

MODIS 衛星資料在反演地表溫度之應用

徐敏彰 劉振榮 林唐煌
國立中央大學太空及遙測研究中心

摘 要

地表溫度對於地球能量收支平衡、蒸發散量、乾旱、大尺度的氣候變遷以及台灣地區熱島效應等研究，是一項相當重要的參數，因此若能準確的反演地表溫度，對於從事上述研究必定能有相當程度的助益，故本研究針對反演地表溫度影響甚大的地表發射率估算進行改進，期能藉由改善地表發射率估算結果，進而降低地表溫度反演之誤差。

結果顯示：(1) 當MODIS 31頻道的地表發射率減小0.01 ~ 0.1時，地表溫度反演結果的變動約為0.5°C ~ 6°C。(2) 利用2005年MODIS台灣地區晴空資料建立的地表發射率修正因子與NDVI關係式，發現以四個季節分別建立之關係式，其平均誤差不論在MODIS/Terra或MODIS/Aqua資料皆低於以整年建立的關係式。

驗證結果顯示：以中央氣象局實測地表溫度為實際值時，綜合2005 ~ 2006年的MODIS資料來看，本研究的平均誤差為2.1°C、Mao et al.(2005) 3°C、Bhattacharya and Dadhwal (2003) 4.47°C、MODIS LST Product (NASA) 3.1°C。

關鍵詞：MODIS、地表發射率修正因子、地表溫度

前言

地表溫度對於地球能量收支平衡、蒸發散量、乾旱、大尺度的氣候變遷以及台灣地區熱島效應等研究，是一項相當重要的參數，因此近十幾年來，相當多學者從事地表發射率與地表溫度反演之研究(Becker and Li 1990, Griend and Owe 1993, Valor and Casselles1995, Qin et al. 2001, Bhattacharya and Dadhwal 2003, Wan et al. 2002, Mao et al. 2005)，然而因地物的種類複雜，且地表發射率變動將影響地溫反演結果，所以若想準確的反演地表溫度，勢必需先解決地表發射率估算的正確性。

本研究即是針對地表發射率的估算進行修正，首先求得地表發射率修正因子，接著與 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)建立關係式，最後再進行地表溫度的反演，期望藉由上述方法有效的改善地表發射率估算結果，進而能更準確的反演地表溫度。

研究方法

本研究使用 Becker and Li (1990)提出之地表溫度反演式，以及 Valor and Casselles(1995)提出之地表發射率估算式(原本應用於 NOAA-AVHRR 衛星資料)，方程式如(1)與(2)式，其中 E_{31} 、 E_{32} 是代表 MODIS31、32 頻道的地表發射率。

$$\begin{aligned} LST &= A_0 + B (T_{31} + T_{32}) / 2 + C (T_{31} - T_{32}) / 2 \quad \text{----- (1)} \\ A_0 &= 1.274 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B &= 1 + 0.15616(1-E)/E - 0.482\Delta E/E^2 \\
C &= 6.26 + 3.98(1-E)/E + 38.33\Delta E/E^2 \\
E &= 0.5(E_{31} + E_{32}) \quad , \quad \Delta E = E_{31} - E_{32}
\end{aligned}$$

Emissivity :

$$\begin{aligned}
E_{31} &= 0.9897 + 0.029\ln(\text{NDVI}) \\
E_{31} - E_{32} &= 0.01019 + 0.01344\ln(\text{NDVI})
\end{aligned}
\quad \text{----- (2)}$$

首先利用 2005 年 MODIS 衛星資料，進行地表發射率的測試，主要是想了解當地表發射率改變時，對於地表溫度反演結果的影響，因此將 MODIS 31 頻道的地表發射率分別減小 0.01 ~ 0.1，同時利用上述的(1)與(2)式求得 32 頻道地表發射率並反演地表溫度。

接著將(2)式代入(1)式推導後得到(3)式，使用 2005 年的 MODIS 衛星資料，首先假設中央氣象局實測地表溫度為真實地表溫度，代入(3)式反推求得 MODIS 31 32 頻道修正後的地表發射率，接著與未修正前的地表發射率建立地表發射率修正因子如(4)式，最後再與 NDVI 建立關係式

地表發射率修正式：

$$\begin{aligned}
A (Em_{31})^2 + B (Em_{31}) + C &= 0 \\
Em_{32} &= Em_{31} - 0.01019 + 0.01344\ln(\text{NDVI})
\end{aligned}
\quad \text{----- (3)}$$

MODIS 31、32 頻道地表發射率修正因子：

$$\begin{aligned}
31 \text{ 頻道 } (a1) &= Em_{31} \text{ 修正後} / Em_{31} \text{ 未修正} \\
32 \text{ 頻道 } (a2) &= Em_{32} \text{ 修正後} / Em_{32} \text{ 未修正}
\end{aligned}
\quad \text{----- (4)}$$

