

USO DE INFORMACIÓN MULTIESCALA EN LA CORRECCIÓN DE LOS EFECTOS DE ILUMINACIÓN MEDIANTE MDT

J.C. Garcia (*,**) y J. Moreno (**)

dielmo@dielmo.com

(*) *DIELMO. Parque Tecnológico de Paterna. Av. Benjamín Franklin 12, 46980 Paterna, Valencia (Spain).*

(**) *Universidad de Valencia. Dpto. de Termodinámica. C\ Moliner 50, 46100 Burjasot, Valencia (Spain).*

RESUMEN: En este trabajo se muestra una metodología rápida y sencilla para la correcta estimación de la pendiente a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) con mayor resolución espacial que la imagen aérea o de satélite que se va a utilizar. La correcta medida de la pendiente del terreno dentro de un píxel de la imagen (sin utilizar los píxeles de alrededor) permite mejorar la compensación de los efectos topográficos debidos a la iluminación directa. Además aporta información adicional de la rugosidad del terreno dentro de cada píxel, permitiendo la corrección de los efectos debidos a radiación solar difusa y reflectividad direccional. Junto con la descripción de esta metodología, se muestran algunos resultados y sus posibles aplicaciones.

ABSTRACT: In this paper we present a simple and fast methodology for the correct slope estimation from a Digital Terrain Model (DTM) with more spatial resolution than the aerial or satellite image. The correct measurement of the slope inside each pixel of the image (without the use of the nearest pixels), allows to improve the compensation of topographic effects due to the Sun direct illumination. Moreover, it gives additional information of the roughness inside each pixel, allowing the correction of the diffuse solar radiation and directional reflectance effects. Some results and possible applications are shown, together with the description of this methodology.

Palabras clave: MDT, corrección de iluminación, efectos topográficos, pendiente, rugosidad.

INTRODUCCIÓN

La corrección de los efectos producidos por la iluminación directa consiste en la compensación de la influencia que tienen la topografía y la posición del sol en la radiancia medida para cada píxel. Para ello es necesario calcular la imagen de iluminación a partir del MDT. Esta iluminación se define como el coseno del ángulo formado entre el vector de radiación solar directa incidente y el vector perpendicular al píxel. La posición del sol es conocida, por lo que la precisión en la corrección de esta iluminación dependerá de la estimación de la pendiente del terreno en cada píxel.

Tradicionalmente se utilizan las alturas de los píxeles de alrededor para el cálculo de la pendiente del píxel central [Cavayas, 1987; Justice et al, 1981]. Esta técnica introduce errores que se agravan con el aumento de la topografía del terreno y la disminución de la resolución espacial del MDT [Woodman, 1980]. La figura 1 muestra un ejemplo de este error en la estimación de la pendiente.

Si trabajamos con un MDT con la misma resolución de la imagen, no es posible corregir este efecto, porque no hay otra forma de calcular las pendientes de cada píxel. Con el uso de un MDT con

mayor resolución espacial que la imagen es posible la medida de la pendiente dentro de cada píxel, sin el uso de los de su alrededor, lo que permite reducir considerablemente la dependencia de los errores con la resolución de trabajo y los cambios en la topografía del terreno.

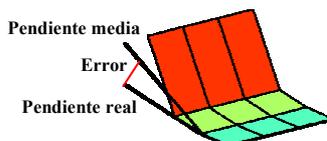


Figura 1.- Ejemplo del error en la estimación de la pendiente con el método tradicional.

Además, al mismo tiempo que se utiliza el MDT de alta resolución para la estimación de la pendiente, es posible estimar la rugosidad dentro de cada píxel de la imagen, lo que permite corregir los efectos debidos a radiación solar difusa y reflectividad direccional [Moreno, 1996].

ILUMINACIÓN DEL MODELO ESTIMANDO LA PENDIENTE DENTRO DEL PÍXEL

La solución propuesta para realizar una adecuada estimación de la pendiente del terreno consiste en:

- Dividir el MDT de alta resolución en zonas de tamaño igual a la resolución final deseada.
- Ajustar por mínimos cuadrados cada una de estas zonas a un plano en 2D (ver figura 2).

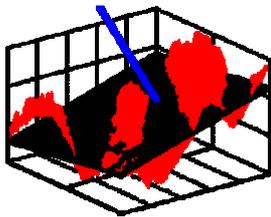


Figura 2.- Ajuste a un plano 2D de las alturas que se encuentran dentro del píxel.

- Calcular el vector perpendicular al plano que acabamos de ajustar (ver figura 2).
- Calcular el coseno del ángulo formado entre el vector solar y el vector perpendicular al plano ajustado [García, 2002]. Este será el valor del factor de iluminación con la resolución final deseada.

En el apartado siguiente veremos como los resultados de este nuevo método son mucho mejores de los obtenidos con un MDT con la misma resolución espacial que la imagen.

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS ILUMINADOS

Para este ejemplo utilizaremos un MDT con 10m de resolución de una zona de Marruecos, que cubre un área de 63x32 km². La resolución final deseada es de 1 km por píxel.

