



基于边界曲线的多因素机场 出租车管理系统模型

程荟璇¹, 贺益鑫¹, 李 锴², 覃思义^{3*}

(1. 电子科技大学 经济与管理学院, 成都 611731; 2. 电子科技大学 资源与环境学院, 成都 611731;
3. 电子科技大学 数学科学学院, 成都 611731)

摘要: 该文基于上海浦东国际机场的相关数据对机场出租车的决策安排等问题建立模型并进行分析。使用多因素决策模型解决司机是否进入蓄车池问题, 绘制出蓄车池当前车数边界值与时间的变化曲线。采用“分批定量”规则, 建立多目标优化模型, 解决了上车点安排问题。以收益标准差最小为目标, 解决了短程载客车辆“优先权”问题。用浦东机场航班等数据代入模型可得浦东机场的蓄车池车数边界曲线、最优上车点设置和短程载客车辆的最优时间补贴。从而验证了方法的效果与合理性。

关键词: 多因素决策; 边界曲线; 多目标优化; 正态分布; 仿真

中图分类号: O221.6

文献标志码: A

DOI: [10.12179/1672-4550.20200453](https://doi.org/10.12179/1672-4550.20200453)

Multi-factor Airport Taxi Managerial Model Based on Marginal Curve

CHENG Huixuan¹, HE Yixin¹, LI Kai², QIN Siyi^{3*}

(1. School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;
2. School of Resources and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;
3. School of Mathematical Sciences, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: In this article, based on the data of Shanghai Pudong International Airport(PVG), a model of decision-making management of airport taxi is created and analyzed. A multi-factor decision model is developed to decide whether drivers get into the taxi storage pool depending on how the cost of waiting compares with the cost of driving back without passengers. We plot the marginal curve of the number of taxis in pool to the time change. For the problem of arrangement of the pick-up locations, a multi-objective optimization model is created with the rule of “certain amounts in turn”. For the priority of short-distance drivers, with the goal of the minimum standard deviation of returns, they can pick up the passengers without waiting. By using the data of PVG into the model, we get the marginal curve of the maximal number of taxis in storage pool to time, the optimal pick-up locations and the optimal time subsidy for short-distance drivers. The effect and rationality of the model are verified.

Key words: multi-factor decision; marginal curve; multi-objective optimization; normal distribution; simulation

国内大多数机场均将送客通道和接客通道分开, 送客到机场的出租车司机面临前往接客通道排队等待载客返回市区和直接放空返回市区拉客两个选择。要求结合实际情况建立数学模型研究以下 4 个问题。

1) 分析研究与出租车司机决策相关因素的影响机理, 综合考虑机场乘客数量的变化规模和出租车收益, 建立出租车司机决策模型。

2) 给出国内某机场出租车司机的选择方案, 并分析模型的合理性和对相关因素的依赖性。

3) 某机场“乘车区”现有两条并行车道, 设置“上车点”位置并合理安排出租车和乘客, 保证车辆和乘客安全的条件下, 使得总乘车效率最高。

4) 现拟对某些短途载客再次返回的出租车司机给予一定的“优先权”, 使得这些出租车司机的收益尽量均衡, 试提供一个可行的安排方案。

收稿日期: 2020-09-26; 修回日期: 2022-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(U2030205); 电子科技大学课程建设项目(JPKC20192-39)。

作者简介: 程荟璇(1998-), 女, 本科生, 经济与管理专业。

* 通信作者: 覃思义(1971-), 男, 教授, 主要从事应用建模的研究。E-mail: qinsiya@uestc.edu.cn

1 基本假设

- 1) 假设出租车司机在蓄车池口做出接客决策。
- 2) 本模型中司机做决策时不考虑天气等因素。
- 3) 假设除特殊节假日以外其他情况每天的航班安排情况和航班平均载客量基本相等。
- 4) 假设同一时间内不存在两辆或多辆拥有“优先权”的司机同时到达乘车区造成的等待情况。

