

8-17-2020

## Cellular Automata Model of Non-motor Vehicle Flow Considering Reverse Vehicles

Xiyan Kuang

*School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;*

Weihua Cao

*School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;*

Wu Yun

*School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, 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.

---

## Cellular Automata Model of Non-motor Vehicle Flow Considering Reverse Vehicles

### Abstract

**Abstract:** The phenomenon of non-motor vehicle reverse driving in one-way non-motor vehicle road occurs in most China's cities. *A cellular automata model of non-motor vehicle flow mixed with reverse driving vehicles was established, which considered the different lane-changing rules of the reverse and forward vehicle.* The results of the computer numerical simulation for the model show that, in low density stage, the ratio of reverse vehicles has little effect on flow and speed, and the capacity and the average speed decrease as the ratio of reverse vehicles increases. Lane-changing ratio has a great influence on the mixed non-motor vehicles traffic flow, when the lane-changing ratio is small, even under low density, the traffic jams is prone to happen. When the ratio of reverse vehicles is larger, this model has become a two-way road non-motorized traffic flow model with mutual interference.

### Keywords

traffic engineering, traffic flow model, non-motor vehicle flow, reverse vehicles, cellular automata

### Recommended Citation

Kuang Xianyan, Cao Weihua, Wu Yun. Cellular Automata Model of Non-motor Vehicle Flow Considering Reverse Vehicles[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(2): 268-274.

## 考虑混入逆行车辆的非机动车流元胞自动机模型

邝先验, 曹韦华, 吴贇

(江西理工大学电气工程与自动化学院, 赣州 341000)

**摘要:** 我国各大城市均有不同程度非机动车在单向非机动车道路上逆向行驶的现象。针对逆行车辆混入后的非机动车行驶特性, 考虑逆向及正向行驶车辆遵循不同的换道规则, 建立一种混入逆行车辆的非机动车流元胞自动机模型。模型的数值模拟结果表明: 在低密度阶段, 逆行车辆比例对于系统流量和速度的影响较小, 而通行能力与平均速度随着逆行车辆比例的增大均降低; 换道概率对非机动车混合交通流影响较大, 当换道概率较小时, 即使在低密度下也容易发生交通堵塞; 当逆行车辆比例较大时, 该模型成为了一个相互干扰的双向道路非机动车交通流模型。

**关键词:** 交通工程; 交通流模型; 非机动车流; 逆行车辆; 元胞自动机

中图分类号: U491 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 02-0268-07

## Cellular Automata Model of Non-motor Vehicle Flow Considering Reverse Vehicles

Kuang Xianyan, Cao Weihua, Wu Yun

(School of Electrical Engineering and Automation, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** The phenomenon of non-motor vehicle reverse driving in one-way non-motor vehicle road occurs in most China's cities. A cellular automata model of non-motor vehicle flow mixed with reverse driving vehicles was established, which considered the different lane-changing rules of the reverse and forward vehicle. The results of the computer numerical simulation for the model show that, in low density stage, the ratio of reverse vehicles has little effect on flow and speed, and the capacity and the average speed decrease as the ratio of reverse vehicles increases. Lane-changing ratio has a great influence on the mixed non-motor vehicles traffic flow, when the lane-changing ratio is small, even under low density, the traffic jams is prone to happen. When the ratio of reverse vehicles is larger, this model has become a two-way road non-motorized traffic flow model with mutual interference.

**Keywords:** traffic engineering; traffic flow model; non-motor vehicle flow; reverse vehicles; cellular automata

## 引言

元胞自动机模型(cellular automaton, CA)由于其灵活、可调、算法简单、在计算机上容易进行仿

真的特点, 在微观交通流模型研究中得到了广泛的应用。1992年, Nagel 和 Schreckenberg<sup>[1]</sup>提出了著名的 Nasch 模型, 该模型在一定程度上可以模拟出实际的交通状况, 之后相继出现了一些改进的模型, 如随机延迟刹车模型<sup>[2]</sup>、愤怒驾驶模型<sup>[3]</sup>等。1996年, Rickert 等<sup>[4]</sup>通过引入换道规则, 将单车道模型扩展为双车道模型, 一些学者对此模型进行了改进, 王永明等<sup>[5]</sup>提出了基于弹性安全换道间距的元胞自动机交通流模型, 敬明等<sup>[6]</sup>提出了基于跟



收稿日期: 2014-10-16 修回日期: 2014-12-22;  
基金项目: 国家自然科学基金项目(51268017); 江西省教育厅科技项目(GJJ13427);  
作者简介: 邝先验(1976-), 男, 江西赣州, 博士, 副教授, 研究方向为智能交通系统、系统建模与仿真等;  
曹韦华(1989-), 江西赣州, 硕士生, 研究方向为系统建模与仿真。

