

6-3-2020

Modeling and Simulation of Single Lane Taxi Boarding System Based on Queuing Theory

Sun Jian

1. Management Institute China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; ;2. Experimental Institute Beijing University of Technology, Beijing 101101, China; ;

Rijia Ding

1. Management Institute China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; ;

Yanyan Chen

3. Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering Beijing University of Technology, Beijing 100124, 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.

Modeling and Simulation of Single Lane Taxi Boarding System Based on Queuing Theory

Abstract

Abstract: Taxi pick-up area was described as a queuing system based on the GPSS language to establish a simulation model, to find out a new way to improve taxi traffic capacity. Vehicle release officer and passenger release officer were represented by logic switch object, such business logic as taxi producing, taxi entering, boarding, taxi leaving could be reappeared well in computer. The time which spent on the above processes were analysed and by video data. Multi wheel simulation experiments were carried out. Quantitative analysis was executed to find out how the traffic capacity are affected by the berth quantity and the fluctuation of boarding time. *Two conclusions were drawn through simulation experiments - 1. Quantitative relation between berth quantity and system capacity. 2. Equipped with waiters to help carry bulky luggage passengers could improve traffic capacity 15%.*

Keywords

traffic capacity, scale of boarding zone, Monte Carlo simulation, taxi departure queue

Recommended Citation

Sun Jian, Ding Rijia, Chen Yanyan. Modeling and Simulation of Single Lane Taxi Boarding System Based on Queuing Theory[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(5): 996-1004.

基于排队论的单车道出租车上客系统建模与仿真

孙健^{1,2}, 丁日佳¹, 陈艳艳³

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 北京工业大学实验学院, 北京 101101; 3. 北京工业大学交通工程北京市重点实验室, 北京 100124)

摘要: 对单车道离港出租车上客系统通行能力的影响因素进行了仿真研究, 将车辆放行控制员和乘客放行控制员的行为规则定义为逻辑开关对象, 基于 GPSS 语言实现了车辆产生、车辆允许驶入、乘客上车、车辆驶出等过程的业务逻辑, 并基于录像资料对上述过程所耗费的时间进行了统计和拟合分析, 然后基于仿真模型进行了多轮仿真实验。得出以下两条结论: 1. 泊位数量增加与通行能力增长之间的定量关系; 2. 配备服务人员帮助携带大件行李的旅客上车, 通行能力可提高 15% 左右。

关键词: 通行能力; 上客区规模; Monte Carlo 仿真; 出租车离港排队

中图分类号: C93; TP308 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 05-0996-09
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201705009

Modeling and Simulation of Single Lane Taxi Boarding System Based on Queuing Theory

Sun Jian^{1,2}, Ding Rijia¹, Chen Yanyan³

(1. Management Institute China University of Mining and Technology(Beijing), Beijing 100083, China; 2. Experimental Institute Beijing University of Technology, Beijing 101101, China; 3. Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Taxi pick-up area was described as a queuing system based on the GPSS language to establish a simulation model, to find out a new way to improve taxi traffic capacity. Vehicle release officer and passenger release officer were represented by logic switch object, such business logic as taxi producing, taxi entering, boarding, taxi leaving could be reappeared well in computer. The time which spent on the above processes were analysed and by video data. Multi wheel simulation experiments were carried out. Quantitative analysis was executed to find out how the traffic capacity are affected by the berth quantity and the fluctuation of boarding time. *Two conclusions were drawn through simulation experiments: 1. Quantitative relation between berth quantity and system capacity. 2. Equipped with waiters to help carry bulky luggage passengers could improve traffic capacity 15%.*

Keywords: traffic capacity; scale of boarding zone; Monte Carlo simulation; taxi departure queue

引言

出租车是许多旅客尤其是商务旅客的首选离港交通工具, 也是大型交通枢纽与城市交通衔接的重要方式之一; 高铁和飞机等快速大容量交通工具

给交通枢纽内到达乘客的及时疏散带来巨大的压力。在出租车上客区, 不但乘客需要排入长长的队列, 待客出租车也需要在蓄车区长时间等待。因此, 优化出租车停靠区域与乘客候车区域的衔接, 是提高出租车上客效率、减少待客出租车和离港乘客的等待时间, 是改善高成本硬件建设背后低效率漏洞的重要方式之一。

目前, 国内外学者在枢纽离港出租车系统优化方面的研究主要集中在排队模型和系统仿真两个



收稿日期: 2016-01-19 修回日期: 2016-12-06;
基金项目: 国家自然科学基金(71641006);
作者简介: 孙健(1979-), 男, 河南南阳, 硕士, 讲师, 研究方向为离散系统建模与仿真; 丁日佳(1963-), 男, 吉林德惠, 博士, 教授, 研究方向为管理系统仿真。

