

文章编号:1005-0523(2017)06-0097-07

基于出行需求时空分布的出租车停靠站选址方法

叶臻,王海洋,贺明光,任天逸

(交通运输部科学研究院,北京 100029)

摘要:为提高出租车运营效率,改善出租车经营效益,满足出行者出行需求,使出租车停靠站布局与出租车出行需求更匹配,针对出租车停靠站的选址方法研究十分必要。首先基于相关调查数据,分析了出租车出行需求的时空分布特征,界定并提出了出租车出行需求热点分布,分析了出行需求和城市形态的协调性关系。建立了出租车停靠站选址模型,将最大覆盖出行需求作为目标函数,以要求达到的停靠站载客能力、停靠站数量及服务范围等为约束条件,在选址位置、计划修建数量、站点服务能力等方面分析了模型的适用条件。针对柳州市的实例分析表明,该方法可以较好地满足出租车出行需求,具有较高的合理性与可行性。

关键词:交通工程;出租车停靠站;出行需求;选址模型;出行热点;城市形态;分布特征

中图分类号:U491

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.06.012

根据相关规范及研究^[1-4],出租车停靠站是设置在城市内,配备一定的设施及服务功能,供出租车停靠并提供上下客服务的场地或场所。作为城市运输体系的节点,一定数量且分布合理的出租车停靠站,可以为出租车驾驶员与车辆提供便捷、全面、高效的行业服务,降低出租车空驶产生的社会成本,为乘客提供方便、安全、舒适的上下客服务与候车环境,为出租车行业提供规范的管理运营模式,提高运营效益与服务水平。更进一步考虑,网约出租车也可有条件地共享巡游出租车的停靠站,有效提高出租车行业的整体运营效率。因此,针对出租车停靠站的选址布局研究具有重要的现实意义。

出租车停靠站的定义、主要服务对象、基本设施和主要功能如表1所示。

表1 出租车停靠站的定义、基本设施、主要功能与服务对象
Tab.1 Definitions, basic facilities, functions and service objects of taxi stands

出租车停靠站	目标
定义	供出租车临时停靠上下客的停靠场所或场地,其服务对象主要是出租车乘客,普遍结合现有建筑或道路设置,运营方式类似于城市公交的中途停靠站。
主要服务对象	出租车乘客
基本设施	出租车停靠区、载客区;出租车专用出入通道(有条件设置);统一式样文字、导向标志;出租车调度设施(有条件设置)。
主要功能	出租车停靠、上下客;调度引导车辆、乘客;合理分配车辆资源。

针对出租车停靠站及类似设施,国外的研究方向主要集中在行业发展、市场管理运营、服务质量和驾驶员健康等方面^[5-6]。针对城市设施选址覆盖研究,Toregas等^[7]最早提出了集合覆盖模型,在此基础上,Church等^[8]、Berman等^[9]和Orhan等^[10]提出了最大覆盖模型及相应的扩展模型,并在消防站点、服务设施等选址问题

收稿日期:2017-07-03

基金项目:国家自然科学基金重点项目(51338008)

作者简介:叶臻(1981—),男,工程师,博士,研究方向为交通规划理论与方法。

中得到了广泛应用。而国内在出租车停靠设施的布局和选址研究方面有一定的积累:王两全^[11]以出租车服务需求、土地限制、乘客出租车需求为约束,构建了约束型选址模型。施宏^[12]分析了影响出租车服务网点规划的影响因素及约束条件。叶海飞^[13]从出租车停靠需求特征出发,探讨出租车停靠需求与土地利用之间的内在关系,建立了基于土地利用的出租车停靠规模预测模型。黎冬平^[14]研究了乘客和出租车相互等待的特征,结合仿真给出了出租车服务网点合理规模的确定流程。章程等^[15]基于样本出租车的GPS数据,提出了基于最小扬招点个数的出租车招扬点选址模型。祁文田^[16]运用空间统计分析理论体系分析出租车载客点的空间具体分布特征。田齐林^[17]基于乘客最短步行距离建立了出租车停靠站位置选择模型。

可以看出,当前针对出租车停靠站选址方法的相关研究,主要缺乏对出行需求的有效分析,从而导致停靠站与出行者的实际需求存在一定的差距。具体来说,由于空驶出租车的巡游状态以及出行者候车时的随机性等待地点的不确定因素较多,需要对出行需求的时空聚集程度展开讨论;其次,作为城市形态的组成部分,出租车停靠站与其它城市构成要素,如城市道路网、人口分布、用地分布等也有着密切的联系,需要对停靠站布局与城市形态的分布协调性进行分析。

