

有应急车辆影响的多车道交通流元胞自动机模型*

赵韩涛^{1)†} 毛宏燕²⁾

1) (哈尔滨工业大学汽车工程学院, 威海 264209)

2) (哈尔滨工业大学图书馆, 威海 264209)

(2012年10月11日收到; 2012年11月1日收到修改稿)

在分析应急车辆对城市道路交通流影响的基础上, 引入让行状态参数、警笛影响区域和强制换道安全距离等特征变量, 修改换道规则, 建立了多车道元胞自动机模型, 并进行数值模拟. 结果表明, 车道数量和混合车辆比例系数在低密度范围内影响车辆速度及换道次数, 警笛影响区域参数改变了一定范围内车辆的换道次数, 应急车辆强制换道安全距离参数主要影响应急车辆的速度及换道次数. 研究发现, 应急车辆对低密度交通流的扰动现象明显, 其与社会车辆相互作用参数的设置使得交通流元胞自动机模型更接近应急条件下实际交通运行.

关键词: 交通流, 元胞自动机, 应急车辆

PACS: 05.50.+q, 45.70.Vn, 05.40.-a

DOI: 10.7498/aps.62.060501

1 引言

元胞自动机模型 (cellular automaton, CA 模型) 能有效模拟交通流中车辆微观运动状态, 成为近年来交通流研究中的热点. 通过修改演化规则, 众多学者提出了考虑各种交通现象的 CA 交通流模型^[1-8]. 在混合交通流方面, 目前所构建的 CA 模型包括单车道多速车辆混合^[9]、双车道多速车辆混合^[10]、考虑公交车辆^[11]、机非混行^[12]等. 在驾驶行为方面, 取得了包括考虑驾驶心理^[13]、驾驶员特性^[14]、驾驶方式^[15]、安全驾驶^[16]等一系列 CA 模型的研究成果.

应急车辆是混合交通流中有特殊通行权的一类交通单元. 从通行空间看, 应急车辆在交叉口可闯红灯、逆向行驶, 当前较多研究也侧重探讨其信号控制优先方法; 在路段处, 无论是路径优化还是实时调度, 都强调应急车辆的通行优先权, 多立足于固定的路段长度和车辆速度. 显然, 这种简化方式与实际交通运行情况有所偏差. 应急车辆是交通流的一个组成部分, 与其他社会车辆相互作用, 受制于随机交通状况.

CA 模型将车辆抽象为单个元胞的离散特征表明其适于描述应急车辆在交通流中的个体行为, 为微观再现应急单元实施效果提供了新的仿真手段. 应急车辆通行时其驾驶行为及社会车辆驾驶行为均有别于日常条件, 现有混合交通流 CA 模型不能准确反映应急条件下的城市交通流特性. 鉴于此, 本文通过分析应急车辆通行特性, 考虑不同车辆间的相互作用, 修改换道及加减速规则, 建立有应急车辆的交通流元胞自动机模型, 为丰富交通流理论和完善应急车辆调度机制提供参考.

2 应急车辆通行特性分析

应急车辆在超速行驶过程中, 对正常交通流秩序造成一定干扰. 现有交通流 CA 模型以驾驶员遵守交通规则为前提, 无法描述应急车辆的超车行为. 应急车辆通行特征主要表现在以下方面:

- 1) 高速行驶, 法规上和理论上应急车辆可以按照期望速度行驶, 现有 CA 模型中的快、慢车辆车速都不再适用, 需在相应的模型规则中特别定义;
- 2) 换道频繁, 应急车辆高速行驶使其短时间追上本车道前方车辆, 为保持速度, 驾驶员倾向于在

* 国家博士后基金 (批准号: 2011M500676) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zhthitwh@163.com

条件允许时变换车道,即使与目标车道后车距离较小,应急车辆也会采取强制换道行为;

3) 警笛长鸣,为提醒前方车辆,应急车辆在行驶过程中警笛长鸣,受警笛影响,社会车辆以较为保守的行驶方式为应急车辆让行提供通行空间.

定性分析表明,上述应急车辆行为对交通流造成扰动:

1) 应急车辆高速通行之后,其后方形成空白空间,相邻车道激进型社会车辆驾驶员以较大概率换道行驶;

2) 应急车辆强制换道时,目标车道后车为安全计而减速让行,整个车队随之出现波动;

3) 受警笛影响,应急车辆前方一定范围内的社会车辆驾驶员心理出现变化,倾向于保守驾驶或主动让行.

交通调研表明,交通流中大型车因欠缺灵活性,对于应急车辆而言是一种移动瓶颈,在模型中需重点考虑混合车型比例.另外,道路几何条件对于应急车辆的顺畅通行也有待探讨,车道数越多,应急车辆通过换道保持速度的机率越大.本文分析不同类型车辆的换道和加减速特征,建立有应急车辆影响的多车道交通流元胞自动机模型.

3 模型建立

3.1 基本参数和变量

同向并列的 k 条车道,每个车道长度均为 L ,由等距的一维离散格点链组成,每个格点代表一个元胞.元胞具备两种状态:空置(表示无车)或被车辆占用.车辆类型取应急车辆、大型车、小型车三种类型,大、小型车以一定的混合比例随机布置于车道上,应急车辆取 1 辆.