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

车行为的双车道交通流元胞自动机模型, 薛飞等<sup>[7]</sup>提出了局部车道缩减的双车道元胞自动机交通流模型, 魏丽英等<sup>[8]</sup>提出了考虑公交影响的进口道元胞自动机换道模型。

以上模型都是针对机动车的研究, 对于非机动车, 现有的元胞自动机模型大多集中在对人力自行车的研究, 张晋等<sup>[9]</sup>提出了一种多车道元胞自动机模型, 李新刚<sup>[10]</sup>建立了具有超车行为的非机动车元胞自动机模型, 邓建华等<sup>[11]</sup>考虑自行车的蛇行和穿插特性, 提出一个基于元胞自动机理论的自行车流模型, 杨晓芳<sup>[12]</sup>等在多车道元胞自动机模型的基础上引入动态地场, 建立了基于动态地场和元胞自动机的自行车流模型。

近年来, 由于电动自行车的便捷、环保、价廉、易于驾乘, 中国电动自行车保有量快速增长, 在大中型城市, 自行车和电动自行车出行的平均比例约为 28%<sup>[13]</sup>。在非机动车道中占主体地位的车种已经由人力自行车变为了电动自行车。针对这一现状, 杨晓芳等<sup>[14]</sup>建立了一种含有电动自行车的混合非机动车元胞自动机模型, 对电动自行车比例不同及道路宽度不同的条件下的道路通行能力进行了研究。南天伟等<sup>[15]</sup>采用多车道元胞自动机模型对包括电动自行车的混合非机动车流进行了研究, 分析了电动车比例不同的条件下的混合交通流特性, 并引用偏析度定量分析了混合车流在移动中形成的偏析现象。这些模型能够较好描述非机动车混合交通流的特性, 然而, 有些非机动车由于主干道上隔离带的作用, 或者由于机动车道上车流量较大而逆向行驶, 这些模型尚未考虑这一情况。为此, 本文在以上文献基础上, 建立一种考虑混入逆行车辆的非机动车流元胞自动机模型, 研究逆行车辆比例及换道概率对交通流的影响。

## 1 模型

### 1.1 基本参数定义:

通过对赣州市非机动车调查, 人力自行车和电动自行车的长度为 1.7~1.9 m, 宽度 0.5~0.6 m, 行

驶时左右摆动空间约为 0.2 m。因此, 定义人力自行车和电动自行车元胞为 2 m 长, 1 m 宽的矩形。正向行驶人力自行车的最大速度约是 21 km/h, 即 3 cell/s; 正向行驶电动自行车的最大速度约是 28 km/h, 即 4 cell/s; 逆行车辆包括逆行的人力自行车和逆行的电动自行车, 基于谨慎驾驶的原则, 逆行车辆一般会减速行驶, 所以本文将逆行人力自行车及逆行电动自行车最大速度分别设定为 2cell/s 和 3cell/s。元胞的状态空间由实际道路的长度和宽度确定。若道路长度为  $L$  米, 则元胞网格的长度设定为  $L/2$  个元胞长度。由于非机动车行驶在非机动车道的最右侧时, 右侧要求留有 0.25 m 的安全间隙, 非机动车行驶在最左侧时, 左侧也要求留有 0.25 m 的安全间隙, 因此, 若以 3.5 m 宽的非机动车道为研究对象, 则元胞网格宽设定为 3 个元胞宽度。

### 1.2 非机动车换道规则:

现实中, 大多数非机动车道的宽度可容纳 2 辆以上的非机动车并排行驶, 因此非机动车可以根据前方近邻车辆的位置及相对运动进行换道。

图 1 为非机动车换道示意图, 将 3.5 m 宽非机动车道划分为 3 个子车道, 分别为车道 1、车道 2、车道 3, 图中灰色区域代表正向行驶车辆, 行驶方向为自西向东, 绿色区域代表逆行车辆, 行驶方向为自东向西, 另外图中还标定了部分换道变量。

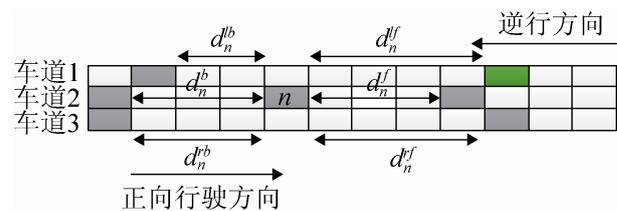


图 1 车辆换道示意图

在一些文献中, 如文献[4,8-9]等, 车辆产生换道意识一般需满足 2 个条件: (1) 是本车道前车阻碍本车行驶; (2) 是目标车道路上有足够的安全距离, 使本车换道至目标车道后不会与目标车道上的前后车辆相撞。然而, 根据现场调查, 混入逆行车辆后非机动车有些新的换道特性:

