

文章编号:1671-8879(2012)06-0078-05

# 交通事故下高速公路行车安全评估

刘俊德<sup>1,2</sup>, 徐 兵<sup>3</sup>, 梁永东<sup>1</sup>, 马荣国<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 沧州市交通运输局, 河北 沧州 061000;

3. 辽宁省交通厅运输管理局, 辽宁 沈阳 110003)

**摘 要:** 为了对高速公路交通事故条件下的行车安全作出合理评估, 通过对交通事故下的变换车道行为进行分析, 发现恰好满足不与前车追尾又不与后车相撞即临界条件下的变换车道行为更容易引发交通事故, 故选取临界条件下的变车道行为即交通冲突作为交通事故下行车安全的评估指标; 采用改进的换车道规则和 NaSch 模型的跟车规则进行车辆位置和速度更新, 根据交通流状况采用相应的车辆到达规律, 分别输入不同的大车比例和饱和度仿真参数, 从而对交通事故下高速公路混合车流进行仿真。研究结果表明: 不同的大车比例和饱和度下的交通冲突数反映了高速公路行车安全状态, 据此将交通事故下高速公路行车安全等级划分为较危险、危险、安全、较安全 4 个等级; 最终得出一种交通事故中车辆变换车道行为下的行车安全的评估方法。

**关键词:** 交通工程; 交通事故; 行车安全; 元胞自动机; 评估

中图分类号: U491

文献标志码: A

## Traffic safety assessment of expressway in the accident

LIU Jun-de<sup>1,2</sup>, XU bing<sup>3</sup>, LIANG Yong-dong<sup>1</sup>, MA Rong-guo<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Department of Transportation, Government of Cangzhou, Cangzhou 061000, Hebei, China

3. Department of Transportation, Government of Liaoning Province, Shenyang 110003, Liaoning, China)

**Abstract:** In order to make a reasonable assessment of traffic safety on the expressway in the accident, the lane changing behavior was analyzed under the condition of traffic accident. It was found that lane changing behavior just satisfied the critical condition of no rear-end with front vehicle and no collision with the rear car was more likely to lead to accidents. Therefore, the changing lane behavior under critical conditions, that is traffic conflict, was selected as road safety evaluation indicators under the condition of accidents. According to the rules of improved transfer road and following car rules of NaSch model, the vehicle location and speed were updated, the appropriate vehicle arrival law was determined by the traffic flow conditions, and simulation parameters of the carts ratio and the saturation were put in respectively, and then the mixed traffic flow of highway was simulated in the accident. The results show that the traffic conflicts under different carts ratios and saturations reflect road safety of expressway, the highway traffic safety is classified as more dangerous, dangerous, safe, and safety. The evaluation method of traffic safety of accident has been obtained. 3 tabs, 2 figs, 14 refs.

**Key words:** traffic engineering; accident; traffic safety; cellular automata; assessment

收稿日期: 2012-01-10

基金项目: 交通运输部西部交通建设科技项目(2011 318 820 1420); 河北省沧州市科学技术局科技计划项目(10ZD138)

作者简介: 刘俊德(1964-), 男, 河北沧县人, 沧州市交通运输局教授级高级工程师, 长安大学工学博士研究生, E-mail: jtt@gl.chd.edu.cn。

## 0 引言

近年来,在中国高速公路上屡屡发生的重特大二次交通事故,造成了重大的生命财产损失和长时间的交通拥堵。因此,合理评估交通事故下高速公路行车安全程度,并依据安全评估结果采用相应的管理与控制策略,对预防二次或多次事故的发生至关重要。国外关于高速公路交通安全的研究比较多,主要包括对事故的预防、管理、紧急救援、预警等方面,而交通事故的二次预警只是告知驾驶人前方发生事故,没有对事故后行车的安全情况进行说明<sup>[1-4]</sup>。中国对高速公路行车安全的评估,多是事故前基于事故数、事故率的评估,也有基于交通冲突技术对交通安全的评估,但目前还没有利用交通冲突技术对事故后的高速公路行车安全状态进行评估<sup>[5-8]</sup>。鉴于此,本文以交通冲突数为评估指标,建立元胞自动机仿真模型,从而对交通事故条件下高速公路行车安全等级进行划分。

