

基于GIS场模型的城市餐饮服务热点探测 及空间格局分析

张海平^{1,2,3}, 周星星^{1,2,3}, 汤国安^{1,2,3}, 周 蕾⁴, 叶信岳⁵

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 4. 南京邮电大学地理与生物信息学院, 南京 210023; 5. 新泽西理工大学计算科学学院, 纽瓦克 07102, 美国)

摘要: 餐饮服务是城市生活的重要组成部分, 提取城市餐饮服务热点并识别其空间分布模式, 对于理解城市形态结构具有重要意义。针对过去基于POI进行城市形态特征定量分析的不足, 利用GIS场模型对城市特征要素的空间分布模式进行识别, 并采用地学信息图谱对其模式进行可视化和分析。以济南市主城区4.71万个餐饮服务POI作为主要数据源, 首先基于密度场热点探测模型提取餐饮服务热点并按照密度值进行等级划分; 然后采用广义对称结构图谱和数字场层次结构图谱表达餐饮服务热点的空间分布结构特征和规模等级结构特征, 并构建其分布模式图谱; 最后对结果展开讨论。研究表明: ① 数字场热点探测模型能够有效地从POI中识别出不同等级的热点。② 广义对称结构图谱和基于GIS场模型的层级结构图谱能够分别从纵横两个方面分析和表达餐饮热点的空间分布结构和层次等级结构特征。综上所述, 本研究为基于POI的城市特征要素提取和城市形态研究提供了一种有效的定量分析思路, 其方法也可以推广至其他城市特征要素的提取、分析和表达当中。

关键词: 餐饮服务热点; 城市形态结构; GIS场模型; 地学信息图谱; 密度场热点探测器

DOI: 10.11821/dlyj020181104

1 引言

城市空间的功能结构, 是城市地理形态结构研究所关注的核心问题^[1]。在形态学视角下的城市空间结构研究中, 涌现了一些单一城市形态要素的定量分析方法。典型的如以路网为主要分析对象的空间句法模型^[2,3], 以建筑物为分析目标的Spacematrix模型^[4,5], 基于特定城市服务设施的可达性分析方法等^[6]。在此类研究中, 城市服务设施数据能够为城市空间结构分析提供重要的数据支撑。餐饮服务作为城市生活的重要组成部分, 以餐饮场所为载体的餐饮服务设施, 其空间分布特征、空间布局模式等, 在一定程度上能够反映城市的空间结构和功能。近年来, 空间信息技术的飞速发展, 极大地提升了城市基础服务设施的信息化能力, 获取完整的购物、餐饮、金融等城市服务设施数据变得越来越容易。同时, 互联网背景下的大数据思维带来了科学研究方法的革命, 数据密集型研究范式已然被广泛认可^[7], 越来越多的学者通过获取互联网地图的设施兴趣点、社交媒体签

收稿日期: 2018-10-16; 修订日期: 2019-02-21

基金简介: 国家自然科学基金重点项目(41930102); 江苏省自然科学基金项目(BK20160893)

作者简介: 张海平(1989-), 男, 甘肃榆中人, 博士研究生, 研究方向为GIS时空建模、城市地理与行为地理。

E-mail: gissuifeng@163.com

通讯作者: 汤国安(1961-), 男, 浙江镇海人, 教授, 博士生导师, 研究方向为空间分析、数字地形分析。

E-mail: tangguoan@njnu.edu.cn

到兴趣点等互联网时空数据,通过以数据为导向的新研究范式展开对城市空间相关问题的分析与探索。餐饮服务POI作为数百种类型城市设施兴趣点中所占比重较高,且与城市日常生活高度相关的互联网基础大数据,将其引入城市空间问题的研究是非常有必要的。

目前,学者们基于POI数据从分析方法、视角创新和应用目的等多个方面已经展开了大量有关城市空间问题的研究和探索工作。从分析视角和应用目的出发,有学者基于购物POI识别购物中心的热点、聚类特征及分布模式^[8-10]。POI数据与土地利用等数据相结合的城市空间功能识别也成为研究热点^[11,12]。也有学者通过兴趣点的空间分布,分析旅游资源的空间分布特征^[13,14]。部分学者还基于POI数据展开对城市空间活力的研究^[15];在基于POI的分析方法构建方面,较为典型的研究有:基于POI数据提取城市建成区,不同分析尺度下城市边界的提取等模型相继被提出^[16,17]。也有学者提出了基于POI提取不同主题城市设施的核心区域的方法^[18-20]。其他方法还包括基于POI的聚类和密度分析模型的改进等内容^[21,22];有关基于餐饮服务POI的空间问题研究,主要包括基于用餐点评数据的饮食体验的空间分布特征研究^[23,24];餐饮服务空间分布格局分析^[25,26],以及饮食文化空间的分析与探索^[27,28]。

对城市而言,餐饮服务POI作为除购物服务,地名地址之外在城市内部所占比重最大的互联网地图兴趣点数据,餐饮服务POI点的空间密度特征、空间分布模式等的形成,均是由于一个城市的诸多因素的共同作用下,逐步发展和演化的结果。最终分布格局的形成,与其主要影响因素和形成机制相对应^[17]。从这个角度讲,城市餐饮服务热点的空间格局,可用于从更细的层面科学化探索其格局形成的主要驱动因素,这些因素可能包括历史文化驱动、政策制度驱动、社会舆情驱动、规划战略驱动等,从而以此为依据进一步探索城市结构的形成机制。因此,无论是城市结构分析,还是更深层次的城市形成过程研究,诸如餐饮服务等城市特征要素的提取和分析都是以上工作的基础。另外一个优点在于,随着大数据技术的兴起,获取数据量大,时效性强,数据质量高的餐饮服务POI成本小、速度快,并且可以获取几乎接近于全样本的数据集。例如在本研究中,可以便捷地获取研究区域内数万个餐饮服务兴趣点,经过局部区域矫正与评估发现,占到实际数量的96%以上。这无疑为相关研究的科学性提供了数据质量和数据时空分辨率的保证。

综上所述,目前有关基于兴趣点的城市问题研究较多,基于餐饮兴趣点的相关研究也越来越受到学者们的关注。主要问题在于:一方面,相关研究主要集中在应用分析方面,缺乏结合数据特征及城市问题背景的定量分析方法的探索;另一方面,在单变量的定量研究中,主要采用统计、简单密度制图的方式展开,缺乏能够进一步分析,挖掘深刻规律和知识的定量分析方法和手段。针对以上问题,本文提出了用于探测餐饮服务热点的密度场热点探测模型,并继承了地学信息图谱理论与方法,构建了广义对称图谱,又扩展并提出了数字场层级结构图谱,对分析结果进行“一纵一横”的可视化表达与定量分析。以上方法的引入,不仅能够从纵横两个方面考察城市餐饮服务热点的空间分布模式和层次等级结构,而且通过地学信息图谱的方法增强了结果的结构化特征,更有利于模式的表达和可视分析。最后以济南市建成区为主要研究区域,以研究区域内约4.71万个餐饮服务POI作为主要数据源,基于本文提出的“密度场热点探测模型”提取餐饮服务热点,并对提取的热点按照密度值进行等级划分。划分完成后采用本文引入的地学信息图谱方法对餐饮服务热点的空间分布格局进行可视化分析。主要使用基于离散型热点的广义对称结构图谱和连续数字场层次结构图谱。前者侧重于餐饮服务热点的空间分布特征与模式提取,后者则主要用于不同等级餐饮服务热点规模等级结构分析。最终对

两种图谱的分析结果展开讨论,并通过此实例验证模型的科学性、可行性和有效性。本研究为城市空间特征要素的提取、城市空间形态格局的纵、横结构分析提供了可借鉴的方法,并对基于点要素展开不同主题的城市空间格局研究具有启示意义。应用层面,对于城市规划中的设施规划与评价提供了一种良好的分析与表达思路。

2 数据来源与研究区概况

本文数据来源于高德地图2017年的餐饮服务类POI。数据通过本课题组开发的GeoSharp获取。GeoSharp是一款主要用于地理编码、坐标转换、POI数据采集及其他网络时空大数据采集的工具集,广泛应用于城市地理相关的研究工作中^[29,30]。餐饮服务POI包含了济南市主城区内的餐馆、饮品店和糕饼店等约4.71万条,涵盖了济南市建成区内所有在互联网地图上可查、有明确分类的餐馆、饮品店等。其中包括10个一级分类、56个二级分类(表1)。近年来互联网地图技术的高度发展,已经能够保证电子地图上的餐饮POI与现实生活中真实存在的餐饮实体点保持相对的一致性和总体数量的完整性。

