

# “互联网+”时代出租车补贴是否有效？

## 摘 要

本文针对基于“互联网+”下的出租车补贴方案是否有效问题，以北京市为例，运用主成分分析、聚类分析等方法，借助MATLAB、SPSS、EViews等软件构建了出租车资源供求匹配评价模型、资源调度优化等模型，综合分析了打车难现状，并研究打车软件服务平台的补贴方案对打车难易程度的影响，并对模型进行了合理性分析。

针对问题一，首先研究常用指标体系，从出租车供给——需求体系出发，利用主成分分析法，建立了供求匹配评价模型，然后从时间、空间两个角度进行分析，构建时空分布模型，得到了时间角度北京市日常一天中6~8点、12点~13点及16~18点三个时间段出租车资源匹配程度较差，属于等级三；空间角度三环内以及学院路附近匹配程度较差，其余地方平均匹配程度一般，打车困难程度属于一般水平。

针对问题二，首先分析影响“打车难”的主要因素，建立司乘推荐模型；然后对传统和基于打车软件服务平台推出的两种补贴方案进行对比分析；最后求出北京市未实施补贴方案时打车成功率为45%，传统补贴方案下为55%，打车软件服务平台推出的补贴方案使打车成功率提高到86%，提高了41%，因此打车软件服务平台推出的补贴方案对“缓解打车难”更有帮助。

针对问题三，首先分析现有补贴方案的优缺点，结合实际情况，建立激励机制约束模型，创建出具有自动搜寻最优补贴方案功能的打车软件服务平台，据此设计出新的补贴方案；最后选取北京市五个典型地区进行研究，通过对比分析补贴方案的合理性，可知在原打车成功率75%的水平上，实施新的补贴方案后，各地区打车率均有提高，特别是学院路，打车成功率提高了9.7%，说明新设计的补贴方案具有合理性，可以较好地解决乘客“打车难”问题。

本文还对模型进行了改进，建立时间序列模型预测未来出租车需求量，此外还对出租车资源“供求匹配”程度评价模型进行了灵敏度检验，实验结果证明了该模型稳定性高，具有较高的可靠性。最后，通过分析模型的优缺点，对模型进行客观评价，并将激励机制约束模型应用于公司激励员工方面，将模型进一步推广。

**关键词：**出租车补贴方案；主成分分析法；激励机制约束模型；灵敏度分析；MATLAB

## §1 问题的重述

### 一、背景知识

#### 1. 背景介绍

随着我国经济的飞速发展和人民生活水平的极大提高，出租车以其能够充分根据乘客需要提供灵活、方便、快速、直达的运输服务和可以很好地满足人们的专有乘车空间和私密要求等特点，迅速占领了城市客运交通的一方市场，其需求量在不断激增，发展规模不断扩大。但与此同时，合理控制出租车的发展规模也成为一个问题，出租车规模没有得到合理控制则会导致经营者利润低下、行业不稳定、道路交通资源浪费、城市交通拥挤等诸多问题。

当下我国出租车市场涌现出多款热门打车软件，其中拥有用户最多的是滴滴打车和快的打车，打车软件的流行打破了传统的路边扬招模式，给出租车行业带来了不可忽视的影响，打车软件的出现为解决行业矛盾提供了新思路，但因为体制的不成熟，打车软件也存在管理和盈利模式上的缺陷。因此，合适的城市出租车拥有量是保证出租车汽车行业资源优化配置、健康、有序的发展以及城市公共交通体系协调发展的前提。

#### 2. 问题的产生

“快的打车”等打车软件的流行虽为客户与司机都带来了方便，实现了乘客与出租车司机之间的信息互通，但由于最近兴起，存在体制等方面的不成熟，从而为出租业带来一些规模太快扩大、道路交通资源浪费等问题，因而研究不同时空出租车资源的“供求匹配”程度、分析各公司的出租车补贴方案对“缓解打车难”有无帮助对合理分置出租车资源，调高资源利用率等有重要的意义。

### 二、要解决的问题

#### 1. 问题一

分析影响出租车资源配置指标，研究不同时空出租车资源的“供求匹配”程度。

#### 2. 问题二

明确北京各公司的出租车补贴方案，并就补贴方案对“缓解打车难”有无帮助进行分析。

#### 3. 问题三

根据问题一、二建立的模型，就一个新的打车软件服务平台设计补贴方案，并论证补贴方案的合理性。

## §2 问题的分析

### 一、问题的总分析

在对问题进行总分析时，我们首先将本文分为三问：

其一：分析题目所给信息，找出相关指标，从时间、空间角度，结合补贴方案，对出租车资源进行分析；

其二：根据上述所建立的模型，建立补贴方案，验证合理性；

其三：画出整体框图如下：

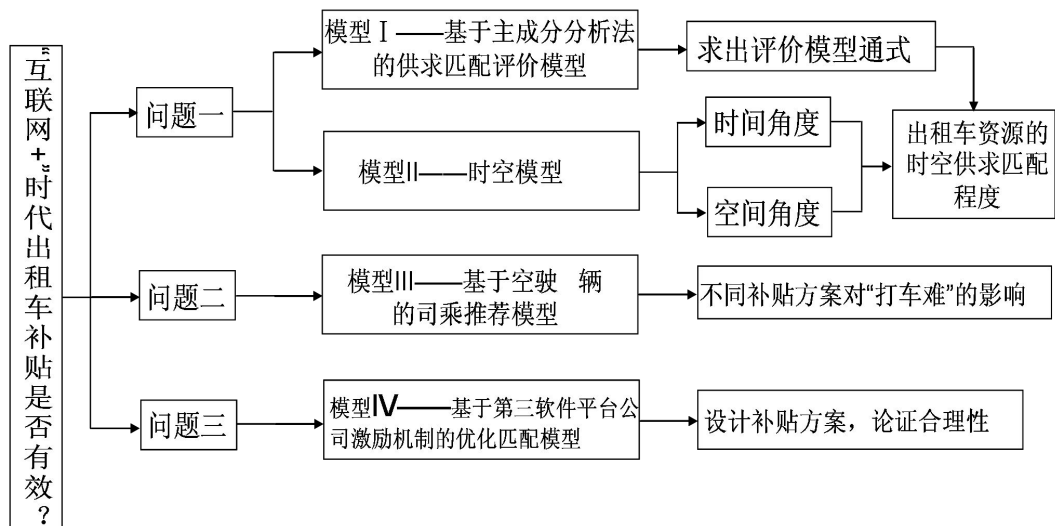


图1 问题总思路图

## 二、对具体问题的分析

### 1. 对问题一的分析

问题一要求我们自己查找数据，根据题目要求，寻找合理的指标建立模型分析在不同时间、空间条件下，出租车的供给与需求的匹配程度，即供求是否相等。针对问题一，我们首先查阅相关数据，分析哪些数据对出租车的载客时间有影响。分析选取出合适的指标。根据所选取的指标的属性将其归属到需求或者供应指标体系，然后利用主成分分析法，筛选出所有指标中最重要的指标。其次利用筛选出的数据，计算需求和供给函数主成分，我们利用两者函数的主成分求得两函数的综合值，然后利用两者函数综合值得差值反映供给——需求是否平衡，体现两者匹配程度相差多少。

### 2. 对问题二的分析

问题二要求我们查找各个打的软件公司的补贴方案，分析这些补贴方案是否对缓解现在“打车难”的问题。针对问题二，我们首先查找各个打的软件公司的补贴方案以及传统补贴方案。提取这些方案中的有效信息并将其数字化。然后利用这些数据建立一个衡量“打车难”的模型纠结打车成功率，并利用该模型求解在传统补贴方案、各个打的软件公司的补贴方案下的打车成功率，利用打车成功率的高低分析各个打车软件公司的补贴方案与传统补贴方案是否可以缓解打车难问题。

### 3. 对问题三的分析

问题三要求我们在现有的打车平台的基础上创建一个新的打车软件服务平台，设计一个新的补贴方案，使得乘客出行打车更加方便，并且对正确性进行论证。针对问题三，我们利用问题一与问题二的数据结果，根据委托一代理中的激励机制的运行规律，创建一个具有自动寻优补贴方案的智能打车软件服务平台，利用奖励的方式鼓励出租车司机接“差单”（交通拥挤区的打车订单），鼓励乘客将等车时间延长，从而使得打车成功率增加。最后通过对比分析实施补贴方案前后打车成功率的变化验证其打车服务平台是否具有合理性。

## §3 模型的假设

1. 假设补贴方案的变化随机无周期的；
2. 假设天气的变化对补贴方案是没有影响的；

3. 假设出租车运费上调只用来消化运营成本，不是增加利润；
4. 假设北京市油价在研究期间不变。

## §4 名词解释与符号说明

### 一、名词解释

#### 1. 供给偏离值

是指在一经济主体中，需求量与供给量差值的绝对值，用于衡量供求关系。

#### 2. 帕累托最优

亦称帕累托效率，是资源分配的一种理想状态，假定有固有的一群人和可分配的资源，从一种分配状态到另一种状态的变化过程中，在没有使任何人境况变坏的前提下，使得至少一个人变更好，帕累托最优状态时不可能再有帕累托改进的余地；即帕累托改进是达到帕累托最优的路径和方法，不存在帕累托改进时即为帕累托最优状态。

#### 3. 激励相容约束

由于代理人和委托人之间存在目标函数不一致、不确定性强和信息不对称等问题，会出现代理人损害委托人利益的现象，从而造成逆向选择和道德风险两种后果，为避免这种结果的出现，委托人受代理人的激励相容约束，在任何激励合同下，代理人总会抉择使自己期望效用最大化的行动。