定义 $x_n^k(t)$ 为车道 k (本文取单向 4 车道,由左至右分别为车道 1 至 4)上车辆 n 在 t 时刻的位置, $v_n^k(t)$ 表示其速度, $v_{\max}^b, v_{\max}^l, v_{\max}^e$ 分别为大型车、小型车和应急车辆的最大速度.以 $d_n^k(t)$ 表示车辆 n 在 t 时刻与本车道前车的距离, $d_{n\text{front}}^{k-1}(t), d_{n\text{back}}^{k-1}(t)$ 为该车与相邻左侧车道距离最近前车的距离, $d_{n\text{front}}^{k+1}(t), d_{n\text{back}}^{k+1}(t)$ 为该车与相邻右侧车道距离最近前车的距离,其中 $k-1 \geq 1, k+1 \leq 4$.以 $b_n^k(t)$ 表示车辆 n 的刹车状态,为 1 则刹车灯亮,为 0 则刹车灯灭.

为表征应急车辆影响,引入三个变量.

1) 社会车辆让行状态参数 $g_n^k(t)$: 描述应急车辆前方最近车辆的状态.该变量并非模型运行之初的给定值,需要根据车辆所处环境决定.若该车前方车辆为大型车,则该车没有必要为应急车辆让行;若本车道前方无大型车,而相邻车道有大型车,该车让行;若不考虑大型车,则该车需进一步衡量相邻车道所提供空间,以一定概率让行.

2) 警笛影响区域 D : 考虑警笛声的刺激,应急车辆前方车辆驾驶员行为更为慎重,偏向于匀速行驶以免对交通流造成扰动,条件允许时将加速驶离应急车辆所在区域.

(3) 应急车辆强制换道安全距离 dev : 若应急车辆被大型车所阻碍,其将倾向于强行换道,与相邻车道后车之间的间隙小于社会车辆换道的安全距离,且相邻车道后车会采取减速让行的措施.

3.2 换道规则

因应急车辆的引入,驾驶员心理及行为均产生变化,应急车辆强制换道及社会车辆让行规则明显不同于日常状态,本文分为三种情况予以探讨.

1) 未受应急车辆影响区域社会车辆换道

正常情况下社会车辆采用贪婪机制,在保证安全的前提下通过换道维持或提高速度.本文中应急车前方相距超过 D 值的车辆及应急车后方车辆均依据速度需求实施换道.

多车道道路条件下,位于中间车道的车辆存在可同时换道至左、右两侧车道的情形,同理,位于左、右两侧车道的车辆存在竞争中间车道的情形.考虑到道路交通管理中一般规定左侧超车,因此,在两侧均可换道时选择换道至左侧.另外,实际交通中,无论是公路还是城市道路,一般靠近中心线(内侧)车道为快车道,靠近路边线(外侧)为慢车道,为简化问题,在出现两侧车道竞争中间车道时由左侧车道换道.

为描述该问题,引入参数 $steer$,其取值为:①若当前车 n 满足 $v_n^k(t) \leq d_{n\text{front}}^{k-1}(t), v_n^{k-1}(t) \leq d_{n\text{back}}^{k-1}(t), k-1 \geq 1$,则 $steer = 1$;②若当前车 n 不满足①,但满足 $v_n^k(t) \leq d_{n\text{front}}^{k+1}(t), v_n^{k+1}(t) \leq d_{n\text{back}}^{k+1}(t), k+1 \leq 4$,则 $steer=2$;③否则, $steer = 0$.

未受应急车辆影响的社会车辆换道规则为

$$b_n^k(t) = 0, \quad (1a)$$

$$d_n^k(t) < \min(v_n^k(t) + 1, v_{\max}), \quad (1b)$$

$$steer \neq 0, \quad (1c)$$

$$rand() < p_1. \quad (1d)$$

上述规则称为条件 (1). (1a) 式表明刹车灯灭, 车辆不会减速; (1b) 式表示车辆受阻于前车, 在本车道无法以期速度行驶; (1c) 式表示相邻车道能够提供安全换道空间; (1d) 式中 p_1 为车辆实施换道的概率.

2) 受应急车辆影响区域社会车辆换道

设定警笛影响区域参数 D 由三部分组成: D_1 区域内为距离应急车辆较近且明确了解其位置的社会车辆; D_2 区域内为距离应急车辆稍远且不明其具体位置的社会车辆, 该类车辆对应急车辆鸣笛的反应较为敏感; D_3 区域内为距离应急车辆较远的社会车辆, 其对应急车辆鸣笛的反应较为迟钝. 定义 $d_{nE}^k(t)$ 表示车辆 n 在 t 时刻与应急车辆在 k 车道上的投影距离.

