

CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA DE DATOS ATM MEDIANTE RADIOMETRÍA DE CAMPO

E. DE MIGUEL, J. G. REJAS, M. JIMÉNEZ y G. FERNÁNDEZ

demiguel@inta.es

Lab. Tratamiento de Imágenes. INTA. Cta. Ajalvir s/n - Torrejón de Ardoz - 28850 Madrid

RESUMEN: Un procedimiento para la obtención de valores de reflectancia a partir de una imagen de teledetección es el uso de datos de radiometría de campo adquiridos sobre la zona cubierta por la imagen; datos que se usan para la elaboración de modelos empíricos que transformen el nivel digital de cada punto en reflectancia. El INTA utiliza esta alternativa para calibrar radiométricamente datos de su sensor aeroportado DS-1268 (ATM), empleando para ello un espectro-radiómetro portátil GER 1500. En el presente artículo se describe la metodología utilizada en estos casos, detallándose sus ventajas y limitaciones. Como ejemplo se presenta la calibración de las imágenes adquiridas por el INTA en el año 2000 sobre la cuenca del río Guadamar en el marco del convenio INTA-ITGE para el seguimiento de la retirada de lodos vertidos desde la balsa minera de Aznalcóllar. En dicho ejercicio, se obtuvo un error medio en los modelos $reflectancia = F$ (nivel digital) entre 0.02 y 0.04 según bandas.

ABSTRACT: A feasible procedure for retrieving reflectance from digital images is the use of field radiometry data acquired throughout the imaged area. These data are inputs to estimate through a regression analysis models transforming the image digital counts to percent reflectance. INTA is using this approach for the absolute radiometric calibration of some DS-1268 (ATM) images, by means of data collected by a field radiometer GER 1500. This paper describes the methodology used, highlighting advantages and limitations of this technique. As study case the calibration of ATM images of the Guadamar river (acquired in the framework of the INTA-ITGE collaboration) is presented. In this case, reflectances were calculated and a fit standard error ranging from 0.02 to 0.04 (depending on the spectral band) was obtained.

Palabras clave: calibración radiométrica, radiometría de campo, ATM

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Es posible calibrar radiométricamente una imagen de teledetección mediante el uso de datos de radiometría de campo adquiridos en condiciones equivalentes sobre la superficie observada (Roberts, 1985; Slater, 1987; Milton, 1995). Los valores de reflectancia (ρ) obtenidos sobre el terreno se contrastan con los niveles digitales (ND) registrados por el sensor sobre las mismas superficies, y mediante un análisis de regresión se construye un modelo que transforma directamente el ND en reflectancia. La ventaja de este procedimiento respecto de la calibración mediante la inversión de modelos de transferencia radiativa es su carácter empírico y la independencia de datos meteorológicos «alóctonos». Es especialmente aplicable a imágenes aeroportadas donde el tamaño de píxel está por debajo de los 10 m, y es por tanto fácil encontrar superficies patrón homogéneas en un área de varios píxeles. Por contra, requiere un es-

fuerzo y unos recursos no triviales, y no es utilizable en campañas oceanográficas o muy remotas.

Para poder acometer una regresión que nos permita encontrar un modelo $\rho = F(ND)$, los datos a usar deben ser coherentes: en cada variable (reflectancia GER y ND), dos superficies iguales deben dar la misma medición. Las reflectancias obtenidas con el GER son coherentes si se respeta el procedimiento de registro de datos. Los ND deben cumplir unas condiciones para que dos superficies con igual reflectancia resulten en un mismo ND:

- misma iluminación solar (posición del sol, condiciones atmosféricas, y topografía)
- mismo ángulo de observación
- mismo efecto atmosférico

Usualmente será necesario un cierto pre-proceso de los datos imagen para garantizar estas condiciones.

El Laboratorio de Teledetección del INTA dispone de un espectro-radiómetro de campo GER 1500. En los últimos años se ha utilizado este instrumento para calibrar radiométricamente imágenes de su sensor aeroportado DS-1268 (ATM). El presente artículo describe la metodología utilizada y consideraciones de su uso derivadas de la experiencia adquirida. Como ejemplo, se presenta el caso de la campaña de vuelos Aznalcóllar 2000.