## 1 评估指标的确定

交通事故发生时,由于事故车道被占用,形成一定的交通瓶颈,从而引发了事发点附近变换车道行为,扰乱正常的交通行为。在变换车道过程中,驾驶人必须经过寻找相邻车道间隙、调整自身车速和执行换车道 3 个过程。其中,相邻车道间隙大小(变换车道条件)的选择对换车道影响较大。其变换车道的条件为:①另一车道前方有合适的空间,确保当前车辆进入到另一车道时不与前面车辆追尾;②另一车道后方也要有足够的空间,确保当前车辆进入到另一车道时不会与后面车辆发生碰撞。这里把恰好满足变换车道的条件定义为临界条件。

临界条件下的变换车道行为更容易引发刮蹭、侧碰、追尾等事故。因此,将临界条件下的一次变换车道行为定义为一次交通冲突,并把交通冲突数作为交通事故安全评估的一个很重要的指标。

## 2 元胞自动机仿真的理论基础

### 2.1 模型演化规则

本文对双车道高速公路交通流进行仿真模拟,双车道模型的更新步骤分为两步:第一步,采用单车道模型,同步更新车辆位置;第二步,根据换车道规则,同步变更车道。

#### 2.1.1 跟车规则

元胞自动机 (cellular automata, CA) 模型已成

为目前对交通流进行高速微观模拟所采用的主要模型。针对高速公路交通流 CA 模型,主要有 NaSch 模型、FI 模型及其扩展模型<sup>[9-12]</sup>。本文在总结和分析 NaSch 模型和 FI 模型区别的基础上,结合交通事故下交通流的特性,选取 NaSch 模型为单车道跟车规则。NaSch 模型用车辆的确定性加速、确定性减速、随机减速、位置更新 4 个步骤,描述了时走时停和自由运动到阻塞相对应的交通流的基本现象。

NaSch 模型的演化规则为

(1) 确定性加速

$$v_{ji} = \min(v_{ji} + 1, v_{\max})$$

(2) 确定性减速

$$v_{ji} = \min(v_{ji}, g_{ji})$$

(3) 随机减速

$$v_{ji} = \max(v_{ji} - 1, 0)$$

(4) 位置更新

$$x_{ji} = x_{ji} + v_{ji}$$

式中:  $v_{ji}$  为第  $j$  车道上第  $i$  辆车在  $t$  时刻的速度;  $v_{\max}$  为车辆能达到的最大速度;  $g_{ji}$  为第  $j$  车道上第  $i$  辆车  $t$  时刻前方紧邻车辆间的间隙数;  $x_{ji}$  为第  $j$  车道上第  $i$  辆车在  $t$  时刻的位置。

#### 2.1.2 改进的换车道规则

针对 NS 模型的单车道、不可超车等局限性,很多学者相继对其进行改进和扩展,其中 Chowdhury 等提出的 STCA (symmetric two-lane cellular automata) 模型就是一个 NS 扩展模型,其最大特点是引入了更加符合现实交通流状态的双车道换道规则<sup>[13]</sup>。STCA 模型的换车道规则为

$$C_n = \begin{cases} 1 - C_n & d_n < \min\{v_n + 1, v_{\max}\}, \\ & d_{n, \text{other}} > d_n, d_{n, \text{back}} > d_{\text{safe}} \\ C_n & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $d_n$ 、 $d_{n, \text{other}}$ 、 $d_{n, \text{back}}$  分别为第  $n$  辆车与前方车辆的间距、与相邻车道前方车辆的间距、与相邻车道后方车辆的间距;  $d_{\text{safe}}$  为模型中限定的安全换道间距,在 STCA 模型中,  $d_{\text{safe}} = v_{\max}$ ;  $C_n$  为第  $n$  辆车所在车道,且  $C_n$  为 1 或 0;  $d_n < \min\{v_n + 1, v_{\max}\}$  表示第  $n$  辆车在原车道受到阻挡;  $d_{n, \text{other}} > d_n$  表示该受阻车辆可以在另一车道上达到更快的速度;  $d_{n, \text{back}} > d_{\text{safe}}$  表示如果换道,安全换道间距符合条件,即在另一条车道上,后方的车辆与其有一定的距离。

通过对交通事故下行车安全的影响研究以及交通流特性分析,得知交通事故下会产生交通冲突。由于原有的双车道元胞自动机模型不能满足本文研究的要求,故需要对其进行改进,加入交通冲突的判

别以及记录交通冲突数,并依此来进行交通事故行  
车安全评估。

原模型中采用  $d_{n,back} > d_{safe}$  来判别换道的安全  
性,本文采用临界状态下的车辆换道行为作为冲突  
数的判定条件,即采用  $d_{n,back} \geq d_{safe}$ ,模拟出安全换  
道行为和临界状态下的换道行为。当  $d_{n,back} = d_{safe}$   
时,利用 Matlab 编写的程序自动记录为一次交通冲  
突。因此,改进的 STCA 模型的换车道规则为

$$C_n = \begin{cases} 1 - C_n & d_n < \min\{v_n + 1, v_{max}\}, \\ & d_{n,other} > d_n, d_{n,back} \geq d_{safe} \\ C_n & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

