

ASTER 与 Landsat ETM⁺ 热红外 传感器数据的比较研究

徐涵秋^{1,2} 张铁军^{1,2} 李春华^{1,2}

(1 福州大学环境与资源学院,福州市上街学园路 2 号,350108)

(2 福州大学遥感信息工程研究所,福州市上街学园路 2 号,350108)

摘要:利用 3 对同日过空的 ASTER 和 ETM⁺ 影像对,开展了 ETM⁺ 和 ASTER 热红外影像的定量比较,求出了二者的关系转换方程。定量研究结果表明,ASTER 和 ETM⁺ 热红外数据具有极显著的正相关关系,所求出的转换关系方程有很高的精度。但二者仍有一定的差异,表现在 ASTER 数据反演的传感器处温度要比 ETM⁺ 平均高 0.66 °C~0.82 °C,其所表现的热信息量也要比 ETM⁺ 丰富且连续。

关键词:热红外数据;交互比较;ASTER;ETM⁺;遥感
中图分类号:P237.9

当前,利用先进的卫星对地观测技术监测地表热环境变化已经得到了广泛的应用。但是,已知具有热红外波段的卫星传感器并不多,最常见的只有 AVHRR、Landsat TM/ETM⁺、ASTER 和 MODIS 等几种,而这其中空间分辨率在 100 m 以内的仅有 ETM⁺ 和 ASTER。因此,它们在对地热观测中起着尤为重要的作用。可惜的是,Landsat ETM⁺ 的扫描线纠正器在 2003 年出了故障,其上一代 TM 影像的质量又日益退化^[1],因此迫切需要可替补的遥感热红外数据源。

20 世纪末以来,搭载多种新型传感器系统的卫星相继升空,这些不同光谱、不同空间分辨率的卫星传感器数据不仅可以单独使用,还可以互为补充。这种多传感器数据的互补给遥感领域带来了新的热门课题,即不同传感器数据之间的交互比较研究^[2],其中基于不同传感器同步影像之间的比较被称之为交互定标(cross calibration)^[3]。它可以是利用某个已定标的传感器数据对另一未定标的传感器数据进行定标,也可以是两种已经定标的传感器数据之间的交互比较^[3,4],其目的在于查明两种传感器数据之间的定量关系。本文所要进行的比较就属于后者。

由于携带热红外传感器的遥感卫星较少,所以不同传感器热红外影像之间的交互比较并不

多^[5-8],且都没有提供 ASTER 和 ETM⁺ 热红外数据转换的定量关系方程。由于 Matsunaga 等用于比较的影像对只有 1 对,实验地点也只是一处,其结果是否存在偶然性还不得而知,因此,利用更多的影像对来进行 ASTER 和 ETM⁺ 热红外数据关系的全面比较研究,求出二者可互为转换的关系方程,就显得十分必要。

1 实验方法

1.1 数据源

Landsat 7 是 1999 年发射的 Landsat 系列中最新的一颗卫星,它所携带的 ETM⁺ 传感器将原 Landsat 5 TM 传感器热红外波段的分辨率由 120 m 提高到 60 m,大大增强了对地热观测的能力。而 ASTER 是搭载于 1999 年发射的 Terra 卫星之上的五种探测仪之一,它所携带的热红外子系统共有 5 个波段(8.125~8.475 μm、8.475~8.825 μm、8.925~9.275 μm、10.25~10.95 μm、10.95~11.65 μm),空间分辨率为 90 m,量化等级为 12 bit,因此,它比 ETM⁺ 的热红外数据(谱段范围为 10.40~12.50 μm,空间分辨率为 60 m,量化等级为 8 bit)具有更高的光谱分辨率,但空间分辨率却相对较低。

保证两种传感器数据交互比较研究成功的最关键条件就是两种传感器必须同时观测同一目标区域,因此必须采用两种传感器对于同一目标区域的同日过空影像对。同时还要尽量选择二者传感器视角小、太阳高度角和方位角都接近的影像对,因为相同的大气和光照条件才能确保不同传感器影像中对应地物光谱特征的一致性^[9]。另外,为了避免实验结果的偶然性,交互比较不能仅基于一对影像和一个实验区。据此,本次研究选用了满足以上条件的 3 对同日过空,但地点不同的 ETM⁺ 与 ASTER 的影像对(见表 1)。由于 3 对影像的成像间隔时间都在 30 min 左右,因此大气的差异基本可以忽略^[3,10]。三对影像中取两对作为实验影像,另一对留作结果验证影像,以客观验证交互比较结果的准确性。ASTER 与 ETM⁺ 影像的处理级别分别为 Level 1 B 和 1 G。对于每一对影像对,均以 ASTER 为基准影像,将 ETM⁺ 影像与其配准。采用二次多项式进行坐标转换,选择能保持原有灰度值的最近邻法进行像元重采样, RMSE 小于 0.25 个像元。