A continuación vamos a comparar los resultados en el cálculo de la iluminación del modelo con la estimación de pendiente tradicional y con la estimación de pendiente dentro del píxel. Para ello vamos a comparar con otro resultado considerado como correcto.

Se trata de iluminar el modelo de alta resolución con el método tradicional, promediando posteriormente dicha imagen para obtener la iluminación a la resolución final deseada. En la figura 3 comparamos el resultado ideal con los descritos anteriormente, representado en el eje X el

resultado considerado como ideal, y en el eje Y la iluminación obtenida con el método tradicional (a la izquierda) y estimando la pendiente dentro del píxel (a la derecha).

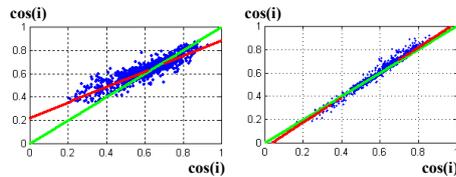


Figura 3.- Comparación de los modelos iluminados con el resultado ideal. La posición del sol corresponde a las 9 de la mañana.

Si el terreno fuese completamente llano, la iluminación obtenida sería la misma, independientemente del método de cálculo utilizado, y por lo tanto toda la nube de puntos estaría completamente superpuesta a la diagonal.

Sin embargo, la topografía del terreno hace que el resultado sea muy distinto en el caso del método tradicional, mientras que para el nuevo método, el ajuste de la nube de puntos está prácticamente superpuesto a la diagonal.

DEPENDENCIA CON LA POSICIÓN DEL SOL

Los errores en el modelo iluminado también varían en función de la posición del sol. La figura 4 representa la pendiente y ordenada en el origen del ajuste de la nube de puntos que veíamos en la figura 3, ante variaciones de la posición del sol desde las 9 hasta las 16 horas.

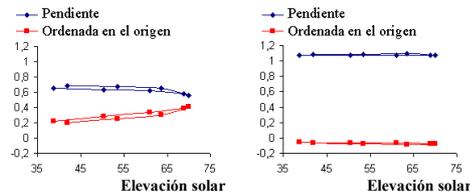


Figura 4.- Errores del modelo iluminado en función de la posición del sol.

Si el resultado fuera ideal, el ajuste lineal estaría superpuesto a la diagonal, siendo la pendiente igual a 1 y la ordenada en el origen igual a 0. En la figura 4 observamos como la estimación de pendiente de forma tradicional (a la izquierda) es más sensible a los cambios en la posición del sol, mientras que al estimar la pendiente dentro del píxel (a la derecha), esa dependencia es menor, y los valores se acercan más a los deseados.

El error que acabamos de describir se debe a la radiación solar difusa y reflectividad direccional producidas por la rugosidad del terreno dentro de la celda de 1 km². Si tan sólo dispusiéramos del modelo de baja resolución espacial, no habría forma de abordar el problema, pero al disponer de un MDT de alta resolución espacial, podemos obtener una medida de la rugosidad que nos permitirá corregir el error.

ESTIMACIÓN DE LA RUGOSIDAD

La ventaja de este nuevo algoritmo de iluminación es que al realizar el ajuste a un plano, no sólo podemos calcular el vector perpendicular (útil para el cálculo de la iluminación), sino que al mismo tiempo podemos medir la desviación estándar de las alturas del MDT respecto al plano, de forma que obtenemos un parámetro estadístico que describe la rugosidad de cada celda de baja resolución espacial.

En la figura 5 hemos representado la desviación estándar de las alturas en función de la iluminación del modelo de alta resolución espacial.

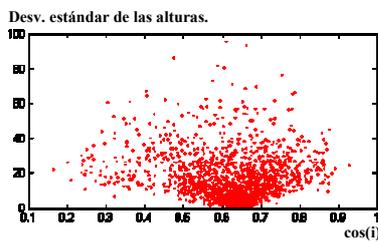


Figura 5.- Desviación estándar de las alturas del MDT de alta resolución espacial, en función de la iluminación del modelo. La posición del sol corresponde a las 9 de la mañana.

En esta figura vemos como para valores de $\cos(i)$ aproximadamente iguales a 0.63, la rugosidad es prácticamente cero. Observando la figura 3, apreciamos que este valor de iluminación corresponde aproximadamente con el punto donde el ajuste lineal se cruza con la diagonal.

Esto tiene sentido, porque un valor de rugosidad cero quiere decir que el MDT es llano en ese punto, y que por lo tanto, al no haber rugosidad, el valor de iluminación es el mismo, independientemente del método de cálculo utilizado.

COMPENSACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA RUGOSIDAD

En la figura 3 podemos apreciar que para $\cos(i)$ menores al punto de mínima rugosidad, el valor obtenido es superior al deseado, y para $\cos(i)$

mayores al punto de mínima rugosidad, el valor obtenido es inferior al deseado. Esto es así para cualquier hora del día.

La corrección del efecto de la rugosidad consistirá en girar la línea ajustada para que ésta se superponga a la diagonal. El punto de giro corresponderá al punto de mínima rugosidad medido en la figura 5.

