

6-28-2024

## Application of Driving Simulation Technology in Calibration of Traffic Simulation Parameters

Shikun Liu

*School of Intelligent Systems Engineering, Shenzhen Campus of Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China; Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Shenzhen 518107, China, shikunliucsu@163.com*

Yi Tang

*Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd, Shenzhen 518057, China*

Yonghong Liu

*School of Intelligent Systems Engineering, Shenzhen Campus of Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China; Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Shenzhen 518107, China, liuyh3@mail.sysu.edu.cn*

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. For more information, please contact [xtfzxb@126.com](mailto:xtfzxb@126.com).

---

# Application of Driving Simulation Technology in Calibration of Traffic Simulation Parameters

## Abstract

**Abstract:** To address the insufficient accuracy in traffic simulation modeling due to the lack of in-depth consideration of complex driving behaviors, a calibration method for traffic simulation parameters based on driving simulation technology is proposed. The reconstruction and expansion project of Shenzhen Bao'an International Airport Expressway is selected as the case. Using VISSIM simulation software, a comprehensive traffic simulation model of the entire route is constructed, and UC-winRoad software is employed to create the highly realistic driving simulation scenarios. Driving simulation experiments are conducted to extract the typical driving behavior characteristics in complex scenarios. Calibration functions for simulation parameters are established by using the car-following behavior indicators such as headway and driving speed. To address the efficiency of the calibration algorithm, an improved genetic particle swarm optimization algorithm is employed to optimize the calibration parameters of Wiedemann99 car-following model to enhance the analytical precision and application effectiveness of the microscopic traffic simulation model. The results show that, compared to the orthogonal experiments and iterative optimization based on traffic perception data, the proposed calibration method based on driving simulation technology reduces the error in parameter calibration values by 47.2% and 9.1%, respectively, and aligns more closely with the localized driving behaviors, which significantly enhances the credibility of the traffic simulation model. Compared to the conventional genetic algorithms and particle swarm algorithms, the proposed genetic particle swarm algorithm can not only obtain the global optimum but also converge faster by 17 rounds, which can meet the effectiveness and efficiency requirements for the algorithm.

## Keywords

traffic simulation, driving simulation, parameter calibration, genetic & particle swarm, car following behavior

## Recommended Citation

Liu Shikun, Tang Yi, Liu Yonghong. Application of Driving Simulation Technology in Calibration of Traffic Simulation Parameters[J]. Journal of System Simulation, 2024, 36(6): 1359-1368.

## 驾驶模拟技术在交通仿真参数标定中的应用研究

刘诗昆<sup>1,2</sup>, 唐易<sup>3</sup>, 刘永红<sup>1,2\*</sup>(1. 中山大学 智能工程学院, 广东 深圳 518107; 2. 广东省智能交通系统重点实验室, 广东 深圳 518107;  
3. 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 为解决交通仿真建模过程因缺乏深层次考虑复杂驾驶行为而导致精度不足的问题, 提出了基于驾驶模拟技术的交通仿真参数标定方法。以深圳市机荷高速改扩建工程作为研究案例, 基于VISSIM构建案例全线交通仿真模型, 应用UC-winRoad道路三维建模软件构建高逼真驾驶模拟场景, 开展驾驶模拟实验提取复杂场景的典型驾驶行为特征, 采用车头间距、行驶速度等跟车行为指标建立仿真参数标定函数, 针对标定算法效能问题, 通过改进的遗传粒子群算法寻优Wiedemann99跟驰模型的标定参数, 以期提升微观交通仿真模型的分析精度与应用效果。结果表明: 相比于正交试验与基于交通感知数据迭代寻优的标定方法, 该标定方法求解参数标定值误差分别降低47.2%和9.1%, 更加符合项目本地化驾驶行为特征, 可显著提升交通仿真模型的可信度; 相比常规遗传算法、粒子群算法, 遗传粒子群算法不仅能找到全局最优解, 而且收敛速度比遗传算法快17轮, 能同时满足算法有效性与高效率的要求。

**关键词:** 交通仿真; 驾驶模拟; 参数标定; 遗传粒子群; 跟车行为

中图分类号: TP391;U491 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2024)06-1359-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.23-1549

**引用格式:** 刘诗昆, 唐易, 刘永红. 驾驶模拟技术在交通仿真参数标定中的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2024, 36(6): 1359-1368.

**Reference format:** Liu Shikun, Tang Yi, Liu Yonghong. Application of Driving Simulation Technology in Calibration of Traffic Simulation Parameters[J]. Journal of System Simulation, 2024, 36(6): 1359-1368.

## Application of Driving Simulation Technology in Calibration of Traffic Simulation Parameters

Liu Shikun<sup>1,2</sup>, Tang Yi<sup>3</sup>, Liu Yonghong<sup>1,2\*</sup>(1. School of Intelligent Systems Engineering, Shenzhen Campus of Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, China;  
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System, Shenzhen 518107, China;  
3. Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd, Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** To address the insufficient accuracy in traffic simulation modeling due to the lack of in-depth consideration of complex driving behaviors, a calibration method for traffic simulation parameters based on driving simulation technology is proposed. The reconstruction and expansion project of Shenzhen Bao'an International Airport Expressway is selected as the case. Using VISSIM simulation software, a comprehensive traffic simulation model of the entire route is constructed, and UC-winRoad software is employed to create the highly realistic driving simulation scenarios. Driving simulation experiments are conducted to extract the typical driving behavior characteristics in complex scenarios. Calibration functions for simulation parameters are established by using the car-following behavior indicators such

收稿日期: 2023-12-20 修回日期: 2024-01-03

基金项目: 国家自然科学基金(41975165); 广东省科技计划(2023B1212060029)