### 二、主要符号说明

序号	符号	符号说明
1	$D$	乘客总的出租车需求数量
2	$W_i$	单位时间内的出租车空驶数量
3	$A_n$	所研究的n个交通区
4	$G$	时间空驶率
5	$R$	空间空驶率
6	$L_n$	研究范围内出租车总量
7	$T_{zi}$	乘客在第n个交通区平均等候时间
8	$P_l$	出租车起步平均价
9	$Q$	单位时间内通过某路段的车流量
10	$C$	出租车司机载客周转
11	$p$	打车成功率
12	$\delta$	补贴费
13	$r$	基础补贴
14	$H$	综合匹配度
15	$\alpha$	公司累计补贴能力系数
16	$S_b$	司机的保留收入

## §5 数据的收集与处理

### 一、数据的来源

#### 1. 区域的选取

我们研究的是北京市出租车运行情况，由于北京市区域大、车流量大、不易于统计等特点，不便于全方位研究，因而我们对北京市按环路随机选取具有代表性的不同区域进行研究。为了便于模型的建立求解，我们再从上述区域中在选取具有代表性的地点：

朝阳路、陶然亭、白石桥、学院路、建国门。

## 2.数据的收集

本文在数据收集过程中，采用了智能打车软件服务平台“苍穹”智能出行平台，该平台依赖于智能服务，基于其用户的大数据进行实时动态监测，采用路网数据采集方法<sup>[1]</sup>，极大提高了其目标点的精度，基于苍穹智能出行平台服务软件，我们收集到了上述地区出租车的基本运行情况和所需的基础数据，如各个地区出租车供给量，并通过网站后台浏览器控制平台对所需数据进行了抓取，将其导入EXCEL软件，极大简化了我们在建模时收集所需数据问题。

## 二、数据的预处理

由于在数据采集过程中所能采集到的数据是一些基础数据，这些数据并不能完全解决本问题，因此需要通过数据预处理，挖掘出有用的数据。

本文在解决出租车资源的“供求匹配”程度时，所需要重要的指标有时间空驶率、空间空驶率、乘客等候时间等，而在收集这些指标时存在一定难度，没有较好的观测方法可以统计出所需数据，因此我们通过已收集到的数据，挖掘数据之间的关系，找出其他所需指标数据，在解决这些指标数据是我们采用以下方法：

### 1.空驶率

空驶率<sup>①</sup>是指在未载客出租车与其总行驶的出租车的比值，而在收集该项指标数据时存在很大难度，因此我们通过利用打车的难易程度与乘客的等车时间以及出租车的行驶量计算空驶率。

首先我们以一天为时间周期，按一小时为间隔时间，将一天分为 $t_1, t_2, t_3 \dots t_{24}$  24 个时间点，并假设这一天的乘客打车难易程度为困难、一般、容易，我们用 3、2、1 表示。然后统计出每个小时各个地点的出租车行驶数量 $W_i$ ，则可得到不同时段出租车行驶数量。（见附表 1,2）。

根据打车的难易程度与乘客的等车时间以及出租车的行驶量我们可以计算得到空驶率见表1（其他见附表3）

表1 各个地区不同时间下的空驶率

	1	2	3	4	5	6	7	8
朝阳路	0.215	0.324	0.237	0.179	0.214	0.185	0.156	0.168
陶然亭	0.178	0.198	0.181	0.176	0.226	0.164	0.146	0.237
白石桥	0.224	0.245	0.199	0.223	0.235	0.185	0.175	0.174
学院路	0.444	0.228	0.192	0.226	0.242	0.302	0.357	0.228
建国门	0.361	0.214	0.238	0.467	0.387	0.223	0.389	0.468

### 2.乘客等候时间

乘客等候时间是影响出行人们选择出租车概率的重要因素，其时间的创端在很大程度上决定了人们对出租车的需求量，如果等候时间超出乘客所能接受最长等候时间，则人们便不会选择出租车作为出行工具，因此研究该指标在解决本文相关问题时具有重要意义。

同理，按上述方法将一天分为 24 个时间点，则在单位时间点内，如果第  $m$  辆出租车为空驶状态， $C=1$ ；反之， $C=0$ ；其中出租车总的空驶时间为：

$$G_V = \sum_{m=1}^L \int_0^1 L_m \cdot C_m dt = W$$

<sup>①</sup> 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

则在单位时间点内其出租车的时间空驶率与总空驶时间存在以下关系：

$$G = W/L \Rightarrow W = G \cdot L$$

而乘客等候时间  $T_{zi}$  经过统计分析，其  $T_{zi}$  与出租车的空驶数量  $W$  和出租司机寻找乘客时间  $P$  存在一定关系，其中：

$$T_{zi} = \alpha \frac{S_i}{W_i P_i} \quad (1)$$

计算得到的结果见下表 2（其余见附表 4）

表 2 各地点不同时间条件下的等车时间率								
	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
朝阳路	0.1304	0.2480	0.2923	0.7316	0.3285	0.4875	0.2245	0.4007
陶然亭	1.2053	0.3845	1.9756	3.0475	1.1351	1.9446	0.4541	0.3297
白石桥	0.2569	0.7964	1.3862	0.8153	0.6547	1.3514	0.9329	0.8675
学院路	0.0961	0.3432	0.8189	1.0435	0.8454	1.1963	0.3997	0.4774
建国门	0.2105	0.4972	0.1927	0.1406	0.0948	0.3059	0.2735	0.1776

## §6 模型的建立与求解

### 一、问题一的分析与求解

#### 1. 对问题一的分析

本问题要求我们选取影响出租车供求辆的主要指标，并分析不同时空条件下出租车资源的“供求匹配”程度问题。针对这一问题，我们的思路是首先依据国内外目前常用指标体系，最终确定本文研究问题所需要的指标，并利用主成分分析法选取主要指标，建立出租车资源的“供求匹配”程度评价模型；然后以北京市内 5 个典型地区作为研究地点，分别按照时间、空间方面对出租车资源的“供求匹配”程度进行了分析。

#### 2. 对问题的求解

##### 模型 I ——基于主成分分析法的供求匹配评价模型

##### (1) 模型的准备

##### ① 模型的原理

主成分分析法<sup>[2]</sup>，是将多目标体系中相关性较大的指标进行筛选剔除，使最终留下来的指标两两不具有相关性，并进行重新组合为一组相互无关但又代表实际问题的指标，起到简化问题的作用，是一种降维思想方法。

##### ② 模型概述

主成分分析法<sup>[1]</sup>的基本思想通过一个简单例子进行说明：

假设有  $n$  门课程  $x_1, x_2, x_3 \cdots x_n$ ，其中  $c_1, c_2, c_3 \cdots c_n$  为各门课程的权重，则：

$$S = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \cdots + c_n x_n$$

一般情况下，在评价一个学生的综合成绩时，由于课程数较多在计算过程中较为复杂，因此我们可以设  $X_1, X_2, X_3 \cdots X_n$  为样本观测的随机变量，令  $P = \text{Var}(c_1 x_1 + c_2 x_2 + \cdots + c_n x_n)$ ，通过计算我们要找到能使  $P$  值达到最大，因为方差在一般情况下反映了数据的差异程度，所以我们可以通过  $P$  值找到  $n$  个变量中最大变异变量，一般我们规定其约束条件为：

$$c_1^2 + c_2^2 + \cdots + c_n^2 = 1$$

在上述约束条件下， $P$  值得最优解是  $n$  维空间向量的一个单位向量，它代表一个主

成分方向。

### ③建模思路

本文建模的思路是首先选出评价指标建立需求和供应指标体系，并对各指标数据进行标准化处理，即使数据无量纲化。其次，利用经标准化处理后的指标数据结合MATLAB软件进行主成分分析，通过计算相关系数矩阵 $R$ ，将指标体系中相关性较大的指标筛选出来，并对其进行剔除重组，建立一个新的指标变量集合，最后利用所求得的主成分指标变量建立出租车资源“供求匹配”的程度评价模型。

### (2)模型的建立

①首先根据国内外目前常用指标体系，最终确定本文研究问题所需要的指标，并根据所选取指标建立出租车“供求匹配”程度评价指标体系，见图2：

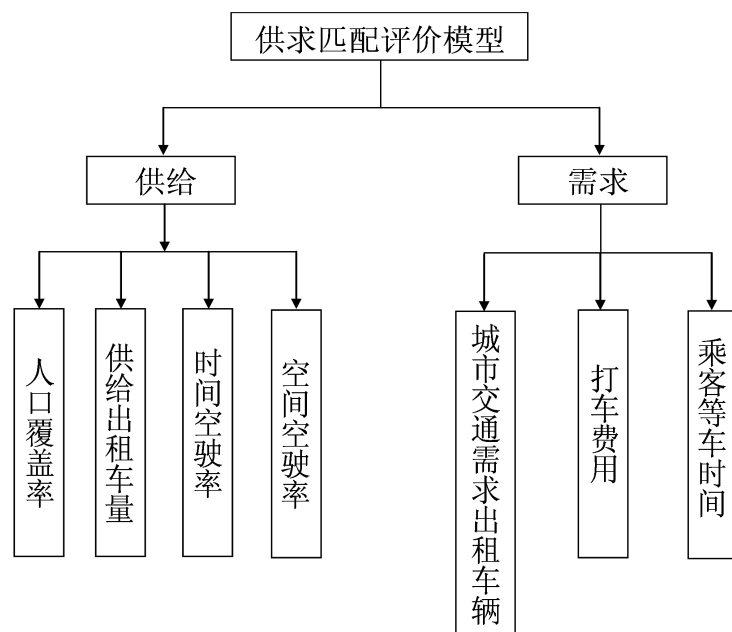


图2 需求—供给指标图

### ②对原始数据进行标准化处理

假设参与主成分分析的指标变量有 $n$ 个，记为 $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ ，评价对象有 $m$ 个，则第 $i$ 个评价对象的第 $j$ 个指标的取值为 $q_{ij}$ ，将各指标进行标准化处理，并将标准化处理后的值记为 $\tilde{q}_{ij}$ ，即：

$$\tilde{q}_{ij} = \frac{q_{ij} - \sigma_j}{s_j} \quad i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