本文根据出租车出行调研数据,分析出租车出行需求的时空分布特征,开展出行需求的热点分析与城市形态协调性研究,提出基于最大覆盖出行需求的出租车停靠站选址方法。以柳州市市区为例,分析该选址方法的约束条件和适用范围,建立满足最大出行需求的选址方案。期望本方法可为城市出租车停靠站的布局规划和其他相关政策,提供理论参考与技术支持。

1 出行需求分析

确定出租车停靠站的选址布局,需要解决两个主要问题,即出租车出行需求分析和选址优化。选址优化可以通过建立选址模型解决;而出租车出行需求分析,需要采集包括出租车出行需求位置、需求量和城市形态构成要素(包括城市道路网络、土地利用、人口分布等)在内的初始数据资料。通过对初始资料开展数据分析和可视化处理,得到出行需求的数量及分布信息,进而采用核密度分析和城市形态协调性分析,获取出行需求的时空分布特征,为确定选址候选点打下基础。

1.1 初始数据分析

首先,选取城市固定区域作为研究对象,通过调查、咨询等方法得到初始数据资料,包括研究区域内由中高等级道路组成的城市道路网、人口分布和用地分布等,以及最为关键的出租车出行需求的时空分布统计数据。

1.2 出行热点分析

通过热点分析,量化出租车出行需求。热点图是利用空间统计的算法,从离散的点(事件)中找到空间聚集区域。出行热点反映了出行者出行需求的重要区域,可直接反映出行需求的时空分布特征。

热点图的组成包括三大要素:① 热点数据。热点数据需要点数据,每一个热点数据包括相应的地理位置和权重值(能够明显的描述某位置某事件的发生频率或事物分布密度等);② 热点衰减渐变填充色集合。该集合用于渲染每一个热点从中心向外衰减时的渐变色;③ 热点半径。每一个热点根据热点半径计算衰减度,针对从热点中心点外四周的衰减区内的每一个像素,计算其需要渲染的颜色值并进行渲染。

目前普遍采用的热点分析方法,是运用GIS类软件进行核密度分析。根据ArcGIS软件的“核密度分析”工具,对出行需求开展核密度分析,并识别出行热点。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,并由此形成了若干个热点区域。

1.3 出行需求与城市形态的协调性

由于出行热点分析的局限性,该方法仅能分析出行需求的聚集或离散程度,而出租车停靠站的需求分布,具有综合性、分散性、复杂性等多个特点。根据城市形态的定义^[18-19]:城市形态是城市各种功能活动在地域上的呈现,而城市形态的构成要素,一般来说包括城市用地、城市路网、城市人口分布等。显然,出租车停靠站的选址布局也是城市形态构成要素,因此通过分析出租车出行需求布局与城市形态构成要素之间的分

布协调性,可有效了解出租车出行需求与城市路网、人口、用地规划等要素之间的相对关系、匹配关系与适应性,之后结合出行热点分布,确定出租车停靠站的选址候选点。

具体来说,分析出行需求与其它城市构成要素之间的协调性,本文采用相关性分析法^[20],即把出租车的出行需求分布与某城市形态构成要素分布,置于相同的城市区域底图上,并做相同的灰度化处理,得到两幅大小一致的二维灰度图像。获取灰度图数据,得到 A 和 B 维数相同的 2 个矩阵。通过式(1)分析这 2 个矩阵的相关性, r 是相关系数。如果 r 越接近于 1,表示 A 与 B 的相关性越高; r 越接近于 0,表示 A 与 B 的相关性越低。

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 (B_{mn} - \bar{B})^2}} \quad (1)$$

式中: m, n 分别是矩阵 A (也是 B) 的行数与列数; A_{mn}, B_{mn} 分别是矩阵 A 和矩阵 B 中 (m, n) 点的灰度值; \bar{A}, \bar{B} 分别是矩阵 A 和矩阵 B 的均值; r 是相关系数。

2 建立选址模型

建立模型前,需要先考虑模型满足条件:① 由于在城市交通发展的现阶段,政府为了鼓励大众采用公共交通方式出行,降低对环境的污染,一般对出租车短时停靠的支持力度较大,对出租车长时间候客的要求较低,因此本次选址模型涉及对象是以出租车短时停靠站。② 出租车停靠站与公交车站点类似,其服务范围与出行者的步行出行半径有很大的关系,在建立模型时需考虑出租车停靠站的服务范围设定。③ 由于一天中不同时间段的出租车出行需求会有所变化,为排除不同时间段对出行需求的干扰,将出行高峰小时作为研究时段。

