

考虑随机需求的出租车资源配置定量评价模型

李远刚^{a,b}, 韩景侗^b, 袁光辉^{a,b}

(上海财经大学 a.信息管理与工程学院; b.金融科技研究院, 上海 200433)

摘要:城市出租车资源在非调控体系下的自然分布具有较大的差异,可划分为聚集区、稀疏区、空心区及孤岛区四种分布区域。文章从乘客、出租车和城市规划三个方面,以顾客感知价值、乘车等候时间、经济效益、载客空间密度、节点供求匹配度以及区域供求匹配为指标;利用滴滴出行智能出行平台提供的数据作为分析基础,以北京、杭州、郑州三个代表性城市,采用层次分析法确定各指标的权重,并结合模糊综合评价法综合评分。

关键词:出租车资源配置;评估指标;层次分析法;模糊综合评价

中图分类号:F572.88 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6487(2019)11-0048-04

0 引言

“互联网+”理念提出后,城市租车业务不断涌出,先后有Uber、神州、1号专车,甚至巴士也进入了互联网租车的序列,这一社会现象凸显了我国城市出租车“服务性”(资源分布的差异性等)的短缺。

目前关于城市出租车资源配置方面的研究多数集中在:城市的规划方面,对出租车总量的约束等^[1-3];出租车优化调度方法研究^[4-5];电力出租车的使用、定价以及相应的基础设施配备问题^[6];出租车的分享与费用拆分问题,同步降低出租车公司的空座率及乘车人的成本^[7]。对城市出租车资源配置情况的了解有助于分析出租车目前的非市场化调节机制是否会带来社会福利,同时也有利于分析城市出租车合理的资源配置方式。

在出租车社会资源需求方面,本文从乘客、出租车、城市规划三个角度出发,以顾客感知价值、乘车等候时间、经济效益指数、载客空间密度指数、特殊点供求匹配度以及区域供求匹配度为指标进行分析。

1 评价指标体系设置

城市出租车资源的配置,需考虑乘客的出行需求、出租车供给量、运营商的经济效益和城市交通规划。为此,本文从乘客、出租车司机、城市规划三个角度出发,确立顾客感知价值、乘客等候时间、里程利用率等评价指标^[8](见图1)。

(1) 顾客感知价值指标

出租车乘坐者感知价值来自于其所接受的服务时,所支付的代价与所接受服务整体印象的比较^[8]。出租车乘客感知价值可以使用各个乘客每次乘车对出租车的感知价

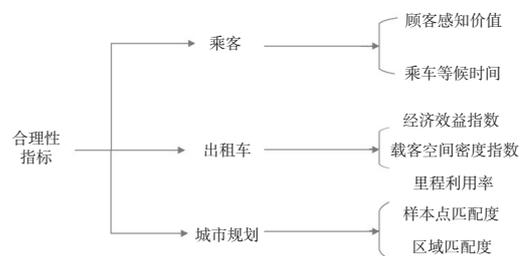


图1 评价指标

值指数总和的平均值进行分析。出租车乘客在每次乘坐出租车时,其感知价值受乘车的等候时间、乘车的整体成本、出租车服务人员的服务态度以及出租车自身的质量等因素决定。由于出租车服务人员由专业的服务企业进行培训,车辆卫生等条件由政府相关部门及出租车企业进行规范,因此在模型中认为这两项是无差异的。故选取前两项指标作为该项指标评价的参数,感知价值指数与候车时间及运价成负相关关系。

$$G_z = \frac{\sum_{t=1}^{N_T} \sum_{i=1}^{N_{taxi}} \sum_{j=1}^{N_{pi}} E_{tij}}{N_T \times N_{taxi} \times N_p}, E_{tij} = k \frac{P_t}{P_e} \times \sum_{i=1}^{N_i} \frac{D_i}{D_e} \quad (1)$$

