

# 基于多源数据的武汉市多中心空间结构识别

毛帅永<sup>1</sup>, 焦利民<sup>1,2\*</sup>, 许刚<sup>1</sup>, 李泽慧<sup>1</sup>

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室, 武汉 430079)

**摘要:**研究城市不同要素空间集聚水平与层级差异、明确城市各职能中心分布,对城市多中心空间结构的发展引导和规划调控具有重要意义。论文分别采用兴趣点(points of interest, POI)、夜间灯光和路网3种数据,利用局部等值线树算法,识别武汉市多中心空间结构。研究表明:①武汉不同城市要素的总体集聚水平不均衡,其中在汉阳集聚水平较低,在汉口和武昌集聚水平较高,特别是二环以内区域;②武汉中央活动区发展比较均衡,内部各城市要素高度集聚,随着向外扩展,部分城市要素易于在局部集聚形成城市中心;③结合武汉圈层发展布局,城市中心沿环线的“商-住-工”职能分布模式逐步确立,其中内环以及二环区域已形成稳定的商服中心;二环附近综合组团内部出现了较具代表性的居住中心;三环外的沌口和武钢主导发展工业,是典型的工业中心。

**关键词:**多中心空间结构;POI;夜间灯光;路网;局部等值线树算法;武汉

在20世纪早期,城市内部产业集聚效应显著,往往在核心区形成单中心结构(奥沙利文, 2013)。城市具备较为完善的经济结构和基础设施,能够吸引人口不断汇聚,造成城市持续扩张。随着城市规模的扩大,单中心难以满足人们对资源与环境的需求,出现诸多城市问题。霍华德(1898)在《明日的田园城市》中提到,城市规模达到一定限度后,继续增长将有损城市生产效率,通过建立田园城市,有利于缓解城市中心的压力。之后,沙里宁(1943)的有机分散理论以及Harris等(1945)的多核心理论进一步体现了发展多中心城市的思想。为了解决城市单中心面临的规模发展困境,整合市内资源,统筹多中心方向发展,对实现城市区域协调具有现实意义。进入20世纪后期,欧洲、北美及日本等相继从单中心主导的城市模式向多中心结构转变,以疏解核心区高密度人口与产业(张亮等, 2017)。中国正处于快速城市化阶段,城市要素空间集聚效应不断

加强,城市空间结构逐步发生演变,部分大城市出现了多中心结构(Sun et al, 2016),即从最初的“单中心”转向“多中心”或者更分散化的城市空间结构(孙斌栋等, 2008; 杨俊宴等, 2012; 孙斌栋等, 2017)。其中,“单中心”往往是传统的城市功能与活动高度集聚的区域(孙铁山等, 2013);“多中心”一般由中央商务区及其附属区域或周边小城镇组成(Chen et al, 2017),在空间形态、功能、治理等不同层面存在相似性(罗震东等, 2008)。

在城市空间结构识别的研究中,学者们主要侧重数据源的选取与应用、研究方法的创新与推广两个方面。传统数据如居住人口、就业人口和经济状况等的应用便比较广泛(王桂新等, 2007; 谷一桢等, 2009; 蒋丽等, 2009; Lüscher et al, 2013; 蒋丽等, 2013; 孙斌栋等, 2014; 孙斌栋等, 2016),并从社会与经济的角度反映城市中心布局,识别结果大多与公众认知相符。然而,传统数据一般通过问卷调

收稿日期:2018-12-21;修订日期:2019-04-19。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571385);国家重点研发计划项目(2017YFA0604404)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41571385; National Key R&D Program of China, No. 2017YFA0604404.]

第一作者简介:毛帅永(1995—),男,河南周口人,硕士生,主要研究方向为城市空间结构与城市空间规划。

E-mail: MSY123@whu.edu.cn

\*通信作者简介:焦利民(1977—),男,河南安阳人,教授,博士生导师,主要研究方向为土地信息建模、地理空间分析和数据挖掘、LUCC与城市扩展。E-mail: lmjiao@whu.edu.cn

引用格式:毛帅永,焦利民,许刚,等. 2019. 基于多源数据的武汉市多中心空间结构识别[J]. 地理科学进展, 38(11): 1675-1683. [Mao S Y, Jiao L M, Xu G, et al. 2019. Identification of the polycentric spatial structure in Wuhan City based on multisource data. Progress in Geography, 38(11): 1675-1683.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.11.003