研究区域为山东省济南市建成区。济南市建成区北边止于黄河以南,南边以南部山区、千佛山为界。中部有大明湖和趵突泉,整个城区分布向东西两个方向呈带状扩展,其中,以大明湖为中心,向东扩展的趋势更加显著。大明湖以南、趵突泉以东为济南市的城市中心地带。研究区的整体概况及餐饮服务POI数据分布如图1所示。

表1 餐饮服务POI数据分类说明

Tab. 1 Categories explanation of POI data about catering service

类别编号	一级分类	二级类别数量	二级类别举例或说明	占比 (%)
1	中餐厅	24	综合酒楼、四川菜、火锅店、清真菜等	55.50
2	外餐厅	18	日韩料理、美国风味、印度风味等	2.21
3	快餐店	12	肯德基、麦当劳、必胜客、永和豆浆等	11.39
4	休闲餐饮场所	1	休闲餐饮场所	0.16
5	咖啡厅	5	星巴克咖啡、上岛咖啡、其他咖啡等	1.00
6	茶艺馆	1	以茶艺为特色的茶馆	0.86
7	冷饮店	1	以冷饮为主的饮品店	1.46
8	糕饼店	1	以国内南北方、国外的糕饼为特色的店	4.27
9	甜品店	1	以甜点为特色的店铺	1.00
10	其他餐饮场所	1	其他注册至高德地图上的实体餐饮店铺	22.15

3 研究方法

3.1 密度场表面生成方法

基于密度的点要素分析是点模式探测的常用方法之一^[31]。其中,用于测度一阶效应的核密度估计应用最为广泛^[32]。核密度估计通过计算要素周围的密度构建平滑表面,实现从离散对象模型到连续场模型的变换,从而对要素进行可视化,并用于要素模式的探测与发现。

如图2a所示,在研究区域R内,核密度估算模型以任意点S为中心(称之为核 k),通过设置的带宽 r 估计目标点的密度值,其密度由带宽范围内的事件点的个数和事件点

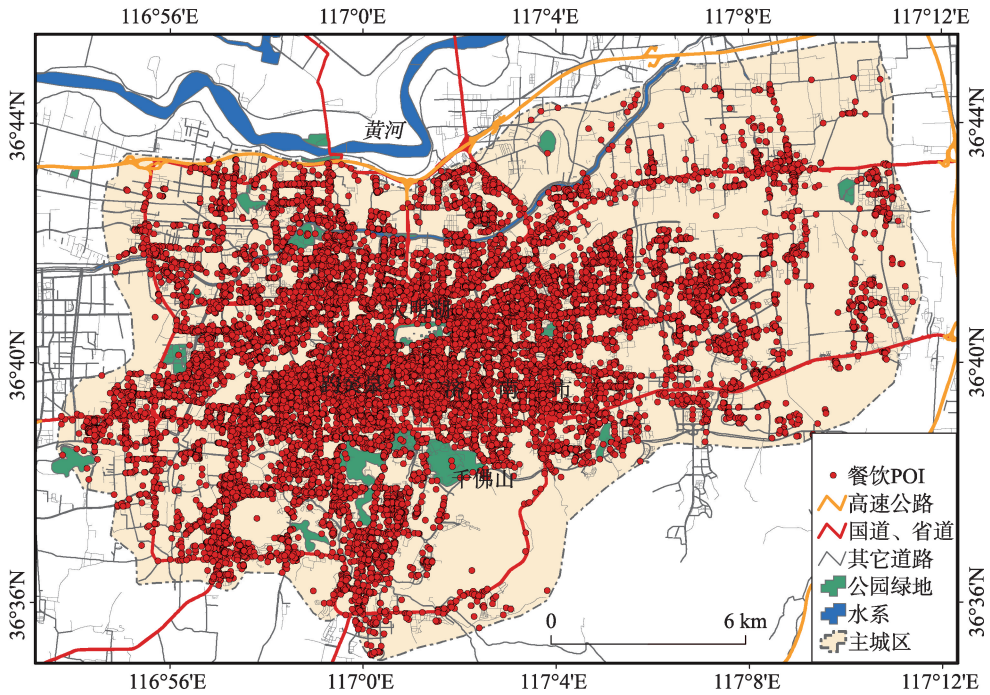
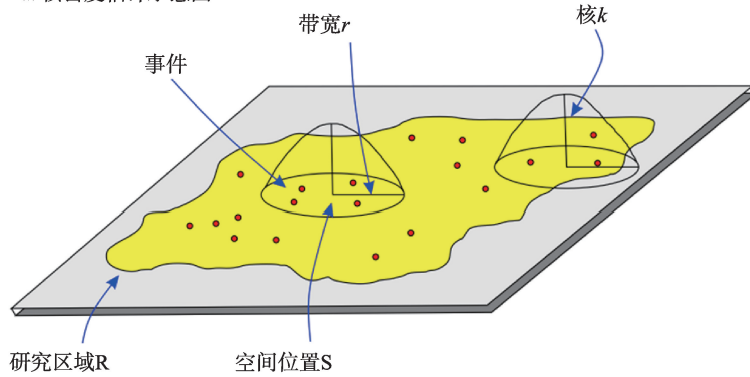


图1 研究区域 (济南市建成区)
Fig. 1 Study area (Built up area of Jinan)

a. 核密度估计示意图



b. 事件点网格化

24	25	26	27	28
24	25	26	27	28
24	25	26	27	28
24	25	26	27	28
24	25	26	27	28

c. 目标位置及范围选取

24	25	26	27	28
24	25	26	27	28
24	25	26	27	28
24	25	26	27	28
24	25	26	27	28

d. 目标位置值计算

9.8	15	15.7	16.3	11.1
13	20	22	1.5	
9.7	15	16	17	11.7
6.3	10	11	12	8.3
3.1	5	5.7	6.3	4.4

e. 核密度估计结果示意图

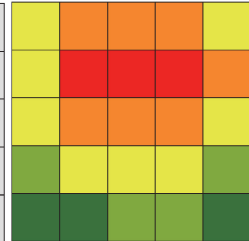


图2 核密度估计模式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of kernel density estimation model

到目标点的距离共同决定。某个核密度值计算的简化过程为：首先将研究区网格化并统计每个格网中事件点的个数（图2b）；然后基于带宽 r 选取范围（图2c）；最后根据核密度公式计算核 k 的密度值，红色格网所指的密度值的计算结果与整个示意区域的估计结果分别如图2d和2e所示。其计算公式为^[33]：

$$\hat{f}(x, y) = \frac{3}{nr^2\pi} \sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{r^2} \right]^2 \quad (1)$$

式中： $\hat{f}(x, y)$ 为估算目标栅格单元中心点 $p(x, y)$ 的密度； r 为带宽； n 为带宽范围内样点的个数； x_i, y_i 为样点 i 的坐标； x, y 为估算目标栅格单元的中心点坐标； $(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2$ 为估算目标栅格中心点到带宽范围内栅格样点 i 之间的欧式距离的平方。需要指出的是，带宽的大小对分析结果的精细程度有显著的影响。需要根据分析需要的尺度选择合理的带宽。本文使用此方法构建餐饮服务POI的密度场表面模型。

3.2 热点探测模型

基于密度表面生成的连续数字场模型能够从汇总层面表达餐饮服务的空间密度分布特征，但难以获得确切的热点区域和热点峰值。而热点的定量化表达、描述及格局分析，采用热点区域或热点峰值则更加有效。因此，本文提出了基于密度表面的热点探测方法，并将其称之为密度场热点探测器（density-field based hotspot detector, DF-HD）。首先对餐饮服务POI采用核密度估计方法构建密度表面模型，其中，带宽对密度表面结果的影响较大，应根据分析结果尺度的需求合理选择。生成热度表面后，使用窗口分析法构建邻域像元最大值表面，其目的是探测局部区域内的最大值所在位置。然后使用地图代数执行代数差运算，从而得到非负值表面。在此表面中，正值域为低于局部最大值的区域，而零值域为局部极值区（此处为最大值）。窗口探测完成后，使用重分类算法提取极值区并进一步获取所有热点值所在位置的热度表面原始值。最后按照热点值的大小对所有热点进行等级划分。整个算法的实现过程如图3所示。

