

GENERACIÓN DE IMÁGENES DE REFLECTANCIA DEL SENSOR WiFS A PARTIR DE NOAA-AVHRR Y DATOS DE OCUPACIÓN DEL SUELO

A. CALLE⁽¹⁾, O. GIAFFREDA⁽¹⁾, F. GONZÁLEZ-ALONSO⁽²⁾ y J.L. CASANOVA⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid.
Dpto. Física Aplicada I. Facultad de Ciencias.
Universidad de Valladolid
e-mail: abel@latuv.uva.es

⁽²⁾Centro de Investigación Forestal (CIFOR)
Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias
Ministerio de Ciencia y Tecnología
e-mail: alonso@inia.es

RESUMEN: Este trabajo muestra un método simple para obtener imágenes de media resolución espacial utilizando imágenes de baja resolución espacial y datos de ocupación del suelo. La metodología seguida usa una técnica de regresión lineal aplicada a los sensores AVHRR y WiFS, filtrando los resultados para las diferentes clases de suelo. El procedimiento es aplicado para varias imágenes de test, separadas en el tiempo. Finalmente, los coeficientes obtenidos son interpolados para conseguir coeficientes válidos en cualquier época y ser aplicados a imágenes AVHRR. Los resultados muestran un mejor comportamiento en el canal rojo. La validación se realiza reproduciendo una imagen WiFS real.

ABSTRACT: This work shows a simple method to obtain images of medium spatial resolution using low spatial resolution and cover terrain data. The methodology use a technique of linear regression applied to AVHRR and WiFS sensors for separated terrain classes. The method is applied for several images of test, separated in time. Finally, coefficients obtained are interpolated to get valid coefficients for all time and to be applied to any AVHRR images. Technique shows a better behaviour in the red channel. Methodology is tested to reproduce a true WiFS image.

Palabras Clave: IRS-WiFS, NOAA-AVHRR, Reflectancia, Resolución espacial

INTRODUCCIÓN

Los resultados relativos a la evolución de la vegetación, generados a partir del sensor NOAA-AVHRR se han mostrado muy eficientes, principalmente por la alta resolución temporal que presenta este sensor. Sin embargo, esto repercute en una resolución espacial insuficiente para extender estos análisis a un ámbito más local. Una resolución espacial muy adecuada para este fin es la que presenta el satélite indio IRS/IC, con un tamaño de píxel de 188m. Esto repercute en un descenso considerable de su resolución temporal, que es de 5 días, lo que no tiene mucha importancia teniendo en cuenta que el análisis de las imágenes del sensor AVHRR se analizan agrupadas en compuestos decenales o semanales, en la mayoría de los casos. Una comparativa de ambas resoluciones se muestra en la figura 1.

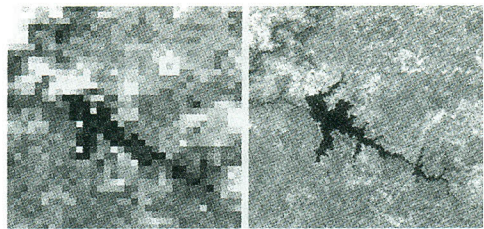


Figura 1. Comparación de la resolución AVHRR y WiFS.

Este trabajo presenta una metodología muy sencilla para la obtención de imágenes de reflectancia dotadas de una resolución de 180 metros a partir de imágenes NOAA-AVHRR y datos de ocupación del suelo. Dado que la resolución temporal de aquéllas es diaria, esta

herramienta se muestra especialmente útil para disponer de imágenes con una elevada información para estudios de evolución de la vegetación. Se han tomado las bandas visible e infrarrojo próximo de todas las imágenes de ambos sensores con la finalidad de llevar a cabo el estudio del NDVI.

Este estudio ha sido aplicado a la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Se han utilizado imágenes cuyas fechas estaban comprendidas entre marzo y julio, de esta forma se conseguía que los coeficientes obtenidos al aplicar el método de regresión lineal fuesen válidos para cualquier época del año, mediante la utilización de coeficientes interpolados para hacer extensivos los resultados a cualquier época de la campaña de interés.

METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo para la obtención de las imágenes sintéticas pasa por dos fases fundamentales. La primera de ellas trata del procesado de las imágenes NOAA-AVHRR e IRS/1C-WiFS previa a la aplicación del algoritmo desarrollado basado en la utilización adicional del mapa de usos del suelo.

Procesado de las imágenes

Bajo el término de "procesado" hacemos referencia a todos los procesos destinados a la preparación de los escenarios. Las imágenes de los dos sensores tienen resoluciones radiométricas y espaciales diferentes, por lo que llevan procesos diferentes aunque paralelos.

Las imágenes de los canales 1 y 2 AVHRR han sido calibradas a valores de reflectancia a través de coeficientes que tienen en cuenta la degradación del sensor en forma lineal (Kaufman y Holben, 1993). También han sido corregidas de efectos atmosféricos mediante un modelo basado en el 5S (Tanré *et al.*, 1990) y finalmente han sido corregidas geográficamente a una proyección UTM-30N con un tamaño de píxel de 1km. El procedimiento utilizado ha sido una corrección orbital y ajuste final mediante puntos de control (Illera *et al.*, 1996). Este último proceso es de vital importancia ya que la aplicación final del algoritmo está destinado a una superposición de diferentes resoluciones espaciales.

Las imágenes WiFS han sido remuestreadas a un tamaño de píxel de 200 metros, en una proyección UTM-30N mediante la utilización de polinomios de ajuste de puntos de control. Finalmente se ha llevado a cabo una supervisión de la precisión a través de accidentes geográficos relevantes.

Finalmente se ha aplicado, a los dos sensores, un filtro de nubes para la eliminación de zonas cubiertas, mediante un proceso interactivo y discriminando entre

tipos de nubes y áreas geográficas de la imagen, para conseguir resultados precisos sin llevar a cabo la eliminación innecesaria de terreno despejado.

Procesado del mapa de usos del suelo

Se ha partido de un mapa de usos del suelo CORINE rasterizado a la resolución de 30m para aprovechar al máximo la información contenida. Posteriormente se ha llevado a cabo el proceso de degradación de las clases, a las resoluciones de estudio 1km y 200m siguiendo criterio de agrupación por grado de homogeneidad de las clases del suelo presentes en la extensión del futuro píxel degradado. Teniendo en cuenta que la información con la que se trabaja tiene una codificación discontinua (las clases del suelo) y no pueden ser aplicados procedimientos de promedio o interpolaciones, existe el peligro de crear píxeles degradados muy poco representativos si las clases de origen están muy dispersas. De esta manera, el criterio de degradación adoptado es la obtención de la clase mayoritaria del grupo de píxeles degradados, atendiendo a un valor umbral mínimo.

El grado de homogeneidad exigido va a ser del 80% y 100 % para la resolución de 1 km y del 100% para la resolución espacial de 200 m. Estos son los requerimientos finales para la aplicación del algoritmo de generación, pero también se han obtenidos mapas degradados a diferentes niveles de homogeneidad (50%, 75%, 90% y 100%) con la intención de analizar y seleccionar las clases de suelo más importantes y ver la relación entre grado de dispersión de una clase (lo que conducirá a ser rechazada) y extensión total con la que se encuentre presente en todo el territorio analizado. A la vista de los resultados obtenidos, se ha optado por seleccionar como clases mayoritarias aquellas que posean un porcentaje de presencia en el territorio, mayor del 3% en la imagen CORINE 200m, con grado de homogeneidad de las clases mayoritarias, mayor del 50%, obteniéndose 11 clases, que son las siguientes:

Nº de clase	Nombre de la clase
15	Tierras de labor en seco
16	Cultivos herbáceos regadío
34	Terrenos agrícolas
35	Sistemas agroforestales
36	Quejigales
39	Caducifolias y rebollares
42	Pináceas
47	Pastizales
48	Landas y matorral oceánico
52	Matorrales poco densos
55	Matorral boscoso

Tabla 1: Cubiertas de suelo analizadas.

