

机场出租车问题的研究

摘要

针对如何帮助送客到达机场的出租车司机和机场管理部门做出科学决策，我们以回归分析、随机仿真、迭代优化为理论基础建立了完整的数学模型。

针对问题一，为了综合考虑乘客数量和收益的影响，建立选择决策模型，并给出选择策略。由分析可知，乘客数量、抵达航班数、“蓄车池”车辆数会对排队等待时间产生影响，天气、季节、时间段会对乘客数量以及司机收益产生影响，又因为排队等待时间和失去的隐藏收益具有很强的关联性。因此可以用司机前往到达区排队和返回市区拉客相比能否产生净收益来做为选择策略。为此选取以上指标，建立以衡量净收益值 β 的大小来做出选择的数学模型。

针对问题二，我们通过网络途径收集到了成都市双流机场 2014 年航班数据以及成都市出租车一年 GPS 数据，并使用 GPS 数据计算轨迹筛选出和机场相关数据，结合日期对应的其他因素，用历史数据进行回归分析，从而得出了关于排队等待时间、单位时间拉客收益、机场乘客数量等的准确函数表达式。继续使用问题一的选择决策模型，随机抽取 20 条数据示例并给出选择方案，发现选择方案对“蓄车池”里已有的车辆数依赖度最大，其余相关因素依赖性见正文。最后对模型进行灵敏度检验，发现模型稳定性较好。

针对问题三，要求在两并行车道的情况下设置“上车点”，并合理安排出租车和乘客以保证安全且乘车效率最高。在解决问题之初进行猜想，采取了设置在靠近乘客的 A 以及车道另一侧的 B 共两个“上车点”的方案，并允许部分乘客可以穿越车道去往 B 上车。其中，加入了保证车与车以及车与人的安全距离、横穿马路时截断的车辆数等条件，并使用查明的车速等一系列真实数据。对左右车辆数分布及乘客数量走向等情况进行了 100000 次蒙特卡罗模拟。发现一批出租车满载离开乘车区所费时间能很好的反映乘车效率。最终得出了花费时间为 858.38s 的最佳出租车和乘客安排方案。最后通过增加模拟次数发现结果并未发生改变，这说明该模型的稳定性较好。

针对问题四，希望制定某一方案使得全体司机的收益更均衡。考虑到收益越均衡，收益方差越低。因此我们允许净收益低于某一阈值的司机可以进入绿色通道，即不需付出排队成本，再次接客以高效提升总净收益，使得每个司机花掉一次排队的成本得来的净收益不会太低，并且如果司机使用一次绿色通道后得到的总净收益仍然较低，那么机场允许他多次使用绿色通道，直到他的总净收益达到该阈值为止。为寻找到整体收益方差最小的净收益阈值，我们使用迭代寻优算法，得出总净收益小于 23 元，即对应有效总里程数小于 7.89km 时视为短载。初始整体收益方差为 32.04，实行这一方案后的整体收益方差 12.72。司机总收益的方差减少了 60.30%，方差有显著的降低。最后，对模型进行了检验，发现模型稳定性较好。

最后，我们对模型进行了推广与评价，并给出了改进方案。

关键词：回归分析 随机仿真 迭代寻优 目标规划

1 问题重述

现代社会，飞机已经成为了人们出行的重要交通工具。在乘坐飞机的大多数乘客中，下飞机后去市区或其它地区等目的地，乘坐出租车是可选择的重要方式之一。在国内大多数机场中，送客通道与接客通道是分开的。将乘客送到机场后，出租车司机都要面临着两个选择。一是前往到达排队区等待载客，带乘客返回市区。二是直接放空返回市区拉客。

在等待载客过程中，出租车必须到指定的“蓄车池”排队等候，按“先来后到”的原则排队进场载客，等待时间长短取决于排队出租车和乘客数量的多少，需要付出一定的时间成本。在直接放空返回市区的情况下，出租车司机会损失可能潜在的载客收益并付出空载费用。

司机到达机场后，某段时间段抵达的航班数量和“蓄车池”里已经有的出租车数目是司机可以观测到的确定信息。司机对两个选择的决策通常与司机的个人经验有关，比如司机会考虑在某个季节与某个时间段抵达的航班数量，可能的乘客数量等情况。如果乘客在下飞机后想要“打车”，就需要到指定的“乘车区”排队，按先后顺序乘车。机场有相关管理人员负责将等候排队的出租车按“分批定量”原则放行，让其进入“乘车区”，同时安排一定量的乘客乘坐出租车。在实际生活中，还有很多影响出租车司机进行决策的确定与不确定因素，其关联关系各不相同，影响效果也各不相同。

在上述已知条件下，建立数学模型，研究下列问题。

问题 1 考虑机场乘客数量的变化规律和出租车司机的收益，分析研究影响出租车司机做决定的影响机理，建立出租车司机的选择策略模型，帮助司机进行策略的选择，给出不同条件下的司机的选择策略。

问题 2 自行收集国内某一机场的相关数据，带入问题一模型，给出该机场出租车司机的选择策略方案，并分析模型的合理性和相对因素的依赖性。

问题 3 在某些时候，会出现乘客排队候车与出租车排队载客的两种情况。某机场的“乘车区”现有两条并行车道，管理部门要如何设置“上车点”的位置，合理安排出租车和乘客，在保证所有车辆和乘客安全的前提下，使得总的乘车效率最高。

问题 4 已知机场的出租车载客收益与乘客行驶的里程有关，乘客的目的地有远有近，出租车司机不能选择要载的乘客和拒载乘客，但是可以多次往返载客。管理部门打算对那些短途载客并再次返回的出租车给予一定的“优先权”，使得所有在机场的出租车的收益尽量均衡，请给出一个可行的“优先”安排方案。

2 模型的假设

假设 1: 假设司机只要去“蓄车池”排队等候，就一定能够等到乘客。

说明 1: 保证能接到乘客后，在机场的过程仅需考虑排队等候时间。

假设 2: 假设出租车返回市区的路线相同。

说明 2: 路线相同比较容易计算返回的成本。

假设 3: 假设在任一时间段内不存在天气变化。

说明 3: 模型中考虑的一时间段内仅对应唯一一种天气。

假设 4: 假设所有航班规格一致。

说明 4: 航班规格一致，乘客数量比较容易使用航班数量化。

3 主要符号说明

符号	说明
β	决策阈值
A_i	决策收益
B_i	机会成本
C_i	决策回报
x_i	决策指标
t_1	排队时长
t_2	返回市区时长
s	单位时间收益
L	机场与市区的距离
N	乘坐出租车的乘客数目

4 模型的建立与求解

4.1 问题一

4.1.1 问题一的分析

在问题一中，要求分析研究影响出租车司机作决策的影响机理，综合考虑机场乘客数量和出租车司机的收益两方面，建立出租车司机的决策选择模型，并给出自己的选择策略。首先，影响着司机做决策的核心应是司机的收益，司机必然会选择等待载客与空载回城这两个选择中带给他收益更大的一个。而影响司机收益的因素是多种多样的，因此我们首先建立影响司机收入的各种因素指标体系。指标应与当时的自然条件，已抵达的航班数量，愿意乘坐出租车的乘客数目等多种因素有关。其次，在司机做决策的过程中，必然面临着一定的风险。选择返回市区载客必然需要付出空载费用与可能损失潜在的载客收益等；选择前往排队区则可能要付出一定的时间成本。由于不同状况下“蓄车池”里排队的车数是不一样的，等待坐车的乘客数目也是不一样的，因此时间成本在不同条件下是不一样的，这与当时的各种指标值具有相关联系。最后，我们视决策收益与决策风险的差为决策带来的回报，司机在做决策的过程中必然会有对两种决策带给他的回报的比较，因此我们打算建立两种不同选择下司机的回报比较，对不同状况下司机的两种决策回报做差，令差值成为一个阈值，比较阈值与 0 的大小，当阈值大于 0 则选择决策 A，排队等待；当阈值小于 0，则选择决策 B，空载返回市区。

4.1.2 问题一决策模型的建立

(一)决策指标的选取

影响司机做决策的因素是多种多样的，为了叙述方便，我们将这些影响因素统称为决策指标。司机的决策指标应与多方面因素有关，当时的自然状况，交通状况，乘客人数等。因此决策指标的建立是一个重要的过程，我们通过查阅资料与审视实际生活情况，将司机可以观测到的确定信息：某时间段抵达的航班数量和“蓄车池”里已有的车辆数，作为两个决策指标，同时又添加了当时的季节、天气、司机所处当日的时间段为 3 个决策指标。共选取了 5 个决策指标，详细选

