

地表温度的多源遥感数据反演算法 对比分析

郑文武^{1,2}, 曾永年^{1*}

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 中南大学空间信息技术与可持续发展研究中心, 长沙 410083;
2. 衡阳师范学院资源环境与旅游管理系, 衡阳 421008)

摘要: 多源遥感数据的综合应用是提高地表温度反演精度的有效途径。MODIS 数据和 Landsat TM 数据在我国同一地区获取的时间相差不大, 可以获取近似同步的 MODIS 数据和 TM 数据。本文将基于 MODIS 数据反演的大气参数应用于 TM 影像的地表温度反演, 分别对单窗口算法和普通性单通道算法进行了实验研究, 应用气象站实测的地表温度数据对反演结果进行了检验, 并对比分析了不同土地覆盖条件下两种算法的精度差异。结果表明: 两种算法反演精度均较高, 单窗口算法反演精度为 0.76K, 普通性单通道算法反演精度为 1.23K; 在不同的土地覆盖条件下, 两种算法表现出明显的差异性, 水体区反演结果差异最小, 均值差异仅为 0.02K, 植被区差异最大, 均值差异为 0.62K。

关键词: 地表温度; MODIS; TM; 多源遥感

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00840

1 引言

地表温度是地表能量和水分平衡的关键因子^[1], 也是地表通量、土壤水分、作物缺水模型和估产等遥感模型的输入参数, 广泛应用于区域水文、生态、环境和生物地球化学等研究领域^[2-3]。热红外遥感反演是获取区域地表温度的主要手段, 并且已经发展了众多的反演算法, 主要包括: 基于单波段^[4-5]、多波段^[6-7]和多角度反演算法^[8]。随着反演算法的不断革新, 反演精度也得到了不断的提高, 误差已经接近 1K。如何以现有的遥感数据, 更进一步地提高地表温度反演精度是众多学者关注的问题。

Landsat TM6 是地表温度反演的主要数据之一, 具有较高的空间分辨率(空间分辨率为 120m), 但是由于只有一个热红外通道, 地表温度反演时无法使用劈窗算法和 TES 算法(温度与比辐射率分离算法), 而只能是单波段算法。当前利用单波段数据反演地表温度的方法有 3 种: 大气校正法、单

窗算法^[4]和普通性单通道算法^[5]。大气校正算法计算过程复杂, 需要精确的大气廓线数据, 但是由于缺少实时的大气廓线数据, 一般采用非实时的大气探空数据或标准大气廓线数据代替, 导致获得的地表温度精度较差; 单窗算法为覃志豪基于地表热辐射传导方程, 在一系列假设条件下, 建立的适用于 Landsat TM 热红外波段的地表温度反演算法, 该算法同样需要大气廓线数据, 在没有大气廓线数据的条件下, 地表温度反演精度低于 2K; 普通性单通道算法为 Jiménez-Munoz 和 Sobrino 提出的适用于 Landsat TM 数据的地表温度反演算法, 仅需要一个大气参数, 该算法在大气水汽含量高的情况下误差较大。

由此可见, 用 Landsat TM 精确反演地表温度的关键是同步大气参数的获取, 因此, 如何获取遥感同步的大气参数是一个亟待解决的问题。随着遥感技术的发展, 多波段、多分辨率和多时相的多源遥感数据提供了丰富的地表和大气信息, 多源遥感的综合应用为地表温度的遥感反演提供了新的

收稿日期: 2011-08-29; **修回日期:** 2011-11-01.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171326, 40771198); 湖南省自然科学基金项目(08JJ6023)资助。

作者简介: 郑文武(1978-), 男, 湖南常德人, 博士研究生, 从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: zhwenwu@163.com

* **通讯作者:** 曾永年(1959-), 男, 青海西宁人, 教授, 博士生导师, 从事遥感与地理信息系统及其环境变化研究。

E-mail: ynzeng@csu.edu.cn

方法。MODIS 数据和 Landsat TM 数据在我国同一地区获取的时间相差不大,只有约 0.5~2.0h 的时间差,可以获得近似同步的影像数据。因此,研究 MODIS 和 TM 数据的地表温度反演算法具有重要的实践意义。历华初步探讨了 Landsat TM 数据和 MODIS 数据的多源遥感地表温度反演方法,但并没有对算法的有效性进行检验^[9];另外,反演方法以普适性单通道算法,对单窗算法的多源遥感地表温度反演方法及其有效性并未涉及。本文在前人研究成果的基础上,应用 MODIS 和 Landsat TM 数据,探讨单窗算法和单通道算法的多源遥感地表温度反演方法,并通过对比反演结果分析多源遥感数据的地表温度两种反演方法的有效性。