Modelo de generación de imágenes WiFS a partir de imágenes AVHRR.

El modelo de generación de imágenes que hemos adoptado se basa en que dadas dos imágenes, WiFS y AVHRR, ambas de la misma zona de la superficie terrestre y de la misma fecha sus respectivas reflectancias estarán relacionadas en aquellas bandas que operan en el mismo rango espectral. Esta afirmación se traduce de forma analítica en establecer una regresión lineal entre las reflectancias de ambas imágenes aplicada a las mismas cubiertas de suelo. Por razones técnicas de la metodología hemos preferido generar, a través de las regresiones lineales, los niveles digitales de las imágenes WiFS a partir de los valores de reflectancia de las imágenes AVHRR. La calibración radiométrica será efectuada con posterioridad.

El modelo considera que esta relación será una regresión lineal del tipo:

$$R_{AVHRR} = a + bND_{WiFS}$$

R_{AVHRR} es la reflectancia de cada píxel de la imagen NOAA-AVHRR, a y b son los coeficientes de la regresión lineal, ordenada en el origen y valor de la pendiente respectivamente y ND_{WiFS} es el nivel digital de la imagen IRS/IC-WiFS.

Esta expresión será aplicada sólo a los píxeles de las clases de suelo más importantes de la región a estudiar, en este caso Castilla y León, las 11 clases seleccionadas son las siguientes: 15, 16, 34, 35, 36, 39, 42, 47, 48, 52, y 55, estos números corresponden cada uno de ellos a un tipo distinto de cultivo, y han sido obtenidos a partir del análisis del apartado "Procesado del mapa de usos del suelo". Así, la expresión analítica generalizada del modelo aplicado se traduce en:

$${}^c R_i = {}^c a_i + {}^c b_i {}^c ND_i$$

donde: i = 15, 16, 34, 35, 36, 39, 42, 47, 48, 52, y 55, representa el índice de cada clase de suelo, c = 1 o 2, representa el canal rojo o infrarrojo próximo.

Conocidos los coeficientes ${}^c a_i$ y ${}^c b_i$; y dada una imagen AVHRR cualesquiera se podría obtener su correspondiente imagen WiFS, llamada WiFS sintética.

En esta regresión se están considerando todos los píxeles que componen la imagen que se va a considerar como la original, sin embargo en la práctica será necesario eliminar todos aquellos píxeles que por errores de captura de la imagen o por la existencia de nubes, principalmente, van a dar valores de reflectancia afectados de ruido. Para eliminar estos píxeles es necesario considerar una máscara asociada a la regresión lineal.

Una vez obtenidos los coeficientes ${}^c a_i$ y ${}^c b_i$ válidos para la fecha concreta de la regresión establecida, es necesario calcular unos coeficientes ${}^c a_i$ y ${}^c b_i$ genéricos

que sirvan para cualquier época del año. Luego la regresión lineal se escribirá:

$${}^c R_i^j = {}^c a_i^j + {}^c b_i^j {}^c ND_i^j$$

donde el parámetro j designa la fecha de captura de la imagen. Para calcular dichos coeficientes genéricos se realizarán una serie de interpolaciones bilineales entre los coeficientes obtenidos para cada fecha, en la forma:

$${}^c a_i = m_1 t^2 + m_2 t + m_3$$

$${}^c b_i = n_1 t^2 + n_2 t + n_3$$

donde m_1 , m_2 , m_3 , n_1 , n_2 y n_3 son los coeficientes de la interpolación bilineal obtenidos para cada clase i y para cada canal c y t es el día de la captura de la imagen AVHRR de la cual se quiere obtener su imagen WiFS sintética, día expresado en unidades de día juliano del año. Así, los coeficientes calculados para varias imágenes de partida, distribuidas entre marzo y junio, servirán para obtener imágenes WiFS de cualquier época del año.