查、民意调查和社会普查等途径获取,受到人为因素的影响,数据准确性难以保证。随着地理信息技术的发展和应用,多样化的城市大数据应运而生(谷岩岩等, 2018)。自下而上的研究机制从微观视角研究城市的宏观状态,表达个体行为影响总体规律。其中,手机定位(钮心毅等, 2014)、出租车轨迹(Liu et al, 2015)、微博签到(Huang et al, 2016)、POI(焦利民等, 2017)等数据逐步应用于城市空间结构研究。近年来,夜间灯光数据等遥感技术产品开始被用于识别城市空间结构。以夜间灯光数据为基础,根据空间大尺度把握城市整体结构,虽然有利于分析城市的宏观形态,但是在表现细部特征时可能会受到限制。在研究方法上,除直接利用常规核密度方法识别城市中心外(Yu et al, 2015; 施歌等, 2017), Leslie等(2009)从城市空间经济的角度考虑,结合就业与市内设施建立多准则核密度模型对美国菲尼克斯城市中心进行识别,实现将模型建立在2种城市要素的基础之上,修正已有核密度方法。从数理统计的角度出发,孙铁山等(2012)认为传统参数计量方法识别的城市中心会受到预设研究区域的影响,从而对非参数计量方法进行实践。Zhu等(2017)在已有城市土地利用数据的基础上,采用自识别(Automated Recognition)方法提取并描述城市中心。在探索新的研究方法时,关键在于融入新的研究理念,综合考虑已有研究方法在实践中存在的不足,从研究目的中寻找突破点。Chen等(2017)认为传统识别方法存在主观性强、识别区域范围受到行政边界限制等问题,提出一种新的识别城市空间结构的方法——局部等值线树算法,并通过实证表明方法的可行性。为了划分城市内部层级并获取城市中心,本文借鉴和使用局部等值线树算法识别城市多中心空间结构。

根据上文所述,学者们普遍采用单一数据针对城市多中心空间结构展开讨论,缺乏多类型数据识别结果的对比与综合。城市中心不仅是城市土地利用强度和城市要素集聚程度较高的区域,而且是城市职能表现突出的区域。由于不同数据代表的城市要素的属性不同,识别的城市空间层级存在差异、城市中心职能各有偏向。了解城市不同要素空间集聚水平和城市各职能中心分布,对城市多中心空间结构的发展引导和规划调控具有重要意义。因此,本文从城市设施、物理实体和人类社会活动的角度出发,分别选取以兴趣点(points of interest,

POI)、夜间灯光和路网为代表的多源数据识别武汉市多中心空间结构,通过对比分析识别结果,为武汉多中心空间结构发展研究提供实证参考。

## 1 研究区域与数据

### 1.1 研究区概况

武汉是湖北省省会,地处江汉平原东部、长江中游,地理坐标 $29^{\circ}58' \sim 31^{\circ}22'N$ 、 $113^{\circ}41' \sim 115^{\circ}05'E$ ,是中国中部地区的中心城市,华中重要的经济中心、教育中心以及区域交通枢纽。武汉是一个典型的多中心城市。长江及其最大支流汉江在武汉交汇,将武汉分隔形成包括汉口、汉阳和武昌的三镇格局。三镇地理位置如图1所示。

武汉市1995年编制的规划开始确定主城“多中心组团式”的布局结构。现行《武汉市城市总体规划(2010—2020年)》(2004年编制)提出,主城区延续圈层发展、组团布局的格局,将主城区规划结构调整为中心活动区、东湖风景区和综合组团。其中,综合组团包括黄浦、二七、后湖等共15个,以居住、生活服务和都市工业为主导。同时,规划建设四新、鲁巷、杨春湖3个城市副中心。四新和鲁巷重点建设生产性服务职能,杨春湖重点建设区域性客运枢纽和旅游服务职能。本文以总体规划确定的主城区作为主要研究区,即三环线以内地区为主,包

