

基于多层网络的出租车“供求匹配”评价与优化模型

电子科技大学 成都（611731）李润东 李耀先 许博蕊

摘要： 本文利用多层网络和热点分布来表示成都市不同时空的出租车资源供求的分布特征，并建立了出租车“供求匹配”程度的评价模型，对成都出租车的供求现状进行评价。另外，建立了在“互联网+”背景下的公司补贴政策连续影响模型，分析了市场上打车软件的优势与不足，重新设计了依托“互联网+”的出租车司机的补贴方案并对其进行合理性评价。

将出租车在不同时间和空间上的“供求分布”抽象成多层网络。将一天分为 $t_1 \sim t_6$ 六个时间段分别对应6种分布状态，利用成都市各街道人口统计数据，得到成都初始人口分布状态，再通过状态转移获得全天的人口分布状态，之后基于出租车需求量的计算模型将人口分布网络转化为出租车需求量的分布网络。依据出租车分布数据即可得到出租车供应量的多层分布网络来表示其不同时空的分布。

然后分别确定出租车需求网络与供应网络的热点，来反映出租车供求量在不同时空的分布特征，同时利用热点将需求网络和供应网络进行匹配，并选取未打到车人数和出租车空余量作为“供求匹配”的评价指标，来分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度。通过数值计算，发现上班高峰期的出租车空余量与打不到车人数的比值明显高于其他时段，可见上班高峰期的出租车资源的“供求匹配”程度比较低。

[关键词] 多层网络 供求匹配 热点

一 模型假设

1. 假设收集到的数据与各公司补贴方案均真实有效；
2. 在研究出租车情况时均以成都的城市交通为例，且仅考虑成都白天的出租车运营情况，夜晚车流量和人流量均较少，并几乎不存在热点现象；
3. 根据《成都统计年鉴》也同样显示成都近几年人口数据显示几乎无明显变化；
4. 根据《成都统计年鉴》和“滴滴快的云平台数据”的出租车数量统计比值，可以假设成都市50%出租车司机使用打车软件；
5. 假设出租车在城市中行驶的速度是均匀的；

二 建模前准备

2.1 多层网络构建分析与热点引入

城市出租车的分布是一个随时间变化的动态过程，每一个时刻均对应一个出租车在空间分布的不同的状态。如果将某时刻的出租车在空间上的分布用多个格点来描述，则可将空间划分为一个包含大量格点的网络。这时候再对时间进行分析，因为每个时刻的空间的网络都是不同的，因此将时间离散化之后，把每一个时间点对应的空间网络做一个集合，就形成了多层的时空网络。因此，可以通过构建时空多层网络对出租车以及城市中人口的分布进行描述。

