



基于效益的机场出租车事务安排模型

赵鑫科¹, 郝晓丹², 吴小倩³, 覃思义⁴

(1. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 成都 611731; 2. 电子科技大学 公共管理学院, 成都 611731;
3. 电子科技大学 信息与通信工程学院, 成都 611731; 4. 电子科技大学 数学科学学院, 成都 611731)

摘要: 针对机场司机送客后的选择问题和机场出租车管理事务, 该文提出机场出租车司机决策模型和机场管理方案。首先, 分析司机进入“蓄车池”和放空返回市区两种情况下的盈利和成本, 对比两种选择的预估盈利, 从而建立司机决策模型。以北京首都国际机场为研究对象, 收集机场某一天 24 个时段的航班数据, 将两种选择的盈利相同作为临界情况, 得到该机场的出租车司机选择方案; 然后, 在考虑乘车效率和乘客安全的前提下, 将乘车点设立在双车道之间, 建立目标优化模型, 求解得到最优“上车点”设置方案; 最后, 为上一次里程在一定范围内返回的出租车设立“优先权”, 无须再次排队便可上客, 以弥补短途载客出租车的收益。

关键词: 盈利分析; 决策模型; 目标优化; “上车点”设立; 短途载客

中图分类号: O224; F5

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20200447

Benefit-based Model for Arranging Airport Cab Services

ZHAO Xinke¹, HAO Xiaodan², WU Xiaoqian³, QIN Siyi⁴

(1. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. School of Public Administration, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

3. School of Information and Communication Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

4. School of Mathematical Sciences, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Given the airport drivers' choice problem after dropping off passengers and airport cab management affairs, this paper proposes a decision model for airport cab drivers and an airport management scheme. First, the profit and cost of drivers entering the “storage pool” and returning to the city without carrying passengers are analyzed, and the estimated profit of the two options is compared to build a driver decision model. Taking Beijing Capital International Airport as the study object, the flight data of 24 hours in a day are collected, and the same profit of both options is taken as the critical condition to obtain the cab drivers' choices. In addition, under the premise of the efficiency and safety of passengers, the optimal “pick-up point” is obtained by setting the pick-up point between the two lanes and establishing a target optimization model. Finally, a “priority” is established for cabs that return in the last time within a certain range of mileage, so that they can pick up passengers without waiting in line again, making up for the benefits of short-distance cabs.

Key words: profitability analysis; decision model; target optimization; “pick-up point” setting; short-distance passenger carrying

出租车是机场出行服务的主要交通工具之一。国内机场送机通道和接机通道通常是分开的, 出租车司机送客到达机场后面临两种选择:

1) 留在机场, 到指定“蓄车池”排队等候, 按照先后来到的顺序进场载客返回市区, 等待时间取决于排队出租车和乘客数量的多少, 会耗费一定时间成本;

2) 直接放空返回市区拉客, 需要付出空载费用, 并可能损失潜在的乘客收益^[1-2]。

结合实际情况, 需要解决以下问题:

1) 建立出租车司机的决策模型, 并给出出租车司机的决策策略;

2) 收集国内某城市机场和出租车的相关数据, 给出机场出租车司机的决策方案, 并检验模

收稿日期: 2020-09-22; 修回日期: 2021-05-24

基金项目: 四川省重点研发计划(2020YFSY0041)。

作者简介: 赵鑫科(1999-), 男, 本科生, 计算机科学与技术专业。

通信作者: 覃思义(1971-), 男, 硕士, 教授, 主要从事应用数学方面的研究。E-mail: qinsiyi@uestc.edu.cn

型的合理性;

3) 某机场乘车区有两条并行车道, 设置“上车点”, 合理安排出租车和乘客, 在保证车辆和乘客安全前提下, 使总乘车效率最高;

4) 对短途载客再次返回的出租车赋予一定的“优先权”, 使不同出租车司机的收益尽量均衡。

1 建模前准备

本文选取北京首都国际机场作为研究对象。因该机场日客流量大, 具备蓄车池和多车道, 出行服务完善, 数据获取渠道多且可靠; 另由于每天航班大体固定, 除了重大恶劣天气外, 临时航班、非定期航班以及航班取消带来的影响很小, 针对某一天从如下 3 个方面获取数据。

1) 北京首都国际机场航班数据: 从“飞常准”APP 上获得 2019 年 9 月 12 日下午 15:00 到 2019 年 9 月 13 日下午 14:00 的北京首都国际机场 T3 航站楼的航班信息。

