

利用 Landsat 影像热红外波段反演 西双版纳勐仑地区地表温度的方法初探^{*}

李增加^{1, 2}, 马友鑫¹

(1. 中国科学院 西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 利用 Landsat TM/ETM+ 数据的热红外波段, 基于 Modtran4 辐射传输模型的大气校正, 通过目前 2 种主要算法——Qin 等的单窗算法与 Jim nez- Munoz- Sobrino 的普适性单通道算法反演了热带西双版纳勐仑地区的地表温度, 同时利用同步地面实测数据对反演结果进行了精度检验. 结果表明, 2 种方法均具有一定的反演精度, 其中 Jim nez- Munoz- Sobrino 法较好, 其相对误差仅为 5. 4%, 该方法更适于该地区地表真实温度的反演.

关键词: 地表温度; Landsat TM/ETM+ ; 单窗算法; 单通道算法; 西双版纳

中图分类号: P 237 文献标识码: A 文章编号: 0258- 7971(2008)S1- 0373- 04

遥感以其不同的时空尺度不断提供各种地表信息, 相对于以传统的离散测点为基础的对地观测手段是一场新的革命^[1]. 随着定量遥感的发展, 热红外波段反演地表温度算法研究已经较为成熟. 在比辐射率已知的情况下, 利用对大气辐射传输方程的近似和假设, 前人提出了多种地表温度反演算法, 如单通道法、多通道法、单通道多角度法、多通道多角度法等. 由于 Landsat TM/ETM+ 数据仅有一个热红外波段, 因此其反演算法也仅能针对单波段进行, 使其受到了一定的限制, 但由于其分辨率高, 对于描述地表热场的细微信息更为有效, 因此被广泛应用. 本文通过比较 Qin 的单窗算法^[2]和 Jim nez- Munoz _ Sobrino 的单通道算法^[3], 旨在提出适合我国热带西双版纳地区地表温度反演方法.

1 研究地区概况

研究区位于西双版纳勐仑镇(东经 101°09′~ 101°25′, 北纬 21°48′~ 22°00′), 海拔 500~ 1 400 m. 地貌以山原为主, 其间分布沟谷盆地、低丘和低山. 一年中有干季和雨季之分, 全年平均气温 21. 8 ℃, 年降雨量 1492. 9 mm. 区内保存有大面积的热带森林, 土壤多为砖红壤.

2 图像处理与分析方法

2.1 数据源与图像预处理 本研究采用 2006 年 2 月 19 日、2007 年 3 月 26 日的 Landsat TM 数据和 1999 年 12 月 25 日、2003 年 3 月 7 日的 Landsat ETM+ 数据. 首先利用 1: 50 000 地形图对 1988 年影像进行精校正, 再利用 Erdas Imagine 9. 0 的 AutoSync 模块对其余影像进行影像至影像校正, 校正误差均控制在 0. 5 个像元之内, 并重采样到像元大小为 60 m. 并利用基于 Modtran4 辐射传输模型的高光谱与多光谱大气校正模块 FLAASH(Fast Line- of- sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) 对影像进行大

^{*} 收稿日期: 2008- 02- 19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30570321; 30770385).

作者简介: 李增加(1979-), 男, 硕士生, 主要从事土地利用/覆盖变化及其气候效应方面的研究.

通讯作者: 马友鑫(1960-), 男, 研究员, 主要从事景观生态学方面的研究, Email: may@xtbg. ac. cn

气校正,提高 NDVI 计算的精度,进而提高比辐射率的计算精度.

2.2 温度反演算法 TM 或 ETM+ 单波段温度反演算法主要有以下 3 种: 辐射传输方程法, Qin 等的单窗算法^[2]和 Jim nez- Munoz _ Sobrino 的普适性单通道算法^[3]. 在没有电探空数据和发射率未知的情况下, 大气校正法的实际使用存在较大的困难. 本文使用后二者算法进行地表温度反演.

2.2.1 Qin 等的单窗算法 Qin 等^[2]提出了利用 Landsat TM 热红外波段反演地表温度的单窗算法, 其演算公式为

$$T_s = \frac{[a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]T_6 + D_6T_a]}{C_6},$$
$$C_6 = \tau \varepsilon, D_6 = (1 - \tau)[1 + \tau(1 - \varepsilon)].$$

T_s 为地表温度(K); T_6 为 TM 6 的亮度温度(℃); T_a 为大气平均作用温度(℃); τ 为大气透射率; ε 为地表辐射率. 一般情况下(地表温度在 0~ 70℃ 范围内), 取值 $a_6 = - 67.355351$, $b_6 = 0.458606$; C_6 和 D_6 是中间变量.

