

U-TAE算法提取城市热岛信息的空间尺度分析

刘宇鹏¹, 杨波¹, 陈崇²

(1. 湖南师范大学GIS研究中心 资源与环境科学学院, 长沙 410081;

2. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093)

摘要: U-TAE算法是一种使用不同范围的滑动窗口来提取城市热岛信息并根据稳健估计法设定窗口阈值的算法, 该算法根据像元被记为热岛像元的累积总次数是否为0来区别热岛区与非热岛区, 根据累积总次数的多少来判断热岛强度的强弱, 具有动态阈值的特点和无偏特性。文章以长沙地区为例, 对U-TAE算法在6个不同空间尺度上(5×5, 11×11, 25×25, 51×51, 101×101, 201×201)对城市热岛信息提取的效果从提取范围、提取强度、空间构成以及大面积热岛提取稳定程度4个方面进行了评估。结果认为大小为11×11的窗口在4个方面均取得较好的效果, 提取的城市热岛信息更加完整和有效。

关键词: 遥感; U-TAE; 城市热岛; 空间尺度; 长沙

1 引言

19世纪, Howard^[1]针对伦敦市城区气温高, 郊区气温低的现象首次提出“城市热岛”的概念。全球快速城市化进程促使城市热岛现象变得越来越严重, 严重影响了城市的生态环境和人居环境, 因此, 城市热岛研究引起国内外学者的广泛重视。

遥感技术的出现使得城市热岛观测资料的获取发生了革命性的变化, 遥感数据具有量化、覆盖范围广、资料获取同步性高等诸多优点^[2-6]。1972年, Rao^[7]首次利用遥感卫星手段研究了城市热岛效应。目前, 城市热岛研究的遥感数据源主要有NOAA/AVHRR, EOS-TERRA&AQUA/MODIS, Landsat TM/ETM+等, 其中Landsat TM/ETM+数据的热红外波段具有较高空间分辨率(TM 120 m, ETM+ 60 m), 适用于研究城市区域尺度的热环境^[8], 主要通过温度^[9-11]、植被指数^[12-13]和热力景观^[14]进行监测。基于温度监测方法首先需要进行地表温度的反演, 常用方法主要包括大气校正法、单窗算法^[15]和单通道算法^[16], 其中以单窗算法精度最高并且无须同步大气廓线数据^[17]。

于淑秋等^[18]分析了北京城市热岛的季节、年际变化以及空间范围的扩展。江学顶等^[19]研究了广

州城市热岛的空间分布以及时域尺度变化特征, 认为广州的热岛周期变化分为日、周、2个月及3个月。陈云浩等^[20]分析了上海热环境的空间尺度和分布特征。张勇等^[11]、历华等^[13]则利用地表温度与地表平均温度的比值计算出城市热岛强度, 并将强度高于阈值的部分认作热岛区域。Zhang等^[21]根据稳健估计法研究了珠江流域的城市热岛效应, 将3个温度等级阈值的界限设定为: 高($T > \text{均值} + \text{标准差}$)、正常($\text{均值} - \text{标准差} < T < \text{均值} + \text{标准差}$)和低($T < \text{均值} - \text{标准差}$)。

综上所述, 在目前的热岛研究中, 热岛与非热岛区域的区别以及热岛强度的表示主要以人工设定温度阈值为主, 且各学者采用的阈值不尽相同, 造成了研究结果的差异, 研究结果之间也缺乏可比性。本文使用具有动态阈值特点和无偏(Unbias)特性的U-TAE算法, 通过不同尺度的滑动窗口提取长沙市城市热岛的范围及强度, 并对提取结果进行统计分析, 找出针对不同尺度目标所对应的最佳滑动窗口尺寸。

2 数据与研究区

长沙市是湖南省的省会, 位于湖南省东部、湘

收稿日期: 2010-09; 修订日期: 2011-01.

基金项目: 科技部中德国际科技合作重点项目(2007DFA90500); 湖南省自然科学基金项目(10JJ3022).

