

Modeling and Research on Airport Taxi Service Resources

Chen Li Qingyang Zhang Jinhui Huang

School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing, 102488, China

Abstract

Research on the public transportation system of the transportation hub, it is conducive to improving the capacity of transportation hubs to transport passengers, reducing management difficulty and costs, and improving the efficiency of public transportation systems. The paper applies mathematical modeling method, analyze the current problems of airport taxi traffic and take some improvement measures, according to the actual situation, establish a taxi driver decision model.

Keywords

queuing theory; 0-1 planning; decision model

对机场出租车服务资源建模与研究

李晨 张清扬 黄今慧

北京工商大学计算机与信息工程学院, 中国 · 北京 102488

摘 要

对交通枢纽的公共交通系统进行研究,有利于提高交通枢纽输送旅客的能力,降低管理难度和成本,提高公共交通系统的效率。论文应用数学建模方法,分析机场出租车交通目前存在的问题并采取一些改善措施,依据实际情况建立出租车司机决策模型。

关键词

排队论; 0-1 规划; 决策模型

1 引言

近年来,随着机场出行人口的增加,出租车等交通工具的负荷随之增加。目前中国机场基本都是将送客通道与接客通道分开,送客到机场的出租车司机可以选择到“蓄车池”排队载客或是直接放空返回市区。基于现实场景,司机如何根据观测到的信息选择最佳方案,是论文探讨的重点。

2 模型假设与约定

假设与约定如下:一辆出租车的大小、性能等因素完全相同的,选择出租车的乘客都是降落到机场的乘客,机场附近交通状况有序稳定,不考虑道路拥堵情况,不考虑天气、突发事件等非人为可控因素的影响以及出租车和乘客排队后不会退出排队。

3 符号说明及名词定义

序号	符号	符号说明
1	Q_A	方案 A 的净收益
2	Q_B	方案 B 的净收益
3	S	方案的净收益
4	T	出租车的一个经营时间周期
5	T_1	从机场回市区所需要的时间
6	T_2	返回市区后一个周期剩余经营时间
7	q	出租车司机单位时间的净收益
8	L_q	“蓄车池”内出租车排队长度
9	x	t 时刻内机场抵达的航班数

4 模型的建立与求解

4.1 决策指标的选取及多服务台排队论模型的建立

决策指标选取的理论依据：送客到机场的出租车司机都会面临前往“蓄车池”排队载客或是直接放空返回市区两个选择。如果，司机选择前往“蓄车池”排队载客，考虑到排队的出租车数和乘客数，需要一定的时间成本；而如果选择直接放空返回市区，司机要付出空载费和损失一定的潜在载客收益。因此，选择合适的决策指标对司机能否选择最佳的方案有十分重要的影响^[1]。

决策指标的确定如下：

指标一：抵达的航班数目

乘客数目与抵达的航班数目成正比例关系。计算公式为：

$$M = k_1 x \quad (\text{式 } 1)$$

其中： M 表示乘客数目； x 表示抵达的航班数目； k_1 表示平均航班乘客系数。

指标二：“蓄车池”内出租车排队长度

t 时刻“蓄车池”内出租车排队长度，在假设所有出租车完全一致的基础上，出租车排队长度与排队的出租车数目成正比例关系。计算公式为：

$$L_q = k_2 N \quad (\text{式 } 2)$$

其中： N 为排队的出租车数目； L_q 为“蓄车池”内出租车排队长度； k_2 为单位车辆平均排队长度。

多服务台排队论模型的建立及求解：

采用排队论的思想，通过对服务对象到来及服务时间的统计研究，把该流程抽象为先到先服务的单列多服务台的排队论模型，将排队的出租车看作排队论中的顾客，多个泊位看作服务台，出租车进入乘车区看作是顾客接受服务的过程，离开乘车区看作是离开排队系统的过程^[2]。