当 $d_{nE}^k(t) < D_1$ 时,

(i) 若当前车 n 处于应急车辆所在车道, 且为前方最近邻车辆, 满足条件 (1) 时换道. 考虑其强制换道为应急车辆让行的需求, 若不满足条件 (1), 则增加换道规则 (其中 $steer$ 在满足 $d_n^k(t) \leq v_n^k(t) \leq d_{nfront}^{k-1}(t) \geq 1, 2 \leq d_{nback}^{k-1}(t) \leq v_{nback}^{k-1}(t), k-1 \geq 1$ 时取 1; 若不满足, 则在 $d_n^k(t) \leq v_n^k(t) \leq d_{nfront}^{k+1}(t), 2 \leq d_{nback}^{k+1}(t) \leq v_{nback}^{k+1}(t), k+1 \leq 4$ 时取 2; 否则取 0):

$$g_n^k(t) = 1, \quad (2a)$$

$$steer \neq 0, \quad (2b)$$

$$rand() < p_2. \quad (2c)$$

(2a) 式表明应急车辆前方最近邻车辆处于应让行状态中; (2b) 式为该车换至相邻车道的安全条件; (2c) 式中 p_2 为相邻车道最近后车减速让行概率.

(ii) 若当前车 n 处于应急车辆所在车道, 且为前方非最近邻车辆, 换道规则同 (i), 差别在于换道概率的取值, 定义为 $p_3, p_3 < p_2$.

(iii) 若当前车 n 处于应急车辆相邻车道, 则不换道.

当 $D_1 \leq d_{nE}^k(t) < (D_1 + D_2)$ 时, 当前车不能确定应急车辆所处车道位置, 为避免干扰交通流, 选择不换道.

当 $(D_1 + D_2) \leq d_{nE}^k(t) < (D_1 + D_2 + D_3)$ 时, 因距离应急车辆较远, 部分激进型驾驶员仍会选择以

提高速度为目的的换道, 其规则为条件 (1), 差别在于换道概率, 定义为 $p_4, p_4 < p_1$.

3) 应急车辆换道

在本车道受阻于前车且相邻车道前方存在空档时, 应急车辆强行换道. 相对于正常交通流而言, 其差异体现在: 应急车辆较少考虑与相邻车道后车的安全距离, 其换道概率远超社会车辆. 若应急车辆满足 $v_n^k(t) \leq d_{nfront}^{k-1}(t), dev \leq d_{nback}^{k-1}(t), k-1 \geq 1$, 则 $steer=1$; 若不满足, 在 $v_n^k(t) \leq d_{nfront}^{k+1}(t), v_{nback}^{k+1}(t) \leq d_{nback}^{k+1}(t), k+1 \leq 4$ 时取 $steer = 2$; 否则取 $steer$ 为 0. 应急车辆换道规则为

$$b_n^k(t) = 0, \quad (3a)$$

$$d_n^k(t) < \min(v_n^k(t) + 1, v_{max}^e), \quad (3b)$$

$$steer \neq 0. \quad (3c)$$

上述规则称为条件 (3). 式中 n 为应急车辆, (3a), (3b) 式含义同前. (3c) 式为安全条件, $steer$ 值表明应急车辆不考虑相邻车道后车的速度, 只要满足最低安全距离 dev 即选择换道.

3.3 模型

模型由车辆换道和单车道时空更新两个并行的步骤组成.

1) 第一阶段: 换道过程

对于上述三种类型车辆, 若满足条件 (1), (2), (3) 之一, 实施换道, 其演化规则为

$$x_n^{-k}(t+1) = x_n^k(t), \quad (4a)$$

$$v_n^{-k}(t+1) = v_n^k(t). \quad (4b)$$

式中 $-k$ 表示车道 k 的相邻车道, 若目标车道为右侧车道, 则 $k+1 \leq 4$, 若目标车道为左侧车道, 则 $k-1 \geq 1$.

2) 第二阶段: 单车道 CA 模型状态更新

(i) 加速过程

$$b_{n+1}^i(t) = 0, \quad b_n^i(t) = 0,$$

$$v_n^k(t+1) = \min(v_n^k(t) + 1, v_{max}).$$

(ii) 安全刹车过程 (d_n^{eff} 为有效安全距离)

$$v_n^k(t+1) = \min(v_n^k(t), d_n^{eff}),$$

若 $v_n^k(t+1) < v_n^k(t)$, 则 $b_n^k(t+1) = 1$.

(iii) 随机慢化 (p_0 为随机慢化概率) 和刹车状态更新

$$v_n^k(t+1) = \max(v_n^k(t) - 1, 0),$$

$$rand() < p_0,$$

$$b_n^i(t+1) = 1.$$

(iv) 位移更新

$$x_n^k(t+1) = x_n^k(t) + v_n^k(t+1).$$

4 数值模拟与结果

数值模拟采用周期性边界条件, 即车辆总数恒定, 定义为 N . L 为单车道元胞总数, k 为车道数, 则多车道车流密度为 $\rho = N/kL$. $N_j(t)$ 为 t 时刻 j 车道的车辆数, $V_i^j(t)$ 为 j 车道第 i 辆车在 t 时刻的速度, 则 t 时刻 j 车道的平均速度为

$$V(t) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j(t)} V_i^j(t).$$

取 $L = 1000$, 三种类型车辆的最高速度分别为 3, 5, 6 (单位为每秒格数). 初始时刻大型车和小型车以一定的比例随机分布于车道上 (定义 R 为大型车比例), 对应速度随机生成. 仿真每次运行 20000

时步, 为消除随机性影响, 记录最后 2000 时步各种车辆的速度、所有车辆平均速度、平均换道次数.

