

1-8-2019

## Operational Evaluation of Traffic Guidance Systems Based on Multi-Agent-Based Simulation

Keshuang Tang

*Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;*

Hengjia Zhang

*Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;*

Yixie Bowen

*Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, 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.

---

# Operational Evaluation of Traffic Guidance Systems Based on Multi-Agent-Based Simulation

## Abstract

**Abstract:** *To study the optimization effect of variable message sign-based traffic guidance system on the utilization efficiency of transportation resource, the multi-agent-based model is used to develop simulation and evaluation platform.* The simulation experiments of three typical traffic guidance strategies are carried out. The effect of guidance is evaluated by the indexes as average driving time, average searching time for parking lot and parking failure rate. The result shows that the driving and parking guidance can help reduce the average driving time and the parking failure rate respectively. The influence of the traffic guidance system on the traffic operation status and the utilization of parking resource is different under different traffic demand levels, so the distribution of guidance information needs comprehensive consideration of traffic demand level and guiding strategy.

## Keywords

traffic guidance system, variable message sign, route choice model, parking choice model, multi-agent-based simulation

## Recommended Citation

Tang Keshuang, Zhang Hengjia, Yixie Bowen. Operational Evaluation of Traffic Guidance Systems Based on Multi-Agent-Based Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(7): 2630-2639.

# 基于多智能体仿真的交通诱导系统效率评价

唐克双, 张桁嘉, 衣谢博闻

(同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

**摘要:** 为了研究基于可变情报板的交通诱导系统对交通资源利用效率的优化效果, 利用多智能体仿真模型开发了仿真与评价平台。对3种典型交通诱导策略进行了仿真实验, 采用平均行驶时间、平均巡泊时间和停车失败率的指标评价了诱导效果。结果表明: 行车诱导和停车诱导分别对平均行驶时间和停车失败率有改善效果, 并且交通诱导系统在不同交通需求水平下对交通运行状态和停车资源使用状况的影响存在差异性, 在发布诱导信息时, 需要综合考虑交通需求水平和诱导策略。

**关键词:** 交通诱导系统; 可变情报板; 路径选择模型; 停车选择模型; 多智能体仿真

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2018) 07-2630-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201807025

## Operational Evaluation of Traffic Guidance Systems Based on Multi-Agent-Based Simulation

Tang Keshuang, Zhang Hengjia, Yixie Bowen

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** To study the optimization effect of variable message sign-based traffic guidance system on the utilization efficiency of transportation resource, the multi-agent-based model is used to develop simulation and evaluation platform. The simulation experiments of three typical traffic guidance strategies are carried out. The effect of guidance is evaluated by the indexes as average driving time, average searching time for parking lot and parking failure rate. The result shows that the driving and parking guidance can help reduce the average driving time and the parking failure rate respectively. The influence of the traffic guidance system on the traffic operation status and the utilization of parking resource is different under different traffic demand levels, so the distribution of guidance information needs comprehensive consideration of traffic demand level and guiding strategy.

**Keywords:** traffic guidance system; variable message sign; route choice model; parking choice model; multi-agent-based simulation

## 引言

基于可变情报板的城市道路交通诱导系统通过提供道路交通运行状态和周边停车资源使用状

况等实时交通信息, 旨在帮助驾驶员提高出行效率, 寻找停车泊位, 优化交通资源的利用效率, 已经广泛应用于我国许多城市, 如北京、上海、南京、广州、深圳等。在目前对于交通诱导系统实际应用效果的研究和调查中, 结论存在较大的差异, 一些研究表明交通诱导系统可以使得交通资源得到有效利用, 改善城市道路交通状况, 降低机动车对于环境的污染<sup>[1-4]</sup>; 也有一些研究发现交通诱导系统



收稿日期: 2017-02-27 修回日期: 2017-09-21;  
基金项目: 国家自然科学基金(61673302);  
作者简介: 唐克双(1980-), 男, 安徽宣城, 博士, 副教授, 研究方向为驾驶行为、信号控制和智能交通系统; 张桁嘉(1992-), 男, 江苏盐城, 硕士生, 研究方向为道路交通控制与智能交通系统。

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

• 2630 •

布设位置和发布信息的不合理将导致诱导效果不显著<sup>[5]</sup>。交通诱导系统的建设不但出于交通管理部门的需要,也是出行者对于交通信息需求提升的必然结果。交通诱导系统一旦建成,后期对其进行修改的成本高、难度大。因此,有必要在规划设计阶段,对系统的实施效果进行预测和评估,发现其可能存在的问题,提出相应的改进建议。

目前国内外对于交通诱导系统进行评价的方法主要分为实地调查、理论模型研究和交通仿真分析 3 类。实地调查方面,Chaniotakis 等<sup>[6]</sup>、干宏超等<sup>[7]</sup>利用离散选择模型研究了驾驶员在诱导信息下的路径选择行为。Joydip 等<sup>[8]</sup>、Zhong 等<sup>[9]</sup>分别利用部分广义回归模型和有序回归模型研究了不同因素对于驾驶员遵从诱导信息的影响。Ji 等<sup>[10]</sup>、Richards 等<sup>[11]</sup>、Chatterjee 等<sup>[12]</sup>采用问卷调查研究了驾驶员对于诱导信息的态度。

理论模型研究方面,Xu 等<sup>[1]</sup>、Shin 等<sup>[2]</sup>、Mei 等<sup>[13]</sup>、Ding 等<sup>[14]</sup>分别开发了最优停车空间分配模型、智能停车诱导模型、停车诱导可靠性模型和停车选择行为模型,研究了停车诱导信息的诱导效果。Chen 等<sup>[15]</sup>、Ni 等<sup>[16]</sup>分别构建了选址优化模型和改进增量分配模型,研究了可变情报板的选址问题,并通过算例验证了模型的可行性。

