

基于 ETM 遥感影像的城市温度反演及结果分析^{*}

——以福建省泉州市为例

陈小瑜, 林冰, 郑伟民, 陈文成

(泉州师范学院 资源与环境科学学院, 福建 泉州 362000)

摘要:传统城市温度监测技术方法存在周期长、效率低的问题。而利用热红外遥感影像进行城市温度监测的方法具有准确、简便、实用等特点。利用 ETM 影像对泉州市进行温度反演,同时针对温度反演结果采用密度分割法进行专题制图,并借助 GIS 等工具和辅助数据,结合温度反演结果进行分析。结果表明:泉州市区温度分布差异明显,且分布不均匀;不同土地利用类型的地表温度存在较大差异,其中裸地及新开发用地的地表温度表现为异常高值(高于 28℃),城区建筑用地地表温度较高(24~28℃),植被及绿化用地的温度较低(20~24℃),水体最低(低于 20℃)。估算的结果符合地表水热关系。结果提示,本研究方法能较好地反演出城市地表温度的分布状况。

关键词:温度反演;ETM;泉州市

中图分类号:TP79

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2013)04-0121-05

地表面温度在地表与大气相互作用过程中起着重要的作用,是研究地表和大气之间物质交换和能量交换的重要参数,它在气候、地质、水文、生态等众多领域有着广泛的需求^[1]。传统获取地表温度的方法主要使用的是有限的地面气象站提供的地温观测资料,由于观测不可能同步进行,观测点位的密度也不高,这种方法不能全面、同步地反映地面热辐射空间分布状况^[2]。随着热红外卫星遥感技术的发展和完善,较好地克服了传统温度监测的不足,它能有效、全面地探测到下垫面的温度特征,且能周期性、动态地监测城市热环境的变化趋势,是研究城市热岛效应的有效手段。国内外许多学者利用热红外遥感资料进行温度反演的研究^[3-6],取得了良好的效果。

1 数据源

本文选用 2001 年 3 月 4 日的 Landsat7 ETM 遥感数据(图幅号 P119R043)和相应地形图、行政边界矢量图等作为数据源。ETM 遥感数据来源于陆地卫星资源网站^[7],图像质量较好,清晰无云。ETM 数据是当前应用比较广泛的卫星遥感数据源之一,总共有 7 个波段,其中除第 6 波段热红外波段分辨率为 60 m 外,其余波段分辨率为 30 m。本文以泉州的主要城区丰泽区与鲤城区为研究区域(图 1),使用 ENVI 遥感图像处理软件对泉州市进行温度反演。

2 研究区概况

泉州市地处福建省东南部、台湾海峡西岸,117°25'E~119°05'E,24°30'N~25°56'N,东西宽 153 km,南北长 157 km。泉州市属低纬度,又濒太平洋,形成亚热带海洋性季风气候,温暖湿润,雨量充沛,四季常春,年平均气温 19.5~21℃;但自然灾害较为频繁,主要为旱、涝、风害等。研究区内山峦起伏,丘陵、河谷、盆地错落其间,地形较复杂,水资源相当丰富,主要水体为晋江、洛江,并有一些分散的大小不等的水库和湖泊;有大片的植被覆盖山体之间,一些水田分布在晋江河道两侧;居民地密集,主要沿晋江两侧分布并向东海方向延伸;整体的土地利用率高,裸地呈零星分布,此外在东海入海口附近还分布着一些滩涂。因而,分析其地面温度的空间特征,对进一步理解亚热带季风区的土壤-植被-大气系统能量交换状况及区域热量分布差异具有重要意义。

^{*} 收稿日期:2012-09-11 网络出版时间:2013-07-20 19:23

资助项目:福建省泉州市科技计划项目(No. 2010Z58);福建省教育厅、财政厅高校服务海西项目(No. A104)

作者简介:陈小瑜,女,讲师,硕士,研究方向为遥感与地理信息系统应用,E-mail:2000chenxiaoyu@163.com

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130720.1923.201304.121_021.html

