

基于跟车行为的双车道交通流元胞自动机模型*

敬明[†] 邓卫 王昊 季彦婕

(东南大学交通学院, 南京 210096)

(2012年6月2日收到; 2012年7月12日收到修改稿)

结合跟车行为中车辆相对运动的影响和安全驾驶条件, 引入换道规则, 提出了基于跟车行为的双车道元胞自动机模型. 模型可以描述系统在临界密度附近的亚稳态性质, 其仿真结果与实测数据符合很好. 在对车辆换道仿真数据采集处理的基础上, 研究满足换道条件的车辆数和车辆密度间的关系, 定义了换道函数描述标准驾驶行为下的车辆换道过程, 求得函数的解析解并使用函数预测经换道达到稳定的车辆密度值, 为量化和深入研究车辆的换道行为提供参考.

关键词: 元胞自动机, 亚稳态, 换道规则, 数值模拟

PACS: 45.70.Vn, 89.40.-a

1 引言

20世纪中叶开始, 交通问题由于其复杂性和实际意义, 开始吸引大量科学家对其进行研究. 元胞自动机 (cellular automaton, CA) 模型是一种时间、空间和变量都离散的数学模型, 具有规则简单, 灵活可调, 易于编程等特点, 近年来在交通流研究中得到了广泛应用^[1-8]. 最具代表性的元胞自动机模型是由 Nagel 和 Schreckenberg 提出的 NaSch 模型^[1], 该模型可以描述一些实际交通现象, 但所模拟的最大交通量小于实测数据^[2], 并且不能描述临界点附近的亚稳态性质. 在 NS 模型基础上, 人们提出了许多改进模型, 例如改进加速规则的 FI 模型^[3], 引入慢启动规则的 VDR 模型^[4], 改进减速规则的敏感驾驶模型^[5]等; 针对 NS 模型不可超车的局限性, 学者们提出了多种单向多车道 CA 模型^[6-8], 并建立了各种换道规则^[9-12].

NS, FI 等模型采用并行更新方式, NS 模型仿真的平均车头间距大于实际值, 由于其安全间距条件只是防碰撞条件, 可以认为车辆间距偏大的原因是并行更新过程中没有考虑前车运动对后车前方

空间的影响. 本文结合实际跟车行为中车辆的相对运动和安全驾驶条件, 提出了基于跟车行为的 CA 模型, 模型的仿真流量与实测数据符合较好, 并能描述系统在临界密度附近的亚稳态性质. 在单车道模型基础上引入换道规则建立了考虑跟车行为的双车道模型, 通过数值模拟得到了双车道单向交通流的几个有意义的结论. 定义了换道函数描述标准驾驶行为下的车辆换道过程, 求得函数的解析解并使用函数预测经换道达到稳定的车辆密度值, 为深入研究车辆的换道行为提供参考.

2 单车道模型及数值模拟

2.1 基于跟车行为的元胞自动机模型

将道路视为由 r_{length} 个元胞组成的离散格点链, 为增加模型的精确程度, 将元胞尺寸作为仿真程序的输入值. 设元胞尺寸为 c_{size} , 车辆长度为 c_{arsize} , $V_i(t)$ 为第 i 辆车在 t 时刻的速度, $X_i(t)$ 为第 i 辆车车尾在 t 时刻的位置, $\text{gap}_i(t)$ 为车前行驶空间, 其初始值为第 i 辆车车头和第 $i+1$ 辆车车尾间的距离 ($\text{gap}_i(t) = X_{i+1}(t) - X_i(t) - c_{\text{arsize}}$),

* 国家自然科学基金 (批准号: 51008074, 50908051) 和教育部博士点基金 (批准号: 20090092120047) 资助的课题.

[†] E-mail: 410406341@qq.com

V_{\max} 为车辆的最高速度, acc 为车辆加速度, dec 为车辆减速度 (车辆长度, 位置, 速度, 加减速度等参数取值均为实际数值除以元胞尺寸 csize), p 为随机减速概率, k 为安全驾驶参数, SH 为车辆搜索指针的位置, $\text{round}(x)$ 为对 x 四舍五入的取整函数. 模型采用串行更新方式和周期性边界条件, 仿真的初始条件是将车辆根据给定的密度均匀分配在车道上, 车辆初速度取 0 到 V_{\max} 间的整数随机值, t 时刻车辆状态的更新规则可表示如下:

1) 在车队中选定车辆 a ($\text{SH} = X_a(t)$), 从车辆 a 开始交通系统状态更新.