式(1)中: G_z 表示顾客的整体感知价值; P_e 表示出租车的单位标准运价; D_e 表示乘客的单位标准候车时间; k 表示感知价值指数函数调整系数; N_{taxi} 表示城市的出租车总数; N_{pi} 表示第 i 个出租车的顾客总数; N_T 表示所分时间段的总数; E_{tij} 表示第 t 时段第 i 出租车的第 j 个顾客对此出租车的感知价值指数。

(2) 平均候车时间指标

平均候车时间是指乘客在选择乘坐出租车出行时,到其乘坐上出租车所需要花费的时间。这一指标会因为城市整体布局的不同而引起的出租车分布差异而不同,城市人口相对聚集地区,出租车分布相对较多,等待时间也会

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71271126)

作者简介:李远刚(1974—),男,四川内江人,博士研究生,研究方向:复杂系统建模、数据分析。

韩景侗(1959—),男,陕西西安人,教授,博士生导师,研究方向:互联网金融、复杂网络与复杂系统。

袁光辉(1987—),男,陕西西安人,博士研究生,研究方向:复杂系统建模、数据挖掘。

有所降低,然而城市的人口分布不尽均匀,因此在评价城市出租车资源分配时其应作为一个关键指标。为了方便考虑,以平均候车时间(单位为min)作为评价指标。

$$T_r = \sum_{i=1}^{N_r} D_i / N_r \quad (2)$$

式(2)中: T_r 表示乘客的平均候车时间; D_i 表示第 i 次候车的等待时间; N_r 表示乘客的总候车次数。

(3)出租车经济效益指标

出租车驾驶人员以经济收益作为主要参考,出租车司机希望自己所驾驶的出租车单位时间具有较好的载客率,因此在空载的情况下会向人员较为集中的地区前往。其经济效益可以使用载客行驶里程与单位运价进行刻画,同时对成本进行消减即可。

$$\text{总收入: } P_{-total} = \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{i=1}^{N_{taxi}} M_{ci,t} \times P_t \quad (3)$$

$$\text{总成本: } CT = \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{i=1}^{N_{taxi}} M_{ci,t} \times C_{ii,t} \quad (4)$$

$$\text{总利润: } WT = P_{-total} - CT \quad (5)$$

式(3)至式(5)中: N_{taxi} 表示城市的出租车总数; N_T 表示所分时间段的总数; P_{-total} 表示所有出租车一天内的总收入; $M_{ci,t}$ 表示第 i 区域第 t 时段出租车的载客行驶里程; P_t 表示出租车第 t 时段内的单位运价; CT 表示所有出租车的总成本; $C_{ii,t}$ 表示第 i 个出租车第 t 时段的单位成本; WT 表示所有出租车一天内的总利润。

(4)载客空间密度指标

出租车在有客人搭载的情况下,乘客前往的空间越集中,则该地理空间内的旅客越多,急载客空间密度越大,也标志着出租车司机在该区域内运行将会有有一个较好的收益期望,乘客在该区域内打车具有较短的等待时间期望,这一指标对出租车的分布至关重要。可以使用各区域载客空间密度与城市总载客空间密度之比进行描述。

$$R_{ci} = \frac{m_{ci}/S_{si}}{\sum_{i=1}^{N_q} m_{ci}/S_{si}} \times 100\% \quad (6)$$

式(6)中: R_{ci} 表示第 i 区域出租车的载客空间密度指数; m_{ci} 表示第 i 区域出租车的载客次数; S_{si} 表示第 i 区域街道的总面积。

(5)出租车行驶里程利用率指标

从出租车运营角度分析,出租车司机希望尽可能地降低出租车的里程空载率,使得自己尽可能在行驶的过程中车上有乘客,增加自身的收益,同时刻画了出租车的利用率,也可以说明出租车资源的分配效率问题。

$$M_p = \frac{\sum_{t=1}^{N_{taxi}} \sum_{i=1}^{N_q} M_{ci,t}}{\sum_{t=1}^{N_{taxi}} \sum_{i=1}^{N_q} M_{ri,t}} \times 100\% \quad (7)$$

