

引用格式: Wei Shimei, Pan Jinghu. Identification of Urban Spatial Structure in Zhengzhou City based on Nighttime Light and Microblog Check-in Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(3): 771-780. [魏石梅, 潘竞虎. 基于夜间灯光和微博签到数据的郑州市城市空间结构识别[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(3): 771-780.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.3.0771

基于夜间灯光和微博签到数据的郑州市城市空间结构识别

魏石梅, 潘竞虎

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 基于NPP/VIIRS夜间灯光遥感影像和微博签到数据, 利用局部等值线树算法和层次结构图谱, 对2014年郑州主城区的城市中心及其内部空间结构进行识别与表达。结果表明: 2014年郑州市共识别出3株局部等值线树, 包括18个城市中心和11个城市中心复合区; “主树”的等值线树层级为10级, 老城区城市中心发育良好, 北部地区城市中心的空间分布不均衡且较为破碎; 城市中心按照城市职能分为4类, 城市综合中心的空间分布较为均匀, 商业中心和工业中心次之; 城市中心分为5个等级, 空间分布上呈现“由里到外”依次降低的趋势。

关键词: 城市空间结构; 城市中心; 夜间灯光; 微博签到; 郑州市

中图分类号: K921; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)03-0771-10

1 引言

城市空间结构是城市各类要素经由空间相互作用形成的地域形态特征, 是城市中不同功能区的分布和组合^[1], 其特征反映了城市的功能、性质、发展阶段、发展模式以及文明程度等^[2]。随着城镇化进程的推进, 众多大城市单中心的发展模式产生了各种弊端, “大城市病”频发。多中心、组团式的布局结构成为各大城市普遍追求的城市发展目标。多中心结构的城市往往是由一个城市主中心和一系列小的次级城市中心组成。近年来, 中国大城市异速扩张的背景下, 城市用地与功能形态的“偏离”问题突出, 城市空间表现出的新的形态与结构成为目前亟需讨论的重要课题^[3]。

国外对城市空间结构的相关研究始于20世纪20年代初, 经历了由静态研究向动态研究转变, 由结构研究为主向空间机制研究转变, 由传统的区域内空间机制研究向新经济因素影响下的全球范围

空间机制的研究转变。国内研究起步较晚, 始于20世纪80年代^[4]。近年来, 城市扩张和发展迅速, 城市内部空间结构演化剧烈, 基于样本调查或人口普查的传统方法已无法满足信息时代快捷、大范围的城市空间结构识别需求。随着遥感技术的发展以及时空大数据的广泛应用, 利用夜间灯光遥感影像^[5-7]、兴趣点(Point of Interest, POI)大数据(手机信令、公交刷卡记录、电子地图POI等)^[8-9]对城市空间结构的描述与分析已成为当前研究的重要趋势, 其方法主要涉及参数模型法、非参数估计法等^[10], 但多侧重于城市的空间分布、空间演化以及商业、旅游业空间结构等方面^[11-12], 且主要集中在中东部的单个大城市^[13-15]。

夜间灯光遥感影像所包含的丰富的灯光亮度信息, 不仅能够用来识别城市空间形态, 而且能够很好地分析和表达城市内部空间结构, 使得城市内部空间结构的识别和深入分析成为可能^[16-17]。其次, 以新浪微博平台为代表的POI位置签到数据由

收稿日期: 2020-12-14; 修订日期: 2022-03-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(42071216、41661025)资助。

作者简介: 魏石梅(1993—), 女, 宁夏固原人, 博士研究生, 主要从事空间分析与遥感研究。E-mail: nwnuweism@126.com

通讯作者: 潘竞虎(1974—), 男, 甘肃嘉峪关人, 教授, 博士生导师, 主要从事空间分析与感知研究。E-mail: panjh_nwnu@nwnu.edu.cn

和普通图论的树一样,都包含节点和边两个基本要素。在“等值线树”里每个节点代表一条等值线,而每一条边代表的是相邻两条等值线之间的拓扑关系^[18]。简而言之,局部等值线树算法是根据等值线间的拓扑关系,将整个地理空间划分成多个局部区域,对每个局部区域生成独立的“树”,最终使用多株树来表达整个地理空间的等值线变化情况^[5]。夜间灯光数据可被视为是如同DEM(数字高程模型)、DSM(数字表面模型)等一般的连续变化场,从而能利用局部等值线树算法来提取夜间灯光数据的等值线。

数字场形层次结构图谱指对某一类地理对象按照某个属性值的数量属性特征和空间分布特征进行连续化建模,然后通过数字场形表达数量关系和空间拓扑关系,采用基于数字场的等值线树表达该属性的层次结构和包含关系。借助层次结构图谱具有较好可视化这一特征,在完成常规等值线图绘制的基础上,依据陈佐旗等^[19]提出的简化等值线树的

方法,通过对等值线进行简化,从而得到不同等级的城市节点,并对其层级结构和拓扑关系进行表达。

图2为局部等值线树的形成及简化过程,图2(a)为夜间灯光等值线图;图2(b)中的节点对应图2(a)中的等值线。首先,基于局部等值线寻找其“种子”等值线^[5],如图2(a)中的A1、B、C1,将其作为单株局部等值线树的起始节点,再逐条等值线向外进行检索。其次,生成常规等值线树,当向外最邻近的低值等值线仅包含“种子”等值线时,赋予该等值线更高的级别,如等值线A2、C2,以上节点均被视为一级节点;当向外最邻近等值线包含了其他等值线时,该等值线被赋予比“种子”等值线更高的级别,即二级节点,如等值线D。同理遍历所有等值线,从而获得常规等值线树(图2(b))。最后,对常规等值线树进行简化,通过遍历所有分支,保留每个分支的最后一个节点,以达到简化等值线树的目的,并将所有一级节点均视为城市中心,二级及以上节点视为城市中心复合区(图2(c))。

