

Utilidad de los modelos paramétricos de BRDF para el estudio de la vegetación

A. Verger, F. Camacho-de Coca y J. Meliá

Departament de Termodinàmica. Facultat de Física. Universitat de València. C/ Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot, València. aleixandre.verger@uv.es

Resumen

Los modelos paramétricos de BRDF resultan de gran utilidad para la estimación de parámetros biofísicos de las cubiertas vegetales mediante técnicas de teledetección. Cuando el método de estimación se basa en técnicas espectrales, los modelos paramétricos permiten normalizar la reflectividad a una configuración de referencia. Por otra parte, estos modelos pueden utilizarse para explorar la forma de la BRDF y acceder a la signatura direccional de las superficies. Siguiendo esta doble línea de investigación y con el objetivo de caracterizar la BRDF de diferentes superficies de cultivo, en el presente trabajo se aplican los modelos Li-Ross, Walthall y RPV con datos CHRIS/PROBA. Se concluye que el modelo Li-Ross es el más adecuado para corregir los efectos direccionales, mientras que el modelo RPV reproduce mejor la forma de la BRDF. El modelo empírico de Walthall presenta mayores limitaciones.

1. Introducción

Los modelos paramétricos son modelos simples de naturaleza empírica o semiempírica que no contienen más de 3 ó 4 parámetros independientes, por lo que resultan de gran utilidad para caracterizar la función de reflectividad bidireccional o BRDF [1] de las cubiertas vegetales a partir de un número limitado de observaciones (un mínimo de tres) en diferentes condiciones angulares.

Siguiendo la notación de [2], los modelos paramétricos se pueden clasificar en tres categorías: modelos semiempíricos lineales de tipo *kernel-driven*, modelos empíricos lineales y modelos semiempíricos no lineales de tipo multiplicativo. Dado que los modelos son sensibles al muestreo angular y a las características de la superficie, según el sensor que se utilice y el tipo de cubierta vegetal, unos modelos resultan más efectivos que otros para reproducir la BRDF observada. No existen recomendaciones claras sobre modelo utilizar en cada caso.

En el presente estudio se pretende caracterizar la BRDF de diferentes superficies de cultivo mediante datos CHRIS/PROBA [3]. Para ello se consideran tres modelos paramétricos de distinta naturaleza: el modelo *kernel-driven* Li-Ross [4] [5], el modelo empírico de Walthall en la forma modificada por Nilson and Kuusk [6] y el modelo no lineal RPV [7]. Los modelos seleccionados son, de cada tipo, los más representativos y ampliamente utilizados por la comunidad científica. En este trabajo se analiza la potencialidad del uso de estos modelos para, por una parte, corregir los efectos direccionales de las medidas de reflectividad de CHRIS/PROBA y para acceder al dominio direccional de la BRDF, por otra.

2. Metodología

2.1. Descripción del experimento

En este estudio se utilizan datos del sensor CHRIS, a bordo del satélite PROBA, adquiridos en el transcurso de la campaña SPARC (SPectra bARrax Campaign) que se realizó en Barrax (Albacete) (30° 3' N, 2° 6' W) del 12 al 14 de julio de 2003 (<http://gpds.uv.es/sparc>) [3].

La zona de estudio, de 5 km por 10 km, se caracteriza por tener una morfología plana con grandes parcelas de cultivo. Las cubiertas vegetales más representativas se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Características de las superficies de cultivo de la zona de estudio: código, tipo de cultivo, FVC y LAI de la parcela, y altura media de las plantas (medidas *in situ* de la campaña de campo SPARC).

Código parcela	Tipos de cultivo	FVC	LAI	Altura (cm)
S	Suelo	-	-	-
G1	Ajos	0.11	0.6±0.1	50
W	Cebada	0.80	2.9±0.2	65
O2	Cebollas	0.30	2.0±0.4	60
A1	Alfalfa	0.40	1.4±0.1	25
C2	Maíz	0.70	3.5±0.4	265
A9	Alfalfa	0.72	3.1±0.2	70
B3	Remolacha	0.91	4.0±0.7	50
P1	Patatas	0.93	5.0±0.4	80

2.2. Datos CHRIS/PROBA

Las adquisiciones de CHRIS se realizaron los días 12 y 14 de julio. El día 12 el ángulo cenital de la plataforma PROBA respecto a la zona de estudio era de $+20^\circ$ *across-track*, de -4° el día 13 y de -27° el día 14. No se dispone de medidas del día 13 debido a un problema de apuntamiento del sensor. Las adquisiciones CHRIS/PROBA se efectuaron en modo 1 de operación, con 62 bandas espectrales (400-1050 nm) y una resolución espacial de 34 m. La geometría de adquisición de las 5 imágenes del día 12 y de las 5 imágenes del día 14 se muestra en la figura 1.