关于设施选址模型, Toregas 等^[7]提出的集合覆盖模型从候选设施点集合中选取设施点地址,在能覆盖所有需求点的情况下,使设施点的数量最少,在实际应用中往往出现设施建设不足的问题。基于此 Church 等^[8]提出了最大覆盖模型, Berman 等^[9]进一步提出了比传统最大覆盖问题更一般的最大覆盖问题,模型的优化目标是覆盖程度最大。Orhan 等^[10]提出了部分覆盖问题,该问题的优化模型认为:存在一个临界距离,当需求点和设施点之间的距离大于临界距离时,需求点被部分覆盖。随着距离增大,部分覆盖程度逐步减小为 0,部分覆盖模型在评价覆盖程度方面更符合实际的情况。

综上,本文从出行需求的角度出发,以研究区域内最大覆盖出行需求为目标,结合部分覆盖理论,建立相关模型。模型参数定义如下:

I 表示出行需求的地点集,对于每个出行需求点 i 有 $i \in I$;

J 表示停靠站的候选点集,对于每个停靠站 j 有 $j \in J$;

x_j 表示是否在 j 处设置了停靠站, $x_j = \begin{cases} 1 & \text{在候选点 } j \text{ 处设置了停靠站, } \forall j \in J \\ 0 & \text{在候选点 } j \text{ 处未设置停靠站, } \forall j \in J \end{cases}$;

c_j 表示在 j 处停靠站设置的泊位数量;

k_j 表示在 j 处停靠站的高峰小时泊位周转量;

h_i 表示需求点 i 产生的高峰小时出行需求;

y_{ij} 表示需求点 i 产生的高峰小时出行需求,选择前往停靠站 j 的比例,该值通常与需求点和停靠站之间的距离有关;

P 表示计划修建的停靠站数量;

y_{ij} 表示需求点 i 到停靠站候选点 j 的距离;

s_{\min} 表示停靠站的最小服务范围,在此范围内所有的出行需求会被完全吸引;

s_{\max} 表示停靠站的最大服务范围,在此范围内所有的出行需求会被完全或部分吸引,超出此范围则不会被吸引。

建立具体模型如下所示:

$$\max z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_{ij} y_{ij} \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} c_j k_j x_j - \sum_{i \in I} h_i y_{ij} \geq 0, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} c_j k_j x_j - \sum_{i \in I} h_i \leq 0 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = P \quad (5)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} < s_{\min}, & \forall i \in I, j \in J \\ f(d_{ij}) & s_{\min} \leq d_{ij} \leq s_{\max}, & \forall i \in I, j \in J \\ 0 & d_{ij} > s_{\max}, & \forall i \in I, j \in J \end{cases} \quad (7)$$

$$y_{ij} \leq x_j, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (8)$$

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

式(2)表示停靠站覆盖的出行需求最多;式(3)确保各停靠站的出租车提供的载客能力可以满足前往停靠站候车的出行需求;式(4)确保各停靠站的出租车提供的载客能力之和不会超过高峰小时内总出行需求;式(5)表示计划修建的停靠站数量;式(6)表示决策变量 x_j 是 0-1 变量;式(7)表示,需求点 i 距离停靠站的距离 d_{ij} 小于最小服务范围 s_{\min} 时,所有出行需求都会被吸引。 d_{ij} 大于最大服务范围 s_{\max} 时,出行需求不会被吸引。 d_{ij} 在最大至最小服务范围之间时,令吸引比例 y_{ij} 与距离成反比,即

$$f(d_{ij}) = \frac{s_{\max} - d_{ij}}{s_{\max} - s_{\min}}, \quad \forall i \in I, j \in J$$

式(8)表示出行者若处于停靠站服务范围内,则考虑前往停靠站乘坐出租车,受到停靠站建设位置的约束;式(9)是表示若处于停靠站服务范围内,每一个需求点的出行者中全部或部分选择前往停靠站乘坐出租车。