2) 北京市人口分布统计数据: 从北京市统计局官网的年度人口与就业统计资料中获取 2018 年北京各城区常住人口总量。

3) 北京首都国际机场到北京各城区的交通情况数据: 从高德 APP 中获取北京首都机场到北京各城区的路段情况, 包括道路距离、红绿灯数、拥堵区域和过路费。

数据来源于互联网, 参考了滴滴网约车计价规则、“飞常准”APP、本地宝、东方网、网易号、车主指南等公开资料。

为使问题更易于解决, 做出以下合理假设:

- 1) 每辆出租车的单位时间成本相同;
- 2) 出租车的运营成本只包含油费且单位行驶里程耗费油价相同;
- 3) 出租车司机放空返回市区途中全程高速;
- 4) 同班次航班运载的乘客选择出租车出行的概率相同。

2 司机决策机理分析与模型建立

2.1 基于时间成本和运营成本的司机决策模型

2.1.1 留在机场进入蓄车池的盈利预测指标

选择留在机场进入蓄车池等待载客, 出租车必须到指定的“蓄车池”排队等候, 依“先来后到”排队进场载客, 需要付出时间成本和其他成本, 同时获得相应的收益^[1,3-5]。

1) 时间成本 T_1

出租车司机从进入“蓄车池”到接客需要一定的等待时间, 等待时间长短取决于排队出租车和乘客的数量多少。等待的时间成本为:

$$T_1 = t \times \beta \tag{1}$$

式中: t 为出租车进入“蓄车池”等待时间; β 为单位时间成本, 该成本与当地出租计价标准有关。根据乘客的数量可推出相应时间段所需要的出租车数量, 进而得到出租车载到乘客的平均间隔 Q , 结合当前出租车的排队位置 n_p 以及出租车从蓄车池前往乘车区所花费的时间 t_0 , 得到等待时间为:

$$t = n_p \times Q + t_0 \tag{2}$$

2) 可能收益 μ_1

出租车在“蓄车池”等待接客, 具有一定的潜在收益, 收益与乘客前往目的地的距离相关。出租车司机接到不同距离乘客的概率为 p_i , 收费为 u_i , 不同距离乘客的类别数目为 n , 则出租车司机的可能收益为:

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^n p_i u_i \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

3) 其他成本 λ

出租车在“蓄车池”等待接客的过程中, 还存在一些其他成本 λ , 比如有的机场会收取出租车的入场费用或停车费用。

2.1.2 返回市区拉客的盈利预测指标

选择放空返回市区的出租车比在机场等待的出租车节省了等待时间成本, 返回途中消耗了空载的成本, 从机场到市区全程高速, 潜在载客收益为 0。

1) 节省的时间成本为:

$$T_2 = \tau \times \beta \tag{4}$$

式中, τ 为出租车司机选择返回市区节省的时间, β 为单位时间成本。送客返回机场的出租车司机可以观测到“蓄车池”的车辆数和航班到达情况。根据式(2)预估此时留在机场的需要等待的时间 t , 减去返回市区的时间 τ_b 得到节省的时间为:

$$\tau = t - \tau_b \tag{5}$$

2) 运营成本 μ_2

根据机场到市区的距离和当地出租收费标准得到运营成本 μ_2 。

2.1.3 司机决策模型

留在机场的出租车司机的盈利预测为可能收益减去等待时间成本和其他成本:

$$\omega_1 = \mu_1 - T_1 - \lambda \quad (6)$$

代入式(1)~式(3)得到选择留在机场进入“蓄车池”的出租车司机的盈利预测为:

$$\omega_1 = \sum_{i=1}^n p_i \mu_i - (n_c + Q + t_0) \beta - \lambda \quad (7)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

返回市区的出租车司机预测盈利为节省的时间成本减去运营成本:

$$\omega_2 = T_2 - \mu_2 \quad (8)$$

代入式(4)和式(5)得到选择放空返回市区的出租车司机盈利预测为:

$$\omega_2 = (\tau_a - \tau_b) \beta - \mu_2 \quad (9)$$

我们认为司机的决策模型主要由两种选择的盈利预测决定, 因此构建司机决策因子为:

$$W = \omega_1 - \omega_2 \quad (10)$$

从盈利最大的角度出发, 得到司机的决策策略如下^[1,6-7]:

$$\begin{cases} W > 0, \text{司机选择留在机场} \\ W = 0, \text{司机选择任意一种方案} \\ W < 0, \text{司机选择放空返回市区} \end{cases}$$