取理由与具体说明如下：

(1) x_1 ：某时间段抵达的航班数量

某时间段抵达的航班数量是司机可以观测的确定信息，它与愿意去乘坐出租车的乘客人数密切相关。不考虑特殊情况，在其它决策指标相同的前提下，某时间段内，已抵达的航班数量基数大，去乘坐出租车的人数必然比抵达航班数量少的情情况要多。因此它深刻影响着司机的决策，我们将其作为决策指标之一。

(2) x_2 ：“蓄车池”里已有的车辆数

“蓄车池”里已有的车辆数同某时间段抵达的航班数量一样，是司机可以观测的到确定信息，它与司机去“蓄车池”的排队意向密切相关。不考虑特殊情况，在其他决策指标相同的情况下，“蓄车池”里已有的车辆数越多，则司机等待时间就越长，等待时间成本就越高，司机选择去排队载客的意向就越低。因此它深刻影响着司机的决策，我们将其作为决策指标之一。

(3) x_3 ：季节

季节也是影响着司机进行决策的一个重要因素，在冬季由于天气寒冷、昼短夜长，大多数旅客可能会选择直接乘坐出租车快速离开机场，从而提高了乘坐出租车的可能性，在夏季则会相反。因此季节因素深刻影响着司机的决策，我们将其作为决策指标之一。

(4) x_4 ：天气

天气也是影响着司机进行决策的一个重要因素，实际情况表明，在不考虑特殊情况，其他指标相同，在天气状况较差时，如阴雨天气、雨雪天气等，机场乘客愿意乘坐出租车的意向更为强烈，选择出租车离场的人也更加的。而在晴天等优良天气，选择出租车的乘客数量小于雨雪天气时的乘客数量。因此它深刻影响着司机的决策，我们将天气因素分为“优、良、差”三个层次，将其作为决策指标之一。

(5) x_5 ：司机抵达机场所处时间段

我们将一天时间从 0 点开始以每 2 个小时为一个时间段，划分为 12 个时间段，实际情况表明，处于晚上与早晨的时间段内，可能乘坐出租车的乘客数量越多，因此此时没有公交车或机场大巴与出租车进行顾客的争抢。出租车抵达机场的时间段是一个重要的因素，它影响着乘客的数量。因此它深刻影响着司机的决策，我们将其作为决策指标之一。

(二)机会成本、决策收益与决策回报

在假设司机只要去排队等待就一定能接到乘客的前提下，司机对两种决策作出选择时，必然要对两种决策带给自己的收益与风险进行衡量。若司机选择空载回城，则势必要考虑空载回城的成本，如油费与时间成本等，但司机就可能提前回城接到了乘客。若司机选择在机场等待接客，就可能要付出一定的等待时间成本，但只要排队等待就一定可以获得载客机会。两种决策都有着各自的决策风险与决策收益，司机往往也会选择对自己收益较大而风险较小的一种决策。我们将面临的决策的风险转化为决策的机会成本，做出决策便承担了决策的风险，相当

于付出了决策的机会成本。以决策收益与机会成本的差为决策回报，令 C_i 作为第 i 种决策回报， A_i 作为第 i 种决策收益， B_i 作为第 i 种决策的机会成本，其中， $i = 1, 2$ ，以等候载客为 $i=1$ 的决策，以空载回城为 $i=2$ 的决策，有：

$$C_i = A_i - B_i, i = 1, 2$$

我们以 b_{i1} 作为司机在机场等待的时间成本， b_{i2} 为司机空载回城的油费， b_{i3} 为司机回城可能损失的潜在收益， t_1 为司机在机场的等待时长， t_2 为司机的回城时长。为了统一反映不同情况与不同选择下的决策回报，我们以 s 为单位时间内的收益，称为单位时间收益，其值在不同决策中会随着决策指标的不同而不同。

(1) 机会成本

决策风险也就是我们提及的机会成本，我们将决策带来的风险大小转换为做出决策所承担的机会成本，以此计算，就可以用收益来统一度量衡，达到决策收益与决策所承担的决策风险具有可比性的目的。

a) 司机选择等待载客

在司机选择等待载客的情况下，司机需要付出时间成本，等待排队。令 N 为愿意当时时间段里选择乘坐出租车离开机场的乘客数目，则司机的排队等待时间 t_1 必然与愿意乘坐出租车的乘客数目 N 和当前“蓄车池”里的排对车辆数目 x_2 具有某种关系 f ，记为：

$$t_1 = f(N, x_2)$$

对于当时时间段内愿意乘坐出租车的乘客数目 N 来说，其必然与当时时间段内抵达的航班数目 x_1 有着一定的正比关系，记为：

$$N = \alpha \cdot x_1$$

其中，比例系数 α 则会与当时的季节 x_3 、天气 x_4 、时间段 x_5 有着某种密不可分的联系，记为：

$$\alpha = g(x_3, x_4, x_5)$$

司机付出的等待时间 t_1 的长短就是司机承担选择等待载客的风险大小，此时我们将时间转换为成本，让其与决策收益具有可比性，变为机会成本含义的经济问题，因此有：

$$B_1 = s \cdot t_1$$

其中， B_1 为选择等待载客的机会成本， s 为单位时间收益，与当时的季节 x_3 、天气 x_4 、时间段 x_5 等环境密切相关，有：

$$s = h(x_3, x_4, x_5)$$

注： f, g, h 在第二问中依据数据的不同进行具体的求解

b) 司机选择空载回城

设司机选择空载回城的时间为 t_2 ，空载费用即出租车空载所费油费为 b_2 ，可能损失的潜在乘客收益为 b_3 ，则有 $b_3 = t_2 \cdot s$ ， s 为单位时间载客收益，因此有机会成本：

$$B_2 = t_2 \cdot s + b_2$$

对于回城空载费用 b_2 ，对于一个城市来说，出租车选择的回城入口点不一样必然会导致出租车从机场回市走的公里数不一致，但这样就造成了问题计算的困难，不一样的入口点具有不一样的 b_2 ，但从实际模型的合理性出发，因油费 b_2 的偏差对机会成本 B_2 具有大的影响的可能微乎其微，因为不同城市回城入口的距离并不

会具有太大差异，因此我们假设回城空载成本 b_2 为一个定值。 B_2 只受回城时间 t_2 与当时情况下的单位时间收益 s 的影响。

$$B_2 = t_2 \cdot h(x_3, x_4, x_5) + b_2$$

(2) 决策收益

在决策收益方面，即司机在“蓄车池”排队等待乘客，拉载乘客回市区得到收益，而对于空载回市的出租车来说，在市里拉载乘客也会具有收益，提前回市里不选择等待可以获得市内乘客的收益。因为出租车回到市区耗费的时间是相同的，因此，选择提前返回市区的司机，在市区内的载客时间就是相同条件下，在机场排队等待的出租车的排队等候时间，因此，在选择机场等待的司机的决策收益为：

$$A_1 = t_2 \cdot s$$

选择空载回城的司机决策收益为

$$A_2 = t_1 \cdot s$$

(3) 决策回报

对于两种方案来说，选择等待排队的决策回报 C_1 为：

$$C_1 = A_1 - B_1 = [t_2 - f(x_1 \cdot g(x_3, x_4, x_5), x_2)] \cdot h(x_3, x_4, x_5)$$

选择空载回城的决策回报 C_2 为：

$$C_2 = A_2 - B_2 = [f(x_1 \cdot g(x_3, x_4, x_5), x_2) - t_2] \cdot h(x_3, x_4, x_5) + b_2$$

所以模型为

$$\max\{C_1, C_2\}$$

出租车司机根据当时的决策指标，对两种决策回报进行预算，选决策回报中较大的策略。

令 $\beta = C_1 - C_2$ ，其含义为决策阈值。若 $\beta > 0$ ，则选择方案 A，在机场等待载客。若 $\beta < 0$ ，则选择方案 B，选择空载返回。

(三)模型的综述

总结上述文章，可知模型最终转换为司机根据当时所处时间与空间的 5 个决策指标，对两种选择方案的决策回报行预估，选择决策回报大一个方案。最终的决策阈值 β 为两种方案的决策回报的差， $\beta = C_1 - C_2$ ，若 $\beta \geq 0$ ，则选择排队等候；若 $\beta \leq 0$ ，则选择排空载返回。；

$$\beta = C_1 - C_2 = 2 \cdot [t_2 - f(x_1 \cdot g(x_3, x_4, x_5), x_2)] \cdot h(x_3, x_4, x_5) - b_2$$

4.2 问题二

4.2.1 问题二的分析

问题二要求收集某一机场及其所在城市出租车的相关数据，给出该机场的选择方案，并分析模型的合理性与对相关因素的依赖性。因此，需要搜集相关数据并对数据进行数据分析，按照问题一所得模型，用数据去计算不同决策的决策回报，求解决策阈值，给出在不同数据下司机的选择方案，并对模型进行合理性检验。至于分析模型对相关因素的依赖性，则考虑做不同决策指标对决策的重要性评估，按重要程度对决策指标进行排序

