

CORRECCION ATMOSFERICA DE IMAGENES PROCEDENTES DE VUELOS A DIFERENTES ALTURAS

E. de Miguel Llanes, A. Fernández-Renau González-Anleo, J.A. Gómez Sánchez
Laboratorio de Teledetección-Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)
Carretera de Ajalvir km.4. Torrejón de Ardoz. 28850 MADRID

RESUMEN.- La adquisición de imágenes multispectrales sobre el embalse de El Pardo (Madrid) a tres alturas consecutivamente permite apreciar el efecto de la interferencia atmosférica en imágenes de teledetección obtenidas con sensor aeroportado. Esto ha permitido contrastar la capacidad del código LOWTRAN-7 para modelizar este efecto, utilizando atmósferas modelo y en las condiciones del presente estudio. La comparación de resultados muestra que los valores son del mismo orden de magnitud, pero existe una importante separación entre los valores obtenidos con el código y los observados a partir del método multialturas. El análisis del código LOWTRAN-7 indica que resulta muy sensible a la distribución de aerosoles en el momento de adquisición de las imágenes, lo que puede justificar esta discrepancia.

ABSTRACT.-The acquisition of multispectral images showing the El Pardo reservoir (Madrid, Spain) from three different heights enables the observation of atmospheric interference in airborne remote sensing images. This is the basis for a validation of radiative transfer code LOWTRAN-7 based on modeled atmospheres and under the conditions of this study. The study shows that both estimations yield results in the same order of magnitude, but differing significantly. The analysis of LOWTRAN-7 code shows that it resembles a great dependence on aerosol distribution.

1.- INTRODUCCION

La realización de vuelos a diferentes alturas sobre un mismo objetivo en un breve espacio de tiempo permite estimar el efecto que la atmósfera tiene sobre las imágenes obtenidas mediante sensores aeroportados. Aunque esta técnica está especialmente adecuada a imágenes térmicas (Lillesand, 1979), puede aplicarse a imágenes reflectivas si se tiene en cuenta la posible variación de la posición solar.

Para estudiar el efecto atmosférico se puede hacer una aproximación analítica, o un estudio experimental. Ejemplos de trabajos experimentales de este tipo con datos del sensor Daedalus DS-1268 se encuentran en Singh (1992) y Ciappa et al., (1994). La aproximación analítica se realiza mediante el uso de códigos de transferencia radiativa; entre estos últimos, el código LOWTRAN (Kneizys, 1988) es uno de los de mayor difusión en teledetección. La principal ventaja de los códigos de este tipo es su comodidad de uso, dentro de unos resultados de precisión convincente (Moran et al., 1991; van den Bosch y Alley, 1991). Un problema es su dependencia de datos de entrada ajenos a la imagen, que pueden corregirse en parte con información encontrada en la imagen; pero puede no ser posible obtener datos suficientes para obtener un resultado preciso.

El objetivo de este trabajo es observar el comportamiento del código LOWTRAN, utilizando datos meteorológicos standard, frente a los datos procedentes de un vuelo a tres alturas con un sensor multispectral Daedalus DS-1268.

2.- MATERIAL Y METODOS

2.1.- Método experimental: técnica multialturas

En junio de 1993 el Laboratorio de Teledetección realizó una campaña de vuelo sobre el embalse de El Pardo (Madrid) con el sensor multiespectral DS-1268. El vuelo se realizó con condiciones atmosféricas representativas de las habituales en esta época del año en la zona centro de la Península Ibérica.

Se realizaron tres pasadas consecutivas, a 2780 m (vuelo alto: a), 1360 m (vuelo medio: m) y 680 m (vuelo bajo: b), con un intervalo de 20 min entre cada dos consecutivas, con la misma orientación y sin ningún cambio en los ajustes del sensor.

En estas condiciones, se puede asumir que los cambios en el ND registrado sobre el agua entre una pasada y la siguiente son principalmente debidos a la interferencia atmosférica y al cambio en la posición del sol.

