

合乘模式下司机收入公平模型及仿真

张薇, 何瑞春*, 肖强, 马昌喜

(兰州交通大学 交通运输学院, 兰州 730070)

摘要: 针对出租车合乘模式下司机的收入问题,建立了合乘模式下司机收入公平心理模型,采用公平理论分析了司机的心理及行为,通过仿真计算,分析了合乘模式下乘客总需求量及司机公平心理对司机收入的影响.研究表明,乘客总需求对合乘模式下司机总体的平均收入有较大的影响,合适的供需比下实施合乘才能提高司机收入;在供需比较大时,司机争抢乘客的行为会导致司机个体收入差距增大,部分司机收入降低的现象;为成功实施合乘模式,必须考虑当地出租车市场的供需比情况,并且建立合理的措施以防范司机争抢乘客的行为出现.所得结论对出租车合乘政策的制定与管理有一定的指导意义.

关键词: 城市交通;出租车合乘;公平理论;司机心理

Driver Income Equity Model and Simulation under Carpooling Mode

ZHANG Wei, HE Rui-chun, XIAO Qiang, MA Chang-xi

(School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Considering taxi driver psychology for equity, driver income under taxi carpooling mode is researched. Equity psychology model of driver income under carpooling mode is established, and psychology and behavior of drivers are analyzed based on equity theory. Then the influence of total passenger demand and driver behavior on income is analyzed through simulation. The results show that, the influence of total passengers demand on driver average income is large, and the appropriate ratio of supply and demand is the key factor of increasing driver income; when the ratio is big, the driver behavior for passengers causes the gap between drivers income increasing and some drivers income lowering; in order to implement successfully carpooling, it is necessary to consider the ratio of supply and demand of local taxi market, and establish reasonable measures to prevent driver behavior for passengers. These conclusions have a certain guiding significance to formulating taxi policy.

Key words: urban traffic; taxi pooling; equity theory; driver psychology

1 引言

出租车合乘模式是指乘客经协商同意共同乘坐同一辆出租车的行为模式,可以有效地提高运输效率、缓解交通压力,目前很多城市已经开始推

行出租车合乘政策.国内外许多学者针对合乘问题展开了研究^[1-4],Lin等建立了基于费用考虑的合乘路径优化模型^[5];Yan等提出了一种基于拉格朗日松弛法的合乘路径规划方法^[6];Jiao应用遗传算法

收稿日期: 2015-03-16

修回日期: 2015-05-15

录用日期: 2015-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(61364026, 51408288); 兰州交通大学青年科学基金项目(2015032).

作者简介: 张薇(1980-),女,甘肃兰州人,讲师,博士生.

*通信作者: herc@mail.lzjtu.cn

解决了合乘路径匹配问题^[7]; HE 基于 GPS 定位数据进行挖掘获得优化的合乘路径^[8]; Kammerdiener 等研究了合乘系统中不同类型用户之间的匹配问题^[9]; 肖强等利用模糊聚类方法实现了车辆与乘客的匹配^[10]; Manzini 等设计了决策支持系统以辅助解决合乘匹配问题^[11].

目前大部分合乘研究主要针对合乘路径选择与乘客匹配^[12-14], 然而合乘的成功实施还必须得到乘客与司机双方的支持. 合乘政策直接关系着乘客与司机双方的经济利益, 实现乘客与司机的双赢是顺利推行合乘政策的关键. 合乘的路段乘客只需支付一部分费用, 因此, 合乘必然在一定程度上降低乘客的乘车费用, 而司机收入的提高与多种因素相关, 合乘模式能否给司机带来收入的提高还有待进一步验证. 目前关于合乘模式对司机收入的影响性研究较少, 此外, 司机对合乘模式实施所引起的收入变化而产生的心理反应会作用于出租车市场, 从而对司机收入的分配及合乘政策的实施产生较大影响. 因此, 本文基于公平理论建立了合乘模式下的司机收入公平心理模型, 并对司机总体及司机个体收入的影响进行分析.

