

4-19-2022

## Continuous Simulation Technology for Multi-State Evolution of Urban Road Traffic

Qinglu Ma

*School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;, mql360@qq.com*

Lin Zhang

*School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;, 1023496958@qq.com*

Xinxin Yuan

*School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;*

Fengjie Liu

*School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, 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.

---

# Continuous Simulation Technology for Multi-State Evolution of Urban Road Traffic

## Abstract

**Abstract:** Arming at the decreased positioning accuracy caused by the environment dynamic change of indoor positioning system, *an error compensation algorithm based on XGBoost fusion elastic net is proposed. XGBoost positioning model is used to make a preliminary prediction on the target position. When the indoor environment changes, the elastic net algorithm is used to construct an error compensation model to correct the positioning error of XGBoost positioning model.* The experimental results show that when only 15% of the fingerprint database samples need to be updated, the positioning accuracy of the proposed algorithm is controlled in 0.73m at the 80% percentile, which is significantly better than those of the K-nearest neighbor (KNN), support vector machine (SVM), random forest (RF) and gradient boosting decision tree (GBDT) positioning algorithms, and the accuracy increases 25.5% than XGBoost.

## Keywords

indoor positioning, WiFi fingerprint, XGBoost, elastic net, error compensation

## Recommended Citation

Qinglu Ma, Lin Zhang, Xinxin Yuan, Fengjie Liu. Continuous Simulation Technology for Multi-State Evolution of Urban Road Traffic[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(4): 847-855.

## 城市道路交通多状态演化下的连续仿真技术研究

马庆禄, 张琳\*, 袁新新, 刘丰杰

(重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

**摘要:** 为实现交通多状态演化下的仿真连续性, 解决多状态交通只能利用单状态交通进行多次仿真实现的问题, 利用VISSIM仿真软件的二次开发接口, 构建连续交通事件仿真中间件模型, 将原本两个相关联的交通仿真事件进行联合驱动。利用C#与数据库进行VISSIM-COM二次开发, 选用重庆市渝中区钢花路与柏华街交叉口的调查数据, 对其“平时-拥堵-消散”的交通运行状态进行连续仿真验证。实验结果表明: 连续仿真中会分别产生波速为-16.3 km/h和-7.47 km/h的交通波, 且连续仿真与实际调查的平均延误、总延误、停车次数和平均速度在数据上更为接近, 其差值分别为1.318 s、0.748 h、308次和0.647 km/h, 相较于单次仿真, 连续仿真与实际调查数据更为接近。

**关键词:** 交通仿真; 二次开发; 连续仿真; 交叉口

中图分类号: TP396; U491 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2022)04-0847-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0896

## Continuous Simulation Technology for Multi-State Evolution of Urban Road Traffic

Ma Qinglu, Zhang Lin\*, Yuan Xinxin, Liu Fengjie

(School of Traffic and Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** In order to realize the simulation continuity of the multi-state evolution of traffic and to solve the problem that multi-state traffic can only be simulated by single state traffic through multiple times, the middleware model of continuous traffic event simulation is built by the secondary development interface of VISSIM simulation software, and the original two related traffic simulation events are jointly driven. The secondary development of VISSIM-com is carried out by C# and database. The survey data of the intersection of Ganghua Road and Baihua Road in the Yuzhong District of Chongqing is selected as the example, and the continuous simulation verification for the traffic operation state of "Peacetime-Congestion-Dissipation" is carried out. The experimental results show that the traffic waves with speeds of -16.3 km/h and -7.47 km/h will be generated in the continuous simulation, and the average delay, total delay, parking times and average speed of the continuous simulation are more accurate, while the differences are 1.318 s, 0.748 h, 308 times and 0.647 km/h, respectively. Compared with the single simulation, the continuous simulation and the actual survey data are more consistent.

**Keywords:** traffic simulation; secondary development; continuous simulation; intersection

## 引言

VISSIM作为一种交通仿真分析软件, 在交通优化仿真分析及验证、交通管理与控制算法模型

验证、交通信息及控制等方面都得到广泛的应用, 是研究城市道路规划设计和组织管理的一种常用交通仿真技术手段<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2020-11-13 修回日期: 2021-03-12

基金项目: 国家社会科学基金国家应急管理体系建设研究专项(20VYJ023); 重庆市教育委员会教委科学技术研究计划重点项目(KJZD-K202000704); 重庆市科技局技术预见与制度创新专项(cstc2019jsyj-yzysbA0058)