Lo único que falta por determinar es la pendiente (a) de la recta que debemos sumar para que el ajuste lineal de la figura 3 pase a tener pendiente 1.

Esta corrección no se debe hacer en función de la iluminación del modelo de alta resolución espacial, ya que se supone que este es un valor ideal para esta simulación donde tan solo consideramos la topografía y suponemos que toda la superficie es lambertiana. En una aplicación práctica no se dispondría de este resultado. Por lo tanto, la corrección se debe hacer en función de la distancia desde el valor de la iluminación a corregir hasta el valor de iluminación correspondiente al punto de mínima rugosidad.

La pendiente (a) depende de la rugosidad, pero no la podemos obtener directamente a partir de la desviación estándar de las alturas. Dado que en la naturaleza se cumple que la longitud de auto correlación de la micro topografía siempre es menor que la longitud de autocorrelación de la macro topografía, será posible encontrar una relación que nos de la pendiente (a), pero este cálculo lo dejaremos para trabajos posteriores.

En este caso hemos ajustado la pendiente (a) para que el giro sea el adecuado. En la figura 6 vemos la pendiente adecuada para la corregir el efecto de la rugosidad.

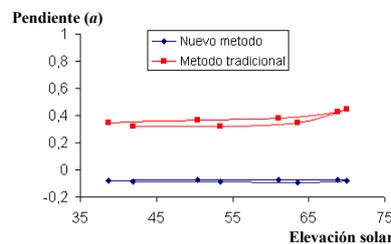


Figura 6.- Pendiente (a) en función de la posición del sol.

Los datos de la figura 6 se podrían ajustar a una parábola que nos de la pendiente (a) en función

de la posición del sol, la desviación estándar de las alturas y la longitud de autocorrelación.

Una vez conocidos el punto de mínima rugosidad y la pendiente (a), podemos aplicar el siguiente algoritmo para corregir el efecto de la luz difusa debida a la rugosidad del terreno.

```

If (MDT_ilu > PMR)
{
  MDT_ilu_corr = MDT_ilu + a * (DMT_ilu - PMR)

  If (MDT_ilu_corr < 0 Or MDT_ilu_corr > 1)
    MDT_ilu_corr = MDT_ilu
}

```

En la figura 7 vemos el resultado de aplicar esta corrección a los ajustes lineales mostrados en la figura 4.

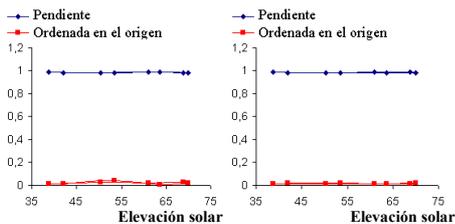


Figura 7.- Errores del modelo iluminado en función de la posición del sol.

En este caso las correcciones son prácticamente perfectas, debido a que hemos ajustado la pendiente (a) para obtener un resultado ideal. En una aplicación práctica, la calidad de esta corrección dependerá de la estimación de la pendiente (a).

CONCLUSIONES

El punto más importante para realizar de forma adecuada la corrección topográfica está en el cálculo de la iluminación del MDT. Para ello necesitamos un buen MDT, donde no aparezcan cambios bruscos de pendiente debidos a problemas en la generación del mismo y que realmente no pertenezcan al terreno. De lo contrario, en vez de corregir la imagen introduciremos más errores.

Hace unos años no era posible pensar en mejorar las correcciones de los efectos producidos por la iluminación de sol, debido a que no se podía disponer de MDT de alta resolución espacial y con la calidad suficiente.

En estos momentos, gracias al desarrollo de nuevos métodos de interpolación (como el usado por DIELEMO) y a la aparición de nuevas tecnologías

como el LIDAR o la interferometría RADAR, se dispone de mejores MDT que permiten realizar estas correcciones.

El método de estimación de la pendiente dentro del píxel es el más adecuado para calcular la iluminación y las pendientes en modelos de alta resolución espacial (por ejemplo los producidos con LIDAR), donde el uso de los píxeles de alrededor al central no son significativos de la pendiente real del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

Cavayas F., 1987, "Modelling and correction of topographic effect using multi-temporal satellite images", *Canad. J. Remote Sensing*, vol. 13, pp. 49-67.

García J.C., 2002, "Advances in the use of DEMs for improved quantitative analysis of multiscale remote sensing data", *Proceedings of the First International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, pp. 282-286.

Justice C.O., Wharton S.W. and Holben B.N., 1981, "Application of digital terrain data to quantify and reduce the topographic effect on Landsat data", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 2, pp. 213-230.

Moreno J., 1994, "Spectral/spatial integration effects on information extraction from multispectral data: multiresolution approaches", *EOS/SPIE European Symposium on Satellite Remote Sensing*, Rome, September 1994, *SPIE Proc.* vol. 3214, pp. 324-338.

Woodham R.J., "Using digital terrain data to model image formation in remote sensing", *Image Processing for Missile Guidance*, *Proceedings SPIE*, vol. 238, pp. 361-369, 1980.