

引用格式: Kang Xiang, Pan Jianjun, Zhu Yanxiang, *et al.* A Method for Identifying the Urban Nuclei based on POI Big Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2021, 36(1): 237-246. [康翔, 潘剑君, 朱燕香, 等. 一种基于POI大数据的城市核心区识别方法[J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(1): 237-246.]
doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2021.1.0237

一种基于POI大数据的城市核心区识别方法

康翔¹, 潘剑君², 朱燕香², 白浩然², 卢晓丽²

(1. 南京农业大学 公共管理学院, 江苏 南京 210095;

2. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 城市核心区在城市功能的发挥中扮演着重要的角色, 多核心式城市结构已成为一种重要的城市空间模式, 但目前对于城市核心区识别研究却较为缺乏, 快速而准确地提取城市核心区对于管理者进行精细的管理与规划有重要意义。研究提出一种基于兴趣点大数据(Point of Interest, POI)的城市核心区识别方法, 结果发现应用该方法成功识别了案例城市的核心区, 提供了其空间范围, 对于城市核心区结构也有很好的探测效果。另外, 通过相关检验证明了识别结果的合理性与可靠性。与传统研究不同的是, 该方法可以提取城市核心区范围, 并且方法简洁。研究结果表明: 这种基于POI大数据的城市核心区识别方法能准确定位城市核心区位置, 为日后城市规划与城市精细管理提供有价值的空间位置参考信息。

关键词: 城市核心区; POI大数据; 城市多核结构; 城市规划

中图分类号: TP75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2021)01-0237-10

1 引言

快速的城市化与人口的飞速增长使得发展中国家社会经济高速增长, 与此同时也导致了城市在空间规模上的扩张与城市内部结构的调整^[1-3]。多核心式城市结构已经日益成为一种趋势, 这种结构缓解了由单中心式城市结构所导致的各个方面的问题, 比如交通拥堵、人口密度过大、环境恶化等典型的“城市病”^[4-6]。多核心化是城市规划中的一个重要的概念, 这种“多核心”是由城市若干大小不等的核心区域在空间上进行合理分布而形成的^[7-8]。Giuliano等^[9]认为城市核心区是指具有高就业密度的空间连续区域, 因此核心区的城市核心功能应该都具有很强的分布密度, 并显著与其他空间区域相区别。城市核心区是城市空间结构中重要的组成, 其聚集了城市的核心服务功能, 支撑着城市经济、社会和文化的发展。因此, 准确地在空间识别城市

核心区域与多核心城市结构分析对于城市规划与城市的可持续发展具有重要的意义, 其不但可以为城市规划者提供城市当前的核心区具体情况, 还可以便于城市领域的其他研究, 比如为城市小尺度的人口、气候、环境等研究提供重要的辅助参考信息。传统的城市核心区识别大多基于统计调查数据, 因此会导致其在更新效率上存在较大弊端。

大数据技术在近些年已经广泛应用于城市领域的研究, 为智慧城市的发展提供了重要的数据支持。POI是现代电子地图中包含的重要信息, 为人们提供了重要的空间参考信息, 它的出现极大地推动了空间地理信息技术的应用^[10]。作为一种重要的空间信息的体现, POI数据可以提供城市空间有关人类活动的信息。正是由于POI在城市空间功能定位方面的优势, 它被研究人员广泛应用于城市研究中。Hu等^[11]结合城市POI数据与遥感影像数

收稿日期: 2019-09-18; 修订日期: 2020-12-21

基金项目: 江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

作者简介: 康翔(1995—), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 主要从事城市遥感与GIS应用研究。E-mail: Kangxiang9523@163.com

通讯作者: 潘剑君(1958—), 男, 江苏南京人, 教授, 博士, 主要从事土壤调查与评价研究。E-mail: Jpan@njau.edu.cn

据进行城市用地分类制图;池娇等^[12]应用POI数据定量识别了城市单一功能区与混合功能区;薛冰等^[13]利用城市POI数据研究了沈阳市住宅与零售业之间的空间关系;崔真真等^[14]基于POI数据对于城市生活便利程度进行了评价;曹芳洁等^[15]基于POI数据提取了北京市商业中心;浩飞龙等^[16]利用长春市中心城区的商业POI数据对于城市商业空间布局进行探索等。

以往的研究多关注城市功能的定位、空间分布研究,集中在城市单一功能区的研究上,而城市的核心区并不单是一种功能的空间集聚,并且以往研究对于城市空间多核心式结构的研究也比较缺乏,尤其是城市核心区的识别方法。因此,本文基于城市POI大数据提出一种核心区识别方法,通过计算城市功能POI核密度与各类核密度整合分析,将城市POI核密度空间分布与地形进行类比,然后使用

一种等值线树方法对城市的多核心进行识别,并基于此分析城市多核心式空间结构。为城市核心区研究与未来城市规划提供重要的参考信息,有助于城市空间的可持续发展。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

南京市(31°14"~32°37" N,118°22"~119°14" E)位于中国东部地区,是国务院批复的东部地区重要的中心城市,也是东部重要的交通枢纽城市,作为全国城市化水平前三省份的省会城市,南京在长江三角洲城市群扮演着重要的角色。南京市在经过近20 a快速的城市化发展之后,为适应人口的不断增长与城市的扩张,城市将“多核心”作为空间发展的目标。因此,将南京作为研究区具有较强的代表性。本研究区范围与各类POI数据空间分布如图1所示。

