

引用格式: 吴健生, 李博, 黄秀兰. 小城市居民出行行为时空动态及驱动机制研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(2): 176-184. [Wu J S, Li B, Huang X L. 2017. Spatio-temporal dynamics and driving mechanisms of resident trip in small cities. Journal of Geo-information Science, 19(2): 176-184.] DOI: 10.3724/SP.J.1047.2017.00176

小城市居民出行行为时空动态及驱动机制研究

吴健生^{1,2}, 李博^{1*}, 黄秀兰¹

1. 北京大学城市规划与设计学院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055;
2. 北京大学城市与环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

Spatio-temporal Dynamics and Driving Mechanisms of Resident Trip in Small Cities

WU Jiansheng^{1,2}, LI Bo^{1*} and HUANG Xiulan¹

1. Key Laboratory for Urban Habitant Environmental Science and Technology, School of Urban Planning & Design, Peking University, Shenzhen 518055, China; 2. Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Taxi is an indispensable urban traffic mode in small cities. However, there are limited efforts focusing on explaining traffic congestion or resident commuting from a perspective of land use in small cities. This study attempts to reveal the spatio-temporal dynamics of resident trip activities from the aspect of urban functional features. Based on the GPS taxi data, we build a set of temporal GWR models on an hourly basis, which indicates that urban facilities have various effects on the pick-up and drop-off events during different daytime periods. Nine facilities, including coach station, supermarket, restaurant, residential area, karaoke, hotel, hospital, bank and administrative center, have been observed to be the critical elements to explain the ridership variations. A spatio-temporal mechanism has been proposed based on the discovery that facilities with different urban functions have different impacts on resident trip demands. In contrast to the large cities, the trip activities of residents are spatially and temporally various in the small cities. The primary traffic demands are commuting activities, commerce, entertainment and intercity transfers. More rush hours, especially the “noon rush” and “midnight rush”, are revealed in small cities. The results provide valuable insights for quantitatively predicting the taxi demand as a function of the spatio-temporal variables, which may have implications on the traffic demand management and the urban planning of small cities.

Key words: small city; resident trip; taxi; GWR model; spatio-temporal dynamics

***Corresponding author:** LI Bo, E-mail: alex_libo@pku.edu.cn

摘要: 相比于大城市, 中小城市在新型城镇化中至关重要, 具有独特的居民出行行为特征, 但以往的研究并没有得到足够的关注。目前研究主要使用浮动车数据分析特大城市居民的出行行为, 但考虑到小城市土地开发强度低、公共交通不发达、研究空间尺度精细等特点, 这些研究方法不能完全适用于针对小城市的研究。因此, 本文使用小城市出租车 GPS 轨迹数据识别上下客事件, 沿道路生成随机样点采样得到了分时段的上下客密度, 并对其时空动态进行描述和表达; 筛选出显著影响上下客

收稿日期 2016-02-24; 修回日期: 2016-04-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271101)。

作者简介: 吴健生(1965-), 男, 博士生导师, 教授, 研究方向为遥感与GIS、景观生态学与土地利用、数字城市与城市安全。

E-mail: wuj@sypku.edu.cn

*通讯作者: 李博(1991-), 男, 硕士生, 研究方向为城市与区域规划, 时空数据分析与挖掘。E-mail: alex_libo@pku.edu.cn

密度时空分布的9类设施,建立出租车上下客事件的地理加权回归模型;分析了小城市出租车上下客时空动态与各类城市设施的时空关系,发现在工作日与双休日和一天中不同时段中,不同城市设施对上下客事件的影响具有不同的分布规律及其驱动机制。研究结果可为小城市的城市规划和交通需求精细化管理提供参考。

关键词 小城市;出租车;出行行为;时空动态;地理加权回归模型

1 引言

城市交通系统与城市空间结构相互影响、相互塑造。理解城市中的交通系统动态和经济社会活动空间分布之间的相互作用关系,有益于城市规划和交通需求管理。城市交通发生在城市空间相互作用过程中,土地利用和区位关系决定了居住、工作、购物、制造和消费等活动的空间分布和出行需要。个体的空间流动从居住地点经过特定的空间和路径到达另外的活动地点,再从活动地点回到居住地点,个体的出行汇聚起来就形成整体的交通需求。随着城市化进程的持续加速,城市空间结构发生了重大变化^[1],道路机动性恶化带来的环境污染^[2-4]、时间浪费^[5-6]和交通事故^[7-8]等城市交通问题日益凸显,亟需理清城市资源的空间配置及其时空属性对城市交通网络的影响机制。

随着空间分析技术的发展,应用浮动车数据等“大数据”来揭示城市交通动态,空间精确度高,获取成本更低,比问卷调查等传统方法更具优势^[9]。当前已有大量研究借助出租车的行驶状态或上下客事件的识别,对出租车GPS轨迹进行挖掘和分析。张希瑞等^[10]和鞠伟奇等^[11]分别以通行车辆数和通行速度为基础建立道路通行状况的定量评估模型,分析了深圳市路网通行状况的时空分异规律;唐炉亮等^[12]根据交叉口的不同通行模式建立了交叉口通行时间的模糊回归模型,实现了武汉市道路交叉口通行时间的准确探测;孙飞等^[13]用出租车空载率来评价出租车运营效率,得到了出租车优质客源的时空分布;桂智明等^[14]识别出租车轨迹中的上下车停靠点,并识别了不同时段交通热点区域;乐阳等^[15]基于K-mean算法提出了上客点的时空聚类方法,生成了武汉市各时段的载客热点区域;刘瑜等^[16]借助“源-汇”模型,将上下客人次差值聚类来识别用地类型,并探讨了上海市的城市结构;唐炉亮等^[17]提出一维网络空间的核密度估计方法,并分析了武汉市道路网络和出租车上客事件的时空动态;潘纲等^[18]提出改进的DBSCAN模型,利用出租车上下车点的时空特征识别土地利用类型,分类

