

基于上落客时空特征的出租车停靠站选址模型

金雷, 谢秉磊*

(哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 广东, 深圳 518055)

摘要: 为了规范出租车运营, 改善出行者候车环境, 提高出租车经营效益, 进行基于出租车出行需求特征的停靠站选址研究有着十分重要的现实意义. 本文首先界定了出租车出行需求时空热点的含义, 基于样本出租车GPS数据研究出行需求的时空聚集特征, 得到了出行高峰时段和出行热点区域. 将出行需求作为依据应用于出租车停靠站选址, 提出了基于最大覆盖的停靠站选址模型, 同时结合出行者的不确定性交通行为和消费特点, 在车站服务能力、出行者步行距离和计划修建数量等方面分析了模型的适用条件. 实例区域的选址研究结果表明, 以客观需求为依据的选址方法, 可以更好地契合出行者的出行需求, 具有较高的实用性.

关键词: 交通工程; 选址; 最大覆盖模型; 出租车停靠站; 出行高峰时段; 出行热点区域; GIS

DOI: 10.16097/j.cnki.1009-6744.2015.02.028

A Location Model for Taxi Stands Based on Spatial-temporal Characteristics of Taxi Pick-ups and Drop-offs

JIN Lei, XIE Bing-lei

(Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, Guangdong, China)

Abstract: In order to regulate taxi operation, improve waiting environment and promote taxi management benefit, a location method considering travel demands is proposed. In this paper, the spatial-temporal hotspot of travel demands are defined, and the aggregation characteristics of travel demands are analyzed through taxi GPS data, as well as hot-periods and hot-spots of travel demands are gotten. Based on travel demands, a maximal covering location model is constructed. Combined with the uncertainty of travel behavior and consumption characteristics of customers, the applicable conditions of the model in the aspect of service ability, distance and quantities are analyzed. The results of case study indicated that, location method based on the objective characteristics and with high practicability can better correspond to travel demands.

Key words: traffic engineering; locating; maximal covering location model; taxi stands; hot-periods of travel demands; hot-spots of travel demands; GIS

1 引言

作为城市客运体系的重要节点, 一定数量且

分布合理的出租车停靠站可以引导出租车驾驶员高效率地搜寻乘客, 同时也有助于减少候车乘客

收稿日期: 2014-11-26

修回日期: 2015-03-11

录用日期: 2015-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71173061, 71473060).

作者简介: 金雷(1993-), 男, 山东冠县人, 博士生.

*通信作者: xiebinglei@126.com

对空驶出租车资源的不规范争夺.因需设置的停靠站不仅能给出租车驾驶员和乘客提供安全、舒适、方便的候客和候车环境,而且对于规范出租车经营行为、提高出租车运营效益,进而改善出租车行业服务水平,减少出租车空驶产生的社会成本,具有十分重要的现实意义.

通过出租车GPS数据分析得到的上落客点的位置信息,真实地反映了出行者出行需求的分布情况,从而可由数据所蕴含的出行信息研究出租车出行的高峰时间和热点区域^[1-4].无论是定性或者定量的出租车停靠站选址方法,本质上都是在追求出租车停靠站服务能力和出行者出行需求之间的契合.由Church等^[5]和Berman等^[6]最初提出的最大覆盖模型及其扩展模型,因其侧重于满足设施服务对象需求的特点,已经在消防站点、服务设施等选址问题中得到了广泛应用^[7-9],为基于出行需求的出租车停靠站选址奠定了理论基础.Ocalir等结合GIS和模糊逻辑方法研究出租车停靠站选址问题^[10].Yin等将模块化的人口需求抽象成需求点并将其应用到了应急车辆的选址模型中^[11].Delmelle等基于城市道路两侧一定范围内的出行需求研究了公交车停靠站的选址问题^[12].

