

“互联网+”时代的出租车资源配置研究

摘 要

本文针对“互联网+”时代的出租车资源配置问题,借助 MATLAB、EViews、EXCEL 等软件,计算出供需满足度数量指标值以及出行时长指标值,分析不同时空出租车资源的供求匹配程度。然后依据居民等车时间分布图以及百度指数趋势图对出租车公司补贴方案成效进行定性分析,接着建立 BP 神经网络模型对未实行补贴政策的出租车单载客次数进行拟合与预测,通过未补贴时载客次数预测值与有补贴的载客次数真实值的比较,得出补贴方案可以适当缓解“打车难”问题,之后建立虚拟变量回归模型,求解结果显示滴滴打车公司作业效率高于快的打车公司作业效率。最后,利用层次分析模型得出对司机补贴金额贡献率最大的四个因素,据此建立了不同情况对司机的补贴方案,并结合问题一中定义的乘客满意度对所设计的补贴方案进行了合理性验证。

对问题一,为分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度,首先利用北京市不同时段载客单车日均里程,空载单车日均里程,计算得到单车空载率和载客率,并且绘制出相应图表观察各指标间的关系;其次引入出租车供需满足度数量指标描述不同时段出租车资源供需状况,得出北京市白天出租车供小于求,晚上出租车供大于求,且在 7:00 左右和 11:30 左右,北京市出租车供求匹配程度最佳等相关结论。最后选取北京 5 个典型区域引入供需满足度出行时长指标,分析结果显示丰台区出租车资源供应相对大于需求,而朝阳区可能会出现等车难的现象。

对问题二,为分析各公司的出租车补贴方案是否对“缓解打车难”有帮助。选取滴滴打车和快的大车两家公司,从北京居民打车时需等待时间变化的角度绘制分布图来定性分析,显示等车平均时长在补贴前后有一定变化;利用百度指数,通过滴滴打车和快的打车的移动端搜索指数的变动反映它们各自的热度趋势,间接体现选择两家公司的打车难易度的不同。同时借助于 BP 神经网络模型对回归分析进行验证,进一步分析打车难问题是否有改善。最后通过虚拟变量回归模型拟合出北京市单车载客次数和两家公司各项补贴之间方程关系,得出滴滴打车公司补贴方案对“缓解打车难”更有帮助。

对问题三,关于设计补贴方案并论证其合理性。通过对影响出租车公司补贴的各项因素集中分析评估,得到了四个所占权重较大的指标,分别是拒载率,候车时间,天气恶劣度以及出行轨迹繁杂度。同时结合权重大小了解它们各自相对于出租车公司补贴的影响程度,构建分段函数模型,设计补贴方案。最后对设计出的补贴方程所涉及到的拒载率,候车时间进行定量分析,结合出租车公司盈利状况,对其合理性进行验证。

本文综合运用了虚拟变量回归、BP 神经网络、层次分析等数学模型,对出租车资源配置以及出租车公司补贴方案进行了详细的分析和论证。后续对载客次数与每单补贴金额的定量关系做了灵敏度分析。最后,本文综合评价了模型的优缺点,对模型进行了改进和推广,分析了在其他领域的广阔应用前景。

关键词: 出租车; 虚拟变量回归; BP 神经网络; 层次分析; MATLAB

目 录

“互联网+”时代的出租车资源配置研究.....	1
摘 要.....	1
目 录.....	2
§1 问题的重述.....	3
一、背景知识.....	3
二、相关资料.....	3
三、要解决的问题.....	3
§2 问题的分析.....	4
一、对问题的总体分析.....	4
二、对具体问题的分析.....	4
§3 模型的假设.....	5
§4 名词解释与符号说明.....	5
一、名词解释.....	5
二、符号说明.....	5
§5 模型的建立与求解.....	6
一、问题一的分析与求解.....	6
二、问题二的分析与求解.....	11
三、问题三的分析与求解.....	18
§6 误差分析与灵敏度分析.....	22
一、误差分析.....	22
二、灵敏度分析.....	22
§7 模型的评价与推广.....	25
一、模型的优点.....	25
二、模型的缺点.....	25
三、模型的推广.....	25
§8 模型的改进.....	25
参考文献.....	26
附录.....	26
程序 1: BP 神经网络.....	26
程序 2 灵敏度分析.....	27
程序 3 层次分析.....	28
附表 1 不同时间段出租车基本数据.....	30
附表 2 不同时间段出租车数据.....	30
附表 3 滴滴打车普通补贴和载客次数变化基本数据.....	31
附表 4 快的打车普通补贴和载客次数变化基本数据.....	32

§ 1 问题的重述

一、背景知识

1. 出租车

出租车，也称计程车、的士。是按照计价表显示金额收费的一种重要的交通工具，和一般交通工具相比，计程车的收费普遍较高。出租车的英文“TAXI”为“taximeter”的简写，意为“里程计”或“计程表”。

2. 打车软件

打车软件是一种基于智能手机的应用，乘客可以通过手机，便捷的发布打车信息，借助打车软件，直接和抢单司机沟通。这大大地提高了工作效率。现如今传统服务业和传统的消费行为正在逐渐的被打车软件所颠覆。

3. 资源配置

资源配置是指相对稀少的资源在比较多种可能的用途后，做出最有利的选择。资源被定义为社会经济活动之中人力和物力以及财力的总和，资源是社会经济发展最基本的物质条件。当社会经济发展到一定阶段之后，与人类的需求相比，资源总是以相对稀缺的形式表现，这迫使人们对相对稀缺的有限的资源进行合理的配置，以便消耗最少的资源，生产出最多最好的商品和劳务，获得最大的效益。

二、相关资料

1. 滴滴快滴智能出行平台：<http://v.kuaidadi.com/>

2. 2013-2014 年打车软件市场分析报告：<http://www.sootoo.com/content/480044.shtml>

三、要解决的问题

1. 搜集出租车的相关数据，建立合理的指标，并分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度。

2. 分析各公司的出租车补贴方案是否对“缓解打车难”有帮助？

3. 如果要创建一个新的打车软件服务平台，你们将设计什么样的补贴方案，并论证其合理性。

§ 2 问题的分析

一、对问题的总体分析

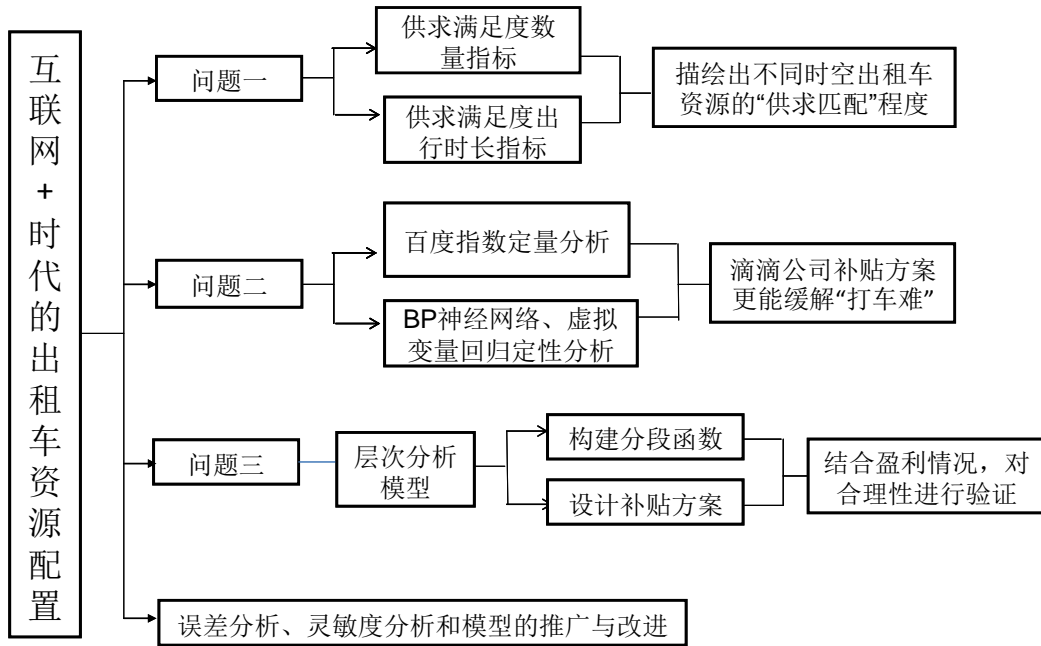


图 1 问题的总思路流程图

二、对具体问题的分析

1. 对问题一的分析

为分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度，首先利用北京市不同时段载客单车日均里程，空载单车日均里程，计算得到单车空载率和载客率，并且绘制出相应图表观察各指标间的关系；其次引入出租车供求满足度数量指标描述不同时段出租车资源供需状况，得出北京市白天出租车供小于求，晚上出租车供大于求，且在 7:00 左右和 11:30 左右，北京市出租车供求匹配程度最佳等相关结论。最后选取北京 5 个典型区域引入供求满足度出行时长指标，分析结果显示丰台区出租车资源供应相对大于需求，而朝阳区可能会出现等车难的现象。

2. 对问题二的分析

为分析各公司的出租车补贴方案对“缓解打车难”的帮助，本文选取滴滴打车和快的打车两家公司，从北京居民打车时需等待时间变化的角度绘制分布图来定性分析，显示等车平均时长在补贴前后有一定变化；利用百度指数，通过滴滴打车和快的打车的移动端搜索指数的变动反映它们各自的热度趋势，间接体现选择两家公司的打车难易度的不同。同时借助于 BP 神经网络模型对回归分析进行验证，进一步分析打车难问题是否有改善。最后通过虚拟变量回归模型拟合出北京市单车载客次数和两家公司各项补贴之间方程关系，得出滴滴打车公司补贴方案对“缓解打车难”更有帮助。

3. 对问题三的分析

关于设计补贴方案并论证其合理性问题，通过对影响出租车公司补贴的各项因素集中分析评估，得到了四个所占权重较大的指标，分别是拒载率，候车时间，天气恶劣度以及出行轨迹繁杂度。同时结合权重大小了解它们各自相对于出租车公司补贴的影响程

度，构建分段函数模型，设计补贴方案。最后对设计出的补贴方程所涉及到的拒载率，候车时间进行定量分析，结合出租车公司盈利状况，对其合理性进行验证。

§3 模型的假设

1. 假设城市每日离开的人数等于每日进城市的人数；
2. 假设所有数据来源真实可靠，不含虚假及人为捏造数据；
3. 假设出租车的平均营运速度、每次载客数及平均载客里程数是一个定值，不随其他因素的变动而变化；

§4 名词解释与符号说明

一、名词解释

1. **空载里程**：出租车未载客时行驶的路程。
2. **行驶总里程**：一天中载客行驶里程与空载行驶里程之和。
3. **空载率**：等于出租车无客行驶里程占行驶总里程比值。
4. **空载出行时长**：也称空载时长，一天中某一时段出租车空载出行的分钟数。
5. **BP神经网络**：是一种目前应用最广泛的按误差逆传播算法训练的多层前馈网络。