交通仿真分析方面,主要包括驾驶模拟器仿真、利用已有仿真平台进行二次开发和多智能体仿真方法。在驾驶模拟器仿真方面,Yan 等<sup>[17]</sup>通过仿真驾驶实验测试了可变情报板对于驾驶行为的影响,讨论了可变情报板的选址问题和版式问题。Ardeshiri 等<sup>[18]</sup>结合 SP 调查利用驾驶模拟器发现最后一次经过可变情报板的时间、节省的行程时间和可变情报板信息可靠性等是影响驾驶员反应行为的重要因素。在利用已有仿真平台进行二次开发方面,Jonkers 等<sup>[3]</sup>利用 ITS Modeller 软件进行仿真实验得出停车诱导信息系统(PGIS)和智能停车系统(IPS)在改善城市交通运行效率和环境上都有显著的作用。Shi 等<sup>[4]</sup>利用 PARAMICS 软件构建了具有 9 个交叉口的虚拟典型交通路网进行仿真实验,结

果表明动态路径诱导将平均行程时间减少了近 30%,平均延误降低约一半,平均车速增加近 70%。袁舒平<sup>[5]</sup>利用 Vissim 软件验证了所建立的 VMS (Variable Message Sign, 可变情报板)选址模型的可行性。在多智能体仿真方面,Benenson 等<sup>[19]</sup>构建了 PARKAGENT 的多智能体停车模型,生成不同类型驾驶员的系统表现数据。Sun 等<sup>[20]</sup>构建了一种带有区分性发布策略的多智能体仿真模型,在分配停车需求上更为有效,提升了诱导可信度。Hotni 等<sup>[21]</sup>利用 MATSim 软件得到了模拟场景下巡泊时间与空余车位数的关系图像和巡泊时间的离散分布图像。

综上所述,现有对于交通诱导系统的评价方法中,实地调查结果受到范围限制,调查成本高昂,调查方案单一。理论模型研究通常高度抽象,考虑环境因素少,假设条件过于严格。驾驶模拟器仿真、利用已有仿真平台进行二次开发的传统仿真方法不能描述具体诱导信息对于路网的影响,无法评估不同诱导信息和可变情报板设计的有效性。多智能体仿真方法充分考虑了每一个驾驶员的路径和停车选择行为,能够体现驾驶员看到不同诱导信息产生不同反应的复杂过程,具有一定优势。但是当前的研究都仅仅针对停车诱导,没有考虑现实中停车及行车诱导同时存在的作用效果;并且大多研究都利用如 PARKAGENT 和 MATSim 等商业软件进行仿真实验,二次开发较为困难,无法进行深入研究和推广应用。因此,本文针对基于可变情报板的交通诱导系统的评价问题,依托 Visual Studio 2013 程序开发平台,开发了交通诱导多智能体仿真与评价平台,并根据上海市五角场地区路网和交通诱导系统的实际情况构建了仿真模型,实现了 3 种典型诱导场景下驾驶员路径动态选择行为的模拟,分析比较了 3 种典型诱导策略的诱导效果。

## 1 仿真思想与模型

### 1.1 多智能体仿真基本思想

如图 1 所示,基于可变情报板的交通诱导系统对于路网状态的影响效果是诱导信息对于每一个

驾驶员个体影响效果的综合效应。因此,在对于系统的总体设计中,有两点必须考虑:(1)描述不同诱导信息对于每一个驾驶员的影响效果;(2)从每一个驾驶员的改变得到对路网运行状态的影响效果。

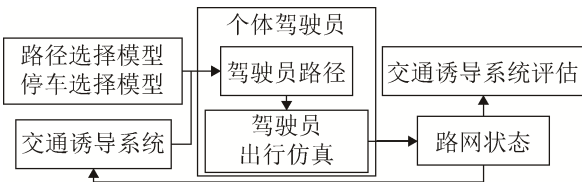


图1 多智能体仿真算法架构

Fig. 1 Structure of multi-agent-based simulation algorithm

多智能体仿真模型适用于研究复杂系统的信息处理过程和个体决策行为,而交通运输系统本质上就是个体驾驶员驾驶车辆在路网中移动的问题,因此多智能体仿真模型在交通运输系统的仿真建模中适用性强。本研究为了描述不同诱导信息对于驾驶员个体的影响,引入了驾驶员路径选择模型和停车场选择模型用于量化计算诱导信息的影响效果;为了表现个体驾驶员的改变对于路网整体的影响,采用了多智能体仿真方法,将每辆车处理为具有独立属性的智能体,由此表现出驾驶员个体的特性,同时模拟路网中每个车辆的运行,实时采集相关数据,做到评价交通诱导系统的设计方案和诱导效果。

## 1.2 驾驶员路径及停车场选择模型

为了描述不同诱导信息对每一个驾驶员的影响效果,本研究建立了驾驶员路径选择模型用以定量计算诱导信息的影响效果。以往的SP调查发现仅有一部分驾驶员服从交通诱导系统,并且服从诱导系统的驾驶员比例是比较稳定的<sup>[22-23]</sup>。

驾驶员选择服从诱导系统与否将导致路径选择模型的不同。当驾驶员目的地在研究区域内,停车费用、停车后步行距离和其他停车因素需要在路径选择中予以考虑。因此,研究使用了多智能体仿真工具用以区别对于交通诱导系统接受性和目的地不同的驾驶员类型,每一种驾驶员类型都有各自的路径选择模型。