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

方向; 参考文献^[1]采用解析法求解, 未能很好地考虑随机因素的影响, 耿中波^[2]等建立了首都机场出租车上客的 VISSIM 模型, 但是出租车在泊位的短暂停留和驶离是通过信号配时实现的, 忽略了乘客上车过程中随机因素的影响; 汤震^[3]在其论文中, 平行并发式发车方式采用 VISSIM 建模, 针对斜列式发车方式采用 Visual Basic 编程, 对单一上客点停车位个数与通行能力的关系进行了仿真, 但统一规定上客时间为 40 s, 与现实有较大差距; 柳伍生^[4]采用蒙特卡洛法, 通过 MATLAB 编程, 分析了单车道单通道车道边通行能力; 胡程^[5]从工程设计角度提出了并列式立体化出租车排队待客系统, 但是没有给出具体的通行能力数据; 俞春辉^[6]等基于蒙特卡洛仿真算法模拟了单排上客泊位的依次发车模式和单独发车模式; 黎冬平^[7]在分析了出租车上客区运行特征的基础上, 论述了基于 Monte Carlo 的仿真流程, 但并没有给出具体的仿真模型。

1 研究目的和求解思路

排队论(Queuing Theory)又称随机服务系统理论, 是通过对服务对象的到达及服务所持续的时间进行统计研究, 来改进服务系统的结构或重新组织被服务对象, 使服务系统既能满足需要, 又能使费用最经济或某些指标最优。本文研究单车道出租车上客系统, 不研究待客出租车队列和候车乘客队列的最大队长、平均队长、平均等待时间等数据, 只研究在乘客足够多、待客出租车足够多的情况下, 上客系统的泊位数量与通行能力的关系。

浦东国际机场 T1 航站楼离港出租车系统是一个采用单车道依次发车模式的典型案例。如图 1 所示: 出租车从地下蓄车场驶出后进入地面蓄车区排队, 在管理员指挥下依次进入泊位区载客, 乘客在折线型通道内排队, 在管理员指挥下依次进入泊位区上车, 泊位区车辆完成载客后依次驶出, 形成与流水线节拍类似的节奏。目前, 浦东机场 T1 航站楼到达层南北两侧均配备了如图 1 所示的出租车系统, 每个系统泊位区共设置 5 个泊位, 本文拟

通过对该系统建立仿真模型, 通过基于仿真模型的实验, 确定最优的泊位数量。

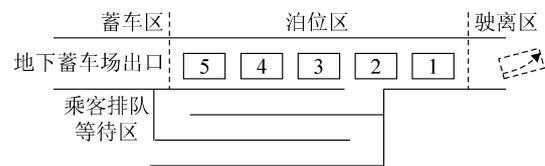


图 1 浦东机场 T1 航站楼离港出租车系统示意图
Fig. 1 Schematic of the taxi system of Pudong Airport T1

出租车上客系统是一个典型的动态、离散、随机、排队系统, 用解析法求解有很大的难度, 系统仿真方法是在对系统观测所获得数据的基础上, 建立目标系统的动态模型, 通过在计算机上的反复运行, 从而掌握目标系统各种特性的方法。相对于解析法得到的抽象数学表达式, 采用仿真方法可以建立既表达系统物理特征, 又表达系统逻辑特征的模型, 所建立的模型更贴近实际, 更真实, 更便于对系统进行试验与分析; 此外, 系统仿真的方法能够很好地处理随机因素对实际系统的影响。

2 GPSS/JAVA 仿真模型的构建

2.1 GPSS/JAVA 简介

GPSS(General Purpose Simulation System), 即通用仿真系统, 是应用最广泛的离散系统仿真软件之一; GPSS/JAVA^[8]是基于 Java 语言开发的 GPSS 仿真软件包, 其不仅实现了 GPSS 的建模逻辑和功能架构, 而且允许在仿真模型中引入 Java 类库和算法, 大大扩展了 GPSS 系统的功能。本论文中所建立的 GPSS/JAVA 仿真模型是一个独立的 Java 类(参见本文附录), 可以在任何安装了 JDK 的计算机上运行。

2.2 建模逻辑分析

系统由实体和实体之间的相互作用构成, 组成出租车上客系统的实体有出租车、乘客、泊位、待客车辆放行控制员、排队乘客放行控制员五类实体及其之间的相互作用构成。车辆放行控制员以信号的方式(如: 吹哨)开始放行车辆, 当上客泊位停满

以后，以信号的方式停止放行车辆，待客车辆被阻止在蓄车区等待下一次放行；乘客放行控制在车辆停稳后，以信号的方式开始放行乘客，当放行的乘客数量与泊位区车辆数相匹配时，以信号的方式停止放行乘客，后续乘客在队列中等待下一次被放行。

GPSS 将组成系统的实体分为两类，一类是临时实体，也称动态实体，用来模拟系统中的顾客；一类是永久实体，也称资源实体或者服务实体，用来模拟系统的服务机构。在本系统中，出租车和乘客均用动态实体表示，5 个泊位分别用 5 个单服务台服务实体对象 berth1~berth5 表示，车辆放行控制员和乘客放行控制员分别用逻辑开关对象 taxiSwitch 和 passengerSwitch 表示，如表 1 所示。

