

机场的出租车问题

0.1 第二问

0.1.1 相关数据

真实数据

对于南京市 (“下称南京”), 现有以下直接数据:

南京有且仅有一个民用机场, 为南京禄口国际机场 (下称 “机场”)。

机场距离市中心 35 公里, 出租车载客单程用时大约 60 分钟。机场共有 650 个往返航班, 年起降共 20.9 万次, 平均每日起降 570 次, 年客流量 2582.2 万人次, 平均每日 7.07 万人次。乘客选择出租车通勤的大概占 20%。机场建有出租车蓄车场, 蓄车场容量大约 560 辆车, 同时最多容纳 2 辆出租车通过蓄车场。

南京市民每日平均通勤时间总长为约 50 分钟, 单程时间为 25 分钟。

南京出租车保有量为 9000 辆, 综合考虑油费等相关费用和收费情况, 出租车空载时净亏损: 载客时净收益 = 1:2。另外有机场提供的出租车收费参考表和基于 GPS 数据的南京出租车上客时间特征及热点时空分布数据:

| 目的地 | 参考里程 (千米) | 参考计价金额 (元) |
|--------------|-----------|------------|
| 新街口 (金陵饭店) | 41 | 127 ~ 153 |
| 总统府 | 42 | 131 ~ 157 |
| 玄武门 (玄武饭店) | 44 | 138 ~ 166 |
| 山西路广场 | 45 | 142 ~ 171 |
| 南京饭店 | 46 | 145 ~ 175 |
| 丁山宾馆 | 48 | 153 ~ 184 |
| 中山陵 (国际会议中心) | 45 | 142 ~ 171 |
| 夫子庙 | 39 | 120 ~ 144 |
| 鼓楼广场 | 44 | 138 ~ 166 |
| 南京长途汽车东站 | 47 | 149 ~ 179 |
| 中央门 | 47 | 149 ~ 179 |
| 奥体中心 | 40 | 124 ~ 149 |
| 南京火车站 | 48 | 153 ~ 184 |
| 南京南站 | 33 | 99 ~ 118 |
| 江宁区禄口镇 | 11 | 30 ~ 36 |
| 江宁区秣陵镇 | 15 | 40 ~ 47 |
| 江宁区东山镇 | 35 | 106 ~ 127 |
| 溧水县 | 21 | 55 ~ 66 |
| 高淳区 | 54 | 174 ~ 210 |
| 浦口区 | 57 | 185 ~ 223 |
| 六合区 | 83 | 279 ~ 336 |

