

9-18-2020

Delay Model of Vehicles at Urban Road Drop-off Area

Lifan Zhang

1. Beijing advanced innovation center for future urban design, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; ;

Pengpeng Jiao

1. Beijing advanced innovation center for future urban design, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; ;

Mingkai Si

2. First Design Institute, Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, 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.

Delay Model of Vehicles at Urban Road Drop-off Area

Abstract

Abstract: A model for calculating the delay of the drop-off vehicles at urban road drop-off area is proposed. The traffic organization modes of the independent drop-off area and the road drop-off area are analysed. *The "queue up to drop off" mode process is divided into two stages, a delay model of drop-off vehicle based on queuing theory and gap theory is established, and an optimization algorithm is presented.* Taking the entrance section of Anzhen Hospital in Beijing as the test object, the model is tested by VISSIM simulation software and real survey data. The influence of drop-off rate and drop-off area length on vehicles delay is analyzed. The results show that the model can predict the traffic state of the drop-off area and the drop-off vehicle delay accurately, which provides a more reliable basis for the optimal settings of urban road drop-off area.

Keywords

drop-off area, delay model, drop-off behavior, VISSIM simulation, queuing theory

Recommended Citation

Zhang Lifan, Jiao Pengpeng, Si Mingkai. Delay Model of Vehicles at Urban Road Drop-off Area[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(9): 1839-1846.

城市道路落客区车辆延误模型

张立帆¹, 焦朋朋^{1*}, 司铭锴²(1. 北京建筑大学 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044;
2. 北京市市政工程设计研究总院有限公司 第一设计研究所, 北京 100082)

摘要: 提出一种城市道路落客区车辆延误的计算模型。分析了独立落客区和路段落客区的交通组织模式。将“排队落客”模式的落客过程分为 2 个阶段, 结合排队论和可插车间隙理论, 建立了落客车辆的延误模型, 并设计了优化算法。随后以北京市安贞医院入口路段为测试对象, 应用 VISSIM 仿真软件和实际调查的数据对模型进行验证。分析了落客率和落客区长度对落客车辆延误的影响。结果表明, 模型能够精准的获取落客车辆的延误, 同时可以为落客区的合理设置提供依据。

关键词: 落客区; 延误模型; 落客行为; VISSIM 仿真; 排队论

中图分类号: U491.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2020) 09-1839-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0144

Delay Model of Vehicles at Urban Road Drop-off Area

Zhang Lifan¹, Jiao Pengpeng^{1*}, Si Mingkai²(1. Beijing advanced innovation center for future urban design, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;
2. First Design Institute, Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China)

Abstract: A model for calculating the delay of the drop-off vehicles at urban road drop-off area is proposed. The traffic organization modes of the independent drop-off area and the road drop-off area are analysed. The “queue up to drop off” mode process is divided into two stages, a delay model of drop-off vehicle based on queuing theory and gap theory is established, and an optimization algorithm is presented. Taking the entrance section of Anzhen Hospital in Beijing as the test object, the model is tested by VISSIM simulation software and real survey data. The influence of drop-off rate and drop-off area length on vehicles delay is analyzed. The results show that the model can predict the traffic state of the drop-off area and the drop-off vehicle delay accurately, which provides a more reliable basis for the optimal settings of urban road drop-off area.

Keywords: drop-off area; delay model; drop-off behavior; VISSIM simulation; queuing theory

引言

城市道路由路段和交叉口组成。交叉口作为城市路网的节点, 其拥堵状况与路网的运行状态密切

相关。连接交叉口的路段, 对交叉口的拥堵有一定的传递性, 并且路段本身的拥堵状态也同样严重影响交叉口及路网的运行状态。商场、医院、学校的进出口通常是城市路段中落客量较大的区域, 机动车频繁的落客行为会造成机动车之间的频繁交织, 影响了路段机动车的正常运行, 同时影响了路段交通的运行效率。