式(7)中: N_q 表示城市所分的区域总数; N_{taxi} 表示城市的出租车总数; M_p 表示出租车的总里程利用率; $M_{ci,t}$

表示第 i 区域第 t 时段出租车的载客行驶里程; $M_{ri,t}$ 表示第 i 区域第 t 时段出租车的总行驶里程。

(6)节点供求匹配度指标

城市出租车供给节点,是指城市具有一定道路特征的点,如路口转弯处十字路口等,这些点可以组成城市出租车供给关键节点。在城市中每个节点,每个时刻出租车与供给之间的关系均在发生着变化,作为城市较为合理的资源分配不应该出现较大的出租车供需差异。可以认为城市在每个节点出租车的供应与需求均是一个矩阵,可以借助这两个矩阵之间的关系描述城市节点的出租车匹配情况。

$$F_p = \frac{\sum_{t=1}^{N_T} \sum_{i=1}^N |Q_{i,t} - G_{i,t}|}{A_{-worst} \times N_T \times N} \quad (8)$$

式(8)中: N_T 表示所分时间段的总数; N 表示各街道采集的样点总数; F_p 表示各街道样点的供求匹配度; $Q_{i,t}$ 表示第 i 个点第 t 个时间段的打车需求量; $G_{i,t}$ 表示第 i 个点第 t 个时间段的出租车供应量; A_{-worst} 表示通过历史数据统计的供应与需求矩阵之间的最大值。

(7)区域供求匹配度指标

每个城市在不同的区域人口分布具有较大差异,出租车分布同样也具有较大的差异。表现为城市出租车供给的区域性差异,即部分区域出现车等人现象,空载率较高;部分区域出现人等车现象,出租车严重供给不足。为综合说明城市出租车资源分配情况,故使用该指标进行研究。

$$F_{ps} = \frac{\sum_{t=1}^{N_T} \sum_{i=1}^{N_q} |Q_{si,t} - G_{si,t}|}{A_{s-worst}} \times W_{si,t} \quad (9)$$

式(9)中: F_{ps} 表示 s 区域的出租车供求匹配度; $Q_{si,t}$ 表示 s 区域第 i 个点第 t 个时间段的打车需求量; $G_{si,t}$ 表示 s 区域第 i 个点第 t 个时间段的打车需求量; $A_{s-worst}$ 表示 s 区域通过历史数据统计的供应与需求矩阵之间的最大值; $W_{si,t}$ 表示 s 区域在第 i 个点第 t 个时间段的权重分配值。

2 出租车时段划分与数据来源

2.1 城市出租车资源情况

针对城市出租车运行的时间与城市人群的上下班等情况,可以将出租车的每天运行分为高峰期与低谷期;同时可以根据这一实际情况,将时间分布做一个细化,每日以2小时为单位进行细分亦可将每日划分为四个时段,早高峰、晚高峰、早低谷和晚低谷。四类划分及相应的12个时段表示如下:

早高峰期:6:00—10:00,共计2个时段;早低谷期:10:00—16:00,共计3个时段;晚高峰期:16:00—22:00,共计3个时段;低谷期:22:00—6:00,共计四个时段。

针对城市区域的地理划分,本文选取三个代表性城市(北京、杭州、郑州)的不同区域(如:商业区、居民区及郊区等),根据人口分布等因素,将城市划分为聚集区、稀疏区、

空心区及孤岛区四种类型区域。具体如图2所示。

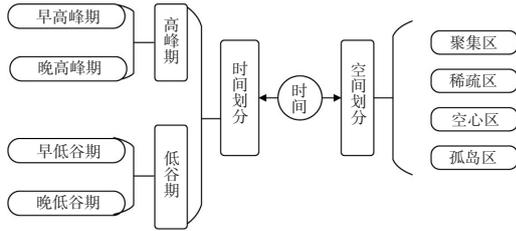


图2 城市出租车时空划分图

注：空心区：出租车服务分布密度低于周边的区域；孤岛区：出租车服务分布密度高于周边的区域。

2.2 数据来源与数据收集

本文利用网络平台，从滴滴出行智能出行平台获取北京、杭州、郑州三个城市不同时间、地点出租车的相关数据，其中包括车牌号、所在经纬度、时间、速度、风向及载客情况等信息。