A partir de las imágenes adquiridas, se calculó para cada altura el ND medio y la varianza de muestras de agua cercana a la presa y centradas en el nadir (Tabla I). Sobre este conjunto de datos se ha trabajado.

vuelo	aat (m)		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C11	C12
A 09.10 GMT	2780	ND	41.9	33	30.2	25.1	21.5	19.6	10.6	7.0	6.8	34.3	44.2
		σ	1.0	0.6	0.5	0.8	0.7	0.6	0.5	0.0	0.4	0.6	0.6
M 09.33 GMT	1360	ND	33.3	27.3	27.1	23.2	20.0	18.0	8.8	5.9	6.3	57.0	48.2
		σ	1.4	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.4	0.5	0.5
B 09.51 GMT	680	ND	28.9	24.5	25.3	21.7	18.6	16.4	7.1	4.5	6.0	64.3	47.6
		σ	2.3	0.9	0.6	0.8	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5	0.1	0.9

Tabla I.- ND medio (ND) y desviación típica (σ) para cada canal y cada altura.

La diferencia de energía registrada por el sensor en dos pasadas consecutivas a distinta altura, para un determinado canal espectral puede expresarse como:

$$L_{s_{h_2}} - L_{s_{h_1}} = (L_{o_{h_2}} \tau_{h_2} + \rho L_{ad} \tau_{h_2} + L_{a_{h_2}}) - (L_{o_{h_1}} \tau_{h_1} + \rho L_{ad} \tau_{h_1} + L_{a_{h_1}}) \\ = \rho (I_{h_2} \cos \theta_{h_2} \tau_{h_2} + L_{ad} \tau_{h_2} - I_{h_1} \cos \theta_{h_1} \tau_{h_1} + L_{ad} \tau_{h_1}) + L_{a_{h_2}} - L_{a_{h_1}}$$

Siendo:

L_s = radiancia recibida en el sensor

L_o = radiancia correspondiente a energía reflejada por el terreno

τ = transmisividad atmosférica

ρ = reflectancia del terreno

L_{ad} = radiancia correspondiente a dispersión atmosférica recibida en el terreno

L_a = radiancia correspondiente a dispersión atmosférica recibida directamente en el sensor

I = irradiancia solar al nivel del suelo

Dada la baja reflectividad del agua, se puede despreciar el término que incluye ρ y que llamaremos $\rho(c_{h2}-c_{h1})$.

$$L_{s_{h2}}-L_{s_{h1}}=L_{a_{h2}}-L_{a_{h1}}$$

La diferencia en la señal recibida en un canal del sensor para dos alturas h_1 y h_2 sirve de estimación de la diferencia de radiación dispersada por la atmósfera recibida en ese canal. A esta estimación la llamaremos ΔL_{am} para el valor obtenido a partir de los vuelos alto y medio, e ΔL_{mb} para medio y bajo.

2.2.- Aproximación analítica: código LOWTRAN

Se ha utilizado LOWTRAN-7 para estimar la dispersión atmosférica y trasmisividad en las diferentes alturas. Se obtiene así un valor directo de $L_{a_{h2}}-L_{a_{h1}}$, que llamaremos ΔLTR_{am} e ΔLTR_{mb} para cada caso en estudio.

Se han empleado los datos meteorológicos registrados por el INM en Barajas y Madrid capital. Estos no incluyen distribución y tipo de aerosoles, y para otros parámetros relacionados como visibilidad la información no es suficientemente precisa.

Para conocer qué parámetros de los requeridos por este código pueden tener más influencia en la precisión del resultado obtenido, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad, variando los principales parámetros desde el valor original a otro que se consideraba al menos probable.

3.- RESULTADOS Y DISCUSION

Como anticipan los modelos teóricos, la energía recibida en el sensor (Tabla II) varía de la siguiente manera:

- canales "reflectivos" (entre 0.4 y 1.75 μm): la radiancia registrada crece con la altura, al aumentar la capa atmosférica entre el sensor y el terreno.
- canal 11 (3-5 μm): la radiancia registrada decrece con la altura, ya que la dispersión y la emisión térmica son muy bajas en este canal, mientras la trasmisividad es reducida.
- canal 12 (8.5-13 μm) : comportamiento irregular, aumentando la señal entre el vuelo alto y el medio y manteniéndose constante entre este y el bajo.
- el aporte atmosférico es mayor en los canales cercanos al azul (C1 a C3) y en los canales C7 a C9.