Finalmente, la imagen WiFS sintética total, para cada canal, será la suma de las distintas imágenes WiFS sintéticas para cada clase i y para cada canal c, utilizando la expresión:

$${}^c ND_s = \sum_i {}^c ND_{s_i}$$

donde ${}^c ND_s$ es el nivel digital de la imagen WiFS sintética total para cada canal c.

Otro punto importante que hay que considerar es el método que se ha seguido para obtener las imágenes de cada clase. Este consiste en una superposición con una máscara del mapa CORINE para dicha clase. Como ya se ha visto se utilizarán imágenes CORINE degradadas a la resolución espacial de 1 km y de 200 m, resoluciones correspondientes a las de las imágenes AVHRR y WiFS, respectivamente; Por lo tanto todo el proceso descrito hasta ahora deberá ser realizado por duplicado, obteniendo dos imágenes WiFS sintéticas una para cada grado de homogeneidad exigido a las imágenes de resolución espacial de 1km, 80% y 100%, y para cada canal.

RESULTADOS

Las tablas 2 y 3 muestran los coeficientes genéricos, procedentes de la interpolación, obtenidos para cada una de las clases de suelo analizadas y para cada uno de los canales 1 y 2 respectivamente.

CLASE	a _{genérico}	b _{genérico}
15	0.0023t ² -0.5617t+50.775	3.10 ⁻⁵ t ² -0.0088t+0.7429
16	-0.001t ² +0.2963t+2.3406	5.10 ⁻⁵ t ² -0.0149t+1.079
34	-0.0022t ² +0.6054t-21.224	8.10 ⁻⁵ t ² -0.0214t+1.5235
35	-0.0008t ² +0.3249t-4.8631	5.10 ⁻⁵ t ² -0.0146t+1.0566
36	0.0027t ² -0.6672t+51.654	1.10 ⁻⁵ t ² -0.0048t+0.548
39	0.0033t ² -0.8553t+64.739	-2.10 ⁻⁵ t ² -0.0054t-0.1347
42	0.0015t ² -0.4361t+37.144	2.10 ⁻⁵ t ² -0.004t+0.4783
47	-0.0038t ² +0.9674t-37.812	8.10 ⁻⁵ t ² -0.0204t+1.3816
48	-0.0004t ² +0.0979t+8.6387	3.10 ⁻⁵ t ² -0.0086t+0.6897
52	-0.0021t ² +0.6454t-28.313	8.10 ⁻⁵ t ² -0.0233t+1.6347
55	-0.0015t ² +0.3825t-8.9553	6.10 ⁻⁵ t ² -0.0158t+1.1667

Tabla 2: Coeficientes canal 1(100%)

CLASE	a _{genérico}	b _{genérico}
15	0.0075t ² -1.881t+142.83	-2.10 ⁻⁵ t ² +0.0035t+0.2501
16	0.0033t ² -0.5976t+52.133	2.10 ⁻⁵ t ² -0.0092t+1.0615
34	0.0114t ² -2.7875t+165.92	-3.10 ⁻⁵ t ² +0.0049t+0.4039
35	0.0033t ² -0.8474t+86.224	-5.10 ⁻⁷ t ² -0.0013t+0.4341
36	0.0015t ² -0.5015t+70.201	2.10 ⁻⁵ t ² -0.0064t+0.6557
39	0.0044t ² -1.3823t+130.69	-5.10 ⁻⁵ t ² +0.0142t-0.6381
42	0.008t ² -2.166t+159.2	-5.10 ⁻⁵ t ² +0.0133t-0.4844
47	0.0063t ² -1.599t+127.98	-3.10 ⁻⁵ t ² +0.0055t+0.0665
48	0.0006t ² -0.239t+51.793	2.10 ⁻⁵ t ² -0.0054t+0.5517
52	0.0125t ² -3.3314t+223.09	-8.10 ⁻⁵ t ² +0.0201t-0.7797
55	0.0059t ² -1.5739t+114.11	-2.10 ⁻⁵ t ² +0.0026t+0.3023

Tabla 3: Coeficientes canal 2 (100%)

Como se aprecia en las tablas, los coeficientes aparecen expresados en función del tiempo, a través del parámetro t (día juliano del año).