许多学者对城市道路的通行效率和通行能力进行了研究, 在交叉口通行能力^[1]和通行效率^[2]、



收稿日期: 2019-04-08 修回日期: 2019-07-03;
基金项目: 国家自然科学基金(51578040), 北京市属
高校高水平教师队伍建设支持计划(CIT&TCD
20180324), 北京市属高校基本科研业务费专项资金
(X18081, X18094);
作者简介: 张立帆(1994-), 男, 山东临沂, 硕士
生, 研究方向为智能交通与城市交通管理。

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

• 1839 •

城市道路通行能力的影响因素^[3]等方面取得了很多进展。在路段通行效率方面,慈玉生等^[4]研究了行人过街对路段机动车延误的影响,梁士栋等^[5]研究了上游公交站对路段通行效率的影响。落客区作为路段中交通冲突较多的区域,其组织方式、落客区长度设置等问题严重影响落客区和所在路段的通行效率,亟待对其运行参数进行研究分析。

1 落客区交通组织

落客区原本是火车站、飞机场等交通枢纽单独设立的供机动车用来进行落客的区域。随着城市机动车出行的不断增加、停车难问题的凸显,商场、医院等人流量大的建筑“过而不停”的车辆越来越多,产生了越来越多的落客行为。由于学校的特殊性,在登校时间,其出入口路段也存在大量的落客车辆。许多学校、商场、医院在建设时未考虑大量的落客车辆,在建设布局上未保留落客区域,因此落客行为集中发生在建筑物出入口的路段上,导致城市道路中产生了很多落客区。

1.1 组织方式

火车站、飞机场等交通枢纽设立的独立落客区和城市道路的路段落客区在组织方式上有所不同。

1.1.1 独立落客区组织方式

交通枢纽的独立落客区通常采用 2 种落客方式,直行式和斜停式。

(1) 直行式

直行式是指车辆直行进入落客区,落客区域内不划分落客车位,车辆选择任意位置停车并落客,落客完毕后直行离开落客区的组织方式,如图 1 所示。目前大部分交通枢纽的落客区采用此种组织方式。

(2) 斜停式

斜停式如图 2 所示,落客车辆先沿同一进口道行驶,随后驶入划分的倾斜式落客车位进行落客,最后汇入同一出口道驶离。

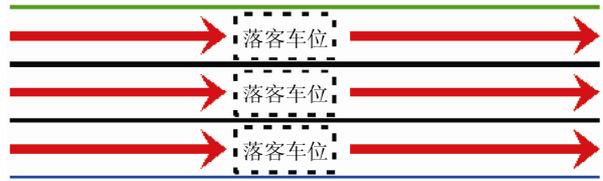


图 1 直行式

Fig. 1 Straight line mode

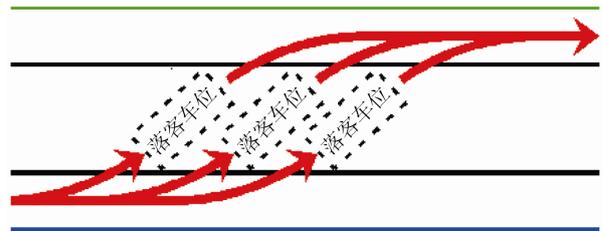


图 2 斜停式

Fig. 2 Oblique parking mode

1.1.2 路段落客区组织方式

城市道路的路段落客区通常有两种落客组织方式,“即落即走”模式和“排队落客”模式。

(1) “即落即走”模式

“即落即走”模式是指,落客区内不严格划分落客车位,落客车辆可以从落客区相邻行车道任意位置驶入落客区进行落客,落客完毕后可以立即汇入行车道驶离落客区的组织方式,如图 3 所示。

(2) “排队落客”模式

“排队落客”模式是指,落客区内严格划分落客车位,落客车辆需要提前换道至落客区前的等待区域,并排队进入落客区进行落客,落客完毕后排队驶离落客区,并统一汇入相邻行车道,如图 4 所示。