由于空载出租车候客和出行者候车时随机选择等待地点的不确定性较强,且缺乏对出行需求的有效分析,因此在实际中多从定性的角度研究出租车停靠站的选址问题,导致停靠站与出行者的实际需求存在一定的差距.本文基于出租车GPS数据分析出行者出行需求的时空聚集特征,识别出行高峰时段和出行热点区域,提出基于最大覆盖的停靠站选址模型,并以深圳市某区域为例进行研究,分析模型的适用条件和应用方法,得到最大限度契合出行需求的选址方案,以期为交通规划部门进行出租车停靠站规划提供理论基础和技术支持.

2 基于GPS数据的出租车出行需求分析

基于GPS数据对出租车出行需求进行分析,首先需要采集包括出租车GPS数据、道路网络和土地利用信息在内的初始数据资料,并通过数据

预处理和可视化表达得到域内出行需求数量及分布信息,进而分别通过时间序列分析和核密度分析对出行需求时空聚集特征进行分析,得到出行高峰时段和出行热点区域,具体分析流程如图1所示.

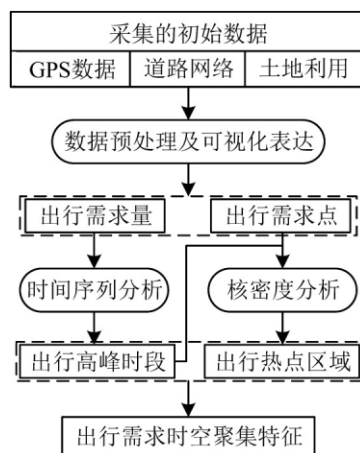


图1 出租车出行需求分析流程图

Fig.1 Taxi travel demands analysing workflow

为了直观地反映出出租车出行需求的时空分布特征,界定出行时空热点的含义作为出行需求分析的研究对象.出租车出行时空热点体现了出行需求在时间和空间的聚集特征.出行时空热点是相对而言的,与研究的时间和空间对象相关,通常是指出行需求的数量与平均值相比明显偏多或出行比例与期望值相比明显偏高的时空区域.出行时空热点又可分为常态化出行热点和偶发性出行热点两种类型,前者从出行需求数量对比的角度分析,是指出行需求数量较多的时间段或空间区域范围;后者从出行需求时空变化的角度分析,是指出行需求的数量有较大幅度异常变化的时间段或空间区域范围.出租车停靠站的服务对象是稳定的出行需求,应通过出租车GPS数据进行出行高峰时段和出行热点区域的分析为选址提供依据.

2.1 出行高峰时段

本文选取深圳市南山区内某区域作为研究区域,所选区域由主干路及以上等级城市道路围合而成,域内以居住和商业用地为主,以2011年4月18日-4月24日的出租车GPS数据为例,分析得到出租车出行需求随时间变化的趋势,如图2所示.

发现如下规律:工作日的出行需求总量高于周末的出行需求总量,且每天20:00-22:00的出行需求数量高于其他时段;上客次数和下客次数随时间变化的趋势相似;工作日上午9:00达到出行需求在一天中的第一个峰值,比一般情况下的早高峰(7:00-9:00)延迟了约1 h;20:00-22:00是一天中最后一个高峰时段,这比一般情况下的晚高峰(17:00-19:00)延迟约3 h.从出行需求的来源构成分析,出租车出行高峰时段比一般晚高峰时段延迟的现象是由出行刚性需求和弹性需求叠加造成的,原因主要有两个方面,一是部分出行者在晚饭后由于饮酒等因素不便驾车,转而利用出租车出行;二是部分公交线路夜间陆续停止运营,由于加班等原因错过末班公交车的出行者转而利用出租车返回住处.

显然,出行高峰时段20:00-22:00的出行需求数量高于其他非高峰时段.因此可以得出结论:出租车停靠站的服务能力如果满足了出行高峰时段内的出行需求,就可以满足其他非高峰时段的出行需求.

