

基于航旅信息的出租车司机停车决策研究

勾大梅¹, 吕柳璇^{2*}, 万千^{1,2,3*}, 王若楠¹, 闫雪雪¹

(1. 桂林电子科技大学, 广西 桂林 541004; 2. 华蓝设计(集团)有限公司, 广西 南宁 530000;
3. 东南大学, 江苏 南京 214135)

摘要: 出租车以其方便快捷的特点, 成为人们出行的主要交通工具之一, 旅客在去往或者离开机场时, 出租车均是一个不错的选择。出租车司机在载客前往机场后将会面临两个选择: A. 前往机场出租车停车场排队候客; B. 空车返回市区巡游接客。若司机凭借个人经验前往停车场排队候客, 部分时段出现出租车总运力远大于总需求现象, 导致停车场内停车拥挤, 也因排队时间过长影响司机群体的收益。因此本文首先分析了出租车司机在采取两种不同决策后的时间成本和利润的变化机制, 其次, 确定不同选择下出租车司机的期望等待时间, 最终选择收益较高的方案, 降低司机因盲目排队造成的损失以及停车拥堵, 最后通过南宁吴圩机场航旅信息相关数据进行仿真模拟与分析。本文的研究结果对出租车停车进行有效引导, 实现机场管理者与出租车司机的双赢。

关键词: 机场出租车; 决策模型; 供需平衡; python

中图分类号: F572.88

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0083—03

1 引言

机场出租车作为连接机场与城市的纽带, 其服务水平越来越受到重视, 然而机场出租车供需并不总是平衡的。因此, 很多学者对机场出租车服务建模进行了大量的研究工作。许多出租车司机愿意空车前往机场接客户, 尽管驾驶距离和等待时间要长得多, 这种行为的基本假设是出租车司机认为从机场出发的旅行利润更高, 但缺乏支持证据。众多学者借助大量出租车自动车辆位置 (AVL) 进行研究, 研究出租车司机目的地选择的可能影响因素, 或者评估出租车运营情况等。当出租车供应大于旅客需求时, 出租车司机排队过长, 损失自身收益; 当出租车供应小于旅客需求时, 接受出租车服务的乘客需要排队等待, 最终影响机场交通流的效率^[1-3]。出租车运营的效率对于决定机场地面运输系统的整体服务水平至关重要, 因此有必要建立相应的决策模型, 用计算机的客观判断取代司机的主观决定, 帮助司机根据蓄车池排队车辆和旅客需求做出停车决策, 从而提高机场出租车服务质量和效率, 增加出租车司机的收入, 实现机场管理者与出租车司机的双赢^[4]。

大多数旅客下了飞机后, 通常去往城市中心, 而出租车是主要的交通工具之一。载客前往机场后, 司机会面临两种选择: A. 选择前面蓄车池排队候客; B. 直接

空车返回市区拉载乘客^[5-7]。第一种选择可能消耗司机等待时间成本, 第二种选择可能影响旅客出行体验, 降低机场服务水平。经过调研发现 40% 的司机排队等待时间在 2—3 小时之间, 4% 的司机排队等待时间在 3 小时以上, 排队等待期间司机无法进行其他经营活动, 若等待时间过长, 将会影响司机群体的经营收入。因此正确的决策可以避免不必要的等待, 提高出租车司机群体的整体收益。

尽管有一些关于机场出租车服务的研究, 但很少有研究不同净收益下司机的不同决策。本文建立了一个决策模型, 在前人的基础上引入离散选择模型, 使司机依据不同选择下净收益值做出的决策更加贴近现实, 并通过实例进行仿真分析。

2 决策模型

2.1 基本假设

考虑一个又一个起点和目的地的道路网络, 设 r 和 s 分别为原点和目的地区域, p 为停车场所在节点, 定义决策节点为连接原点 r 和停车场 p 的最短路径上的任何节点, 决策节点集合为 l 。从原点 r 到目的地 s 的旅行时间为 t_c (t'_c)。本文考虑一个固定的时间段 $[T_1, T_n]$, 假设同一时段内出租车是均匀且连续地离开停车场的,

这里不考虑交通拥堵。以下是本文的模型假设：

(1) 出租车司机决策仅受其单位时间综合收益影响, 不考虑司机个人习惯、情绪等主观因素影响, 且做出决策后不会更改;

(2) 城市范围过大, 旅客目的地分布分散, 为方便计算, 本文将旅客目的地简化集中到市中心处;

(3) 候车区容量有限, 且整个行程中没有拥堵。

2.2 时间与收益的机制分析

如果司机选择选项 A 时, 需要的服务总时间为排队等待停留时间 W 和载客返回时间 t_c 。如果司机选择选项 B 时, 需要的总时间为空车返回市区时间 t'_c 和市区接客时间 t_r 。如图 1 所示:

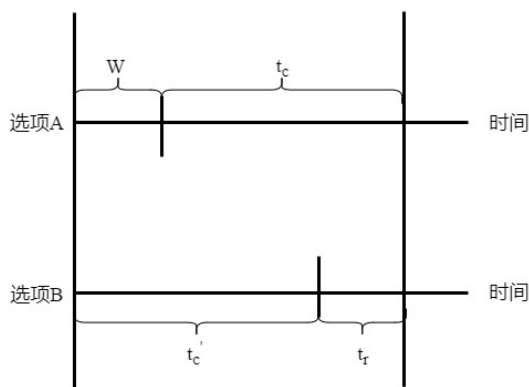


图 1 不同选择的流程

本文在同一时间段计算两种选择下的收益, 因此有公式:

$$W + t_c = t'_c + t_r \quad (1)$$

如图 2 所示, 出租车司机在下客区送完乘客后, 将会面临决策: 前往停车场排队候客还是空车返回市区载客。本文虚拟一个城市区域节点, 则图 2 中城市区域到城市区域的距离 $s_2=0$, 假设机场到城市中心的距离为 s_1 , 郊区司机平均车速为 v_1 , 在市区平均车速为 v_2 。选择 A 的司机将旅客送到目的地—市中心, 完成服务。选择 B 的司机, 空车返回到市区时就可以搜索订单, 并接送旅客。因为 $t_c = t'_c$, $W + t_c = t'_c + t_r$, 所以 $t_r = W$ 。

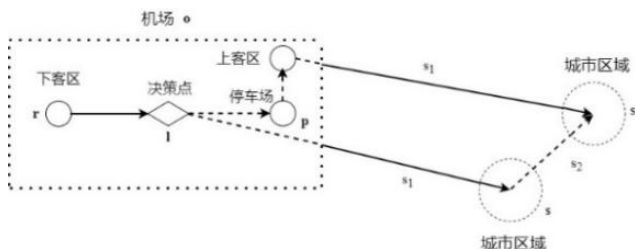


图 2 不同决策下的路径

机场出租车司机单位时间收益为 m , 当司机选择 A 时, 选择 A 的收益 P_a 为:

$$P_a = m * \frac{s_1}{v_1} \quad (2)$$

由于选择 B 方案的司机在返回市区后接到了多少订单我们无法知道, 但有一定的空载率 β 所以我们可以用该城市市区出租车单位时间收益 φ 和实际载客行驶距离 s' 来计算司机的期望收入。因此在市区内的收益 P_b 为:

$$P_b(t) = \varphi * (1 - \beta) * W(t) \quad (3)$$

2.3 停车决策行为

驾驶员一旦在 t 时刻离开原点 r , 将通过最短路径移动到停车场 p , 在 $r-p$ 任意一个节点 l 根据反馈的信息做出决策, 在此决策过程中, 通过反馈给司机两种选择下自身预期收益, 帮助司机做出精准决策。我们假设每个司机都试图最大化自己的收益, 并且由于感知的变化和顾客到达的不确定性, 每个时间段的期望收益是一个随机变量。假设该随机变量与 Gumbel 密度函数是同分布的。在这些行为假设下, $[T_1, T_2]$ 时段在机场送客完成的司机选择留在机场排队候客的概率 $P(t)$ 为:

$$P(t) = \frac{\exp\left\{-\theta * m * \frac{s_1}{v_1}\right\}}{\exp\left\{-\theta * m * \frac{s_1}{v_1}\right\} + \exp\left\{-\theta * (\varphi * (1 - \beta) * W(t))\right\}} \quad (4)$$

2.4 排队等待时间计算

司机在机场排队停留时间取决于排队的出租车数量和乘客数量, 出租车和旅客均遵循先入先出原则 (FCFS)。假设未来 $[T_1, T_2]$ 时段内出租车服从泊松分布, 出租车供给满足旅客需求^[8]。

出租车运力需求为 M_t , 进港旅客中选择搭乘出租车前往市区的旅客人数直接决定了出租车运力的总需求。出租车运力需求可根据航班计划及旅客出行交通方式分担率计算得出, 假设未来 $[t, t + \Delta t]$ 时段内到达的航班数量为 $n_{on}(t)$, 每航班的平均乘客数量为 f , 出租车分担率为 k , 出租车的平均载客量为 γ , 则未来 $[T_1, T_2]$ 时段内出租车总需求为:

$$M_t = \frac{n_{on}(t) * f * k}{\gamma} \quad (5)$$

出租车平均离场时间间隔为 $\bar{f}(t)$, 假设同一时段 $[t, t + \Delta t]$ 内, 出租车是均匀且连续地离开停车场的, 未来平均离场时间间隔可根据出租车需求计算得出, 其中, Δt 为 1 小时 (60 分钟)。