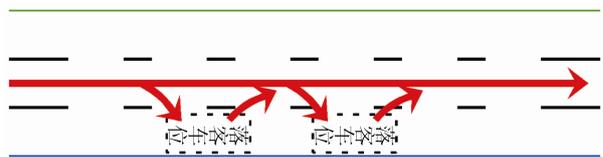


图 3 “即落即走”模式

Fig. 3 “Drop off at any time” mode

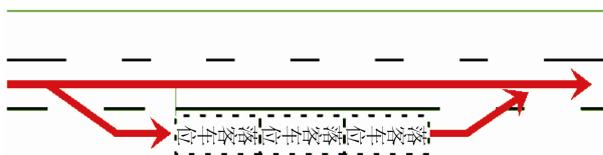


图 4 “排队落客”模式

Fig. 4 “Queue up to drop off” mode

1.2 问题分析

独立落客区和路段落客区落客车辆产生的延误大体可以分为 2 种延误, 等待延误和汇入延误。等待延误是指车辆在开始落客之前由于外在因素而导致的时间损失, 如前车占用落客车位时间较长导致等待时间增加。汇入延误是指车辆在落客完毕后, 驶离车位汇入行车道时由于车辆交织所产生的延误。

1.2.1 独立落客区组织方式问题分析

独立落客区全部用于落客车辆落客, 因此没有落客车辆和过路直行车辆的交织冲突。

直行式组织方式, 由于没有车辆交织的发生, 从而大大减少了汇入延误和安全隐患, 但存在以下 2 个问题: (1) 当某一落客车辆因为意外原因导致落客时间延长, 会影响后续车辆的行驶和落客; (2) 下车行人会对车辆的运行产生影响。

斜停式组织方式, 考虑到直行式车辆运行受前车影响较大, 采用倾斜式车位进行落客, 以避免前车阻碍后车运行。该组织方式存在以下 2 个问题: (1) 采用倾斜式车位消除了前车对后车的干扰, 但增加了落客车辆间的交织冲突; (2) 下车行人对车辆的干扰问题没有得到解决。

1.2.2 路段落客区组织方式问题分析

路段落客区无法避免过路车辆和落客车辆之间的冲突, 但不受下车乘客的影响。

“即落即走”模式, 落客车辆可以选择落客区域内的任意位置进行落客, 落客完毕后立即汇入直行车流。该模式有以下 3 个问题: (1) 跟车车辆无法预测前车何时进行落客, 前方车辆突然的落客行为影响后续车辆行驶并且存在安全隐患; (2) 落客车辆汇入直行车流的汇入点多、且位置不固定, 造成更多的冲突点; (3) 落客区未划分固定落客车位, 落客区空间利用率低, 落客效率低下。

“排队落客”模式, 车辆提前换道至等待区, 排队进入落客区落客。该模式主要存在 2 个问题:

(1) 当某一落客车辆因为意外原因导致落客时间

延长, 会影响后续车辆的行驶和落客; (2) 多辆落客车辆连续汇入直行车流, 可能导致直行车流等待时间延长。

4 种落客区组织方式的对比如表 1 所示。

表 1 落客区组织方式对比
Tab. 1 Drop-off area traffic organization comparison

落客区组织方式	冲突点个数	受前车影响	受下车行人影响	落客效率	是否需要独立区域
直行式	无	大	大	较高	是
斜停式	多个	无	大	高	是
即落即走	多个	小	无	低	否
排队落客	1 个	大	无	较高	否

对比独立落客区与路段落客区交通组织方式, 通过设置独立区域进行落客, 独立落客区完全避免了过路车辆和落客车辆间的冲突, 大大降低了延误和减少了交通事故安全隐患。但由于早期城市建设时未考虑大量的落客需求, 没有预留路段外的落客空间, 因此大部分城市路段没有条件设置直行式和斜停式的独立落客区。