结果达到95%的识别精度。

这些研究主要关注出行行为对交通特征和城市结构的反演,鲜有考虑城市地理环境与居民出行行为的相互作用,难以解释现象背后的深层机理;另外,这些研究主要关注人口百万级以上的大城市,尚无以小城市为对象的相关研究。现阶段中国小城市土地开发强度低、城市用地布局分散、政府财政收入少、交通基础设施落后,不利于发展地铁、公共汽车、有轨电车等常规公共交通^[19]。而出租车可以提供机动灵活、随叫随到的全天候交通服务,比公共汽车等公共交通方式更具可达性和灵敏性,在小城市的公共交通系统中占有更重要的地位。

本文利用2014年7月到9月连续13个星期的广东省台山市100辆出租车GPS轨迹数据,识别研究区出租车上客点和下客点,结合土地利用、道路网络及地理兴趣点的空间分布,建立了地理加权回归模型,模拟居民出行行为时空动态及驱动机制研究,探讨城市交通动态与社会经济功能之间的时空影响机制。

2 研究区域与数据来源

2.1 研究区概况

台山市位于广东省南部,隶属于江门市管辖,曾是近代珠江三角洲西南部地区最重要的商业中心。主城区台城街道常住人口24.7万人,根据2014年10月调整后的城市规模划分标准,属于典型的小城市。研究区域为台山市主城区的建成范围,包括台城街道下属的10个社区,总面积17.62 km²。研究区内仅有公共汽车线路8条,分担率不足7%,出租车是城市交通系统的重要组成部分。

2.2 数据来源与预处理

研究使用台山市出租车公司收集的出租车行驶GPS轨迹数据。数据包含出租车编号、GPS坐标、行驶状态、计价状态、实时车速、累计里程,每隔10 s左右记录一次。为了保证数据的时间平稳性,考虑到出租车乘车数量受到天气、节假日等特殊事

表1 识别提取出的上下客事件属性数据

Tab. 1 Attribute data after identifying pick-up/drop-off events

EID	PU_TIME	PU_Lg	PU_Lt	DO_TIME	DO_Lg	DO_Lt
376 546	0903161726	112.786117	22.251945	0903162136	112.7769	22.25272
376 547	0903161733	112.778965	22.265247	0903162138	112.7835	22.25649
376 548	0903161602	112.803337	22.250797	0903162142	112.7840	22.25627
376 549	0903161516	112.778955	22.265227	0903162216	112.7927	22.25392
376 550	0903161632	112.779172	22.265202	0903162217	112.7775	22.25241
376 551	0903161621	112.797722	22.258127	0903162251	112.7929	22.25197
376 552	0903161437	112.771000	22.259725	0903162312	112.7891	22.25273

件的极大影响,选择2014年7月1日(周二)到2014年9月29日(周一)间的13个星期的轨迹数据,识别出533 122个有效的出租车的上下客事件对,作为研究对象进入模型。

为了进一步的空间统计,需要对上下客事件分别进行采样。有关出租车轨迹的文献中选取的采样方式主要有行政区划、邮政分区或规则网格。当研究对象为大城市的主城区或中小城市时,包含行政区划或邮政分区的数量通常较少,建立统计模型所需的样本量不足。如果按照规则网格,则会出现大量没有事件点或事件点非常少的空白网格,样本分布的正态性不佳,极大影响统计模型精度。由于上下客点绝大多数分布在道路附近100 m以内,为了解决上述问题,本研究沿道路选取380个随机点进行采样,并要求点之间的最小距离大于100 m,以保证随机点的分布具有广泛性。统计随机采样点附近100 m以内上下客点总数的时平均密度,用来检验解释变量的有效性并对其进行筛选;将上下客点分为4类(工作日上下客、工作日下午客、休息日上午客、休息日下午客),计算随机采样点附近100 m内4类点的时均密度,作为地理加权回归模型中的被解释变量。

研究用到的资料还有台山市2013年土地利用数据,从中提取非建设用地和住宅用地,该数据与道路数据均来源于台山市城乡规划局。兴趣点位置数据主要抓取自百度地图,包括餐馆、商场、酒店、KTV;其余的兴趣点位置数据也来源于台山市城乡规划局,包括医院、学校、观光景点、行政部门。兴趣点被处理为矢量点格式,属性包含了其空间坐标、名称等。对生成的随机点做以20、50、100、200和500 m为半径的五级缓冲区,分别统计缓冲区内的土地利用面积与兴趣点密度,作为模型中的解释变量。