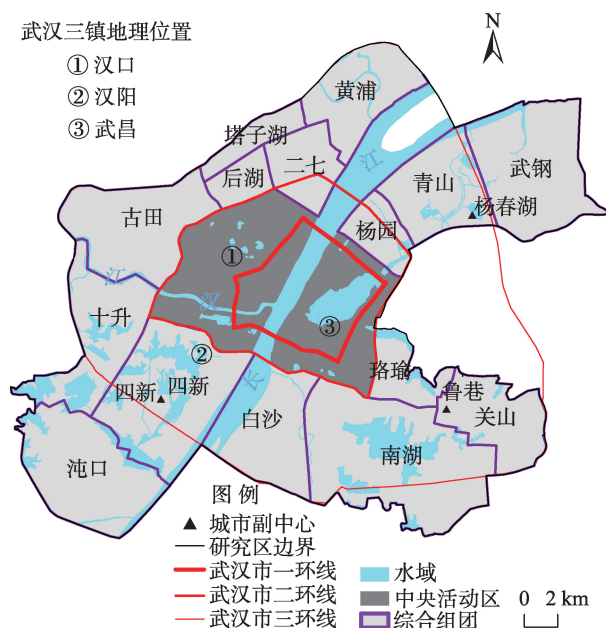


图1 研究区现行规划结构布局

Fig.1 Structure of the current plan in the study area

括局部外延的沌口、庙山和武钢地区,剔除东湖区域后总面积约596.7 km<sup>2</sup>(图1)。

## 1.2 数据来源及预处理

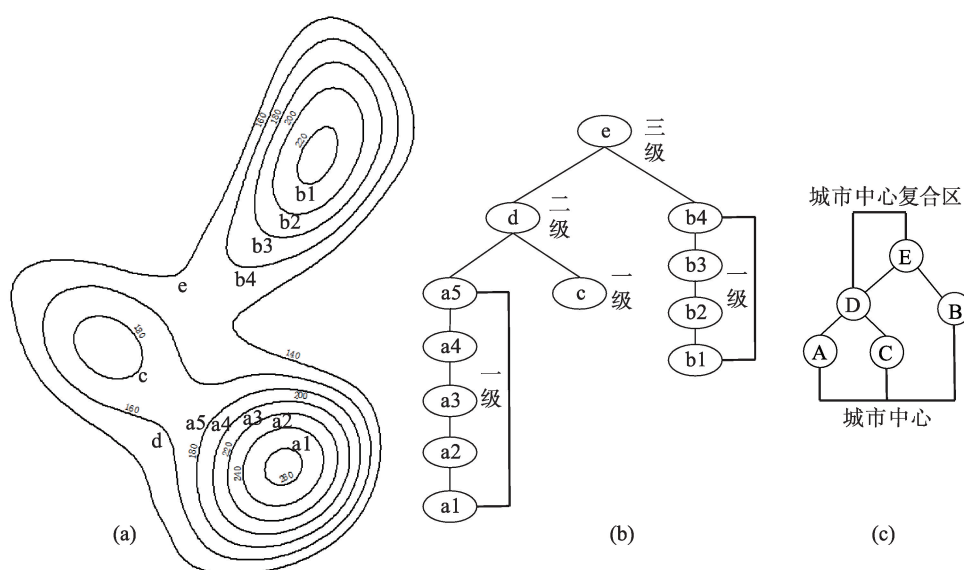
本文采用POI、夜间灯光和路网3种数据源。其中,POI数据(2014年)由网络电子地图获取,经过定义坐标和投影,删除个别异常点,共计65535条;夜间灯光数据(2015年)是NPP/VIIRS星上定标年合成数据,进行投影、剪裁、平滑等处理,空间分辨率重采样为500 m;路网数据(2015年)除了来源于Open Street Map中主干路、次干路和支路,另添加当年已通车轨道交通线网,同时为避免影响识别结果,删除零星路段及高校、住宅等区域内的人行道路。研究采用的3种数据除了夜间灯光数据属于栅格类型外,POI数据和路网数据分别为矢量点和矢量线。为了使它们的数据形式统一和进一步试验,本文利用ArcGIS 10.2平台的核密度分析工具,分别分析POI数据、路网数据空间密度分布。

## 2 局部等值线树算法

本文采用Chen等(2017)提出的局部等值线树算法,利用等值线树表示等值线图,等值线树中每个节点代表一条等值线,而每一条边代表相邻2条等值线间的拓扑关系。局部等值线树算法的3个主要步骤:寻找“种子”等值线、生成局部等值线树和

简化局部等值线树。如图2a所示,局部区域的最高值等值线a1作为“种子”等值线,然后向外搜索,直至等值线a5。同理遍历所有等值线,从而获得局部等值线树(图2b)。在局部等值线树中,依据是否存在分支划分等级,通过简化局部等值线树突出树内层级(图2c),其中A、B、C为一级节点,D和E分别为二级节点和三级节点。一级节点视为城市中心,二级及以上节点是城市中心复合区(陈佐旗等,2017)。在地理空间中,一般识别多株局部等值线树,并划分为“主树”和“次树”。相对而言,“主树”覆盖范围广,内部层级高,结构复杂。

将局部等值线树一级节点视为城市中心,如果城市中心面积较小,难以在局部占据中心地位;相反,如果城市中心面积较大,无法体现城市内部发展异质性。因此,在简化局部等值线树时,设定城市中心面积阈值区间,保证城市中心面积合理。结合已有相关研究(周新刚等,2014; Chen et al, 2017),经过多次试验,当城市中心最小面积为3 km<sup>2</sup>时,利用3种数据得到的城市中心数量趋于稳定,并且基本与城市规划和公众认知中已确定的、传统的和有发展潜力的城市中心吻合;城市中心的面积最大值会受到由等值线树中因面积较小被舍弃的节点限制,它是一个非固定值。如图2c中,即使C节点因面积较小被舍弃,A节点依然作为一个独立的一级节点,而不会将A、C和D三个节点简化成一个一级节点。



注:图中数字表示相应等值线值。

图2 局部等值线树形成及简化过程

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



### 3 结果与分析

#### 3.1 城市空间层级划分

##### 3.1.1 获取局部等值线树

结合局部等值线树算法,利用预处理后的POI、夜间灯光和路网数据分别确定6株、2株和8株局部等值线树(以下称为“生成树”,图3)。局部等值线树算法不严格受限于研究区边界,为保证等值线闭合,夜间灯光识别的区域一部分超出研究区。依据树内包含的一级节点个数,将每株树分类表示。树内城市要素联系较为紧密,覆盖一级节点越多,结构越复杂。武汉“两江交汇”,号称“百湖之市”,水域对各城市要素的集聚联通产生不同程度的影响,如POI生成树明显被两江分隔,夜间灯光生成树所受影响较小。

