

# 基于排队论的机场出租车司机决策模型

——以杭州市为例

林渊豪, 方龙跃, 王聪珊

杭州师范大学, 浙江 杭州

Email: 495906020@qq.com

收稿日期: 2020年8月29日; 录用日期: 2020年9月15日; 发布日期: 2020年9月22日

## 摘要

在生活中, 将乘客送到机场的出租车司机往往面对这样一个困惑: 是前往到达区排队等待载客还是直接返回市区? 这个选择的背后是出租车司机对更高收益的期望。有经验的出租车司机可以根据时间做出一个感性的判断, 但一个理性的抉择明显更为重要。基于此, 本文建立模型并分析影响出租车收益的各种因素, 如该时段抵达乘客的数量、机场“蓄车池”中已有的出租车数量等, 预估司机的收入, 帮助司机进行决策。基于以上分析, 本文不仅能提高乘客的收益, 还能够优化乘客的出行和机场的调度, 对于其他大型交通枢纽的司机、工作人员、乘客同样也有着借鉴意义。

## 关键词

出租车司机决策, 排队论, ROC曲线

# Airport Taxi Driver's Decision Model Based on Queuing Theory

—Taking Hangzhou for Instance

Yuanhao Lin, Longyue Fang, Congshan Wang

Hangzhou Normal University, Hangzhou Zhejiang

Email: 495906020@qq.com

Received: Aug. 29<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 15<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 22<sup>nd</sup>, 2020

## Abstract

In life, taxi drivers who send passengers to the airport often face the puzzle: should they go to the

arrival area and wait in line to pick up passengers or return to the city directly? Behind this choice is the expectation of taxi drivers for higher returns. Experienced taxi drivers can make a perceptual judgment based on time, but a rational choice is more important. Based on this, this article builds a model and analyzes various factors that affect the revenue of taxis, such as the number of passengers arriving at that time, the number of taxis already in the “car storage pool” of the airport, etc. to estimate the driver’s income and help the driver make decisions. Based on the above analysis, this article can not only increase passenger revenue, but also optimize passenger travel and airport scheduling. It also has reference significance for drivers, staff, and passengers in other large transportation hubs.

## Keywords

Taxi Driver Decision-Making, Queuing Theory, ROC Curve

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着交通的进一步发展，人们的出行有了更加多样化的选择，在各大交通枢纽都会有出租车司机在等待乘客。但是司机在做出这样的选择时，并不能预测这个选择能否为他们带来收益，还带来了“司机等车难，乘客上车难”这样的问题。如何合理配置出租车资源，提高出租车司机收益，减少交通枢纽交通压力，这些都是亟待解决的。

出租车司机搜寻乘客的策略影响他们的收益，因此需要帮助司机合理进行决策，以期效益的最大化。目前，关于这方面的研究有以下方面：张凌[1]根据出租车的 GPS 系统，分析出租车轨迹数据，对出租车行为加以研究，对司机的乘客搜寻策略做出预测；孙健[2]从运筹学角度对航空枢纽旅客服务资源的规划进行研究，优化了资源的配置。上述研究多从理论出发，缺少对行为的实证研究。本文选题自 2019 年全国大学生数学建模竞赛 C 题，本文在上述研究的基础上，从司机个体出发，结合具体情境，基于排队论为司机提高收益提出了切实可行的方法，获得了全国一等奖。

## 2. 出租车司机决策模型

### 2.1. 司机决策机理分析

我们知道，司机的决策因素与收益有关。而司机的收益分为两种，一种是选择前往到达区等待载客(A 方案)带来的收益，另一种是选择返回市区接客(B 方案)带来的收益。因此，影响出租车司机决策的相关因素便由影响收益的因素决定。通过分析这些影响因素，可以得知司机在何种情况下选择何种方案。接下来建立模型，分别计算两方案的预期收益，并进行比较，选取预期收益更高的方案作为司机的决策方案，这就是建立出租车司机决策模型的原理。

分析得知，影响司机选 A 方案获得收益多少的影响因素有每小时出租车流量、平均每小时上车人数、到达车道上车点数量以及某时间段乘坐出租车乘客数量。

影响司机选 B 方案获得收益多少的影响因素有司机返回市区获得的平均每小时收益与司机付出的空载费用。

## 2.2. 基于排队论的 A 方案收益模型

在这里，我们将到达车道边的出租车当作服务系统中的“顾客”，而将空车搭载乘客的过程看作“服务”，同时我们假定排队规则是先到先服务。由于出租车停车位的限制，因此我们认为出租车接客，乘客上车这个服务系统当作一个多服务台，容量有限的排队服务系统(M/M/S/K) [3]。