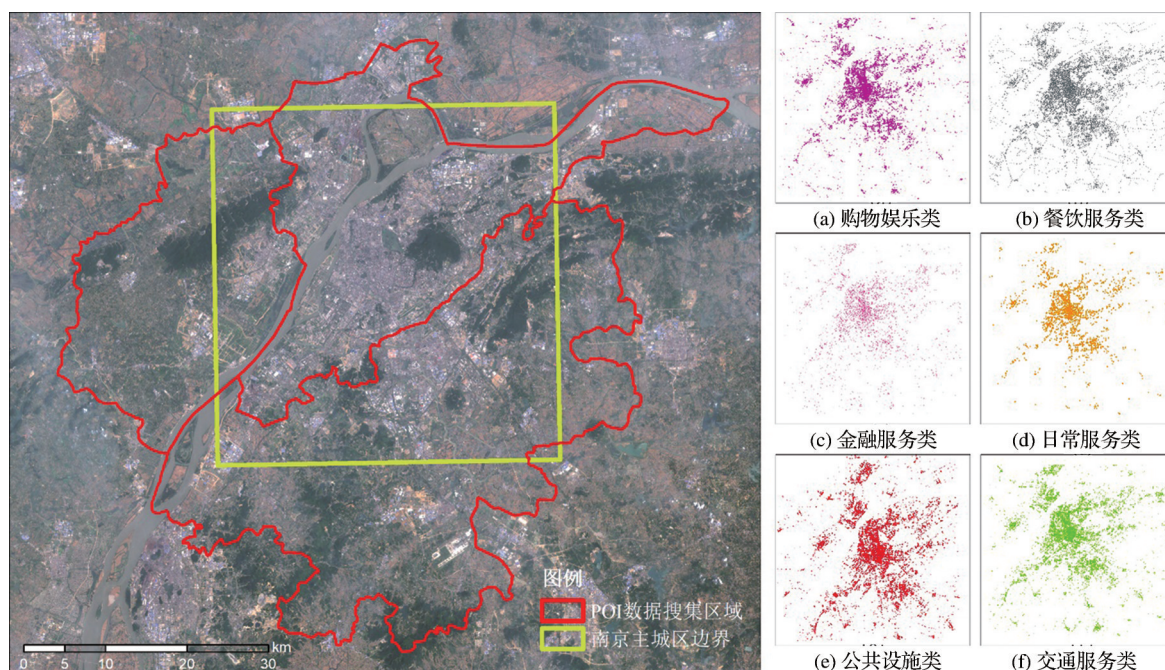


图1 研究区及POI数据分布图

Fig.1 Study area and POI data distribution

2.2 数 据

2.2.1 地理兴趣点(POI)数据

POI是大数据时代应用较为广泛的一种地理大数据,具有较高空间精度,通常与城市功能、城市规划与人口分布相联系,从而被广泛应用于城市研究中。每一条POI数据都包含丰富且有价值的对象属性信息(如用地类型、文本地址等)与空间位置信息(如经纬度、地理特征等),而特定的POI类型则

与人类的活动密切相关,比如城市的购物中心、公共服务中心等,都与城市功能与人类的活动有很强的关联性。因此,POI可以为我们提供城市或者社会系统的功能信息,有助于进行精细的城市研究。研究使用的POI数据来自高德地图服务,通过其应用程序接口进行收集。高德地图是中国使用最为广泛的桌面与移动地图服务的提供商之一,本研究选取了基于高德地图收集的超过200 000条城市

POI信息来进行城市核心区识别工作^[17]。

2.2.2 其他辅助数据

为了对城市核心区识别结果进行检验,城市核心区规划数据将应用于本研究。南京市城市核心区规划(2011~2020年)由国务院审批,其来源于南京市城市规划局。需要特别说明的是,因为城市规划对于城市核心区进行了多个层次的规划,并且规划完成期尚未完全结束,为了使精度验证更具有说服力,而且考虑到规划的实施效果,本研究选取了等级较高的核心区,保证了验证对象的可靠性。此外,研究还通过对比与城市核心区联系密切的城市夜间灯光与城市热力图数据,具体为采用高分辨率珞珈一号夜间灯光数据与百度热力图,对于识别结果的合理性与客观性进行详细分析与讨论,以此来综合评估本方法的可行性与有效性。

3 研究方法

3.1 理论基础

城市核心区是城市综合服务功能的集中聚集地,是拥有密集的人口活动与商业强度的空间连续区域,而且在空间上具有一定规模。这些特点反映在POI数据信息上应该是:具有较高的城市功能密度并且具有一定的空间影响范围,特别是商业、服务业与金融业等,并且这些区域通常包含了城市的CBD等核心区域。因此,本文的识别将基于以上理论进行。

城市核心区的提取基于城市核心区代表POI类别的核密度计算结果,利用主成分分析法进行城

市核心区功能密度的集成,然后使用一种特殊的等值线树方法对于城市的核心区以及核心区结构进行空间分析,最后与城市规划数据、城市夜间灯光数据与城市区域热力图进行综合比较分析,验证提取的准确性。具体的研究路线如图2所示。

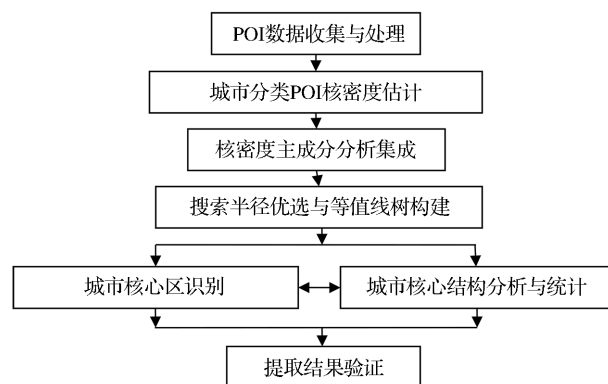


图2 城市核心区识别流程图

Fig.2 The flow chart of urban nuclei identification

3.2 数据处理

为保证数据的一致性、普遍性与拓展性,在POI数据获取时遵循了张玲提出的POI数据分类标准^[18-19],根据城市核心区高人口密度、高服务业密度、高交通密度等特点,将POI数据进行重新组合并选取研究需要的类别,比如像宗教设施、住宅区等一些与城市核心区联系弱的类别进行排除,突出城市核心区在城市综合服务中不可替代的核心地位^[20]。因此,将从以下6个类别收集城市POI数据(表1),并对数据进行清洗,剔除无效数据,以保证研究的准确性与客观性。