图 1: 南京禄口机场至市内目的地出租汽车收费参考表

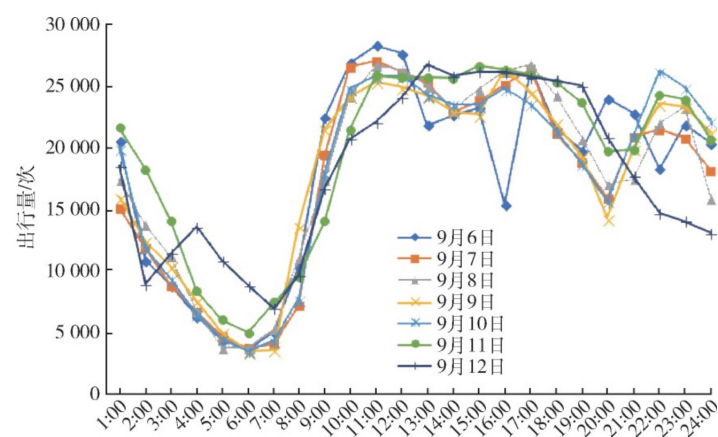


图 2: 一周内上下客数量随时间变化图



图 3: 市区一周内上下客热点图

高级数据

通过爬取得到的机场进出港航班时刻信息和机场客流量数据，以及相关假设，我们可以计算得出一天内各时刻的平均进出港航班总数：

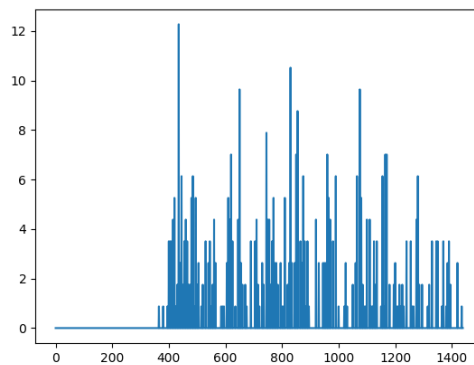


图 4: 各时刻平均进出港航班总数

根据市区上下客数量、出租车总量并且认为市区内每一次持续 25 分钟，我们判断出租车在市区接到客的概率满足二项分布，则通过公式：

$p = n/t$, 其中 n 为每小时内出租车的平均接客次数， t 为每小时内出租车的平均等客时间

我们可以计算得到市区内各时段出租车在一分钟内接到客的概率：

注：因为当平均接客次数较低时运营的出租车也较少，所以部分数据稍有修正。

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 时间 (小时) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 概率 (%/分钟) | 6.00 | 4.35 | 4.06 | 2.10 | 1.909 | 1.730 | 1.730 | 2.79 | 6.42 | 8.46 | 13.5 | 13.5 |
| 时间 (小时) | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 概率 (%/分钟) | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 13.5 | 8.46 | 6.00 | 6.45 | 8.46 | 8.46 | 7.45 |

表 1: 出租车在各时段接到客的概率

根据出租汽车收费参考表和上下客热点图，我们可以构造一个出租车载客离开机场的收益分布：

| | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 收益 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| 概率 (%) | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 10.0 | 15.0 | 30.0 | 20.0 | 10.0 |

表 2: 出租车载客离开机场的收益分布

0.1.2 模型简介

对于该问题，我们使用仿真方法，对一天内所有进出机场的出租车进行模拟：

根据数据，我们构建两个数据列表，分别是各时刻出租车进港数和各时刻出租车需求量，这两个数据列表是仅与航班时刻表有关的，其中进港数稍提前于时刻表（模拟乘客提前到机场）而需求量稍落后于时刻表（模拟乘客下飞机需要一段时间）。

初始时刻，我们定为第 0 分钟，即 00:00，此时刻出租车队列为空，乘客队列为空。

t 时刻，我们历遍 t 时刻进港出租车，对每一个出租车进行判断：

如果出租车队列已满，则空车回城；如果出租车队列未满，则计算自己接到客的时间 t' ，根据 t' 计算五次期间内空载回城和在机场等待的收益。如果这五次中有三次在机场等待的收益高，则加入出租车队列并处于末尾；而如果这五次中有三次空载回城的收益高，则空车回城。

对出租车判断后对出租车站进行判断：

如果乘客列表中有人，则依次从出租车队列的前端上车离开；如果需要上车离开的人超过蓄车场最大通过数则只有部分人能离开；如果乘客列表中有人需要等待超过 30 分钟，则需要等待超过 30 分钟的人会依 $(0,1)$ 上的均匀分布放弃排队而选择其他交通方式。

当 t 历遍每天的 1440 个时刻，则模拟结束。

其中收益比较时有以下步骤：

- 1) 确定等待时间：计算从 t 时刻起到某时刻的出租车需求总量和 t 时刻的积累需求量为总需求，总需求应恰大于出租车队列长度，即到某时刻出租车一定能接客离开。总需求和出租车队列长度中的较大值除以蓄车场通过数则为等待时间。
- 2) 确定在机场的总体收益：根据表 2 确定这一趟的收益，然后减去等待时间的成本，并得到总运营时间。
- 3) 确定回城后的总体收益：将回城消耗时间定为 30 分钟，将 2) 得到的总运营时间减去回城消耗时间，之后根据表 1 的概率进行计算，直到 t' 时刻。将运营净收益减去空载净亏损得到总体收益。
- 4) 比较在机场的总体收益和回城后的总体收益。

0.1.3 平均状态

在平均状态下，我们假设进港航班和出港航班一一对应，平均每个航班有 126 人，每 7 个人需求一辆出租车（其他需求为公共交通、私家车等），机场出租车蓄车场每分钟最多通过 6 辆出租车，最多容纳 560 辆出租车。总而言之，每一个航班将对应 18 个出租车。这样我们有每时刻进港出租车数和出租车需求量：