第一作者: 马庆禄 (1980-), 男, 博士, 教授, 研究方向为智能交通系统与安全。E-mail: mql360@qq.com

通讯作者: 张琳 (1995-), 女, 硕士生, 研究方向为智能交通系统与安全。E-mail: 1023496958@qq.com

利用现有 VISSIM 软件直接进行仿真，已不能很好地满足研究者的实验需要，因此研究者为实现更完美的实验研究需求对现有软件进行二次开发。Dutta Manish 等<sup>[2]</sup>利用 VISSIM 二次开发进行混合交通流下无信号交叉口控制的仿真研究；方丽琴等<sup>[3]</sup>利用 C# 语言，基于 VISSIM 软件的二次开发，设计出针对交通组织优化的仿真平台；林培群等<sup>[4]</sup>利用 VISSIM-COM 搭建在线仿真，定量评估各种应急处置方案的实施效果，辅助决策出最优的方案；尹俊淞<sup>[5-6]</sup>等利用 VISSIM 的 COM 接口进行二次开发，主要用于模型的求解；Ji Yanjie 等<sup>[7]</sup>利用 VISSIM 二次开发基于交通优先信号方案的交通排放仿真模型，对交通排放进行评价；李洁玮等<sup>[8]</sup>以 VISSIM 软件为基础，开发出针对珠港澳大桥的三维动态仿真平台；章瑀<sup>[9]</sup>实现了可视化界面与 VISSIM 平台之间数据的传输，便于实现仿真控制，使仿真运行评价图表可视化。除此之外，许多学者也利用其他软件进行二次开发来完成实验仿真研究。刘权等<sup>[10]</sup>利用 VC++6.0 的 MFC 实现更加直观的宏观模型交通模拟的显示；Ioulia Markou 等<sup>[11]</sup>利用 TransModeler 交通仿真软件实现了 SPSA (simultaneous perturbation stochastic approximation) 算法对车辆跟随模型的动态标定；张东明等<sup>[12]</sup>通过微观交通仿真软件 PARAMICS 对信号交叉口可变进口道控制方法进行仿真评价分析。

综上，研究者只是针对单交通状态下算法控制仿真的软件二次开发，并未针对多交通状态条件下的连续仿真进行研究，目前交通多状态仿真仍以单状态仿真进行多次来实现的。虽然有学者利用其他软件的二次开发来进行实验研究，但 VISSIM 软件在微观交通流仿真方面应用更为广泛，普适性更高，因此，从交通仿真的连续性需求出发，基于 VISSIM-COM 对象和数据库，利用 C# 语言，对 VISSIM 软件进行二次开发，将交通多状态作为一个持续过程，设计出连续仿真平台，以满足连续性、实时性、仿真期间参数可变的交通仿真要求。同时，利用二次开发仿真平台和原有仿真平台进行真实交通环境下的仿真对比，分析验证了二次开发仿真平台在交通多状态演化下的连续性。

## 1 VISSIM-COM 连续仿真平台设计

### 1.1 VISSIM-COM 概述

VISSIM 是一款可建模交通运行状态的交通仿真分析软件，也可作为一种服务器或工具箱联合其他应用程序进行交通组织规划的仿真计算，其底层包含有严格的数学逻辑和交通专业基础，其核心由交通仿真器和信号状态产生器两部分组成，以便于得到更精确的仿真结果<sup>[13]</sup>。VISSIM 交通仿真中的具体数据可通过 COM 接口获得，两者之间的关系如图 1 所示。

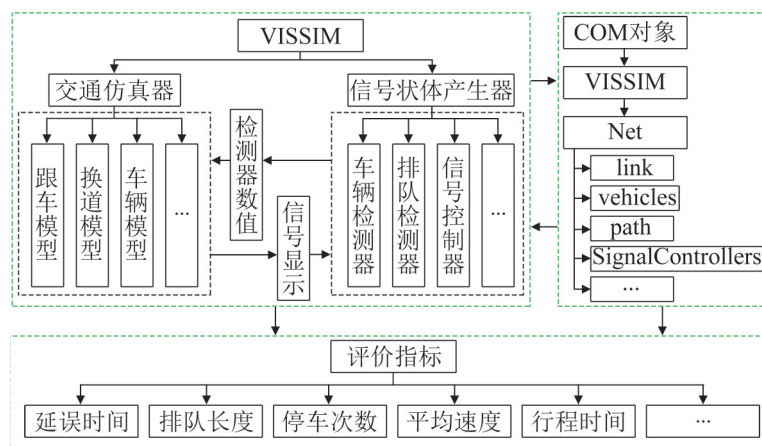


图1 VISSIM 核心与 COM 对象调用关系图

Fig. 1 VISSIM core and COM object invocation diagram

VISSIM-COM对象模型层级分明<sup>[14]</sup>, 不同等级对象的调用, 必须要依照其划分的具体等级依次进行调用。通过VISSIM提供的COM接口对交通仿真中的具体参数进行提取或修改, 与二次开发用户界面相结合, 可更加方便快捷地实现交通仿真具体需求。

## 1.2 仿真平台搭建

交通连续仿真平台是为了解决不同仿真方案之间的间断切换问题所搭建的平台, 其不同于传统的单次仿真切换, 交通连续仿真平台的仿真切换是连续的, 可以展现出方案切换之间的交通状态变化。交通连续仿真平台的设计主要包含固定仿真方案、自定义仿真方案和实施仿真方案3个模块。其中固定仿真方案用于实现“平时-拥堵-消散”仿真间的无缝转换, 展现出连续仿真各方案衔接通畅性, 检验方案转化过程中具体的改变点对交通的直观影响; 自定义仿真方案可随时调整VISSIM仿真运行期间的交通参数, 以便于尝试出合适的交通参数用于优化交通组织管理方案; 实时仿真方案是利用网络持续不断地以固定格式传输射频识别(radio frequency

identification, RFID)检测数据、视频监控数据、感应线圈检测数据, 通过数据库可被VISSIM的COM接口调用, 这些数据检测精度高、检测持续时间长、数据调取速度快的特点, 可及时准确地反应路段上的交通状态, 有助于交通组织管理方案的及时调整, 并提高交通状态信息的反馈效率。

由图2可知, 二次开发仿真平台位于界面右侧, 左侧为VISSIM原本的工作界面。由此仿真平台可直接进行不同仿真方案间的无缝切换, 使得仿真连续, 同时将仿真参数实时展示。