## 2.2 车辆到达规律的确定

已有研究表明:车流密度不大且不受其他干扰  
因素的影响时,车辆到达率大致符合泊松分布;交通  
拥挤时,车辆到达率大致符合二项分布或广义泊松  
分布;交通受周期性干扰时(如受交通信号启停中  
断),车辆到达率则大致符合负二项分布<sup>[14]</sup>。因此  
在车辆到达模型中,可采用以上规则对交通流进行  
仿真。

## 3 仿真方案及结果分析

### 3.1 仿真方案建立

将道路视为长度为  $L$  的二维离散格点链,即一  
个  $3 \times n$  矩阵。每一时刻,格点上可能被 2 种长短不  
同、最大速度不同的车辆占据。小车占据一个格点,  
具有的最大速度为 4 cells/s; 大车占据 2 个格点,具  
有的最大速度为 3 cells/s。每一种类型的车辆状态  
由其本身的速度  $v_{ji}$  ( $i=1,2,\dots,n, j=1,3$ ) 所表示,  
用  $x_{ji}$  表示第  $j$  ( $j=1,3$ ) 条车道第  $i$  个元胞上是否  
有车辆存在,若值为 0,表示没有车辆;若值为非零,  
表示有车辆(大车或小车)。在每一演化时步中,车辆  
状态都按照改进的换车道规则与 NaSch 模型的跟  
车道规则进行速度和位置的更新。在矩阵中,将一  
定长度的一维数组值设置为 0,表示交通事故所占  
用的车道长度。在此车道长度内,不能有车辆驶入,  
当车辆行驶到交通事故发生处时,车辆必须选择合  
适的空隙变换车道。

在数值模拟时,设初始时刻车道上全空,即此时  
道路上没有车辆;然后在车道始端(左端)以一定的  
方式不断地产生车辆,而行驶在车道上的车辆根据  
其类型分别按上述变换车道、跟车道规则进行速度  
和位置更新;在车道终端,车辆以一定的概率离去。  
取格点数  $n=500$ ,每格点代表实际长度 7.5 m,即车  
道长度  $L=3\,750$  m,演化时间步长为 1 s,运行时间

为 20 min,取多次结果的平均值,以便消除随机性  
对结果的影响。

针对不同大车比例与交通量分别进行仿真,大  
车比例取 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、  
80%、90%;交通量取 500、600、800、1 000、1 200、  
1 500、1 700、1 900 veh/h。交通事故下双车道混合  
车流的元胞自动机仿真步骤:

第一步:初始化。①车道的初始化;②车辆的初  
始化;③速度的初始化。

第二步:换车道。①判断换车道条件是否满足,  
若满足,则继续,否则转下一步;②变换车道;③跟  
车道。

第三步:跟车道。①加速;②减速;③位置更新。

第四步:计算输出量以及更新图像。

第五步:重复以上各步骤,直到满足终止条件  
为止。

### 3.2 仿真结果分析

由于元胞自动机仿真时的通行能力与实际道路  
的通行能力之间存在差异,为了使仿真结果与实际  
情况建立联系并取得一致,在此使用交通饱和度作  
为中介研究交通冲突数随交通量的变化规律,即交  
通量需转化为交通饱和度,间接建立与交通冲突数  
的关系。取仿真时的通行能力为 2 000 veh/h,将上  
述交通量转化为饱和度,分别为 0.25、0.30、0.40、  
0.50、0.60、0.75、0.85、0.95。

#### 3.2.1 饱和度一定时不同大车比例下的冲突数

为了研究事故状态下交通冲突数随大车比例  
的变化规律,本文分别针对饱和度为 0.25、0.30、  
0.40、0.50、0.60、0.75、0.85、0.95 时,不同大车  
比例下的情况进行仿真,结果如图 1 所示。

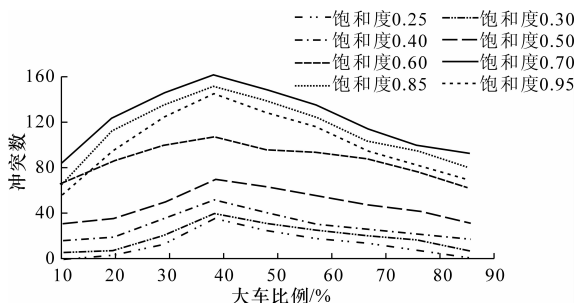


图 1 饱和度一定时不同大车比例下的冲突数  
Fig. 1 Number of conflicts under a certain saturation  
when carts ratios are different