2.2 出行热点区域

以2011年4月19日星期二的的数据为例,运用GIS分析方法对研究区域的出行需求空间分布进行核密度分析,识别出行热点区域.使用ArcGIS软件“核密度分析”工具,设置像元大小为5 m,搜索半径为500 m,对出行需求点进行核密度分析并可视化表达.在出行需求分布的核密度图中,颜色越深的区域代表其核密度值越大,对应的出行需求数量也就越多.由核密度图可明显看出,颜色较深区域的核密度值远高于颜色较浅区域的核密度值,形成了若干个独立的区域,因此可判定深颜色区域即为出行热点区域.7:00-9:00时间段内出行需求分布的核密度图如图3所示,上客热点区域数量较多,且主要分布在居住小区附近;下客热点区域则相对较少,且主要分布在商业办公设施附近.17:00-19:00时间段内出行需求分布的核密度图如图4所示,上客热点区域多分布在

商业办公设施和休闲娱乐设施附近,下客热点区域则多分布在休闲娱乐设施和居住小区附近.20:00-22:00时间段内出行需求分布的核密度图如图5所示,上客热点区域数量较少,且主要分布在商业办公设施附近;下客热点区域则相对较多,且主要分布在居住小区和部分休闲娱乐设施附近.

通过对一天中不同时段出行需求分布核密度图的对比分析发现,除了部分居住小区附近的出行热点区域在下午和晚上时上客量减少以外,其他出行热点区域变化较小,一直保持着稳定的出行需求,可以得出结论:出行热点区域位置分布较为固定,即出行需求在空间上具有聚集特征且分布较为固定.因此优先考虑在出行热点区域设置停靠站,以期最大限度地满足出行者的稳定出行需求.

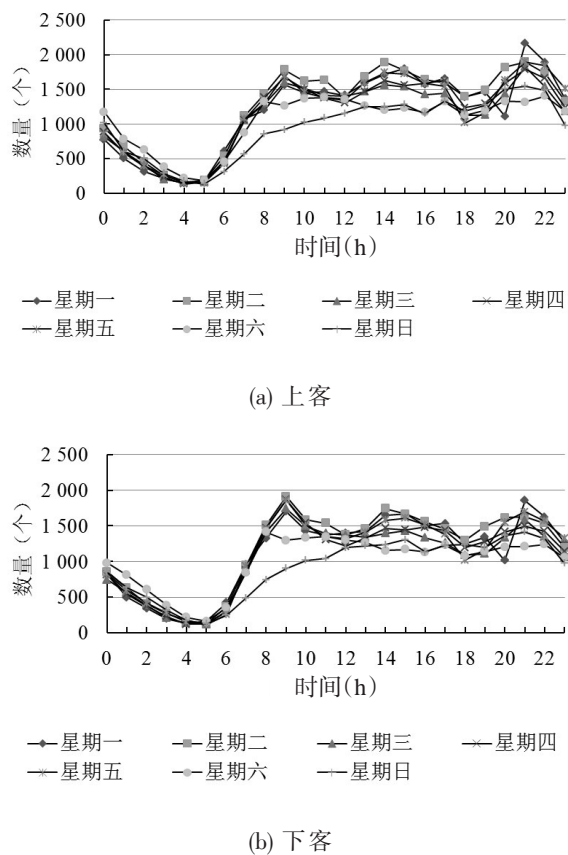


图2 出租车出行需求随时间变化趋势图

Fig.2 Curves of representing temporal variations of travel demands of the entire study area

