TELEDETECCIÓN - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional Ed. Martin, 2007, ISBN: 978-987-543-126-3

Seguimiento de estructuras nubosas en imágenes MSG mediante la aplicación de técnicas diferenciales.

Marcello, Javier¹^a; Eugenio, Francisco^a; Marqués, Ferran^b

 ^(a) Dpto. de Señales y Comunicaciones, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria Campus de Tafira, Edificio B, 35017, Las Palmas de Gran Canaria, España
 ^(b) Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña

Campus Nord, D5, c/Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, España

RESUMEN

Se ha analizado el movimiento de las nubes a partir de técnicas diferenciales en imágenes multitemporales y multiespectrales del sensor SEVIRI del MSG. Tras un estudio inicial, se han seleccionado las técnicas de Lucas-Kanade, Black-Anandan, Horn-Schunk y Nagel. Para evaluar cada una de las técnicas, se ha generado una base de datos de secuencias reales. Los campos de movimiento obtenidos por Lucas-Kanade modelan aceptablemente el flujo de las estructuras nubosas. Finalmente se han comparado los resultados con el algoritmo MCC (*Maximum Cross-Correlation*).

Palabras Clave: flujo óptico, MSG, nubes.

ABSTRACT

Cloud motion has been studied using differential techniques in multitemporal and multispectral images of the SEVIRI sensor onboard the MSG. After an initial analysis, Lucas-Kanade, Black-Anandan, Horn-Schunk and Nagel optical flow algorithms have been selected. To evaluate each technique, a database of real sequences has been generated. The motion fields recovered have been satisfactory for Lucas-Kanade, providing vectors that model the real flow of cloudy structures. Finally, motion vectors have been compared with the MCC (Maximum Cross-Correlation technique).

Keywords: motion estimation, optical flow, MSG, clouds.

Introducción

EUMETSAT, junto con la Agencia Europea del Espacio inició el desarrollo de una nueva generación de sistemas espaciales para aplicaciones de meteorología: los satélites MSG (Meteosat de Segunda Generación). Estas plataformas están colocadas en la órbita geoestacionaria, a una longitud de 0º y por tanto su zona de cobertura abarca la totalidad de Europa, África y el océano Atlántico, hasta un círculo de aproximadamente 70º con respecto al punto subsatélite, sin embargo en dichos extremos, debido a la curvatura de la Tierra, las imágenes están más distorsionadas por lo que habitualmente se usa hasta 60°. Básicamente, los MSG poseen forma cilíndrica con un tamaño total de 3.7 m de diámetro y 2.4 m en altura.

El instrumento más importante instalado a bordo del MSG es el radiómetro SEVIRI (Sch-

mid) (Radiómetro de Exploración por barrido giratorio en la región visible e infrarroja del espectro), que suministra imágenes de la cuarta parte del disco terrestre y muestra las formaciones de nubes, zonas de niebla, toma medidas de temperaturas, estudia el ozono y otras condiciones atmosféricas, tanto diurnas como nocturnas. Dispone de 12 canales espectrales proporcionando 20 veces más datos en comparación con su antecesor. Se generan imágenes cada 15 minutos, duplicando la resolución temporal respecto a los METEOSAT anteriores. La resolución espacial es de 3 Km. en el nadir, salvo para el canal de alta resolución (HRV) que es de 1 Km.

En la Tabla 1 se incluyen los diferentes canales que analiza el SEVIRI. Espectralmente hablando dispone de 2 canales en el visible (VIS0.6

¹ Contacto autor: Te: +34 928 457365 Fax: +34 928 45731279 - Correo electrónico: fmarcello@dsc.ulpgc.es

y VIS0.8) para proporcionar imágenes diurnas de las nubes y superficie terrestre, permitiendo discriminar las zonas verdes de la nubes y detectar la presencia de aerosoles. El canal del infrarrojo cercano (NIR1.6) permite distinguir las nubes de la nieve y las nubes de agua de las de hielo. El canal IR3.8 es especialmente útil por la noche para detectar niebla y nubes muy bajas. Seguidamente, existen 2 bandas (IR6.2 e IR7.3) que permiten determinar la distribución de vapor de agua en dos capas distintas de la atmósfera. Los canales IR8.7, IR10.8 e IR12.0 proporcionan una observación continua de las nubes y permiten la estimación de la temperatura de la tierra, mar y nubes. El canal de IR9.7 se corresponde con la banda de absorción del ozono y permite el estudio de la parte más alta de la atmósfera. Finalmente la banda IR 13.4 se usa para la detección de CO2. la discriminación de los cirros y la obtención de la altura y presión de las nubes. Adicionalmente se dispone del canal de alta resolución centrado en el visible (HRV).