其中， $\sigma_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m q_{ij}$ ， $s_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (q_{ij} - \sigma_j)^2}$ ， $j = 1, 2, \dots, m$ ， $\sigma_j$ 为第 $j$ 个指标的平均值， $s_j$ 为第 $j$ 个指标的标准差。

### ③计算相关系数

在求相关系数时，先求出各指标的相关系数矩阵 $R$ ，其 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ，即：

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \tilde{q}_{ik} \cdot \tilde{q}_{kj}}{m-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

需注意的是， $r_{ij} = r_{ji}$ ， $r_{ii} = 1$ ，其中： $r_{ij}$ 是第 $i$ 个与第 $j$ 个指标的相关系数

根据特征方程  $|R - \lambda_j| = 0$ ，计算特征方程根和特征向量，并将其按从大到小排列得

其中  $\gamma_i = (\gamma_{1j}, \gamma_{2j}, \dots, \gamma_{mj})^T$ , 它是由特征向量组成  $m$  个新的指标变量得到的

[illegible]

⑤分别选取需求、供给函数的主成分

分别计算出特征值  $\lambda_j (j=1,2,\cdots,m)$  的信息贡献率和累计贡献率, 即:

$$a_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, \quad j=1,2,\dots,m, \quad b_i = \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, \quad j=1,2,\dots,m \quad (4)$$

其中,  $a_i$  为主成分  $y_i$  的信息贡献率, 同时:

$$\beta = \frac{\sum_{k=1}^p \lambda_k}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}$$

### ⑥建立“供求匹配”程度评价模型

根据上述方法所选取的需求和供给函数主成分,我们利用两者函数的主成分求得两函数的综合值,然后利用两者函数构建出供给-需求平衡模型,最终,建立起综合评价模型,对出租车资源“供给匹配”程度进行定性评价分析。

综合评价公式为:

$$H = \left| \sum_{j=1}^p a_j y_j - \sum_{i=1}^p b_i y_i \right| \quad (5)$$

其中,  $a_j$  为供给函数的第  $j$  个主成分的信息贡献率,  $b_i$  为需求函数的第  $i$  个主成分的信息贡献率

按照上述模型构建方法, 我们逐一对模型进行了求解。

①首先我们根据所建立的出租车资源“供求匹配”程度评价指标体系,可知需求函数下的指标变量有城市交通出租车需求量、打车费用、乘客等待时间;供给函数下的指标变量有人口覆盖率、供给出租车量、时间空驶率、空间空驶率。

②对所选指标数据进行标准化处理，首先对供给函数指标变量进行标准化处理。同时也将供给函数指标变量标准化处理（标准化数据放附表4，5）。

③根据处理后的数据我们利用SPSS软件对相关系数矩阵进行求解（见附表6.7）：

同时可以得到R1的特征值为2.34，R2的特征值3.16；相应的R1中的特征向量为



(0.31,0.42,0.27)，R2的特征向量为(0.21,0.37,0.19,0.23)。

④根据上述所求得的需求、供给函数的矩阵特征值和特征向量，分别求出特征值的信息贡献率和累计贡献率。其中需求、供给函数中主成分的累计贡献率分别为：

$$\beta1=0.82，\beta2=0.71$$

因此得到影响乘客对出租车需求量的主要指标有乘客等待时间，影响出租车公司供给出租车量的主要指标主要有时间空驶率和空间空驶率，最终可建立“供求匹配”程度评价模型为：

$$H=\left|\sum_{j=1}^pa_jy_j-\sum_{i=1}^pb_iy_i\right| \tag{6}$$

模型II——时空模型

(1)问题的求解

首先我们根据研究地区的“供求匹配”程度评价价值，利用SPSS软件对其值进行了聚类分析，得到了匹配程度等级表，见表3：

表3 匹配程度等级表				
等级	一	二	三	四
数据范围	0.006~0.056	0.056~0.156	0.156~0.356	0.356~0.556

从时间分析

根据截取的5个典型地区的数据，我们利用公式(6)可以得到这5个地点的主要指标值评价表，见附表9。观察表3我们难以得到供求偏离程度随时间的变化规律，因此，为了研究出租车的供求程度随时间的变化规律，我们利用EXCEL绘制了5个地区的出租车的供求程度随时间的变化图（见图3）

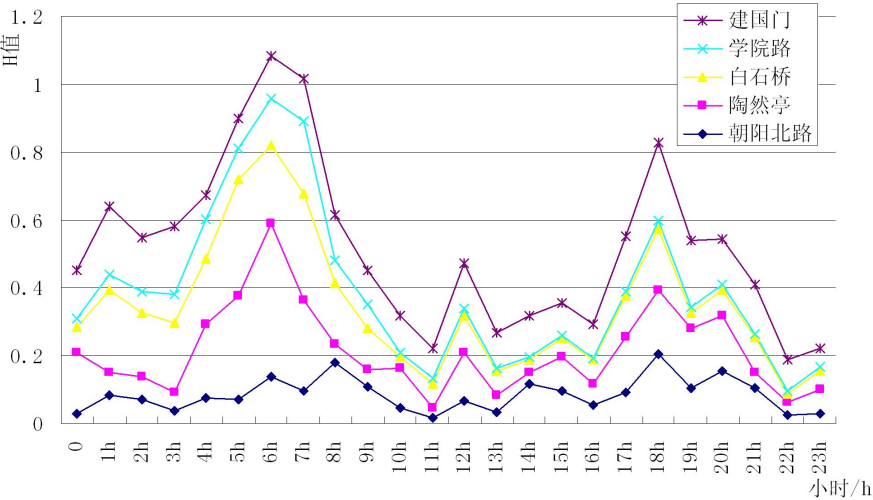


图3 各地区供求程度偏离时间表

观察图3，我们可以知道在早上7、8点，中午12、13点以及晚上18点的时候，出租车的供给与需求相隔程度较高，属于等级三，在这几个点打车难、空车少，因为这些点是上下班的高峰期，出租车的需求量大增，而出出租车的总数即供给量不变，则会导致出租车的供求不平等；晚上12点凌晨4点，人流量少，值夜班的出租车也相对较少，导致出租车的需求供给也出现了相对偏差，属于等级二，而且出租车司机根据习惯，认为半夜人少，导致出租车的数量也相对较少，出现打车难的问题；像白天其他时间，出租车司机的形式路线根据习惯制定往人流量多的地方走，导致一些人流量少的地方难打车，出租车供求也相对不平衡。

从空间分析

为了研究出租车的供求程度在空间上的分布规律，我们首先要找到各个地区的坐标，确定各个地区的地理位置，然后再计算各个地区上出租车的供求程度的分布。由于在地图上测量各个地区的距离不方便,即使用标尺测量出来也存在一定的误差,而各个监测点的经纬度我们可以准确的测量得到测量值（见表4）

表4 各地区经纬度表

	朝阳路	陶然亭	白石桥	学院路	建国门
纬度	39.922273	39.884625	39.951939	39.994950	39.914524
经度	116.549815	116.380902	116.332443	116.360101	116.442268

易知一地点的经纬度是指该地点在地球表面的坐标，由于北京市面积在与地球表面积相比非常小，我们认为北京市近似的是一个平面，因此，我们可以以经纬度为其横纵坐标，由此我们可以得到每个地区的相对位置，即我们知道了各监测点的空间分布。为了形象的刻画各个地区打车匹配程度，我们利用表4求出各个地点的出租车平均供求偏离程度（见表5）

表5 供求程度偏离总表

朝阳路	陶然亭	白石桥	学院路	建国门
0.084713	0.128879	0.131133	0.045863	0.129308

再结合各个地点的坐标，我们利用MATLAB软件（见程序1），得出匹配程度的空间分布图(见图4)

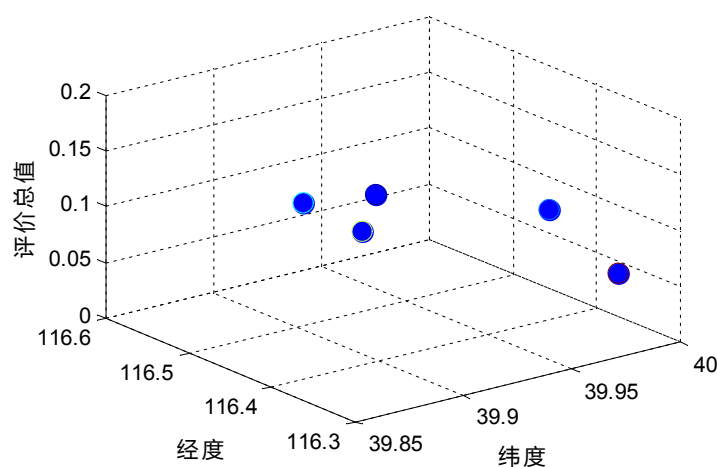


图4 匹配程度的空间分布图

观察图4我们可以发现，在学院路的匹配程度值是最低的，属于等级一，说明在学院路是较容易打到车的，因为学院路人流量较多，出租车司机认为在学院路能找到更多的乘客，因此司机更倾向于往学院路跑；而建国门、陶然亭和白石桥处于北京市三环路附近，远离市中心，人流量较少，在空车状态下，出租车司机认为不容易找到顾客，还增加了燃油量，因此这两个地点的匹配偏离程度高，属于等级三；朝阳路人流量较大，出租车多，但出租车的需求量也较高，供需偏离程度一般，打车困难程度为一般水平，属于等级二。