2) 加速过程:

$$V_i(t+1) = \min(V_i(t) + \text{acc}, V_{\max}).$$

3) 确定性减速过程:

$$V_i(t+1) = \min(V_i(t+1), \text{gap}_i(t)).$$

4) 以概率 p 随机性减速过程:

$$V_i(t+1) = \max(V_i(t+1) - \text{dec}, 0).$$

5) 位置更新:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1).$$

6) 向后搜索到下一辆车 $i-1$:

If $\text{SH} = 0$, Then $\text{SH} = \text{SH} + \text{rlength}$ 并继续搜索;

If $i-1 \neq a$ Then 更新第 $i-1$ 辆车的车前行驶空间:

$$\text{gap}_{i-1}(t) = \text{gap}_{i-1}(t) + \text{round}\left(V_i(t+1) \times (V_i(t+1)/V_{\max})^k\right);$$

返回步骤 2), 继续更新第 $i-1$ 车辆状态;

If $i-1 = a$, Then 进行步骤 (7).

7) 更新每辆车辆的车前行驶空间:

$$\text{gap}_i(t+1) = X_{i+1}(t+1) - X_i(t+1) - \text{carsize};$$

t 时刻的更新结束, 返回步骤 1) 进行 $t+1$ 时刻的更新;

串行更新过程中, 首辆更新的车辆无法考虑前车运动对本车车前空间的影响. 为消除首辆更新车辆对交通流的迟滞作用, 对任意时刻的交通状态演变, 更新从同一辆车 a 开始.

更新步骤 6) 体现了跟车行为中车辆相对运动的影响. 前车速度 $V_i(t+1)$ 为 0 时, 后车车前空间 $\text{gap}_{i-1}(t)$ 等于两车间的空间距离. 前车速

度 $V_i(t+1)$ 为 V_{\max} 时, $\text{gap}_{i-1}(t) = \text{gap}_{i-1}(t) + V_i(t+1)$, 描述了前车全速行驶时后车高速追赶前车的现象. 参数 k 大于 0 时, 函数 $\text{gap}_{i-1}(t)(V_i(t+1))$ 的曲线是下凸的, 随前车速度变小, 安全间距迅速增大, 体现了车辆驾驶的安全性特征. 调节 k 的取值可以改变驾驶员的保守程度和安全间距的大小, 调整模型的仿真效果.

2.2 数值模拟与分析

2.2.1 与实测数据对比

图 1(a) 为加利福尼亚一条公路上每 6 min 实测数据平均得到的速度 - 流量关系图 [2]. 将基于跟车行为模型的仿真结果与实测数据进行对比, 设 $V_{\max} = 21$, 对应 113 km/h, 与实测数据中最大速度 110 km/h 相近. 设元胞尺寸 $\text{csize} = 1.5$ m, 车道长度 $\text{rlength} = 5000$ (7.5 km), 车辆长度 $\text{carsize} = 5$ (7.5 m); 加速度与减速度取 5 个元胞长度 ($\text{acc} = \text{dec} = 5$), 对应 7.5 m/s^2 ; 随机慢化概率 p 取 0.25. 设车道上车辆总数为 N , 则密度 $D = 1000N/(\text{csize} \times \text{rlength})$ (veh/km), 平均速度 $V = 1/N \sum_{i=1}^N V_i(t) \times \text{csize} \times 3.6$ (km/h), 流量 $J = DV$ (veh/h).

为消除暂态影响和第一辆更新车辆对交通流的迟滞影响, 对初始的 10^4 时间步不作统计, 之后每 6 min 对道路交通参数进行统计并平均. 参数 k 不同取值下基于跟车行为模型的仿真结果与实测数据的对比如图 1 所示.

从图中可以看出, 随 k 值变大, 即随驾驶员保守程度增加和安全间距增大, 基于跟车行为模型的流量减少. 在小元胞尺寸和安全驾驶参数的基础上, 可以对模型参数和驾驶员行为精细调节, 方便不同交通条件下的仿真模拟. $k = 2.4$ 时, 基于跟车行为模型的速度流量关系与实测数据符合很好, 解决了经典 NS 模型仿真流量偏少的问题.