二、符号说明

序号	符号	符号说明
1	$R(i, j)$	单位时间供求满足度数量指标。
2	$R_z(i)$	出租车单位时间内的载客率。
3	$R_k(j)$	出租车单位时间内的空载率。
4	NP_i	出空载时长在每一个时长段内出现的概率。
5	CP_i	出载客出行时长在每一个时长段内出现的概率。
6	Q_T	出行时长指标的供需满足度指标。
7	D_{li}	虚拟变量。
8	NT	平均空载时长
9	CT	平均载客出行时长
10	Q_T	平均空载时长/平均载客出行时长
11	Y_{ij}^j	阈值初始值
12	Q_j^j	权值初始值
13	E_w	误差指标

§5 模型的建立与求解

一、问题一的分析与求解

1. 对问题的分析

问题要求建立合理的指标，并分析不同时空出租车资源的“供需匹配”程度。首先利用收集到的北京市不同时段载客单车日均里程，空载单车日均里程，计算得到单车空载率和载客率，并且绘制出相应图表观察各指标间的关系。然后引入出租车供需满足度数量指标描述不同时段出租车资源供需状况，最后选取北京 5 个典型区域引入供需满足度出行时长指标，定量地分析各区的供需满足度。

2. 对问题的求解

模型 I 不同时间出租车资源供求模型

(1) 模型的准备

从时间角度，研究出租车资源供需匹配程度的问题中，首先收集北京市出租车载客单车日均里程和空载单车日均里程数据，进行统计分析，计算出每时段单车空载率和载客率，接着作北京市出租车载客时长和空载时长折线图，阐述了载客时长与载客率，空载时长与空载率的正相关关系。最后通过建立出租车供给和需求函数，得出供需满足度数量指标 $R(i, j)$ ，可以反映不同时间出租车资源“供需匹配”程度。当 $R(i, j)$ 接近 1 时，说明出租车供求相当，即北京市出租车供求满足程度最佳。

(2) 模型的建立与求解

①首先，把一天分成 48 个单位，即单位时间为 30 分钟，作北京市出租车载客单车日均里程分布图，如下：

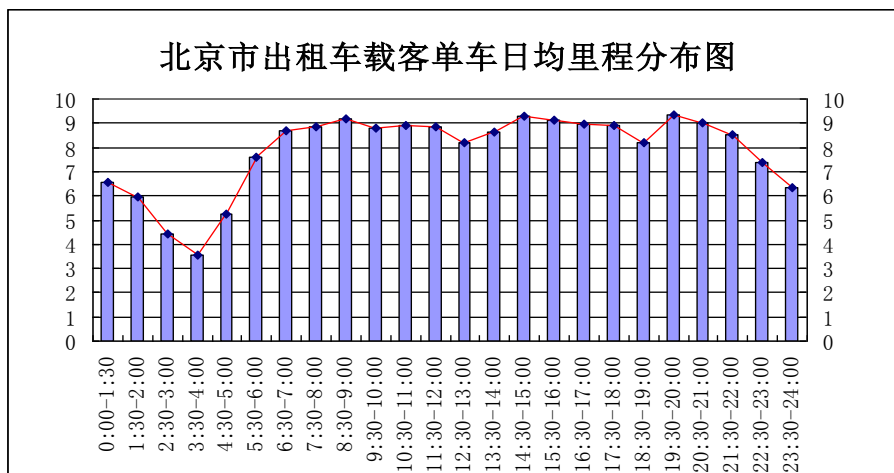


图 1 北京市出租车载客单车日均里程分布图

分析：单位时间出租车载客日均里程越长，说明乘客人数越多，否则越少。由图可知，全天不同时间段出租车上客行为有三个高峰阶段，分别是在上午的 7:30-11:30、下午的 13:30-18:30、晚上的 20:00-22:30。并且下午高峰里程和晚上高峰里程要略大于上午高峰里程，说明下午和晚上出行的乘客人数多于上午出行的乘客人数。

②然后，作北京市出租车空载单车日均里程分布图，如下：

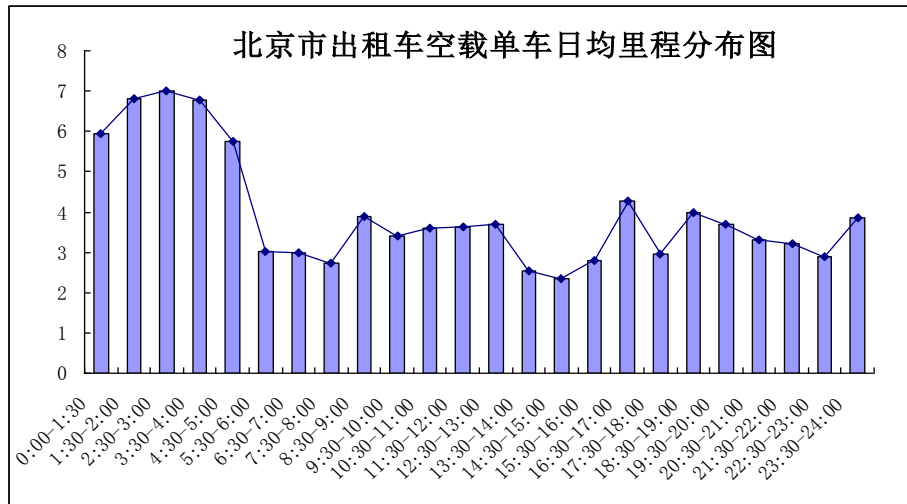


图2 北京市出租车空载单车日均里程分布图

分析：由图可以看出其趋势与载客单车日均里程分布图呈互补关系，一天不同时间段出租车空载行为有三个低峰阶段，分别是上午的7:30-11:30、下午的13:30-18:30、晚上的20:00-22:30。说明这三个时段是乘客出行的密集时间点。

③接着，计算出空载率和载客率，空载率=无客行驶里程/(无客行驶里程+载客行驶里程)，载客率=载客行驶里程/(无客行驶里程+载客行驶里程)，作北京市出租车空载率和载客率折线图，如下：

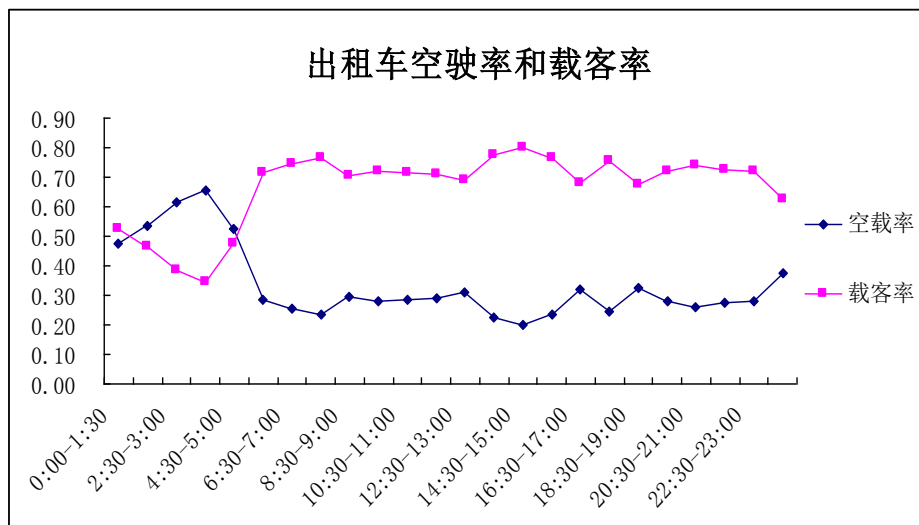


图3 北京市出租车空载率和载客率折线图

分析：从图中，我们可以直观的看出北京市出租车单位时间内空载率和载客率之间的关系，全天出租车空载率和载客率是呈互补关系的。出租车单位时间行驶里程是一定的，若载客率高，则空载率就低；载客率低，则空载率高。

④不同时间出租车资源供求模型

研究不同时间出租车资源“供求匹配”程度，我们建立出租车供求满足度数量指标 $R(i, j)$ ，设 $R_z(i)$ 是出租车单位时间内的载客率， $R_k(j)$ 是出租车单位时间内的空载率，其中 $i, j = 1, 2, 3, \dots, 46, 47, 48$ 。 $R(i, j)$ 指标可以反映不同时间出租车资源“供求匹配”程度。 $R(i, j)$ 值小于1时，说明单位时间内可供应的出租车数量多，满足乘客出行需求； $R(i, j)$ 值大于1时，说明单位时间内可供应的出租车数量少，供不应求；当 $R(i, j)$ 接近1时，说明出租车供求相当，即北京市出租车供求满足程度最佳。

a.出租车需求函数：对北京市活动系统中的出租车需求进行分析时，出行量用 L 表示，出租车需求受城市经济发展水平，交通环境，天气状况等外界因素影响，这些外界因素设为 A_0 ，此外出租车需求主要和等车时长有关，依据常识，我们知道，乘客等车时间与每辆出租车载客时间有关，即一辆出租车的在某时间点的载客时长是乘客在此时间点的等车时间，所以出租车需求模型为：

$$L = f(A_0, T_z)$$

因为空载时间与载客率正相关，公式转化为：

$$L = f(A_0, R_z(i))$$

b.出租车供给函数：对北京市活动系统中的出租车供给进行分析时，供给量用 G 表示，出租车的供给量受特定的社会环境影响，影响因素设为 B_0 ，此外出租车供给主要和出租车空载率相关，出租车空载率是代表出租车供给水平的一项指标，所以出租车需求模型为：

$$G = f(B_0, R_k(j))$$

c.供求满足度数量指标 $R(i, j)$ ：

$$R(i, j) = \frac{L}{G} = \frac{f(A_0, R_z(i))}{f(B_0, R_k(j))}$$

d.将数据代入方程，作不同时间段出租车满足度指标折线图，如图4。

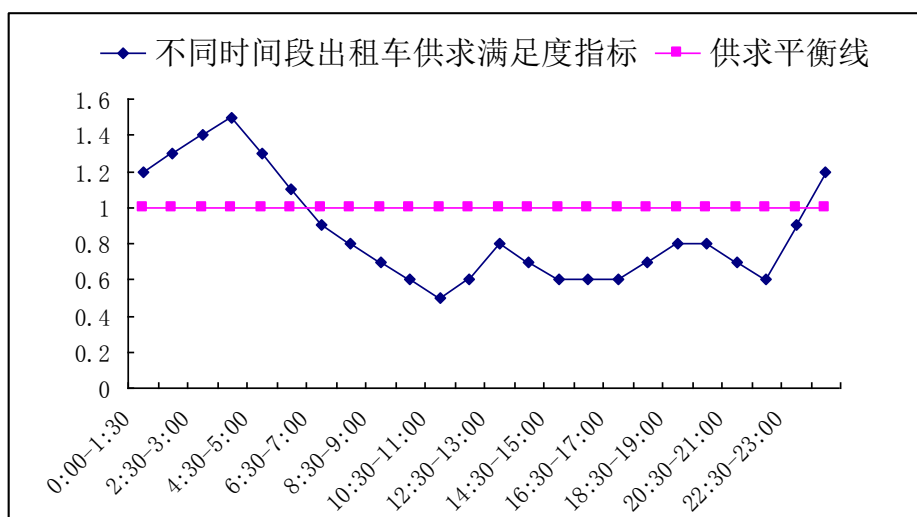


图4 不同时间段出租车满足度指标折线图

分析：由图可知北京市白天指标 $R(i, j) < 1$ ，晚上指标 $R(i, j) > 1$ ，说明白天出租车供小于求，晚上出租车供大于求。且在7:00左右和11:30左右，北京市出租车供求匹配程度最佳。