(1) 正向行驶非机动车更倾向于在车道 2、车道 3 上行驶, 所以当正向行驶车辆在车道 2 时, 一般优先考虑向车道 3 换道; 逆行车辆更倾向于在车道 1 上行驶, 当逆行车辆在车道 2 时, 一般优先考虑向车道 1 换道。

(2) 在车道 1 上, 由于逆行车辆较多, 当正向行驶车辆与逆行车辆相遇时, 一般是正向行驶车辆主动让道, 而在车道 2, 3 上, 一般是逆行车辆主动让道。

(3) 当非机动车前方有非机动车迎面驶来, 相向行驶到一个较近的距离时, 一般会产生换道意识或者减速行驶。并且车辆换道时通过综合考虑目标车道上前后车辆的行驶方向以及与它们的距离, 来决定是否换道。

### 1.2.1 变量定义

$v_n(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  的速度;

$v_n^{af}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  本车道上前车的速度;

$v_n^{rb}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  右后方车辆的速度;

$v_n^{lb}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  左后方车辆的速度;

$d_n^f(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  与本车道上前车的距离;

$d_n^{rf}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  与右前方车辆的距离;

$d_n^{lf}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  与左前方车辆的距离;

$d_n^{rb}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  与右后方车辆的距离;

$d_n^{lb}(t)$ :  $t$  时刻车  $n$  与左后方车辆的距离;

$S_n(t)$ :  $S_n(t) \in \{0,1\}$ ,  $S_n(t)=0$  表示  $t$  时刻车  $n$  为逆行车辆,  $S_n(t)=1$  表示  $t$  时刻车  $n$  为正向行驶车辆;

$S_n^f(t)$ :  $S_n^f(t) \in \{0,1\}$ ,  $S_n^f(t)=0$  表示  $t$  时刻车  $n$  前方车辆为逆行车辆,  $S_n^f(t)=1$  表示  $t$  时刻车  $n$  前方车辆为正向行驶车辆;

$S_n^{rf}(t)$ :  $S_n^{rf}(t) \in \{0,1\}$ ,  $S_n^{rf}(t)=0$  表示  $t$  时刻车  $n$  右前方车辆为逆行车辆,  $S_n^{rf}(t)=1$  表示  $t$  时刻车  $n$  右前方车辆为正向行驶车辆;

$S_n^{lf}(t)$ :  $S_n^{lf}(t) \in \{0,1\}$ ,  $S_n^{lf}(t)=0$  表示  $t$  时刻车  $n$  左前方车辆为逆行车辆,  $S_n^{lf}(t)=1$  表示  $t$  时刻车  $n$  左前方车辆为正向行驶车辆;

$S_n^{rb}(t)$ :  $S_n^{rb}(t) \in \{0,1\}$ ,  $S_n^{rb}(t)=0$  表示  $t$  时刻车  $n$  右后方车辆为逆行车辆,  $S_n^{rb}(t)=1$  表示  $t$  时刻车  $n$  右后方车辆为正向行驶车辆;

$S_n^{lb}(t)$ :  $S_n^{lb}(t) \in \{0,1\}$ ,  $S_n^{lb}(t)=0$  表示  $t$  时刻车  $n$  左后方车辆为逆行车辆,  $S_n^{lb}(t)=1$  表示  $t$  时刻车  $n$  左后方车辆为正向行驶车辆。

### 1.2.2 换道判定条件

为了更好的描述换道规则, 将上文非机动车换道特性(3)提到的“较近的距离”定义为临界避让距离  $g_n^{xy}$ , 并建立换道判定条件。

根据调查统计, 临界避让距离与相向行驶的两辆非机动车的速度有关, 因此可定义安全避让距离为:

$$g_n^{xy}(t) = \partial \times (v_n(t) + v_n^{xy}(t)), x = \{a, l, r\}, y = \{f, b\} \quad (1)$$

式中:  $\partial$  为灵敏系数,  $\partial$  越大表示骑车人越谨慎, 越早产生避让意识。

建立车  $n$  的换道判定条件 C1-C4, 其中 C1、C2 为换道前提条件, C3、C4 为换道安全条件, 车  $n$  同时满足换道前提条件和换道安全条件即可换道至目标车道上。

