

7-3-2020

## Microscopic Online Simulation Method of Road Traffic Accident Emergency Disposal

Peiqun Lin

*School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;*

Jiahui Liu

*School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;*

Kaibin Yao

*School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, 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.

---

# Microscopic Online Simulation Method of Road Traffic Accident Emergency Disposal

## Abstract

**Abstract:** *An online simulation based decision making method was proposed to search for the comparatively optimal emergency disposal plan quickly and quantitatively after the traffic accident, and the evaluation index of traffic emergency disposal plans was proposed on the foundation of designing the process and framework of the online simulation, and the vehicle movement model applied to highway traffic accident was established. The online simulation based decision making system was developed using VISSIM-COM interface, and it has been applied to a typical highway of Guangdong Province. The simulation and the practical application results illustrate that multiple emergency disposal plans can be evaluated quantitatively and rapidly by the online simulation system, hence it has a scientific assistant decision making effect, and it provides strong technical supports to the refined highway management.*

## Keywords

traffic engineering, road traffic accident, online traffic simulation, traffic emergency response

## Recommended Citation

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.

# 道路交通事故应急处事的微观在线仿真方法

林培群, 刘佳辉, 姚凯斌

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

**摘要:** 为了能够在交通事故发生后快速、定量地评估各种应急处事的实施效果, 从而得出相对最优的应急处事的方案, 提出了一种通过在线仿真进行辅助决策的方法, 在设计在线仿真的流程与功能结构的基础上, 提出交通应急处事的评价指标, 并建立适用于道路交通事故的车辆运动模型。基于 VISSIM-COM 搭建了在线仿真决策支持系统, 并应用于广东省某典型高速公路路段。仿真和实际应用结果表明: 在线仿真系统能够快速地对多种交通事故应急处事的方案进行定量评价, 具备科学的辅助决策作用, 为高速公路的精细化管理提供了强有力的技术支持。

**关键词:** 交通工程; 道路交通事故; 在线交通仿真; 交通应急

中图分类号: U491 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 05-1158-07

## Microscopic Online Simulation Method of Road Traffic Accident Emergency Disposal

Lin Peiqun, Liu Jiahui, Yao Kaibin

(School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** An online simulation based decision making method was proposed to search for the comparatively optimal emergency disposal plan quickly and quantitatively after the traffic accident, and the evaluation index of traffic emergency disposal plans was proposed on the foundation of designing the process and framework of the online simulation, and the vehicle movement model applied to highway traffic accident was established. The online simulation based decision making system was developed using VISSIM-COM interface, and it has been applied to a typical highway of Guangdong Province. The simulation and the practical application results illustrate that multiple emergency disposal plans can be evaluated quantitatively and rapidly by the online simulation system, hence it has a scientific assistant decision making effect, and it provides strong technical supports to the refined highway management.

**Keywords:** traffic engineering; road traffic accident; online traffic simulation; traffic emergency response

## 引言

道路交通事故通常导致部分车道关闭, 降低局部路段的通行能力, 造成突发性的交通拥堵。随着时间的推移, 拥堵现象很可能蔓延到上游路段, 造成大范围的交通阻塞。在研究道路交通事故对通行

能力的影响方面, 理论研究<sup>[1-2]</sup>表明, 局部车道关闭大幅度降低了高速公路基本路段的通行能力, 通行能力从 2 000 pc/h/ln 下降到 1 500 pc/h/ln 左右。

在分析道路交通事故下交通流的时空演变方面, 有学者根据交通波理论分析交通事故对交通流的时空影响范围<sup>[3-4]</sup>。在研究交通事故应急处事的措施方面, 一些学者提出了一种可变车速限制 (Variable Speed Limit, VSL) 控制方案<sup>[5-6]</sup>, 保障了交通事故区域的安全性和通行效率, 但是 VSL 只适用于交通量较低的道路。通过匝道协调控制<sup>[7-10]</sup>