表 1 实体对象对照表
Tab. 1 Entity object comparison table

模型	实际系统
动态实体	
出租车子模型	出租车
乘客子模型	离港乘客
设备实体	
berth1~berth5	对应于系统的 5 个泊位
逻辑开关实体	
passengerSwitch	乘客放行控制员
taxiSwitch	车辆放行控制员
函数	
canDriveIn()	决定待客车辆能否驶入
地址对象	
toBerth2~toBerth5	4 个地址对象

2.3 出租车子模型的构建

出租车子模型的业务逻辑主要有两部分构成：一是保证每轮模拟正好有 5 辆车进入上客区；二是完成载客后的车辆只能依次驶出上客区。出租车子模型的程序框图(运行逻辑)如图 2 所示。

2.3.1 车辆产生业务逻辑

出租车子模型的业务逻辑如图 2 所示：generate (0, 0, 0, 10 000)表示模拟一开始，就有足够的蓄车车辆(假设有 10 000 辆)在 test 模块前排队

等待，时刻准备着进入系统。

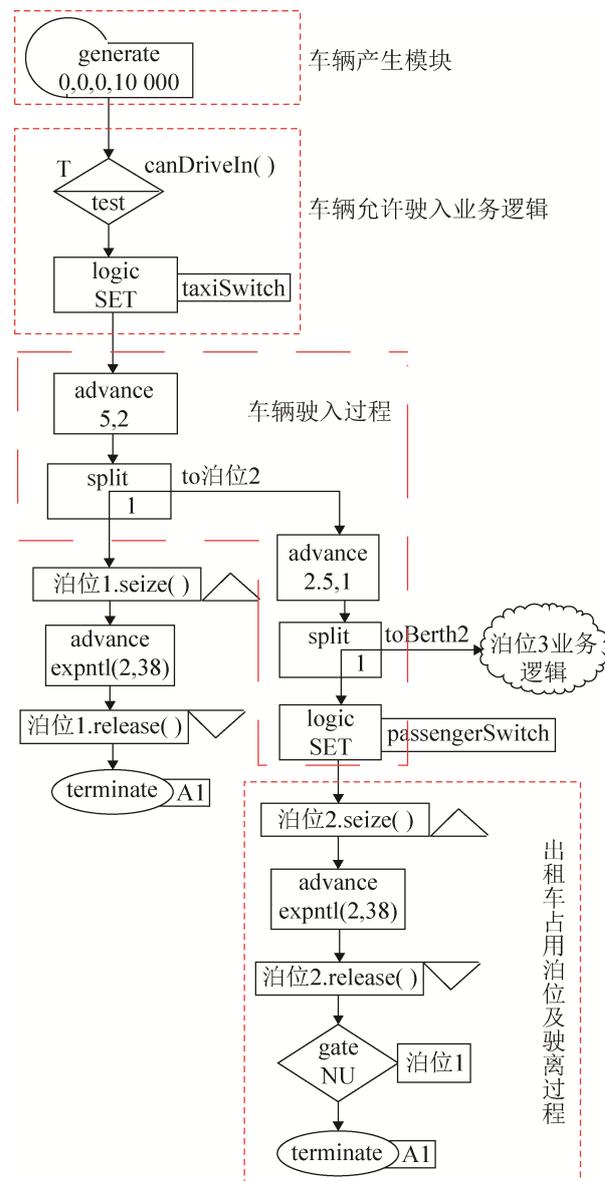


图 2 出租车上客区车辆运行逻辑
Fig. 2 Vehicle operation logic of taxi passenger area

2.3.2 车辆允许驶入业务逻辑

GPSS/JAVA 提供了 Facility 类，用于创建单服务台服务实体，其封装的 seize 和 release 方法，分别用来模拟服务台的占用和释放，如果其当前处于“未被占用”状态，则其 FNU()方法返回 true；同样，Switch 类用于创建逻辑开关对象，该类有两个状态：SET 和 RESET，如果其当前状态为 RESET，则其 LR()方法返回 true，LS()方法返回 false。该

类封装的 `logic(int b)` 方法可以改变逻辑开关的状态。车辆放行控制员开始放行车辆的业务逻辑用 `canDriveIn()` 方法表示, 代码如下:

```
boolean canDriveIn(){
    return berth5.FNU() && passengerSwitch.
    LR() && taxiSwitch.LR();
}
```

从以上代码可以看出, 车辆开始放行的条件是: 最后一个泊位(第 5 个泊位)的当前状态是没有被占用(not used)、`passengerSwitch` 与 `taxiSwitch` 均处于 RESET 状态。只有同时满足这 3 个条件, 排队区的首车才能驶入泊位区, 首车通过 `test` 模块后, 进入 `logic` 模块, 于是逻辑开关 `taxiSwitch` 的状态被置为 SET(队列中的后续车辆无法进入, 只能在 `test` 模块前继续等待)。