## 二、问题二分析与求解

### 1. 对问题的分析

本问题要求我们在了解了各公司的出租车补贴方案的基础上，分析各方案是否对

“缓解打车难”有帮助。针对这一问题，我们首先通过分析“打车难”的影响因素，建立基于空驶量的衡量“打车难”的司乘推荐模型；其次，依据不同公司推出的出租车补贴方案，分别对打车软件公司提供的补贴方案和传统的补贴方案进行处理，将其补贴方案量化，根据量化的数据建立衡量“打车难”的模型，比较分析打车软件公司提供的补贴与传统的补贴方案可缓解“打车难”的程度，即是否可以减少出行人的打车等待时间，即提高打车成功率。

## 2. 对问题的求解

### 模型 III——基于空驶量的司乘推荐模型

#### (1) 模型的准备

##### ① 模型的原理

该模型是由Phithakkitnukoon等人率先提出的，该模型主要运用于预测在一定区域内出租车的空驶量<sup>[3]</sup>。该模型是在利用出租车的历史GPS数据的基础上，采用朴素贝叶斯分类器来建立模型；之后Zheng等人提出采用非齐次泊松分布模拟建立出租车行为模型，该模型是经上述一系列改进之后得到的，它主要是通过统计道路上空出租车的行驶时间和驶出这条道路的乘客等候时间的历史数据，模拟出一种可以根据不同位置乘客等候时间向乘客推荐有效打车位置的系统。

##### ② 建模思路

根据对题目的分析，我们画出了针对本问题的思路图（见图5）

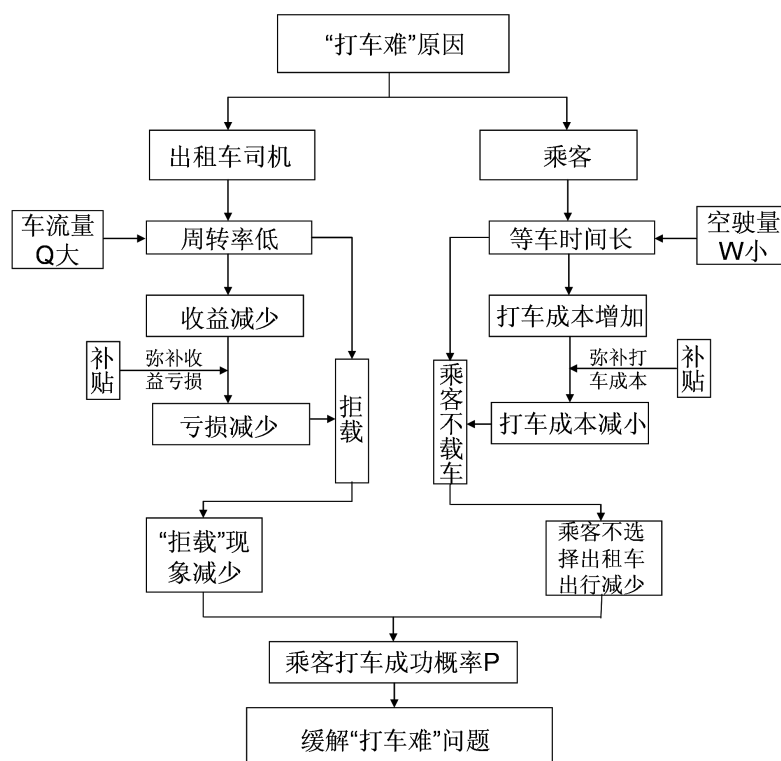


图 5 基于空驶量的司乘推荐模型思路图

#### (2) 模型的建立

##### ① 建立“周转率—车流量”联合关系

周转率  $c$  代表着司机在一天内拉客的人数<sup>[4]</sup>，它在一定程度上影响了载客率，这也是出租车司机经常存在“拒载”、“挑客”的情况出现，而经过日常观察可以发现城市交通区的车流量很大程度上影响“周转率”的大小，即在车流量大的地方，交通处于拥堵状态，不利于出租车司机接客，因此也会出现在车流量大的地方存在出租车司机“拒载”、

“挑客”的情况。

基于上述分析，我们先分析车流量情况，假设路段长度为  $L$ ，令  $t_0$  时刻路段下的空驶出租车量为  $W_1$ ，从  $t_0$  到  $t_1$  时刻进入新行驶路段的空驶出租车辆为  $W_2$ ，则时间间隔为：

$$\Delta t = t_1 - t_0$$

将所有路段上出现的出租车数量记为  $V$ ，则：

$$V = W_1 + W_2$$

为了更加形象的分析问题，我们做车流量模型图（见图 6）

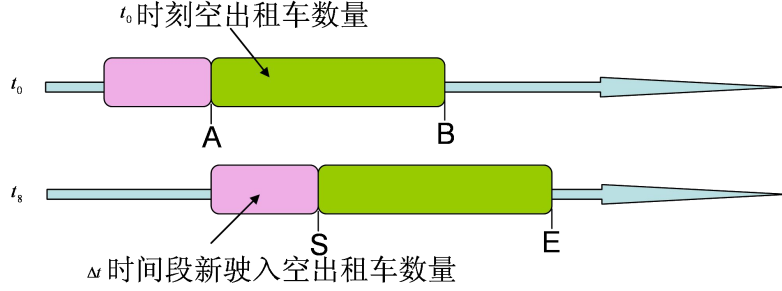


图 6 车流量模型图

依据图 6，我们将在  $\Delta t$  时间段内进入检测路段的出租车平均速度记为  $\tilde{v}$ ，假定其在  $\Delta t$  时间段车流量  $Q$  是固定不变的，则可以得到：

$$Q = \frac{W \cdot \tilde{v} \cdot \Delta t}{L + \tilde{v} \cdot \Delta t} \quad (7)$$

其次假设司机的总收益为  $S$ ，则可以得到：

$$S = C \cdot (1 - G_n) \cdot P_l + (l_e \cdot \Delta P) + v \quad (8)$$

其中， $P_l$  为出租车起步平均价； $\Delta P$  为超出规定里程的费用； $v$  为出租车司机的补贴费用。

依据公式(7)，(8)我们可以得出车流量和周转率之间的关系，即：

$$C = \frac{v - S + l_e \cdot \Delta P}{(1 - G_n) \cdot Q} \quad (9)$$

## ②建立“乘客等候时间—空驶量”联合关系

乘客等候时间  $T$  是衡量出租车服务水平的一个重要指标，它直接反映出了乘客对出租车出行工具的选择偏好性，它在一定程度上受城市出租车总拥有量、道路交通情况、交通道路布局等因素的影响。

经过我们日常生活观察可知，乘客等候时间的长短直接影响乘客是否打车，一般情况下乘客等候时间越长，出行人们选择出租车的概率越低，而在一定程度上，其与空驶量  $W$  存在较大关系，一般空驶量越大，乘客等候时间越短；反之越长。因此我们可以得出两者相关关系式，即：

$$T = \delta \frac{Z_i}{W_i \cdot t_f \cdot \pi}$$

其中， $Z_i$  为第  $i$  交通区车辆达到率（辆/h）； $t_f$  为出租车的平均搜索乘客时间（min）； $\pi$  为乘客乘车补贴费。

## ③建立打车概率函数

假设人们日常出行时打车的概率为  $P$ ，然  $P$  在一定程度上与车流量和空驶量存在关系，因此我们可以得出打车概率表达式为：

$$P = 1 - \frac{W}{Q_{\max}} \times 100\% \quad (10)$$

而通过上述所建关系我们可以发现,车流量  $Q$  与出租车司机补贴费和空驶量与乘客乘车补贴费之间存在一定关系,经过推导我们可以得出打车概率与补贴费用的关系:

$$\text{即} \begin{cases} C = \frac{v - S + l_e \cdot \Delta P}{(1 - G_n) \cdot Q} \\ T = \delta \frac{Z_i}{W_i \cdot t_f \cdot \pi} \\ P = 1 - \frac{W}{Q_{\max}} \times 100\% \end{cases} \Rightarrow P = 1 - \frac{\delta \frac{Z_i}{T \cdot t_f \cdot \pi}}{\frac{v - S + l_e \cdot \Delta P}{(1 - G_n) \cdot C}} \times 100\%$$

### (3)模型的求解

在分析各公司的补贴方案对缓解“打车难”是否有帮助时,我们首先根据北京市的出租车运营状况和乘客日常打车情况,确定了在未实行补贴方案前且属于“打车难”的情况下所对应下的打车成功率  $P_0$ ,以及在  $P_0$  基础上的出租车日载客平均周转率  $C_0$ 、乘客平均等候时间  $T_0$ 、交通区车流量  $Q_0$  以及通过该交通区的空驶出租车数量  $W_0$  等,现给出一般情况下的指标数据值(见表 6)