3.3 空间格局分析方法

在地理学的研究与分析中，地学图谱是描述和认识复杂地理现象及问题的有效方法和手段^[34]。正如规划图、工程图等形式的地图在城市设计和工程建设中所发挥的不可替代的指导性和辅助性作用，地学图谱在城市研究中同样发挥重要的辅助分析及可视化表达作用。不同之处在于，前者偏向于具体问题的描述和解答，而后者则更侧重普遍规律的揭示和表达。已有采用地学信息图谱方法研究城市形态的相关工作包括城市形态特征图谱^[35]，城市形态演化图谱^[36]、城市群交互关系图谱^[37]等。地学图谱的表达方式多样，其中，广义对称结构图谱和等级层次结构图谱应用较为广泛^[38]，并适用于本文对餐饮服务热点的分布特征及其模式的描述与表达。因此，这两类地学信息图谱将作为主要的方法应用于餐饮服务热点空间格局的分析当中。

广义对称结构图谱有助于挖掘地理现象的空间分布特征，它强调空间对象之间存在的对称规律^[39]。所谓广义对称结构图谱，是指从数学中的传统几何对称出发，将对称结构的成立条件推广至地理对象的空间结构对称中，并进一步扩展传统对称的类型。在条件上降低满足对称结构成立的条件要求，在类型上则扩展了线性对称和反面对称等内容（图4）。地理学家之所以引入传统几何外的对称方式，主要是考虑到地理现象的复杂性、地理现象结构的表达需要、及表达形式的合理性。例如，交通对于诸多地理对象的空间分布具有重要影响，沿着铁路、公路和河流结构化布局的地理对象亦可视为一种平移对称，尽管在结晶学中也有基于直线的平移对称，但考虑到现实世界中的交通线路并

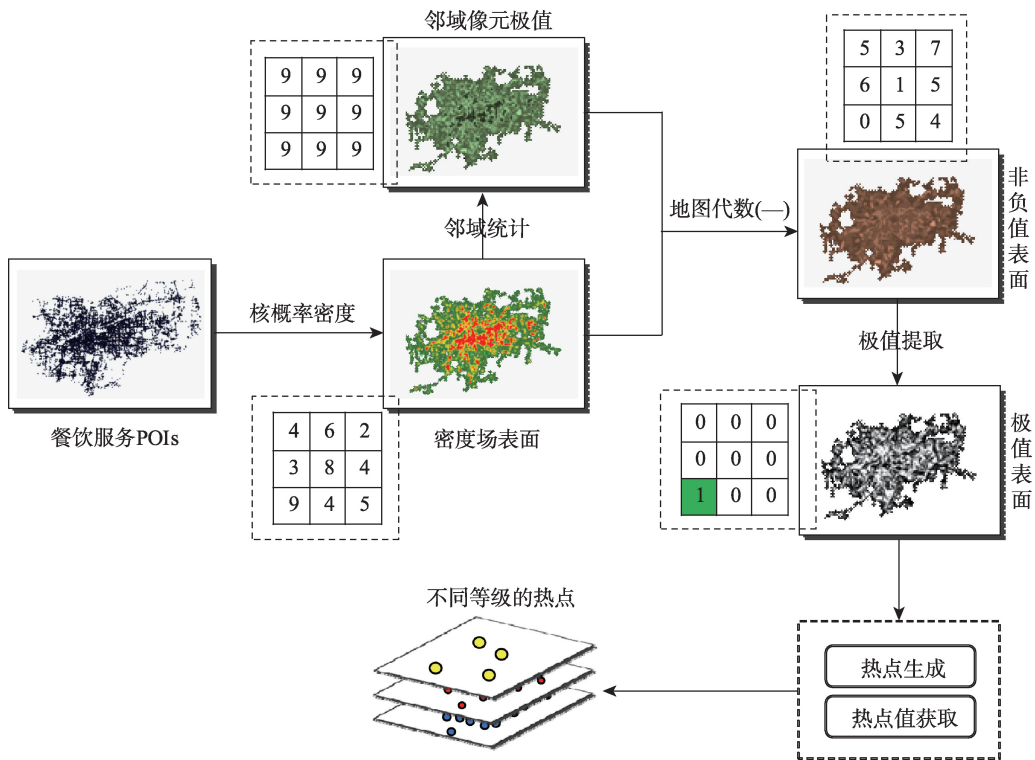


图3 密度场热点探测模型

Fig. 3 Hotspot detecting model based on density field

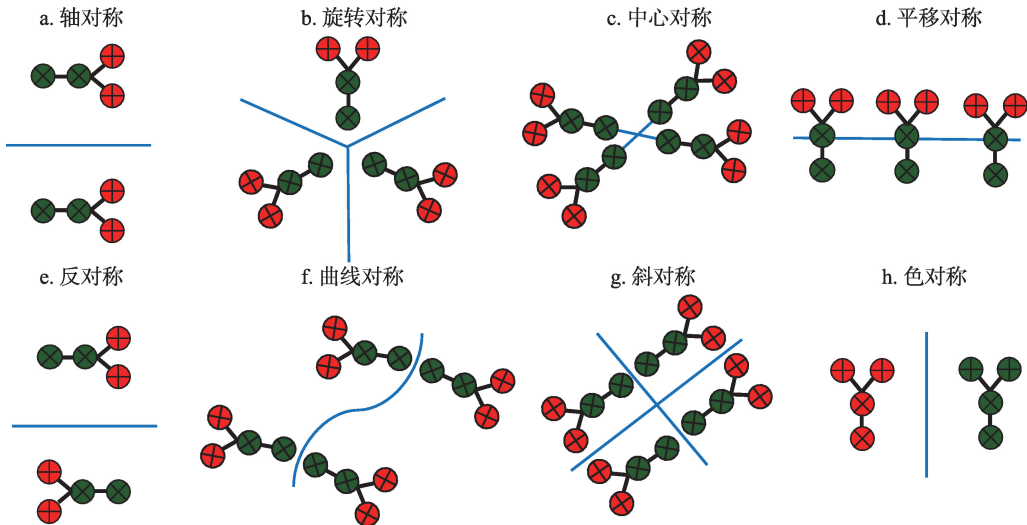


图4 广义对称结构图谱

Fig. 4 Geo-information Tupu of generalized symmetric structure

不总是呈直线分布，因此，在地理学界基于平移对称又提出曲线对称。正是这些对称结构和地理事物布局的耦合关系，使得基于广义对称结构的空分析对于地理规律的发现和地理机制的推理具有重要意义。例如，当某种地理事物呈现平移对称或者曲线对称时，其对称结构背后所隐喻的交通驱动因素将首先被考虑。为了弥补在空间位置上呈现

几何对称关系的地理事物可能存在数量属性和类型属性的不同，地理学家又引入了反对称（图e）和色对称（图h），前者强调地理事物之间在数量属性上的差异性，后者则主要突出地理事物之间类型的不同。

等级层次结构能够从地理现象中提取包含层级关系的规模属性特征，它注重地理对象属性的规模在空间上的秩序规律^[40]。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，然后采用基于数字场的等值场树表达该属性的层次结构和包含关系（图5）。

在本研究中，广义对称结构图谱能够提取餐饮服务热点的空间分布结构，属于横向结构特征与模式提取；数字场层次结构图谱采用密度图和层次树相结合的方法量化表达不同规模餐饮服务热点的规模及层次结构，属于纵向层次关系表达。两种地理结构图谱完美地实现了揭示城市内部空间结构分布规律并确定城市内部结构等级规模的功能。