将该问题模型抽象为一个 $M/M/s$ 排队论模型，如图 1 所示。

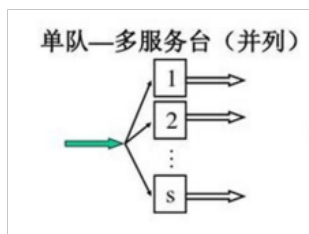


图 1 排队论模型示意图

假设出租车到达时间间隔符合参数为 λ 的泊松分布，系

统中共有 s 个服务台，每个服务台（泊位）的服务时间（乘客上车用时）相互独立，且服从参数为 μ 的泊松分布。当顾客到达时，若有空闲的服务台则马上接受服务，否则便排成一个队列等待，等待时间为无限^[3]。

由排队论模型可得系统中排队等待服务的顾客数的期望值 L_q ，一个顾客在系统中的全部停留时间 W_s 和一个顾客在系统中的排队等待时间 W_q 。

$$p_s = \frac{p}{s} = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (\text{式 } 3)$$

$$L_q = \sum_{n=s+1}^{\infty} (n-s)p_n = \frac{p_0 p^s}{s!} \sum_{n=s}^{\infty} (n-s)p_s^{n-s} \quad (\text{式 } 4)$$

$$L_q = \frac{p_0 p^s p_s}{s!(1-p_s)^2} \quad (\text{式 } 5)$$

$$\bar{s} = \sum_{n=0}^{s-1} n p_n + s \sum_{n=s}^{\infty} p_n = p_0 p \left[\sum_{n=1}^{s-1} \frac{p^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{p^{s-1}}{(s-1)!(1-p_s)} \right] = p \quad (\text{式 } 6)$$

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} \quad (\text{式 } 7)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = W_s - \frac{1}{\mu} \quad (\text{式 } 8)$$

其中： μ 为单位时间服务的顾客数，平均期望，服务率； λ 为单位时间前来的顾客数； p_0 为服务台空闲概率； L_s 为队长，系统中的顾客数期望值； p_s 为系统平均服务强度。

建立选择决策模型，设一个 0-1 决策变量：

$$X = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (\text{式 } 9)$$

$X=1$ 表示选择 A 方案，排队进场载客； $X=0$ 表示选择 B 方案，直接放空返回市区。

对于影响出租车司机决策的因素乘客数量和排队时间，重点研究了排队时间对出租车司机决策的影响，对于乘客数量的影响，引入出租车司机对于排队时间的预期模型，通过预期函数 $F(M)$ 来说明司机对排队的预期。司机的预期排队时间等于实际排队时间加上乘客数量变化对排队时间的修正。

$$\begin{cases} Q_A = (t_1 + t_{2A})q - qW_{\text{实}} \\ Q_B = t_{2B}q - q(T - t_{2B}) \\ W_{\text{实}} = W_q F(M) \end{cases} \quad (\text{式 } 10)$$

$$F(M) = \begin{cases} 0.9 & M > x_2 \\ 1 & x_1 < M < x_2 \\ 1.1 & M < x_1 \end{cases} \quad (\text{式 } 11)$$

其中：为出租车从机场返回市区的时间；为方案 A 出租

车在市区活动的时间；为方案 B 出租车在市区活动的时间；
 q 为出租车单位时间净收益；为出租车司机预期的等待时间；
 T 为出租车一个经营周期的时间； W_q 为排队等待时间； x_1 、 x_2
 为衡量机场乘客数的参考值。

最终给出选择策略：

若 $Q_A > Q_B$ ，则 $X=1$ ，选择 A 方案；

若 $Q_A < Q_B$ ，则 $X=0$ ，选择 B 方案。

4.2 决策模型

司机决策模型的建立：

通过对可靠数据的采集，收集到了中国北京首都国际机场一天中航班起降数据和出租车载客数和总数，分析数据后发现顾客（出租车）相继到达时间间隔服从参数为 λ 的负指数分布，服务台（乘客）的服务时间相互独立，且服从参数为 μ 的负指数分布，且二者服从马尔科夫性。