图 1 为 $R = 0.05, D = 10, dev = 1, p_0 = 0.3, p_1 = 1, p_2 = 1$ 时的多车道车辆时空状态演化斑点图, 其中时间轴取 1000 时步, 空间轴取 1000 个元胞, 以黑点表示车辆位置.

图 1(a)—(c) 为车道数分别取 2, 3, 4 三种情况下的单车道运行时空图, 车流密度为 0.1. 对比图示表明, 车道数对于车辆时空位置造成较大影响. 车道数为 2 时, 车道上出现了明显的周期性阻塞和周期性空当; 车道数为 3 时, 周期性阻塞出现次数及持续时间均下降; 车道数为 4 时, 阻塞和空白已无明显区别, 整个车道呈现车辆均匀分布的态势. 这表明车道数越多, 车流越容易进入同步流状态. 图 1(d)—(f) 为对应的车流密度为 0.2 时的单车道运行时空图. 由图可见, 当密度较高时, 周期性出现阻塞后持续一段时间自动消散, 车道数数量已经不能阻止阻塞的出现和持续, 因此各图基本呈现同样的运行态势.

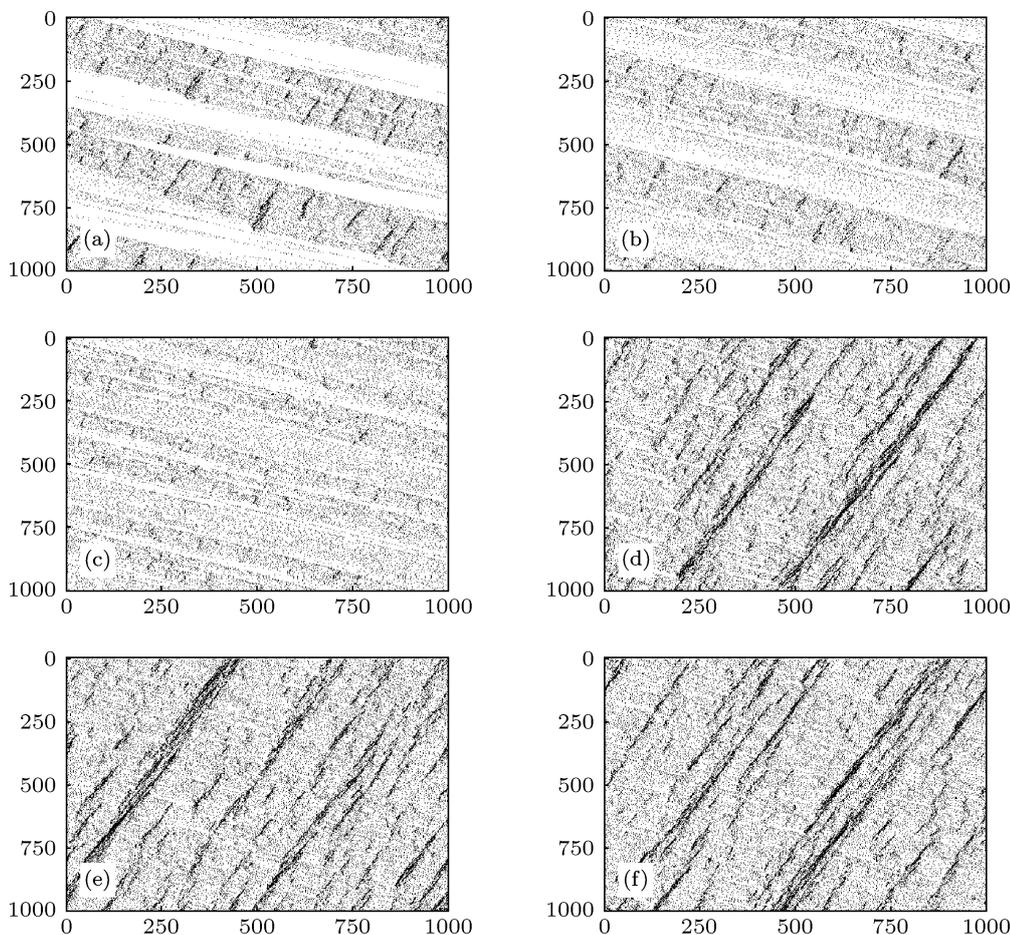


图 1 多车道元胞自动机模型时空图 (a) $\rho = 0.1, 2$ 车道道路; (b) $\rho = 0.1, 3$ 车道道路; (c) $\rho = 0.1, 4$ 车道道路; (d) $\rho = 0.2, 2$ 车道道路; (e) $\rho = 0.2, 3$ 车道道路; (f) $\rho = 0.2, 4$ 车道道路