2.2.2 亚稳态与回滞现象

为研究交通系统的稳定性, 取 $k = 2.4$, 其余参数同 2.2.1 节, 在临界密度 ($p = 0.165$) 下进行仿真. 当系统处于最大流量时, 消除暂态影响后, 随机挑选一辆车使其速度为 0, 在下一个时间步长使其继续前进, 产生一个扰动. 图 2(a) 是运行 10^4 时间步后, 处于畅行状态的系统受到扰动后的时空演化斑

图. 图中黑点表示车辆, 白点表示空白区域. 从图中可看出, 系统的稳定状态被破坏了, 出现了深色区域表示的车辆聚集区域, 即局部阻塞, 与畅行区域明显分离, 形成相分离现象, 说明系统在临界密度附近处于亚稳态 [4,13].

为研究基本图上的回滞现象, 采用 2 种不同的初始条件进行模拟. 初始条件 1 中车辆以等间距

分布, 初始条件 2 中所有车辆静止组成一个大阻塞相 [4,14], 通过仿真得到基本图如图 2(b) 所示. 从图中可看出, 基本图中出现回滞现象, 回滞曲线的上侧分支对应初始状态为均匀状态的车流密度, 下侧分支对应初始状态为大阻塞相的车流密度. 回滞现象也说明了模型可以描述交通系统在临界密度附近的亚稳态性质.

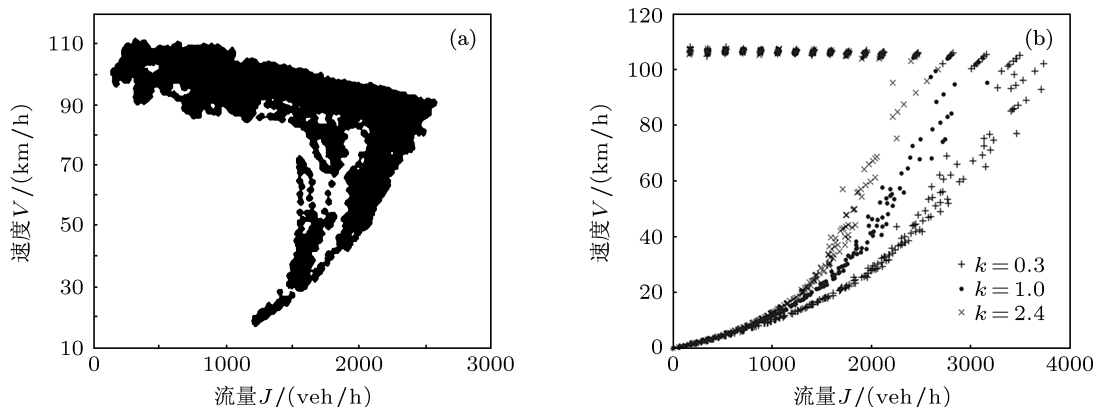


图 1 仿真结果与实测数据的对比 (a) 实测速度 - 流量图; (b) 考虑跟车行为模型的速度 - 流量图

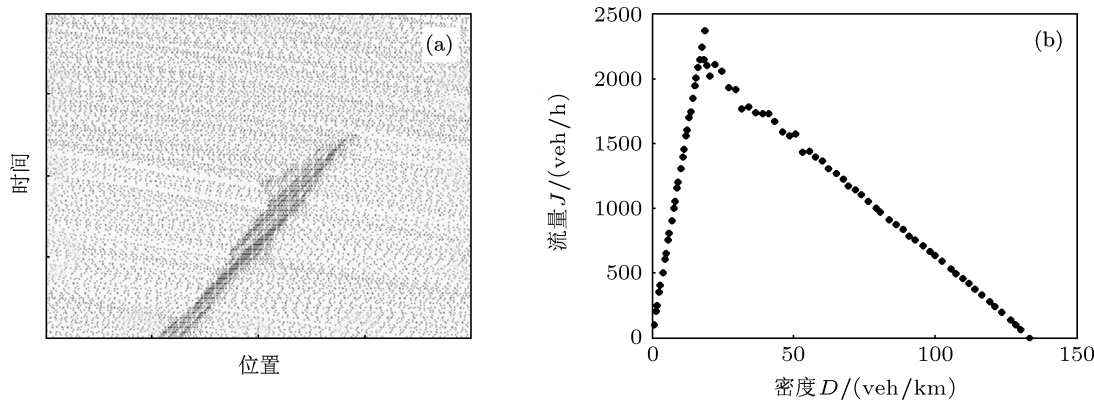


图 2 交通系统临界密度附近的亚稳态性质 (a) 系统稳定时受到扰动的时空演化斑图; (b) 从不同初始条件出发模拟得到的基本图

3 双车道模型及数值模拟

3.1 基于跟车行为模型的换道规则

在考虑跟车行为模型的基础上, 引进换道规则, 建立双车道仿真模型. 在 2.1 节中步骤 7) 之后进行换道步骤. 为保证两车道上车辆状态的正常更新, 车道上首辆更新车辆不参与换道过程.