4.2.2 数据搜集与数据处理

我们按问题一的 5 个决策指标，搜集了成都双流机场与成都市出租车的相关数据，搜集了在不同季节与不同天气不同时间段下的 5 个决策指标的具体数据，具体实例如下：

表 1 数据表

季节	天气	时间段	航班数	等待出租车数
夏天	晴天	10 点	39	18
冬天	阴天	9 点	12	14
春天	雨天	16 点	16	10
夏天	阴天	17 点	29	13
春天	晴天	13 点	28	51
春天	晴天	9 点	12	12
春天	雨天	14 点	32	25
夏天	阴天	23 点	46	10
冬天	阴天	12 点	35	85
冬天	阴天	8 点	10	15
夏天	晴天	11 点	12	37
冬天	雨天	9 点	13	12
春天	晴天	16 点	16	10
冬天	晴天	13 点	27	51
春天	阴天	7 点	14	18
秋天	阴天	19 点	25	26
夏天	雨天	16 点	17	9
秋天	晴天	10 点	38	19
秋天	雨天	13 点	27	51
冬天	雨天	8 点	8	14

*此处列举随机抽取的 20 行数据

对于成都市出租车相关数据，我们搜集了机场到市区的大致里程数、成都市出租车的平均每公里油价、成都市出租车的平均车速等数据。了解到机场到市区的里程 L 约为 13 公里，出租车每公里油价 $YouJia$ 约为 0.6 元每公里，出租车的平均车速 v 约为 22.5 千米每小时。对不同时间段内的候车数、抵达的航班数、以及不同时间段内平均收益作出数理统计图，如下：

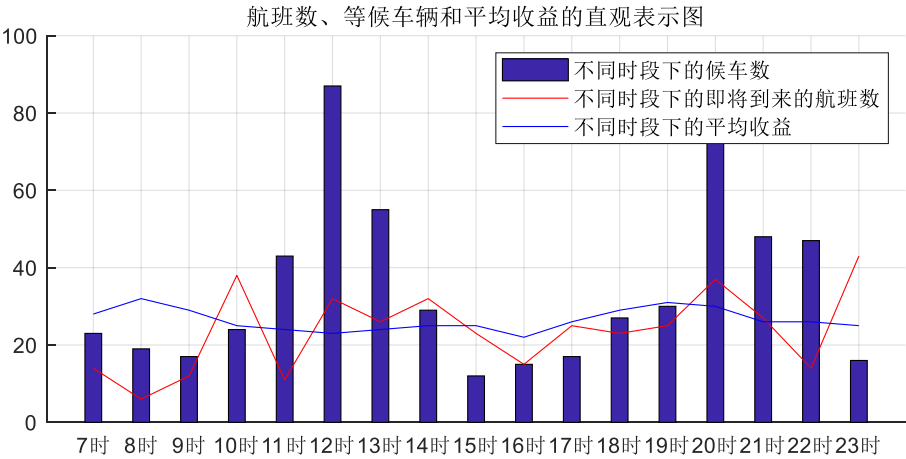


图 1 数据统计图

4.2.3 出租车司机选择方案的求解

基于问题一模型，我们对出租车司机的决策进行求解，首先需要计算出两个决策方案的决策回报，再用两个决策回报求出决策阈值 β ，让决策阈值 β 与 0 进行对比，若大于 0 则选择方案 A，排队等候；小于 0 则选择方案 B，空载回城。具体求解过程如下。

（一） 求解方案算法：

Step1: 计算潜在乘客数 $N = \alpha \cdot x_1$ 的比例系数， $\alpha = g(x_3, x_4, x_5)$ 的回归方程，得出愿意乘坐出租车的乘客数 N 。

Step2: 计算司机的预计排队时间 $t_1 = f(N, x_2)$ ，以及单位时间收益 $s = h(x_3, x_4, x_5)$ 的回归方程

Step3: 计算方案 A 排队等候的机会成本 $B_1 = s \cdot t_1$ ，以及出租车空载回城所需要的时间 $t_2 = \frac{L}{v}$ 。

Step4: 计算汽车回城所需要的油费 $b_2 = YouJia \cdot L$ ，方案 B 空载回城的机会成本 $B_2 = t_2 \cdot s + b_2$ 。

Step5: 计算决策收益 A_1, A_2 ，计算决策回报 C_1, C_2 ，计算决策阈值 $\beta = C_1 - C_2$ ，并与 0 进行比较， β 大于 0 则选择方案 A，等待排队， β 小于 0 则选择方案 B，空载回城。

（二） f, g, h 的求解

我们基于问题一的模型，为了求解决策阈值，首先要求解三个回归方程，分别是： $N = g(x_3, x_4, x_5) \cdot x_1$ ； $t_1 = f(N, x_2)$ ； $s = h(x_3, x_4, x_5)$ 。我们将相关数据代入，对曲线进行拟合，分别得到他们的最适回归方程为

（1） 求解 $N = g(x_3, x_4, x_5) \cdot x_1$

对机场的中愿意乘坐出租车的乘客人数回归方程进行非线性拟合，得出其的比例系数的拟合方程为

$$g(x_3, x_4, x_5) = 50 - 1.52x_3 + 0.76x_4 - 4.3x_5$$

对其进行参数回归检验，得到的检验参数为：

表 2 检验参数表

检验参数	R^2	F	P	S^2
值	0.938	59637000	0	19.854

其拟合优度达到了 93.8%，并且 p 值为 0， $p < 0.05$ ，故我们认为回归方程拟合较好，所以有：

$$N = (350 - 1.52x_3 + 0.76x_4 - 4.3x_5) \cdot x_1$$

（2） 求解 $t_1 = f(N, x_2)$

对机场中出租车司机的排队等候时间的回归方程进行线性与非线性拟合，得出其的比例系数的拟合方程为

$$t_1 = 8.05 + 0.91N + 0.02x_2$$

对其进行参数回归检验，得到的检验参数为：

表 3 检验参数表

检验参数	R^2	F	p	S^2
值	0.959	66171000	0	20.092

其拟合优度达到了 95.9%，并且 p 值为 0， $p < 0.05$ ，故我们认为回归方程拟合较好，回归方程正确。

(3) 求解 $s = h(x_3, x_4, x_5)$

对机场中出租车司机的排队等候时间的回归方程进行线性与非线性拟合，得出其的比例系数的拟合方程为

$$s = 12.85 + 0.28e^{0.36x_3} + 0.76e^{1.34x_4} + 0.29e^{0.01x_5}$$

对其进行参数回归检验，得到的检验参数为：

表 4 检验参数表

检验参数	R^2	F	p	S^2
值	0.907	50260000	0	19.776

其拟合优度达到了 90.7%，并且 p 值为 0， $p < 0.05$ ，故我们认为回归方程拟合较好，回归方程正确。

(三) 决策阈值计算的计算

由第一问模型可知，

$$\beta = C_1 - C_2 = 2 \cdot [t_2 - f(x_1 \cdot g(x_3, x_4, x_5), x_2)] \cdot h(x_3, x_4, x_5) - b_2$$

因此，可以将上文求解得到的 f, g, h 与 β 进行联立，求解 β 的值

综合模型为：

$$\begin{cases} g(x_3, x_4, x_5) = 50 - 1.52x_3 + 0.76x_4 - 4.3x_5 \\ f(N, x_2) = 8.05 + 0.91N + 0.02x_2 \\ h(x_3, x_4, x_5) = 12.85 + 0.28e^{0.36x_3} + 0.76e^{1.34x_4} + 0.29e^{0.01x_5} \\ \beta = 2 \cdot [t_2 - f(x_1 \cdot g(x_3, x_4, x_5), x_2)] \cdot h(x_3, x_4, x_5) - b_2 \end{cases}$$

(四) 结果的展示

对上文随机抽取的 20 行数据进行决策阈值 β 的求解，若 $\beta > 0$ ，则选择排队候车，若 $\beta < 0$ ，则选择空载回城。具体求解结果如下：

表 5 结果展示表

季节	天气	时间段	航班数	等待出租车数	决策阈值	最终决策
夏天	晴天	10 点	39	18	11.99	排队候车
冬天	阴天	9 点	12	14	15.05	排队候车
春天	雨天	16 点	16	10	14.65	排队候车
夏天	阴天	17 点	29	13	13.44	排队候车
春天	晴天	13 点	28	51	-1.03	空载返回
春天	晴天	9 点	12	12	15.76	排队候车
春天	雨天	14 点	32	25	9.21	排队候车
夏天	阴天	23 点	46	10	14.64	排队候车
冬天	阴天	12 点	35	85	-12.77	空载返回
冬天	阴天	8 点	10	15	14.81	排队候车