2.3.3 车辆驶入和驶出过程的业务逻辑

图 2 展示了上客区车辆的运行逻辑: 首车通过 `logic` 模块后, 将会进入 `advance(5, 2)` 模块, 在 `advance` 中被滞留一个随机的时间, 本例中第一辆车从蓄车区启动到在第一个泊位上停稳所经历的时间服从均值为 5 s, 偏差为 2 s 的均匀分布。

然后第一辆车进入 `split` 模块, 产生一个与母体一模一样的子辈实体(第 1 代), 表示进入上客区的第二辆车, 母体继续流入 `berth1.seize()` 模块, 占用设备实体 `berth1`, 表示开始占用第一个泊位, 随后进入 `advance` 模块, 被滞留一个随机的时间, `expntl(2, 15)` 表示从均值为 15 s 的指数分布随机数流(该随机数流由 2 号随机数发生器产生)中返回一个值, 用以表示乘客摆放行李, 登乘出租车所耗费的时间。登乘完成后, 母体随后进入 `berth1.release()` 模块, 表示第一辆出租车驶离泊位, 驶出上客区, 随后该出租车进入 `terminate()` 模块, 被排出模型, 其所占用的内存空间随即被释放。

第 1 代子动态实体流入地址编号为 `toBerth2` 的 `advance` 模块, 被滞留 2.5 ± 1 s (滞留时间服从均匀分布), 表示第一辆车在第一个泊位停稳后, 第

二辆车将在 2.5 ± 1 s 后, 在第二个泊位停稳, 随后进入 `split` 模块, 再次产生第二代子辈动态实体, 表示进入上客区的第三辆车, 母体继续流入其后的 `logic` 模块, 该模块将逻辑开关 `passengerSwitch` 的状态置为 SET 状态, `passengerSwitch` 用来模拟乘客放行控制员的业务逻辑, 即只有当第二个泊位上的车辆停稳后, 才允许相应数量的乘客进入上客区。随后母体占用第二个泊位(`berth2`), 并在 `berth2` 上滞留一个确定的时间(时间值由 `expntl(2, 15)` 产生), 随后进入 `gate` 模块, `gate` 模块会阻止动态实体的进入, 受阻的动态实体只能在 `gate` 的紧前模块中等待, 在第一个泊位 `berth1` 的当前状态为 NU(not used)时, 母体才能通过 `gate` 模块流入 `berth2.release()` 模块, 即只有当第一个泊位的车辆驶离后, 第二个泊位的车辆才能驶离, 否则, 只能在泊位上等待。

泊位 3、泊位 4、泊位 5 的业务逻辑与泊位 2 大致相同, 只是后三者不需要处理逻辑开关 `passengerSwitch`, 即只有第二个泊位上车辆停稳后, 系统才会给乘客放行控制员发布放行适量乘客的信号; 在泊位 5 业务逻辑中, 由于该泊位是上客区最后一个泊位, 就无需 `split` 模块产生子辈动态实体, 同时, 在车辆释放设备实体 `berth5` 后, 离开系统(`terminate` 模块)前, 增加一个模块 `taxiSwitch.logic(RESET)`, 将车辆放行控制实体 `taxiSwitch` 的状态修正为 RESET 状态, 以供后续蓄车区域的车辆继续进入上客区, 展开下一轮模拟。

2.4 乘客子模型的业务逻辑

乘客上车业务逻辑主要由两部分组成: (1) 保证产生足够多的乘客; (2) 要保证每轮模拟进入上客区的乘客数量与待客出租车数量相匹配。第一部分的业务逻辑由 `generate(0, 0, 0, 10 000)` 实现, 模拟一开始, 系统就产生 10 000 名乘客, 在 `gate` 模块前等待, 时刻准备着进入上客区, 业务逻辑模型如图 3 所示。