表 6 一般情况下的指标数据值

$P_0$	$C_0$	$T_0$	$Q_0$	$W_0$
45%	20 次	4.5min	360(辆/h)	198 辆

为了分析各公司的补贴方案对“打车难”的影响,我们首先找出各公司的补贴方案:

#### ①传统补贴方案分析

根据网上搜索相关资料,我们找到了传统出租车公司向出租车司机的补贴方案:

- a.每车每年补贴运营费 17733.6 元;
- b.每车每天补贴运营费 49.26 元;
- c.每车每年补贴燃油费用为 9326 元;
- d.每车每天补贴燃油费用 25.5 元。

则依据上述方案可知,传统补贴方案只是针对出租车司机进行补贴,利用上述数据我们可得传统方案下总补贴费  $\delta = \delta_0 + \delta_1 = 49.26 + 25.5 = 74.76$  元,则将其代入公式(9)(周转率与车流量)得到:

$$Q_1 = \frac{v - S + l_e \cdot \Delta P}{(1 - G_n) \cdot C} = 434$$

代入打车成功概率模型得:

$$P_1 = \left(1 - \frac{W}{Q_{\max}}\right) \times 100\% = 1 - \frac{198}{434} \times 100\% = 55\%,$$

则与未实施补贴方案相比,打车成功率提高了 10%,打车等待时间更少了,出租车资源得到了有效利用。

#### ②基于打车软件平台下的补贴方案分析

快的和滴滴打车软件补贴方案变更情况(见附表 10)。

观察上述两家打车软件公司的补贴方案,可知打车软件补贴不仅针对出租车司机,还对乘客进行补贴,因此我们利用两家补贴方案变更数据,计算统计出了平均补贴水平,并最后利用所建模型求出来经补贴之后的打车成功率。

首先分析快的打车补贴方案，快的打车补贴是以出租车每次接单数为基础进行补贴，即每接一单成功后给司机和乘客都进行补贴。通过统计补贴金额，快的打车乘客补贴均值为每单 9.8 元，给司机补贴均值为 8.7 元。

则根据  $\delta = T \cdot (1 - G_n) \cdot m_{\text{司机补贴单价}}$ ； $\nu = T \cdot (1 - G_n) \cdot m_{\text{乘客补贴单价}}$

其中， $m_{\text{司机补贴单价}}$  为向司机每单平均补贴金额， $m_{\text{乘客补贴单价}}$  为向乘客每单平均补贴金额。

按上述分析可得， $\delta_1 = T \cdot (1 - G_n) \cdot m_{\text{司机补贴单价}} = 164$  元， $\nu_1 = T \cdot (1 - G_n) \cdot m_{\text{乘客补贴单价}} = 196$  元

则代入打车成功概率模型得：

$$P_1 = \left(1 - \frac{W}{Q_{\max}}\right) \times 100\% = 84\%$$

可知与未实施补贴方案相比，打车成功率提高了 39%；与传统补贴方案相比，打车成功率提高了 29%。

同理，滴滴打车与快的打车补贴方案方法一样，也是同时向乘客和出租车司机进行补贴，通过统计变化的补贴金额，滴滴打车乘客补贴均值为每单 12.5 元，给司机补贴均值为 9.2 元。

按上述分析可得， $\delta_2 = T \cdot (1 - G_n) \cdot m_{\text{司机补贴单价}} = 184$  元， $\nu_2 = T \cdot (1 - G_n) \cdot m_{\text{乘客补贴单价}} = 206$  元

则代入打车成功概率模型得：

$$P_2 = \left(1 - \frac{W}{Q_{\max}}\right) \times 100\% = 87\%$$

可知与未实施补贴方案相比，打车成功率提高了 42%；与传统补贴方案相比，打车成功率提高了 32%；与快的打车补贴方案相比，打车成功率提高了 3%。

经上述分析所得数据可知，我们利用 EXCEL 软件各个补贴方案下的打车成功率画出打车成功率变化曲线图（见图 7）：

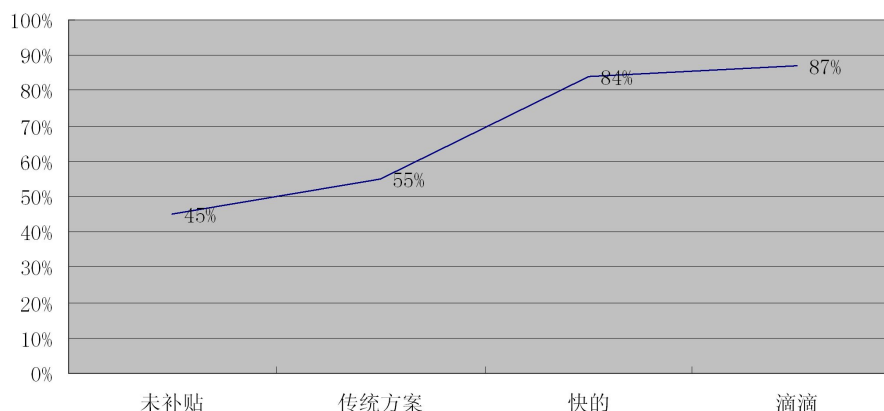


图 7 打车成功率折线图

观察图 7，通过分析传统补贴方案和基于打车软件公司的补贴方案对打车成功率的影响，发现基于打车软件公司的补贴方案比传统补贴方案提高的打车率要高出 39%~42%，说明对乘客进行补贴，能提高乘客的耐心，愿意花更多的时间去等车；而且变更了对司机的补贴方案，调动了司机接单的积极性，只要接单就有较高的利益，省去了因交通拥堵而出现的“拒接”现象，提高了出租车资源利用率。从结果我们也可以看出，在各公司推出的补贴方案后，基于滴滴打车公司补贴方案，打车成功率达到 87%，基于快的打车补贴方案，打车成功率达到 84%，但是从一定程度上讲上述两家公司补贴方案并没较好解决高峰路段打车难问题，因此其补贴方案还存在改进空间。而且从基于

快的打车与滴滴打车方案的打车成功率不同我们可以看出相似的补贴方案下的打车成功率也不同，说明在保证打车公司的利益基础上，肯定存在一套做好的补贴方案使打车成功率最高。

### 三、问题三的分析与求解

#### 1. 对问题的分析

本问题要求我们在现有打车软件服务平台情况下创建一个新的打车服务平台，并设计出新的补贴方案，并论证其方案的合理性。针对这一问题，我们的解题思路是首先利用委托—代理中的激励机制模型，创建一个具有自动寻优补贴方案的智能打车软件服务平台。然后利用上述新的打车服务平台，设计出优化处理后的“补贴方案”。最后，我们以北京市为例，选取其五个典型地区进行研究，依据新的打车服务平台得出各地区补贴方案，并通过对比分析实施补贴方案前后打车成功率的变化验证其打车服务平台是否具有合理性。

#### 2. 对问题的求解

##### 模型 IV——基于第三软件平台公司激励机制的优化匹配模型

###### (1)模型的准备

委托代理关系<sup>[5]</sup>是指委托人想使代理人按照其利益抉择行动，但委托人对代理人的行动没有直接透视权，能观测到的只是一些由代理人的行动和其他的外生随机因素共同决定的变量，委托人受代理人的激励相容约束<sup>[3]</sup>，在任何激励合同下，代理人总会抉择使自己期望效用最大化的行动。

###### (2)模型的建立

①假设  $w$  是第三方打车软件公司的一个一维补贴变量，则我们可以得到出租车司机的所拿到的补贴金额  $\mu$ ，即：

$$\mu = \alpha w + \phi$$

其中， $\alpha$  是公司累计补贴能力系数， $\phi$  是方差为  $\sigma^2$ ，均值为零的服从正态分布的随机变量。

在研究过程中，我们假定第三方打车软件公司为委托人，其风险是中性的，出租车司机为代理人，风险可规避。则其线性合同为：

$$S(\mu) = \gamma + \beta(\mu - \mu_0) \quad (11)$$

其中， $\beta$  为第三方打车软件公司的激励强度， $\gamma$  是第三方打车软件公司给予出租车司机基础补贴。

因为第三方打车软件公司风险是中性的，在给定  $S(\mu) = \gamma + \beta(\mu - \mu_0)$ ，可以得到其期望收入

$$\text{即 } E_v(\mu - S(\mu)) = E(\gamma + \beta(\mu - \mu_0)) = -\gamma + \beta\mu + \alpha w(1 - \beta)$$

②假设司机的效用函数的风险性为中性， $a = -e^{-\varepsilon\kappa}$ ，其中  $\varepsilon$  是绝对风险规避量， $\kappa$  为司机的实际收入。同时，我们假设司机因第三方软件补贴程度增加其运营成本增加，记为  $d(w)$ ，其成本公式为

$$d(w) = \frac{cw^2}{3}$$

其中， $c$  为成本系数，其值越大，出租车司机因接受第三方软件公司的补贴而使运营成本降低，因此司机的实际收入为

$$q = S(\mu) - d(w) = \gamma + \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 \quad (12)$$

则其等价收入为



$$E(q - \frac{1}{2}\varepsilon\sigma^2\beta^2) = \gamma + \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 - \frac{1}{2}\varepsilon\sigma^2\beta^2$$