综上所述，我们以每小时为分析对象，只要知道每小时的出租车到达数量  $\lambda$  以及乘客平均每小时上车人数  $\mu$ ，某时段乘坐出租车的乘客数量  $K$  以及到达车道上车点数量  $S$ ，通过 Lingo 进行计算，我们就可以得出出租车的平均等待时间  $W_s$ ，这就是出租车司机选择方案 A 会带来的时间成本。

除去司机选择 A 方案带来的时间成本，司机可以获得载客收益，我们以从机场出发乘客的平均乘车里程  $l_1$  与当地的出租车价格收费标准来进估计。

结合杭州市出租车收费标准，根据计算，我们可以得到，出租车司机在机场的平均接客收益为：

$$M = \begin{cases} 28.5 + 3.75 \times (l_1 - 10), & l_1 \geq 10 \\ 11 + 2.5 \times (l_1 - 3), & 3 \leq l_1 < 10 \\ 11, & l_1 < 3 \end{cases}$$

我们可以得到，A 方案的预期收入  $H_A$  为：

$$H_1 = M - k_1 W_s$$

其中  $k_1$  为等待时司机每小时所需要的时间成本。

## 2.3. B 方案收益计算

查阅相关文献后，我们可以知道司机返回市区获得的平均每小时收益为  $k_2$  元。要计算司机返回市区能获得的预期收益，则还要减去司机付出的空载费用。

空载费用的计算如下：空载费用 = 返回市区的平均里程  $l_2$  × 每公里平均油费。

假设司机从机场返回市区的平均里程为  $l_2$  公里，每公里平均油费为 0.7 元，所以空载费用为  $0.7 \times l_2$ 。因此司机若选择 B 方案，则司机的预期收益：

$$H_2 = k_2 W_s - 0.7 \times l_2$$

## 3. 基于司机决策模型的应用、检验与分析

### 3.1. 数据的收集与处理

我们以杭州萧山机场为例，搜集了各个时间段抵达机场，并选择乘坐出租车的乘客数量，绘制成了表 1：

**Table 1.** Number of airport passengers taking taxis at different time periods  
**表 1.** 不同时间段机场乘客乘坐出租车的人数

| 时间段        | 乘坐出租车的人数(K) |
|------------|-------------|
| 0:00~1:00  | 1980        |
| 1:00~2:00  | 567         |
| 2:00~3:00  | 144         |
| ...        | ...         |
| 9:00~10:00 | 924         |

## Continued

|             |      |
|-------------|------|
| 10:00~11:00 | 1404 |
| 11:00~12:00 | 910  |
| ...         | ...  |
| 17:00~18:00 | 1628 |
| 18:00~19:00 | 945  |
| 19:00~20:00 | 928  |
| ...         | ...  |

查阅相关资料, 我们选择了三个具有代表性的三个时间段, 分别是: 0:00~1:00、10:00~11:00 以及 18:00~19:00, 我们通过电话询问该机场的工作人员, 了解到到达车道上车点有 4 个以及上述时间段对应的出租车流量, 见表 2:

**Table 2.** Airport taxi traffic at different time periods  
**表 2.** 不同时间段机场出租车流量

| 时间段         | 对应时段的出租车流量( $\lambda$ ) |
|-------------|-------------------------|
| 0:00~1:00   | 387                     |
| 10:00~11:00 | 603                     |
| 18:00~19:00 | 483                     |

接着我们收集了其他所需要的信息, 并将其绘制成如下表格, 见表 3:

**Table 3.** Information on required data  
**表 3.** 所需数据的信息

| 所需信息及其符号 | 数据         |
|----------|------------|
| $S$      | 4 (个)      |
| $l_1$    | 26.3 (千米)  |
| $l_2$    | 30.7 (千米)  |
| $k_1$    | 3.3 (元)    |
| $k_2$    | 37.5 (元)   |
| $\mu$    | 120 (人/小时) |

### 3.2. 模型的求解

根据上文, 我们选择了 0:00~1:00、10:00~11:00 以及 18:00~19:00 三个具有代表性的时间段来进行分析和检验。我们将数据带入后进行了 Lingo 计算[4], 整理成如下的表 4:

**Table 4.** Average waiting time for taxis in different time periods  
**表 4.** 不同时间段出租车平均等待时间

| 时间段         | 出租车平均等待时间( $W_s$ ) |
|-------------|--------------------|
| 0:00~1:00   | 0.016 (h)          |
| 10:00~11:00 | 2.93 (h)           |
| 18:00~19:00 | 1.64 (h)           |

### 3.3. 模型的合理性检验

根据我们在上小节给出的司机选择方案，我们可以知道：

#### 1) 0:00~1:00 时间段

在这个时间段，出租车和乘客存在供不应求的关系，从排队论的角度来看，则是“服务机构”很大，“顾客”接受服务所需要的平均等待时间短，反映到实际生活中，就是出租车即来即走，乘客排队等待出租车的情况。