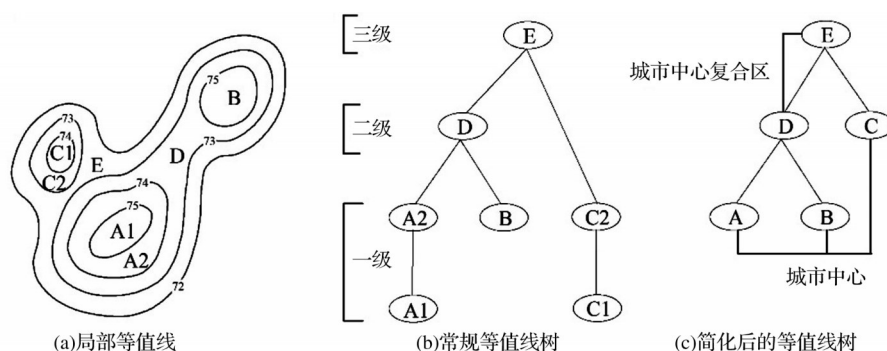


图2 局部等值线树形成及简化过程图

Fig.2 Formation and simplification process of the local contour tree

4.2 生成NPP/VIIRS夜间灯光等值线

利用Landsat-8 OLI数据提取郑州市建成区范围,通过将其与NPP/VIIRS夜间灯光影像进行叠加,得到郑州市建成区的夜间灯光阈值为 $10.8 \text{ nano-Watts cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$,将此值作为NPP/VIIRS夜间灯光等值线的最小值,即小于此值则不被生成NPP/VIIRS夜间灯光等值线。此外,对城市中心进行识别时,随着等值线间隔和城市中心最小面积的变化,识别出的城市中心以及等值线树层级的数量都会发生改变。在提取郑州市的夜间灯光等值线时,将等值线间隔分别设定为 $1, 2 \text{ nano-Watts cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$,城市中心最小面积分别设定为 $2 \text{ km}^2, 3 \text{ km}^2, 4 \text{ km}^2$ 进行多次试验,发现以 $1 \text{ nano-Watts cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 为等值线间隔,以 3 km^2 为最小城市中心面积识别的郑州

市城市(副)中心,无论是城市中心斑块数量还是城市空间结构层级都与郑州市城市现状更为相符。

4.3 城市中心属性指标

夜间灯光数据与区域、全球范围的人口和社会经济变量之间存在极强的正相关^[20-21],因此,可以用夜间灯光数据来表征城市社会经济发展状况。在识别城市中心的基础上,从社会经济、城市形态和人类活动3个角度共选择10个属性指标来对城市中心进行定量分析。具体地,社会经济指标包括灯光最小亮度值(Min)、最大亮度值(Max)、平均亮度值(Mean)、总亮度值(Tntl)和亮度标准差(Std),反映城市中心区域社会经济发展的强弱程度及水平差异;城市形态指标包括面积(Area)、城市扩张方向(θ)和形状指数(LSI),刻画城市中心区域的几何

形态及其空间分布状况;人类活动指标包括平均夜间灯光亮度斜度——人类活动变化率(R)以及城市中心对应的微博签到统计指标——签到密度(D), 表征城市中心区域人类活动的强烈程度。R值和D值越大,表明人类活动强度越大,即该区域内的人类活动变化越剧烈(表1)。

表 1 城市中心属性的量化指标
Table 1 The quantitative indexes of urban center attribute

指标	缩写	定义
最小亮度值	Min	$\text{Min} = \min_{i=1}^n (x_i)$ n 是城市中心区域所包含的像元数, x_i 为第 <i>i</i> 个像元的夜间灯光亮度值。
最大亮度值	Max	$\text{Max} = \max_{i=1}^n (x_i)$
总亮度值	Tntl	$\text{Tntl} = \sum_{i=1}^n x_i$
平均亮度值	Mean	$\text{Mean} = \text{Tntl}_i / A_i$ Tntl_i 是第 <i>i</i> 个城市中心的夜间灯光总亮度值, A_i 为第 <i>i</i> 个城市中心的面积。
亮度标准差	Std	$\text{Std} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ \bar{x} 指的是城市中心的夜间灯光平均亮度值。
人类活动变化率	R	$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{l_i} \times 100\%$ h_i 是第 <i>i</i> 个像元与其最陡方向上的相邻像元的垂直高度差, l_i 是第 <i>i</i> 个像元与其最陡方向上的相邻像元的水平距离。
面积	Area	$\text{Area} = n \times A_c$ A_c 是单个像元的面积。
城市扩张方向	θ	城市中心最小外包矩形的长轴与水平方向的夹角角度($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)。
形状指数	LSI	$\text{LSI} = \frac{0.25E_i}{\sqrt{A_i}}$ E_i 为第 <i>i</i> 个城市中心的边界长度, A_i 为第 <i>i</i> 个城市中心的面积。
签到密度	D	$D = N_i / A_i$ N_i 为第 <i>i</i> 个城市中心的微博签到次数。