2.2.2 Jim nez- Munoz _ Sobrino 的普适性单通道算法 Jim nez- Munoz 和 Sobrino^[3] 提出了反演地表温度的普适性单通道算法, 其演算公式为

$$T_s = \gamma[\varepsilon^{-1}(\phi_1 L_{\text{sensor}} + \phi_3)] + \delta, \gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{\text{sensor}}}{T_6^2} \left[\frac{\lambda^4}{c_1} L_{\text{sensor}} + \lambda \right] \right\}^{-1}, \delta = - \gamma L_{\text{sensor}} + T_6.$$

L_{sensor} 为星上辐射值, 单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, 可由传感器接收的光谱辐射强度换算得到. ε 为地表比辐射率. ϕ_1 , ϕ_2 和 ϕ_3 为大气参数, 是总大气水汽含量 ω 的函数, 可根据下面方程计算:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 0.14714 \omega^2 - 0.15583 \omega + 1.1234, \\ \phi_2 &= - 1.183 \omega^2 - 0.37607 \omega - 0.52894, \\ \phi_3 &= - 0.04554 \omega^2 + 1.8719 \omega - 0.39071. \end{aligned}$$

c_1 和 c_2 是辐射常数, $c_1 = 1.19104 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s} \cdot \text{r}^{-1}$, $c_2 = 14387.685 \mu\text{m} \cdot \text{K}$. λ 是有效波长, 对于 TM6, $\lambda = 11.457 \mu\text{m}$.

2.2.3 各变量的求算方法

(1) 亮度温度 亮度温度计算公式如下

$$T_6 = \frac{K_2}{\ln(1 + K_1/L_\lambda)}, L_\lambda = \text{gain} * \text{QCAL} + \text{offset}.$$

T_6 为 TM6 像元亮度温度(K); L_λ 为传感器接收的光谱辐射强度, QCAL 为第 6 波段像元灰度值(DN), gain 为第 6 波段增益量, offset 为第 6 波段偏移量, 单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$; K_1, K_2 为不同传感器的标定参数, 对于 TM, $K_1 = 60.776$, $K_2 = 1260.56$, 对于 ETM+, $K_1 = 666.09$, $K_2 = 1282.71$, K_1 的单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$, K_2 的单位为 $\text{K}^{[4]}$.

(2) 其它变量 大气平均作用温度与大气透射率的计算方法见文献[5]; 总大气水分含量的计算方法见文献[6]; 地表比辐射率的计算方法见文献[7]. 各变量求算公式获得后, 在 Erdas Image 9.1 软件的 Modeler 模块下建立反演模型, 获得地表真实温度.

3 反演结果与验证

通过卫星过境时的实测地表温度进行验证(见表 1), 表明 Jim nez- Munoz _ Sobrino 的单通道算法和 Qin 等的单窗算法均表现出较高的精度, 平均相对误差分别为 5.4% 和 9.3%, 比较而言, Jim nez- Munoz _ Sobrino 的单通道算法更具有优势, 利用该法反演出的结果(2006 年) 见图 1. 由于该区地表覆盖类型复杂, 再加上大气干扰的复杂性、地表比辐射率的不确定性、地表热辐射的方向性、非同温混合像元, 以及算法的各种近似等是导致误差较大的原因.

另外, 验证工作是极其复杂的, 本文仅做了初步的验证.

表 1 2 种方法估算精度

Tab.1 Accuracy of estimated value by the two methods

日期	实测地温/℃	单通道算法		单窗算法	
		计算值/℃	相对误差/%	计算值/℃	相对误差/%
1999- 12- 25	20.1	21.8	8.46	15.8	21.39
2003- 03- 07	33.0	33.1	0.30	34.2	3.64
2006- 02- 19	29.2	30.6	4.79	32.3	10.62
2007- 03- 26	42.0	38.7	7.86	42.6	1.43

