

基于排队论模型的车场出租车调度问题

文/史可为 张心悦 陈润桓
(南京邮电大学 江苏省南京市 210003)

摘要: 本文针对愈发引人关注的机场出租车决策问题,建立了基于司机收益心理的多级指标决策模型,并参考实地机场数据建立了理想乘车区模型;本文通过建立排队论模型为短途车的载客方案设计提供了一系列可行的方案。最后通过仿真验证了模型的合理性,旨在合理有效地解决机场出租车面临的一系列问题,促进机场出租车产业的高效发展。

关键词: 模糊综合评判法; 排队论; 蒙特卡洛仿真; 粒子群算法

1 问题背景介绍

送客到机场的出租车司机根据实际情况对下一步工作做出两种选择:

(1) 前往缓冲区等待,载客人返回市区。此时出租车需要付出等待时间成本。

(2) 直接空车返回市区载客。此时出租车司机会付出空载损失费用和损失潜在的载客收益。

两种选择方式引发了值得探讨的问题:

- (1) 司机应该如何进行决策使自己获益最大;
 - (2) 管理者应如何管理机场候车区使得总乘车效率最高;
 - (3) 为使收益均衡,管理部门应如何给出租车分配“优先权”。
- 针对这三个问题建立模型求解。

2 模型的建立与求解

2.1 基于多级评价指标的司机载客方案选择决策模型

<< 上接 197 页

中。

通过以上几种维度的履历信息管理模式可以确保整车、关键零部件质量相关信息的全覆盖、层次结构清晰,以期达到质量履历的预期效果。

4.2 质量履历应用愿景

质量溯源是质量控制的一个关键环节,也是质量持续改进的保障,在溯源方式上可分为包括正向溯源和反向溯源。正向追溯是指从零部件加工到产品生产交付正向过程的质量监控,按照相应的工艺流程逐步追溯其质量的关键环节,精准定位生产制造过程中质量缺陷问题。反向追溯是与正向相反的思路,从产品切入,逐步倒查生产工艺各环节的质量漏洞,为生产商精准定位质量问题根源提供决策依据。在实际质量管理过程中,管理者利用反向追溯产品制造各环节影响质量的因素,定位问题发生原因。在确定问题原因后,从零部件批号切入,利用正向追溯的方式定位存在相同问题的产品批次,并对批量零部件进行返修或召回,确保产品质量的零缺陷。质量追溯系统包含了生产过程中人、机、料、法、环、测等一系列的信息,具体包括:

- (1) 人员: 在产品生产过程中每道工序操作人员的信息;
- (2) 设备: 在产品生产过程中用到的设备、刀具、磨具及其参数等信息;
- (3) 物料: 根据产品 BOM 结构记录使用的各原材料的批次、规格、型号等信息;
- (4) 工艺: 记录产品生产过程中使用的工艺文件;
- (5) 环境: 记录产品生产过程中的环境参数,包括温度、湿度等;
- (6) 检测: 产品生产过程中的质检信息,具体包括检验人员、检验方式、检验结果、品质缺陷处理记录等。

结合文献和实际情况^[1]分析发现司机对某方案收益大小的预估主要取决于机场抵达航班的乘客数量、蓄车池内已在等待的出租车的数量、天气状况、道路拥堵情况^[2]。因此我们进行指标分级:某段时间内的乘客数量受某时间段内抵达机场的航班数量、蓄车池内已在等待的出租车的数量和当前时间因素(节假日、普通工作日等)影响^[3]。

2.1.1 基于线性最小二乘拟合的乘客数量回归模型

来利用最小二乘法^[4]对乘客数量 X_2 关于 m 个子项指标的变化曲线进行拟合,步骤如下:

首先确定回归方程的维数。由于不同类别的自然环境和特殊时期对乘客数量的影响程度一般由专家打分得出^[5],均为常数 ξ_0 ,因此乘客数量的变化规律是关于某段时间内抵达航班数的二维线性函数。