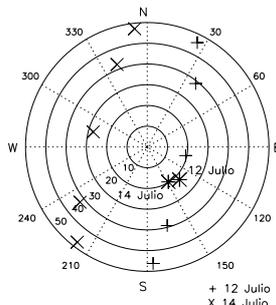


Figura 1. Geometría de adquisición de las imágenes CHRIS/PROBA. Los asteriscos marcan la posición del sol los días de medida. Los círculos representan valores constantes del ángulo cenital de observación cada 10° .

2.3. Modelos paramétricos utilizados

2.3.1. Modelo Li-Ross

Los modelos *kernel-driven* reproducen la BRDF en base a tres contribuciones diferentes o *kernels*: la dispersión geométrica o superficial (*kernel* f_1), la dispersión en volumen (*kernel* f_2), y un término isótropo que recoge los ordenes superiores de dispersión (*kernel* constante). La reflectividad R bajo ángulos cenitales de iluminación θ_i y de observación θ_o , ángulo acimutal relativo ϕ y longitud de onda λ , se expresa de la forma:

$$R(\theta_o, \theta_i, \phi, \lambda) = k_0(\lambda) + k_1(\lambda)f_1(\theta_o, \theta_i, \phi) + k_2(\lambda)f_2(\theta_o, \theta_i, \phi)$$

donde k_0 , k_1 y k_2 son los tres parámetros del modelo.

El modelo Li-Ross resulta de combinar el *kernel* geométrico LiSparse [4] y el *kernel* de volumen RossThick [5].

En los modelos lineales *kernel-driven*, por un convenio introducido por [5], los *kernels* se expresan de manera que, cuando el sol y el observador están en el cenit ($\theta_o = \theta_i = 0$), $f_1(0, 0, \lambda) = f_2(0, 0, \lambda)$. Y, por tanto, $R(0, 0, \phi, \lambda) = k_0(\lambda)$. Es decir, k_0 se define como

la reflectividad de la superficie cuando ésta es observada desde el nadir con el sol sobre el cenit. k_0 se puede considerar, por tanto, como una reflectividad normalizada de los efectos de anisotropía.

2.3.2. Modelo de Walthall

El modelo de Walthall [6] es un modelo empírico lineal donde la reflectividad viene dada por la expresión:

$$R^{Walt}(\theta_o, \theta_i, \phi, \lambda) = p_0(\lambda)(\theta_i^2 + \theta_o^2) + p_1(\lambda)\theta_i^2\theta_o^2 + p_2(\lambda)\theta_i\theta_o\cos\phi + p_3(\lambda)$$

siendo p_0 , p_1 , p_2 y p_3 los parámetros del modelo. Los dos primeros términos describen la forma cóncava de la BRDF. El término $\theta_i\theta_o\cos\phi$ reproduce la anisotropía de la BRDF y el aumento del valor de la reflectividad en la retrodispersión. Finalmente, p_3 representa el valor de la reflectividad en la geometría $\theta_o = \theta_i = 0$.

2.3.3. Modelo RPV

El modelo de Rahman-Pinty-Verstraete (RPV) [7] aproxima la reflectividad como el producto de tres funciones: la primera, se basa en la función empírica de Minnaert (M) y describe la concavidad de la BRDF; la segunda, es la función de fase Henyey-Greenstein (P) que describe la anisotropía de la BRDF y el aumento del valor de la retrodispersión; y el tercer término, tiene en cuenta, explícitamente, el efecto *hot spot* (H). Así, la reflectividad puede expresarse de la forma:

$$R^{RPV}(\theta_o, \theta_i, \phi, \lambda) = \rho_o(\lambda)M(\theta_o, \theta_i, \lambda)P(\theta_o, \theta_i, \phi, \lambda)H(\theta_o, \theta_i, \phi, \lambda)$$

donde ρ_o , k , Θ son los tres parámetros libres del modelo.

3. Resultados y discusión

3.1. Normalización de la anisotropía

Cuando el método de estimación de parámetros biofísicos no permite incorporar la dimensión angular, la anisotropía de la BRDF constituye una fuente de variabilidad en la señal no deseada que introduce errores importantes, especialmente cuando el campo de visión (FOV) es grande y en estudios multitemporales [8].