PROCEDIMIENTO

El GER 1500 es un espectro-radiómetro portátil que cubre el rango 350 - 1050 nm en 512 bandas de ≈ 1.5 nm de ancho. Utiliza como blanco de referencia un panel portátil de *spectralon* cuya reflectancia espectral está caracterizada con precisión; existe además otro panel idéntico que se mantiene en el laboratorio libre de agresiones y que se usa para calibrar el blanco de campo.

La planificación de la campaña de vuelo determina la cobertura espacial de las imágenes a registrar por el ATM. Con la cartografía disponible se localizan en este área de estudio superficies adecuadas: planas y radiométricamente homogéneas en un área al menos de 3x3 píxeles, fácilmente localizables en la imagen, cubriendo un rango lo más amplio posible de reflectancias, y viables operativamente.

El número de puntos a tomar depende de varios factores, como grado de la curva a obtener, fiabilidad requerida al ajuste, etc. Y por supuesto, tiempo disponible para la campaña. Como criterio de partida suponemos un número mínimo de 5 muestras y un número satisfactorio de 15 en cada campaña, lo que concuerda con trabajos similares (Milton, 1987; Kollwe, 1996).

En cada superficie se obtiene en primer lugar la radiancia cenital recibida del blanco de referencia. A continuación se realizan varias medidas de la radiancia cenital de la superficie, y opcionalmente se realizan mediciones con otros ángulos para evaluar su BRDF. Se registra con un GPS diferencial la posición del punto, tanto para su posterior localización en la imagen como para su uso en futuras campañas.

La campaña de campo se realiza lo más próximamente posible al momento de adquisición de imágenes, y bajo condiciones atmosféricas equivalentes. Al utilizar un blanco de referencia antes de cada medida no es necesario que la posición solar sea la misma que la correspondiente a las imágenes, siempre que las superficies muestreadas sean suficientemente lambertianas.

Una vez en el laboratorio, los datos de radiancia por superficie se promedian, se convierten en reflectancia utilizando las medidas del *spectralon* y se integran para simular las bandas espectrales del DS-1268.

Las superficies se localizan en las imágenes ATM utilizando la información GPS cuando la imagen ha sido georreferenciada, o la descripción del punto. Una vez localizadas, se evalúa para cada una la ventana de píxeles óptima (tamaño y peso relativo de cada elemento) que determina el nivel digital, y se procede a su colecta. Algunas superficies pueden descartarse por su mal aspecto en las imágenes.

Para garantizar la homogeneidad interna de los ND, puede ser necesario pre-corriger las diferencias en iluminación solar en caso de considerar varias escenas con distintas horas de adquisición. Es conveniente también eliminar el efecto sistemático causado por el diferente recorrido atmosférico en cada columna de imagen; este efecto se puede evaluar analíticamente o empíricamente. Hasta el momento no hemos trabajado con datos sobre áreas de topografía compleja, por lo que no se necesita considerar la orientación del píxel.

Finalmente, se dispone de una lista de pares de puntos [ρ GER, ND ATM] para cada banda; esta lista se podría completar con superficies de la que se asumiera su reflectancia con suficiente exactitud, como embalses u otros. Los puntos se representan en un diagrama para visualizar la posible relación entre ambos: usualmente se encuentra una relación lineal. Se efectúa una regresión por mínimos cuadrados en cada banda, se evalúa el resultado y eventualmente se corrige iterando el proceso.

La estimación del error debería hacerse con un juego independiente de puntos (no usados para derivar el modelo). Pero usualmente no «sobran» puntos, y consideramos como error de nuestro modelo el indicado por la varianza de los residuos.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

El INTA ha colaborado con el ITGE para el seguimiento del impacto ambiental del vertido de lodos desde la balsa minera de Aznalcóllar. En el marco de esta colaboración se han adquirido imágenes ATM sobre la cuenca del río Guadiamar durante los años 1998, 1999 y 2000. La campaña de 2000 se realizó el 14 de junio, entre las 11h 10m y las 12h 55m GMT, con tiempo despejado. Se registraron 4 escenas a 1375 m de altura (tamaño de píxel 3.5m, cobertura lateral 2550 m) y 4 a 2750 m (tamaño de píxel 7m, cobertura lateral 5100 m).