3 研究方法

3.1 筛选解释变量

解释变量之间的多重共线性问题会对地理加权回归模型的有效性产生负面影响。为避免多重共线性的影响,建立多元逐步回归模型对预处理后的解释变量进行筛选。

首先,将全部解释变量与被解释变量的相关程度按照相关性绝对值的大小从大到小排序,在每个类别缓冲区半径不同的解释变量当中,确定与被解释变量相关程度最高(即排序最高)的解释变量。其次,对解释变量进行Pearson相关系数分析,系数大于0.7表示这些解释变量间有很高的共线性,仅需保留其中一个变量。最后,移除在 $\alpha=0.05$ 显著水平下不满足T检验、不满足模型先验假定的和方差膨胀因子大于10的解释变量。

经过逐步回归,共筛选出9个解释变量进入到最终的多元线性回归模型,包括resi_200、ktv_200、rest_200、sta_200、bank_200、hos_200、shop_100、hot_100、adm_500。最优模型的修正 R^2 达到0.809,表示模型能解释的被解释变量的百分比分别为80.9%。方差膨胀因子(VIF)在1和2之间,表示模

表2 通过筛选的解释变量

Tab. 2 Explanatory variables after variable selection

变量名	兴趣点类型	缓冲区范围/m
resi_200	居住小区	200
ktv_200	歌厅	200
rest_200	餐馆	200
sta_200	长途车站	200
bank_200	银行网点	200
hos_200	医疗设施	200
shop_100	大型超市	100
hot_100	酒店	100
adm_500	行政办公	500

型中的解释自变量间不存在明显的共线性。t统计量均大于1.966,表示在0.05的置信水平下解释变量具有显著性。

3.2 建立分层地理加权回归模型

地理加权回归模型(Geographically Weighted Regression, GWR)是将数据的空间位置嵌入到回归参数中,引入地理距离权重进行最小二乘法逐点参数估计,来分析空间数据非平稳性的统计回归模型。其不仅能在从机理方面解释自变量的时空分布特征,而且往往对因变量的解释程度优于常规回归模型,在流行病学、区域经济和城市研究的空间模拟上均有很好表现。地理加权回归模型允许回归参数在局部随地理位置变化,因而可以反映空间非平稳性。

本文结合GWR 4.0软件,选取24 h的时间截面逐时建立地理加权回归模型,进行时空动态及驱动力研究。其表达式如式(1)所示。

$$y_{i,t} = \beta_{0,i}(u_i, v_i) + \sum_k \beta_{k,i}(u_i, v_i) x_{k,i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

式中: (u_i, v_i) 为观测点的地理坐标; t 为上客事件的发生时间; $\beta_k (k=0,1,2, \dots, m)$ 为第 i 个观测点的第 k 个回归参数,用邻近观测点 i 的数据建立独立的局部回归模型,以加权最小二乘法进行参数估计,使更近的观测点对 i 点具有更高的权重。权重 $w_{i,j}$ 由式(2)的高斯核函数确定。

$$w_{i,j} = \begin{cases} \exp\left[-0.5\left(\frac{d_{i,j}}{b}\right)^2\right], & d_{i,j} < b \\ 0, & d_{i,j} \geq b \end{cases} \quad (2)$$

式中: 距离 $d_{i,j}$ 表示观测点 j 与点 i 的欧式距离; 带宽 b 表示距离阈值,当 b 增大时地理加权回归模型

将趋近于多元线性回归模型,当 b 接近0时会导致模型过度拟合。由于点 j 的分布并不均匀,为确定最佳带宽,使用AICc准则作为确定每个点 i 带宽的标准。

4 上下客的时空动态

4.1 上下客点的空间分异特征

按照 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 网格分别统计上客点与下客点的空间分布,初步探讨居民出行行为的时空分异特征,如图1所示。研究区上客点与下客点的空间分布总体呈现为沿道路集中分布、随距离衰减的特点,并在远离道路的地方存在既无上客点也无下客点的空白区域。上下客点随道路远离呈负指数分布而减少,超过90%的上下客点发生在道路两侧50 m以内。如果采用细网格建立统计模型,上述空白区域会影响模型精度。

对比图1(a)与图1(b),上客点的空间分布比下客点更加集中,这与所处道路的等级有关。小城市出租车在实际运营中,乘客往往选择到过往车辆更多的城市主干道叫车,当出租车空载时,会倾向于在客源更充足的城市主干道接客,因此上客事件在城市主干道附近发生得更加频繁;而当出租车上客后,乘客通常选择距离目的地尽可能近的地方下车,由于乘客的目的地具有多样性,下客点会更加分散于城市的次干路和支路。

研究区形成5个典型的上客、下客热点区域,如图1中的a、b、c、d、e区域。a区域在环市西路、桥湖路与站西路交叉路口北侧,这里有台山汽车总站,是台山市最重要的对外交通运输区,也是产生