基于先前研究<sup>[13,24]</sup>,本研究选取logit模型并

将驾驶员分为4种类型如图2所示。

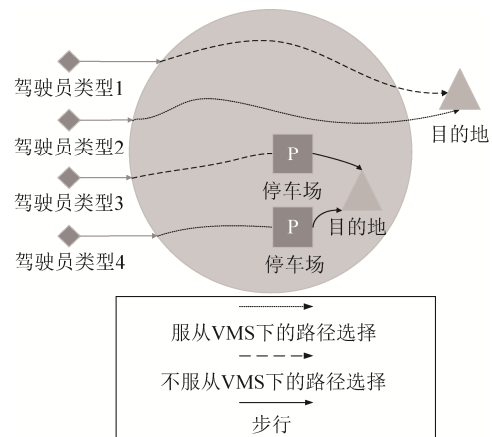


图2 驾驶员类型

Fig. 2 Agent type

### (1) 驾驶员类型1、2的路径选择模型

$$P_{ij}^r = \frac{\exp(-\theta_1 t_{ij}^r)}{\sum \exp(-\theta_1 t_{ij}^r)} \quad (1)$$

$P_{ij}^r$ 表示驾驶员从决策点*i*(在本研究中决策点为可变情报板布设处)到目的地*j*,选择路线*r*的概率。 $\theta_1$ 是尺寸参数。 $t_{ij}^r$ 是从决策点*i*选择路线*r*到目的地*j*的总行程时间:

$$t_{ij}^r = \sum t_a (a \in A_{ij}^r) \quad (2)$$

$A_{ij}^r$ 是从决策点*i*到目的地*j*,所选路线*r*中路段的集合。 $t_a$ 是路段*a*的行程时间。对于类型1的驾驶员来说, $t_a$ 是路段*a*的经验行程时间,根据陈毕新<sup>[25]</sup>对于五角场路网服务水平的调查研究,路网负担较重、服务水平较低,交叉口服务水平均在D级以下,因此取0.5倍路段限速 $V_{a限}$ 作为经验行驶速度对 $t_a$ 进行计算:

$$t_a = L_a / 0.5V_{a限} \quad (3)$$

对于类型2的驾驶员来说, $t_a$ 是根据诱导板信息中路段*a*的运行状态计算所得的动态行程时间:

$$t_a = L_a / V_c \quad (4)$$

$L_a$ 是路段*a*的长度, $V_c$ 是期望车速,与可变情报板上路段显示颜色有关, $c$ 是颜色种类。

### (2) 驾驶员类型3的停车场选择模型

$$P_{ijk}^r = \frac{l^{kj} \exp(-\theta_2 U_{ijk}^r)}{\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R l^{kj} \exp(-\theta_2 U_{ijk}^r)} \quad (5)$$

$$U_{ijk}^r = \alpha_m t_m^{ikr} + \alpha_w t_w^{kj} + \alpha_f \frac{f^k}{t_f} \quad (6)$$

$$l^{kj} = \begin{cases} 1, & t_w^{kj} \leq T_w \\ 0, & t_w^{kj} > T_w \end{cases} \quad (7)$$

$P_{ijk}^r$  是从决策点  $i$  到目的地  $j$ , 以  $k$  为停车场, 选择路线  $r$  的概率。 $U_{ijk}^r$  为效用函数。 $t_m^{ikr}$  和驾驶员类型 1 路径选择模型中  $t_{ij}^r$  的计算方式相同。 $t_w^{kj}$  是从停车场  $k$  到目的地  $j$  的步行时间。 $f^k$  是停车场  $k$  的停车费用。 $t_f$  是时间价值。 $\alpha_m$ ,  $\alpha_w$  和  $\alpha_f$  是权重参数。 $\theta_2$  是尺寸参数。 $I$ ,  $J$  和  $K$  是决策点、目的地和停车场的集合。 $l^{kj}$  表示停车场  $k$  到目的地  $j$  的步行时间是否超过最大忍受步行时间  $T_w$ , 当  $l^k \leq T_w$ ,  $l^{kj}$  取 1; 当  $l^k > T_w$ ,  $l^{kj}$  取 0。

(3) 驾驶员类型 4 的停车场选择模型

$$P_{ijk}^r = \frac{\delta^{ik} l^{kj} \exp(-\theta_3 U_{ijk}^r)}{\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R \delta^{ik} l^{kj} \exp(-\theta_3 U_{ijk}^r)} \quad (8)$$

$$\delta^{ik} = \begin{cases} 1, & \text{停车场 } k \text{ 有空余停车位} \\ 0, & \text{停车场 } k \text{ 无空余停车位} \end{cases} \quad (9)$$

与类型 3 驾驶员不同, 类型 4 驾驶员能够接收到诱导信息, 因此能提前了解停车场空余停车位的信息。

## 2 仿真平台设计与开发

### 2.1 仿真平台总体框架

如图 3 所示仿真平台总体可分为 5 大模块, 分别为路网构建模块、车辆加载模块、停车及路径选择模块、评价分析模块和路网展示模块。仿真平台主要工作流程包括: (1) 路网构建模块从外部 txt 文档和 csv 文件中读取路网基础数据, 并基于 C++ 语言在 Visual Studio 2013 开发平台中建立路网模型; (2) 车辆加载模块通过读取外部 csv 文件在已构建好的路网模型中加载车流; (3) 停车及路径选择模块将诱导策略应用到仿真模型中, 通过模型中的停车选择模型和路径选择模型实现不同的诱导策略的控制和引导车辆的路径选择行为, 进行车辆分配, 同时在仿真模型运行过程中不断采集实时的路网状态信息, 借助可变情报板进行发布, 驾驶员每次经过诱导板时获得信息进行决策, 通过路径及停车场选择模型(公式(1)、(5)和(8))进行下一阶段路径选择; (4) 将所得数据输出在评价分析模块和路网展示模块中用于诱导效果分析评价和实时路网运行状态的展示。

