

机场出租车问题的解决

【摘要】

出租车是机场的主要交通工具之一，本文主要研究了基于多种因素影响下司机决策问题、乘车效率最高的“上车点”设置问题和平衡出租车收入的“优先”安排问题。我们建立了司机选择决策模型、乘车效率优化模型和“优先”安排补贴模型，并利用Matlab、ArcGIS和Flexsim软件对这些模型进行了很好的求解。

针对问题一：这是一个方案评价与决策问题。首先我们分析了影响出租车司机决策的相关因素，然后利用熵权法对这些相关因子的影响权重进行确定，并对权重最大的因子——司机收益进行了详细的计算分析。最后建立了司机选择决策模型，得到司机在不同情况下的选择策略。

针对问题二：基于搜集的大量上海浦东国际机场的航班数据和上海市出租车的相关数据，对问题一中司机选择决策模型进行求解、检验，得到并给出了在考虑天气、道路情况等因素综合影响下不同时间段司机的选择方案。通过将两方案下司机收益： $G_A=383.9$ 元/天、 $G_B=339.19$ 元/天和上海市出租车司机日平均工资 $G=328.67$ 元/天对比，三者相近，表明模型具有良好的准确性。

针对问题三：考虑“乘车区”为两条并行车道和车道的实际长度与宽度，建立基于0-1规划模型的乘车优化模型。采用穷举法利用Mtalab求得“上车点”距“乘车区”出口距离为19.45m，每次放行车辆数为22辆，即每条车道11辆。此时的乘车速率为0.743人/秒。其对比同等条件下将“上车点”放“乘车区”出口处时乘车速率为0.41人/秒，反映出效率有了较大提高。然后flexsim对最优条件下的出租车进出过程进行仿真得到结果与求得乘车效率相近。

针对问题四：首先，我们分析了乘客目的地远近对出租车司机收益造成的影响。接着，为消除这种影响建立了优先安排补贴模型。最后在有“优先权”的模式下求得的平均收益为69.16元/小时，无“优先权”模式下平均收益为49.25元/小时。与上海市出租车司机平均收入67.867元/小时相比较，可看出“优先”安排方案很好的做到了使出租车收益更均衡。

最后对本文所建立模型进行了分析和评价，并提出了改进的方向。

关键词：决策模型、优化模型、熵权法、聚类分析、Flexsim

一、问题重述

1.1 问题背景

出租车是大多数乘客下飞机后选择的主要交通工具之一。送客到机场的出租车司机有两个选择：一是前往“蓄车池”排队等候按照“先来后到”的顺序进入出租车站点载客，需要付出一定量的时间成本，二是直接空车返回市区。

司机可观测到航班数量和“蓄车池”里已有的车辆数。通常司机会依据个人的经验决策，相关的因素如：季节时间，乘客数量，天气好坏等。机场出租车管理人员负责“分批定量”放行出租车进入“乘车区”，同时安排一定数量前排正在排队等车乘客上车。

1.2 求解问题

本文作者依据搜集的大量数据，建立数学模型解决了以下问题：

(1) 分析研究与出租车司机决策相关的因素，综合考虑各种因素，建立出租车司机决策模型，并给出司机选择策略。

(2) 收集某一机场及其所在城市的相关数据，给出出租车司机选择方案，并分析模型的合理性。

(3) 某机场“乘车区”现有两条并行车道，管理部门应如何设置“上车点”，并合理安排出租车和乘客，使得总的乘车效率最高。

(4) 对于某些短途载客的司机来说，付出的时间成本大于收益，因此管理部门拟对这些短途载客的司机进行补偿，即给予他们一定的优先权，使这些出租车司机的收益尽量均衡，试设计一个可行的优先方案。

二、模型假设与约定

(1) 假设机场“乘车区”乘客全部为到达的航班上下来的乘客。

(2) 假设机场“蓄车池”出租车绝大多数为到机场送客后留下的，特意赶到机场进入“蓄车池”的出租车很少。

(3) 假设司机收入均来自出租车运营，且收费合理，不出现接私活的现象。

(4) 假设每次放入“蓄车池”的出租车和放入“乘车区”乘客数都为定值。

(5) 假设每日汽油的波动价格很小。

(6) 假设从机场出发的乘客仅去上海市内，且目的地的概率与当地人口密度成

正比。

三、符号说明及名词定义

表1 符号说明

变量	说明	量纲
R	熵权法评价原始矩阵	
e_j	第 j 个指标的信息熵	
w_j	第 j 个指标的熵权	
t_0	司机到达机场的时刻	h
n	“蓄车池”内排队车数	辆
y	每次放行的车数	辆
t_s	行李搬运到出租车上的时间	s
v_1	人步行的速度	m/s
t_1	司机等待的总时间	min
t_2	司机从机场出来送乘客到目的地的时间	min
d_a	机场到目的地的距离	km
v_2	出租车的平均行驶速度	km/h
t	司机进入“蓄车池”到送客到目的地的总时长	min
Y_1	A 方案净收入	元
t_{b1}	司机空车返回市区的时长	min
k_i	第 i 个时间段的平均空载率	
W_2	B 方案司机总收入	元
Y_2	B 方案司机净收入	元
G_A	A 方案的综合评价值	
G_B	B 方案的综合评价值	
G_1	A 方案司机每天的收入	元
G_2	B 方案司机每天的收入	元
$L_{\text{长}}$	乘车距相邻出租车车头的距离	m
$L_{\text{宽}}$	单行道路宽	m
c	出租车停止时距离路边的最近距离	m
x	上车点到出租车停车最前端距离	m

a	远离上车点一侧的出租车数量	辆
b	靠近上车点一侧的出租车的数量	辆
e	乘客效率	人/秒
d_s	短途目的地的距离	km
d_l	长途目的地的距离	km

四、模型建立及求解

4.1 问题一的分析及建模

4.1.1 问题分析

对于问题一，查阅相关资料，分析影响出租车司机决策的相关因素，建立决策模型。为了方便决策模型的建立应对这些模型进行量化，应赋予相关因子合理的权重，本文利用收集各地城市司机对相关因素的评价，利用熵权法计算出各种因素的权重，并对权重最大的因素进行详细的量化求解。

4.1.2 模型建立-司机决策模型

(1) 基于熵权法^[1]的因子影响比重的计算

Step1 对于m个待评价的项目，n个评价指标，原始的数据矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ ：

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{m4} \end{pmatrix}_{m \times n}$$

其中 r_{ij} 为第j个指标下第i个项目的评价值。我们查阅相关资料选取了北京，上海，深圳等20个城市，建立了 20×3 的数据矩阵。

Step2 将各个指标的数据进行标准化。

$$R_{ij} = \frac{r_{ij} - \min(r_i)}{\max(r_i) - \min(r_i)}$$

Step3 求各指标的信息熵 e_j

$$e_j = \frac{-\sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln p_{ij}}{\ln m}$$

其中 $p_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{i=1}^m R_{ij}}$, 若 $p_{ij}=0$, 则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \times \ln p_{ij} = 0$ 。