驗證部份，則是使用 2006 年 1 ~ 11 月中央氣象局實測地表溫度為實際值，將上述利用 2005 年資料建立的地表發射率修正因子與 NDVI 關係式，應用至 2006 年的資料，除分析本研究反演結果與中央氣象局實測地表溫度的平均誤差外，亦加入 Mao et al.(2005)、Bhattacharya and Dadhwal (2003)和 MODIS LST Product (NASA) 的反演結果一起分析。

資料來源

本研究使用 2005 ~ 2006 年間，台灣地區晴空的 MODIS 衛星資料，包含 2005 年 Terra 23 筆、Aqua 15 筆及 2006 年 Terra 30 筆、Aqua 12 筆(來源為 <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime/calendar>)，以及 MODIS LST Product，時間為 2005 年和 2006 年的 MODIS/Aqua 資料(<http://lpdaac.usgs.gov/main.asp>)。此外亦收集中央氣象局測站地表溫度實測資料，當成本研究驗證的資料，時間為 2005 年 ~ 2006 年 11 月(來源為大氣研究資料庫 <http://dbar.as.ntu.edu.tw/>)，測站包含竹子湖、新竹、宜蘭、台中、花蓮、日月潭、阿里山、嘉義、成功、台東、高雄、恆春共計 12 個測站，上述 12 個測站均以曲管溫度計測量地表溫度，測量方式是將曲管溫度計放置地表量測溫度，同時也會量測土壤深度 5 ~ 30 公分的土壤溫度，觀測時間為每日的上午 5 點、下午 2 點、晚上 9 點三個時段。

結果分析

1. 地表發射率測試結果

利用 2005 年 1 ~ 6 月的 MODIS/Terra 的九筆資料進行測試，主要是想藉由改變 MODIS 31 和 32 頻道的地表發射率，了解其改變對於地表溫度反演結果的影響，結果顯示當 31 頻道的地表發射率減少 0.01 ~ 0.1 時，地表溫度反演結果則約有 0.5°C ~ 6°C 左右的變動，詳見表一。

2. 地表發射率修正因子與 NDVI 關係式建立

利用 2005 年 MODIS 衛星資料(Terra 23 筆、Aqua 15 筆)與中央氣象局實測地表溫度建立 MODIS 31、32 頻道地表發射率修正因子，並與相對應之 NDVI 建立關係式，分別將 Terra 與 Aqua 資料分開建立出整年和四季的地表發射率修正因子與 NDVI 關係式，詳見表二。比較整年和四季關係式的地表溫度反演結果，發現四季關係式與中央氣象局的平均誤差在 Terra、Aqua 部份分別為 2.36°C、2.13°C，皆優於整年關係式 Terra 2.76°C、Aqua 2.32°C。若以 2006 年的資料(Terra 30 筆、Aqua 12 筆)反演結果來看，四季關係式的平均誤差在 Terra、Aqua 分別為 2.76°C、2.43°C，亦優於整年關係式的 2.98°C、2.49°C。

3. 地表溫度驗證結果分析

這部份仍是將中央氣象局的實測地表溫度視為實際值，除討論本研究建立的四季關係式地表溫度反演結果外，亦加入 Mao et al.(2005)、Bhattacharya and Dadhwal (2003)和 MODIS LST Product (NASA) 的反演結果一起討論，比較四種反演方法與驗證資料的平均誤差。

結果顯示，本研究、Mao et al.(2005)、Bhattacharya and Dadhwal (2003)和 MODIS LST Product(NASA)，在 2005 年 Terra、Aqua 資料反演地表溫度的平均誤差，分別為 1.64°C、1.85°C，2.61°C、2.59°C，3.12°C、4.39°C，-、2.77°C，2006 年則為 2.76°C、2.43°C，4.17°C、2.63°C，5.35°C、5.06°C，-、3.1°C，詳見表三。假如不考慮年份，僅以資料來源 Terra、Aqua 區分，則上述四種方法的平均誤差分別是本研究 2.2°C、2.14°C，Mao et al.(2005)的 3.39°C、2.61°C，Bhattacharya and Dadhwal (2003)的 4.23°C、4.72°C，與 MODIS LST Product(NASA)的 -、2.9°C。

結論

根據本研究地表發射率測試的結果，發現當 31 頻道的地表發射率減少 0.01 ~ 0.1 時，會導致地表溫度反演結果有 0.5°C ~ 6°C 的變動，因此得知地表發射率對於地表溫度反演結果影響甚大，故本研究透過建立地表發射率修正因子與 NDVI 關係來反演地表溫度，主要是先以 2005 年 MODIS 台灣地區晴空資料，並將中央氣象局實測地表溫度資料當成實際值，估算得地表發射率修正因子，再建立其與相對應之 NDVI 的關係，最後將此關係式應用至 2006 年 MODIS 台灣地區晴空資料並和測站資料做結果驗證，同時加入 Mao et al.(2005)、Bhattacharya and Dadhwal (2003)、MODIS LST Product (NASA) 的反演結果進行分析討論。