5 城市中心识别与空间结构分析

5.1 NPP/VIIRS 夜间灯光等值线

基于郑州市 10 km 缓冲区 NPP/VIIRS 夜间灯光数据,生成郑州市等值线。首先,以建成区范围确定的夜间灯光值(10.8 nano-Watts cm⁻²sr⁻¹)为起始等值线,以 1 nano-Watts cm⁻²sr⁻¹ 为等值距,采用 ArcGIS 中的 Contour 工具,生成夜间灯光等值线,其次,对边缘区域未闭合的等值线进行剔除,得到闭合 NPP/VIIRS 夜间灯光局部等值线分布(图3)。从图3可以看出,夜间灯光等值线最为密集的区域主要集中在研究区中部(中原区和金水区),尤其金水区分布面积最广。

5.2 城市中心识别

Giuliano 等^[22]在 1991 年针对洛杉矶城市中心的研究中发现,大多数城市中心的内部和附近人口密度都很高。陈佐旗等^[19]对上海的城市中心进行检测时,认为在夜间灯光遥感影像中,城市中心所在区域应该比周围区域具有更显著的夜间灯光亮度。

借鉴以上结论,对夜间灯光等值线进行简化,将面积小于 3 km²的城市闭合斑块进行剔除后,得到局部等值线树。对得到的城市中心斑块进行编号,结果表明(图4),基于 NPP/VIIRS 夜间灯光数据在郑州市共识别出 29 个城市中心斑块,包括 18 个城市中心和 11 个城市中心复合区。其中,1~18 号节点为识别出的城市中心,19~29 节点为城市中心复合区。

从等值线树轮廓图(图5)可以看出,在郑州市共识别出 3 株(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)局部等值线树。第Ⅰ、Ⅱ株等值线树均包含城市中心复合区,具有较为复杂的空间结构。等值线树Ⅰ包含的城市中心数量最多、空间结构最为复杂,后文将以此为“主树”进行详细分析。第Ⅲ株是仅包含一个城市中心的单中心城市结构。

等值线树Ⅰ是郑州市城市空间结构最为复杂的主城区,面积为 430.57 km²,包含 14 个城市中心和 9 个城市中心复合区,城市中心的面积共 113.89 km²;等值线树Ⅱ是一个较小的城市中心复合区,其空间

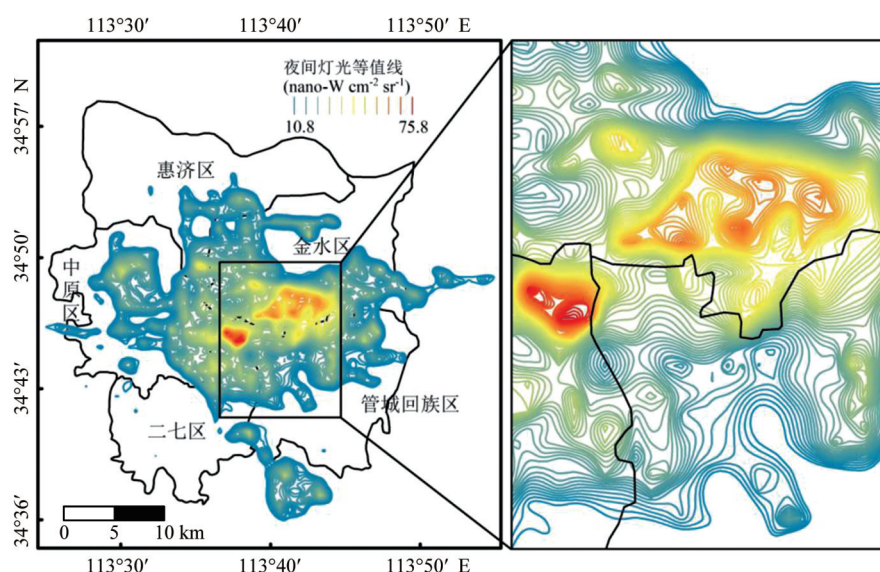


图3 郑州市夜间灯光等值线

Fig.3 Nighttime lighting contour line in Zhengzhou city

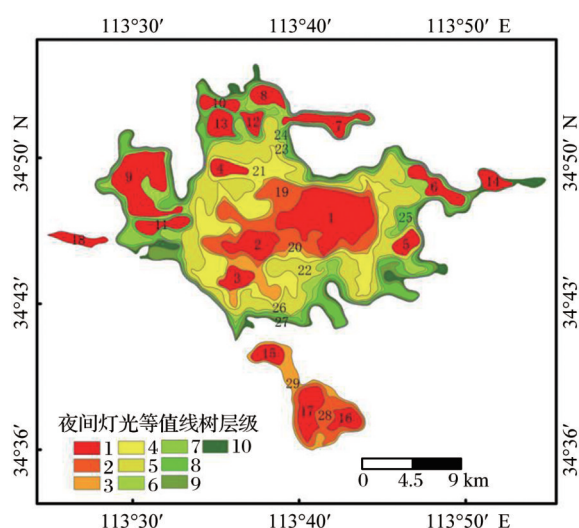


图4 城市(复合)中心空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of urban (composite) centers

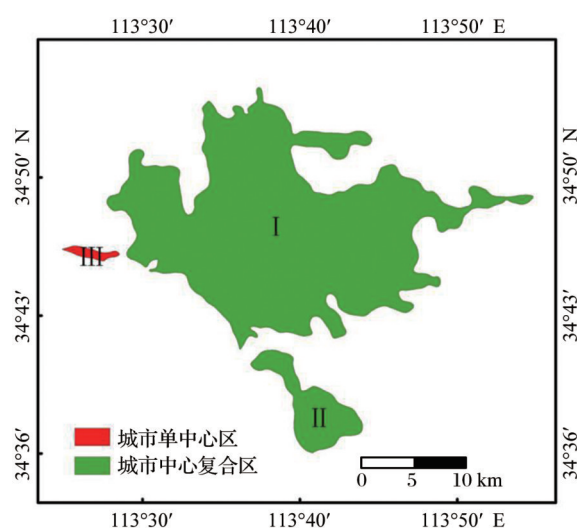


图5 郑州市等值线树轮廓图

Fig.5 Boundaries of contour trees in Zhengzhou

结构较为简单,面积仅 38.01 km²,包括 3 个城市中心和 2 个城市中心复合区,城市中心面积为 17.44 km²;而等值线树Ⅲ是一个面积为 3.69 km²的城市中心。