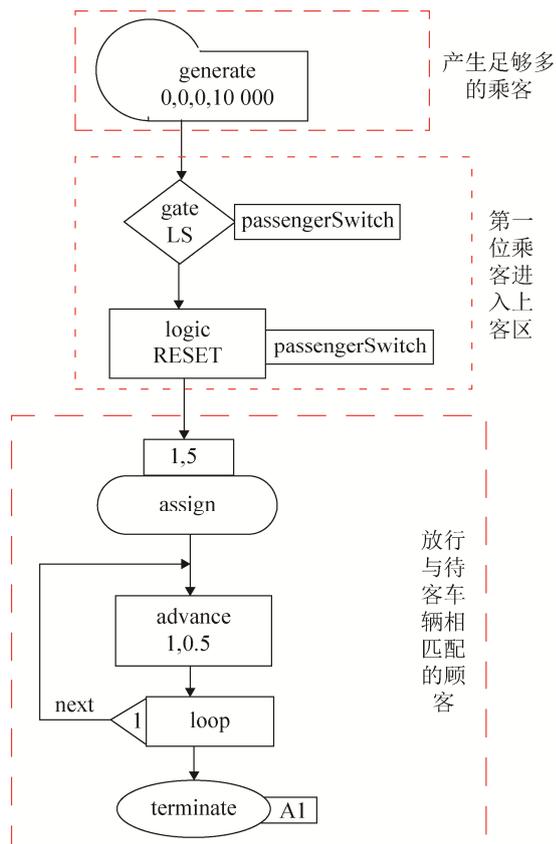


图 3 乘客进入泊位区的运行逻辑

Fig. 3 The logic of passenger entering taxi loading area

2.4.1 第一位乘客进入上客区业务逻辑

gate 模块相当于一个“大门”，只有当逻辑开关实体 passengerSwitch 的当前状态为 SET 时，才允许等待队列中的第一位乘客进入 gate，(在出租车流程子模型中，当上客区第二个泊位上的车辆停稳后，passengerSwitch 的状态被置为 SET)该乘客进入 gate 模块后，立即进入 logic 模块，将乘客放行逻辑开关的状态置为 RESET，这个逻辑保证了每次只有一个乘客被逻辑开关放行，进入上客区。

2.4.2 与待客出租车数量相匹配的乘客的产生

每轮模拟进入上客区的乘客数取决于泊位的数量，第一位乘客进入上客区后，通过 assign 模块与 loop 模块形成一个循环，用以模拟本轮模拟中乘客从排队区进入上客区的过程。当第 1 位乘客离开 logic 模块进入 assign 模块后，其 1 号参数值被修正为 5(默认值为 0)，然后进入 advance 模块被滞留 1 ± 0.5 s，表示第 1 位乘客从排队区进入上客区

所需的时间，之后进入 loop 模块，其 1 号参数的值被减少 1，然后由于其 1 号参数值不为 0，所以被转移至地址对象 next 所代表的模块 advance (1, 0.5)，再次被滞留 1 ± 0.5 s，用以表示第 2 位乘客进入上客区所需时间，乘客在 loop 和 advance 模块之间循环，直到该乘客 1 号参数值为 0，表示已经有 5 波乘客进入了上客区，于是该乘客通过 loop 模块，进入 terminate 模块，被排出模型。(乘车系数取 1.47，本段文字中的每位乘客是指“当量”乘客)。

3 仿真参数的确定及模型的运行

3.1 仿真参数的确定

在浦东机场 T1 航站楼到达高峰时段，作者对其出租车上客区进行了视频采集，通过对所采集数据的分析和整理，得出如下参数：

1. 从第一辆车从蓄车区被放行开始，到其在第一个泊客位停稳所需的时间服从均值为 5 s，偏差为 2 s 的均匀分布。

2. 在上客区内，从前方车辆在泊客位停稳后，到其紧后车辆在其紧后泊位停稳所需的时间均服从均值为 2.5 s，偏差为 1 s 的均匀分布。

3. 乘客行走时间。

在上客区内，乘客从驻足点走到出租车附近所需时间，该时间假设服从均匀分布，具体值见附录。

4. 乘客上车过程所需时间：

通过对以上视频的分析，统计了 225 辆出租车的上客时间(从乘客走到出租车附近到乘客完成上车过程)，最短时间为 3.4 s，最长时间为 79.1 s，以 10 s 的时间间隔进行统计，可得表 2 所示数据。

表 2 乘客上车时间区间车辆数统计表

Tab. 2 Boarding time interval number of vehicles

时间区间/s	车辆数/辆	时间区间/s	车辆数/辆
3.4~13.4	103	13.5~23.4	62 辆
23.5~33.4	27	33.5~43.4	16 辆
43.5~53.4	8	53.5~63.4	5 辆
63.5~73.4	2	73.5~83.4	2 辆

采用柱状图法对数据分析，可得图 4 所示的趋

势线, 该趋势线近似指数分布。同时, 计算这 225 个随机变量的方差系数为 0.876, 可以近似认为乘客上车时间近似服从均值为 15 s 的指数分布。

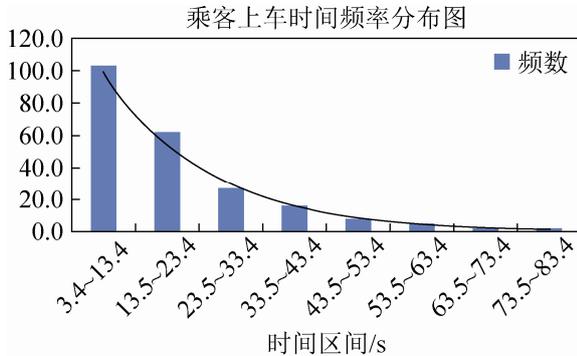


图 4 各时间区间内完成登乘作业的车辆数分布图
Fig. 4 Distribution map of vehicles which in each time interval to complete the work of the board

3.2 模拟结果及数据分析

启动模型, 每一轮模拟, 始于第一辆车驶入上客区, 终于最后一辆车驶离泊位, 为减少随机数对模拟结果的影响, 运行 1 000 轮, 模拟在第 55 185.85 s 结束, 5 个泊位的统计信息如表 3 所示。