Step4 计算第 j 个指标的熵权

$$w_j = \frac{(1-e_j)}{\sum_{j=1}^m (1-e_j)}$$

(2) 司机收益的计算

即在相同的时间下将两方案司机收益进行计算比较。

a. A选择方案司机收益的计算

对于A选择方案, 即司机送客到机场后前往“蓄车池”内排队等待载客。若司机在 t_0 时刻到达机场。此时蓄车池内排队车数为 n , 若只有一个“上车点”且蓄车池每一次放行 y 辆车到“乘车区”内, 每辆出租车平均可搭载乘客数位 k 。考虑乘客可能拖动行李, 每辆出租车从驶出“蓄车池”到驶出“乘车区”的时间可分为三部分: 即出租车驶出“蓄车池”到在“乘车区”内停车; 乘客选择出租车并放行李后上车; 出租车完全驶出乘车区。

为保证车辆的安全行驶, 在前一批出租车全部驶出后才能放入下一批出租车。乘客放置行李到坐上出租车的时间大约为 $t_s=1.5 \text{ min}$ 。考虑到出租车在

“乘车区”内行驶时车速很慢约为人步行的速度。故取 $v_1 = 4 \text{ km/h}$ ($\approx 66.67 \text{ m/min}$)。为保证行车安全, 要求两相邻出租车车头距离应不小于 5m , 本文取车头距离 $d = 5\text{m}$ 。

则司机需要等待的总时间为:

$$t_1 = \left(\left\lceil \frac{n}{y} \right\rceil + 1 \right) \times \left(t_s + \frac{d \times y}{v_1} \times 2 \right)$$

司机从“乘车区”驶出后即前往乘客的目的地, 从机场出来到送乘客到达目的地这段时间为

$$t_2 = \frac{d_a}{v_2}$$

d_a 表示机场距乘客的目的地距离, v_2 表示出租车平均行驶速度。对于方案A, 司机从进入“蓄车池”排队到送乘客到目的地这段时间的总长为:

$$t = t_1 + t_2$$

送乘客到目的地后司机便可重新载客。A方案的净收入为（在 $t_0 \sim t_0 + t_2$ 这段时间内）：

$$Y_1 = W_1 - d_a \times p \times q$$

W_1 为乘客所付车费， d_a 为行驶总路程， p 为每公里油耗， q 为每升油油价。

b. B选择方案司机收益的计算

B选择方案中，司机在送完乘客后立即返回市区载客。假设机场到司机载客的市区的距离为 d_b ，这段时间为

$$t_{b1} = \frac{d_{b1}}{v}$$

v 为司机平均行驶速度。为保证两方案是在相等的时间条件下的比较，故考虑司机载客的时间 t_{b2} 应满足：

$$t_{b2} + t_{b1} = t$$

t 为方案A中司机所用的总时间。故B方案中司机在市内行驶路程为：

$$d_{b2} = t_{b2} \times v$$

总载客里程为：

$$d_{b3} = d_{b2} \times (1 - k_i)$$

k_i 表示时间段 i 之内空载率。在平均每公里收益为 m 的条件下，司机的总收入为

$$W_2 = m \times d_{b3}$$

净收入为

$$Y_2 = W_2 - (d_{b2} + d_{b1}) \times p \times q$$

p 表示每公里耗油量， q 表示每升汽油费用。

（3）模型建立

建立对方案A和方案B的评价模型，对于 $t = t_0$ 时刻到达机场的出租车。我们给出A、B方案的评价表，如表2所示：

表2 A、B方案评价表

方案	效益	到达时刻 t_0 早晚	天气及道路情况
A	s_{11}	s_{12}	s_{13}
B	s_{21}	s_{22}	s_{23}

由于三个因子的赋值量纲不统一，故要归一化处理

$$S_{ij} = \frac{s_{ij}}{\max_j s_{ij}}$$

得到如表3所示

表3 数据归一化处理

方案	效益	到达时刻 t_0 早晚	天气及道路情况
A	S_{11}	S_{12}	S_{13}
B	S_{21}	S_{22}	S_{23}

建立如下数学模型：

$$Z = \begin{cases} A & G_A > G_B \\ B & G_A < G_B \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_A = w_1 \times S_{11} + w_2 \times S_{12} + w_3 \times S_{13} \\ G_B = w_1 \times S_{21} + w_2 \times S_{22} + w_3 \times S_{23} \end{cases}$$

其中, 司机的决策受到未来收益，到达机场时刻 t_0 的早晚，天气及道路情况的综合影响，其中未来收益对司机决策的影响最大。当A方案的综合评价高于B时，即 $G_A > G_B$ 吧时，司机应选择A方案；当A方案的综合评价低于B时，即 $G_A < G_B$ 时，司机应选择B方案。

4. 2问题二的分析及建模

4. 2. 1 问题分析

对于问题二，要求收集国内某一机场的数据，本文以上海浦东国际机场为例，先对各时间段按照航班数目进行聚类分析，忽略既无航班到达又无航班出发的午夜时间段。然后在广泛查阅资料的基础上求得各参量的值，将求得的参量带入问题一的决策模型之中，得到在不同的到达时刻和不同的天气及道路状况下各时间段出租车司机的选择策略。