5.3 NPP/VIIRS 夜间灯光等值线树“主树”层级结构

将包含城市中心斑块最多、结构最为复杂的等值线树Ⅰ视为“主树”,对其节点进行编号(1~23),并利用层次结构图谱进行分析与表达,得到夜间灯光等值线树层级图(图6)。结果表明,“主树”共包含 23 个城市节点,其中 1~14 号节点均为城市中心,15~23 号节点为城市中心复合区。作为二级节点的 15 号节点,共包含了两个城市中心(1 号节点和 2 号节点),是一个相对较为复杂的城市中心复合区。处于三级节点的 16 号节点,不仅包含了一个城市中

心(3 号节点),而且还包含一个较为复杂的城市中心复合区(15 号节点),因此,是一个范围更大、结构更为复杂的城市中心复合区。相似地,层次等级越高,其包含的城市中心越多、城市中心复合区范围越大,即城市空间结构越复杂。尤其处于六级节点的 19 号节点和处于八级节点的 21 号节点,不仅包含一个城市中心复合区,而且还包含两个及两个以上的城市中心,如 19 号节点包含一个城市中心复合区(18 号节点)和 4 个城市中心(6、7、8、9 号节点),21 号节点包含一个城市中心复合区(20 号节点)和两个城市中心(11 号节点和 12 号节点)。实验共识别出 18 个城市中心(图4),为验证城市中心所在位置,将识别的城市中心与高德地图进行叠加,从而

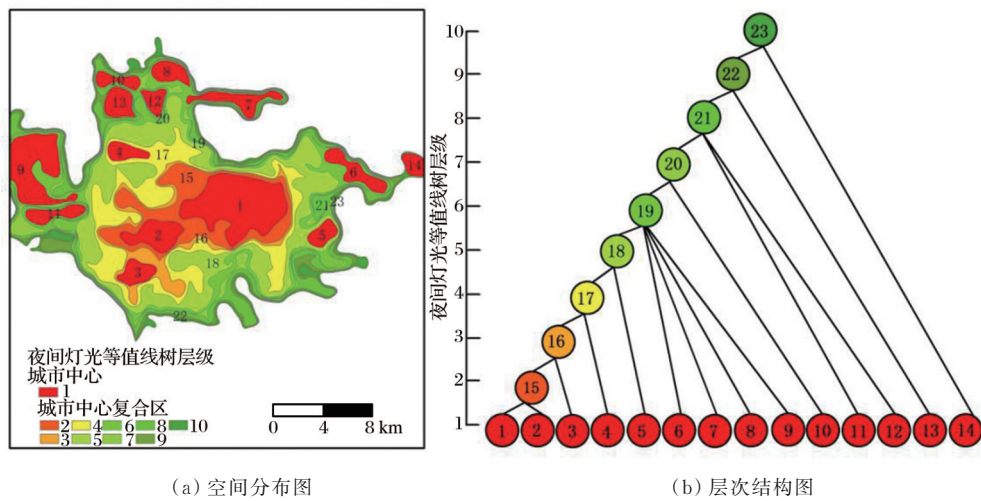


图6 “主树”空间分布图及层次结构图

Fig.6 Spatial distribution and hierarchy diagram of main tree

将识别出的18个城市中心与城市地理位置关联,并依据典型地标和城市职能对其进行简单命名和归类。郑州市识别出的18个城市中心分为4类城市职能中心,包括1个城市主中心、10个综合中心、4个商业中心和3个工业中心^[23]。空间分布上,郑州中心城区主要聚集的是综合中心和商业中心,工业中心主要位于西北部的郊区。

城市主中心(2号城市中心),即市政府—二七广场—郑州站,分布在市中心位置,包括市政府、二七广场、郑州站、郑州大学等区域,是郑州市老城区,也是一个集城市交通职能、商业职能的较大综合中心。值得注意的是,西北地区距离较近的5个面积较小的城市中心,尚未形成一个较大的城市中心,空间分布较为破碎。商业中心主要包括1、5、15、16号城市中心。1号城市中心(郑州国际会展中心)分布在金水路立交桥以北,包括郑州国际会展中心、曼哈顿商业广场等,是郑州市中心商务区。5号城市中心(郑东新区电子商务大厦)分布在郑州市以东的郊区,包括物流园、家居中心、汽车销售中心等区域,其主要城市职能是商业中心;15号城市中心(世贸商城)位于郑州市南四环,覆盖百荣世贸商城、鑫苑都汇广场等区域,是郑州市政府明确提出在四环外建设“一区两翼”十大主题批发市场群,也是离主城区最近的批发市场外迁承接地;16号城市中心(华南城建材—农贸市场)位于新郑市龙湖镇旁,是集商贸交易、物流集散、城市化综合配套等功能于一体的现代综合商贸物流城;工业中心主要包括7、9和18号城市中心,基本位于郑州市西、北部郊区。7号城市中心(金水区北部工业园区)位于