车辆完成一次横向位移至少需要 2s 时间 [15]. 在车辆自由换道过程中, 由于相邻车道前方空间较

大, 车辆一般不会进行减速. 综合考虑上述因素, 为真实再现车辆换道过程, 避免乒乓换道现象, 定义换道间隔参数 $t_h = 4s$ 和减速间隔参数 $t_s = 3s$. 模型中的换道行为仍在 1 个时间步长内完成, 规定车辆完成一次换道后, 在 t_s 个时间步长中, 速度更新时跳过随机性减速步骤, 并且至少经过 t_h 个时间步长才可进行下次换道.

模型的换道条件类似文献 [11] 中 STCA-I 型换道规则. 在换道需求条件中考虑固定的车前空间, 以便产生更多的换道需求, 描述车辆的侵略性

换道行为; 在安全条件中考虑下个时间步长中车辆的相对速度, 并取 3 m 作为缓冲距离. 对于第 n 车道 ($n = 0, 1$) 上的车辆 i (i 不为首辆更新车辆), 考虑跟车行为模型的换道规则为:

$$\text{If } t_i \geq t_h, \min(V_i(t) + \text{acc}, V_{\max}) > \text{gap}_i(t), \\ d_x > \text{gap}_i(t),$$

$$d_y \geq \min(V_y(t) + \text{acc}, V_{\max}) \\ - \min(V_i(t) + \text{acc}, V_{\max}) + 2, \quad p_s \leq p_{\text{lanen}};$$

Then 车辆 i 进行换道: $\text{lane}(n) \rightarrow \text{lane}(1-n)$, $t_i = 0$.

两车道车辆的换道都完成后, 按 2.1 节中步骤 7) 更新所有车辆的车前行驶空间.

式中 x 与 y 表示车辆 i 相邻车道上的前后车, d_x 与 d_y 为车辆 i 与相邻车道上前后车的距离. t_i 为车辆 i 上次换道后经过的时间步长, $V_y(t)$ 是相邻车道上后车的速度, p_s 为车辆的选择换道概率, 通过 (0, 1) 间的随机数产生. p_{lanen} ($n = 0, 1$) 为车辆从第 n 车道向相邻车道换道的临界换道概率. 安全

间距的取值为下一时刻相邻车道后方车辆的最大可能速度减去本车的最大可能速度, 同时为保证安全, 留出 2 个元胞 (3 m) 的缓冲距离.

3.2 数值模拟与分析

取 $t_h = 4 \text{ s}$, $t_s = 3 \text{ s}$, $p_{\text{lane}0} = 0.6$, $p_{\text{lane}1} = 0.6$, $V_{\max} = 25$ (135 km/h), $k = 2.4$, 其余参数同 2.2.1 节, 分别采用跟车模型和 STCA 模型的换道规则对车辆换道行为进行模拟, 仿真结果如图 3 所示:

从图 3(a) 可看出, 在换道安全条件中考虑车辆的相对运动可以显著增大车辆的换道率 (换道次数/(辆·s)). 从图 3(b) 可看出, 换道行为对系统流量的影响并不明显. STCA 模型换道规则中的安全间距定义为后车的最大速度, 其规则下的换道行为在提升本车速度的同时不会阻碍后车运动, 但由于较低的换道率, 换道对系统流量的提升作用有限; 基于跟车行为模型的换道规则下, 换道车辆可能降低相邻车道的后车速度并增大速度离散度, 所以模型中换道次数的增加对系统流量亦无显著提升作用.