表1 城市功能POI数据

Table1 The POI data of urban function

POI数据分类	描述	数量	占比/%
购物娱乐类	购物广场、商场、超市、便利店等	71 268	35.44%
餐饮服务类	饭店、餐馆、饮食市场、美食城等	49 277	24.50%
金融服务类	银行、ATM、保险公司、证券公司、财务公司等	6 593	3.28%
日常服务类	水电气服务、生活服务等	45 739	22.75%
公共设施类	应急场所、公共厕所、报刊亭等	4 595	2.29%
交通服务类	地铁站、公交站、停车场等	23 621	11.75%
总计		201 093	100.00%

3.3 各类POI数据核密度计算与整合

核密度(Kernel density)是一种分析要素在其周围的密度大小的指标,可以显示某种要素在空间上的分布模式与强度。分析时以要素所在位置为中心,设置的阈值为半径进行密度分析,中心所在位置密度最大,从中心向边缘处四周递减直至为

零^[21-22]。在本研究中,每个POI数据记录为一个要素,其密度估算的表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (1)$$

其中: n 为每类POI样本大小, h 是搜索半径(阈值), $x-X_i$ 表示估计要素与中心点的距离; $k(*)$ 为核函

数;根据前人的研究发现,核函数对于核密度的影响不大,而搜索半径相对核函数的形式而言对于核密度分析结果的影响就非常明显,在核密度分析时应该加以重点考虑,因此本研究在核密度计算时主要讨论了搜索半径 h 对于核密度估计的影响^[23]。

各类别POI数据的核密度计算结果分别代表了城市核心区的不同特征,对于城市核心区的识别起不同的作用,而这些类别的权重却较难判断,相互之间难免会存在一定的相关性。因此,为了集成多类核密度结果便于下一步核密度等值树的构建,尽可能多地反映城市核心区各类POI信息,本研究使用主成分分析方法对6种核密度数据进行空间集成,在分析中,第一主成分最大限度地集成了各核密度的信息,因此选用包含信息最多的第一主成分进行研究,操作基于ArcGIS10.6。

3.4 城市功能核密度等值线树生成

研究发现:经过主成分分析之后的核密度栅格图层与数字高程图(DEM)在形式上可以进行类比,DEM的高程值相似于核密度图层的密度值,低高程值点与低核密度点对应。DEM的一个重要分析途径就是等高线,因此本研究基于城市的综合核密度图层生成平滑的等值线,等值线的间距选择尽可能满足既能反映城市细节而又不至于数据量过大的要求。对于生成的城市核密度等值线图,使用一种特殊的等值线树法进行核心区提取,Chen等^[1]曾将这种方法应用于夜间灯光数据上并取得了不错的效果,但是夜间灯光数据是城市灯光强度的直接反映,在夜间具有高强度灯光的区域可能也会存在一些制造业或其他产业用地,而基于城市POI核密度数据的核心区提取在一定程度上可以改变这种情况。此方法最重要的是等值线树的构建与概括,具体的构建方法如图3所示。

根据图3提取流程所示,等值线树是由节点与连线组成的,每一个节点对应于等值线图中的一条闭合的等值线,而连线则反映两个等值线之间的空间关系。不包含任何等值线的封闭等值线作为种子等值线,可以被视为城市核心区强度最为明显的区域,如果某等值线最近的外围等值线只包含此一条等值线,则这两条等值线属于同一等级,可以进行简化。另外,需要注意的是,种子等值线若被包含于同一等值线内,考虑到空间上的临近与影响范围的重合,将其也视为同一等级(如将A与B进行合并简化)。在图中,A、B包含于核心区D内,C、D同

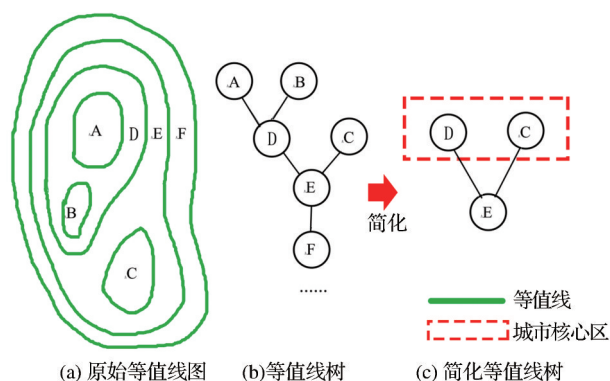


图3 等值线树构建、简化与城市核心区域识别

Fig.3 Building and simplifying the contour line tree, urban nuclei identifying

等级,共同包含在次一级的核心区E中,由此基于等值线树法的判断规则,将D、C视为城市核心区域,这种方法将在生成的城市核密度第一主成分中进行迭代应用。另外,城市核心区在空间上必须具有一定的规模,因此,此处设置面积 1 km^2 为提取核心区初步结果的阈值,对于面积小于阈值的城市核心区进行舍弃,最终得到城市核心区的提取结果。在Chen等^[1]的基于NPP-VIIRS夜间灯光数据的城市核心区研究中,他们采用 5 km^2 作为阈值并取得了较好的效果,但考虑本研究使用精度更高的POI数据,为了更加精细反映城市细节,将阈值设置为 1 km^2 。

3.5 提取结果比较与验证

众所周知,有关城市核心区的资料非常缺乏,特别是城市核心区范围的资料少之又少。因此,为了验证本文方法的有效性与适用性,拟从两个视角对于城市核心区识别结果进行评估。首先,参考了南京市2011~2020年城市的核心区规划资料,这份由国务院批复的南京市城市规划包含了城市核心区规划,对于城市的主要核心区在空间上进行了位置的确定,但是缺乏核心区范围的划定。这份规划是在城市原有发展基础上进行规划的,并且规划期已经接近尾声,其核心区的位置资料仍能为识别结果提供比较好的参照,以此来对本研究的方法进行适用性检测。其次,为了进一步对本文方法的性能进行评估与分析,根据Chen等^[1,24]的研究发现,城市核心区域与夜间灯光具有密切的关系,根据夜间灯光遥感影像衍生的灯光强度可以作为城市核心区重要的参考,其与人类活动强度具有直接的关系。更重要的是之前的研究大都基于较粗分辨率的NPP-VIIRS影像数据(分辨率约 500 m),发射于2018年6月的珞珈1号(分辨率约 130 m)高分辨率