北四环内,覆盖各种工业园区,是郑州市高新技术企业生存生长的产业聚集区。9号城市中心(高新区技术产业开发区)位于郑州市西北部,包括郑州高新区格力工业园、河南省电子商务产业园、郑州大学、高新企业产业园等区域,是河南省、郑州市发展核心技术产业核心区域。18号城市中心(须水镇工业园区)位于郑州市西北地区西四环,覆盖郑州水工机械有限公司、炉料有限公司、须水工业园区等区域,相比于其他工业中心,该工业中心面积相对较小。

5.4 城市中心属性特征

对识别出的18个城市中心和11个城市复合中心在社会经济、城市形态以及人类活动三方面的指标进行计算。18个城市中心的指标计算结果表明:夜间灯光最小值的范围为5.42~31.62,分别对应13号和2号城市中心;夜间灯光最大值的范围为13.30~75.85;夜间灯光平均值的最小值和最大值分别为8.48、50.54,对应城市中心亦分别为13号和2号;夜间灯光总亮度值范围为163.36~6 066.50,最小和最大分别对应的是18号和1号城市中心,各个城市中心的总量度值相差较大,主要是受城市中心空间范围和夜光总值的影响。从夜间灯光亮度标准差的结果来看,其变化范围在2.08~13.79之间。1、2、4、5、6、7、15、16号城市中心的亮度标准差在5以上,其中2号城市中心的亮度标准差最大,为13.79,以上城市中心的夜光亮度值变化较为剧烈,即区域内发展水平差距较大。其他城市中心的亮度标准差均在5以下,最小的是18号城市中心,为2.08,此类城市中心夜间灯光灰度值变化较为平缓,

区域内发展水平差距较小。

面积最大的是1号城市中心,其次为9号,分别为 33.12 km^2 、 20.91 km^2 ,其他城市中心面积较小,均在 10 km^2 以下,其中4、5、10、12和14号城市中心的面积在 $3\sim 4\text{ km}^2$ 之间;从形状指数(LSI)计算结果来看,郑州市18个城市中心的LSI均在1~2之间,大部分的LSI值在1.5以下,少数城市中心,如6、7、9和18号城市中心的LSI在1.5以上,其值分别为1.58、1.99、1.66和1.67,其中7号城市中心的LSI最大。LSI越大,说明城市中心斑块形状越不规则,即越不趋向于相同面积的正方形形状;城市扩张方向描述的是城市中心斑块最小外包矩形斜轴与水平方向的夹角,其值越大,说明城市中心斑块呈垂直(南北)方向较长而水平(东西)方向较短的空间分布,即趋向于南北向分布;其值越小,则说明城市中心斑块呈垂直(南北)方向较短而水平(东西)方向较长的分布,即趋向于东西向分布。城市中心扩张方向范围在 $14.70^\circ\sim 63.40^\circ$ 之间,最大的是17号城市中心,最小的为18号城市中心。5、9和12号城市中心的扩张方向在 40° 以上,其他城市中心的扩张方向大都分布在 $20^\circ\sim 40^\circ$ 之间。也就是说,17号城市中心倾向于南北方向分布,而18号城市中心则倾向于东西向分布。总体来说,城市主中心(2号城市中心)的夜间灯光最小值、最大值、平均值以及亮度标准差比其他城市中心的大,这也充分说明本文识别的城市主中心具有高于其他城市中心的发展水平。除此之外,1号城市中心的斑块面积最大,这也是为什么它的夜间灯光总亮度值最大的原因。

同样地,为充分了解城市中心复合区的空间属性,对识别出的11个城市中心复合区也进行上述的10个指标计算,结果表明:20号和27号城市中心复合区具有夜间灯光的最大值和最小值,分别为24.25和3.76,此外,19、21、22和28号城市中心复合区的夜光最小值也相对较大。由于19~27号城市中心复合区属于等值线树Ⅰ,28号和29号城市中心复合区同属于等值线树Ⅱ,因此,19~27号城市中心复合区的夜光最大值均为75.85,而28号和29号城市中心复合区的夜光最大值为39.29。19号城市中心复合区的夜光平均值最大,为41.18,且19~27号城市中心复合区的夜光平均值呈依次减小趋势。尽管28号和29号城市中心复合区的夜光平均值较小,但同样呈减小趋势。相反地,城市中心复合区的夜光总值和面积呈不断增大趋势,是随着城市中

心复合区等级层次的增加,城市中心复合区所包含的空间范围越广的缘故。而27号和28号城市中心复合区具有夜光标准差的最大值和最小值,相应地,27号和28号城市中心复合区具有面积的最大值和最小值,也就是说,城市中心空间范围越大,其夜光变化越剧烈,即发展水平差距越大。24号和28号城市中心复合区具有LSI的最大值和最小值,分别为2.61和1.24,说明28号城市中心复合区的形状最趋向于正方形,而24号城市中心复合区恰好相反。从 θ 的计算结果来看,19~22、23~26、28~29号城市中心复合区的 θ 值在不断增大,其中,29号城市中心复合区的 θ 最大,即呈南北方向扩张的趋势最大。

从图7可以看出,18个城市中心中,2号城市主中心具有最大的R值和D值,说明该区域人类活动强度最大、变化最剧烈。此外,1、4、5和15号城市中心的R较大,而1、3、4的D值较大,其中1、5、15为商业中心,3、4为综合中心。在识别出的4个商业中心中,3个商业中心的人类活动变化率较高,这说明在不同城市职能中心中,商业中心和综合中心的人类活动强度较高;在11个城市中心复合区中,19~29号城市中心复合区的R值和D值都呈依次减小的趋势,说明随着城市层级结构的增大,城市中心复合区的人类活动强度在逐渐减小,这也与城市圈层结构理论相符。