結果顯示，以中央氣象局實測資料為實際值時，本研究的平均誤差為 2.1°C、Mao et al.(2005) 3°C、Bhattacharya and Dadhwal (2003) 4.47°C、MODIS LST Product(NASA) 2.9°C。

誌謝

本研究感謝國科會計劃 (NSC 95-2752-M-008-005-PA) 及 (96-NSPO(B)-BP-FA07-01)之經費資助，使本研究得以在優厚的資源與環境下順利地完成。

參考文獻

- Becker, F., and Li, Z. L., 1990, Towards a local split window method over land surface, *International Journal of Remote Sensing*, **11**, 369-393.
- Bhattacharya, B. K., and Dadhwal, V. K., 2003, Retrieval and validation of land surface temperature (LST) from NOAA AVHRR thermal images of Gujarat, India, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 6, 1197-1206.
- Griend, A.A. van de. and Owe, M., 1993, On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, **14**, pp. 1119-1131.
- Mao, K., Qin, Z., Shi, J., and Gong P., 2005, A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 15, 3181-3204.
- Qin Zhihao, and Karnieli, A., 1999, Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR data. *International journal of Remote Sensing*, **20**, 2367-2393.
- Valor, E., and Casselles, V., 1995, Mapping of land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, **57**, 167-184.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q. and Li, Z.-L., 2002, Validation of the land-surface temperature products retrieval from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, **83**, pp. 163-180.

表一、地表發射率減小後反演的地表溫度與原來反演結果之差異 °C。

日期	MODIS 31 頻道 Emissivity 減小					
	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.1
2005 年 1 月 17 日 02 : 55UTC	0.51	1.57	2.68	3.83	5.05	5.67
2005 年 1 月 19 日 02 : 40UTC	0.51	1.58	2.70	3.86	5.08	5.72
2005 年 2 月 15 日 02 : 25UTC	0.55	1.69	2.88	4.13	5.43	6.11
2005 年 3 月 6 日 02 : 55UTC	0.51	1.56	2.67	3.76	5.04	5.66
2005 年 4 月 18 日 02 : 35UTC	0.57	1.74	2.96	4.24	5.59	6.28
2005 年 4 月 30 日 03 : 00UTC	0.54	1.66	2.84	4.07	5.35	6.02
2005 年 5 月 1 日 02 : 05UTC	0.56	1.71	2.91	4.17	5.49	6.18

2005年5月22日02:25UTC	0.53	1.63	2.78	3.98	5.24	5.89
2005年6月26日02:55UTC	0.56	1.71	2.92	4.18	5.50	6.18

表二、地表發射率修正因子與 NDVI 整年及四季關係式 (a) 2005 年 Terra data
(b) 2005 年 Aqua data，括弧內數字為點數。

(a)				
a1			a2	
	關係式	相關係數	關係式	相關係數
Spring (18)	$y=2.7843x^2-1.8865x+1.3691$	0.56	$y=2.708x^2-1.8264x+1.3572$	0.54
Summer(25)	$y=0.0096x^2-0.1134x+1.0704$	0.18	$y=-0.0045x^2-0.0898x+1.0624$	0.15
Fall(53)	$y=1.9409x^2-1.4311x+1.2349$	0.69	$y=1.8726x^2-1.3724x+1.2224$	0.67
Winter(44)	$y=2.2987x^2-1.7463x+1.353$	0.8	$y=2.1844x^2-1.6496x+1.3331$	0.78
Year(140)	$y=1.6032x^2-1.2236x+1.2443$	0.56	$y=1.5232x^2-1.1547x+1.2297$	0.54
(b)				
a1			a2	
	關係式	相關係數	關係式	相關係數
Spring (15)	$y=3.8792x^2-2.3819x+1.3765$	0.82	$y=3.6394x^2-2.2284x+1.3544$	0.81
Summer(4)	$y=-9.5266x^2+3.4136x+0.9022$	0.99	$y=-9.1301x^2+3.2735x+0.9509$	0.99
Fall(4)	$y=1.8692x^2-1.453x+1.2452$	0.83	$y=1.8538x^2-1.4067x+1.2331$	0.81
Winter(38)	$y=2.0908x^2-1.6429x+1.3175$	0.83	$y=1.9578x^2-1.5401x+1.2987$	0.83
Year(61)	$y=2.2386x^2-1.7013x+1.3218$	0.81	$y=2.0914x^2-1.5918x+1.3028$	0.81

表三、本研究、Mao et al.(2005)、Bhattacharya and Dadhwal (2003)地表溫度反演結果與中央氣象局實測之平均誤差，表格中括弧內的數字為觀測點數，平均誤差單位為°C。

反演方法	2005-Terra (97)	2005-Aqua (55)	2006-Terra (120)	2006-Aqua (47)
Mao et al. (2005)	2.61	2.59	4.17	2.63
Bhattacharya and Dadhwal (2003)	3.12	4.39	5.35	5.06
MODIS LST				

Product (NASA)	—	2.77 (18)	—	3.1 (24)
本研究	1.64	1.85	2.76	2.43