

11-20-2019

Model and Simulation of Taxi Market with E-hailing Application

Tian Qiong

School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China;

Jingtao Zhang

School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Model and Simulation of Taxi Market with E-hailing Application

Abstract

Abstract: The emergence and popularity of e-hailing applications offer a new way for taxi drivers and passengers to communicate on line, which not only changes the behaviors of passengers and reduce the idle rate of taxi, but also brings the cost of information for taxis and passengers. Referring to the classic circular city model and *combining with the characteristics of new way to take taxis and the cost of information, a model of taxi market with e-hailing application is formulated*, which describes the behavior of passengers waiting for idle taxis and taxis cruising for un-served passengers. *We provided an algorithm to simulate the model* and obtained the stochastic steady-state results. Based on the results of simulations, *we analyzed the passengers' waiting time with or without using the e-hailing application, the taxi utilization rate and the gap time between two orders of the taxis*. The findings help to cognize the pros and cons of e-hailing applications objectively and offer the reference for decision making.

Keywords

taxi market, e-hailing application, simulation model, circular city

Recommended Citation

Tian Qiong, Zhang Jingtao. Model and Simulation of Taxi Market with E-hailing Application[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(3): 393-402.

打车软件服务下出租车市场模型与仿真

田琼, 张竞涛

(北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100191)

摘要: 打车软件的出现和普及, 在出租车司机和乘客之间建立了一种新的沟通渠道, 不仅改变了乘客打车行为、降低了出租车空载率, 同时也带来了信息成本。在经典环形城市模型上, 结合打车软件和信息成本特点, 建立打车软件服务下出租车市场模型, 对乘客等车和出租车巡游行为进行描述。提出了模型的仿真算法, 通过仿真得到模型随机稳态结果。分析打车软件服务下乘客等车时间, 出租车空载率和订单间隔时间分布等, 研究结果有助于客观分析打车软件普及使用的利弊, 为管理者决策提供依据。

关键词: 出租车; 打车软件; 仿真模型; 环型城市

中图分类号: U491 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 03-0393-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17WJP-011

Model and Simulation of Taxi Market with E-hailing Application

Tian Qiong, Zhang Jingtao

(School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The emergence and popularity of e-hailing applications offer a new way for taxi drivers and passengers to communicate on line, which not only changes the behaviors of passengers and reduce the idle rate of taxi, but also brings the cost of information for taxis and passengers. Referring to the classic circular city model and combining with the characteristics of new way to take taxis and the cost of information, a model of taxi market with e-hailing application is formulated, which describes the behavior of passengers waiting for idle taxis and taxis cruising for un-served passengers. We provided an algorithm to simulate the model and obtained the stochastic steady-state results. Based on the results of simulations, we analyzed the passengers' waiting time with or without using the e-hailing application, the taxi utilization rate and the gap time between two orders of the taxis. The findings help to cognize the pros and cons of e-hailing applications objectively and offer the reference for decision making.

Keywords: taxi market; e-hailing application; simulation model; circular city

引言

出租汽车行业作为城市交通的重要组成部分, 为群众出行提供了极大的便利。近年来, 出租汽车

行业发展较快, 截至 2014 年底, 全国共有出租汽车 137 万辆, 2014 年完成客运量 406 亿人次。但也出现了出租车空载率高, 运行效率低等问题。根据 2013 年对全国 38 个城市的调查, 35% 的被访者表示, 在本城市打车时等待出租车的时间超过 20 min, 70% 的被访者的等待时间超过 10 min。出租车空载率的增加, 加重了城市中心区道路的拥堵, 影响出租车的利润, 浪费道路资源和能源资源。



收稿日期: 2016-06-30 修回日期: 2017-01-04;
基金项目: 国家自然科学基金 (71471010, 71890971, 71890970);
作者简介: 田琼(1981-), 男, 河北廊坊, 博士, 教授, 研究方向为交通运输规划与管理; 张竞涛(1994-), 女, 河北唐山, 硕士, 研究方向为交通运输规划与管理。

<http://www.china-simulation.com>

因此,提高出租车的运行效率,优化出租车资源配置具有重要的现实意义。

随着社会经济的发展,人们的出行需求逐渐增加,出租车市场需求与运营模式之间产生了矛盾。而随着移动互联网技术的普及与发展,出租车市场行业迎来了信息化的革新,打车软件的兴起为出租车市场带来了新的竞争因素和市场活力。

打车软件服务下的出租车市场与传统出租车市场的差别在于,乘客通过打车软件可以得到出租车供应的信息,出租车通过打车软件可以得到乘客需求的信息,有效整合了出租车市场的资源,打破了出租车与乘客之间信息的不对称性,从而向司乘双方提供了一种智能、高效的实现搭载的方式。在打车软件服务下的出租车市场中,司乘双方实现搭载过程的方式发生了转变:使用打车软件的乘客在打车软件的客户端上发布出行信息,使用打车软件的出租车司机通过软件可查看乘客需求,然后选择乘客,接应订单,前往该乘客等待起点,最后运送乘客至目的地。

打车软件为出租车市场中出租车和乘客双方提供了信息,改变了出租车搜索乘客的方式,使乘客的需求与出租车的供应相互透明化,降低了出租车的空载率,提高了出租车的运营效率。打车软件也为乘客提供了便利,打车软件为乘客提供发布乘车需求信息的渠道,使乘客能够较快实现搭载出租车的过程,通常情况减少了乘客的等车时间,从而降低了等车成本,为不少乘客解决了“打车难”的问题。根据交通运输部施行的《出租汽车经营服务管理规定》,自 2015 年起,鼓励发展通过电讯、网络等电召及预约出租汽车服务。