图 2 为 $R = 0.05$, $D = 10$, $dev = 1$, $p_0 = 0.3$, $p_1 = 1$, $p_2 = 1$ 条件下车道数量不同时速度、换道次数与车流密度的关系. 图 2(a) 表明, 车流密度低于 0.04 及高于 0.12 时, 车道数对于社会车辆平均速度几乎不产生影响; 车流密度在 0.04 和 0.12 之间时, 2 车道车速明显低于 3, 4 车道车速, 表明此时车辆可利用多车道空间条件寻求速度维持. 图 2(b) 为多车道条件下应急车辆平均速度, 其速度值显然高于社会车辆, 随着密度增加, 两曲线逐渐接近; 多车道对于应急车辆车速产生较大影响, 在车流密度低于 0.34 时, 3, 4 车道的平均速度较为接近, 明显高于 2 车道的平均速度. 对比图 2(a) 和 2(b), 车道数越多, 对应急车辆通行越有利. 图 2(c) 表明社会车辆平均换道次数随着密度增加成抛物线趋势变

化, 在密度为 0.12 左右范围内达到最大值; 车道数越多, 换道越频繁. 图 2(d) 显示, 应急车辆平均换道频率远超社会车辆, 车流密度高于 0.12 时, 换道次数下降趋势并不明显, 表明应急车辆在密度较高时仍依靠自己优先通行权利通过换道保持速度; 车道数同样影响应急车辆换道次数, 3, 4 车道道路换道次数较为接近, 但明显多于 2 车道道路.

图 3 为 $D = 10$, $dev = 1$, $p_0 = 0.3$, $p_1 = 1$, $p_2 = 1$ 条件下不同 R 值所对应的速度、换道次数与车流密度的关系. 图 3(a) 表明, 车流密度低于 0.2 时, 混合车辆中大型车所占比例影响平均车速, 大型车越多, 车速越低; 车流密度高于 0.2 时, 速度曲线完全一致, 表明道路已经拥挤到车速不受混合比例系数影响的地步. 图 3(b) 表明, 密度低于 0.2 时, 应急车

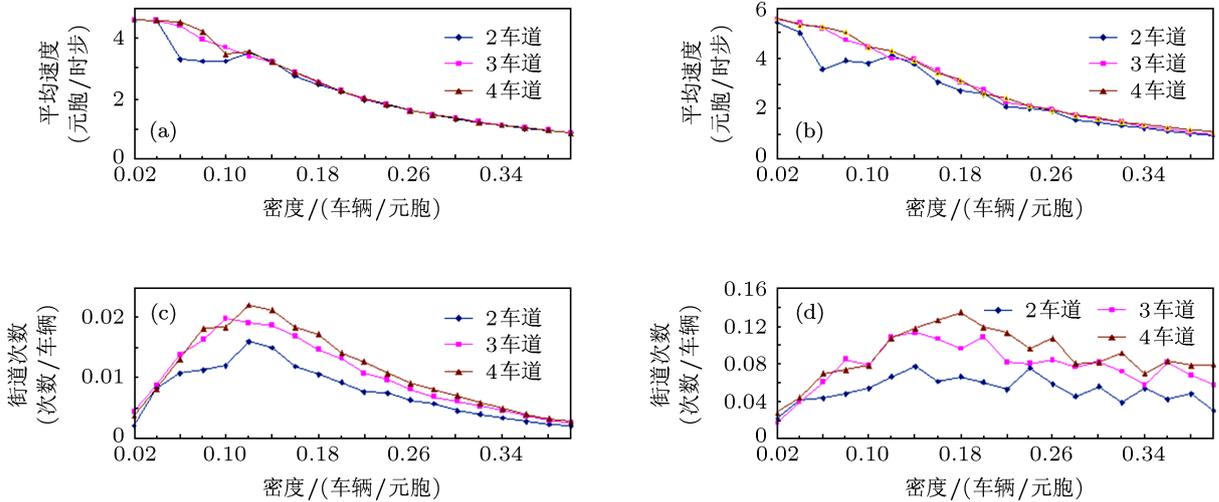


图 2 不同车道数条件下多车道元胞自动机模型基本图 (a) 社会车辆平均速度 - 密度关系; (b) 应急车辆平均速度 - 密度关系; (c) 社会车辆平均换道次数 - 密度关系; (d) 应急车辆平均换道次数 - 密度关系