其次选用曲线拟合中最常见的最小二乘法去拟合含有未知数的

通过以上质量履历信息的支撑,实现质量的正向追溯和反向追溯。

5 未来研究展望

质量管控是企业持续创新的源动力,而质量追溯是质量管控的关键关节,已经成为企业重点经营管理工作,本研究着眼于区块链技术在质量追溯方面的应用,其主要作用是聚集了生产制造过程中的多方数据,为质量问题精准定位提供数据支持,但是具体的质量问题是否能切实改进还需现场生产提供必要的支撑。未来研究将延伸到质量改进支持,利用先进的技术手段详细记录质量改进的过程,并精准评价改进的效果,最终实现质量管理的闭环支撑。

参考文献

- [1] 谭晓栋. 面向供应链全程的物料跟踪系统研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [2] 顾玉佩, 严良文. 区块链技术在质量追溯体系的应用前景展望 [D]. 上海大学, 中国航发商用航空发动机有限责任公司.
- [3] 勾明月. 基于区块链技术的 DE 公司产品质量追溯体系优化研究 [D]. 山东大学, 2019.
- [4] 鲁玉峰, 唐婷婷, 王轲媛等. 基于 BOM 航空发动机产品质量追溯管理信息化方法的研究 [J]. 企业管理与信息化, 2011 (5).

作者简介

宋冠蕾 (1978-), 女, 山东省烟台市人。大学本科学历 (双学士学位), 高级工程师, 现为中国中车股份有限公司投资管理部投资一处副处长。主要研究方向为城市轨道交通, 区块链, 质量追溯。

函数和已知的 n 组互不相同的数据点 $(x_{ij}^{(2)}, X_{2i})$ 。其中, X_{2i} 表示乘客数量 X_2 的 n 组不同的值, $x_{ij}^{(2)}$ 表示指标乘客数量 X_2 的 m 个子项指标的 n 组不同值。定义方程:

$$f(x) = \alpha_0 + \alpha_1 r_1(x) + \alpha_2 r_2(x) + \dots + \alpha_m r_m(x) + \zeta_0$$

最后根据最小二乘准则确定回归方程的函数 $r_k(x)$ 和系数 α_k 。

2.1.2 基于模糊综合评判法和熵值法的综合评价模型

对于站在出租车司机心理角度考虑的模糊问题, 在此选择模糊数学模型来对所筛选的三个一级指标进行综合评价。步骤如下:

首先确定因素集。记该集合为: $X = [X_1, X_2, X_3]$ 。其中 X_i 为一级指标。其次确定评语集。方案 A 和 B 是不同的决策结果, 两者构成一个集合即评语集。记该集合为: $V = [V_1, V_2]$ 。接着确定因素集中各因素的权重。采用熵值法确定各因素的权重 $W = [\omega_1, \omega_2, \omega_3]$ 。接着确定模糊综合判断矩阵。分别依据两种评语 A 和 B 对各个指标 X_i 进行打分, 作为评语集 V 的模糊子集。最后进行综合评判。根据矩阵模糊映射公式 $M = W \cdot R$ 进行矩阵合成运算, 得到 $1 \times j$ 的矩阵。最终打分值最大的方案则为在综合评价模型辅助下的司机决策结果。

2.2 司机选择决策模型的具体应用与模型分析

为验证上述得出的决策模型, 在此选取成都双流国际机场作为研究对象^[6]。

2.2.1 原始数据获取与预处理

我们利用 Python 爬虫、成都市出租车 GPS 数据、四川省气象局官网、成都市交通运输局官网, 通过合理合法手段采集到了评价体系中所有指标的原始数据。经过数据合理的清洗整理、归一化、可视化、缺失值和异常值的处理, 得到机场蓄车池内出租车的数量、当天出租车乘客数量、完整道路拥堵系数数据等数据。