2 合乘模式下司机收入模型

2.1 合乘费用

令出租车的起步价为 p_s 元/ a km, 超过 a km 后, 每公里租价为 p_r 元, 乘客 i 的行程为 x_i . 当乘客 i 独自乘坐出租车时, 其费用 $P(x_i)$ 为

$$P(x_i) = \begin{cases} p_s, & x_i \leq a \\ (x_i - a) \cdot p_r + p_s, & x_i > a \end{cases} \quad (1)$$

合乘的情形较为复杂, 乘客可能同时上车, 也可能不同时上车, 还可能中途又有其他乘客上车或下车. 但是无论情形如何, 对于合乘出租车的乘客, 在其从上车至下车的整个乘车过程中的乘车状态可以分为两种: 合乘状态和独乘状态. 合乘状态表示与他人共乘出租车, 独乘表示独自一人乘车. 每位乘客的乘车过程中, 其他乘客的上车或者下车行为都可能使其乘车状态发生变化, 即乘客合乘出租车的过程也是其乘车状态不断改变的过程. 令乘客 i 上车位置为 x_i^s , 下车位置为 x_i^d , 与其他乘客合乘总路段为 d_i , 合乘路段所需支付费用的

比例(简称支付比例)为 θ , 乘客 i 的乘车过程可以归结为以下几种情况:

(1) 全程合乘.

乘客 i 与其他乘客同时上车, 或者当乘客 i 上车时车上已有其他乘客, 直到乘客 i 下车为止的整个乘车过程都保持为合乘状态, 如图 1 所示, 那么乘客 i 的费用为

$$c_i = P(d_i) \cdot \theta \quad (2)$$

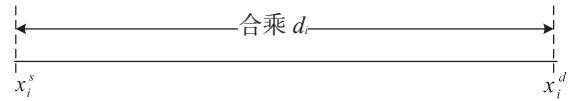


图 1 全程合乘

Fig. 1 The whole travel carpooling

(2) 先合乘, 后独乘.

乘客 i 与其他乘客同时上车, 或者当乘客 i 上车时车上已有其他乘客, 但是在乘客 i 的乘车过程中, 其他乘客全部下车, 使得乘客 i 由合乘状态转换为独乘状态, 然后保持独乘状态至乘客 i 下车, 如图 2 所示. 乘客 i 的费用为

$$c_i = P(d_i) \cdot \theta + P(x_i^d - x_i^s) - P(d_i) \quad (3)$$

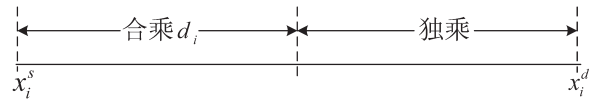


图 2 先合乘后独乘

Fig. 2 Carpooling first ride alone later

(3) 先独自乘坐, 后合乘.

乘客 i 上车时, 车上没有其他乘客, 即该乘客刚上车为独乘状态. 在乘车途中, 有其他乘客上车与之合乘, 并保持合乘状态至乘客 i 下车, 如图 3 所示. 乘客 i 的费用为

$$c_i = \begin{cases} P(x_i^d - x_i^s - d_i) + (P(x_i^d - x_i^s) - P(x_i^d - x_i^s - d_i)) \cdot \theta, & x_i^d - x_i^s - d_i > a \\ P(x_i^d - x_i^s) \cdot \theta, & x_i^d - x_i^s - d_i \leq a \end{cases} \quad (4)$$

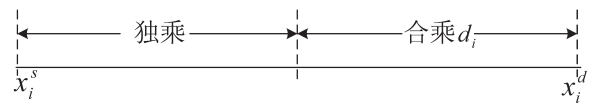


图 3 先独乘后合乘

Fig. 3 Ride alone first carpooling later

(4) 中途合乘.

乘客 i 上车时, 车上没有其他乘客, 乘客 i 刚上车为独乘状态, 途中有其他乘客上车与之合乘, 合乘一段路程之后又下车, 乘客 i 由合乘又转变为

独乘状态,直至乘客 i 下车.令乘客 i 上车至乘车状态转变为合乘状态的距离为 y_i ,具体如图4所示.乘客 i 的费用为

$$c_i = \begin{cases} (P(y_i + d_i) - P(y_i)) \cdot \theta + P(x_i^d - x_i^s - d_i), & y_i > a \\ P(y_i + d_i) \cdot \theta + P(x_i^d - x_i^s) - P(y_i + d_i), & y_i \leq a \end{cases} \quad (5)$$

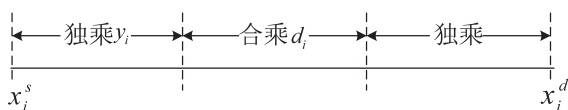


图4 中途合乘

Fig. 4 Carpooling halfway

(5) 中途独乘.