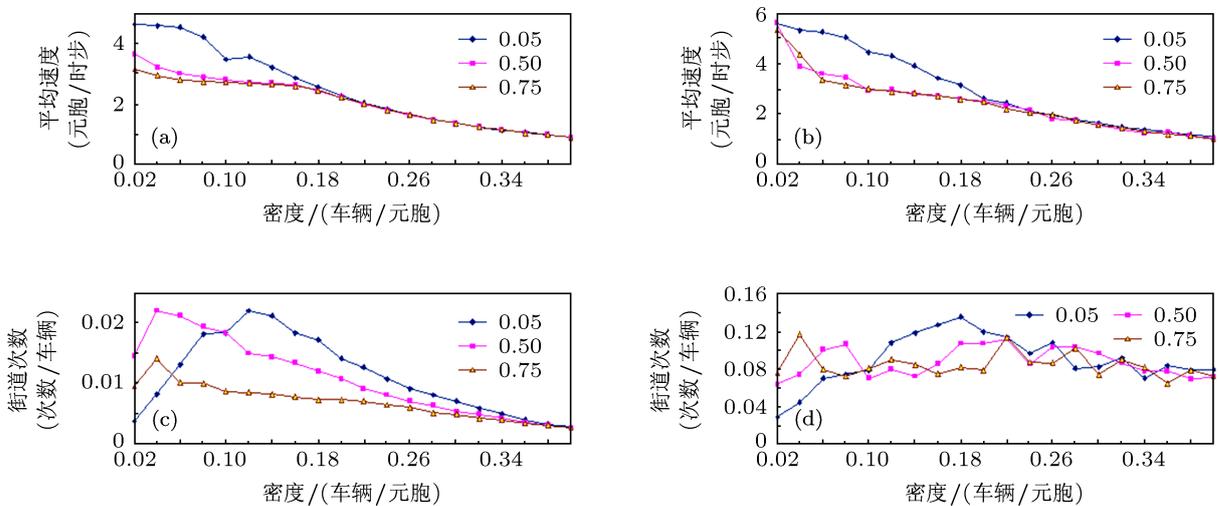


图 3 不同 R 值条件下 4 车道元胞自动机模型基本图 (a) 社会车辆平均速度 - 密度关系; (b) 应急车辆平均速度 - 密度关系; (c) 社会车辆平均换道次数 - 密度关系; (d) 应急车辆平均换道次数 - 密度关系

辆速度在 R 为 0.5 及 0.75 时较为接近, 明显低于 R 为 0.05 时, 有别于社会车辆平均速度的变化特征; 密度高于 0.2 时, 混合比例系数对应急车辆车速不产生影响. 图 3(c) 表明, R 不同时, 社会车辆换道次数仍呈抛物线变化趋势, 但峰值对应的密度值不同且峰值大小不一, R 为 0.5 及 0.75 时换道次数在密度为 0.04 时即达到最大值, 之后随密度增加而递减; 密度大于 0.12 时, R 值越大, 换道次数越少. 图 3(d) 表明, 随着 R 值不同, 换道次数并无明显变化规律, 尤其是 R 值超过 0.5 时, 随着密度的增加, 车辆换道次数在 0.06—0.10 的范围内波动, 表明混合比例系数对应急车辆换道无太大影响.

为分析警笛影响区域参数的影响, 假定 $D_1 = D_2 = D_3 = D/3$, $p_3 = 0.5$, $p_4 = 0.5$. 图 4 为 $R = 0.05$, $dev = 1$, $p_0 = 0.3$, $p_1 = 1$, $p_2 = 1$ 条件下不同 D 值

所对应的速度、换道次数与车流密度的关系. 图 4(a)—(c) 曲线分别对应整个道路上所有社会车辆、应急车辆、应急车辆前方 60 个元胞内社会车辆的平均速度, 图示表明, 在密度为 0.10—0.14 范围内, 不同 D 值起到一定作用. 图 4(d) 表明 D 值对整个道路上社会车辆平均换道次数几乎不产生影响, 三条曲线近乎重合. 图 4(e) 表明 D 值对应急车辆换道次数起到一定作用, $D = 9$ 时的换道次数在密度低于 0.24 范围内明显较低. 图 4(f) 显示, 相较于图 4(d), 应急车辆前方 60 个元胞范围内的社会车辆换道次数呈现了不同的特点, 其值略高, 且各曲线分离, $D = 9$ 时的换道次数在密度低于 0.28 范围内明显较低, 与图 4(e) 曲线正好相反. 该结果论证了 D 值通过鸣笛影响前方一定距离内的车辆换道, 并在一定密度范围内扰动相关车辆速度.