由图3可知,现阶段武汉三镇城市要素总体集聚水平不均衡。汉口的城市要素生成树范围明显大于汉阳,且汉口和武昌二环以内基本被覆盖。从二环向外,城市要素未被识别为生成树的“留白”区域明显增大,主要包括武昌南湖以南和汉阳大部。城市发展模式受自然、经济、政治等不同因素共同影响。回顾发展历史沿革,武汉以长江为主轴向外拓展开发,并赋予三镇不同功能定位。汉口突出商贸金融和对外交通;汉阳突出旅游和涉外设施;武昌突出科教和新兴产业。不同区域功能对人口的吸引能力不同,导致城市要素集聚水平不断倾斜。

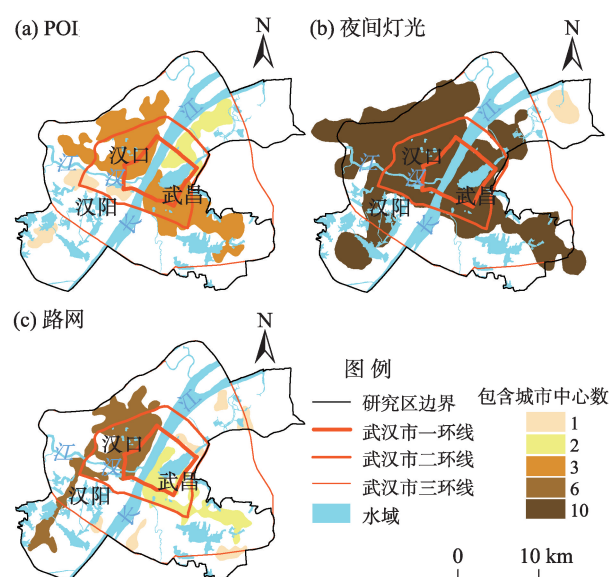


图3 局部等值线树空间分布

Fig.3 Spatial distribution of local contour trees

##### 3.1.2 划分城市要素空间集聚层级

在局部等值线树中,由一级节点向外辐射,随着层级增加,区域面积增大,当达到最高层级时,代表整株树所囊括的区域。一级节点在局部范围内要素集聚程度最高,较高级别区域依次降低,不同城市要素生成树内部的空间层级可视化如图4所示。

POI密度、夜间灯光强度和路网密度空间层级最高分别为七级、五级和四级,对应生成树作为“主树”。虽然POI识别的“主树”范围最小,但是内部空间层级最高。由一级节点向外,POI密度快速下降,形成层级差而使空间层级增大。表明POI在城市核心区密度很高,向外延伸过程中出现骤降,即从城市中心内部向外POI密度下降是一种“骤减”模式。夜间灯光识别的“主树”覆盖范围较广,而空间层级仅有五级。在空间上,夜间灯光存在溢出效应,光强高值区会影响相邻低值区,由一级节点向外表现出缓慢衰减,总体呈现一种“渐变”模式。路网是城市发展进程中的产物,多数“主树”内一级节点远离城市核心区,其密度变化比较符合“阶梯”模式。

不同城市要素的空间集聚层级与变化模式反映了城市土地利用的集约化水平具有差异性。结合图1和图4可知,中央活动区与部分综合组团滨江地带城市要素高度集聚,大多分布一级区域。表明城市核心区发展比较均衡,具备辐射影响的条件。在快速城市化背景下,武汉核心区人居环境日

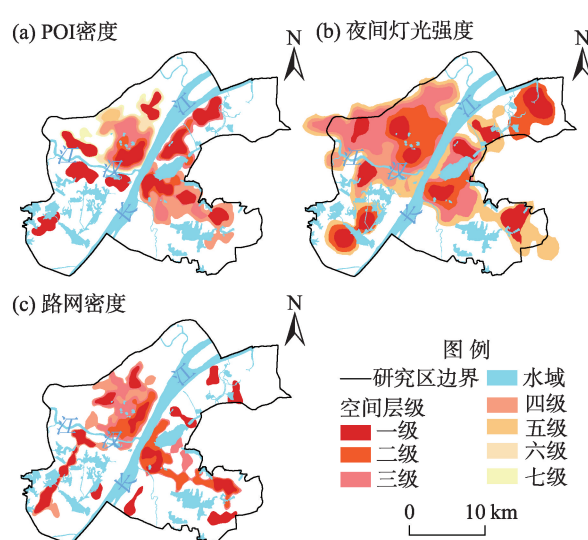


图4 局部等值线树内部要素集聚空间层级结构

Fig.4 Spatial hierarchy of element agglomeration in the local contour trees

趋饱和,离岸发展成为必然选择。不同城市要素集聚空间层级及变化模式说明,从城市核心区向外,城市土地集约化水平在不稳定降低,城市要素集聚程度下降过程中,容易在局部出现较高强度的土地利用区而形成一级节点。

### 3.2 城市中心特征分析

#### 3.2.1 城市中心识别结果

城市主中心或城市副中心统称为城市中心(Anas et al, 1998)。本文利用“城市中心”表示不同城市职能中心,分别采用POI、夜间灯光和路网识别出11个、11个和14个城市中心,并依据主要城市职能将其划分为商服中心、交通中心、工业中心、居住中心等(图5)。