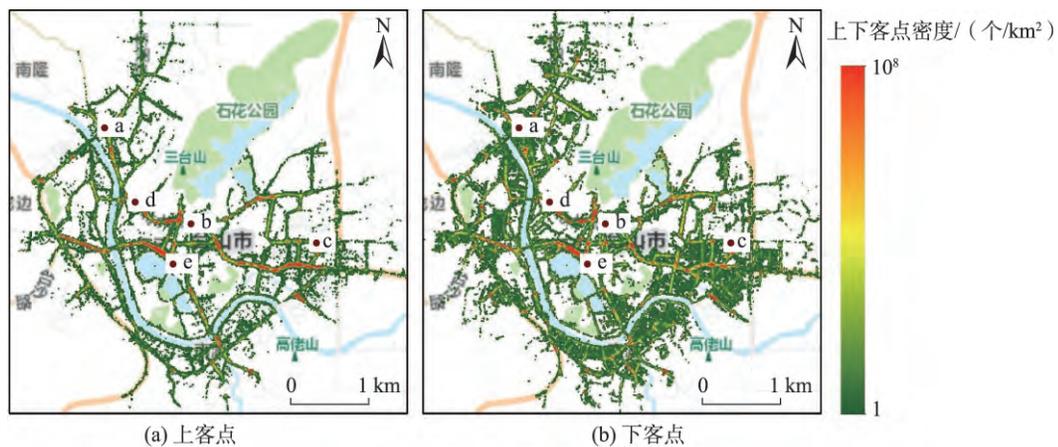


图1 上客点与下客点密度空间分布格局

Fig. 1 The spatial distribution of pick-up points and drop-off points

市内交通客流的重点区域。b区域在环北大道与健康路交叉口一带,台山市人民医院与台山市妇幼保健院均在200 m范围内,其中台山市人民医院是台山市最大的医疗机构,拥有全市1732张病床中的900张。由于出租车能提供较细致的交通服务,就诊探病是出租车的主要目标客源之一。c区域位于东门白石路附近,分布有主城区最大的居住社区侨雅花苑,该社区定位高端,居民消费能力较高,更经常乘坐出租车出行。d区域位于环北大道、桥湖路与西南路的三叉路口,e区域位于健康路与通济路的路口,二者分别在台城西宁市街区的两端。西宁市街区是广东省历史文化街区,是台山市的传统商业中心,不仅集聚着综合商场、服装店铺,还涉及到酒店、餐馆和娱乐场所。上述分布特点,充分说明了出租车上下客事件的空间集聚,与周边交通站

场、公共服务与商业集聚等因素密切相关。

4.2 上客点与下客点的时间变化特征

分别统计研究区中每天每小时内上客事件与下客事件的发生总数,由此得到日变化趋势。如图2所示,曲线分别表示工作日或双休日的时均值,阴影部分表示与时均值相距一个标准差的范围。上客的变化趋势整体上与下客的变化趋势基本相同,下客相比上客有略微的滞后。上下客的次数在凌晨五点钟最少,早高峰后迅速上升,到上午9时后基本稳定。上午10时上下客次数达到小高峰,从11-12时逐渐回落,这与午休的时间基本吻合。下午1时后上下客次数再次增加,而后比较平稳,一直持续到下午5时后开始减少,这时在小城市通常是晚饭时间。下午7时上下客次数快速升高,晚上9-10时达到全天的最