表 5 结果展示表（续）

夏天	晴天	11 点	12	37	4.76	排队候车
冬天	雨天	9 点	13	12	15.5	排队候车
春天	晴天	16 点	16	10	14.37	排队候车
冬天	晴天	13 点	27	51	-1.69	空载返回
春天	阴天	7 点	14	18	12.76	排队候车
秋天	阴天	19 点	25	26	9.07	排队候车
夏天	雨天	16 点	17	9	15.01	排队候车
秋天	晴天	10 点	38	19	11.73	排队候车
秋天	雨天	13 点	27	51	-1.69	空载返回
冬天	雨天	8 点	8	14	14.88	排队候车

（五）相关因素依赖性的分析

我们随机抽取四个样本，以每个样本的每种决策指标对决策回报的影响程度绘制柱形图绘制统计图如下：

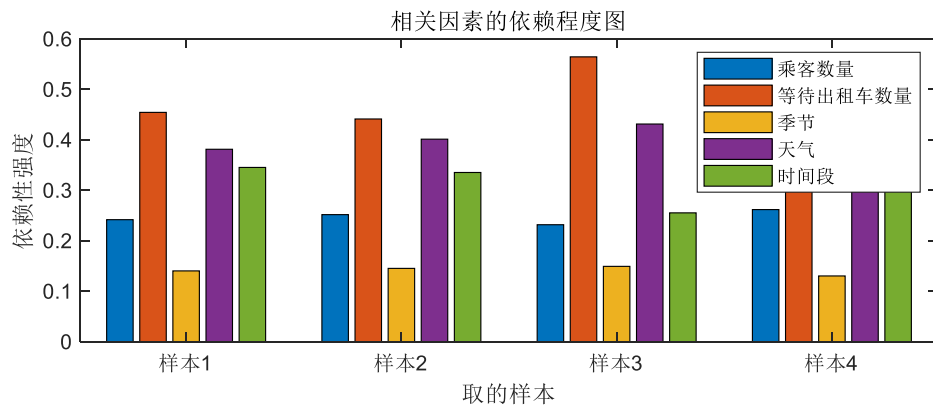


图 2 依赖程度柱形图

由图可以直观看出来，经对不同样本间的比较，可以得出，“蓄车池”里排队等待的出租车数目是出租车司机做决定时考虑的最大因素，决策对其的依赖性最强。之后，对天气因素的依赖性次之，对时间段的依赖性为第三，对乘客数量的依赖性为第四，对季节的依赖性最差。

（六）模型的检验

随机将 $h(x_3, x_4, x_5) = 12.85 + 0.28e^{0.36x_3} + 0.76e^{1.34x_4} + 0.29e^{0.01x_5}$ 的参数 0.76 上调百分之 5 或下降百分之 5，以某条数据为例， β 值的变化为：

表 6 灵敏度分析表

改变方式	参数改变幅度	阈值
提高	5%	12.03
无	0	11.99
降低	5%	11.87

4.3 问题三

4.3.1 问题的分析

在机场“乘车区”有两条并行车道的，管理部门可以在并行车道的两端设置

“上车点”，对出租车采取分批定量放行的原则让其进入乘车区，并且一次放行一定量的乘客上车。本问询问如何合理安排出租车和乘客，可以在保证车辆和乘客安全的条件下，使得乘车效率最高。首先，在设立乘车点的位置应该可以是并行车道两边的任意位置，设置的乘车点的数量也是任意的。为了保证车辆和乘客的安全，车辆与车辆间必须保持一定的安全车距，两个上车点之间也应保持一定的沿着车道方向的竖直距离。使得总的乘车效率最高就是令该批次的所有乘客的都上车的时长最短。因此，我们以一批次内所有乘客都上了车所需要的时间为目标函数，建立单目标多约束条件的优化模型。

4.3.2 模型的建立

（一）双车道“乘车区”相关定义说明

我们对双车道“乘车区”具体指标与相关合理假设进行了一套相关的定义，并在此进行说明。我们的双车道模型布局图如下所示。

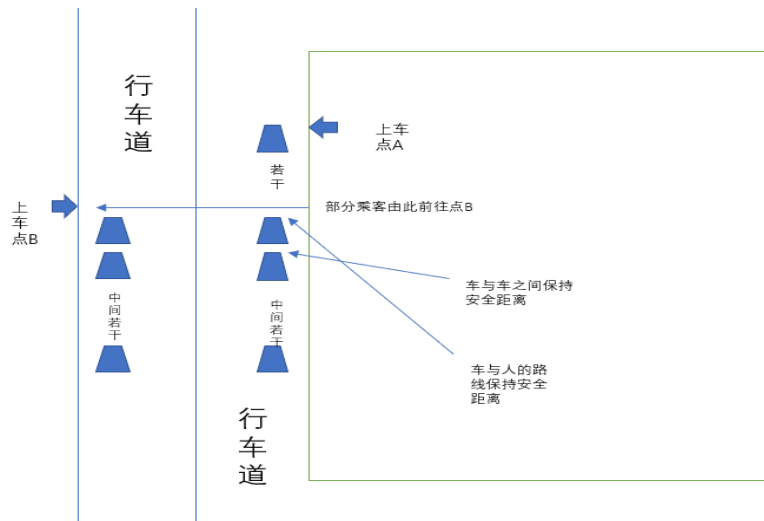


图 3 双车道情况展示图

如图所示，乘客从机场出站口出来后，被管理员按一定批次放入乘车区，假设其来的方向都处于行车道的右侧区域。由于行车道是一个双车道，因此为了叙述方便，我们将两个车道分别命名为左车道和右车道。为了避免乘车区内交通的混乱，我们选择在双车道的两边各自只设立一个上车点。乘客来的方向为右车道的右侧。由于本问是双车道双上车点模型，因此用行车道右侧来的乘客一部分将要过公路去左侧车道进行乘车，因此会有一个过公路的时间。在该时间内，处于行人过公路队伍后面的车是不能对前车进行补位的。因此行人过公路的队伍也就将右侧车辆分为了两部分，我们称之为右侧前段车辆与右侧后段车辆。

（二）决策变量

设机场管理员一次放行的出租车数目为 M 个，其分布在并行车道的两边。派往左车道停车的出租车数目为 m_1 个；派往右车道停车的出租车数目为 m_2 个；右侧前段车辆的个数为 w_1 ；右侧后段车辆的个数为 w_2 ；为了保证乘客与司机的安全，两个上车点在沿公路方向上必然有一个竖直安全距离 d ；出租车的长度为 L_1 ；马路的宽度为 L_2 ；两车之间的安全距离为 s_1 ；车与人之间的安全距离为 s_2 ；单个

乘客上车的时间为 t_1 ；同一批次被安排上车的乘客总数为 N ，其中 x 人在右车道上车， y 人去左车道上车。乘客过马路所需时间为 t_2 。在两个上车点上，车辆载到乘客后立即离开上车点，右面的车对前车进行补位，车的补位速度为 v_1 ，前后车的补位时间为 t_3 。左车道车辆的补位时间为 t_4 ，右车道前方的补位时间为 t_5 ，右车道后方的补位时间为 t_6 ；设左侧车道耗费的总时长为 T_1 ；右侧车道耗费的总时长为 T_2 ；其中右侧车道前半部分耗费的总收益为 T_{21} ；右侧车道后半部分耗费的总时长为 T_{22}

（三）目标函数

令 T 为这一批次车都没载客到都搭载乘上乘客所耗费时间，则 T 的最小值就是两侧车道都上完乘客中较大的一个，即：

$$\min T = \max\{T_1, T_2\}$$

T 的值越小，则总的乘车效率越高。

（四）约束条件

（1）出租车数目的约束

按照题意，管理员按照分批定量原则一次放行一定数目的出租车进入“乘车区”，因此在“乘车区”内出租车的总数目是固定的。有：

$$\begin{cases} M = m_1 + m_2 \\ m_2 = w_1 + w_2 \end{cases}$$

（2）乘客数目的约束

按照题意，管理人员一次安排一定数量的人员进行上车，因此有：

$$N = x + y$$

（3）行人从公路右侧过公路去左侧候车点的时间约束

我们假设选择过公路去乘车的 y 人是一起过公路的，因此过公路的时间 t_2 与过公路的人数 y 有着密不可分不关系。一个人的步行速度大约是 1m/s ，在排队过马路的过程中，一个人所占队伍的长度大约是 0.5m ，因此有：