作者简介: 刘宇鹏(1986-), 男, 硕士, 研究方向为热红外遥感应用与系统开发。E-mail: alesenrobin@163.com

通讯作者: 杨波, E-mail: yb@hunnu.edu.cn

江中游,与株洲市、湘潭市鼎足而立,地理坐标为 111°53' ~ 114°5' E, 27°51' ~ 28°40' N。2009年,长沙市 GDP 已达 3744.8 亿,人口 664 万,步入大城市的行列。

数据选用 2001 年 9 月 24 日湖南省长沙市的 Landsat ETM+ 数据(轨道号: 123/40),空间分辨率为 60 m,像元数量为 360×392,面积约为 508 km²。图像质量好,清晰无云。

3 研究方法

城市热异常信息提取算法(The Algorithm of Urban Thermal Anomaly Extraction, U-TAE)由刘宇鹏等根据城市热岛空间分布的特点,将原本用于煤火信息提取的 TAE 算法^[22-24]予以改进而形成的一种提取城市热岛信息的算法。该算法的思路是首先反演地表温度值,然后通过不同尺度的滑动窗口来提取城市热岛的范围和强度信息。

3.1 地表温度反演

首先,将遥感影像经过必要的辐射校正和几何校正后,需要把像元 DN 值转化为辐射亮度值。公式如下^[22]:

$$L_{\lambda} = (DN - 1) \times (L_{\max} - L_{\min}) / (255 - 1) + L_{\min} \quad (1)$$

式中: L_{λ} 为辐射亮度($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$); DN 为像元灰度值; L_{\max} 、 L_{\min} 为该波段 DN 值分别为 255 和 1 时所对应的光谱辐射率。其中 ETM+ 6 波段光谱辐射率低增益: $L_{\min} = 0$, $L_{\max} = 17.04 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$; ETM+ 6 波段光谱辐射率高增益: $L_{\min} = 3.2 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, $L_{\max} = 12.65 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。将其带入方程(1)中,得到分别用来计算 Landsat 7 ETM+ 第 6 波段低增益和高增益两种方式辐射亮度的公式:

$$L_{\lambda L} = 0.0672DN - 0.067 \quad (2)$$

$$L_{\lambda H} = 0.0372DN + 3.16 \quad (3)$$

式中: $L_{\lambda L}$ 为低增益辐射亮度; $L_{\lambda H}$ 为高增益辐射亮度; DN 为像元灰度值。

再根据普朗克定律将辐射亮度值转化为亮度温度,本文选择低增益数据反演亮度温度^[22]:

$$T_{\text{rad}} = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1) \quad (4)$$

式中: L_{λ} 为辐射亮度; T_{rad} 为亮度温度,对于 ETM+ 数据, $K_1 = 666.09 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, $K_2 = 1282.71 K$ 。最后将亮度温度转化成为地表温度,如公式(5)^[22]:

$$T_{\text{kin}} = \epsilon^{1/4} \times T_{\text{rad}} \quad (5)$$

式中: T_{rad} 为亮度温度; T_{kin} 为地表温度; ϵ 为地表发射率,对于大多数地表物质(水体、植被、岩石和土壤)而言,比辐射率值通常在 0.93~0.99 之间^[24],根据不同地物比辐射率值的差异,利用 NDVI^[25]和 MNDWI^[26-27]指数来构造决策分类树,将土地利用/覆盖类型分为植被、水体、裸地和建筑用地(图 1)。其中植被的比辐射率为 0.986^[28],水体为 0.995^[28],裸地和建筑用地比辐射率相近,近似看作 0.970^[29-30]。

3.2 城市热岛信息提取

U-TAE 算法的思路是以每个像元为中心选取滑动窗口,滑动窗口的大小从 3×3 至 301×301 个像元。滑动窗口运行的过程中通过分析每个窗口内像元温度直方图来设定阈值,将地表温度高于全局以及窗口内像元均值($Mean$) + 标准差(SD)的像元认定为热岛区域^[31-32](图 2),其中所有温度大于阈值的像元将被累计一次:

$$\begin{cases} 1 & T \geq Mean + SD \\ 0 & T < Mean + SD \end{cases} \quad (6)$$

因此当滑动窗口探测完整幅图像之后,每个像元被记录为热岛区域的累积总次数也将确定,从而得到热岛信息提取结果。根据累积总次数是否为 0 来区别热岛与非热岛区,根据累积总次数的多少来决定热岛强度的强弱。