在空间位置上,采用POI识别的中心分布相对集中,主要沿长江和汉江两岸以带状排列,且越远离“两江”,分布越稀疏。同时,城市中心基本向一环、二环靠拢,三环附近分布较少。采用夜间灯光识别的中心分布相对均匀,在环线附近数量相近。采用路网识别的中心数量较多,除了在内环集中,三环也多有分布。从几何形态考虑,采用夜间灯光识别的中心形态比较规则,而采用POI和路网识别的中心形态较不规则。从区域职能考虑,结合历史发展状况、公众认知以及实地调研,采用POI识别的中心主要在商圈内部,说明POI能够很好地提取城市商业活动中心;采用夜间灯光识别的中心与交通枢纽、工厂、商圈、住宅等皆有关联;采用路网有

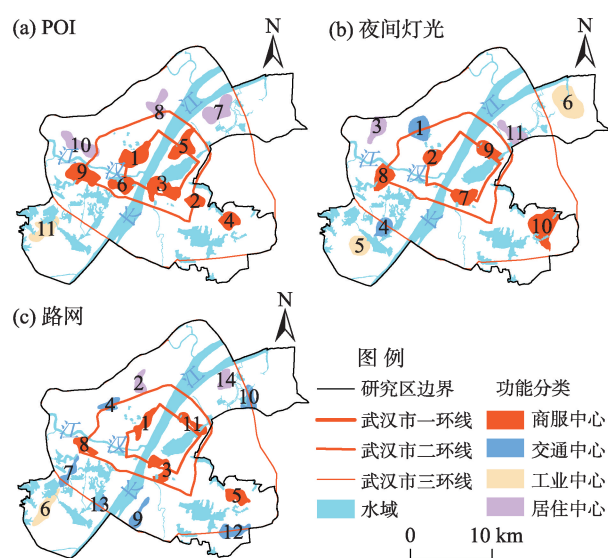
针对性地识别交通枢纽,得到区域交通中心,并且在内环识别的中心与城市典型商业区高度重合。

由不同要素获得的城市中心分布可知,武汉发展现状比较符合依据圈层、有序疏解内部人口的规划理念。结合图1和图5可知,中央活动区已经形成成熟的商服中心,能够被不同城市要素识别,如一环友谊路、首义和徐东,二环王家湾。由于人口汇集,在古田、二七、青山等综合组团内部出现了较具代表性的居住中心,然而,它们大多由单要素识别得到,有进一步发展的空间。三环仅由路网识别出交通中心,并且大多是立体交通,其他要素集聚效果相对不明显,不足以影响总体中心分布格局。同时,将在沌口和武钢识别的城市中心作为工业中心。武钢是武汉传统工业区,而沌口的不同城市要素高度集聚,较为典型。因此,武汉“商-住-工”职能模式逐渐成为不同城市中心在各圈层布局的框架。另外,武汉市现行规划建设鲁巷、杨春湖和四新3个城市副中心。其中,鲁巷与光谷联动发展,商业活动水平显著,区域中心地位表现更加突出;杨春湖能够被路网识别为城市中心,与其重点发展交通枢纽职能比较吻合。四新没有表现出发展亮点,各城市要素集聚并不明显,有必要加大建设力度,提升区域影响力,成为实质性的城市副中心。

#### 3.2.2 城市中心差异对比

采用不同数据识别城市中心本质上是获取不同城市要素高密度集聚区域。城市中心要素集聚程度由平均值反映,而集聚差异由标准差量化。分别将城市中心内POI密度、夜间灯光强度和路网密度的平均值与标准差最大值标准化后进行降序排列(图6)。

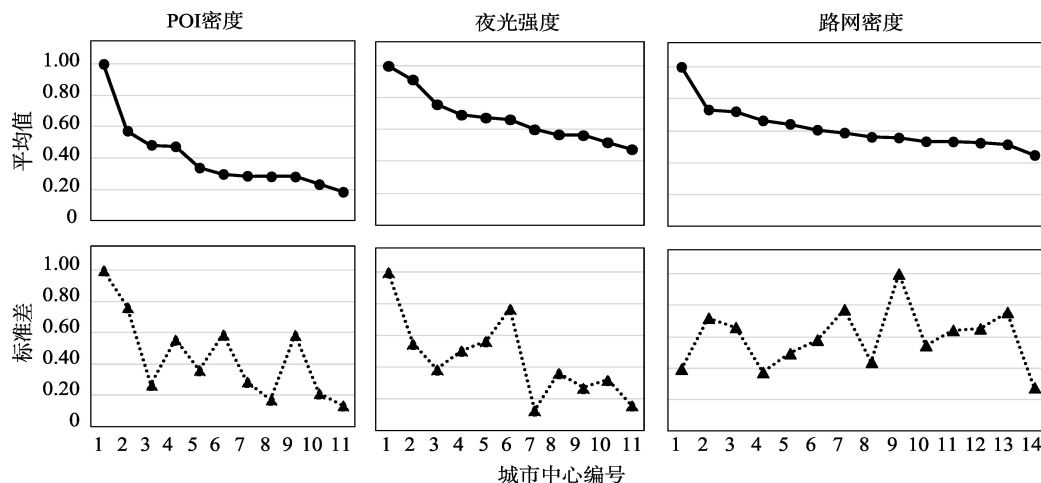
在序列上,POI密度平均值迅速下降,夜间灯光强度和路网密度下降比较平缓。依据城市要素集聚程度较高的城市中心的职能和不同城市职能中心的数量,确定采用不同数据识别各城市职能中心的能力,发现采用POI主要识别商服中心;虽然采用夜间灯光识别较多的商服中心,但是较高强度区域主要被识别为交通中心和工业中心(2号友谊路除外);采用路网识别的城市中心中,交通中心的数量居多,结合城市发展历程,1号友谊路路网密度虽明显高于其他中心,但商业影响力较高,若仅考虑主要城市职能,其作为商服中心更加符合实际。同理,3号首义、5号鲁巷等高密度路网区域也被确定为商服中心。另外,POI密度和夜间灯光强度标准



