

# 多中心化下的城市商业中心空间吸引衰减率验证 ——深圳市浮动车GPS时空数据挖掘

周素红<sup>1,2</sup>, 郝新华<sup>1,2</sup>, 柳 林<sup>1,2,3</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 综合地理信息研究中心, 广州 510275;

2. 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510275;

3. Department of Geography, University of Cincinnati, Cincinnati USA OH 45221-0131)

**摘要:** 城市与区域多中心化已经成为全球性的现象, 作为快速城市化地区, 城市新中心建设和多中心现象在中国尤为普遍。把握城市中心发展客观规律, 探讨多中心的相互作用关系, 将有助于补充传统基于单中心假设的城市空间结构相关理论和模型的研究, 同时, 对指导城市商业中心选址和城市空间结构规划具有良好的现实意义。以深圳为案例, 通过海量浮动车(FCD) GPS数据的时空挖掘, 在识别出深圳市两个重要商业中心的基础上, 分析和验证了双商业中心的交通吸引时空规律以及相互作用关系。发现城市商业中心的交通吸引存在显著的幂函数关系, 验证了传统的地理空间衰减规律。同时, 这种衰减规律受到一系列因素的影响而在局部发生扰动, 主要扰动因素包括城市其他人流密集的主要功能区之间的相互吸引、基础设施对可达性的影响、地形地貌等城市空间布局因素和消费者行为、偏好等人文因素等。

**关键词:** 多中心; 城市空间结构; 空间衰减率; GPS; 大数据; 深圳

DOI: 10.11821/dlxb201412007

## 1 引言

有关城市空间结构的讨论是城市地理学的经典话题。20世纪的研究主流多围绕以芝加哥学派为代表的单中心同心圆模式<sup>[1]</sup>, 及其随后发展的扇形理论<sup>[2]</sup>和多核心模型<sup>[3]</sup>, 以及阿朗索地租模型等展开。这些研究以工业化城市物质空间为主要对象, 发展了一系列城市经典模型的研究。然而, 此类研究到20世纪末受到来自后现代城市主义学者的挑战, 以洛杉矶学派为代表的研究者认为, 城市需要关注包括全球一本土关联、社会极化、再地域化(reterritorialization)等问题, 特别是再地域化和破碎化过程是对芝加哥学派的直接批判<sup>[4-5]</sup>。有关城市是否仍然是结构化的问题, 以及基于结构化的一系列经典模型是否合理也引起争论。因此, 对这些传统模型的验证具有重要的理论意义。

与此同时, 城市多中心化及多中心网络城市区域现象逐渐受到广泛关注, 研究对象涉及多个不同尺度和地区, 如对城市尺度的洛杉矶、芝加哥等的研究<sup>[6-7]</sup>, 和对区域尺度的包括来自亚洲、美洲和欧洲等地巨型城市区域的研究<sup>[8-10]</sup>。前者侧重于探讨多中心城市的识别<sup>[11]</sup>、多中心城市的形成<sup>[12]</sup>、郊区中心对大都市区城市结构和对地价的影响<sup>[6]</sup>、多中心城市产生的效益<sup>[13]</sup>等。后者集中讨论作为一种新的巨型城市区域现象的多中心网络(Polynet)节点之间的联系(人流、物流和信息流)、节点等级体系的塑造、空间经济及规划反思等<sup>[12, 14]</sup>。然而各国之间由于文化、交通和规划政体的差异, 多中心城市与区域在空间

收稿日期: 2013-11-01; 修订日期: 2014-06-01

基金项目: 国家863项目(2013AA122302); 国家自然科学基金项目(41271166) [Foundation: National High Technology Research and Development Programme of China, No.2013AA122302; National Natural Science Foundation of China, No.41271166, No.41171140]

作者简介: 周素红(1976-), 女, 广东省饶平县人, 博士, 教授, 中国地理学会会员(S110002640M), 主要研究方向为城市空间结构、时空间行为、城市交通等。E-mail: eeszsh@mail.sysu.edu.cn

1810-1820 页

表征方面也存在一定的差异<sup>[14]</sup>,尤其对于经历了体制转型与快速城市化的中国城市,其空间多中心化现象值得关注<sup>[15]</sup>。

已有对于城市尺度商业中心的研究主要讨论商业中心的界定、功能与问题<sup>[16-19]</sup>等,而对微观机制探讨不足<sup>[20]</sup>。其次,相关研究着眼于主要空间变量,如空间区位<sup>[21]</sup>、空间结构和规模<sup>[16]</sup>、空间规划设计<sup>[22]</sup>等,而有关中心功能分化及多中心背景下经济和社会活动本身的交通吸引及其在多中心间引发“流”的空间的关注仍较缺乏。

总之,在全球化、市场化和信息化等作用下,这一系列城市多中心化、破碎化和网络化格局等新现象的出现挑战了传统基于单中心假设的城市模型<sup>[23]</sup>,也给地理学带来新的议题,空间是否依然存在逻辑?新时代面临“地理学的终结”<sup>[18]</sup>还是“新地理学的起点”<sup>[19]</sup>等成为理论界争论的焦点。尽管一些多中心城市的建模试图从理论上解释多中心城市体系形成的内在机理<sup>[26]</sup>,然而,实证研究的缺乏令一些理论和模型的说服力受到质疑<sup>[27]</sup>。在多中心格局下,结构化的空间逻辑是否已经消失?传统的地理空间的距离衰减性是否存在?空间的相互作用有哪些关系?受到哪些因素的干扰等为实证研究提出了一系列新的问题。

近年来,数据挖掘技术的突破和海量时空数据的生产,为城市空间结构理论的验证提供了一个新的视角,海量数据已被用于城市空间结构的研究。基于手机定位、浮动车(FCD)和远程交通微波传感器(RTMS)等终端数据的城市空间结构或者交通需求研究和方法得到迅速发展<sup>[28-33]</sup>,但有关空间结构与交通的关系经典理论问题研究仍有待深入。