1.2 实验区选择

首先分别在 ASTER 和 ETM⁺ 影像上选取位置、大小相同的实验区。Chander 等总结了实验区选择的原则^[4]: ① 地物要均一, 面积不宜太大; ② 位于星下点或其附近; ③ 地形起伏不大, 以避免复杂的大气条件; ④ 选择的地物要有典型性, 要有一定的光谱波长覆盖范围, 既要有高亮度的地物, 又要有低反射率的地物, 以便在较宽的光谱范围里全面检查两种传感器的关系。据此, 本文在两对实验影像对中选取了林地、草地、建筑用地、沙地、裸土等地类的 9 块实验区(共计 199 200 个像元)。

表 1 研究影像对

Tab. 1 Simultaneous Image Pairs Used in the Study

影像对	传感器	日期	时间	太阳高度角/ (°)	太阳方位角/ (°)	传感器视角/ (°)	用途
福州	ETM ⁺	2001-05-23	10:22	66.70	98.27	0	验证
	ASTER		10:48	75.21	108.57	2.863	
福州	ETM ⁺	2001-10-14	10:20	49.51	144.43	0	实验
	ASTER		10:51	53.30	157.43	2.863	
厦门	ETM ⁺	2003-03-10	10:21	49.90	132.20	0	实验
	ASTER		10:49	53.86	140.53	-5.699	

1.3 温度反演

本次 ASTER 与 ETM⁺ 热红外影像的比较将基于二者的传感器处的温度来进行。传感器处温度的反演是假设地面比辐射率为 1, 并利用定标参数进行校正(见式(4)), 其算法采用的是

Landsat 7 和 ASTER 官方用户手册的模型^[11,12]。这些模型主要基于影像自身的参数来进行辐射校正, 以确保影像的原始性和比较结果的客观性, 避免其他模型带入的模拟或标准参数可能导致的结果不确定性和精度下降^[3,13,14], 这也是基于影像比较研究所采用的主要方法^[3,7,10,15,16]。

Landsat 手册的模型^[11] 首先将 ETM⁺ 各波段的像元灰度值转换为传感器处的辐射值, 然后再将其转换成传感器处的反射率; 对于热红外波段, 则转换成传感器处的温度值。其公式为:

$$L = Q \cdot \text{gain} + \text{bias} \quad (1)$$

$$\rho = \pi \cdot L \cdot d^2 / (E_s \cdot \cos\theta_s) \quad (L = \text{ETM}^+ 1 \sim 5, 7 \text{ 波段}) \quad (2)$$

其中, $E_s = \int_0^\infty E_s(\lambda) s(\lambda) d\lambda / \int_0^\infty s(\lambda) d\lambda \quad (3)$

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) \quad (L_\lambda = \text{ETM}^+ 6 \text{ 波段}) \quad (4)$$

式中, L 为各波段传感器处的辐射值; Q 为像元灰度值; gain 和 bias 分别为各波段的增益值与偏置值; ρ 为传感器处的反射率; E_s 为大气顶部平均太阳辐照度; $E_s(\lambda)$ 为大气顶部的太阳辐照度; $s(\lambda)$ 为波段光谱敏感度; θ_s 为太阳天顶角; d 为日-地天文单位距离; T 为传感器处的温度; K_1 和 K_2 为热红外波段的定标参数, $K_1 = 666.09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{ster} \cdot \mu\text{m})$, $K_2 = 1\,282.71 \text{ K}$ 。

ASTER 热红外影像的反演公式为^[12,17]:

$$L = (Q - 1) \cdot \text{UCC} \quad (5)$$

$$T = C_2 / \lambda \ln(C_1 / (\lambda^5 \cdot \pi \cdot L) + 1) \quad (6)$$

式中, λ 为热红外波段的中心波长; UCC 为波段的单位转换系数; C_1 和 C_2 为 Planck 函数的参数, 分别为 $3.741\,775 \times 10^{-22} \text{ W} \cdot \text{m}^3 \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 和 $0.014\,387\,7 \text{ m} \cdot \text{K}$ 。表 2 给出了两种传感器温度反演所需的参数。