Para la calibración radiométrica de los datos se localizaron unas 15 superficies (Tabla 1). Cuando fue posible, se eligieron puntos ya registrados en las campañas de 1998 y 1999.

La campaña de campo se realizó el 21 de junio, entre las 9.00 y las 15.45 GMT, con tiempo despejado.

ZONA	SUPERFICIE
Explanada junto balsa de lodos	tierra apisonada
Granja junto a la mina	tierra labrada
Confluencia Agrio - Guadiamar	costras salinas
Gravera junto al Guadiamar	tierra apisonada
Puente Sanlúcar la Mayor	asfalto
Charca al lado norte del puente	aguas
Margen oeste del Guadiamar	lodos
Campo de fútbol Aznalcázar	tierra
Pista de fútbol sala Aznalcázar	artificial verde
Pista de tenis Aznalcázar	artificial rojo
Margen sur Vado del Quema	lodos
Pradera junto Vado del Quema	grama
A 800 m al sur del Vado del Q.	tierra labrada
Comienzo Brazo de la Torre	remolacha
Comienzo Brazo de la Torre	girasoles

Tabla 1. Superficies utilizadas en la campaña GER.

Previo a la colecta de los ND, se realizó una pre-corrección de su variación sistemática a lo largo de una línea de imagen. Para ello se calculó el ND medio por columna para todas las líneas adquiridas a una misma altura de vuelo (≈ 20000 por altura). Asumiendo que en promedio toda columna recibe una radiancia igual, se calcula la desviación sistemática de cada columna respecto al valor del nadir (mínima interferencia atmosférica).

Se realizó un análisis de regresión para las imágenes altas y otro para las bajas. En la tabla 2 y la figura 1 se muestran resultados para las altas.

banda	r^2	σ residuos
ATM2 (450 - 520 nm)	0.83	0.020
ATM3 (520 - 600 nm)	0.88	0.028
ATM4 (600 - 620 nm)	0.94	0.029
ATM5 (630 - 690 nm)	0.97	0.026
ATM6 (690 - 750 nm)	0.94	0.036
ATM7 (760 - 900 nm)	0.97	0.035
ATM8 (910 - 1050 nm)	0.94	0.038

Tabla 2: regresión para pasadas altas; modelo $\rho = a + b \exp(ND/100)$, $n=13$

El r^2 es muy alto, lo que demuestra la «sensatez» del modelo. Sin embargo, el error medio del ajuste no es tan bueno. Los resultados para las pasadas medias son similares (r^2 entre 0.91 y 0.98, σ residuos entre 0.018 y 0.040).

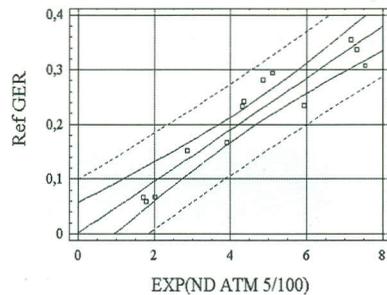


Figura 1. Distribución de puntos ρ - ND y modelo de regresión para la banda 5

DISCUSIÓN

Nuestro objetivo es conseguir un error absoluto en reflectancia $<10\%$. En comparación, el objetivo para los productos de MERIS es $<5\%$ (ESA, 1998). Pero para un valor de $\rho=0.1$ (habitual en superficies naturales), el error de 0.03 representa un 30%.

La desviación respecto al modelo lambertiano de algunas superficies muestreadas puede ser nuestra mayor fuente de error. Las superficies artificiales son, probablemente, poco lambertianas; por contra, las superficies naturales son, en general, espacialmente heterogéneas y por tanto tampoco son buenas candidatas. En la figura 2 se muestran las curvas de reflectancia espectral obtenidas en los años 1998, 1999, y 2000 sobre tres superficies. La tierra del campo de fútbol no muestra diferencias en las distintas condiciones de iluminación, la parcela de lodos muestra cambios que podemos suponer debidos a la evolución del material, y la pista artificial muestra un cambio que es atribuible a una reflectancia no lambertiana. Ante esta situación el objetivo es realizar las medidas de campo en las mismas condiciones de iluminación y observación con que esos puntos aparecen en la imagen. Para las condiciones de iluminación y atmosféricas esto requiere un esfuerzo de organización que puede abordarse, aunque grava la operatividad del método. Más problemático es conseguir ángulos de observación equivalentes, ya que el DS-1268 registra imágenes con un ángulo distinto en cada píxel y variable entre $\pm 42^\circ$.