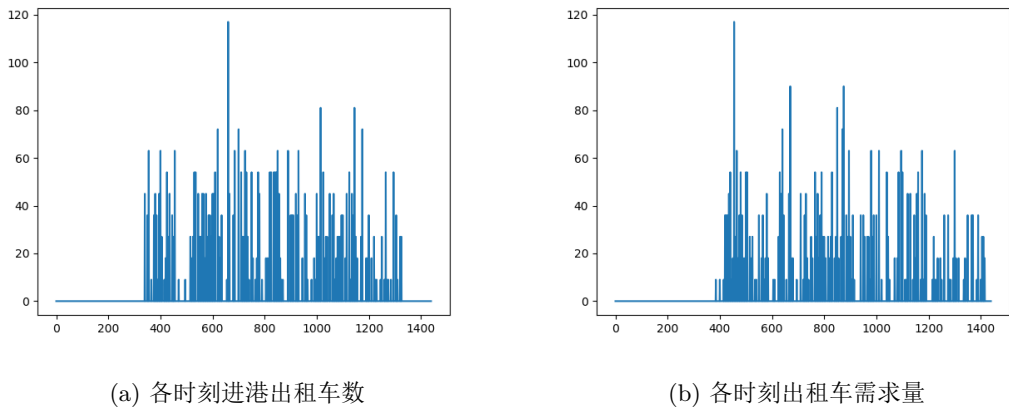


图 5

在平均状态下，共有 4761 辆出租车到达过机场，其中 4055 辆 (占比 85.1%) 选择在机场等待，706 辆 (占比 14.9%) 选择空载回城，有各时刻出租车站出租车数和乘客数以及各时刻选择等待还是回城的出租车数：

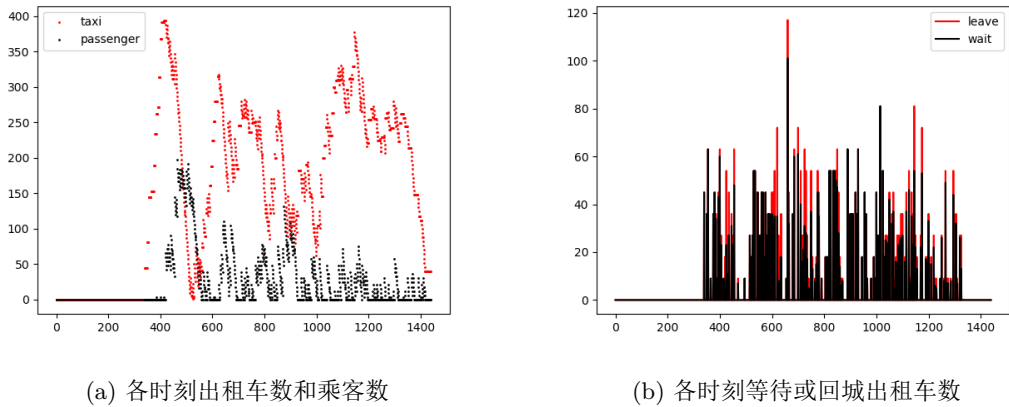


图 6

进一步，我们可以得出各时刻选择在机场等待的出租车占当前时刻出租车的比例 (若当前时刻没有出租车到达机场则记为 0)：

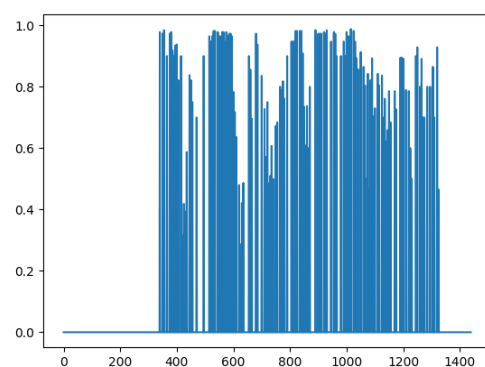


图 7: 各时刻等待出租车比例

结论

通过观察图像，我们可以得出以下结论：

- 1) 假设数据较符合真实情况，等待的乘客几乎没有等待超过 30 分钟的，并且出租车站蓄车场最多只用了 70% 左右的容量，证明在此状态下出租车站效率较高。
- 2) 在 10 点 (600 时刻) 的市区出租车运行高峰之前，只要蓄车场容量不超过 70%，出租车就不会空载回城。
- 3) 在 10 点 (600 时刻) 到 18 点 (1100 时刻) 的市区出租车运行高峰时段，只有当蓄车场容量不超过 50% 时，出租车才会在机场等待。
- 4) 在 18 点 (1100 时刻) 的市区出租车运行高峰之后，出租车对蓄车场队列长度的容忍度回升到 70% 容量。