第一作者: 刘诗昆(1997-), 女, 博士生, 研究方向为交通仿真、交通安全、低碳交通。E-mail: shikunliucsu@163.com

通讯作者: 刘永红(1977-), 女, 教授, 博士, 研究方向为交通大数据、低碳交通系统。E-mail: liuyh3@mail.sysu.edu.cn

as headway and driving speed. To address the efficiency of the calibration algorithm, an improved genetic particle swarm optimization algorithm is employed to optimize the calibration parameters of Wiedemann99 car-following model to enhance the analytical precision and application effectiveness of the microscopic traffic simulation model. The results show that, compared to the orthogonal experiments and iterative optimization based on traffic perception data, the proposed calibration method based on driving simulation technology reduces the error in parameter calibration values by 47.2% and 9.1%, respectively, and aligns more closely with the localized driving behaviors, which significantly enhances the credibility of the traffic simulation model. Compared to the conventional genetic algorithms and particle swarm algorithms, the proposed genetic particle swarm algorithm can not only obtain the global optimum but also converge faster by 17 rounds, which can meet the effectiveness and efficiency requirements for the algorithm.

**Keywords:** traffic simulation; driving simulation; parameter calibration; genetic & particle swarm; car following behavior

## 0 引言

交通仿真作为交通评估领域的关键技术手段，已经在城市交通规划与管理、重大交通工程基建等方面广泛应用<sup>[1]</sup>。随着项目品质要求的不断提高，越来越多业内同行不再局限于追求仿真在三维逼真可视化方面的展示，更多的关注点回到了如何切实有效提高仿真的实际应用效果，而仿真的应用效果与仿真精度密切相关。仿真精度较低将直接导致仿真评估结果可信度较差，不足以真实还原交通系统的运行状况，无法为项目决策者提供准确的量化支撑。在保证仿真路网建模足够精细真实的前提下，仿真精度主要取决于建模过程的交通流特征与驾驶行为模型参数设置。其中，借助交通大数据感知与挖掘分析、宏观交通需求预测等技术可以精准分析得到交通流特征，包括路段交通流量、交通需求矩阵、交通组成、车辆期望行驶速度及分布等，但难以直接获取跟车、换道等驾驶行为模型参数。因此，如何确定准确的驾驶行为模型参数是提升仿真精度的重要研究方向。

目前，交通仿真商业软件通常都配置驾驶行为模型及相应参数，例如，VISSIM 采用 Wiedemann 跟车模型<sup>[2]</sup>，TransModeler 采用 Modified General

Motors、Gipps、Longitudinal Control 等跟车模型<sup>[3]</sup>，但软件内置默认参数并不完全适用于具备本地化特征的国内交通系统，“拿来主义”不能满足仿真项目的高可信度要求，需要在此基础上进行适当的参数标定，实现高可信本地化仿真。以现状交通感知数据为基础，建立标定目标函数，采用正交试验对比或启发式迭代寻优是目前比较常用的 2 种方法。周晨静等<sup>[4]</sup>提出综合工程实测与启发式寻优相结合的交通仿真模型参数标定方法，并以信息熵作为评价参数标定结果取值的指标，提出基于聚类递归的参数取值方法。马文欣等<sup>[5]</sup>提出了基于实时检测数据的仿真参数动态标定方法，相比于静态参数标定方法，动态标定方法误差明显降低。何兆成等<sup>[6]</sup>以速度—密度模型和点排队模型描述车辆的运动过程，在考虑路口展宽设计的基础上构建了中观交通仿真模型，基于真实 AVI 个体检测数据对仿真模型进行了参数标定。李振龙等<sup>[7]</sup>采用进口道车均延误的偏差作为评价指标，以遗传算法作为求解工具，分别实现了 VISSIM 中主路和辅路驾驶行为参数的标定。杨艳芳等<sup>[8]</sup>针对遗传算法的不足，提出了基于自适应正交遗传算法的交通仿真参数标定方法，迭代效率优于遗传算法。

但上述研究仍存在一定局限：① 实验次数与

算法效能都会对标定结果准确度产生一定影响；  
② 两种方法的标定数据来源与标定目标主要是感知获取的流量、行程时间等宏观交通流层面的评估指标，较难直接评价驾驶行为的还原程度。

驾驶模拟技术是一种通过虚拟现实技术来模拟真实驾驶场景的技术，借助计算机图形、声音系统来创建一个高逼真的驾驶场景，包括模拟真实的车辆控制、真实的路况和交通系统环境等，使驾驶员可以在模拟的环境下进行驾驶体验，并且支持输出驾驶过程中驾驶员各种主观驾驶感受数据与客观车辆行为数据。张彦宁等<sup>[9]</sup>基于驾驶模拟技术研究了激进驾驶行为的影响因素。张静等<sup>[10]</sup>基于驾驶模拟技术研究高速公路平、纵线形指标对驾驶员行车过程中纵向和横向驾驶绩效的影响。张弛等<sup>[11]</sup>通过提取驾驶行为数据，对驾驶模拟技术在道路行车安全领域的研究及应用现状和存在的问题进行了分析。本文借助VISSIM仿真软件，选取深圳市机荷高速改扩建工程进行实例研究，对全线进行仿真建模的同时，开展驾驶模拟实验并提取跟车驾驶行为特征，采用直接反映驾驶行为的车头间距与行驶速度作为指标，研究基于驾驶模拟的仿真参数标定方法，同时，针对算法效能问题提出一种改进的启发式求解算法，以期提升交通仿真分析精度与应用效果。

## 1 基于驾驶模拟技术的交通仿真建模流程

本文采用驾驶模拟与交通仿真结合的建模方法。在获取路网资料、交通需求数据、交通管控方案等基础上，完成交通仿真初步构建；构建驾驶模拟场景，借助驾驶模拟器开展驾驶模拟实验，提取并分析驾驶行为特征；以驾驶模拟实验数据为标定基础数据集，标定交通仿真驾驶行为模型参数；运行仿真，输出仿真评估指标，应用仿真评估结果支撑工程项目。具体仿真建模流程如图1所示。