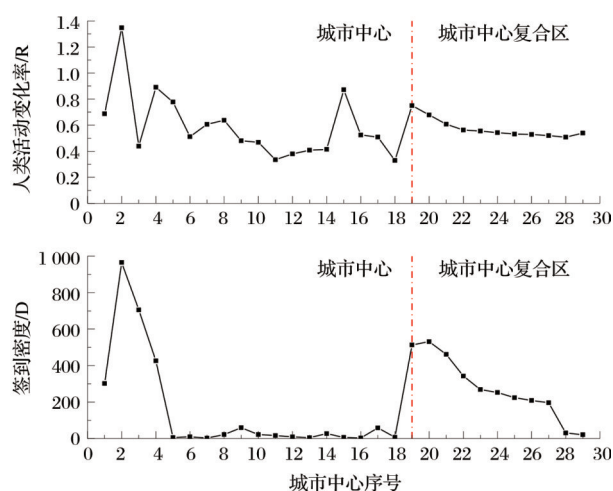


图7 城市中心人类活动强度指标的计算结果

Fig.7 Results of human activity intensity indicators in urban center

通过对夜间灯光指标进行梳理,认为城市中心的平均值最能表现各个城市中心的发展水平以及它们之间的差异,为了进一步与夜间灯光等值线树层级结构进行对应分析,本文基于城市中心夜光平

均值,采用自然断裂法对识别出的 18 个城市中心进行分级,结果表明(图 8),第一级城市中心包括 1 号和 2 号节点,且与等值线树 I 的层级相同,均处于第一级;第二级城市中心包括 3、4、5 号节点,囊括了等值线树 I 层级结构中的第三、四、五级 3 个城市中心复合区的城市中心,说明尽管 3、4、5 号城市中心位于不同等值线树层级中,但其发展水平差异并不明显;第三级城市中心包括 6、7、8、9、15、16 和 17 号节点,是城市中心最多的一级,包括了等值线树 I 的第六级以及等值线树 II 的所有节点,说明等值线树 II 中的 15、16 和 17 号节点是与等值线树 I 第六级节点发展水平差距较为相似的节点;第四级城市中心包括 10 号和 14 号节点,尽管在等值线树 I 的层级结构中两者相差较大,分别位于第七、十级,但也说明 10 号和 14 号节点的发展水平相近;第五级城市中心包括 11、12、13 和 18 号节点,囊括了位于等值线树 I 第八、九级的所有节点以及等值线树 III 的 18 号节点,是夜间灯光平均值最小的一级,也说明等值线树 III 的 18 号节点是与等值线树 I 第八、九级节点发展水平差距较为相近的节点。综上所述,城市中心分级结果与等值线树层级基本一致,数量上,呈“少—多—少”的状态;空间分布上,大致遵循“由里到外”城市中心等级呈依次降低趋势。

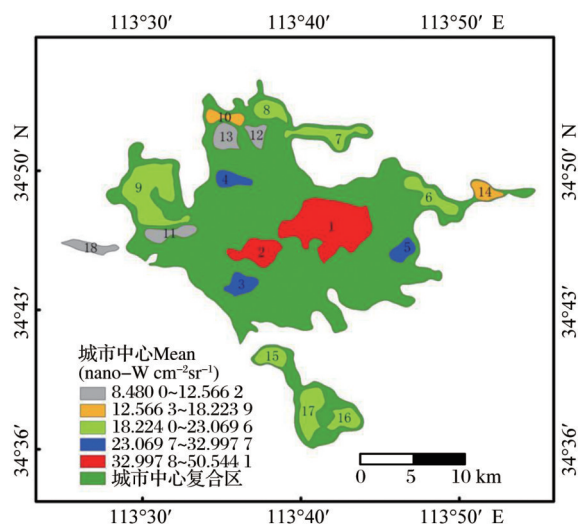


图 8 城市中心等级图

Fig.8 The grade of urban center

6 结论与讨论

6.1 结论

城市空间结构作为城市规划研究的基本核心,其研究的方向和重点以及研究的深度和广度随着城市的发展而发展^[24]。在前人研究的基础上,基于 2014 年郑州市 NPP/VIIRS 夜间灯光遥感影像,以

1 nano-Watts $\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 为等值线间隔,3 km^2 为最小城市中心面积,采用局部等值线树算法,对郑州市的城市中心进行了识别,并借助等级结构图谱对城市中心的空间结构进行了表达。通过计算夜间灯光、城市形态和人类活动强度三方面的 10 个指标对识别出的城市中心属性进行定量分析。得到以下结论:郑州市共识别 3 株等值线树,包括 18 个城市中心和 11 个城市中心复合区,且以 1 nano-Watts $\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 为等值线间隔,以 3 km^2 为最小城市中心面积是合理且适用于本研究区的;郑州市建成区的等值线树层级为 10 级,老城区城市中心的空间范围较大,且发育良好。北部边缘区域的城市中心在空间上表现出不均衡性,且分布较为破碎。东部及南部地区由于其优越的地理区位条件,是郑州市城市扩张的新生力量;按照城市职能将郑州市城市中心分为 4 类,分别为 1 个城市主中心、10 个城市综合中心、4 个城市商业中心和 3 个城市工业中心,其中城市综合中心的数量最多,空间分布也最为均匀,其次为商业中心和工业中心;城市主中心的人类活动强度最为剧烈,发展水平差距最大,其次分别为商业中心和综合中心;城市中心分级结果与等值线树层级基本一致,数量上,呈“少—多—少”的状态,空间分布上,大致遵循“由里到外”城市中心等级呈依次降低的趋势。