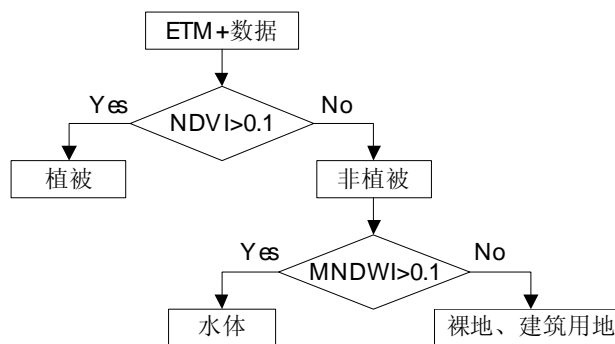


图 1 决策树分类

Fig.1 Decision tree classification

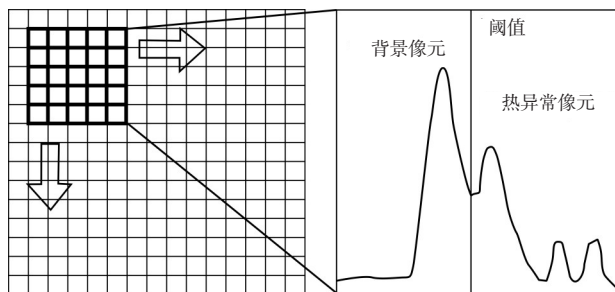


图 2 滑动窗口法

Fig.2 Moving window method

4 结果与分析

4.1 热岛面积分析

经过地表温度反演后,2001年9月24日长沙地区的地表温度最小值为18.59℃,最大值为35.99℃,平均值为24.37℃,标准差为1.78℃。通过不同的方法同时提取2001年长沙市的热岛区域,并对其提取结果进行了对比(表1)。其中,稳健估计法选择的是将整幅图像中地表温度高于均值+标准差的像元认定为强热岛区域;相对强度法选择像元的温度相对平均地表温度高于10%的部分认定为强热岛区域;U-TAE算法则选择均值+标准差为阈值,窗口大小为5×5以及201×201个像元。

从统计结果可以看出,U-TAE法提取的城市热岛面积从最小的59.66 km²到最大的68.35 km²。其范围全部大于相对强度法提取的45.29 km²,而全部小于稳健估计法提取的70.70 km²。稳健估计法与相对强度法提取范围不同的主要原因在于两种算法基于全局单一阈值,而对长沙而言,相对强度的阈值界限(27.45℃)比稳健估计法的阈值(26.72℃)更严格,因此热岛范围更小。U-TAE法提取的面积介于上述二者之间,并随着窗口范围的增大其热岛范围趋近于稳健估计法的提取范围,造成这种现象的原因在于U-TAE法选取地表温度高于全局阈值以及窗口内阈值的像元,相比稳健估计法,在小范围内其阈值更加严格,而随着窗口的增大阈值开始减小,当窗口范围与整幅图像相同(即360×392)时,其阈值相等。就U-TAE法本身而言,其各种尺寸窗口的提取面积从5×5开始至51×51逐渐减少,从51×51至201×201逐渐增大。

从图3中可以看出,从5×5开始至51×51面积减少的主要原因是边缘衰减效应,主要体现在长沙的北、南和西面热岛范围逐渐缩小,在窗口为51×51时(图3 d)边缘衰减最为严重,只有东面受影响较小,但从51×51至201×201边缘又逐渐恢复。这种情况表明长沙的北、南和西面郊区的热岛面积小,在窗口较小时,窗口经过小范围热岛地区时所取得的阈值满足大于整体阈值的条件,使得热岛被识别;但是窗口适中时,由于窗口选取面积的扩大,窗口内阈值受郊区的低温像元影响有所降低,因此窗口内阈值低于全局阈值从而使得热岛无法提取;在窗口进一步扩大时,由于窗口内包含市中心的热像元使得窗口内阈值升高,热岛再次被识别。

4.2 热岛强度分析

U-TAE法与传统热岛研究判断热岛强度选用温度或温度的衍生指标不同,它采用像元被滑动窗口提取为热岛次数的多少来决定热岛强度,然后计算每个像元被提取的次数与理论最高次数的比值

表1 不同方法提取城市热岛面积对比

Tab.1 Comparison of the scope of UHI with different methods

强度	像元数	面积/km ²
相对强度法	12581	45.29
U-TAE 5	17834	64.20
U-TAE 11 1	17345	62.44
U-TAE 25 5	16784	60.42
U-TAE 51 1	16572	59.66
U-TAE 101 01	18109	65.19
U-TAE 201 01	19002	68.41
稳健估计法	19639	70.70