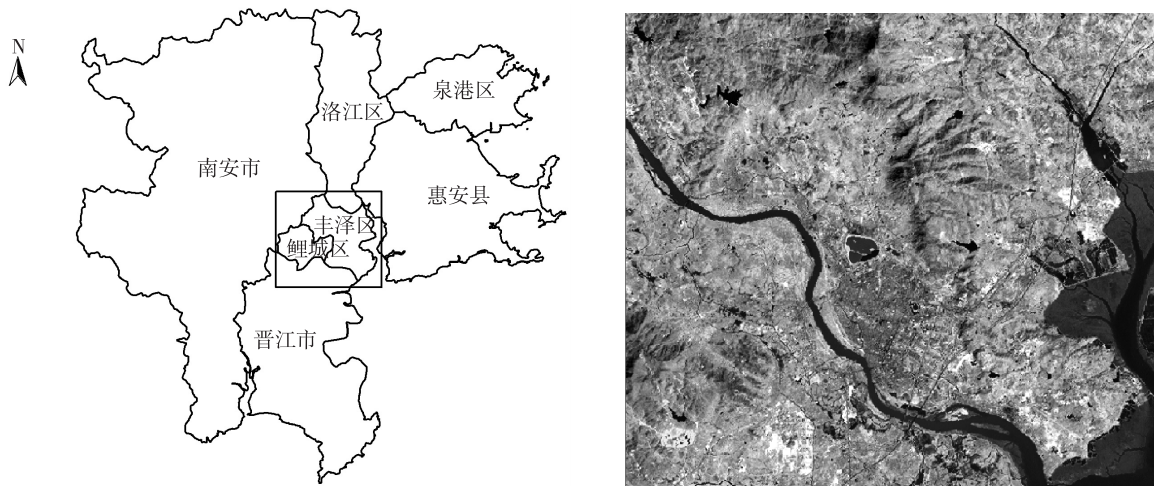


图 1 研究区位置

3 地表温度反演

3.1 辐射定标

ETM 热红外波段数据的灰度值反映了辐射的强度,但不是真正的辐射强度值,因而,在反演地表温度之前,必须对数据进行辐射定标,把灰度值转换为真正的辐射强度值^[8]。辐射定标公式为

$$L = DN * gain + offset \quad (1)$$

其中 L 是辐射亮度值,单位为 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。可以看出,辐射亮度和 DN 值是线性关系。其中 $gain$ 和 $offset$ 分别是增益校正系数和校正偏差量,可以从图像头文件中得到。

3.2 地表比辐射率计算

地表比辐射率反映地球表面物质的热特征,所以该参数主要取决于地表的物质结构与所观测波段。由于城市下垫面结构复杂,而 ETM 第 6 波段热红外波段的空间分辨率为 60 m,所以对应的像元大部分为混合的像元,即一个像元内存在着多种不同物质结构的地表信息,这给比辐射率的确定带来很大困难^[9]。目前只是基于某些假设获得比辐射率的相对值,本文主要根据可见光和近红外光谱信息来估计比辐射率。

参考有关学者的研究成果^[10-12],在此基础上,本文利用以下方法来计算研究区地表比辐射率:首先将研究区的遥感影像的地类分为水体、城镇和自然表面,水体像元的比辐射率赋值为 0.995,而城镇像元和自然表面的比辐射率估算则分别采用(2)、(3)式计算:

$$\epsilon_{\text{building}} = 0.9589 + 0.086F_v - 0.0671F_v^2 \quad (2)$$

$$\epsilon_{\text{surface}} = 0.9625 + 0.0614F_v - 0.0461F_v^2 \quad (3)$$

式中, $\epsilon_{\text{building}}$ 和 $\epsilon_{\text{surface}}$ 分别代表城镇像元和自然表面像元的比辐射率。

F_v 为植被覆盖度,采用的是混合像元分解法,将整景影像的地类大致分为水体、植被和建筑,具体的计算公式为

$$F_v = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s) \quad (4)$$

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (5)$$

其中, $NDVI$ 为归一化差异植被指数, NIR 和 R 分别是 ETM 的近红外波段(波段 4)和红光波段(波段 3)的 DN 值,取 $NDVI_v = 0.70$ 和 $NDVI_s = 0.00$,且有,当某个像元的 $NDVI$ 大于 0.70 时, F_v 取值为 1;当 $NDVI$ 小于 0.00, F_v 取值为 0。

植被指数 $NDVI$ 是经过归一化处理的,因此大气的影响对其计算结果影响不大^[13]。Sobrino^[14]等比较了大气校正前后计算出的 $NDVI$,两者平均仅相差 0.03。这一差距仅会产生小于 3% 的植被覆盖度误差,而这一误差仅能产生 0.0004 的地表发射率误差,进而对地表温度的反演仅有小于 0.05℃ 的精度影响,可以忽略不计。所以,对于地表温度的反演,可以直接用近红外波段和红光波段的 DN 值来计算 $NDVI$,而不必进行大气校正^[15]。利用 ENVI 软件的波段运算功能计算可得到植被盖度图像(图 2),地表比辐射率数据(图 3)。