Tabla 1 - Bandas espectrales del SEVIRI

Canal	Bandas	λ central (μm)
HRV	Visible Infrarrojo cercano	0.75
VIS 0.6		0.635
VIS 0.8		0.81
NIR 1.6		1.64
IR 3.9	IR medio y térmico	3.92
IR 8.7		8.70
IR 10.8		10.80
IR 12.0		12.00
IR 6.2	Vapor de agua	6.25
IR 7.3		7.35
IR 9.7	Ozono	9.66
IR 13.4	Dióxido de carbono	13.40

De otra parte, el análisis del movimiento de las estructuras nubosas en secuencias multitemporales de imágenes es un problema complejo debido a la naturaleza no rígida del movimiento, no existiendo todavía una metodología que proporcione resultados óptimos en todos los casos. Diversas estrategias se han desarrollado en las últimas décadas para estimar dicho movimiento al ser de suma importancia en aplicaciones meteorológicas, climáticas, así como en los modelos de predicción del tiempo. Las técnicas que han sido usadas sistemáticamente en este ámbito se basan en la correspondencia de regiones, de forma que patrones en la primera imagen se mueven sobre la imagen siguiente en busca del mejor ajuste alrededor de un área predeterminada. En concreto, el método MCC (*Maximum Cross-Correlation*) fue empleado a principio de los 70s por Leese et al. (1971) o por Smith et al. (1972) y en la actuali dad, con ciertas mejoras y ya totalmente automatizado, sigue siendo el más utilizado por la mayoría de investigadores (Schmetz et al., 1993; Evans, 1999, 2006) y agencias espaciales o meteorológicas para la obtención de vientos.

El objetivo de este artículo consiste en implementar el método MCC y comparar sus prestaciones frente a otras técnicas diferenciales que permiten el cálculo del flujo óptico y que son ampliamente usadas en otras áreas como compresión de imágenes, visión artificial, imágenes médicas, etc.

Este artículo se estructura de la siguiente manera. A continuación se presentan los diferentes productos obtenidos y generados a partir de los datos del sensor SEVIRI. Seguidamente se aborda el problema de la estimación del movimiento. Se continúa con la presentación de los resultados más relevantes para finalizar con las principales conclusiones y contribuciones.

Productos del sensor SEVIRI

El servicio de distribución de los datos MSG utiliza el sistema EUMETCast. El satélite de la flota Eutelsat HOT BIRD 6 (13º E) es el usado por el proveedor del enlace de subida para retransmitir en banda Ku los datos a través de EUMETCast a la frecuencia de 10853.44 MHz. La difusión de los datos finales es implementada con un esquema de transmisión donde un canal contiene la transmisión de baja tasa de datos (LRIT) y el otro la transmisión de alta tasa de datos (HRIT). Ambos esquemas multiplexan datos de imágenes desde el SEVIRI y satélites extranjeros, junto con productos meteorológicos y otros datos.

Para la recepción de los datos del MSG disponemos de una antena parabólica de tres metros de diámetro que permite la recepción de señal desde el satélite Hot-Bird-6. Los datos recibidos son transformados a un formato de imagen estándar, tras la descompresión y concatenación de los segmentos recibidos (las bandas tienen 8 segmentos y la imagen HRV 24 segmentos).

En concreto, los datos recibidos (EUMETS-AT, 2006) y que han sido utilizados en este trabajo son las imágenes captadas en las 12 bandas espectrales (formato de nivel 1.5), la máscara de nubes (CLM) que se utilizará para obtener la región de estudio y finalmente dos productos meteorológicos adicionales que permite analizar el movimiento para diferentes alturas o clases de nubes. Nos referimos a las imágenes CTH (*Cloud Top Height*) y CLAI (*Cloud Analisis Image*), donde esta última distingue 10 tipos de nubes agrupadas según 4 categorías (nubes bajas, medias, altas y desconocidas). En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de imagen CTH y CLAI para el día 4 de mayo de 2007.