其中， $E_q$  为司机的确定性等价， $\varepsilon\sigma^2\beta^2/2$  为司机的风险成本。

令  $S_b$  为司机的保留收入，则如果司机的确定性等价收入小于  $\theta$  时，司机将可以不接受公司给与的补贴，因此，司机的参与约束 IR 为

$$\gamma + \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 - \frac{1}{2}\varepsilon\sigma^2\beta^2 \geq \theta$$

③由题可知，第三方打车软件与司机出于对称信息条件下，因此激励约束 IC 无作用，任何水平下的  $w$  一般情况下都可以满足参与约束 IR 的限制条件内，因此，我们问题转化为选择  $(\gamma, \beta)$  和  $w$  中的最优解

$$\text{即 } \max_{\gamma, \beta, w} E v = -\gamma + \beta\mu + \alpha w(1 - \beta)$$

$$\text{st. (IR) } \gamma + \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 - \frac{1}{2}\varepsilon\sigma^2\beta^2 \geq \theta$$

在最优情况下，将参与约束通过固定项  $\gamma$  代入目标函数，即可重新表述为

$$\max_{\beta, w} \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 - \frac{1}{2}\varepsilon\sigma^2\beta^2 - \theta + \beta\mu + \alpha w(1 - \beta)$$

将上述结果代入司机的参与约束 IR 得

$$\gamma' = \theta + \frac{1}{3}d(w')^2 = \theta + \frac{\alpha^2}{2d} \quad (13)$$

其中， $\gamma'$  为可观测条件下的帕累托最优解<sup>[6]</sup>，即为该最优解是在代理人不承担任何风险的情况下，第三方打车软件补贴给司机的金额正好等于司机的保留收入与运营成本之和。这时该软件对出租车司机的累计补贴是满足司机和乘客利益最大化的解，它是由第三方软件根据乘客与司机所处的地理信息，系统自动累加加权，最终使司机与乘客满足利益最大化。

### (3)模型的求解

本问题要求我们在之前打车软件平台基础上创建一个新的打车软件平台，并设计出新的补贴方案。我们通过建立第三方打车软件激励机制的优化匹配模型，使其系统通过分析乘客与出租车司机的所处地理位置，根据乘客与司机的距离及乘客所处道路路段的情况自动模拟出累计加权补贴，最终使得乘客成功打到车，提高其打车成功率。

#### ①设计新的补贴方案

本文根据之前所采集的数据，分析并给出在激励机制模型下不同情况下的补贴方案，将其记录在表 7：

表 7 激励机制模型下不同情况下的补贴方案表

补贴政策	乘客与出租车距离 $L \leq 1\text{km}$	$1\text{km} < \text{乘客与出租车距离 } L \leq 5\text{km}$
车流量 $Q \leq 180$ (1/h)	不补贴	不补贴
$180 \leq Q \leq 300$	补贴不超过 10 元	一单补贴 10 到 15 元
$300 \leq Q \leq 450$	在乘客一般可接受最长等车时间内实行累积补贴方案：若第一次发需求，无司机抢单，则补贴加 2 元，依次累计加单补贴直到司机接单	补贴按“距离×交通流量=综合值”累计补贴，即综合值每增加 $h$ 时，补贴增加 $d$ 元



附：新打车软件实施积分制运营，即每当司机接一“差单”可得多少积分，而该积分达到一定程度可帮助司机抢单，即在两出租车与乘客距离一样，则积分多的，抢单成功率达

## ②验证新补贴方案的合理性

首先我们选取了北京市五个典型地区作为研究地区，根据问题二的结果，收集统计各个打车软件公司补贴方案下的相关数据记录在表 8 内。

表 8 各地区相关补贴下的数据表

	车流量(Q)	供应量(W)	空驶量(N)	打车成功率(P)
朝阳路(A)	490	55	13	0.772
陶然亭(B)	380	196	37	0.812
白石桥(C)	375	55	11	0.803
学院路(D)	500	147	73	0.503
建国门(E)	405	77	15	0.805

根据上述数据，利用本文第三方打车软件的奖励机制优化匹配模型，自动搜寻不同交通情况下的最优补贴方案。将北京市五个地区的数据代入上述模型后得到其最优补贴方案

根据代入数据所得，在激励机制中约束条件为  $\gamma + \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 - \frac{1}{2}\epsilon\sigma^2\beta^2 \geq \theta$ ，通过系统模拟运算得到，参与约束 IR 为 200 元/天，则将约束条件代入下式

$$\max_{\beta, w} \beta(\mu - \mu_0) - cw^2/3 - \frac{1}{2}\epsilon\sigma^2\beta^2 - \theta + \beta\mu + \alpha w(1 - \beta) \text{ 得}$$

其中 A 地区补贴方案为：  $\gamma'_A = m_{\text{司机补贴单价}} + m_{\text{乘客补贴单价}} = 18$ ，即向出租车司机补贴 3 元，向乘客补贴 15 元，累计补贴方案为 3 元，在高峰路段每次乘客叫单所增加的补贴金额为 1 元。

B 地区补贴方案为：  $\gamma'_A = m_{\text{司机补贴单价}} + m_{\text{乘客补贴单价}} = 15$ ，即向出租车司机补贴 2 元，向乘客补贴 13 元，累计补贴方案为 8 元，在高峰路段每次乘客叫单所增加的补贴金额为 2 元。

C 地区补贴方案为：  $\gamma'_A = m_{\text{司机补贴单价}} + m_{\text{乘客补贴单价}} = 19$ ，即向出租车司机补贴 3 元，向乘客补贴 16 元，累计补贴方案为 6 元，在高峰路段每次乘客叫单所增加的补贴金额为 2 元。

D 地区补贴方案为：  $\gamma'_A = m_{\text{司机补贴单价}} + m_{\text{乘客补贴单价}} = 14$ ，即向出租车司机补贴 4 元，向乘客补贴 10 元，累计补贴方案为 4 元，在高峰路段每次乘客叫单所增加的补贴金额为 1 元。

E 地区补贴方案为：  $\gamma'_A = m_{\text{司机补贴单价}} + m_{\text{乘客补贴单价}} = 15$ ，即向出租车司机补贴 2 元，向乘客补贴 13 元，累计补贴方案为 5 元，在高峰路段每次乘客叫单所增加的补贴金额为 1 元。

将上述五个不同地区具体补贴方案代入模型 III，我们可以得到补贴之后的打车成功率，并与之前补贴方案下的打车概率进行对比，如表 9：

表 9 北京市 A~E 不同地区补贴前后打车概率对比表

	朝阳路(A)	陶然亭(B)	白石桥(C)	学院路(D)	建国门(E)
改善方案	0.772	0.812	0.803	0.503	0.805
软件公司	0.8	0.846	0.8124	0.6	0.846

根据上表所得数据，我们利用 EXCEL 软件，做出了上述五个地区补贴方案前后打车概率变化折线图，见图 8：

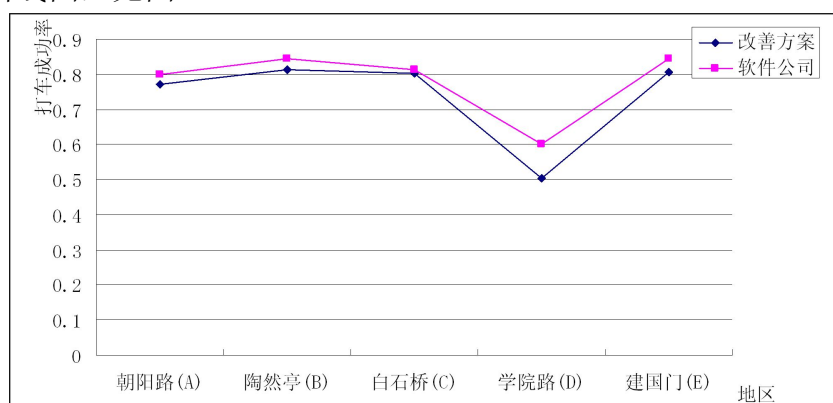


图 8 北京市 A~B 不同地区补贴前后打车概率对比变化折线图

观察图 8 可知，根据我们拟定的补贴方案效果与软件公司补贴方案效果相对比，打车成功率在一定程度上都有了提高。朝阳路成功率提高了 2.8%，陶然亭提高了 3.4%白石桥提高了 0.94%，学院路提高了 9.7%，建国门提高了 4.1%。说明补贴方案的拟定十分合理，被乘客与出租车司机所接受，提高了打车成功率，在一定程度上缓解了乘客平常出门“打车难”的问题，也使得出租车司机的收益得到了提高，也给打的软件公司带来更多的收益。增加高峰路段每次乘客叫单所增加的补贴金额，在一定程度上缓解了早晚高峰期打车难的问题，降低的出租车司机“拒接”的概率，使得出租车资源得到了更加有效利用，也说明了我们拟定的方案是正确的。

## §6 模型的改进与推广

### 一、模型的改进

由于时间关系，上述论文中出租车需求量都是根据“苍穹”网站中获取的数据，为了方便论文的进一步研究，现对出租车的需求量给出预测模型。

#### 模型的建立与求解：时间序列预测模型

对上述论文中出租车的需求量运用 EVIEWS 软件做时序图得图 9，由图 9 容易看出，该组数据不平稳。为了满足预测模型的条件，对数据进行对数 LOG 处理，设得到平稳序列  $y1$ ，对  $y1$  的平稳性进行单位根检验见图 10，由检验可知：该序列单位根检验值的绝对值大于给出的显著性水平 1%-10% 的 ADF 临界值，落在拒绝域内，拒绝原假设，故该序列为平稳序列。