6.2 讨论

本文在生成 NPP/VIIRS 夜间灯光等值线的过程中,以 10.8 nano-Watts $\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 作为夜光最小值,是由郑州市建成区范围决定的。在采用 NPP/VIIRS 夜间灯光数据对城市中心进行识别的过程中,设置不同的等值线间隔及城市中心最小面积均会对城市空间结构的识别结果产生影响,如以 2 nano-Watts $\text{cm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ 为等值线间隔生成的局部等值线树可能会丢失大量细节,而以 2 km^2 、4 km^2 限制城市中心面积则会导致生成的城市空间结构过于繁杂或者过于简单,因此,应结合城市发展实际,选取恰当的指标以正确合理地表达城市空间结构。此外,等值线识别结果具有“跨界”现象,即空间溢出效应,郑州市在发展和扩张过程中,对周边地区的社会经济起到了带动和联动作用,未来研究可以考虑扩大研究范围,而不仅仅是以行政边界作为标准。

城市空间结构的相关研究正逐渐从传统的人口普查、抽样调查等方法过渡为利用地理空间遥感影像与手机信令 POI 大数据结合的多源数据融合

法。传统方法尽管数据详实,但采集成本很高,更新周期较长,空间单元划分粗放。而夜间灯光与微博签到数据作为传统城市空间结构识别研究的有益补充,能够更加直观地揭示城市中心的形态与结构。然而,由于数据获取受限,本文未对郑州市不同时期的城市空间结构进行识别与对比探索,仅对2014年的城市空间结构及其相关属性进行了分析。除此之外,受NPP/VIIRS夜间灯光数据空间分辨率(500 m)的限制,研究结果也只是在一个相对宏观的角度对郑州市城市中心的空间结构进行分析。未来的相关工作中,期望在获取更高时空分辨率数据以及结合多源数据的基础上,更加深入、微观地对城市内部空间结构及其演变模式等进行分析与研究。

郑州市是国家重要的枢纽节点城市,从城市中心空间识别结果得知,围绕城市主中心分布的城市副中心均已初具规模,尤其南部地区,已形成以商业中心为主的次级城市中心复合区。北部地区由于临近黄河,受河流阻隔的影响,城市中心的发育较为破碎,未形成大规模连片式分布格局。由于东临开封、西接洛阳,凭借便利的交通设施和优越的自然条件,东西部地区的城市中心呈长条状东西向延伸的发展趋势。城市空间结构的布局与发展很大程度上受政府干预与投资的影响^[16],郑州市应通过支持加强区域互联互通的政策,强化城市区的交通可达性,进一步精准开发与建设项目的投资,引导城市边界及中心结构的“精明”增长以及通过适当调整城市中心职能,综合考量及协调分配城市物质资源等方式,确保城市中心的均衡发展,从而促使郑州市形成功能俱全以及更具规模和韧性的城市空间结构。

参考文献(References):

- [1] Xi Qiangmin, Li Guoping. Research progress and prospect of the interactive effects of urban size and spatial structure for Mega Cities[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(1): 61-68. [席强敏, 李国平. 超大城市规模与空间结构效应研究评述与展望[J]. *经济地理*, 2018, 38(1): 61-68.]
- [2] Lü Na. Present situation and future of modern urban planning and urban spatial structure[J]. *Beaut & Times*, 2018(11): 44-45. [吕娜. 近代城市规划与城市空间结构研究现状与未来[J]. *美与时代(城市版)*, 2018(11): 44-45.]
- [3] Shen Qingxi, Li Chenggu, Liu Qian. Urban spatial structure by service facilities distribution: A case in Main Districts of Changchun[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 129-135. [申庆喜, 李诚固, 刘倩. 基于服务设施布局视角的城市空间结构研究——以长春主城区为例[J]. *经济地理*, 2017, 37(3): 129-135.]
- [4] Zhou Chunshan, Ye Changdong. Progress on studies of urban spatial structure in China[J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(7): 1030-1038. [周春山, 叶昌东. 中国城市空间结构研究评述[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(7): 1030-1038.]
- [5] Chen Zuoqi. A multiscale analysis on urban area and spatial structure based on nighttime light data[D]. Shanghai: East China Normal University, 2017. [陈佐旗. 基于多源夜间灯光遥感影像的多尺度城市空间形态结构分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2017.]
- [6] Cai J X, Huang B, Song Y M. Using multi-source geospatial big data to identify the structure of polycentric cities[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 210-221.
- [7] Tu Y, Chen Z Q, Wang C X, *et al.* Quantitative analysis of urban polycentric interaction using nighttime light data: A case study of Shanghai, China[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2022, 15: 1114-1122.
- [8] Yu L, Yu T, Wu Y X, *et al.* Rethinking the identification of urban centers from the perspective of function distribution: A framework based on Point-of-Interest data[J]. *Sustainability*, 2020, 12(4): 1543. DOI:10.3390/su12041543.
- [9] Huang Weili. An analysis of urban spatial structure based on POI: A case study of Beijing[J]. *Modern Urban Research*, 2017(12): 87-95. [黄伟力. 基于POI的城市空间结构分析——以北京市为例[J]. *现代城市研究*, 2017(12): 87-95.]
- [10] Luo Qing, Li Xiaojian. The spatial differentiation and influencing factors of urban centers in China based on VIIRS night light[J]. *Geographical Research*, 2019, 38(1): 155-166. [罗庆, 李小建. 基于VIIRS夜间灯光的中国城市中心的分异特征及其影响因素[J]. *地理研究*, 2019, 38(1): 155-166.]
- [11] Zhu Chuangeng, Ma Ronghua, Zhen Feng, *et al.* The spatial structure of the floating population[J]. *Human Geography*, 2002, 17(1): 65-68. [朱传耿, 马荣华, 甄峰, 等. 中国城市流动人口的空间结构[J]. *人文地理*, 2002, 17(1): 65-68.]
- [12] Feng Jian, Chen Xiuxin, Lan Zongmin. The evolution of spatial structure of shopping behaviors of Beijing's residents[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(10): 1083-1096. [冯健, 陈秀欣, 兰宗敏. 北京市居民购物行为空间结构演变[J]. *地理学报*, 2007, 62(10): 1083-1096.]
- [13] Niu Xinyi, Ding Liang, Song Xiaodong. Understanding urban spatial structure of Shanghai central city based on mobile phone data[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(6): 61-67. [钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 基于手机数据识别上海中心城的城市空间结构[J]. *城市规划学刊*, 2014(6): 61-67.]
- [14] Wang Zheng, Deng Yue, Song Xiukun, *et al.* The complexity analysis of the spatial structure in Shanghai[J]. *Progress in Geography*, 2001, 20(4): 331-340. [王铮, 邓悦, 宋秀坤, 等. 上海城市空间结构的复杂性分析[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(4): 331-340.]
- [15] Zhou Suhong, Yan Xiaopei. The relationship between urban