4.2.2 模型建立-基于聚类分析的时间区间划分

本文以上海浦东国际机场为例对问题中的模型进行合理性检验和相关因素依赖性分析。这里搜集到了浦东机场2019年8月17日的航班信息^[2]，如图1，图2所示

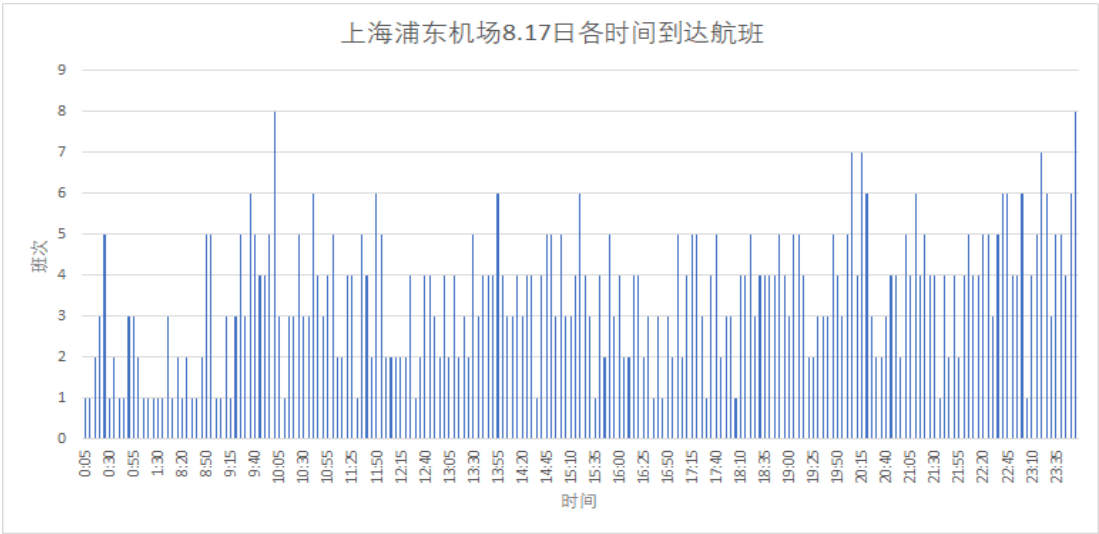


图1 上海浦东机场8.17日各时间到达航班

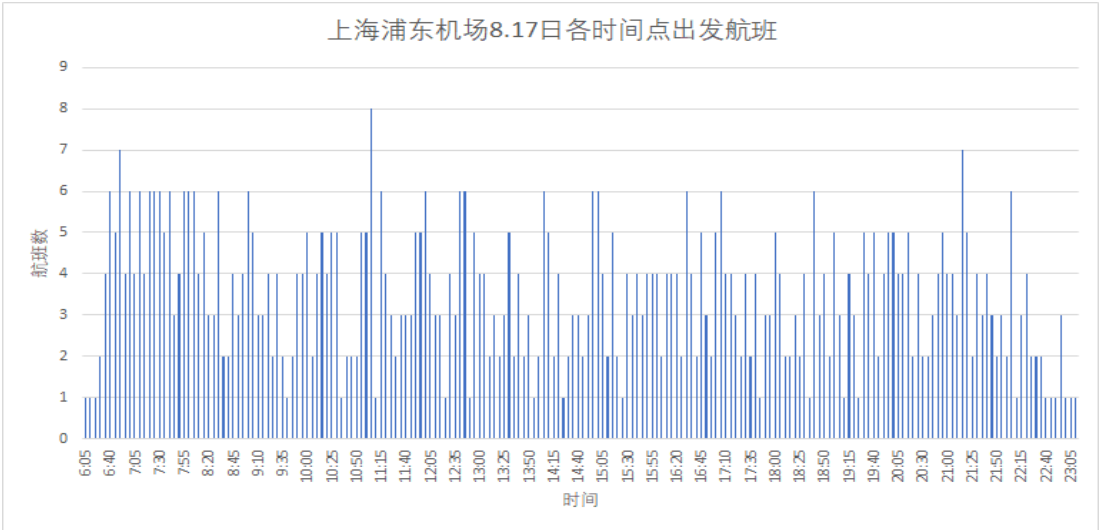


图2 上海浦东机场8.17日各时间出发航班

为了使检验更准确可靠，在此利用聚类分析，依据各时间段航班数目对各时间段分类，利用聚类算法将一天的时间划分区域，计算过程如下^[3]：

(1) 统计每半个小时的航班数，其中横轴为时间，纵轴为航班数，如表4，表5所示。

表 4 各时间段起飞航班数

时间段	航班数	时间段	航班数	时间段	航班数
0:00-6:00	0	11:30-12:00	25	17:30-18:00	18
6:00-6:30	5	12:00-12:30	15	18:00-18:30	17
6:30-7:00	32	12:30-13:00	25	18:30-19:00	21
7:00-7:30	32	13:00-13:30	19	19:00-19:30	17
7:30-8:00	30	13:30-14:00	14	19:30-20:00	25
8:00-8:30	27	14:00-14:30	20	20:00-20:30	21
8:30-9:00	21	14:30-15:00	23	20:30-21:00	18
9:00-9:30	21	15:00-15:30	18	21:00-21:30	25
9:30-10:00	18	15:30-16:00	22	21:30-22:00	17
10:00-10:30	25	16:00-16:30	22	22:00-22:30	18
10:30-11:00	17	16:30-17:00	21	22:30-23:00	9
11:00-11:30	24	17:00-17:30	23	23:00-24:00	2

表 5 各时间段到达航班数

时间段	航班数	时间段	航班数	时间段	航班数
0:00-0:30	13	11:30-12:00	24	18:00-18:30	21
0:30-1:00	12	12:00-12:30	13	18:30-19:00	24
1:00-1:30	4	12:30-13:00	19	19:00-19:30	21
1:30-2:00	4	13:00-13:30	18	19:30-20:00	23
2:00-7:30	0	13:30-14:00	25	20:00-20:30	29
7:30-8:00	3	14:00-14:30	21	20:30-21:00	20
8:00-8:30	3	14:30-15:00	23	21:00-21:30	27
8:30-9:00	15	15:00-15:30	23	21:30-22:00	17
9:00-9:30	16	15:30-16:00	19	22:00-22:30	26
9:30-10:00	32	16:00-16:30	17	22:30-23:00	31
10:00-10:30	18	16:30-17:00	15	23:00-23:30	26
10:30-11:00	25	17:00-17:30	20	23:30-24:00	28
11:00-11:30	13	17:30-18:00	17		

(2) 选种子初始化：在这些地点中随机选择样本中k个地点为初始种子。

(3) 分组：求出样本与这k个种子的距离, 将样本分配给离其最近的种子。

(4) 确定新种子：求每个区域的中心点作为新的种子。

(5) 重复步骤3、4，直至算法收敛，即新的种子与上一次的种子相等。

根据实际情况可知， $k=2$ ，通过Matlab编程求解^[4]，结果如图3所示。

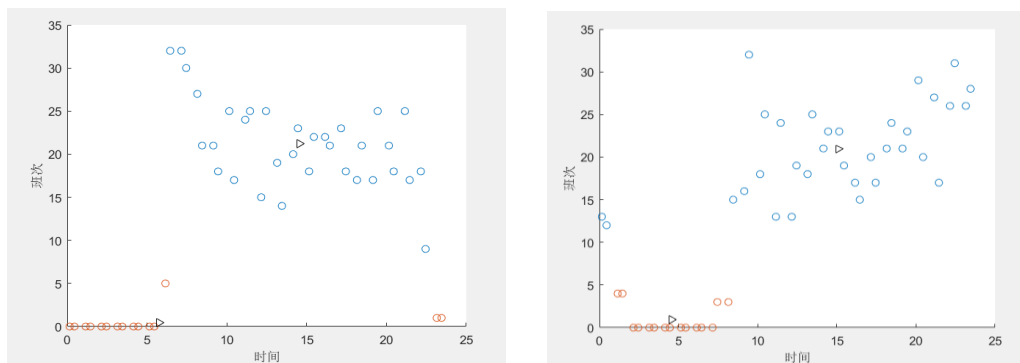


图3 聚类情况

综合考虑这两个聚类情况，可划分为三类时间段，结果如图4所示

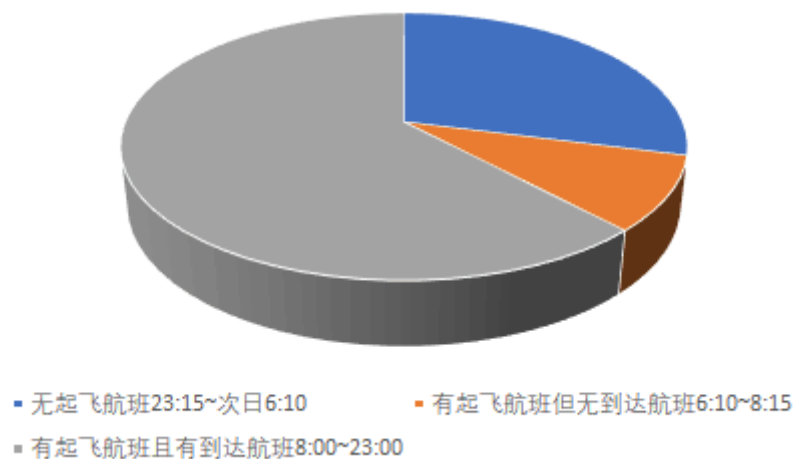


图4 分类结果

对于第一类时间段，即23:15~次日6:10，无起飞航班。相当于出租车很少，且无到达航班，即无乘客。故本文不考虑这个时间段。对于第二类时间段6:10~8:15。有起飞航班但无到达航班，相当于有出租车送乘客去机场，但机场并无到达乘客。由于最早到达航班出现在8:00左右，故本文考虑时间段为8:00~23:00。