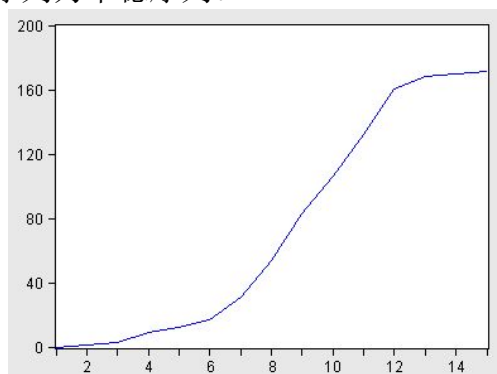


图 9 出租车的需求量时序图

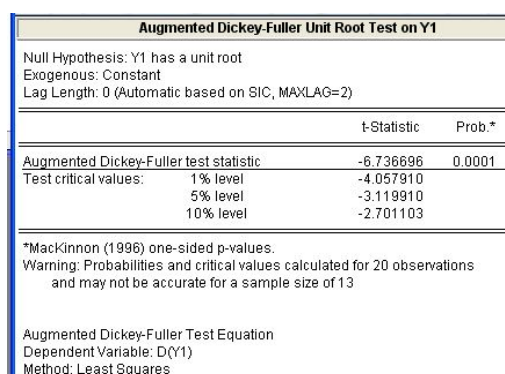


图 10 LOG 变换后的平稳性检验图

接着对  $y1$  做自相关、偏自相关分析得（见图 11）

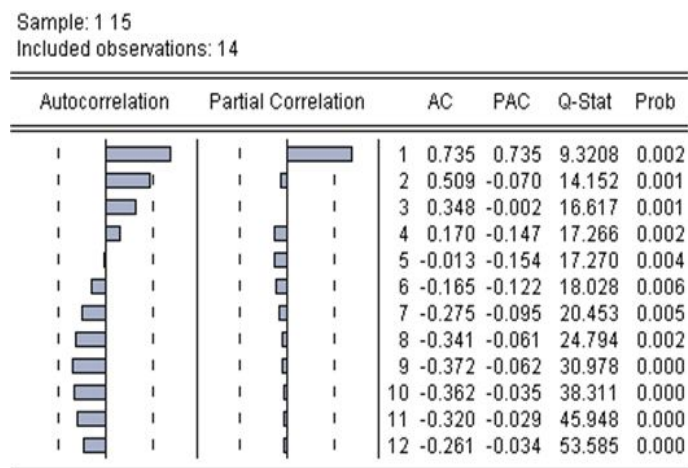


图 11 对数 LOG 序列自相关、偏自相关图

由图 11 可以看出，自相关图呈阻尼正弦波衰减，偏自相关图滞后一节截尾，分别建立序列 AR(1)、MA(1)、ARMA(1,1),并比较三种序列的 AIC 和 SC 值，得表 14：

表 10 AR(1)、MA(1)、ARMA(1,1)模型的 AIC 和 SC 的比较

	AIC	SC
AR(1)	-0.59	-0.51
MA(1)	2.54	2.63
ARMA (1,1)	-0.92	-0.79

由表 10：由于 AIC：2.54>-0.59>-0.92，SC：2.63>-0.51>-0.79，易知 ARMA(1,1)模型较为合理，能更好的对数据进行拟合。同时可以得到模拟 ARMA(1,1)模型表达式：

$$ARMA(1,1): x_t - 5.10 = 0.74(x_{t-1} - 5.10) + \varepsilon_t + 1.00\varepsilon_{t-1}$$

为保证模型的完整性，对序列 ARMA(1,1)进行残差检验（见附图 1），由检验可知，P 检验值大于临界值 0.05，落在不拒绝域内，不能拒绝原假设，即该序列为白噪声序列，即可用该序列表达式对出租车需求量进行预测。

## 二、模型的推广

1. 主成分分析法在日常生活中被广泛应用，经常被用在分析动力学模拟、数学建模、人口统计等方面。

2. 第三打车软件平台是目前基于“互联网+”平台的 O2O 经营模式，因此该软件在市场上具有广泛的应用。

3. 激励机制约束模型——我们本文利用该模型来寻找最优补贴方案，而该模型在其他方面还具有较高应用，特别是可用于公司内部寻找激励员工的策略。

## §7 灵敏度分析

问题一中我们得到了综合评价公式<sup>[7]</sup>为：

$$H = \left| \sum_{j=1}^p a_j y_j - \sum_{i=1}^p b_i y_i \right|$$

其中： $a_j$  为主成分  $y_j$  的信息贡献率，针对  $a$  的不同取值我们运用 Matlab 软件结合上表作图进行灵敏度分析（见程序 2）。

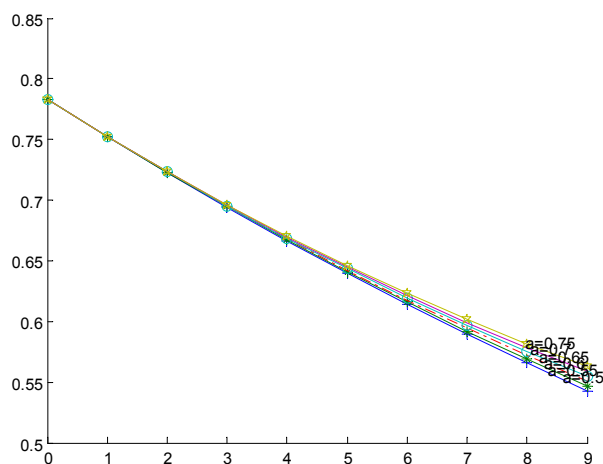


图 12 关于  $\alpha$  对综合匹配度长度灵敏度分析图

由灵敏度分析可知，当出租车的供应量确定下来时，等量的  $\alpha$  值变化引起的综合匹配度变化很小。此时贡献率由  $\alpha = 0.5$  到  $\alpha = 0.75$  变化，贡献率变动 0.2，综合匹配度的变化才为 0.005，这是很小的差距。

故此次灵敏度分析效果较好，即贡献率的细微变动对综合匹配度的影响不大。

## 参考文献

- [1] 陈炼红, 基于 GPS 浮动车采集数据的出租车运行特点研究[D], 同济大学, 2008.
- [2] 朱建平, 应用多元统计分析[M], 北京: 科学出版社, 2012: 93-106.
- [3] 刘仰东, 一种基于车流量的司乘推荐模型[J], 科研信息化技术与应用, 2015, 03: 4-6.
- [4] 王宇, 对城市“打的难”现象的剖析——基于西安市出租车市场供求失衡问题的分析[J], 价格理论与实践, 2011, 11: 15-16.
- [5] 刘耀霞, 出租车行业利益主体关系研究[D], 西南交通大学, 2008.
- [6] 高鸿业, 20 世纪西方微观和宏观经济学的发展[J], 中国人民大学学报, 2000, 01: 4-11.
- [7] 杨桂元, 朱家明. 数学建模竞赛优秀论文评析[M], 合肥: 中国科技大学出版社, 2013, 9.

## 附录

### 程序 1

```
x=[39.922273 39.884625 39.951939 39.994950 39.914524]
y=[116.549815 116.380902 116.332443 116.360101 116.442268 ]
z=[0.0847125 0.128879167 0.1311333330.0458625 0.129308333]
scatter3(x,y,z,88,c)
xlabel('纬度')
ylabel('经度')
zlabel('评价总值')
```

### 程序 2:

```
x=[0:9];
y1=0.0005.*x.^2-0.0312.*x+0.7832
y2=0.00055.*x.^2-0.0312.*x+0.7832
y3=0.0006.*x.^2-0.0312.*x+0.7832
y4=0.00065.*x.^2-0.0312.*x+0.7832
y5=0.0007.*x.^2-0.0312.*x+0.7832
y6=0.00075.*x.^2-0.0312.*x+0.7832
plot(x,y1,'-+',x,y2,'-*',x,y3,'-.',x,y4,'-o',x,y5,'-',x,y6,'-p')
gtext('a=0.75')
gtext('a=0.7')
gtext('a=0.65')
gtext('a=0.6')
gtext('a=0.55')
gtext('a=0.5')
```

附表 1 乘客打车难易程度表:

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h
朝阳路	1	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2
陶然亭	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3
白石桥	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	2
学院路	1	3	3	3	3	2	2	3	1	3	2	1
建国门	2	3	3	1	2	3	2	1	3	2	2	2
	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
朝阳路	1	3	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2
陶然亭	3	2	2	3	2	3	2	3	3	3	3	2
白石桥	2	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3	3
学院路	2	1	3	2	2	2	3	3	2	3	2	2
建国门	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3

附表 2 出租车行驶数量表:

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h
朝阳路	341	119	138	73	136	106	273	142	55	92	225	534
陶然亭	55	155	33	22	46	37	178	151	196	196	83	359
白石桥	139	41	29	44	52	32	49	53	55	82	314	138
学院路	398	217	108	72	83	47	119	156	147	147	709	707
建国门	70	50	116	81	145	78	50	64	77	97	92	113

	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
朝阳路	430	296	86	105	182	109	49	97	64	96	146	328
陶然亭	258	200	299	98	164	61	53	57	62	222	71	146
白石桥	420	140	260	190	141	83	55	207	129	95	92	184
学院路	924	1051	1059	1089	1350	881	412	627	773	1017	530	776
建国门	110	96	84	104	103	61	44	51	73	69	73	187