模型II 空间出租车资源供求匹配模型

(1) 模型的准备

出租车资源在空间上的供求匹配程度是不尽相同的，某些区域可能由于自身的属性特征人口密度大，交通拥挤，出租车的供应远远不满足需求。在分析了北京市出租车载客空间的分布特征的基础上，选取了海淀区、西城区、东城区、朝阳区、丰台区5个典型区域，从出租车平均空载时长以及平均载客出行时长出发，定量地分析各区的供需满足度。

①海淀区

海淀区文化资源丰富，高校林立，有颐和园、镜明园等风景区，国家级高新技术产

业开发区中关村就位于区内。

②西城区

西城区位于北京中心城区西部，全区总人口124.33万人，是人口稠密的首都中心城区，还有中南海国务院等中央政治机构。

③东城区

东城区处于中国首都的心脏，投资者众多，商业繁荣，拥有王府井商业街。

④朝阳区

朝阳区作为近郊区，在北京市面积最大，是未来北京的经济中心，经济发展迅猛，CBD核心区域所在地。

⑤丰台区

丰台区交通发达，出行方便，作为后起之秀是北京的新兴城区，正在进行农业向工商业的转型。

选取这5个区作为研究对象，将出租车的空载时长和载客出行时长进行细分，基于空载次数计算出空载时长在每一个时长段内出现的概率 NP_i ，再按载客次数计算出载客出行时长在每一个时长段内出现的概率 CP_i ，由公式：

$$NT = \sum_i^n t_i NP_i$$

$$CT = \sum_i^n t_i CP_i$$

可以得到各区平均空载时长以及平均载客出行时长的大小[3]，再通过：

$$Q_r = \frac{NT}{CT}$$

计算出基于出行时长指标的供需满足度，当 Q_r 越大，表明该区空载出租车司机要花费更多的时间去搜寻乘客，从出租车资源供需匹配的角度来分析，供大于求，乘客的满意度相对较高。当 Q_r 越小，表明相对载客出行时长，该区出租车司机可以很快寻到乘客，需求比较密集，此时可能供小于求，司机的满意度相对较高。

(2) 模型的建立与求解

对北京市选取的5个典型地区的数据记录进行统计计算，绘制出空载时长分布频率表：

表1 北京市五个地区空载时长分布频率

时长	[0, 5)	[5, 10)	[10, 15)	[15, 20)	[20, 30)	[30, 40)	[40, 50)	[50, 60)	60 以上
海淀区	76.40%	12.51%	5.25%	2.27%	1.61%	0.50%	0.30%	0.17%	0.99%
西城区	91.27%	6.07%	0.92%	0.45%	0.38%	0.15%	0.09%	0.06%	0.61%
东城区	63.67%	14.05%	8.21%	5.34%	4.41%	1.43%	0.85%	0.25%	1.79%
朝阳区	67.14%	13.54%	6.98%	4.90%	3.55%	1.20%	1.40%	0.23%	1.06%
丰台区	71.57%	15.22%	5.38%	3.78%	1.03%	0.88%	0.52%	0.28%	1.34%

从频率分布表中可以看出五个区的空载时长大部分分布在[0,5)时长段内,比例各有不同差异。其中,西城区出行需求非常密集,97%以上的空载时长都集中在0-10分钟时长段,这与西城区的人口稠密高关系密切,其他几个区域在[0,5)时长段分布频率均低于80%,在[5,15)中分布了5%-15%的比例。

再对载客出行时长的频率分布进行计算,绘制出五个地区载客出行时长频率分布表,如下:

表2 北京市五个地区载客出行时长分布频率

时长	[0, 5)	[5, 10)	[10, 15)	[15, 20)	[20, 30)	[30, 40)	[40, 50)	[50, 60)	60 以上
海淀区	77.09%	11.85%	4.65%	2.59%	1.71%	0.54%	0.32%	0.18%	1.06%
西城区	92.19%	5.12%	0.93%	0.45%	0.38%	0.15%	0.09%	0.06%	0.62%
东城区	64.60%	15.35%	4.14%	6.59%	4.79%	1.27%	1.05%	0.31%	1.91%
朝阳区	66.48%	13.41%	6.91%	4.85%	4.51%	1.19%	1.39%	0.24%	1.03%
丰台区	69.72%	14.27%	5.34%	3.05%	0.83%	0.71%	1.42%	3.58%	1.08%

从分布表同样可以看出五个区的载客出行时长大部分分布在[0,5)时长段内,,比例也各有差异,西城区在这一时段内的分布频率最大,所以该区出租车人流量比较大,其他几个区域[5,20)中分布了15%-25%的比例。

通过分布表中空载时长在每一个时长段内出现的概率以及载客出行时长在每一个时长段内出现的概率,利用公式计算出每一地区的 NT 和 CT 。

表3 北京市五个地区 NT

NT	平均空载时长(NT)
海淀区	7.49
西城区	5.41
东城区	3.49
朝阳区	7.92
丰台区	8.1

表4 北京市五个地区 CT

CT	平均载客出行时长(CT)
海淀区	7.32
西城区	5.8
东城区	3.5
朝阳区	9.75
丰台区	7.2

利用各区 NT 和 CT 的数值,计算出它们的比值,得到 Q_T ,通过表格反映出各地区

的供需满足度的大小。

表 5 北京市五个地区 Q_T

Q_T	平均空载时长/平均载客出行时长 (Q_T)
海淀区	1.02
西城区	0.93
东城区	0.99
朝阳区	0.81
丰台区	1.13

可以看出丰台区的 Q_T 大于 1, 海淀区和东城区的 Q_T 近似为 1, 西城区和朝阳区的 Q_T 小于 1。丰台区相对于朝阳区, 平均空载时远远长于平均载客时长, 反映出丰台区的寻到客的出租车比例比朝阳区要低, 从出租车资源匹配的角度, 该区出租车供应相对大于需求, 一部分出租车出行时间大半用于寻客, 可能与丰台区处于郊区, 人口密度较小以及公共交通发达等因素有关。而朝阳区虽然也是近郊区, 但由于是 CBD 核心区域所在地, 商业经济繁荣, 同时人口稠密, 商业区人流量大, 对于出租的需求比较密集, 可能还会出现等车难的现象, 出租车资源的供应满足不了乘客的需求。

对于海淀区和西城区而言, 比值接近于 1, 虽然不能表明地区内出租车资源的供给和需求达到了平衡, 但是在一定程度上体现了出租车供需匹配程度较高, 司机满意度和乘客满意度在一定程度上达到双赢。

二、问题二的分析与求解

1. 对问题的分析

问题要求分析出租车公司的补贴方案是否缓解了打车难。对于这个问题的分析, 我们选取两家公司, 分别是滴滴打车和快的打车, 可以从四个角度定性与定量相结合就它们各自的补贴方案对北京市居民打车难易度的影响进行研究。一是从北京居民打车时需等待时间变化的角度定性分析。二是合理利用百度指数, 通过滴滴打车和快的打车的移动趋势搜索指数的变动反映它们的受关注程度的变化, 间接体现选择两家公司的打车难易度的不同。三是通过回归模型拟合出北京市单车载客次数和两家公司各项补贴之间方程关系, 再比较补贴前后单车载客次数的变化。四是借助于 BP 神经网络模型对回归分析进行验证, 进一步分析打车难问题是否有改善。

2. 对问题的求解

模型 III 定性分析模型

(1) 模型的准备

通过补贴方案实行前后, 居民打车等待时间的变化以及移动端搜索指数的变动, 借助环形图分布范围以及折线图的趋势走动刻画打车难易度的不同, 对两家公司的补贴方案进行定性分析。

(2) 模型的建立与求解

①

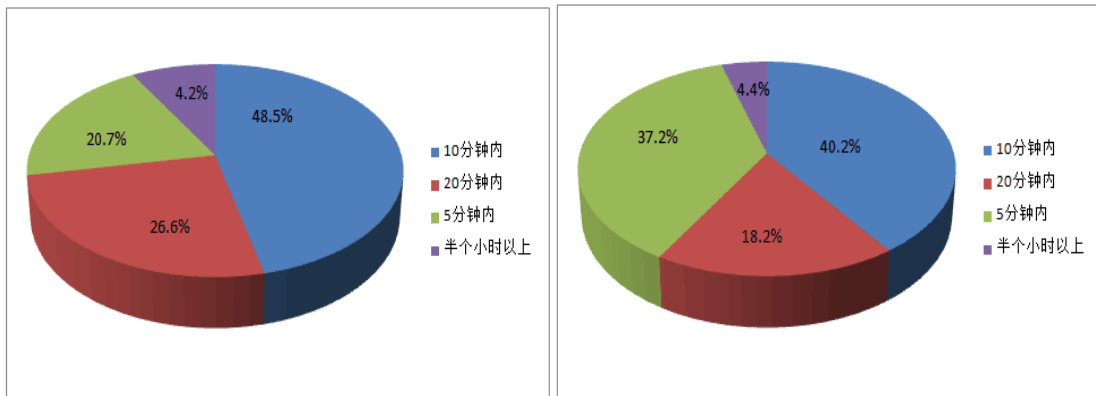


图5 居民等车时间分布图

分析：通过等车时间的分布范围可以看出，在补贴方案实行前，候车时间在 10-20 分钟内所占的比例偏大，居民候车平均时间过长。随着补贴方案的推行，比例结构调整显著，打车等待时间大部分集中在 5-10 分钟，居民候车平均时间缩短了，可见补贴方案提高了居民的打车效率。

②百度指数分析

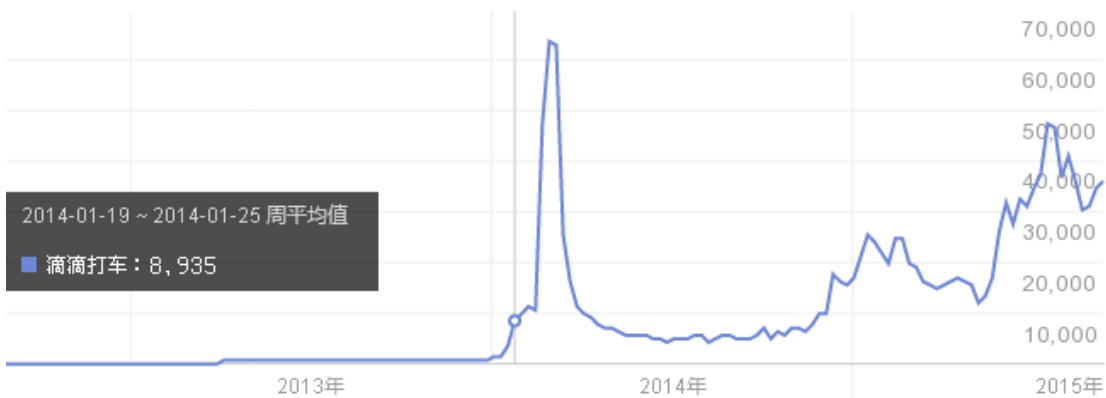


图6 百度指数曲线图



图7 百度指数曲线图

滴滴打车和快的打车在 2014 年的一月份都对司机每单进行相应补贴，每单 10-15 元不等，这引起他们各自移动端的搜索指数开始小幅上升，出租车司机对于它们的使用频率提高，对于订单的热情度也相应提高，在一定程度上降低了一部分居民的等车问题，缓解了打车难。