2.2 基于排队队长上限的决策方案和合理性分析

2.2.1 北京首都国际机场出租车司机决策方案

根据决策模型的临界情况可以得到司机可接受的最长排队时间和队长, “蓄车池”内的车辆数超过上限时, 司机选择放空返回市区; 否则到“蓄车池”排队。

1) 确定相关指标

出租车司机的可能收益 μ_1 为不同距离乘客的概率 p_i 与相应收益 u_i 有关。北京市的出租收费规则为:

$$\mu = \mu_d + \mu_t + \mu_o + \mu_r \quad (11)$$

式中, μ 、 μ_d 、 μ_t 、 μ_o 、 μ_r 分别为车费、距离费用、时间费用、燃油附加费和过路费。燃油附加费用为每运次 1 元, 过路费与去往不同城区经过的收费站有关。

距离费用为:

$$\begin{cases} \mu_d = \begin{cases} 13, d \leq 3 \text{ km} \\ 13 + (d-3) \times 2.35\beta, 3 \text{ km} < d \leq 15 \text{ km} \\ 13 + [12 \times 2.35 + (d-15) \times 1.5]\beta, d > 15 \text{ km} \end{cases} \quad (12) \\ \beta = \begin{cases} 1, \text{白天} \\ 1.2, \text{晚上} \end{cases} \end{cases}$$

时间费用为:

$$\begin{cases} \mu_t = \left[\frac{1}{3} \times n_s \times 1 \times 2.35 + n_c \times 2 \times 2.35 \right] \alpha \\ \alpha = \begin{cases} 2, \text{高峰时段} \\ 1, \text{非高峰时段} \end{cases} \end{cases} \quad (13)$$

当交通比较拥堵或在红绿灯停留较长时间时, 司机会对乘客加收时间费用。 n_s 为红绿灯数目; n_c 为拥堵区域数目; 高峰时段司机停等的时间增加, α 为高峰因子, 高峰时段为 2, 非高峰时段为 1; 司机在遇到红灯时等候 1 min, 在拥堵区域停等 2 min, 单位时间加收费用为 2.35 元。

根据北京市的出租车收费规则和北京首都国际机场到达各个城区的距离, 可得到去往北京 16 个城区的出租车收费, 每公里油费成本为 0.7 元, 收费减去相应的油费成本得到相应的收益。

以北京首都国际机场 T3 航站楼为例, T3 航站楼包含国际到达和国内到达乘客。国际到达乘客一般为外来人员, 主要流向东城区; 国内到达乘客大部分为本地人口, 将北京市各城区常住人口分布比例近似为国内到达乘客去往不同城区的概率。

北京首都机场“蓄车池”的出租车不需要缴纳入场费用以及停车费用, 其他成本 $\lambda=0$ 。机场到市区的距离约 30 km, 此时只考虑油费成本, 因此运营成本为 21 元。将 24 小时划分为白天高峰期(7:00~9:00 和 17:00~19:00)、白天非高峰期和夜晚时段(23:00~5:00)。从机场前往市区的时间为: 白天非高峰期 40 min, 白天高峰期 60 min, 夜晚 20 min。

根据北京市出租车收费规则, 由于乘客要求或道路限制导致时速低于 12 km/h 时, 每 4.5 min 加收 2 km 单价, 其他时段加收 1 km 租价, 一天中高峰时段占 1/6, 故出租车单位时间成本为:

$$\beta = \left(2.35 \times 2 \times \frac{1}{6} + 2.35 \times \frac{5}{6} \right) \div 4.5 = 0.6 \quad (14)$$

2) 排队队长上限计算流程

由司机决策的临界情况得到司机可接受最长等待时间 t 满足下面的方程:

$$\mu_1 - t \times \beta - \lambda = (t - \tau_b) \beta - \mu_2 \quad (15)$$

求得北京首都国际机场 24 小时出租车司机可接受的最长等待时间上限为:

$$\tau'_a = t - t_0 \quad (16)$$

根据北京出租运行情况和航班运行情况, 每

辆出租车平均能搭载 1.5 名乘客，每班次航班平均运载 151 名乘客，抵达机场的乘客在白天选择出租车出行的概率为 15%，在晚间选择出租车出行的概率为 45%。查找航班信息表得到 T3 航站楼对应时段航班到达数量 φ_0 ，则所需出租车量为：

$$\varphi = \begin{cases} 151 \times \varphi_0 \times 0.15 / 1.5, & \text{白天} \\ 151 \times \varphi_0 \times 0.45 / 1.5, & \text{晚上} \end{cases} \quad (17)$$

蓄车池有一定的容纳限度，根据上车区可流通数得到蓄车池可容纳出租车上限为 670 辆，即：

$$\varphi' = \begin{cases} \varphi, & \varphi' < 670 \\ 670, & \varphi' \geq 670 \end{cases} \quad (18)$$