收稿日期: 2014-12-17 修回日期: 2015-03-12;  
基金项目: 国家自然科学基金(61573149, 61572233);  
广东省交通厅科技计划项目(201502062); 中央高校  
基本科研业务费专项资金(2015ZZ008);  
作者简介: 林培群(1980-), 男, 广东, 博士, 副教授, 研究方向为智能交通系统。

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

• 1158 •

可以缓解路段拥挤问题, 匝道协调控制的理论基础依然是交通波理论, 没有在微观层面上考虑交通事故对驾驶行为的影响。

对响应交通事故所采取的措施必须恰当, 如果不够积极, 则容易导致二次事故、严重交通拥堵等; 如果过于冒进, 则容易造成交通资源的浪费, 在我国道路交通网络初步形成, 交通管理水平有待进一步提高的背景下, 如何定量分析交通事故发生后交通系统演化发展情况, 从而进行科学决策是一个兼有理论和应用价值的紧迫课题。

由于交通系统是一个具有大量随机因素的复杂巨系统, 现有基于数学描述、数据分析的方法很难准确刻画交通系统的演化发展情况, 利用在线交通仿真<sup>[11-18]</sup>分析交通事故下交通流的演变特性是一种科学有效的方法。微观在线交通仿真在仿真运行过程中不断接受最新采集的交通流数据, 在微观层面上描述车辆的运动行为, 从而在宏观层面上使仿真系统尽可能准确地反映当时的真实道路交通情况。

本文通过主从式的网络架构搭建微观在线仿真系统, 采用并行运算的方式运行微观交通仿真软件, 建立了适用于高速公路交通事故的车辆运动模型, 提出了交通事故应急处置方案的评价指标, 并设计辅助决策流程。实验证明, 微观在线仿真系统能够快速、定量地评价多个交通应急处置方案, 为道路交通管理部门实现精细化的管理模式提供一种科学有效的辅助决策手段。

## 1 在线仿真的流程与功能结构

### 1.1 在线仿真的流程

在线仿真系统利用多台计算机并行仿真多种交通方案, 仿真系统响应动态的交通流数据, 输出实时的评价数据。“在线仿真”有两层含义, 一是系统读取实时的交通流数据; 二是服务器与客户端利用通信模块保持实时通信, 多台客户端共享交通流数据, 并将仿真评价数据反馈给服务器。在线仿

真系统的流程设计如图 1 所示, 系统采用滚动时间窗的方法运行交通仿真软件, 定时地更新交通流数据和输出仿真评价数据, 提高了在线仿真的时效性。

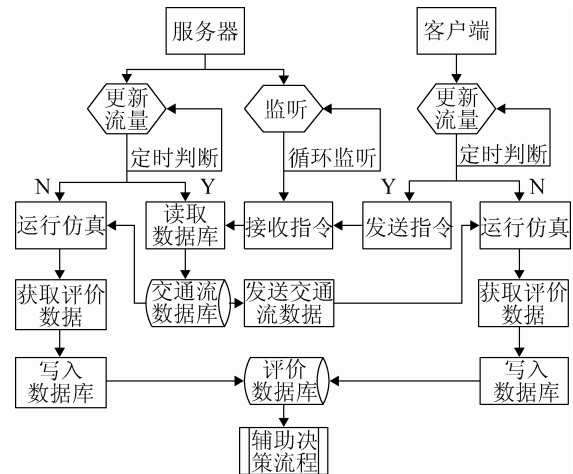


图 1 在线仿真系统的流程

### 1.2 在线仿真的功能结构

采用主从式的网络架构设计在线仿真系统的功能结构, 在线仿真系统包括服务器和客户端两层结构, 如图 2 所示。

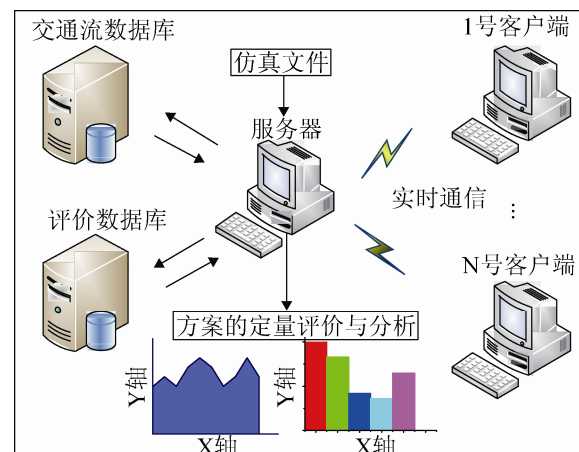


图 2 在线仿真系统的功能结构

服务器监控在线仿真系统的运行, 控制在线仿真系统的输入和输出, 服务器主要实现以下功能:

