

Landsat 8 衛星熱紅外影像反演台灣地區地表溫度

李國光 林唐煌 劉振榮

國立中央大學太空及遙測研究中心

摘要

應用熱紅外(Thermal Infrared Sensor; TIRS)影像反演地表溫度(Land Surface Temperature; LST)因受地物發射特性及大氣吸收影響甚劇，是頗具挑戰性的研究。LST的計算涉及複雜的地表覆蓋物及大氣中主要吸收的水氣含量等不確定因素，反演不易。然而地表溫度在大氣與地表交互作用中扮演極為重要的關鍵因子，同時它也是地表能量平衡的指標，地溫的反演因此重要。國際間應用衛星影像反演地表溫度的研究行之多年，如Terra和Aqua衛星搭載的MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)儀器雖已提供多種地表溫度產品，但受限於公里級的空間解析，無法表徵出局部地區細微的地表溫度分布。而Landsat 8 衛星影像包含可見光、紅外線及熱紅外線等11個頻道，其中TIRS兩個頻道分別為第10頻道(10.6~11.19 μm)及第11頻道(11.5~12.51 μm)可提供較細微的地表溫度訊息(約120公尺見方之空間解析)。因此，本研究嘗試應用單一頻道(第10頻道)反演地溫，主要是利用大氣輻射校正後之植被指數NDVI(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)將地表覆蓋物分成植被、非植被與混合等三類，藉以描述地表發射特性，再配合水氣分布的吸收修正，便可計算台灣地區之地表溫度。本研究所反演結果將與MODIS地溫產品進行比較，作為成效評估及後續改進之參考。

關鍵字：Landsat 8，植被指數，地表溫度，熱紅外線

一、前言

LST是地球表面的能量和水與大氣交換關鍵參數，他在生態學，水文與全球變遷中扮演重要角色。TIRS能提供遙測領域估算區域及全球地溫的方法，主要是因TIRS頻段測量的物體能量大部分是由地表放射。過去十餘年來利用衛星反演LST已經有許多成功例子。衛星搭載儀器如AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)、AATSR(Advanced Along-Track Scanning Radiometer)、MODIS、SEVIRI(Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)，GOES(Geostationary Operational Environmental Satellites)以及Landsat系列衛星之TIR(S)。常用LST演算方法為分裂視窗(Split Window Algorithm; SW)及單頻道法(Single Channel Method; SC)，一般而言若觀測儀器有兩個TIR頻道則選擇SW法反演LST；否則以SC法反演。先前研究就將這兩種方法應用在Landsat 8 [1]，分析反演結果顯示SC法誤差較SW大。USGS(United States Geological Survey)或其他機構並未製作Landsat的LST產品，因此本研究將針對台灣地區製作Landsat 8之LST。

二、研究方法

雖然Landsat 8 TIRS有兩個相鄰的頻道，適合SW方法，但依據USGS公告Landsat 8的第11頻道有相當的不確定性，因此為避免造成反演誤差，本文將應用第10頻道影像反演LST。SC法依據Jimenez-Munoz[3,4]等人及Sobrino等人[5]及Yu等人[1]針對Landsat衛星推導公式計算Landsat 8台灣地區LST。公式(1)中必須加入水氣及地表反射等資料。

$$T_s = \gamma[\varepsilon_i^{-1}(\Psi_1 B_i + \Psi_2) + \Psi_3] + \delta \quad (1)$$

$$\gamma = \left\{ \frac{C_1 B_i}{T_i^2} \left[\frac{\lambda_i^4}{C_2} B_i + \lambda_i^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (2)$$

$$\delta = -\gamma \cdot B_i + T_i \quad (3)$$

$$C_1 = 14387.7 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$C_2 = 19104 \times 10^8 \text{ W} \mu\text{m}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{1,\lambda} & \xi_{1,\lambda} & \chi_{1,\lambda} & \varphi_{1,\lambda} \\ \eta_{2,\lambda} & \xi_{2,\lambda} & \chi_{2,\lambda} & \varphi_{2,\lambda} \\ \eta_{3,\lambda} & \xi_{3,\lambda} & \chi_{3,\lambda} & \varphi_{3,\lambda} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W^3 \\ W^2 \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

T_s 為地表溫度， ε_i 為地表放射率，由輻射校正後影像依據NDVI分類計算得到。 B_i 為影像輻射強度， T_i 是亮度溫度， λ_i 為頻道波長，第10頻道有效波長為10.896

μm ， W 為大氣水氣含量，可由Aqua衛星搭載的AIRS(Atmospheric Infrared Sounder)產品中獲得。計算 Ψ 所需相關參數值見表1。 ε 的計算依據公式(5)，由NDVI決定，式中概略分成植被與土壤兩類。第10頻道 ε_v 值0.9863， ε_s 則為0.9668。有別於一般NDVI的計算， ρ_5 與 ρ_4 分別為大氣輻射校正後的NIR與IR地表反射率。公式(6)計算植被率 P_v 亦由NDVI計算得，其中 $NDVI_{min}$ 為0.2， $NDVI_{max}$ 為0.5。

表 1 第 10 頻道計算 Ψ 對應參數值

Band 10				
	η_1	ξ_1	χ_1	φ_1
Ψ_1	0.0109	0.0079	0.0991	1.0090
	η_2	ξ_2	χ_2	φ_2
Ψ_2	-0.0620	-0.4671	-1.2105	0.1176
	η_3	ξ_3	χ_3	φ_3
Ψ_3	-0.0533	0.4013	0.8585	-0.0451

$$\varepsilon = \begin{cases} a\rho_{red} + b & NDVI < 0.2 \\ \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s(1 - P_v) + C & 0.2 \leq NDVI \leq 0.5 \\ \varepsilon_v + C & NDVI > 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$$