改革开放以后,随着中国经济的飞速发展,城市化进程的迅速推进,许多城市都在经历一个快速集聚和饱和,传统商业中心不能满足城市发展的需求。1990年代,在政府的引导下,北京、上海、深圳等城市都开始规划和建设新的商业中心,在国内推起一股城市中心规划建设热潮。然而,这些由政府主导的新商业中心,有成功的经验,也有失败的经验<sup>[34-35]</sup>。城市中心作为城市各类交流活动最便捷频繁的空间场所,其规划的成功与否除了与物质性空间要素有关外,新商业中心的选址是否满足出行的客观规律也是一个重要的因素。本文试图通过深圳的出租车GPS数据(后文简称浮动车数据),在识别出深圳市两个主要商业中心基础上,验证商业中心交通吸引以及之间的相互作用关系客观规律的存在性,探讨这些空间规律主要的扰动因素,对回答针对结构主义的质疑和城市多中心化传统模型的适用性方面提供理论补充。

## 2 数据和方法说明

### 2.1 数据说明

选取深圳作为案例地,原始数据为浮动车数据。数据每隔5s左右采集一次,由于GPS数据信号接收时会受到高层建筑物和桥梁等的遮挡,实际获取的数据每辆出租车间隔的时间并不均匀。记录的基本信息包括出租车在该时间点的经纬度、速度、方位、载客状态和有效性等。以500 m×500 m单元格为基本单元,分别计算2009年5月1日、14日(周四)、17日(周日)原特区内每个单元格的起讫点(O/D)总数,进行离差标准化之后,再分别计算这三天的变异系数,结果发现5月1日(节假日)的变异系数最大,说明节假日商业中心得到强化,因此,选取5月1日至5月7日(劳动节假期)的浮动车数据,共计约3500万条记录作为研究数据。

### 2.2 研究方法

主要研究方法和思路如下:①对海量浮动车数据起讫点(O/D)的匹配;②起讫点数据热点分析;③城市商业中心吸引O/D点的核密度空间分析;④构建O/D点对的距离与点密度幂函数引力模型;⑤利用该引力函数模拟城市商业中心O/D吸引力的理论值空间分布情况,并与实际各自的吸引值的空间分布对比,分析理论与实际的差异以及背后的原因。

3 基于浮动车GPS数据的深圳市主要商业中心识别

在空间研究中,边界是甄别空间差异性的基本范畴,目前,主要采用的商业中心界定方法有机动车交通量和行人流量定界法、知觉研究定界、人口分布定界等。也有学者探讨了通过就业密度<sup>[36]</sup>、就业居住比例<sup>[37]</sup>、通勤模式等界定城市中心区的方法<sup>[38]</sup>。这些方法普遍存在阈值设置等争议,且往往需要充分的经济和人口普查数据。本研究提出一种基于浮动车GPS数据的商业中心的识别方法,以遥感影像为底图,结合起讫点密度分布以及城市规划资料和现场踏勘,初步划定两个商业中心。对研究区域划分网格,考虑到中国城市规划次干道的间距平均为500 m左右,设置网格的大小为500 m×500 m,以落在网格内的点个数表示点密度,计算全部浮动车起讫点在网格中分布的平均值,以完全落在初步划定的商业中心的网格为种子,向外计算其相邻网格的密度是否落在平均值的10%浮动范围内,若是,则可划分为商业中心的范围,否则,则停止向外计算相邻网格。如此,则可识别出华强北和东门商业中心的空间范围和位置(图1)。