与此同时,打车软件的弊端也逐渐显露。首先,打车软件的使用让行业内产生了“拒载”“挑客”等不规范现象,甚至在打车高峰期必须要加价才能搭乘。而对于老人、小孩这类乘客,他们无法使用或者不会使用打车软件,因而在路边打车更加困难。其次,司机需要不停关注软件上的订单信息,一边开车一边使用客户端,存在极大安全隐患。再

次,一些黑车也利用打车软件牟取暴利,侵害了消费者的合法权益。

因此规范信息提供下的出租车市场,规范出租车市场的竞争模式有其紧迫性和重要性。对打车软件服务下的出租车市场展开研究,能够为国内出租车市场管理决策提供参考,还能够为引导市场良性发展,调整出租车收费机制提出可行性的依据。

打车软件的使用,一方面改变了空载出租车巡游的局面,提高了出租车运营的效率,减少了乘客的等车时间。另一方面,使用打车软件的乘客和出租车需要支付信息成本,使用软件的出租车在接应订单后通常都会有接应乘客的过程,在接应过程中会产生一定的成本,因此打车软件的使用是否能减低系统总成本,达到系统最优,仍需要进一步分析。

Arnott^[1]1996 年提出了城市电召出租车的派遣模型,认为出租车载客时的最优定价等于出租车载客时的单位时间成本。但是在该模型中,将出租车接应乘客的过程归入到了出租车空载的过程,这与实际不符。实际中出租车接应乘客时与空载时行驶速度不同,运营成本也不同,应分别进行分析。Yang^[3]2011 年提出了基于搜索摩擦理论的出租车与乘客的汇合函数,认为在规模收益递增时,出租车的利润会随着出租车数量的增加而升高,乘客的等车时间会随着出租车数量的增加而减少。He^[10]2015 年基于 Logit 模型分析了打车软件参与下出租车市场中乘客的行为,并建立了市场均衡模型。

本文在经典的环形城市模型上,结合新的打车方式和乘客信息成本特点,建立打车软件参与下出租车市场仿真模型,对乘客等待出租车和出租车巡游进行描述。Borger^[4]2012 年提出了信息提供下公交车市场模型,定义了乘客计划出行的信息成本。他认为乘客信息成本与乘客个人获取信息的难易程度和信息质量有关。本文参照 Borger^[4]2012 年的定义,在出租车模型中也考虑了出租车乘客和司机使用信息的成本。

本文提出了打车软件服务下出租车市场仿真

模型及算法, 通过仿真得到模型随机稳态结果, 并对模型进行用户均衡和系统最优规划。分析打车软件服务下乘客和出租车排队队列分布, 乘客等车时间, 出租车空载率和订单间隔时间分布等。研究结果有助于客观分析打车软件普及使用的利弊, 为管理者决策提供依据。

1 打车软件参与下出租车市场模型 的描述

1.1 打车软件提供下出租车市场模型中乘客 行为描述

假设环形城市单向行驶公路周长为 R , 出租车总量为 N , 出租车在环形公路上均匀分布。单位时间单位距离的乘客需求服从参数为 λ 的泊松分布。假设乘客期望行驶里程为 l 。假设出租车在寻找乘客的过程中以最节省能源的速度 v_c 行驶, 假设出租车将乘客送往目的地的过程中以尽可能最快的速度 v_f 行驶, 使用软件的出租车在接应乘客的过程中也以速度 v_f 行驶。可以得到系统中单位时间乘客需求 $M = \lambda R l / v_f$, 因为系统稳定运行, 所以 $M < N$ 。

假设使用软件的出租车既可以搭载使用软件的乘客, 又可以搭载不使用软件的乘客。不使用软件的出租车只可以搭载不使用软件的乘客。假设使用软件的出租车司机数量为 N_1 , 不使用软件的出租车司机数量为 N_0 ; 使用软件的乘客数量为 M_1 , 不使用软件的乘客数量为 M_0 。不使用软件的出租车有两种状态: N_{00} 代表寻找乘客的过程, N_{01} 代表将乘客送往目的地的过程。使用软件的出租车有三种状态: N_{10} 代表寻找乘客的过程, N_{11} 代表将乘客送往目的地的过程, N_{12} 代表接应乘客的过程。

根据假设, 系统中单位时间乘客需求 $M = \lambda R l / v_f$, 根据乘客和出租车的状态可以得到乘客需求与出租车数量之间的关系。

根据使用软件的出租车运送乘客的比例, 可以得到处于运人状态的使用软件的出租车数量:

$$N_{11} = \frac{N_{10}}{N_{00} + N_{10}} \cdot M_0 + M_1$$

根据不使用软件的出租车运送乘客的比例, 可以得到处于运人状态的不使用软件的出租车数量:

$$N_{01} = \frac{N_{00}}{N_{00} + N_{10}} \cdot M_0$$

根据使用软件的出租车属于接人状态的时间和运人状态的时间的比, 可以得到处于接人状态的使用软件的出租车数量。

使用软件的出租车接乘客的期望距离为:

$$l_{12} = \frac{R}{2N_{10}}$$

可以得到期望接人的距离与期望搭载乘客的距离之比:

$$\frac{N_{12}}{M_1} = \frac{l_{12}}{L} = \frac{2N_{10}}{L}$$

所以处于接人状态的使用软件的出租车数量为:

$$N_{12} = M_1 \frac{R}{2lN_{10}}$$

不使用软件的乘客的乘车成本包括等车成本和车费, 假设其单位时间等车成本为 α_0 ,

$$C_0 = \alpha_0 t_0 + f(l)$$

使用软件的乘客的乘车成本包括等车成本、车费、信息成本和额外支出(补贴)。

$$C_1 = \alpha_1 t_1 + f(l) + g + \psi(\sigma, l)$$

根据使用与不使用打车软件时乘客的乘车成本的不同, 我们得到乘客使用打车软件的决策条件: 当使用软件的乘车成本低于不使用软件的乘车成本时, 乘客会使用打车软件。即当 $C_1 < C_0$ 时, 乘客会使用打车软件。

假设其单位时间等车成本为 α_0 , 使用软件的乘客的等车的单位时间成本会低于, 甚至远低于不使用软件的乘客的等车的单位时间成本。因为使用软件的乘客的等车时间可以不在路边等待, 可能是在办公、在家中休息等, 因此 $\alpha_1 < \alpha_0$ 。

使用软件的乘客的信息成本与乘客个人获取信息的难易程度、信息质量有关。设为函数:

$$\psi(\sigma, l), \psi_\sigma > 0, \psi_l < 0, \sigma \in [\sigma^-, \sigma^+]$$

假设乘客的个人获取信息的难易程度用 σ 表示, σ 分布在区间 $[\sigma^-, \sigma^+]$ 中。随着 σ 增大, 个人获取信息的难度增高, 信息成本增高, 所以 $\psi_\sigma > 0$ 。假设信息质量为 I , 随着 I 增大, 说明信息质量越高, 信息数量越多、传播范围越广泛, 信息成本随之降低, 所以 $\psi_I < 0$ 。

结合目前使用打车软件的实际情况看, 使用打车软件实现搭载过程会有额外的支出, 比如使用手机上网的流量费用、为了尽快打到车而加小费等; 使用打车软件实现搭载过程也会有额外的补贴, 比如打车软件赠送的车费、车费累积的减免等。我们将额外的支出(补贴)设为 g , g 可以为正, 可以为负, 也可以为 0。

当使用软件的乘车成本低于不使用软件的乘车成本时, 乘客会使用打车软件。即当 $C_1 < C_0$ 时, 乘客会使用打车软件。

可以得到乘客的用户均衡条件为:

$$C_1 < C_0$$

$$\text{即: } \psi(\sigma, I) = \alpha_0 t_0 - \alpha_1 t_1 - g$$

假设 $\psi(\sigma, I) = \alpha_0 t_0 - \alpha_1 t_1 - g$ 的解为 $\sigma^* = k((\alpha_0 t_0 - \alpha_1 t_1 - g), I)$, 因为 $\psi_\sigma > 0$, 所以: 当 $\sigma^* < \sigma^-$ 时, 没有乘客会使用打车软件; 当 $\sigma^* > \sigma^+$ 时, 每位乘客都会使用打车软件。因此, 使用打车软件的乘客数量为:

$$M_1 = \int_{\sigma^-}^{\sigma^*} \phi(\sigma) d\sigma, \sigma^* > \sigma^-$$

1.2 打车软件参与下出租车市场模型中出租车行为描述

我们考虑出租车的利润, 这里不考虑出租车司机的运营成本, 只考虑行车成本。不使用打车软件的出租车司机的利润为:

$$P_0 = \frac{N_{01}}{N_{00} + N_{01}} \left[\frac{f(I)v_f}{I} - e(v_f) \right] - \frac{N_{00}}{N_{00} + N_{01}} e(v_c) \quad (1)$$

式中: $e(v_f)$ 、 $e(v_c)$ 分别表示出租车以 v_f 、 v_c 速度行驶时单位时间的行车成本。

$\frac{N_{01}}{N_{00} + N_{01}} \left[\frac{f(I)v_f}{I} - e(v_f) \right]$ 表示不使用打车软件的出租车运人过程中的利润, $\frac{N_{00}}{N_{00} + N_{01}} e(v_c)$ 表示不使用打车软件的出租车寻人过程的成本。

使用打车软件的出租车司机的利润为:

$$P_1 = \frac{N_{11}}{N_{10} + N_{11} + N_{12}} \left[\frac{f(I)v_f}{I} - e(v_f) \right] - \frac{N_{10}}{N_{10} + N_{11} + N_{12}} e(v_c) - \frac{N_{12}}{N_{10} + N_{11} + N_{12}} e(v_f) - T(\delta, I) - h \frac{N_{11}v_f}{IN_1} \quad (2)$$

式中: $\frac{N_{11}}{N_{10} + N_{11} + N_{12}} \left[\frac{f(I)v_f}{I} - e(v_f) \right]$ 表示使用打车软件的出租车运人过程中的利润, $\frac{N_{10}}{N_{10} + N_{11} + N_{12}} e(v_c)$ 表示使用打车软件的出租车寻人过程中的成本, $\frac{N_{12}}{N_{10} + N_{11} + N_{12}} e(v_f)$ 表示接人过程中的成本, $T(\delta, I)$ 表示使用打车软件的出租车司机使用打车软件的信息成本, $h \frac{N_{11}v_f}{IN_1}$ 表示使用打车软件的出租车司机使用软件的额外支出(补贴)。