注:图中数字表示城市中心编号。

图5 采用不同数据识别城市中心的结果

Fig.5 Results of urban centers from different data



注:城市中心编号位置如图5所示。

图6 统计指标折线图

Fig.6 Values of each statistical index

差的最高值也是平均值的最高值,并且标准差具有随着平均值降低而下降的趋势;虽然路网密度标准差上下波动,但是9号青菱立交、7号龙阳大道和13号梅子立交等典型交通中心内仅存在小范围的高密度路网(如道路交叉口),而整个区域呈不规则带状,路网密度标准差较大。以上表明,采用同种数据识别的不同城市中心之间城市要素集聚水平存在差异;而采用不同数据识别的城市中心职能各有偏向。在同种数据识别的城市中心中,城市要素集聚程度越高,越容易造成区域总体发展水平不均衡。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

城市空间结构从宏观上体现城市内部发展状况,是城市地理研究的重要内容之一。本文采用POI、夜间灯光和路网分别识别武汉多中心空间结构,通过对比获得以下主要结论:

(1) 不同城市要素在武汉三镇的总体集聚水平不均衡,汉口明显高于汉阳。并且,不同要素的较高集聚区几乎覆盖汉口和武昌的二环以内区域。

(2) 综合不同城市要素集聚的空间层级与变化模式可知,城市核心区发展比较均衡,具备辐射影响的条件。从城市核心区向外,城市土地集约化水平在不稳定降低,容易在局部出现较高强度的城市要素集聚区(城市中心)。

(3) 沿武汉环线的“商-住-工”职能模式逐渐成

为不同城市中心在各圈层布局的框架。内环以及二环区域已经形成成熟的商服中心,能够被不同城市要素识别,发展相对均衡;二环附近综合组团内部出现了具有代表性的居住中心,但是大多被单一要素识别,有进一步发展的空间;三环外的沌口和武钢主导发展工业,是典型的工业中心。

### 4.2 讨论

一般而言,采用不同数据识别的城市中心职能具有侧重。本文采用POI主要识别商服中心;采用夜间灯光虽然可以识别不同类型的城市中心,但是交通中心和工业中心的识别效果更突出;采用路网相对单一地识别交通中心,而在城市核心区识别的城市中心与传统商业区高度吻合。探究数据本身,池娇等(2016)将原始POI数据按实体职能分为6大类,其中商服功能POI居多,因此,在研究城市空间结构时,采用POI识别商服中心对城市的商业职能研究具有重要意义(吴康敏等,2016)。同理,夜间灯光和路网分别代表夜晚人类社会活动和道路交通,结合二者能够更加全面地认识市内交通。随着获取数据手段的提高,进一步综合多源数据识别城市中心,能够弥补单一数据在不同职能方面识别的不足。

从城市中心向外,POI、夜间灯光和路网的密度(或强度)变化相对呈现“骤减”“渐变”和“阶梯”的衰减模式。在城市核心区,各要素高度集聚,使得土地充分、高效利用,而随着向外扩展,逐渐出现层级差异。武汉在加强多中心空间结构建设的同时,需因势利导,兼顾逐步消除城市空间层级要素集聚差



异,整体提高城市土地利用效率,进而实现城市均衡发展。另外,单从POI密度空间“骤减”模式来看,在城市扩张过程中,武汉可能存在城市设施发展滞后、城市物理空间的城市化跟不上城市人口城市化的现象。当然,这需要结合城市人口发展状况进一步证实。