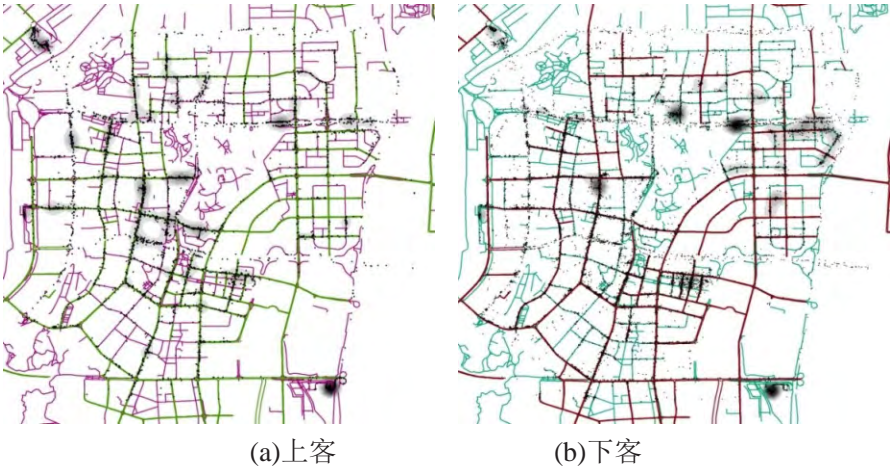


图3 出行需求分布核密度图(7:00-9:00)

Fig.3 Identifying distribution of travel demands using kernel density estimation (7:00-9:00)

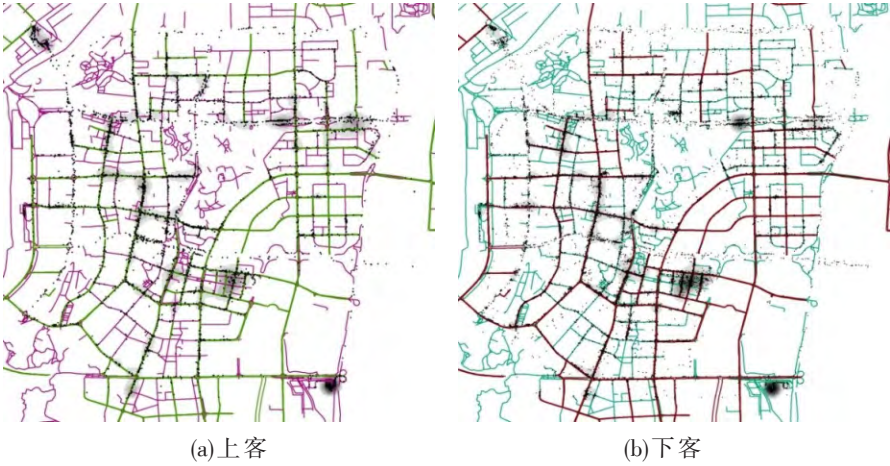


图4 出行需求分布核密度图(17:00-19:00)

Fig.4 Identifying distribution of travel demands using kernel density estimation (17:00-19:00)

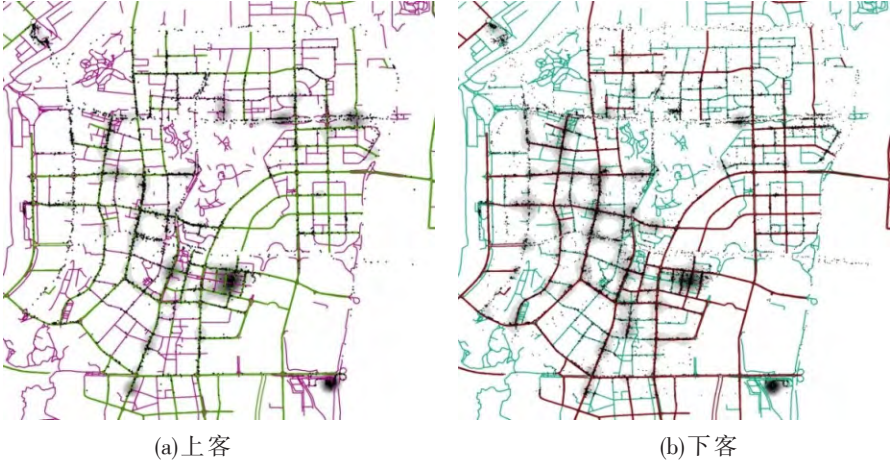


图5 出行需求分布核密度图(20:00-22:00)

Fig.5 Identifying distribution of travel demands using kernel density estimation (20:00-22:00)

3 基于最大覆盖的选址模型

如果出租车停靠站设置地点改变,则出行者

步行前往停靠站的距离也将发生变化,进而可能影响出行者前往停靠站的意愿.为追求出租车停靠

站服务能力和出行者出行需求之间的契合,提出最大限度覆盖出行需求的停靠站选址模型,同时以整天的出行需求量为研究对象以排除不同时间段出行需求的干扰.