夜间灯光卫星为城市更加精细的灯光属性研究提供了可能,并且已经被学者证明其对于城市功能具有很好的拟合效果,对于人类活动与经济状态的反映也更为理想,虽然不能直接用于城市核心区的验证,但其与本文识别结果的一致性能从侧面反映该方法的有效性^[25]。因此,珞珈1号夜间灯光影像可以作为一种参考数据来辅助验证城市核心区识别的效果。除此之外,还将与百度地图热力图进行对比分析,选取2020年1月7日中午12:00时南京市新街口、夫子庙与百家湖区域热力图为对比验证资料。百度热力图以LBS平台手机用户地理位置数据为基础,通过可视化反映区域人口空间分布趋势,人流量与人口聚集是城市核心的一个重要因素,因此,验证工作以此作为另一条途径来进行识别效果判断。对比验证分析具体流程如下:将识别的城市核心区与经过处理的夜间灯光数据、百度热力图进行目视对比来验证空间范围的一致性,从侧面反映该方法的有效性与所识别城市核心区的合理性。

4 结果与讨论

4.1 POI核密度计算与整合

基于6种与城市核心区密切相关的POI数据,进行了核密度计算,重点研究了搜索半径对于城市POI核密度的影响,通过对比优选城市核密度的搜索半径以供后续分析。以城市餐饮服务类POI数据为例,如图4所示,可以发现搜索半径 h 的增大致使空间图像更加平滑,但是牺牲了城市的空间细节,因此,为了在保证平滑的情况下,尽可能显示更多的城市空间细节,研究选择500 m作为搜索半径进行核密度估计。

基于ArcGIS10.6软件,以500 m为搜索半径对6种城市POI数据进行核密度分析后,使用主成分分析方法提取包含信息量最大的第一主成分作为城市综合功能密度图层。主成分分析结果如图5所示,可以发现,综合功能密度图在空间上有明显的聚集趋势,这些区域往往承载着城市的核心功能,并且与其他区域形成较为明显的反差,有助于进行下一步的识别与提取工作。

4.2 等值线树构建与城市核心区识别

考虑到计算与提取的便捷,选取150 m作为等值线间距生成等值线图层,其理由为:较小的等值线间距确实可以使结果更加精细,但必须考虑到可

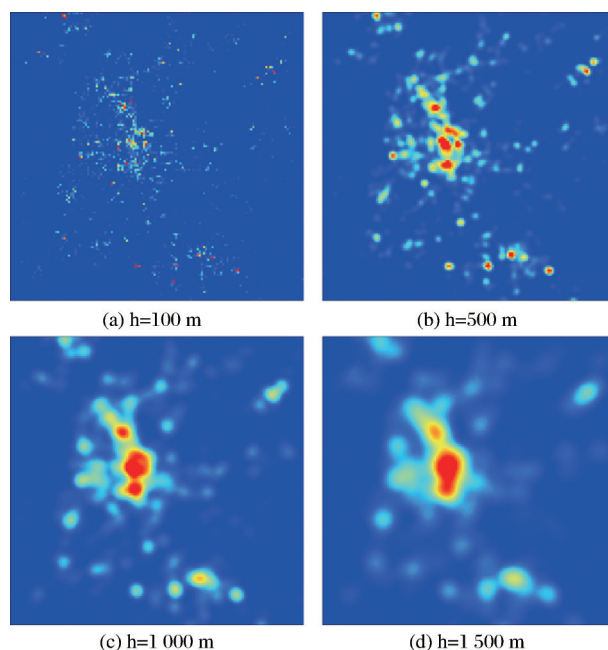


图4 不同搜索半径下餐饮服务核密度结果

Fig.4 The kernel density results of dining service under different search radius

操作性与识别的便捷性。另外,在此基础上删除破碎无意义的线段。结果如图6所示,从结果中可以发现,城市的综合核密度等值线在市中心高度聚集,但在周边也散布有等值线,每个空间连续的等值线空间组合结构都构成了一个等值线树,有较为复杂的树结构,比如被所有人都接受的新街口核心区域,而在另外一些区域,等值线的结构较简单,因此可以认为:较大的城市核心区域的等值线树结构一般较为复杂,而小规模的城市核心区或者等级较低的核心区域结构较为简单。

基于上述等值线树方法,对于城市的综合核密度等值线进行提取、简化与识别,识别结果图7所示,提取了13个城市核心区(A-M),可以发现城市核心地区明显呈现出空间的多核心式结构,面积最大的A区域为被人们所公认的南京新街口核心区域,新街口核心区早在民国时期就被确立为城市核心区域,被誉为“中华第一商圈”。城南核心区已经初具规模,面积仅次于新街口地区,而河西城市核心区域在经过多年的发展之后开始呈现出空间上的集聚效应;城东的核心区较少,且面积小。另外,在近几年江北新区的建设中,在江北地区出现一些较大的城市核心区。其他较小的核心区都在城市空间呈不规则散布模式,而在实地调查中发现,这些核心区往往与大型的商场、写字楼等具有一定联系。