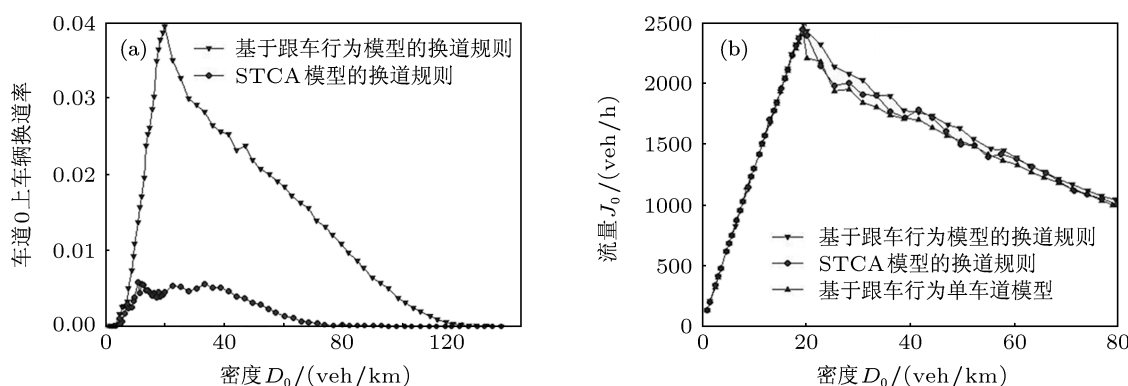


图 3 不同换道规则对交通系统的影响 (a) 不同换道规则下的密度 - 换道率图; (b) 不同换道规则下的密度 - 流量图

4 对车辆换道行为的数值分析

为研究经过换道达到稳定后车道上的密度分布, 在不同的初始密度分布和临界换道概率下对换道行为进行仿真, 其余参数取值同 3.2 节, 仿真结果如图 4 所示.

图 4 描述了系统运行 10^4 个时间步长后, 在 4 种不同的初始条件下进行的车辆换道. 为方便作图, 其中 2 次仿真在图中 $t = 60\text{s}$ 时开始换道, 另 2 次在 $t = 120\text{s}$ 时开始换道. 从图中可看出, 车道上的车辆密度经一定时间步长后达到相对稳定, 初始条

件 1, 2 和 3, 4 分别得到了相同的稳定态车辆密度分布. 结合不同初始条件中车辆密度和临界换道概率的取值可看出, 当路段上的车辆总数和两车道临界换道概率的比值一定时, 车道上经过换道达到稳定的车辆密度取值就被唯一确定, 不受车辆初始密度分布和单个临界换道概率取值的影响. 仿真表明采用 NS 模型等其他模型进行模拟, 在不同的换道规则下, 上述结论均成立, 而达到稳定后的车辆密度值受模型和换道规则的影响.

车辆的换道次数等于满足换道条件车辆数乘以相应的临界换道概率. 车辆是否满足换道

条件与本车和相邻车道前后车的速度、间距等有关. 宏观上看, 平均速度和间距都是车辆密度 D 的单值函数, 可将单位时间和路段长度内满足换道条件的车辆数看成密度的函数. 据此定义换道函数 $hd(D_a, D_b)$, 函数值为 1 个时间步长 (1s) 内, 在 1 km 的路段上, 满足从车道 a 向 b 换道条件的车辆数 H_{ab} . 可以设想, 在两车道上采用相同仿真模型和换道规则的情况下, 其换道函数可采用相同的形式. 当两车道

上车辆密度经换道达到稳定时, 有 $dD/dt = 0$, 即 $hd(D_0, D_1) \times P_{lane0} - hd(D_1, D_0) \times P_{lane1} = 0$; 两车道上车辆总数一定时, 设 1 km 路段上车辆总数

为 C , 则有 $\frac{hd(D_0, C - D_0)}{hd(C - D_0, D_0)} = \frac{P_{lane1}}{P_{lane0}}$, 即路段上车

辆总数一定时, 经换道后稳定的车辆密度取值只和临界换道概率的比值相关.