从图 1 中可以看出,不同饱和度情况下,冲突  
数随大车比例的变化具有相似的特性。其中,在大  
车比例为 40% 时,交通冲突数达到最大值;当大车

比例小于 40%时,冲突数随大车比例的增大而增大;当大车比例大于 40%时,冲突数随大车比例的增大而减小。这说明,在混合交通流的情况下,存在一个大车比例值,此时的交通冲突数达到最大值,即交通流运行状况最不安全;而大车比例小于或者大于此值时,交通冲突数随着大车比例的变化向两侧递减,行车越来越安全。

3.2.2 大车比例一定时不同饱和度下的冲突数

为了研究交通事故状态下交通冲突数随饱和度的变化特性,本文针对大车比例为 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%时不同饱和度下的情况分别进行仿真,结果如图 2 所示。

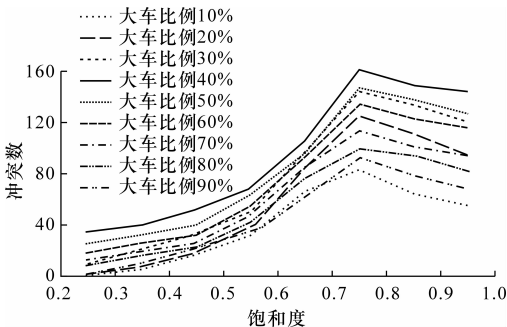


图 2 大车比例一定时不同饱和度下的冲突数  
Fig.2 Number of conflicts under a certain ratio of carts when the saturations are different

从图 2 中可以看出,在不同大车比例情况下,冲突数随饱和度的变化具有相似的特性。随着饱和度的不断增大,交通冲突数也在不断增加,当增加到一定程度时,交通冲突数随饱和度的增大反而减少,其中最大值(转折点)一般在饱和度为 0.75 处取得。

这说明,在交通拥挤出现以前,随着饱和度的不断增大,交通流处于非自由流状态,驾驶人加、减速以及变换车道操作频繁,交通冲突数也随之增加,行车危险性也越来越大;但随着饱和度的继续增大,交通流将处于拥挤状态,大多数车辆处于稳定的跟车状态,因此交通冲突数将会减少,行车危险性越来越小。

4 安全等级划分

根据图 1、图 2 的拐点,在无拐点处采用均匀分布的思路,对上述结果进行分析。将饱和度相同时不同大车比例下的交通冲突数按大车比例的不同划分为 4 个安全等级,见表 1;同理,把相同大车比例时不同饱和度下的交通冲突数按饱和度的不同也划分为 4 个安全等级,见表 2。

表 1 饱和度相同时不同大车比例下的安全等级划分

Tab.1 Security classification under the same saturation and different carts ratios				
大车比例 $p/\%$	(0,10)或 (90,100)	(10,20)或 (70,90)	(20,30)或 (50,70)	(30,50)
安全等级	安全	较安全	较危险	危险

表 2 大车比例相同时不同饱和度下的安全等级划分

Tab.2 Security classification under the same carts ratio and different saturations				
饱和度 $s$	(0,0.40)	(0.40,0.60) 或(0.95,1)	(0.60,0.70) 或(0.90,0.95)	(0.70,0.90)
安全等级	安全	较安全	较危险	危险

为了预防交通事故的发生,并对驾驶人起到警示作用,对不同大车比例和饱和度下的安全等级划分采用悲观法进行评估,即取保守值。悲观法也称为 Wald 决策法。决策者从最保守的观点出发,对客观情况做最坏的估计,对每个方案按最不利的状态发生来考虑问题;然后在最坏的情况下选出最优方案。因此,在大车比例和饱和度结合的情况下,交通事故下高速公路行车安全等级划分见表 3。

表 3 不同大车比例和饱和度下的安全等级划分

Tab.3 Security classification under different saturations and different carts ratios					
大车比例 $p/\%$		(0,10)或 (90,100)	(10,20)或 (70,90)	(20,30)或 (50,70)	(30,50)
饱和度 $s$	(0,0.40)	安全	较安全	较危险	危险
	(0.40,0.60) 或(0.95,1)	较安全	较安全	较危险	危险
	(0.60,0.70) 或 (0.90,0.95)	较危险	较危险	较危险	危险
	(0.70,0.90)	危险	危险	危险	危险