根据我们的计算结果，在这个时间段， $W_s = 0.016(h)$ ，也就是出租车的平均等待时间为分钟左右，很好的说明了这个情况。

#### 2) 10:00~11:00 时间段

随着乘客到达飞机场的高峰时期来临，出租车也大量的涌入机场。然而由于上车点和乘客上车时间的限制，司机往往要等待三个小时才能接到客人，这样的情况，往往是不划算的。

根据我们的计算结果，在这个时间段， $W_s = 2.93(h)$ ，超过我们所计算出的临界点 2.78 (h)，而且司机损失的概率是 0.2，我们给出的建议是返回市区进行接客。司机不会无限制的排队等待去接客，而是看到等待的车太多就选择离开，我们的模型也是符合这个实际情况的。

#### 3) 18:00~19:00 时间段

在这个时间段，乘客数量相对较少，机场的出租车和乘客在一个供求相对平衡的状态。

根据我们的计算结果，在这个时间段， $W_s = 1.64(h)$ ，同时司机的损失率近乎为 0，说明司机只要选择留下来，往往就能获得比选择返回市区更多的收益。我们的模型，也非常真实的反映了该时间段司机的决策。

综合上述，我们认为我们的模型是具有较高合理性的。

### 3.4. 模型相关依赖因素的分析

影响我们模型的相关因素有：每小时的出租车流量  $\lambda$  以及平均每小时上车人数  $\mu$ ，某时段乘坐出租车的数量  $K$  以及到达车道上车点数量  $S$ ，我们假定乘坐出租车的人数不变(1000 人)，分析剩余相关因素对出租车司机平均等待时间  $W_s$  的影响。我们利用 Lingo 假定数据代入计算，由于公式的解释过于繁琐，我们利用 SPSS 软件，做出上述三个因素的 ROC 图形，来直观的分析上述出租车平均等待时间  $W_s$  与各个相关因素的依赖性[5]，关系曲线见图 1：

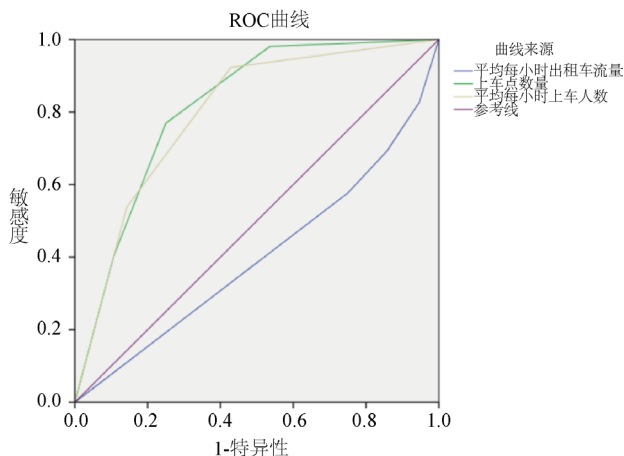


Figure 1. ROC curve of various factors and average waiting time  
图 1. 各因素与平均等待时间的 ROC 曲线

根据上述曲线我们可以直观的看出, 每小时的出租车流量  $\lambda$  对  $W_s$  的影响较小, 而平均每小时上车人数  $\mu$  以及上车点数量  $S$  对  $W_s$  的影响较大, 说明  $W_s$  更依赖于  $\mu$  和  $S$  这两项因素。

根据上述结果, 机场可以从这两个因素入手, 在给司机创造更高收益的同时, 让乘客也有更好的体验。

#### 4. 结论

通过对出租车司机决策的机理分析, 我们建立了出租车司机决策模型, 为出租车司机进行合理决策提供了良好的建议。以杭州萧山机场为例, 验证了该模型的合理性, 同时利用 ROC 曲线指出了影响出租车司机收益的两个重要因素。例如: 在高峰时期开启临时上车点, 能够很好地缓解乘客拥堵, 提高司机收益; 还可以设置信息牌, 显示司机预计等待时间, 帮助司机进行决策。不仅机场可以这么做, 其他交通枢纽也可以进行借鉴, 将各种资源进行充分的利用。

#### 参考文献

- [1] 张凌. 出租车乘客和司机的行为模式研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2017.
- [2] 孙健. 基于排队论的航空枢纽陆侧旅客服务资源建模与仿真[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2017.
- [3] 徐瑞滢. 基于排队论的城市道路通行能力分析[J]. 中国科技信息, 2019(2): 93-95.
- [4] 刘莹. Lingo 软件在运筹学中的应用[J]. 科教文汇(中旬刊), 2017(32): 47-50.
- [5] 刘润幸. 使用 SPSS 作多变量观察值的 ROC 曲线分析[J]. 中国公共卫生, 2003, 19(9): 133-134.