表 3 泊位占用相关数据统计信息(5 泊位)

泊位	服务车辆数/辆	平均服务时间/s	忙闲率/%
1	1 000	18.741	34.0
2	1 000	24.670	44.7
3	1 000	30.511	55.3
4	1 000	35.926	65.1
5	1 000	40.188	72.9

通过以上分析, 出租车上客系统的通行能力可以用公式(1)表示:

$$C = \frac{\eta \times n \times R}{T} \times 3\ 600 \quad (1)$$

式中: η 为载客系数; n 为泊位个数; R 为模拟总轮数; T 为模拟终止时, 模拟时钟的值, 时间单位为 h。

根据以上公式(1), 当配备 5 个泊位时, 出租车上客系统通行能力为 480 人/小时。

4 仿真实验的设计与运行结果分析

4.1 泊位数量对通行能力的影响分析

单车道出租车上客系的通行能力的大小与泊位数量有关, 增加泊位数量, 通行能力增加, 但其边际效应递减, 当泊位数量超过某个值的时候, 通行能力会减小, 本文建立了 12 个仿真模型, 分别模拟泊位数量从 1 增加到 12 时候, 通行能力的变化情况。模拟结果如表 4 所示。

表 4 不同泊位数与通行能力关系汇总表

Tab. 4 Summary table of the relationship between different berth number and traffic capacity

泊位个数	最后泊位利用率/%	模型运行时间/s	通行能力/(人/小时)	边际通行能力
1	78.4	23 086	229	229
2	77.1	32 408	327	98
3	75.6	40 966	388	61
4	74.3	48 687	435	47
5	72.9	55 158	480	45
6	72.1	62 661	507	27
7	72.2	71 895	515	8
8	72.4	81 460	520	5
9	72.5	91 063	523	3
10	73.5	103 339	512	-11
11	74.6	118 389	492	-20
12	74.8	129 490	490	-2

表 4 的统计结果显示: 随着泊位个数的增加, 最后一个泊位的利用率变化不大, 边际通行能力呈下降趋势, 当泊位数量为 5 时, 增加一个泊位, 通行能力增加 27 人, 以载客系数为 1.47 计, 每小时通过出租车的数量增加 18 辆, 当泊位数为 7 是, 每小时通过出租车的数量增加 5 辆, 通行能力的提高不明显, 同时随着泊位数量的增加, 出租车上客区的管理难度增加, 不安全因素增加, 因此, 本次仿真实验表明: 单车道出租车上客区的最佳泊位数量为 5 或者 6。

以上分析结果可看出, 除了泊位个数以外, 影响通行能力的另一个重要因素是上客时间的波动性。从表 1 中的数据可以看出, 第 1 个泊位的利用率不到第 5 个泊位利用率的一半(只有一个泊位的除外), 其原因主要是受到上客时间波动性的影响。

4.2 单轮模拟时长统计分析

在本模型中，出租车上客时间服从指数分布。由于指数分布的不均匀性会导致每轮模拟所需时间的不均匀性。为了确定该不均匀性的具体数值，在模型中另外创建两个资源实体对象：保存值对象 Savevalue 和统计表对象 Table:

```
Savevalue cycleTime=new Savevalue(0);
```

```
Table cycleTime=new Table(30, 5, 20);
```

修改出租车子模型，在其 test 模块后增加一条语句：`cycleTime.saveValue(AC$());`；即首辆车通过 test 模块后，将系统绝对时钟的当前值赋给保存值对象。

然后再修改最后一个泊位的业务逻辑，在其 teiminate 模块之前增加一条语句：

```
cycleT.tabulate(AC$()-cycleTime.X$());
```

对该语句的解释如下：`tabulate` 是 `Table` 类封装的一个方法。`cycleT` 对象构造方法中的 3 个参数的意义是：以 30 s 作为下限，5 s 作为间隔值，构造 20 个间隔计数器。`AC$()` 返回第 5 个泊位的车辆完成载客后，驶离系统时刻的时间，`cycleTime.X$()` 返回本轮模拟中首车进入上客区的时间，二者之差就是本轮模拟耗费的时间，`tabulate` 将相应的时间间隔计数器加 1。

修正模型后，再次模拟 1 000 轮，`cycleT` 表的统计结果如表 2 所示：统计样本总数为 1 000，样本均值为 55.16，样本标准差为 17.75。

从表 5 可以看出，在 1 000 轮模拟中，每轮模拟时常短至 25 s，长至 170 s，有较强的波动性。

4.3 降低上客时间波动性对通行能力的影响

在泊位数量为 5 的仿真模型中，第一个泊位的利用率为 34%，第五个泊位的利用率为 72.9%，因此可以判断上客时间的波动性是造成泊位利用率不均匀的主要原因；携带大件行李的乘客是造成上车时间波动性的主要原因，在上客区安排专门的服务人员，协助大件行李的乘客搬运行李，可以有效降低上客时间的波动性。以具有 5 个泊位的上客系