2 模型的建立与求解

2.1 确定出租车司机选择策略

2.1.1 建立出租车司机选择决策模型

设出租车单位时间等待成本为 C_W , 当 t 时刻到达机场时, 若选择载客需要等待的时间为 $T_W(t)$; 空载单位时间成本为 C_E , 到达市区的空载时间为 T_E , 若满足下式, 则出租车司机应该选择等待:

$$C_W T_W(t) \leq C_E T_E \quad (1)$$

1) 出租车司机选择载客等待时间

$T_W(t)$ 由排在该司机之前的出租车总的上客时间和该司机行驶蓄车池距离的时间两部分组成。设每辆车的平均上客时间为 $\bar{t}$, 司机到达蓄车池时池内已有的车数为 N_C , 蓄车池总长为 h , 司机车速为 v_{in} , 司机等待前面出租车司机接客的时间内单位时间成本为 C_L , 行驶时单位时间成本为 C_R , 则司机选择等待载客的成本为:

$$C_W T_W(t) = C_W \left(\bar{t} N_C + \frac{h}{v_{in}} \right) = C_L \bar{t} N_C + C_R \frac{h}{v_{in}} \quad (2)$$

但司机无法直接预估其到达蓄车池时需要等待的时间, 因此需转化为以该时刻已经在蓄车池中等待的车数 N_C 作为主要决策变量的决策模型, 而该决策变量又受到机场乘客数量变化的影响。下面进一步量化机场乘客数量变化的影响。

2) 机场到达出港乘客数量变化影响

设 t 时刻到达机场的航班为 F_i^t , ($i = 1, 2, \dots, n_t$)其中 n_t 表示 t 时刻到达机场的航班数量。同时设某架航班 F_i^t 的载客人数为 L_i^t , 则 t 时刻到达的人数为:

$$N_d(t) = \sum_{i=1}^{n_t} L_i^t \quad (3)$$

航班乘客出港人数在航班到达后的某一时间段上呈均匀分布^[1]。设 t_0 时刻所到达的所有航班中乘客出港速度相等但有先后顺序, 同一航班中第一个乘客出港时间为航班到达后的 Δt_F 时刻, 最后

一个乘客出港时间为航班到达后的 Δt_L 时刻, 则某乘客出港时间的概率密度分布满足:

$$P_{t_0}(t) = \begin{cases} 0 & (t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t_F) \\ \frac{1}{\Delta t_L - \Delta t_F} & (t_0 + \Delta t_F \leq t \leq t_0 + \Delta t_L) \end{cases} \quad (4)$$

则对于 t_0 时刻到达的航班出港人数随时间的分布表示为:

$$N_{t_0}(t) = \begin{cases} 0, & t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t_F \\ \frac{N_d(t_0)}{\Delta t_L - \Delta t_F}, & t_0 + \Delta t_F \leq t \leq t_0 + \Delta t_L \end{cases} \quad (5)$$

设 $[t - \Delta t_L, t - \Delta t_F]$ 时间段内有 k_t 架航班到达, 每一架航班到达时间为 t_i , ($i = 1, 2, \dots, k_t$), 则 t 时刻的出港人数为:

$$N(t) = \sum_{i=1}^{k_t} N_{t_i}(t) \quad (6)$$

设出港乘坐出租车人数比率为 ω , 则在 t 时刻出租车需求量为:

$$D(t) = \frac{\omega N(t)}{N_p} \quad (7)$$

式中, N_p 为出租车平均载客量。

设某司机在 t_a 时刻到达蓄车池, 此时观测到的蓄车池中正在等待的车辆数量为 N_C , 设其需要等待的时间为 $T_W(t_a)$, 其满足关系式:

$$N_C = \int_{t_a}^{t_a + T_W(t_a)} D(t) dt \quad (8)$$

考虑司机在不同时刻到达蓄车池时可以考虑蓄车池中正在等待的车辆数 N_C 和某时段抵达的航班数量 F_i^t 做出决策, 因此决策模型化为:

$$N_C \leq \int_{t_a}^{t_a + \frac{C_E T_E (\bar{t} N_C + \frac{h}{v_{in}})}{C_L \bar{t} N_C + C_R \frac{h}{v_{in}}}} D(t) dt \quad (9)$$

2.1.2 求解出租车司机选择决策模型

考虑出租车司机返回市区单位时间内空载的成本 C_E , 主要由油费 C_P 和上交给出租车公司的费用 C_H 两部分组成:

$$C_E = C_P + C_H \quad (10)$$

结合实际, 设出租车均以排量 $S=1.6$ L 计算, 即平均百公里油(气)消耗量 $A=6$ L/100 km, 设出租车在城市中的平均时速 $v=60$ km, 按液化石油气价格 $O_P=5.14$ 元/L, 则每小时油费 $C_P = A \times v \times O_P = 0.06 \times 60 \times 5.14 = 18.504$ 元/h 而折合后每小时上交给出租车公司的费用 $C_H=20$ 元/h。因此单位时间内空载的成本:

$$C_E = C_P + C_H = 18.504 + 20 = 38.504 \text{ 元/h}$$

考虑出租车司机等待载客时怠速运转下的单位时间成本 C_L 。设怠速运转时发动机转速 $v = 800 \text{ r/min}$ ，则每小时消耗油(气)量为：

$$V_f = 0.79 \times S \times v = 0.79 \times 1.6 \times 800 = 1\,011.2 \text{ mL}$$