注：容忍度为司机选择在机场等待时出租车队列占蓄车场容量的百分比，即 70% 容忍度为出租车队列长度为 $560 * 70\% = 392$ 时司机仍选择在机场等待。

在平均状态下，我们建议：出租车司机可以根据蓄车场容量和当前时段判断是否在机场等待。如果当前处于出租车运行高峰期 (即 10 点到 17 点)，则只能有 50% 的容忍度，如果不处于高峰期，则可以有 70% 的容忍度。

0.1.4 出行旺季

在出行旺季，我们假设市区接到客的概率提高 20%，进港航班和出港航班一一对应，航班数不变但平均每个航班有 210 人，每 7 个人需求一辆出租车 (其他需求为公共交通、私家车等)，机场出租车站每分钟最多通过 10 辆出租车，最多容纳 560 辆出租车。总而言之，每一个航班将对应 30 个出租车。这样我们有每时刻进港出租车数和出租车需求量：

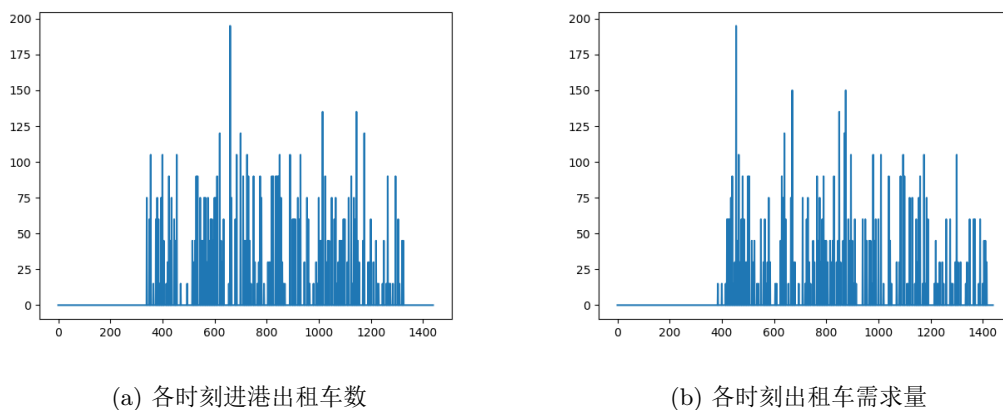


图 8

在出行旺季，共有 7935 辆出租车到达过机场，其中 6668 辆 (占比 84%) 选择在机场等待，1267(占比 16%) 辆选择空载回城，有各时刻出租车站出租车数和乘客数以及各时刻选择等待还是回城的出租车数：