统为例，配备一个服务员帮助携带大件行李的乘客上车后，假设上客时间由原来均值为 15 s 的指数分布变为均值为 15 s，标准差为 8 s 的正态分布，将该数据代入模型，运行 1 000 轮后，耗费时间为 48 365 s，第一个泊位平均服务时间为 19.2 s，忙闲率为 39.8%，第五个泊位的平均服务时间为 33.4 s，忙闲率为 69.0%，通行能力为：554 人/小时。通行能力提高 15.4%。因此，在出租车上客区，安排一名服务人员帮助携带大件行李的乘客上车，可以在一定程度上提高通行能力。

表 5 每轮模拟时间统计数据汇总(5 泊位)

Tab. 5 Statistical data summary for each round(five berth)

间隔列表/s	频数	间隔列表/s	频数
≤30	9	65~70	69
30~35	58	70~75	49
35~40	112	75~80	31
40~45	134	80~85	22
45~50	152	85~90	17
50~55	126	90~95	17
55~60	91	95~100	7
60~65	84	>100	29

5 结论

本文以浦东机场 T1 航站楼出租车上客区为考察对象，建立了基于 GPSS/JAVA 的仿真模型，并基于仿真模型进行了一系列实验，主要结论如下：

1. 单车道出租车上客系统，随着泊位数量的增加，通行能力的边际增长率成下降趋势，泊位数以不超过 6 个为宜；
2. 在泊位区增加帮助乘客搬运行李的专员，减少乘客上客时间的不均匀性，可以显著提高系统通行能力。

本文的结论不仅适用于浦东机场 T1 航站楼出租车上客区，也适用于其他枢纽内单车道单通道的出租车上客系统，需要指出的是，本文虽然建立了单车道出租车上客系统的计算机模型，但是在乘客上车时间、乘客在上客区行走时间等数据的统计分析上，可能具有一定的误差和片面性，因此本文的模拟结果与实际运行状况可能会存在一定的偏差。

单车道单通道出租车上客系统的结构和逻辑是相对简单的, 在接下来的研究中, 作者将对北京南站和虹桥高铁枢纽采用的平行并发式(泊位区有 3 个车道, 每个车道 4 个泊位)和首都机场 T3 采用的并行斜列式、首都机场 T2 采用的平行并发+斜列混合式出租车上客系统展开研究, 找出提升其通行能力的可行方法。

参考文献:

- [1] 云亮, 蒋阳升, 陈坚. 铁路客运枢纽离站出租车排队系统服务台数优化模型 [J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2014, 38(4): 763-766. (YUN L, JIANG Y S, CHEN J. Service-desk number optimization model for passenger transport hub taxi off-site vacation queuing system [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2014, 38(4): 763-766.)
- [2] 耿中波, 宋国华, 赵琦. 基于 VISSIM 的首都机场出租车上客方案比选研究 [J]. 中国民航大学学报, 2013, 31(6): 55-59. (GENG Z B, SONG G H, ZHAO Q. Comparative analysis of taxi boarding schemes at Beijing Capital Airport based on VISSIM [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2013, 31(6): 55-59.)
- [3] 汤震. 交通枢纽出租车到达车道边通行能力分析 [J]. 中国市政工程, 2012 (4): 1-3. (TANG Z. A Research of Traffic Capacity of Taxi Arrival Lane Side in Traffic Hub [J]. China Municipal Engineering, 2012 (4): 1-3.)
- [4] 柳伍生. 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, 29(4): 357-361. (LIU W S. Simulation of Capacity of Taxi Arrival Curbside Parking in Traffic Hub [J]. Computer Simulation, 2012, 29(4): 357-361.)
- [5] 胡程. 并列式立体化出租车排队系统研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2014(7): 19-21. (HU C. Study on Parallel Three-dimensional Taxi Queue System [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2014(7): 19-21.)
- [6] 俞春辉, 杨晓光, 马万经. 考虑随机需求的出租车上客区泊位设置模式和规模优化方法 [J]. 中国公路学报, 2015, 28(3): 102-109. (YU C H, YANG X G, MA W J. Optimization Method for Management Mode and Scale of Taxi Pick-up Zone with Stochastic Demand [J]. China Journal of Highway and Transport, 2015, 28(3): 102-109.)
- [7] 黎冬平. 出租车上客区规模的 Monte Carlo 仿真计算方法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(18): 22-25. (LI D P. Monte Carlo simulation calculation method of taxi boarding area scale [J]. Computer Engineering and

Applications, 2011, 47(18): 22-25.)

- [8] 任毅, 孙健. 管理系统仿真与 GPSSJAVA [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 1-277. (REN Y, SUN J. Management System Simulation & GPSS/JAVA [M]. Beijing, China: Tsinghua University Press, 2009: 1-277.)