则怠速运转时的单位时间成本为：

$$C_L = \frac{V_f O_P}{1\,000} + C_H = \frac{1\,011.2 \times 5.14}{1\,000} + 20 = 25.198 \text{ 元/h}$$

当出租车司机在蓄车池内时，设其行驶速度 $v_{in} = 20 \text{ km/h}$ ，则行驶时的单位时间成本：

$$C_R = A \times v_{in} \times O_P + C_H = \frac{6}{100} \times 20 \times 5.14 + 20 = 26.168 \text{ 元/h}$$

根据调查，机场出租车平均载客量为 $N_P = 1.5$ 人，平均每辆车上客时间 $\bar{t} = 45 \text{ s}$ ，因此蓄车池边界车数可以表示为：

$$N_C \leq \frac{2}{3} \int_{t_a}^{t_a + \frac{38.504 \times T_E \left(\frac{45}{3\,600} N_C + \frac{h}{20} \right)} \omega N(t) dt \quad (11)$$

2.2 具体机场出租车司机选择策略

2.2.1 上海浦东机场出租车司机选择策略模型

本文选择中国三大门户复合枢纽之一——上海浦东国际机场作为测试机场数据。根据浦东机场调查数据^[2]，浦东机场选择出租车旅客比例相对稳定，平时和夜间选择出租车的乘客比例分别约 15%、45%，即 $\omega_d = 0.15$ ， $\omega_n = 0.45$ 。考虑直通机场的交通工具如上海地铁 2 号线，地铁运营时间段为 5:30-22:30 定为平时时间段，其余时间则为夜间时间段。

$$\omega = \begin{cases} \omega_d = 0.15, \text{时间段 } 5:30-22:30 \\ \omega_n = 0.45, \text{其他时间段} \end{cases} \quad (12)$$

国内旅客出港时间取值范围则定为 20~40 min，即 $\Delta F_{\text{country}} = 20 \text{ min}$ ， $\Delta L_{\text{country}} = 40 \text{ min}$ ；国际和港澳台旅客出港时间取值范围定为 35~55 min，即 $\Delta F_{\text{world}} = 35 \text{ min}$ ， $\Delta L_{\text{world}} = 55 \text{ min}$ 。

从民航资源网可以查得 2018 年上海浦东机场客平均每架飞机的载客人数约为 146 人^[3]。在获知航班网站 robots 协议允许的情况下，本文以利用爬虫软件爬取 9 月 12 日的航班情况为例。由于浦东机场蓄车池的长度 $h = 3.6 \text{ km}$ ，浦东机场到市区的距离约为 37 km，且出租车在城市中的平均时速 $v = 60 \text{ km/h}$ ，因此在出租车返回市区空载的时间 $T_E = 0.62 \text{ h}$ 。根据式(11)，得到上海浦东机场出租车司机决策模型中 t_a 时刻蓄车池边界车数为：

$$N_C \leq \frac{2}{3} \int_{t_a}^{t_a + \frac{38.504 \times 0.62 \left(\frac{45}{3\,600} N_C + \frac{3.6}{20} \right)} \omega N(t) dt \quad (13)$$

2.2.2 求解上海浦东机场出租车司机选择策略模型

此处采用搜索算法求解^[4-6]，具体步骤如下。

- 1) 设置 $t = 0$ 为初值；
- 2) 判断是否满足 $t \leq 24:00$ ，若不满足则跳出；
- 3) 若满足则设置 $\bar{N}_C = 0$ 为初值；
- 4) 判断是否满足 $\bar{N}_C \leq 20\,000$ ，若不满足则报错；
- 5) 若满足则进一步判断是否满足 $N_C - \int_{t_a}^{t_a + \frac{C_E T_E \left(\bar{N}_C + \frac{h}{v_{in}} \right)}{C_L \bar{N}_C + C_R \frac{h}{v_{in}}} D(t) dt > 0$ ，若满足则输出 $(t, \bar{N}_C)$ ，令 $t = t + 5 \text{ min}$ 并返回第 2 步；
- 6) 若不满足则 $\bar{N}_C = \bar{N}_C + 1$ ，并返回第 4 步。

