

## EFECTO DE LA ATMÓSFERA EN LA RESOLUCIÓN DE LA DMC

L. Martínez, M.E. Soler, F. Pérez y R. Arbiol.

*Àrea de Teledetecció. Institut Cartogràfic de Catalunya.  
Parc de Montjuïc s/n 08038 Barcelona. Lucas.Martinez@icc.es*

### RESUMEN

El Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) opera la càmera digital aerotransportada *Z/I Digital Mapping Camera* (DMC) para diversos trabajos cartográficos. Como todo sistema fotográfico de este mismo tipo la imagen padece una degradación en su resolución debida al sistema formador y al efecto de la atmósfera, por lo que la medida objetiva de la resolución con la cámara va más allá de la dimensión geométrica del píxel o *Ground Sampling Distance* (GSD). En este trabajo se analiza la fracción de pérdida de resolución que causa la atmósfera en función de las condiciones atmosféricas. Para estimar la resolución se emplea una reconstrucción de la Función de Dispersión del Borde (*Edge Spread Function*, ESF) para obtener la Función de Dispersión de la Línea (*Line Spread Function*, LSF), cuyo *Full Width at Half Maximum* (FWHM) proporciona un valor de resolución en magnitud píxel. Para simular la atmósfera se ha aplicado el código de transferencia radiativa *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) para el que se han considerado variaciones en los modelos de atmósfera, aerosoles y geometrías de iluminación-observación para el rango espectral de la DMC. La metodología descrita ha sido aplicada a un blanco radiométrico construido como un escalón radiométrico en las campañas de calibración del ICC en el área de Banyoles (España). Una imagen sintética del mismo ha sido procesada con la simulación atmosférica y posteriormente analizada para obtener la pérdida de resolución debida exclusivamente a la atmósfera. Los resultados de las simulaciones muestran una elevada dependencia con el tipo y cantidad de aerosol, y también son compatibles con la medida de resolución de la imagen real del blanco tomada por la cámara.

### ABSTRACT

The Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) operates the airborne digital camera *Z/I Digital Mapping Camera* (DMC) for cartographic purposes. This imaging system suffers from certain resolution degradation due to both the optical system and the atmosphere. Therefore, real resolution of the camera is different from purely geometrical pixel size or *Ground Sampling Distance* (GSD). In this work, camera resolution loss caused by the atmosphere as a function of the atmospheric radiative conditions is analysed. The resolution in pixel units is evaluated as the *Full Width at Half Maximum* (FWHM) of the *Line Spread Function* (LSF) computed from a reconstruction of the *Edge Spread Function* (ESF). The *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) radiative transfer code is used to simulate the atmosphere. Atmosphere type, aerosol model and total load, illumination and observation geometries and spectral range are taken into account when computing simulations. The described methodology has been applied to an edge radiometric target at ICC test site on Banyoles (Spain) area. A synthetic image of the edge has been processed with the atmospheric simulations and then its resolution analysed to obtain the resolution loss caused by the atmosphere. The simulations results show a high correlation between resolution loss and aerosol model and total load. The results are also compatible with the resolution measures on the real image taken with the camera.

**Palabras clave:** resolución, función de dispersión de línea (*Line Spread Function*), función de dispersión de escalón (*Edge Spread Function*), atmósfera, DMC.

### INTRODUCCIÓN

El Institut Cartogràfic de Catalunya dispone de una línea de producción cartográfica totalmente digital gracias a la incorporación en 2004 y 2005 de cámaras fotogramétricas digitales. El modelo elegido mediante concurso fue la *Digital Mapping Camera* (DMC) desarrollada y comercializada por Zeiss/Intergraph (Z/I).

El necesario cambio en los parámetros de configuración de un vuelo tras la incorporación de estas cámaras al flujo productivo generó la necesidad de disponer de un método para determinar de forma objetiva la calidad radiométrica de un vuelo. Un parámetro clave para determinar la misma es la resolución efectiva de las imágenes que lo integran.

La pérdida o degradación de la resolución es generada tanto por el sistema de captación como por la transmisión de la señal electromagnética a través de la atmósfera. Respecto al sistema de captación, debe tenerse en consideración la óptica y la electrónica de adquisición. Por su parte, la atmósfera condiciona y altera la transmisión de la radiación solar debido a la absorción y dispersión causada por gases y aerosoles (Kaufman, 1989).

A continuación se describe un algoritmo basado en la reconstrucción de la Función de Dispersión del Borde para obtener un valor de resolución y un procedimiento para simular el efecto de la atmósfera mediante un código de transferencia radiativa sobre un patrón sintético. Posteriormente se analiza el resultado de combinar ambos procedimientos y finalmente se compara con la resolución determinada en la imagen DMC real del patrón.