交通连续仿真平台不同于软件基础仿真平台, 交通连续仿真平台不是将平时仿真、拥堵仿真、消散仿真作为单独的事件进行单次仿真, 而是将平时仿真、拥堵仿真、消散仿真作为一个连续的事件进行“平时-拥堵-消散”连续仿真, 仿真过程中可直观地看到“平时-拥堵”、“拥堵-消散”的交通状态演化过程, 即交通连续仿真平台注重事件状态变化仿真的连续性。如举办大型活动时, 交通连续仿真平台可以仿真出交通由拥堵到消散的状态演化情况, 而不是只能用软件基础仿真平台仿真出交通拥堵时和交通消散后的2种状态。



图2 交通连续仿真平台运行图

Fig. 2 Operation of traffic continuous simulation platform

## 2 连续仿真下的交通波模型

设流量  $Q_i$  为单位时间通过路段截面的车辆数；密度  $\rho_i$  为道路单位长度内的车辆数；速度  $v_i$  为单位时间通过路段截面的车流速度； $i$  为不同的交通阶段， $i=0,1,\dots,n$ 。单位时间内通过的车辆数等于单位长度内车辆数与车流速度的乘积<sup>[15]</sup>，即

$$Q_i = v_i \rho_i \quad (1)$$

车辆运行过程中，车辆的加减速过程会像水波一样像后车传递，“水波”的波峰两侧车辆密度不同、车速不同，由此产生集结波和消散波。在连续仿真系统中，“平时-拥堵”仿真阶段会产生一个集结波，“拥堵-消散”仿真阶段会产生一个消散波，连续仿真系统可以直观地展现集结波和消散波的演化状态。设波阵面为  $S_i$ ，平时阶段车速为  $v_0$ ，密度为  $\rho_0$ ，交通流量为  $Q_0$ ；集结波波速为  $u_0$ ；拥堵阶段密度为  $\rho_1$ ，相应的交通流量为  $Q_1$ ，车速为  $v_1$ ；消散波波速为  $u_1$ ；消散阶段密度为  $\rho_2$ ，交通流量为  $Q_2$ ，车速为  $v_2$ 。连续仿真系统各阶段参数示意图如图3所示。

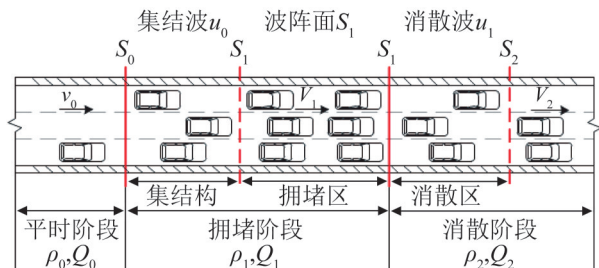


图3 连续仿真各阶段参数示意图

Fig. 3 Parameters of each stage of continuous simulation

根据质量守恒定律，时间  $t$  内波阵面  $S_i$  上游到来交通流量等于下游离去交通流量<sup>[16]</sup>，即

$$\rho_i t(v_i - u_i) = \rho_{i+1} t(v_{i+1} - u_i) \quad (2)$$

式中： $\rho_i$ 、 $\rho_{i+1}$  分别为不同交通阶段下的车流密度； $v_i$ 、 $v_{i+1}$  分别为不同交通阶段下的车流速度。

因此波速可表示为

$$u_i = \frac{\rho_i v_i - \rho_{i+1} v_{i+1}}{\rho_i - \rho_{i+1}} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{\rho_i - \rho_{i+1}} \quad (3)$$

式中： $Q_i$ 、 $Q_{i+1}$  分别为不同交通阶段下的交通流量。

车流密度与速度之间的数学关系，在不同密度条件下可用 Greenshields、Greenberg 和 Underwood 速度密度模型<sup>[17]</sup>：

$$\begin{cases} v_i = v_{\max} (1 - \rho_i / \rho_{\max}), & \rho_i \approx \rho_{\max} \\ v_i = v_{\max} \ln(\rho_i / \rho_{\max}), & \rho_i \gg \rho_{\max} \\ v_i = v_{\max} e^{-\frac{\rho_i}{\rho_{\max}}}, & \rho_i \ll \rho_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中： $v_{\max}$  为车辆自由车速； $\rho_{\max}$  为交通流阻塞密度。

在式(4)中引入交通流标准化密度  $\lambda_i$ ，将  $\lambda_i = \rho_i / \rho_{\max}$  带入式(4)可得

$$\begin{cases} v_i = v_{\max} (1 - \lambda_i), & \rho_i \approx \rho_{\max} \\ v_i = v_{\max} \ln(1/\lambda_i), & \rho_i \gg \rho_{\max} \\ v_i = v_{\max} e^{-\lambda_i}, & \rho_i \ll \rho_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