Estimación del movimiento de las nubes

El movimiento de la atmósfera puede ser obtenido a partir de imágenes de teledetección mediante el seguimiento de las nubes y otros gases constituyentes de la atmósfera, como el vapor de agua o el ozono, en dos o más imágenes consecutivas.





Fig. 1. Imágenes del 4 de Mayo de 2007 a las 11:45 hr.: (a) CTH y (b) CLAI.

Como se ha comentado, este desplazamiento se obtiene a partir de la mejor correspondencia entre regiones patrón de la imagen 1 con regiones de la imagen 2 dentro de un área de búsqueda. Aunque existen diferentes métricas para evaluar la similitud entre zonas de la imagen, el método MCC es el usado comúnmente. Este método consiste en la maximización del coeficiente de correlación cruzado normalizado. Su formulación para ventanas patrón cuadradas es:

$$CoefCCN = \frac{\sum_{j=-ni=-n}^{n} \sum_{r=1}^{n} \left[I_{1}(x+i,y+j) - \overline{I_{1}} \right] \cdot \left[I_{2}(x+d_{x}+i,y+d_{y}+j) - \overline{I_{2}} \right]}{\sqrt{\sum_{j=-ni=-n}^{n} \left[I_{1}(x+i,y+j) - \overline{I_{1}} \right]^{2} \cdot \sum_{j=-ni=-n}^{n} \sum_{r=1}^{n} \left[I_{2}(x+d_{x}+i,y+d_{y}+j) - \overline{I_{2}} \right]^{2}}}$$

donde (dx, dy) representa el desplazamiento en valores enteros de píxel e \overline{I} representa la media de esa imagen en la ventana. Hay que destacar que para obtener buenas estimaciones del movimiento es necesario ajustar adecuadamente los parámetros asociados (tamaño del patrón y de la ventana de búsqueda). Los valores elegidos por EUMETSAT para le producto AMV (EUMETSAT, 2006) son un patrón de 24 x 24 píxeles (para imágenes HRV es de 32x32 píxeles) y una ventana de 80x80 píxeles (96x96 píxeles para HRV).

Además de las técnicas de correspondencia, los métodos diferenciales han sido utilizados para la estimación del movimiento en otras disciplinas. Estos métodos se basan en la ecuación de conservación de la energía:

$$I(x,y,t) = I(x+dx,y+dy,t+dt)$$
(2)

donde nuevamente (dx, dy) es el desplazamiento entre imágenes en el punto (x, y) tras un intervalo de tiempo dt. Mediante Taylor y simplificando se obtiene la ecuación clásica del flujo óptico:

$$\frac{\partial I}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot v + \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$
(3)

donde (u,v) son las componentes horizontal y vertical de la velocidad en el punto. Sin embargo, debido al problema de la apertura, la velocidad se estima combinando la anterior ecuación con condiciones específicas de suavidad. Tras un análisis se han elegido e implementado las técnicas descritas por Horn y Schunk (1981), Lucas y Kanade (1981), Nagel (1983) y Black y Anandan (1993).

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos al aplicar estos algoritmos al estudio del movimiento de las nubes

Resultados

Se creó una base de datos con 100 imágenes de nivel 1.5 de los diferentes canales y de los días 4 y 5 de mayo de 2007. Se analizaron las diferentes técnicas sobre los diferentes canales y para secuencias con separaciones temporales de 15, 30, 45 y 60 minutos.

A modo de ejemplo se presentan los vectores de movimiento obtenidos para 2 secuencias alrededor de la zona de Canarias-Azores.

Para el primer caso, dado que los algoritmos para estimar los vientos usando datos MSG (EU-METSAT, 2006) únicamente utilizan un canal del visible, otro del infrarrojo térmico y los dos del vapor de agua, se seleccionaron dichos canales. Realmente se analizaron la totalidad de las 11 bandas, observando una elevada correlación entre los vectores obtenidos por bandas que comparten ventanas contiguas del espectro. Los resultados para un par de imágenes separadas 30 minutos se muestran en la Fig. 2, donde para facilitar la visualización de los vectores se han escalado por 2 y se han elegido los obtenidos para el canal del infrarrojo térmico a 10.8 µm. La separación seleccionada entre vectores es de 20 píxeles. Así, el flujo obtenido por las técnicas diferenciales se ha diezmado con esa separación para facilitar su visualización. Se observa que la técnica MCC es la que proporciona los mejores resultados, mientras que únicamente Lucas-Kanade genera campos de vectores con módulos y ángulos adecuados, especialmente en zonas con gradientes o patrones claros. El resto de técnicas diferenciales proporcionan movimientos peores, especialmente Horn-Schunk y Nagel donde las direcciones son bastante erráticas.