- structure and traffic demand in Guanzhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 131-142. [周素红, 闫小培. 广州城市空间结构与交通需求关系[J]. *地理学报*, 2005, 60(1): 131-142.]
- [16] Zheng Yuanmao, He Yuanrong, Wang Xiaorong, *et al.* Application review and prospect of nighttime light remote sensing data[J]. *Remote Sensing Information*, 2020, 35(3): 1-14. [郑渊茂, 何原荣, 王晓荣, 等. 夜光遥感数据应用述评与展望[J]. *遥感信息*, 2020, 35(3): 1-14.]
- [17] Yu Bailang, Wang Congxiao, Gong Wenkang, *et al.* Night-time light remote sensing and urban studies: Data, methods, applications, and prospects[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2021, 25(1): 342-364. [余柏菡, 王丛笑, 宫文康, 等. 夜间灯光遥感与城市问题研究: 数据、方法、应用和展望[J]. *遥感学报*, 2021, 25(1): 342-364.]
- [18] Kweon I S, Kanade T. Extracting topographic terrain features from elevation maps[J]. *CVGIP: Image Understanding*, 1994, 59(2): 171-182.
- [19] Chen Z Q, Yu B L, Song W, *et al.* A new approach for detecting urban centers and their spatial structure with nighttime light remote sensing [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2017, 55(11): 6305-6319.
- [20] Doll C N H, Muller J P, Morley J G. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery[J]. *Eco-logical Economics*, 2006, 57(1): 75-92.
- [21] Jiang Wei, He Guojin, Liu Huichan. Modelling regional socio-economic parameters based on comparison of NPP/VIIRS and DMAP/OLS nighttime light imagery[J]. *Remote Sensing Information*, 2016, 31(4): 28-34. [江威, 何国金, 刘慧婵. NPP/VIIRS 和 DMSP/OLS 夜光数据模拟社会经济参量对比[J]. *遥感信息*, 2016, 31(4): 28-34.]
- [22] Giuliano G, Small K A. Subcenters in the Los angeles region [J]. *University of California Transportation Center Working Papers*, 1991, 21(2): 163-182.
- [23] Liu Yuan, Li Yuechen. Urban centers extraction and analysis using night time light data: A case study of main urban areas of Chongqing [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2019, 37(3): 160-164. [刘源, 李月臣. 基于夜间灯光数据的城市中心区域提取与分析——以重庆市主城区为例[J]. *中国资源综合利用*, 2019, 37(3): 160-164.]
- [24] Wu Qiyan, Zhu Xigang. Review and prospect of the research on urban spatial structure [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2001, 17(2): 46-50. [吴启焰, 朱喜钢. 城市空间结构研究的回顾与展望[J]. *地理学与国土研究*, 2001, 17(2): 46-50.]

Identification of Urban Spatial Structure in Zhengzhou City based on Nighttime Light and Microblog Check-in Data

Wei Shimei, Pan Jinghu

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The accurate identification and expression of urban spatial structure is of great significance for mastering the current situation of urban spatial development and planning the future urban spatial. Using NPP/VIIRS annual average nighttime light remote sensing images and microblog check-in data, based on localized contour tree method and hierarchical structural Tupu, this study identified and expressed the urban center and their internal spatial structure in Zhengzhou city in 2014. In addition, combined with typical landmarks and urban functions, the identified urban centers were defined and classified. On this basis, 10 indicators were selected for quantitative analysis of identified urban centers from three aspects of social economy, urban morphology, and human activity. The results showed that: In 2014, three localized contour trees were identified in Zhengzhou, including 18 urban centers and 11 urban central composite areas; the contour tree level of the “main tree” in Zhengzhou city was 10. The urban centers of the old urban area were developed well and had a large spatial range. The spatial distribution of the urban centers in the northern area was unbalanced and relatively fragmented; According to the urban functions, the urban centers of Zhengzhou were divided into four categories (main center, comprehensive center, commercial center, and industrial center), the number of which is 1, 10, 4 and 3, respectively. The spatial distribution of urban comprehensive centers is more uniform, followed by commercial center and industrial centers, and the results of dividing the urban centers into five grades are basically consistent with the levels of contour trees. In quantity, it is in the state of “less-more-less”, and in spatial distribution, it basically follows the trend of “from inside to outside” urban center grades decreasing in turn.

Key words: Urban spatial structure; Urban center; Nighttime light; Microblog check-in; Zhengzhou city