

“互联网+”时代的出租车资源配置

2019年9月2日

摘要

“打车难”是一年以来社会关注的热点，从多地出租车罢工事件到网约车的蓬勃发展，再到国家提高网约车准入门槛，出租车的资源调配问题一直是各界关心的重要问题，本文从补贴政策对于“打车难”症状的缓解入手，进一步讨论在出租车资源调配中，补贴方案的合理设置。

本文基于深圳市2011.04.18至2011.04.26期间一周的城市出租车轨迹数据GPS定位数据，结合深圳市人口GDP数据，通过时序和轨迹的分析，以一天为研究周期，得到其供需匹配程度的结果。

值得注意的是，深圳市在2002-2012年的11年间，出租车绝对数量虽然有所提高，但其相对数量减少，其千人出租车数量下降了2.8台。从而对于深圳的该数据做的分析，是有代表性的。

对于“打车难”的缓解，借助模糊集理论采用吸引隶属函数进行分析，通过补贴对于司机的决策的影响程度（吸引力）进行度量和分析。得出对于每笔乘车交易进行合适的补贴，在可以影响司机决策，从而在一定程度上可以打破“打车难”的困境。

对于新平台的补贴方案，依据之前的分析结论，我们提出几点对于出租车司机和乘客两方向的补贴方案，用以合理调配出租车资源，提高总体福利水平，以减少“打车难”带来的福利损失。

关键词：打车难 补贴 供需分析 模糊集理论

1 问题重述

“打车难”是很多城市都存在的现象，而且这种现象不仅出现在大城市，在不少中小城市这样的问题也非常显著；同时随着大众生活水平日益增长，城市内居民以及流动人口对于出租车的需求在逐步增长，而国内许多调查的城市（北京、上海、哈尔滨），人均出租车保有量却有下行趋势，从而对出租车资源进行配置非常重要。

众所周知，“打车难”一直是社会关注的热点问题，而与出租车相关的群体和关系网络是复杂的。而在“互联网+”的大背景下，又有大量网约车平台加入了打车服务中来，这使得在经济和政策的角度看，对出租车进行调度配置变得复杂和微妙。但从出租车的整体情况来看，许多城市出租车绝对数量较低，同时政府加强网约车管控，提高网约车入场门槛，这使得很多网约车退出市场，从而进一步加剧了出租车的供需差距。

面对这样的情况，在相对供给需求层面，可以采用补贴等经济学手段，改变原有低效平衡，影响相关主体决策，让需求尽量被满足，使得社会总福利得以提升。从技术的角度看，已有不少公司依托移动互联网建立了打车软件服务平台，实现了乘客与出租车司机之间的信息互通，同时推出了多种出租车的补贴方案，以缓解“打车难”问题。

但是值得注意的是，随着打车平台的普及以及补贴干预的使用，会使得人们出行变得便捷，但同时传统的在路边打车的乘客打车变的困难，甚至在某些时候出现司机选单的情况，从而对于出租车补贴进行具体分析，有助于缓解城市“打车难”的症状。

2 模型假设

1. 出租车资源的使用具有长期和短期的周期性；
2. 出租车供求不匹配，考虑出租车数目少于需求数目；
3. 出租车整体处于正常运营状态；

3 符号说明

- χ 空驶率
- $T0_i$ 第*i*个辆空驶时间
- Tl_i 第*i*个辆车载客时间
- Tz_i 第*i*个辆车运营时间
- C 抽查车辆数目
- μ_a 隶属函数
- x 每笔交易的补贴
- a 补贴期望

4 模型的建立与求解

4.1 研究不同时空出租车资源的“供求匹配程度”