图8 百度指数曲线图

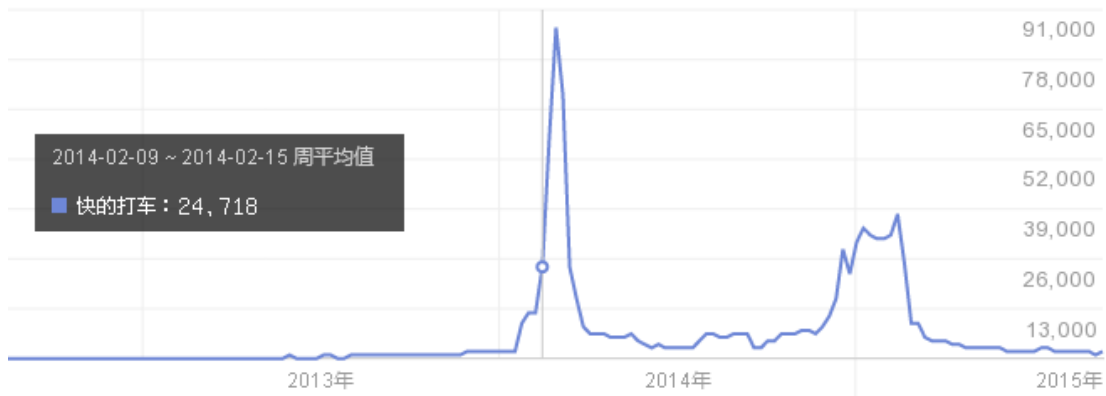


图9 百度指数曲线图

两家公司在二月份的补贴幅度增大，效果更为明显，移动端的搜索指数几乎呈直线上涨趋势，说明出租车司机接单数在不断增加，人多车少司机挑活儿以及收车常规空当儿现象相应减少，改善了居民无车可打的问题。

模型IV BP神经网络模型

基于BP算法的多层前馈型神经网络的结构如图10所示。神经网络是由输入层、一个或几个隐含层以及输出层构成。同层节点之间不存在任何耦合，每一层节点的输出值只影响下一层节点的输出值。网络学习过程是由正向和反向传播构成。反向传播时的节点单元特征函数通常为 $Sigmoid: \{f(x) = 1/(1 + e^{-bx}), b > 0\}$ 。我们在神经网络训练阶段把事先准备好的样本数据按顺序通过输入层、隐含层和输出层，比较输出结果数据和期望数据，如果没有满足要求的误差程度或是要求的训练次数，我们通过调节经过的输出层、隐含层和输入层，来此来调节权值，从而使该神经网络成为具有一定适应能力的模型。

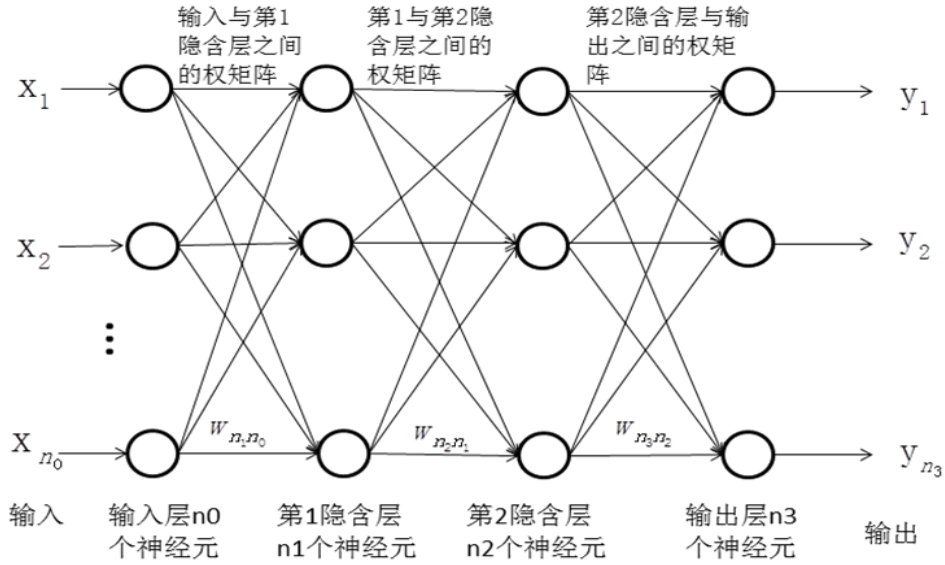


图 10 多层感知器结构示意图

a. 初始化: 设置各阈值和权值的初始值: $Y_{ji}^{(l)}[0]$, $Q_j^{(l)} (l = 0, 1, 2, 3, \dots, L)$ 为数值教小的随机数, 一般取 0-1 的任意值。

b. 输入样本和期望输出: 提供训练样本及目标输出, 对每个样本进行 (3)-(5) 步。输入的训练样本为: $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)$, 目标输出为: $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$

c. 计算每一层层输入:

$$r^{(l)} = f(s^{(l)}) = f(Y^l x^{(l-1)})$$

d. 计算训练的误差:

输出层:

$$c_j^{(l)} = (d_{qj} - r_j^{(l)} f'(s_j^{(l)}))$$

隐含层和输入层:

$$c_j^{(l)} = f'(s_j^{(l)}) \sum_k (n)k = c_j^{(l)} y_k^{(l+1)}$$

e. 修正权值和阈值:

$$y_{ji}^{(l)}[k+1] = y_{ji}^{(l)}[k] + \mu \delta_j^{(l)} x_i^{(l-1)} + \eta (c_{ji}^{(l)}[k] - y_{ji}^{(l)}[k-1])$$

$$q_j^{(l)}[k+1] = q_j^{(l)}[k] + \mu c_j^{(l)} x_i^{(l-1)} + \eta (q_j^{(l)}[k] - q_j^{(l)}[k-1])$$

f. 计算性能指标: 当所有的样本都经历了 (3)-(5) 步, 也就是完成了一个训练周期, 计算误差指标:

$$E_w = (\sum_{q=1}^q (E_q)^2)^{0.5} / Q$$

其中 $E_q = 0.5 * \sum_{j=1}^n (d_{qj} - y_{qj})^2$

g. 若所有误差指标均满足精度要求, 即 $E < \varepsilon$ 那么训练结束, 否则, 转到 (2), 继

续下一个训练周期 ε 是小的正数，具体数值根据实际情况选取。流程如下：

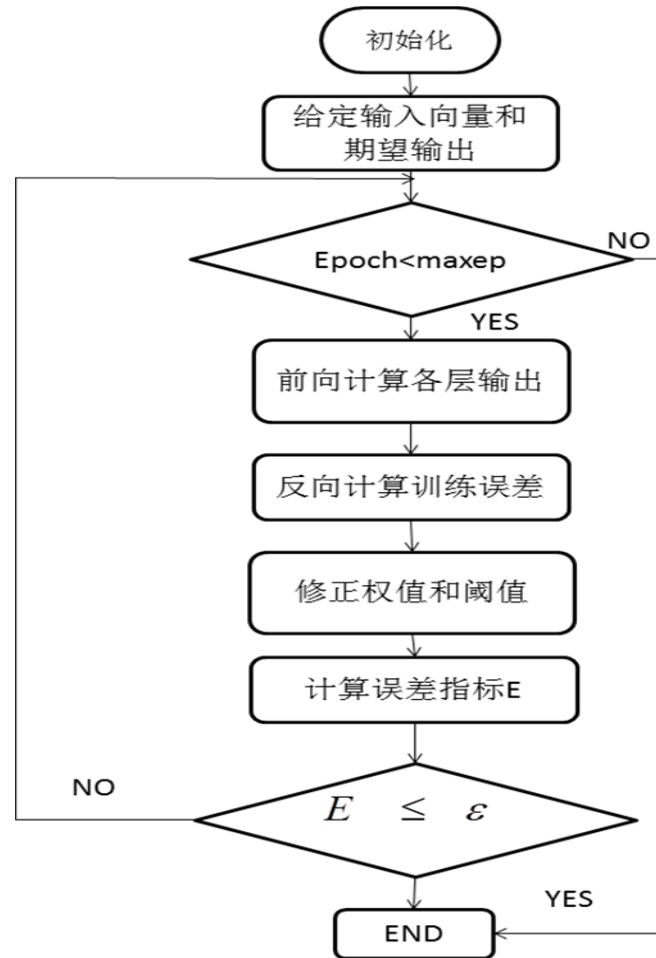


图 11 BP 网络算法流程图

根据 BP 神经网络模型，自行设置输入数据以及目标输出，在本文中，设置隐含层数为 1 层，隐含层节点数为 10 个。代入北京出租车公司未实行补贴前的数据，进行网络训练。

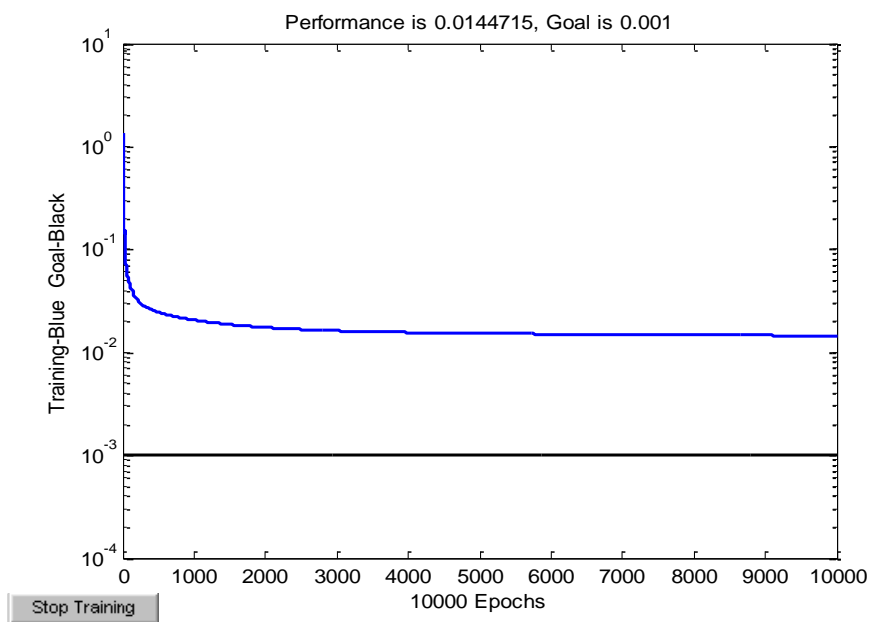


图 12 网络训练结果图

如图 12 所示，可以看出基于时间序列的神经网络误差是随时间的推进逐渐变小，图 12 表示的是训练曲线，最终收敛于 10^{-2} 数量级中段，达到精度要求，故该网络可以使用。