表 2 ETM⁺ 与 ASTER 热红外波段传感器处辐射值反演参数

Tab. 2 Coefficients Used in At-sensor Radiance Conversion for ETM⁺ and ASTER Thermal Infrared Bands

传感器	波段序号	gain 或 λ	bias 或 UCC
ETM ⁺	6L (低增益)	0.067 087	0.00
	6H (高增益)	0.037 205	0.32
	10	8.274×10^{-6}	0.006 822
ASTER	11	8.626×10^{-6}	0.006 780
	12	9.072×10^{-6}	0.006 590
	13	10.654×10^{-6}	0.005 693
	14	1.303×10^{-6}	0.005 225

由于 ETM⁺ 热红外 6 波段的波谱范围只与 ASTER 热红外 13、14 波段的波谱范围接近,因此 ETM⁺ 与 ASTER 热红外数据的对比实际上是与 ASTER 13、14 波段数据的均值((A13 + A14)/2)进行对比(为了描述方便,以下提到的 ASTER 温度数据均指其 13、14 波段温度数据的平均值)。必须指出的是,ASTER 热红外传感器自发射后就存在衰减问题,而 ASTER 的辐射校正参数(radiometric calibration coefficient, RCC)的更新又滞后于传感器的衰减速度。因此,用 ASTER 用户手册的参数求出的温度与实际温度会有偏差,必须用 ASTER 官方网站的 RCC 2.05 版对其进行纠正,获得新的参数来进行温度的反演计算。

通过以上计算和纠正获得了 ETM⁺ 和 ASTER 对应热红外波段的传感器处的温度值,并将其减去 273.15 K,换算成摄氏度(°C),进一步统计 ETM⁺ 和 ASTER 热红外波段反演的温度影像的动态范围、均值和标准差(表 3)。由于 ETM⁺ 具有高增益(6H)、低增益(6L)两种数据,因此本次研究将这两种数据都分别与 ASTER 的热红外数据进行对比。

表 3 ETM⁺ 与 ASTER 传感器处温度影像的统计特征/°C

Tab. 3 Statistics for ETM⁺ and ASTER At-sensor Temperature Images/°C

波段序号	动态范围	均值	标准差
ETM ⁺ 6L	21.627 0	17.324 3	5.305 6
ETM ⁺ 6H	21.453 0	17.162 9	5.308 3
ASTER(13+14)/2	24.272 5	17.982 8	5.902 2

1.4 定量转换关系分析

将反演得到的 ETM⁺ 6L、6H 波段的温度影像与 ASTER 温度影像的散点分别投影到二维特征空间,得到二者的散点分布图(图 1)。进一步对其作线性回归分析,获得二者互为转换的关系方程为(自变量 x 为 ASTER(13+14)/2):

$$ETM^+ 6L: y = 0.890 2x + 0.957 5, R^2 = 0.960 8 \quad (7)$$

$$ETM^+ 6H: y = 0.891 2x + 0.778 2, R^2 = 0.962 0 \quad (8)$$

所有方程均通过 $p=0.001$ 的 F 检验。

1.5 验证

利用保留的一对 2001 年 5 月 23 日的验证影像对以上所求的 ASTER 与 ETM⁺ 热红外影像的关系方程进行验证,步骤如下:① 将 ASTER 13、14 波段的影像按式(5)、式(6)分别反演成传

感器处的温度影像,并求出二者的均值温度影像;② 将同一天的 ETM⁺ 热红外影像反演成传感器处的温度影像;③ 利用式(7)、式(8)将得到的 ASTER 传感器处的温度影像分别模拟成 ETM⁺ 6L、6H 波段的传感器处的温度影像;④ 将 ASTER 模拟的 ETM⁺ 传感器处的温度影像(以下称模拟影像)与当天实际的 ETM⁺ 传感器处温度影像(以下称实际影像)的像元值分别投影到二维特征空间(图 2);⑤ 计算模拟影像与实际影像之间的 RMSE 值。

图 2 中模拟影像与实际影像的散点基本沿 1:1 线分布,二者之间的 RMSE 介于 0.779 °C ~ 0.901 °C (误差 3.6%~4.1%)。可见,本文求出的转换方程可以有效地将 ASTER 的传感器处温度值模拟成 ETM⁺ 的传感器处温度值。