En la Tabla III se muestra el incremento absoluto de energía debido a la interferencia atmosférica que se recibiría en un sensor, calculado a partir del código LOWTRAN.

El análisis de sensibilidad (Tabla IV) muestra que los resultados del código son muy dependiente del nivel de aerosoles en la atmósfera. La distribución de aerosoles entre 0 y 2 km y su función de fase son los parámetros a los que el programa es más sensible. Si se trabaja con atmósferas modelo, las opciones para estos parámetros son muy radicales, con variaciones importantes en el tipo y cantidad de aerosoles entre un caso y otro. Hay que recordar que la distribución y tipo de aerosoles en las capas bajas de la atmósfera son muy variables en condiciones reales, con lo que los modelos por defecto tienen una validez limitada.

Los resultados obtenidas con el programa LOWTRAN son, con algunas excepciones, del mismo orden de magnitud que los obtenidos a partir de las imágenes (Tabla V). Pero, dentro de ese nivel, son una mala estimación. Solo ocasionalmente se sitúan en un $\pm 10\%$ de lo esperado.

Las relaciones LOWTRAN-multialturas por canales son irregulares. En general, LOWTRAN sobreestima los canales más extremos y subestima los centrales.

Entre los dos casos (a-m, y m-b), las diferencias son bastante significativas. En el caso m-b, con un recorrido de solo 600 m, el LOWTRAN se separa más de los valores esperados, y con mayor irregularidad. Esto puede indicarnos que el código necesita, en la práctica, un recorrido mínimo para dar resultados estables, aunque los manuales de uso no fijan ninguna limitación al respecto.

4.- CONCLUSIONES

-El método multialturas permite apreciar el efecto de la atmósfera sobre las imágenes de teledetección aeroportada.

-Los resultados obtenidos en el caso aquí estudiado son generalmente del mismo orden de magnitud que los que proporciona el código LOWTRAN. Sin embargo, comparados con los datos empíricos del método multialturas, los errores que se derivan del uso de LOWTRAN utilizando atmósferas modelo y datos por defecto son considerables.

-El programa LOWTRAN resulta muy sensible a la distribución de aerosoles. Esto implica que sus resultados deben ser tomados con reserva, al menos si no se dispone de un completo conjunto de datos auxiliares, registrados simultáneamente a la imagen a corregir.

5.- BIBLIOGRAFIA

Ciappa, A., Nicolosi, P., Ribera, A. y Savona, E., "Estimation of atmospheric correction from multiple aircraft imagery and the atmospheric radiative transfer model LOWTRAN 7". In *Proceedings of the first International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, vol. II, pp:580-591, ed. ERIM, Starsbourg, France, 12-15 september, 1994.

Kneizys, F. X., et al, "Users Guide to LOWTRAN 7". Environmental research papers, n° 1010. Air force geophysics laboratory, 1988.

Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1987; "Remote sensing and image interpretation (second edition)". John Wiley & Sons, New York.

Moran, M. S., Jackson, R. D., Slater, P. N. y Teillet, P. M., "Comparison of atmospheric correction procedures for visible and near infrared satellite sensor output". En *Proceedings of the 5th International Colloquium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing* Courchevel, Francia, enero 1991. ESA SP-319, mayo 1991.

Singh, S.M., 1992; "Accuracy of atmospheric correction algorithm using ATM data". *Int. J. Remote Sensing*, 1992, vol. 13, n° 3, 559-569.

Van den Bosch, J. M. y Alley, R. E., "Comparison of two atmospheric correction models for a vegetated AVIRIS scene". En *Proceedings of the 5th International Colloquium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing* Courchevel, Francia, enero 1991. ESA SP-319, mayo 1991.

parámetro	testigo	variación	La ($10^{-5} \text{Wcm}^{-2} \cdot \text{sr}$)	ΔLa (%)	τ (%)	$\Delta \tau$ (%)
perfil alt. H ₂ O	verano lat. medias	invierno lat medias	2.925	1	0.86	0
" "	" "	1976 US standard	2.91	0	0.86	0
T en la superficie	293 K	300 K	2.891	0	0.86	0
albedo	0.03 %	0.08 %	3.756	30	0.86	0
aerosoles 0-2 km	rural vis 23 km	rural vis 5 km	13.23	358	0.42	-51
aerosoles estratosf.	volcánicos moder/envej	fondo est.	2.895	0	0.86	0
función de fase aerosol	Mie	H-G	7.307	153	0.86	0
hora GMT	9.5 h	10.5 h	3.25	12	0.86	0