附录:

1. 在上客区内, 乘客从驻足点到某个泊位的行走时间大致服从均匀分布, 其均值和偏差如下表所示。

起点	泊位编号	均值/s	偏差/s
驻足点	1 号泊位	4	2
驻足点	2 号泊位	3	1
驻足点	3 号泊位	8	4
驻足点	4 号泊位	12	6
驻足点	5 号泊位	15	6
驻足点	6 号泊位	20	7
驻足点	7 号泊位	28	10
驻足点	8 号泊位	36	16
驻足点	9 号泊位	42	15
驻足点	10 号泊位	50	30
驻足点	11 号泊位	65	30
驻足点	12 号泊位	70	30

2. 5 泊位出租车发车系统 GPSSJAVA 模型

```
import gpssjv.*; //须引入 gpssjv 仿真包
public class SingleLane_5 extends BlockOp{ //模型类
    为公有且须继承仿真包的 BlockOp 类
    public void run(){
        blockMax(200);
        setModel(this);
        start(1000); //以下写模型控制语句
    }
    Switch passengerSwitch=new Switch();
    Switch taxiSwitch=new Switch();
    Savevalue cycleTime=new Savevalue(0);
    Addr next=new Addr();
    Addr toBerth2=new Addr();
    Addr toBerth3=new Addr();
    Addr toBerth4=new Addr();
    Addr toBerth5=new Addr();
    Facility berth1=new Facility();
    Facility berth2=new Facility();
    Facility berth3=new Facility();
    Facility berth4=new Facility();
    Facility berth5=new Facility();
    Table cycleT=new Table(55,5,20);
    boolean canDriveIn(){
```

```

return berth5.FNU() && passengerSwitch.LR() &&
taxiSwitch.LR();
}
//建立仿真模型
public void simulate(){
switch(nextBlock){ //以下写仿真模型语句
case 10: generate(0,0,0,1000);
case 15: test(T,canDriveIn());
case 20: cycleTime.saveValue(AC$());
case 25: taxiSwitch.logic(SET);
case 30: advance(5,2);
case 40: split(1,toBerth2);
case 50: berth1.seize();
case 55: advance(4,2);
case 60: advance(expntl(2,15));//乘客
上车过程
case 70: berth1.release();
case 80: terminate();
case 90: A(toBerth2); advance(2.5,1);
case 100: split(1,toBerth3);
case 110: berth2.seize();
case 115: passengerSwitch.logic(SET);
case 116: advance(3,1);
case 120: advance(expntl(2,15));
case 130: gate(NU,berth1);
case 140: berth2.release();
case 150: terminate();
case 160: A(toBerth3); advance(2.5,1);
case 170: split(1,toBerth4);
case 180: berth3.seize();
case 185: advance(8,4);
case 190: advance(expntl(2,15));
case 200: gate(NU,berth2);
case 210: berth3.release();
case 220: terminate();
case 230: A(toBerth4); advance(2.5,1);
case 240: split(1,toBerth5);
case 250: berth4.seize();
case 255: advance(12,6);
case 260: advance(expntl(2,15));
case 270: gate(NU,berth3);
case 280: berth4.release();
case 290: terminate();
case 300: A(toBerth5); advance(2.5,1);
case 310: berth5.seize();
case 315: advance(15,6);
case 320: advance(expntl(2,15));
case 330: gate(NU,berth4);
case 340: berth5.release();
case 345: taxiSwitch.logic(RESET);
case 350: cycleT.tabulate(AC$()-cycleTime.X$());
case 360: terminate(1);
//乘客子模块
case 500: generate(0,0,0,1000);
case 510: gate(LS,passengerSwitch);
case 520: passengerSwitch.logic(RESET);
case 530: assign(1,5);
case 540: A(next); advance(1,0.5);
case 550: loop(1,next);
case 560: terminate();
case 1000: end(); //模型须以 end 语句为
结束标志
}
}
}

```

(上接第 995 页)

- [6] 罗陆峰, 邹湘军, 张丛, 等. 基于实时数据的角色运动建模与仿真 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(4): 677-681. (Luo Lufeng, Zou Xiangjun, Zhang Cong, et al. Model and Simulation of Virtual Character Based on Real-time Sensor Data-driven [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2015, 27(4): 677-681.)
- [7] 梁丰, 张志利, 李向阳, 等. 基于光学运动捕捉数据的虚拟人下肢运动控制方法 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(2): 327-335. (Liang Feng, Zhang Zhili, Li Xiangyang, et al. Research on Motion Control Technology of Virtual Human's Lower Limb Based on Optical Motion Capture Data [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2015, 27(2): 327-335.)
- [8] GB 10000-1988. 中国成年人人体尺寸 [S]. (GB 10000-1988. Human Dimensions of Chinese Adults [S].)
- [9] GB/T 17245-2004. 成年人人体惯性参数 [S]. (GB/T 17245-2004. Inertial parameters of adult human body [S].)
- [10] 卢德明. 运动生物力学测量方法 [M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2002. (Lu Deming. Measurement methods of Sports Biomechanics [M]. Beijing, China: Beijing Sport University Press, 2002.)