3 实例分析

柳州市是广西壮族自治区中心城市之一,西南区域性交通枢纽及重要工业城市。预测到柳州市未来的出租车需求与出租车保有量将有较大规模增长,因此于 2016 年 5 月 1 日—5 月 31 日,针对柳州市的出租车停靠站选址布局开展了调查。研究区域为柳州市中心城区范围,调查对象为出租车驾驶员和出租车乘客,调查内容为出租车出行需求地点及需求数量的时空分布,回收有效问卷共 976 份(人)。

3.1 停靠站候选点分析

首先,分析出租车出行热点。通过 ArcGIS 软件的“核密度分析”工具处理研究范围内的出租车出行需求,设置像元尺寸为 5 m,搜索半径为 300 m,发现适合设置出租车停靠站的出行热点区域共 87 个。

其次,分析出租车出行需求与城市形态的协调性。选取了城市路网、出租车双班驾驶员换班地点分布、城市居住区人口分布、城市用地分布(根据柳州市工业为主要的城市特点,采用居住用地、工业用地、商业金融用地)等城市构成要素,作为城市形态的典型对象。根据式(1)分析出行需求和城市形态的协调性,如表 2 所示。

可以看出,柳州市出租车出行需求与城市路网、居住用地具有较高的分布协调性。结合出行热点与城市形态协调性,确定研究区域的出租车停靠站候选点共 129 个。

表2 出租车出行需求协调性对比表
Tab.2 Coordination comparison of demand for taxi

序号	城市形态要素	相关系数
1	城市路网	0.733 7
2	双班驾驶员换班地点分布	0.576 4
3	城市居住区人口分布	0.540 9
4	城市居住用地分布	0.750 6
5	城市工业用地分布	0.211 8
6	商业金融用地分布	0.119 2

3.2 模型参数分析

模型中涉及的参数设定如下:停靠站泊位数量根据道路的用地实际情况与出行需求而定,单个停靠站取1~5个泊位;根据文献[21]并结合柳州市实际情况,停靠站的高峰小时泊位周转量为30~50 veh/h;结合柳州市城市总体规划,计划修建的停靠站数量取20,40,60,80,100,120个;参考城市道路交通规划设计规范^[22]中公共交通车站的服务范围,将出租车停靠站的最小与最大服务半径分别取300 m和500 m。

3.3 模型求解及结果分析

根据式(2)~式(9),运用MATLAB软件进行编程,将路网、出行需求等原始参数以及设定的模型参数录入,根据最大覆盖出行需求的要求,得到停靠站的选址分布。

计算得到的服务能力(目标函数值)、泊位数量及覆盖服务需求的比例,如表3所示。分析可知,随着计划修建的停靠站数量增多,出行者选择前往停靠站乘坐出租车的可能性越高,停靠站所能服务的出行需求比例也就越高。当计划修建20个停靠站时,只能满足约30%的出行需求;计划修建40个停靠站时,可以满足超过70%的出行需求;而当修建80个停靠站时,已可覆盖85%以上的需求;修建120个停靠站时,便可覆盖全部的出行需求。

表3 选址模型计算结果
Tab.3 Result of the location model

序号	停靠站建设数量/个	泊位数量/个	服务能力(目标函数值)	占全部出行需求比例/%
1	20	54	2 160	31.8
2	40	104	4 160	51.9
3	60	136	5 440	69.8
4	80	181	7 240	85.7
5	100	218	8 720	93.9
6	120	259	10 360	100

进一步分析,停靠站计划修建的数量增多时,其所对应的覆盖出行需求量的增长率首先是增加,至建设数量为80个之后,增长率开始降低,这就表明了在所有候选点中,较少的候选点提供了多数的出行需求量,需要通过优化模型,选中那些出行需求量较大的候选点,优先进行停靠站建设。扩展到其他案例时,可根据实际区域的具体情况对停靠站、泊位数的数量合理取值,得到覆盖出行需求最多的停靠站建设集合。

4 结论

根据出租车出行需求,利用出行热点分析和城市形态协调性分析,提出了基于最大覆盖理论的出租车停靠站选址方法,为出租车停靠站选址提供依据,并在计划修建数量、停靠站服务能力和服务范围距离等方面分析了方法的适用条件。该方法可有效地量化出租车需求的出行行为与停靠站的服务能力,充分考虑选址决策方法与出行者交通行为、城市形态之间的协调关系。案例表明,该方法较好地契合了城市出租车行业的发展需求,与传统的以定性分析为主的出租车停靠站选址方法相比,能够更好地满足出行者的出行需求,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,为城市出租车行业的布局规划提供有益参考。