乘客 i 与其他乘客同时上车,或者当乘客 i 上车时车上已有其他乘客,乘客 i 刚上车为合乘状态,合乘一段路程后,其他乘客全部下车,乘客 i 转为独乘状态,之后又有乘客上车使乘客 i 转为合乘状态,直至乘客 i 下车.令乘客 i 独自乘车的总距离为 l_i ,上车至乘车状态转变为独乘状态的距离为 z_i ,具体如图5所示.乘客 i 的费用为

$$c_i = \begin{cases} P(x_i^d - x_i^s - l_i) \cdot \theta + P(z_i + l_i) - P(z_i), & z_i > a \\ P(x_i^d - x_i^s) \cdot \theta, & z_i + l_i \leq a \\ (p_s + P(x_i^d - x_i^s) - P(z_i + l_i)) \cdot \theta + P(z_i + l_i) - p_s, & z_i \leq a < z_i + l_i \end{cases} \quad (6)$$

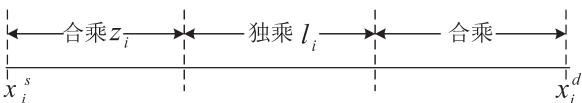


图5 中途独乘

Fig. 5 Ride alone halfway

2.2 司机收入

令司机 j 当日所载乘客支付费用集合为 $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_i, \dots, c_m\}$, 则司机 j 每日收入为

$$r_j = \sum_{i=1}^m c_i - W(s_j) - g_j \quad (7)$$

式中 $\sum_{i=1}^m c_i$ 为当日载客的总收入; g_j 为司机 j 需要交纳的管理费; $W(s_j)$ 为司机 j 当日行驶 s_j km 的燃气费用,按照 $8 \text{ m}^3/100 \text{ km}$ 耗气量计算,产生的燃气费为

$$W(s_j) = \frac{8f}{100} s_j \quad (8)$$

式中 f 为每立方米燃气价格; s_j 为司机 j 当日行驶公里数.

3 合乘模式下司机公平心理模型

美国心理学家亚当斯提出的公平理论指出,人们总会自觉或不自觉地将自己的报酬进行历史比较与社会比较,历史比较指将获得的报酬与自己过去的情况比较,社会比较指将自己获得的报酬与他人比较,通过比较对报酬分配的公平与否做出判断,其公平感直接影响人们的动机和行为.公平理论从心理角度描述了人类对个人收入的理解与判断,公平心理对人的行为产生重要影响^[15,16].同样,合乘模式实施后,出租车司机自然也会通过历史比较与社会比较对自己的收入进行公平与否的判断,即与合乘实施前自己收入进行比较的同时,也会与其他司机的收入变化进行比较,从而产生公平心理感受.本文提出司机收入公平感的概念,定义如下:

定义 收入公平感是指司机对个人收入通过历史比较与社会比较后所获得的公平与否的感受,记司机 j 在 t 时刻的收入公平感为 u_j^t ,具体为:

$$u_j^t = ua_j^t + ub_j^t \quad (9)$$

$$ua_j^t = \frac{1}{t} \sum_{v=1}^t (r_j^v - r_j^0) \quad (10)$$

$$ub_j^t = ua_j^t - \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (r_k^t - r_k^0) \quad (11)$$

式中 ua_j^t 为司机 j 与自己过去的收入比较; ub_j^t 为司机 j 与其所掌握的其他司机 k 的日平均增加收入的比较; r_j^v 为司机 j 在 v 时刻的日收入; r_j^0 为司机 j 在合乘实施前的日收入.

收入公平感取决于司机自己的收入变化与其所了解到的其他司机的收入变化情况.当司机的个体收入出现较大幅度降低,或者个体收入的提高幅度小于其他司机时,则 $u_j^t < 0$,此时司机会出现不公平感.根据公平理论,感受到不公平的人会想方设法降低或消除不公平感,于是,具有不公平感的司机将会采取行动增加自己的收入以消除不公平感,最直接的方法是增加每日最大行驶里程 l_{\max} 去拉载更多的乘客.这种加速载客的争抢乘客行为增加个体收入的同时,也会带来一定的负面影响.出租车合乘系统主要由不同乘客、司机构成,相互之间交互较多,是典型的复杂系统,针对本文提出的司机收入公平模型,下面采用多智能体仿真方