模型各参数定义如下:

I ——需求点 i 的集合,将每块栅格的需求看作出行需求的合集,对于每一个出行需求点都有 $i \in I$;

J ——停靠站候选点 j 的集合,候选点宜选自出行热点区域范围内,对于每一个停靠站都有 $j \in J$;

d_{ij} ——需求点 i 到候选点 j 的距离;

D ——停靠站的服务范围;

I_j ——停靠站候选点 j 服务范围内的需求点 i 的集合,即 $I_j = \{i \in I, j \in J, d_{ij} \leq D\}$;

q_i ——需求点 i 所代表栅格的出行需求数量;

q_j ——停靠站候选点 j 的服务范围内所覆盖的出行需求数量;

p ——出行高峰小时内出行需求数量的最大值;

Q ——计划修建的停靠站数量;

x_{jm} ——停靠站 j 具有 m 个停车位,其中 $m = 0, 1, 2, \dots, p$;

$$x_{jm} = \begin{cases} 1, & \text{在候选点 } j \text{ 处设置了一个具有} \\ & m \text{ 个停车位的停靠站} \\ 0, & \text{未选中候选点 } j \end{cases}$$

c ——每辆出租车的载客容量,假设出租车每次计价行为均只有一个目的地,不考虑“拼车”的消费行为,即假定所有出租车均具有相同的载客容量;

$r_{i,h}$ ——需求点 i 所代表栅格在第 h 小时的出行需求产生率;

\bar{r}_i ——需求点 i 所代表栅格的平均出行需求产生率,其计算式为 $\bar{r}_i = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^n r_{i,h}$;

y_{ij} ——需求点 i 所代表栅格的出行者选择前往停靠站 j 候车的比例.

建立基于最大覆盖的选址模型,该模型的目标是最大限度地满足出行需求,使其目标函数值

最大,构建模型:

$$\max z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_i y_{ij} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{i \in I_j} \bar{r}_i y_{ij} \leq c m x_{jm}, \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} q_i y_{ij} \leq q_j, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} m x_{jm} \leq p \quad (4)$$

$$y_{ij} \leq x_{jm}, \forall i \in I_j, j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq 1, \forall i \in I_j \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jm} = Q \quad (7)$$

$$x_{jm} = \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (8)$$

$$0 \leq y_{ij} \leq 1, \forall i \in I_j, j \in J \quad (9)$$

式(1)表示使停靠站覆盖的出行需求数量最多;式(2)表示确保位于停靠站的出租车所能提供的载客容量可以满足相关联需求点前往停靠站候车的出行需求;式(3)表示停靠站候选点周边区域的出行者前往停靠站候车的数量不超过停靠站周边一定步行范围内所覆盖的出行需求数量;式(4)表示各停靠点的停车位数量之和不超过出行高峰小时内出行需求数量的最大值,避免停靠站建设浪费现象,同时保障出租车的运营效益;式(5)表示出行者若处于停靠站服务范围内则考虑前往站点候车,即受到停靠站建设位置的约束;式(6)表示每一个需求点的出行者中全部或部分选择前往停靠站候车;式(7)表示计划修建的停靠站数量;式(8)表示决策变量 x_{jm} 是0-1变量;式(9)表示决策变量 y_{ij} 的取值变化范围是0到1.

4 案例分析

出租车停靠站选址模型重点考虑满足出行需求,通过对停靠站候选点进行比选得到满足条件的选址方案,下面通过实际案例分析对这种方法进行应用和分析.

4.1 出行热点区域识别

出行热点区域是反映出行者出行需求的重要

区域,通过对出行热点区域对比分析可知,其位置分布较为固定,且在全天各主要出行时段一直保持着远高于非热点区域的出行需求.在案例区域共发现适合设置出租车停靠站的出行热点区域共29个,其中常态化出行热点区域17个,如图6所示.