4.2.3 数据处理和各参量的计算

(1) 采用蒙特卡洛思想方法求解方案A中 d_a 大小

利用ArcGIS在地图上标出上海市主要道路，如图5所示，并求得上海浦东机场到上海城区的最短距离为14km，最远距离为116km，到上海主城区的最短距离为19.1km，最远距离为56.8km。

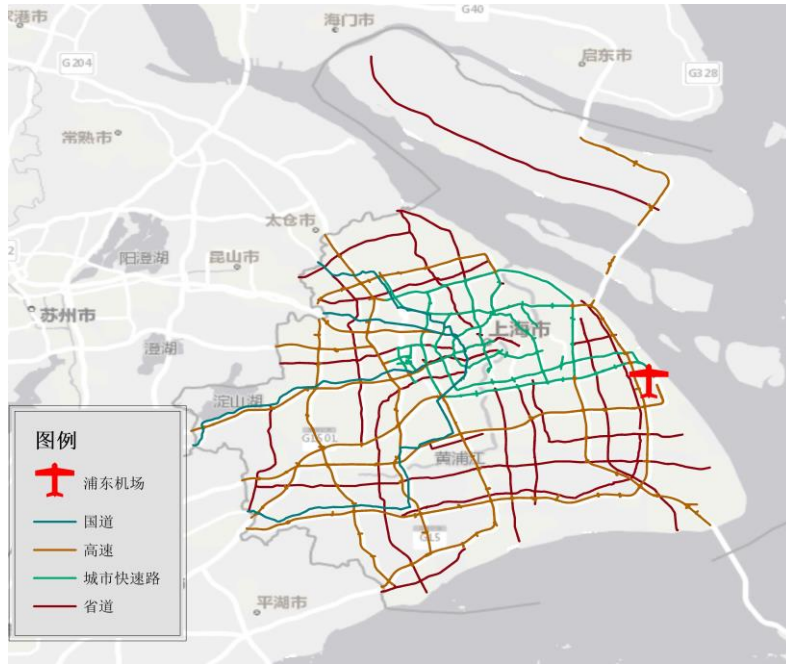


图5 上海市主要公路交通路线

查阅相关资料得到，上海市中心城市总面积为660平方公里，人口总数为1000万，上海市总面积为6340平方公里，人口总数为2415万。假设从机场出发的乘客去向某地的概率与该地人口密度成正比。基于蒙特卡洛思想，通过matlab仿真全市10000个随机地点，那么，其中4126个应分布在中心城区，5874个应分布在除中心城区之外的其他地区。通过测量这些地点到浦东机场的距离，可计算得 $d_a = 50.855 \text{ km}$

(2) 关于平均每公里收益的计算

经查阅资料得到上海市出租车收费标准：在5:00~23:00期间：3公里以内为起步价14元；超过三公里不超过10公里的部分每公里租费为2.4元，超过10公里以上的部分每公里租费为3.6元。

结合考虑到上海市区的实际大小和所收集的市内1500条行驶轨迹。其中行车路程在3000m以内的有38.84%，行车路程在3000m~6000m的有48.62%，行车路程在6000m~10000m的有9.32%，行车路程大于10000m有3.22%^[5]。由此计算，在载客的里程中每公里出租车可赚得4.675元。

a. A方案收益计算：

经查找上海浦东机场相关资料。“蓄车池”内等候的出租车数目在不同时间段的数目平均值如表6所示：

表6 各时间段蓄车池出租车数

时间段	平均值
8: 00-9: 00	234
9: 00-10: 00	201
10: 00-11: 00	222
11: 00-12: 00	239
12: 00-13: 00	216
13: 00-14: 00	220
14: 00-15: 00	224
15: 00-16: 00	214
16: 00-17: 00	223
17: 00-18: 00	216
18: 00-19: 00	203
19: 00-20: 00	186
20: 00-21: 00	184
21: 00-22: 00	166
22: 00-23: 00	158

“蓄车池”每次放行到“乘车区”中的出租车数目大约为20~30辆，
本文取 $y=25$ 辆。则司机从排队到驶出机场用时：

$$t_1 = \left(\left\lceil \frac{n}{y} \right\rceil + 1 \right) \times \left(t_s + \frac{5y}{v_1} \times 2 \right)$$

将 $t_s = 1.5 \text{ min}$, $y = 25$, $v_1 = 4 \text{ km/h}$ 代入式中，

得如下结果，如表7所示：

表7 各时间段出租车的等待时间

时间段	t_1/min
8: 00-9: 00	49.14
9: 00-10: 00	42.21
10: 00-11: 00	46.62
11: 00-12: 00	50.19
12: 00-13: 00	45.36
13: 00-14: 00	46.20
14: 00-15: 00	47.04
15: 00-16: 00	44.94

16: 00-17: 00	44.73
17: 00-18: 00	45.36
18: 00-19: 00	42.63
19: 00-20: 00	39.06
20: 00-21: 00	38.64
21: 00-22: 00	34.84
22: 00-23: 00	33.18

司机出机场后将乘客送到目的地用时：

$$t_2 = \frac{d_a}{v} = 76.2825 \text{ min}$$

$$t_{\text{总}} = t_1 + t_2$$

收取车费：

$$W_1 = (50.885 - 10) \times 3.6 + 14 + (10 - 3) \times 2.4 = 177.878 \text{ (元)}$$

净收入：

$$Y_1 = W_1 - d_a \times p \times q$$

在上海市，96%以上的出租车车型为大众车。这种车型每百公里油耗为8.1 L。以2019年9月12日95[#] 汽油价格为准， $q = 7.55$ 元/升。计算得 $Y_1 = 146.78$ 元。

b. B方案收益计算

上海浦东机场到市区距离为 $d_{b1} = 19.1 \text{ km}$ ，则司机从机场到返回市内用时

$$t_{b1} = \frac{d_{b1}}{v} = 28.65 \text{ min}。$$

市内行驶时间为

$$t_{b2} = t - t_{b1}$$

在市内行驶距离为

$$d_{b2} = t_{b2} \times v。$$

可求净收入

$$Y_2 = m \times [d_{b2} \times (1 - k_i)] - (d_{b2} + d_{b1}) \times p \times q$$

其中各时间段的空驶率 k_i 如表8所示，

表8 各时间段的空驶率

时间段	空驶率	时间段	空驶率
0: 00-1: 00	44.67%	12: 00-13: 00	28.23%
1: 00-2: 00	42.63%	13: 00-14: 00	29.75%
2: 00-3: 00	46.91%	14: 00-15: 00	26.98%
3: 00-4: 00	47.42%	15: 00-16: 00	30.68%
4: 00-5: 00	44.41%	16: 00-17: 00	29.55%
5: 00-6: 00	39.32%	17: 00-18: 00	28.26%
6: 00-7: 00	38.67%	18: 00-19: 00	26.01%
7: 00-8: 00	30.46%	19: 00-20: 00	30.21%
8: 00-9: 00	24.20%	20: 00-21: 00	37.87%
9: 00-10: 00	30.21%	21: 00-22: 00	32.44%
10: 00-11: 00	27.12%	22: 00-23: 00	40.90%
11: 00-12: 00	27.25%	23: 00-24: 00	44.02%