法来分析合乘实施后司机总体的收入变化与公平心理对司机个体收入的影响。

4 合乘模式下司机收入公平模型仿真算法设计

仿真系统的系统参数包括乘客总需求 Q ; 出租车数量 n ; 收费标准参数 p_s 、 a 、 p_r ; 出租车日管理费 g ; 燃气价格 f ; 合乘支付比例 θ . 定义模型中的收入公平感函数 $U(\text{Agent}D_j.\text{income}, <\text{Agent}D_j> \text{INFORM} <\text{fact}>)$; 独乘费用函数 $P(\text{Agent}P_i.s)$; 合乘费用函数 $C(\text{Agent}P_i.s, \text{Agent}P_i.d, \text{Agent}P_i.y)$ 及燃气费函数

$W(\text{Agent}D_j.s)$. 模型包括两种主体: 司机 Agent 与乘客 Agent .

(1) 司机 Agent .

将司机与车辆作为一个主体, 称之为司机 Agent . 司机 Agent 属性包括当日已行驶里程数 s ; 是否空车 empty ; 能否载客 enable ; 司机收入 income ; 司机最大日行驶里程 l_{\max} 及收入公平感 u . 若司机日行驶里程未超过 l_{\max} , 并且乘客需求有剩余时, 司机继续载客; 否则, 司机停止载客. 司机之间可以相互传递个体收入信息, 当司机 $u'_j < 0$ 时, 该司机会提高自己的最大日行驶里程, 拉载更多乘客以提高收入. 司机 Agent 行为的形式化描述如下:

```

< AgentD_travel_action >::= //行驶
  IF(AgentD_j.s < AgentD_j.l_max AND Q > 0) AgentD_j.s → AgentD_j.s + 1
  | IF(AgentD_j.s ≥ AgentD_j.l_max OR Q ≤ 0) AgentD_j.s → 0
< AgentD_carrypas_action >::= //载客
  IF(AgentD_j.s < AgentD_j.l_max AND Q > 0) AgentD_j.enable → True
< AgentD_income_action >::= //司机收入
  AgentD_j.income → AgentD_j.income + AgentP_i.cost
  | IF(AgentD_j.s ≥ AgentD_j.l_max OR Q ≤ 0) AgentD_j.income → AgentD_j.income - g - W(AgentD_j.s)
< AgentD_fair_action >::= //公平感
  AgentD_j.u = U(AgentD_j.income, <AgentD_j> INFORM <fact>)
  | IF(AgentD_j.u < 0) AgentD_j.l_max → AgentD_j.l_max + Δl_max

```

(2) 乘客 Agent .

乘客 Agent 属性包括乘客的乘车费用 c ; 是否愿意合乘 agree ; 上车位置 x^z ; 下车位置 x^d ; 合乘

距离 d ; 独乘距离 y ; 出行里程 travel ; 乘车状态 state . 乘客通过上车、乘车、下车行为完成自己的乘车过程, 形式化描述如下:

```

< AgentP_geton_action >::= //上车
  IF(AgentD_j.empty = True) AgentP_i.state → 0
  | IF(AgentD_j.empty = False AND All(AgentP_i).agree = 1) AgentP_i.state → 1
< AgentP_getoff_action >::= //下车
  IF(AgentP_i.x^d - AgentP_i.x^z = AgentP_i.travel) ↑ DO <AgentP_cost_action>
< AgentPas_cost_action >::= //乘车
  IF(AgentP_i.state = 0) AgentP_i.c = P(AgentP_i.s). ↑ DO <AgentP_income_action>
  | IF(AgentP_i.state = 1)
    AgentP_i.c = C(AgentP_i.s, AgentP_i.d, AgentP_i.y). ↑ DO <AgentP_income_action>

```


5 仿真实验

假设出租车起步价 10 元/3 km, 每车公里租价 1.4 元, 出租车数量 100 辆, 单车日行驶最大里程 200 km, 缴纳管理费(包括承租金、保险费等) 4000 元/月, 燃气价格 3.10 元/m³, 合乘支付比例 0.6. 当司机感到收入不公平时, 提高每日最大行驶里程至 300 km, 下面仿真合乘模式下出租车司机的收入情况及其影响.