C1: 考虑与同车道前车行驶方向相同的换道条件。车  $n$  与前车距离较小, 无法加速行驶。即:

$$S_n(t) = S_n^f(t) \text{ and } d_n^f(t) < \min(v_n(t) + 1, v_{n\max})$$

C2: 考虑与同车道前方车辆行驶方向相反的换道条件。当前车道前方有非机动车迎面驶来, 且相距较近, 容易发生碰撞。即:

$$S_n(t) \neq S_n^f(t) \text{ and } d_n^f(t) < g_n^f(t)$$

C3: 向右换道安全条件, 考虑右侧相邻车道上的前后车辆。若车  $n$  右前方车辆与车  $n$  行驶方向相同, 则车  $n$  与右前方车辆的距离应大于与本车道前车的距离; 若车  $n$  右前方车辆与车  $n$  行驶方向相反, 则车  $n$  与右前方车辆的距离应大于临界避让距离; 若车  $n$  右后方车辆与车  $n$  行驶方向相同, 则车  $n$  与右后方车辆的距离应大于右后方车辆的速度; 若车  $n$  右后方车辆与车  $n$  行驶方向相反, 则车  $n$  与右后方车辆的距离应  $\geq 0$ 。因此同时满足以下 4

个条件中的 2 条即可认为车  $n$  换道后是安全的:

$$C3-1: S_n(t) = S_n^{rf}(t) \text{ and } d_n^{rf}(t) > d_n^f(t)$$

$$C3-2: S_n(t) \neq S_n^{rf}(t) \text{ and } d_n^{rf}(t) > g_n^{rf}(t)$$

$$C3-3: S_n(t) = S_n^{rf}(t) \text{ and } d_n^{rb}(t) > v_n^{rb}(t)$$

$$C3-4: S_n(t) \neq S_n^{rf}(t) \text{ and } d_n^{rb}(t) \geq 0$$

C4: 向左换道安全条件, 考虑左侧相邻车道上的前后车辆。若车  $n$  左前方车辆与车  $n$  行驶方向相同, 则车  $n$  与左前方车辆的距离应大于与本车道前车的距离; 若车  $n$  左前方车辆与车  $n$  行驶方向相反, 则车  $n$  与左前方车辆的距离应大于临界避让距离; 若车  $n$  左后方车辆与车  $n$  行驶方向相同, 则车  $n$  与左后方车辆的距离应大于左后方车辆的速度; 若车  $n$  左后方车辆与车  $n$  行驶方向相反, 则车  $n$  与左后方车辆的距离应  $\geq 0$ 。因此同时满足以下 4 个条件中的 2 条即可认为车  $n$  换道后是安全的:

$$C4-1: S_n(t) = S_n^{lf}(t) \text{ and } d_n^{lf}(t) > d_n^f(t)$$

$$C4-2: S_n(t) \neq S_n^{lf}(t) \text{ and } d_n^{lf}(t) > g_n^{lf}(t)$$

$$C4-3: S_n(t) = S_n^{lf}(t) \text{ and } d_n^{lb}(t) > v_n^{lb}(t)$$

$$C4-4: S_n(t) \neq S_n^{lf}(t) \text{ and } d_n^{lb}(t) \geq 0$$

其中,  $S_n(t) = S_n^f(t)$ 、 $S_n(t) \neq S_n^f(t)$  分别表示  $t$  时刻车  $n$  与本车道前方车辆行驶方向相同、相反;  $S_n(t) = S_n^{rf}(t)$ 、 $S_n(t) \neq S_n^{rf}(t)$  分别表示  $t$  时刻车  $n$  与右前方车辆行驶方向相同、相反;  $S_n(t) = S_n^{lf}(t)$ 、 $S_n(t) \neq S_n^{lf}(t)$  分别表示  $t$  时刻车  $n$  与左前方车辆行驶方向相同、相反;  $S_n(t) = S_n^{rb}(t)$ 、 $S_n(t) \neq S_n^{rb}(t)$  分别表示  $t$  时刻车  $n$  与右后方车辆行驶方向相同、相反;  $S_n(t) = S_n^{lb}(t)$ 、 $S_n(t) \neq S_n^{lb}(t)$  分别表示  $t$  时刻车  $n$  与左后方车辆行驶方向相同、相反。当车  $n$  在车道 1 时, 则  $d_n^{lb}(t) = d_n^{lf}(t) = -1$ , 当车  $n$  在车道 3 时, 则  $d_n^{rf}(t) = d_n^{rb}(t) = -1$ 。

### 1.2.3 确定换道规则

根据以上分析, 建立换道规则如下:

#### Rule 1 正向车辆换道:

车道 1 上的车辆: 车  $n$  若满足条件 C1 或者 C2, 且 C3 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 2。

车道 2 上的车辆: 车  $n$  若满足条件 C1 或者 C2,

且 C3 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 3; 若满足条件 C1 或者 C2, 且 C4 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 1。

车道 3 上的车辆: 车  $n$  若满足条件 C1, 且 C4 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 2。

#### Rule 2 逆向车辆换道:

车道 1 上的车辆: 车  $n$  若满足条件 C1, 且 C4 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 2。

车道 2 上的车辆: 车  $n$  若满足条件 C1 或 C2, 且 C3 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 1; 若满足条件 C1 或 C2, 且 C4 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 3。

车道 3 上的车辆, 车  $n$  若满足条件 C1 或 C2, 且 C3 成立, 则以概率  $P_{\text{change}}$  换道至车道 2。

### 1.3 非机动车前进规则:

在 NS 模型的基础上, 结合正向、逆向非机动车在安全避让距离内减速慢行的特点, 本文非机动车前进规则如下:

(1) 加速:

if  $(S_n(t) = S_n^f(t) \text{ or } (S_n(t) \neq S_n^f(t) \text{ and } d_n^f(t) > g_n^f(t)))$   
then  $v_n(t+1) = \min(v_n(t) + 1, v_{n\max})$

(2) 减速:

if  $S_n(t) \neq S_n^f(t)$   
if  $d_n^f(t) \leq g_n^f(t)$   
then  $v_n(t+1) = \max(0, v_n(t+1) - 1)$

else if  $d_n^f(t) \leq v_n(t) + v_n^{af}(t)$   
then  $v_n(t+1) = d_n^f(t) / 2$

else if  $(S_n(t) = S_n^f(t) \text{ and } v_n(t+1) < d_n^f(t))$   
then  $v_n(t+1) = d_n^f(t)$

(3) 随机慢化:

if  $\text{rand}() < P$   
then  $v_n(t+1) = \max(0, v_n(t+1) - 1)$

(4) 位置更新:

$$x_n(t+1) = x_n(t) + v_n(t+1)$$

式中:  $v_n(t+1)$  为  $t+1$  时刻车辆  $n$  的速度;  $x_n(t)$  和  $x_n(t+1)$  分别为  $t$  和  $t+1$  时刻车辆  $n$  的位置;  $v_{n\max}$  为车辆  $n$  所属车种的最大速度。

## 2 计算机数值模拟和讨论

为了具体分析交通流特性, 定义  $n$  为车道数目,  $N$  为道路中车辆总数,  $N_r$  表示逆行车辆数量, 电动自行车(包括正向和逆向行驶)所占比例为  $\omega$ , 逆行车辆比例  $C$ , 每车道平均密度  $\rho(\text{veh/km})$ , 系统平均速度  $V(\text{km/h})$ , 每车道平均流量  $Q(\text{veh/h})$  分别为:

$$C = \frac{N_r}{N} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{N}{nL} \quad (3)$$

$$V = \left( \frac{1}{1000} \times \frac{1}{N} \right) \sum_{t=9000}^{10000} \sum_{i=0}^N V_n(t) \quad (4)$$

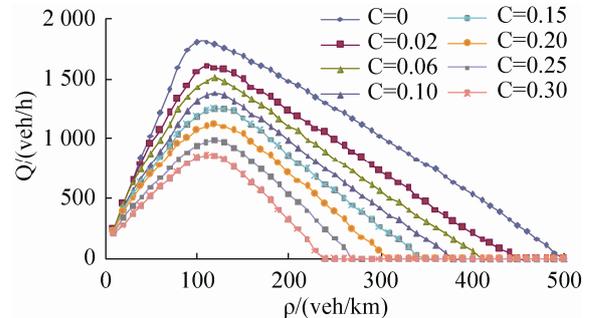
$$Q = \rho \times V \quad (5)$$

仿真采用周期性边界条件, 设定  $P=0.2$ ,  $\omega=0.7$ ,  $\delta=2$ , 通过改变车流密度、逆行车辆比例及换道概率研究混入逆行车辆的混合非机动车交通流特性。演化时间步为 10 000 步, 取后 1 000 步的值作平均, 再对 20 个样本作系综平均, 以消除随机性对结果的影响。