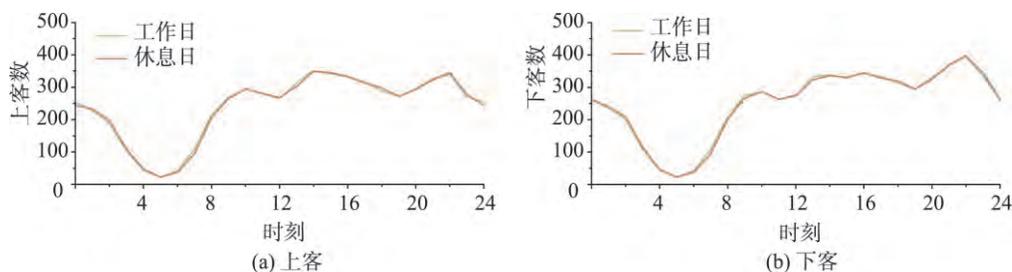


图2 研究区上客事件与下客事件总数的变化趋势

Fig. 2 Variation trends of pick-up events and drop-off events in the study area

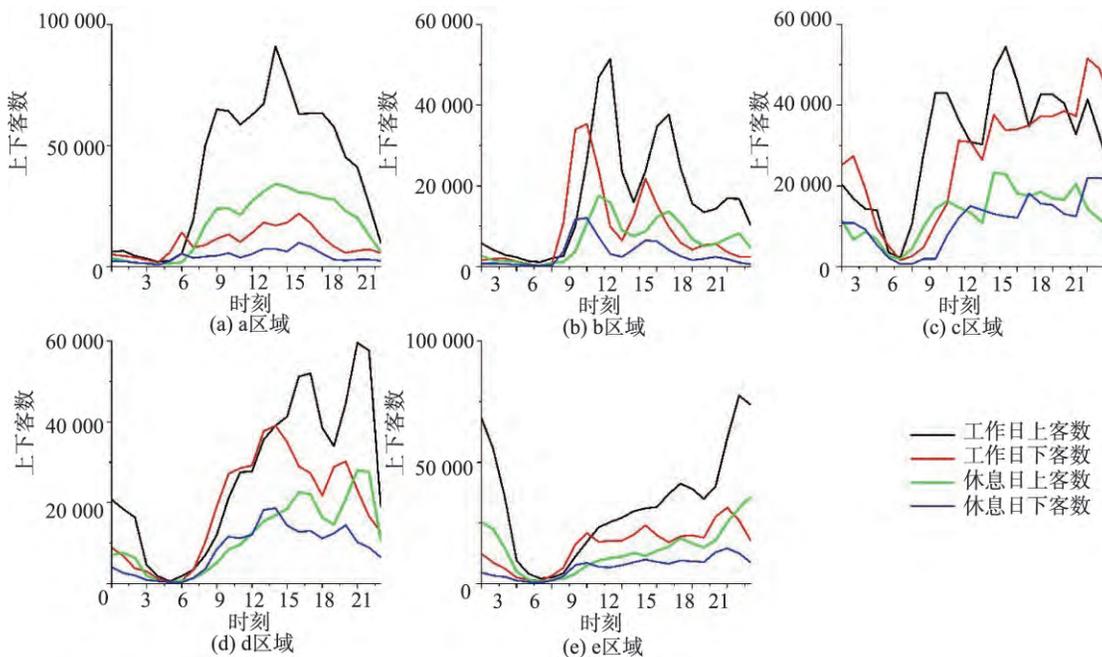


图3 5个典型地点附近的上下客日变化情况

Fig. 3 Variation trends of pick-up/drop-off events at five typical places

高点,11时后迅速减少,直到凌晨。

图3表示5个典型地点周边100 m范围内上下客数的日变化情况,研究区内不同区域的上客和下客具有不同的活跃时段。其中,a区域主要活跃于早8时到晚7时,这与附近长途车站的运营时间相同;b区域在上午8-10时和下午1-4时下客量较多,乘客到此的主要目的可能是就诊,而上客活跃的时段要比下客晚1 h;c区域在上午7-9时和中午1-2时存在明显的上班乘车高峰,在晚8时还有外出娱乐的乘车高峰,而晚9-11时是该处的返程高峰期;d区域地处商业中心,于下午1时到晚上10时比较活跃,下客高峰出现在下午2时和晚上8时,上客高峰出现在下午4时和晚上7时;e区域处于商业中心的另一侧,最活跃的时段是晚上8时到凌晨1时,业态差异可能是造成d区域和e区域活跃时段不同的主

要原因,d区域主要集聚着购物场所,而e区域以娱乐设施为主。

4.3 上下客事件分布的时空关联

为了进一步考察研究区上客下客点分布的时空关联及其集聚特征,计算全局Moran's I指数。图4显示,上客点密度在0.01显著性水平下全天Moran's I值在0.169~0.731之间,表示上客点密度存在正的空间自相关。上午7时到下午5时,上客点密度的全局Moran's I指数在0.169到0.259之间小幅波动,表明空间集聚程度较弱;下午6时后空间集聚程度明显加强,全局Moran's I指数在下午7时达到0.367;空间集聚程度在凌晨1时后再次大幅上升,在凌晨2时达到最高值0.731,此时上客点分布最集中。下客点密度的全局Moran's I指数变化趋势与上客点基本相同,但波动幅度比上客点更加平

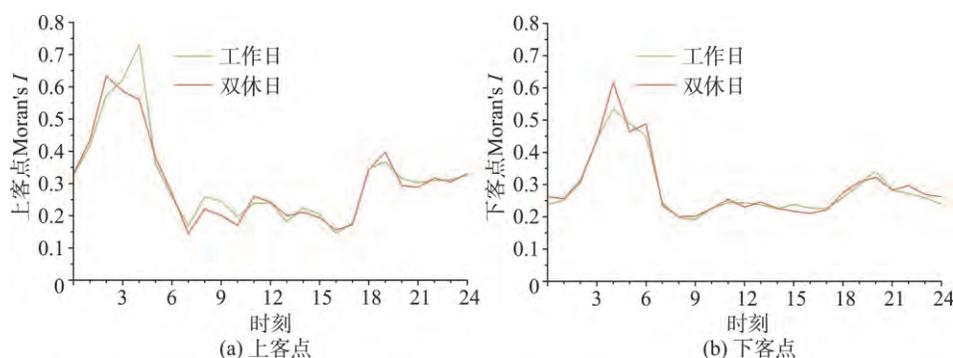


图4 上客点与下客点密度的全局Moran's I指数变化

Fig. 4 Variation of Global Moran's I for the densities of pick-ups and drop-offs

稳,反映下客点分布相对分散。综上所述,上客点与下客点的空间分布呈现显著为正的空间自相关,建立地理加权回归模型进一步探讨其空间异质性。

5 居民出行时空演变的驱动机制

分时段进行地理加权回归,共得到 $24 \times 4 = 96$ 个模型。图5为这些模型的调整 R^2 值随时间变化情况,可知绝大多数调整 R^2 大于0.7,说明模型解释力较好。其中半数模型的调整 R^2 超过0.8,表示模型解释了上客点与下客点密度分布总方差的80%以上。此外,还有10个模型的调整 R^2 小于0.5,这些模型集中在晚22时到凌晨2时,由于午夜出行数量较少,更有随机性,因此模型未能充分解释午夜的出行。