求得 Y_2 在不同时间段内的值如表9所示：

表9 Y_2 取值

时间段	Y_2 /元
8: 00-9: 00	150.14
9: 00-10: 00	141.52
10: 00-11: 00	17.76
11: 00-12: 00	161.41
12: 00-13: 00	148.17
13: 00-14: 00	157.77
14: 00-15: 00	139.57
15: 00-16: 00	139.34
16: 00-17: 00	151.34
17: 00-18: 00	159.01
18: 00-19: 00	142.01
19: 00-20: 00	115.00
20: 00-21: 00	112.83
21: 00-22: 00	100.77
22: 00-23: 00	90.93

根据大量对出租车司机关于出行时间的调查，对到达机场时间 t_0 和天气道路情况给予定量评价。其归一化处理后数据如表10，表11，表12所示

表10 不同时间段司机收益评价值的归一化处理

时间段	A	B	时间段	A	B	时间段	A	B
8:00-9:00	0.978	1	13:00-14:00	0.93	1	18:00-19:00	1	0.968
9:00-10:00	1	0.964	14:00-15:00	1	0.951	19:00-20:00	1	0.783
10:00-11:00	0.93	1	15:00-16:00	1	0.949	20:00-21:00	1	0.769
11:00-12:00	0.909	1	16:00-17:00	0.97	1	21:00-22:00	1	0.687
12:00-13:00	0.991	1	17:00-18:00	0.923	1	22:00-23:00	1	0.619

表11 不同时间段 t_0 评价值的归一化处理

时间段	A	B	时间段	A	B	时间段	A	B
8:00-9:00	1	1	13:00-14:00	1	1	18:00-19:00	0.9	1
9:00-10:00	1	1	14:00-15:00	1	1	19:00-20:00	0.9	1
10:00-11:00	1	1	15:00-16:00	1	1	20:00-21:00	0.9	1
11:00-12:00	0.8	1	16:00-17:00	1	1	21:00-22:00	0.8	1
12:00-13:00	0.6	1	17:00-18:00	1	1	22:00-23:00	0.7	1

表12 不同时间段天气及道路情况评价值的归一化处理

时间段	A	B	时间段	A	B	时间段	A	B
8:00-9:00	1	0.6	13:00-14:00	1	0.6	18:00-19:00	1	0.6
9:00-10:00	1	1	14:00-15:00	1	1	19:00-20:00	1	1
10:00-11:00	0.6	1	15:00-16:00	1	1	20:00-21:00	1	1
11:00-12:00	1	0.6	16:00-17:00	0.6	1	21:00-22:00	1	1
12:00-13:00	0.6	1	17:00-18:00	1	0.6	22:00-23:00	1	1

综合考虑司机收益、到达机场时刻早晚和天气道路情况，由

$$\begin{cases} G_A = 0.865 \times S_{11} + 0.083 \times S_{12} + 0.052 \times S_{13} \\ G_B = 0.865 \times S_{21} + 0.083 \times S_{22} + 0.052 \times S_{23} \end{cases}$$

得 G_A 、 G_B 在不同时间段内值，如表13所示

表13 A、B的综合评价

时间段	A	B	时间段	A	B	时间段	A	B
8:00-9:00	0.981	0.9792	13:00-14:00	0.9395	0.9792	18:00-19:00	0.9917	0.9515

9:00-10:00	1	0.9689	14:00-15:00	1	0.9576	19:00-20:00	0.9917	0.8123
10:00-11:00	0.9395	1	15:00-16:00	1	0.9559	20:00-21:00	0.9917	0.8002
11:00-12:00	0.9047	0.9792	16:00-17:00	0.9533	1	21:00-22:00	0.9834	0.7293
12:00-13:00	0.9382	1	17:00-18:00	0.9334	0.9792	22:00-23:00	0.9751	0.6704

由表中数据可得 $G_A > G_B$ 时间段为8:00-10:00、14:00-16:00、18:00-23:00，即在這些时间段内司机应选择A方案； $G_A < G_B$ 时间段为10:00-14:00、16:00-18:00，即司机在这些时间段内应选择B方案。

(3) 模型合理性分析：

1) 模型准确性分析

对于方案A，司机两个小时收入为146.78元。每小时收入为73.39元。假设司机每天工作量10小时，则司机每天收入为：

$$G_1 = \text{每小时的平均收入} \times \text{工作时间} - \text{“份子钱”}$$

其中，“份子钱”为司机上交出租车公司的钱。经查阅资料可知，在上海市“份子钱”=350元/天，求得 $G_1 = 383.9 \text{元/天}$ 。

对于方案B，司机两个小时的平均收入

$$\overline{Y}_2 = \sum_{i=1}^{15} Y_{2i} = 137.838 \text{元}$$

$$G_2 = \text{每小时的平均收入} \times \text{工作时间} - \text{“份子钱”}$$

求得 $G_2 = 339.19 \text{元/天}$

经查阅资料，上海市出租车司机平均工资为9860元/月^[6]，即328.67元/天。可以看出，不论是将方案A和方案B得到的出租车收益相比较还是将两者分别同上海市出租车司机平均每天收益相对比，差别都是比较小的。故可以认为模型具有良好的准确性。

2) 相关因素对于模型的影响分析：

a. 模型受到司机收益、司机到达机场时刻 t_0 和天气及道路情况的影响。由

G_A 、 G_B 在不同时间段内的值可以看出 G_A 与 G_B 的大小关系基本等同于 Y_1

和 Y_2 的大小关系，即收益是司机决策的主要考虑因素。但在观察 t_0 在8:00-9:00

之间时对应的 G_A 和 G_B 可知, 在 $Y_1 < Y_2$ 的情况下得到了 $G_A > G_B$ 的结果。也就是说 Y_1 和 Y_2 大小相接近时, 便要考虑司机到达机场时刻 t_0 和天气及道路情况对模型的影响。

b. $G_A > G_B$ 的这些时间段对应的是后续起飞的航班较少, 且市区内出租车空载率较高的情况, 即“蓄车池”中排队出租车较少且市区内乘客较少时, 适合在机场等待接客。 $G_A < G_B$ 的这些时间段, 对应的是后续起飞航班较多, 且市内出租车空载率较低的情况, 即“蓄车池”内排队出租车较多, 且市区内乘客较多时适合返回市区接客。

c. 天气条件较差时, 尤其是夜里天气较差时, 更适合在机场等待载客。这样司机不仅可得到较好休息, 同时也可以减少因天气影响乘客减少而造成的损失。

4. 3问题三的建模及求解

4. 3. 1问题三的分析

该机场现有两条并行车道, 要求合理的规划“上车点”的位置, 并确定每一批次放行的车辆数和乘客数使得总的乘车效率最高。可以认为, 在使得相同数目的乘客离开机场的条件下所用时间最短。当放入一批乘客时, 我们认为在乘客自身的判断和司机的引导下, 他们都能很快找到空车。故乘客们上车所用的最长时间即为去距乘车点最远的出租车所用时间。这段时间加上所有出租车驶离乘车区的时间即为乘客离开所用总时间。进而可建立乘车效率最高的数学模型。