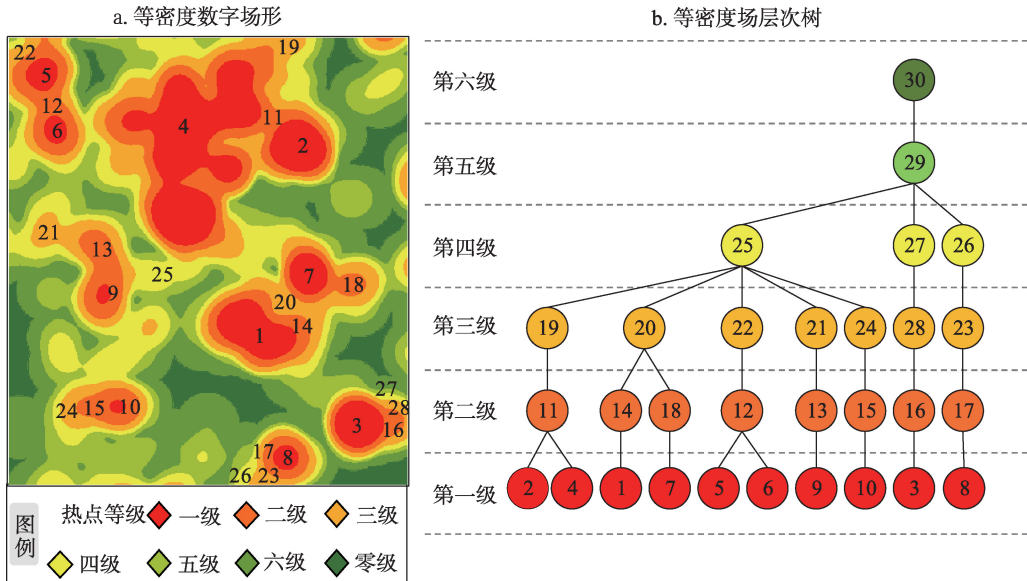


图5 数字场形层次结构图谱
Fig. 5 Digital field based hierarchical Geo-information Tupu

4 餐饮服务热点探测及模式提取实证分析

4.1 城市餐饮服务热点探测

首先将研究区内4.71万个餐饮服务POI数据基于密度场分析模型构建餐饮服务数字场。由于密度场的构建具有显著的尺度效应，而尺度的大小，即综合程度是由构建数字密度场过程中的带宽所决定的。根据分析需要选择400 m作为带宽从而确定密度场的尺度。带宽的选择依据济南市建成区内由市区道路构成的自然街区（block）长边的平均边长（200 m）为阈值，分别取100 m、200 m直到600 m分别进行探测分析，由于200 m以内一级热点过多，600 m以上又过于综合，而300~500 m之间一级热点基本稳定，仅对更小级别的热点产生影响。因此取中间数400 m作为带宽。由于像元的大小在本研究中主要影响到热点的取值大小，但对不同等级热点值的比值关系影响较小，因此为保证

密度表面的分辨率, 像元大小取10 m。密度场构建完成后, 采用本文提出的密度场热点探测模型量化分析并提取餐饮服务的热点簇。

热点簇的精准化提取是进行餐饮服务热点空间格局分析前进行探索性空间数据分析(ESDA)的前提条件, 也有助于选择合理的空间格局分析方法并为后续的进一步分析提供数据基础。首先将餐饮服务热点采用自然断裂法分为5个等级, 并进行分层统计并制图(图6a)。将Jenks所提出的地图分级聚类算法“自然断裂法”应用于餐饮服务热点的等级划分, 其科学性在于它保持了同一等级内部方差较小, 而不同等级之间差异较大的原则, 这正好符合本文热点等级划分所遵循的基本原则。5个等级的餐饮服务热点按照密度值的大小分别被定义为小型餐饮服务热点、中小型餐饮服务热点、中型餐饮服务热点、较大型餐饮服务热点和大型餐饮服务热点, 各等级热点的数量、所占总热点数的比重和平均密度值如表2所示。图6a呈现了5个不同等级餐饮服务热点的空间分布特征及各等级的数量分布关系。

表2 不同等级餐饮服务热点基本信息

Tab. 2 Basic attributions of catering service in different hierarchical scales

餐饮服务热点等级	热点数量	占比 (%)	平均密度值
大型	11	1.95	2 368.29
中大型	57	10.12	1 048.87
中型	106	18.83	589.68
中小型	134	23.80	292.33
小型	255	45.29	49.45

结合表1和图6的结果可以看出, 大型餐饮服务热点仅11个, 比重也只占有餐饮服务热点的1.95%。在地图上的分布也具有明显的空间分异特征, 并在中心城区的北侧、南侧和东侧均有一个大型热点。大型餐饮服务热点一般是一个城市最为繁华、人流量较大的区域, 其形成具有核心的驱动因素; 中大型餐饮服务热点为57个, 占有餐饮服务热点的10.12%, 在地图上的分布较为离散, 在一定上能够反映城市局部区域的发展状况。其他更小级别的餐饮服务热点可作为辅助要素对城市空间的结构形态、发展模型和驱动因素进行分析。通过进一步对比不同等级餐饮服务热点的平均密度值发现, 相邻等级热点的平均密度值随着等级越低, 其值呈倍数减少, 一方面表明采用自然断裂法进行分级的合理性; 另一方面, 不同等级的餐饮服务热点的均值间存在的显著差异, 表明其潜在的层次等级的形成趋势。以上餐饮服务热点所呈现的显著的空间分布模式和层级分异特征, 将分别通过广义结构对称图谱和数字场层次结构图谱对其格局展开进一步分析、量化表达和描述。而图6b和图6c则分别为基于核密度和基于样方统计的分析结果。前者表现为分布的连续性和边界的模糊性; 后者则以样方作为基本单元, 呈现离散分布且边界明确。但无论哪种方式, 均无法得到图6a所示的具体不同等级的热点结果。如果将通过热点探测得到的结果图6a视为量化分析结果, 则后两者图6b和图6c属于热点模式的半量化结果, 既不便于内部结构的分析和呈现, 也无法进行热点等级分层。

4.2 餐饮服务热点的空间格局分析

4.2.1 餐饮服务热点空间分异格局

采用地理学视角下定义的广义对称结构图谱呈现不同等级餐饮服务热点的空间分布特征。如图7a所示的“大型餐饮服务热点”共11个。其空间分布特征表现为: 以城市中心(趵突泉)作为参考点, 东、南和北部地区各有一个热点, 城区中心则有较为聚集的8个热点。分别对这11个“大型餐饮服务热点”进行编号。其目的是与后面的广义对称图谱中的热点相对应。城区中心的8个“大型餐饮服务热点”明显形成了如图7b所示的广义对称结构图谱。除了形成此图谱的8个热点外, 其余3个热点形成了分别分布于南、北和东的格局。由于西边并没有大型餐饮服务热点,

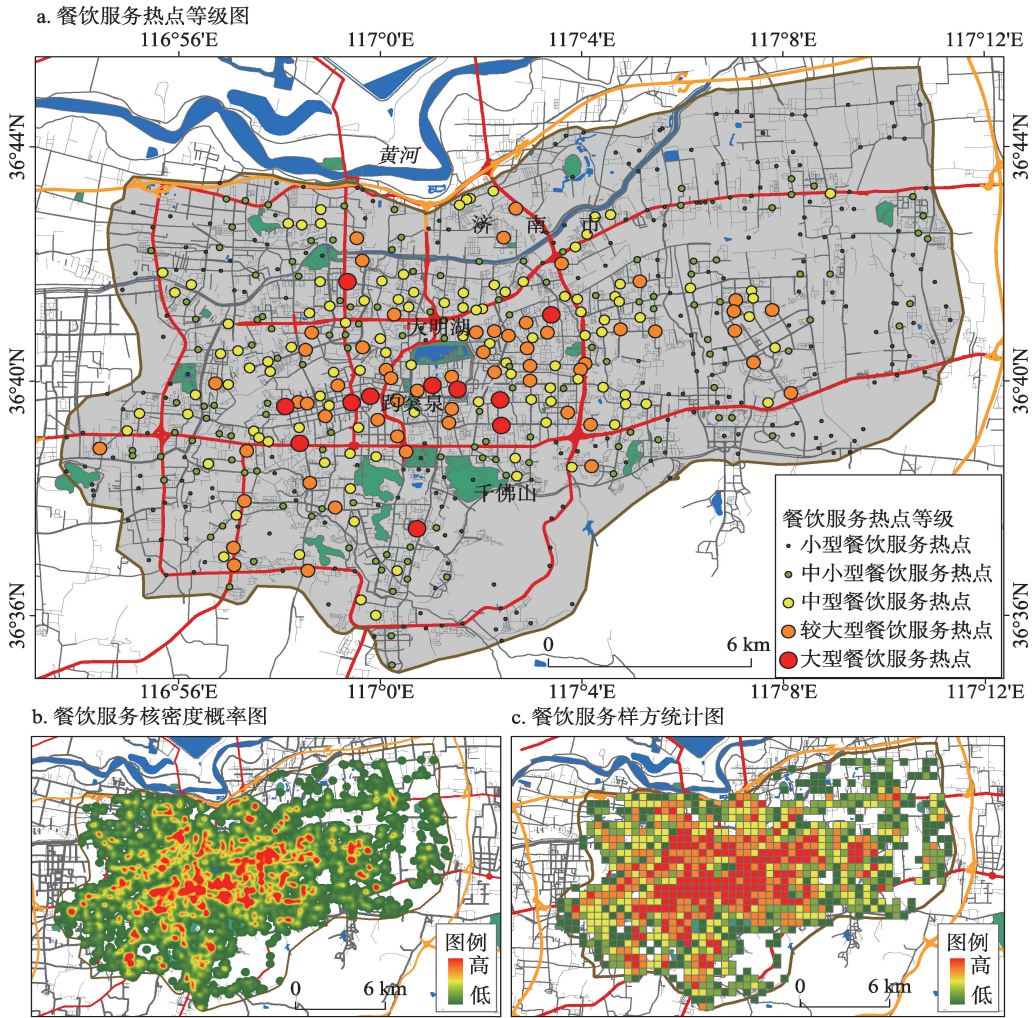


图6 基于“数字场热点探测模型”提取的餐饮热点等级规模分布图

Fig. 6 Hotspot map of hierarchical scale distribution for catering service based on DF-HD model