2.2.2 求解

(1) 回归模型结果。

通过查询得双流机场 9 月 13 日当天自然环境因素的指标值为 $\xi_0=0.430$, ξ_2 的数值为普通工作日的指标值, 为 $\xi_2=1$ 。

根据最小二乘法利用 SPSS 对二维数据进行拟合, 得到乘客数量关于其二级指标变化规律的函数表达式为:

$$X_2 = 206.243X_{21} + 47.341 + (1.43)$$

(2) 基于模糊综合评判法和熵值法的综合评价模型的求解。

由于我们选取的是双流国际机场在 9 月 13 日具体一天的相关数据, 因此将当天 24 小时分成四等份, 求出每个时间段内道路拥堵指数变化率, 再根据熵值法求解模糊综合评价体系因素集中各因素的权重, 最终求出 9 月 13 日司机在四个时间段内的决策方案为: 全时段均选择方案 A。

2.3 基于排队论的机场出租车上客区服务效率模型

我们参考首都国际机场和虹桥机场的出租车乘车区与“上车点”来分析此类排队系统的运作情景并建立我们的构想的理想上客区模型。对于该模型按照以下方式设计:

站在出租车司机和机场管理者的角度考虑: 司机的主要目标为收益最大、损耗的时间成本最小, 与时间成本抵消后剩余的利润部分就越大; 而对于机场管理者, 其管理损失主要来源于增设上车点而必须增加的管理费用; 站在搭乘出租车的乘客角度考虑: 乘客的乘车体验心理是希望等待时间越少越好。

2.3.1 排队模型向双目标优化模型的转化

考虑在有 n 个服务点的服务系统中, 上客区的服务水平可以保证以 95% 的置信度, 即服务者的服务时间满足

$\sum_{i=1}^n P_i = 0.95$; 在以乘客为主体的服务系统中, 服务效率指的是司机单位时间内的接客数; 在以出租车司机为主体的服务系统中, 服务效率指的是乘客单位时间内给司机提供的收益值, 近似呈指数分布。队列都遵循“多通道、单阶段”的结构。

(1) 目标函数①+②。

从乘客想获得更好的乘车体验的心理角度建立目标函数为:

$$\min \mu \quad (1)$$

从司机想获得收益的心理角度分析即有:

$$\begin{cases} loss_{\text{车}} = \bar{n}_i \times t_{\text{停滞}} \times \bar{w}_{\text{车}} & (1) \\ loss_{\text{管理者}} = t_{\text{工作时长}} \times \bar{w}_{\text{人}} & (2) \end{cases}$$

综上可得如下递推关系式:

$$loss^{i+1} = loss^i - (loss_{\text{车}}^{i+1} + loss_{\text{管理者}}^{i+1}) \quad (2)$$

$$\max \left(\frac{\mu}{loss^{n+1}} \right)$$

(2) 约束条件。

在“多通道、单阶段”的队列结构中, 顾客到达人数分布服从泊松分布^[7], 服务者的每次的服务时间分布服从指数分布。

因此约束条件②为:

$$\sum_{i=0}^n P_i = (1 - \frac{\lambda}{\mu}) \sum_{i=0}^n (\frac{\lambda}{\mu})^i = 0.95$$

接着根据 Little 公式^[8], 可以得到在两个子模型中每个顾客等待被服务的概率 P_w 和队列中平均等待的顾客数 \bar{n}_i 为:

$$\begin{cases} P_w = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n + \frac{1}{c!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \left(\frac{c\mu}{c\mu - \lambda} \right) \right]^{-1}, c > 1 & (3) \\ \bar{n}_i = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \lambda \mu}{(c-1)!(c\mu - \lambda)^2} P_w & (4) \end{cases}$$

其中, c 为所开设乘客排队通道的数量。

(3) 最终模型。

$$\text{目标函数: } \max \left(\frac{\mu}{loss^{n+1}} \right)$$

基于顾客被服务子模型的约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n P_i = (1 - \frac{\lambda}{\mu}) \sum_{i=0}^n (\frac{\lambda}{\mu})^i = 0.95 \\ 0 \leq i \leq n \end{cases}$$

基于出租车司机和机场管理者损失值子模型的约束条件:

$$\begin{cases} loss^{i+1} = loss^i - (loss_{\text{车}}^{i+1} + loss_{\text{管理者}}^{i+1}) \\ 0 \leq i \leq n \end{cases}$$