2 研究数据与预处理

由于城市是当前地表温度反演和应用研究的主要区域,而且城市地表覆盖复杂,地表温度空间差异大,具有显著的典型性,因此,本文选择了长沙市区的夏季 Landsat TM 影像和 MODIS Terra 数据作为主要实验数据,两种数据获取时间皆为 2005 年 5 月 6 日,其中 TM 影像获取的具体时间为 10:44,影像的轨道号为 123/41,MODIS 影像数据获取时间为 10:25,由于 MODIS 获取时间与 TM 数据相差不到 1h,可用 MODIS 数据反演地表温度中所需的大气参数。

利用长沙市区 1:2 000 地形图应用 ENVI 软件,双线性法进行重采样,对整景 TM 影像进行了几何校正和投影转换,经检验,长沙市区像元几何校正误差为 8.23m(在半个像元之内),符合精度研究。实验影像见图 1。

3 多源遥感数据的地表温度反演算法

3.1 覃志豪单窗算法

覃志豪 2001 年基于热传导方程^[10],在假定大气向上的辐射强度与向下热辐射强度相等的条件下,提出了一种仅从一个热红外波段反演地表温度的算法,为了与劈窗算法相区别,称为单窗算法。

单窗算法的演算公式为:

$$T_s = \{a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C + D]T_b - DT_a\} / C \quad (1)$$



图 1 4、3、2 波段合成 TM 假彩色实验影像

Fig.1 False color image of TM composed of band 4, 3 and 2

式中 T_s 是地表温度, T_b 为行星亮度温度(K), T_a 为大气平均温度(K), $a = -67.355351$, $b = 0.458606$, 为参考系数, C 和 D 为地表比辐射率和大气透过率函数,计算方法如下:

$$C = \epsilon \times \tau \quad (2)$$

$$D = (1-\epsilon)[1 + (1-\epsilon)\tau] \quad (3)$$

ϵ 为地表比辐射率, τ 为大气透过率。

单窗算法反演地表温度需要 4 个参数:行星亮度温度、地表比辐射率、大气透过率和大气平均温度。行星亮度温度可以通过对 Landsat TM 影像数据进行辐射定标获得。大气平均温度 T_a 由大气剖面气温分布和大气状态所决定,可以利用覃志豪提出的参数化方法进行估计^[11]。

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_o \quad (4)$$

T_o 为近地层大气温度(K)。

因此,基于单窗算法的地表温度反演的关键参数为:近地层大气温度 T_o 、大气透过率 τ 和比辐射率 ϵ 。

3.2 普适性单通道算法

Jiménez-Muñoz 和 Sobrino 认为热辐射传输方程中的透过率(τ)、大气上行辐射 $L \uparrow$ 和大气下行辐射 $L \downarrow$ 在一定波长范围内均取决于大气剖面总水汽含量。

$$\tau = 1/\psi_1(w) \quad (5)$$

$$L \uparrow = -\frac{\psi_2(w) + \psi_3(w)}{\psi_1(w)} \quad (6)$$

$$L \downarrow = \psi_3(w) \quad (7)$$

w 为大气水汽含量, $\psi_1(w)$ 、 $\psi_2(w)$ 和 $\psi_3(w)$ 是

大气水汽含量的函数,可以根据针对 TM 影像所建立的方程估算。

$$\phi_1(w) = 0.14714w^2 - 0.15583w + 1.1234 \quad (8)$$

$$\phi_2(w) = -1.1836w^2 - 0.37607w - 0.52894 \quad (9)$$

$$\phi_3(w) = -0.04554w^2 + 1.8719w - 0.39071 \quad (10)$$

当大气中水汽含量较低时,地表温度反演公式简化为:

$$T_s = \gamma[(\phi_1(w)L_{\text{sensor}} + \phi_2(w))/\epsilon + \phi_3(w)] + \delta \quad (11)$$

$$\gamma = \frac{c_2 L_{\text{sensor}}}{T_b^2} (\frac{\lambda^4}{c_1} L_{\text{sensor}} + \lambda^{-1}) \quad (12)$$

$$\delta = -\gamma \cdot L_{\text{sensor}} + T_b \quad (13)$$

λ 是有效坡长,对于 TM 的热红外波段取 11.457 μm , T_b 为传感器感测的行星亮度温度(K), L_{sensor} 是传感器观测到的辐射亮度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$), $c_1 = 1.19104 \times 10^8 \text{ W} \mu\text{m}^4 \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$, $c_2 = 14387.7 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 。