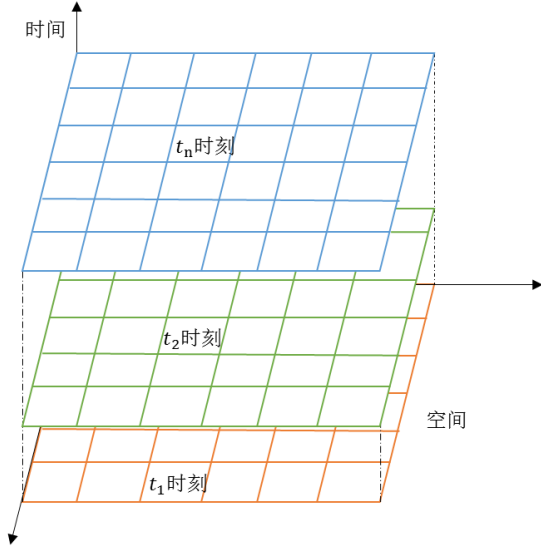


图 1 多层网络示意图

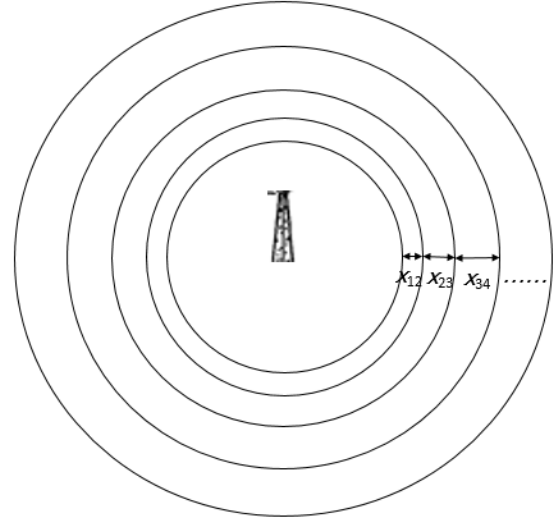


图 2 热点示意图

热点常见于移动通信中，越靠近热点中心信号越好，存在一定的梯度。在上下班的高峰，城市居民的主要流动是从居民区到核心区（包括商业区、教育区、交通站等人口密集地，为简化表述在文中均以核心区表示），会造成越靠近核心区中心人口密集度越大的特点，可以将该地区的人口分布类比为移动通信中的热点。因此，将核心区的规划等效于热点的选择与覆盖，城市居民向核心区的移动问题形成的梯度则可表示为热点信号随距离的梯度。只需要找到城市热点的分布即可得到时空转移的状态关系。

2.2 数据的获取与预处理

将第六次全国人口普查得到成都市人口详细数据^[7]（440 个数据点）匹配地理坐标^[8]上，对应到成都市地图^[9]中，用三次样条插值，实现成都市人口密度分布图，作为早高峰开始前的初始人口热点分布；

通过在线大数据平台得出 2015 年 9 月 4 日滴滴快的打车在线数据^[10]，包括精确到小时的出租车时空分布情况与用户在线打车请求时空分布情况，并对应到成都市地图中，作为早高峰前后的出租车供应热点分布图；

通过阿里巴巴企业名录^[11]，随机抽选出成都市 120 家员工人数超过 1000 人、年收入超过人民币一亿元的大型企业，匹配地理坐标后对应到成都市地图中，并做三次样条插值，作为早高峰结束后人口热点分布图。

对数据进行预处理，建立供求热点网络。具体预处理过程如下：

首先根据成都市地理坐标（记成都市经度最小值与最大值分别为 x_{min}, x_{max} 纬度最小值与最大值依次为 y_{min}, y_{max} ），将成都市经度和纬度 100 等分，建立 2 个 100×100 网格 $\overrightarrow{W_d}, \overrightarrow{W_p}$ ，作为（乘客）需求网格与（出租车）供应网格，为各网格点赋初值 0，各格点代表 t 时刻网格内坐标分别为 (i, j) 处的需求量与运量，单位为人/次，分别表示为：

$$w_d(t, i, j), w_p(t, i, j).$$

再分别令早高峰起始结束时的时刻为 $t_b = 7, t_e = 7$ ，依次遍历成都市人口密度分布图、早高峰结束后人口热点分布图和早高峰前后的出租车供应热点分布图，将各数据点填入 $\overrightarrow{W_d}, \overrightarrow{W_p}$ 对应网格点中。

三 模型建立与求解

不同时空的出租车资源的供求匹配评价的核心问题是分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度，需要分别对人口分布状态与出租车分布状态构建时空多层网络，作为决策关系的映射。其中，“时空供应网络”可以用成都市现行的出租车状况进行求得，而“时空需求网络”的确定需要通过基于城市人口分布状态以及状态转移关系建立。

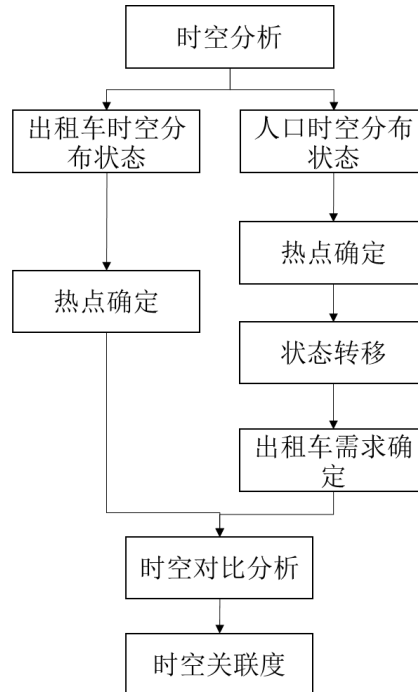


图3 “供求分析模型” 总体结构

3.1 不同时空的人口数量分布状态与转移及热点确定

一天内不同时刻的成都市人口分布也是在变化的，对于其人口数量分布的规律考虑，将一天之内的时间进行分段，不同时段对应着不同人口分布状态。如把成都市一天内的人口分布状态按时间分为6段：