4.1.1 分析说明

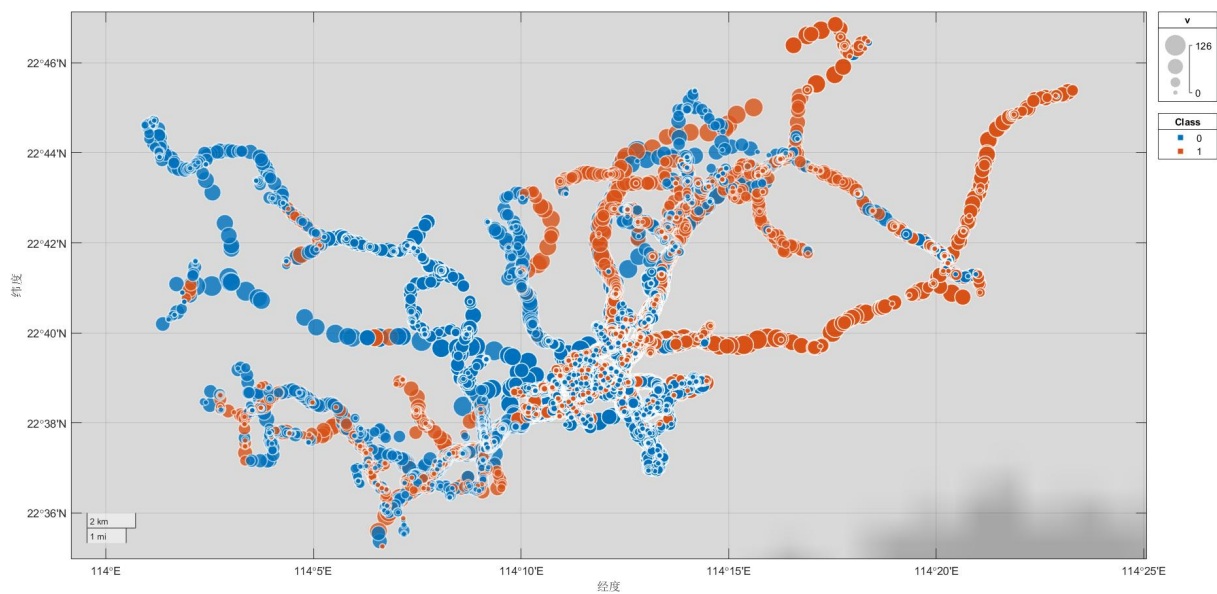
“互联网+”时代的到来，一定程度上解决了出租车信息不流通等问题，但“打车难”仍然存在。本文选取深圳市作为研究城市，以深圳市下辖的九个行政区分析空间维度上的出租车供求匹配程度，以一天的不同时间段分析时间维度上的出租车供求匹配程度。

4.1.2 数据说明

本文搜集了2011.04.18 ~ 2011.04.26,为期一周的深圳市出租车轨迹数据GPS定位信息，车辆总数为13798台。经过筛选剔除明显的异常值，且考虑计算机的计算能力后，留下了2000组数据，导出CSV表格，命名为“cabin (i).csv” ($1 \leq i \leq 2000$)形式。其中，数据包括不同时间、不同经纬度下出租车的车牌号、车辆状态（空载或非空载）、车速、行车方向等信息。

4.1.3 深圳市基本情况分析

对深圳市基本情况进行分析，有利于加深对深圳市各行政区情况的了解，反应各地区居民对出租车的需求量。深圳地处广东省南部，陆域位置位于东经113b46' ~ 114b37'，北纬22b27' ~ 22b89'之间。深圳下辖9个主要行政区，分别是福田区、罗湖区、南山区、宝安区、龙岗区、盐田区、坪山区、光明区、龙华区（不含大鹏新区、深汕特别合作区）。其分布如图1-1所示。