对比“即落即走”和“排队落客”2 种组织方式, “排队落客”解决了部分“即落即走”模式的问题。

(1) 汇入点减少为一个从而减少了车辆间的冲突; (2) 驶入和驶离落客区的位置固定, 对直行车流的行驶影响小; (3) 划分固定落客车位, 充分利用落客区内的空间, 提高落客效率。“排队落客”是目前最适合城市大量落客路段落客区的组织方式。

2 城市道路落客区车辆延误模型

在建立路段落客区车辆延误模型之前, 首先假设以下条件:

(1) 模型描述的落客区组织方式为“排队落客”模式;

(2) 不考虑车辆在落客时由于意外原因导致的落客时间较长的情况;

(3) 在交织区直行车辆具有优先通过权, 落客车辆严格避让直行车辆;

(4) 直行车辆到达间隔服从负指数分布。

2.1 落客延误模型

车辆落客过程可以分为两个阶段,第一个阶段为落客车辆从行车道驶入落客区并进行落客,第二个阶段为落客车辆启动汇入行车道。两个阶段均可视为排队过程。

第一阶段将落客区视为多个服务台,服务台的个数由落客车位个数 l 决定,落客车辆视为顾客,落客过程即为服务过程。落客车辆的到达率为顾客的到达率,即:

$$\lambda_1 = q_t \cdot \omega \quad (1)$$

式中: λ_1 为排队理论中的到达率; q_t 为行车道机动车车流率,单位为 $\text{veh} \cdot \text{s}^{-1}$; ω 为车辆落客率。

服务率为取决于车辆的落客速度:

$$\mu_1 = 1/t \quad (2)$$

式中: μ_1 为排队理论中的服务率; t 为平均落客时间,单位为 s^{-1} 。

则这个排队系统的负荷度为:

$$\rho = \frac{\lambda_1}{\mu_1 \cdot l} = \frac{q_t \cdot \omega \cdot t}{l} \quad (3)$$

式中: ρ 为系统负荷度。

则系统中排队的顾客数,即落客车辆排队的辆数为:

$$L_q = \frac{l^l \cdot \rho^{l+1} \cdot P_0}{c!(1-\rho)^2} \quad (4)$$

式中: L_q 为系统中排队顾客的数量; P_0 为系统中没有顾客排队的概率。

每个顾客在队列中的排队时间,即落客车辆在落客区前等待落客的平均时间为:

$$W_{1q} = \frac{L_q}{\lambda_1} = \frac{l^l \cdot \rho^{l+1} \cdot P_0}{\lambda_1 \cdot c!(1-\rho)^2} \quad (5)$$

式中: W_{1q} 为落客车辆等待进入落客区花费的时间,单位为 s 。

而每个顾客系统内的平均逗留时间,也就是落客车辆落客所花费的平均时间为:

$$W_{1s} = W_{1q} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} \quad (6)$$

式中: W_{1s} 为落客车辆落客所需要的时间,单位为 s 。

2.2 汇入延误模型

根据可插车间隙理论,可以将启动汇入行车道的落客车辆与行车道中行驶的车辆视为两个相交的交通流,直行车辆视为主车流,具有优先权,汇入行车道的落客车辆视为次车流,只有当主车流间出现足够大、可穿越的空档时才能汇入。根据可插车间隙理论的公式可以得到落客车辆汇入行车道时可能通过的最大流量:

$$q_{d\max} = \frac{q(1-\omega)e^{-q(1-\omega)\tau}}{1 - e^{-q(1-\omega)h}} \quad (7)$$

式中: $q_{d\max}$ 为落客车辆汇入行车道的最大数量,单位为 $\text{veh} \cdot \text{s}^{-1}$; q_t 为行车道机动车车流率,单位为 $\text{veh} \cdot \text{s}^{-1}$; τ 为落客车辆可以汇入行车道的临界空档时距,单位为 s ; h 为汇入行车道的落客车辆连续跟驰通行时的车头时距,单位为 s 。