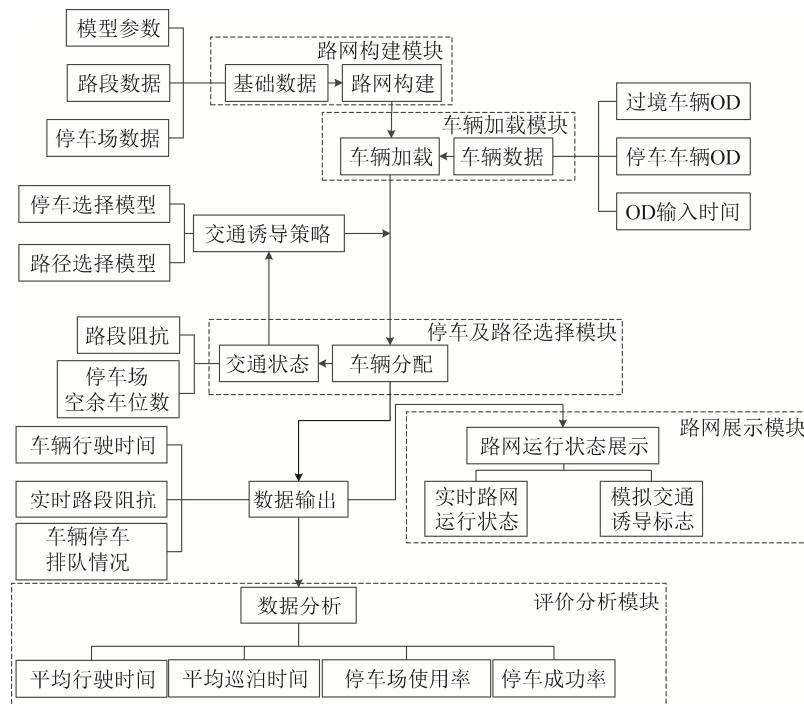


图 3 仿真平台总体框架

Fig. 3 Structure of simulation platform

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

• 2633 •



## 2.2 仿真平台运行流程

仿真平台运行之前将多智能体仿真频率设置为1次/s, 仿真计时器 $T$ 设置为0, 并设定最大仿真时长。仿真平台运行流程如图4所示。

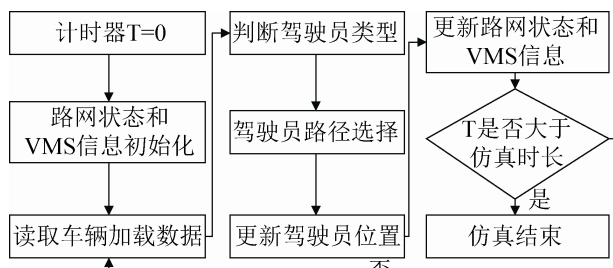


图4 仿真平台运行流程  
Fig. 4 Procedure of simulation platform

步骤1: 路网状态和VMS信息初始化。

仿真实验前, 进行仿真环境的搭建以及车辆预加载。仿真环境构成要素主要包括OD点、路段、停车场和诱导系统。OD点是所有车辆出发点和吸引点的集合, 进行车辆加载时, 必须为每一辆过境车辆和停车车辆设定OD点。路段是车辆通行的渠道, 路段的各项运行状态数据也是最终评价诱导策略的重要基础, 实验前需要采集的路段相关数据包括路段长度(L)、路段限速(v)、路段通行能力(C)、路段车道数及是否为单行道等信息。停车场是停车车辆在仿真平台中最终的目的地, 需要采集的停车场相关数据包括停车场车位数、停车场收费标准、停车场距离目的地的步行时间等。诱导系统在仿真平台中以VMS的形式表示, VMS会发布诱导区域内路网状态和停车资源的使用情况信息, 只有当驾驶员经过VMS时才能获得诱导信息。

初始时刻的仿真模型中并没有车辆, 需进行300 s的车辆预加载, 使仿真实验正式开始前的路网状态尽可能接近现实情况。

步骤2: 驾驶员进入路网。

仿真平台通过读取外部文件进行车辆的加载, 仿真系统每秒从外部文件读取车辆加载数据。

步骤3: 驾驶员路径选择。

根据驾驶员类型和相应的路径及停车场选择

模型, 为每一位进入路网的驾驶员计算行驶路径, 路网中的驾驶员只有一条路径且严格根据计算的路径完成出行。

步骤4: 更新驾驶员位置。

根据驾驶员路径、 $T$ 时刻驾驶员的位置和路段车速, 计算每一个驾驶员在 $T+1$ 时刻的位置。

步骤5: 更新类型2、4驾驶员的路径。

判断驾驶员从 $T$ 时刻到 $T+1$ 时刻是否经过VMS, 并为经过VMS的类型2、4驾驶员重新计算路径。

步骤6: 更新路网状态和VMS信息。

根据当前时刻驾驶员位置更新路网状态和VMS所发布的诱导信息。

在最大仿真时长内重复步骤2~6, 直至仿真结束, 并将仿真数据输出到外部文件用于VMS诱导效果的评价。

## 3 案例研究

### 3.1 仿真实验场景

如图5所示, 本研究所构建路网模型的参考原型为上海市五角场核心地区路网, 作为中央商务区, 五角场地区停车空间有限, 交通需求水平高, 停车难和交通拥堵问题严重。仿真实验选取了包括国和路、国定东路、政立路、淞沪路、翔殷路、黄兴路、四平路、邯郸路等在内的17个路段、包括江湾体育停车场、创智天地地下停车场在内的17个停车场以及7处布设在诱导区域边缘的VMS所组成的路网, 通过在实地和网络上采集数据后进行路网模型的构建。