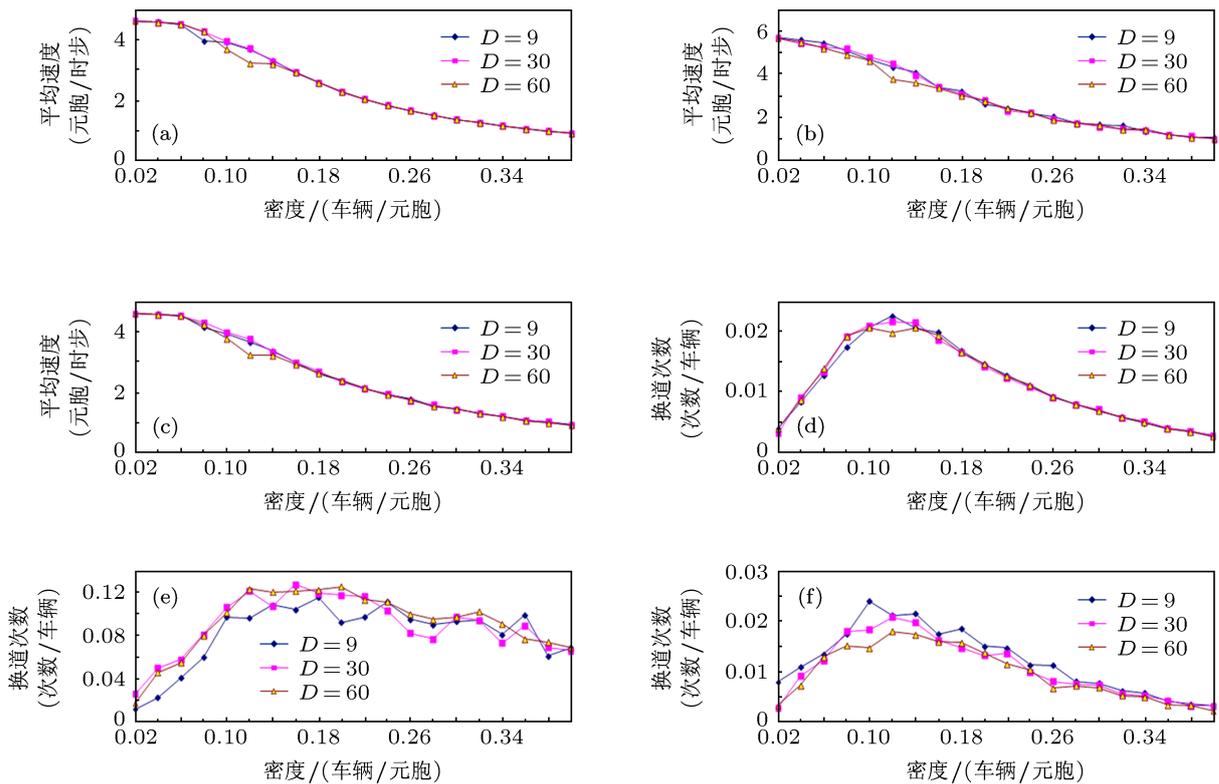


图 4 不同 D 值条件下 4 车道元胞自动机模型基本图 (a) 社会车辆平均速度 - 密度关系 (整个道路); (b) 应急车辆平均速度 - 密度关系; (c) 社会车辆平均速度 - 密度关系 (应急车辆前方 60 个元胞内); (d) 社会车辆平均换道次数 - 密度关系 (整个道路); (e) 应急车辆平均换道次数 - 密度关系; (f) 社会车辆平均换道次数 - 密度关系 (应急车辆前方 60 个元胞内)

图 5 为 $R = 0.05$, $D = 10$, $p_0 = 0.3$, $p_1 = 1$, $p_2 = 1$ 条件下不同 dev 值所对应的速度、换道次数与车流密度的关系. 图 5(a) 及 5(c) 显示, 车流密度为 0.1 时, $dev = 1$ 对应的车速和换道次数低于其他两种情形, 表明 dev 值的调整对社会车辆几乎不产生影

响. 图 5(b) 表明, 车流密度高于 0.08 时, dev 值越大, 应急车辆平均速度越大; 随着密度增加, 车速增加值无明显波动. 图 5(d) 表明, 车流密度高于 0.08 时, 不同 dev 值对应的应急车辆换道次数变化明显, dev 值越大, 换道次数越多.

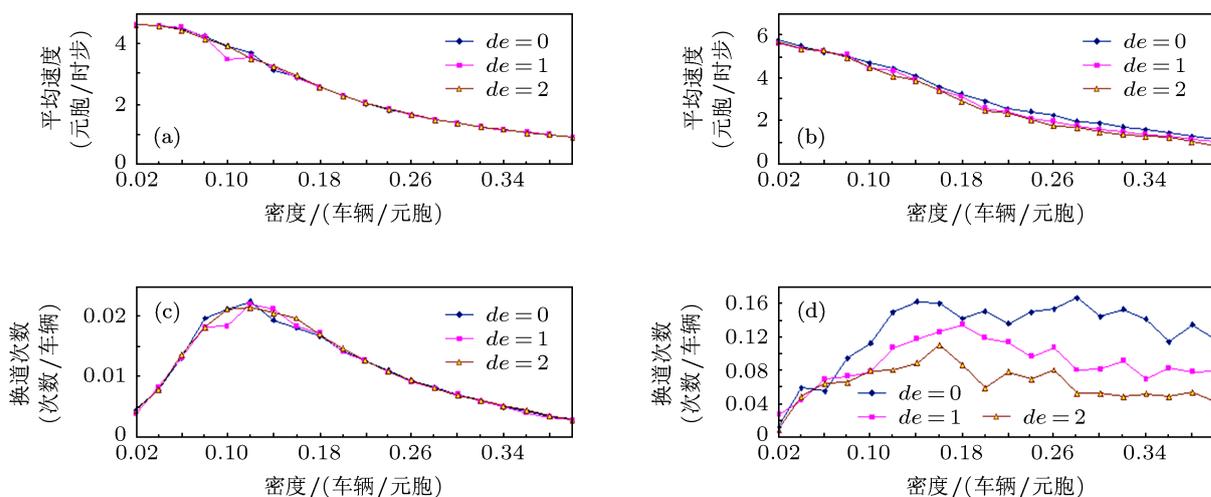


图5 不同 dev 值条件下 4 车道元胞自动机模型基本图 (a) 社会车辆平均速度 - 密度关系; (b) 应急车辆平均速度 - 密度关系; (c) 社会车辆平均换道次数 - 密度关系; (d) 应急车辆平均换道次数 - 密度关系