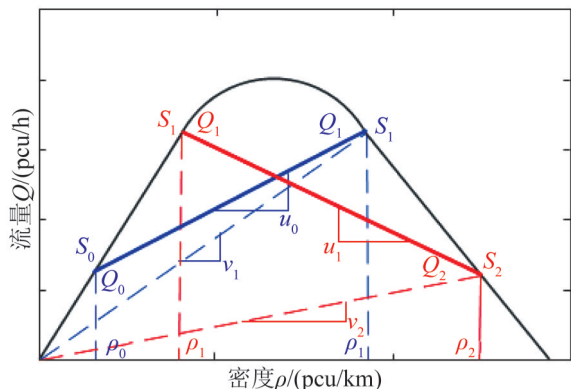
将式(5)带入式(3)可得

$$\begin{cases} u_i = \frac{\rho_i v_{\max} (1 - \lambda_i) - \rho_{i+1} v_{\max} (1 - \lambda_{i+1})}{\rho_i - \rho_{i+1}} = \\ v_{\max} [1 - (\lambda_i + \lambda_{i+1})], \rho_i \approx \rho_{\max}, \rho_{i+1} \approx \rho_{\max} \\ u_i = \frac{\rho_i v_{\max} \ln\left(\frac{1}{\lambda_i}\right) - \rho_{i+1} v_{\max} \ln\left(\frac{1}{\lambda_{i+1}}\right)}{\rho_i - \rho_{i+1}} = \\ v_{\max} \lambda_i \ln \frac{\lambda_{i+1}^{\lambda_i / \rho_i}}{\lambda_i}, \rho_i \gg \rho_{\max}, \rho_{i+1} \gg \rho_{\max} \\ u_i = \frac{\rho_i v_{\max} e^{-\lambda_i} - \rho_{i+1} v_{\max} e^{-\lambda_{i+1}}}{\rho_i - \rho_{i+1}} = \\ v_{\max} \frac{\lambda_i e^{-\lambda_i} + \lambda_{i+1} e^{-\lambda_{i+1}}}{\lambda_i - \lambda_{i+1}}, \rho_i \ll \rho_{\max}, \rho_{i+1} \ll \rho_{\max} \end{cases} \quad (6)$$

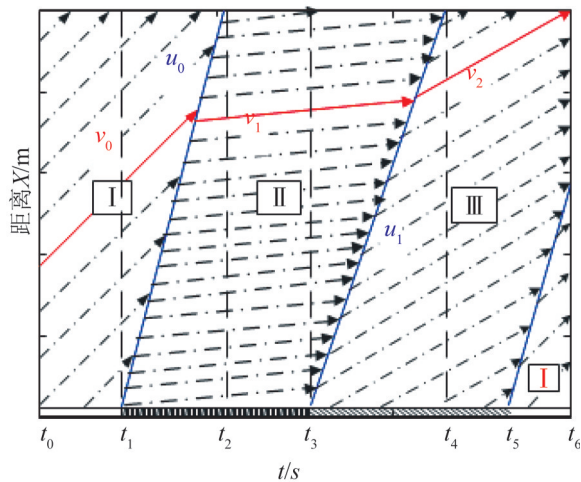
两种不同的交通流状态相遇产生的交通波根据密度变化的不同，可分为集结波和消散波：若  $\rho_i < \rho_{i+1}$ ，交通波为集结波；若  $\rho_i > \rho_{i+1}$ ，交通波为消散波。在连续仿真系统中，交通波状态变化如图4所示。

如图4(a)所示，在连续仿真系统中，蓝色线条表示“平时-拥堵”连续仿真， $\rho_0 < \rho_1$ ， $Q_0 < Q_1$ ， $u_0 > 0$ ，表明道路上车辆密度和流量增加，交通波的运动方向与交通流的运动方向相同，交通流进入到高流量、高密度、低速度区；红色线条表示“拥堵-消散”连续仿真，此时  $\rho_1 > \rho_2$ ， $Q_1 > Q_2$ ， $u_1 > 0$ ，道路上车辆密度和流量减少，交通流进入到低流

量、低密度、高速度区。如图4(b)所示, 分析连续仿真系统运行过程, 图中点划线对应于车辆的时空运行轨迹; 蓝色实线将不同车流密度分为3种状态, 即I、II、III; 每种状态中对应的车流速度, 即 $v_0$ 、 $v_1$ 和 $v_2$ 。图4(b)中图形下部, 黑色垂直线的阴影部分, 即 $t_3 \sim t_1$ 部分, 表示拥堵仿真时间; 斜线阴影部分, 即 $t_5 \sim t_3$ 部分, 表示消散仿真时间; 空白部分表示平时仿真时间;  $t_2 \sim t_1$ 和 $t_4 \sim t_3$ 部分表示“平时-拥堵”仿真和“拥堵-消散”仿真方案转变过渡所消耗的时间。