由于查得上海浦东机场的蓄车位数量约为 2000 左右，因此设置车辆数 N_C 搜索阈值为 2000。

2.2.3 出租车司机选择策略与合理性分析

根据上述求解搜索算法，画出图像，如图 1 所示，因此，结合图 1，决策为：在 t 时刻时，若司机到达蓄车池时发现此时蓄车池现有的汽车数量在图 1 曲线下方或曲线上则决定排队等待载客；否则放弃等待空载返回市区。

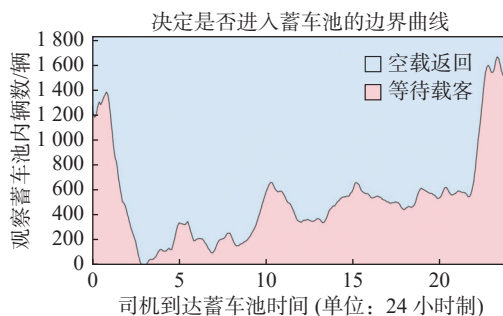


图 1 决定是否进入蓄车池的边界曲线

2.3 设置上车点合理安排出租车和乘客

2.3.1 建立设置上车点优化模型

设乘客只在“乘车区”并行车道的一侧上车，为了考虑乘客与车辆的安全，限定上车区内每一排车辆的间距至少为 l_d ，出租车车长为 l_v 。设所有乘客在上车区内共 $2k$ 辆车全部停稳后从 k 个上车点同步上车，每一排车上客时间为关于 k 的函数 $\bar{t}(k)$ 。当某一批所有的乘客均上车后，该批车辆开始启动并离开，设每一排车辆启动的延迟时间为 t' ，启动加速度为 a ，机场乘车区限速为 $V_{\max}$ 。设当前一批车辆启动时，后一批车辆同步启动，当前

一批车辆恰好完全离开乘车区时, 后一批车辆也恰好完全进入乘车区。对于每一排车上客时间函数 $\bar{t}(k)$, 根据相关调查统计, 当 $k=1$ 时, 即仅设置一个上车点时, 上客的时间为 30 s, 而当上车点数量增加时, 上客时间将趋于饱和, 饱和时间为 60 s^[7]。因此采用 Logistic 函数来描述 $\bar{t}(k)$, 则客运流量转化为:

$$F_{\text{left}} = \frac{2Npk}{\frac{60}{1+e^{-0.25k}} + \frac{V_{\max}}{a} + \frac{k(l_d + l_v) - \frac{V_{\max}^2}{2a}}{V_{\max}} + t'k} \quad (14)$$

考虑关于上车点数量 k 的成本函数 $E(k)$, 最优的设置上车点方案应为乘车区服务成本和旅客需求的机会成本综合最低的方案, 且这是一条 U 形曲线, 因此该上车点成本与 k^2 相关^[8]。根据相关文献可以得到建设车辆停放区域的单位面积成本为 700 元, 而两车道总宽度设置为 5 m, 每增设一个上车点增加的距离为 5.5 m^[9], 因此该成本函数为:

$$E(k) = 700 \times 5 \times 5.5k^2 \quad (15)$$

结合方案要求的目标, 多目标优化模型如下:

$$\begin{cases} P_1 \text{ 客运流量尽可能大: } \max(F_{\text{left}}) \\ P_2 \text{ 乘车区车距尽可能大: } \max(l_d) \\ P_3 \text{ 乘车区行驶限速尽可能小: } \min(V_{\max}) \\ P_4 \text{ 启动加速度尽可能小: } \min(a) \\ P_5 \text{ 上车点成本尽可能小: } \min(E(k)) \\ \text{s.t. } k(l_d + l_v) \geq \frac{V_{\max}^2}{2a} \end{cases} \quad (16)$$