因此它们不能构成以城市中心作为对称中心的对称结构图谱，但三者可以表示为如图7c所示的旋转对称结构。相比图7b的对称图谱，此图谱的解释并不能基于旋转对称进行描述。实际上，它所揭示的是济南市沿着南、北和东的发展现状和发展趋势。如果结合“较大型餐饮服务热点”的空间分布，则可以进一步推断出城市沿西发展的驱动力较弱。将所有“大型餐饮服务热点”的图谱组合起来，构成了如图7d所示的空间格局。由于济南建成区的南北侧分别受到南部山区（包括千佛山）和黄河的制约，整体上呈东西走向并形成相对比较规则的矩形结构，依据中心地理论对商业中心的结构化阐述，以城市中心向周围形成次级餐饮服务业中心，甚至周边也会发展出一级餐饮服务中心。结合图7d所示的广义对称结构图谱，城市中心八个热点所构建的“双核”结构在南北和东西侧均可能产生轴对称的大型餐饮热点。但通过分析发现在西侧并没有形成一级餐饮服务中心，而西侧的不对称性，正是其相对于其他区域异质性的体现。一级热点的这种分布格局，与城市发展所形成的结构、发展趋势相对应，并可能与其形成机制相耦合。

大型餐饮服务热点和中大型餐饮服务热点是本实例的主要研究内容。前者趋向于描

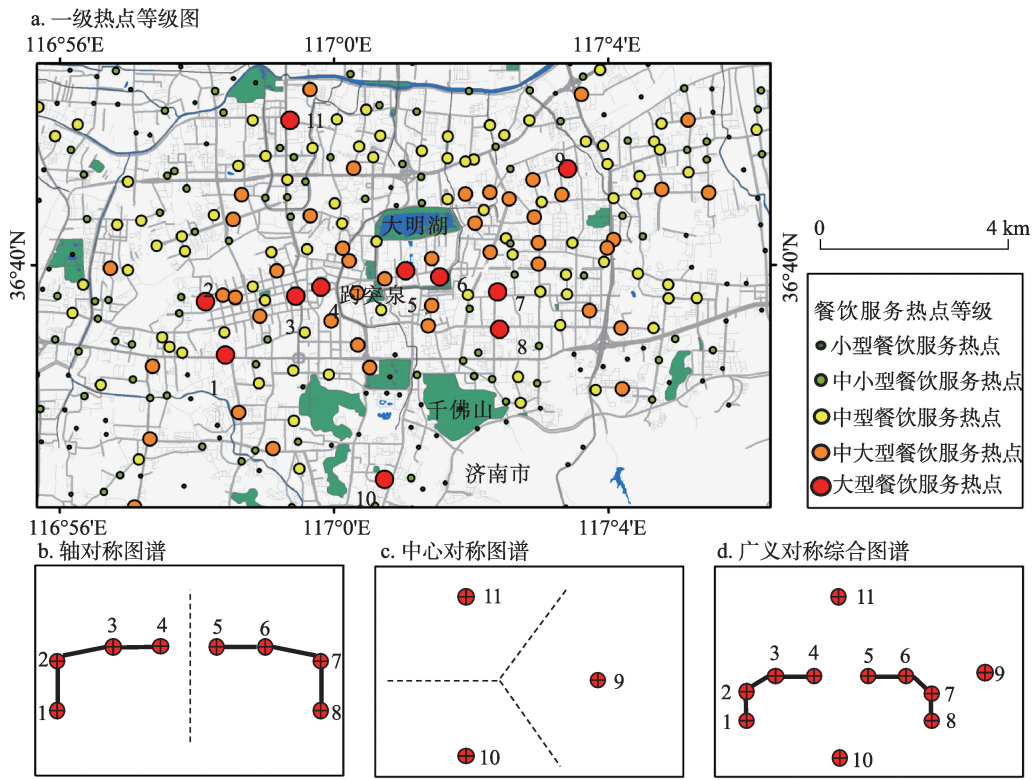


图7 大型餐饮服务热点的广义对称结构图谱提取结果

Fig. 7 The extraction result of Geo-information Tupu of generalized symmetric structure for the largest scale catering service hotspots

述城市空间的整体特征，后者主要用于体现城市的局部特征。相比前者，中大型餐饮服务热点数量较多，不同区域内形成的对称结构较多，构成了各种类型的对称结构图谱，难以对所有对称结构进行描述。这里仅以某一典型区域为例。在图 8a 所示的局部区域内，编号为 1~10 的较大餐饮服务热点中，包含这两个显著呈现广义对称结构的图谱。图 8b 所示为编号 1、2、3 和 4、5、6 的热点构成对称结构。对称意味着相似，但通过对比发现，轴的一侧是沿交通路线分布，并单独形成平移对称；轴线的另一侧并非如此，这体现的是空间分布的相似性和形成机制的相异性，即通过空间上的相似性探索形成原因是否一致。在图 8c 中，编号为 7、8 和 9、10 的热点形成了一组对称结构图谱。对称轴线两侧的热点基本都分布在道路交叉口，可以从交通枢纽或节点层面展开探讨。如果将两组对称结构图谱混合在一起表达，结果如图 8d 所示。图 8d 中，呈现广义结构对称并且已经初具规模的“较大餐饮服务热点”群并没有形成一个“大型餐饮服务热点”。这必然是由某些限制性或驱动因素所导致的。一方面，发现规律，并寻求规律背后的形成机理，是通过此图谱定量化表达与分析餐饮服务热点的主要价值之一；另一方面，将地理事物复杂的空间分布特征加以抽象，通过结构化的图谱加以表达，能够有助于认识、理解和固化和记忆地理事物的分布模式。餐饮服务热点的图谱化表达也力求达到此目的。

4.2.2 餐饮服务热点等级规模格局 如图 9 所示，以“一级餐饮服务热点”所在热点区为种子节点（共 11 个），构建数字场层次结构图谱。一级热点作为规模最大，餐饮服务最为密集的城市主要热点区域中心，与其对应的一级热点区的数量一般在特定区域内不会

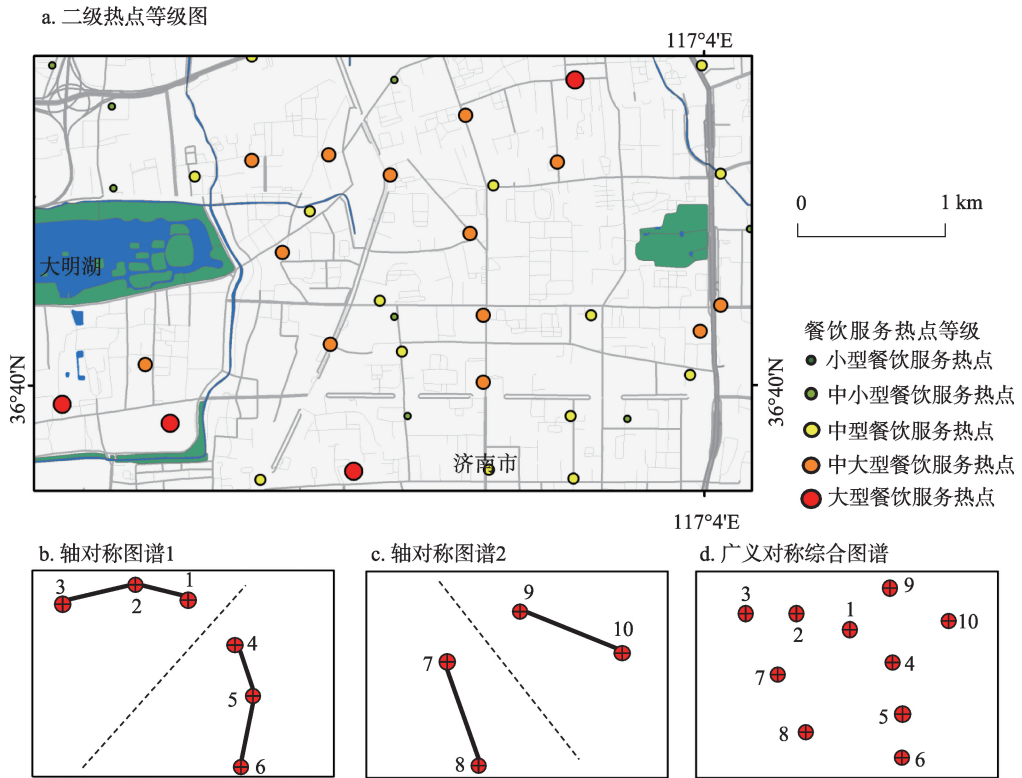


图8 局部区域较大餐饮服务热点的广义对称结构图谱提取结果

Fig. 8 The extraction result of Geo-information Tupu of generalized symmetric structure for larger scale catering service hotspots in local area