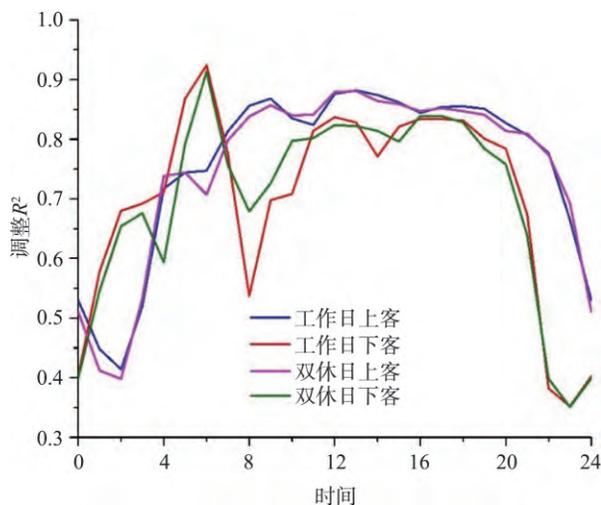


图5 分时段建立地理加权回归模型的调整 R^2

Fig. 5 Adjusted R^2 of GWR models on an hourly basis

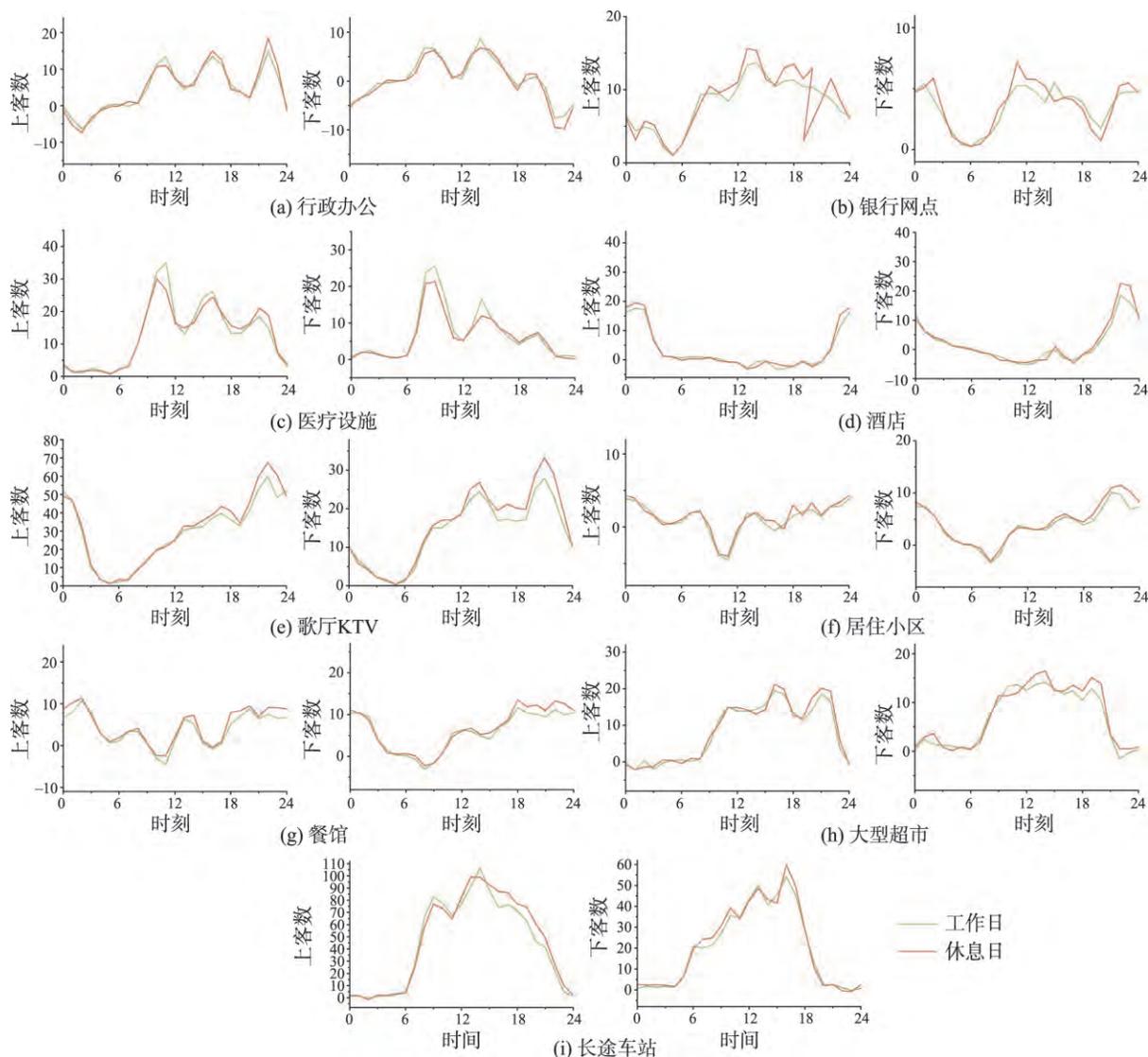


图6 影响系数的平均值及方差范围的变化趋势

Fig. 6 Variation of the mean and STD values of each GWR coefficient for the pick-up/drop-off events

图6为地理加权回归模型中各影响因素系数随时间的变化情况,该系数可表示不同时段内由于各类设施的居民活动而在附近区域产生的上下客事件的数量,即设施对上下客影响的强度,其变化规律为:

(1)将工作日与双休日相比较,同种设施的影响系数变化规律总体上相似,但是工作日和双休日在部分时段的变化情况有所不同。在外出活动的时段,多数设施类别在双休日比工作日产生更多的上下客事件,其中比较明显的有银行网点、酒店、歌厅、餐馆和超市。这些设施均与购物活动和娱乐活动有关,可以说明双休日的消费性活动促进了出租车的出行。另外,双休日住宅小区产生的下客晚高峰从工作日的晚10时结束推迟到了24时结束,也佐证了上述结论。医疗机构是例外,在工作日上下