2.3.2 求解设置上车点优化模型

本文设车辆停车后的车距 l_d 为 $l_d = 1$ m; 考虑形排量 1.6 L 的手动挡出租车, 按最低挡启动时的最大加速度大约 $a = 2.5$ m/s²; 第五优先级中目标上车点成本因素 $E(k)$ 与客运流量 F_{left} 类似为关于 k 的函数, 因此将其与第一优先级中 F_{left} 因素作加权处理, 权值 $w = 1/10\,000\,000$, 则成本因素为:

$$E_w(k) = \frac{7 \times 5 \times 5.5k^2}{100\,000} \quad (17)$$

设启动的延迟时间 $t' = 0.5$ s, 出租车车长 $l_v = 4.5$ m, 同时设置变量范围 $1 \leq k \leq 20$, $10 \leq V_{\max} \leq 25$, 因此可以将以上多目标优化模型简化为一个单目标的非线性规划问题:

$$\begin{aligned} \max F_{\text{index}}(k, V_{\max}) = & \frac{3k}{\frac{60}{1+e^{-0.25k}} + \frac{V_{\max}}{2.5} + \frac{5.5k - \frac{V_{\max}^2}{5}}{V_{\max}} + 0.5k} - \frac{7 \times 5 \times 5.5k^2}{100\,000} \\ \text{s.t. } & \begin{cases} 3k \geq \frac{V_{\max}^2}{5} \\ 1 \leq k \leq 20 \\ 10 \leq V_{\max} \leq 25 \end{cases} \end{aligned}$$

求解上述非线性规划模型最终得到最优解 $k=8$, $V_{\max} = 3.33$ m/s (= 12 km/h), 即乘车区方案设置为: 双车道, 一共设置 8 个上车点, 乘车区限速 12 km/h, 启动时加速度不超过 2.5 m/s², 停车时车距至少 1 m; 在此种方案下可以得到乘坐出租车离开机场的单位时间客运流量为 22.5 人/min。

2.4 短途载客出租车“优先”安排方案

本文考虑给予载客行驶距离和载客往返时间分别在某一个阈值内的出租车优先权^[10-12]。首先设定短途载客出租车“优先”安排方案中的短途的路程下界为该城市出租车规定中的短途路程的上界 L_{DIS} 。然后对从机场出发到达某地点的频率数据进行聚类, 得到 n 个聚类点, 计算每个聚类中心 K_i ($i=1, 2, \dots, n$) 到机场的距离 d_i , 选取距离大于下界 L_{DIS} 的聚类点记为集合 $CK_B = \{K_i | d_i > L_{\text{DIS}}\}$, 在该集合中选取距离机场最近的聚类点记为 K_C , 其距机场的距离为 d_C 。根据正态分布的 3 倍标准差原则, 该机场出租车短途乘客到达地点的距离呈现 $\mu = d_C$, $\sigma = d_C/3$ 的正态分布。设定某一常数 b , 判断出租车司机是否返回机场继续载客的标准如下:

1) 当出租车载客距离处于范围 $[0, \mu - b\sigma]$ 内时可以拥有优先权;

2) 而对于载客距离处于 $[\mu + b\sigma, +\infty]$ 内的出租车司机将乘客送至目的地后前往其他地方继续载客, 不会返回;

3) 而对于载客距离处于 $[\mu - b\sigma, \mu + b\sigma]$ 的出租车司机将有 10% 的概率回到机场, 但不具有优先权, 需要排队载客。

为了确定常数 b , 则需要尽量满足出租车司机载客收益尽量均衡。对于第一次载客距离大于 $\mu + b\sigma$ 的出租车司机, 设其载客距离为 d_j , 载客行驶速度为 v_C , 其营收为关于载客距离为 d_j 的函数 $G_{\text{IN}}(d_j)$, 设在蓄车池内的平均等待时间为 T_W , 因此其单位时间内的收益为:

$$W = \frac{G_{IN}(d_j)}{T_W + \frac{d_j}{v_C}} \quad (18)$$

对于第一次载客距离处于 $[0, \mu - b\sigma] \cup [\mu - b\sigma, \mu + b\sigma]$ 的出租车司机, 其将有一定的概率返回机场载客 (若该距离处于 $[0, \mu - b\sigma]$, 必将返回机场, 且无需排队)。但由于返回机场后第二次载客的距离仍然可能处于 $[0, \mu - b\sigma] \cup [\mu - b\sigma, \mu + b\sigma]$ 内, 即仍然有可能返回机场重新载客, 因此设定该司机第一次获得目的地与机场距离处于 $[\mu + b\sigma, +\infty]$ 范围内的乘客前已经往返 $p+q$ 次, 其中有 p 次载客与机场距离处于 $[0, \mu - b\sigma]$ 范围内, 且距离分别为 d_{C_i} ($i = 1, 2, \dots, m$), q 次载客与机场距离处于 $[\mu - b\sigma, \mu + b\sigma]$ 范围内, 且距离分别为 d_{M_j} ($j = 1, 2, \dots, n$), 同时设该司机最后一次载客距离为 d_F ($d_F \geq \mu + b\sigma$), 设空载行驶速度为 v_E 因此在这种情况下司机的单位时间收益为:

$$W = \frac{G_{IN}(d_F) + \sum_{i=1}^p G_{IN}(d_{C_i}) + \sum_{j=1}^q G_{IN}(d_{M_j})}{d_F + \sum_{i=1}^p d_{C_i} + \sum_{j=1}^q d_{M_j} + \frac{\sum_{i=1}^p d_{C_i} + \sum_{j=1}^q d_{M_j}}{v_E}} \cdot \frac{1}{qT_W + \frac{1}{v_C}}$$