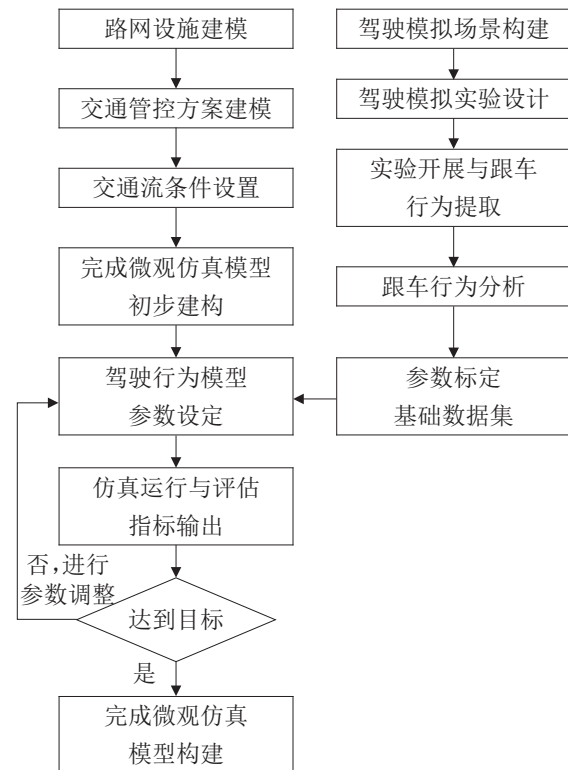


图1 仿真建模流程

Fig. 1 Simulation modeling process

## 2 驾驶模拟实验及结果分析

### 2.1 驾驶模拟场景构建

深圳市机荷高速公路改扩建工程采用地面层+立体层复合的扩容模式：立体层新建双向8车道通道，地面层扩建至双向8车道通道<sup>[12]</sup>。极具创新的设计思路，导致驾驶员的驾驶行为特征与常规平面高速公路差异巨大。选取机荷高速改扩建工程作为研究案例，构建驾驶模拟场景并开展驾驶模拟实验，分析复杂场景的典型驾驶行为特征。

结合机荷高速改扩建工程的平、纵、横设计图，交通标志标线设计图和其他设计资料与数据，利用UC-winRoad道路三维建模软件，等比例搭建机荷高速改扩建工程仿真场景，建立道路路面、交通设施及周边地物的三维模型，完成虚拟视景设计，使驾驶人能够在实验过程中获得真实的驾驶感觉。驾驶模拟场景构建主要包含地形建模、道路建模、道路设施建模等步骤。



### 2.1.1 地形建模

地形建模是根据等高线地形图生成地势，然后对三维地势进行轻量优化后再将所有的地块拼接起来，最后对拼接好的地形再次进行轻量优化及测试。地形建模流程如图2所示。

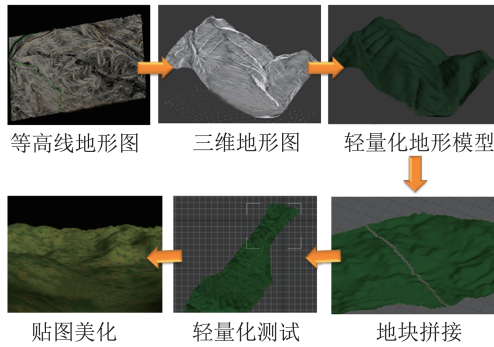


图2 地形建模流程

Fig. 2 Terrain modeling process

### 2.1.2 道路建模

道路建模是构建设计方案的直线、缓和曲线、竖曲线等几何线形要素，以及行车道、路肩、中央分隔带、路缘带、边坡等横断面要素，并统一对道路模型进行轻量优化。

### 2.1.3 道路设施建模

道路设施主要包括各类交通标志标线、护栏、桥梁墩台，收费站等。为符合驾驶模拟器接口和性能优化的需求，所有的道路设施都需要单独建模并对其进行优化，如图3所示。

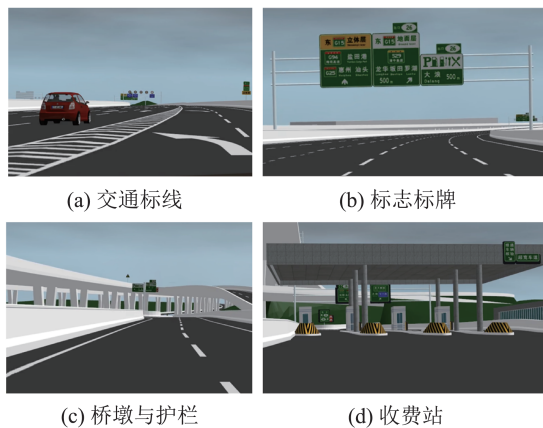


图3 道路设施建模

Fig. 3 Road facility modeling

## 2.2 驾驶模拟实验设计

### 2.2.1 交通条件设置

驾驶模拟器的交通状况根据机荷高速公路改扩建工程可行性研究交通量预测数据确定：东行方向折合全程平均交通量为4 451 pcu/h，西行方向折合全程平均交通量为4 347 pcu/h；车型构成方面，小型车占比83.2%，大型车占比16.8%。

### 2.2.2 实验人员

本次实验共招募75名实验人员，平均年龄32岁，其中，男性驾驶人43名，女性驾驶人32名，51人的驾龄超过5年。

### 2.2.3 实验步骤

(1) 实验准备：开展驾驶模拟基础操作培训，告知实验人员实验任务、行驶路径及相关安全注意事项；

(2) 预实验：驾驶员佩戴眼动仪，在设计的情景中进行实验，熟悉模拟环境、模拟器操作及行驶路径；

(3) 正式实验：驾驶员按照实验任务正式开展实验，实验过程中记录驾驶员行驶数据，实验后驾驶员填写主观感受调查问卷。

## 2.3 跟车行为提取

跟车行为是最常见的驾驶行为，本文主要研究驾驶模拟实验的跟车行为特征。跟车行为应符合驾驶模拟实验车辆与前车保持在同一车道、实验车辆与前车处于稳定跟车状态等原则，实验车辆与前车相对位置如图4所示。