图2 植被盖度图像

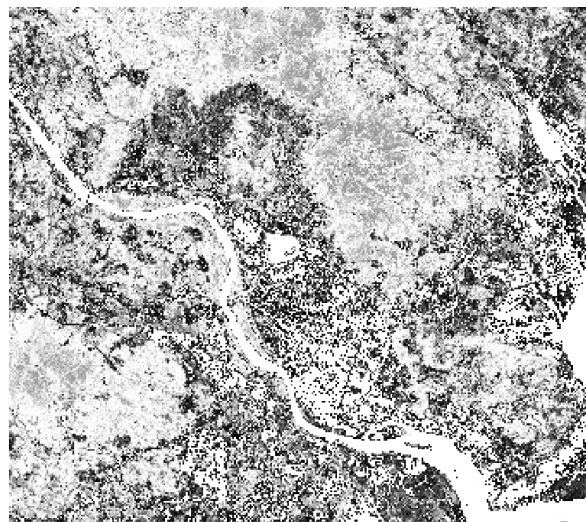


图3 地表比辐射率图

3.3 辐射传输方程法

辐射传输方程法(又称大气校正法)是一种温度反演常用的方法,其最大的优点是它适用于任何的热红外遥感波段。遥感传感器接收到的热红外辐射亮度值 L_λ 由 3 部分组成^[16]:大气上行辐射亮度 L_u ;大气下行辐射到达地面后反射的能量 L_d ;地面的真实辐射亮度经过大气层之后到达卫星传感器的能量。其数学表达为

$$L_\lambda = [\epsilon L_T + (1 - \epsilon) L_d] \tau + L_u \quad (6)$$

式中, L_λ 为热红外波段(本文为 Landsat ETM 数据的第 6 波段,根据本研究区特点,采用低增益状态数据)像元的辐射亮度值; ϵ 为地表比辐射率; L_T 表示与地表温度相同的黑体的辐射亮度; L_u 和 L_d 分别表示大气上行、下行辐射亮度; τ 为大气透过率。根据(1)式,可推导出(7)式。

$$L_T = [L_\lambda - L_u - \tau \cdot (1 - \epsilon) L_d] / (\tau \cdot \epsilon) \quad (7)$$

在 NASA 官网^[17]中输入成影时间以及中心经纬度,则会提供上式中所需要的相关参数。本文采用的数据是 Landsat7 ETM 影像,于 2001 年 3 月 4 日 02 时 23 分 17 秒成像的,影像中心的经纬度为 118.516 10°E, 24.554°N。得到相应的参数:大气在热红外波段的透过率 τ 为 0.94,大气向上辐射亮度 L_u 为 $0.44 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$,大气向下辐射亮辐射亮度 L_d 为 $0.77 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。

根据(7)式,利用 ENVI 波段运算功能,得到了温度为 T 的黑体在热红外波段的辐射亮度值,如图 4。

3.4 地面温度反演

根据辐射理论,黑体的辐射强度与温度和波长有直接关系,即遵循普朗克辐射函数。通过求解普朗克辐射函数,可以得出遥感影像象元所对应的地面温度。根据普朗克公式的反函数公式,即可反演出地表真实温度,具体公式为

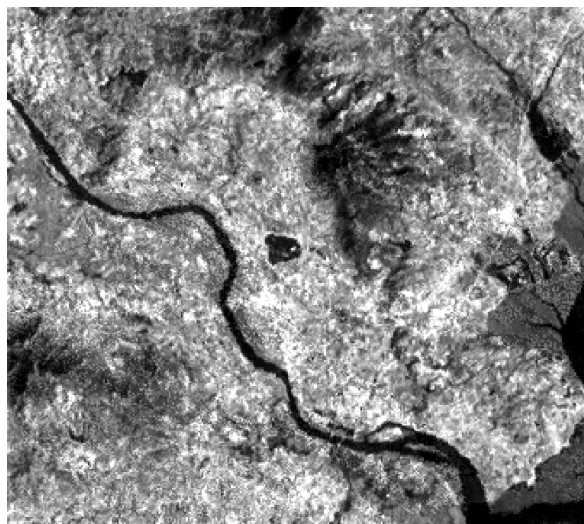
$$T_s = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_T + 1)} \quad (8)$$

式中, T_s 即为所要反演的地表温度(单位:K),根据(7)式可求出 L_T , K_1 、 K_2 是定标常量,对于本文所采用的 Landsat ETM 数据, $K_1 = 666.09 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $K_2 = 1287.71 \text{ K}$ 。