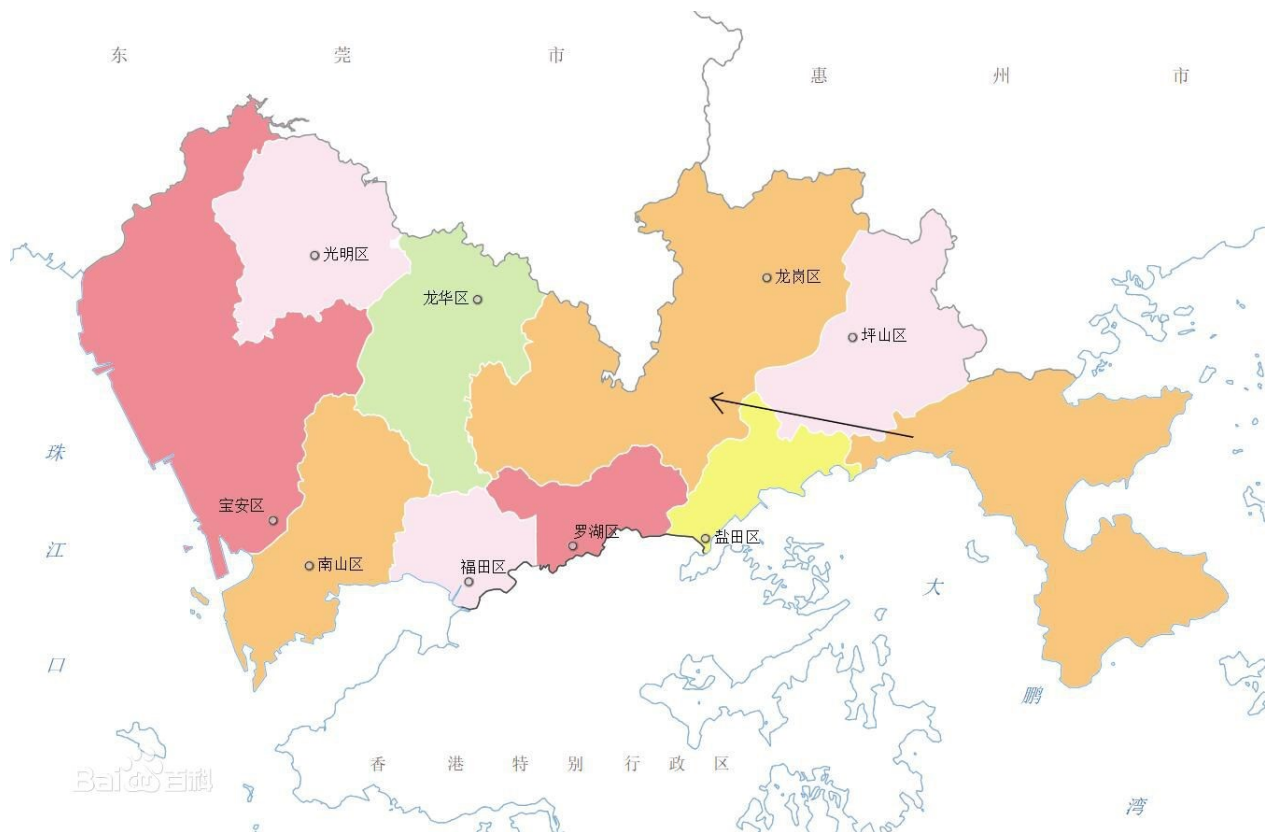
各区面积、人口及GDP如下表所示；

区域	面积/(平方千米)	常住人口/万人	GDP/亿元
南山区	187.47	142.46	5018.36
盐田区	74.99	24.29	612.76
福田区	78.66	150.17	4018.26
罗湖区	78.75	103.99	2253.69
龙岗区	388.21	238.64	4287.86
坪山区	168	44.63	701.66
光明区	156	62.5	920.59
龙华区	175.6	167.28	2401.82
宝安区	397	325.78	3612.18

4.1.4 ”匹配程度”分析

使用MATLAB，画出初始时刻，即2011/4/18 0:00:00出租车的分布状况。

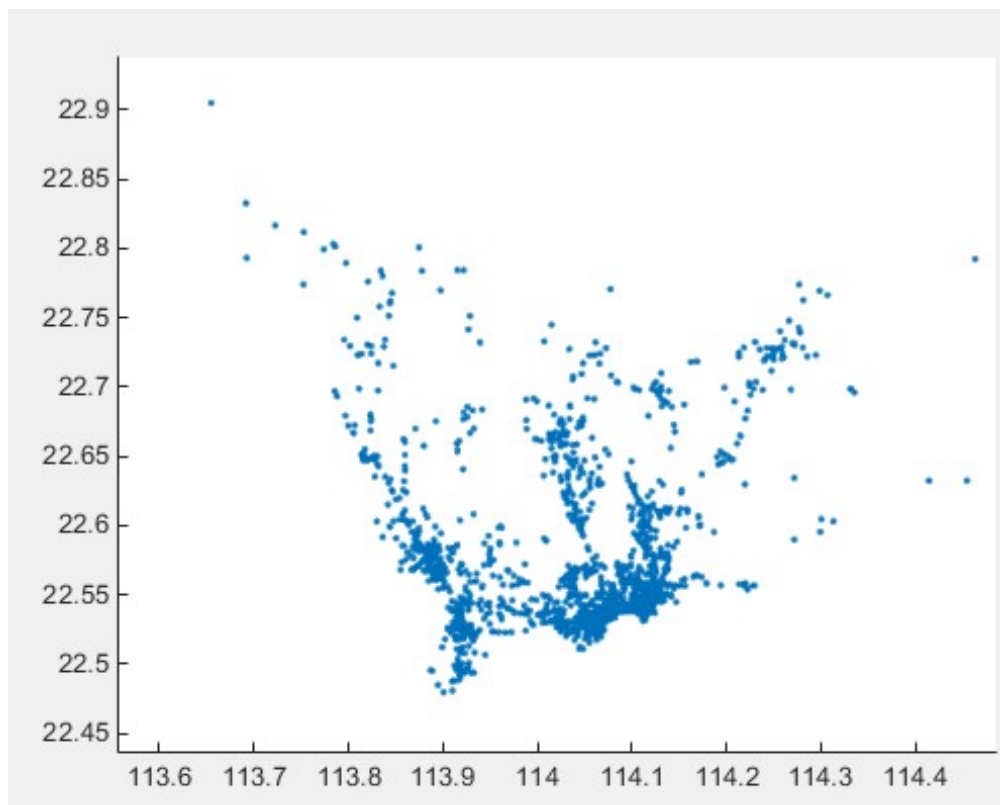
使用地图经纬度拾取坐标系统，用矩形或多个矩形来近似每个区的经纬度范围，从而可获取每个区出租车供应量如下图所示。