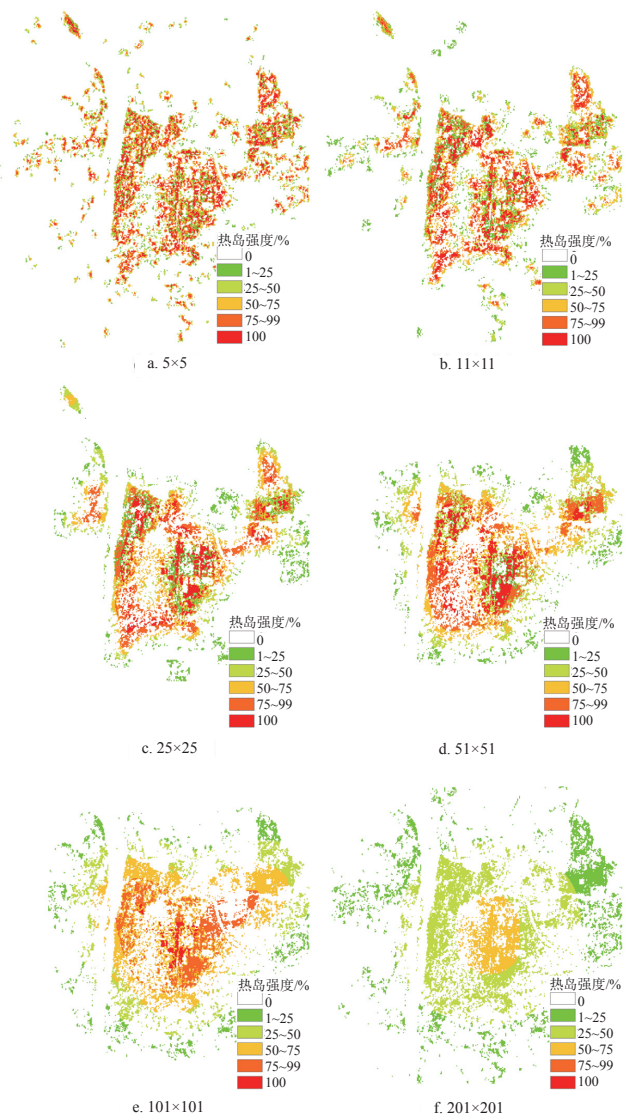


图3 热岛强度分级图

Fig.3 Heat island intensity classification map

来得到热岛强度。实际上,这也体现了该点被确认为热岛像元的概率,如果该像元在滑动窗口对其进行运算的过程中每一次都被记为热岛像元,那说明该像元确是热岛像元的概率达到100%。在从 5×5 至 201×201 的6个尺度下,根据U-TAE算法提取的热岛强度进行分级,除了非热岛像元以外共划分了5个等级(图3),并对每个强度等级内的像元进行了统计(表2)。

通过图3a-3f可以看出,在小窗口范围下,热岛强度达100%的像元多且分散于城市各处,也说明在小范围窗口内强度达到100%相比大范围窗口更容易。随着滑动窗口尺寸的增大,高强度的热岛像元明显开始集中于市中心区,并且强度达100%的像元数量开始减少(表2),表明在大范围窗口内强度达到100%更加困难,同时,原本在小窗口内强度达100%的像元向低强度区域转移。至 201×201 时,已经没有像元可以达到75%以上的强度。

通过选取典型热岛区域(图4(a)),研究像元的累积次数与热岛强度的关系。选择的区域为岳麓山东缘山脚下的湖南师范大学与湖南大学部分校区,其主体建筑为砖混6层楼房;同时存在两处“低温区”分别为植被覆盖较好的凤凰山和桃子湖,二者之间的狭长地带分布着以破旧低矮老式建筑为主的商业街。首先设定窗口大小为 11×11 ,再设定阈值为像元温度高于窗口内所有像元温度的均值($Mean$)+标准差(SD),提取结果为图4b;而设定阈值为像元温度高于全局以及窗口内所有像元温度的均值($Mean$)+标准差(SD),则提取结果为图4c。对比图4a、4b,发现仅通过窗口内阈值来判别热岛面积和强度所提取的信息有大量冗余;图4a、4c的对比说明在添加了全局阈值的情况下,提取结果与温度较高的区域在空间位置上几乎完全一致,所遗漏

的两个离散点均位于山脚下,这两个离散点在图4b中的热岛强度均已达到100%,表明其未被判为热岛区域是全局阈值的作用。但是对比该区域的地表温度和热岛强度发现二者并没有显著的线性相关性($R=0.13$);对比图4b、4c,发现图4c中判定为热岛区域的像元(即强度 $>0\%$ 的区域),在图4b中强度均达到100%,但在图4c中最高强度仅为81%,表明全局阈值在这里起到了关键作用,剔除了过多的冗余信息,但也减弱了热岛强度与地表温度的相关性。因此,说明热岛范围的判定(即强度是否 $>0\%$)主要是全局阈值的作用;而热岛强度的强弱主要体现的是该点在其周围2倍窗口大小范围内的强度高,是一定区域内热岛集中的体现。