3.3 参数反演

单窗算法和普适性单通道算法需要的参数主要有:行星亮度温度、地表比辐射率、大气透过率、大气水汽含量和近地层大气温度等 5 个参数。

3.3.1 行星亮度温度

行星亮度温度计算主要分两步:首先,将 DN 值转换成相应的热辐射强度,然后,根据热辐射强度推算行星亮度温度值。Landsat TM 在设计时已提供了将 DN 值转化为辐射强度值的方法,辐射强度与 DN 值有如下关系:

$$L_\lambda = L_{\min(\lambda)} + (L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)}) \cdot Q_{dn}/Q_{\max} \quad (14)$$

L_λ 为传感器所接收的辐射强度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$), Q_{\max} 为最大 DN 值, $L_{\max(\lambda)}$ 和 $L_{\min(\lambda)}$ 分别为传感器所接收到的最大和最小辐射强度,即对应于 $Q_{dn} = 255$ 和 $Q_{dn} = 0$ 时的最大和最小辐射亮度。式(14)中的参数可以从 TM 数据的头文件中获取。

根据普朗克函数计算出像元对应的亮度温度值,也可以利用下式进行近似计算:

$$T_b = 1260.56 / \ln(1 + 60.776/L_\lambda) \quad (15)$$

3.3.2 地表比辐射率估算

地表比辐射率表征地表向外辐射电磁波能力,

是热红外遥感的关键参数,其大小取决于地表的物质结构和遥感传感器接收电磁波的波长区间。由于 TM 影像多光谱波段的空间分辨率为 30m,在区域尺度景观格局的研究中,30m \times 30m 像元中大多包含两种以上的覆盖类型,混合像元的存在极大地影响了比辐射率估算精度,因此,本文基于线性混合像元分解模型估算地表比辐射率^[12],估算公式如下:

$$\epsilon = \sum_{i=1}^n P_i R_i \epsilon_i + d\epsilon \quad (16)$$

式中, P_i 为混合像元中第 i 种组分的丰度, R_i 为温度比率, ϵ_i 为第 i 种组分的比辐射率, $d\epsilon$ 为剩余项,由于城市地表较为平整,可以令 $d\epsilon = 0$ 。

根据 Ridd 提出的 VIS 三角模型,选择植被、土壤、高反照率地表和低反照率地表等 4 类地表作为端元,并基于 MNF 影像前 3 个波段的二维散点图和 PPI 影像确定端元反射率,最后应用线性混合像元分解模型,获得每个像元中的所有端元组分的丰度。采用覃志豪等提出的算法,根据温度比率与植被覆盖度的经验关系估计温度比率,其中植被覆盖率的估算采用 Kerr YH 提出的 NDVI 的方法。采用郑文武等的研究成果确定各端元的比辐射率,植被、土壤、高反照率地表和低反照率地表的比辐射率依次为:0.986、0.972、0.970 和 0.995。

3.3.3 大气水分含量反演

MODIS 有 5 个近红外波段,分别为 2、5、17、18 和 19,其中水汽吸收波段为 17、18 和 19,2 和 5 波段为大气窗口波段,这种设计的主要目的是反演大气中的水分含量。根据毛克彪的研究^[13],采用波段 2 和波段 19 的反射率比值估算大气水分含量,计算公式为:

$$w = (\alpha - \ln \frac{\rho_{19}}{\rho_2} / \beta)^2 \quad (17)$$

式中, ρ_2 和 ρ_{19} 分别为 MODIS 第 2 波段和第 19 波段的表现反射率, α 和 β 校正系数, $\alpha = 0.02$, $\beta = 0.651$ 。

3.3.4 大气透过率反演

覃志豪等提出的针对 NOAA/AVHRR 的大气透过率反演方法,首先,用 LOWTRAN 模拟大气透过率随大气水汽含量的变化,然后,建立大气透过率与大气水汽含量的回归模型,由大气水汽含量计算出大气透过率。由于 MODIS 的近红外波段数据可以用于反演大气水汽含量,因此,能将覃志豪等