$$t_2 = \frac{0.5y}{1}$$

（4）车补位时间约束

在不考虑具体的车的位置，前车走了后车对前车进行补位的补位时间为：

$$t_3 = \frac{s_1 + L_1}{v_1}$$

（5）左侧车车道的车补位时间约束

在左侧车道，由于不会有乘客插在车辆队伍中间阻碍车辆进行补位的情况，因此左侧车辆的车补位时间为：

$$t_4 = t_3 \cdot \frac{m_1(m_1 - 1)}{2}$$

（6）右侧车道前段车补位时间约束

在右侧车道前段区域，因不用考虑乘客过公路去另一边乘车点的情况，因此，右侧车道前段车辆的补位时间为：

$$t_5 = t_3 \cdot \frac{w_1(w_1 - 1)}{2}$$

(7) 右侧车道后段车补位时间约束

在右侧车道后段区域，需要考虑乘客过公路去另一边乘车点的情况，因此，右侧车道前段车辆的补位时间为：

$$t_6 = \frac{w_2(w_2 - 1)}{2} t_3 + w_2 \frac{2s_2 - s_1}{v_1}$$

(8) 左侧上车耗费总时间约束

左侧出租车从都没载客到全部载客所需要耗费的总时间为：

$$T_1 = m_1 t_1 + t_4 + t_2$$

(9) 右侧前段上车耗费总时间约束

右侧前段出租车从都没载客到全部载客所需要耗费的总时间为：

$$T_{21} = w_1 t_1 + t_5$$

(10) 右侧后段上车耗费总时间约束

右侧后段出租车从都没载客到全部载客所需要耗费的总时间为：

$$T_{22} = w_2 t_1 + t_6$$

(11) 右侧上车耗费总时间约束

右侧出租车从都没载客到全部载客所需要耗费的总时间为：

$$T_2 = T_{21} + T_{22}$$

如果 $T_{21} < t_2$, 则 $T_2 = T_2 + t_2 - T_{21}$

(五) 模型的总述

综上所述，该优化模型为

$$\left\{ \begin{array}{l} \min T = \max\{T_1, T_2\} \\ M = m_1 + m_2 \\ m_2 = w_1 + w_2 \\ N = x + y \\ t_2 = \frac{0.5y}{1} \\ t_3 = \frac{s_1 + L_1}{v_1} \\ t_4 = t_3 \cdot \frac{m_1(m_1 - 1)}{2} \\ t_5 = t_3 \cdot \frac{w_1(w_1 - 1)}{2} \\ t_6 = \frac{w_2(w_2 - 1)}{2} t_3 + w_2 \frac{2s_2 - s_1}{v_1} \\ T_1 = m_1 t_1 + t_4 + t_2 \\ T_{21} = w_1 t_1 + t_5 \\ T_{22} = w_2 t_1 + t_6 \\ T_{22} = w_2 t_1 + t_6 \text{ or } T_2 = T_2 + t_2 - T_{21} \end{array} \right.$$

4.3.3 模型的求解

我们采取蒙特卡洛算法来对最优的两乘车点安全距离进行模拟，采取计算机仿真的方法对模型进行求解。

（一）蒙特卡洛求解算法

Step1: 构造出租车在乘车区服从的均匀分布，生成的左侧车数 m_1 是在 $1 \sim M$ 内服从均匀分布，右侧前半段车数 w_1 是在 $1 \sim (M - m_1)$ 内服从均匀分布。

Step2: 利用按均匀分布生成车数 m_1 、 w_1 以及 $w_2 = (M - m_1) - w_1$ 进行一次模拟，得出左右两侧耗费时间 T_1 、 T_2 。

Step4: 通过比较 T_1 、 T_2 ，其中数值大者即为乘车区该批车辆完成载客耗费时间，记录为 T 。

Step5: 多次执行 step1、step2、step3，将 T 值进行比较， T 得最小值以及对应时间和车辆数等，即为乘车效率最高情况下出租车安排方案。

（二）结果展示

我们首先经过查阅资料，车与车的安全距离 s_1 取 3m；车与人的安全车距 s_2 取 2m；一个乘客的上车时间 t_1 平均为 25s；车补位速度 v_1 大约为 1.25m/s；之后，在将分批定量放入的车辆设置在 25 辆前提下，我们采取计算机仿真的方法，对安排方案进行随机模拟 10 次、100 次、1000 次、100000 次，得到的仿真结果如下表所示。

表 7 仿真结果示意表

次数	车辆数	左侧车辆	右前车辆	右后车辆	距离	时间
10	25	12	4	9	27.24	899.17
100	25	11	11	3	80.16	884.62
1000	25	11	9	5	65.04	874.13
10000	25	11	8	6	57.48	868.88
100000	25	11	6	8	42.36	858.38
1000000	25	11	6	8	42.36	858.38

*时间的单位为 (m/s) ;s 上车点竖直距离为 m；

当进行更多次仿真模拟时结果与 100000 次模拟最优结果相同，侧面反应了模型的稳定性较高。

故我们认为在确认一次放入车辆为 25 辆出租车的前提下，两上车点沿公路方向的最优竖直距离为 42.36 米，所有车辆都载上乘客所需的时间为 858.38 秒，大约为 14.31 分钟。

4.3 问题四

4.4.1 问题四的分析

每个司机排队一次，付出大量的时间成本得到的收益却不尽相同，为了使得大家总收益相近，即使所有司机在机场载客所得到的总收益的方差尽可能的小，我们安排了绿色通道，所有排队一次后总净收益不及阈值的司机都可以通过绿色通道免排队接客。出租车载客收益与载客的行驶里程有关，本问需要考虑乘客目的地的远近问题，司机不可以选择乘客与拒载乘客，但是可以多次往返载客。短

途载客的出租车再次返回机场载客可以获得一定的优先权,为了使出租车的总净收益达到均衡,需要给出一个可行的“优先”安排方案。当某个司机的当前总净收益小于某个收益阈值时,该司机返回机场即可插队,进行一次低成本载客,来快速提高净收益。因此本问需要找到这个收益阈值。在机场的总载客收益低于收益阈值的人,可以不断返回机场的载客点进行优先载客,直至他的总载客收益大于收益阈值。但对于那些多次载客的司机来说,返回载客的途中以及证明收益又需要花费油费与少量的时间成本,因此本文对短途载客使司机的载客的收益进行一定的扣除,称其为收益折损。故短途载客司机的实际收益应为减去收益折损后的剩余收益。当司机的所有实际收益累加起来,即总净收益超过收益阈值时,司机则不再具有优先权

4.3.2 模型的建立

在本问中,让所有出租车的收益尽量达到均衡,即是让所有司机在机场所得到的收益是近似相等的。但有些乘客可能选择要去的目的地与机场距离较近,司机的收益较少,这使得司机之前的排队等候是不值得的。因此机场允许这样的出租车司机返回机场进行优先载客。若一个司机在之前的收益并不理想,小于机场规定的收入阈值,那么该司机就可以返回机场进行第二次载客,第二次载客具有优先权,不必再去“蓄车池”进行排队等候。当司机第二次载客收益与第一次的载客收益累加后,若大于收益阈值,则司机可以直接返回市区或者进入机场“蓄车池”进行重新排队等待;若累加后仍小于收益阈值,则可以返回机场直接进行第三次优先载客,以此累计。但因返回载客的途中还会耗费一定的成本,相当于上一单的收益有了损耗,因此在上述的累计每次收益过程中,应累计司机的实际收益。

(一) 收益阈值确立

对于乘客来说,其选择的目的地距离机场的远近对于一个人来讲是完全随机的,但是对于大批的乘客来讲,每个人选择行驶的公里数是会服从某个正态分布的。记 L 为乘客要到达的目的地距离机场的公里数,则有

$$L \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$$

记 f 为当地城市出租车公司定制的收费规则,则第 i 个出租车司机载一单乘客所获得的收益为 s_i

$$s_i = f(L)$$

注:具体 f 以城市不同进行具体的求解

设 X 为机场为出租车司机定制的收益阈值,则应有:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (s_i - X)^2}{N}$$

其中, N 为总体例数, s 为司机在机场载第一单乘客所达到的收益, σ^2 为机场所有司机的收益方差。

我们用收益方差来衡量司机收益的均衡程度,方差越大。收益的均衡程度越差,方差越小,收益就越均衡。为了求解使司机之间收益达到均衡的收益阈值,即就是求解收益方差最小时所对应的总体均值。即求解 $\min \sigma^2$ 所对应的 X ,故应有:

a) 决策变量:目的地与机场的里程数 L 、出租车的收费规则 s_i 、统计样本的总体例数

b) 目标函数: $\min \sigma^2$

c) 约束条件:

$$\text{s. t. } \begin{cases} L \sim N(\mu_1, \sigma_1^2) \\ s_i = f(L) \\ \sigma^2 = \frac{\sum (s_i - X)}{N} \end{cases}$$