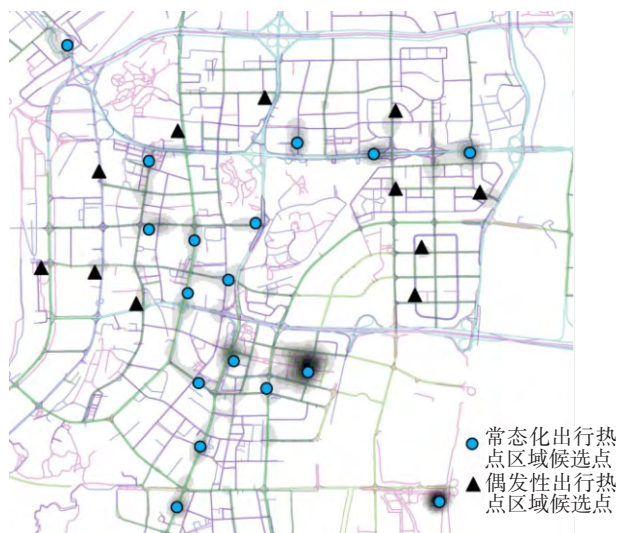


图6 停靠站候选点图示

Fig.6 Potential taxi stands

4.2 模型参数分析

在实际的出租车消费活动中,部分出行者选择前往停靠站处等待出租车,候车乘客和候客驾驶员会在一定时间内保持耐心等待对方,因此如果停靠在出租车停靠站内的候客出租车数量大于一定时间内出行需求的产生量,即认为停靠站可以满足出行需求.

在出行需求分布栅格图中将每块栅格中的需求总量看作出行需求的合集,将栅格的中心点看作相应需求点 i ,如图7所示.以30 min为单位计算需求点 i 所在栅格的平均出行需求产生率 \bar{r}_i ,将其作为检验停靠站是否可以满足出行需求的约束条件.同时假定站内车辆驶出后的停车位可以迅速被填补,即站内出租车的数量保持不变,那么只要停靠站的停车位数量大于其所对应的出行热点区域30 min内的出行需求产生量,即可认为停靠站的服务能力可以满足与其相关联的需求点的出行需求.

4.3 模型求解及结果分析

运用MATLAB软件对模型进行求解,根据优先在出行热点区域设置停靠站的思路,由热点区域的客流特征划分停靠站等级^[13],为其匹配相应的停车位数量.将29个出行热点区域的中心位置选为设置停靠站的候选点,并将所有候选点的停靠站分为四个层次,每个层次停靠站的停车位数量由其周边需求和交通条件决定.