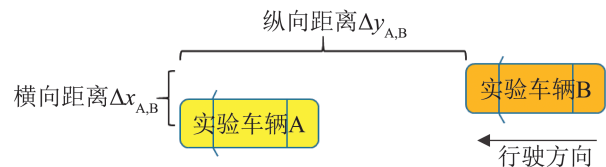


图4 实验车辆与前车相对位置

Fig. 4 Relative position of front and rear vehicles

借助实验设备可以直接检测输出车辆的位置

信息与行驶速度, 通过遍历任意两辆实验车辆数据, 判断并提取车辆稳定跟车状态的车头间距。假设实验车辆A与车辆B的位置信息分别为 $P_A=(x_A, y_A)$ 与 $P_B=(x_B, y_B)$ , 行驶速度分别为 $v_A$ 与 $v_B$ 。跟车行为提取与车头间距 $L_{AB}$ 统计流程如下:

(1) 判断相同车道。计算车辆A与车辆B的横向距离 $\Delta x_{A,B}=|x_A-x_B|$ , 若满足 $\Delta x_{A,B}<3.5$  m, 车辆A与车辆B处于同一车道, 继续当前流程; 否则, 车辆A与车辆B处于不同车道, 跳出当前流程继续遍历下一辆车。

(2) 判断正常跟车距离。计算车辆A与车辆B的纵向距离 $\Delta y_{A,B}=|y_A-y_B|$ , 若满足 $7\text{ m}<\Delta y_{A,B}<150\text{ m}$ , 车辆A与车辆B保持了正常跟车距离; 否则, 车辆A与车辆B各自处于自由流行驶或严重拥堵紧随状态, 跳出当前流程继续遍历下一辆车。

(3) 判断稳定状态。计算车辆A与车辆B的速度差 $\Delta v=|v_A-v_B|$ , 若满足 $\Delta v_{A,B}<10\text{ km/h}$ , 车辆A与车辆B保持稳定的跟车状态; 否则, 当前后车在接近或远离前车, 跟车状态不稳定, 跳出当前流程继续遍历下一辆车。

(4) 统计车头间距。根据车辆A与车辆B的纵向距离计算车头间距 $L_{AB}=|y_A-y_B|$ , 输出结果并判断是否还有其他车辆, 若有, 继续遍历下一辆车; 否则, 结束流程。

为了简化部分处理工作, 本文提取驾驶模拟实验轨迹数据的时间间隔为1 s, 对每次提取状态是否为跟车状态进行判定, 若为跟车状态, 则提取该状态下实验的行驶速度与距离前车的车头间距, 用于分析跟车行为特征。

## 2.4 跟车行为分析

跟车行为特征的分析指标主要包括车头间距、后车行驶速度、加减速度等。本文选取行驶速度与车头间距进行具体分析。

### 2.4.1 行驶速度分析

行驶速度方面, 以5 min为时间粒度, 分别统

计跟车状态与非跟车状态车辆的行驶速度, 并绘制行驶速度分布曲线, 如图5~6所示。车辆在跟车状态与非跟车状态的平均行驶速度分别为76.1 km/h、88.6 km/h, 且均符合正态分布特征。跟车状态下受前车间距、移动速度瓶颈效益的影响, 后车行驶速度会明显低于非跟车状态车辆的行驶速度。

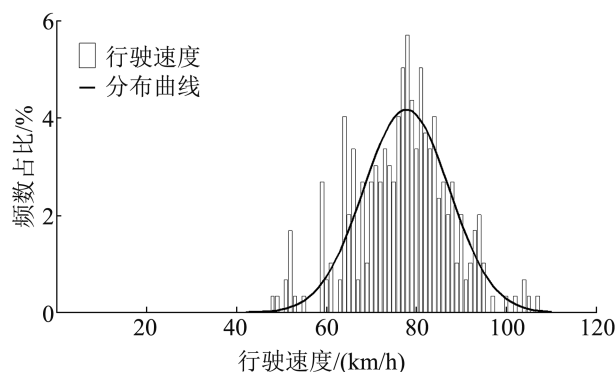


图5 跟车状态车辆行驶速度分布  
Fig. 5 Vehicle speed distribution in following vehicles

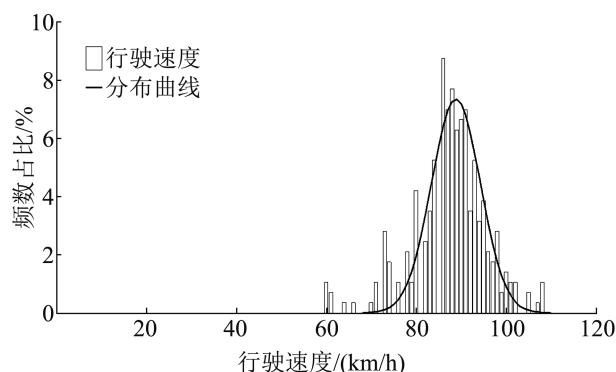


图6 非跟车状态车辆行驶速度分布  
Fig. 6 Vehicle speed distribution of non-following vehicles

### 2.4.2 车头间距分析

分别统计小型车与大型车在跟车状态的车头间距分布, 如图7~8所示。小型车与大型车的平均车头间距分别为28.9 m、36.7 m, 大型车的车头间距相比小型车普遍较高。大型车制动性能、操控性能相比小型车较差, 在驾驶员同样反应时间下大型车的制动距离比小型车大, 因此, 大型车驾驶员普遍会与前车保持更大的车头间距, 以保证行车安全。