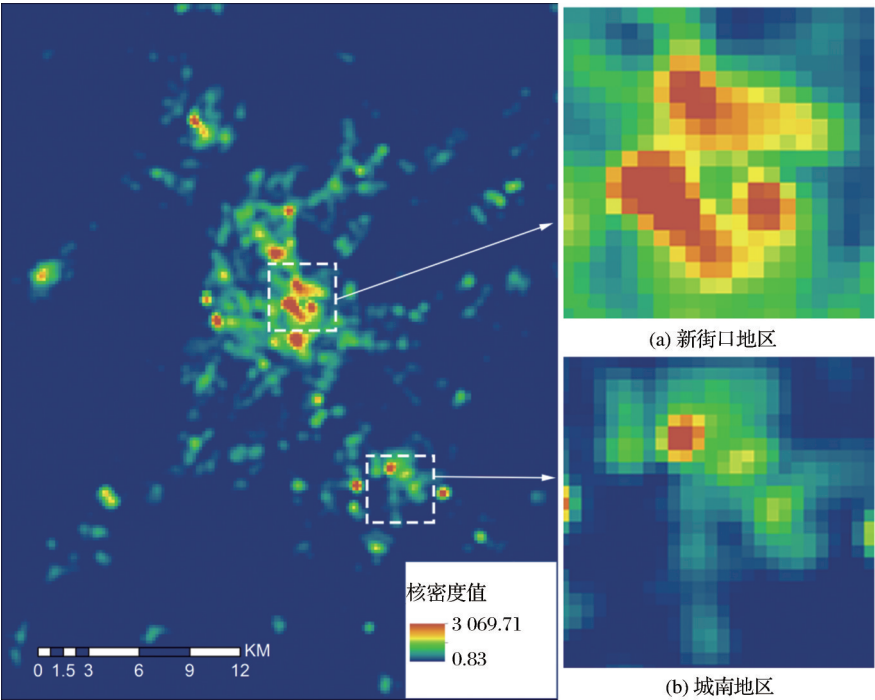


图 5 核密度集成结果

Fig.5 The integrated results of kernel density

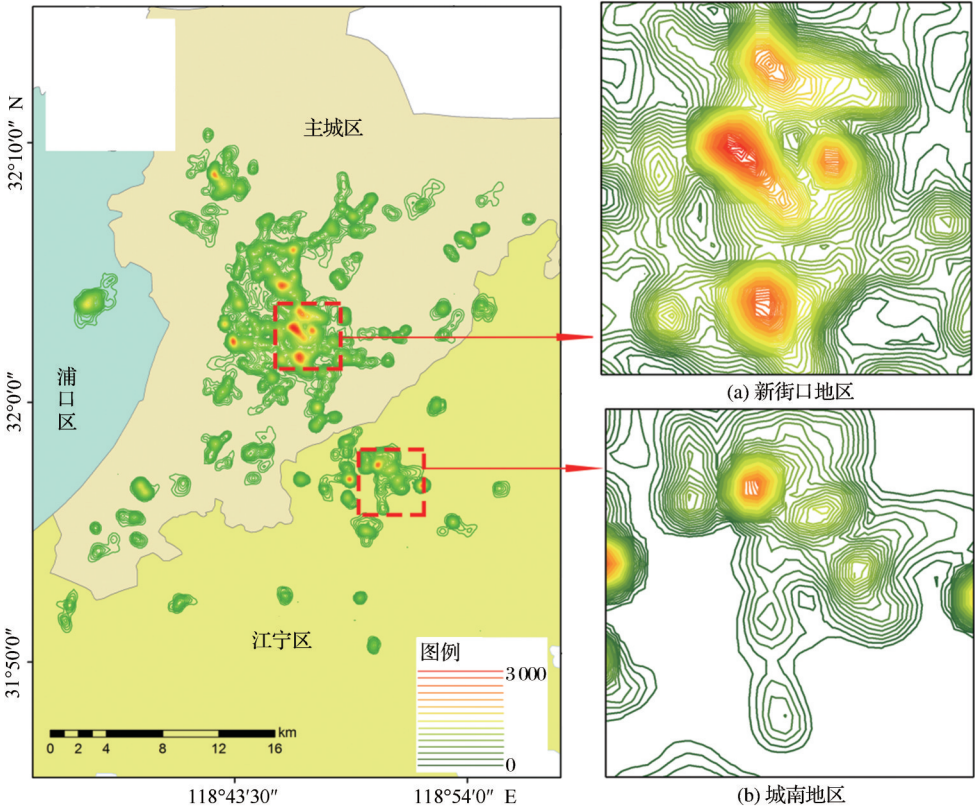


图 6 城市核心区等值线

Fig.6 Counter line of urban nuclei

4.3 方法评估与验证

为了验证方法的适用性,研究将从多个方面评估识别结果的客观性与合理性。首先,将识别结果

与南京空间核心区规划进行对比(表 2),识别的主要核心区域均位于城市核心规划范围内,体现了本方法在空间定位方面的准确性,并且提供了明确的

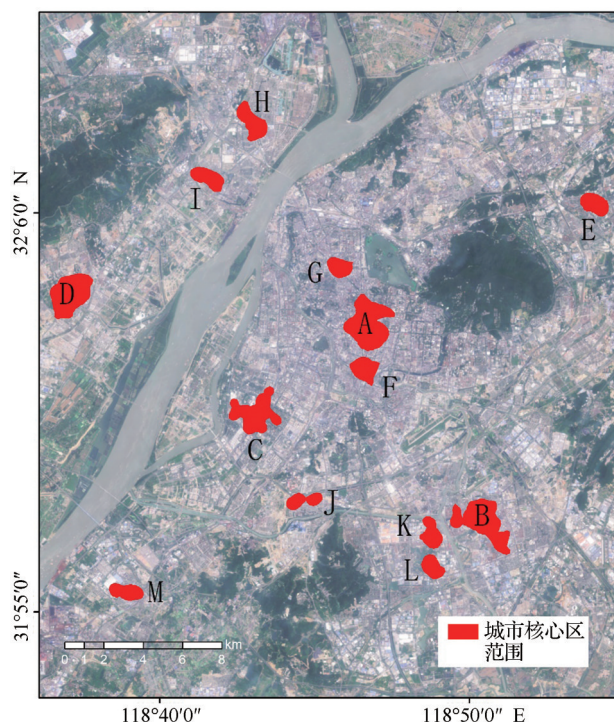


图 7 核心区识别结果及空间分布

(背景为 Landsat 8 真彩色合成影像)