结合排队论,第二阶段可以将落客车辆汇入行车道的冲突区作为一个服务台,落客车辆视为顾客,行车道中直行车流的可插车间隙为落客车辆提供服务,服务过程为落客车辆汇入行车道的过程。车辆落客率为顾客的到达率,即:

$$\lambda_2 = q_t \cdot \omega \quad (8)$$

式中: λ_2 为排队理论中的到达率; q_t 为行车道机动车车流率,单位为 $\text{veh} \cdot \text{s}^{-1}$; ω 为车辆落客率。

服务率为落客机动车汇入直行道时可以汇入的最大流率,由式(7)有:

$$\mu_2 = q_{d\max} = \frac{q_t(1-\omega)e^{-q_t(1-\omega)\tau}}{1 - e^{-q_t(1-\omega)h}} \quad (9)$$

式中: μ_2 为排队理论中的服务率。

则每个顾客在队列中的排队时间,即落客车辆在交织区前等待汇入行车道的平均时间为:

$$W_{2q} = \frac{\lambda_2}{\mu_2(\mu_2 - \lambda_2)} \quad (10)$$

式中: W_{2q} 为右转机动车等待通过交织区花费的时间,单位为 s 。

而每个顾客系统内的平均逗留时间,也就是落客车辆汇入行车道所花费的平均时间为:

$$W_{2s} = \frac{1}{\mu_2 - \lambda_2} = \frac{1}{\frac{q_t(1-\omega)e^{-q(1-\omega)\tau}}{1 - e^{-q(1-\omega)h}} - q_t \cdot \omega} \quad (11)$$

式中: W_{2s} 为落客车辆通过交织区所需要的时间, 单位为 s。

则落客路段总体的平均延误应该为落客过程的等待时间与汇入过程的系统总时间之和:

$$D = \frac{l^l \cdot \rho^{l+1} \cdot P_0}{\lambda_1 \cdot c!(1-\rho)^2} + \frac{1}{\mu_2 - \lambda_2} \quad (12)$$

式中: D 为落客路段机动车的平均延误, 单位为 s; 其他变量意义同上。

公式 12 中 q_t 可以直接通过交通调查得到, 临界间隙 τ 和跟驰车头时距 h 两个参数, 这两个参数值可以根据调查数据应用极大似然法计算得到, l 可以根据实际道路情况进行设置。求解落客路段机动车延误的关键是标定 τ 和 h 两个参数。

3 城市道路落客区仿真建模

3.1 仿真平台选择与建模流程

VISSIM 软件在路网描述、模型算法、功能特点 3 个方面功能均较好, 因此选择 VISSIM 作为本文模型的仿真平台。仿真建模流程见图 5。

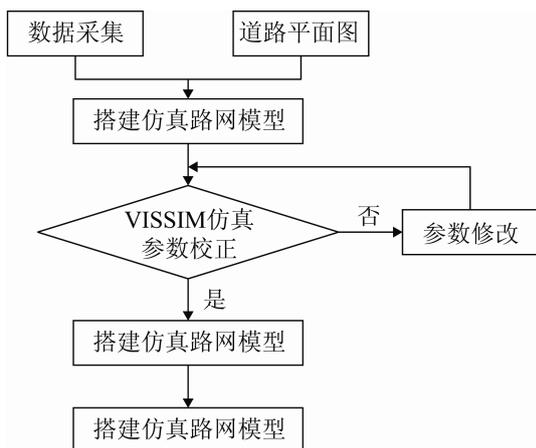


图 5 仿真建模流程
Fig. 5 Flow chart of simulation modeling

3.2 仿真路段选择与仿真模型建立

以北京市安贞路安贞医院西门落客区的落客

车辆的行驶状况为数据源, 于 2018-05-08 和 2018-05-09 早高峰 07:00-09:00 进行交通调查, 调查内容包括机动车通行量, 落客机动车量, 并使用点样本法调查机动车延误以进行模型的校正。选择该路段的原因如下:

- (1) 概率段落客机动车量较大, 交织冲突明显;
- (2) 安贞路进行改造后路段结构易于仿真, 符合模型假设;
- (3) 使用该路段 5 月 8 日的数据进行标定, 并以 5 月 9 日的数据进行数据试验, 不易出现偶然性结果, 仿真还原度高。

根据仿真定义, 利用安贞路及周边道路平面图, 根据实际路网的设计尺寸搭建安贞路落客路段仿真模型。搭建的落客路段仿真模型如图 6 所示。

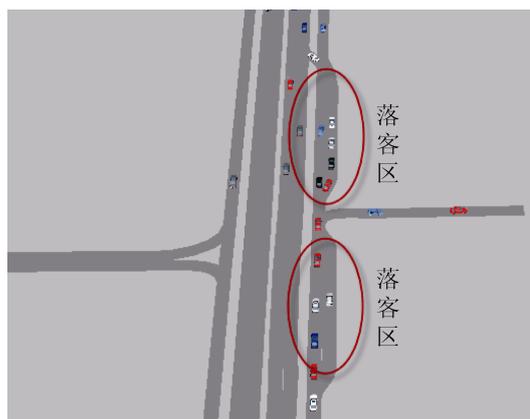


图 6 安贞医院落客区仿真模型
Fig. 6 Anzhen hospital drop-off area simulation model

3.3 仿真模型校准

VISSIM 软件的默认参数并不一定符合安贞路车辆运行情况, 为了保证仿真模型的可靠性, 需对其进行模型校准。

3.3.1 校准参数选择

建立的模型为小规模路网, 机动车变更车道行为较少, 车辆跟驰行为、车辆加减速行为较多, 因此选择 VISSIM 中最大协同减速度、跟驰随机震荡距离、期望车头时距 3 个参数为待校准参数, 3 个参数的仿真定义范围如表 2 所示。

表 2 校准参数仿真定义

Tab. 2 Simulation definition of parameters to be calibrated

校准参数	定义范围
最大协同减速度(MDCB)/(m/s ²)	-5~2
跟驰随机震荡距离(CC2)/m	1~2
期望车头时距(CC1)/s	0.5~3.0

3.3.2 参数校准与模型验证

以调查获得的安贞路安贞医院门西门落客区 2018-05-08 早高峰 07:00-09:00 为校准数据源,对最大协同减速度、跟驰随机震荡距离、期望车头时距 3 个参数进行校准。最终校准结果如表 3 所示。

表 3 参数校准结果

Tab. 3 Calibration result of parameters

校准参数	校准结果
最大协同减速度(MDCB)/(m/s ²)	-4
跟驰随机震荡距离(CC2)/m	1.25
期望车头时距(CC1)/s	2.65

根据上述参数校准结果,以 5 月 9 日调查数据为数据源,再进行多次仿真实验验证。通过对比实测数据与仿真结果的误差,确保了其均在 10% 以内,因此,参数校准结果准确性较高。

4 车辆延误模型验证与分析

4.1 模型参数标定

上文已对 VISSIM 仿真软件的参数进行了校准,其中期望车头时距为 2.65 s,因此模型中车头时距 h 取值为 2.65 s。 τ 的标定需要获取同一驾驶员在相同或相似条件下能够接受的最小间隙和拒绝的最大间隙,此处引用文献[6-7]的成果,取 $\tau = 3.75$ s。

4.2 落客率对落客车辆延误的影响

以安贞路 5 月 9 日调查数据进行仿真实验,调整安贞医院西门落客区过路车辆和落客车辆的比例,对落客率 ω 取不同的值,进行多次仿真运行,输出多组延误数据并进行对比分析。输出的延误数据与计算的误差如表 4 所示。