假设出租车司机使用打车软件的信息成本与司机个人获取信息的难易程度、信息质量有关。设为函数:

$$T(\delta, I), T_\delta > 0, T_I < 0, \delta \in [\delta^-, \delta^+]$$

假设司机的个人获取信息的难易程度用 δ 表示, δ 分布在区间 $[\delta^-, \delta^+]$ 中。随着 δ 增大, 个人获取信息的难度增高, 信息成本增高, 所以 $T_\delta > 0$ 。假设信息质量为 I , 随着 I 增大, 说明信息质量越高, 信息数量越多、传播范围越广泛, 信息成本随之降低, 所以 $T_I > 0$ 。我们将额外的支出(补贴)设为 h 。这里 h 可正, 可以为负, 也可以为 0。

根据使用与不使用打车软件时出租车司机的利润的不同, 我们得到司机使用打车软件的决策条件: 当使用软件的司机利润高于不使用软件的司机

利润时, 司机会使用打车软件。即当 $P_1 > P_0$ 时, 出租车司机会使用打车软件。

得到出租车司机的用户均衡(UE)即为: $P_1 = P_0$ 。假设 $P_1 > P_0$ 的解为 δ^* , 因为 $T_\delta > 0$, 所以: 当 $\delta < \delta^*$ 时, 每位出租车司机都会使用打车软件; 当 $\delta > \delta^*$ 时, 没有出租车司机会使用打车软件。

1.3 打车软件参与下出租车市场的系统最优规划

在信息提供下出租车市场模型中, 我们可以将乘客、出租车、软件公司三者视为一个系统, 系统的总成本为:

$$Q = \alpha_0 t_0 M_0 + (\alpha_1 t_1 + f(l) + \psi(\sigma, I)) M_1 + N_{01} e(v_f) + N_{00} e(v_c) + N_{11} e(v_f) + N_{10} e(v_c) + N_{12} e(v_f) + T(\delta, I)(N_{10} + N_{11} + N_{12})$$

系统最优规划就是满足式(3)~(5)时, 使系统总成本最低。

$$\min Q$$

s.t.

$$N_{11} = \frac{N_{10}}{N_{00} + N_{10}} \cdot M_0 + M_1 \quad (3)$$

$$N_{01} = \frac{N_{00}}{N_{00} + N_{10}} \cdot M_0 \quad (4)$$

$$N_{12} = M_1 \frac{R}{2lN_{10}} \quad (5)$$

式(3)~(5)表示乘客和出租车之间的数量关系。通过系统最优规划, 可以得到系统总成本最低时乘客和出租车使用打车软件的数量, 可以为出租车行业的管理者决策提供依据。

2 仿真模型

2.1 模型参数与算法

根据打车软件参与下的出租车市场模型, 我们建立了如下的仿真模型。假设单向行驶的环形道路均匀分布出租车停车点, 所有乘客在停车点处搭乘出租车。不使用软件的乘客在路边等待出租车, 使用软件的乘客在产生出行需求时发出订单, 等待接单。乘客的出行距离服从负指数分布。使用软件的

出租车会接应距离自己最近且接应距离不大于乘客出行距离的订单。若某一时刻没有接应订单, 则搭载所在位置的不使用软件的乘客。不使用软件的出租车只能搭载所在位置的不使用软件的乘客。若某一时刻某辆出租车没有搭载上不使用软件的乘客, 则出租车会继续前进, 搜寻乘客, 或停在原地, 等待乘客出现。随着乘客需求的产生和出租车的运营, 每一个乘车点都有可能产生乘客等车的排队队列或者出租车等待乘客的排队队列。

仿真算法的实现步骤如图 1 所示。在仿真实验中, 环形城市周长为 100 km, 均匀分布 100 个出租车乘车点。设单位时间为 0.5 min, 即每 0.5 min 乘客需求更新一次。总仿真时长为 100 h, 即 12 000 个时间单位。单位时间单位距离的乘客服从参数 $\lambda = 1/24$ (人) 的泊松分布。初始时刻, 出租车沿环形道路均匀分布。出租车空载时速度 $v_c = 30 \text{ km/h}$ 载客和接应乘客时速度 $v_f = 60 \text{ km/h}$ 。

2.2 仿真结果

2.2.1 系统指标分析

在出租车市场中, 出租车的空载率和乘客的等车时间是出租车市场中两个重要的指标。本节将通过仿真结果, 分析打车软件参与下出租车市场中乘客和出租车的行为, 并比较与传统出租车市场中的差异。

空载率也称空驶率, 即出租车运营过程中没有搭载乘客的行驶里程占总行驶里程的百分比。传统出租车市场中, 出租车通过搜寻乘客, 乘客路边等待、招手的方式实现搭载过程。出租车传统的实现搭载的方式不能较好地实现出租车市场的供需均衡, 导致出租车搜寻乘客的行驶里程较多, 增加了出租车的运营成本, 降低了出租车的利润。空载出租车占用了城市的道路资源、交通资源, 导致资源配置不均衡, 社会效益降低。