(a) 流量-密度关系图



(b) 波型时距图

图4 连续仿真交通波状态图

Fig. 4 State diagram of continuous simulation traffic wave

### 3 实例分析及验证

#### 3.1 仿真平台搭建

在2020-09-26T09:00—18:00对重庆市渝中区

钢花路与柏华街交叉口进行调查, 调查地点实景图如图5所示。

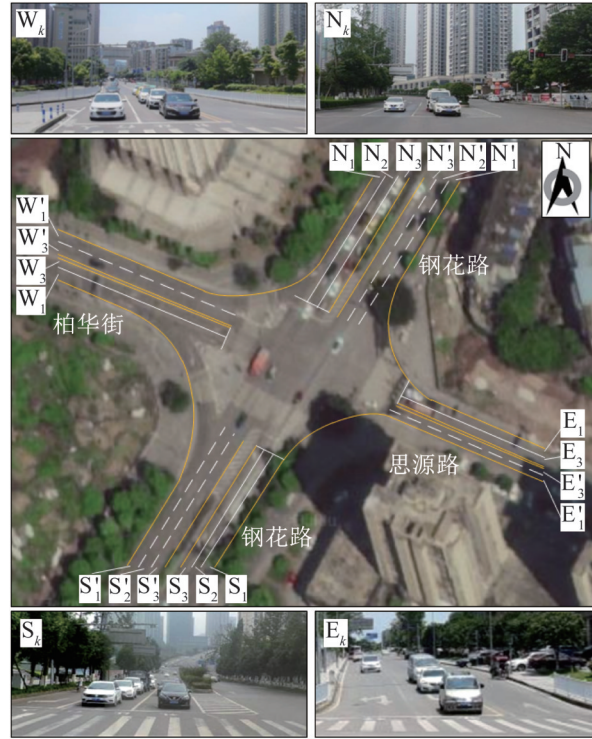


图5 钢花路与柏华街交叉口

Fig. 5 Intersection of Ganghua Road and Baihua Road

此次实地调查也对交叉口道路基本状况进行了调查, 得到结果如表1所示, 表中 $N_k$ 代表钢花路北进口;  $S_k$ 代表钢花路南进口;  $W_k$ 代表柏华街西进口;  $E_k$ 代表思源路东进口, 其中 $k=1, 2, 3$ 分别代表外侧车道、中间车道和内侧车道;  $N_L$ 代表单向车道数;  $F_A$ 代表实际流量;  $F_B$ 代表通行能力;  $v/C$ 代表饱和度。

表1 钢花路与柏华街交叉口道路基本状况

Table 1 Basic condition of intersection

道路名称	道路类别	$N_L$	$F_A$ (pcu/h)	$F_B$ (pcu/h)	$v/C$
$N_k$	主干路	3	3 744	4 880	0.77
$S_k$	主干路	3	3 809	4 880	0.78
$W_k$	次干路	2	895	2 689	0.33
$E_k$	次干路	2	964	2 796	0.35

在调查得到的交通流量数据中, 除12:45—13:45的高峰小时流量外, 找到10:00—11:00和15:30—16:30的平峰小时流量。考虑到要确保仿真

结果能够直观清晰地展示交通状态的演化过程，同时考虑避免道路的空间几何形态和交通信号控制等因素对仿真所带来的意外影响，因此将交通流量作为唯一变量，利用固定仿真方案进行仿真。固定仿真方案中平时仿真、拥堵仿真和消散仿真分别对应10:00—11:00、12:45—13:45和15:30—16:30的小时交通流量，即将10:00—11:00的平峰小时交通流量作为平时仿真交通量，将12:45—13:45的高峰小时流量作为拥堵仿真交通量，将15:30—16:30平峰小时交通流量作为消散仿真交通量。由此可得平时仿真、拥堵仿真、消散仿真的交通流量如表2所示。

表2 三种仿真交通流量  
Table 2 Three simulated traffic volumes (pcu/h)

进口道车辆转向	平时仿真	拥堵仿真	消散仿真
$N_3 \rightarrow E'_3$	143	546	235
$N_2 \rightarrow S'_2$	730	2 076	1 016
$N_1 \rightarrow W'_1$	175	654	307
$S_3 \rightarrow W'_3$	308	600	325
$S_2 \rightarrow N'_2$	919	2 386	140
$S_1 \rightarrow E'_1$	19	101	52
$W_3 \rightarrow N'_3$	78	206	152
$W_1 \rightarrow E'_1$	53	321	93
$W_1 \rightarrow S'_1$	258	914	389
$E_3 \rightarrow S'_3$	78	244	173
$E_1 \rightarrow W'_1$	33	125	91
$E_1 \rightarrow N'_1$	81	281	135

### 3.2 不同控制方式仿真结果分析

利用固定仿真方案进行单次仿真与连续仿真对比研究。单次仿真是将平时仿真、拥堵仿真和消散仿真分别运行；连续仿真是基于VISSIM-COM技术，以平时仿真交通量为初始输入量进行第1步仿真，运行平稳后随即以拥堵仿真交通量为输入量进行第2步仿真，再次平稳后以消散仿真交通量为输入量进行第3步仿真，从而实现交通状态的渐变过程。经过多次实验，将仿真步长设置为10 s，单次仿真时长单个交通状态设置为1 000 s，平时仿真、拥堵仿真和消散仿真总时长3 000 s，“平时-拥堵-消散”连续仿真总时长设置

为3 000 s，此时仿真结果既能更加清晰地展现“平时-拥堵”和“拥堵-平时”连续性的交通状态演化过程，又能展示平时、拥堵、消散仿真平稳运行时的交通状态。考虑到需要将不同的控制方案呈现出清晰的对比效果，选用仿真评价参数一定要具有连续性的特点，因此单次仿真与连续仿真2种仿真评价的数据参数都选用车辆速度和路段车辆密度。

单次仿真和“平时-拥堵-消散”连续仿真完成后，将2种仿真结果进行对比，得到不同车道的车辆运行速度与密度图，如图6所示。

由图6(a)、图6(c)可知，在1 000 s和2 000 s这2个时间节点处，车辆速度与密度变化较为突兀，平时仿真、拥堵仿真、消散仿真之间前一阶段的交通状态对后一阶段的交通状态变化没有任何的影响，这显然与实际情况不符；由图6(b)、图6(d)可知，在1 000 s、2 000 s这2个时间节点处，车辆速度与密度变化相比单次仿真更为平缓，“平时-拥堵-消散”连续仿真之间的变化过程得到了体现，尤其是钢花路，可以明显看出在2 000 s之后，拥堵仿真向消散仿真变化期间，交通状态有一个明显的过渡过程，区别于单次仿真交通状态立马回归到消散仿真的状态。同时，由图6可知，钢花路相比柏华街和思源路在不同仿真控制方案下路段车辆速度和密度对比更为明显，其原因是钢花路的饱和度相对较高，超过了0.7，因此钢花路路段车辆速度和密度对外界干扰产生的变化更为敏感。