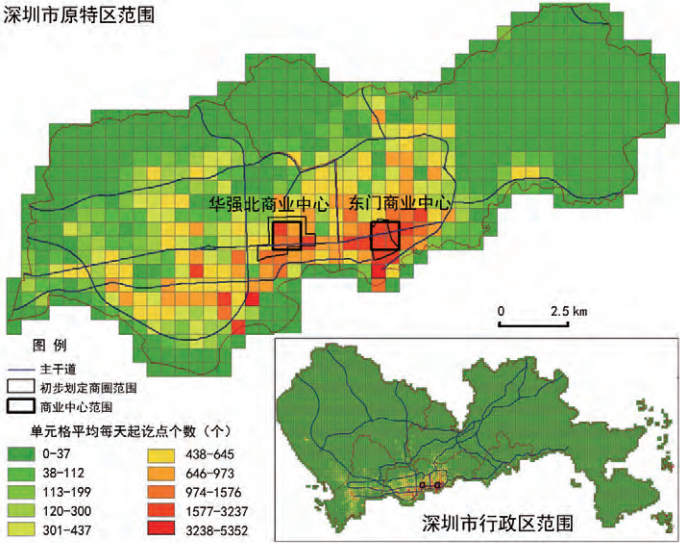


图1 深圳市主要商业中心的识别

Fig. 1 The recognition of dual commercial centers in Shenzhen, China

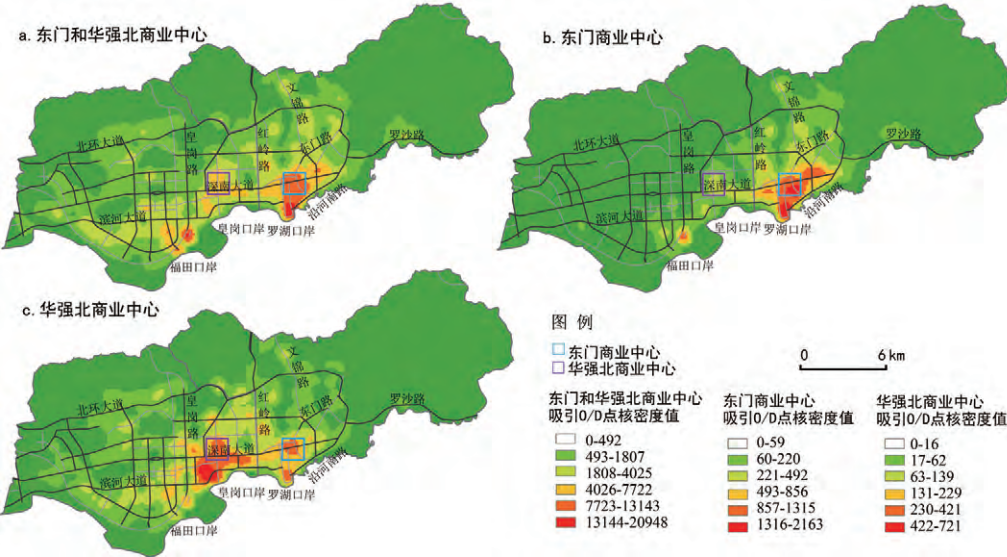


图2 深圳市原特区范围内双商业中心吸引浮动车O/D点的核密度分布情况

Fig. 2 The O/D density of floating cars visiting two commercial centers in Shenzhen SEZ



## 4 深圳市主要商业中心的浮动车交通吸引及相互作用关系

在前文识别出的商业中心范围基础上,分别识别出落在华强北和东门商业中心的起点(O)和讫点(D),根据O/D点对,反推其对应的D点的O点;设置500 m搜索半径,采用自然分段法(Natural Break)法划分核密度等级,分析两个商业中心所吸引的O/D点的密度分布;并进一步通过构建引力模型分析隐藏在空间背后的分布规律。

### 4.1 浮动车交通吸引的空间分布

以5月3日数据为样本进行核密度分析,结果表明:两个商业中心所吸引的浮动车O/D点主要分布在深圳市原特区范围内(即市中心区),并在主要口岸(包括罗湖口岸、皇岗口岸和福田口岸)、城市重要的生活性主干道(深南大道东段、东门路、文锦路南段、华强北路)周边地区、城市商务中心(福田商务中心和罗湖商务中心)以及其他主要的人口密集区(如老城中心区和滨河大道西段南侧地区)形成高密度区域(图2a)。

两个商业中心吸引浮动车O/D点存在空间差异(图2b,图2c)。首先,在数量上,作为传统的商业中心,东门商业中心吸引的浮动车数大大超过华强北商业中心,东门商业中心一天吸引的O/D点数为10721个,而华强北商业中心仅为5099个,是东门的一半左右;其次,两个商业中心吸引的热点区域都集中在以商业中心为核心的一定区域范围内,且密度级总体上由某些热点区域中心往外扩散;第三,两个商业中心之间存在一定的互相吸引关系,即各自互为对方O/D吸引的热点区域,特别是华强北商业中心,该中心吸引的主要热点区域之一便是东门商业中心;第四,两个商业中心存在部分共同的热点区域,即同时作用于某些区域,特是口岸地区、主要的生活性干道如深南大道东侧地区;第五,两个商业中心各自吸引区在方向上存在一定的互补性,即东门商业中心主要热点区位于该中心周边地区及背离华强北的方向,而华强北商业中心的主要热点区除了部分来自东门商业中心和罗湖口岸外,其他区域主要位于该中心周边及背离东门的方向。

### 4.2 浮动车交通吸引及其相互作用关系模型

为了更进一步分析两个商业中心区交通吸引及其相互作用规律,本部分以全部数据为样本,借鉴引力模型,分析了两个商业中心所吸引的O和D点密度与距离之间的关系,并探讨空间吸引的时间差异。

传统的城市引力模型假设一个城市吸引临近城市的贸易额与城市人口成正比,与两城中间的距离的平方成反比,即:

$$R_{ij} = \frac{P_i P_j}{d_{ij}^\alpha} \quad (1)$$

式中: $R_{ij}$ 为*i*城对*j*城的吸引力; $P_i$ 和 $P_j$ 为*i*城和*j*城的人口; $d_{ij}$ 为*i*城与*j*城之间的距离。表示城市规模的*P*同样可以用其他指标来代替,如建筑强度等,而距离*d*上方的指数参数 $\alpha$ 大小则可以调整,与道路的便捷程度有关,路网越发达,参数值越大,反之则小。该公式表示当城市规模值确定,城市对其他地区的吸引力大小与距离成负幂函数关系。

引力模型提出时的假设前提是平原地区,周边各区域到城市中心的可达性只与距离有关,且为单中心城市。作为复杂的双中心城市内部,其商业中心的吸引力是否也呈负幂衰减规律,商业中心间的相互作用是否对衰减规律产生干扰?本部分试图通过深圳市东门和华强北两个商业中心的浮动车GPS吸引量与距离的关系回答此问题。

分别以华强北和东门商业中心为中心,以500 m为间隔,在研究区域生成同心圆缓冲区,计算落在每个缓冲区环内单位面积上的O/D点数,拟合各种所吸引O/D点密度与距离的幂函数曲线(表1,图3,图4)。

曲线原型为:

$$Y = aX^{-m} \quad (2)$$

表 1 深圳市双商业中心浮动车吸引与距离幂函数曲线关系主要参数

Tab. 1 The main index of exponential curve of floating cars attracted by two commercial centers in Shenzhen SEZ						
幂函数曲线	东门商业中心			华强北商业中心		
主要参数	全部样本	背离华强北方向样本	向华强北方向样本	全部样本	背离东门方向样本	向东门方向样本
$a$	7.75E+12	7.16E+11	9.32E+11	1.25E+12	4.04E+10	7.74E+11
$m$	3.199	3.027	2.901	3.059	2.629	3.023
$R^2$	0.88	0.84	0.84	0.87	0.81	0.85

式中： $Y$ 指商业中心吸引的单位面积浮动车数， $X$ 是距离，数据分析表明，东门和华强北商业中心全部 O/D 点样本与距离之间拟合幂函数  $R^2$  分别是 0.88 和 0.86，具有较高的拟合度，可以看出东门和华强北两个商业中心对城市其他地区的吸引力随着距离的增加而呈明显的负幂衰减规律，从而验证了双中心城市中商业中心对周边地区的吸引力较符合引力模型所呈现的空间分布规律。