4.3 热岛空间构成分析

利用空间韵律指数对U-TAE法在不同窗口下提取热岛的空间构成特征进行定量分析,其相关指数包括缀块总数(NP)、缀块密度(PD)和最大缀块指数(LPI),通过上述指数可以来表示热岛演化的空间变化。首先将U-TAE法提取的热岛范围进行二值化处理(热岛区域为1,非热岛区域为0),然后把空间上互不相连的热岛划分为独立的缀块,经过统计便得到了缀块总数(NP);通过缀块总数与热岛总面积比值处理后得到缀块密度(PD);将最大缀块面积与热岛总面积比值处理后得到最大缀块指数(LPI)(表3)。

表2 热岛强度分布

Tab.2 The distribution of heat island intensity

热岛强度/%	1~25	25~50	50~75	75~99	100
5 5	2395	3473	3692	4298	3976
11 11	3239	3297	3637	4208	2964
25 25	3600	3065	3626	4168	2325
51 51	2433	4089	3637	4159	2215
101 101	2585	3605	7894	3673	352
201 01	6542	9494	2966	0	0

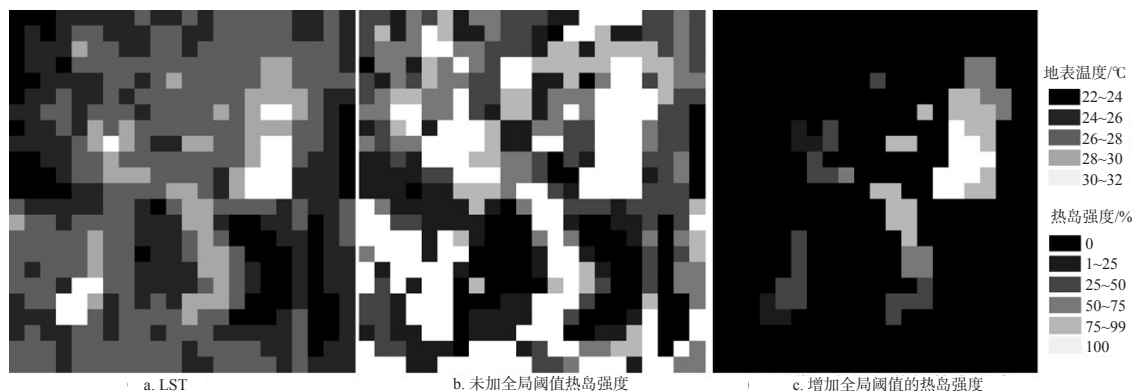


图4 热岛累积次数与热岛强度关系

Fig.4 Relationship between the cumulative number and the intensity of heat island

通过表3的统计结果,表明当窗口从5×5增大至11×11时,缀块总数与缀块密度开始增加,但其最大缀块的比重变化不大,表明城市中心热岛变化并不明显,缀块总数的增加源自于热岛外围分散性的扩张。当窗口从11×11增大至51×51后,缀块总数与缀块密度开始下降,表明热岛外围的分散性扩张停止,热岛发展以聚集性粘合扩展为主,同时最大缀块密度开始增长并达到最高值。从51×51增大至201×201后,缀块总数下降不多,但热岛面积在该尺度变化中迅速扩张致使缀块密度与最大缀块指数变小,其既不属于分散性扩展也不属于粘合式扩展。

4.4 大面积热岛的提取稳定度分析

通过统计各个热岛缀块的面积,找出长沙地区最大的5个缀块(图5):1、长沙火车站周边商业居民区;2、长沙伍家岭市北工业区、五一广场商业居民区;3、4、长沙经济技术开发区;5、银盆岭。将这5个最大热岛缀块在不同窗口下提取得到的面积进行统计(表4),并将其数值进行归一化拉伸处理将其值域转化至0~1之间以便于比较(图6)。通过比较发现,除4号热岛的提取面积始终稳定以外,其余4个热岛均有不同程度的变化,变化幅度大约在其面积的1%~6%。图5表明4个热岛从5×5开始,随着窗口的扩大,热岛缀块的面积开始趋近各自的稳定值;窗口增大到11×11时,5号热岛缀块的面积已经稳定;窗口增大至25×25时,1号热岛缀块的面积已经稳定,3号热岛缀块的面积也接近稳定值;窗口增大至51×51时,所有5个热岛缀块的面积