3 实证

3.1 评价指标重要性

文中给出了7个评价指标，为了较好地分析城市出租车分布的综合情况，首先对评价指标的重要情况进行研究，即根据不同的区域及时间情况，对评价指标进行主次分析，采用层次分析法确定各指标的主次关系。

第一步：0.1-0.9标度法。

采用0.1-0.9标度法，对各因素进行交叉比较，从定量角度得到其重要程度，具体重要程度划分方法见表1。

表1 标度法及意义

标度	定义
0.5	同等重要
0.6	稍微重要
0.7	明显重要
0.8	重要得多
0.9	极端重要
0.1-0.4	反比较

第二步：建立优先关系矩阵。

模糊优先关系矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$ 具有下列性质：

- (1) $a_{ii} = 0.5, i = 1, 2, \dots, n$
- (2) $a_{ij} + a_{ji} = 1, i, j = 1, 2, \dots, n$

依据0.1-0.9标度法，得到优先关系矩阵：

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

则其模糊一致矩阵满足：

$$a_i = \sum_{k=1}^n a_{ik}, i = 1, 2, \dots, n, a_{ij} = \frac{a_i - a_j}{2n} + 0.5 \quad (10)$$

第三步：确立指标权重值 w_i 。

$$w_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2\alpha} + \frac{1}{n\alpha} \sum_{j=1}^n a_{ij}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

$$\alpha \geq \frac{n-1}{2}$$

根据层次分析法进行处理，得出城市出租车资源分布7个评价指标的优先关系矩阵，确立各个指标的权重，其优先关系矩阵如下：

$$\begin{pmatrix} 0.5 & 0.7 & \dots & 0.2 \\ 0.3 & 0.5 & \dots & 0.4 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.8 & 0.6 & \dots & 0.5 \end{pmatrix}$$

鉴于各个评价指标在不用运营时间和城市定义区域，其重要程度以及权重都存在着差异性，仅在此处给出城市的四个区域（聚集区、稀疏区、空心区及孤岛区）在高峰期与低谷期内的计算结果，其中北京市内各区域不同时期内相关参数结果如表2、表3所示。

表2 北京市聚集区和稀疏区相关参数

时间	聚集区				稀疏区			
	指标	权重	标度	级别	指标	权重	标度	级别
高峰期	1	0.1596	0.7	明显重要	1	0.1398	0.7	明显重要
	2	0.1388	0.6	稍微重要	2	0.1250	0.6	稍微重要
	3	0.1766	0.8	重要得多	3	0.1546	0.7	明显重要
	4	0.1120	0.6	稍微重要	4	0.1002	0.5	同等重要
	5	0.1358	0.6	稍微重要	5	0.1183	0.6	稍微重要
	6	0.1850	0.9	极端重要	6	0.1862	0.9	极端重要
	7	0.1768	0.8	重要得多	7	0.1759	0.8	重要得多
低谷期	1	0.1463	0.7	明显重要	1	0.1503	0.7	明显重要
	2	0.1520	0.7	明显重要	2	0.1344	0.6	稍微重要
	3	0.1450	0.7	明显重要	3	0.1426	0.7	明显重要
	4	0.1332	0.6	稍微重要	4	0.1320	0.6	稍微重要
	5	0.1225	0.6	稍微重要	5	0.1566	0.7	明显重要
	6	0.1530	0.7	明显重要	6	0.1530	0.7	明显重要
	7	0.1480	0.7	明显重要	7	0.1311	0.6	稍微重要