考虑到五角场地区即是商业中心, 也是连接浦东、外滩的交通中心, 是多重社会功能的叠加区域, 因此路网中车辆主要可以分为过境车辆和停车车辆。

如图6所示, 本研究将过境车辆的交通生成点设定为国和路(O1)、长海医院(O2)、翔殷路隧道(O3)、杨浦大桥(O4)、同济大学(O5)、嘉定(O6)、

江湾镇(O7)、逸仙路(O8)、和新江湾城(O9)等路同样为上述外围接入点。停车车辆的交通生成点与过境车辆相同, 而交通吸引点则为百联又一城(D10)、蓝天宾馆(D11)、东方商厦(D12)、苏宁国际(D13)及万达广场(D14)这五处五角场地区的主要商业及服务场所。

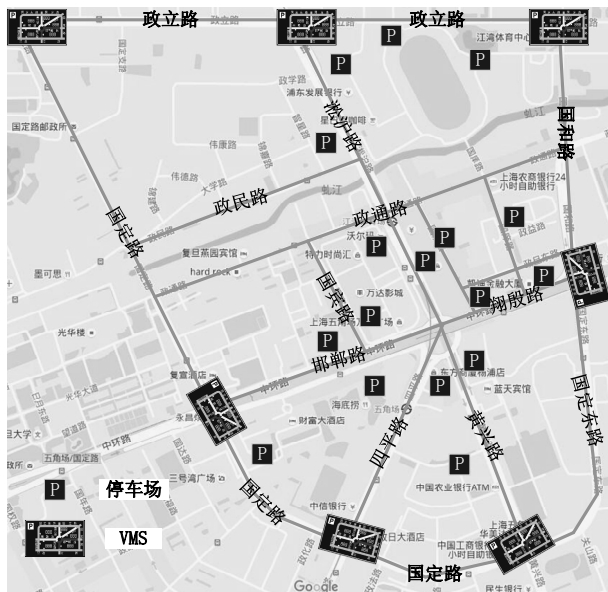


图 5 上海市五角场地区路网

Fig. 5 Network of Wujiaochang region in Shanghai

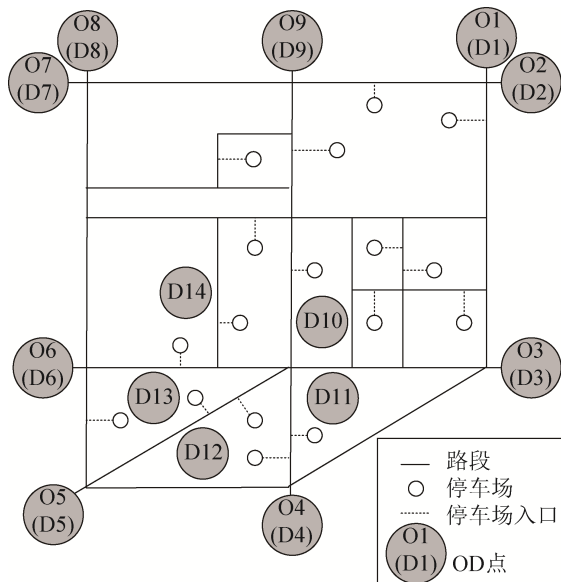


图 6 上海市五角场地区仿真路网

Fig. 6 Simulation network of Wujiaochang region in Shanghai

根据上海市杨浦区交通管理中心的研究, 五角场地区机动车交通量中 60% 为过境交通, 40% 为到发交通。根据不同时段交通流量数据, 可将交通需求分为低、中、高 3 个水平, 分别为 16 200 veh/h、24 300 veh/h 和 32400veh/h, 根据过境交通与到发车辆的比例以及各 O 点与路网接入道路的通行能力设定各 OD 点之间的小时交通量<sup>[25]</sup>。

仿真实验有效时长为 3 600 s, 仿真数据加载速度为 1 次/s。在 3 600 s 的有效仿真中, 根据“低—中—高—高—中—低”的交通需求水平顺序进行车辆加载, 每种需求下进行 600 s 的车辆加载。

仿真实验中驾驶员路径及停车场选择模型所使用的参数参照已有研究<sup>[9,13,26]</sup>并结合对于五角场地区的调查数据确定如表 1 所示。

表 1 驾驶员路径及停车场选择模型参数

Tab. 1 Parameters of route choice and parking lot choice models

参数	取值
$\alpha_m$	1
$\alpha_w$	0.7
$\alpha_f$	0.05
$\alpha_{f'}$	3.3
$T_w$ (min)	20
$V_{red}$ (km/h)	10
$V_{yellow}$ (km/h)	30
$V_{green}$ (km/h)	40

### 3.2 诱导策略设计

为了对比不同交通诱导策略的实施效果, 本研究针对三种典型诱导策略构建了对应的仿真方案。同时为对比不同诱导系统的效用, 搭建了无诱导系统的基准仿真方案。分别为无停车及行车诱导(基准方案)和有停车但无行车诱导、有停车及行车诱导和无停车但有行车诱导三个典型诱导策略。根据以往诱导信息对驾驶员路径选择行为影响的研究<sup>[27-29]</sup>, 设定了驾驶员对于停车诱导的遵从率为 60%, 行车诱导信息遵从率为 20%。