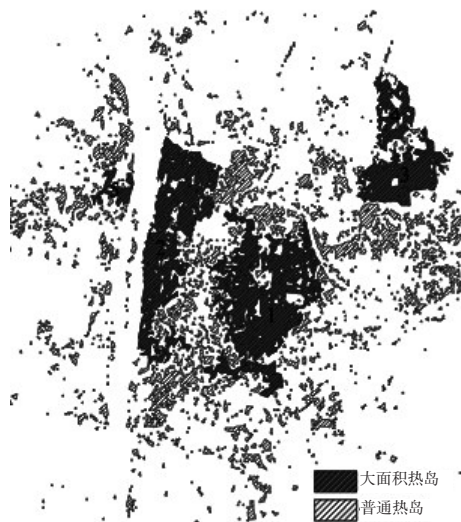


图5 长沙大面积热岛缀块位置示意图

Fig.5 The distribution of larger UHI patches in Changsha

均达到稳定值,不再随窗口尺寸变化而继续变化。

4.5 最佳窗口尺寸的选择

依据热岛范围、热岛强度、热岛缀块数量与密度以及热岛提取稳定度的分析结果,将各窗口提取各项参数的效果进行分级,划分为“好”、“较好”和“差”三个级别(表5)。对热岛面积来说,提取结果中窗口为51×51时受边缘衰减影响最大,25×25以及101×101次之,其余窗口较好。对于热岛强度来

表3 长沙热场形态格局空间韵律指数

Tab.3 The morphological pattern spatial rhythm index of UHI in Changsha

尺寸	NP/个	PD/(个/km ²)	LPI/%
5 5	1040	16.20	23.13
11 11	1307	20.93	23.73
25 25	1047	17.32	25.85
51 51	1101	18.45	26.18
101 101	1018	15.62	23.96
201 01	1007	14.72	22.83

表4 长沙热岛较大热岛缀块面积

Tab.4 The larger patch area of UHI in Changsha

提取窗口	缀块面积/km ²				
	最大热岛	次大热岛	第三大热岛	第四大热岛	第五大热岛
5 5	14.80	11.80	5.13	2.47	1.62
11 11	14.82	11.96	5.15	2.47	1.63
25 25	15.62	11.97	5.44	2.47	1.63
51 51	15.62	12.17	5.47	2.47	1.63
101 101	15.62	12.17	5.47	2.47	1.63
201 01	15.62	12.17	5.47	2.47	1.63
图5中位置	1	2	3	4	5

表5 不同尺寸窗口效能评估

Tab.5 The effectiveness of different size moving windows

评估标准	热岛范围	热岛强度	空间韵律指数	稳定度	综合指标
5 5	++	++	+	-	-
11 11	++	++	++	+	++
25 25	+	+	+	++	+
51 51	-	+	+	++	-
101 101	+	+	-	++	-
201 01	++	-	-	++	-

注:++好;+较好;-较差

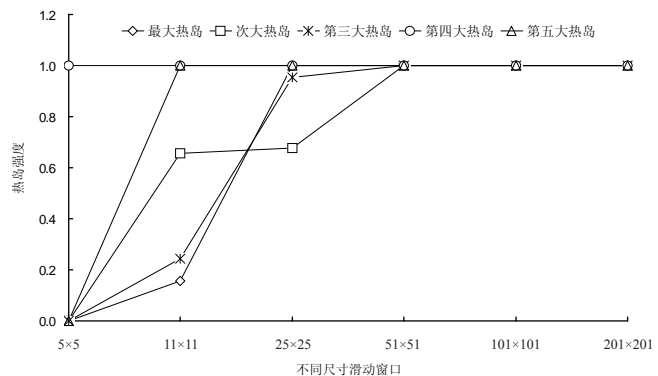


图6 大面积热岛在不同尺寸滑动窗口的提取稳定程度

Fig.6 The extract stability of larger UHI patches in different size moving windows