出现两个及以上的规模，即通常是单核分布。但这并不意味着不会出现双核甚至多核的一级热点群。为了保持与热点等级划分的一致性，同样基于自然间断法采用与热点等级划分相同的临界值对热点区进行等级划分，形成了如图9b所示的数字场层次结构图谱。整体而言，图9b中的数字场层级结构图谱共有5层。相比一级、二级热点树节点，三级及以上级别的热点区的节点明显较少，这表明规模较大的一、二级热点空间分异明显，而三级及其以上的热点分布则较为均匀。局部层级关系上，一、二级热点表现为8个节点的一对一关系，而仅有两个节点呈现一对多的关系，并且均为一对二的关系。这意味着一级热点区仅有两对热点呈现研究尺度下的聚集模式。结合图9a的一级热点编号和图9b的等级规模关系图谱，可以进一步分析出模式中的具体热点及相同模式热点的空间分布特征。纵向观察图9b的数字场层次结构图谱，编号为10的一级热点的不同规模等级都具有独立的层次结构，表明此一级热点区形成了该区域及周边唯一的热点。根据数字场层级结构图谱的表达内涵，这意味着10号热点不仅远离其他热点，而且更趋向于包含更少的次级、更次一级的热点；相比而言，11号热点在第四层通过23号节点聚合，其周围更小等级的热点比10号热点显然要多。因此，数字场层次结构图谱既起到呈现同一等级热点的聚集和离散程度，还可以识别出特定尺度下局部区域热点的单核、多核特征，也能一定程度上评估更小级别的餐饮热点的规模。

4.3 分析结果探讨

餐饮服务作为城市居民、游客主要的日常需求和消费活动，以餐馆为载体形成了城

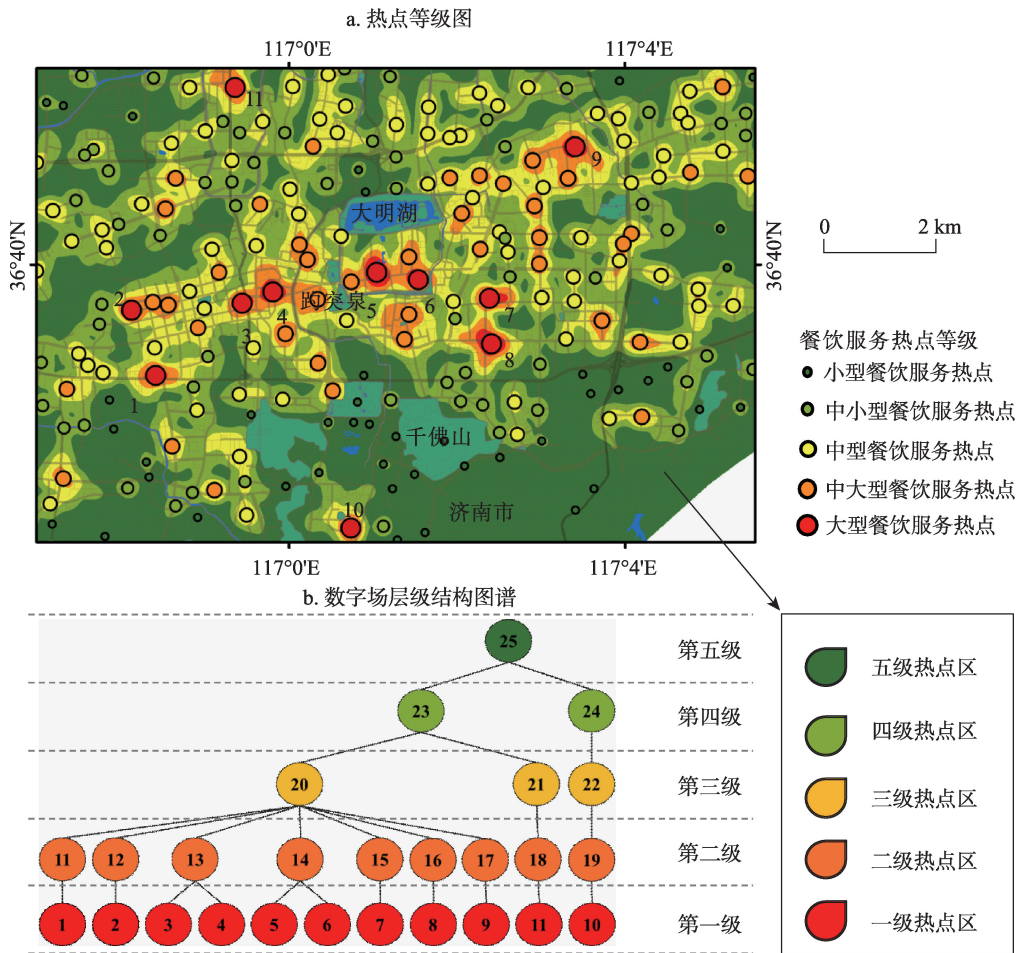


图9 研究区域内数字场层次结构图谱提取结果

Fig. 9 The extraction result of digital field based hierarchical Geo-information Tupu in the study area

市中位置明确、数量可测的餐饮服务设施。餐饮服务设施的热点空间分布格局和规模等级特征，一定程度上反映了城市的发育程度及不同发育区在空间上和规模上的关系，同时也是城市功能、城市活力的体现。

综合图7所示的餐饮服务广义对称结构图谱和图9所示的餐饮服务数字场层次结构图谱。整体上，如果将整个城区分解为东、西、南、北和中，则图7b所示的“双核”对称结构构成了整个城区餐饮服务的中心。图7c所示的对称图谱缺少了预期的西侧热点，从而形成了两两邻近的轴对称结构。再结合其他更小等级的热点分布，说明南、北、东的单核发展已经初具规模，而西部地区发育较弱，尚未形成大型餐饮服务热点。即使是中大型餐饮服务热点也未达到一定规模。其中，旧城区（二环以内区域，含古城）依然是餐饮最为密集的区域（图7b），东部地区初具规模。结合数字场层次结构图谱，南北两个大型热点的发育较为独立且南部地区更为显著，在层次树中表现独立，还意味着其周围更小等级的热点会较少，难以发挥不同等级热点组团分布的规模效应。相反，西、中、东形成了不同规模等级的热点密集的带状区，但也存在较大的差异，主要体现在东部地区（新城）和中西部地区（旧城）间的差异。这种差异即表明发育度的差异。具体表现为，中部地区发育成熟，东部地区发育活跃，西部地区发育迟缓。从城市功能差异

来看,中西部地区属于旧城区,旧城区是省会功能的集中体现区域。它既要满足本地市民的日常需求,还要满足来济南求医、求学、办事等人的需求。多因素的叠加导致其高等级餐饮服务多而密集,并形成了两个双核的大型餐饮服务热点区,这也是餐饮丰富度高的表征。西部地区一、二级热点都尚未成规模,因此城市发育度、活力均较弱。东部地区由于市委市政府东迁、高新区核心区的多年产业发展,以初具规模。其餐饮业以服务东部就业者和居住者为主,其等级与内外兼顾的旧城差异较大,尽管大型餐饮服务热点较少,但不同等级的热点分布均匀,是城市发育度最为活跃,活力较强的区域。