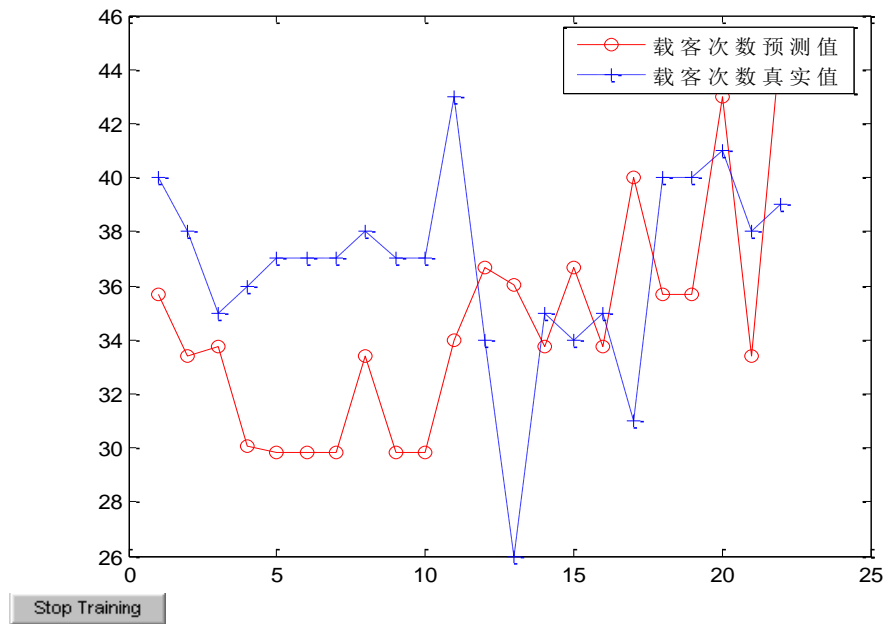


图 13 原始数据与仿真数据的对比图

如图 13 所示，此函数的拟合程度比较好，误差也处于合理的范围之内。这也从侧面体现了该模型的正确性。

根据 BP 神经网络预测出如果出租车公司未实行补贴，北京的出租车单车载客次数为：37.2216、37.2814、37.3414、37.4014、37.4616、37.5218、37.5821、37.6426、37.7031、37.7637。

模型 V 虚拟变量回归模型

(1) 模型的准备

滴滴打车公司和快的打车公司价格补贴战从 2014 年 1 月开始，滴滴打车补贴方案从 2014 年 1 月 10 日至 2 月 18 日，而快的打车补贴方案从 2014 年 1 月 20 日至 2 月 18 日。为了方便处理数据，滴滴补贴方案选取 1 月 10 日至 2 月 15 日的补贴金额数据，快的补贴方案选取 1 月 20 日至 2 月 25 日的补贴金额数据，之后每隔 7 天分别记录滴滴和快的打车公司补贴金额，同时对应记录补贴前后的单车载客次数。若某段时间补贴金额不变，则此时间段记录的补贴数据相同，其中司机每天 10 元，每天 10 单，说明记录的数据在 10-100 元之间，同时是 10 元的整数倍。联系实际我们知道，快的打车方案实行日期总是迟于滴滴打车方案的实行日期，宏观上可知滴滴打车公司作业效率大于快的打车公司作业效率，本模型定量分析了两公司作业效率高低，比较了两公司的补贴方案对“缓解打车难”的帮助大小。

(2) 模型的建立与求解

研究各公司的出租车补贴方案时，首先我们从选取的，具有代表性的补贴方案入手，滴滴打车公司和快的打车公司补贴方案有每单补贴额、奖励补贴、抽奖补贴。这三种补贴方案的补贴金额为三个解释变量，单车载客次数为被解释变量。

由于奖励补贴是根据客户的评价优劣来定的，若乘客评价优，公司则会奖励司机一

定金额的补贴；若乘客评价非优，公司就不会奖励司机。并且奖励补贴金额大于无奖励补贴金额，所以设虚拟解释变量 D_{1i} ：

$$D_{1i} = \begin{cases} 1 & \text{.....奖励补贴} \\ 0 & \text{.....无奖励补贴} \end{cases}$$

另外抽奖补贴也是出租车公司重要的补贴的方式，抽奖补贴具有随机性，存在一定的获奖概率，可分为两种情况，即抽到奖金或没抽到奖金，并且抽到奖金金额大于没抽到奖金金额，所以设虚拟解释变量 D_{2i} ：

$$D_{2i} = \begin{cases} 1 & \text{.....抽到奖金} \\ 0 & \text{.....没抽到奖金} \end{cases}$$

在定量解释变量(普通补贴)与被解释变量(单车载客次数)模型设定基础上以加法的方式引入虚拟变量，从计量经济模型的意义看，其作用是改变了设定模型的截距水平，而不是斜率水平，换句话说，是和的关系，而非乘积的关系。建立虚拟变量回归模型，如下[1]：

$$Y_i = \alpha_1 + \alpha_2 D_{1i} + \alpha_3 D_{2i} + \beta X_i + \mu_i \quad (1)$$

1)基础类型：

无奖励补贴和没抽到奖金的回归方程：

$$E(Y_i / X_i, D_1 = 0, D_2 = 0) = \alpha_1 + \beta X_i$$

2)比较类型：

①有奖励补贴和没抽到奖金的回归方程：

$$E(Y_i / X_i, D_1 = 1, D_2 = 0) = (\alpha_1 + \alpha_2) + \beta X_i$$

②无奖励补贴和抽到奖金的回归方程：

$$E(Y_i / X_i, D_1 = 0, D_2 = 1) = (\alpha_2 + \alpha_3) + \beta X_i$$

③有奖励补贴和抽到奖金的回归方程：

$$E(Y_i / X_i, D_1 = 1, D_2 = 1) = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + \beta X_i$$

显然，模型式(1)是以无奖励补贴和没抽到奖金为基础类型，并假设各种类型的单车载客次数函数只是有不同截距，相对于每单普通补贴的斜率系数 β 相同。运用 EViews 软件拟合方程，得 α_1, α_2 的 t 检验统计量显著，验证了两个虚拟变量对截距有影响。

设解释变量(每单补贴额)为 X ，被解释变量(变化后的载客次数) Y ，作基础类型散点图，即无奖励补贴和没抽到奖金情况下的 X 和 Y 相关图。如下：

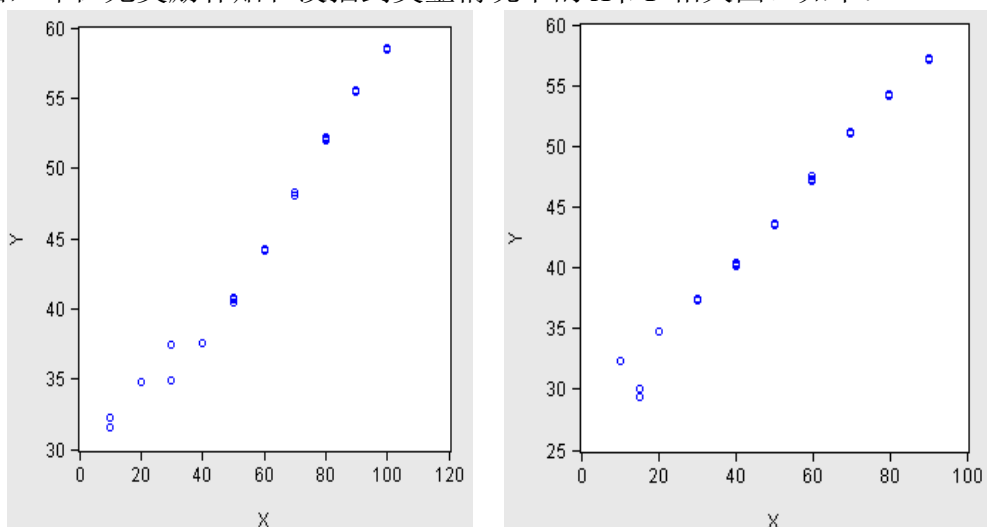


图 14 滴滴打车和快的打车的基础类型相关图

由 X和Y 相关图可知， X与Y具有明显的线性关系， 利用 EVIEWS 对虚拟变量回归后， 得到基础类型和比较类型的指标表， 如下：

表 6 出租车公司基础类型和比较类型的指标表

滴滴打车	T统计量	R ² 可决系数	回归方程
基础类型	38.6486	0.97711	$Y = 27.1087 + 0.3645X$
比较类型①	27.4528	0.9646	$Y = (27.1087 + 2.9057) + 0.3645X$
比较类型②	18.9867	0.91321	$Y = (27.1087 + 1.7683) + 0.3645X$

快的打车	T统计量	R ² 可决系数	回归方程
基础类型	58.6774	0.9900	$Y = 26.40173 + 0.3478X$
比较类型①	46.4044	0.9604	$Y = (26.40173 + 2.1321) + 0.3478X$
比较类型②	30.4587	0.92475	$Y = (26.40173 + 1.2564) + 0.3478X$

分析：由上表可知，滴滴打车虚拟变量回归模型，T统计量通过检验，可决系数R²，拟合优度高，解释变量对被解释变量影响显著，模型对样本拟合很好。快的打车基础类型和比较类型拟合也很好。但从方程系数β来看，滴滴打车的β值大于快的打车β值，说明当滴滴打车公司增加一个单位的补贴金额，则载客次数上升0.3645个单位，而快的打车公司增加一个单位的补贴金额，则载客次数上升0.3478个单位，滴滴载客次数比快的载客次数多出0.0167个单位。

载客次数增加，说明出租车单位时间接单数量增加，从而作业效率提高，所以滴滴打车公司作业效率高于快的打车公司作业效率。

作不同补贴政策条件下滴滴和快的载客次数变化量折线图，如下：

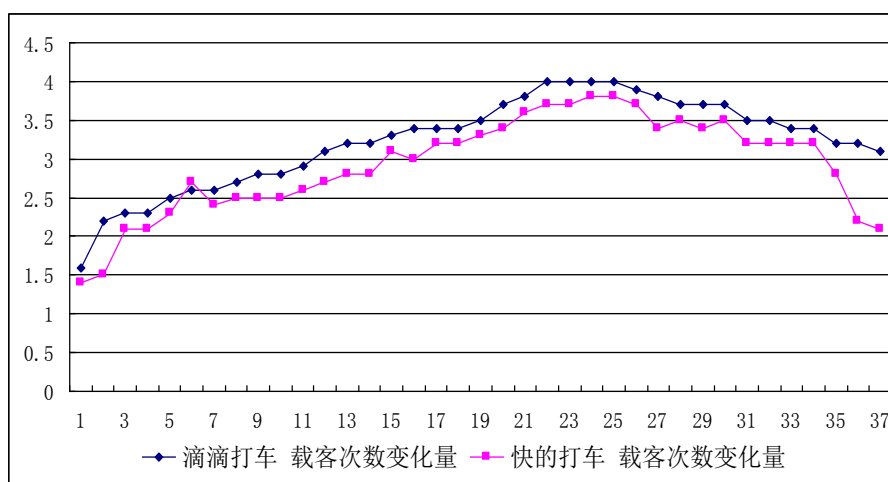


图 15 不同补贴方案条件下滴滴和快的载客次数变化量折线图

由图可以看出，滴滴打车公司补贴方案比快的补贴方案效果好。

结论：从各公司的出租车补贴方案角度出发，对比三种补贴方案，合理引入虚拟变量，定量分析每种补贴方案推出后对应的载客次数的变化量，得出滴滴载客次数比快的载客次数多出0.0167个单位，所以滴滴打车公司作业效率高于快的打车公司作业效率，滴滴打车公司补贴方案对“缓解打车难”更有有帮助。