5 结论

考虑社会车辆与应急车辆的相互干扰, 建立了多车道交通流元胞自动机模型. 结果表明: 1) 时空斑点图再现了交通流拥堵和消散过程, 在密度较低时, 多车道交通流更易达到空间上的均衡分布, 体现了车辆利用相邻车道空间平衡交通的自组织行为; 2) 车道数对应急车辆的影响甚于社会车辆, 在密度低于 0.34 时, 车道数越多, 越有利于提高应急车辆速度和换道次数, 车道数对社会车辆的影响仅限于密度为 0.04—0.12 时; 3) 密度低于 0.2 时, 车辆混合比例系数影响各种类型车辆的平均速度, 大型

车越多, 社会车辆平均换道次数越少, 但对于应急车辆换道次数几乎没有影响; 4) 密度为 0.10—0.14 时, 警笛影响区域参数对车速造成扰动, 在中低密度范围内对前方一定距离内车辆及本身的换道产生较大影响; 5) 应急车辆强制换道安全距离参数对社会车辆影响有限, 密度高于 0.08 时明显改变了应急车辆的平均速度及换道次数.

上述结果论证了应急车辆对交通流产生一定的干扰, 车道数、混合车辆比例系数是决定低密度条件下车速的重要因素. 应急车辆影响参数的提出体现了应急车辆的优先权, 表明所建立的模型更适用于应急场景下的实际交通状况.

[1] Nagel K, Schreckenberg M 1992 *J. Phys.* **12** 2221
 [2] Knospe W, Santen L, Schadschneider A, Schreckenberg M 2000 *J. Phys. A* **33** 477
 [3] Jiang R, Wu Q S 2003 *J. Phys. A* **36** 381
 [4] Qian Y S, Zeng J W, Du J W, Liu Y F, Wang M, Wei J 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 060505 (in Chinese) [钱勇生, 曾俊伟, 杜加伟, 刘宇斐, 王敏, 魏军 2011 物理学报 **60** 060505]
 [5] Jia B, Jiang R, Wu Q S, Hu M B 2005 *Physica A* **348** 544
 [6] Zheng L, Ma S F, Zhong S Q 2011 *Physica A* **390** 1072
 [7] Li Q L, Sun X Y, Wang B H, Liu M R 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 5996 (in Chinese) [李启朗, 孙晓燕, 汪秉宏, 刘慕仁 2010 物理学报 **59** 5996]
 [8] Zhu L H, Zheng R S, Tian H H, Wei Y F 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 128901 (in Chinese) [朱留华, 郑容森, 田欢欢, 韦艳芳 2011 物理学报 **60** 128901]
 [9] Kuang H, Kong L J, Liu M R 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 2894 (in Chinese) [邝华, 孔令江, 刘慕仁 2004 物理学报 **53** 2894]
 [10] Zheng R S, Tan H L, Kong L J, Liu M R 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3516 (in Chinese) [郑容森, 谭惠丽, 孔令江, 刘慕仁 2005 物理学报 **54** 3516]
 [11] Qian Y S, Wang H L, Wang C L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2115 (in Chinese) [钱勇生, 汪海龙, 王春雷 2008 物理学报 **57** 2115]
 [12] Vasic J, Ruskin H J 2012 *Physica A* **391** 2720
 [13] Hua X D, Wang W, Wang H 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 084502 (in Chinese) [华雪东, 王炜, 王昊 2011 物理学报 **60** 084502]
 [14] Peng L J, Kang R 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 830 (in Chinese) [彭莉娟, 康瑞 2009 物理学报 **58** 830]
 [15] Kang R, Peng L J, Yang K 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4514 (in Chinese) [康瑞, 彭莉娟, 杨凯 2009 物理学报 **58** 4514]
 [16] Mou Y B, Zhong C W 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 5597 (in Chinese) [牟勇彪, 钟诚文 2005 物理学报 **54** 5597]

Cellular automaton simulation of multi-lane traffic flow including emergency vehicle *

Zhao Han-Tao^{1)†} Mao Hong-Yan²⁾

1) (School of Automotive Engineering, Harbin Institute of Technology, Weihai 264209, China)

2) (Library of Harbin Institute of Technology, Weihai 264209, China)

(Received 11 October 2012; revised manuscript received 1 November 2012)

Abstract

Based on the analysis of urban road traffic flow affected by emergency vehicle, a multi-lane cellular automaton model is established. Three characteristic variables are introduced to modify the lane change rules, including the give-way state variable, the affected areas of police siren and the safe distance for mandatory lane change. Numerical simulation results indicate that lane number and hybrid vehicle scale factor have a great influence on vehicle speed and lane change number in low-density range. And the parameter setting for affected areas of police siren changes the lane change number within a certain range. Meanwhile, the parameter of safe distance for mandatory lane change mainly affects emergency vehicle speed and lane change number. The study indicates that the appearance of emergency vehicle interferences with traffic flow of lower density obviously, and the proposed parameters make cellular automaton model closer to the actual traffic scenarios under emergency conditions.

Keywords: traffic flow, cellular automaton, emergency vehicle

PACS: 05.50.+q, 45.70.Vn, 05.40.-a

DOI: 10.7498/aps.62.060501

* Project supported by the China Postdoctoral Science Foundation (Grant No. 2011M500676).

† Corresponding author. E-mail: zhthitwh@163.com