## METODOLOGÍA DEL SISTEMA

Construcción de la Función de dispersión de borde (ESF)

La metodología propuesta para la medida de la resolución de la imagen en magnitud píxel (Soler et al. 2007) es el proceso de una región que contiene un contorno. En dicho contorno se realiza un ajuste mínimo cuadrático sobre la función bidimensional del escalón radiométrico, como en el método propuesto por Blonski (2001) y Blonski et al. (2002), que se postula como una función de tipo sigmoide

$$f(j, i) = P_4 + \frac{P_1}{1 + e^{-P_3(i^* \cos P_2 + j^* \sin(P_2 - P_2))}} \quad (1)$$

$P_k \in \mathfrak{R}, k = 1, \dots, 5$

El ajuste mínimo-cuadrático proporciona valores para los cinco parámetros y esta función es derivada para obtener la Función de dispersión de línea (LSF). La medida de la resolución será la anchura - *Full Width at Half Maximum* (FWHM) - de la LSF.

Simulación del efecto de la atmósfera

La radiancia medida por la cámara  $L^*$ , puede relacionarse con la reflectividad aparente  $\rho^*$ , como

$$\rho^* = \frac{\pi L^*}{\mu_s E_s} \quad (2)$$

donde:

- $E_s$  es la irradiancia solar extraterrestre.
- $\mu_s$  es el coseno del ángulo cenital solar.

Teniendo en cuenta los fenómenos de interacción con la atmósfera descritos y según Staez y Williams (1997), es posible notar la radiancia solar que alcanza la cámara cuando se observa una superficie horizontal como

$$L^* = A \frac{\rho_c}{(1 - \langle \rho_e \rangle S)} + B \frac{\langle \rho_e \rangle}{(1 - \langle \rho_e \rangle S)} + L_a \quad (3)$$

donde:

- $\rho_c$  es la reflectividad corregida de la superficie observada
- $\langle \rho_e \rangle$  es la reflectividad corregida del entorno en el que se encuentra la superficie observada (una ventana de píxeles)
- $S$  es el albedo esférico de la atmósfera
- $L_a$  es la radiancia retrodispersada por la atmósfera hacia el sensor
- $A$  y  $B$  dan cuenta de la interacción sobre la radiación directa y difusa, respectivamente

Los parámetros  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  caracterizan tanto la geometría de observación e iluminación, como las condiciones atmosféricas consideradas en este trabajo (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Condiciones geométricas y atmosféricas consideradas para la simulación (total, 18.000).

Parámetro	Rango de valores
Modelo atmósfera	Estándar US62, Tropical, Latitud media invierno, Latitud media verano Subártica verano y Subártica invierno.
Modelo aerosoles	Continental, marítimo y urbano
Cantidad de aerosoles (visibilidad en km)	7.5, 15, 30, 60 y 120
Ángulo de iluminación (ángulo cenital, cenit=0°)	0, 30, 45, 60 y 75
Ángulo de observación (ángulo cenital, cenit=0°)	0, 15, 30, 45 y 60
Diferencia acimutal iluminación-observación	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 y 315

El cálculo de los parámetros  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  se realiza a partir de las magnitudes  $L_g$  o radiancia que alcanza el sensor desde la superficie observada, y  $L_p$  o radiancia que alcanza el sensor desde el entorno de la superficie observada y por la atmósfera, que para un medio de reflectividad uniforme se notan como

$$L_g = A \frac{\rho_c}{1 - \rho_c S} \quad (4)$$

$$L_p = B \frac{\rho_c}{1 - \rho_c S} + L_a \quad (5)$$

Ambas magnitudes  $L_g$  y  $L_p$  pueden obtenerse mediante códigos de transferencia radiativa funcionando en modo directo. Así, la obtención de los valores de  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$  es trivial mediante la resolución de sistemas de ecuaciones. Los resultados correspondientes para cada conjunto de situación atmosférica y geométrica son guardados en una base de datos para aplicarlos cuantas veces sea necesario.

## APLICACIÓN Y RESULTADOS

La Figura 1 muestra el campo de calibración radiométrica ICC de Banyoles (España). El 25 de junio de 2005 se tomaron imágenes DMC desde un Cessna Caravan B20, entre las 10 y las 11am (UTC) y se realizaron medidas de radiometría de campo simultáneas. En la parte superior del mismo puede observarse la lona blanca que en combinación con el suelo de tierra forman el escalón radiométrico objeto de este estudio.



**Figura 1.-** Fotografía aérea del campo de calibración ICC en Banyoles.

Empleando la geometría del blanco radiométrico y a partir de las medidas de reflectividad obtenidas en campo para la lona blanca

y el suelo, se construye una imagen sintética del conjunto a la que se aplica la Ecuación 3 con los valores obtenidos para cada simulación de  $A$ ,  $B$ ,  $S$  y  $L_a$ .

La Tabla 2 muestra los estadísticos básicos de la resolución del patrón sintético tras aplicar a la imagen todas las simulaciones atmosféricas para el canal pancromático de la DMC, tomando dicho patrón sintético como referencia de resolución unidad.