Fig.7 The results of nuclei and their spatial distribution
(The background is the true color composite image of
Landsat 8)

空间轮廓。在南京城市核心区规划中,市级核心区包括:新街口、河西中心、城南中心,分别对应于结果中的 A、C、B。还包括唯一一个市级副中心江北中心也对应于结果中的 I,因为江北新区的设立始于 2015 年,因此江北中心的发展程度受限于发展时间,目前在规模上较市级核心区小。城南核心区因与东山副城中心距离较近,导致它们在空间上呈连接状态。

另外,本方法还提取出了其他若干具有一定规模的城市核心区域(如表 3 所示),经过实地考察,发现这些区域均具有与以上识别出的较大规模核心区较为相似的特征:商业密度集中、公共服务功能突出和交通设施完善等。对于这些核心区的识别有利于城市的精细管理,便于对城市核心区结构进行了解。通过比较分析发现,本识别方法可以成功识别出所有城市核心区规划中的核心区域,并且对于一些较小级别的区域核心区也具有比较好的识别效果,不但在位置上能够定位,并且具有空间范围特征,为城市空间规划提供了宝贵的信息。

其次,基于上述分析显示,本文识别结果能够很好地符合城市规划与人们的主观认识,为了进一

表 2 城市主要核心区域

Table 2 Urban main nuclei regions

	规划核心区	识别结果	面积/km ²	所属行政区
市级中心	新街口核心区	A	4.43	秦淮区
	河西核心区	C	3.31	建邺区
	城南核心区	B	4.20	江宁区
市级副中心	江北核心区	I	1.34	浦口区
副城中心	东山副城中心	B	4.20	江宁区
	仙林副城中心	E	1.26	栖霞区

表 3 城市其他核心区域

Table 3 Other urban nuclei regions

识别区域编号	核心区	面积/km ²	所属行政区
H	弘阳广场核心区	1.70	浦口区
D	凤凰山公园核心区	3.53	浦口区
G	狮子桥核心区	1.03	鼓楼区
F	夫子庙核心区	1.39	秦淮区
M	板桥核心区	1.18	雨花台区
J	春江路核心区	1.03	雨花台区
K	河定桥核心区	1.22	江宁区
L	百家湖核心区	1.02	江宁区

步验证识别结果的合理性,将其与城市高分辨率夜间灯光数据与百度热力图进行对比分析,以便对于本文方法识别效果进行深入评估,如图 8 所示。特别说明,因为研究所识别出核心区较多,因此,特选择城市部分主要核心区中的新街口区域(结果 A)、夫子庙区域(结果 F)与其他核心区中的百家湖区域(结果 L)进行详细对比与描述分析。首先,从新街口与夫子庙的空间识别结果来看,其空间范围覆盖灯光高值区域并且在高值区附近有一定的缓冲区域,特别是新街口区域(识别结果 A),在夫子庙区域与新街口区域间存在过渡区域(在夜间灯光影像上存在于两个区域之间),而百度热力图对这一区域没有明确过渡带。除此之外,热力图显示人口空间分布与识别结果空间范围相似度较高,特别是人口较为集中的区域,反映了结果的可靠性。对于百家湖区域,夜间灯光较为集中,经过实地考察,此区域为商场与居民区的混合聚集处,夜间灯光强度大且人类活动强度大,充分显示了此区域的商业繁华与人口密度大,符合城市核心区的基本特征,识别的结果也在空间上与其一致性较高。通过上述详细的分析对比,可以发现:本研究所提出的方法对于城市核心区的识别结果与实际情况相吻合,反映了该方法具有较高的可行性与适用性。

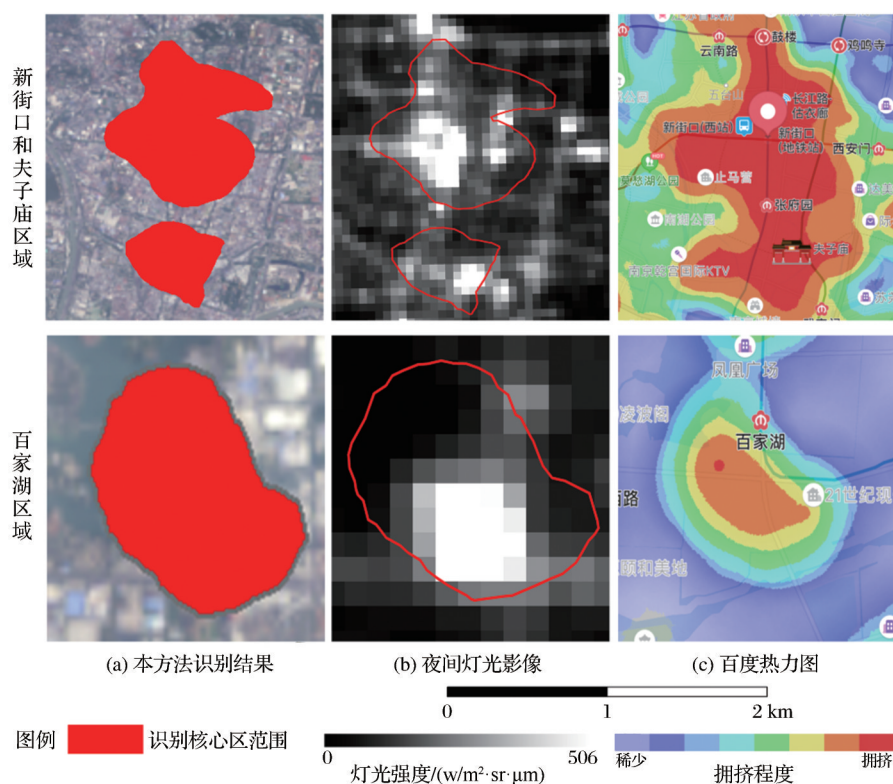


图8 部分核心区识别结果、夜间灯光影像、百度热力图比较

Fig.8 The comparison of partial identified urban nuclei, nighttime light data image and Baidu thermodynamic map