区域	车辆数/(辆)
福田区	985
宝安区	346
南山区	323
罗湖区	286
龙岗区	205
龙华区	180
盐田区	7
光明区	6
坪山区	3

从图中和表中可以看出，出租车的分布集中在福田区、罗湖区、南山区和宝安区。这是符合实际的：福田区是深圳市的中心城区，市委市政府所在地，坐拥中央商务区，是深圳的行政、文化、金融、信息和国际展览中心，人流量最大；罗湖区在深圳市的地位仅次于福田区，是深圳市的金融中心、商贸中心和文化娱乐中心。南山区汇聚了深圳市的高新技术产业基地、先进的物流基地、教育科研基地和旅游基地；宝安区中深圳宝安国际机场是中国境内第一个实现海、陆、空联运的现代化国际空港，是中国最繁忙的机场之一，人流量较大。

由于福田区等市中心区域经济地位较高，人流量较为密集，出租车的供应也较多；反观盐田区、光明区、坪山区等边远地区，离市中心较远，经济发展状况较为落后，人流较为稀疏，因此出租车的供应也较少。



4.1.5 ”匹配程度”度量指标

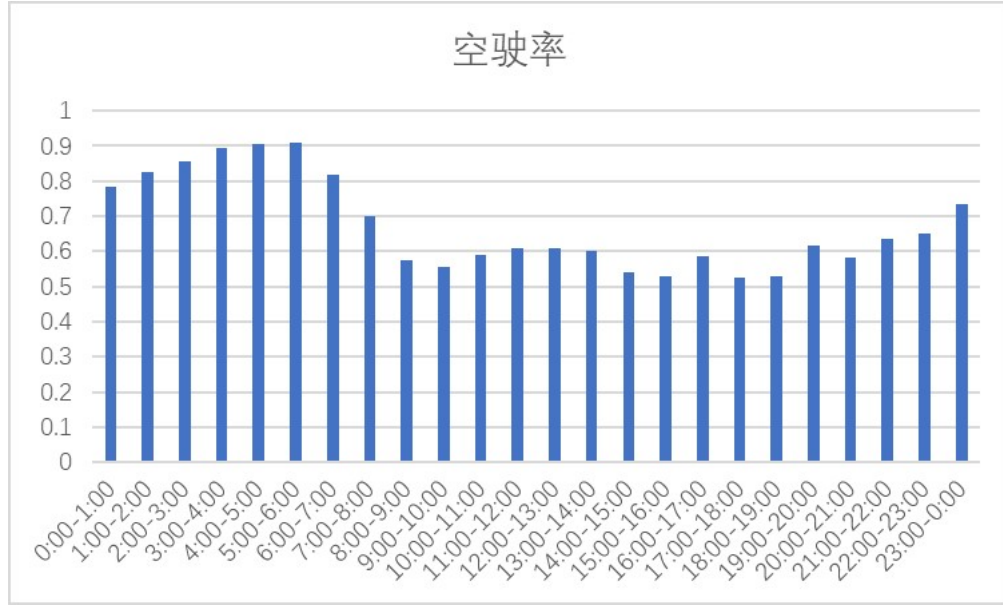
出租车空驶率是能够直观地反应出租车的经营状况和供求是否匹配的一项指标参数。按出租车的营运状态，可以将营业出租车分为空驶（0）和载客（1）两种状态。将数据根据时间段进行分类，可以得到出租车的载客状态随时间的变化情况，从而得出出租车空驶率指标值 χ 。

$$\chi = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C \frac{T0_i}{Tz_i} = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C \frac{Tz_i - T1_i}{Tz_i} \quad (1)$$