Como se ha comentado, el parámetro k_0 de los modelos *kernel-driven* y el parámetro p_3 del modelo de Walthall representan el valor de la reflectividad estandarizada a las condiciones $\theta_o = \theta_i = 0^\circ$. Y, por tanto, constituyen la base para normalizar las medidas adquiridas con sensores multiangulares a una geometría de referencia, normalmente a observación nadir e iluminación cenital: geometría óptima para la obtención de la FVC.

En [3] se pone de manifiesto que, en principio, cualquier modelo *kernel-driven*, así como el modelo de Walthall o el modelo RPV pueden resultar útiles para normalizar los datos CHRIS/PROBA de los efectos direccionales. Sin embargo, en base al tiempo de cálculo y a la calidad del ajuste a los datos experimentales, se opta por el modelo Li-Ross como el más apropiado para corregir la anisotropía en las medidas de reflectividad.

La figura 2 ilustra el papel que pueden tener los modelos paramétricos en la normalización de los efectos direccionales para mejorar la significación de métodos espectrales como los índices de vegetación. Los valores de NDVI representados en la figura 2 se calculan, tanto a partir de las reflectividades en las bandas 803 nm y 674nm extraídas de las 10 adquisiciones CHRIS/PROBA en una ventana de 3 x 3 píxeles, como mediante los valores de reflectividad normalizados (parámetro k_0 del modelo Li-Ross). En la figura 2 se pone de manifiesto que los efectos anisótropos son mayores en las superficies con una cobertura vegetal intermedia, como son las parcelas O2 y A1 (véase tabla 1). Para el caso de las cubiertas con valores de FVC bajos (S, G1) o altos (W, C2, A9, B3 y P1), la influencia de la geometría de adquisición en el NDVI es menor. En [8] se discute con más detalle las consecuencias de la dependencia del valor del NDVI con los ángulos de observación y de iluminación en cuanto a la estimación de parámetros biofísicos de la superficie.

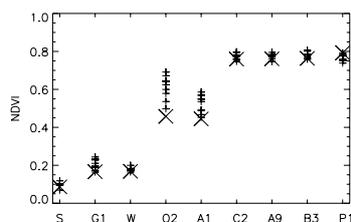


Figura 2. Influencia de la geometría de adquisición en el NDVI. Valor de NDVI no corregido (+) y corregido (X) de los efectos anisótropos en las distintas superficies de cultivo descritas en la tabla 1.

3.2. Caracterización de la BRDF

El acceso al dominio direccional permite estimar con mayor exactitud parámetros biofísicos mediante modelos físicos más complejos y realistas. En este sentido, la anisotropía de la BRDF representa una fuente adicional de información relacionada con la estructura tridimensional de las cubiertas vegetales [9].

A partir de las 10 imágenes CHRIS/PROBA disponibles (figura 1), la inversión de los modelos de

Walthall, Li-Ross y RPV permite caracterizar, en todo el espacio angular, la BRDF de las distintas superficies de cultivo presentes en la zona de estudio (tabla 1).

En la figura 3 se representa, sobre un diagrama polar, la BRDF de la cubierta de alfalfa A1. En este tipo de diagramas las líneas representan curvas de nivel sobre la superficie de BRDF, a intervalos constantes de reflectividad, proyectadas sobre el plano cartesiano XY ($X = \theta, \cos\phi, Y = \theta, \cos\phi$). Así, un pico en la BRDF viene representado por isóneas concéntricas de radio cada vez menor, mientras que un gradiente constante de reflectividad se representa con un conjunto de isóneas paralelas.

La comparación de la BRDF proporcionada por los distintos modelos con la BRDF observada directamente (entre 30-60 observaciones) mediante el sensor POLDER sobre una plataforma aerotransportada en una experiencia previa en la misma zona de estudio [9], nos permite comprobar la validez de las predicciones y analizar la capacidad de los distintos modelos para reproducir la forma de la BRDF.

El diagrama de BRDF de la figura 3 correspondiente al modelo de Walthall muestra un aumento constante en la reflectividad desde la región de dispersión hacia delante hacia la retrodispersión y presenta una forma convexa. Este comportamiento en la BRDF no reproduce las tendencias físicas observadas [9] y pone de manifiesto las limitaciones que presenta un modelo empírico como el de Walthall para reproducir la BRDF a partir de un número reducido de observaciones. Se dispone de 10 imágenes CHRIS/PROBA y todas ellas fueron adquiridas fuera del plano principal donde la anisotropía es máxima (véase figura 1).