**附表 3 各地点不同时间下空驶率表:**

	1	2	3	4	5	6	7	8
朝阳路	0.215	0.324	0.237	0.179	0.214	0.185	0.156	0.168
陶然亭	0.178	0.198	0.181	0.176	0.226	0.164	0.146	0.237
白石桥	0.224	0.245	0.199	0.223	0.235	0.185	0.175	0.174
学院路	0.444	0.228	0.192	0.226	0.242	0.302	0.357	0.228
建国门	0.361	0.214	0.238	0.467	0.387	0.223	0.389	0.468
	9	10	11	12	13	14	15	16
朝阳路	0.228	0.154	0.383	0.384	0.463	0.224	0.316	0.167
陶然亭	0.188	0.354	0.294	0.339	0.218	0.374	0.334	0.175
白石桥	0.197	0.469	0.338	0.325	0.358	0.239	0.326	0.395
学院路	0.497	0.175	0.263	0.476	0.365	0.463	0.226	0.365
建国门	0.195	0.369	0.282	0.374	0.359	0.289	0.342	0.216
	17	18	19	20	21	22	23	24
朝阳路	0.307	0.385	0.175	0.196	0.221	0.195	0.158	0.346
陶然亭	0.386	0.165	0.289	0.159	0.217	0.235	0.172	0.337
白石桥	0.246	0.273	0.198	0.236	0.241	0.365	0.191	0.198
学院路	0.281	0.392	0.197	0.246	0.351	0.195	0.298	0.313
建国门	0.297	0.241	0.196	0.285	0.346	0.222	0.246	0.193

**附表 4 供给指标数据标准化表**

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
供给出租车量	2.675	0.934	1.083	0.573	1.067	0.832	2.142	1.114
空间空驶率	4.246	2.051	1.729	1.862	2.627	1.984	2.483	3.503
时间空驶率	2.383	3.592	2.627	1.984	2.372	2.051	1.729	1.862
人口覆盖率	1.671	2.325	1.162	1.308	1.961	2.688	3.414	3.705
	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h
供给出租车量	0.431	0.722	1.765	4.189	3.373	2.322	0.675	0.824
空间空驶率	2.383	2.173	2.527	1.707	4.268	1.940	2.450	2.162
时间空驶率	2.527	1.707	4.246	4.257	5.132	2.483	3.503	1.851
人口覆盖率	2.252	2.107	2.470	3.923	3.414	2.543	2.107	2.470
	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
供给出租车量	1.428	0.855	0.384	0.761	0.502	0.753	1.145	2.573
空间空驶率	1.751	4.257	1.851	3.403	3.592	3.835	2.372	5.132
时间空驶率	3.403	4.268	1.940	2.173	2.450	2.162	1.751	3.835
人口覆盖率	2.034	4.286	3.269	2.107	1.308	0.944	0.799	0.654

附表 5 需求指标数据标准化表

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
打车费用	0.769	0.656	1.140	3.057	4.784	1.157	2.021	2.029
乘客等待时间	0.483	0.919	1.083	2.711	1.217	1.806	0.832	1.485
出租车需求量	0.306	0.536	0.612	0.210	0.459	0.842	2.295	1.587
	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h
打车费用	0.371	0.630	0.846	1.062	2.012	0.492	1.045	0.769
乘客等待时间	2.825	2.500	0.411	0.173	0.178	0.534	1.303	2.020
出租车需求量	0.631	1.549	1.396	4.418	2.142	3.347	0.650	0.612
	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
打车费用	0.328	0.674	0.717	1.157	1.442	0.397	0.786	0.769
乘客等待时间	0.634	0.844	4.131	1.863	2.505	1.892	1.536	0.312
出租车需求量	1.033	1.874	2.314	1.702	1.454	1.014	1.262	0.861

附表 6: 需求量相关系数表

相关系数	出租车需求量	打车费用	乘客等待时间
出租车需求量	1		
打车费用	0.83	1	
乘客等待时间	0.76	0.23	1

附表 7: 供给量相关系数表

相关系数	人口覆盖率	供给出租车量	时空空驶率	空间空驶率
人口覆盖率	1			
供给出租车量	0.65	1		
时空空驶率	0.76	0.84	1	
空间空驶率	0.78	0.71	0.45	1

附表 8 各地点不同时间条件下的等车时间率

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
朝阳路	0.1304	0.2480	0.2923	0.7316	0.3285	0.4875	0.2245	0.4007
陶然亭	1.2053	0.3845	1.9756	3.0475	1.1351	1.9446	0.4541	0.3297
白石桥	0.2569	0.7964	1.3862	0.8153	0.6547	1.3514	0.9329	0.8675
学院路	0.0961	0.3432	0.8189	1.0435	0.8454	1.1963	0.3997	0.4774
建国门	0.2105	0.4972	0.1927	0.1406	0.0948	0.3059	0.2735	0.1776
	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h
朝阳路	0.7624	0.6748	0.1109	0.0466	0.0480	0.1442	0.3518	0.5452
陶然亭	0.3202	0.1701	0.4836	0.0970	0.2098	0.1578	0.1182	0.6880
白石桥	0.7383	0.2080	0.0754	0.1784	0.0532	0.2391	0.0944	0.1066
学院路	0.2324	0.6601	0.0911	0.0505	0.0503	0.0349	0.0709	0.0427
建国门	0.3543	0.1486	0.2051	0.1259	0.1347	0.1918	0.1852	0.2368
	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
朝阳路	0.1711	0.2278	1.1149	0.5028	0.6759	0.5107	0.4144	0.0842
陶然亭	0.1864	1.1724	0.7704	1.3020	0.8771	0.2262	0.9663	0.2398
白石桥	0.2306	0.3531	0.7346	0.1638	0.2573	0.2307	0.4553	0.2196

学院路	0.0448	0.0492	0.2092	0.1101	0.0626	0.0856	0.1075	0.0699
建国门	0.1739	0.3619	0.6169	0.3660	0.2106	0.3473	0.2962	0.1474

附表 9 主要指标评价表

	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h
朝阳路	0.0293	0.084	0.0704	0.0366	0.0735	0.0725	0.137	0.0943
陶然亭	0.1818	0.0645	0.0662	0.0562	0.2174	0.303	0.4545	0.2703
白石桥	0.0719	0.2439	0.1887	0.2041	0.1923	0.3448	0.2273	0.3125
学院路	0.0251	0.0461	0.0641	0.084	0.1205	0.0926	0.1389	0.2128
建国门	0.1429	0.2	0.1563	0.2	0.069	0.0862	0.1235	0.1282
	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h
朝阳路	0.1818	0.1087	0.0444	0.0187	0.0685	0.0338	0.1163	0.0952
陶然亭	0.051	0.051	0.1205	0.0279	0.1408	0.05	0.0334	0.102
白石桥	0.1818	0.122	0.0318	0.0725	0.1087	0.0714	0.0385	0.0526
学院路	0.068	0.068	0.0141	0.0141	0.0189	0.0095	0.0094	0.0092
建国门	0.1299	0.1031	0.1087	0.0885	0.137	0.1042	0.119	0.0962
	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h
朝阳路	0.0549	0.0917	0.2041	0.1031	0.1563	0.1042	0.0233	0.0305
陶然亭	0.061	0.1639	0.1887	0.1754	0.1613	0.045	0.0388	0.0685
白石桥	0.0709	0.1205	0.1818	0.0483	0.0775	0.1053	0.0238	0.0543
学院路	0.0074	0.0114	0.0243	0.0159	0.0129	0.0098	0.0108	0.0129
建国门	0.0971	0.1639	0.2273	0.1961	0.137	0.1449	0.0909	0.0535

附表 10 打的和滴滴快车补贴方案

日期	乘客补贴	司机补贴	日期	乘客补贴	司机补贴
2014.01.20	返 10 元	奖 10 元	2014.03.22	返 3-5 元	无
2014.02.17	返 11 元	返 5-11 元	2014.05.17	补贴“归 0”	降为 2 元
2014.02.18	返 13 元	无	2014.07.09	无	无
2014.03.04	返 10 元	补贴不变	滴滴、快的两大大车软件		
2014.03.05	补 5 元	无	2014.08.09	再出新规，全面取消司机端现金补贴	
日期	乘客补贴	司机补贴	日期	乘客补贴	司机补贴
2014.01.10	返 10 元	奖 10 元	2014.03.23	返 3-5 元	无
2014.02.17	返 10-15 元	新司机首单奖 50 元	2014.05.17	补贴“归 0”	无
2014.02.18	返 12-20 元	无	2014.07.09	返 2 元	无
2014.03.07	返 6-15 元	补贴不变	2014.08.12	滴滴打车取消对司机接单的常规补贴	

























附图 1 残差白噪声检验



Sample: 3 15

Included observations: 13

Q-statistic probabilities adjusted for 2 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.178	0.178	0.5170	
		2	-0.356	-0.401	2.7672	
		3	-0.146	0.018	3.1822	0.074
		4	-0.094	-0.251	3.3741	0.185
		5	0.032	0.075	3.3990	0.334
		6	-0.099	-0.328	3.6695	0.453
		7	-0.128	-0.014	4.2010	0.521
		8	0.073	-0.123	4.4107	0.621
		9	0.029	-0.080	4.4511	0.727
		10	-0.003	-0.089	4.4517	0.814
		11	0.026	-0.044	4.5192	0.874
		12	-0.013	-0.088	4.5526	0.919