(1) 实时通信。使用数据通信技术 (例如 Socket、http 等) 循环侦听分机的指令, 进行安全控制, 并执行相应的操作。

(2) 定量地评价交通方案。使用数据库技术存储与读取仿真评价数据, 将各交通方案的评价数据以图表的形式展示出来, 最后通过辅助决策模块定量地评价交通方案的实施效果, 并选出相对最优的方案。

客户端保持与服务器的实时通信状态, 从服务器获取实时的交通流数据, 仿真某一种交通应急处置方案, 并将仿真评价数据反馈给服务器, 客户端主要实现以下功能:

(1) 运行交通仿真。每个客户端分别仿真某一种交通方案, 客户端从服务器获取交通流数据和仿真运行规则, 使用交互接口(例如 COM, OLE 等)控制仿真软件运行, 并输出实时的评价数据。

(2) 实时通信。使用数据通信技术, 在客户端和服务器之间建立实时的通信链路, 定时地向服务器请求动态的交通流数据, 并将实时的仿真评价数据反馈给服务器。

## 2 高速公路交通事故条件下的车辆运动模型和应急处置方案的评价指标

### 2.1 换道模型

在高速公路交通事故区域, 由于车道关闭导致大量的车辆执行必要换道行为和自由换道行为。在车道关闭区域的前端, 车辆为了绕开交通事故区域, 必需进行必要车道变换; 在车道关闭区域的末端, 车辆为了快速地通行, 会进行自由车道变换。车辆换道过程如图 3 所示。

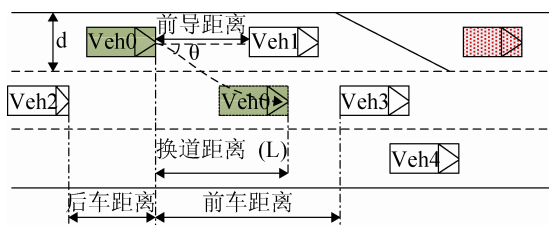


图 3 车道关闭区域车辆换道示意图

车辆 0 的换道行为受到车辆 1、车辆 2 和车辆 3 的限制, 车辆 0 的驾驶员必需判断前车距离、前

导距离和后车距离, 车辆换道行为有如下规则:

- (1) 车辆 0 的换道行为尽量不影响车辆 2;
- (2) 在车辆 0 的换道过程中, 车辆 2 为了避免碰撞车辆 0, 会调整自身的速度, 但是车辆 1 和车辆 3 保持原运动状态;
- (3) 车辆 0 在换道过程中, 加速度保持恒定。

车辆换道的数学模型如下:

目标函数:

$$\min p = |p_0 a_0| + |p_2 a_2| \quad (1)$$

车辆 1 的约束条件:

$$S_1 - S_0 - Len(veh1) + \frac{1}{4} t_c (2V_1 + \frac{1}{2} a_1 t_c) \geq (\frac{L}{2} + \Delta L) + \frac{(V_0 + \frac{1}{2} a_0 t_c)^2 - (V_1 + \frac{1}{2} a_1 t_c)^2}{2a_{max}^d} \quad (2)$$