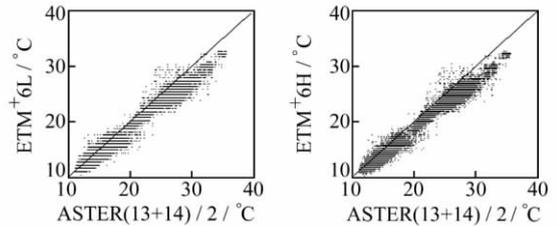


图 1 ETM⁺ 与 ASTER 温度影像的二维特征空间散点图

Fig. 1 Scatterplots of ETM⁺ and ASTER At-sensor Temperatures

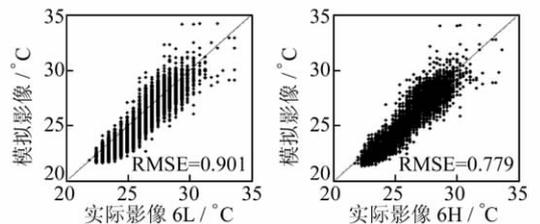


图 2 实际影像与模拟影像温度散点图

Fig. 2 Scatter Plots of Simulated and Actual ETM⁺ At-sensor Temperatures

2 实验结果和分析

进一步考察表 3 中二者的传感器处温度影像的动态范围、均值和标准差可以发现,ASTER 热红外波段的这几个指标都大于 ETM⁺ 对应的指标,这说明:① ASTER 热红外传感器的敏感度要高于 ETM⁺,捕捉到的热信息量要比 ETM⁺ 丰富;② ASTER 反演的温度要比 ETM⁺ 平均高 0.66 °C ~ 0.82 °C。

将 ASTER 反演的温度分别减去 ETM⁺ 6L、6H 波段反演的温度,得到对应的差值影像,然后

将其与对应的 ETM⁺ 温度影像投影到二维特征空间。从图 3 可以看出, 绝大部分差值的散点都落在横坐标上方, 这也说明 ASTER 反演的温度要高于 ETM⁺ 反演的温度。从图 1 中二者投影的散点大部分落在 1:1 线的下方也证实了这一点, 它和 Chen 等(2004)的研究结果一致。

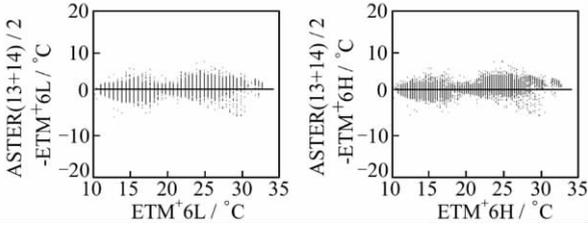


图 3 ETM⁺ 与 ASTER 影像温度差值分布散点图

Fig. 3 Difference Between ASTER and ETM⁺

At-sensor Temperatures

分析两种热红外数据存在上述差异的原因很可能在于:

1) 二者的辐射分辨率不一致。ETM⁺ 热红外数据为 8 bit, 可表现的热红外信息量化等级为 256 级; 而 ASTER 的热红外数据为 12 bit, 可表现的量化等级为 4 096 级, 是 ETM⁺ 的 16 倍, 所以其数据的动态范围、对热信息的敏感度以及可分辨的热信息都要高于 ETM⁺, 其所获得的热信息量就要大于 ETM⁺。Thenkabail 在对比 IKONOS 和 ETM⁺ 的 NDVI 差异时指出, IKONOS 11 bit 的辐射分辨率使其获得的 NDVI 的动态范围要大于 8 bit 的 ETM⁺ 数据, 其探测植被生物量的敏感度要高于 ETM⁺^[16]。Chander 等、Thome 等也认为较高的辐射分辨率具有更灵敏的对地物探测能力^[1,9]。

2) 二者热红外波段光谱的分布范围和光谱响应能力不同。从图 4 可以看出, ETM⁺ 热红外波段的光谱范围和响应函数与其对应的 ASTER 13、14 波段并不十分一致, 其光谱范围宽, 光谱响应能力随波长的增加逐渐减弱, 这导致了二者反演温度的差距。Teillet 等在对比 Landsat TM 与 ETM⁺ 时发现, 二者在光谱波段范围设置的不同及其光谱响应函数的不同造成了二者各对应波段之间的反射率差距达 2%~7%^[3]。Goward 等在对比 IKONOS 和 ETM⁺ 的 NDVI 差异时, 也把原因归结于二者在光谱波段范围设置和光谱响应方面的不同^[15]。另一原因可能是 ASTER 上午过空的时间较 ETM⁺ 迟约 0.5 h(表 2), 由于上午处于升温过程, 所以也可能造成 ASTER 反演的温度会高于 ETM⁺。