## 4 案例研究结果分析

仿真实验结束后,提取了300 s预加载后1 h(即300~3 899 s)的路网数据用以对VMS的诱导效果进行评价分析。

### 4.1 路网评价指标

#### (1) 平均行驶时间

平均行驶时间为车辆所选路径各路段阻抗比值的和,反映了驾驶员从出发点到目的地的平均耗时。有效的行车诱导信息能够引导驾驶员避免驶入拥堵道路,缩短出行时间,因此路网内车辆平均行驶时间越短,诱导策略效果越佳。

$$\bar{t}_{ij}^r = \sum t_{ij}^r / N_i \quad (10)$$

式中:  $t_{ij}^r$  为过境车辆从出发点到目的地的行驶时间;  $N_i$  为过境车辆的车辆数。

#### (2) 平均巡泊时间

有效发布停车诱导信息能够促使停车设施利用均衡化,减少路边停车现象,减少等待入库排队车辆,减少驾驶员寻找停车泊位的时间消耗,从而减少市中心为停车而附加的交通量。本研究中平均巡泊时间指车辆从出发点到目的停车场所用时间,平均巡泊时间越短则表明诱导策略越有效。

$$\bar{t}_m^{ikr} = \sum t_m^{ikr} / N_p \quad (11)$$

式中:  $t_m^{ikr}$  为停车车辆从出发点到停车场的行驶时间;  $N_p$  为停车车辆的车辆数。

#### (3) 停车失败率

在实时停车诱导下,驾驶员可以了解到区域内各停车场的实时空余停车位数量,根据停车信息选择目的停车场。准确有效的停车诱导发布策略可以提高停车车辆到达停车场后直接停车入库的概率,减少到达停车场却发现没有车位而必须排队或是驶离另选停车场的情况发生。

$$p_{ns} = \frac{N_{ns}}{N_p} \quad (12)$$

式中:  $p_{ns}$  为停车失败率;  $N_{ns}$  为进入停车场发现没有空余停车位的车辆数;  $N_p$  为停车车辆的车辆数。

### 4.2 诱导效果评价分析

#### (1) 平均行驶时间分析

图7展示了3种典型诱导策略下,过境车辆的平均行驶时间变化。可以看出,相比无停、行车诱导策略,其他三种策略均能不同程度减小过境车辆的平均行驶时间,在无停车、有行车诱导策略下,对于平均行驶时间的改善效果最显著。并且随着路网车流量的增长,诱导系统对于缩减平均行驶时间的效果更显著,在高水平交通需求下,路网平均行驶时间缩短了2.48%。总体而言,行车诱导信息的发布对于过境车辆平均行驶时间的减少是有一定效果的。

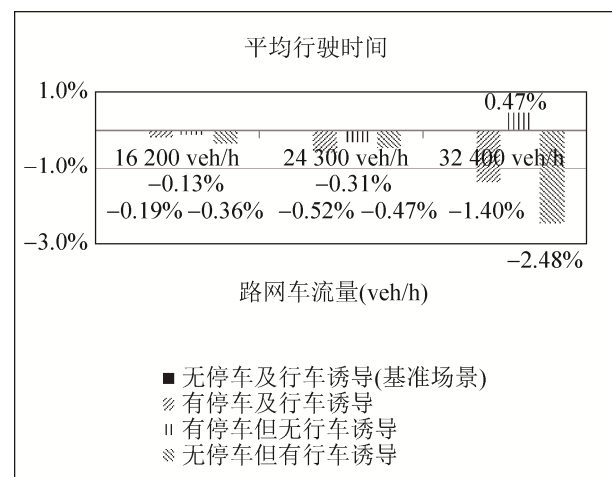


图7 3种诱导策略下的平均行驶时间

Fig. 7 Average driving time under three strategies

#### (2) 平均巡泊时间分析

图8显示了3种诱导策略下停车车辆的平均巡泊时间变化情况。比较发现,只有在低交通需求水平下,停车车辆的巡泊时间相对于无停、行车诱导策略才有所下降。在中、高交通需求水平下,停车诱导策略还会不同程度增加停车车辆的平均巡泊时间。造成上述结果的原因可能是停车诱导的目标是帮助驾驶员寻找空余停车位而不是找到最快捷地停车路线。总体而言,停车诱导信息的发布对于停车车辆平均巡泊时间的减少没有显著的效果。

#### (3) 停车失败率分析

图9显示了仿真实验中存在停车资源不能满

足停车需求的五个停车场, 在三种诱导策略下的停车失败率变化情况。通过比较可以发现, 对于停车场编号为 1、14 和 16 这 3 个在无停、行车诱导情况下停车失败率较高的停车场, 停车诱导能够有效地降低停车失败率, 停车失败率平均下降了 13.13%; 而对于停车失败率在无诱导情况下较低的 9 和 10 号停车场, 停车诱导反而使停车失败率略有增加。这可能是由于停车失败率较低的停车场在仿真实验初期仍有一定数量的空余停车位, 而停车失败率较高的停车场此时已经没有空余停车位, 根据停车场选择模型, 此时受到停车诱导的停车车辆将改变原本停车场的选择, 导致原本驶向停车失败率较高的车辆改变选择, 驶向当时仍有空余停车位, 但仿真后期出现停车供给不足的停车失败率较低的停车场, 从而增加了这些停车场的停车失败率。