由于旧城最为密集的区域依然是古城与商埠,因而形成了旧城区域的“双子星”格局(图7b),两区域吸纳人群范围较广,层次多元,活力最高;北侧片区中小型餐饮密集,活力较高,符合其家居、服装、茶叶等市场类功能较多的现实需求。因此,主要以中、小型热点为主,并仅在最北边的黄河以南形成了一个大型热点,层次单一,活力较弱。南部山区主要是以生态保护和旅游资源开发为主,因而形成了相比北部地区层次更为单一的热点区;东部地区则由于规划、环境和产业高速发展、人口流向等因素,已然成为发展势头最强,功能逐步完善的最为活跃的区域。

综合以上分析,济南市主城区北边有黄河,南边有南部山区及千佛山旅游区,其南限北跨、西拓东进规划战略的影响及多年的自然式扩展,中心老城区以历史、文化驱动为主;东部地区则以政策、舆情驱动为主;南北部地区则主要受到生态保护、环境等因素的限制。因此形成了目前的餐饮热点空间分布特征和规模等级结构。

5 结论

餐饮服务POI作为基础的互联网大数据,其所具备的时效性、完整性和代表性等诸多方面的优点,将其应用于城市空间问题的研究具有重要意义。在数据密集型新范式的指导下,以数据为中心,本文引入用于热点探测和热点模式分析的量化度量模型,丰富了城市空间结构相关问题分析的度量方法。本文的主要价值包括:

(1) 采用互联网数据获取技术、大数据分析思维,基于城市餐饮服务POI提取餐饮服务热点并分析其空间分布特征与模式。为城市单一要素的形态结构定量分析提供了一种有效的分析模型。

(2) 将地学信息图谱引入到热点模式的表达和分析当中,构建广义对称结构图谱和数字场层级结构图谱,能够全面有效地识别和表达餐饮服务热点的空间分布特征和规模等级结构。实现了基于餐饮服务热点“一横一纵”的空间结构分析及其可视化。在济南实证研究中,横向的广义对称图谱既表达了一级餐饮服务热点在局部区域呈现的双子对称模式,又呈现了所有一级热点在整个研究区域中的对称分布格局。在其他级别的热点中也呈现各种对称结构。纵向的数字场层次结构图谱则定量表达了不同等级餐饮热点的规模等级及其相互关系特征。地学信息图谱的引入,极大地增强了此类问题的分析和可视表达能力。

(3) 将密度场热点探测法与图谱分析法相结合,实际上构建了一个基于点数据进行横向空间分布结构和纵向规模等级分布特征与模式分析的框架。采用此框架,也可以基于其他点要素展开城市形态结构分析,为基于点数据的城市形态结构特征研究提供了一种有效的途径。

尽管本文构建了用于热点探测、分析和表达的城市空间结构分析方法并应用于城市

空间结构的分析当中,但也存在诸多问题。热点探测严重依赖于带宽阈值的影响,选择不同的带宽,结果也会有所差异,其本质是受地理学尺度效应的影响。在基于地学信息图谱的分析与表达方法中,广义对称图谱无法完全自动生成,这也是地学信息图谱目前关注的核心问题所在。今后的研究中,将聚焦于解决以上两个方面的问题,推广到多类型要素的城市形态结构特征分析并提出更为稳健的实现方法,为城市规划中的设施规划与评价提供可用的实现模型。

致谢: 感谢山东大学博士研究生史佳璐、济南市规划设计研究院张飞规划师、南京审计大学彭冲博士在本文数据分析和结果讨论部分给予的指导和建议。

参考文献(References)

- [1] 周春山,叶昌东. 中国城市空间结构研究评述. 地理科学进展, 2013, 32(7): 1030-1038. [Zhou Chunshan, Ye Changdong. Progress on studies of urban spatial structure in China. Progress in Geography, 2013, 32(7): 1030-1038.]
- [2] Nevadomsky J, Lawson N, Hazlett K. An ethnographic and space syntax analysis of Benin Kingdom nobility architecture. African Archaeological Review, 2014, 31(1): 59-85.
- [3] 王海军,夏畅,张安琪,等. 基于空间句法的扩张强度指数及其在城镇扩展分析中的应用. 地理学报, 2016, 71(8): 1302-1314. [Wang Haijun, Xia Chang, Zhang Anqi, et al. Space syntax expand intensity index and its applications to quantitative analysis of urban expansion. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(8): 1302-1314]
- [4] Pont M B, Haupt P. The relation between urban form and density. Urban Morphology, 2007, 11(1): 62.
- [5] Pont M B, Haupt P. Space Matrix: Space, Density and Urban Form. New York: Nai010 Publishers, 2010.
- [6] 潘竟虎,李俊峰. 中国A级旅游景点空间分布特征与可达性. 自然资源学报, 2014, 29(1): 55-66. [Pan Jinghu, Li Junfeng. Spatial distribution characteristics and accessibility of A-grade tourist attractions in China. Journal of Natural Resources, 2014, 29(1): 55-66.]
- [7] 甄峰,王波. “大数据”热潮下人文地理学研究的再思考. 地理研究, 2015, 34(5): 803-811. [Zhen Feng, Wang Bo. Re-thinking human geography in the age of big data. Geographical Research, 2015, 34(5): 803-811.]
- [8] 张小英,巫细波. 广州购物中心时空演变及对城市商业空间结构的影响研究. 地理科学, 2016, 36(2): 231-238. [Zhang Xiaoying, Wu Xibo. Spatial-temporal evolution of malls in guangzhou city and its impact on urban commercial spatial structure. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(2): 231-238.]
- [9] 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. 地理科学进展, 2016, 35(8): 963-974. [Wu Kangmin, Zhang Hongou, Wang Yang, et al. Identify of the multiple types of commercial center in Guangzhou and its spatial pattern. Progress in Geography, 2016, 35(8): 963-974.]
- [10] Borroso G, Porceddu A. A tale of two cities: Density analysis of CBD on two midsize urban areas in northeastern Italy. Geocomputation and Urban Planning. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009: 37-56.
- [11] Yao Y, Li X, Liu X, et al. Sensing spatial distribution of urban land use by integrating points-of-interest and Google Word2Vec model. International Journal of Geographical Information Systems, 2016, 31(4): 825-848.
- [12] Long Y, Liu X. Automated identification and characterization of parcels (AICP) with OpenStreetMap and points of interest. Environment & Planning B, 2016, 43(2): 498-510.
- [13] 李玟,刘家明,王润,等. 北京市高尔夫旅游资源空间分布特征及影响因素. 地理研究, 2013, 32(10): 1937-1947. [Li Le, Liu Jiaming, Wang Run, et al. Spatial distribution and its influencing factors of golf tourist attractions in Beijing. Geographical Research, 2013, 32(10): 1937-1947.]
- [14] 杨友宝,王荣成,李秋雨,等. 东北地区旅游资源赋存演化特征与旅游业空间重构. 经济地理, 2015, 35(10): 194-201. [Yang Youbao, Wang Rongcheng, Li Qiuyu, et al. The evolution characteristics of tourism resources endowment in northeast china and its industry space refactoring. Economic Geography, 2015, 35(10): 194-201.]
- [15] Yue Y, Zhuang Y, Yeh A G O, et al. Measurements of POI-based mixed use and their relationships with neighborhood vibrancy. International Journal of Geographical Information Systems, 2017, 31(4): 658-675.
- [16] 许泽宁,高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939. [Xu Zening, Gao Xiaolu. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(6): 928-939.]
- [17] 焦利民,李泽慧,许刚,等. 武汉市城市空间集聚要素的分布特征与模式. 地理学报, 2017, 72(8): 1432-1443. [Jiao Liming, Li Zehui, Xu Gang, et al. The characteristics and patterns of spatially aggregated elements in urban areas of Wuhan. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(8): 1432-1443.]