表 4 延误数据及误差

Tab. 4 Delay and errors

落客率	计算延误/s	仿真延误/s	相对误差/%
0.085	12.1	10.97	-9.3
0.094	12.4	11.14	-10.1
0.106	12.6	11.40	-9.5
0.140	12.8	12.33	-3.6
0.164	13.5	13.23	-2.0
0.179	13.9	13.91	0.1
0.221	16.3	16.47	1.1
0.272	20.7	21.50	3.9
0.306	25.1	26.82	6.8
0.330	30.4	32.20	5.9
0.349	34.9	37.98	8.8
0.385	51.2	55.80	9.0

各组仿真延误与模型计算延误的相对误差均在 $\pm 15\%$ 以内,拟合效果良好。

仿真值与计算值对比如图 7 所示。

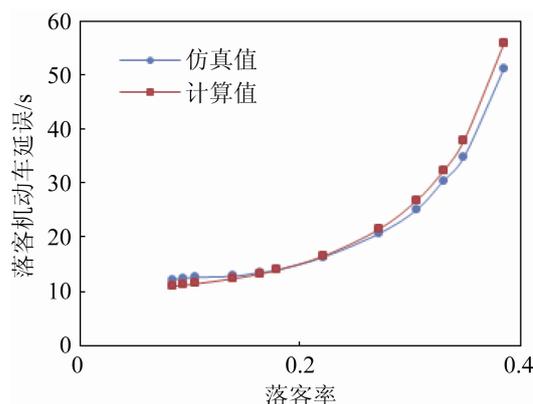


图 7 值仿真与计算对比

Fig. 7 Comparisons between simulation and calculation

如图 7 所示,落客车辆的延误随着落客率的增加整体呈现上升趋势。当 $\omega \leq 0.3$ 时,落客机动车辆延误随落客率增长不明显。当 $\omega > 0.3$,落客机动车辆延误随落客率增长明显增大。

可以看出,落客区具有其落客量承载上限。当落客率过大,落客流量超过落客区容量上限时,落客区的整体延误会随着落客率的增大急剧增加,严重影响运行效率。

4.3 落客区长度对落客车辆延误的影响

通过改变落客区内落客车位个数,调整落客区

长度, 对 l 取不同的值, 进行多次仿真运行, 输出多组延误数据并进行对比分析。输出的延误数据与计算的误差如表 5 所示。

表 5 延误数据及误差
Tab. 5 Delay and errors

落客车位个数	计算延误/s	仿真延误/s	相对误差/%
5	63.5	68.25	7.5
6	34.7	32.61	-6.0
7	24.5	22.87	-6.7
8	21.1	19.00	-9.9
9	19.3	17.43	-9.7
10	17.2	16.83	-2.2

由表 5 可得, 各组仿真延误与模型计算延误的相对误差均在 $\pm 15\%$ 以内, 拟合效果良好。

仿真值与计算值对比如图 8 所示。

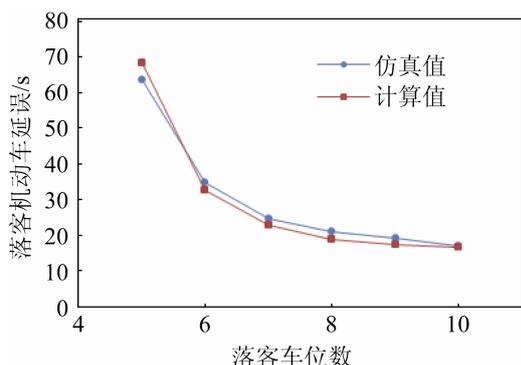


图 8 值仿真与计算对比

Fig. 8 Comparisons between simulation and calculation

由图 8 可得, 落客车辆的延误随着落客车位的增加整体呈下降趋势。落客车位个数由 5 个增加为 6 个时, 落客车辆延误明显下降。落客车位进一步增加, 直到达到 10 个落客车位数, 落客车辆延误减少不明显。