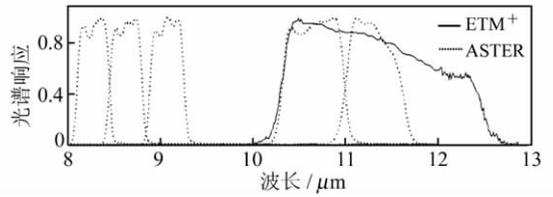


图 4 ETM⁺ 与 ASTER 传感器热红外波段光谱响应特征

Fig. 4 Relative Spectral Response Profile and Spectral Band Differences Between Corresponding ETM⁺ and ASTER Thermal Bands

值得注意的是, 两种传感器的温度散点图(图 1)在沿 ETM⁺ 的投影方向上出现明显的间隔条带。从条带的间距很规则这一现象来看, 认为这一问题是由两种传感器的辐射分辨率不一致造成的。由于 ASTER 热红外影像的灰度级(4 096)大大超出 ETM⁺(256), 致使在 ASTER 的许多观测值上, ETM⁺ 没有对应的观测数据, 从而在散点投影图上形成许多温度数据空白的条带, 造成温度观测值不连续的现象。Thenkabail 在对比 IKONOS (11 bit)和 ETM⁺ (8 bit)的 NDVI 数据时, 二者的二维散点图沿 ETM⁺ 方向上也出现类似的条带^[17]。笔者对此没有给出解释, 但 ETM⁺ 在与高于其辐射分辨率的影像对比时, 屡屡出现这种条带现象, 说明辐射分辨率之间的差异是造成这一现象的主要原因。

就 ETM⁺ 6L、6H 热红外数据与 ASTER 热红外数据的关系而言, 6L 数据的相关关系略逊于 6H 数据, 表现在其 R² 略小于后者, 而 RMSE 略大于后者(式(7)、式(8)、图 2)。低增益和高增益数据的主要区别在于前者的饱和值设置为 347.5 K, 后者的为 322 K。低增益数据的饱和值设置较高, 主要用于观测具有大片高温地物的地区, 如沙漠等, 以避免在高温区产生温度过饱和的问题。而本文用的影像不是高温沙漠区, 因此低增益外数据不适合本区的情况。而 ETM⁺ 高增益数据和 ASTER 热红外数据的增益值都是按正常地区设置的, 所以 ETM⁺ 高增益数据与 ASTER 热红外数据的相关关系会好于低增益数据。

以上结论是基于 3 对同步影像获得的, 其代表性将在今后的应用中得到进一步的验证。

参 考 文 献

[1] Chander G, Markham B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11): 74-77

- [2] Dinguirard M, Slater P N. Calibration of Space-multispectral Imaging Sensors; A Review [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 68(3): 194-205
- [3] Teillet P M, Barker J L, Markham B L, et al. Radiometric Cross-calibration of the Landsat-7 ETM⁺ and Landsat-5 TM Sensors Based on Tandem Data Sets [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 78: 39-54
- [4] Chander G, Haque M O, Micijevic E, et al. A Procedure for Radiometric Recalibration of Landsat 5 TM Reflective-band Data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, 48(1): 556-574
- [5] Goetz S J. Multi-sensor Analysis of NDVI, Surface Temperature and Biophysical Variables at a Mixed Grassland Site [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(1): 71-94
- [6] Matsunaga T, Nonaka T, Sawabe Y. Vicarious and Cross Calibration Methods for Satellite Thermal Infrared Sensors Using Hot Ground Targets [C]. *The International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Sydney, NSW, Australia, 2001
- [7] Chen Weirong, Zhou Guoqing. Comparison of Satellite Measured Temperatures Using Terra ASTER and Landsat ETM⁺ Data [C]. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Anchorage, AK, 2004
- [8] Hall D K, Box J E, Casey K A, et al. Comparison of Satellite-derived and In-situ Observations of Ice and Snow Surface Temperatures Over Greenland [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 3 739-3 749
- [9] Thome K J, Biggar S F, Wisniewski W. Cross Comparison of EO-1 Sensors and Other Earth Resources Sensors to Landsat-7 ETM⁺ Using Railroad Valley Playa [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(6): 1 180-1 188
- [10] 陈正超, 刘翔, 李俊生, 等. 北京一号小卫星多光谱遥感器交叉定标 [J]. *宇航学报*, 2008, 29(2): 247-253
- [11] Irish R. Landsat 7 Science Data Users Handbook [OL]. http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ias/handbook/handbook_toc.html, 2009
- [12] Abrams M, Hook S, Ramachandram B. ASTER User Handbook (Ver 2) [OL]. http://asterweb.jpl.nasa.gov/documents/aster_user_guide_v2.pdf, 2001
- [13] Du Y, Philippe M T, Cihlar J. Radiometric Normalization of Multitemporal High-resolution Satellite Images with Quality Control for Land Cover Change Detection [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 82(1): 123-134
- [14] Teillet P M, Fedosejevs G, Thome K J, et al. Impacts of Spectral Band Difference Effects on Radiometric Cross-calibration Between Satellite Sensors in the Solar-reflective Spectral Domain [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110(2): 393-409
- [15] Goward S N, Davis P E, Fleming D, et al. Empirical Comparison of Landsat 7 and IKONOS Multispectral Measurements for Selected Earth Observation System (EOS) Validation Sites [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 88: 80-99
- [16] Thenkabail P S. Inter-sensor Relationships Between IKONOS and Landsat-7 ETM⁺ NDVI Data in Three Ecoregions of Africa [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(2): 389-408
- [17] Alley R E, Jentoft-Nilsen M. Algorithm Theoretical Basis Document for Brightness Temperature (Ver 3) [C]. *NASA Jet Propulsion Laboratory*, Pasadena, CA, 2001