在车道关闭区域前端, 没有车辆 1 的情况下:

$$S - S_0 \geq \frac{V_0^2}{2a_{max}^d} \quad (3)$$

车辆 2 和车辆 3 的约束条件:

$$S_0 - S_2 - Len(veh0) + (L - \Delta L) \geq \frac{1}{2} t_c (2V_2 + a_2 t_c) + \frac{(V_2 + a_2 t_c)^2 - (V_0 + a_0 t_c)^2}{2a_{max}^d} \quad (4)$$

$$S_3 - S_0 - Len(veh3) + \frac{1}{2} t_c (2V_3 + a_3 t_c) \geq (L + \Delta L) + \frac{(V_0 + a_0 t_c)^2 - (V_3 + a_3 t_c)^2}{2a_{max}^d} \quad (5)$$

加速度和速度的约束条件:

$$a_0, a_1, a_3 \in [a_{max}^d, a_{max}^u], a_2 \in [a_{max}^{cpd}, 0] \quad (6)$$

$$V_i + a_i t_c \in [V_{min}, V_{max}], i = 0, 1, 2, 3 \quad (7)$$

$$\text{当 } a_0 \neq 0 \text{ 时, } t_c = \frac{\sqrt{(V_0^2 + 2a_0 d)} - V_0}{a_0} \quad (8)$$

$$\text{当 } a_0 = 0 \text{ 时, } t_c = \frac{d \csc \theta}{V_0}, \theta = \alpha + \beta \frac{V_{max} - V_0}{V_{max}} \quad (9)$$

各表达式的参数含义如下:

$p_2 \gg p_0 > 0$  表示 veh0 的换道行为尽量减少对 veh2 的影响;  $t_c$  表示车辆 0 换道的时间;  $V_i, a_i$  表示车辆  $i$  的速度和加速度;  $L$  表示车辆换道的行驶距离,  $\Delta L$  表示车辆的基本安全距离, 与车辆

的行驶速度有关;  $S_i$  表示车辆的纵坐标值,  $S$  表示车道封闭区域前端的纵坐标值;  $Len(vehi)$  表示车辆  $i$  的长度;  $a_{\max}^d, a_{\max}^u$  分别表示最大减速度和最大加速度;  $a_{\max}^{cpd}$  表示最大协调减速度, 当其他车辆变换到自己行驶的车道上, 驾驶员采取协调刹车的减速度的最大值;  $V_{\min}, V_{\max}$  分别表示车辆的最小速度和最大速度;  $d$  表示车道宽度,  $\theta$  表示车辆换道行驶曲线与道路纵向方向的夹角,  $\alpha, \beta$  分别取  $18^\circ, 10^\circ$ 。

## 2.2 跟驰模型

车辆的纵向行驶行为采用心理-生理模型, 以仿真步长( $T$ )为时间间隔, 首先判断车辆在  $t$  时刻是否满足跟驰条件, 如果车辆满足跟驰条件, 则计算出下一时刻后车速的允许范围; 如果车辆不满足跟驰条件, 则保持自由行使状态。车辆的跟驰模型的数学表达式如下:

跟驰状态的判断条件:

$$d(t) \leq \max \{d_{\text{safe}} + d_2, d_{\text{safe}} + t_r v_r(t)\} \quad (10)$$

$$d_{\text{safe}}(t) = d_0 + d_1 v_r(t) \quad (11)$$

跟驰行驶的约束条件:

$$\begin{cases} \Delta v(t) = (v_f(t) - v_r(t)) \in [-V_{\text{th}}, V_{\text{th}}], V_{\text{th}} > 0 \\ d(t) + \int_t^{t+T} (v_f(t) - v_r(t)) dt \geq d_{\text{safe}}(t+T) \\ a_r(t) = \frac{v_r(t+T) - v_r(t)}{T} \end{cases} \quad (12)$$

各表达式的参数含义如下:

$d_{\text{safe}}(t)$  表示  $t$  时刻的安全距离;  $d(t)$  表示  $t$  时刻前后两车的间距;  $d_0$  表示停车安全间距;  $d_1$  表示车头时距, 后车驾驶员对于某一个确定的速度而期望保持的车头时距;  $d_2$  表示跟车变量, 后车驾驶员在进入跟车状态之前, 允许的车辆间距超出安全距离的部分;  $T$  表示仿真步长的时间;  $t_r$  表示进入跟车状态的阈值, 允许后车在达到安全距离之前自由行驶的时间;  $v_f(t), v_r(t)$  分别表示同车道前后车辆在  $t$  时刻的速度;  $V_{\text{th}}$  表示跟车状态的阈值, 跟车状态下前后两车速度差值的最大值;  $a_r(t)$  表示  $t$  时刻后车的加速度。