表3 北京市空心区和孤岛区相关参数

时间	空心区				孤岛区			
	指标	权重	标度	级别	指标	权重	标度	级别
高峰期	1	0.1483	0.7	明显重要	1	0.1427	0.7	明显重要
	2	0.1224	0.6	稍微重要	2	0.1205	0.6	稍微重要
	3	0.1396	0.7	明显重要	3	0.1426	0.7	明显重要
	4	0.1003	0.5	同等重要	4	0.1003	0.5	同等重要
	5	0.1205	0.6	稍微重要	5	0.1193	0.6	稍微重要
	6	0.1791	0.8	重要得多	6	0.1792	0.8	重要得多
	7	0.1898	0.9	极端重要	7	0.1954	0.9	极端重要
低谷期	1	0.1820	0.9	极端重要	1	0.1767	0.8	重要得多
	2	0.1304	0.6	稍微重要	2	0.1402	0.7	明显重要
	3	0.1396	0.7	明显重要	3	0.1350	0.6	稍微重要
	4	0.1000	0.5	同等重要	4	0.1046	0.5	同等重要
	5	0.1103	0.6	稍微重要	5	0.1159	0.6	稍微重要
	6	0.1601	0.8	重要得多	6	0.1599	0.7	明显重要
	7	0.1776	0.8	重要得多	7	0.1776	0.8	重要得多

可以发现，城市出租车资源，高峰期在聚集区与稀疏区均是节点匹配度要求最高，区域匹配度要求次之；在空心区与孤岛区恰恰相反，也就表示城市的部分区域出租车资源较少，无法较为快捷地打到出租车，这些区域需要外生力量对其进行一定的调整与支持。

在低谷期没有较多指标表现为极端重要，但是在空心区乘客对出租车的感知度指标出现了极端重要的要求。在低谷期在空心区域等待出租车的时间也会较长，而价格是相对稳定不变的，因此乘客对这一指标表现为极端性关注亦较为正常。

3.2 基于层次分析法的模糊综合评价

本文根据层次分析法的模糊综合评价得到各个评价指

标的模糊综合判断矩阵为 R , 其中三个主要的评价指标(区域供求匹配度、节点供求匹配度、经济效益)的综合判断矩阵分别如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.2 & \dots & 0.0 \\ 0.0 & 0.5 & \dots & 0.2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.7 & 0.1 & \dots & 0.0 \end{bmatrix} R_2 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.0 & \dots & 0.1 \\ 0.0 & 0.6 & \dots & 0.3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.2 & 0.8 & \dots & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.6 & \dots & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & \dots & 0.2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0.7 & 0.0 & \dots & 0.2 \end{bmatrix}$$

依据综合判断矩阵 R , 求解出模糊综合评价集 B , 并结合各指标的测量标度 H , 求得各个指标综合评分。

针对所收集的三个城市的四种区域类型(聚集区、稀疏区、空心区及孤岛区), 计算高峰时段和低谷时段内的各个评价指标的综合得分情况。其中北京市内各区域不同时期内评分结果如表 4、表 5 所示。

表 4 北京市聚集区与稀疏区评分结果

时间	聚集区			稀疏区	
	指标	权重	评分	权重	评分
高峰期	1	0.1596	0.517	0.1398	0.474
	2	0.1388	0.420	0.1250	0.410
	3	0.1766	0.633	0.1546	0.492
	4	0.1120	0.413	0.1002	0.536
	5	0.1358	0.339	0.1183	0.450
	6	0.1850	0.589	0.1862	0.586
	7	0.1768	0.730	0.1759	0.682
低谷期	1	0.1463	0.463	0.1503	0.472
	2	0.1520	0.501	0.1344	0.324
	3	0.1450	0.403	0.1426	0.365
	4	0.1332	0.376	0.1320	0.340
	5	0.1225	0.288	0.1566	0.598
	6	0.1530	0.492	0.1530	0.526
	7	0.1480	0.470	0.1311	0.427

表 5 北京市空心区与孤岛区评分结果

时间	空心区			孤岛区	
	指标	权重	评分	权重	评分
高峰期	1	0.1483	0.347	0.1427	0.359
	2	0.1224	0.290	0.1205	0.205
	3	0.1396	0.385	0.1426	0.360
	4	0.1003	0.126	0.1003	0.097
	5	0.1205	0.195	0.1193	0.167
	6	0.1791	0.251	0.1792	0.528
	7	0.1898	0.255	0.1954	0.725
低谷期	1	0.1820	0.420	0.1767	0.509
	2	0.1304	0.119	0.1402	0.361
	3	0.1396	0.124	0.1350	0.320
	4	0.1000	0.089	0.1046	0.215
	5	0.1103	0.186	0.1159	0.247
	6	0.1601	0.358	0.1599	0.452
	7	0.1776	0.397	0.1776	0.560