说,需要在尽可能的保证传统城区强度的同时,对新兴热岛区域更要给予关注,因为城市热岛的扩张过程将随城市的扩展而发展,因此较小的窗口(5×5、11×11)可以更好的体现城-郊新增的小型热岛。对于空间韵律指数来说,不同窗口下缀块数量与密度的变化主要来自以分散性扩张为主的城市外围,因此,缀块数量和密度均达到最高的11×11窗口效果更好,而即未体现分散性扩展特点也未体现粘性扩展形态特点的101×101和201×201窗口较差。对与大面积热岛缀块的提取稳定度来说,窗口在达到25×25之前会出现不稳定的情况,当大于25×25以后稳定度很高。

综上所述,综合指标将依据前4个独立指标进行评估,最终认为滑动窗口大小为11×11时是较为合适的尺度,该窗口在热岛范围、热岛强度和空间韵律指数的提取上效果很好,适合用于进行城市热岛研究,虽然在大面积热岛的提取稳定度方面表现一般,但其面积误差也仅在5%左右,在进行实际研究时可依据其他窗口的提取结果予以弥补。最适窗口大小在不同区域可能不同,其变化和适应性主要由数据的粒度(即像元的空间分辨率)和强热岛区域的离散程度来决定。数据粒度的变化造成了热场内部组成的改变,也必然引起以粒度为基础的最适窗口大小(幅度)的变化。而强热岛区域的离散程度主要表明了热场的集中程度和分布情况,对于热场较集中的城市中心区来说,较大的窗口更有利于热岛区域的提取,这是因为较大的窗口内包含更多的“冷”像元从而使得热岛区域更加明显,而较小的窗口由于窗口内“热”像元占据了很大比例,造成窗口内阈值温度升高,因此一些原本热岛效应较强的区域未被有效识别;对于热场较零散的城乡结合部来说,小窗口往往较为敏感,过大的窗口往往会忽略细节上的变化。

5 结论与讨论

本文利用针对城市热岛的U-TAE算法,以2001年的长沙地区Landsat ETM+数据为例,使用不同范围的滑动窗口来进行城市热岛研究,该算法具有动态阈值的特点以及无偏特性,克服了传统研究中人工阈值法造成的研究结果不具可比性的弊端。并从热岛提取范围、提取强度、空间构成以及大面积热岛提取稳定程度4个方面对根据不同尺

寸滑动窗口的提取效果进行了评估,最终认为窗口大小为11×11时U-TAE算法在4个方面均取得较好的效果。关于该算法的进一步研究可以从以下几个方面展开:①算法目前适用于白天的数据,而不同的下垫面在昼夜变化中温度会产生极大差异(如:水体),因此用于夜间遥感数据的算法仍需进一步研究,其核心在于阈值的设定和窗口范围的选择等方面。②算法的尺度分析目前仅局限于单尺度窗口,但单尺度窗口毕竟在某些方面存在不足,因此可以考虑采用多尺度窗口联合参与计算的方法,各尺度窗口的提取结果取长补短,使得城市热岛信息的提取更加完善。

参考文献

- [1] Howard L. Climate of London deduced from meteorological observation. London: Harvey and Datron, 1833.
- [2] 李志乾, 巩彩兰, 胡勇, 等. 城市热岛遥感研究进展. 遥感信息, 2009(8): 100-105.
- [3] 胡华浪, 陈云浩, 宫阿都. 城市热岛的遥感研究进展. 国土资源遥感, 2005(3): 5-9, 13.
- [4] 李福建, 马安青, 丁原东等. 基于Landsat数据的城市热岛效应研究. 遥感技术与应用, 2009, 24(4): 553-558.
- [5] 周纪, 陈云浩, 李京, 等. 基于遥感影像的城市热岛容量模型及其应用: 以北京地区为例. 遥感学报, 2008, 12(5): 734-742.
- [6] 何萍, 陈辉, 李宏波, 等. 云南高原楚雄市热岛效应因子的灰色分析. 地理科学进展, 2009, 28(1): 25-32.
- [7] Rao P K. Remote sensing of urban heat islands from an environment satellite. Bulletin of the American Meteorological Society, 1972, 53: 647-648.
- [8] 周红妹, 周成虎, 葛伟强. 基于遥感与GIS的城市热场分布规律研究. 地理学报, 2001, 56(2): 189-197.
- [9] 刘志武, 党安荣, 雷志栋, 等. 利用ASTER遥感数据反演陆面温度的算法及应用研究. 地理科学进展, 2003, 22(5): 507-514.
- [10] 贾媛媛, 李召良. 被动微波遥感数据反演地表温度研究进展. 地理科学进展, 2006, 25(3): 96-105.
- [11] 张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02 IRMSS热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量分析中的应用. 遥感学报, 2006, 10(5): 789-797.
- [12] 彭征, 廖和平, 郭月婷, 等. 山地城市土地覆盖变化对地表温度的影响. 地理研究, 2009, 28(3): 673-684.
- [13] 历华, 曾永年, 贲培东, 等. 基于MODIS数据的长株潭地区城市热岛时空分析. 测绘科学, 2007, 32(5): 108-116.
- [14] 陈云浩, 李京, 李晓兵. 城市空间热环境. 北京: 科学出版社, 2003: 1-5.
- [15] 覃志豪, Zhang M, Karnieli A, 等. 用陆地卫星TM6数据