4. 3. 2问题三的建模

如果使乘车效率达到最高, 车辆不能出现堵塞情况, 如果放行的车辆过多, 在同一批次中会导致一些出租车没有乘客乘坐, 不利于下一批次的出租车进入, 而放行乘客过多, 会有一些乘客需要等待下一批次的出租车, 影响乘车效率, 因此每次放行的出租车数量应和乘客数相匹配。我们知道, 一个乘客只能坐一辆车, 同时假设一辆车只能坐一个人, 如果一次放行 m 个乘客, 则放行出租车的数量应该也应为 m , 即可转化为0-1规划模型^[7]。

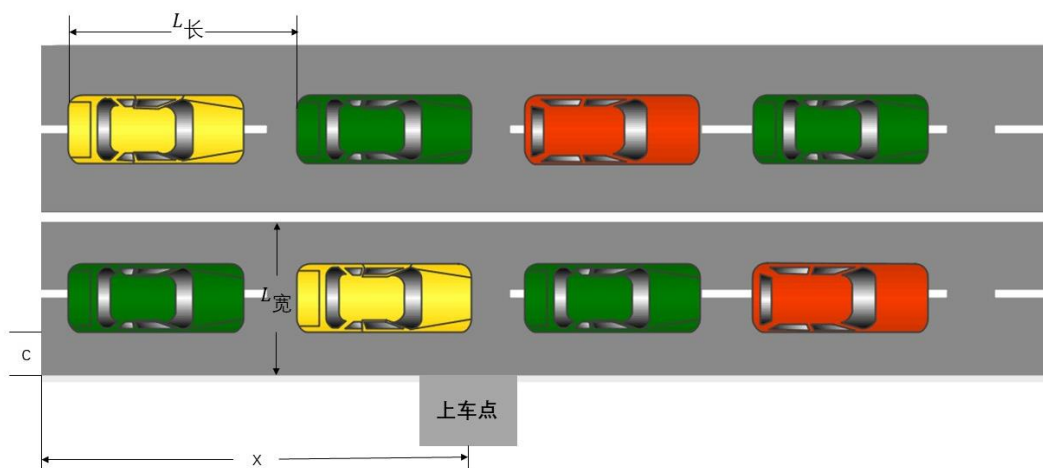


图6 “乘车区”模拟图

如图6所示，设上车点到出租车停车的最前端为 x ，出租车距离路边的最近距离为 c ，单行道的路宽为 $L_{\text{宽}}$ ，第一个车头距第二个车头为 $L_{\text{长}}$ ，车长为 $L_{\text{车}}$ ，放行的 m 辆出租车中，远离乘车点的一侧车辆为 a 辆，靠近乘车点的一侧车辆为 b 辆。乘车效率最高可转化为每一批次放行的单位乘客的乘车时间最短^[8]。建立以下数学模型

$$\max e = \frac{m}{\frac{\max L}{v} + \frac{(b-1) \times L_{\text{长}}}{v_0}}$$

$$s \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m x_{1j} = 1 \\ \sum_{j=1}^m x_{2j} = 1 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m x_{mj} = 1 \\ \sum_{i=1}^m x_{i1} = 1 \\ \\ \sum_{i=2}^m x_{i2} = 1 \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m x_{im} = 1 \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, \end{array} \right.$$

$x_{ij} = 1$ 表示第*i*个人乘坐第*j*辆车, $x_{ij} = 0$ 表示第*i*个人不乘坐第*j*辆车。

其中

$$L = \begin{pmatrix} |x - \frac{d}{2}| + c & |x - \frac{d}{2}| + L_{\text{宽}} + c \\ |x - \frac{d}{2} - L_{\text{长}}| + c & |x - \frac{d}{2} - L_{\text{长}}| + L_{\text{宽}} + c \\ \vdots & \vdots \\ |x - \frac{d}{2} - (b-1) \times L_{\text{长}}| + c & |x - \frac{d}{2} - (a-1) \times L_{\text{长}}| + L_{\text{宽}} + c \end{pmatrix}$$

L 的第一列从上至下依次为上车点到靠近上车点的一侧出租车的距离, L 的第二列为到远离上车点一侧出租车的距离。经查阅资料得到, $d = 2.5m$, $c = 1m$, $L_{\text{长}} = 4m$, $L_{\text{宽}} = 3.6m$, v 为乘客此时的步行速度 $1m/s$, v_0 为出租车匀速的速度 $5m/s$ 。

基于穷举算法利用 matlab 对以上模型进行编程求解得到下图:

```
ans =  
  
0.7143    11.0000    22.0000    19.4500
```

目标函数得值为 0.743, 要想效率最高, 乘车点距离出租车最前端得距离为 19.45 米, 此时每次放行 22 辆出租车, 其中远离上车点得一侧为 11 辆, 靠近上车点得一侧为 11 辆。

4.3.3 与现有情况分析比较

大多数机场都是上车点设立在出租车停车得最前端, 此时 L 得最大值出现在最后一行, 若仍是放行 46 辆车的情况下, 上车点到靠近上车点一侧的最远距离

$$L_1 = 10 \times L_{\text{长}} + \frac{d}{2} + c$$

上车点到远离上车点一侧的最远距离

$$L_2 = 10 \times L_{\text{长}} + L_{\text{宽}} + \frac{d}{2} + c$$

代入数据求得, $L_1=42.25$, $L_2=45.85$ 。所以 $\max L = L_2=45.85$, 此时

$$\max e = \frac{\frac{m}{\max L} + \frac{(b-1) \times L_{\text{长}}}{v_0}}{v} = 0.41 < 0.7143$$

因此该上车点的优化效果较好。

4.3.4 利用 flexsim 进行仿真

求解出的最优方案后, 利用 flexsim 对 100 辆出租车从进入蓄车池到出机场的过程进行仿真, flexsim 的整体布局如图 7 所示, 关键参数设置如图 8 所示。