算法应用于 MODIS 数据,获得 MODIS 第 31 波段和第 32 波段的大气透过率。

对中纬度夏季大气,MODIS 第 31 波段和第 32 波段的大气透过率 τ_{31} 和 τ_{32} 与大气水汽含量 w 的线性方程为:

$$\tau_{31} = -0.1067w + 1.04015, \quad R^2 = 0.994 \quad (18)$$

$$\tau_{32} = -0.12577w + 0.99229, \quad R^2 = 0.995 \quad (19)$$

对中纬度冬季大气, τ_{31} 和 τ_{32} 与大气水汽含量 w 的线性方程为:

$$\tau_{31} = -0.124w + 1.047, \quad R^2 = 0.995 \quad (20)$$

$$\tau_{32} = -0.145w + 0.997, \quad R^2 = 0.994 \quad (21)$$

由于 TM 热红外波段的波长范围为 10.40~12.50 μm ,而 MODIS 第 31、32 波段和波长范围分别为 10.78~11.28 μm 和 11.77~12.27 μm ,TM 的热红外波段波长范围包含了 MODIS 第 31 波段和第 32 波段的波长范围,据毛克彪等的研究^[13],在相同的大气水汽含量下,MODIS 的第 31 波段和第 32 波段的大气透过率有明显的差别,随着大气含量的升高,这种差异更为显著,因此,不能简单地应用 τ_{31} 或 τ_{32} 作为 TM 热红外波段的大气透过率,其计算公式应为:

$$\tau_6 \approx \frac{\tau_{31}\epsilon_{31}\delta T_s^4 + \tau_{32}\epsilon_{32}\delta T_s^4}{\epsilon_{31}\delta T_s^4 + \epsilon_{32}\delta T_s^4} = \frac{\tau_{31}\epsilon_{31} + \tau_{32}\epsilon_{32}}{\epsilon_{31} + \epsilon_{32}} \quad (22)$$

τ_6 为 TM 热红外波段大气透过率, ϵ_{31} 、 ϵ_{32} 为 MODIS 第 31 波段和第 32 波段地表比辐射率,假设地表比辐射率在 10.40~12.50 μm 范围内不变,公式(22)转化为: $\tau_6 = (\tau_{31} + \tau_{32})/2$ 。

3.3.5 近地层大气温度

常用的近地层大气温度反演方法为牛顿非线性迭代法,Li(1995)指出,在使用牛顿非线性迭代法反演大气温度时需要一个矩阵 H^{-1} 来对反演进行控制, H^{-1} 为一个先验误差协方差矩阵的逆矩阵,如果取 $H^{-1} = \gamma I$, I 为单位矩阵,则可以由此得到最小信息解, γ 为光滑参数。当前 γ 的选择是大气温度廓线反演的难点,本文以赵强等提出的偏差原则选择 γ ,将牛顿迭代法应用于 MODIS 红外资料的大气温度廓线反演中,最后获得近地层大气温度^[10]。

3.3.6 参数尺度转换

由于地表比辐射率基于 TM 影像多光谱波段

估算,其空间分辨率为 30m,大气水汽含量、大气透过率和近地层大气温度参数是基于 MODIS 数据估算的,空间分辨率为 1km,而 TM 影像热红外波段的空间分辨率为 120m,为了与 TM 影像热红外波段的空间分辨率相匹配,需要对比辐射率图像进行尺度转换,采用的尺度转换方法为双线性法。

4 反演结果验证与对比分析

4.1 反演结果精度验证

由于缺少获取同步的 TM 像元尺度的实测数据,难以对反演结果进行直接的精度检验。覃志豪等利用 LOWTRAN 模型对七种标准大气廓线条件下的反演精度进行了检验,但是难以说明反演精度的区域差异性。气象站点所观测地表温度虽然不能完全等同于像元尺度的地表温度,但也能作为反演结果精度验证的间接指标,因此,本文采用气象站点的实测地表温度检验反演结果。由于长沙城区只有一个气象站点,难以对反演结果进行充分检验,因此,对整景影像上所有的气象站点所对应的像元的地表温度进行了反演,通过反演结果和气象数据的对比验证了反演结果的精度。整景影像上气象站点的分布见图 2。