利用 ENVI 波段运算功能,得到真实的地表温度值,单位为℃,如图 5 所示。

3.5 泉州市温度反演分布专题制图

由以上步骤反演的泉州市地表温度值是一个连续的灰度图像。为了便于分析,对反演结果进行密度分割,并在 ArcGIS 中进行专题制图。具体分为 5 个区间:1) 温度在 16℃ 以下的像元,设置成白色;2) 温度在 16~20℃ 的

图4 温度为 T 的黑体辐射亮度值图像

像元,设置成蓝色;3) 温度在 $20\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的像元,设置成绿色;4) 温度在 $24\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的像元,设置成黄色;5) 温度在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的像元,设置成红色。得到泉州市温度反演分布专题图,见封三彩图 6。

本文参考 2001 年泉州市土地利用类型矢量数据,结合图 6 进行分析,得到泉州市的温度分布情况主要表现以下几个方面:1) 在 2001 年 3 月 4 日 2 时许,泉州市温度最低点为 $13.227\ 661\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高温度为 $33.791\ 199\text{ }^{\circ}\text{C}$;2) 图 6 中的蓝色区域主要是水体分布,其温度较低,普遍低于背景值水平,对于城市的热环境调节发挥着一定的作用;3) 图 6 中的绿色区域主要为城区外围的植被及城区中的绿化、公园等分布,其温度相对较低,处于背景值水平;4) 图 6 中的黄色区域为城区建筑用地主要分布区域,大部分温度在 $24\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$;5) 图 6 中的红色区域为温度在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的异常区域为一些裸地及新开发用地。

4 结语

本文以泉州市区为研究区域,基于陆地资源卫星 Landsat7 ETM 数据,采用热辐射传输方程法反演地表温度。得出以下几点结论:1) 利用 Landsat7 卫星获取的 ETM 第 6 波段数据,可以较准确地反演出陆地表面温度分布情况,特别是其反演的温度场差异变化,完全可用于城市生态评价研究;2) 泉州市虽是小城市,但其温度分布差异也较明显,温度较高的区域主要集中在泉州市区,并呈现多中心非均匀分布的特点。形成这个特点的主要原因是泉州市区内人口较为密集、建筑用地面积较广、水体和植被覆盖率低等人为因素显著,所以导致市区中温度明显高于周边其他区域。

此外,本研究还存在一些不足之处。由于 Landsat7 ETM 数据获取的周期较长,所以不能满足城市热岛环境的逐日监测;温度反演算法和模拟都还有待进一步研究,仅使用了最为常规的模型和算法,不具有针对性。

参考文献:

- [1] 朱怀松,刘晓锰,裴欢. 热红外遥感反演地表温度研究现状[J]. 干旱气象,2007,25(2):17-21.
Zhu H S, Liu X M, Pei H. Summary on retrieval of land surface temperature using thermal infrared remote sensing[J]. Arid Meteorology, 2007, 25(2): 17-21.
- [2] 谭桂容,蔡哲,徐永明. 基于 Landsat 影像的南京地区热岛效应[J]. 安徽农业科学,2009,37(13):6050. 43052.
Tan G R, Cai Z, Xu Y M. Investigation on hear-island effect in Nanjing area by Landsat TM data[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(13): 6050. 43052.
- [3] 宫阿都,李京,王晓娣,等. 北京市城市热岛环境时空变化规律研究[J]. 地理与地理信息科学,2005,21(6):15-21.
Gong A D, Li J, Wang X D, et al. Study on temporal and spatial distribution characteristics of the urban heat island in Beijing [J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(6): 15-21.
- [4] 江樟焰,陈云浩,李京. 基于 Landsat TM 数据的北京城市热岛研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2006,31(2):120-123.
Jiang Z Y, Chen Y H, Li J. Heat island effect of Beijing based on Landsat TM data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(2): 120-123.
- [5] Hurtado E, Vidal A, Caselles V. Comparison of two atmospheric correction methods for Landsat TM thermal band [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996(17): 237-247.
- [6] Sobrinoa J A, Jimenez Munoz J C, Paolinib L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5 [J]. Remote Sensing of Enviroment, 2004, 90: 234 240.
- [7] Michigan State University. <http://www.landsat.org> [EB/OL]. (2012-08-10). http://www.landsat.org/landsat_gallery/EP105R11D091001.html.
- [8] 李芳芳,齐庆超,汪宝存,等. 基于 ETM 数据的郑州市热岛研究[J]. 测绘与空间地理,2010,33(6):85-88.
Li F F, Qi Q C, Wang B C. Heat island effect study of Zhengzhou based on Landsat ETM data[J]. Geomatics &