**Tabla 2.-** Estadísticos básicos de la resolución (unidades en píxeles y GSD de 10cm) para el canal pancromático de la DMC.

Resolución	Pancromático
Patrón	1,00
Mínima	8,81
Máxima	1,35
Promedio	2,81
Desviación estándar	1,66
Percentil Q1	1,62
Percentil Q2	2,07
Percentil Q3	3,37

Por su parte, la resolución medida en la imagen DMC pancromática sobre el blanco radiométrico y mediante la técnica descrita es 3,15 píxeles con *Ground Sampling Distance* (GSD) de 10cm, tomando dicho patrón sintético como referencia de resolución unidad. Ambos resultados son compatibles, puesto que la resolución perdida por el efecto atmosférico es una parte de la pérdida total y las condiciones atmosféricas reales están dentro de las consideradas en la simulación. Análisis más detallados de los resultados de pérdida de resolución, muestran que las variables que más influyen en la pérdida de la misma son el tipo y la cantidad de aerosoles.

A continuación se repite el proceso para cada uno de los canales multispectrales, para analizar si las diferencias son significativas respecto al canal pancromático. La Tabla 3 muestra los estadísticos básicos de la resolución del patrón sintético tras aplicar a la imagen todas las simulaciones atmosféricas para los canales multispectrales de la DMC, tomando dicho patrón sintético como referencia de resolución unidad.

Como puede observarse en dicha tabla existe una elevada dependencia con la longitud de onda, siendo máximo el efecto a longitudes de onda baja (azul).

Este comportamiento de la resolución para los canales multiespectrales refuerza el análisis anterior que relaciona los efectos de la atmósfera en la resolución con su carácter dispersivo y por tanto con el tipo y cantidad de aerosoles, dada la dependencia de la dispersión de la longitud de onda.

**Tabla 3.-** Estadísticos básicos de la resolución (unidades en píxeles y GSD de 10cm) para los canales multiespectrales de la DMC.

Resolución	Azul	Verde	Rojo	Infrarrojo Próximo
Patrón	1,00	1,00	1,00	1,00
Mínima	13,55	9,03	8,53	8,03
Máxima	1,93	1,43	1,26	1,12
Promedio	5,34	3,16	2,51	1,97
Desviación estándar	3,03	1,83	1,56	1,24
Percentil Q1	2,74	1,74	1,46	1,27
Percentil Q2	4,79	2,43	1,76	1,47
Percentil Q3	7,56	4,14	2,84	2,02

Como trabajo futuro se propone analizar con estos procedimientos imágenes obtenidas de forma sincrónica con medidas de concentraciones de gases y aerosoles atmosféricos. De esta forma se podrán validar los resultados de resolución de las imágenes con las simulaciones específicas para las condiciones atmosféricas de adquisición.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha combinado un método para medir la resolución de imágenes de la DMC, con la generación de una imagen sintética y la aplicación de múltiples simulaciones atmosféricas. Los resultados de las simulaciones muestran una elevada dependencia con el tipo y cantidad de

aerosol, y también son compatibles con la medida de resolución de la imagen real del blanco con la cámara. Como trabajo futuro se propone analizar con estos procedimientos imágenes obtenidas de forma sincrónica con medidas de concentraciones de gases y aerosoles atmosféricos.

## BIBLIOGRAFIA

Blonski, S. 2001. Spatial Resolution of IKONOS Pan. Images: Characterization Based on Edge Responses. In: *2001 High Spatial Resolution Commercial Imagery Workshop*, 19-22 Marzo, Greenbelt, MD (USA).

Blonski, S., Pagnutti, M., Ryan, R. E. and Zanoni, V., 2002. In-flight edge response measurements for high spatial- resolution remote sensing systems. In: W. L. Barnes (ed.), *Proceedings of SPIE: Earth Observing Systems VII*, Vol. 4814, pp. 317-326.

Kaufman, Y. J. 1989. The atmospheric effect on remote sensing and its correction. In Arsar, G., editor, *Theory and Applications of optical Remote Sensing*, Wiley and Sons, New York.

Soler, M. E., Pérez, L.F., Palà, V., Arbiol, R. 2007. Experiencias en medidas de resolución de imagen en el ICC. *7a Semana Geomántica*. Barcelona, 20-23 febrero.

Staez, K., Williams, D.J. 1997. Retrieval of Surface Reflectance from Hiperespectral Data Using a Look-up Table Approach. *CJRS*, 23, nº4, 354-368.

Vermote, E., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M. y Morcrette, J.J. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. *IEEE TGRS*, 35, 675-686.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CEDEX (Ministerio de Fomento) por su colaboración en las medidas de campo. Los autores también agradecen al Ajuntament de Banyoles por la cesión del Camp Vell para la instalación de blancos radiométricos.