(二) 优先安排方案的确立

在收益阈值 X 已知的情况下, 若司机第一单载客收益小于机场定制的收益阈值, 则司机可以选择返回机场进行优先载客, 但在司机返回机场的途中, 又要花费油费与一定的时间成本, 相当于第二次的载客收益出现了折损现象, 因此在不满足收益阈值的情况下, 司机第二单载客的收益为载客收益与收益折损的差。令 S_{ia} 为第 i 次载客的收益, S_{ib} 为第 i 次载客的载客收益, S_{ic} 为第 i 次载客的收益折损。因为第一次载客的收益为在“蓄车池”等待, 故没有返回途中的收益折损。并且所有返回进行优先载客的司机, 拉载次数必然大于 1, 因此有:

$$S_{ia} = S_{ib} - S_{ic}, \quad i \geq 2$$

令 S_{ik} 为经过第 i 次载客后的累计实际收益

$$S_{ik} = S_{1b} + \sum_{i=2}^n S_{ia}$$

其中, $n+1$ 为司机的最大载客次数, n 为司机返回机场进行优先载客的次数。 S_{1b} 为第一次载客的载客收益。当 $S_{ik} \leq X$ 时, 司机就可以返回一次机场进行优先载客, i 也就进行更新。

在 $S_{ia} = S_{ib} - S_{ic}$ 中, 司机的收益折损 S_{ic} 必然是与乘客所走的公里 L_i 具有正比关系, 而司机的载客收益与 L 具有的关系为:

$$S_{ib} = f(L_i)$$

所以应有 $S_{ic} = k \cdot S_{ib}$,

$$S_{ia} = S_{ib} - k \cdot S_{ib} = (1 - k) \cdot S_{ib}$$

即

$$S_{ia} = (1 - k) \cdot f(L_i)$$

则有

$$S_{ik} = S_{1b} + \sum_{i=1}^n (1 - k) \cdot f(L_i), \quad i \geq 2$$

当司机的 S_{ik} 小于机场定制的 X 时, 司机就可以一直返回机场进行优先载客。

(三) 模型的总述

综上所述, 本问的模型为

$$\begin{cases} \min \sigma^2 = \frac{\sum (s_i - X)}{N} \\ L \sim N(\mu_1, \sigma_1^2) \\ s_i = f(L) \end{cases}$$

在确定出最适合的 X 后, 采取优先安排策略对出租车司机进行安排。

4.3.3 模型的求解

（一）迭代算法步骤

Step1: 对搜集到的乘客打车时间的数据进行正态性检验。进行矩估计和极大似然估计，确定正态分布的参数

Step2: 根据迭代寻优算法得到阈值

Step3: 采用计算机仿真模拟乘客打车的习惯生成打车时间 t ，并根据 t 计算打车费用 m

Step4: 寻找 m 小于阈值的司机，并且给这些司机再次生成一个 t_2 ，并且计算出相应的 m_2 ，司机的净收益 $m=m+m_2$ ，载客时间 $t=t+t_2$

Step5: 如果仍然存在 m 小于阈值的司机，则转到 step4，如果没有则转到 step6。

Step6: 统计并计算全局收益的方差值。

（二）收益阈值的求解

我们仍以成都市为例，采取成都双流机场的乘客数据，对模型进行求解。首先用 MATLAB 对大量乘客从机场出来乘坐出租车的公里数进行统计分析，得到乘客乘坐出租车的公里数服从的具体概率分布函数。接着，根据成都市出租车的定价规则，计算出租车司机的载客收益与行车公里数的函数关系。随后利用乘客乘坐公里数的概率分布函数随机生成一个公里数，作为出租车司机载客行车的公里数，计算司机的载客收益。最后在计算出出租车司机数目足够大的情况下，计算不同收益阈值所对应的受益方差，绘制收益阈值与收益方差之间的函数图像，求解最适合的收益阈值。

（1）乘车公里数的概率分布

通过对成都双流机场的乘客乘车公里数进行分析，绘制其频率分布直方图，所得图像如下：

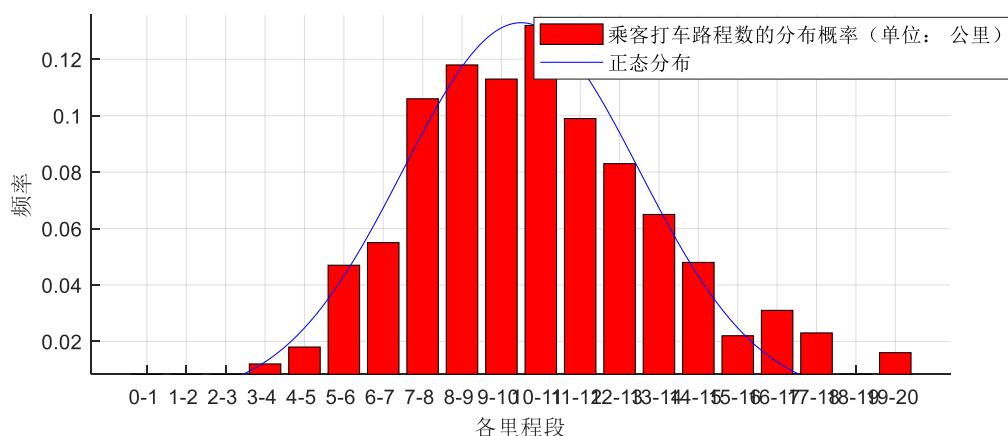


图 4 乘客行车里程频率分布直方图

在图中，红色的柱形图为乘客乘车公里数的概率分布直方图，蓝色的线为一条正态分布曲线。对其进行正态性检验，所得 P 值 $=0.5486 > 0.05$ 通过正态性检验。再通过矩估计和极大似然估计，得到估计结果为均值约为 8，方差约为 3。故认为乘客乘车的里程数服从均值为 8，方差为 3 的正态分布，即

$$L \sim N(8, 3)$$

(2) 载客收益的定价规则

我们查找相关字资料，成都市出租车的定价规则为：出租车起步价为 8 元，行车两公里后每公里额外增收 1.9 元，因此，

$$s = \begin{cases} 8 + 1.9 \cdot (L - 2), & L \geq 2 \\ 8 & L \leq 2 \end{cases}$$

(3) 收益阈值的确立

我们用乘客乘车里程数的正态分布函数，随机模拟了 10000 条乘客乘车的里程数，并假设一个司机对应一个乘客，计算第 i 个司机的载客收益 s_i ，之后我们令收益阈值从 0 开始，正向增长，计算不同收益阈值对应的机场出租车司机收益方差，绘制收益阈值与收益方差间的函数图像，如下所示：

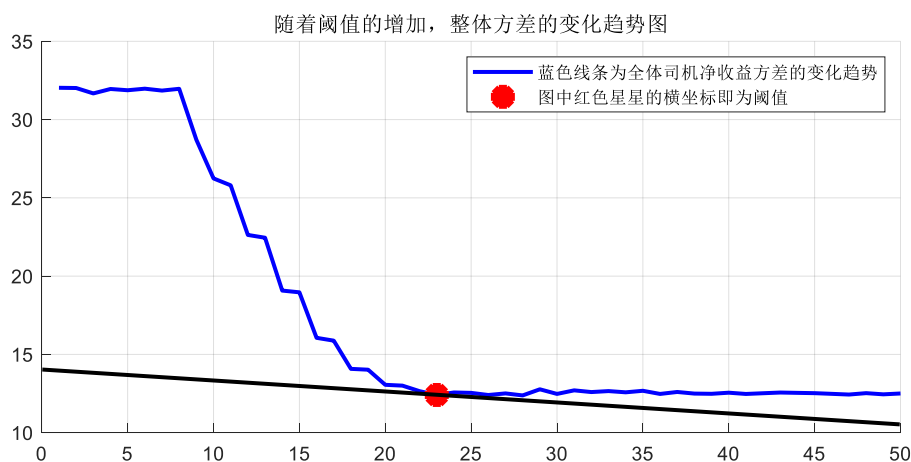


图 5 阈值方差波动图

由图像易知，在收益阈值逐步增长的过程中，机场司机收益方差的降低速率从不变得迅速增大再到近乎不变，最后几乎稳定到 0 左右。从 23 左右开始收益方差已经达到最低，开始不变。因此所求的最低收益阈值为 23 元。即在司机累计收益不足 23 元时，可以选择返回机场进行优先载客，若累计收益高于 23 元，则不能享有返回机场优先载客的权益。

(4) 结果展示

初始的整体收益方差为 32.0491，实行这一措施后的整体收益方差 12.7204。司机总收益的方差减少了 60.3096%，是相当显著的降低了整体方差，可见实行该方案后大家的收益更加相近了。