5 结 语

(1)通过交通事故下交通特性分析,定义临界条件下的一次变换车道行为为一次交通冲突,结果表明将其作为事故下行车安全的评估指标是合理的。

(2)根据 NaSch 模型的跟车道规则和改进的双车道换车道规则,进行车辆速度和位置的更新,模拟交通事故下高速公路双车道的交通流,仿真结果表明,采用元胞自动机模型对交通冲突数进行仿真计算是合理的。

(3)输入仿真参数大车比例和饱和度得到相应的交通冲突数,并据此将交通事故条件下高速公路的安全等级划分为较安全、安全、较危险和危险 4 个等级。

(4)本文提出的行车安全评估方法也适用于由其他原因引起的变换车道行为下的行车安全评估;所得出的安全评估等级划分标准仍需结合实际交通事故统计数据修正。

## 参考文献:

## References:

- [1] 杨 晋. 高速公路预警管理系统若干关键技术研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2007.  
YANG Jin. Study on some key technologies of the highway warning system [D]. Wuhan:Wuhan University of Technology,2007. (in Chinese)
- [2] 赵 华. 国外交通安全管理多措并举[J]. 现代职业安全,2009(10):63-65.  
ZHAO Hua. Foreign traffic safety administration take many measures[J]. Modern Occupational Safety,2009 (10):63-65. (in Chinese)
- [3] 程 琦,余 廉. 构建高速公路灾害预警指标体系的探讨[J]. 武汉理工大学学报:信息与管理工程版,2002,24(6):45-47.  
CHENG Qi,SHE Lian. A study of how to construct forewarning index systems to help avoid expressway disasters[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 2002,24(6):45-47. (in Chinese)
- [4] 宫子龙. 高速公路事故管理研究[D]. 西安:长安大学,2001.  
GONG Zi-long. Study on highway incident management [D]. Xi'an:Chang'an University,2001. (in Chinese)
- [5] 郑荣莉. 高速公路二次交通事故预警及信息发布研究[D]. 西安:长安大学,2010.  
ZHENG Rong-li. The study of the secondary traffic accident fore-warning of the expressway and information release [D]. Xi'an:Chang'an University,2010. (in Chinese)
- [6] 周俊昌,常玉林,郭 敏,等. 基于交通冲突技术的高速公路安全评价[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2011,30(5):974-977.  
ZHOU Jun-chang,CHANG Yu-lin,GUO Min,et al. Safety evaluation of highway based on the traffic conflict technique[J]. Journal of Chongqing University;
- Natural Science,2011,30(5):974-977. (in Chinese)
- [7] 张洪宾. 道路交通安全预警系统关键理论与方法研究[D]. 青岛:山东理工大学,2006.  
ZHANG Hong-bin. Study on critical theories and methods for road traffic safety warning system[D]. Qingdao:Shandong University of Technology,2006. (in Chinese)
- [8] 胡功宏. 高速公路交通流状态安全性评价及对策研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2008.  
HU Gong-hong. Reaserch on safety evaluation and improvement strategies of freeway traffic flow[D]. Chongqing:Chongqing Jiaotong University,2008. (in Chinese)
- [9] Sigurour F H,Roland C,Andreas P,et al. A high-resolution cellular automata traffic simulation model with application in a freeway traffic information system [J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,2004,19(5):338-350.
- [10] Emmerich H,Rank E. An improved cellular automaton model for traffic flow simulation[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,1997,234 (3):676-686.
- [11] Fukui M,Ishibashi Y. Traffic flow in 1D cellular automaton model including cars moving with high speed [J]. Journal of the Physical Society of Japan,1996,65 (6):1868-1870.
- [12] 雷 丽,薛 郁,戴世强. 交通流的一维元胞自动机敏感驾驶模型[J]. 物理学报,2003,52(9):2121-2126.  
LEI Li, XUE Yu, DAI Shi-qiang. One-dimensional sensitive driving cellular automaton model for traffic flow[J]. Journal of Physics,2003,52(9):2121-2126. (in Chinese)
- [13] 贾 斌,高白友,李克平,等. 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟[M]. 北京:科学出版社,2006.  
JIA Bin, GAO Bai-you, LI Ke-ping, et al. Modeling and simulation of the transport system based on cellular automata [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [14] 张生瑞. 交通流理论[M]. 北京:中国铁道出版社,2010.  
ZHANG Sheng-rui. Traffic flow theory[M]. Beijing: China Railway Press,2010. (in Chinese)