 5 n. 3, pp. 396-399.
- Kavak, A., Vogel, W. J., y Xu, G., 1998. Using GPS to measure ground complex permittivity, *Electronic Letters*, vol. 34 n. 3, pp. 254-255.
- Kerr Y.H., et al., 2010. The SMOS mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle, *Proc. IEEE*, vol. 98, no. 5, pp. 666–687.
- Komjathy, A., et al., 2000. *Sea Ice Remote Sensing Using Surface Reflected GPS Signals*, *Proc. of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2000*, vol.7 pp. 2855-2857
- Martin-Neira, M., 1993, A passive reflectometry and interferometry system. (PARIS): Application to ocean altimetry, *ESA Journal*, vol. 17, pp. 331–355,1993
- Masters, D., et al., 2000. *GPS signal scattering from land for moisture content determination*. *Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2000*, vol. 7, pp. 3090-3092, July 24 - 28.
- Piles, M., et al., 2010. Soil moisture downscaling activities at the REMEDIHUS Cal/Val site and its application to SMOS. *Proc. 11th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications, Washington DC, USA*.
- Piles, M., et al., 2011. *Downscaling SMOS-Derived Soil Moisture Using MODIS Visible/Infrared Data*, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, in press (doi 10.1109/TGRS.2011.2120615)
- Piles, M., et al., SMOS: hacia la obtención de mapas de humedad en alta resolución, *XIV Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, Mieres, Asturias, 21-23 Septiembre 2011
- Rius, A., et al., 2002. Sea surface state measured using GPS reflected signals. *Geophysical Research Letters*, Vol. 29 (23), pp. 2122.
- Rodríguez-Álvarez, et al., 2009. Soil moisture retrieval using GNSS-R techniques: experimental results over a bare soil field, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, n.11, pp. 3616-3624.
- Rodríguez-Álvarez, N., et al., 2011, Land Geophysical Parameters Retrieval Using The Interference Pattern GNSS-R Technique, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, n.1, pp. 71-84.
- Rodríguez-Alvarez, N., et al., Monitorización del suelo mediante reflectometría con señales de oportunidad GNSS-R, *XIV Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, Mieres, Asturias, 21-23 Septiembre 2011.