Tabla II.- Análisis de sensibilidad de los valores de radiancia atmosférica (La) y transmitancia (τ) obtenidos con el código LOWTRAN 7. Para el testigo, Ra=2.891 y τ =0.86. Los valores corresponden al canal 5 del sensor DS-1268 ACZCS.

canal	La-am	τ -am	La-mb	τ -mb
C1	0.197	0.88	0.097	0.91
C2	0.195	0.89	0.102	0.92
C3	0.157	0.91	0.084	0.93
C4	0.182	0.92	0.101	0.94
C5	0.210	0.92	0.121	0.94
C6	0.191	0.92	0.114	0.94
C7	0.175	0.91	0.110	0.93
C8	0.106	0.89	0.068	0.90
C9	0.016	0.96	0.011	0.97
C11	03.350	0.65	03.960	0.68
C12	34.790	0.90	35.060	0.90

Tabla III.- valores de radiancia atmosférica (La) y transmisividad (τ) obtenidos a partir del código LOWTRAN-7.

canal	NDa	NDm	NDb	NDa/m	NDm/b	La	Lm	Lb	La/Lm	Lm/Lb
C1	41.9	33.3	28.9	1.26	1.15	0.600	0.360	0.169	1.67	2.13
C2	33.0	27.3	24.5	1.21	1.11	0.611	0.415	0.351	1.47	1.18
C3	30.2	27.1	25.3	1.11	1.07	0.638	0.541	0.454	1.18	1.19
C4	25.1	23.2	21.7	1.08	1.07	0.921	0.819	0.784	1.12	1.04
C5	21.5	20.0	18.6	1.08	1.08	1.081	0.986	0.906	1.10	1.09
C6	19.6	18.0	16.4	1.09	1.10	0.962	0.850	0.762	1.13	1.16
C7	10.6	8.8	7.1	1.20	1.24	0.754	0.571	0.416	1.32	1.37
C8	7.0	5.9	4.5	1.19	1.31	0.450	0.330	0.175	1.36	1.86
C9	6.8	6.3	6.0	1.08	1.05	0.067	0.055	0.036	1.22	1.53
C11	34.3	57.0	64.3	0.60	0.89	--	--	--	--	--
C12	44.2	48.2	47.6	0.92	1.01	--	--	--	--	--

Tabla IV.- análisis de los datos obtenidos a partir del vuelo a tres alturas

-Columnas 1 a 3: Niveles digitales originales (ND) correspondientes a cada altura (a, vuelo alto; m, vuelo medio; b, vuelo bajo)

-Columnas 4 a 5: cocientes de ND entre alturas consecutivas

-Columnas 6 a 8: valores de radiancia recibida en el sensor, obtenidos a partir de los ND ($W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$)

-Columnas 10 a 11: cocientes de radiancias entre alturas consecutivas

canal	$\Delta Lam - \Delta LTRam$ (1)	$\Delta Lam / \Delta LTRam$ (2)	$\Delta Lmb - \Delta LTRmb$ (1)	$\Delta Lmb / \Delta LTRmb$ (2)
C1	0.043	1.22	0.094	1.97
C2	0.001	1.01	-0.037	0.63
C3	-0.060	0.62	0.003	1.03
C4	-0.080	0.56	-0.066	0.35
C5	-0.115	0.45	-0.041	0.66
C6	-0.078	0.59	-0.026	0.77
C7	0.008	1.04	0.045	1.40
C8	0.014	1.13	0.087	2.27
C9	-0.004	0.64	0.008	1.67

Tabla V.- Comparación entre los valores de ΔLa obtenidos con datos del sensor Daedalus ACZCS (ΔL) y con el código LOWTRAN (ΔLTR) para los dos casos en estudio (vuelos alto-medio y medio-bajo) y para los diferentes canales (1= $Wm^{-2}sr^{-1}$, 2=adimensional)