5 结论

本文利用POI大数据结合空间分析技术,采用核密度分析与一种特殊的等值线树分析方法对城市核心区及其结构进行识别分析。研究的主要结论包括:

(1)本文提出的城市核心区监测方法可以有效地对于城市核心区的空间位置与空间范围进行识别,并且对于较小的核心区域具有很好的识别效果。弥补了城市核心区提取方法缺乏的现状,通过本方法获取的核心区信息可以为城市空间规划提供重要的参考信息。另外,本方法简便易行,可以直接用于其他城市核心区的识别,对于其他多核心式城市也具有一定的参考价值,但未来仍值得探索使用其他方法来完善与深化城市核心区识别的相关研究^[26]。

(2)通过研究发现,随着城市化的发展与城市的扩张,为了适应日益增长的城市生活需求,南京市城市核心区呈现空间多核心式分布,主要核心区分别位于新街口、城南与河西区域,而在其他市域也散布有区域的核心区。城东核心区域较少且空间范围小,需要在以后的城市规划中加以重视,以满足城市空间协调发展与提高人民生活质量的

需求。

(3)本文还存在一些今后需要进一步完善的方面,比如对于一些指标的选择,如等值线间距需要人机结合进行优选,其更加精细的数值确定工作还有进一步的提升空间。另外,随着城市大数据的发展,更多的空间大数据,如手机信令数据、高分辨率遥感数据、出租车GPS轨迹数据等都可以应用到城市的核心区识别研究中,这也是未来的研究方向^[27-28]。

参考文献 (References):

- [1] Chen Z, Yu B, 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. doi:10.1109/TGRS.2017.2725917.
- [2] Boamet M G, Hong A, Santiago-Bartolomei R. Urban Spatial Structure, Employment Subcenters, and Freight Travel [J]. Journal of Transport Geography, 2017, 60: 267-276. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2017.03.007.
- [3] Sun Bindong, Tu Ting, Shi Wei, *et al.* Test on the Performance of Polycentric Spatial Structure as a Measure of Congestion Reduction in Megacities: The Case Study of Shanghai

- [J]. Urban Planning Forum, 2013(2): 63-69.[孙斌栋, 涂婷, 石巍, 等. 特大城市多中心空间结构的交通绩效检验——上海案例研究[J]. 城市规划学刊, 2013(2):63-69.]
- [4] Wei Yaping, Zhao Min. Spatial Structure and Performance of Metropolis: Interpretation and Application of Polycentric Structure[J]. City Planning Review, 2006(4): 9-16.[韦亚平, 赵民. 都市区空间结构与绩效——多中心网络结构的解释与应用分析[J]. 城市规划, 2006(4):9-16.]
- [5] Yang Ka. Population Distribution and Multicenter Measurement of Great Beijing[J]. China Population, Resources and Environment[J]. 2015,25(2):83-89.[杨卡. 大北京人口分布格局与多中心性测度[J]. 中国人口·资源与环境, 2015,25(2):83-89.]
- [6] Ma Xiuxin, Liu Yaolin, Liu Yanfang, *et al.* Exploring the Evolution of Morphological Polycentricity in Urban China from the Perspective of Temporal Heterogeneity[J]. Geographical Research, 2020,39(4):787-804.[马秀馨, 刘耀林, 刘艳芳, 等. 时间异质性视角下对中国城市形态多中心性演化的探究[J]. 地理研究, 2020, 39(4): 787-804.]
- [7] Adolphson M. Estimating a Polycentric Urban Structure. Case Study: Urban Changes in the Stockholm Region 1991~2004[J]. Journal of Urban Planning and Development. 2009,135(1): 19-30. doi:10.1061/(ASCE)0733-9488(2009)135:1(19).
- [8] Luo Zhendong, Zhu Chasong. Understanding Polycentricity by Configuration, Function and Governance[J]. Urban Planning International, 2008(1):85-88.[罗震东, 朱查松. 解读多中心: 形态、功能与治理[J]. 国际城市规划, 2008(1): 85-88.]
- [9] Giuliano G, Small K A. Subcenters in the Los-angeles Region[J]. Regional Science and Urban Economics, 1991, 21(2): 163-182.doi: 10.1016/0166-0462(91)90032-I.
- [10] Guo Danhuai, Zhang Mingke, Jia Nan, *et al.* Survey of Point-of-Interest Recommendation Research Fused with Deep Learning[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(12): 1890-1902.[郭旦怀, 张鸣珂, 贾楠, 等. 融合深度学习技术的用户兴趣点推荐研究综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1890-1902.]
- [11] Hu T, Yang J, Li X, *et al.* Mapping Urban Land Use by Using Landsat Images and Open Social Data[J]. Remote Sensing, 2016,8:1512. doi: 10.3390/rs8020151.
- [12] Chi Jiao, Jiao Limin, Dong Ting, *et al.* Quantitative Identification and Visualization of Urban Functional Area based on POI Data[J]. Journal of Geomatics, 2016,41(2): 68-73.[池娇, 焦利民, 董婷, 等. 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, 2016,41(2):68-73.]
- [13] Xue Bing, Xiao Xiao, Li Jingzhong, *et al.* POI-based Spatial Correction of the Residences and Retail Industry in Shenyang City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019,39(3):442-449.[薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于POI大数据的沈阳市住宅与零售业空间关联分析[J]. 地理科学, 2019,39(3):442-449.]
- [14] Cui Zhenzhen, Huang Xiaochun, He Lianna, *et al.* Study on Urban Convenience Index based on POI Data[J]. Geomatics World, 2016,23(3):27-33.[崔真真, 黄晓春, 何莲娜, 等. 基于POI数据的城市生活便利度指数研究[J]. 地理信息世界, 2016,23(3):27-33.]
- [15] Cao Fangjie, Xing Hanfa, Hou Dongyang, *et al.* Research on Identification and Spatial Patterns of Commercial Centers in Beijing based on POI Data[J]. Geomatics World, 2019, 26(1):66-71.[曹芳洁, 邢汉发, 侯东阳, 等. 基于POI数据的北京市商业中心识别与空间格局探究[J]. 地理信息世界, 2019,26(1):66-71.]
- [16] Hao Feilong, Wang Shijun, Feng Zhangxian, *et al.* Spatial Pattern and Its Industrial Distribution of Commercial Space in Changchun based on POI Data[J]. Geographical Research, 2018,37(2):366-378.[浩飞龙, 王士君, 冯章献, 等. 基于POI数据的长春市商业空间格局及行业分布[J]. 地理研究, 2018,37(2):366-378.]
- [17] Zhang Hong, Xu Shan, Gong Enhui. The Calculation of Urban Wasteful Commuting Concerning Real-time Traffic Information——A Case Study of Chengdu[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020. doi:10.13203/j.whugis.20190363.[张红, 徐珊, 龚恩慧. 顾及实时路况的城市浪费性通勤测算——以成都市为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020.doi: 10.13203/j.whugis.20190363(网络首发论文)]
- [18] Li Qiang, Zheng Xinqi, Chao Yi. Research on Function Identification and Distribution Characteristics of Wuhan Supported by Big Data[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(5):119-125.[李强, 郑新奇, 晁怡. 大数据支持的武汉市功能识别与分布特征研究[J]. 测绘科学, 2020, 45(5): 119-125.]
- [19] Zhang Ling. Research on POI Classification Standard[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012(10):82-84.[张玲. POI的分类标准研究[J]. 测绘通报, 2012(10):82-84.]
- [20] Ran Zhao, Zhou Guohua, Wu Jiamin, *et al.* Study on Spatial Pattern of Consumer Service Industry in Changsha based on POI Data[J]. World Regional Studies, 2019,28(3):163-172.[冉钊, 周国华, 吴佳敏, 等. 基于POI数据的长沙市生活性服务业空间格局研究[J]. 世界地理, 2019,28(3):163-172.]
- [21] Liu Ling, Li Gang, Yang Lan, *et al.* Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of the Delivery Sites in Shenzhen[J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(8):1240-1253.[刘玲, 李钢, 杨兰, 等. 深圳市快递自提点的空间分布特征与影响因素[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8):1240-1253.]