$$\bar{f}(t) = \frac{\Delta t}{M_r} \quad (6)$$

排队等待时间计算较为复杂,其主要受旅客对于出租车的需求量控制,如图3所示,假设出租车到达停车场入口的时间为 T ,此时停车场内停车量为 M ,根据进港旅客人数推算得到未来各时段出租车需求量分别为 $M_1 \sim M_n$,在高峰时段内,停车场内出租车数量可能大于未来几个时段的出租车需求,需进行排队等待,直至 T_x 时刻驶出停车场接客,前文假设划定时段内出租车是均匀离开停车场的,因此司机排队等待时间为:

$$W(t) = T_{n-1} - T + (M - \frac{T_i - T}{f(i-1)} - M_i - M_{i+1} - K - M_{n-2}) \bar{f}(n-1) \quad (7)$$

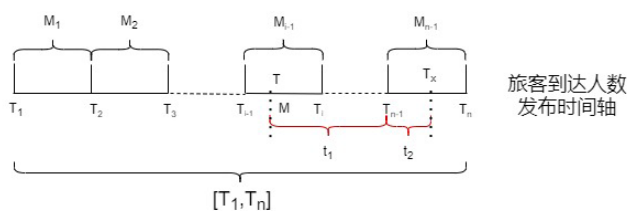


图 3 出租车排队时间计算示意图

3 实例分析

本文根据前文构建的博弈模型, 利用 python 语言编写仿真算法, 以南宁吴圩机场出租车停车场为实验仿真对象, 通过调查获取航空客流数据以及模型相关参数 ($s_1 = 35, m = 50, v_1 = 55, \varphi = 25, \beta = 0.35$), 并结合这些数据进行动态博弈仿真实验。由于出租车不断进入和离开停车场, 停车场内出租车停放量是不断变动的, 因此无法使用静态的求解方法, 需根据航班信息建立数值仿真算法。模拟的具体步骤如下:

步骤 1: 管理人员初次发布出租车停车场内的停车量、排队等待时间 W 以及 P_a 和 P_b ; 步骤 2: 第一位司机决策, 若 $P_a > P_b$, 则进入停车场排队候客; 步骤 3: 管理人员更新出租车停车场内停车量、排队等待时间 W 以及 P_a 和 P_b ; 步骤 4: 第 j 位司机决策, 若 $P_a > P_b$, 则进入停车场排队候客, 同时返回步骤 3, 若 $P_a < P_b$, 进行步骤 5; 步骤 5: 计算此刻出租车停车场内停车量, 找到平衡状态下的出租车停车量, 算法结束。

在本实验中,按照出租车进入停车场的顺序对出租车进行编号,并计算机场出租车司机的等待时间。部分出租车的排队时间和决策策略如表 1 所示。

表 1 部分出租车司机的排队时间与决策

编号	等待时间 (h)	决策
1	1.968	B
2	1.962	B
3	1.957	A
4	1.973	B
5	1.967	B
6	1.962	B
7	1.956	A

根据仿真结果, 如果出租车的排队等待时间小于 1.96 h, 出租车司机应该选择策略 A, 如果排队等待时间大于 1.96 h, 出租车司机应该选择策略 B。1.96h 是选择决策的分界时间点。

4 结论

本文首先通过分析机场出租车的时间与收益机制，得到出租车司机决策与等待时间的关系，并基于此得到出租车司机决策模型，然后运用 python 仿真模拟软件进行仿真模拟，得出动态的出租车司机决策策略，本文中 1.96 h 是一个分界点，当司机排队等待时间小于等于 1.96 h，适合司机排队候客，反之适合空车返回。

参考文献:

- [1] 胡日聪. 多目标决策在城市出租车规划中的应用 [J]. 黑龙江科技信息, 2008,(29):62-63.
- [2] 黄爱玲, 刘梦寒, 李颖. 考虑网约车竞争的机场出租车供需均衡博弈模型 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2023,23(02):176-186+216
- [3] 徐士博, 程晓燕, 孙闯闯. 基于排队论的机场出租车决策模型研究——以浦东机场为例 [J]. 甘肃科技, 2022,38(07):68-71.
- [4] 王永学. 基于排队论的机场出租车决策研究 [J]. 科学技术创新, 2021,(30):60-62.
- [5] 李惠子, 华旭, 李悦之. 机场出租车司机决策优化模型研究 [J]. 中国集体经济, 2020,(32):71-72.
- [6] 魏逸凡. 机场出租车司机决策问题研究 [J]. 数码世界, 2020,(04):193.
- [7] 高志旭, 何则泮. 基于投入产出模型对机场出租车决策的研究 [J]. 科技创新与应用, 2020,(16):66-67+69.
- [8] 刘兴, 王亮策, 陈艳萍. 机场出租车司机决策模型研究 [J]. 中国市场, 2020,(22):31-33.