5.1 不同总需求量下的司机收入

不同乘客总需求量下的司机平均收入如图 6 所示. 图中显示不合乘模式下, 总需求量小于 2×10^4 km 时, 司机平均收入随着总需求量的增加而增加, 当总需求量达到 2×10^4 km 后, 司机平均收入达到最大值 280 元并保持稳定, 表明不合乘模式下, 出租车整体所能承担的最大载客总需求量为 2×10^4 km. 合乘模式下, 司机的最大平均收入达到 375 元, 合乘模式能够满足的最大乘客总需求提高为 3.3×10^4 km, 说明合乘模式能够提高司机的平均收入, 同时也提高了载客量. 而且在总需求量小于 2.7×10^4 km 时, 合乘模式的实施反而降低了司机的平均收入, 这是由于司机没有充足客源所导致的结果.

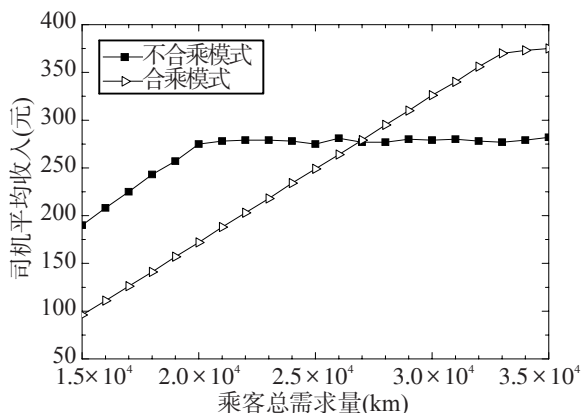


图6 不同总需求量下司机平均收入

Fig. 6 Driver average income of different total demand

为了深入分析司机个体的收入的具体情况, 仿真得到乘客总需求分别为 2×10^4 、 2.5×10^4 、 3×10^4 及 3.5×10^4 km 时的司机个体收入分布箱线图, 如图 7 所示. 可以看出, 随着需求量增加, 司机整体收入提高, 但个体收入的分布特点基本没有变化, 司机个体收入的差距变化不大, 其原因在于感到收入不公平的司机会采取行动增加个人收入,

缩小了与其他司机之间的差距.

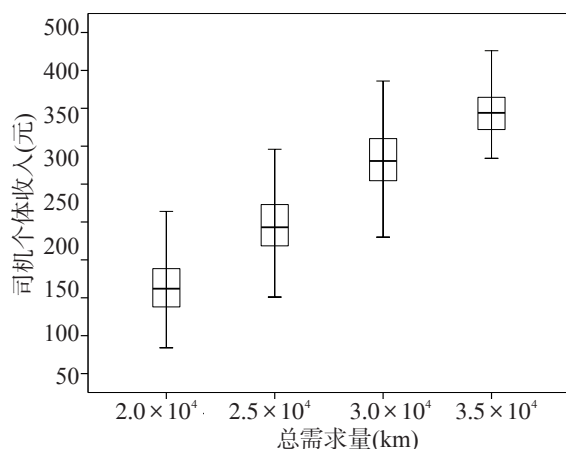


图7 不同总需求量下司机个体收入箱线图

Fig. 7 Driver individual income boxplot of different total demand

图 8 显示了合乘实施后收入有所降低的司机比例. 乘客需求量在 $2 \times 10^4 \sim 3.3 \times 10^4$ km 范围内, 随着总需求量的增加, 收入降低的司机比例呈现出明显的下降趋势; 总需求量小于 2×10^4 km 时, 需求严重不足, 导致 100% 的司机出现收入降低的现象; 当需求大于 3.3×10^4 km 时, 客源充足, 所有司机的收入均提高. 总需求量较小时, 部分司机产生不公平的心理反应, 会导致司机之间竞争行为的出现.