理论上，引力模型中吸引力的大小随着距离的增大，衰减越慢。而本案例可以看出，东门和华强北两个商业中心的引力—距离关系曲线都在 500~1500 m 的距离内，衰减反而较缓慢，这与邻近商业中心的居民因为距离太近，以步行代替乘坐出租车而造成的偏差有关。其次，两个商业中心在距离 6~7 km 处吸引力几乎降为 0，这与人们心理上可以承受的出行时间和空间距离以及出租车出行方式的选择偏好有一定的关系。

两中心间存在一定的相互作用关系，表现在相互背离方向和相向方向的引力模型主要参数和图形存在差异。以东门和华强北的 90° 夹角方向，同样计算在该方向上，华强北和东门两个商业中心对一定距离处的吸引力，分别生成按方向的吸引力与距离的关系曲线，如图 3 和图 4 中分方向模式所示。可以看出，考虑方向异性的情况下，同样存在引力模型所表现的距离衰减规律，虽然引力模型在理论上对双中心城市可行，但是由于两个商业中心的相互竞争的关系，在东门和华强北两个商业中心连线的方向上一定距离内，两个商业中心都对该区域的吸引力有较大的扰动。即：分方向的  $R^2$  低于全部样本的  $R^2$  值，特别是相向方向的曲线局部受到较大的扰动。东门和华强北分别在距离中心 5000 m 和 3000 m 左右，有一个小的高峰，该现象在两中心相向的方向曲线尤为明显。对照图 2 可见，距离东门中心 5000 m 左右的缓冲区内有福田口岸、莲塘等商品房集中区；福田中心区等人流相对集中的区域；距离华强北中心 3000 m 左右的缓冲区内有东门商业中心、罗湖口岸、福田中心区、福田口岸等片区。因城市并非均值地域，商业中心区交通吸引的空间衰减规律受到城市其他相关功能区的影响而发生局部的变化。而这些变化也隐含着城市中存在一系列与商业中心活动有密切关联的空间节点。特别是对于 20 世纪 90 年代之后形成的新城市商业中心，华强北商业中心，其空间衰减曲线受到同是商业中心的东门商业中心的影响较大，在与其同向上发生较大的局部变动。相比而言，传统的商业中心，东门

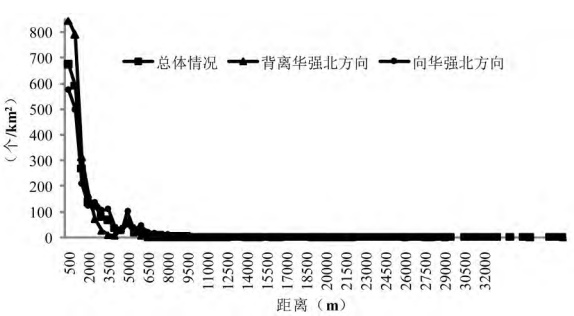


图 3 深圳市东门商业中心浮动车吸引密度分布  
Fig.3 The density of floating cars attracted by Dongme, Shenzhen

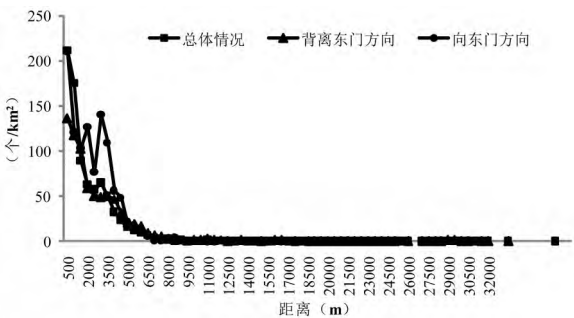


图 4 深圳市华强北商业中心浮动车吸引密度分布  
Fig.4 The density of floating cars attracted by Huaqiangbei, Shenzhen

商业中心受到华强北的影响较弱,表现为与华强北同向的曲线局部变动幅度不大,且华强北所在的位置曲线未出现大的变动。此外,对比两个商业中心不同方向引力模型的参数,可以看出,华强北商业中心相向东门商业中心方向的距离衰减系数 $m$ 大于东门的商业中心相向华强北商业中心方向的距离衰减系数 $m$ ,同样验证东门商业中心受到华强北的影响相对较弱。而华强北商业中心背离东门方向的距离衰减系数 $m$ 小于相向东门方向的距离衰减系数,则是由于在华强北的西边(即背离东门的方向)有东部华侨城、世界之窗、欢乐谷、南山新区等汇集了大量的人流。

在时间上,计算7:00到22:00两个中心区吸引浮动车数量的变化情况可见,基本上各个时段两个中心区所吸引浮动车量与距离同样存在比较明显的幂函数曲线关系,各曲线的形态比较接近,基本上都在距离中心6~7 km处吸引力几乎降为0,且在距离东门商业中心的2000~3000 m和距离华强北3000~5000 m范围都出现一定程度的扰动(图5,图6),以华强北更为显著。总体上,O/D吸引总量从上午7:00开始逐步增加,到14:00左右达到峰值后,两个中心的吸引量都存在一定程度的下降,18:00以后继续回升,并在晚上22:00达到新的峰值。这在一定程度上分反映了假期居民购物、游憩等活动的时空规律(图7)。

与此同时,两个商业中心存在一定比例的互通活动,即从一个商业中心到达另一个商业中心的活动。在7天假日内,互通活动的比例总体上呈下降趋势,意味着多目的的购物行为比例随着假日的结束而逐步减少。华强北商业中心的互通活动比例比东门的比例高(图8)。