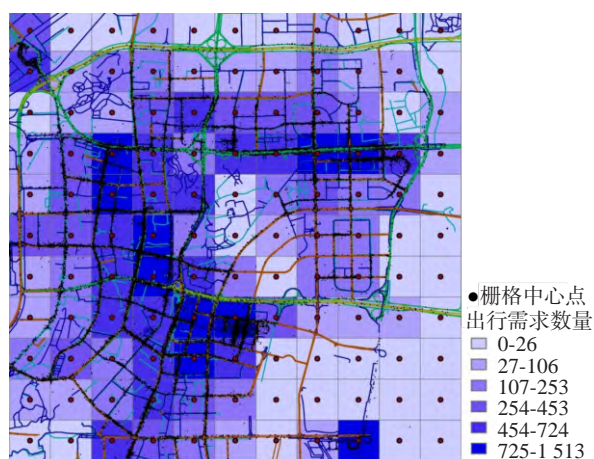


图7 出行需求分布栅格图

Fig.7 Spatial distribution of travel demands based on grid cell

将各参数代入计算得到结果如表1所示,可以看出随着停靠站数量的增多,出行者选择前往停靠站候车的可能性就越大,停靠站所能服务的出行需求数量也就越高.当计划修建10座停靠站时,可以满足约四成的出行需求;当计划修建20座时,可以满足约六成的出行需求;当计划在全部候选点修建时,可以满足约七成的出行需求.由此可见,停靠站计划修建数量增多时,其所对应的覆盖出行需求量的增长率逐渐降低,这就证明了模型具有优先选中出行需求量较大的候选点进行停靠站建设的功能.当计划修建数量不变时,改变停车位数量将会改变停靠站的服务容量,若增加停靠站停车位数量,则覆盖出行需求数量的变化率最大仅为5.3%,因此可认为停靠站停车位数量对出行需求的影响较弱.扩展到其他案例时可根据拟建区域的具体客流情况对停车位数量合理取值,进而得到覆盖出行需求最多的停靠站候选点集合.

表 1 选址模型计算结果
Table 1 Result of the location model

计划修建数量	停靠站停车位数量				选中的候选点编号	目标函数值	500 m 范围内的需求数量	占全部需求的比例(%)
	第一层次	第二层次	第三层次	第四层次				
10	8	7	4	3	1,2,4-6,13,14,17,24,25	3 333	11 511	37.81
10	8	7	5	3	1,2,4-6,13,14,17,25,29	3 410	11 606	38.12
10	8	7	6	3	1,2,4-6,13,14,17,25,29	3 487	11 606	38.12
10	8	7	5	4	1,2,4-6,13,14,17,25,29	3 410	11 606	38.12
10	8	7	6	4	1,2,4-6,13,14,17,25,29	3 487	11 606	38.12
10	8	7	6	5	1-6,13,14,17,25	3 480	11 997	39.40
10	10	7	4	3	1,2,4-6,13,14,17,24,25	3 618	11 511	37.81
20	8	7	4	3	1-7,9-14,17,19,23-25,27,29	5 082	17 703	58.14
20	8	7	5	3	1-7,9-14,17,19,23-25,27,29	5 514	17 703	58.14
20	8	7	6	3	1-15,17,19,23,25,29	5 926	18 628	61.18
20	8	7	5	4	1-7,9-14,17,19,23,25,27-29	5 742	17 686	58.09
20	8	7	6	4	1-7,9-14,16,17,19,23-25,29	6 059	18 080	59.38
20	8	7	6	5	1-7,9-14,16,17,19,23,25,28,29	6 288	18 063	59.32
20	10	7	4	3	1-7,9-14,17,19,23-25,27,29	5 368	17 703	58.14
29	8	7	4	3	全部29个候选点	6 386	21 517	70.67
29	8	7	5	3	全部29个候选点	6 818	21 517	70.67
29	8	7	6	3	全部29个候选点	7 207	21 517	70.67
29	8	7	5	4	全部29个候选点	7 303	21 517	70.67
29	8	7	6	4	全部29个候选点	7 692	21 517	70.67
29	8	7	6	5	全部29个候选点	8 141	21 517	70.67
29	10	7	4	3	全部29个候选点	6 672	21 517	70.67

5 研究结论

本文根据出行需求的分布特征识别出行高峰时段和出行热点区域,分析发现:工作日上午的出行高峰时段比一般情况下的早高峰要延迟了约1 h;晚上的出行高峰时段比一般情况下的晚高峰延迟约3 h;出行热点区域位置分布较为固定且域内出行需求较为稳定,可以为停靠站选址提供依据。

围绕满足出行需求提出了基于最大覆盖的出租车停靠站选址模型,并在车站服务能力、出行者步行距离和计划修建数量等方面分析了模型的适用条件.通过对实例区域出行需求特征的分析,有效地将很强随机性的出租车消费行为量化到停靠站的选址问题中,同时以模型约束的形式充分考虑了选址决策方法与出行者不确定交通行为的协调.结果表明,与传统的以定性分析为主的出租车停靠站选址方法相比,以出行需求为主要选址依据的选址方法,能够更好地契合出行者的出行需求,有助于改善出行者的候车体验、提升出租车市场的运行效率。

参考文献:

[1] Liu L, Andris C, Ratti C. Uncovering cabdrivers' behavior patterns from their digital traces[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2010, 34(6): 541-548.