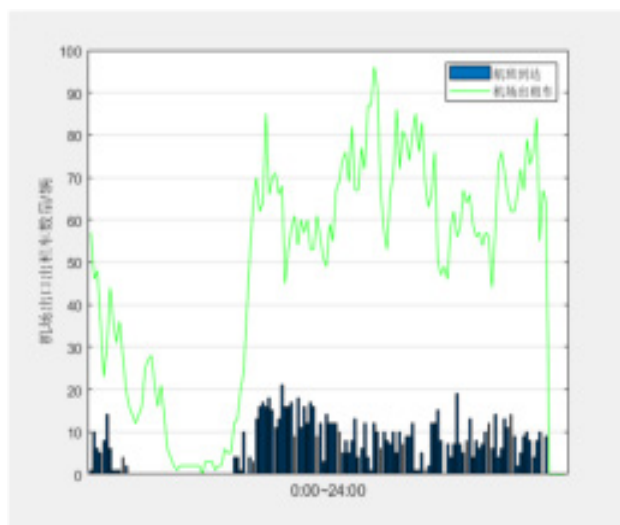


图 2 一天内各时间段机场航班抵达数和出租车数

通过对单位时间间隔驶入机场乘车区的出租车数量用 spss 软件做 $k-s$ 非参数检验，如图 3 所示在置信区间 95% 的前提下， $P>0.05$ ，不能拒绝原假设，单位间隔时间出租车到达数量满足负指数分布。

单样本柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫检验		
2.		
		出租车.
个案数.		30.
泊松参数 a,b.	平均值.	36.33.
最极端差值.	绝对.	.153.
	正.	.153.
	负.	-.134.
柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫 Z.		.839.
渐近显著性 (双尾).		.482.
a. 检验分布为泊松分布.		
b. 根据数据计算.		

图 3 出租车到达时间间隔泊松分布检验

在多服务台排队论模型的基础上计算出司机的平均等待时间为：

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (\text{式 } 12)$$

“蓄车池”内出租车的排队长度：

$$L_q = \sum_{n=s+1}^{\infty} (n-s)p_n = \frac{p_0 p^s}{s!} \sum_{n=s}^{\infty} (n-s)p_s^{n-s} = \frac{p_0 p^s p_s}{s!(1-p_s)^2} \quad (\text{式 } 13)$$

同时，计算出两方案的净利润差值 $Q_{\text{差}}$ ：

$$Q_{\text{差}} = Q_A - Q_B \quad (\text{式 } 14)$$

根据各个时间段两方案的净利润差值确定出司机不同时间段的选择策略，如图 4 所示：

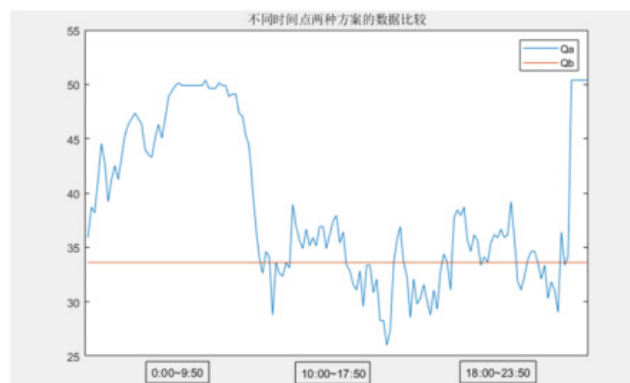


图 4 不同时间点相应决策模型

Fig.4 Corresponding decision models at different time points

当 $Q_A > Q_B$ 时，选择 A 方案最佳；

当 $Q_A < Q_B$ 时，选择 B 方案最佳。

5 结语

5.1 模型的优点

引入司机对排队时间的期望模型,有利于从司机的角度准确的做出决策。考虑影响出租车司机决策的主要因素,建立决策模型,客观反映了司机的决策规律,对大量的航班、出租车数据进行了筛选处理,通过实际数据带入检验的决策模型具有较强的可信度。

5.2 模型的缺点

模型所使用的数据存在一定误差,会对模型结果的准确

性产生一定影响。对于模型的合理性,论文选取的是离散点进行验证,会有一定偏差。

参考文献

- [1] 韩中庚. 数学建模方法及其应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [2] 吴娇蓉, 李铭, 梁丽娟. 综合客运枢纽出租车上客点管理模式和效率分析 [J]. 交通信息与安全, 2012(04):18-23.
- [3] 张泉峰. 首都机场接续运输协调保障技术研究 with 实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.