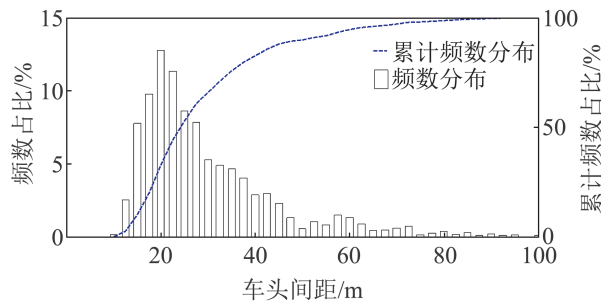


图7 小型车车头间距分布

Fig. 7 Distribution of headway spacing for small vehicle

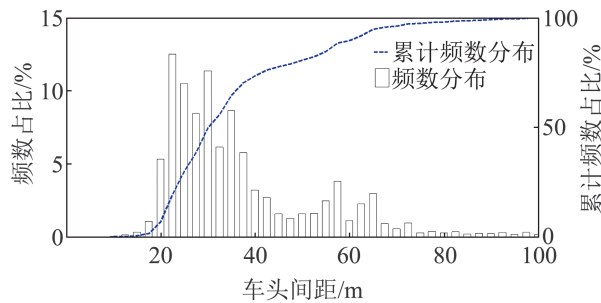


图8 大型车车头间距分布

Fig. 8 Distribution of headway spacing for large vehicle

### 3 仿真参数标定及应用

#### 3.1 跟车模型与标定参数选取

Wiedemann99模型是一种经典的跟车模型，它以车辆的空间间隔和速度等作为输入参数，通过计算车辆的加速度和位置变化，准确地模拟交通流动态。目前，Wiedemann99模型已经广泛纳入到交通仿真软件的内置模型体系。本文借助PTV VISSIM，以驾驶模拟实验数据为基础，通过建立标定函数，寻找仿真结果与驾驶模拟实验结果最接近的参数集合，实现Wiedemann99模型参数标定，从而最大程度提高仿真模型分析精度。

Wiedemann99模型主要涉及了CC0~CC9等10个参数，其中，CC4、CC5互为相反数，结合相关研究基础<sup>[13]</sup>，确定各参数在VISSIM中的默认值及标定有效值范围，如表1所示。

考虑到不是所有的参数对仿真模型运行结果都有明显影响作用，为了节省标定工作与资源，对各个参数进行敏感性分析，分别在各个参数有

效值最小值基础上递增调整10%，并进行4次仿真，输出车头间距指标的相对变化程度用于量化敏感性。各参数的敏感性分析结果如图9所示，选取敏感性较大的CC0、CC1、CC3、CC4、CC7作为标定参数。

表1 Wiedemann99模型参数默认值及有效值范围

Table 1 Wiedemann99 model parameter default values and valid range

序号	参数	名称单位	默认值	范围
1	CC0	平均停车间距/m	1.5	0.5~2.5
2	CC1	期望车头时距/s	0.9	0.5~2.0
3	CC2	跟车随机振荡距离/m	4	2~8
4	CC3	进入跟车状态阈值/s	-8	-10~-2
5	CC4	消极跟车状态的 阈值/(m/s)	-0.35	-1.05~-0.05
6	CC5	积极跟车状态的 阈值/(m/s)	0.35	0.05~1.05
7	CC6	车速振动/(1/m·s <sup>-1</sup> )	11.44	0~20
8	CC7	振动加速度/(m/s <sup>2</sup> )	0.25	0~2
9	CC8	停车加速度/(m/s <sup>2</sup> )	3.5	2.0~3.5
10	CC9	80 km/h时加速度/ (m/s <sup>2</sup> )	1.5	0.5~2.0

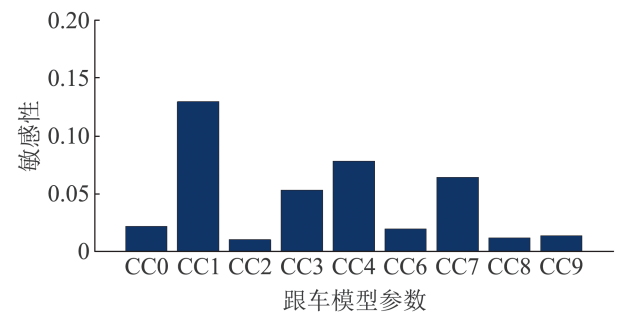


图9 跟车模型参数敏感性分析结果

Fig. 9 Sensitivity analysis results of car following model parameters

#### 3.2 标定函数建立

根据仿真软件默认值或经验值确定Wiedemann99模型参数后，建立标定函数，量化分析驾驶模拟实验指标与仿真模型指标的差异。为了兼顾行驶速度、车头间距2个不同评价指标，本文采用平均百分比误差作为标定函数，并增加相应指标的影响权重。具体函数：



$$\min F = \alpha v_{\text{MPE}} + \beta l_{\text{MPE}} \quad (1)$$

$$v_{\text{MPE}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|v_i^{\text{model}} - v_i^{\text{drive}}| / v_i^{\text{drive}}) \times 100\% \quad (2)$$

$$l_{\text{MPE}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|l_i^{\text{model}} - l_i^{\text{drive}}| / l_i^{\text{drive}}) \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $F$ 为综合考虑行驶速度、车头间距的标定目标, 值越小表明标定结果越理想, 精度越高;  $v_{\text{MPE}}$ 和 $l_{\text{MPE}}$ 分别为行驶速度、车头间距的平均百分比误差;  $v_i^{\text{drive}}$ 和 $v_i^{\text{model}}$ 分别为驾驶模拟实验和仿真模型中第 $i$ 个测量对象的行驶速度;  $l_i^{\text{drive}}$ 和 $l_i^{\text{model}}$ 分别为驾驶模拟实验和仿真模型中第 $i$ 个测量对象的车头间距;  $1 \leq i \leq n$ ,  $n$ 为标定过程中测量对象数量;  $\alpha$ 、 $\beta$ 为权重参数, 分别表示行驶速度与车头间距对标定结果影响的程度。