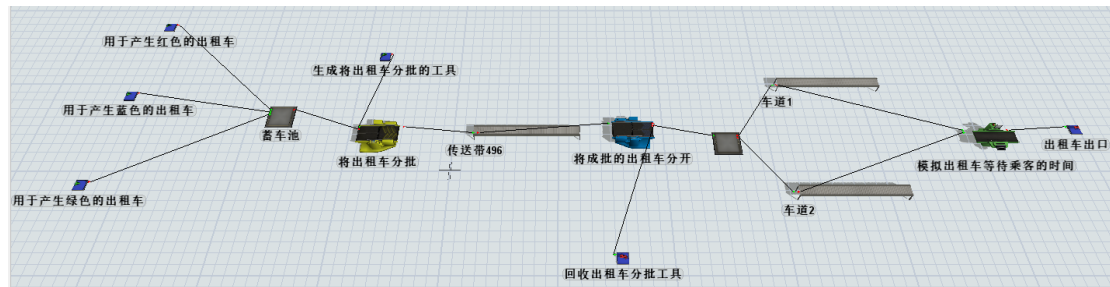


图 7 flexsim 的整体布局

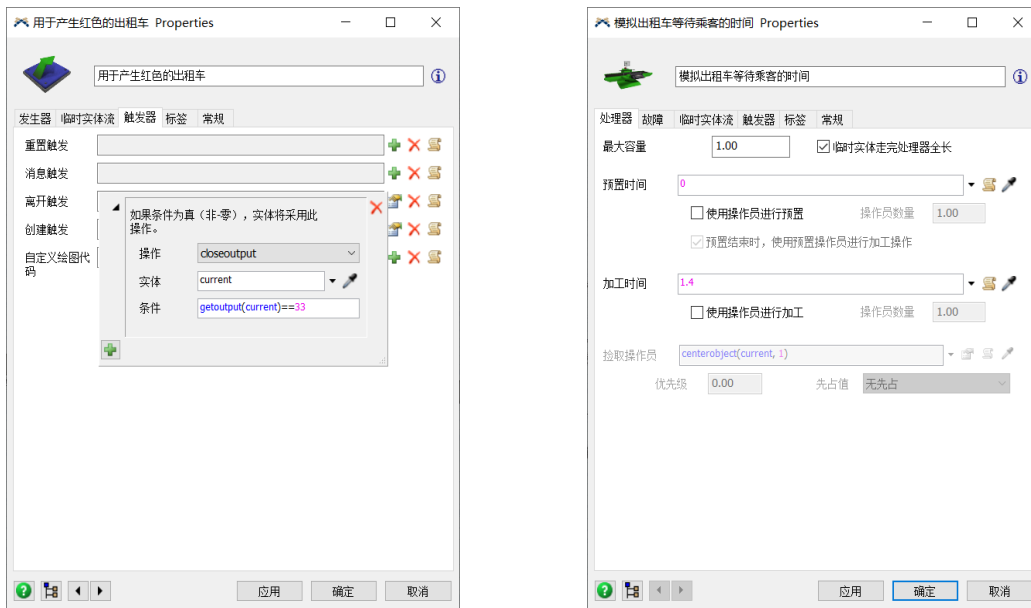


图 8 模型关键参数设置

运行结果，如图 9 所示

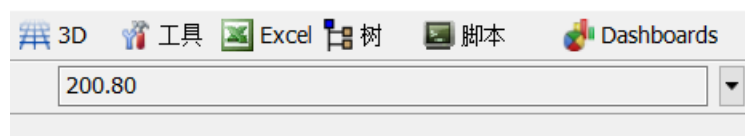


图 9 flexsim 运行结果

可得在最优的条件下，即上车点距最前端距离为19.45m，每批放行22辆出租车的情况下100辆出租车从进入蓄车池到接完乘客离开乘车区仅需要200.8秒，使机场总的乘车效率远高于目前现状。

4. 4问题四的建模及求解

4. 4. 1问题四的分析

(1) “优先”安排方案的建立

考虑到在相同等待时间的条件下，接到短途乘客的司机收益要少于平均收益，使得各司机收益不均衡。为了缓解这种现象带来的影响，在此给出“优先”安排补贴方案：即管理部门预先调查乘车区乘客的目的地，挑选出长途乘客。当接到短途乘客的司机再次返回载客，从“蓄车池”进入“乘车区”后优先将这些长途乘客安排给这些司机。

(2) 合理性的论述

问题二的求解可得 $d_a = 50.855 \text{ km}$ ，浦东机场到上海市区最短距离为 $d_s = 19.1 \text{ km}$ ，上海市到浦东机场最长距离 $d_l = 116 \text{ km}$ 。结合上海市的实际情况，

确定以下标准，目的地与机场距离 $\begin{cases} d \leq 30km, \text{短途} \\ d \geq 75km, \text{长途} \end{cases}$ ，本文中，取 $d_s = 20km$,

$d_l = 110km$ 进行下面问题的求解。

4. 4. 2问题四的建模求解

根据问题二的分析，可知上海浦东机场到市区的最短距离为 $d_{b1} = 19.1km$ 。

在假设从机场出发的乘客去向上海其它地方的概率与当地人口密度成正比例的条件下，其目的地是距机场距离 $d_a = 50.855km$ 。上海市内距浦东机场最远行程为 $d_l = 110km$ 左右。

无“优先权”的运营模式下，在9:00-10:00到机场的出租车首先接到一名短途乘客。不妨设 $d_s = 20km$ ，此时等待时间 $t_1 = 42.21min$ ，行驶时间为：

$$t_2 = \frac{d_s}{v} = 30min$$

收入为：

$$W_1 = (20 - 10) \times 3.6 + 14 + 7 \times 2.4 = 66.8 \text{ 元}$$

净收入为：

$$Y_1 = W_1 - d_s \times p \times q = 54.569 \text{ 元}$$

出租车返回后，由于返回时间： $t_3 = t_2 = 30min$ ，

则在11:00-12:00出租车再次接到一名乘客。此时： $d_a = 50.855km$ ，等待时间：

$t_4 = 50.19min$ 。行驶时间为：

$$t_5 = \frac{d_a}{v} = 76.2825min$$

由问题二知净收入为： $Y_2 = 146.78$ 元。故其总收益为：

$$T = Y_1 + Y_2 - d_s \times p \times q = 189.188 \text{ 元}$$

总时间为：

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 230.6825min = 3.845h，$$

平均每小时收益为

$$Q = \frac{Y}{t} = 49.25 \text{ 元 / 小时}$$

故在有“优先权”的运营模式下，在9:00-10:00出租车接到一名短途乘客
 $d_s = 20km$, $t_1 = 42.21min$, $t_2 = 30min$, $Y_1 = 54.569$ 元。出租车返回时间
 $t_3 = 30min$ 则在11:00-12:00出租车被安排一位长途乘客。不妨设 $d_l = 110km$,
 等待时间: $t_4 = 50.19min$
 行驶时间为

$$t_5 = \frac{d_l}{v} = 165min$$

乘客车费为:

$$W_2 = (110 - 10) \times 3.6 + 14 + 7 \times 2.4 = 390.8 \text{ 元}$$

净收入

$$Y_2 = w_2 - d_l \times p \times q = 323.5295 \text{ 元}$$

总收益

$$Y = Y_1 + Y_2 - d_s \times p \times q = 365.8675 ,$$

总时间

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 317.4min = 5.29h$$

平均每小时收益为

$$Q = \frac{Y}{t} = 69.16 \text{ 元/小时}$$

由问题二可知，上海市出租车司机平均月工资9860元，每天收益为

$$G = \frac{9860}{30} + 350(\text{份子钱}) = 678.7 \text{ 元}$$

所以平均每小时收益为67.87元。

有“优先权”的模式下平均收益为69.16元/小时，无“优先权”模式下平均收益为49.25元/小时。与上海市出租车司机平均收入67.87元/小时相比较，显然可以看出“优先权”模式下司机的收入更接近与平均收入。表明了此“优先”安排方案很好的做到了使出租车收益更均衡。

五、模型评价与改进

5.1 模型的优点:

(1) 将出租车司机选择决策方案转化为司机在两种方案下相同时间内的收益问题，抓住了主要因素，在主要因素大致相等的情况下再去综合考虑次要因素，从而简化了模型。

(2) 对于每一个问题都进行了对比检验，通过对比可直观地反映出模型的准确性和优化性。

- (3) 本文收集了大量的数据，得到的结果更准确可靠。
- (4) 本文各模型之间相互关联，且各模型结果实现了很好的相互论证。

5.2模型的缺点：

- (1) 对影响司机决策方案的不确定因素考虑的不够全面，模型完备性稍差。
- (2) 部分数据较为陈旧，与当前真实数据偏差较大，制约了模型的准确性。

5.3模型的改进：

- (1) 实际生活中会对司机决策造成影响的因素还有季节，节假日，司机身体状况等都要进行综合考虑。
- (2) 对于较为陈旧的数据可结合社会的发展情况进行预测其变化趋势，以得到更接近当前实际情况的数据，进而提高模型的准确性。

六、参考文献

- [1]郑欣. 基于主成分分析法和熵权法的鄂尔多斯市生态承载力研究[D]. 安徽大学, 2019.
- [2] 上海集团有限公司, 航班信息, <https://www.shanghaiairport.com/cn/flights.html>
- [3]陈美云. 时间序列聚类分析中几种算法的研究及应用[D]. 中国矿业大学, 2019.
- [4]Wang C , Chen Z , Shang K , et al. LabelRemoved Generative Adversarial Networks Incorporating with K-Means[J]. Neurocomputing, 2019, 361:126–136.
- [5]滴滴快的智能出行平台, 全国用车情况/重要城市情况, <http://v.kuaidadi.com/2019-09-12>.
- [6]中华人民共和国国家统计局, 中国统计年鉴 <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>
- [7]汤永喜. 出租车智能调度终端管理系统的设计与实现[D]. 东南大学, 2015.
- [8]王黎明. 出租车资源配置与调度的模型研究[J]. 商, 2015(36):255–255.

七、附录

程序编号	T1	文件名	shangquanfa.m	说明	求各个指标的权重
<pre> clear clc R=[]; [hang,lie]=size(R); Max=zeros(1,lie); Min=zeros(1,lie); for i=1:lie Max(i)=max(R(:,i)); Min(i)=min(R(:,i)); end r=zeros(hang,lie); </pre>					


```

for i=1:lie
    for j=1:hang
        r(j,i)=(R(j,i)-Min(1,i))/(Max(1,i)-Min(1,i));
    end
end
Y=zeros(1,lie);
for i=1:lie
    Y(i)=sum(r(:,i));
end
p=zeros(hang,lie);
for i=1:lie
    for j=1:hang
        p(j,i)=r(j,i)/Y(1,i);
    end
end

e=zeros(1,lie);
for i=1:lie
    k=0;
    for j=1:hang
        if p(j,i)==0
            k=0;
            e(1,i)=k+e(1,i);
        else
            k=p(j,i)*log(p(j,i));
            e(1,i)=k+e(1,i);
        end
    end
end
E=zeros(1,lie);
W=zeros(1,lie);
for i=1:lie
    E(1,i)=-e(1,i)/log(hang);
end
for i=1:lie
    W(1,i)=(1-E(1,i))/(lie-sum(E));
end
W

```

程序编号	T2	文件名	k-mens.m Kmean.m	说明	对航班数进行聚类
clear all clc close all					

```

x=[0.15 0.45 1.15 1.45 2.15 2.45 3.15 3.45 4.15 4.45 5.15 5.45 6.15 6.45 7.15
7.45 8.15 8.45 9.15 9.45 10.15 10.45 11.15 11.45 12.15 12.45 13.15 13.45 14.15
14.45 15.15 15.45 16.15 16.45 17.15 17.45 18.15 18.45 19.15 19.45 20.15 20.45
21.15 21.45 22.15 22.45 23.15 23.45];
y=[13 12 4 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 3 15 16 32 18 25 13 24 13 19 18 25 21 23
23 19 17 15 20 17 21 24 21 23 29 20 27 17 26 31 26 28];
k=2;
[resX,resY,record]=K_means(x,y,k);
hold on
for i=1:length(record)
    plot(resX(i,1:record(i)),resY(i,1:record(i)),'o');
end
for i=1:length(record)
    plot(mean(resX(i,1:record(i)),2)',mean(resY(i,1:record(i)),2)', 'k>')
end
xlabel('时间');
ylabel('班次');
hold off
function [resX,resY,record]=K_means(x,y,k)
seedX=zeros(1,k);
seedY=zeros(1,k);
oldseedX=zeros(1,k);
oldseedY=zeros(1,k);
resX=zeros(k,length(x));
resY=zeros(k,length(y));
record=zeros(1,k);
for i=1:k
    seedX(i)=x(round(rand()*length(resX)));
    seedY(i)=y(round(rand()*length(resX)));
    if(i>1&&seedX(i)==seedX(i-1)&&seedY(i)==seedY(i-1))
        i=i-1;
    end
end
b=ones(1,k);
a=1;
while a==1
    record(:)=0;
    resX(:)=0;
    resY(:)=0;
    for i=1:length(x);
        d=1;
        for j=2:k
            if(power(x(i)-seedX(d),2)+power(y(i)-seedY(d),2))>(power(x(i)-

```

```

seedX(j,2)+power(y(i)-seedY(j),2))
        d=j;
    end
end
resX(d,record(d)+1)=x(i);
resY(d,record(d)+1)=y(i);
record(d)=record(d)+1;
end
oldseedX=seedX;
oldseedY=seedY;
for i=1:k
    if record(i)==0
        continue;
    end
    seedX(i)=sum(resX(i,:))/record(i);
    seedY(i)=sum(resY(i,:))/record(i);
end
for i=1:k
    if seedX(i)==oldseedX(i)&&seedY(i)==oldseedY(i)
        b(i)=0;
    end
end
if sum(b)==0
    a=0;
end
break;
end
maxPos=max(record);
resX=resX(:,1:maxPos);
resY=resY(:,1:maxPos);
end

```

程序编号	T3	文件名	qiongjvfa.m	说明	搜索求解最优的上车点位置 和一批次放行的车辆数
<pre> clc clear d=2.5;%车身长 c=1;%路边至出租车距离 lchang=4;%两个车头之间的距离 lkuan=3.6;%路宽 v=1;%人的行走速度 v0=5; </pre>					

```

X=zeros(100000000,4);
o=1;
for x=1.25:0.1:40;
    A=zeros(1,500);
    B=zeros(1,500);
    for m=1:100
        for a=1:m
            A(a)=abs(x-d/2-(a-1)*lchang)+lkuan+c;
        end
        for b=1:m
            B(b)=abs(x-d/2-(b-1)*lchang)+c;
        end
        for a=1:floor(m/2)
            for i=a+1:500
                A(i+1)=0;
            end
            for j=m-a:m
                B(j+1)=0;
            end
        end
        K=0;
        M=max(A);
        N=max(B);
        if M>=N
            K=M(1);
        else
            K=N(1);
        end
        T=m/(K/v+(m-a-1)*lchang/v0);
        X(o,1)=T;
        X(o,2)=a;
        X(o,3)=m;
        X(o,4)=x;
        o=o+1;
    end
end
end
Max=max(X(:,1));
C=find(X(:,1)==Max);
X(C(6),:)
%四个输出分别为： 目标函数， 远离人一侧的车辆数， 一共放行的车辆数， 上
车点到最前端的距离

```