- [18] 陈蔚珊, 柳林, 梁育填. 基于POI数据的广州零售商业中心热点识别与业态集聚特征分析. 地理研究, 2016, 35(4): 703-716. [Chen Weishan, Liu Lin, Liang Yutian. Retail center recognition and spatial aggregating feature analysis of retail formats in Guangzhou based on POI data. Geographical Research, 2016, 35(4): 703-716.]
- [19] 李江苏, 梁燕, 王晓蕊. 基于POI数据的郑东新区服务业空间聚类研究. 地理研究, 2018, 37(1): 145-157. [Li Jiangu, Liang Yan, Wang Xiaorui. Spatial clustering analysis of service industries in Zhengdong New district based on POI data. Geographical Research, 2018, 37(1): 145-157.]
- [20] 黄莹, 甄峰, 汪侠, 等. 南京经济型连锁酒店空间集聚特征与过程研究. 规划师, 2012, 28(12): 97-100. [Huang Ying, Zhen Feng, Wang Xia, et al. Nanjing economical hotel chain space gather feature and process study. Planners, 2012, 28(12): 97-100.]
- [21] 禹文豪, 艾廷华, 刘鹏程, 等. 设施POI分布热点分析的网络核密度估计方法. 测绘学报, 2015, 44(12): 1378-1383. [Yu Wenhao, Ai Tinghua, Liu Pengcheng, et al. Network kernel density estimation for the analysis of facility poi hot-spots. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(12): 1378-1383.]
- [22] 禹文豪, 艾廷华, 杨敏, 等. 利用核密度与空间自相关进行城市设施兴趣点分布热点探测. 武汉大学学报: 信息科学版, 2016, 41(2): 221-227. [Yu Wenhao, Ai Tinghua, Yangmin, et al. Detecting "hot spots" of facility POIs based on kernel density estimation and spatial autocorrelation technique. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2016, 41(2): 221-227.]
- [23] 秦萧, 甄峰, 朱寿佳, 等. 基于网络口碑度的南京城区餐饮业空间分布格局研究: 以大众点评网为例. 地理科学, 2014, 34(7): 810-817. [Qing Xiao, Zheng Feng, Zhu Shoujia, et al. Spatial pattern of catering industry in Nanjing urban area based on the degree of public praise from internet: A case study of Dianping.com. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(7): 810-817.]
- [24] 张子坤. 在线点评平台如何影响人们的消费行为? 一个信息性社会影响的观点. 中国科学技术大学, 2010. [Zhang Zikun. How do online review platforms affect individuals' consumption behavior? An informational social influence perspective. University of Science and Technology of China, 2010.]
- [25] 谭欣, 黄大全, 赵星烁. 北京市主城区餐馆空间分布格局研究. 旅游学刊, 2016, 31(2): 75-85. [Tan Xin, Huang Daquan, Zhao Xingli. The characteristics and patterns of spatially aggregated elements in urban areas of Wuhan. Acta Geographica Sinica, 2016, 31(2): 75-85.]
- [26] 舒舍玉, 王润, 孙艳伟, 等. 城市餐饮业的空间格局及影响因素分析: 以厦门市为例. 热带地理, 2012, 32(2): 134-140. [Shu Shewang, Wang Run, Sun Yanwei, et al. Spatial distribution of urban catering industry and its influenced factors: A case study of Xiamen city. Tropical Geography, 2012, 32(2): 134-140.]
- [27] 曾国军, 陆汝瑞. 星巴克在中国大陆的空间扩散特征与影响因素研究. 地理研究, 2017, 36(1): 188-202. [Zeng Guojun, Lu Rurui. Spatial expansion mode and its influencing factors of Starbucks in mainland of China. Geographical Research, 2017, 36(1): 188-202.]
- [28] 顾秋实, 张海平, 周星星, 等. 中国传统八大菜系的地理分布及其扩散效应: 基于大数据视角的实证分析. 浙江学刊, 2019, (5): 47-53, 241-244. [Gu Qiushi, Zhang Haiping, Zhou Xingxing, et al. Geographical distribution and diffusion effects of the eight traditional Chinese cuisine: An empirical analysis in the perspective of big data. Zhejiang Academic Journal, 2019, (5): 47-53, 241-244.]
- [29] 薛冰, 肖晓, 李京忠, 等. 基于POI大数据的城市零售业空间热点分析: 以辽宁省沈阳市为例. 经济地理, 2018, 38(5): 36-43. [Xue Bin, Xiao Xiao, Li Jingzhong, et al. POI-based analysis on retail's spatial hot blocks at a city level: A case study of Shenyang, China. Economic Geography, 2018, 38(5): 36-43.]
- [30] 秦之涓, 唐文雅, 尹元畅, 等. 基于互联网大数据的成都餐饮源细颗粒物排放空间分配研究. 环境科学学报, 2017, 37(12): 4511-4518. [Qin Zhimei, Tang Wenya, Yin Yuanchang, et al. Spatial distribution of PM_{2.5} emission from cooking sources in Chengdu based on internet big data method. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(12): 4511-4518.]
- [31] Stoyan D. Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R. A. Baddeley, E. Rubak, R. Turner. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- [32] Chen J, Shaw S L. Representing the spatial extent of places based on flicker photos with a representativeness-weighted kernel density estimation. Geographic Information Science, 2016, 9927: 130-144.
- [33] Silverman B W. Density Estimation for Statistics and Data Dnalysis. London: Chapman & Hall, 1986.
- [34] 林梅花, 甄峰. 基于核密度分析的南京市居民活动空间研究. 见: 中国城市规划学会, 贵阳市人民政府. 新常态: 传承与变革: 2015中国城市规划年会论文集(09城市总体规划). 贵阳, 2015: 486-498. [Lin Meihua, Zheng Feng. Research on living space in Nanjing city based on nuclear density analysis. Urban Planning Annual Meeting of China, In: China Urban Planning Society, Guiyang Municipal People's Government. New Normal: Inheritance and Transformation: 2015 China Urban Planning Annual Conference Proceedings (Urban Master Plan 2009). Guiyang, 2015: 486-498.]
- [35] 郭瑛琦, 齐清文, 姜莉莉, 等. 城市形态信息图谱的理论框架与案例分析. 地球信息科学学报, 2011, 13(6): 781-787. [Guo Yingqi, Qi Qingwen, Jiang Lili, et al. Research on the theoretic method and application of the urban form informa-

- tion Tupu. *Geo-Information Science*, 2011, 13(6): 781-787.
- [36] 龚泽仪, 齐清文, 夏小琳. 基于中国近代地图的城镇体系演变信息图谱. *测绘科学*, 2014, 39(8): 103-110. [Gong Zeyi, Qi Qingwen, Xia Xiaolin. Research on urban system evolution information Tupu based on China modern map. *Science of Surveying and Mapping*, 2014, 39(8): 103-110.]
- [37] Zhang H, Zhou X, Gu X, et al. Method for the analysis and visualization of similar flow hotspot patterns between different regional groups. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2018, 7(8): 328.
- [38] 齐清文. *地理信息科学方法论*. 北京: 科学出版社, 2016. [Qi Qingwen. *Methodology of Geographical Information Science*. Beijing: China Social Science Press, 2016.]
- [39] 陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用. *地理研究*, 2000, 19(4): 337-343. [Chen Shupeng, Yue Tianxiang, Li Huiguo. Studies on Geo-Informatic Tupu and its application. *Geographical Research*, 2000, 19(4): 337-343.]
- [40] 陈述彭. 地学信息图谱探索研究. 北京: 商务印书馆, 2001. [Chen Shupeng. *Exploration and Research for Geo-Informatic Tupu*. Beijing: The Commercial Press, 2001.]

Hotspot discovery and its spatial pattern analysis for catering service in cities based on field model in GIS

ZHANG Haiping^{1,2,3}, ZHOU Xingxing^{1,2,3}, TANG Guoan^{1,2,3}, ZHOU Lei⁴, YE Xinyue⁵

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation, Nanjing 210023, China; 4. School of Geographic and Biologic Information, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China; 5. College of Computing Sciences, New Jersey Institute of Technology, Newark 07102, USA)

Abstract: Catering service is an important part of urban life. Extracting urban hotspots for catering services and identifying their spatial distribution patterns is important for our understanding urban space and urban structures. In view of the shortcomings of quantitative analysis of urban morphological features based on POI in the past, the GIS field model was used to identify the spatial distribution patterns of urban feature elements, and the Geo-information Tupu was used to visualize the patterns. Taking the 47100-catering service POIs in the main urban area of Jinan city as the main data source, the catering service hotspots were first extracted based on the density field hotspot detection model and classified according to the density value; then the catering service was expressed by Geo-information-Tupu of generalized symmetric structure and digital field based hierarchical Geo-information Tupu. The spatial distribution structure characteristics and scale structure features of the hotspots are presented, and their Geo-information Tupu of distribution pattern is constructed. Finally, the results are discussed. Research shows that: (1) The digital field hotspot detection model can effectively identify hotspots in different levels from POI. (2) The Geo-information-Tupu of generalized symmetric structure and digital field based hierarchical Geo-information Tupu can analyze and express the spatial distribution structure and hierarchical structure characteristics of the food hotspot from the aspect of vertical and horizontal of space. In summary, this study provides an effective quantitative analysis method for POI-based urban feature extraction and urban morphology research. The method can also be extended to the extraction, analysis and expression of other urban feature elements.

Keywords: hotspots of catering service; urban form and structure; field model of GIS; Geo-information Tupu; urban geography