Los diagramas de la figura 3 asociados a los modelos Li-Ross y RPV pueden explicarse en términos de los mecanismos físicos que determinan la anisotropía de la BRDF: el *gap effect* y el *backshadow effect* [9]. La forma concava típica de la función de BRDF está asociada al *gap effect* que se manifiesta con líneas cerradas en la región de dispersión hacia delante. La influencia del *backshadow effect* produce líneas equidistantes que reflejan un gradiente continuo de la reflectividad, cuyo valor disminuye monótonamente a medida que nos alejamos de la dirección de retrodispersión. Las mayores diferencias entre los diagramas de BRDF de los modelos Li-Ross y RPV tienen lugar en la región de retrodispersión. Únicamente el modelo RPV reproduce un máximo en el valor de la reflectividad en la configuración del *hot spot*.

Dado que el *hot spot* es un efecto importante para explicar la anisotropía de las cubiertas vegetales, se puede concluir que entre los modelos

considerados y para el caso de superficies de cultivo, el modelo RPV es el que reproduce mejor la forma de la BRDF mediante los datos CHRIS/PROBA de SPARC 2003.

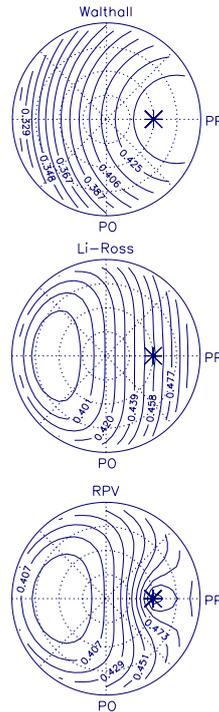


Figura 3. BRDF de una cubierta de alfalfa (A1) (tabla 1) a 803 nm obtenida mediante los modelos de Walthall, Li-Ross y RPV. Los círculos representan valores constantes del ángulo cenital de observación cada 15°. El asterisco marca la posición del sol (30°). PP: plano principal. PO: plano ortogonal.

4. Conclusiones

En este trabajo se han utilizado los modelos paramétricos de Walthall, Li-Ross y RPV para acceder al dominio direccional de la BRDF sobre superficies de cultivo mediante datos CHRIS/PROBA de la campaña SPARC 2003. Por tiempo de cálculo y por ofrecer un mejor ajuste a los datos experimentales, el modelo Li-Ross es el más adecuado para corregir los efectos direccionales en las medidas multiangulares CHRIS/PROBA. Este modelo se ha utilizado para normalizar el NDVI. Para caracterizar la BRDF de las distintas superficies presentes en la zona de estudio, entre los

modelos considerados, el modelo RPV resulta ser el que mejor reproduce la forma de la BRDF.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por los proyectos IDEAS (REN2002-01495), TEDECVA (GV04B-191), y LSA SAF (EUMETSAT). Los datos CHRIS/PROBA utilizados corresponden a la campaña SPARC 2003 de ESA.

6. Referencias

- [1] Nicodemus, F. E., Richmond, J. C., Hsia, J. J., Ginsberg, I. W., and Limperis, F. 1977. Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance. *National Bureau of Standards. NBS. Monograph 160.*
- [2] Lucht, W. and Roujean, J. L. 2000. Considerations in the parametric modeling of BRDF and albedo from multiangle satellite sensor observations. *Remote Sensing Reviews*, 18:343–380.
- [3] Verger, A. Models paramétrics de BRDF. Aplicació a dades CHRIS/PROBA. *Treball d'Investigació. Universitat de València.* pp. 145.
- [4] Lucht, W., Schaaf, C. B., and Strahler, A. H. 2000. An algorithm for the retrieval of albedo from space using semiempirical BRDF models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38:977–998.
- [5] Roujean, J. L., Leroy, M., and Deschamps, P. Y. 1992. A bidirectional reflectance model of the Earth's surface for the correction of remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*, 97(D18):20455–20468.
- [6] Nilson, T. and Kuusk, A. 1989. A reflectance model for the homogenous plant canopy and its inversion. *Remote Sensing of Environment*, 27:157–167.
- [7] Rahman, H., Pinty, B., and Verstraete, M. 1993. Coupled surface-atmospheric reflectance (CSAR) model 2. Semiempirical surface model usable with NOAA AVHRR data. *Journal of Geophysical Research*, 98(D11):20,791–20,802.
- [8] Verger, A., Camacho-de Coca, F., y Meliá J. 2004. Influencia de la geometría de adquisición en el NDVI. *Revista de Teledetección*, 21:95–99.
- [9] Camacho-de Coca, F., García-Haro, F.J., Gilabert, M. A., y Meliá, J. 2002. La anisotropía de la BRDF: Una nueva signatura de las cubiertas vegetales. *Revista de Teledetección*, 18:29-46.