2.3.2 基于穷举遍历法的模型求解

根据我们所设计的理想机车上客模型, 将上客点开设数量的最大值 n 设置为 10 个。

为避免求解结果陷于局部最优和整体已知数据集的中等规模特性, 我们首选穷举遍历法寻找目标函数的最优解。得到结果为: 为了使上客区总乘车效率最高, 应设置 5 个上车点。

2.3.3 基于粒子群算法的求解优化

为了提高求解效率, 接着引入时间复杂度为 $O(n)$ 的粒子群算法求解原优化问题的最优解, 作为解法对比。

使用粒子群算法求解出的最优解看出：通过粒子群算法使 ρ 的精度精确得到提高，进而目标函数的精确性也得到了提高。

2.4 基于带优先权排队论的机场出租车载客模型

首先需要找到合适的指标去衡量出租车收益的大小。由于当前很多城市针对出租车在堵车时低速驾驶的损耗提出了相应的福利政策，因此可以忽略出租车的起步价与另加的公里价之间的差异，用出租车的载客行驶时长来衡量出租车司机的收益。

2.4.1 带优先权的出租车排队模型建立

带优先权排队模型服从的假设和规则：

(1) 模型将优先级分为 n 类（1 级代表最高）， n 是待求出的未知量。

(2) 在同一优先级内出租车司机遵照“先到先服务”原则进行载客。

(3) 对任意优先级，乘客到达概率服从泊松分布，司机从机场载客的外出服务时间服从负指数分布^[9]。

(4) 在分析了成都市出租车的 GPS 数据后，发现从机场出发的出租车在载客的情况下抵达市区用时最长时间为 4 小时左右。因此我们认定从机场和市区往返的时间单程超过 4 小时以上的出租车不参与机场给予的“优先权”优惠政策。

优先级分类和优先级权值的确定：

我们将 4 小时作为参与优先级评选的出租车外出服务时间的右区间。因此我们在这 4 小时之内按照对应的优先级权值分配给出租车司机送客完毕重新回到蓄水池内的继续等待时间。利用如下公式^[10] 计算非抢占性排队模型的服务者等待时间：

$$W_k = \frac{1}{AB_k B_{k-1}} + \frac{1}{\mu}, k = 1, 2, \dots, n$$

其中， $A = s! \frac{s\mu - \lambda}{r^s} \sum_{j=0}^{s-1} \frac{r^j}{j!} + s\mu$, $B_0 = 1$, $B_k = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{s\mu}$, s 是上车点的数量， μ 是出租车司机的平均服务效率， λ 是乘客的平均到达率，并且

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i, r = \frac{\lambda}{\mu}.$$

出租车收益价值的衡量指标：

因为出租车在当天的首次排队时间不确定性极高且对于整天载客情况的影响不大，我们将机场出租车每天的载客过程定义为一个运营周期 T_{ij} ，可得到如下公式：

$$T_{i,j} = t_{\text{送客}i,j} + t_{\text{空载}i,j} + t_{\text{排队}i,j}$$

其中， j 表示出租车在当天经历的第 j 个运营周期， $t_{\text{送客}i,j}$ 表示司机从机场送客人回市区的时间， $t_{\text{空载}i,j}$ 表示司机送客人回市区后空载再次返回机场所用时间， $t_{\text{排队}i,j}$ 表示司机在此抵达机场，拿到优先权、减免掉一定等待时间后距离接到下一批乘客的时长。考虑往返路况（道路堵塞系数）的变化并结合相关数据，根据相关文献^[10] 给出的 $t_{\text{空载}i,j}$ 和 $t_{\text{送客}i,j}$ 的关系系数区间，我们有： $t_{\text{空载}i,j} \in [0.973t_{\text{送客}i,j}, 1.102t_{\text{送客}i,j}]$ 。由于在一个运营周期中，只有在 $t_{\text{送客}i,j}$ 时段是司机有盈利收入的时间段，也是体现司机出行载客价值的时间段。因此，我们用一天中司机的盈利时段占总运营时间的比重作为衡量出租车司机收益大小的标准，即有：