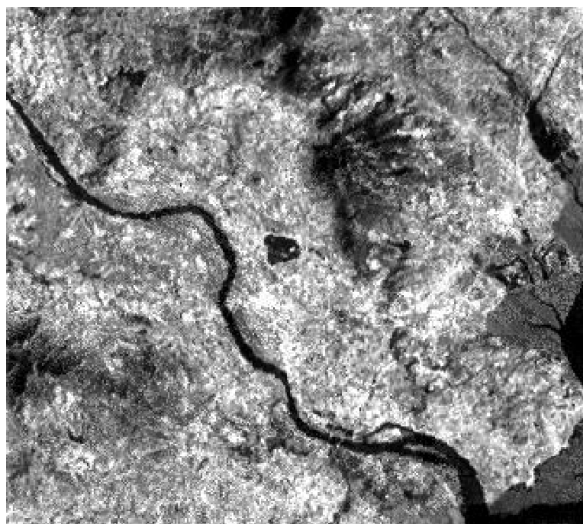


图 5 地表温度值图像

- Spatial Information Technology, 2010, 33(6): 85-88.
- [9] 杜灵通. 基于 Landsat ETM+ 数据的银川城市热岛研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(4): 169-171.
- Du L T. Heat island effect study of Yinchuan based on Landsat ETM+ data [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(4): 169-171.
- [10] 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, 61(3): 28-36.
- Qin Z H, Li W J, Xu B, et al. The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6 [J]. Remote Sensing for land & Resource, 2004, 61(3): 28-36.
- [11] 丁凤, 徐涵秋. TM 热波段图像的地表温度反演算法与实验分析[J]. 地球信息科学, 2006, 8(3): 125-130.
- Ding F, Xu H Q. Comparison of two new algorithms for retrieving land surface temperature from Landsat TM thermal band [J]. Geo-Information Science, 2006, 8(3): 125-130.
- [12] 丁凤, 徐涵秋. 基于 Landsat TM 的 3 种地表温度反演算法比较分析[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2008, 24(1): 91-96.
- Ding F, Xu H Q. Comparison of three algorithms for retrieving land surface temperature from Landsat TM thermal infrared band [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2008, 24(1): 91-96.
- [13] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 利用 Landsat TM6 反演地表温度所需地表辐射率参数的估计方法[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 129-137.
- Qin Z H, Li W J, Xu B. Estimation method of land surface emissivity for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data [J]. Advance In Marine Science, 2004, 22(1): 129-137.
- [14] Sobrinoa J A, Jiménez Munzoz J C, Paolini L. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90: 434-440.
- [15] 李净. 基于 Landsat-5 TM 估算地表温度[J]. 遥感技术与应用 2006, 21(4): 322-325.
- Li J. Estimating land surface temperature from Landsat-5 TM [J]. Remote Sensing Technology and Application. 2006, 21(4): 322-325.
- [16] 季青, 贺伶俐, 余明, 等. 基于 Landsat ETM+ 数据的福州市土地利用/覆被与城市热岛的关系研究[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2009, 25(6): 106-113.
- Ji Q, He L L, Yu M, et al. Study on relationship between land use/cover and urban heat island based on Landsat ETM+ remote sensing data [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2009, 25(6): 106-113.
- [17] NASA. Atmospheric correction parameter calculator [EB/OL]. (2012-08-15). http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/atm_corr/atm_corr.pl.

Temperature Retrieval and Result Analysis Based on ETM Data: A Case Study of Quanzhou City, Fujian Province

CHEN Xiao-yu, LIN Bing, ZHENG Wei-min, CHEN Wen-cheng

(Department of Resource and Environment, Quanzhou Normal College, Fujian 362000, China)

Abstract: There was a problem of long cycle and low efficiency in the traditional technology and method of monitoring urban temperature. And it was accurate, simple and practical to monitor urban temperature effect by using thermal infrared remote sensing images. The temperature of Quanzhou was retrieved based on ETM data, and temperature distribution of Quanzhou central city was mapped by using density slicing. Analyzing the retrieved temperature assisted with GIS tool and secondary data. The result showed that the difference of surface temperature in Quanzhou city was obvious and it was not well-distributed. There was a big difference of surface temperature among different land use types, the temperature of land use types distribute from high to low was: bare land, development land, residential, Greenland, water. These results are consistent with the relation of hydro-thermal. So this method can be used to estimate spatial distribution of land surface temperature over Quanzhou.

Key words: temperature retrieval; ETM; Quanzhou

(责任编辑 游中胜)