Como ya se ha comentado, el análisis se ha realizado para dos valores umbrales de homogeneidad de la clase mayoritaria, 80% y 100%, aunque por brevedad sólo se aportan los de ésta última por razones de representatividad.

Intentos de mejora del procedimiento

En un intento de mejorar este modelo se consideró la posible relación que tendrían las reflectancias de las imágenes AVHRR y WiFS con el modelo digital de elevaciones, usando de nuevo el mapa de usos del suelo. Para ver la correlación entre estas variables se intentó establecer una regresión multilínea, para cada clase de suelo i, cuya expresión es:

$$[AVHRR_{final}]_i = a_i + b_i [WiFS_{final}] + c_i [mdt]$$

donde i = 15, 16, 34, 35, 36, 39, 42, 47, 48, 52 y 55, son las clases de suelo más importantes para Castilla y León.

Se aplicó esta regresión multilínea tomando como imágenes de partida los canales 1 de las imágenes AVHRR y WiFS correspondientes al 24-junio-1997. Los coeficientes que se han obtenido muestran que el coeficiente c_i, que expresa la dependencia de las reflectancias AVHRR y WiFS con el modelo digital del terreno apenas supera el valor de 0.007 indicando que estas reflectancias no van a depender mucho de esta nueva variable.

Validación de resultados

Para realizar el proceso de validación de los resultados, se han generado imágenes sintéticas de reflectancia, a la resolución WiFS, para algunas de las fechas utilizadas en el análisis. Por supuesto, los coeficientes utilizados para la generación de las imágenes provienen de la interpolación realizada excluyendo los coeficientes aportados por la fecha en que se realiza la validación; de otro modo se sesgaría el resultado. Entonces se van a obtener cuatro imágenes WiFS sintéticas que son las correspondientes al canal 1 (80%), canal 2 (80%), canal 1 (100%) y canal 2 (100%).

Imagen WiFS sintética	Coefficiente de correlación "r"
Canal 1 (80%)	0.8
Canal 2 (80%)	0.5
Canal 1 (100%)	0.7
Canal 2 (100%)	0.5

Tabla 4. Coeficientes de correlación en el proceso de validación: WiFS sintética y WiFS inicial.

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos para una de las fechas (10/03/97). Este resultado es muy representativo dado que los valores de todas las fechas analizadas son muy similares. También puede apreciarse que el resultado de la validación es muy similar en degradación de clases al 80% y al 100%.

CONCLUSIONES

De la tabla 4 se deduce como resultado que la mejor correlación se produce entre los canales rojos de ambas imágenes, y que la mejor de todas se da para el grado de homogeneidad del 80%; este grado de homogeneidad actúa como variable en la degradación del mapa CORINE.

Con el fin de conseguir mayor coeficiente de correlación se realizaron algunas pruebas con las imágenes WiFS sintéticas, en las que se intentaba ver qué clases de suelo influyen más en el resultado y qué clases podrían ser desechadas para aumentar dicho coeficiente de

correlación. Se observó que las clases mayoritarias daban buena correlación, y que la correlación de la imagen WiFS sintética total, considerada ésta la que se obtiene de la superposición de las obtenidas para cada clase, se veía mejorada cuando no se incluía en la superposición alguna imagen correspondiente a alguna clase con poca cubierta.

BIBLIOGRAFÍA

- ILLERA, P., DELGADO, J. A. and CALLE, A. 1996. A navigation algorithm for satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, No. 3, 577-588.
- KAUFMAN, Y. J. and HOLBEN, B. N. 1993. Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 13, No. 1, 21-52.
- TANRÉ, D., DEROO, C., DUHAUT, P., HERMAN, M., MORCLETTE, J. J., PERBOS, J. and DESCHAMPS, P. Y. 1990. Description of a computer code to simulate signal in the solar spectrum: the 5S code. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, 659-668.