午的出诊时段比双休日产生更多的上下客事件,这是双休日出诊的专业医生较少所致。

(2)同一类别的设施对附近区域上客事件和下客事件的影响存在差异。住宅小区在早晨8-10时开始产生上客早高峰,此时其对附近区域下客的影响微乎其微;在晚上8-11时有很强的返程高峰,但此时其对附近区域上客的影响趋于平稳。办公设施产生的上客高峰发生在早上10时、下午4时和晚上10时,而其产生的下客高峰发生在早上8时、下午2时和晚上8时,相比上客高峰均提前2h左右;另外,行政办公设施产生的上客晚高峰较强、下客晚高峰较弱。这些差异反映出居民通勤活动中居住地与就业地的交互特征。

(3)不同种类设施对附近区域上下客事件的影

响呈现不同的时段分布特征。办公设施、医疗设施、银行网点和超市均呈现显著的“3 高峰模式”,然而 3 个高峰的程度各有不同。行政办公设施和医疗设施相似,3 个上客高峰比较平均,但晚 7 时到晚 8 时的下客高峰较弱,反映政府部门和医疗机构的运营时间比较规律;银行网点往往分布在毗邻繁华街道的商业区,这些商业区通常活跃在午后和傍晚,引起了较强的午高峰和晚高峰;超市的 3 个高峰分布在早 9 时到晚 10 时的营业时段,但波动幅度都非常小。

(4) 夜间经济活动产生的交通需求常常为交通规划者所忽视。在很多南方城市的居民在夜间有宵夜、唱歌等娱乐活动,晚上 9 时到凌晨 3 时的午夜时段产生大量的交通需求。研究中,酒店设施对上客和下客的影响呈现“单峰模式”,最高峰分别出现在晚上 10 时和凌晨 2 时;歌厅的影响在傍晚开始升高,到晚上 9 时达到最高,到凌晨 2 时趋于消失,该现象验证了国家《娱乐场所管理条例》中“每日凌晨 2 时至上午 8 时,娱乐场所不得营业”的条款的落实情况;餐馆的影响在凌晨 2 时最高,甚至超过午餐晚餐的时段,可以看出南方城市居民夜间经济活动对交通需求的重要性。

(5) 某些设施对附近区域上客事件和下客事件的影响呈现出显著的小城市特征。例如,从住宅小区对下客事件影响系数的时间变化可以发现,与发达大城市相比,除了最高的晚高峰外在中午 11 时半和下午 4 时左右分别有 2 个次高峰。前者是由于小城市存在午休时间,由于通勤成本远低于大城市,居民通常选择回家午休;后者是低年级学校的放学时间,家长在此时搭乘出租车接送子女放学回家。随着城市规模的扩大和城市功能布局的分异,城市的早晚高峰将会更加显著,午高峰等次高峰将逐渐消失。

由上述规律可以看出,各类设施的影响系数在不同时段的变化规律有很大不同。这说明城市居民根据不同的设施有不同的出行行为模式,随着出行场景的不断变换而汇聚并演化出城市交通的动态景观;而居民的出行行为在空间不断地聚集和消散,也为地理空间赋予了随时间变化的交通需求源汇属性。

6 结论与讨论

本文使用出租车 GPS 轨迹数据识别出上下客

事件,以沿道路分布的随机点对出租车的上下客密度进行分时段采样,表达和描述了台山市主城区居民出行行为的时空动态;筛选出显著影响上下客密度时空分布的 9 类设施,建立了出租车上下客事件的地理加权回归模型,并避免过多空白栅格可能带来的模型失效;分析了小城市出租车上下客时空动态与各类城市设施的时空关系,发现在工作日与双休日和一天中不同时段中,不同城市设施产生的上下客事件的分布规律及其驱动机制。

结合台山市主城区出租车上下客的时空分异规律,可以看出中小城市居民的出行目的主要是通勤活动、商业娱乐和城际换乘,各种出行活动表现出不同的时空规律和驱动机制,出行高峰时段比大城市多,常出现特有的午高峰和午夜高峰现象等。城市设施的布局对城市交通有较大影响,因此在中小城市的城市规划和交通管理中一定要考虑居住、就业和商业娱乐等生活服务的平衡,从而缓解高峰时段给城市交通等公共服务带来的负荷。

居民出行行为的时空动态,客观上体现出城市居民的日常行为与城市建成环境的相互作用。通过传感技术捕捉居民出行行为的实时动态,充分利用“社会感知计算”挖掘和分析群体的时空交互特征和规律,有助于认清居民与出行场所的时空关系,进而理解城市交通需求的产生机理^[20]。研究得到不同城市设施对出租车上下客生成影响的变化曲线,是分析解决高峰时段拥堵等交通问题、实现“错峰出行”并合理调整城市设施空间配置的重要参考依据。

中小城市数量众多,交通低效、用地粗放、城市布局有待优化,在推进新型城镇化的进程中起举足轻重的作用,但国内关于中小城市交通行为和交通管理的研究仍然有限。因此,未来应对中小城市居民出行特征和规律进行进一步探索,为中小城市城市规划和交通精细化管理提供参考,以满足随经济发展而日益增长和多样化的出行需求。