由图7(a)可知，在仿真时间1 000 s处，单次仿真速度有一个明显的下降曲线，曲线为凹曲线，曲线的斜率随时间的增大而增大，连续仿真速度变化则相对比较均匀；在仿真时间2 000 s处，单次仿真速度直接产生断层，而连续仿真的速度则有一个相对均匀的加速过程。由图7(b)可知，在仿真时间1 000 s处，单次仿真密度与连续仿真密度都有一个明显的上升趋势，但单次仿真密度的变化曲线是呈凹曲线，曲线的切线斜率随时间的增大而逐渐增大，即密度随时间的变化率逐渐增大，连续仿真密



度的变化呈凸曲线, 曲线的切线斜率随时间的增大而逐渐减小, 即密度随时间的变化率逐渐降低; 在仿真时间 2 000 s 处, 单次仿真密度直接下降到消散状态, 未能显示出车辆消散的过程, 但连续仿真密度就展现出了车流密度由拥堵到消散的过程, 其密度逐渐降低, 趋势变化呈凸曲线, 曲线的切线斜率随时间的增大而逐渐减小。

由图 8 可知, 针对整个路网而言, 在“平时-拥堵-消散”连续仿真中, 1 000 s 后产生的交通

波, 以 -16.3 km/h 的波速经过 244 s 集结时间, 使交通仿真在 1 244 s 后以拥堵仿真的交通状态平稳运行; 在 2 000 s 后产生的交通波, 以 -7.47 km/h 的波速经过 547 s 的消散时间, 使交通仿真在 2 547 s 后以消散仿真的交通状态平稳运行。但单次仿真没有交通波的产生, 交通仿真在 1 000 s 之后直接以拥堵仿真的交通状态运行, 在 2 000 s 之后直接以消散仿真的交通状态运行。