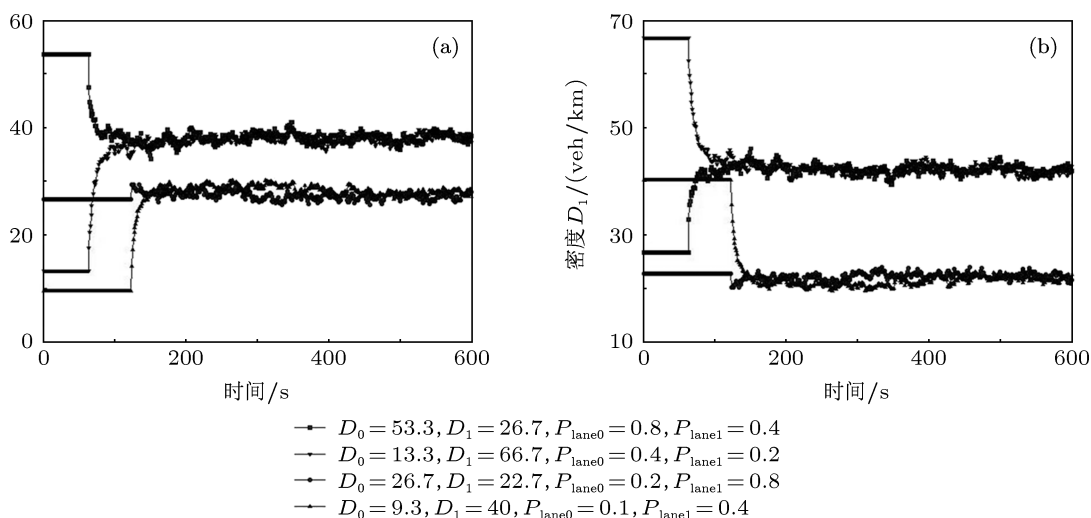


图 4 车辆换道过程的密度 - 时间图 (a) 车道 0 的时间 - 密度图; (b) 车道 1 的时间 - 密度图

为研究换道函数的性质, 设两车道的车辆初始密度分别服从 $[10, 133]$ 上的均匀分布, 其临界换道概率分别服从 $[0.1, 0.95]$ 上的均匀分布, 其余参数取值同 3.2 节, 在不同初始条件下进行 4×10^3 次模拟, 记录开始换道后 70 个时间步长内两车道的 D_a, D_b, H_{ab} , 称为数据组 1; 记录密度达到稳定后任意 10 个时间步长内两车道的 D_a, D_b, H_{ab} , 称为数据组 2. 在具有随机性质的交通系统中, 同样初始条件下的换道函数值往往以小于 1.5 的振幅波动, 为研究换道过程中的确定性特征, 对数据进行处理: 设有整数 $D_A, D_B \in [10, 133]$, 对于 D_A 和 D_B 的每一种取值组合, 如有 $|D_{a1,2,\dots,n} - D_A| \leq 0.3$ 且 $|D_{b1,2,\dots,n} - D_B| \leq 0.3$, 则产生新数据 $[D_{ak}, D_{bk}, H_{abk}]$ 其中 $D_{ak} = 1/n \sum_{i=1}^n D_{ai}$, $D_{bk} = 1/n \sum_{i=1}^n D_{bi}$, $H_{abk} = 1/n \sum_{i=1}^n H_{abi}$; 并将搜寻到的 n 组数据删除.

对于 2 元函数 $hd(D_a, D_b)$, 为研究其中一个

车道密度确定的情况下函数值随另一个车道密度变化的性质, 分别以 $D_a \in (55 - 0.2, 55 + 0.2)$ 和 $D_b \in (55 - 0.2, 55 + 0.2)$ 为条件在 2 个数据组中搜索, 作密度-函数值图如图 5 所示.

从图中可以看出, 当 D_a 确定时, 满足由车道 a 向 b 换道条件的车辆数 H_{ab} 与 D_b 负相关; 当 D_b 确定时, H_{ab} 与 D_a 正相关. 从图 5(a), (b) 可看出, 对数据组 1 中的数据, 当一个车道密度确定时, 另一个车道的密度有较大的变化范围, 这是因为数据组 1 的数据采集时间涵盖了密度由初始值向稳定值变化的过程; 图中没有小于 20 veh/km 的密度数据, 因为当初始密度小于 20 veh/km 而另一个车道密度为 55 veh/km 时, 换道函数的取值较大, 换道开始 1 个时间步长后程序统计密度时, 经过换道, 车辆密度已经大于 20 veh/km. 图形可分为两个分支, 函数值先随密度以近似线性关系变大 (变小), 当 $D_b \gg D_a$, 使满足由 a 向 b 换道条件的车辆数接近 0 时, 图形趋于水平. 图 5(c) 和 (d) 的横坐标跨度

范围都约为 60 veh/km, 经对数据组 2 的统计得出, 在上述仿真条件下, 密度达到稳定后, 两车道密度差值不会超过 30 veh/km, 在此范围内, 车辆密度和函数值可近似看做线性关系. 当 D_b 或 D_a 确定时,

设 $H_{ab} = k_a D_a + d_a$ 或 $H_{ab} = k_b D_b + d_b$, 为进一步研究换道函数性质, 采用数据组 2 的数据, 作密度-函数值图形并对其采用一次函数拟合, 不同密度下拟合函数的斜率和截距如图 6 所示.