## 2.3 高速公路交通事故应急处置方案的评价指标

选取 5 个指标(路网负载程度  $Z$ , 路网平均运行速度  $V$ , 路网的平均总延误时间  $D$ , 平均停车次数  $S$  和分流交通量)评价交通应急处置方案的实施效果。高速公路路网的负载程度  $Z$  的计算公式如下, 通过统计分析仿真评价数据得出其他 4 个评价指标。

$$Z = \left( \sum_{j=0}^3 w_j \frac{\sum_{i=1}^{N_j} k_i v_i}{C_j} \right)^\tau \quad (13)$$

$C_j$  分别代表高速公路基本路段、合流区、分流区和交通事故导致车道关闭区域的单车道最大服务交通量, 单位 pcu/h;  $w_j$  分别代表高速公路各区段的权重;  $N_j$  分别表示各区段内检测子区间的数量;  $k_i, v_i$  分别代表某一个检测子区间的密度 (pcu/km/ln) 和平均运行速度 (km/h);  $\tau, \tau \geq 1$  表征道路负载程度的修正指数

## 3 基于 VISSIM-COM 的道路交通事故应急预案设计与在线仿真分析

### 3.1 利用 VISSIM-COM 实现车辆运动模型

利用 VISSIM COM 接口<sup>[19-20]</sup>提供的对象, 实现高速公路交通事故条件下的车辆运动模型。以一个仿真步长为时间间隔, 使用滚动时间窗的方法, 不断地更新车辆的运动状态, 模拟现实条件下驾驶员的驾驶行为。车辆驾驶行为决策流程如图 4 所示。

### 3.2 仿真实例

选择广东省某典型高速公路路段, 如图 5 所示。设置典型的交通事故: 在交通状况良好情况下, 单向三车道的高速公路, 因车辆追尾事故导致一个车道关闭。整个路网分为 4 个区段: 合流区 (Merging Area, MA)、基本路段 (Basic Section, BS)、分流区 (Diverging Area, DA) 和车道关闭区域 (Lane Closure, LC)。