第一作者简介: 徐涵秋, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事环境与资源遥感研究。

E-mail: fdy@public.fz.fj.cn

Cross Comparison of Thermal Infrared Data Between ASTER and Landsat ETM⁺ Sensors

XU Hanqiu^{1,2} ZHANG Tiejun^{1,2} LI Chunhua^{1,2}

(1 College of Environment and Resources, Fuzhou University, 2 Xueyuan Road, Fuzhou 350108, China)

(2 Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University, 2 Xueyuan Road, Fuzhou 350108, China)

Abstract: A tandem cross calibration between ASTER's and Landsat ETM⁺'s thermal data was carried out. Three simultaneous TIR image pairs of the two sensors, each of which imaged on common ground targets, were used to quantitatively compare the thermal quality of

24(8): 1 269-1 288

- [13] 陈南祥, 李跃鹏, 徐晨光. 基于多目标遗传算法的水资源优化配置[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 308-313

第一作者简介:张鸿辉,博士生,主要从事遥感与地理信息系统应用、环境变化模拟研究。

E-mail:zhhgis@163.com

Simulating Spatial Optimization Allocation of Urban Land Use Based on the Integration of Multi-agent System and Particle Swarm Optimization Algorithm

ZHANG Honghui^{1,2,3} ZENG Yongnian^{1,2} YIN Changlin³ YU Dingquan³

(1 School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University,

932 South Lushan Road, Changsha 410083, China)

(2 Research Center of Space Info-Technique and Sustainable Development, Central South University,

932 South Lushan Road, Changsha 410083, China)

(3 Changsha Planning Information Service Center, 218 Yuelu Avenue, Changsha 410013, China)

Abstract: Under the constraint of multi-objective, multi-agent system and particle swarm optimization algorithm, for urban land use allocation with spatial optimization, was developed. The integration algorithm was applied to the simulation of spatial optimization allocation of urban land use in the core areas of Changsha. The allocation results show that the optimization level of each proposed objective is improved to a large extent compared with standard genetic algorithm and particle swarm optimization algorithm, and the model has the advantage of faster convergence rate and higher accuracy.

Key words: urban land use allocation; multi objective; spatial optimization; multi-agent system; particle swarm optimization algorithm

About the first author: ZHANG Honghui, Ph. D candidate, majors in remote sensing geo-analysis, GIS application, environmental changes and modelling.

E-mail: zhhgis@163.com

(上接第 940 页)

the two sensors. The comparison has been made between Landsat ETM⁺ band 6 and ASTER bands 13 and 14. The result shows that an excellent agreement between the at-sensor temperatures obtained from both sensors for the TIR band(s). A very strong positive correlation between the two sensors' TIR data has been revealed. However, the at-sensor temperature derived from ASTER thermal images is 0.66 °C-0.82 °C, higher than that derived from ETM⁺ thermal images. In addition, the ASTER TIR images have higher thermal information gain and more continuous measurement on ground thermal targets.

Key words: thermal infrared data; cross comparison; ASTER; ETM⁺; remote sensing

About the first author: XU Hanqiu, professor, Ph. D, Ph. D supervisor, majors in remote sensing applications in environment and natural resources.

E-mail: fdy@public.fz.fj.cn