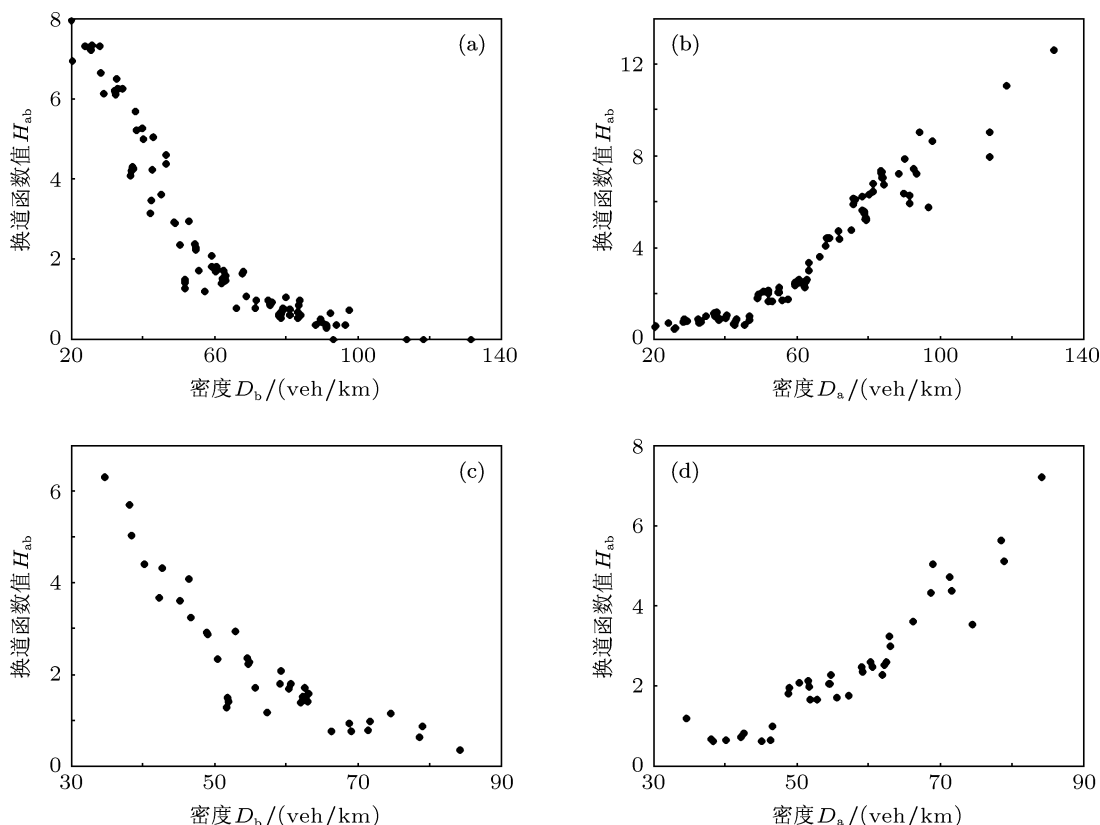


图 5 不同数据组搜索得到的车辆密度和函数值关系 (a) 数据组 1, $D_a = 55$ veh/km 时 D_b 与 H_{ab} 的关系; (b) 数据组 1, $D_b = 55$ veh/km 时 D_a 与 H_{ab} 的关系; (c) 数据组 2, $D_a = 55$ veh/km 时 D_b 与 H_{ab} 的关系; (d) 数据组 2, $D_b = 55$ veh/km 时 D_a 与 H_{ab} 的关系

从图 6(a) 中可看出, 当 D_a 的取值小于 25 veh/km 或大于 110 veh/km 时, k_b 的绝对值迅速减小, 即车道 a 车辆密度足够小或足够大时, 满足从车道 a 至 b 换道条件的车辆数受车道 b 密度影响的程度减弱. 结合图 6(b) 中截距的对应值可知, 此时满足换道条件的车辆数也较小, 这是因为当 D_a 取值较小时, a 车道上的车辆多以接近最高速度行驶, 产生换道需求的车辆很少; 当 D_a 取值较大时, 由于数据组 2 中两车道密度差值较小, 此时车道 b 上较高的车辆密度使许多有换道需求的车辆缺乏足够的安全距离来进行换道.

由图 6(c) 可看出, k_a 的值随 D_b 的增大先升后降. 当 D_b 很小时, 由于数据组 2 中两车道密度差值较小, 车道 a 上处于低密度的自由流状态, 产生很少的换道需求, 随 D_b 的增大, k_a 先迅速增大, 表

明随车道 a 车辆密度增大, 车辆开始产生换道需求, 之后由于换道安全条件的限制, k_a 随 D_b 缓慢减少.

为求得换道函数的解析解, 采用二次函数对图 6(a) 和 (b) 中的 k_b-D_a 和 d_b-D_a 关系进行拟合, 将结果代入线性关系式中, 并考虑其实际意义, 得到换道函数的解析式

$$hd(D_a, D_b) = (0.00002D_a^2 - 0.00305D_a - 0.03304)D_b - 0.0024D_a^2 + 0.3791D_a - 3.3323, \quad (|D_a - D_b| \leq 30). \quad (1)$$

If $hd(D_a, D_b) < 0$, Then $hd(D_a, D_b) = 0$.