- 演算地表温度的单窗算法. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [16] Jimenez-Munoz 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.
- [17] 黄妙芬, 邢旭峰, 王培娟, 等. 利用Landsat/TM热红外通道反演地表温度的三种方法比较. *干旱区地理*, 2006, 29(1): 132-137.
- [18] 于淑秋, 卞林根, 林学椿. 北京城市热岛“尺度”变化与城市发展. *中国科学: D辑*, 2005, 35(增刊I): 97-106.
- [19] 江学顶, 夏北成, 郭涿, 等. 广州城市热岛空间分布及时域-频域多尺度变化特征. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 133-139.
- [20] 陈云浩, 史培军, 李晓兵. 基于遥感与GIS的上海城市空间热环境研究. *测绘学报*, 2002, 31(5): 139-144.
- [21] Zhang J, Wang Y, Wang Z. Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from 1990 to 2000 by Landsat TM/ETM+. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(10): 2383-2390.
- [22] Zhang J. Spatial and statistical analysis of thermal satellite imagery for extraction of coal fire related anomalies [D]. Vienna: Technical University Vienna, Austria, 2004.
- [23] Kuenzer C, Zhang J, Li J, et al. Detecting unknown coal fires: Synergy of coal fire risk area delineation and improved thermal anomaly extraction. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(19-20): 4561-4585.
- [24] Kuenzer C, Hecker C, Zhang J, et al. The potential of multi-diurnal MODIS thermal band data for coal fire detection. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(3): 923-944.
- [25] 张月丛, 赵志强, 李双成, 等. 基于SPOT NDVI的华北北部地表植被覆盖变化趋势. *地理研究*, 2008, 27(4): 746-754.
- [26] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. *遥感学报*, 2005, 9(5): 589-595.
- [27] 徐涵秋. 基于谱间特征和归一化指数分析的城市建筑用地信息提取. *地理研究*, 2005, 24(2): 311-320.
- [28] 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. *国土资源遥感*, 2004(3): 28-32, 36.
- [29] Nerry F, Labeled J, Stoll M P. Spectral properties of land surfaces in the thermal infrared. I. Laboratory measurements of absolute spectral emissivity signatures. *Journal of Geophysical Research*, 1990, 95(B5): 7027-7044.
- [30] Salisbury J W, D'Aria D M. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 μ m atmospheric window. *Remote Sensing of Environment*, 1992, 42(2): 83-106.
- [31] Streutker D R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(13): 2595-2608.
- [32] Zhang J, Wang Y, Wang Z. Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from 1990 to 2000 by Landsat TM/ETM+. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(10): 2383-2390.

Spatial Scale Analysis of the Methods Using U-TAE Algorithm to Extract the Information of Urban Heat Island

LIU Yupeng¹, YANG Bo¹, CHEN Chong²

(1. GIS Research Center, College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;
2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: U-TAE is an algorithm which uses moving windows of different areas to extract the information of UHI and sets each moving window's threshold according to robust estimation method. This algorithm distinguishes non-UHI area and UHI area according to the cumulative times in which pixels have thermal anomalies and determines the intensity of UHI according to the cumulative times with high or low values. It has dynamic threshold and unbiased characteristics. The U-TAE algorithm is used to evaluate its performance in six different scales: 5 \times 5, 11 \times 11, 25 \times 25, 51 \times 51, 101 \times 101 and 201 \times 201. The performance evaluation includes four aspects: area, intensity, space structure of UHI and stability of large-scale UHI. The results show that the best size of the moving window is 11 \times 11. At this size the information of UHI is more complete and effective than at other sizes.

Key words: remote sensing; U-TAE; urban heat island; spatial scale; Changsha

本文引用格式:

刘宇鹏, 杨波, 陈崇. U-TAE算法提取城市热岛信息的空间尺度分析. *地理科学进展*, 2011, 30(9): 1118-1124.