

利用 ETM + 和 MODIS 数据反演陆地表面温度

吴天安 王栋梁 刘在涛
(中国地震台网中心,北京 100045)

摘 要 Landsat 7 ETM + 数据是一种常用的中分辨率卫星遥感数据,它的热红外波段的空间分辨率为 60 m,是目前星载遥感数据中分辨率最高的。然而由于 Landsat 7 ETM + 只有一个热红外波段,给 ETM + 陆地表面温度反演造成了困难。在前人研究的基础上开展 ETM + 数据陆地表面温度反演研究,首先利用 MODIS 数据反演总大气水蒸汽含量,然后利用普适性单通道算法从 ETM + 数据得到陆地表面温度,试验结果表明该方法能够取得较好的反演结果。

关键词 Landsat 7 ETM + MODIS 陆地表面温度 普适性单通道算法

中图法分类号 P237; **文献标志码** A

陆地表面温度(Land Surface Temperature, LST)是一个重要的地表参数,在生态环境、农业、林业、地震等领域发挥着重要的作用。利用卫星遥感技术来反演大面积区域的陆地表面温度具有明显的优势。目前,基于卫星遥感数据来反演海洋表面温度(Sea Surface Temperature, SST)的技术已较为成熟。由于陆地表面比海洋表面复杂得多,陆地表面温度(LST)反演一直是热红外遥感研究中的一大难题。Landsat 7 ETM + 是一种常用的中分辨率遥感影像,它具有 6 个多光谱波段(band 1—5, band 7),分辨率为 30 m;一个全色波段(band 8),分辨率为 15 m;一个热红外波段(band 6),分辨率为 60 m (Landsat 7 ETM + 波段特征见表 1)。Landsat 7 ETM + 热红外波段的分辨率是目前卫星遥感影像中分辨率最高的,因此利用 Landsat 7 ETM + 数据能够更加细致地获取地表热场分布。然而由于 ETM + 只有一个热红外波段,无法利用劈窗算法,要得到陆地表面温度一般需要利用辐射传输方程的方法,辐射传输方程法需要输入很多的实时大气参数,而这些参数往往很难获得,因此利用 ETM + 数据往往很难得到陆地表面温度。近年来针对只有一个热通道传感器的普适性单通道算法^[1]的提出,为从 ETM

+ 数据较高精度地反演陆地表面温度提供了一种可行的途径。利用普适性单通道算法反演陆地表面温度需要已知总大气水蒸汽含量,卫星过境时刻的总大气水蒸汽含量往往很难得到,通常的做法是利用标准大气进行模拟代替或者利用气象站点数据,这样就必然会影 响普适性单通道算法陆地表面温度反演的精度。张兆明等^[2]在普适性单通道算法的基础上加以改进,提出利用 MODIS 数据来获取总大气水蒸汽含量,然后基于普适性单通道算法从 Landsat 7 ETM + 数据来反演陆地表面温度,并取得了较好的反演结果。本文即利用文献[2]的方法进行陆地表面温度反演试验,试验数据利用 2002 年 5 月 22 日获取的河北涿州等地的 Landsat 7 ETM + 影像和当日上午过境的 Terra MODIS 影像。

表 1 Landsat 7 ETM + 波段特征

波段序号	波段	波长/ μm	空间分辨率/m
1	蓝	0.45—0.52	30
2	绿	0.53—0.61	30
3	红	0.63—0.69	30
4	近红外	0.78—0.90	30
5	短波红外	1.55—1.75	30
6	热红外	10.4—12.5	60
7	短波红外	2.09—2.35	30
8	全色	0.52—0.90	15