[2] Lee J. Analysis on the waiting time of empty taxis for the taxi telematics system[C]. Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, 2008, 1: 66-69.

[3] Ganti R, Mohamed I, Raghavendra R, et al. Analysis of data from a taxi cab participatory sensor network[M]// Puiatti A, Gu T (Eds), Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 197-208.

[4] Chang H, Tai Y, Hsu J Y. Context-aware taxi demand hotspots prediction[J]. International Journal of Business Intelligence and Data Mining, 2010, 5(1): 3-18.

[5] Church R, Velle C R. The maximal covering location problem[J]. Papers in Regional Science, 1974, 32(1): 101-118.

[6] Berman O, Krass D. The generalized maximal covering location problem[J]. Computers & Operations Research, 2002, 29(6): 563-581.

[7] Badri M A, Mortagy A K, Colonel A A. A multi-objective model for locating fire stations[J]. European Journal of Operational Research, 1998, 110: 243-260.

- China Railway Society, 2007, 29 (3): 8-12.]
- [3] 王爽,赵鹏. 基于Logit模型的客运专线旅客选择行为分析[J]. 铁道学报, 2009, 31 (3): 6-10. [WANG S, ZHAO P. Analysis of passengers' choice behavior for dedicated passenger railway lines based on Logit model[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31 (3): 6-10.]
- [4] 丁洁冰. 基于SP调查的客运专线旅客乘车选择行为研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009. [DING J B. Research on boarding choice behavior of PDL passengers based on SP data[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.]
- [5] 杨智伟,赵胜川,张迅. 公共交通出行者ATIS信息选择行为影响因素研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(3): 29-35. [YANG Z W, ZHAO S C, ZHANG X. Influencing factors of ATIS information choice behaviors of public transit travelers[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(3): 29-35.]
- [6] Paha J, Rompf D. Customer choice patterns in passenger rail competition[J]. Transportation Research Part A, 2013, 50: 209-227.
- [7] 王莹. 基于铁路客票数据的列车等级客流分担率研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009. [WANG Y. Study on railway passenger flow partaking rates of different train classes based on ticket data[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.]
- [8] 李晓俊. 面向多趟旅客列车的票额预分优化方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012. [LI X J. Study on seats pre-allocation optimization method oriented to multi-trip passenger trains[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.]
- [9] Vulcano G, Ryzin van G J. Estimating primary demand for substitutable products from sales transaction data[J]. Operations Research, 2012, 60 (2): 313-334.
- [10] Train K. Discrete choice methods with simulation (2nd.) [M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [11] McFadden D. Conditional Logit analysis of qualitative choice behavior[M]. P. Zarembka, eds. Frontiers in Econometrics. New York: Academic Press, 1974: 105-142.
- [12] Vulcano G, Ryzin van G, Chahr W. Choice-based revenue management: An empirical study of estimation and optimization[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2010, 12 (3), 371-392.

上接第188页

- [8] Berman O, Krass D, Wang J. Locating service facilities to reduce loss demand[J]. IIE Transactions, 2006, 38 (11): 933-946.
- [9] Chuang C, Lin R. A maximum expected covering model for an ambulance location problem[J]. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 2007, 24(6): 468-474.
- [10] Ocalir E V, Ercoskun O Y, Tur R. An integrated model of GIS and fuzzy logic (FMOTS) for location decisions of taxicab stands[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(7): 4892-4901.
- [11] Delmelle E M, Li S, Murray A T. Identifying bus stop redundancy: A GIS-based spatial optimization approach[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36(5): 445-455.
- [12] Yin P, Mu L. Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles[J]. Applied Geography, 2012, 34: 247-254.
- [13] 张欣环,赵磊,晏克非. 城市出租车候客站设置方法研究[J]. 交通与运输(学术版), 2010(H07): 15-18. [ZHANG X H, ZHAO L, YAN K F. Research on method of setting urban taxi station[J]. Traffic and Transportation, 2010(H07): 15-18.]