5 深圳市双商业中心服务范围模拟及其与现实的差异

5.1 基于浮动车交通吸引及相互作用关系的商业中心服务范围空间模拟  
引力模型可以被用来界定各商业中心

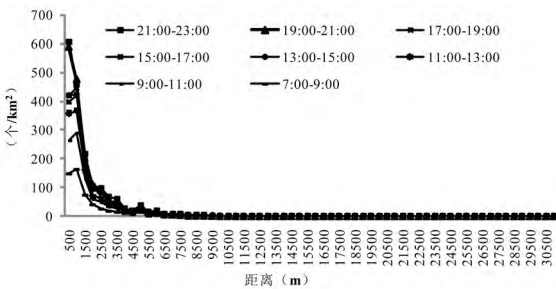


图5 深圳市东门商业中心浮动车吸引密度时间差异  
Fig. 5 The density of floating cars attracted by Dongmen Shenzhen divided by time

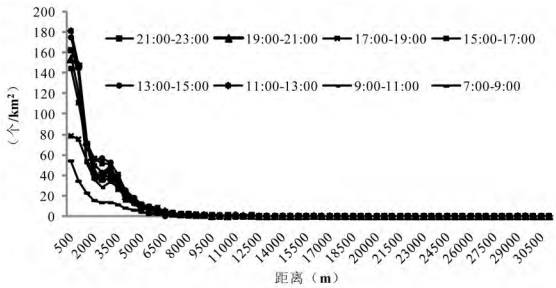


图6 深圳市华强北商业中心浮动车吸引密度时间差异  
Fig. 6 The density of floating cars attracted by Huaqiangbei Shenzhen divided by time

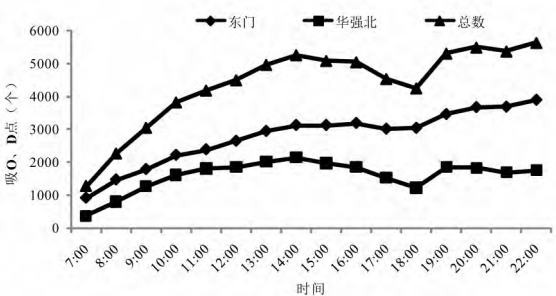


图7 深圳市东门和华强北吸引O/D点数的时间差异  
Fig. 7 The O/D of floating cars attracted by Dongmen and Huaqiangbei Shenzhen divided by time

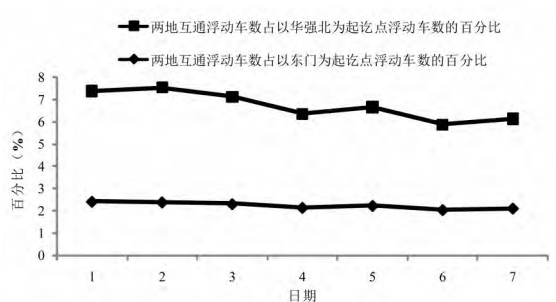


图8 深圳市东门和华强北两地互通浮动车情况  
Fig. 8 The O/D of floating cars attracted between Dongmen and Huaqiangbei, Shenzhen



的分界点和服务范围。吸引力分界点是指在这一点(即断裂点),相邻两个城市对该点的吸引力达到均衡状态,靠近哪个商业中心的一侧,哪个商业中心的影响就占主导地位。在引力模型的假设前提下,当两个商业中心的规模相等时,吸引力分界点的位置即为两个商业中心结点连线的中间位置。而由于商业中心规模大小的不相等,断裂点的位置不会正好在两个商业中心连线的中间位置,会有所偏差。由于实际上交通可达性的不均匀和地区人群偏好等原因,各商业中心的吸引范围也会与理论上的吸引范围有所偏差。本部分将通过划分双中心城市各商业中心服务范围,同时与理论值进行比较,分析差异的存在和原因。

以前文得出的东门和华强北商业中心的浮动车吸引与距离关系的引力公式,分别计算理论上两个商业中心对其他地区的吸引力,网格大小取  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ ,通过比较每个网格的受到两个商业中心吸引的引力值大小,而划定理论上东门和华强北两个商业中心各自的服务范围(图9)。

## 5.2 浮动车交通吸引及相互作用关系的模拟结果与现实服务范围的差异

本文对现实商业中心服务范围的界定是:根据东门和华强北商业中心吸引的起讫点,分别计算两个商业中心在各网格的核密度值,网格大小为  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ ,搜索半径设为  $1750\text{ m}$ (主要依据是 ARCGIS 中默认搜索半径为研究矩形最短边除以 30,考虑到 250 的整数倍,取最接近值),然后对网格做两个商业中心核密度值的差值计算,若网格中东门商业中心区的核密度值大于华强北商业中心区,则将该网格划分为东门服务范围,反之亦然,从而划定东门和华强北商业中心的服务范围,以此表示实际的商业中心服务范围(图10)。结果表明,尽管两个商业中心的服务范围存在一定程度的交错现象,但总体上仍呈现出临近性的规律,即东门主要服务区位于市区东部,而华强北的主要服务区位于市区西部,出现与趋势不符的地区主要分布在高快速路的沿线,这说明交通吸引范围将随着交通可达性的提升而扩大。同时,在两个商业中心连线的位置,存在明显的断裂现象,即:在靠近东门商业中心的一侧,东门的服务强度高于华强北的服务强度,而在靠近华强北商业中心的一侧,华强北的服务强度高于东门的服务强度,说明基于传统引力模型的空间断裂点理论在双中心城市中有一定的适用性。