随机抽取 $C = 49$ 辆出租车的行驶情况，计算这49组数据小时平均空驶率的均值，得到深圳市一天内小时平均空驶率，使用Excel，画出空驶率的图像，如图所示。小时平均空驶率即以小时为单位，将一天分为24个时间单位，来统计出租车各个时段的空驶率特点，小时平均空驶率能够有效地反映不同时间的出租车资源“供给匹配程度”，空驶率越小，表示该时段内出租车供给匹配度高，即出租车的供给量更能满足该地区居民对出租车需求量的要求。

通过图中结果可以看出，深圳市一天中23:00—7:00这一时间段出租车空驶率最高，在0.7以上，出租车资源的供求匹配程度较低。这是因为这是深夜时段，大部分居民都在睡觉，这一时间段是居民交通需求量最小的时段，已不需要出租车；在8:00—19:00时间段空驶率较低，其中8:00—10:00、14:00—16:00、17:00—19:00的空驶率都在0.5左右，相对来说更低。这是因为第一个和第三个时间段正是深圳市的早晚高峰期，是出租车最繁忙的时段；而第二个时间段出现是因为由于深圳市的人口结构和经济结构，下午是深圳市经济活动和娱乐活动的高峰期，势必会增加出租车的需求量。在19:00—23:00空驶率在0.6上下。可以看出，以上分析与实际情况相吻合。

结合分析，深圳市在白天特别是早晚高峰期的出租车供求匹配较好，而在凌晨的出租车供求匹配较差。正是由于信息不流通，导致乘客不知道哪里有出租车，空驶的出租车不知道哪里有乘客的问题出现。



4.2 基于模糊数学研究补贴方案对打车难易度的影响

4.2.1 吸引力隶属函数的建立

对于打车软件服务平台，司机的使用与否，取决于补贴方案对于司机的吸引力。如果吸引力高，司机将会非常乐意使用打车软件服务平台；如果吸引力低，司机将不会使用打车软件服务平台。对于吸引力高低，可以利用模糊数学里面的隶属函数和隶属度的概念，使用指派方法确定隶属函数。如果模糊集定义在实数域 \mathbf{R} 上，则模糊集的隶属函数称为模糊分布。所谓指派方法就是根据问题的性质主观地选用某些形式地模糊分布，再根据实际测量数据确定其中所包含地参数，本文可选择偏大型正态模糊分布隶属函数衡量打车软件对司机的吸引力。偏大型正态分布隶属函数 μ_A 为：

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 1 - \exp\{-\{\frac{x-a}{\sigma}\}^2\}, & x \geq a \end{cases} \quad (2)$$

上式中 x 为每笔交易的补贴， a 为期望， σ 为方差。

对于该模型，隶属函数如下所示。

$$\mu_A = \begin{cases} 1 - e^{-\{\frac{x}{\lambda}\}^2}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