每辆出租车每小时接收乘客的平均时间间隔为：

$$t' = \frac{60}{\varphi'} \quad (19)$$

由等候时间上限 τ'_a 得到出租车司机落入的时段，第 i 时段到达机场的出租车司机等候队长上限 π_i 为：

$$\begin{cases} T = \frac{\tau'_a}{60} \\ \pi_i = \sum_{j=i}^{i+[T]-1} \frac{60}{t'_j} + (T - [T]) \times 60 \frac{1}{t'_{i+[T]}} \\ j = i, i+1, \dots, i+[T]-1 \end{cases} \quad (20)$$

式中， j 为司机落入时段， t'_j 为司机落入时段对应的每辆出租车服务时间，最终得到首都国际机场 24 个时间段的出租车司机可接受的最长队长。

2.2.2 北京首都国际机场的司机决策模型检验

1) 北京首都国际机场出租车司机一般愿意等待时长为 2~3 h，模型的平均等待时长为 124.5 min，最长等待时间为 154 min，在 2~3 h 内，等待时间上限模型合理。

2) 日出租车需求量与旅客的数量成正比，2018 年北京首都国际机场与上海浦东机场的年旅客吞吐量(万)之比为 10098.3: 7405.4，模型求解得到的北京首都国际机场的日出租车需求量与查到的上海浦东机场的日出租需求量(辆)之比为 9170: 7000，出租车需求量模型合理。

3 “上车点”设置模型

3.1 基于乘车效率的目标优化模型

在双车道的情况下，将上车点设置在两车道之间，两车道的车辆运行以及排队乘客独立互不干扰，两方车道可同步运行。乘客可通过地下通

道或者天桥前往上车点，以保证自身乘车时的安全，出租车司机搭客后也可及时驶离机场乘车区。

上车点可以设在乘车区的起点、终点或者任何位置，用上车点前后的车辆数量 m, n 描述上车点的位置。乘车区的示意图如图 1 所示^[2-3]。

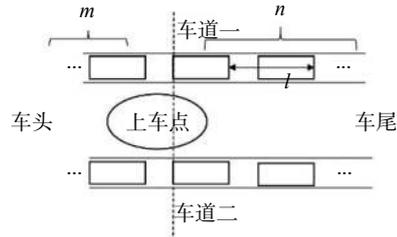


图 1 乘车区示意图一

确定 m 和 n 后，乘客与出租车的安排如下。

在“上车点”前方有 m 排车，后方有 n 排车，每两辆车的车头之间的距离为 l 。设定人的步速为 v_{λ} ，出租车在驶离乘车区时的速度为 $v_{\text{车}}$ 。每批次出租车能载离 $2(m+n)$ 名乘客，则 $2N$ 名乘客全部搭载出租车离开乘车区需要的批次为：

$$c = \left\lceil \frac{N}{m+n} \right\rceil \quad (21)$$

设定乘客到达要搭乘的出租车位置后，乘客上车所需时间为 t_0 。

第一批乘客前往相应的出租车需要一定的时间，以乘客前往正对“上车点”出租车时间为基准，则乘客每步行至偏离该基准出租车一辆车的距离，时间便增加 l/v_{λ} ，后续乘客有序跟随前一批乘客到达每个出租车位置排队。第 i 批乘客从到达上车点到完全驶离所花费时间(s)为：

$$y_i = \sum_{j=1}^{i-1} y_j + y_{\max} \quad (22)$$

$$i = 2, 3, \dots, c; j = 1, 2, \dots, i-1$$

式中， $\sum_{j=1}^{i-1} y_j$ 为等待前 $i-1$ 批车驶离乘车区的时间， y_{\max} 为该批次最后一辆载客并驶离所花费的时间(s)，即乘客上车时间加上最后一辆车以 $v_{\text{车}}$ 的速度驶离长为 $(m+n)l$ 乘车区的时间(s)为：

$$y_{\max} = t^* + (m+n)l/v_{\text{车}} \quad (23)$$

第一批车全部驶离的时间与乘客到达最远出租车的的时间有关，第一批乘客从上车点到驶离所花费时间(s)为：

$$y_1 = t^* + (m+n)l/v_{\text{车}} + \frac{[\max(m,n)-1]l}{v_{\lambda}} \quad (24)$$

用固定乘客数量全部搭乘出租车离开的时间表示乘车效率, 机场的乘车效率最高作为目标函数, 由机场规定每辆出租车在乘车区的时间不超 3 min 得到约束条件, 则目标优化模型为^[8-9]:

$$\begin{cases} \min y_c \\ \text{s.t. } y_{\max} = t^* + (m+n)l/v_{\text{车}} \leq 180 \end{cases} \quad (25)$$