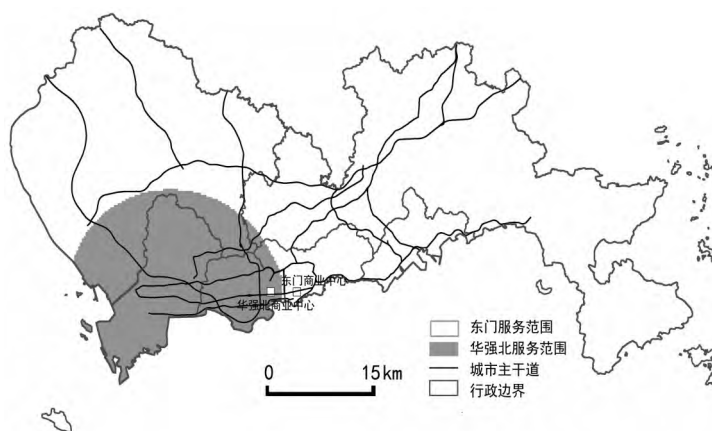


图9 深圳市双商业中心服务范围模拟

Fig. 9 The visualization of service area of Shenzhen two commercial centers

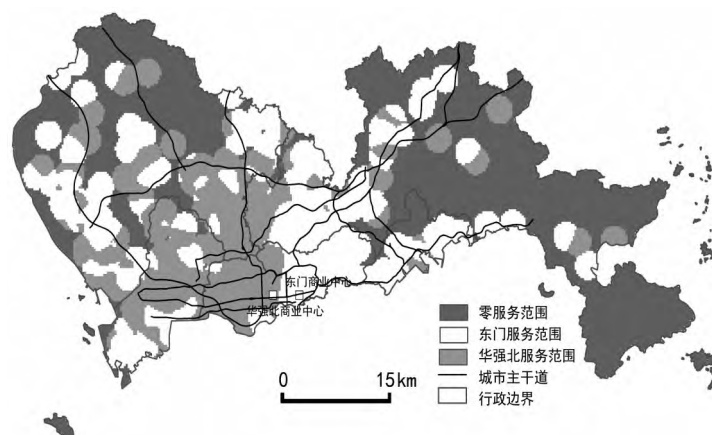


图10 深圳双商业中心实际服务范围

Fig. 10 The service area of Shenzhen two commercial centers

根据理论值划分的服务范围相比,可以看出理论与实际存在一些偏差。交错出现的“斑块”主要位于高快速路两侧;吸引值为0的区域主要是水域和山体;特殊的城市功能区会干扰空间衰减规律,如:在靠近东门的一侧,有一块区域东门的服务强度强于华强北的服务强度,该区域是皇岗口岸,由于东门为传统的商业中心,历史悠久,其建筑具有深圳特色的历史文化氛围,周边环境接近地方特色生活,虽然近年来有对东门商业中心的改造和升级,但是其建设依然力求保护城市历史文化,保留地方特色建筑,使得东门商业中心还具有旅游价值,从口岸入境到深圳的旅客,很多带有旅游的目的,从而造成东门商业中心对该区域的吸引力偏高。此外,靠近华强北一侧的几大公园,和靠近东门一侧的公园、水库,导致该区域的可达性降低,从而影响商业中心对该区域的吸引强度,甚至影响其外围的区域。

## 6 结论与讨论

全球化、市场化、信息化等作用下新的城市多中心化现象挑战了传统基于单中心假设的城市空间结构理论问题。本文针对学术界关于新的背景下,城市是否不再是结构化的,而是碎片化的,空间是否已经没有什么组织逻辑,传统的地理学空间衰减规律是否依然适用等争议,以深圳市为案例,通过对海量浮动车GPS数据的时空挖掘,验证了多中心背景下,城市商业中心交通吸引和相互作用的客观规律并探讨扰动客观规律的主要影响因素。

本文首先探讨了新的城市商业中心识别方法,并在识别出深圳市两个最主要的商业中心基础上,分析两个商业中心的浮动车吸引规律及其相关作用关系。研究表明,商业中心对浮动车的吸引在空间分布和时空关系上存在一定的规律性,总体上满足幂函数引力模型关系,存在比较明显的空间衰减规律,但受到一系列外在因素的影响,使理论值模拟结果与客观情况存在某种偏差,并在局部区间发生扰动。这些影响的因素包括来自空间作用本身的距离衰减因素外,还与城市空间布局 and 消费者行为等人文因素关系密切。空间布局因素包括城市发展的历史延续、城市其他人流密集的主要功能区之间的相互吸引、基础设施对可达性的影响、地形地貌,如水域和山地格局的影响等。在人文因素方面,市场规律、人群消费水平、心理偏好等差异也会对吸引力随距离的衰减造成扰动。具体如下:

(1) 多中心城市商业中心的交通吸引满足幂函数引力模型关系,存在比较明显的空间衰减规律及中心间的相互作用关系。

通过海量浮动车GPS数据的分析表明,地理学的空间衰减性在实际交通吸引中仍起重要作用,两个商业中心所吸引的浮动车数量与距离之间都存在相关性较高的幂函数关系。且这种关系在不同时间段都存在,只是局部受到其他因素的干扰而发生一定程度的扰动。双中心之间存在一定的相互作用关系,表现在两中心相向的方向扰动性大于相背的方向,相向方向上距离衰减系数的大小存在差异,两中心之间存在一定比例的互通关系,隐含着相互竞争与依存关系。由此可见,空间衰减性适用于以出租车为出行目的的交通行为,通过衰减规律探讨商业中心的关系和其他包括中心地理论等传统理论问题具有一定的可行性。可以推导,空间衰减性作为影响商业中心体系构成的看不见的手,对城市商业中心布局起重要的作用。

同时,前文分析也表明,两个商业中心之间存在一定的相互作用关系,主要表现在各自相向的方向,交通吸引幂函数曲线存在较明显的局部变动,而相反方向则曲线相对平滑。

(2) 空间衰减规律因受到城市空间结构与布局的影响而在局部地区发生扰动。

由前文分析表明,两个商业中心各自有相对的市场区范围,但这些市场区范围受到其他空间要素的影响而产生局部的变化,总结对比商业中心实际服务范围与模拟范围的区



别,可以看出,除了满足空间衰减规律外,还受到以下主要因素的干扰和影响,包括:实际服务区域与模拟结果有别的区域很多分布在高快速路等基础设施的周边,说明在这些设施的影响下的空间可达性变化对市场区选择产生一定的影响,基于时间的可达性在一定程度上替代了基于距离的可达性,对距离衰减规律产生部分扰动;其他实际服务区与模拟结果有别的区域主要分布在人流集中的城市功能区,如口岸、商务中心、大型居住区以及特殊的地形地貌区域,如水域和山地等,说明城市的空间格局,特别是主要人流集中区域和特殊地形地貌区域的格局对商业区的交通吸引和相互作用产生一定的影响。