后续研究可从以下几方面开展:分析更多城市因素对模型参数带来的影响,合理改进参数;考虑结合城市地理系统的优化分布以及城市的自组织演化动力学,将城市形态分区域对待,或将城市形态转化为可被细化参数处理的状态,提高出租车停靠站选址布局方法的有效性与合理性。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部. GB/T 22485-2013 出租汽车运营服务规范[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ/T 15-2011 城市道路公共交通站、场、厂工程设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] 交通运输部令 2014 年第 16 号. 出租汽车经营服务管理规定[Z]. 中华人民共和国交通运输部,2014-9-13.
- [4] DG/TJ08-2108-2012,出租汽车站点设置规范[S]. 上海:上海市城乡建设和交通委员会,2012.
- [5] MACHIN M A, SOUZA J D. Predicting health outcomes and safety behavior in taxi drivers[J]. *Transportation Research: Part F*, 2004, 7(2): 257-270.
- [6] RICHARD ARNOTT. Taxi travel should & subsidized[J]. *Journal of Urban Economics*, 1996, 40(3): 316-333.
- [7] CONSTANTINE TOREGAS, CHARLES RE VELLE. Optimal location under time or distance constraints[J]. *Papers of the Regional Science Association*, 1972, 28(6): 133-143.
- [8] RICHARD CHURCH, CHARLES RE VELLE. The maximal covering location problem[J]. *Papers of the Regional Science Association*, 1974, 32(3): 101-111.
- [9] ODED BERMAN, DMITRY KRASS. The generalized maximal covering location problem[J]. *Computers & Operations Research*, 2002, 29(6): 563-581.
- [10] ORHAN KARASAKAL, ESRA K. Karasakal. A maximal covering location model in the presence of partial coverage[J]. *Computer & Operations Research*, 2004, 31(2): 1515-1526.
- [11] 王两全. 福州市区出租车服务网点规划研究[D]. 福州:福建农林大学,2014.
- [12] 施宏. 城市出租车服务网点布局规划研究—以扬州市为例[D]. 南京:东南大学,2007.
- [13] 叶海飞. 基于土地利用的出租车停靠规模预测方法[J]. *交通运输工程与信息学报*, 2013, 11(4): 76-81.
- [14] 黎冬平, 陈峻, 晏克非. 带容量限制的城市出租车服务场站选址模型[J]. *东南大学学报:自然科学版*, 2009, 39(2): 394-398.
- [15] 章程, 张舒沁, 王梦真. 基于出租车 GPS 数据的扬招点选址确定方法[J]. *交通运输研究*, 2015, 1(4): 42-48.
- [16] 祁文田. 基于 GPS 数据的出租车载客点空间特征分析[D]. 长春:吉林大学,2013.
- [17] 齐林. 基于 GPS 数据的出租车交通运行特性研究及应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [18] 武进. 中国城市形态:结构、特征及其演变[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1990.
- [19] 段进. 城市空间发展论[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1999.

- [20] 于建玲. 复杂系统的分形、混沌及其若干应用[D]. 北京:北京交通大学,2006.
- [21] 吴娇蓉,李铭,梁丽娟. 综合客运枢纽出租车上客点管理模式和效率分析[J]. 交通信息与安全,2012,30(4):18-23.
- [22] 中华人民共和国建设部. GB 50220-95 城市道路交通规划设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1995.

A Location Method for Taxi Stands Based on Spatial-Temporal Distribution of Travel Demands

Ye Zhen, Wang Haiyang, He Mingguang, Ren Tianyi

(China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to improve taxi operation efficiency, promote taxi management benefit, meet travel demands of taxi passengers and match the location of taxi stands with taxi travel demands, it is pretty necessary to research the location method of taxi stands. Based on relevant survey data, this paper analyzed the spatial-temporal distribution characteristics of travel demands, put forward the hotspots of travel demands, and studied the coordination relationship between travel demands and urban morphology. Then, on the basis of travel demands, a covering location model was established. By taking the maximal covering travel demands as the objective function, and considering the service capacity, construction quantity and service area and other factors as constraint conditions, the applicable conditions of the model were analyzed in terms of site selection, planned quantities and service ability. Finally, taking the survey on location of taxi stands in Liuzhou as an example, the research results show that the location method can better meet travel demands, and the rationality and effectiveness of the method are verified.

Key words: traffic engineering; taxi stands; travel demands; location model; hotspot of travel demands; urban morphology; distribution characteristics

(责任编辑 姜红贵)