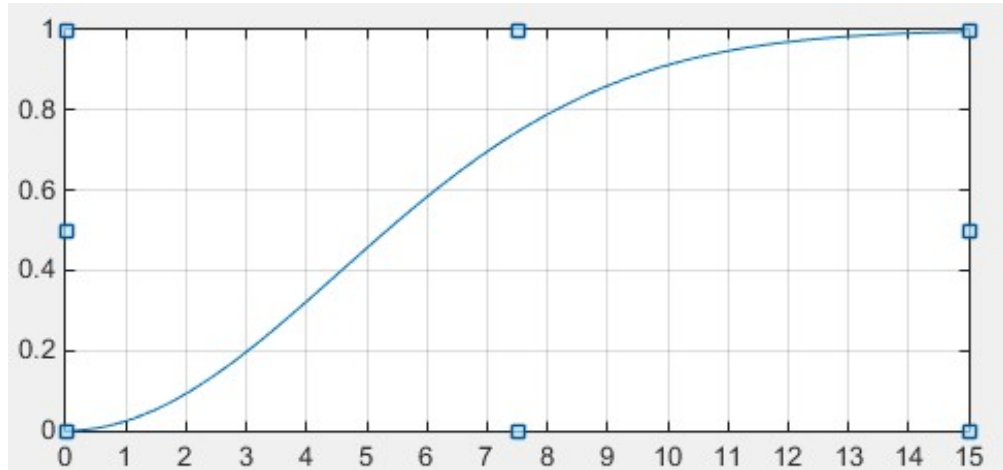
上式中 $a = 0$ ，即认为当出租车补贴方案为司机使用软件完成一笔交易其补贴小于等于0元时，打车软件服务平台为对司机的吸引力为0。而表示实力因子，可看为吸引力因子，是反映一个地区出租车司机在使用打车软件服务平台后所增加的收入和原有收入的指标。

经查阅资料有深圳市出租车司机每月的平均工资大约为8000元左右，因此平均一天深圳市出租车司机的工资大概为267元。此外，若使用打车软件每天的补贴上限为5单，假设司机每天能接满5单，所得补贴为平均每天工资的10%左右时，可看为是吸引力取到中位数。因此有当 $x_0 = \frac{267 \times 10.0\%}{5} = 5.34$ 时，取 $\mu_A(x_0) = 1 - e^{-\{\frac{x_0}{\lambda}\}^2}$ ，则有 $\lambda = \frac{5.34}{\sqrt{-\ln 0.5}} \approx 6.4140$ 因此，吸引力函数 $\mu_A = 1 - e^{-\{\frac{x_0}{6.4140}\}^2}, x > 0$ 。

4.2.2 吸引力对缓解“打车难”的影响

由于打车软件服务平台可以让乘客定向找到司机，司机也可以定向找到乘客，减少了车辆的空驶率，同时可以使司机往乘客分布更加集中、对出租车需求越大的地方驾驶，所以认为打车软件服务平台的出现可以有效缓解“打车难”的问题。而对“打车难”缓解的程度，可以由吸引力函数来刻画。这是因为吸引力越大，司机使用打车软件服务平台的可能性就越大，缓解“打车难”问题。

使用Matlab，作出每笔交易的补贴 x 与吸引力函数 μ_A 的关系图如下。



由上图可知，总体来看，随着每笔交易补贴额的增加，吸引力也随之增加，而吸引力与每笔交易补贴额的关系大概成一个“S”型曲线。每笔交易补贴额在10元之前，吸引力随补贴金额的增加变化较大，而每笔交易补贴额在10元之后，吸引力随补贴金额的增加变化并不是很大。

将吸引力与缓解“打车难”的帮助程度进行对应：吸引力越小，对缓解“打车难”的帮助程度越低；吸引力越大，缓解“打车难”的帮助程度越高，可以得到下表：

每笔补贴金额	吸引力	缓解“打车难”帮助程度
0-3.0	0.00-0.20	低
3.0-5.5	0.20-0.60	较低
6.0-8.0	0.60-0.80	较高
8.0-15.0	0.80-0.99	高

通过查阅资料，得到2014年滴滴打车的补贴方案如下表所示：

补贴方案实施时间	补贴方案(元/单)
2014/1/20-2014/2/17	10
2014/7/9-2014/8/9	2
2014/8/9-2014/8/12	2
2014/8/12-2014/12/31	0

将 $x = 10, 2$ 分别代入吸引力的公式，可得： $x = 10$ 时吸引力为0.912， $x = 2$ 时吸引力为0.093。

因此，在每单补贴10元时，其吸引力较大，能够有效的缓解“打车难”。而补贴为每单2元时其吸引力较低，对缓解“打车难”帮助较小。但由于使用打车服务平台司机能有效降低空驶率，司机可以提高其定向

性，多往乘客需求密集的地方行驶，可以有效减少油耗开支，降低成本。所以可认为经前期推广后，即使补贴方案下调，也仍有大批司机使用打车软件，因此其对“缓解打车难”将有所帮助。