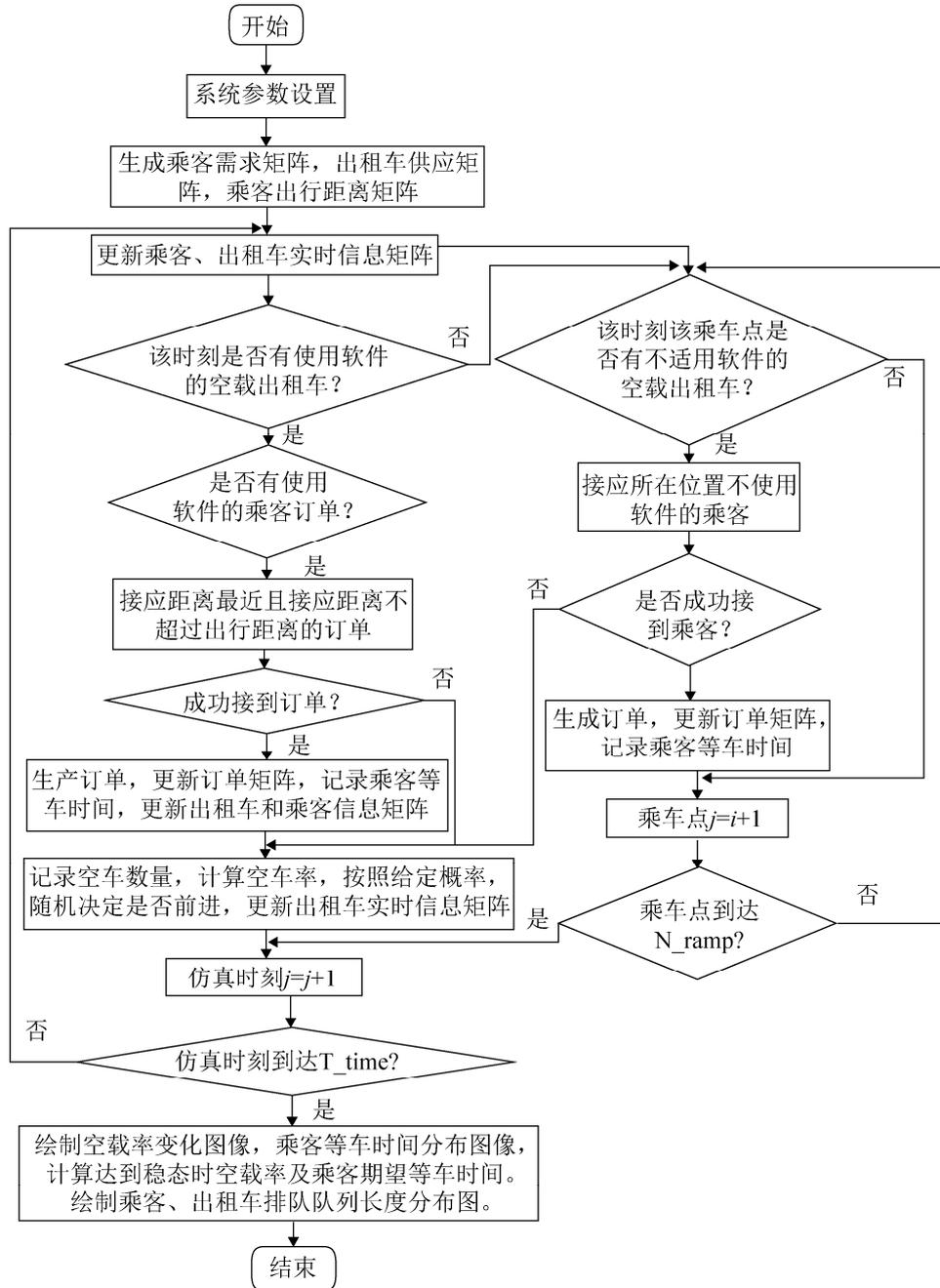


图 1 仿真流程图

Fig. 1 Flowchart of simulation

在原始模型中, 单位时间乘客需求服从参数为 $1/24$ 的泊松分布, 乘客的期望乘车距离为 6 km, 由此可以得到原始模型中出租车的空载率为 80%。图 2 为 12 000 个时刻的出租车空载率的变化。在打车软件参与下, 仿真过程中出租车的空载率会逐渐达到随机稳态过程。此时不使用软件的出租车空载率约为 57.21%, 使用软件的出租车空载率约为 22.29%。可以看出, 打车软件的参与显著降低了出租车的空载率, 提高了出租车的运营效率。打车软件的使用可以有效缓解出租车空载率高的问题, 减少空载里程, 减少资源浪费, 有助于实现资源合理配置。

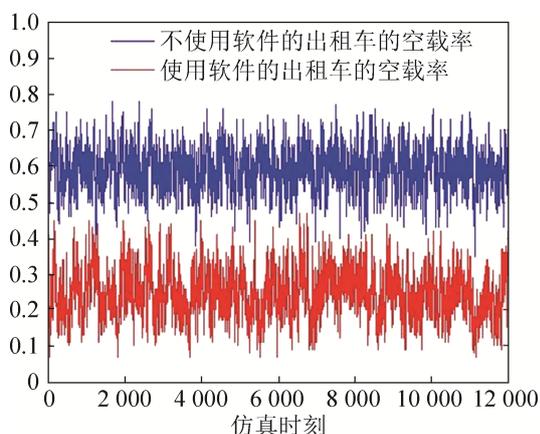


图 2 出租车空载率的变化(12000 次仿真)

Fig. 2 Change of taxi no-load rate (12000 simulations)