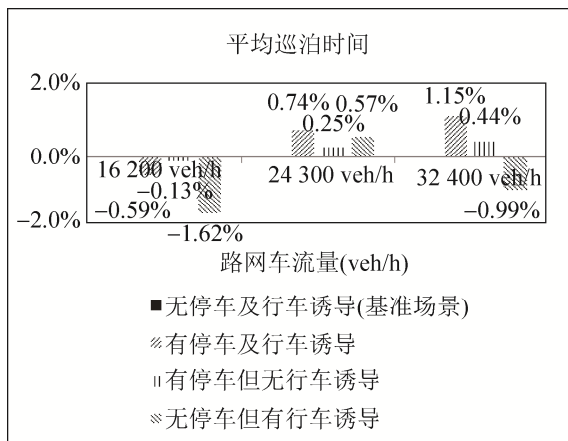


图 8 3 种诱导策略下的平均巡泊时间

Fig. 8 Average park-searching time under three guidance strategies

从上述分析可以发现, 交通诱导系统能够一定程度提升路网运行状态和停车资源使用效率: 行车诱导能够一定程度缩短过境车辆平均行驶时间; 停车诱导能够一定程度降低停车车辆的停车失败率。并且不同交通需求水平下, 不同交通诱导策略的诱导效果具有一定差异性。以平均行驶时间为例, 3 种典型诱导策略下指标值均有所下降, 且路网交通需求水平越高, 下降趋势越明显。但在高交通需求水平下, 有停车但无行车诱导策略反而使得平均行

驶时间有所增加。而对于平均巡泊时间, 只有在低交通需求水平下, 3 种典型诱导策略使指标值均有所下降, 在交通需求水平增大后, 只有在高需求水平下的有停车无行车诱导能够使平均巡泊时间下降。因此, 对于诱导系统的评价需要考虑不同情况下其对于路网内车辆的总体影响。

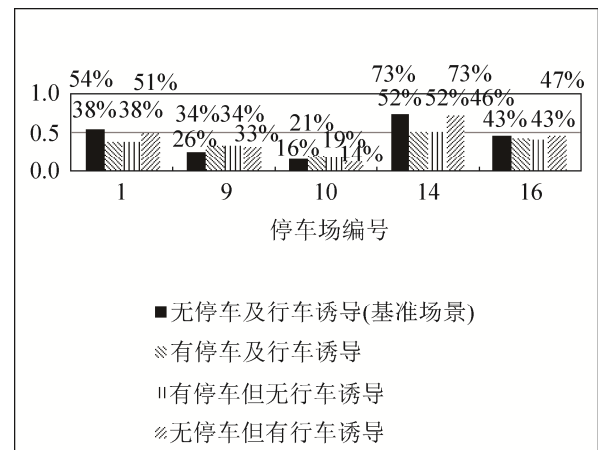


图 9 3 种诱导策略下的停车失败率

Fig. 9 Parking failure rate under three guidance strategies

## 5 结论

本文以多智能体仿真思想构建了交通诱导系统仿真平台, 基于上海市五角场路网对 3 种交通诱导策略进行了仿真实验与评价。结果表明: (1) 单独发布行车诱导或停车诱导可以改善交通运行状态, 在高水平交通需求下, 单独发布行车诱导策略使路网平均行驶时间缩短了 2.48%; 单独发布停车诱导策略使无诱导下停车供给远小于停车需求的停车场的停车失败率平均下降了 13.13%。但是在特殊情况下会产生负效应, 对于停车供给略小于停车需求的停车场, 停车诱导反而会使其停车失败率有所上升。(2) 综合发布停车与行车诱导, 会对停车交通产生较大的负影响, 需要谨慎考虑。在中、高交通需求水平下, 同时发布停车与行车诱导使停车车辆的平均巡泊时间分别上升了 0.74% 和 1.15%。(3) 路网交通量及其构成的对诱导策略系统的运行效果影响巨大, 在发布诱导信息时应当充分考虑路网交通状态。如路网中停车车辆比例较

高,在交通量较大时,应慎重考虑是否发布停车诱导信息,否则可能会对停车车辆的巡泊时间产生较大的负影响,加重整个路网的拥堵状况。

本文的创新点主要包括:(1)针对现有多智能体仿真研究仅仅考虑停车诱导的不足,在仿真模型中同时加入停车诱导和行车诱导,更加符合现实中路网的真实状况,得到的路网运行数据结果更具有参考价值;(2)从个体驾驶员层面实现对不同诱导信息的仿真,从而对不同诱导策略的运行效果评价。弥补了现有交通仿真软件以诱导遵从率为单一影响因子,只能在车辆进入路网前分配好行驶路径的缺陷,设计开发了交通诱导系统仿真与评价平台,应用性和可扩展性强。

在未来的研究中,首先将对仿真平台的功能模块进行改进,如增加交叉口仿真模块,为路网中的交叉口设置信号配时,增加仿真实验的真实性和有效性。其次,将通过进一步的交通 SP 及 RP 调查,利用实证数据对驾驶员路径及停车场选择模型及其中的  $\alpha_m$ ,  $\alpha_w$  和  $\alpha_f$  等参数进行修正和标定,提高模型的准确性和可靠性。此外,将进一步考虑驾驶员交通行为仿真的随机性,如对于不同驾驶员选择行为模型的差异化处理。