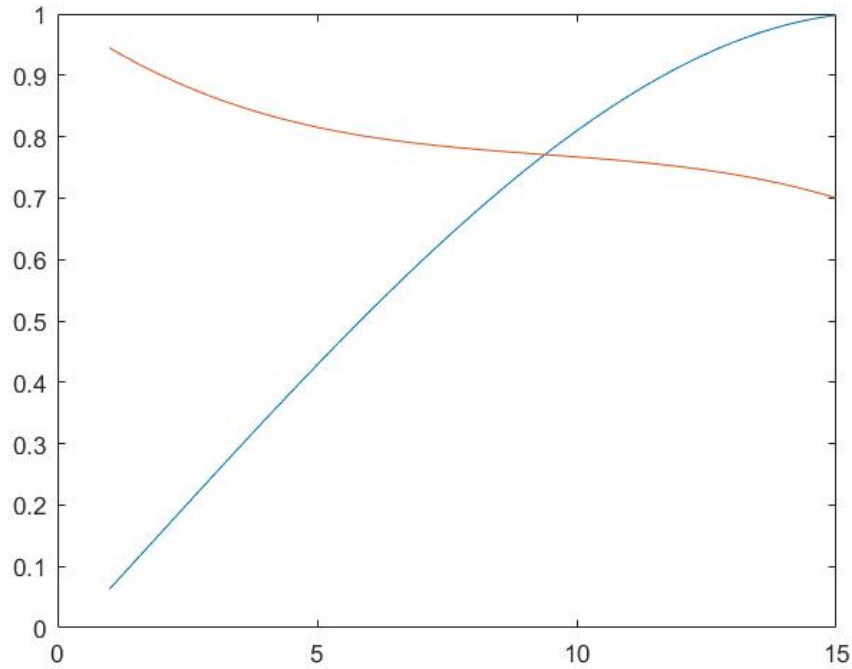
5 新补贴方案的设计

设网上打车时刻为 t ，乘客位置为 w ，司机位置为 w_0 。考虑到实际因素，补贴 x 应于 $WtW - W_0$ 有关。

在补贴较少时，对所有司机进行补贴，而随着时间的、位置变化而导致补贴较多时，只有部分司机受到补贴，故而整体在盈利，则商家接受力关于补贴不敏感。

有 $\mu_B = f(x), 0 \leq x, N_4 \sim$

函数图形示意如下：



对于 $\mu_B = f(x), 0 \leq x \leq \nu$ 时，我们对绝大多数司机进行补贴，在单调递减，这是因为补贴导致的整体利润下降。

而对于 $\mu_B = f(x), \nu \leq x$ ，我们仅对极小部分司机进行补贴，从而对的影响甚微，趋近于平行横轴。

而 ν_A 与 ν_B 相交于 (x_0, ν_0) 点，在该点吸引力与接受力相等。

当 $\nu_A < \nu_B$ 时，如 x_1 ，由于商家想提高对司机的吸引，从而要增加补贴，即有 $x_1 \rightarrow x_0$ ；

而当 $\nu_A > \nu_B$ 时，如 x_2 ，由于商家接受力低，无法接受超额的司机，从而要减少补贴，即有 $x_2 \rightarrow x_0$ 。

当 $\nu_A = \nu_B$ 时，即 x_0 ，两力相等，从而达到平衡。

下面论证 x_0 与 ν 的关系。若 $x_0 > \nu$ ，由于在 $[0, \nu]$ 区间，要大规模补贴， x_0 比 ν 大会使得商家无收益甚至负收益。而当 $x_0 < \nu$ 时，此时的较低，即司机吸引力低。故而应使 x_0 与 ν 相等。

综上，我们的新补贴方案是：有 $w, t, w - w_0$ 构成梯度，成正比例进行补贴，在 $0 \leq x \leq \nu$ 区间对大多数司机进行补贴，在 $\nu \leq x$ 时对小部分司机进行补贴，取 $(x_0 = \nu, \mu_0)$ 为平衡点， x_0 可比 ν 略大。