图 3 表示统计模型中不同搭载方式的订单数目, 也是不同搭载方式的乘客数量。mode1 代表不使用软件的乘客搭乘不使用软件的出租车; mode2 代表不使用软件的乘客搭乘使用软件的出租车; mode3 代表使用软件的乘客搭乘使用软件的出租车, 数量分别为 39 557、9 632、48 874。其中使用软件的出租车搭载不使用软件的乘客占不使用软件乘客总数的 19.58%, 占使用软件出租车搭载总数的 16.46%。说明使用软件的出租车在搭载不使用软件的乘客上也起到了一定的作用。但总体来看, 不使用软件的乘客搭乘不使用软件的出租车仍占大多数。

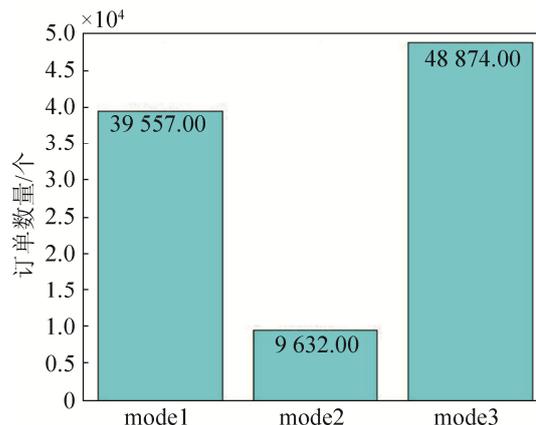


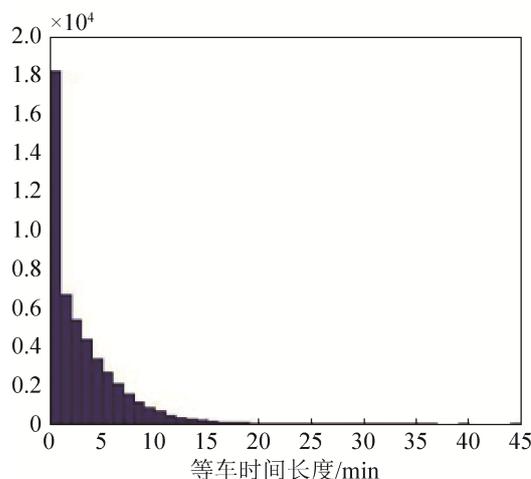
图 3 不同搭载方式的订单数量

Fig. 3 Order quantity of different carrier ways

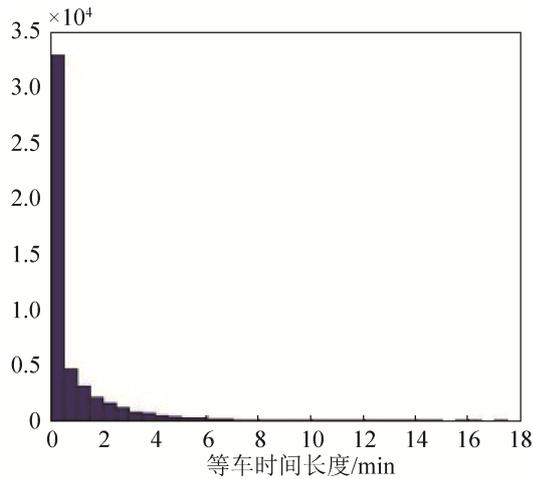
2.2.2 乘客行为分析

在打车软件参与下的出租车市场中, 不使用软件的乘客的等车时间为乘客在路边开始等待, 直到等到一辆空载出租车, 实现搭载的总时间。使用软件的乘客的等车时间为乘客使用打车软件发布出行信息, 直到有一辆出租车回应此订单并且到达指定地点接应乘客的总时间。

图 4 表示使用打车软件和不使用软件的乘客的等车时间的分布。可以看出, 在打车软件的参与下, 出租车市场中所有乘客的等车时间都不会过长, 使用打车软件可以有效降低乘客的等车时间。同时结果也表明, 使用软件的乘客不一定会比不使用软件的乘客等待时间短。



(a) 使用打车软件的乘客等车时间分布



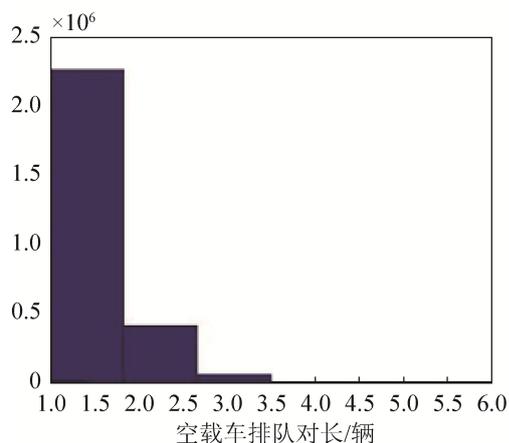
(b) 不使用打车软件的乘客等车时间分布

图4 乘客等车时间分布

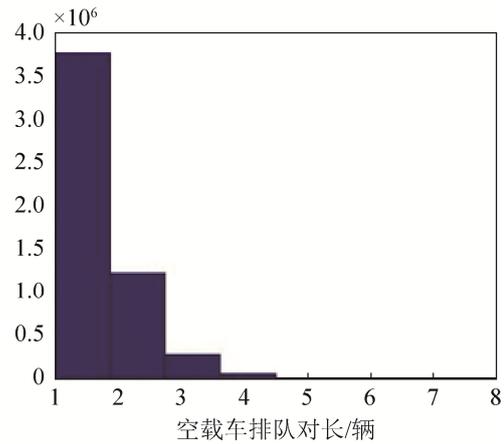
Fig. 4 Distribution of waiting time for passengers