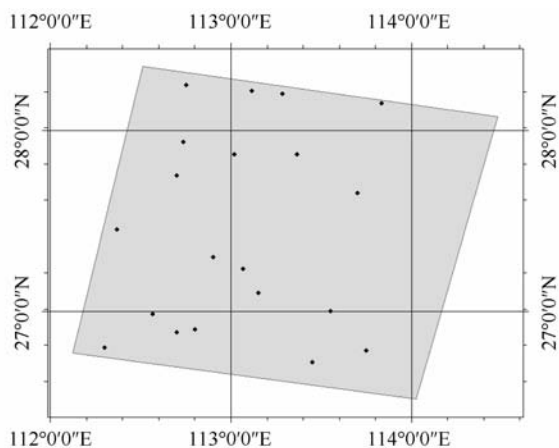


图 2 气象站点分布图

Fig. 2 Distribution of the weather stations

表 1 列出了反演地表温度与气象站实测数据的对比结果,其中气象温度观测仪器为曲管地温表。影响单窗口算法反演精度的主要参数为地表比辐射率、大气平均温度和大气透过率,而影响普适性单通道算法反演精度的主要参数为地表比辐射率和大气含水量,由于大气透过率基于大气含水

表 1 两种反演算法的精度检验结果(K)

Tab. 1 Validation result of two LST retrieval algorithms

| 气象站 | 实测 地表温度 | 反演温度 | | 反演精度 | |
|-----|------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | 单窗口 算法 | 普适性单 通道算法 | 单窗口 算法 | 普适性单 通道算法 |
| 宁乡 | 301.20 | 301.90 | 302.40 | 0.70 | 1.20 |
| 马坡岭 | 301.60 | 302.50 | 303.30 | 0.90 | 1.70 |
| 长沙 | 302.20 | 303.30 | 304.40 | 1.10 | 2.20 |
| 浏阳 | 301.80 | 301.40 | 301.20 | -0.40 | -0.60 |
| 韶山 | 300.20 | 301.20 | 300.80 | 1.00 | 0.60 |
| 湘乡 | 303.10 | 304.30 | 305.40 | 1.20 | 2.30 |
| 湘潭 | 302.50 | 304.30 | 305.30 | 1.80 | 2.80 |
| 双峰 | 305.30 | 303.70 | 305.00 | -1.60 | -0.30 |
| 南岳 | 302.90 | 303.40 | 304.70 | 0.50 | 1.80 |
| 衡山 | 304.20 | 305.70 | 306.00 | 1.50 | 1.80 |
| 衡东 | 302.30 | 302.50 | 301.90 | 0.20 | -0.40 |
| 攸县 | 303.60 | 303.00 | 303.60 | -0.60 | 0.00 |
| 株洲 | 304.90 | 304.90 | 305.40 | 0.00 | 0.50 |
| 醴陵 | 303.00 | 303.70 | 302.90 | 0.70 | -0.10 |
| 祁东 | 304.20 | 304.30 | 305.00 | 0.10 | 0.80 |
| 衡阳县 | 304.50 | 304.80 | 305.40 | 0.30 | 0.90 |
| 衡阳 | 308.90 | 310.00 | 309.30 | 1.10 | 0.40 |
| 衡南 | 308.60 | 308.90 | 308.00 | 0.30 | -0.60 |
| 安仁 | 304.00 | 303.00 | 303.80 | -1.00 | -0.20 |
| 茶陵 | 305.20 | 305.50 | 306.70 | 0.30 | 1.50 |

量计算,所以,可以认为地表比辐射率和大气含水量对两种算法具有共同的影响。在大气平均温度参数的支持下,单窗口算法具有较高的精度。单窗口算法反演结果与气象站实测地面温度平均偏差

为 0.76K,最大偏差为 1.8K,普适性单通道算法与气象站实测地面温度平均偏差为 1.23K,最大偏差为 2.8K。

4.2 反演结果对比分析

图 3 为单窗口算法和普适性单通道算法的地表温度反演结果。两种算法反演的地表温度空间分布基本相同,变化幅度稍有差异。图 3(a)为单窗口算法反演结果,最大温度为 310.03K,最小温度为 292.36K,均值为 296.61K,为图 3(b)为普适性单通道算法反演结果,最大温度为 311.24,最小温度为 291.28K,均值为 297.05,普适性单通道算法的变化范围和均值相对较大。

为了更好地分析两种反演算法在不同土地覆盖条件下的反演结果差异,本文用 TM 影像多光谱数据进行了土地覆盖分类,得到研究区植被、建筑、公路、水体、裸地、农田等 6 类土地覆盖信息,并分别提取每类土地上两种算法的变化范围和均值(见表 2)。两种算法在公路、建筑、裸地和植被区具有较大的变化幅度,其中,公路区域变化幅度最大(见图 3),其原因是受土地覆盖分类精度的影响,公路分类精度最差。在不同土地覆盖条件下,普适性单通道算法反演的地表温度明显高于单窗口算法,不同土地覆盖两种算法反演结果均值差异见图 4,在水体区两种算法的均值差异最小,均值差异仅为 0.02K,说明两种算法在水体区的具有较好的一致性,均值差异相对较大的为植被,达到 0.62K。