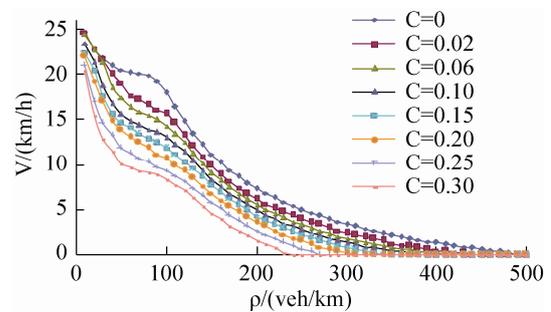
### 2.1 逆行车辆比例对非机动车流的影响

图 2 为  $P_{\text{change}}=0.8$ , 逆行车辆比例(下文用  $C$  表示)不同条件下的密度-流量及密度-速度曲线。由图 2(a)可知, 逆行车辆的混入对流量影响较大, 随着  $C$  的增大, 密度-流量曲线逐渐向下移动, 如  $C=0$  时的每车道最大流量(即通行能力)为 1 800 veh/h, 而当  $C=0.3$  时, 每车道最大流量下降为 810 veh/h。在低密度阶段, 由于非机动车之间间距较大, 正向和逆向车辆之间的相互干扰较小, 车辆具有足够的时间和空间通过提前换道相互避让, 使得车流整体速度变化不大, 逆行车辆比例对于流量和速度的影响较小; 随着密度的增大, 车道上可利用的空间变小, 车辆换道的成功的概率减小, 正向、逆行车辆互相干扰的次数将会增加, 导致系统流量迅速下降。由图 2(b)可知, 随着逆行车辆比例的增大, 密度-速度曲线逐渐下移。且当  $C=0$  时, 系统密度-速度曲线有一段接近水平的直线, 此段区域速度相

对稳定, 而  $C>0$  时此区域速度下降较快。这说明, 非机动车流中混入逆向行驶非机动车后, 车流鲁棒性变弱, 交通容易发生突变。



(a)  $C$  对系统流量的影响



(b)  $C$  对系统速度的影响

图 2 不同  $C$  下的系统密度与流量、速度关系图

另一个值得关注的现象是, 当逆行车辆比例  $C$  较大(接近 1/3)时, 逆向车流大多行驶在车道 1, 正向车流大多行驶在车道 2 和 3, 并且由于双向车流的相互干扰使得车流整体速度下降, 通行能力降低。如图 2(a)中  $C=0.3$  时, 每车道正向车流通行能力为 810 veh/h(而  $C=0$  时该值为 1 800 veh/h), 3 条车道的正向车流总通行能力为 2 430 veh/h, 相比在  $C=0$  时 2 条车道通行能力 3 600 veh/h 还要小 1 170 veh/h, 也即  $C=0.3$  时 3 条车道的总通行能力比  $C=0$  时的 2 条车道通行能力下降了 32.5%, 这说明当  $C$  较大(接近 1/3)时, 可供正向车流通行的有效车道仅为 2 条, 且速度和流量受到对向车流干扰而明显下降。因此, 当逆行车辆比例  $C$  较大时, 本文模型成为了一个具有相互干扰的双向道路非机动车交通流模型, 能够描述双向非机动车流相互干扰现象。

图 3~4 为  $\rho=40 \text{ km/h}$ ,  $P_{\text{change}}=0.8$ ,  $C=\{0.1,0.3\}$  条件下, 3 条车道在 500~1 000 元胞, 4 500~5 000 时间步的时空图, 绿点表示逆行车辆, 红点表示正向行驶的电动自行车, 蓝点表示正向行驶的人力自行车。由图 3、4 可知, 随着逆行车辆比例的增大, 3 条子车道上逆行车辆增多, 发生局部堵塞的次数明显增多, 并且局部堵塞消散的时间也增加了。这