En la Fig. 3 se muestra nuevamente la velocidad de las capas más elevadas de las nubes pero para un par de imágenes de alta resolución (HRV) con una separación temporal de 15 minutos. Los resultados son prácticamente idénticos al caso anterior y únicamente destacar algunos vectores erróneos en la técnica MCC en aquellas zonas uniformes (sin textura o gradientes) de la imagen.

Como era de esperar, a medida que aumenta la separación temporal de las secuencias los resultados empeoran, especialmente para las técnicas diferenciales, al producirse una mayor deformación de las estructuras nubosas y violarse, en consecuencia, la condición de conservación de la intensidad.

Conclusiones

Se ha instalado un sistema completo de recepción y preprocesado para el satélite MSG, estudiado los diferentes productos disponibles del sensor SEVIRI del satélite MSG.

Se ha desarrollado una herramienta que permite calcular los vectores de movimiento en secuencias de imágenes a partir del estudio de la evolución de las estructuras nubosas. En concreto, se han implementado cuatro técnicas diferenciales: Horn-Schunk, Lucas-Kanade, Nagel y Black-Anandan y, a efectos de comparación, se ha incluido también el método MCC basado en correspondencia de regiones y específicamente en la maximización del coeficiente de correlación cruzado normalizado.

Tras aplicar los 5 algoritmos a una base de datos de secuencias de imágenes, se ha verificado que únicamente Lucas-Kanade proporciona resultados aceptables para el cálculo de vectores de movimiento. Los otros algoritmos diferenciales no son adecuados, en especial Horn-Schunk y Nagel. En cualquier caso, se ha corroborado que el método MCC es el más robusto y su probabilidad de error es menor, tanto en el módulo como en el ángulo.

A fin de validar y cuantificar de forma estadística la bondad de los diferentes algoritmos, se está trabajando en la obtención de medidas *in-situ* de velocidad de viento y de vectores de referencia a partir del producto AMV del MSG.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a EUMETSAT y al Instituto Nacional de Meteorología de España por facilitar el uso de las imágenes MSG.

Referencias

- Black, M.J., Anandan, P. 1993. A framework for the robust estimation of optical flow. International Conference of Computer Vision, pp: 231–236.
- EUMETSAT, 2006. MSG Meteorological Products Extraction Facility Algorithm Specification Document. Issue: 2.8. Doc.No.: EUM/ MSG/SPE/022.
- Evans, A.N. 1999. Cloud Tracking Using Ordinal Measures and Relaxation Labelling. IEEE Proceedings of International Geoscience and RemofeSensing Symposium, vol. 2, pp. 1259-1261.
- Evans, A.N. 2006. Cloud motion analysis using multichannel correlation-relaxation labelling. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 3, no. 3, pp: 392-396.

- Horn, B., Schunk, B. 1981. Determining optical flow. Artificial Intelligence, nº.17, pp: 185-203.
- Leese, J.A., Novak, C.S. 1971. An Automated Technique for Obtaining Cloud Motion from Geosynchronous Satellite Data Using Cross Correlation. Journal of Applied Meteorology, v. 10, nº 1, pp: 118–132.
 Lucas, B., Kanade, T. 1981. An iterative image
- Lucas, B., Kanade, T. 1981. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. Proceeding of the DARPA IU Workshop, pp: 121-130.
- Nagel, H.H. 1983. Displacement vectors derived from second-order intensity variations

in image sequences. Computer Vision and Graphical Image Processing, n^0 . 21, pp: 85–117.

- Schmetz, J. et al. 1993. Operational cloud-motion winds from Meteosat infrared images. Journal of Applied Meteorology, vol. 132, no. 7, pp. 1206–1225.
- Schmid. The SEVIRI instrument. ESA/ESTEC. EUMETSAT Technical Notes, pp:1-10.
- Smith, E., Phillips, D.R. 1972. Automated Cloud Tracking Using Precisely Aligned Digital ATS Pictures. IEEE Transactions on computers, vol. c-21, nº7, pp: 715-729.