2.2.3 出租车行为分析

图5表示使用软件和不使用软件的出租车在等待乘客过程中的排队队长分布情况,也即空载出租车的排队队长分布。可以看出,使用打车软件的出租车队列长度较小。因为打车软件增加了出租车搭载乘客的机会,所以使用打车软件的出租车空载几率小,故使用打车软件的出租车空载队列长度较小。不使用打车软件的出租车搭载乘客的机会少,空载的几率比较高,故不使用打车软件的出租车空载排队队列的长度较长。



(a) 使用打车软件的空载出租车队长分布

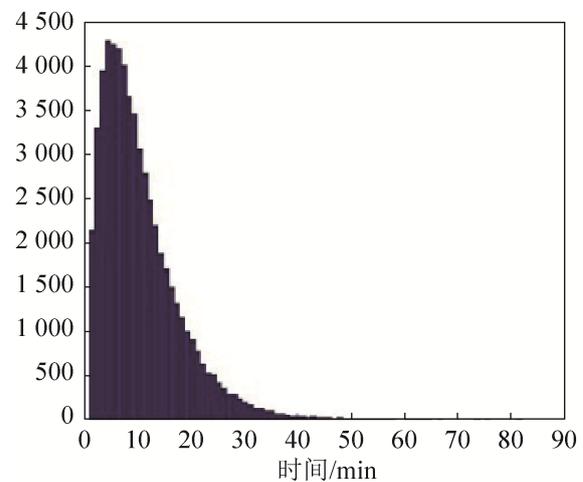


(b) 不使用打车软件的空载出租车队长分布

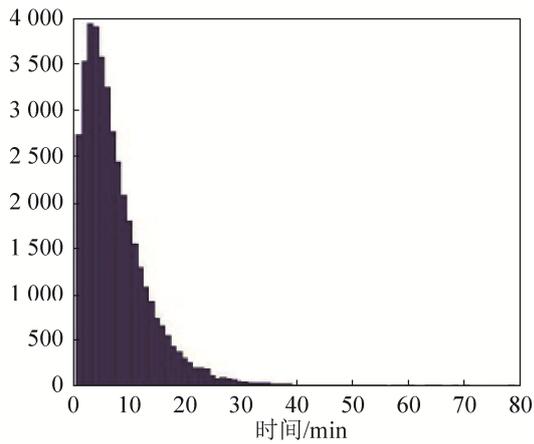
图5 空载出租车的排队队长分布

Fig. 5 Distribution of queue length for idle taxis

图6表示使用软件和不使用软件的出租车订单间隔时间分布情况。可以看出,使用打车软件的出租车订单间隔时间较小。因为打车软件增加了出租车搭载乘客的机会,所以使用打车软件的出租车实现搭载的机会多,故使用打车软件的出租车订单间隔时间小。



(a) 使用打车软件的出租车订单间隔



(b) 不使用打车软件的出租车订单间隔

图 6 出租车订单间隔时间分布

Fig. 6 Distribution of order interval for taxis

图 7 表示道路上同一时间在同一位置行驶的出租车数量分布, 仿真结果表明并行出租车的平均数量是 2.0013, 即在打车软件的服务下, 在道路上同时行驶的出租车平均数量是 2 辆。分析道路上并行出租车数量有助于结合道路宽度, 讨论有拥挤效应的打车软件参与下出租车系统的运营情况。

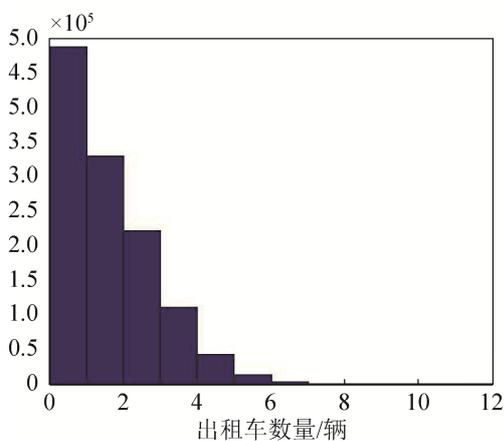


图 7 道路上并行出租车数量分布

Fig. 7 Distribution of parallel taxis on road

图 8 表示使用软件的乘客接应乘客的距离分布。可以看出, 接应乘客的距离在 1~2 km 的订单较多, 此时支付的接应成本较低。根据仿真结果, 平均接应距离为 1.802 km。

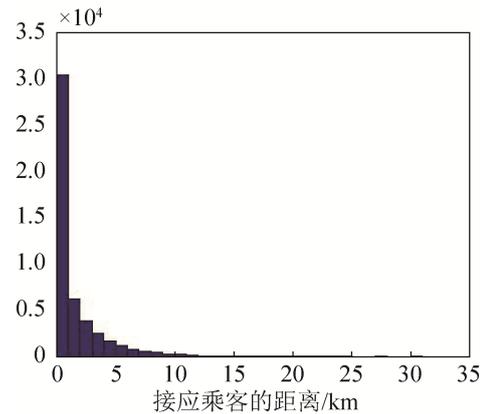


图 8 使用软件的出租车接应乘客距离分布

Fig. 8 Distance distribution of taxi picking-up passengers with e-hailing applications