Otra fuente de error no controlada es la causada por el efecto de los píxeles adyacentes. Aunque las superficies utilizadas ocupan varios píxeles en la imagen, es probable que superficies exteriores a la seleccionada estén contaminando la ventana de muestreo. Esta posibilidad reclamaría superficies de muestreo aún mayores, lo que restringiría más el número de puntos candidatos.

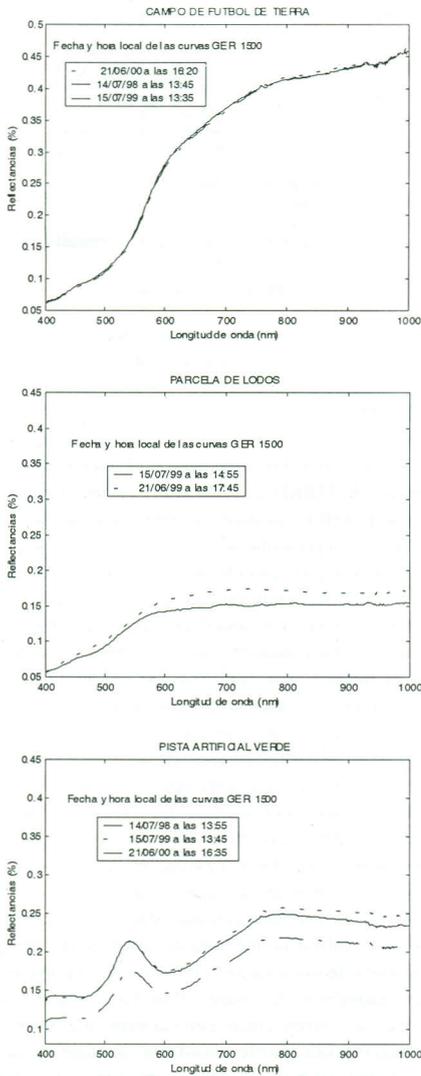


Figura 2. Medidas de campo de la reflectancia espectral de tres superficies usadas en la calibración de los datos ATM sobre la cuenca del Guadiamar.

Creemos, pese a todo, que la exactitud conseguida con este método es superior a la que se conseguiría por métodos analíticos. Sería necesario una detallada intercomparación de los métodos; esto se ha realizado tentativamente, y nuestro objetivo a corto plazo es finalizarlo de una manera definitiva.

Por último, reseñar que además de su valor en calibración, el conocimiento de la firma espectral de algunas superficies es beneficioso para el análisis de las imágenes. Así, en el Guadiamar se han registrado espectros de lodos y sales asociadas simultáneamente a los obtenidos para calibración de las imágenes, y esa información ha facilitado la posterior clasificación de las imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

- ESA, 1998, "ENVISAT mission product summary overview". ESA SP-1221.
- KOLLEWE, M., BIENLEIN, J., KOLLEWE, T., SPITZER, H., 1996, "Comparison of multispectral airborne reflectance images with ground surface reflectance measurements". 2nd Int. Airborne Remote Sensing Conference, San Francisco. Ed. ERIM, 1996.
- MILTON, E. J., ROLLIN, E. M., EMERY, D. R., 1995, "Advances in field spectroscopy". Advances in Environmental Remote Sensing, Ed. F.M. Danson y S. E. Plummer. John Wiley & Sons 1995.
- MILTON, E. J., WEBB, J. P., 1987, "Ground radiometry and airborne multispectral survey of bare soils". Int. J. Remote Sensing, 1987, vol. 8, nº 1, 3-14.
- ROBERTS, D. A., YAMAGUCHI, Y. y LYON, R. J. P., 1985, "Calibration of airborne imaging spectrometer data to percent reflectance using field spectral measurements". Proceedings 9th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor, Michigan, October 1985.
- P. N. SLATER, S. F. BIGGAR, R. G. HOLM, R. D. JACKSON, Y. MAO, M. S. MORAN, J. M., PALMER and B. YUAN, "Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute Calibration of multispectral sensors", Rem. Sensing of Environment, 22, 1987.