(3) 市场作用与消费者行为等人文因素是影响商业中心交通吸引与相互作用的另一只“看不见”的手。

作为改革开放的前沿阵地,深圳市由20世纪80年代初的“边陲小镇”发展到目前的“巨型城市”,在短短的几十年间,城市空间迅速发展演变,浓缩了西方上百年的城市规划建设发展史,其中,大量的空间发展规律和模式在此验证并成为现实。在1980年的《深圳市城市建设总体规划》中,规划远期人口仅为60万人,1986年的《深圳经济特区总体规划1986-2000》修正为80万人。在该人口规模的定位下,城市以罗湖为中心区向外发展,东门地区是城市的商业中心,而目前的华强北片区在该规划中定位为工业区。然而,随着城市超乎寻常的迅速扩张,以东门商业中心为核心的罗湖中心区已经难以承担迅速增长的商业和商务需求,在市场主导下,华强北片区从“违章”使用到规划对其“正名”,逐渐由工业区转变为新的商业中心,因此,华强北产生的区位选址,在某种程度上是市场选择的结果,这种市场选择客观地反映了商业地选址的客观规律,即与原有的商业中心保持一定的交通吸引空间衰减距离。

此外,作为购物、游憩等消费集中地,商业中心的交通吸引也离不开消费者行为等人文因素的影响,业态在一定程度的互补性促使两个商业中心之间相互依存并存在一定比例的互通交通(图8)。例如,当居民点到两个商业中心的距离相等或者相近时,距离不再成为选择到某个商业中心购物的限制因素,由于个体消费水平、偏好,以及购物目的的不一样,两个商业中心的商业业态等方面的差异,会成为影响个体选择主导因素。东门作为深圳传统的商业中心,其业态主要是沿街布置的批发零售小店、中低档专卖店和地方特色餐饮店,消费者多来此逛品牌专卖店和其他小店面,而华强北作为深圳新发展起来的现代商业中心,主要商业业态较为丰富,以集合休闲娱乐于一体的商业建筑占主体,来此的消费者多具有多元化消费需求,且消费水平多偏中高档。这是华强北和东门两个商业中心的差异化发展的结果,它们之间形成竞争关系,吸引着不同的消费人群,使得距离不再成为二者吸引力随距离衰减的唯一因素。

由于本文选择浮动车GPS数据作为主要的数据源,对分析多种类型的复杂交通行为在代表性方面存在一定的偏差,但反映出的客观规律值得借鉴。有关多模式交通吸引的研究将在后续研究中深入探讨。

## 参考文献 (References)

- [1] Burgess E W. The growth of the city//The city: Suggestions of investigation of human behavior in the urban environment//Park R E, Burgess E W, McKenzie R D. Chicago: University of Chicago Press, 1925: 47-62.
- [2] Hoyt H. One Hundred Years of Land Value in Chicago. Chicago: University of Chicago Press.1933.
- [3] Harris C D, Ullman E L. The nature of cities. Annals of the American Academy of Political and Social Science, 1945, 242:7-17.
- [4] Dear M, Flusty S. Postmodern Urbanism. Annals of the Association of American Geographers, 1998, 88(1): 50-72.
- [5] Scott A J, Soja E W. The City: Los Angeles and Urban Theory at the End of the Twentieth Century. Los Angeles: University of California Press, 1996.
- [6] Gordon P, Richardson H W, Wong H L. The distribution of population and employment in a polycentric city: The case of Los Angeles. Environment and Planning A, 1986, 18(2): 161-173.