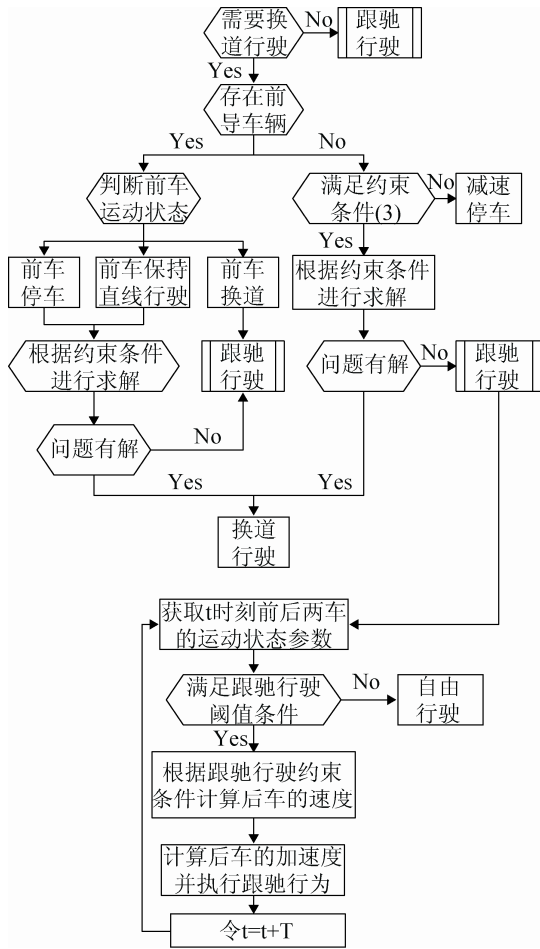


图 4 车辆驾驶行为控制流程

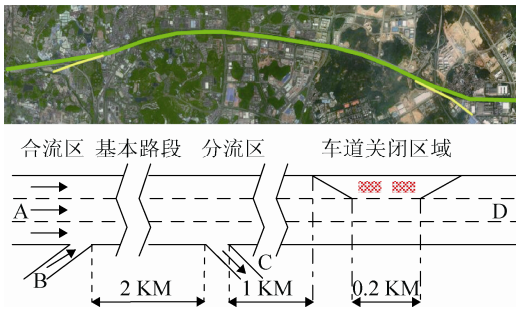


图 5 高速公路路网结构

定义 C 出口的交通量与 A, B 进口交通量的总和的比值为交通分流比例  $\lambda$ 。交通事故发生前, 分流比例  $\lambda = 0.05$ ; 交通事故发生后, 通过出口匝道的分流控制, 调节进入车道关闭区域的交通量, 从而避免交通事故导致的车道关闭区域发生严重的交通阻塞, 交通应急预案的设计如图 6 所示。根据本文提出的适用于高速公路交通事故的车辆运动模型设置仿真参数, VISSIM 仿真软件的仿真参数

设置如表 1 所示。通过提高仿真运行速度, 可以在短时间内获取方案的评价数据, 从而提高在线仿真系统的时效性。

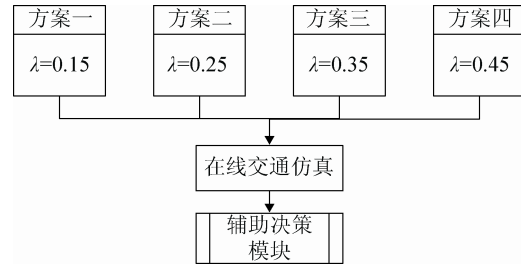


图 6 交通应急处置方案的设计

表 1 仿真参数的设置

仿真参数	数值设置
车道宽度	3.75 m
交通流量	$q_A = 3500 \text{ veh/h}, q_B = 500 \text{ veh/h}$
交通组成	小客车 90%, 大客车 5%, 货车 5%
最大速度 $V_{\max}$	100 km/h
期望速度	80 km/h
最大减/加速度	$-4 \text{ m/s}^2, 4 \text{ m/s}^2$
$a_{\max}^d, a_{\max}^u$	
最大协调减速度 $a_{\max}^{pd}$	$-2 \text{ m/s}^2$
停车安全间距 $d_0$	2 m
车头时距 $d_1$	1.5 s
仿真精度	10steps/sim.sec
仿真时间	3 600sim.sec
其他参数	默认值

### 3.3 交通应急处置方案实施效果分析

(1) 通过路段评价接口, 分段采集高速公路路网的密度-速度数据, 路网负载程度 Z 的参数设置及计算值如表 2 所示。

表 2 路网负载程度 Z 的参数设置及计算

参数	合流区	基本路段	分流区	车道关闭区域	
$N_j$	3	4	3	2	
$w_j$	0.2	0.2	0.3	0.3	
$C_j$	1 700	1 800	1 600	1 450	
$\tau$	2				
路网负载程度计算值					
	无措施	方案一	方案二	方案三	方案四
Z	7.49	1.49	0.66	0.54	1.11
阻塞区段	MA, BS, DA, LC	LC	无	无	BS, DA

(2) 通过行程区间检测器获取整个路网的平均总延误时间、平均停车次数和平均运行速度, 结果如图 7~9 所示。由图可知, 适当地提高交通分流比例可以有效的减少车辆的延误时间和停车次数, 提高行程速度。当分流比例较低时, 进入车道关闭区域的交通流量大于该区域的通行能力, 导致车道关闭区域发生交通拥堵, 排队车辆的积累导致路网处于拥堵状态; 当分流比例过高时, 分流区域的车辆将会排队驶出匝道, 造成分流区域发生交通堵塞, 上游的交通流也将受到影响。