进一步说明, 在相同条件下, 逆行车辆比例的增大, 将会导致系统流量、速度减小。

## 2.2 换道概率对非机动车流的影响

图 5 为  $C=0.2$ , 换道概率  $P_{\text{change}}$  不同条件下的密度-流量图以及密度-速度图。

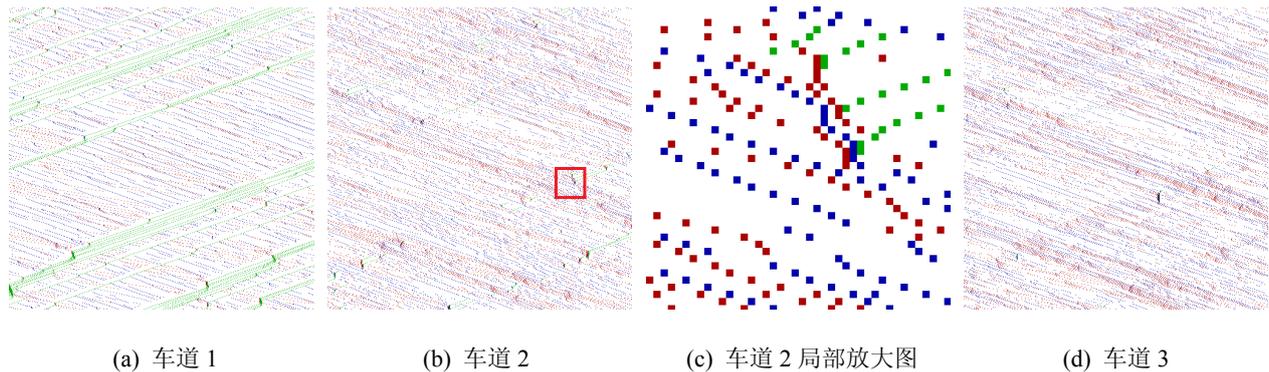


图 3  $C=0.1$ ,  $P_{\text{change}}=0.8$ ,  $\rho=40 \text{ veh/km}$  时仿真的时空斑图

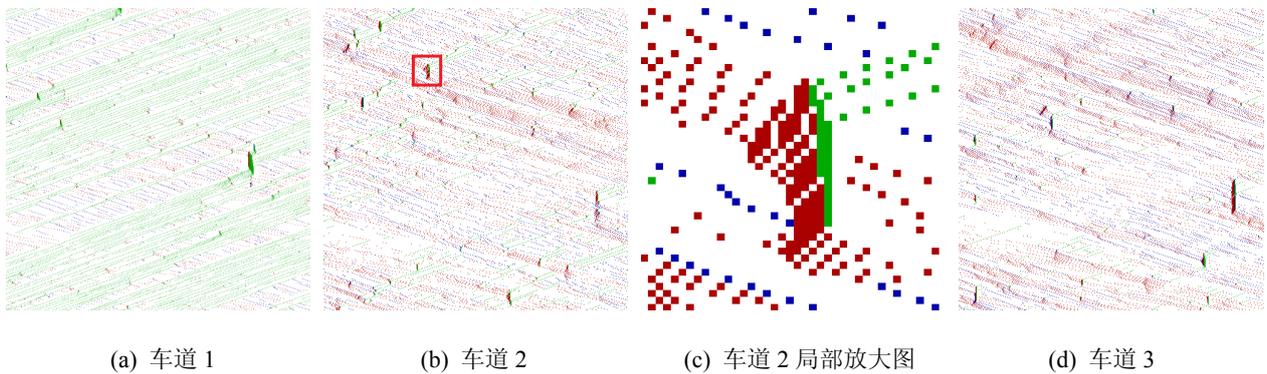


图 4  $C=0.3$ ,  $P_{\text{change}}=0.8$ ,  $\rho=40 \text{ veh/km}$  时仿真的时空斑图

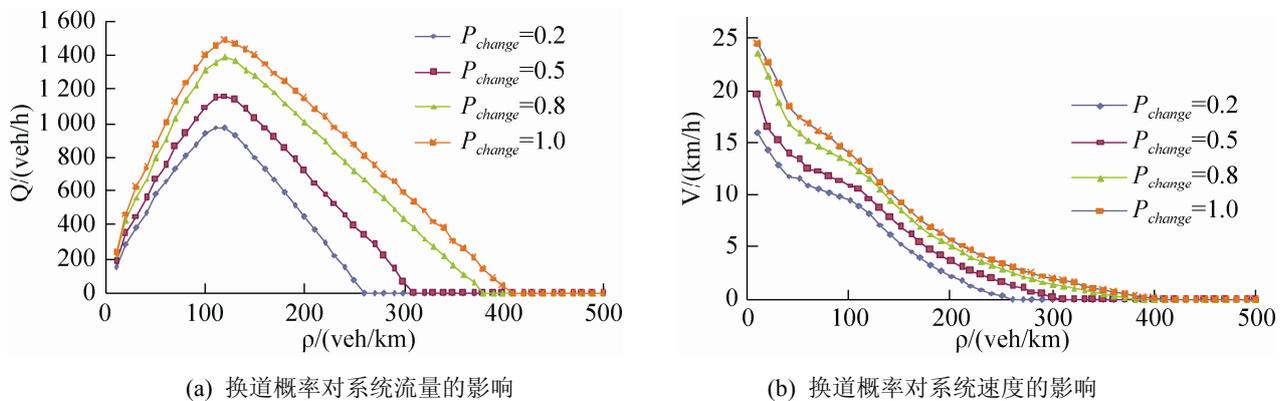


图 5 换道概率与系统速度和流量关系图

从图 5(a)、图 5(b)可知,  $P_{\text{change}}$  对非机动车混合车流影响较大: 随着换道概率的减小, 系统密度-流量曲线及密度-速度曲线逐渐下移。这是因为, 随着换道概率的减小, 非机动车不能充分利用相邻车道上闲置的区域, 导致道路空间利用率降低, 更严重的是, 正向、逆行车辆相遇时, 因不能及时换道, 导致正向、逆行车辆减速甚至停车, 造成局部堵塞。同时, 换道概率降低时, 由于不能及时换道, 局部堵塞消散的时间也会延长。