三、问题三的分析与求解

1. 对问题的分析

关于设计补贴方案并论证其合理性，通过对影响出租车公司补贴的各项因素集中分析评估，得到了四个所占权重较大的指标，分别是拒载率，候车时间，天气恶劣度以及出行轨迹繁杂度。同时结合权重大小了解它们各自相对于出租车公司补贴的影响程度，构建分段函数模型，设计补贴方案。最后对设计出的补贴方程所涉及到的拒载率，候车时间进行定量分析，结合出租车公司盈利状况，对其合理性进行验证。

2. 对问题的求解

模型VI 层次分析模型

①在对补贴进行评估的过程中，建立递阶层次结构

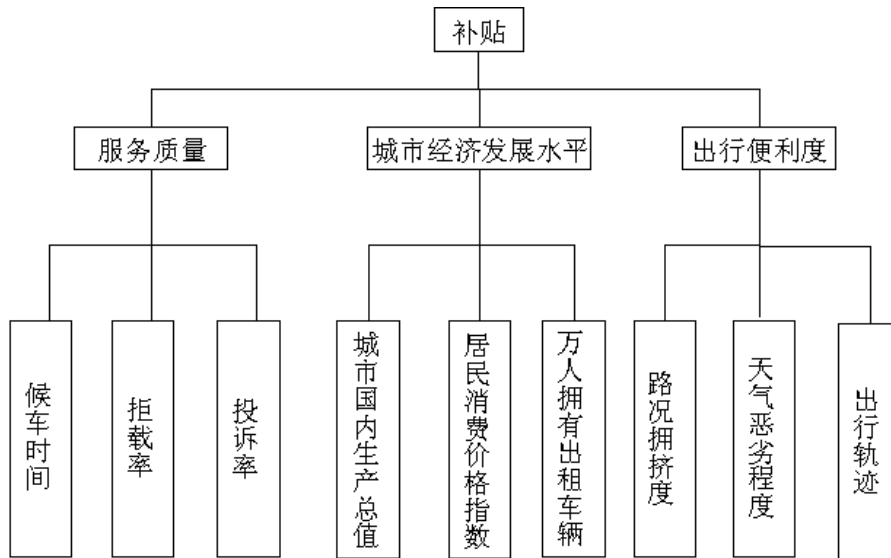


图 16 递阶层次结构图

其中目标层A为合理补贴，准则层分别为服务质量 B_1 ，城市经济发展水平 B_2 ，出行便利度 B_3 ，用 a_{ij} 表示 B_i 和 B_j 对上层目标的相对重要性，最低层为方案层，包括 $P_1 - P_9$ 九种方案。

②以 A 为比较准则，B 层次各因素相对于目标层进行两两比较，判断哪一个元素或指标更为重要，根据 1-9 标度说明它们的相对重要性，构造比较判断矩阵。

表 7 元素 a_{ij} 取值规则

元素	标度	规则
a_{ij}	1	以上一层某个因素为准则，本层次因素 i 与因素 j 同等重要
	3	以上一层某个因素为准则，本层次因素 i 与因素 j 比较， i 比 j 稍微重要
	5	以上一层某个因素为准则，本层次因素 i 与因素 j 比较， i 比 j 明显重要
	7	以上一层某个因素为准则，本层次因素 i 与因素 j 比较， i 比 j 强烈重要
	9	以上一层某个因素为准则，本层次因素 i 与因素 j 比较， i 比 j 极端重要

a_{ij} 取值也可以取上述各数的中值 2, 4, 6, 8 及其倒数，因素 i 与因素 j 比较有 a_{ij} ，那么因素 j 和因素 i 比较有 $1/a_{ij}$ ，结合有关资料以及相关咨询，合理地建立 B 层次各因素的两两比较判断矩阵 A，

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/4 \\ 1/3 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

③层次单排序及一致性检验

a. 利用和法对列向量进行归一化处理:

$$\tilde{A}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right)$$

再将 \tilde{A}_{ij} 按行求和得 \tilde{W} ;

b. 将 \tilde{W} 归一化处理得排序向量 $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$;

c. $\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i}$ 为最大特征值。

利用 MATLAB 程序得到 $\lambda_{\max} = 3.0858$

$$\text{权向量为 } w = (0.6267, 0.0936, 0.2797)^T$$

d. 一致性检验

由于客观事物的复杂性, 可能会使我们的判断带有主观性和片面性, 所以得到的判断矩阵不可能完全一致, 这就导致了 $\lambda_{\max} > n$, 有必要进行一致性检验。

$AW = \lambda_{\max} W$, 且 $\lambda_{\max} \geq n$, 若 λ_{\max} 比 n 大得越多, 不一致程度越严重。

CI 作为衡量不一致程度的数量标准, 由最大特征值可以计算出

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0739$$

根据Satty提出的平均随机一致性指标, 经查表, $n=3$ 的时候, 得 $RI=0.58$

计算出一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0739 < 0.1$, 通过了一致性检验, 认为其比较矩阵的

不一致程度在容许范围之内, 故可用来计算权重。

④计算组合权向量

构造方案层对准则层的每个准则的判断矩阵

a. P_1, P_2, P_3 对 B_1 的判断矩阵

$$B_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 2 \\ 5 & 1 & 6 \\ 1/2 & 1/6 & 1 \end{pmatrix}$$

b. P_4, P_5 对 B_2 的判断矩阵

$$B_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/4 \\ 5 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

c. P_6, P_7, P_8 对 B_3 的判断矩阵

$$B_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 \\ 7 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

用 MATLAB 软件求出上述比较判断矩阵的特征值及其对应的特征向量，得到层次单排序的相对重要性权重向量，以及 CI 和 CR 。

表 8 权重值表

矩阵	层次单排序的权重向量	λ_{\max}	CI	RI	CR
$B_1 - P$	$(0.1721, 0.7258, 0.1020)^T$	3.0291	0.0145	0.58	0.0251
$B_2 - P$	$(0.1007, 0.2255, 0.6738)^T$	3.0858	0.0429	0.58	0.0739
$B_3 - P$	$(0.0925, 0.6153, 0.2922)^T$	3.0026	0.0013	0.58	0.0023

经检验均满足一致性要求

⑤层次总排序

B 层相对于 A 的排序向量为 $w^{(2)} = (0.6267, 0.0936, 0.2797)^T$ ，而 P 层以 B 层的各个因素为准则时的排序向量分别为

$$p_1^{(3)} = (0.1721, 0.7258, 0.1020, 0, 0, 0, 0, 0)^T$$

$$p_2^{(3)} = (0, 0, 0, 0.1007, 0.2255, 0.6738, 0, 0)^T$$

$$p_3^{(3)} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.0925, 0.6153, 0.2922)^T$$

则 P 层相对于总目标的排序向量为

$$W = (p_1^{(3)}, p_2^{(3)}, p_3^{(3)}) \bullet w^{(2)}$$

$$= (0.1079, 0.4549, 0.0639, 0.0094, 0.0211, 0.0631, 0.0259, 0.1721, 0.0817)^T$$

⑥层次总排序的一次性检验

$$CI^{(2)} = (CI_1^{(2)}, CI_2^{(2)}, CI_3^{(2)}) = (0.0145, 0.0429, 0.0013)$$

$$RI^{(2)} = (RI_1^{(2)}, RI_2^{(2)}, RI_3^{(2)}) = (0.58, 0.58, 0.58)$$

$$CI^3 = CI^{(2)} \bullet w^{(2)} = (0.0145, 0.0429, 0.0013) (0.6267, 0.0936, 0.2797)^T = 0.0135$$

$$RI^3 = RI^{(2)} \bullet w^{(2)} = (0.58, 0.58, 0.58) (0.6267, 0.0936, 0.2797)^T = 0.5800$$

$$CR^3 = CR^2 + \frac{CI^3}{RI^3} = 0.0972 < 0.1$$

所以层次总排序也通过了一致性检验。

(3)模型的结果

根据程序运行结果可知影响补贴金额的主要因素按重要程度排序依次为：拒载率、候车时间、天气恶劣程度、出行轨迹繁杂度。

模型VII 补贴分段函数模型

(1)模型的准备

打车软件的盛行，对解决打车难问题起到了一定作用，而且可以在一定程度上降低出租车的空驶率。对于使用打车软件的出租车司机来说，可以明显降低空驶率，提高驾驶效率，而且还有高额的打车补贴；对于使用打车软件的乘客来说，可以明显减少打车

所用时间，同时还能够报销一部分车费，简直一举两得。但是由第二问模型求解结果表明打车软件并不能很好的缓解打车难的问题。由于出租车司机为获取额外的打车补贴，就会有意识的选择使用打车软件的乘客，这必然会导致一部分在街头拦车的市民被拒载。其中最受影响的是不经常使用互联网的中老年群体。打车软件的兴起反而加大了他们打车的困难度，使他们更容易被拒载。这也是现在补贴方案所未能考虑到的问题。

(2) 模型的建立与求解

考虑存在的漏洞，我们结合影响补贴金额的四个主要因素，基于现行的补贴方案，设计了一种新的补贴方式：

通过查阅相关资料，我们得知平均拒载率为 30%，平均候车时间为 15 分钟。我们将拒载率和候车时间看做两个独立的自变量，结合乘客的心理预期和满意度将对司机补贴金额与这两个变量在不同取值条件下建立补贴方程式，并据此对出租车司机进行补贴。考虑到天气恶劣度和出行轨迹繁杂度不易量化且对补贴金额贡献率较小，在补贴方程式中将其作为整体直接代入，得：

$$y = \begin{cases} [(-0.5x_1 + 20) + (-0.6x_2 + 18)](1 + 10\%t) & 20\% \leq x_1 \leq 40\% \quad 15 \leq x_2 \leq 30 \\ [(-0.5x_1 + 30) + (-0.6x_2 + 25)](1 + 10\%t) & 0 \leq x_1 \leq 20\% \quad 0 \leq x_2 \leq 30 \end{cases}$$

其中 x_1 代表拒载率， x_2 代表候车时间， t 代表外部环境整体影响因素。当打车软件数据表明司机的拒载率介于 20% 至 40%、乘客等车时间介于 15 至 30 分钟内，对出租车司机实行第一种补贴；当司机的拒载率低于 20% 以及乘客候车时间低于 15 分钟时，对乘客实行第二种补贴；当外部环境较为恶劣，已经影响出租车的正常行驶状态， t 值取 1，即在原来补贴的基础上再增加 10% 的补贴，以补偿外部环境对司机造成的损失。考虑到打车软件补贴可能造成的拒载率的急剧增加，方案规定，凡是拒载率超过 40% 的司机，八个小时内不得网上接单，即不享有任何补贴的权利。

(3) 模型的验证

通过函数模型可以看出，当拒载率达到 40%，出租车公司给予的补贴为 0，同时对司机进行相应接单惩罚，以此对拒载率进行限制，缓解“打车难”。当司机拒载率为 0 时，将会获得 30 块的补贴，以此刺激司机提高接单量。从出租车公司的规模和盈利的角度，补贴金额也比较合理，不至于影响公司的获利。