1 方法介绍

1.1 普适性单通道算法

普适性单通道算法是 Jiménez-Muñoz 和 Sobrino 在 2003 年提出的,能够从单通道卫星遥感影像反演陆地表面温度,对 ETM + 第 6 波段而言,具体反演过程如下^[1]:

$$T_s = \gamma [\varepsilon^{-1} (\psi_1 L_{\text{sensor}} + \psi_2) + \psi_3] + \delta \quad (1)$$

$$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{\text{sensor}}}{T_{\text{sensor}}^2} \left[\frac{\lambda^4}{c_1} L_{\text{sensor}} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (2)$$

$$\delta = -\gamma L_{\text{sensor}} + T_{\text{sensor}} \quad (3)$$

T_s 为陆地表面温度, L_{sensor} 是星上辐射亮度,单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, T_{sensor} 是星上亮度温度,单位为 K, λ 是有效波长 (ETM + 第 6 波段的有效波长为 $11.457 \mu m$), ε 是地表比辐射率, $c_1 = 1.19104 \times 10^8 (W \cdot \mu m^4 \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1})$, $c_2 = 14387.7 \mu m \cdot K$. ψ_1, ψ_2, ψ_3 是大气函数,对 ETM + 第 6 波段而言,可以由总大气水蒸汽含量 (w) 根据方程(4—6)计算得到。

$$\psi_1 = 0.14714 w^2 - 0.15583 w + 1.1234 \quad (4)$$

$$\psi_2 = -1.1836 w^2 - 0.37607 w - 0.52894 \quad (5)$$

$$\psi_3 = -0.04554 w^2 + 1.8719 w - 0.39071 \quad (6)$$

L_{sensor} 和 T_{sensor} 分别由式(7)和式(8)得到^[3,4]。

$$L_{\text{sensor}} = \frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{QCAL_{\text{max}} - QCAL_{\text{min}}} (QCAL - QCAL_{\text{min}}) + L_{\text{min}} \quad (7)$$

$$T_{\text{sensor}} = \frac{1282.71}{\ln \left(\frac{666.09}{L_{\text{sensor}}} + 1 \right)} \quad (8)$$

其中, $QCAL$ 为像元的 DN 值, $QCAL_{\text{max}}$ 和 $QCAL_{\text{min}}$ 分别为像元可以取得的最大和最小 DN 值, L_{max} 和 L_{min} 分别为 $QCAL = QCAL_{\text{max}}$ 和 $QCAL = QCAL_{\text{min}}$ 时的光谱辐射亮度值,后四个量可以从影像头文件得到。

1.1.1 地表比辐射率计算

地表比辐射率 ε 的计算比较复杂,它受到多种因素的影响和制约,文献[5]给出了一种较简便的计算方法,即 NDVI 阈值法,本文利用该方法来获取研究区域的地表比辐射率。

NDVI 阈值法考虑三种情况:

(a) 当 $NDVI < 0.2$ 时,地表像元完全是裸土,比辐射率为 0.97;

(b) 当 $NDVI > 0.5$ 时,地表像元完全是植被,比辐射率为 0.99;

(c) 当 $0.2 \leq NDVI \leq 0.5$ 时,地表像元为植被和裸土的混合像元,比辐射率 ε 按式(9)计算:

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \quad (9)$$

ε_v 是植被比辐射率 ($\varepsilon_v = 0.99$), ε_s 是裸土比辐射率 ($\varepsilon_s = 0.97$)。 P_v 是植被覆盖率,由式(10)得到:

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\text{min}}}{NDVI_{\text{max}} - NDVI_{\text{min}}} \right]^2 \quad (10)$$

$NDVI_{\text{max}}$ 和 $NDVI_{\text{min}}$ 分别是研究区域内的最大和最小 NDVI 值。

$d\varepsilon$ 是一个表示地表复杂状况的量,利用下式计算:

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v) F\varepsilon_v \quad (11)$$

式(11)中 F 是形状系数,本文取平均值 0.55^[6]。

1.1.2 总大气水蒸汽含量反演

在文献[2]中提出,首先利用 MODIS 数据来反演总大气水蒸汽含量,然后利用普适性单通道算法来得到陆地表面温度。其中反演总大气水蒸汽含量的算法如下^[7]。

首先按式(12—14)计算大气吸收通道 (MODIS 第 17、18 和 19 通道) 与大气窗口通道 (MODIS 第 2 通道) 的比值 G_{17} , G_{18} 和 G_{19} 。

$$G_{17} = \frac{L_{17}}{L_2}, G_{18} = \frac{L_{18}}{L_2}, G_{19} = \frac{L_{19}}{L_2} \quad (12)$$