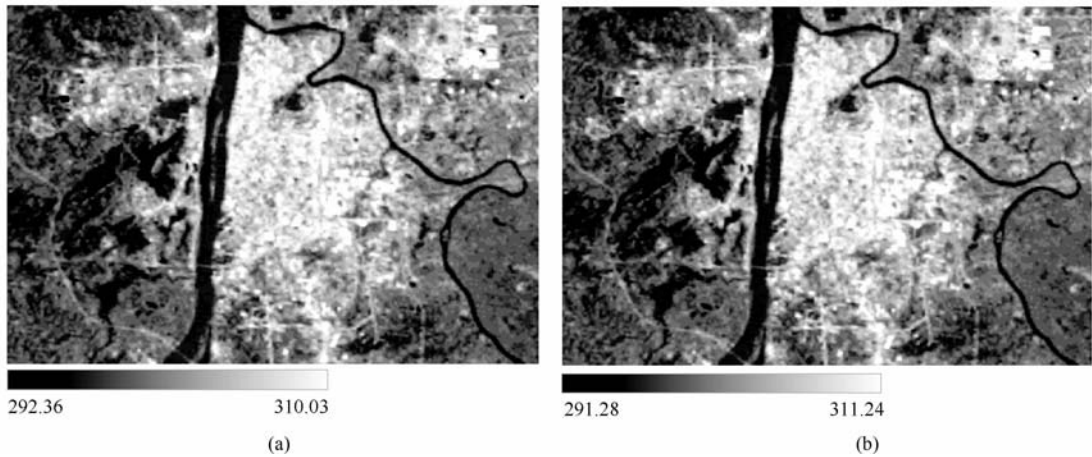


图 3 反演结果((a)为单窗口算法反演结果,(b)为普适性单通道算法反演结果)

Fig. 3 Result of land surface temperature retrieval algorithms ((a): the result of mono-window algorithm and (b): is the result of generalized single-channel algorithm)

表 2 不同土地覆盖上反演结果变化范围和均值差异

Tab. 2 Differences of variation range and mean of retrieval algorithms for different land cover types

| 土地利用 类型 | 单窗口算法 | | | | 普适性单通道算法 | | | |
|------------|--------|--------|-------|--------|----------|--------|-------|--------|
| | 最大值 | 最小值 | 变幅 | 均值 | 最大值 | 最小值 | 变幅 | 均值 |
| 植被 | 300.86 | 292.36 | 8.50 | 295.09 | 301.44 | 291.36 | 10.08 | 295.71 |
| 建筑 | 308.41 | 295.96 | 12.45 | 299.49 | 309.32 | 296.51 | 12.81 | 299.95 |
| 公路 | 310.02 | 292.36 | 17.66 | 299.05 | 311.02 | 291.36 | 19.66 | 299.54 |
| 裸地 | 307.17 | 292.36 | 14.81 | 296.75 | 308.03 | 291.36 | 16.67 | 297.22 |
| 农田 | 299.17 | 292.54 | 6.63 | 295.78 | 299.75 | 292.78 | 6.97 | 296.08 |
| 水体 | 297.03 | 292.36 | 4.67 | 294.3 | 297.41 | 292.3 | 5.11 | 294.45 |

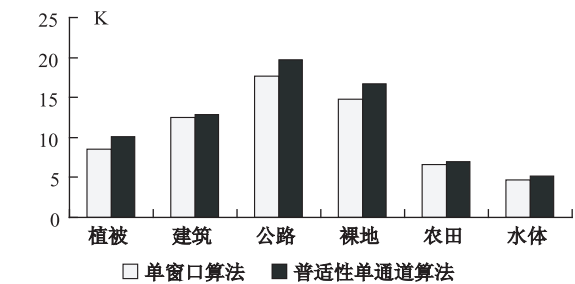


图 4 两种算法反演结果变幅对比

Fig. 4 Differences of variation range of retrieval results for different land cover types