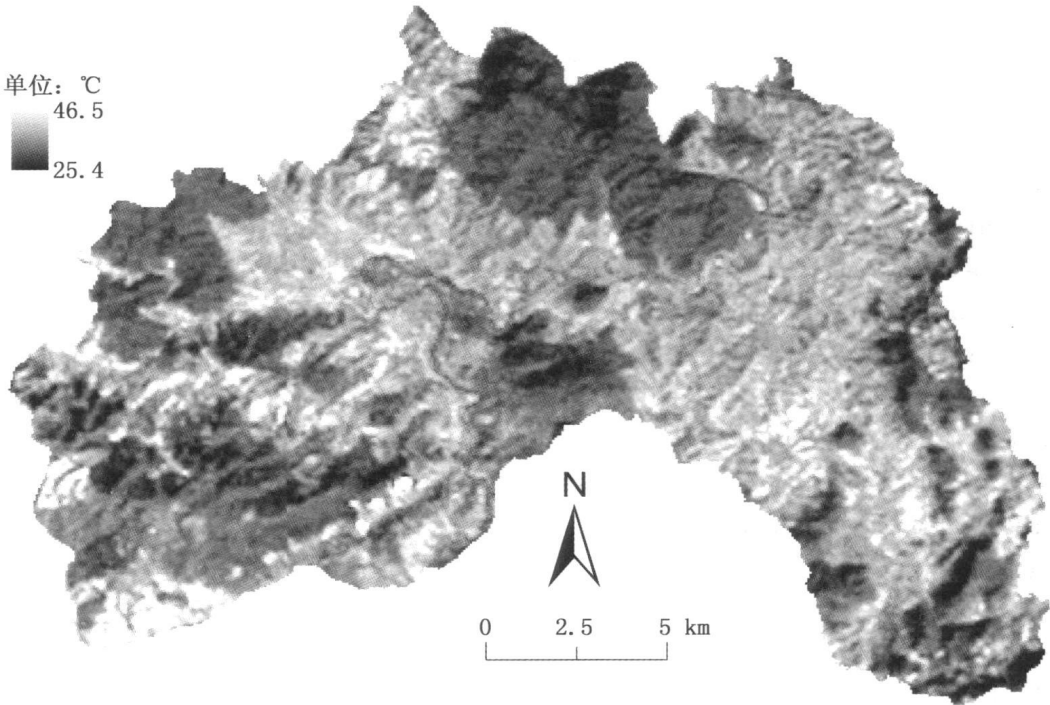


图 1 单通道算法反演结果

Fig.1 The land surface temperature distribution based on single channel method

4 结束语

综上, Qin 等的单窗算法和 Jim nez- Munoz _Sobrino 单通道算法均具有一定的反演精度. 相比之下, Jim nez- Munoz _Sobrino 的单通道算法优于 Qin 等的单窗算法. 由于前者所需参数较少, 因此在没有实时大气探空数据和精确的地表测站数据的前提下, Jim nez- Munoz _Sobrino 的单通道算法更适于该热带地区地表真实温度的反演.

感谢: 中国科学院西 双版纳热带雨林生态系统定位研究站提供气候数据.

参考文献:

[1] 赵英时. 遥感应应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[2] QIN ZH, KARNIELI A, BERLINER P. A monø-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel- Egypt border region[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(18) : 3 719-3 746.

[3] Jim nez Munoz J C, SOBRINO J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote

sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4 688-4 696.

[4] USGS Landsat 7 Science Data User Handbook[Z/ OL] http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/hand-book_ _htmls/chapter11/chapter11.html, 2000, Cited 12 Oct 2007.

[5] 覃志豪, LI W J, ZHANG M H, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003, 2(56): 37-43.

[6] 李净. 基于 Landsat-5 TM 估算地表温度[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 322-326.

[7] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, 3(61): 28-36.

A study on retrieving land surface temperature of Menglun region
in Xishuangbanna based on Landsat TM/ ETM+ thermal band

LI Zeng-jia^{1,2}, MA You-xin¹

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on thermal band of Landsat TM/ ETM+ data, the radiative transfer model MODTRAN 4 was used to perform the atmospheric correction. Single-channel algorithm developed by Jimenez-Munoz & Sobrino and mono-window algorithm developed by Qin et al were used to retrieve, retrieved the land surface temperature of Menglun region, Xishuangbanna, South west China, without knowing the exact data of weather stations and the in situ atmospheric profile data. The accuracy was validated based on field survey data and the result showed the single-channel method was better than mono-window algorithm; the relative error of single-channel method is only 5.4% . So without atmospheric profile data and precise weather station data, the single channel method with less parameters, is more suitable for the retrieving of local land surface temperature.

Key words: land surface temperature; landsat TM/ ETM+ ; single-channel algorithm; mono-window algorithm; Xishuangbanna

* * * * *
(上接第 372 页)

Research progress of mesoporous materials

GU Lin-mo¹, LIU Xiao-fang²

(1. Qujing Medical College, Qujing 655400, China;
2. Yunnan Nationalities University, Kunming 650031, China)

Abstract: As a newly development of nanophase materials, mesoporous materials attract high attention in the section of science and technology of the world. The synthelic method and the mechanism of mesoporous materials are introduced in detail. At last the application of mesoporous materials are presented.

Key words: nano-materials; mesoporous materials; synthelic method; applications