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (6)$$

$$C = (1 - \varepsilon_s)\varepsilon_v F'(1 - P_v) \quad (7)$$

方程式(7)中幾何因子 F' 自0.1.至1.0，依據地表幾何分布而定，典型值為0.55 [5]。 $P_v=0$ ($NDVI<0.2$)，此時第10頻道 $\varepsilon = 0.973 - 0.047\rho_4$ 。

三、研究資料

美國自1972年7月23日發射Landsat 1後，即無間段的發射同系列衛星持續觀測大地資源。自Landsat 5開始具備TIR頻道，至Landsat 8具備雙頻道TIR。Landsat 8解析度為100 m，經重新取樣後為30 m。Landsat 8的再訪週期為16天，衛星影像南北長約170km，東西寬約185km。本研究應用Landsat 8的L1資料，選取雲覆蓋面積小於10%的影像進行研究分析。因受限於觀測面積關係，台灣地區無法於同一軌道完成觀測，若要完整的觀測，衛星的路徑(path)介於117至118，行(row)介於43至45，見圖1。基於上述原因LST的反演必須一幅一幅各自計算，而且受限於雲量小於10%，往往影像間隔超過16天。

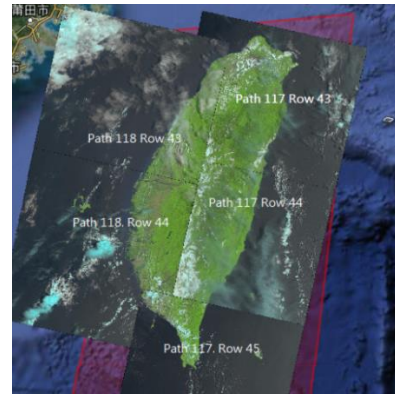


圖 1 Landsat 8涵蓋台灣地區路徑(path)及行(row)。

方程式(4)中水氣含量資料可由<https://airs.jpl.nasa.gov>下載，單位為 g/cm^2 。大氣輻射校正前顯反射率與校正後地表反射率的影像見圖2，圖(a)為校正前RGB影像，(b) 校正後RGB影像，比較校正前後可看出彼此差異。

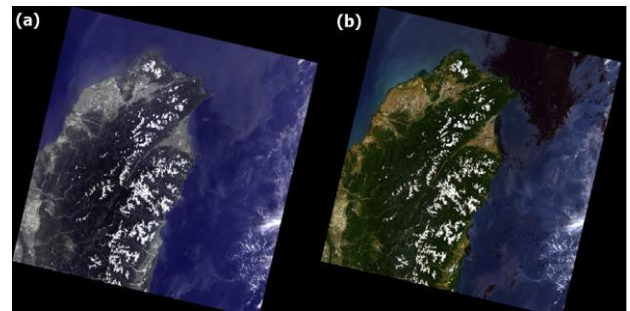


圖2 Landsat 8 2016/07/29台灣地區RGB影像(a)，大氣輻射校正後影影像(b)。

LST反演結果見圖3，(a)為Landsat 8 2016/07/29 path=117，row=43台灣中部以北濾雲後地溫分布，(b)為Terra於該日相近時間反演結果。圖中比較結果發現，在西岸平地地區的LST變化相近，但因Terra MODIS LST產品解析度為5 km，與Landsat 8的30 m相差甚大，導致某些區域會有明顯差異。此外，幾何因子在整幅影像計算時為定值0.55，導致LST偏低，需要另行修正。

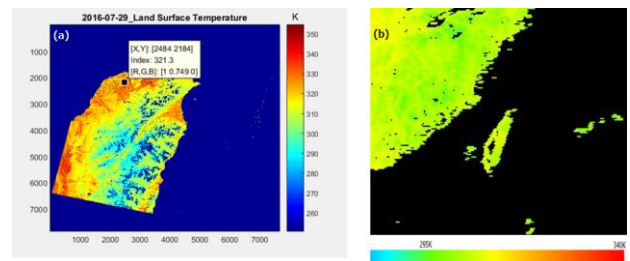


圖3 2016/07/29 LST反演(a)Landsat 8 path=107，row=43，(b)Terra MODIS。

四、結果分析與討論

應用單一頻道反演地溫在西岸平地與MODIS LST產品有一致性。但是山區地溫往往偏低，原因為反演時所需的地表放射率及地表幾何等因子都由影像而來。NDVI決定於大氣輻射校正後的地表反射率，然而地表反射率取決於模式的計算，模式在複雜的地形易造成誤差。此外為計算方便，地表幾何設定成常數造成誤差。日後將調整計算模式及山區地表幾何因子，使LST誤差減少。

致謝

使本研究得以順利完成，首先感謝太空及遙測中心提供之各項資源，以及科技部提供之研究經費補助(計畫編號：MOST105-2119-M-008-007)，謹特此深致謝忱。

五、參考文獻

1. Yu, Xiaolei; Guo , Xulin, and Wu, Zhaocong, 2014: “Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method”, *Remote Sens.*, 6, 9829-9852
2. Yu, Xiaolei; Guo , Xulin, and Wu, Zhaocong, 2014: “Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method”, *Remote Sens.*, 6, 9829-9852
3. Jimenez-Munoz, J.C.; Cristobal, J.; Sobrino, J.A.; Soria, G.; Ninyerola, M.; Pons, X., 2009 : “Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 47, 339–349.
4. Jimenez-Munoz, J.C.; Sobrino, J.A., 2003: “A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data”, *J. Geophys. Res.: Atmos.* doi:10.1029/2003JD003480.
5. Sobrino, J.A.; Jimenez-Munoz, J.C.; Paolini, L., 2004 “Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5” *Remote Sens. Environ.*, 90, 434–440.