## 参考文献(References)

- 奥沙利文. 2013. 城市经济学 [M]. 周京奎, 译. 北京: 北京大学出版社. [O'Sullivan A. 2013. Urban Economics. Translated by Zhou J K. Beijing, China: Peking University Press. ]
- 陈佐旗. 2017. 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. [Chen Z Q. 2017. A multiscale analysis on urban area and spatial structure based on nighttime light data. Shanghai, China: East China Normal University. ]
- 池娇, 焦利民, 董婷, 等. 2016. 基于POI数据的城市功能区定量识别及其可视化 [J]. 测绘地理信息, 41(2): 68-73. [Chi J, Jiao L M, Dong T, et al. 2016. Quantitative identification and visualization of urban functional areas based on POI data. Journal of Geomatics, 41(2): 68-73. ]
- 谷岩岩, 焦利民, 董婷, 等. 2018. 基于多源数据的城市功能区识别及相互作用分析 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 4(7): 1-9. [Gu Y Y, Jiao L M, Dong T, et al. 2018. Identification and interaction analysis of urban functional areas based on multi-source data. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 4(7): 1-9. ]
- 谷一桢, 郑思齐, 曹洋. 2009. 北京市就业中心的识别: 实证方法及应用 [J]. 城市发展研究, 16(9): 118-124. [Gu Y Z, Zheng S Q, Cao Y. 2009. The identification of employment center in Beijing. Urban Development Studies, 16(9): 118-124. ]
- 霍华德. 1898. 明日的田园城市 [M]. 金经元, 译. 北京: 商务印书馆. [Howard E. 1898. Garden cities of tomorrow. Translated by Jin J Y. Beijing, China: Commercial Press. ]
- 蒋丽, 吴缚龙. 2009. 广州市就业次中心和多中心城市研究 [J]. 城市规划学刊, (3): 75-81. [Jiang L, Wu F L. 2009. A study on Guangzhou's employment subcenters and polycentricity. Urban Planning Forum, (3): 75-81. ]
- 蒋丽, 吴缚龙. 2013. 2000-2010年广州人口空间分布变动与多中心城市空间结构演化测度 [J]. 热带地理, 33(2): 147-155. [Jiang L, Wu F L. 2013. Guangzhou population spatial distribution and polycentricity spatial structure evolution. Tropical Geography, 33(2): 147-155. ]
- 焦利民, 李泽慧, 许刚, 等. 2017. 武汉市城市空间集聚要素的分布特征与模式 [J]. 地理学报, 72(8): 1432-1443. [Jiao L M, Li Z H, Xu G, et al. 2017. The characteristics and patterns of spatially aggregated elements in urban areas of Wuhan. Acta Geographica Sinica, 72(8): 1432-1443. ]
- 罗震东, 朱查松. 2008. 解读多中心: 形态、功能与治理 [J]. 国际城市规划, 23(1): 85-88. [Luo Z D, Zhu C S. 2008. Understanding polycentricity by configuration, function and governance. Urban Planning International, 23(1): 85-88. ]
- 钮心毅, 丁亮, 宋小冬. 2014. 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, (6): 61-67. [Niu X Y, Ding L, Song X D. 2014. Understanding urban spatial structure of Shanghai central city based on mobile phone data. Urban Planning Forum, (6): 61-67. ]
- 沙里宁. 1943. 城市, 它的生长、衰退和将来 [M]. 顾启源, 译. 北京: 中国建筑工业出版社. [Saarinen E. 1943. City, its development, decline and future. Translated by Gu Q Y. Beijing, China: China Building Industry Press. ]
- 施歌, 江南, 姚恋秋, 等. 2017. 基于GIS和兴趣点(POI)数据的城市中心体系识别方法研究: 以上海市为例 [J]. 现代测绘, 40(6): 27-30. [Shi G, Jiang N, Yao L Q, et al. 2017. Study on the identification of urban center system based on GIS and POI: A case study of Shanghai. Modern Surveying and Mapping, 40(6): 27-30. ]
- 孙斌栋, 陈浩. 2016. 城市空间结构对地价的影响: 基于多中心的视角 [J]. 城市问题, (4): 31-38. [Sun B D, Chen H. 2016. The influence of urban spatial structure on land price is based on multi-center perspective. Urban Problems, (4): 31-38. ]
- 孙斌栋, 丁嵩. 2017. 多中心空间结构经济绩效的研究进展及启示 [J]. 地理科学, 37(1): 64-71. [Sun B D, Ding S. 2017. Progress and implications for polycentric spatial structure's effect on economic performance. Scientia Geographica Sinica, 37(1): 64-71. ]
- 孙斌栋, 潘鑫. 2008. 城市空间结构对交通出行影响研究的进展: 单中心与多中心的论争 [J]. 城市问题, (1): 19-22. [Sun B D, Pan Y. 2008. Research progress on the influence of urban spatial structure on traffic and travel: The debate between single center and multi-center. Urban Problems, (1): 19-22. ]
- 孙铁山, 王兰兰, 李国平. 2012. 北京都市区人口: 就业分布与空间结构演化 [J]. 地理学报, 67(6): 829-840. [Sun T S, Wang L L, Li G P. 2012. Distributions of population and employment and evolution of spatial structures in the Beijing metropolitan area. Acta Geographica Sinica, 67(6): 829-840. ]
- 孙铁山, 王兰兰, 李国平. 2013. 北京都市区多中心空间结构