- [22] Wu Kangmin, Zhang Hongou, Wang Yang, *et al.* Identify of the Multiple Types of Commercial Center in Guangzhou and Its Spatial Pattern[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(8): 963-974.[吴康敏,张虹鸥,王洋,等.广州市多类型商业中心识别与空间模式[J].*地理科学进展*, 2016, 35(8): 963-974.]
- [23] Lu Min, Yang Liu, Wang Jinyin, *et al.* Application of Point-group Density Cartography based on Kernel Density Estimation[J]. *Engineering of Surveying Mapping*, 2017, 26(4): 70-74.[卢敏,杨柳,王金茵,等.基于核密度估计的点群密度制图应用研究[J].*测绘工程*, 2017, 26(4): 70-74.]
- [24] Cai J, Huang B, Song Y. Using Multi-source Geospatial Big Data to Identify the Structure of Polycentric Cities[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 210-221. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.039.
- [25] Wang C, Chen Z, Yang C, *et al.* Analyzing Parcel-level Relationships between Luojia 1-01 Nighttime Light Intensity and Artificial Surface Features Across Shanghai, China: A Comparison with NPP-VIIRS Data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2020, 85: 101989. doi: 10.1016/j.jag.2019.101989.
- [26] Wu Kaihua, Li Chaokui, Liu Junjie, *et al.* Identification of Growth Boundary of Core Areas in an Urban Agglomeration based on Spatial Syntax Theory[J]. *Geographical Research*, 2020, 39(6): 1418-1426.[武凯华,李朝奎,刘俊杰,等.基于空间句法理论的城市群核心区发展边界识别[J].*地理研究*, 2020, 39(6): 1418-1426.]
- [27] Wang De, Li Dan, Fu Yingzi. Employment Space of Residential Quarters in Shanghai: An Exploration based on Mobile Signaling Data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(8): 1585-1602.[王德,李丹,傅英姿.基于手机信令数据的上海市不同住宅区居民就业空间研究[J].*地理学报*, 2020, 75(8): 1585-1602.]
- [28] Li Y, Sun Q, Ji X, *et al.* Defining the Boundaries of Urban Built-up Area based on Taxi Trajectories: A Case Study of Beijing[J]. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. 2020, 4(1). doi: 10.1007/s41651-020-00047-6.

A Method for Identifying the Urban Nuclei based on POI Big Data

Kang Xiang¹, Pan Jianjun², Zhu Yanxiang², Bai Haoran², Lu Xiaoli²

(1. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Urban nuclei play a crucial role in conducting urban function, polycentric urban structure have become an important urban spatial model. However, there have few studies about the identification of urban nuclei. Rapid and precise extraction of urban nuclei is significative for urban management and planning. Our research introduced a method for identifying urban nuclei based on point of interest big data. Study indicated that our method successfully identified the urban nuclei in the case city, provided their spatial range, and also showed a fine detection effect on the structure of urban nuclei. In addition, the rationality and reliability of the results were checked through related tests. Different from traditional studies, our method can identify the boundary of urban nuclei, which is also convenience and simple. The results indicated that this urban nuclei identification method based on POI big data can accurately locate the location of urban nuclei, which might provide valuable spatial location reference information for urban planning and precise management in the future.

Key words: Urban nuclei; POI big data; Urban polycentric structure; Urban planning