§6 误差分析与灵敏度分析

一、误差分析

1. 问题三中，在两公司补贴方案实施期间内，每隔 7 天分别记录滴滴和快的打车公司补贴金额，这样处理数据虽然便于定性分析问题，但会产生一定的误差，由于误差在可控范围内，所以不影响分析结果。

2. 问题三分段补贴函数模型中，由于数据的限制，无法利用数据拟合计算出较为精准的补贴函数，可能会对补贴结果产生一些误差。

二、灵敏度分析

在问题二中，对载客次数和每单补贴金额其他指标之间的关系进行了回归拟合，得到滴滴打车回归方程 $Y = 27.1087 + 0.3645X$ 以及快的打车回归模型 $Y = 26.40173 + 0.3478X$ 。

1. 对于滴滴打车进行讨论，针对每单补贴金额的不同增加值，我们运用 MATLAB 软件进行灵敏度分析[7]。

表 9 不同 a 值和 x_1 值下对应的 y 值

y	x_1	10	20	30	40	50	60	70	80
$y_1 (a = 0.3645)$		30.7537	34.3987	38.0437	41.6887	45.3337	48.9787	52.6237	56.2687
$y_2 (a = 0.3845)$		30.9537	34.7987	38.6437	42.4887	46.3337	50.1787	54.0237	57.8687
$y_3 (a = 0.4045)$		31.1537	35.1987	39.2437	43.2887	47.3337	51.3787	55.4237	59.4687
$y_4 (a = 0.4245)$		31.3537	35.5987	39.8437	44.0887	48.3337	52.5787	56.8237	61.0687
$y_5 (a = 0.4445)$		31.5537	35.9987	40.4437	44.8887	49.3337	53.7787	58.2237	62.6687
$y_6 (a = 0.4645)$		31.7537	36.3987	41.0437	45.6887	50.3337	54.9787	59.6237	64.2687

根据表格作图，得图 17

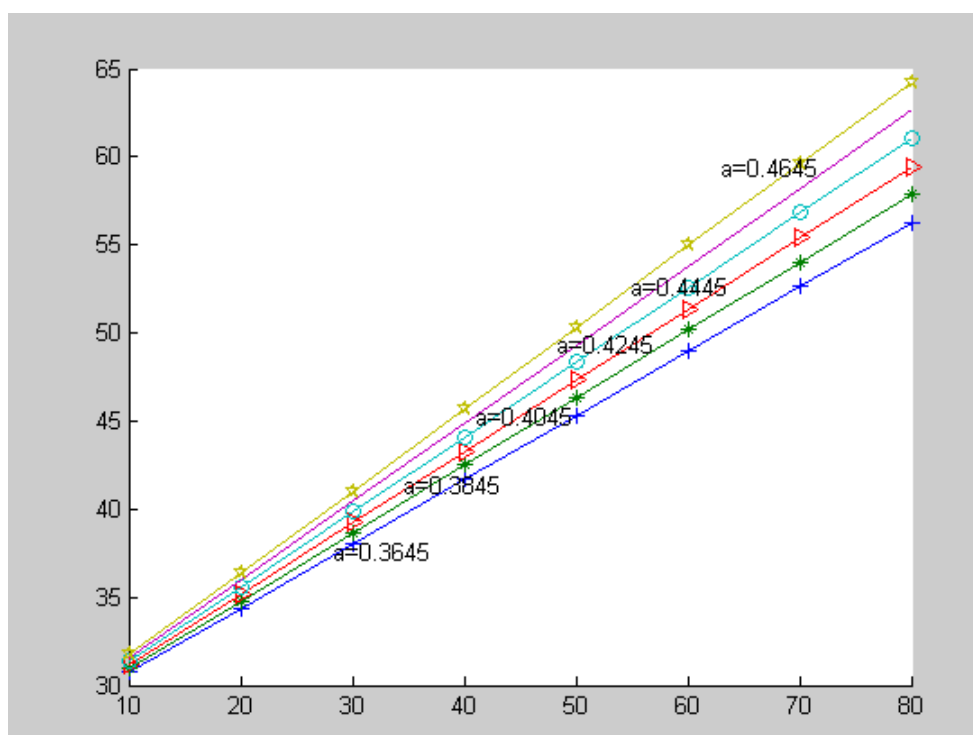


图 17 灵敏度分析图

由灵敏度分析可知，当 x_1 确定下来时，参变量 a 值变化引起 y 值变化量随着每单补贴金额的增多有一定的增大；当 a 值一定时， y 值随着 x_1 值的增加而增加，司机的接单热情随着滴滴打车公司的补贴显著提高，载客次数不断增加。

2. 对于快的打车进行讨论，针对每单补贴金额的不同增加值，我们运用 MATLAB 软件进行灵敏度分析。

表 10 不同 a 值和 x_2 值下对应的 y 值

y	x_2	10	20	30	40	50	60	70	80
$y^1 (a=0.3478)$		29.8797	33.3577	36.8357	40.3137	43.7917	47.2697	50.7477	54.2257
$y^2 (a=0.3678)$		30.0797	33.7577	37.4357	41.1137	44.7917	48.4697	52.1477	55.8257
$y^3 (a=0.38781)$		30.2797	34.1577	38.0357	41.9137	45.7917	49.6697	53.5477	57.4257
$y^4 (a=0.4078)$		30.4797	34.5577	38.6357	42.7137	46.7917	50.8697	54.9477	59.0257
$y^5 (a=0.4278)$		30.6797	34.9577	39.2357	43.5137	47.7917	52.0697	56.3477	60.6257
$y^6 (a=0.4478)$		30.8797	35.3577	39.8357	44.3137	48.7917	53.2697	57.7477	62.2257

根据表格作图，得图 18

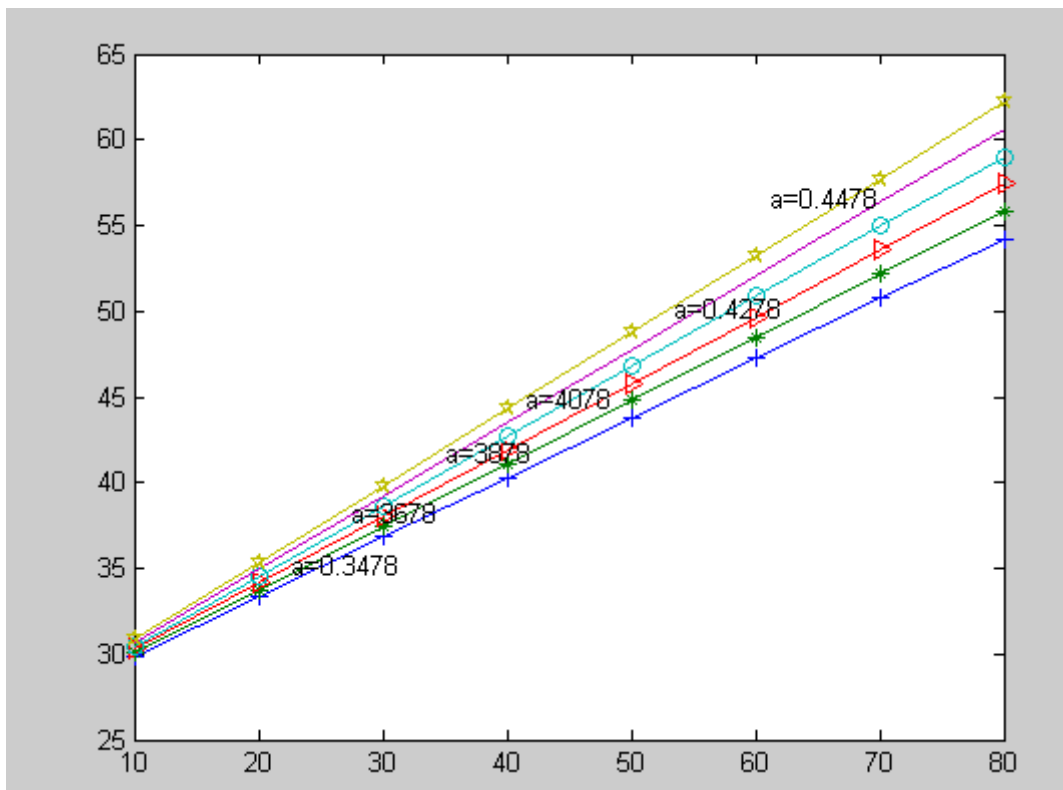


图 18 灵敏度分析图

由灵敏度分析可知，当 x_2 确定下来时，参变量 a 值变化引起 y 值变化量也增大了；当 a 值一定时， y 值随着 x_2 值的增加而增加，快的打车公司的补贴也刺激着司机不断加大接单数，从而使得载客次数明显提高。

§7 模型的评价与推广

一、模型的优点

1. 模型 I、II 从时间和空间两个角度, 分别建立了出租车供求满足度数量指标 $R(i, j)$ 和出行时长指标的供需满足度指标 Q_T , 分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度, 建模思路清晰, 建立的指标及具代表性。

2. 问题二中虚拟变量回归模型不仅可以定量验证不同种类补贴方案对“缓解打车难”是有帮助的, 而且又可对滴滴打车公司和快的打车公司的补贴方案作用程度大小进行比较, 具有一定科学性, 逻辑性。

3. 本文所建立的 BP 神经网络模型有成熟的理论基础, 又有相应的专业软件的支持, 可信度较高。

4. 研究问题时循序渐进, 逐步深入, 在求解的过程中慢慢进步, 逐步完善。

5. 本文建立的模型与实际紧密联系, 充分考虑现实情况, 从而使模型更加简单实际, 且通用性强。

二、模型的缺点

1. 模型所涉及的数据面较广, 且不易获得, 在不影响模型求解结果的基础上我们适当对数据进行了假设和处理, 可能会导致求解值和真实值之间存在一些误差。

2. 在最后模型改进的时候, 我们提出了思路和解法但是由于时间有限, 我们并没有将最后的具体结果计算出来。

三、模型的推广

1. 供求模型——问题一中的供求模型不仅适用于分析不同时空出租车资源的“供求匹配”程度, 还可推广运用于顾客价值决策分析、国际油价走势研究等需要考虑供求关系的情况。

2. 虚拟变量回归模型——问题二中综合考虑每单补贴额、奖励补贴、抽奖补贴三种补贴方案, 定量分析两公司的补贴方案对“缓解打车难”的帮助大小。

此外, 模型可对某一经济现象或活动进行“是”与“否”的判断或决策。例如, 研究是否购买商品住房, 是否参加人寿保险等。

3. BP 神经网络模型——问题二通过建立 BP 神经网络模型, 对回归分析进行验证, 进一步分析打车难问题是否有改善。这一模型可应用到葡萄酒的质量评价、人脸识别系统的建立等多领域。

4. 层次分析模型——在解决第三问时, 模型得到了影响补贴额度各因素的贡献率, 选取贡献率较大的因素进行讨论分析。层次分析模型涉及的项目决策者与决策模型及方法之间的交互作用变得越来越重要, 有利于解决企业评估, 科研成果的评价、人才选拔等问题。

§8 模型的改进

1. 模型 I 中的供求满足度数量指标 $R(i, j)$ 的建立过程中, 出租车需求函数外界影响因素可细分为城市经济发展水平 A_1, A_2, A_3 交通环境, 天气状况等, 并附上影响权重, 则出租车需求模型转化为: $L = f(aA_1, bA_2, cA_3, \dots, R_z(i))$, 同理, 出租车供给模型转化为: $G = f(B_1, B_2, B_3, \dots, R_k(j))$

2. 问题三中层次分析模型只分析了影响补贴额度各因素的贡献率, 并没有进一步

深入研究。为了改进模型，应选取贡献率大的因素，将影响因素量化，建立补贴额度评价体系，进行模糊综合评价，得出各补贴方案作用效果排序。

参考文献

- [1]庞皓,计量经济学[M],北京:科学出版社,2014,6.
- [2]杨桂元,朱家明,数学建模竞赛优秀论文评析[M],安徽:中国科学技术大学出版社,2013,9.
- [3]张铮,基于浮动车数据的城市分区出租车出行供需水平研究[D],上海:同济大学(上海),2009:61-63.
- [4]冯晓梅,供需平衡状态下的出租车发展规模研究[D],四川:西南交通大学(四川),2007:27-30.
- [5]黄厚波,基于AHP-模糊综合评价法的长沙市公交乘客满意度评价研究[D],湖南:中南林业科技大学(湖南),2014:19-22.
- [6]张妍,郭昭君,基于博弈的打车APP市场双寡头分析[J],市场研究,(7):33-34,2014.
- [7]李柏年,吴礼斌,MATLAB数据分析法[M],北京:机械工业出版社,2012.1.
- [8]张星玥,移动电子商务模式下打车软件的发展战略探究——以滴滴打车为例[J],信息技术,(06):220-221,2015.