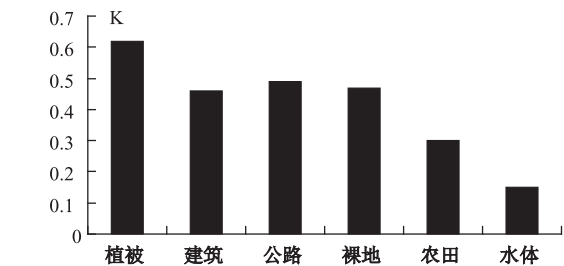


图 5 不同土地覆盖上两种反演算法均值差异

Fig. 5 Differences of mean of retrieval results for different land cover types

为了更准确地分析反演结果的差异,计算了两种算法的反演地表温度的差值影像,并对差值影像进行了无符号化处理(取差值绝对值),无符号差值影像见图 5。差值最大值为 1.4148 K,最小值为 0.0158 K,均值为 0.4852 K,根据李秀霞等的研究,在没有地表大气参数的支持下,两种算法反演结果均值偏差达到 1.06K,而应用 MODIS 反演的大气参数,两种算法反演结果的均值偏差远小于没有大气参数条件下的反演结果,在一定程度上也能够说明在 MODIS 数据的支持下,用 TM 影像能获得较高精度的地表温度。

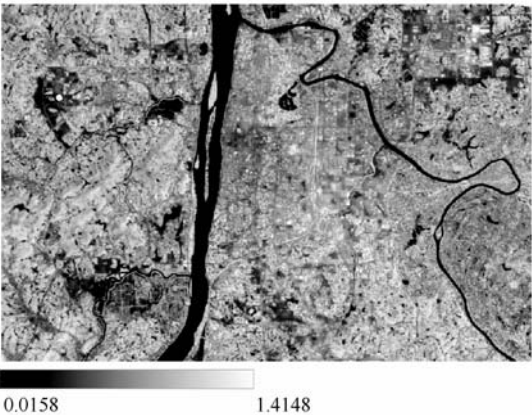


图 6 两种算法反演结果的无符号差值影像

Fig. 6 Unsigned bias image from two land surface temperature retrieval algorithms

5 结论

大气参数是地表温度反演的关键参数,对反演结果精度影响较大,历华等研究发现在大气含水量较高时,反演算法对大气参数反应敏感,因此需要获取准确的大气参数。多源遥感数据的综合应用是提高地表温度反演精度的有效途径。由于 MODIS 数据和 TM 数据获取时间近似同步,可以 MODIS 数据反演大气参数并将其应用于 TM 影像热红外波段的地表温度反演中。为了验证多源遥感在地表温度反演中的有效性,分别对两种典型 TM 单波段的反演算法进行了实验,应用气象站点实测数据对反演结果进行验证发现,两种算法反演精度均较高,单窗口算法反演精度为 0.76K,普适性单通道算法反演精度为 1.23K。在不同的土地覆盖条件下,两种算法表现出明显的差异性,水体区反演结果差异最小,均值差异仅为 0.02K,植被区差

异最大,均值差异为 0.62K。

基于 MODIS 数据的精确大气参数反演是获得高精度地表温度反演结果的关键,由于 MODIS 数据提供了多个大气参数探测波段的数据,在今后的研究中,应加强 MODIS 数据的高精度大气参数反演研究,充分发掘 MODIS 多波段数据的潜力,以提高地表温度反演精度。

参考文献:

- [1] Dash P, Gottsche F-M, Olesen F-S, Fischer H. Land Surface Temperature and Emissivity Estimation from Passive Sensor Data: Theory and Practice—Current Trends[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23, 2563–2594.
- [2] Raynolds M K, Comiso J C, Walker D A, *et al.* Relationship between Satellite-derived Land Surface Temperatures, Arctic Vegetation Types, and NDVI[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112, 19: 1884–1894.
- [3] Pipunic R C, Walker J P, Western A. Assimilation of Remotely Sensed Data for Improved Latent and Sensible Heat Flux Prediction: A Comparative Synthetic Study [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 1295–1305.
- [4] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A Mono-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: 3719–3746.
- [5] Jimenez-Munoz J C, Sobrino J A. A Generalized Single-channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data[J]. *Journal of Geophysics Research*, 2003, 108: 4688–4697.
- [6] Becker F, Li Z L. Toward a Local Split Window Method over Land Surface[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11(3): 369–393.
- [7] Li Z L, Becker F. Feasibility of Land Surface Temperature and Emissivity Determination from AVHRR Data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 43: 67–85.
- [8] 庄家礼, 陈良富, 徐希孺. 用遗传算法反演连续植被的组分温度[J]. *遥感学报*, 2001, 5(1): 1–6.
- [9] 历华, 曾永年, 负培东, 等. 利用多源遥感数据反演城市地表温度[J]. *遥感学报*, 2007, 11(6): 891–897.
- [10] 赵强, 杨世植, 乔延利, 等. 利用 MODIS 红外资料反演大气参数以及表层温度的研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2009, 34(4): 400–403.
- [11] 覃志豪, Li W J, Zhang M H, 等. 单窗算法的基本大气参数估计方法[J]. *国土资源遥感*, 2003, 56(2): 37–73.
- [12] 郑文武, 曾永年, 田亚平. 基于混合像元分解模型的 TM6/ETM+ 热红外波段地表比辐射率估算[J]. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 25–28.
- [13] Kaufman Y J, Gao B C. Remote Sensing of Water Vapor in the Near IR from EOS/MODIS [J]. *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, 1992, 30(5): 871–884.