$$t_1 = 05:00 \sim 07:00, \quad t_2 = 07:00 \sim 09:00, \quad t_3 = 09:00 \sim 13:00, \\ t_4 = 13:00 \sim 17:00, \quad t_5 = 17:00 \sim 19:00, \quad t_6 = 19:00 \sim 21:00,$$

不同时空的人口数量分布状态与转移及热点确定可分为四个步骤：

Step1: 根据成都各街道人口数量获取不同空间的人口数量分布状态；

Step2: 把成都市一天内的人口分布状态按时间分为6段获得不同时间的人口数量分布状态；

Step3: 根据网格划分、人口分布、时间状态模拟不同时空的人口数量分布状态转移；

Step4: 根据不同时空的人口分布数量进行人口密集度的热点确定。

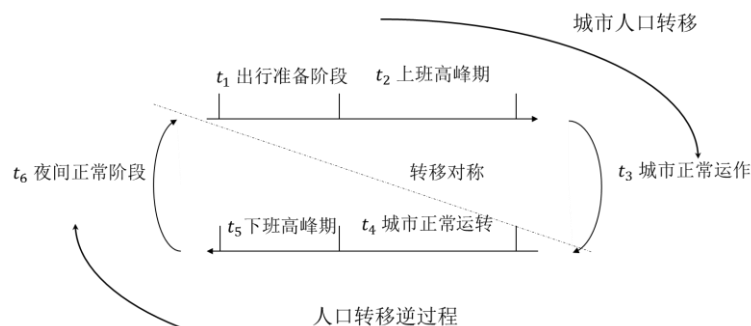


图4 一日内成都市人口转移

3.2 出租车需求量的计算模型

通过数据获得出租车承担的城市居民出行周转量、出租车每日载客总行驶里程，以及出租车空载率，每辆出租车每日平均运营时间，出租车平均运营速度，则可以根据人口数量的值，得到相对应的出租车的需求量 $n^{[5-6]}$ 。

3.3 成都不同时空的出租车供应分布及热点确定

根据成都出租车统计数据得到，2015 年的出租车数量已达到 18600 辆，而由滴滴快的集团苍穹滴滴快的智能出行平台^[10]所提供的数据中，出租车出行数量为 9000 辆，由此我们认为成都实际出行数量应为平台所记录数据的二倍，进而得到成都市各个区域的出租车供应的分布情况。再分别对 $t_1 \sim t_6$ 时段中某一具体时刻的出租车数据进行处理，便可得到不同时空的出租车数量分布情况，即不同时空出租车供应分布。

得到成都市不同时空出租车供应分布之后，将单位区域内，出租车数量大于 50 辆的区域作为出租车供应的热点。

3.4 不同时空出租车资源“供求匹配”程度的评价指标

在时空上对“供求网络”进行对应性分析时，需要建立未打到车的人数和空座位数两个指标进行分析。

p_{ij} 为供应网络中第 i 行、第 j 列的网格， D_{ij} 为需求网络中第 i 行、第 j 列的网格，因为供求网络的相互映射关系，当需求网络发出 D_{ij} 的请求时，对应供应网络中的 p_{ij} 将会进行对比检验，此时的搜索机率 $P_1=1/2$ ；若向四周的网格进行延伸进行调度时，四周的网格对应的搜索机率为 $P_2=1/8$ 。如果 D_{ij} 处于网络中的边界，则机率将重新划分。（如 D_{ij} 处于网络边上则四周网格搜索概率 $P_2=1/6$ ；若 D_{ij} 处于网络角上则四周网格搜索概率 $P_2=1/4$ ）