### 3.3 函数求解算法

标定函数描述了仿真参数动态寻优问题, 其求解目标是 Wiedemann99 模型的参数集合。遗传算法<sup>[14]</sup>、粒子群算法<sup>[15]</sup>都是解决寻优问题常用的启发式算法, 粒子群算法运算简洁、收敛速度快, 但容易陷入局部最优解<sup>[16]</sup>, 遗传算法具有较好的全局寻优能力, 能够保证找到全局最优解, 但是运算复杂、收敛速度慢<sup>[17]</sup>。

为解决上述问题, 提出一种结合“遗传变异”“粒子群体极值迭代”双重特点的改进优化算法—遗传粒子群算法。遗传粒子群算法即保留了遗传算法的优点, 不会陷入局部最优解, 同时继承了传统粒子群算法中高效的信息共享机制, 收敛速度快。遗传粒子群算法中, 每一代粒子群都由若干个粒子组成, 每一个粒子都表示标定函数的可能最优解, 其函数值即为该解代入标定函数的求解结果。Wiedemann99 模型参数标定问题的解空间是一个 5 维空间, 5 维空间分别对应了 Wiedemann99 模型的 CC0、CC1、CC3、CC4、CC7 参数, 假设每一代种群由  $n$  个粒子组成, 其中第  $i$  个粒子表示 5 维的向量  $X_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, x_{i,4}, x_{i,5})^T$ , 可以作为标定问题的一个

可能最优解。

基于遗传粒子群算法的标定函数求解过程具体步骤:

(1) 粒子编码。粒子个体采用 5 个数字编码的方式, 分别代表 Wiedemann99 模型的 CC0、CC1、CC3、CC4、CC7 参数。

(2) 粒子函数值计算。根据粒子编码的结果标定仿真参数并运行得到仿真结果, 计算标定函数值。

(3) 粒子交叉。遗传粒子群算法中主要包含粒子与个体极值的交叉和群体极值的交叉, 交叉点随机选取, 个体极值和群体极值表示从运算开始个体和群体函数值最优的粒子。例如, 选择交叉点为 2, 粒子和极值前后编码序列交叉互换, 如图 10 所示。粒子交叉采用择优保留的机制, 即交叉前后选择更为优秀的粒子作为最后的结果。

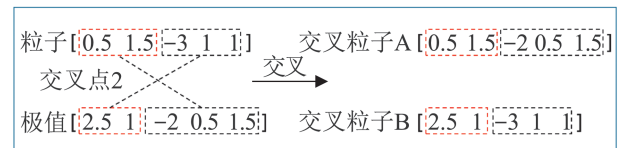


图 10 遗传粒子群算法的粒子交叉

Fig. 10 Particle crossing of genetic & particle swarm

(4) 粒子变异。粒子变异是一种概率变异, 通过设定变异概率决定每一个粒子是否会发生变异, 并随机选取变异点, 变异幅度取变异点对应参数有效范围大小的 10%, 即 CC0、CC1、CC3、CC4、CC7 参数变异幅度分别为 0.2、0.15、0.8、0.1、0.2。例如, 选取变异点位 2, 2 个粒子的参数值分别加减 0.15, 如图 11 所示。

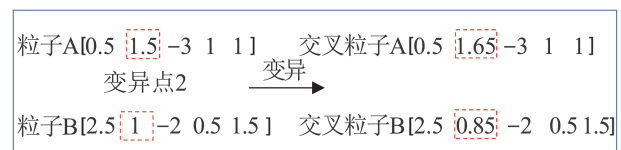


图 11 遗传粒子群算法的粒子变异

Fig. 11 Particle mutation of genetic & particle swarm

(5) 更新粒子极值。通过更新个体极值与群体

极值，保证每一代粒子群都会优于历史粒子群。当迭代完成后，最后一代粒子群体中的群体极值即为最终寻优结果。

### 3.4 参数标定结果

提取55位驾驶员在驾驶模拟实验中的跟车行为作为标定数据集。设定标定函数权重 $\alpha=\beta=0.5$ ，每一代粒子群数量 $N=100$ ，种群迭代次数 $I=70$ ，粒子变异概率 $P=0.8$ 。经过70轮迭代，5个参数的默认值与标定值结果如表2所示。

表2 参数默认值与标定值结果  
Table 2 Parameter default values and calibration value results

序号	参数	默认值	标定值
1	CC0	1.50	1.50
2	CC1	0.90	1.95
3	CC3	-8.00	-9.60
4	CC4	-0.35	-0.45
5	CC7	0.25	0.65

由表2可知，CC1标定值明显大于默认值，表明驾驶员期望的跟车时距较大；CC3标定值绝对值大于默认值，表明驾驶员可以更早发现前方慢车并进入减速状态，避免车头间距过小；CC4标定值绝对值大于默认值，但在调整范围内仍然处于偏小水平，表明车辆在跟车状态下与前车尽量保持较小的速度差，整体路段区间的速度协调性较好；CC7标定值大于默认值，表明驾驶员在跟车过程中的加速度波动幅度更大，这与道路驾驶环境的复杂程度存在一定的关联。总体来看，在双层高速公路驾驶环境中，更多驾驶员表现出偏保守的驾驶行为特征，尤其是在客货车混行的交通流条件下，驾驶员更希望与前方大车保持更大的跟车时距。