附录

程序 1: BP 神经网络

```
clc
clear all;
s=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22];
d=[40 38 35 36 37 37 37 38 37 37 43 34 26 35 34 35 31 40 40 41 38
    39 ];
p111=[d] %输入数据矩阵
t111=[s] %目标数据矩阵
[p,minp,maxp,t,mint,maxt]=premnmx(p111,t111); % 对于输入矩阵 p111 和输出矩阵 t111 进行归一化处理
dx=[-1,1;-1,1;-1,1];

% 定义训练样本
% P 为输入矢量
P=p111
% T 为目标矢量
T=t111
size(P)
size(T)

at_1=newff(minmax(P),[10,1],{'tansig','purelin'},'traingdm')

inputWeights=at_1.IW{1,1}
inputbias=at_1.b{1}
```

```

layerWeights=at_1.LW{2,1}
layerbias=at_1.b{2}

% 设置训练参数
at_1.trainParam.show = 50;
at_1.trainParam.lr = 0.05;
at_1.trainParam.mc = 0.9;
at_1.trainParam.epochs = 10000;
at_1.trainParam.goal = 1e-3;

[at_1,tr]=train(at_1,P,T);
A = sim(at_1,P)
an=postmnmx(A,mint,maxt)+23
E = T - A;
MSE=mse(E)
x=1:22
plot(x,an,'r-o',x,sqjdc,'b--+')
legend('载客次数预测值','载客次数真实值')

```

程序 2 灵敏度分析

程序：

```

x1=10:10:80;
y1=27.1087+0.3645*x1
y2=27.1087+0.3845*x1
y3=27.1087+0.4045*x1
y4=27.1087+0.4245*x1
y5=27.1087+0.4445*x1
y6=27.1087+0.4645*x1
hold on
plot(x1,y1,'-+',x1,y2,'-*',x1,y3,'->',x1,y4,'-o',x1,y5,'-',x1,y6,'-p')
gtext('a=0.3645')
gtext('a=0.3845')
gtext('a=0.4045')
gtext('a=0.4245')
gtext('a=0.4445')
gtext('a=0.4645')
a5=y6-y5

```

```

a4=y5-y4
a3=y4-y3
a2=y3-y2
a1=y2-y1

x2=10:10:80;
y1=26.40173+0.3478*x2
y2=26.40173+0.3678*x2
y3=26.40173+0.3878*x2
y4=26.40173+0.4078*x2
y5=26.40173+0.4278*x2
y6=26.40173+0.4478*x2
hold on
plot(x2,y1,'+',x2,y2,'*',x2,y3,'>',x2,y4,'o',x2,y5,'-',x2,y6,'-p')
gtext('a=0.3478')
gtext('a=3678')
gtext('a=3878')
gtext('a=4078')
gtext('a=0.4278')
gtext('a=0.4478')
a5=y6-y5
a4=y5-y4
a3=y4-y3
a2=y3-y2
a1=y2-y1

```

程序 3 层次分析

```

A=[1,5,3;1/5,1,1/4;1/3,4,1]
a=eig(A)
[X,D]=eig(A)
a1=a(1,:)
a2=X(:,1)
a3=ones(1,3)
a4=a3*a2
w1=1/a4*a2
cil=(a1-3)/2

```

cr1=ci1/0.58

B1=[1,1/5,2;5,1,6;1/2,1/6,1]

b=eig(B1)

b1=b(1,:)

[X,D]=eig(B1)

b2=X(:,1)

b3=ones(1,3)

b4=b3*b2

w2=1/b4*b2

ci2=(b1-3)/2

cr2=ci2/0.58

B2=[1,1/3,1/5;3,1,1/4;5,4,1]

c=eig(B2)

c1=c(1,:)

[X,D]=eig(B2)

c2=X(:,1)

c3=ones(1,3)

c4=c3*c2

w3=1/c4*c2

ci3=(c1-3)/2

cr3=ci3/0.58

B3=[1,1/7,1/3;7,1,2;3,1/2,1]

d=eig(B3)

d1=d(1,:)

[X,D]=eig(B3)

d2=X(:,1)

d3=(-1)*d2

d4=ones(1,3)

d5=d4*d3

w4=1/d5*d3

ci4=(d1-3)/2

cr4=ci4/0.58

w5=[w2;0;0;0;0;0]

w6=[0;0;0;w3;0;0]

w7=[0;0;0;0;0;w4]

p=[w5,w6,w7]

W=p*w1

ci=[ci2,ci3,ci4]

ri=[0.58,0.58,0.58]

ci5=ci*w1

$$cr5=ri*w1$$

$$cr=cr1+ci5/cr5$$

附表 1 不同时间段出租车基本数据

时间段	单车日均载客里程 (公里)	单车日均空载里程 (公里)	空驶率	载客率
0:00-1:30	6.54	3.94	0.38	0.62
1:30-2:00	5.93	5.02	0.46	0.54
2:30-3:00	4.42	6.24	0.59	0.41
3:30-4:00	3.56	5.78	0.62	0.38
4:30-5:00	5.24	3.75	0.42	0.58
5:30-6:00	7.59	3.61	0.32	0.68
6:30-7:00	8.68	3.89	0.31	0.69
7:30-8:00	8.86	3.43	0.28	0.72
8:30-9:00	9.29	5.01	0.35	0.65
9:30-10:00	8.78	4.62	0.34	0.66
10:30-11:00	8.91	4.69	0.34	0.66
11:30-12:00	8.87	4.74	0.35	0.65
12:30-13:00	8.17	4.78	0.37	0.63
13:30-14:00	8.63	3.64	0.30	0.70
14:30-15:00	9.31	3.4	0.27	0.73
15:30-16:00	9.11	4.01	0.31	0.69
16:30-17:00	8.95	5.37	0.38	0.63
17:30-18:00	8.88	4.04	0.31	0.69
18:30-19:00	8.21	5.22	0.39	0.61
19:30-20:00	9.33	5.14	0.36	0.64
20:30-21:00	9.29	4.42	0.32	0.68
21:30-22:00	8.54	4.26	0.33	0.67
22:30-23:00	7.29	3.99	0.35	0.65
23:30-24:00	6.36	3.97	0.38	0.62

附表 2 不同时间段出租车数据

时间段	载客时长(分钟)	空载时长(分钟)
0:00-2:00	10.63	60
2:00-4:00	5.91	90
4:00-6:00	6.79	50
6:00-7:00	8.38	35
7:00-8:00	9.31	23
8:00-9:00	10.73	18
9:00-10:00	12.12	16
10:00-11:00	12.31	17
11:00-12:00	11.92	19
12:00-13:00	10.95	16

13:00-14:00	11.85	13
14:00-15:00	13.48	13
15:00-16:00	14.32	13
16:00-17:00	14.33	13
17:00-18:00	15.88	14
18:00-19:00	16.55	13
19:00-20:00	12.94	14
20:00-21:00	11.97	13.5
21:00-22:00	12.32	13.5
22:00-23:00	11.03	14
23:00-24:00	11.12	15

附表 3 滴滴打车普通补贴和载客次数变化基本数据

滴滴打车 载客次数变化量	滴滴打车 每单普通补贴	滴滴打车 (后) 单车载客次数	滴滴打车 (前) 单车载客次数
1.6	10	31.6	30
2.2	10	32.2	30
2.3	10	32.3	30
2.3	10	32.3	30
2.5	20	34.8	32.3
2.6	30	34.9	32.3
2.6	30	37.4	34.8
2.7	40	37.5	34.8
2.8	40	37.6	34.8
2.8	40	37.6	34.8
2.9	50	40.5	37.6
3.1	50	40.7	37.6
3.2	50	40.8	37.6
3.2	50	40.8	37.6
3.3	60	44.1	40.8
3.4	60	44.2	40.8
3.4	60	44.2	40.8
3.4	60	44.2	40.8
3.5	60	44.3	40.8
3.7	70	48	44.3
3.8	70	48.1	44.3
4	70	48.3	44.3
4	70	48.3	44.3
4	70	48.3	44.3
4	70	48.3	44.3
3.9	80	52.2	48.3
3.8	80	52.1	48.3
3.7	80	52	48.3

3.7	80	52	48.3
3.7	80	52	48.3
3.5	90	55.5	52
3.5	90	55.5	52
3.4	90	55.4	52
3.4	90	55.4	52
3.2	100	58.6	55.4
3.2	100	58.6	55.4
3.1	100	58.5	55.4

附表 4 快的打车普通补贴和载客次数变化基本数据

快的打车 载客次数变化量	快的打车 每单普通补贴	快的打车 (后) 单车载客次数	快的打车 (前) 单车载客次数
1.4	15	29.4	28
2	15	30	28
2.1	15	30.1	28
2.1	15	30.1	28
2.3	10	32.4	30.1
2.4	20	34.8	32.4
2.4	20	34.8	32.4
2.5	30	37.3	34.8
2.6	30	37.4	34.8
2.6	30	37.4	34.8
2.7	40	40.1	37.4
2.9	40	40.3	37.4
3	40	40.4	37.4
3	40	40.4	37.4
3.1	50	43.5	40.4
3.2	50	43.6	40.4
3.2	50	43.6	40.4
3.2	50	43.6	40.4
3.3	50	43.7	40.4
3.5	60	47.2	43.7
3.6	60	47.3	43.7
3.8	60	47.5	43.7
3.8	60	47.5	43.7
3.8	60	47.5	43.7
3.8	60	47.5	43.7
3.7	70	51.2	47.5
3.6	70	51.1	47.5
3.5	70	51	47.5
3.5	70	51	47.5
3.5	70	51	47.5

3.3	80	54.3	51
3.3	80	54.3	51
3.2	80	54.2	51
3.2	80	54.2	51
3	90	57.2	54.2
3	90	57.2	54.2
2.9	90	57.1	54.2