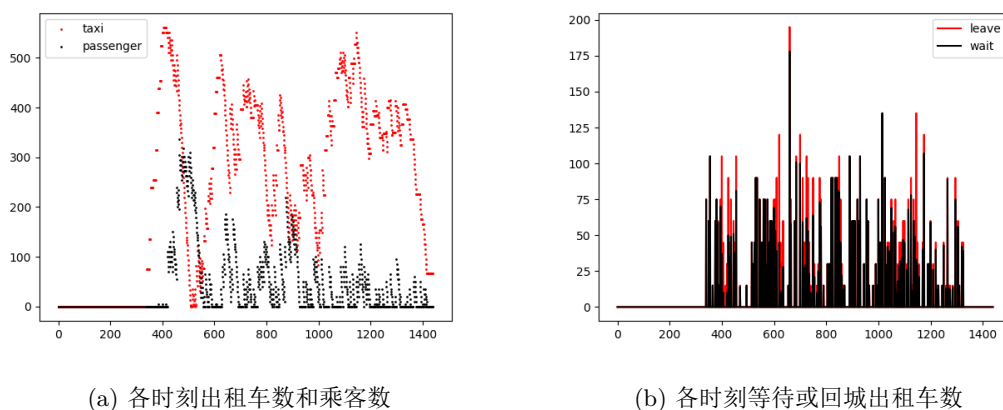


图 9

进一步，我们可以得出各时刻选择在机场等待的出租车占当前时刻出租车的比例 (若当前时刻没有出租车则记为 0)：

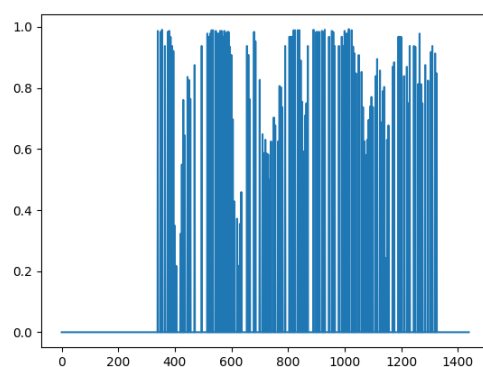


图 10: 各时刻等待出租车比例

结论

通过观察图像，我们可以得出以下结论：

- 1) 假设数据较符合真实情况，等待的乘客几乎没有等待超过 30 分钟的，并且出租车站蓄车场只有大概 15 分钟是满员的，证明在此状态下出租车站效率较高。
- 2) 出租车司机在是否回城的选择上和平均状态没有明显区别，证明模型结果较为稳定。
- 3) 相对于平均状态，出租车司机对蓄车场容量的容忍度大幅提升，在市区出租车运行高峰之前，只要蓄车场未满员，就会选择在机场等待；市区出租车运行高峰期间，可以容忍 80% 的容量；在市区出租车运行高峰之后，容忍度回升到 100%。这是因为，虽然市区接客概率提高了，但是空载回城的成本没有降低并且稍有提高。
- 4) 图 10 相对图 7 除纵坐标刻度以外变化不大，证明相关结果仅与机场航班有关，对其他参数的变化不敏感。

在出行旺季，我们建议：市区出租车运行高峰期间可以有 80% 的容忍度，市区出租车运行高峰以外只要蓄车场未满员都可以选择在机场等待。

0.1.5 出行淡季

在出行淡季，我们假设市区接到客的概率降低 10%，进港航班和出港航班一一对应，航班数不变但平均每个航班仅 70 人，每 7 个人需求一辆出租车（其他需求为公共交通、私家车等），机场出租车站每分钟最多通过 5 辆出租车，最多容纳 100 辆出租车。总而言之，每一个航班将对应 10 个出租车。这样我们有每时刻进港出租车数和出租车需求量：

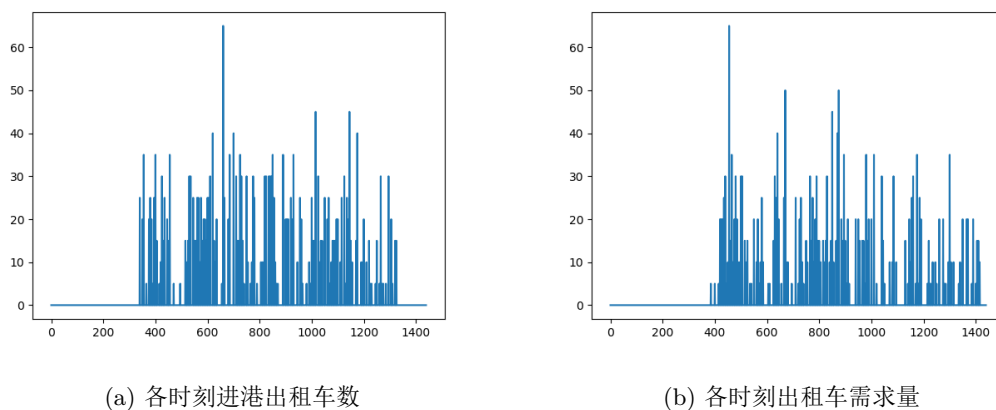


图 11

在出行淡季，共有 2645 辆出租车到达过机场，其中 2067 辆 (占比 78%) 选择在机场等待，578 辆 (占比 22%) 选择空载回城，有各时刻出租车站出租车数和乘客数以及各时刻选择等待还是回城的出租车数：