可以看出, 当落客率固定不变, 落客车辆延误随落客区长度的变化趋势有一分界值, 如图 8 中的 6 个落客车位。当落客区长度小于该分界值时, 落客延误随落客区长度变化趋势明显; 当落客区长度大于改分界值时, 落客延误随落客区长度变化微弱。落客区设计者, 可以根据实际需要, 选择合适的落客区长度。可选择靠近分界值的长度, 在保证

落客效率的同时, 控制成本; 也可以选择大于分界值的长度, 以预留将来增长的落客需求。对于目前出现较大落客延误的路段落客区, 也可以采用适当增加落客区长度的方法, 缓解落客压力。

4.4 误差因素分析

对比仿真输出结果与模型计算结果发现存在误差, 且误差大小变化没有明显规律, 考虑仿真模型搭建校准过及延误模型建立的过程, 分析误差产生原因主要有以下 5 点:

- (1) 文中仿真模型仅对 3 个车辆运行参数进行了校正, 不能完全反应真实的车辆运行规律;
- (2) 为了使仿真更加贴近真实情况, 仿真模型中设定车辆落客时间为一定区间内的随机值;
- (3) 仿真模型中设定落客车辆随机选择落客车位进行落客, 可能会使落客车位闲置造成延误增加;
- (4) 仿真模型中安贞医院西门存在进出车辆, 会对落客车辆产生干扰;
- (5) 模型本身进行了多项假设, 建立条件较为理想化, 会使模型计算延误较真实值小。

5 结论

本文分析了落客区的 4 种组织方式, 将落客路段的落客过程分为 2 个阶段, 结合排队论和可插车间隙理论, 利用落客车辆等待时间和车辆汇入车道车流所需时间来表征落客车辆的延误, 建立了落客路段的车辆延误模型, 利用实际数据进行了参数的标定。模型分别研究了落客率和落客区长度(以落客车位个数表示)对落客车辆延误的影响, 为落客区的设置提供了参考。

参考文献:

- [1] 赵林. 城市道路信号交叉口通行能力及其影响因素研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2008.
Zhao Lin. Research on Capacity and Influencing Factors of Signalized Intersection[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2008.
- [2] 陈河明, 李硕, 高岩, 等. 信号交叉口期望交通延误模型及计算方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息,

- 2013, 13(3): 170-177.
Chen Heming, Li Shuo, Gao Yan, et al. Models and Calculation Methods for Expected Traffic Delays at Signalized Intersections[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(3): 170-177.
- [3] 茹红蕾. 城市道路通行能力的影响因素研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
Ru Honglei. Reseach on Influence Factors of Urban Road Capacity[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [4] 慈玉生, 郑淑妮, 赵韩涛. 基于过街人数分布的路段机动车延误经验模型[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(6): 76-80.
Ci Yusheng, Zheng shuni, Zhao hantao. Empirical Model of Road Segment Vehicle Delay Based on Numerical Distribution of Pedestrians' Crossing[J]. Journal of Chongqing Jiaotong Univetrsity (Natural Science), 2018, 37(6): 76-80.
- [5] 梁士栋, 赵淑芝, 马明辉, 等. 路段上游直线式公交站点对车辆延误影响分析[J]. 北京理工大学学报, 2017, 37(3): 267-273.
Liang Shidong, Zhao Shuzhi, Ma Minghui, et al. The Impcacts of Upstream Linear Bus Stop on Car Delays[J]. Transportaions of Beijing Institute of Technology, 2017, 37(3): 267-273.
- [6] 冷军强. 冰雪条件下城市路网行程时间可靠性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
Leng Junqiang. Travel time reliability of urban road network under ice and snowfall conditions[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010.
- [7] 王殿海, 金勇, 陈永恒. 提前右转机动车的通行能力[J]. 吉林大学学报(工学版), 2005, 35(5): 467-472.
Wang Dianhai, Jin Yong, Chen Yongheng. Passing capacity of advance right-turn motor vehicles[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2005, 35(5): 467-472.