### 3.5 标定结果验证

为了进一步验证标定结果的合理性，按照表2中参数标定值运行仿真，输出实验路段仿真车辆

平均行驶速度与车头间距，如图12~13所示。

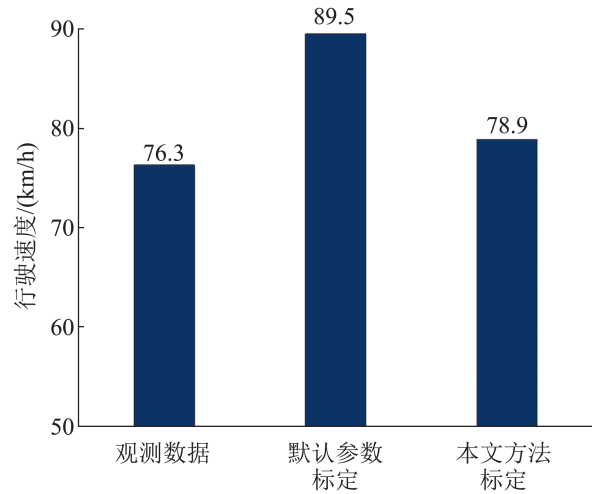


图12 不同方法车辆平均行驶速度

Fig. 12 Average driving speed of vehicles of different methods

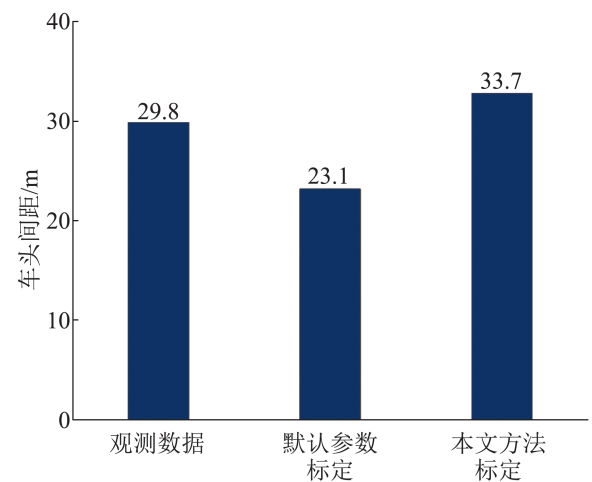


图13 不同方法车头间距

Fig. 13 Headway spacing of vehicles of different methods

结果表明，相比默认参数值仿真结果，本文所提标定值参数仿真结果更接近观测数据，更符合本地化交通流车辆运行与驾驶行为特性。

### 3.6 算法效能对比

为了验证本文方法有效性，分别采用3种方法求解标定函数值并进行对比：①正交试验法，根据均匀分布原则将待标定参数分为4级，进行正交组合，对比每组实验方案的标定函数值并择

优输出结果; ②基于现状交通感知数据的迭代寻优法, 通过分析现状高速公路门架数据获取车辆行程时间指标, 通过分析车辆卫星定位数据获取行驶速度及分布指标, 以此为基础进行参数标定; ③基于驾驶模拟数据的迭代寻优法, 以驾驶模拟实验数据为基础对参数进行标定。3种方法的对比结果如图14所示。

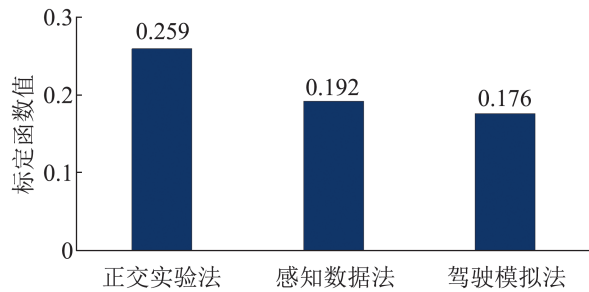


图14 3种方法的参数标定结果对比

Fig. 14 Comparison of parameter calibration results of 3 methods

从图14可知, 正交试验法的标定结果较差, 标定函数值为0.259, 正交试验次数严重影响了参数标定的精度; 基于感知数据与驾驶模拟的标定结果可以在全局范围搜索最优解, 标定函数值分别为0.192、0.176, 优于正交试验法。从定性角度看, 项目现状与改扩建成通车后驾驶环境差异较大, 现状感知数据仍然无法真实表征改扩建成通车后的驾驶行为特征, 基于驾驶模拟数据的标定结果会优于基于现状交通感知数据的标定结果。

为了验证遗传粒子群算法效率, 对比该算法与粒子群算法、遗传算法的迭代过程, 结果如图15所示。粒子群算法在第19轮陷入局部最优解, 求解结果非全局最优解; 遗传算法与遗传粒子群算法分别在第42轮和25轮收敛, 求解结果均为全局最优解, 但遗传粒子群算法的收敛速度明显高于遗传算法。因此, 遗传粒子群算法效率会优于另外2种算法。

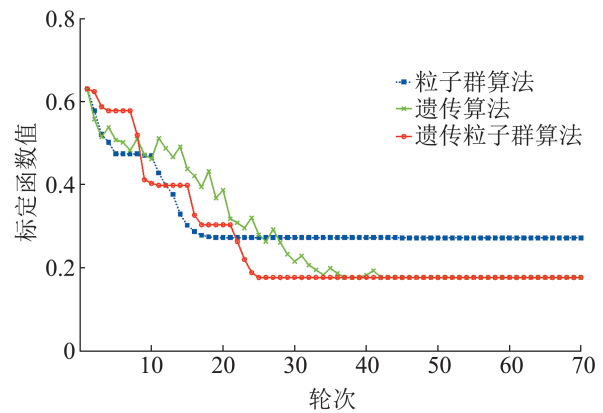


图15 3种算法迭代效率对比

Fig. 15 Comparison of iterative efficiency of 3 algorithms

## 4 结论

本文提出了基于驾驶模拟技术的交通仿真参数标定方法, 相比于正交试验与基于交通感知数据迭代寻优的标定方法, 所提基于驾驶模拟技术的标定方法求解参数标定值误差分别降低47.2%和9.1%, 更加符合项目本地化驾驶行为特征, 可显著提升交通仿真模型的可信度。此外, 仿真分析与参数迭代标定过程耗时较长, 相比常规遗传算法、粒子群算法, 所提遗传粒子群算法不仅能找到全局最优解, 而且收敛速度比遗传算法快17轮, 能同时满足算法有效性与高效率的要求。