求解得到效率最优时的 m 和 n 值, 确定人流涌入点的位置以及最优的车辆批次长度 $m+n$ 。

3.2 基于遍历的最优“上车点”求解

设定等待乘客同时涌入乘车区到达“上车点”, 数量固定为 2 000 人。每批次乘客离开的时间受车道入口处的出租车的约束, 当所有车道上的出租车搭载乘客离开才完全驶离。计算 2 000 名乘客全部离开的时间, 时间越短, 乘车效率越高, 构建目标优化模型, 优化目标是使疏散 2 000 名乘客花的时间最短^[10-12]。

模拟时的参数为: 车的长度为 4.4 m, 两车车距为 1.5 m, 人步行速度取 1 m/s, 出租车在驶离乘车区时的速度取 8 m/s。如图 2 所示。

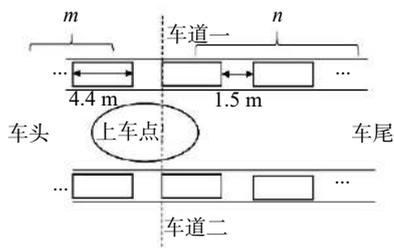


图 2 乘车区示意图二

上车点前的车辆可以为 0, 后方的车辆至少为 1。

在没有约束条件的情况下, 对 m 从 0~100 和 n 从 1~100 进行双重遍历, 求取得到当 $m=62, n=63$ 时, 乘车效率最高, 此时, 2000 名乘客全部离开乘车区的时间为 1282 s。

在约束条件为 $m \leq 25, n \leq 25$ 时, 得到当 $m=25, n=25$ 时, 乘车效率最高, 此时 2000 名乘客全部离开乘车区的时间为 24 min, 平均等待时间为 405 s。

4 基于短途收益弥补的“优先”安排方案

与长途载客司机相比, 短途载客司机损失了收益, 但节省了时间成本, 当节省的时间成本能够弥补短途载客司机损失的利益时, 使得这些出租车的收益尽量均衡^[1,5,11]:

$$\begin{cases} \text{损失收益} = \text{节约的时间成本} \\ \text{损失收益} = \text{长途载客收益} - \text{短途载客收益} \end{cases} \quad (26)$$

返回进入“蓄车池”继续等待接客的长途载客司机的长途载客收益大于放空返回市区拉客的预测收益, 长途载客收益为期望纯利润和临界收益之和。

选取上海浦东机场为研究对象, 已知上海浦东机场出租车司机平均等待时间为 2 h。根据上海出租车收费规则得到出租车司机单位时间成本为 0.625 元/min, 则短途载客司机节省的时间成本为 $120 \times 0.625 = 75$ 元, 也就意味着损失收益为 75 元。

上海浦东机场到市中心的距离为 42 km, 时间为 50 min, 司机放空返回市区的预测收益为 $(120 - 50) \times 0.625 - 42 \times 0.7 = 14.35$ 元。

$$\begin{aligned} \text{长途载客留在机场的预测收益} &= \\ \text{长途载客可获收益时间成本} &= \end{aligned}$$

$$\text{长途载客可获收益} - 120 \times 0.625 = 14.35 \text{ 元}$$

得长途载客可获收益为 89.35 元, 即临界收益为 89.35 元。

根据上海出租司机平均月盈利得到出租车收益的期望纯利润。由上海出租车司机平均每天出车 10 h, 月盈利 5 000 元计算得期望纯利润为 $(120 - 50) \times 0.625 - 42 \times 0.7 = 14.35$ 元。

$$5000 \div (10 \times 30) \times 2 = 33.333 \text{ 3 元}$$

长途载客收益为:

$$33.33 + 89.35 = 122.68 \text{ 元}$$

由损失收益 75 元和长途载客收益 122.68 元得到短途载客收益为 47.68 元。

根据上海出租车收费规则, 收费为 47.68 元时, 设短途载客距离为 D , 即:

$$14 + 2.4 \times 12 + (D - 15) \times 3.6 - D \times 0.7 = 47.68$$

故短途载客距离 $D=20.3$ km, 即对于载客距离小于 20.3 m 的司机赋予一定的“优先权”, 使其返回载客时不必排队, 直接接客, 可以弥补短途载客损失的收益, 从而使得出租利润保持均衡。

实际上海浦东的短途载客距离为 22 km, 与 20.3 km 相差较小, 说明模型与实际较好地吻合。

5 结束语

本文构建模型研究了机场出租车接客问题, 结合不同地区的交通情况、机场航班信息和出租

(下转第 17 页)