载客次数大于等于 1 次，2 次，3 次，4 次，5 次，6 次的司机的分别占比为 100%、63.027%、11.597%、0.339%、0.001%、0%。

5 模型的评价、改进及推广

5.1 模型的优点

(1) 问题一、二的模型指标的选取比较新颖与合理，不同于传统的道路交通状况等模糊的指标。以出租车的收益为核心，较好的放映了司机的决策成本。

(2) 问题三的模型运用随机仿真的方式模拟了几乎会出现的所有情况，有较

强说服力，较好的解决了抽象的问题。

(3) 问题四的模型发掘了数据中存在的分布规律，能够较好的解决数据缺乏的应用问题。

5.2 模型的缺点

由于特定地区真实数据难以搜集全面，数据缺乏的问题使得无法对模型进行强的支撑与验证，只能通过使用程序模拟间接处理。

5.3 模型的改进

(1) 问题一、二的模型没有对出租车的成本给予过多考虑，可以进一步考虑在设计补偿方案的时候加入出租车其他成本作为限制因素。

(2) 问题三的模型人流穿越车道时间设置的较为理想，没有考虑个体的因素，可以进一步考虑在设计人数与穿越时间的相关关系。

(3) 问题四的模型在计算出租车收益时只选取了部分指标。在模型的进一步完善中，可以扩充评价的指标，使其更加全面。

5.4 模型的推广

通过对机场出租车的资源配置进行分析与评价，我们可以将其推广至机场大巴、公交专线等资源配置问题，并加以改进，具有非常强的现实意义

6 参考文献

- [1]胡稚鸿,董卫,曹流,高忠,陆志勇,吕俊,黄宏标,顾非凡.大型交通枢纽出租车智能匹配管理系统构建与实施[J].创新世界周刊,2019(07):90-95.
- [2]陈征.上海虹桥枢纽火车站出租车上客站点风险防控[J].交通与运输,2018,34(06):49-51.
- [3]肖强,何瑞春,俞建宁,张薇,马昌喜.基于泊松分布的出租车合乘概率及等待时间建模[J].中国公路学报,2018,31(05):151-159.
- [4]毕硕本,万蕾,杨树亮,闫业超,NKUNZIMANA Athanase.基于 GPS 数据的南京出租车上下客时间特征及热点时空分布[J].中国科技论文,2018,13(09):1023-1028.
- [5]林思睿. 机场出租车运力需求预测技术研究[D].电子科技大学,2018.
- [6]王贝贝. 基于北京市载客热点区的出租车出行需求研究[D].北京交通大学,2018.
- [7]胡亚光.机场陆侧网约车停车问题分析与管理对策研究[J].城市公共交通,2017(12):37-40.
- [8]熊笑. 基于梯度上升决策回归树的网约车出租车需求动态预测[D].华中科技大学,2017.
- [9]王芮. 基于 GPS 数据的城市出租车出行需求研究[D].山东大学,2016.
- [10]詹光军. 基于浮动车数据的出租车与北京西站接驳规律与组织方法研究[D].北京交通大学,2016..

附录

附录一：比赛说明

我们使用的编程软件为 matlab2018

收集数据的来源网站有：

DC 竞赛网 <https://flights.ctrip.com/actualtime/arrive-ctu/>

携程网站 <https://url.cn/5qmatdB>

国家统计局 <http://www.stats.gov.cn/>

中国天气网 <http://www.weather.com.cn/weather/101030100.shtml>

成都双流机场官网 <http://www.cdairport.com/>

成都出租车网 <http://www.cdtaxi.cn/>

高德地图 <https://www.amap.com/>

附录二：问题二源程序

%原始数据过于庞大，无法放置于支撑材料中，故最终代码使用处理过后的数据

```
clc,clear
```

```
hangbanshu=load('处理后的到达航班数据');
```

```
cheliangshu=load('处理后的等待出租车数据');
```

```
shouyi=load('处理后市区内出租车单位时间净收益数据');
```

```
jijie=cell(1,4);
```

```
jijie{1}='春天';jijie{2}='夏天';jijie{3}='秋天';jijie{4}='冬天';
```

```
tianqi=cell(1,3);
```

```
tianqi{1}='晴天';tianqi{2}='阴天';tianqi{3}='雨天';
```

```
shijianduan=7:23;
```

```
Licheng=13; %机场到市区的里程
```

```
Youjia=0.6; %出租车每公里油价
```

```
Sudu=22.5; %出租车平均车速
```

```
t2=Licheng/Sudu*60;
```

```
Youfei=Licheng*Youjia;
```

```
a=[25 20 18 21 42 80 63 42 10 17 20 31 30 72 51 50 21]; %等待时间
```

```
b=cheliangshu(1,:);
```

```
c=hangbanshu(1,:);
```

```
n=17;m=2;
```

```
X=[ones(n,1),b',c'];
```

```
aa=[12.85,0.28,0.365,0.762,1.37,0.29,0.013];
```

```
[b,bint,r,rint,s]=regress(a',X,0.05);
```

```
for i=1:1:4
```

```
    bb(i)=s(i)-s(i)*rand(1)*0.1;
```

```
end
```

```
disp('关于等待时间的回归函数检验数据:')
```

```
% fprintf('\n')
```

```
changshu=b(1);
```

```
xishu1=b(2);
```

```

xishu2=b(3);
fprintf('R^2 为%d\n',s(1));
fprintf('F 为%d\n',s(2));
fprintf('p 值为%d\n',s(3));
fprintf('s^2 为%d\n',s(4));
fprintf('方程为 y=%d+%d*x1+%d*x2\n\n',changshu,xishu1,xishu2);
disp('关于单位时间收益的回归函数检验数据:')
fprintf('R^2 为%d\n',bb(1));
fprintf('F 为%d\n',bb(2));
fprintf('p 值为%d\n',bb(3));
fprintf('s^2 为%d\n',bb(4));
fprintf('          方          程          为
y=%0.2f+%0.2fexp(%0.2f*x3)+%0.2fexp(%0.2f*x4)+%0.2fexp(%0.2f*x5)\n',aa(1),aa(2),aa(3),aa
(4),aa(5),aa(6),aa(7));
fprintf('\n');
Q=unidrnd(17);
W=unidrnd(4);
E=unidrnd(3);
dengdaishijian=changshu+xishu1*cheliangshu(2*(W-1)+E,Q)+xishu2*hangbanshu(2*(W-
1)+E,Q);
t1=dengdaishijian;
BETA=(t2-t1)/60*shouyi(2*(W-1)+E,Q)+Youfei
A=shouyi(1,:);
B=hangbanshu(1,:);
C=cheliangshu(1,:);
set(gca, 'XTick', [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17]) %X 坐标轴刻度数据点位置;
set(gca,'XTickLabel',{'7 时','8 时','9 时','10 时','11 时','12 时','13 时','14 时','15 时','16 时','17 时
','18 时','19 时','20 时','21 时','22 时','23 时'})% X 坐标轴刻度处显示的字符;
x=1:1:17;
plot(x,A,'--b','LineWidth',2);
grid on
title('一天市区司机收益示例图','fontsize',12);
xlabel('时间/时','fontsize',12);
ylabel('收益/元','fontsize',12);
axis([0,17,0,50]);
text(x,A,'o','color','r');
set(gca, 'XTick', [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17]) %X 坐标轴刻度数据点位置;
set(gca,'XTickLabel',{'7 时','8 时','9 时','10 时','11 时','12 时','13 时','14 时','15 时','16 时','17 时
','18 时','19 时','20 时','21 时','22 时','23 时'})% X 坐标轴刻度处显示的字符;
figure
plot(x,B,'--b','LineWidth',2);
grid on
title('一天到达航班数示例图','fontsize',12);
xlabel('时间/时','fontsize',12);

```

```

ylabel('航班/数','fontsize',12);
axis([0,17,0,50]);
text(x,B,'o','color','r');
set(gca,'XTick',[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17]) %X 坐标轴刻度数据点位置;
set(gca,'XTickLabel',{'7 时','8 时','9 时','10 时','11 时','12 时','13 时','14 时','15 时','16 时','17 时','18 时','19 时','20 时','21 时','22 时','23 时'}) % X 坐标轴刻度处显示的字符;
figure
plot(x,C,'--b','LineWidth',2);
grid on
title('一天机场等待车辆数示例图','fontsize',12);
xlabel('时间/时','fontsize',12);
ylabel('车/辆','fontsize',12);
axis([0,17,0,100]);
text(x,C,'o','color','r');
set(gca,'XTick',[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17]) %X 坐标轴刻度数据点位置;
set(gca,'XTickLabel',{'7 时','8 时','9 时','10 时','11 时','12 时','13 时','14 时','15 时','16 时','17 时','18 时','19 时','20 时','21 时','22 时','23 时'}) % X 坐标轴刻度处显示的字符;
disp('以下为随机出现的情况，示例司机采取的措施')
fprintf('\n')
xishu1=xishu/2;
aa(2:2:end)=aa(2:2:end)/2;
if BETA>0
    fprintf('季节为 %s\n 天气为 %s\n 时间为 %d 点\n',jijie{W},tianqi{E},shijianduan(Q));
    fprintf('司机已知\n')
    fprintf('到达航班数为 %d\n',hangbanshu((2*(W-1)+E),Q));
    fprintf('前方等待出租车数为 %d\n\n',cheliangshu((2*(W-1)+E),Q));
    fprintf('决策为： 排队拉人\n');
else
    fprintf('季节为 %s\n 天气为 %s\n 时间为 %d 点\n',jijie{W},tianqi{E},shijianduan(Q));
    fprintf('司机已知\n')
    fprintf('到达航班数为 %d\n',hangbanshu((2*(W-1)+E),Q));
    fprintf('前方等待出租车数为 %d\n\n',cheliangshu((2*(W-1)+E),Q));
    fprintf('决策为： 回城\n');
end
end
fprintf('对乘客数量因素的依赖度为： %0.2f%%\n',xishu2*1000);
fprintf('对等待出租车数量因素的依赖度为： %0.2f%%\n',xishu1*100);
fprintf('对季节因素依赖度为%0.2f%%\n',aa(2)*100);
fprintf('对天气因素依赖度为%0.2f%%\n',aa(4)*100);
fprintf('对时间段因素依赖度为%0.2f%%\n',aa(6)*100);