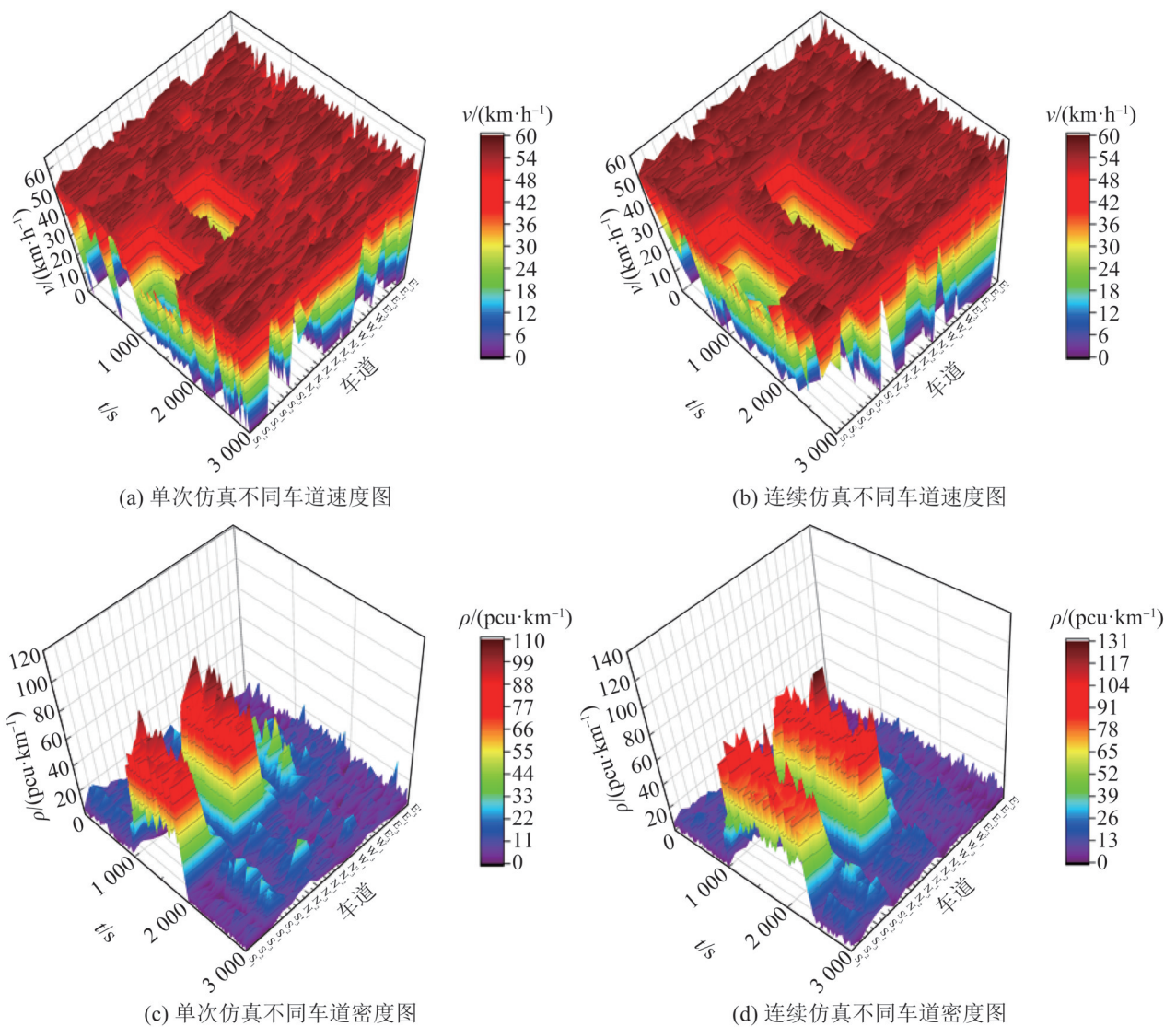


图 6 不同控制方式下的速度和密度图

Fig. 6 Speed and density under different control modes

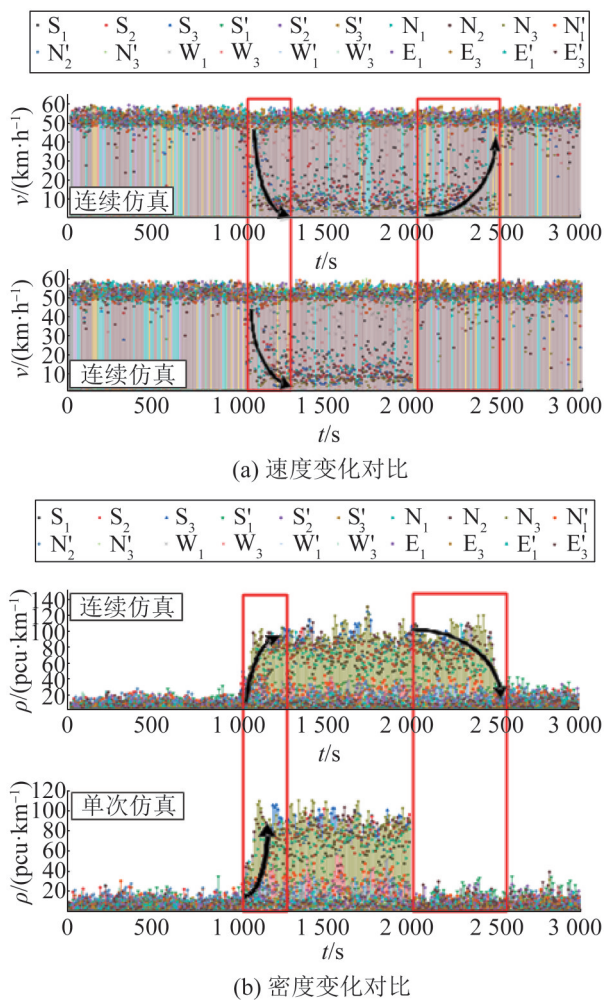


图7 不同控制方式下的速度和密度对比图  
Fig. 7 Comparison of velocity and density under different control modes

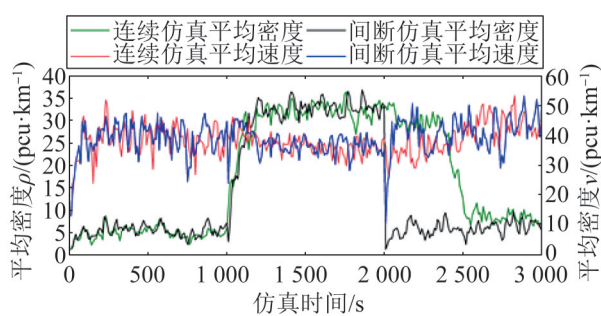


图8 不同控制方式下路网的平均速度和平均密度  
Fig. 8 Average speed and average density of road network under different control modes

“平时-拥堵-消散”多交通状态下，单次仿真和连续仿真的路网仿真评价结果与实际调查结果进行对比，对比结果如表3所示。

表3 评价结果对比表

Table 3 Comparison table of evaluation results

评价指标	平均延误/s	总延误/h	停车次数 (次)	平均速度/ (km/h)
单次仿真	6.187	10.068	929	43.263
连续仿真	14.438	15.825	1 619	29.931
实际调查	13.120	16.573	1 927	30.578

由表3可得，单次仿真相较于连续仿真的平均延误、总延误与停车次数对应数值都偏小，平均速度偏大，单次仿真比连续仿真车辆运行更加顺畅，速度更高、延误更小。这是因为使用连续仿真平台进行的仿真存在“平时-拥堵”和“拥堵-消散”的交通状态演化过程，而单次仿真不具备。同时，连续仿真与实际调查的平均延误、总延误、停车次数和平均速度在数据上更为接近，其差值分别为1.318 s、0.748 h、308次和0.647 km/h，相较于单次仿真与实际调查的平均延误、总延误、停车次数和平均速度数值上的差距6.933 s、6.505 h、998次和12.685 km/h，连续仿真的结果更接近实际调查的交通状态。

## 4 结论

以重庆市大渡口区钢花路与柏华街交叉口作为实际案例，对基于VISSIM-COM二次开发的交通多状态演化连续性进行了验证，解决了不同交通仿真实验之间相互切换变化过程不连续问题，并得到以下结论：