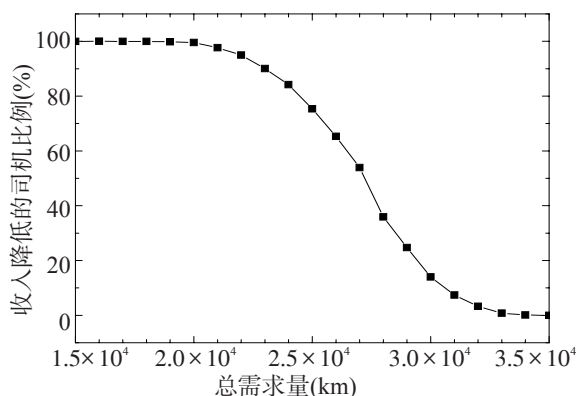


图8 需求总量对收入降低司机比例的影响

Fig. 8 Influence of total demand on the ratio of driver income falling

5.2 抢客概率对司机收入的影响分析

当司机感受到收入不公平时, 会提高日行驶里程去拉载更多乘客以提高个人收入, 然而由于这种行为造成的超速行驶的危险性及惩罚性等因

素,司机未必会采取此行为.因此,争抢乘客的行为是以一定概率发生的,下面仿真分析乘客总需求为 2.5×10^4 km时的抢客概率对司机收入的影响.

不同抢客概率下的司机个体收入分布情况如图9所示,图中显示没有争抢行为发生时,司机个体收入差距最小,最高收入与最低收入之间相差约70元;当争抢行为出现后,司机个体收入之间的差距增大,争抢行为概率达到50%时,司机个体收入之间的差距最大,最高收入与最低收入之间相差约290元,随着争抢行为概率的继续增大,多数司机都开始争抢载客的情况下,司机个体收入之间的差距又有所减少.

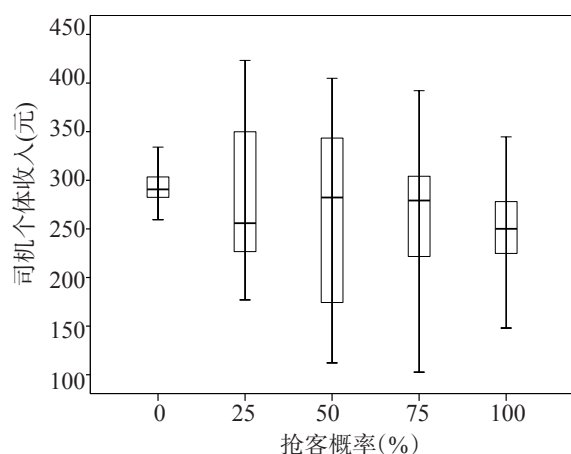


图9 不同抢客概率下司机收入箱线图

Fig. 9 Driver income boxplot of different scrambling passenger probability

图10为不同抢客概率下收入降低的司机比例,随着抢客概率的增大,收入降低的司机比例也随之增大.图中显示,没有司机抢客行为发生时, 2.5×10^4 km的需求量小于合乘模式下的出租车供给量,造成收入降低的司机接近于30%,如果抢客概率增大到50%时,收入降低的司机约50%;当抢客概率达到100%时,收入降低的司机达到75%.由此可见,抢客概率对司机个体收入的分配影响很大,越大的抢客概率会造成越多比例的司机收入降低.

以上分析是在合乘支付比例、起步价、管理费等价格参数一定的条件下进行的,实际上这些价格参数也会对司机的收入产生一定的影响.当合乘支付比例增大、起步价增大、或者管理费降低时,一定总需求量下的司机平均收入相对增加,收入

降低的司机比例下降,个体收入差距相对减小,发生争抢乘客的情况也随之减少.其中,合乘支付比例与起步价对司机收入的影响还受到供需比的制约,当供需比较低时,合乘支付比例与起步价对司机收入影响较大;当供需比较高时,合乘支付比例与起步价对司机收入影响较小.因此,结合当地供需比,适当的调节价格参数对平衡司机收入、保证出租车市场秩序也有一定的作用与意义.

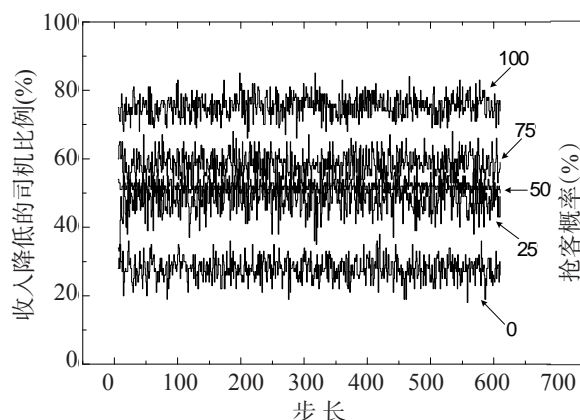


图10 抢客概率对收入降低司机比例的影响

Fig. 10 Influence of scrambling passenger probability on the ratio of driver income falling

6 研究结论

本文基于提出的司机收入公平模型,仿真分析了合乘模式下的司机收入情况,得出以下结论:

(1) 乘客总需求对出租车司机总体的平均收入有较大影响.当出租车供需比较大时,合乘模式的实施反而会降低司机的平均收入,当供需比较小时,合乘模式的实施才会提高司机平均收入.