L_{17} , L_{18} 和 L_{19} 分别是 MODIS 17、18 和 19 通道传感器接收到的辐射亮度。辐射亮度 (L) 按下式计算:

$$L = \text{radiance_scales} (SI - \text{radiance_offsets}) \quad (13)$$

其中, radiance_scales 和 radiance_offsets 分别是各波段的辐射率缩放比和辐射率截距, SI 为 MODIS 1B 数据中的存储值。

然后,计算 15、16 和 17 通道的水汽含量:

$$W_{17} = 26.314 - 54.434 G_{17} + 28.449 G_{17}^2 \quad (14)$$

$$W_{18} = 5.012 - 23.017 G_{18} + 27.884 G_{18}^2 \quad (15)$$

$$W_{19} = 9.446 - 26.887 G_{19} + 19.914 G_{19}^2 \quad (16)$$

最终总大气水蒸汽含量 (W) 是 W_{17} , W_{18} 和 W_{19}

的加权平均:

$$W = 0.192W_{17} + 0.453W_{18} + 0.355W_{19} \quad (17)$$

2 反演结果与分析

研究区陆地表面温度反演结果如图 1 所示。

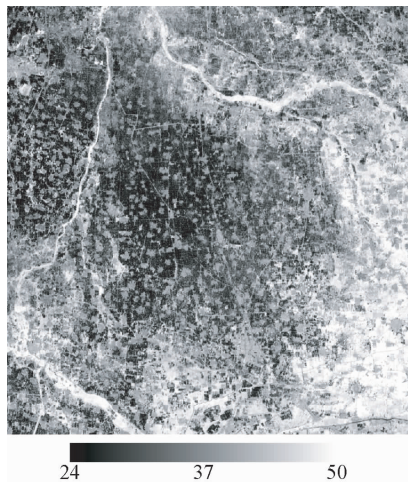


图 1 研究区陆地表面温度分布图(单位:℃)

由图 1 可以看出,本文得到的陆地表面温度分布图符合实际情况。最大值在 50℃左右,最小值在 24℃左右,图中的裸地由于温度较高呈现亮色调,而植被区由于植被的蒸发蒸腾作用,温度较低,呈现明显的暗色调。图像中能够清晰地辨出散布在农田中的居民点(较亮色调),而干枯的河床由于温度

较高,显现出白色的条带状。本文试验结果表明首先利用 MODIS 数据反演总大气水汽含量,然后利用普适性单通道算法能够从 Landsat 7 ETM + 数据较好地获取研究区陆地表面温度的空间分布。

参 考 文 献

- 1 Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*, 2003; 108 (D22): 4688—4695
- 2 张兆明,何国金,肖荣波,等. 基于 MODIS 和 TM 数据的陆面温度反演. *中国图象图形学报*, 2007; 12 (2): 366—370
- 3 Markham B L, Barker J L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. *EOSAT Landsat Technical Notes*, 1986; (1): 3—8
- 4 Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM +, and EO - 1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 2009; 113: 893—903
- 5 Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 2004; 90 (4): 434—440
- 6 Sobrino J A, Caselles V, Backer F. Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard. *ISPRS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990; 44: 343—354
- 7 Sobrino J A, Kharraz J E L. Surface temperature and water vapor retrieval from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, 2003; 24 (24): 5161—5182

Land Surface Temperature Retrieval Using ETM + and MODIS Data

WU Tian-an, WANG Dong-liang, LIU Zhai-tao

(Earthquake Stage Net Centre of China; Beijing 100045, P. R. China)

[Abstract] Landsat 7 ETM + is a commonly used medium-resolution space-borne remote sensing data. The resolution of its thermal infrared band is 60 m, the highest in the space-borne thermal infrared remote sensing data nowadays. However the fact that Landsat 7 ETM + have only one thermal infrared band causes limitation in land surface temperature retrieval. Land surface temperature retrieval with Landsat 7 ETM + data was carried out based on previous relevant studies. Firstly, the total atmospheric water vapor content was obtained using MODIS imagery, then the generalized single channel algorithm was applied to retrieve land surface temperature from ETM + imagery. Experimental result shows this method can achieve a good retrieval result.

[Key words] Landsat 7 ETM + MODIS land surface temperature generalized single channel algorithm