Comparative Analysis of Two Land Surface Temperature Retrieval Algorithms Based on Multi-source Remote Sensing Data

ZHENG Wenwu^{1,2}, ZENG Yongnian¹

(1. Department of Surveying and Land Information Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Department of Resource Environment and Tourism Management, Hengyang 421008, China)

Abstract: Integrated application of multi-source remote sensing image is one of the best ways to improve the accuracy of land surface temperature (LST) retrieval. The difference between satellite overpass time of MODIS Terra and Landsat is small, so it is easy to get synchronized MODIS and Landsat TM images. The most challenging work of LST retrieval from Landsat TM images is acquisition of atmospheric profile parameters, and MODIS image has several near infrared bands that can be used to estimate atmospheric profile. In order to evaluate the effectiveness of atmospheric parameters estimated from MODIS image being used to LST retrieval algorithm of Landsat TM images, some experimental studies about Qin's mono-

window algorithm and Jimenez-Munoz's generalized single-channel algorithm have been conducted in this paper, and the retrieval LST results of the two algorithm were validated using the observed data from weather stations. Finally, the differences in accuracy of the two algorithms from different land cover types were analyzed. The results show that (1) two LST retrieval algorithms can get high-precision result in support of atmospheric parameters from MODIS images, the average deviation of mono-window algorithm is 0.76K, and the deviation of generalized single-channel algorithm is 1.23k; (2) the differences in accuracy of the two algorithms from different land cover types are obvious, the difference of water area is smallest, the difference of mean is 0.02K, and the difference of vegetation area is largest, the difference of mean is 0.62K, and the LST results of mono-window algorithm are smaller than the LST results of generalized single-channel algorithm.

Key words: land surface temperature; MODIS; TM; Multi-source remote sensing



ISSN 1674-764X

JOURNAL OF RESOURCES AND ECOLOGY

JRE

The Journal of Resources and Ecology is an international English language journal that was started in 2010. The journal is jointly sponsored by the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research (IGSNRR), the Chinese Academy of Sciences (CAS), the China Society of Natural Resources, and the Ecological Society of China.

The Journal of Resources and Ecology's mission is to create a platform for the promotion of international academic exchange. The journal aims to provide a comprehensive representation of resources and ecology research, and to present, among other things, the state of the art in scientific research, important progress in regard to the key issues involved, and the results of cutting-edge research in the fields of natural resources and ecology. Publication of JRE represents an important addition to other journals in the interdisciplinary research areas of resources and ecology. We believe that in the very near future this journal will make an important contribution to sustainable development not only for China but also globally.

The journal's Editorial Board consists of a group of well-known scientists from China and abroad who are active in the fields of

natural resources, ecology, and related research areas.

The journal will publish special issues focusing on specific thematic subjects.

The Journal of Resources and Ecology will be published quarterly on the 30th of March, June, September, and December, and printed on A4 paper with color inserts when necessary.

Online version of JRE is available at the websites below:

<http://www.bioone.org/> (Since 2012)

<http://www.ebscohost.com/>

<http://www.cnki.net/>

<http://www.sciencechina.ac.cn/>

<http://www.wanfangdata.com.cn/>

Contact details:

Journal of Resources and Ecology

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS (11-A Datun Road, Beijing 100101, China)

Phone: +86 10 6488 9447

Email: jorae@igsnr.ac.cn

Fax: +86 10 6488 9816

Website: <http://www.jorae.cn>