### 3 结论

本文根据非机动车灵活换道的特点, 结合混入逆行车辆后混合非机动车流出现的一些特性, 在 NS 模型的基础上, 考虑正向车辆和逆向车辆遵循不同的换道规则, 建立了一种逆行车辆混入的混合非机动车流元胞自动机模型, 对该模型在不同逆行车辆混入率和换道概率的条件下进行了仿真分析。结果表明: 在低密度阶段, 由于非机动车之间间距较大, 车辆具有足够的时间和空间通过提前换道相互避让, 逆行车辆比例对于流量和速度的影响较小; 同等条件下, 随着道路中逆行车辆的增加, 正向行驶车辆与逆行车辆发生互相干扰的次数增加, 导致道路通行能力下降; 若换道概率减小, 则道路利用率降低, 发生局部堵塞的次数增加, 并且堵塞消散的时间也增加, 导致道路通行能力下降。当逆行车辆比例较大时, 本文模型成为一个能够描述双向非机动车道路车流相互干扰现象的交通流模型。

### 参考文献:

- [1] Nagel K, Schreckenberg M. A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic [J]. *Journal de physique I* (S1155-4304), 1992, 2(12): 2221-2229.
- [2] Barlovic R, Santen L, Schadscheider A. Metastable States in Cellular Automata for Traffic Flow [J]. *The European Physical Journal B* (S1434-6208), 1998, 5(3): 973-800.
- [3] 郑华荣, 吴超仲, 马晓凤. 考虑驾驶愤怒的元胞自动机交通流模型 [J]. *武汉理工大学学报: (交通科学与工程版)*, 2013, 37(3): 617-621.
- [4] Rickert M, Nagel K, Schreckenberg M, et al. Two Lane Traffic Simulations Using Cellular Automata [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* (S0378-4371), 1996, 231(4): 534-550.
- [5] 王永明, 周磊山, 吕永波. 基于弹性安全换道间距的元胞自动机模型 [J]. *系统仿真学报*, 2008, 20(5): 1159-1162.
- [6] 敬明, 邓卫, 王昊, 等. 基于跟车行为的双车道交通流元胞自动机模型 [J]. *物理学报*, 2012, 61 (24): 244502.
- [7] 薛飞, 钟诚文, 白存儒. 局部车道缩减的双车道元胞自动机交通流模型研究 [J]. *系统仿真学报*, 2010, 22(5): 1114-1116.
- [8] 魏丽英, 吴荣华, 王志龙. 考虑公交影响的进口道元胞自动机换道模型 [J]. *系统仿真学报*, 2014, 26(6): 1327-1330.
- [9] 张晋, 王慧, 李平. 基于元胞自动机(CA)的自行车流建模及仿真 [J]. *公路交通科技*, 2006, 23(1): 125-129.
- [10] Li XG, Jia B, Gao ZY, et al. A Realistic Two-Lane Cellular Automata Traffic Model Considering Aggressive Lane-Changing Behavior of Fast Vehicle [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* (S0378-4371), 2006, 367(15): 479-486.
- [11] 邓建华, 朱从坤. 基于元胞自动机的自行车流模型 [J]. *计算机仿真*, 2010, 27(12): 316-319.
- [12] 杨晓芳, 茅威, 付强. 基于动态地场和元胞自动机的自行车流建模 [J]. *物理学报*, 2013, 62(24): 240511.
- [13] Zhang S, Ren G, Yang R. Simulation Model Of Speed-Density Characteristics for Mixed Bicycle Flow-Comparison between Cellular Automata Model and Gas Dynamics Model [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* (S0378-4371), 2013, 392(20): 5110-5118.
- [14] 杨晓芳, 牛兆雨, 王建蓉. 基于多值元胞机的混合非机动车通行能力研究 [J]. *系统仿真学报*, 2012, 24(12): 2577-2581.
- [15] 南天伟, 毛保华, 陈志杰, 等. 基于元胞自动机的城市混合非机动车流特性模拟研究 [J]. *公路交通科技*, 2014, 31(1): 104-109.