- [7] McMillen D P, McDonald J F. A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city. *Journal of Regional Science*, 1997, 37(4): 591-612.
- [8] Lin G C S, Mal J C. The role of towns in Chinese regional development: The case of Guangdong Province. *International Regional Science Review*, 1994, (1): 75-97.
- [9] Taylor P J, Evans D M, Pain K. Application of the interlocking network MO/Del to mega-city-regions: Measuring polycentricity within and beyond city-regions. *Regional Studies*, 2008, 42(8): 1079-1093.
- [10] Hall P G, Pain K. The polycentric metropolis: Learning from mega-city regions in Europe. Earthscan/James & James, 2006.
- [11] Giuliano G, Small K A. Subcenters in the Los Angeles region. *Regional Science and Urban Economics*, 1991, 21(2): 163-182.
- [12] Taylor P J, Evans D M, Hoyler M. The UK space economy as practised by advanced Pro/Ducer Service Firms: identifying two distinctive polycentric city-regional processes in contemporary Britain International. *Journal of Urban and Regional Research*, 2009, 33(9): 700-718.
- [13] Kohlhase J E, Ju X. Firm location in a polycentric city: The effects of taxes and agglomeration economies on location decisions. *Environment and Planning C*, 2007, 25(5): 671.
- [14] Hall P. Looking backward, looking forward: The city region of the mid-21st century. *Regional Studies*, 2009, 43(6): 803-817.
- [15] Yan Xiaopei, Yi Liu Louis, Zhou Suhong. The pluralization and government-planned mechanism of the central business district in Shenzhen, China. *Pro/Ducer Services in China*, Anthony G. O. Yeh and Fiona F. Yang, Routledge, 290-313, USA, 2013/01/01.
- [16] Burgess E W. The growth of the City" in "The City". Chicago: University of Chicago Express, 1925: 47-62.
- [17] Yan Xiaopei, Zhou Chunshan, Leng Yong. Functional features and spatial structure of CBDs in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4): 475-486. [闫小培, 周春山, 冷勇. 广州CBD的功能特征与空间结构. *地理学报*, 2000, 55(4): 475-486.]
- [18] Murphy R E, Vance J E. Delimiting the CBD. *Economic Geography*, 1954, 30(3): 189-222.
- [19] De Blij H J. The functional structure and central business district of Lourenco Marques, Mocambique. *Economic Geography*, 1962, 38(1): 56-77.
- [20] Nelson A C, Burby R J, Feser E. Urban containment and central-city revitalization. *Journal of the American Planning Association*, 2004, 70(4): 411-426.
- [21] Coffey W J, Polese M, Drolet R. Examining the thesis of Central Business District decline: Evidence from the Montreal metropolitan area. *Environment and Planning A*, 1996, 28: 1795-1814.
- [22] Liu Yi, Yan Xiaopei, Zhou Suhong. Analysis and comparison of the CBD study between domestic China and overseas. *Urban Planning Forum*, 2007, (1). [刘逸, 闫小培, 周素红. 中外CBD (中央商务区) 研究分析与比较. *城市规划学刊*, 2007, (1): 25-32.]
- [23] Alonso W. *Location and Land Use*. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 1964.
- [24] Chen Yixin. *Urban Planning Design and Practice of CBD*. Beijing: China Architecture and Building Press, 2006. [陈一新. 中央商务区 (CBD) 城市规划设计与实践. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.]
- [25] Dowall D E, Alan T P. Spatial transformation in cities of the developing world: multinucleation and land-capital substitution in Bogota, Colombia. *Regional Science and Urban Economics*, 1991, 21(2): 201-224.
- [26] Liu Anguo, Yang Kaizhong. Comments on Krugman's Edge City MO/Del. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(4): 315-322. [刘安国, 杨开忠. 克鲁格曼的多中心城市空间自组织模型评析. *地理科学*, 2001, 21(4): 315-322.]
- [27] Zhang Zulin. Quantitative revolution and positivism methodology of geography. *Studies in Dialectics of Nature*, 1991, (12): 8-14. [张祖林. 地理学中的计量革命与实证主义方法论. *自然辩证法研究*, 1991, (12): 8-14.]
- [28] Mao Xia, Xu Rongrong, Li Xinshuo. Fine grid dynamic features of population distribution in Shenzhen. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 443-453. [毛夏, 徐蓉蓉, 李新硕. 深圳市人口分布的细网格动态特征. *地理学报*, 2010, 65(4): 443-453.]
- [29] Reades J, Calabrese F, Ratti C. Eigenplaces: Analysing cities using the space-time structure of the mobile phone network. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2009, 36(5): 824-836.
- [30] Herrera J C, Work D B, Herring R. Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: The mobile century field experiment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2010, 18(4): 568-583.
- [31] Gao S, Wang Y, Gao Y. Understanding urban traffic-flow characteristics: A rethinking of betweenness centrality. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2013, 40(1): 135-153.
- [32] Li Q, Zhang T, Wang H. Dynamic accessibility mapping using floating car data: A network-constrained density estimation approach. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(3): 379-393.

- [33] Shen Yue, Chai Yanwei. Study on commuting flexibility of residents based on GPS data: A case study of suburban mega-communities in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 734-744. [申悦, 柴彦威. 基于GPS数据的城市居民通勤弹性研究: 以北京市郊区巨型社区为例. *地理学报*, 2012, 67(6): 734-744.]
- [34] Chen Weixin. Investigation on CBD development of Chinese cities. *Urban Planning*, 2003, (12): 18-23. [陈伟新. 国内大中城市中央商务区近今发展实证研究. *城市规划*, 2003, (12): 18-23.]
- [35] Jiang Zhaohui. Pleading of CBD construction in Chinese metropolitans. *Urban Planning International*, 2005, (4): 68-71. [蒋朝晖. 中国大城市中央商务区(CBD)建设之辨. *国际城市规划*, 2005, (4): 68-71.]
- [36] Redfearn C L. The topography of metropolitan employment: Identifying centers of employment in a polycentric urban area. *Journal of Urban Economics*, 2007, 61(3): 519-541.
- [37] Greene R P. Urban peripheries as organizers of what remains of the center: Examining the evidence from Los Angeles and Chicago. *Urban Geography*, 2008, 29(2): 138-153.
- [38] Cladera J R, Duarte C R M, Moix M. Urban structure and polycentrism: Towards a redefinition of the sub-centre concept. *Urban Studies*, 2009, 46(13): 2841-2868.

## Validation of spatial decay law caused by urban commercial center's mutual attraction in polycentric city: Spatio-temporal data mining of floating cars' GPS data in Shenzhen

ZHOU Suhong<sup>1,2</sup>, HAO Xinhua<sup>1,2</sup>, LIU Lin<sup>1,2,3</sup>

(1. *School of Geography and Planning, Center of Integrated Geographic Information Analysis, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;*

2. *Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Guangzhou 510275, China;*

3. *Department of Geography, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0131, USA)*

**Abstract:** Urban multi-center phenomenon is very common in many countries, which challenges urban models with the assumption of single center. Although there are literatures trying to explain the mechanism of multi-center urban system using models based on multi-center, the lack of empirical research makes the models being questioned. Under the pattern of multi-center, does the traditional classical geographic model like law of distance decay exist? What factors will disturb the model? This study aims to analyze and validate the spatio-temporal discipline of attraction and mutual relationship between two commercial centers, based on spatio-temporal data mining of floating cars' GPS data and the recognition of two important commercial centers in Shenzhen City, China. The study reveals that the attraction between two commercial centers shows distinct power function relationship, which validates the law of geographic spatial decay. At the same time, the spatial decay's law shows some local disturbances due to a series of causes, such as the mutual attraction from other important and crowded areas, the influence of infrastructure to accessibility, urban spatial layout factor like landform and humanity factors like consumer behavior and preference etc.

**Key words:** multicenter; urban spatial structure; spatial decay; GPS; big data; Shenzhen