(1) 此仿真平台对于不同交通仿真方案之间的切换衔接具有连续性，且不同交通状态的演化需要一定的持续时间。

(2) 仿真结果表明单次仿真的延误程度小于连续仿真的延误程度，“平时-拥堵-疏散”连续仿真解决了单次仿真切断车流连续性所导致的交通状态仿真结果失真的问题。

(3) 连续仿真平台与数据库相连，实现了交通实时仿真，可依据数据库中采集到的交通数据对现实交通数据合理利用，实现交通状态的即时性

仿真, 使得管理部门对交通状态有直观的了解, 以便做出合适的交通管理措施。

### 参考文献:

- [1] Guo Yanyong, Sayed Tarek, Zheng Lai, et al. An Extreme Value Theory Based Approach for Calibration of Microsimulation Models for Safety Analysis[J]. *Simulation Modelling Practice and Theory(S1569-190X)*, 2021, 106(1): 102172.
- [2] Dutta Manish, Ahmed Mokaddes Ali. Calibration of VISSIM Models at Three-Legged Unsignalized Intersections under Mixed Traffic Conditions[J]. *Advances in Transportation Studies(S1824-5463)*, 2019, 7(48): 31-46.
- [3] 方丽琴, 段满珍, 李铮, 等. 城市交叉口交通信号控制仿真模块设计[J]. *华北理工大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(4): 70-76.  
Fang Liqin, Duan Manzhen, Li Zheng, et al. Design of Simulation Module for Traffic Signal Control at Urban Intersections [J]. *Journal of North China University of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 2018, 40(4): 70-76.
- [4] 林培群, 刘佳辉, 姚凯斌. 道路交通事故应急处置的微观在线仿真方法[J]. *系统仿真学报*, 2016, 28(5): 1158-1164.  
Lin Peiqun, Liu Jiahui, Yao Kaibin. Microscopic Online Simulation Method of Road Traffic Accident Emergency Disposal[J]. *Journal of System Simulation*, 2016, 28(5): 1158-1164.
- [5] 尹俊淞. 基于道路速度-排队长度的VISSIM参数标定建模与算法[J]. *交通运输工程与信息学报*, 2019, 17(3): 144-151.  
Yin Junsong. VISSIM Parameter Calibration Modeling and Algorithm Based on Road Speed-Queue Length[J]. *Journal of Transportation Engineering and Information*, 2019, 17(3): 144-151.
- [6] Wang Yu, Zhang Qi, Huang Xiao. Research on Traffic Signal Self-Organizing Control Based on VANET Acquisition Information[J]. *Materials Science and Engineering(S0921-5093)*, 2018, 392(6): 62159.
- [7] Ji Yanjie, Hu Bo, Han Jing. An Improved Algebraic Method for Transit Signal Priority Scheme and Its Impact on Traffic Emission[J]. *Mathematical Problems in Engineering (S1024-123X)*, 2014(5): 1-11.
- [8] 李洁玮, 武珂曼, 周荣贵, 等. 港珠澳大桥三维动态交通仿真平台设计与实现[J]. *公路交通科技(应用技术版)*, 2016, 12(7): 201-204.  
Li Jiewei, Wu Keman, Zhou Ronggui, et al. Design and Implementation of Three-Dimensional Dynamic Traffic Simulation Platform of HongKong-Zhuhai-Macao Bridge [J]. *Highway Traffic Technology (Applied Technology Version)*, 2016, 12(7): 201-204.
- [9] 章瑀. VISSIM-COM技术在有轨电车优先控制中的应用[J]. *铁道运营技术*, 2019, 25(2): 49-52.  
Zhang Yu. Application of VISSIM-COM Technology in Priority Control of Tram[J]. *Railway Operation Technology*, 2019, 25(2): 49-52.
- [10] 刘权, 宋万忠. 连续交通流可视化仿真[J]. *计算机工程与应用*, 2014, 50(3): 42-45.  
Liu Quan, Song Wanzhong. Visualization Simulation of Continuous Traffic Flow[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, 50(3): 42-45.
- [11] Ioulia Markou, Vasileia Papathanasopoulou, Constantinos Antoniou. Dynamic Car-Following Model Calibration Using SPSA and ISRES Algorithms[J]. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering(S0303-7800)*, 2019, 47(2): 146-156.
- [12] 张东明, 成卫, 潘云伟, 等. 基于PARAMICS的信号交叉口可变进口道诱导方法研究[J]. *科学技术与工程*, 2011, 11(8): 1868-1871.  
Zhang Dongming, Cheng Wei, Pan Yunwei, et al. Research on Induction Method of Variable Inlet Road at Signalized Intersections Based on Paramics[J]. *Science Technology and Engineering*, 2011, 11(8): 1868-1871.
- [13] Ma Changxi, Hao Wei, Wang Aobo, et al. Developing a Coordinated Signal Control System for Urban Ring Road Under the Vehicle-Infrastructure Connected Environment [J]. *IEEE Access(S2169-3536)*, 2018, 6: 52471-52478.
- [14] Giovanni Pau, Tiziana Campisi, Antonino Canale, et al. Smart Pedestrian Crossing Management at Traffic Light Junctions Through a Fuzzy-Based Approach[J]. *Future Internet(S1999-5903)*, 2018, 10(2): 15-34.
- [15] 邵江, 胡晓晓, 白宝钢, 等. 波阵面视角下的车辆拥堵分析[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2016, 43(4): 481-491.  
Shao Jiang, Hu Xiaoxiao, Bai Baogang, et al. Analysis of Vehicle Congestion from the Perspective of Wavefront [J]. *Journal of Zhejiang University(Science Edition)*, 2016, 43(4): 481-491.
- [16] Qu Dayi, Wan Mengfei, Wang Zilin, et al. Green Wave Coordinate Control Method for Arterial Traffic Based on Traffic Wave Theory[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development(S1002-0268)*, 2017, 11(4): 65-73.
- [17] Syed Omar, Ch Mallikarjuna. Analysis of the Macroscopic Relations for No-Lane Based Heterogeneous Traffic Stream[J]. *Procedia Engineering (S1877-7058)*, 2016, 142: 244-251.