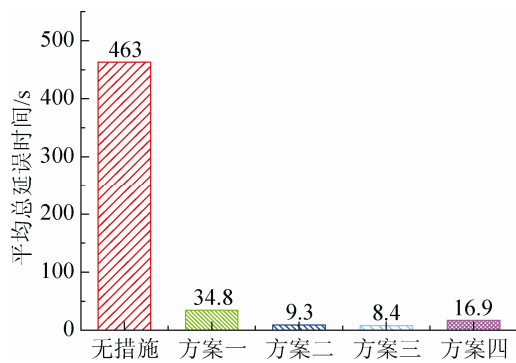


图 7 路网的平均总延误时间

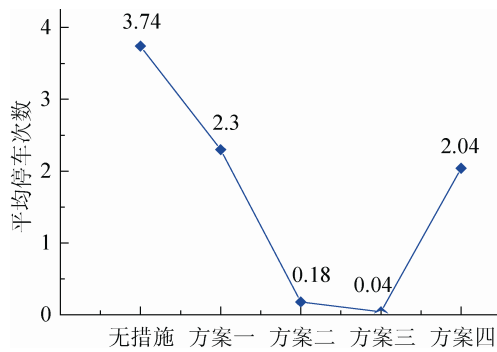


图 8 平均停车次数

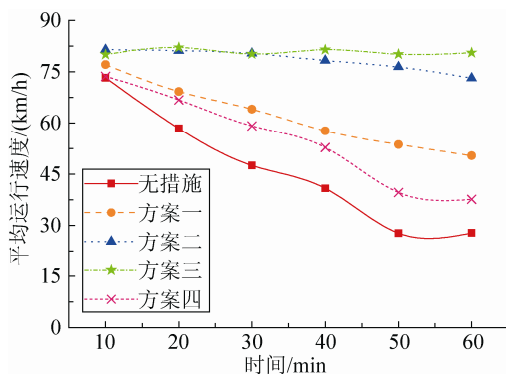


图 9 路网的平均运行速度

(3) 综合本文提出的交通事故应急处置方案评价指标(路网负载程度  $Z$ , 平均总延误时间, 平均停车次数, 平均运行速度和分流比例  $\lambda$ ), 分析交通应急处置方案的实施效果, 并执行辅助决策流程, 辅助决策流程如图 10 所示。

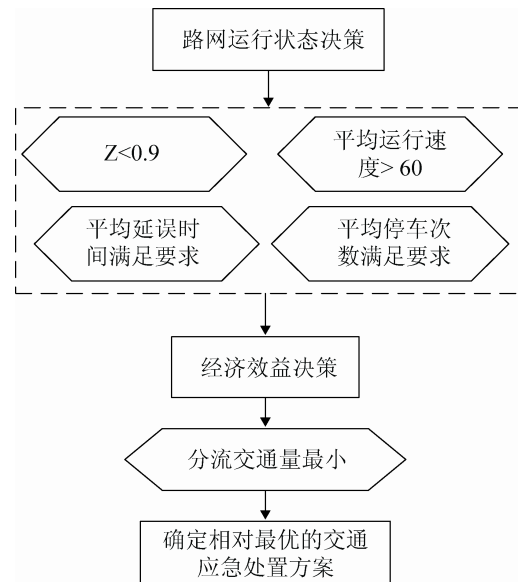


图 10 辅助决策流程

本文搭建的在线仿真系统采用独立的线程封装交通仿真模块, 仿真运行的速度可以达到 30~50 sim.sec/s, 即 2 min 左右就能获取方案运行 1 h 的评价数据, 定量地评价多种交通应急预案, 因此在线微观仿真方法的时效性较高。在本文的案例中, 在保证道路通畅和尽量不影响收费道路经济效益的前提下, 方案二是最合理可行的交通应急处置方案, 该方案不仅保证了整个高速公路路网交通流的通畅性和安全性, 使得交通流处于稳定状态, 而且对收费道路的影响最小。

## 4 结论

交通事故发生后如何采取合理的措施, 很难采用解析性的数学模型进行描述。通过微观在线仿真系统, 快速、定量地评估多种应急处置方案的实施效果, 是一种对交通事故进行快速处置的科学方法。本文通过 VISSIM-COM 接口, 在 Visual Studio 2010 平台上建立了一个微观在线仿真决策支持系