$$v_i = \frac{1}{t_{\text{运营}}} \left(\sum_{j \in J} t_{\text{送客}i,j} \right)$$

基于最小二乘法的出租车收益的平衡模型：

由于给与短途载客再次返回机场的出租车“优先权”的目的是为了使所有司机在机场的收益更加均衡。即平衡收入差距，我们以优先级个数 n 为自变量，基于最小二乘法建立如下模型：

$$\min \sum_{i=1}^I (v_i - \bar{v})^2, I = \text{出租车总数}.$$

求解该最小二乘模型，得出当 $n=3$ 时目标函数最小。

2.4.2 基于蒙特卡洛仿真的模型求解

通过生成 200 个出租车并通过蒙特卡洛^[11] 的思想，随机的在区间 $[0.15h, 2h]$ 上赋予这些出租车服务时间并在 10 小时内进行大量模拟，通过计算 200 个出租车各自的总服务时间，可以看出基于该“优先权处理”方案最终可以较为合理的满足短途出租车的收益，各出租车收益大体均衡。

3 模型进一步讨论

在针对机场出租车问题所建立的模型中，航班数、出租车数据来源真实可靠，数据有一定权威性和可靠全面性，同时综合考虑了蓄水池车量、航班数、节假日、空气天气状况、道路阻碍系数等各项指标，并且利用了排队论及仿真模拟了人等车，车等人的情况，较贴合生活实际。但为了适当简化条件，在查阅文献时没有考虑到节假日时期引起的道路拥堵系数的提高，导致计算结果仍不能充分模拟实际生活场景。

参考文献

- [1] 张爱莲, 李秀森, 王宗谟. 出租车司机职业满意度与心理健康状况调查分析 [J]. 健康心理学杂志, 2002 (06): 438-440.
- [2] 臧献伟, 申明亮, 王庆, 李子康. 基于因子分析的城市交通拥堵评价方法研究 [J]. 水电与新能源, 2019, 33 (08): 51-56.
- [3] 林思睿. 机场出租车运力需求预测技术研究 [D]. 电子科技大学, 2018.
- [4] 胡柏叶, 孙静春, 刘哲松. 考虑节假日因素影响的上海市月入境旅游人数预测 [J]. 西安工程大学学报, 2009, 23 (01): 98-101.
- [5] 黎冬平, 晏克非, 程林结, 许明明. 机场出租车上客区的服务水平模型 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43 (04): 126-130.
- [6] Zhong Zongxin. 成都国际双流机场 [EB/OL]. <https://baike.so.com/doc/674706-714214.html>, 2019-1-10.
- [7] 商建东, 李盼乐, 刘润杰, 李润川. 基于加权时变泊松模型的出租车载客点推荐模型 [J]. 计算机应用, 2018, 38 (04): 923-927+934.
- [8] finsburypark. 民航飞机型号一览表 [EB/OL]. <https://wenku.baidu.com/view/b0e638df50e2524de5187efb.html>, 2012-04-13.
- [9] 李波, 熊歆. 基于利特尔法则的生产线性能定量评估及仿真验证 [J]. 中国机械工程, 2011, 22 (03): 305-309.
- [10] 姚仲敏, 龙昭鹏, 李强. 考虑城市堵车信息的出租车调度系统 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13 (04): 42-46+53.
- [11] 商建东, 李盼乐, 刘润杰, 李润川. 基于加权时变泊松模型的出租车载客点推荐模型 [J]. 计算机应用, 2018, 38 (04): 923-927+934.

作者简介

史可为 (1999-), 女, 江苏省人。大学本科在读。研究方向为数据挖掘与分析。

陈润桓 (1998-), 男, 广东省人。大学本科在读。研究方向为分布式计算。

张心悦 (1999-), 男, 江苏省人。大学本科在读。研究方向为机器学习。