后续的研究工作主要有2个方面: ①将换道行为模型纳入研究, 拓宽丰富驾驶行为模型参数标定体系; ②驾驶模拟技术在交通仿真建模中的应用效果受限于驾驶模拟实验数据, 可以通过补充增加更多数量、更多类型的驾驶模拟实验人员, 扩充驾驶行为标定数据集, 进一步提升仿真模型的精度。

## 参考文献:

- [1] 伍朝辉, 郭瑜, 王辉, 等. 虚拟现实交通运输应用研究综述[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(10): 2289-2297, 2303.  
Wu Zhaohui, Guo Yu, Wang Hui, et al. Virtual Reality in Transportation: A Survey[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(10): 2289-2297, 2303.
- [2] PTV Vision. PTV VISSIM 9 User Manual[M]. Germany: Planung Transport Verkeher AG, 2016.

- [3] Caliper Company. Trans Modeler User's Guide 6.0[M]. [S.l.]: Caliper Company, 2021.
- [4] 周晨静, 高亚聪, 荣建. 微观交通仿真模型参数标定方法改善研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(11): 2112-2120.  
Zhou Chenjing, Gao Yacong, Rong Jian. Research on Improvement of Parameters Calibration Method of Microscopic Traffic Simulation Model[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(11): 2112-2120.
- [5] 马文欣, 李瑞敏. 检测数据驱动的交通仿真参数标定方法研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(12): 2808-2819.  
Ma Wenxin, Li Ruimin. Research on Detection Data Driven Calibration Method of Traffic Simulation Parameters[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(12): 2808-2819.
- [6] 何兆成, 林炫华, 聂佩林, 等. 考虑展览设计的中间交通仿真模型及其标定[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(4): 781-791.  
He Zhaocheng, Lin Xuanhua, Nie Peilin, et al. Mesoscopic Traffic Simulation Model and Calibration Considering Stretching-segment Design[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(4): 781-791.
- [7] 李振龙, 王保菊, 金雪, 等. 针对主辅路的Vissim仿真模型参数标定方法[J]. 交通信息与安全, 2015, 33(2): 45-50.  
Li Zhenlong, Wang Baoju, Jin Xue, et al. Parameter Calibration of Vissim Simulation Models with a Focus on Main and Side Roads[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2015, 33(2): 45-50.
- [8] 杨艳芳, 秦勇, 努尔兰·木汉. 基于SOGA的VISSIM仿真模型参数标定方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(3): 91-97.  
Yang Yanfang, Qin Yong, Muhan Nuerlan. VISSIM Model Calibration Based on SOGA[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2017, 17(3): 91-97.
- [9] 张彦宁, 郭忠印, 孙智. 驾驶模拟环境中激进驾驶行为的影响因素分析[J]. 中国公路学报, 2020, 33(6): 129-136.  
Zhang Yanning, Guo Zhongyin, Sun Zhi. Influencing Factors of Aggressive Driving Behavior in Driving Simulation Environment[J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33(6): 129-136.
- [10] 张静, 谢练, 梁新, 等. 驾驶模拟条件下高速公路线形指标对驾驶绩效影响特征分析[J]. 交通信息与安全, 2015, 33(6): 102-107.  
Zhang Jing, Xie Lian, Liang Xin, et al. Analysis of Effects of Highway Alignments on Driver's Performance Based on Simulated Driving Experiments[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2015, 33(6): 102-107.
- [11] 张驰, 魏东东, 兰富安, 等. 基于驾驶模拟技术的道路行车安全性研究综述[J]. 交通信息与安全, 2022, 40(4): 1-12, 25.  
Zhang Chi, Wei Dongdong, Lan Fuan, et al. A Review on Road Driving Safety Based on Driving Simulation Technologies[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2022, 40(4): 1-12, 25.
- [12] 深圳市交通运输委员会, 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司. 深圳市高快速路网优化及地下快速路布局规划[R]. 深圳: 深圳市交通运输委员会, 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 2018: 125-127.  
Transport Commission of Shenzhen Municipality, Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd. Optimization of Expressway Network and Layout Planning of Underground Expressway in Shenzhen[R]. Shenzhen: Transport Commission of Shenzhen Municipality, Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd, 2018: 125-127.
- [13] Sajjadi S, Kondyli A. Macroscopic and Microscopic Analyses of Managed Lanes on Freeway Facilities in South Florida[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering(English Edition), 2017, 4(1): 61-70.
- [14] Marina Sergeeva, Daniel Delahaye, Catherine Mancel, et al. Dynamic Airspace Configuration by Genetic Algorithm[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering(English Edition), 2017, 4(3): 300-314.
- [15] Yuan Qing, Zhai Shihong, Wu Li, et al. Blasting Vibration Velocity Prediction Based on Least Squares Support Vector Machine with Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Geosystem Engineering, 2019, 22(5): 279-288.
- [16] 邢广成, 石磊. 基于改进粒子群算法的单交叉口信号配时仿真[J]. 计算机仿真, 2012, 29(5): 348-351.  
Xing Guangcheng, Shi Lei. Simulation of Signal Timing for Single Intersection Based on Improved-PSO Algorithm[J]. Computer Simulation, 2012, 29(5): 348-351.
- [17] Li Li, Chen Xiqun, Zhang Lei. A Global Optimization Algorithm for Trajectory Data Based Car-following Model Calibration[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, 68: 311-332.