统,应用于高速公路交通事故应急处置,结果表明该系统能够快速、定量地评价多种交通应急预案,并且选择效果最好的作为实施方案,为高速公路管理部门快速处置紧急交通事件提供一种科学、有效的辅助决策手段。

下一步的研究方向:选择更多场景对本文提出的方法进行测试,将仿真路网拓展到更复杂的高速公路路网,并且将所开发的系统应用于实际的交通管理当中。

### 参考文献:

- [1] Transportation Research Board 2010 Executive Committee. Highway Capacity Manual 2010 [M]. Washington DC, USA: Transportation Research Board of the National Academies, 2010.
- [2] Jinxian Weng, Qiang Meng. Estimating capacity and traffic delay in work zones: An overview [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies (S0968-090X), 2013, 35(9): 34-45.
- [3] 曹志远, 郭忠印, 张起森, 等. 高速公路重大交通事故时空影响范围研究[J]. 公路工程, 2011, 36(6): 55-58.
- [4] 余贵珍, 刘玉敏, 金茂菁, 等. 基于交通波的高速公路事故的交通影响分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(10): 1420-1424.
- [5] Essam Radwan, Zaier Zaidi, Rami Harb. Operational Evaluation of Dynamic Lane Merging In Work Zones with Variable Speed Limits [J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences (S1877-0428), 2011, 16(16): 460-469.
- [6] Long kejun, Yun Meiping, Zheng Jianlong, et al. Model Predictive Control for Variable Speed Limit in Freeway Work Zone [C]// Proceedings of the 27th Chinese Control Conference. Kunming, Yunnan, China: China Control Conference, 2008: 488-493.
- [7] 柴干, 高祥云. 路段拥挤条件下的高速公路匝道协调控制方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2013, 43(3): 654-658.
- [8] 王兴举, 高桂凤, 宫城俊彦. 高速公路单点入口匝道 RLRM 控制方法 [J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(3): 101-107.
- [9] 卢杨, 曹光辉. 事故条件下高速公路交通组织研究 [J]. 内蒙古科技与经济, 2014, 313(15): 83-85.
- [10] Lei Zhang, David Levinson. Ramp metering and freeway bottleneck capacity [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice (S0965-8564), 2010, 44(4): 218-235.
- [11] 邹智军. 新一代交通仿真技术综述 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22(9): 2037-2042.
- [12] 张国伍. 动态交通仿真实论应用与发展 [J]. 交通运输系统工程及信息, 2014, 14(2): 1-6.
- [13] 童文聪, 杨磊, 李君羨. 高速公路应急预案管理仿真平台设计与应用[J]. 交通信息与安全, 2013, 31(4): 139-143.
- [14] 成卫, 张东明, 肖海承. 路网可靠性动态交通仿真及评价系统研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(12): 2986-2992.
- [15] 倪安宁, 高林杰, 肖光年. 交通网络微观仿真并行化实现方法 [J]. 系统管理学报, 2014, 23(4): 457-462.
- [16] 黄敏, 饶明雷, 李敏. 面向仿真的车道级基础路网模型及其应用 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(3): 657-661.
- [17] 罗永琦, 燕雪峰, 冯向文, 等. 动态数据驱动的交通仿真框架研究与实现 [J]. 计算机科学, 2014, 41(6A): 459-462, 480.
- [18] 奇格奇, 吴建平, 杜怡曼, 等. 基于交通仿真的老城区交通微循环方案设计[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(10): 2514-2518.
- [19] PTV Planung Transport Verkehr AG. VISSIM 5.20 COM User Manual, Planung Transport Verkehr (PTV) [M]. Karlsruhe, Germany: PTV AG, 2009.
- [20] PTV Planung Transport Verkehr AG. VISSIM 5.20 User Manual, Planung Transport Verkehr (PTV) [M]. Karlsruhe, Germany: PTV AG, 2009.