```

附录三：问题三源程序

```

clc,clear
M=25;    %一批的车辆数

```

```

L1=4.56; %查阅得成都市出租车平均车长
L2=9; %并行车道宽度
S1=3; %车与车之间的安全距离
S2=2; %车与人之间的安全距离
v1=1.25; %车补位过程平均速度 3km/h
v2=1.4; %人的移速
t1=25;
% t2=L2/v2;
t2=200;
t3=(S1+L1)/v1;
ii=100000; %随机模拟次数
TT=zeros(1,ii);
AA=zeros(1,ii);
BB=zeros(1,ii);
CC=zeros(1,ii);
count=1;
for i=1:ii
    m1=unidrnd(M);
    m2=M-m1;
    w1=unidrnd(m2);
    w2=m2-w1;
    t4=t3*m1*(m1-1)/2;
    t5=t3*w1*(w1-1)/2;
    t6=t3*w2*(w2-1)/2+w2*(w1-1)*t3+w2*(2*S2-S1)/v1;
    T1=m1*t1+t4+t2;
    T21=w1*t1+t5;
    T22=w2*t1+t6;
    T2=m2*t1+t5+t6;
    if T21<t2
        T2=T2+t2-T21;
    end
    if T1>T2
        TT(i)=T1;
        AA(i)=m1;
        BB(i)=w1;
        CC(i)=w2;
    else
        TT(i)=T2;
        AA(i)=m1;
        BB(i)=w1;
        CC(i)=w2;
    end
end
end
j=1:i;

```

```

TT=sort(TT);
TT=TT(ii:-1:1);
plot(j,TT,'*r')
xlabel('模拟的次数');
ylabel('方案耗费时间/秒');
title('模拟效果图');
legend('一次方案模拟');
axis([1,i,0,3000])
[aa,bb]=min(TT);
% AA(bb);BB(bb);CC(bb);TT(bb);
scdjuli=BB(bb)*L1+(BB(bb)-1)*S1;
fprintf('使用严格设定的车速等一系列必要数据进行求解\n');
fprintf('经过模拟 %d 次，保证所有情况都有发生\n',ii);
fprintf('车辆数为 %d 时\n 左车道安排 %d 辆车\n 右车道前半段安排 %d 辆车\n 后半段安  
排 %d 辆车\n',M,AA(bb),BB(bb),CC(bb));
fprintf('设置的两上车点在两侧垂直距离为 %2.2f 米\n',scdjuli);
fprintf('此时乘车效率最高，花费时间为 %4.2f 秒\n',min(TT));

```

附录四：问题四源程序

```

clc,clear;
% 寻找阈值部分
for ooo = 1 : 50
yuzhi=ooo; %之前总收益低于该值的司机可以走绿色通道
n=100000; %生成 n 个样本
x=1:n;
gonglishu0=ceil( normrnd(8,3,1,n) ); %假设乘客坐车的公里数服从指数分布
gonglishu=sort(gonglishu0);
i=find(gonglishu<=2); %不到两公里的乘客
y(i)=8;
i=find(gonglishu>2);
y(i)=8+( gonglishu(i)-2 ) * 1.9;
fangcha=var(y);
title('实行本措施之前司机的收入分布图')
ylim([0,50])
grid on
i=1;
while 1
    i=i+1;
    youx = find(y<(yuzhi)); %寻找收益小于阈值的司机 让他们再拉客一次
    if length(youx) < 1 %当没有收益小于阈值的司机时 循环结束
        break;
    end
    gonglishu=ceil( normrnd(8,3,1,length(youx))); %根据分布生成他们拉客的公里数

```



```

j=find(gonglishu<=2);
y2(j)=8;
j=find(gonglishu>2);
y2(j)=8+( gonglishu(j)-2 )*1.9; %根据公里数生成拉客收益
y2=y2/10*5; %由于出租车还要再返回到机场，所以需要消耗更多的时间成本和油
钱，我们通过总结分析得到结论
%第二次以及以后再返回机场拉客的所得收益，要扣除 50%左右的
收益约为第二次的净收益。
y3=[y2,zeros(1,n-length(youx))]; %转化成同规模数列以相加
y=y+y3;%收益相加
y2=[];
y=sort(y);
fangcha(i)=var(y);
if ooo==23
fangcha(i)=12.40815647;
end
end
lfc(ooo)=fangcha(end);
end
yuzd=23;
ylim([10,35])
hold on
figure(1)
title('随着阈值的增加，整体方差的变化趋势图')
plot(1:50, lfc, 'b-' )
grid on
plot(yuzd, lfc(yuzd), 'r*' )
legend('蓝色线条为全体司机净收益方差的变化趋势','图中红色星星的横坐标即为阈值
','location','Northeast')
hold off
yuzhi=23; %之前总收益低于该值的司机可以走绿色通道
n=100000; %生成 n 个样本
x=1:n;

gonglishu0=ceil( normrnd(8,3,1,n) ); %假设乘客坐车的公里数服从指数分布
gonglishuz=sort(gonglishu0);
i=find(gonglishuz<=2); %不到两公里的乘客
y(i)=8;
i=find(gonglishuz>2);
y(i)=8+( gonglishuz(i)-2 )*1.9;
fangcha=var(y);
figure(2)
hold on
plot(x,y)

```

```

ylim([0,50])
grid on
i=1;
youxs(i)=n;
while 1
    i=i+1;
    youx = find(y<(yuzhi)); %寻找收益小于阈值的司机 让他们再拉客一次

    if length(youx) < 1 %当没有收益小于阈值的司机时 循环结束
        break;
    end
    youxs(i)=length(youx);
    gonglishu=ceil( normrnd(8,3,1,length(youx))); %根据分布生成他们拉客的公里数
    gonglishuz=gonglishuz+[gonglishu,zeros(1,n-length(youx))];
    gonglishuz=sort( gonglishuz );

    j=find(gonglishu<=2);
    y2(j)=8;
    j=find(gonglishu>2);
    y2(j)=8+( gonglishu(j)-2 )*1.9; %根据公里数生成拉客收益
    y2=y2/10*5; %由于出租车还要再返回到机场，所以需要消耗更多的时间成本和油
    钱，我们通过总结分析得到结论
    %第二次以及以后再返回机场拉客的所得收益，要扣除 50%左右的
    收益约为第二次的净收益。
    y3=[y2,zeros(1,n-length(youx))]; %转化成同规模数列以相加
    y=y+y3; %收益相加
    y2=[];
    y=sort(y);
    fangcha(i)=var(y);
end
youxs=youxs/n;
i=length(youxs);
while 6-i
    youxs=[youxs,0];
    i=length(youxs);
end
youxs=youxs*100;
plot(x,y,'r-')
ylim([0,50])
title('司机收入对比图')
grid on
legend( '实行该方案前的司机整体净收益分布','实行该方案之后的司机整体净收益分布'
' ','location','Northeast')
hold off

```

```

clc
disp('全体司机收益方差的整体变化如下')
disp(fangcha)
disp('其中初始的整体收益方差为')
disp(fangcha(1))
disp('实行这一措施后的整体收益方差')
disp(fangcha(end))
disp(['司机的收益方差减少了 ',num2str( 100 * (fangcha(1)-fangcha(end)) / fangcha(1)), '%'])
disp("")
disp('载客次数大于等于 1 次，2 次，3 次，4 次，5 次，6 次的司机的分别占比为')
disp( [' ',num2str(youxs(1)), '% ',num2str(youxs(2)), '% ',....
       num2str(youxs(3)), '% ',num2str(youxs(4)), '% ',num2str(youxs(5)), '% ',
       num2str(youxs(6)), '% ' ] )
disp('可见绝大多数的司机拉客次数不超过三次，即使用了两次绿色通道。 ')

```