- 特征与形成机制 [J]. 城市规划, 37(7): 28-32. [Sun T S, Wang L L, Li G P. 2013. Characteristics and formation mechanism of polycentric spatial structure in Beijing metropolitan area. *Urban Planning Review*, 37(7): 28-32. ]
- 孙斌栋, 魏旭红. 2014. 上海都市区就业: 人口空间结构演化特征 [J]. 地理学报, 69(6): 747-758. [Sun B D, Wei X H. 2014. Spatial distribution and structure evolution of employment and population in Shanghai metropolitan area. *Acta Geographica Sinica*, 69(6): 747-758. ]
- 王桂新, 魏星. 2007. 上海从业劳动力空间分布变动分析 [J]. 地理学报, 62(2): 200-210. [Wang G X, Wei X. 2007. Change of labor force spatial structure in Shanghai from 1996 to 2001. *Acta Geographica Sinica*, 62(2): 200-210. ]
- 吴康敏, 张虹鸥, 王洋, 等. 2016. 广州市多类型商业中心识别与空间模式 [J]. 地理科学进展, 35(8): 963-974. [Wu K M, Zhang H O, Wang Y, et al. 2016. Identify of the multiple types of commercial center in Guangzhou and its spatial pattern. *Progress in Geography*, 35(8): 963-974. ]
- 杨俊宴, 章飙, 史宜. 2012. 城市中心体系发展的理论框架探索 [J]. 城市规划学刊, (1): 33-39. [Yang J Y, Zhang B, Shi Y. 2012. The theoretical frameworks of urban center system development. *Urban Planning Forum*, (1): 33-39. ]
- 张亮, 岳文泽, 刘勇. 2017. 多中心城市空间结构的多维识别研究: 以杭州为例 [J]. 经济地理, 37(6): 67-75. [Zhang L, Yue W Z, Liu Y. 2017. Multi-dimensional identification of multi-center urban spatial structure: A case study of Hangzhou. *Journal of Economic Geography*, 37(6): 67-75. ]
- 周新刚, 乐阳, 叶嘉安, 等. 2014. 动态数据空间分析的不确定性问题: 以城市中心识别为例 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 39(6): 701-705. [Zhou X G, Yue Y, Ye J A, et al. 2014. Uncertainty in spatial analysis of dynamic data: Identification city center. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 39(6): 701-705. ]
- Anas A, Arnott R, Kenneth A S. 1998. Urban spatial structure [J]. *Journal of Economic Literature*, 36(3): 1426-1464.
- Chen Z Q, Yu B L, Song W, et al. 2017. A new approach for detecting urban centers and their spatial structure with nighttime light remote sensing [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11): 6305-6319.
- Harris C D, Ullman E L. 1945. The nature of cities [J]. *Annals of the American Academy of Political & Social Science*, 242(4): 7-17.
- Huang Q Y, David W. S. Wang. 2016. Activity patterns socioeconomic status and urban spatial structure what can social media data tell us [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(9): 1973-1898.
- Leslie T F. 2009. Identification and differentiation of urban centers in Phoenix through a multi-criteria kernel-density approach [J]. *International Regional Science Review*, 33(2): 205-235.
- Liu X, Gong L, Gong Y, et al. 2015. Revealing travel patterns and city structure with taxi trip data [J]. *Journal of Transport Geography*, 43(5): 78-90.
- Lüscher P, Weibel R. 2013. Exploiting empirical knowledge for automatic delineation of city centers from large-scale topographic databases [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 37(2): 18-34.
- Sun Y, Fan H, Li M, et al. 2016. Identifying the city center using human travel flows generated from location-based social networking data [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(3): 480-498.
- Yu W, Ai T, Shao S. 2015. The analysis and delimitation of central business district using network kernel density estimation [J]. *Journal of Transport Geography*, 45(3): 32-47.
- Zhu J, Sun Y. 2017. Building an urban spatial structure from urban land use data: An example using automated recognition of the city centre [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4): 122. doi: 10.3390/ijgi6040122.



## Identification of the polycentric spatial structure in Wuhan City based on multisource data

MAO Shuaiyong<sup>1</sup>, JIAO Limin<sup>1,2\*</sup>, XU Gang<sup>1</sup>, LI Zehui<sup>1</sup>

(1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Examining the spatial agglomeration level and hierarchy differences of various urban elements and the distribution of diverse functional centers is significant for guiding the development and regulating the plans of the polycentric spatial structure of cities. City center is represented by various urban elements. It is difficult to fully identify and recognize the urban spatial structure by using a single data source. Thus, combining different types of data to deeply understand the status of urban internal development is necessary. This study used points of interest (POI), nighttime light, and road network data and adopted the local contour tree algorithm to identify the polycentric spatial structure in Wuhan City. The results show that: 1) The overall agglomeration level of various urban elements in the three towns of Wuhan is not balanced—the agglomeration level is higher in Hankou and Wuchang, and lower in Hanyang. 2) The development of the core area of Wuhan City is relatively mature. In the process of outward expansion, various urban elements tend to aggregate in local areas to form an urban center. 3) Considering the zonal development of Wuhan City, the functional distribution model of business–housing–industry corresponding to the ring roads of the city center was gradually established. The inner ring and the second ring regions have formed stable business service centers. Representative residential centers appeared in the multifunctional clusters near the second ring road. Similarly, Zhuankou and Wugang outside the third ring road led the development of industries, and are typical industrial centers.

**Keywords:** polycentric spatial structure; POI; nighttime light; road network; local contour tree algorithm; Wuhan City