本文使用 MATLAB 对上述过程进行 1000 个司机, 每个司机 100 次载客仿真, 计算每一个司机的单位时间收益, 分别记为 W_z ($z = 1, 2, \dots, 1000$), 基于浦东机场的数据满足要求的聚类中心距离为 $d_C = 37$ km, 载客时的平均速度 $v_C = 40$ km/h, 寻求不同常数 b 的情况下 W_z 的尽量小的标准差。

得到 b 的最优取值为 1.06。则短程距离限制为:

$$L_{Limit} = \mu - b\sigma \approx 24 \text{ km}$$

由于出租车司机空载返回时可以自由选择行驶路线, 因此返回机场时的平均速度 v_E 将大于载客时的平均速度 v_C , 设为 $v_E = 50$ km/h, 因此短程时间限制为:

$$L_{Limit} = \frac{L_{Limit}}{v_C} + \frac{L_{Limit}}{v_E} \approx 65 \text{ min}$$

因此该“优先”安排方案定为: 当出租车司机驶离机场时, 若所接乘客的目的地距离小于 24 km, 司机将得到一张“优先权”凭证, 在 65 min 内可以凭该凭证返回机场免排队直接载客离开。设置时间限制可以防止司机为了得到“优先权”凭证而让乘客谎报短途目的地, 同时也可以防止司机

送走乘客后继续在市区接客后又再次返回机场优先接客, 尽可能满足“优先”安排方案的公平性和有效性。此时出租车司机收益标准差达到最小, 为 28.32%, 平均收益为 38.12 元/h。

3 结束语

本文对于影响出租车司机决定是否进入蓄车池等待的因素考虑较全面, 模型准确度较好; 同时结合实际情况, 将多种因素仅通过某一时刻的蓄车池车辆数边界值表示, 简化了司机的决策过程。在乘车区安排不仅兼顾了客流量和乘客车辆安全, 还考虑了上车点建设管理成本, 更具有实际意义。本模型普适度较好, 只要在得到相关数据的情况下, 可以适用于各种不同规模的机场。

参考文献

- [1] 魏艳华, 王丙参, 宋立新. 均匀分布的优良特性及其应用[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2010, 23(4): 385-387.
- [2] 曹流. 浦东机场到达客流有多少人打的[EB/OL]. (2017-8-9)[2019-9-15]. <https://bbs.feeyo.com/thread-5931815-1-1.html>.
- [3] 民航数据控. 2018年中国235个机场客次排名[EB/OL]. (2019-01-13)[2019-9-15]. <http://news.carnoc.com/list/477/477575.html>.
- [4] 何川. 基于改进K近邻算法的航站楼离港旅客到达规律研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2019.
- [5] 许文浩. 上海民航机场旅客吞吐量影响因素及趋势预测[D]. 上海: 上海社会科学院, 2019.
- [6] 丽娜. 基于GPS数据的城市出租车运营分析与数据挖掘[D]. 济南: 山东大学, 2015.
- [7] 文雅. 综合客运枢纽交通规划与设计的关键技术[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [8] 胡稚鸿, 董卫, 曹流, 等. 大型交通枢纽出租车智能匹配管理系统构建与实施[J]. 创新世界周刊, 2019(7): 90-95.
- [9] 百度文库. 车库停车场建设成本分析[EB/OL]. [2018-10-10]. <https://wenku.baidu.com/view/ba22b92400f69e3143323968011ca300a6c3f62b.html>.
- [10] 柳伍生, 谭倩. 交通枢纽出租车车道边通行能力仿真研究[J]. 计算机仿真, 2012(4): 357-361.
- [11] MITCHELL R. Python网络数据采集[M]. 陶俊杰, 陈小莉, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
- [12] 邓建华, 冯焕焕, 葛婷. 多车道元胞自动机换道决策模型的冲突处理策略[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(4): 50-54.