3 结论

本文在经典的环形城市模型上, 结合新的打车方式和乘客信息成本特点, 建立了打车软件参与下出租车市场仿真模型, 对乘客等待出租车和出租车巡游进行描述。在数理分析基础上, 提出打车软件参与下出租车市场仿真模型及算法, 通过仿真得到模型随机稳态结果, 进行用户均衡和系统最优规划。分析打车软件参与下乘客和出租车排队队列分布情况, 乘客等车时间, 出租车空载率和订单间隔时间分布等情况。

通过算例, 分析了随机稳态时信息提供下出租车市场中出租车空载率的变化情况, 和乘客等车时间, 乘客排队等车队列长度分布, 出租车寻客队列长度分布以及出租车订单间隔时间分布。发现打车软件的参与会降低出租车的空驶率, 在一定程度上减少使用打车软件的乘客的等车时间

本文模型考虑的是固定需求, 日后可进一步考虑弹性需求, 改进模型。出租车的并行状况也会对产生拥挤效应, 对出租车行驶速度产生影响, 因此, 日后从道路容量的角度, 可以考虑有拥挤情况的出租车市场模型; 结合路网结构, 可以考虑出租车市场网络均衡模型。同时, 打车软件公司对乘客或者司机的补贴和收费以及信息质量都会对打车软件使用率产生影响, 日后可进一步探讨。本文没有重点分析打车软件公司的盈利模式, 日后可以进一步

市场调研, 分析打车软件公司的盈利模式。

参考文献:

- [1] Arnott R. Taxi Travel Should be Subsidized[J]. *Journal of Urban Economics*(S0094-1190), 1996, 40(3): 316-333.
- [2] Yang H, Yang T. Equilibrium properties of taxi markets with search frictions[J]. *Transportation Research Part B Methodological*(S0191-2615), 2011, 45(4):0-713.
- [3] He F, Shen Z J M. Modeling taxi services with smartphone-based e-hailing applications[J]. *Transportation Research Part C*, 2015, 58(A): 93-106.
- [4] Borger B D, Fosgerau M. Information Provision by Regulated Public Transport Companies[J]. *Transportation Research Part B Methodological*(S0191-2615), 2012, 46(4): 492-510.
- [5] Douglas G W. Price Regulation and Optimal Service Standards: The Taxicab Industry[J]. *Journal of Transport Economics & Policy*(S0022-5258), 1972, 20(2): 116-127.
- [6] 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(4): 42-46.
- Yao Z M, Long Z P, Li Q, A Taxi Dispatch System Considering Urban Traffic Congestion[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2013, 13(4): 42-46.
- [7] 度巍, 王先甲, 刘炳全, 等. 信息系统下出租车运营市场网络均衡模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2014, 14(3): 91-96.
- Du W, Wang X J, Liu B Q, et al. Equilibrium Model of Urban Taxi Service Network with Information System[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(3): 91-96.
- [8] 白竹, 王健, 胡晓伟, 等. 城市出租车系统运营效率评价研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2014, 14(3): 227-233.
- Bai Z, Wang J, Hu X W., et al. Operational Efficiency Evaluation of Urban Taxi System[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(3): 227-233.
- [9] 于洁涵, 梁雪琴, 谢绍晖. 手机打车软件盈利模式浅析[J]. *交通科技与经济*, 2014, 16(2): 63-65.
- Yu J H, Liang X Q, Xie S H. The Research of Taxi Mobile Phone Application Profit Pattern[J]. *Technology & Economy in Areas of Communications*, 2014, 16(2): 63-65.
- [10] 曹祎, 陶竑宇, 罗霞. 打车软件使用率对出租车社会福利的影响[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2015, 15(3):1-6.
- Cao Y, Tao H Y, Luo X. Influence of Usage Rate of Taxi-hailing Apps on Urban Taxi Social Welfare[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2015, 15(3): 1-6.
- [11] 曹祎, 罗霞. 基于打车软件使用率的出租车运营速度分析[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2015, 34(6): 123-127.
- Cao Y, Luo X. Taxi Operation Speed Analysis Based on the Usage Rate of Taxi- Hailing Apps[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science)*, 2015, 34(6): 123-127.
- [12] 尹贻林, 杨旋. 新兴移动打车软件对我国出租车市场均衡的影响[J]. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2016, 37(2): 65-70.
- Yin Y L, Yang X, The Impact of Emerging Taxi Taking Apps on Market Equilibrium in China[J]. *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*, 2016, 37(2): 65-70.
- [13] 度巍, 干宏程, 刘炳全. 存在打车软件服务的出租车运营市场仿真模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2016, 16(5): 90-96.
- Du W, Gan H C, Liu B Q. Simulation Model for Taxi Service Market Equipped with Taxi-calling Apps[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2016, 16(5): 90-96.
- [14] 曹祎, 罗霞. 考虑手机召车软件的城市出租车网络均衡研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2016, 16(2):70-76.
- Cao Y, Luo X. Equilibrium Model of Urban Taxi Service Network with the Influence of Taxi-hailing Applications[J], 2016, 16(2): 70-76.
- [15] 曹祎, 陶竑宇, 罗霞. 信息条件下城市空驶出租车出行分布预测模型[J]. *计算机工程*, 2016, 42(2): 62-65.
- Cao Y, Tao H Y, Luo X. Forecasting Model of City Vacant Taxis Trip Distribution Under Information Condition[J]. *Computer Engineering*, 2016, 42(2): 62-65.