此外，还可考虑对乘客进行红包补贴,用以补贴乘客在调度过程中引起的福利损失，总而在整体上提高福利水平。

6 模型的优缺点

优点：

- 使用真实具体的数据进行分析；
- 可以具体刻画不同数额的补贴对于司机吸引力的大小（决策的影响）；

缺点：

- 没有考虑城市的出租车需求程度；
- 在数据使用上采用抽样的方法，结果有波动；

References

- [1] 全国大学生数学建模竞赛组委会, 高教社杯全国大学生数学建模竞赛论文格式规范, 北京, 2009。
- [2] 韩中庚, 数学建模竞赛获奖论文精选与点评, 北京: 科学出版社, 2007。
- [3] 杜剑平、韩中庚, “互联网+”时代的出租车资源配置模型, 数学建模及其应用, Vol.4 No.4, Dec.2015。
- [4] 于作、高玥, 出租车行业规制的困境摆脱及其走势判断, 中国与全球化, Vol.6, 2015。
- [5] 于作、高玥, “网约车新政”实施两周年, 专家再议“打车难”, 中国经济周刊, 2018。

附录

附录1 guihua.m

```
a=[142.46 5018.36 323 ;  
24.29 612.76 7 ;  
150.17 4018.26 985 ;  
103.99 2253.69 286 ;  
238.64 4287.86 205 ;  
44.63 701.66 3 ;  
62.5 920.59 6 ;  
167.28 2401.82 180 ;  
325.78 3612.18 346] ;
```

```
x1=a(:,1);  
x2=a(:,2);  
y=a(:,3);  
X=[ones(9,1),x1,x2];  
cftool  
%b=regress(y,X)
```

附录2 quhua.m

```
data;  
a=data1(:,1);  
b=data1(:,2);  
scatter(a,b,'.')
```

```
longgang=0;  
luohu=0;  
futian=0;  
nanshan=0;  
baoan=0;  
longhua=0;  
guangming=0;  
yantian=0;  
pingshan=0;
```

```
for i=1:2000;  
if a(i,1)>=114.108254 && a(i,1)<=114.216626 && b(i,1)>=22.53873 && b(i,1)<=22.590794  
    luohu=luohu+1;  
end
```

```

if a(i,1)>=114.009656 && a(i,1)<=114.216626 && b(i,1)>=22.517231 && b(i,1)<=22.589726
    futian=futian+1;
end

if a(i,1)>=113.88993 && a(i,1)<=114.009656 && b(i,1)>=22.49052 && b(i,1)<=22.60374
    nanshan=nanshan+1;
end

if a(i,1)>=113.775953 && a(i,1)<=113.927156 && b(i,1)>=22.54821 && b(i,1)<=22.808845
    baoan=baoan+1;
end

if a(i,1)>=113.879438 && a(i,1)<=113.994564 && b(i,1)>=22.725267 && b(i,1)<=22.818839
    guangming=guangming+1;
end

if a(i,1)>=113.973724 && a(i,1)<=114.096756 && b(i,1)>=22.599069 && b(i,1)<=22.766996
    longhua=longhua+1;
end

if a(i,1)>=114.223237 && a(i,1)<=114.340807 && b(i,1)>=22.551948 && b(i,1)<=22.64057
    yantian=yantian+1;
end

if a(i,1)>=114.295102 && a(i,1)<=114.435668 && b(i,1)>=22.632831 && b(i,1)<=22.766196
    pingshan=pingshan+1;
end

if a(i,1)>=114.057661 && a(i,1)<=114.335633 && b(i,1)>=22.599736 && b(i,1)<=22.819505
    longgang=longgang+1;
end

if a(i,1)>=114.334771 && a(i,1)<=114.594201 && b(i,1)>=22.470082 && b(i,1)<=22.670854
    longgang=longgang+1;
end

end

```

附录3 readdata-fromcsv.m

```

data1=zeros(2000,2);
for i=1:2000
    g=['cabin (' num2str(i) ').csv'];
    data1(i,:) = xlsread(g,1,'C2:D2');
    i
end

```

附录4 shijian.m

```

rate=zeros(10,24);
for i=1:1:10
    g=['cabin (' num2str(i) ').csv'];
    data1 = readtable(g);
    data = table2cell(data1);    %??table×a??3é cell'
    data(:,8)=[];
    %b=str2num(char(data))
    % a=find(data(:,2)<'2011/04/18 01:00:00');
    scale=size(data);
    n=scale(1);
    state=data(:,5);
    state=cell2mat(state);
    date = datevec(data(:,2));
    count=zeros(24,1);
    load=zeros(24,1);
    for j=1:n
        count(date(j,4)+1)=count(date(j,4)+1)+1;
        if state(j,1)==1
            load(date(j,4)+1)=load(date(j,4)+1)+1;
        end
    end
    a=load./count;
    rate(i-50,:)=a';
end

```