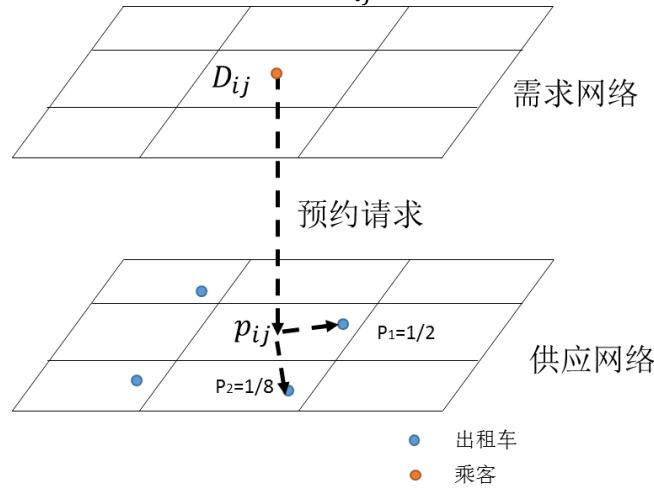


图 5 供求关系匹配示意图

对供求网络的“匹配程度”的确定是需要在全局中进行综合比较，根据状态分布中每个网格内的供求程度进行叠加，则在该状态下的未打到车的人数为

$$\sum_i \sum_j [|p_{ij} < -1|],$$

空座位数为

$$\sum_i \sum_j [|p_{ij} > 1|].$$

3.5 不同时空的出租车资源的供求匹配的求解

根据对成都市不同时空的出租车需求量与供应量的分布模型的求解，可以得到成都在不同时段，不同区域的出租车需求量和供应量的分布特征。

表 1 高峰期时段与非高峰期时段的配置结果

时段	打不到车的人数	空余出租车运量
t_2 时段	8376	1624
t_3 时段	9745	255

四 模型评价与改进方向

本文在分析城市出租车资源的“供求匹配”程度时，分别对人口分布状态与出租车分布状态构建时空多层网络，作为决策关系的映射。基于多层网络对出租车与人口数量的时空分布进行刻画，并通过“供求网络”对应时空进行分析，选取了未打到车人数和出租车空余量作为“供求匹配”的评价指标，并引入“热点”分布来描述出租车与人口数量的分布梯度，得出出租车资源的“供求匹配”程度，思路比较具有创新性。

在网格的划分中，为了简化计算和更容易理解划分的思路，采用正四边形密铺的方式对成都市进行划分，会在梯度方面存在一定的不足。当网格单元边界到网格中某点的最大最小距离比越大，那么利用该点代表一个网格单元所引入的误差就越大。为减少网格划分所引入的误差，同时为实现无缝覆盖，可以采用正六边形对城市区域进行重新划分。

本文将数据挖掘、多层网络等热门科研问题引入到生活的应用领域，属于智能交通的范畴。随着信息时代的到来，将传统交通与“互联网+”紧密结合，将会在该领域创造一种新的生态。

（指导老师：李厚彪）

五 参考文献

- [1] Wang, Yilun, Yu Zheng, and Yexiang Xue. "Travel time estimation of a path using sparse trajectories." *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. ACM, 2014.
- [2] Nagy, Gabor, and Saïd Salhi. "Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries." *European journal of operational research* 162.1 (2005): 126-141.
- [3] Çatay, Bülent. "A new saving-based ant algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery." *Expert Systems with Applications* 37.10 (2010): 6809-6817.
- [4] 卓金武,等. MATLAB 在数学建模中的应用(第二版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014: 79-106.
- [5] 冯晓梅. 供需平衡状态下的出租车发展规模研究[D]. 西南交通大学, 2010.
- [6] 康留旺. 基于 FCD 的城市出租车空驶率及拥有量的计算[J]. 数字技术与应用, 2010, 07: 81-82.
- [7] 中华人民共和国国家统计局. 中国 2010 年人口普查资料[M]. 北京: 中国统计出版社. 2012.
- [8] 半页寒语. 百度地图经纬度批量查询. <http://map.yanue.net/>. 2015.9.11.
- [9] xiaoxue161819. 省会城市 SHP. <http://download.csdn.net/detail/xiaoxue161819/7530495>. 2015.9.12.
- [10] 滴滴快的集团. 苍穹: 滴滴快的智能出行平台. <http://v.kuaidadi.com/>. 2015.9.11.
- [11] 阿里巴巴集团. 1688 黄页. <http://page.1688.com/cp/cp1.html>. 2015.9.12.