## 参考文献:

- [1] Xu M, Zhang Z, Wan Y, et al. A simulation study on real-time parking Guidance[C]// IEEE, International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2014: 2269-2270.
- [2] Shin J H, Jun H B. A study on smart parking guidance algorithm[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies(S0968-090X), 2014, 44(4): 299-317.
- [3] Jonkers E, Van Noort M, Van d V J L. Parking guidance-Modelling, simulation and impact assessment[C]// Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on. IEEE, 2011: 858-864.
- [4] Shi X, Xu J, Xu Y, et al. A simulation study on agent-network based route guidance system[C]//Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. 2005: 248-253.
- [5] 袁舒平. 考虑诱导信息影响的可变信息标志优化选址研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [6] Chaniotakis E, Pel A J. Drivers' parking location choice under uncertain parking availability and search times: A stated preference experiment[J]. Transportation Research Part A Policy & Practice(S0965-8564), 2015, 82: 228-239.
- [7] 干宏程, 孙立军, 陈建阳. 提供交通信息条件下的途中改道行为研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, 34(11): 1484-1488.  
Gan Hongcheng, Sun Lijun, Chen Jianyang. Study on Traveler Behavior under Influence of Advanced Traveler Information System[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2006, 34(11): 1484-1488.
- [8] Joydip Majumder, Lina Kattan, Khandkar Nurul Habib, et al. Modelling traveller response to variable message sign[J]. International Journal of Urban Sciences, 2013, 17(2): 259-280.
- [9] Zhong S, Zhou L, Ma S, et al. Effects of different factors on drivers' guidance compliance behaviors under road condition information shown on VMS[J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 2012, 46(9): 1490-1505.
- [10] Ji Y, Guo W, Blythe P, et al. Understanding drivers' perspective on parking guidance information[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2013, 7(4): 398-406.
- [11] Richards A, Mcdonald M. Questionnaire surveys to evaluate user response to variable message signs in an urban network[J]. IET Intelligent Transport Systems (S1751-956X), 2007, 1(1): 177-185.
- [12] Chatterjee B K, Hounsell N B, Firmin P E, et al. Response to Variable Message Sign Information in London[J]. Transportation Research Part C (S0968-090X), 2012, 10(2): 149-169.
- [13] Mei Z, Tian Y, Li D. Analysis of Parking Reliability Guidance of Urban Parking Variable Message Sign System[J]. Mathematical Problems in Engineering (S1024-123X), 2012: 244-247.
- [14] Ding Q Y, Pan J S, Wang Y L, et al. Model of Parking Choice Behavior with Parking Guidance Information[C]// International Conference on Transportation Engineering. 2007: 31-36.
- [15] Chen Q, Shi F. Locating of variable message signs in parking guidance systems[J]. Transport(S1648-4142), 2010, 163(3): 111-118.

- [16] Ni X Y, Sun D, Peng Z R. An improved incremental assignment model for parking variable message sign location problem[J]. *Journal of Advanced Transportation (S0197-6729)*, 2015, 49(7): 817-828.
- [17] Yan X, Wu J. Effectiveness of Variable Message Signs on Driving Behavior Based on a Driving Simulation Experiment[J]. *Discrete Dynamics in Nature & Society (S1026-0226)*, 2014, 2014(2): 1-9.
- [18] Ardeshiri A, Jeihani M, Peeta S. Driving simulator-based study of compliance behavior with dynamic message sign route guidance[J]. *IET Intelligent Transport Systems*, 2015, 9(7): 765-772.
- [19] Benenson I, Martens K, Birfir S. PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city[J]. *Computers Environment & Urban Systems(S0198-9715)*, 2008, 32(6): 431-439.
- [20] Sun D J, Ni X Y, Zhang L H. A Discriminated Release Strategy for Parking Variable Message Sign Display Problem Using Agent-Based Simulation[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (S1524-9050)*, 2015, 17(1): 1-10.
- [21] Horni A, Montini L, Waraich R A, et al. An agent-based cellular automaton cruising-for-parking simulation[J]. *Transportation Letters the International Journal of Transportation Research(S1942-7867)*, 2013, 5(4): 167-175.
- [22] Wardman M, Bonsall P W, Shires J D. Driver response to variable message signs: a stated preference investigation [J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies(S0968-090X)*, 1997, 5(6): 389-405.
- [23] Al-Deek H, Chandra S R, Venkata C, et al. Dynamic Message Sign Deployment and Diversion Behavior of Travelers on Central Florida Toll Roads[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board(S0361-1981)*, 2009, 2129(2129): 24-34.
- [24] Waraich R A, Axhausen K W. Agent-Based Parking Choice Model[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board (S0361-1981)*, 2012, 2319(2319): 39-46.
- [25] 陈毕新. 上海五角场副中心交通拥堵整治实践[J]. *交通与港航*, 2011, 25(4): 31-33.  
Chen Bixin. Practice of Traffic Congestion Control in Shanghai Wujiaochang sub center[J]. *Public Utilities*, 2011, 25(4): 31-33.
- [26] Yixie B, Tang K, Sun J, et al. A Generalized Assessment Model for the Amount of Information of Variable Message Signs[C]//*Cota International Conference of Transportation Professionals*, 2015: 246-259.
- [27] Erke A, Sagberg F, Hagman R. Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behavior[J]. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology & Behavior(S1369-8478)*, 2007, 10(6): 447-457.
- [28] Hounsell N B, Firmin P E, Bonsall P W. Driver response to variable message sign information in London[J]. *Transportation Research Part C Emerging Technologies (S0968-090X)*, 2002, 10(2): 149-169.
- [29] 朱昊, 冯淑媛, 刘涛, 等. 上海区域停车诱导系统效果评估及建议[C]//*中国智能交通年会*, 上海: 上海市城市综合交通规划研究所, 2012.  
Zhu Hao, Fen Shuyuan, Liu Tao, et al. The Assessment and Suggestion on Shanghai Area Parking Information Guidance System[C]//*The Annual Conference of ITS China*, Shanghai: Shanghai Urban Comprehensive Transportation Planning Research Institute, 2012.