从北京的综合评价结果可以看出, 在高峰时段出租车资源分配的主要影响在于城市各个区域出租车是否能按照相应的需求进行分配, 以达到区域的最大匹配度, 则可以较大程度地提升城市出租车资源的分配情况。

3.3 北京、郑州、杭州三市对比分析

根据综合评价结果和城市出租车在高峰与低谷期的出租车分布云图(略), 发现城市的出租车资源分配具有较大差异:

(1) 在三个城市中, 北京的交通网络最为复杂。在同一个城市中, 越复杂的交通网络区块, 其出租车载客量越

多越密集。对于北京市, 从高峰期的密集区域结果可以分析出, 顾客的等候时间、经济效益等指标相对与其他时段, 这些指标所对应的分数和权重较小, 符合实际。

(2) 从对北京的评分结果来看, 越密集的区域其所需要的供应就越大, 这时候需要打的的人就会越来越多。载客空间密度会加大, 样本点的匹配度和区域的匹配度会有所提高, 而北京数据能够反映这一现象。

(3) 分别从三个城市的聚集区、稀疏区、空心区、孤岛区来看, 这四个区在高峰期和低谷期时, 对指标的依赖性不同。在高峰期聚集区、稀疏区的乘客更关注在城市响应的节点出租车的匹配情况; 而在空心区、孤岛区乘客更关心的是在该区域内出租车的分布量是否匹配, 造成这一现象的原因主要是出租车司机的收入期望性歧视所致。

4 结束语

结合城市发展情况、出租车乘车人的出行需求及城市出租车的供给情况, 结合交通规划、出行心理等方面的因素给出城市出租车资源评价指标, 利用滴滴出行智能出行平台的相关数据, 并对其进行了处理与清洗后, 对各个指标的重要性进行研究。从城市人口地理的环境角度出发, 将城市的研究区域有机地划分为四个主体, 从评价结果来看, 体现了不同主体内的打车人群在不同时段对各指标的关注有所差异。

城市出租车资源分布情况不尽人意, 越大型的城市在高峰时段对出租车资源分配的综合得分越低, 出租车的需求与供给的匹配度亦较差, 互联网租车服务越容易发展; 滴滴出行的快速发展也集中在北京、上海、广州, 其次是杭州等地, 这与城市出租车出现的资源性短缺有较大关系。对城市出租车、公交等出现资源性短缺现象, 作为政府、企业等外生影响因素, 可以做出相应的手段进行调控, 如: 出租车补贴服务、城市可调动性短泊车等。

参考文献:

- [1] 胡列格, 周佰会, 刘阳, 刘荣, 张梦启. 中等城市出租车保有量适量性研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2012, (2).
- [2] 王秀芳. 城市交通中的出租车规划[D]. 杭州: 浙江大学硕士论文, 2011.
- [3] 丁舒平. 城市出租车发展规划关键技术及应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学硕士论文, 2008.
- [4] 唐炉亮, 常晓猛, 李清泉等. 基于蚁群优化算法与出租车 GPS 数据的公众出行路径优化[J]. 中国公路学报, 2011, (2).
- [5] 俞春辉, 杨晓光, 马万经. 考虑随机需求的出租车上客区泊位设置模式和规模优化方法[J]. 中国公路学报, 2015, (3).
- [6] 王宁, 符钢战, 李贲, 龚在研. 纯电动出租车经济效益与服务定价分析模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, (6).
- [7] 罗端高. 出租车运营影响的城市混合交通网络均衡分析[D]. 长沙: 中南大学博士论文, 2009.
- [8] 袁宏福. 基于个性的顾客感知价值研究[D]. 北京: 中国人民大学硕士论文, 2008.

(责任编辑/易永生)