(2) 当乘客总需求量小于合乘模式下的出租车最大承载量时,可能会出现司机争抢乘客的行为,其发生概率影响司机个体之间的收入差距及收入降低的司机比例,没有争抢行为发生时的司机收入差距最小,并且收入降低的司机比例最小.

(3) 为了提高司机的收入水平和防止抢客行为的出现,实施合乘模式的同时必须考虑两个方面,第一,当地出租车供需比情况,供需比较小时推行合乘模式才能够提高司机整体收入;第二,必须采取措施来防范与杜绝司机抢客行为的出现,以保证出租车市场的秩序,控制司机个体之间的收入差距,可以考虑调节影响司机收入的合乘支

付比例、起步价、管理费等价格参数以增加司机收入,或者对司机抢客行为建立合理的惩罚措施以减少此类行为的发生。

本文建立的合乘模式下的司机收入公平心理模型,符合司机心理特点,所得结论对出租车政策的制定有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] Dimitrakopoulos G, Demestichas P, Koutra V. Intelligent management functionality for improving transportation efficiency by means of the car pooling concept[J]. *Intelligent Transportation Systems*, 2012, 13(2): 424-436.
- [2] Zhang D, He T, Liu Y H, et al. A carpooling recommendation system for taxicab services[J]. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 2014, 2(3):254-266.
- [3] Nesamani K S, Chu L, Recker W. Policy implications of incorporating hybrid vehicles into high-occupancy vehicle lanes[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2010, 10(2): 30-41.
- [4] 张薇,何瑞春,肖强,等.考虑乘客心理的出租车合乘决策方法研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2015, 15 (2): 17-23. [ZHANG W, HE R C, XIAO Q, et al. A method of taxi pooling mode decision-making with passenger psychology[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2015, 15 (2): 17-23.]
- [5] Lin Y, Li W, Qiu F, et al. Research on optimization of vehicle routing problem for ride-sharing taxi[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 43: 494-502.
- [6] Yan S Y, Chen C Y, Wu C C. Solution methods for the taxi pooling problem[J]. *Transportation*, 2012, 39(3): 723-748.
- [7] Jiau M K, Huang S C, Lin C H. Optimizing the carpool service problem with genetic algorithm in service-based computing[C]// *IEEE International Conference on Services Computing*, 2013: 478-485.
- [8] He W, Hwang K, Li D. Intelligent carpool routing for urban ridesharing by mining GPS trajectories[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2014, 15(5):2286-2296.
- [9] Kammerdiener T, Zhang H. Classification of ride-sharing partners based on multiple constraints[J]. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 2011, 26(4): 95-101.
- [10] 肖强,何瑞春,张薇,等.基于模糊聚类和识别的出租车合乘算法研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2014, 14(5):119-125. [XIAO Q, HE R C, ZHANG W, et al. Algorithm research of taxi carpooling based on fuzzy clustering and fuzzy recognition[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(5):119-125.]
- [11] Manzini R, Pareschi A. A decision-support system for the car pooling problem[J]. *Journal of Transportation Technologies*, 2012, 2(2): 85-101.
- [12] Chen Y T, Hsu C H. Improve the carpooling applications with using a social community based travel cost reduction mechanism[J]. *International Journal of Social Science and Humanity*, 2013, 3(2):87-91.
- [13] Guo Y, Goncalves G, Hsu T. A clustering ant colony algorithm for the long-term car pooling problem[J]. *International Journal of Swarm Intelligence Research*, 2012, 3(2): 39-62.
- [14] Yan S, Chen C Y, Lin Y F. A model with a heuristic algorithm for solving the long-term many-to-many car pooling problem[J]. *Intelligent Transportation Systems*, 2011, 12(4): 1362-1373.
- [15] Hatfield E, Salmon M, Rapson R L. Equity theory and social justice[J]. *Journal of Management, Spirituality & Religion*, 2011, 8(2): 101-121.
- [16] Cappelen A W, Eichele T, Hugdahl K, et al. Equity theory and fair inequality: A neuroeconomic study[C]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014.