参考文献(References):

- [1] 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. [Zhou S H, Yan X P. The relationship between urban structure and traffic demand in Guangzhou[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005,60(1): 131-142.]
- [2] Gan W Q, Davies H W, Koehoorn M, et al. Association of long-term exposure to community noise and traffic-relat-

- ed air pollution with coronary heart disease mortality[J]. *American Journal OF Epidemiology*, 2012,175(9):898-906.
- [3] van Kempen E, Babisch W. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: A meta-analysis[J]. *Journal OF Hypertension*, 2012,30(6):1075-1086.
- [4] Cui L, Shi J. Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China[J]. *Urban Climate*, 2012,2:1-15.
- [5] Kok A L, Hans E W, Schutten J M J. Vehicle routing under time-dependent travel times: The impact of congestion avoidance[J]. *Computers & Operations Research*, 2012,39(5):910-918.
- [6] 古杰,周素红,闫小培,等.居民日常出行时空集聚视角下的城市交通拥堵形成机制研究——以广州为例[J].*地理科学*,2012,32(8):921-927. [Gu J, Zhou S H, Yan X P, et al. Formation mechanism of traffic congestion in view of spatio-temporal agglomeration of residents' daily activities: A case study of Guangzhou[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012,32(8):921-927.]
- [7] Wedagama P D M, Bird R N, Metcalfe A V. The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties [J]. *Accident, Analysis and Prevention*, 2006,38(6):1049-1057.
- [8] 柳林,宋广文,周素红,等.城市空间结构对惠州市中心城区交通事故影响的时间差异分析[J].*地理科学*,2015,35(1):75-83. [Liu L, Song G W, Zhou S H, et al. Temporally impact of urban structure on city traffic accidents in Huizhou[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015,35(1):75-83.]
- [9] 刘瑜,肖昱,高松,等.基于位置感知设备的人类移动研究综述[J].*地理与地理信息科学*,2011,27(4):8-13. [Liu Y, Xiao Y, Gao S, et al. A review of human mobility research based on location aware devices[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2011,27(4):8-13.]
- [10] 张希瑞,方志祥,李清泉,等.基于浮动车数据的城市道路通行能力时空特征分析[J].*地球信息科学学报*,2015,17(3):336-343. [Zhang X R, Fang Z X, Li Q Q, et al. A spatio-temporal analysis on the heterogeneous distribution of urban road network capacity based on floating car data [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2015,17(3):336-343.]
- [11] 鞠炜奇,杨家文,林雄斌.基于速度和出行时间指数的道路机动性评估方法及应用——以深圳市为例[J].*地理与地理信息科学*,2015,31(5):65-68. [Ju W Q, Yang J W, Lin X B. Measuring road mobility by speed and travel time index and its implication: A case study of Shenzhen [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2015,31(5):65-68.]
- [12] 唐炉亮,郑文斌,王志强,等.城市出租车上下客的GPS轨迹时空分布探测方法[J].*地球信息科学学报*,2015,17(10):1179-1186. [Tang L L, Zheng W B, Wang Z Q, et al. Space time analysis on the pick-up and drop-off of taxi passengers based on GPS big data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2015,17(10):1179-1186.]
- [13] 孙飞,张霞,唐炉亮,等.基于GPS轨迹大数据的优质客源时空分布研究[J].*地球信息科学学报*,2015,17(3):329-335. [Sun F, Zhang X, Tang L L, et al. Temporal and spatial distribution of high efficiency passengers based on GPS trajectory big data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2015,17(3):329-335.]
- [14] 桂智明,向宇,李玉鉴.基于出租车轨迹的并行城市热点区域发现[J].*华中科技大学学报(自然科学版)*,2012,40(S1):187-190. [Gui Z M, Xiang Y, Li Y J, et al. Parallel discovery of city hot spot based on taxi trajectories[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition)*, 2012,40(S1):187-190.]
- [15] Yue Y, Zhuang Y, Li Q, et al. Mining time-dependent attractive areas and movement patterns from taxi trajectory data[C]. 2009 17th International Conference on Geoinformatics, 2009:1-6.
- [16] Liu Y, Wang F, Xiao Y, et al. Urban land uses and traffic 'source-sink areas': Evidence from GPS-enabled taxi data in Shanghai[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1):73-87.
- [17] Tang L, Kan Z, Zhang X, et al. A network kernel density estimation for linear features in space-time analysis of big trace data[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016,30(9):1-21.
- [18] Pan G, Qi G, Wu Z, et al. Land-use classification using taxi GPS traces[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2013,14(1):113-123.
- [19] 王好岷,程龙,冯岑,等.中小城市居民出行特征片区差异性分析——以浙江省长兴县为例[J].*市交通*,2015,13(2):55-62. [Wang Y J, Cheng L, Feng C, et al. Area difference in travel characteristics of residents in small and medium-sized cities: A case study in Changxing county, Zhejiang Province[J]. *Urban Transport of China*, 2015,13(2):55-62.]
- [20] 关美宝.时间地理学研究中的GIS方法:人类行为模式的地理计算与地理可视化[J].*国际城市规划*,2010,25(6):18-26. [Kwan M-P. GIS methods in time-geographic research: geocomputation and geovisualization of human activity patterns[J]. *Urban Planning International*, 2010,25(6):18-26.]