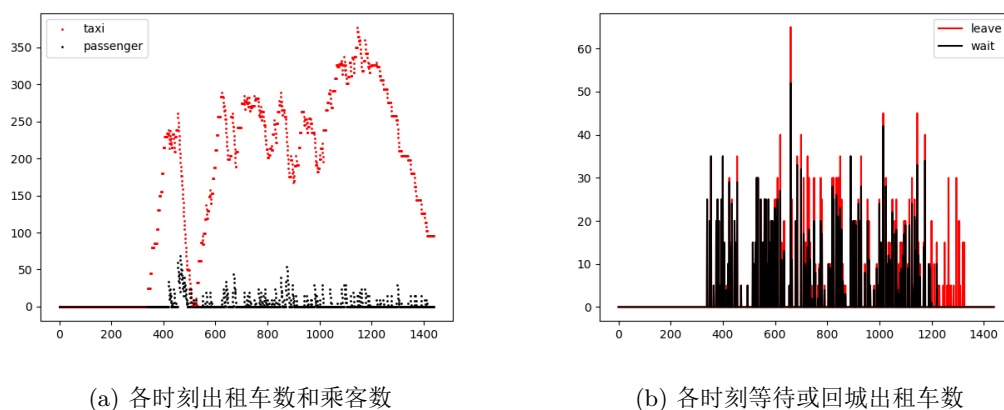


图 12

进一步，我们可以得出各时刻选择在机场等待的出租车占当前时刻出租车的比例 (若当前时刻没有出租车则记为 0)：

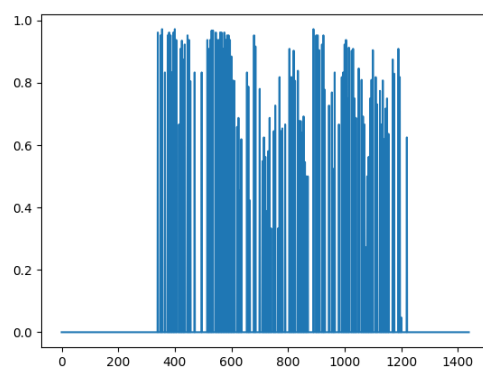


图 13: 各时刻等待出租车比例

结论

通过观察图像，我们可以得出以下结论：

- 1) 假设数据较符合真实情况，等待乘客数不超过 50，而蓄车场最多使用了 65%，证明在此状态下确实是出行淡季。
- 2) 相比平均状态，市区出租车运行高峰之前几乎没有空载回城的，而 20 点 (1200 时刻) 之后，大部分出租车都选择了空载回城，而在市区出租车运行高峰期间，除了容忍度降为 50% 外情况没有什么变化。这是因为，高峰之前来排队的出租车较少，市区内接客概率也较低，因此可以选择在机场安心等待；20 点之后，深夜航班能带来的乘客数极少，不能满足大部分出租车的需求，因此他们选择空载回城；出行淡季的高峰时期则同样是高峰，空载回城的收益依然较高。
- 3) 在大部分时段，图 13 相比图 7 变化不大，再一次证明模型稳定性较高。

在出行淡季，我们建议：在市区出租车运行高峰之前，可以尽量选择在机场等待；市区出租车运行高峰期间，可以保持 50% 的容忍度；市区出租车运行高峰之后尽量选择回城。

0.1.6 第二问总结

根据我们对平均状态、旺季、淡季的三次模拟，我们发现出租车站乘客平均等待时间少于 20 分钟，而白天时段出租车站蓄车场的出租车有着较大的余量，可以保障乘客出行要求，因此本模型较为合理。

在变化市区接客概率、单次航班载客数、出租车站设置等参数后，结果在数值的绝对大小以外没有太大的变化。这证明相关结果主要与机场本身航班设置有关，其他参数贡献较低，也就是说，这是与城市特征相关的模型，针对性和稳定性较高。