为验证 (1) 式的精确程度, 将图 4 中的初始条件代入求解方程 $\frac{hd(D_0, C - D_0)}{hd(C - D_0, D_0)} = \frac{P_{lane1}}{P_{lane0}}$, 在初

始条件 1, 2 下得到解 $D_0 = 35.9 \text{ veh/km}$, $D_1 = 44.1 \text{ veh/km}$; 在初始条件 3, 4 下得到解 $D_0 = 29 \text{ veh/km}$, $D_1 = 20.3 \text{ veh/km}$. 联系图 4 可知作为换道函数的解析式, (1) 式的精度满足预测经换道到达稳定的车辆密度值的要求. 为便于分

析密度对车辆换道行为的影响, 同时考虑到函数形式的简洁, 在建立解析式的过程中分别采用一次函数和二次函数对数据进行拟合, 如采用高次多项式拟合, 可以进一步提高解析式的精确程度.

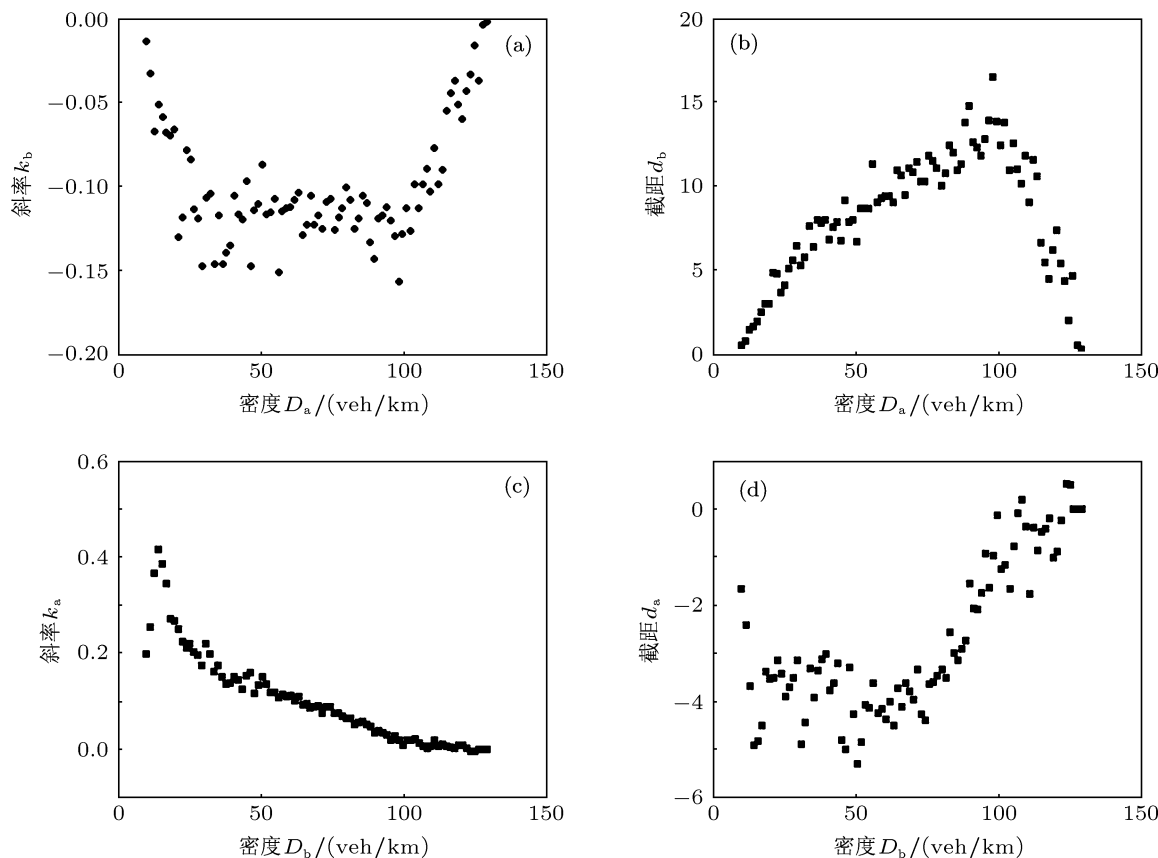


图 6 线性拟合函数的斜率和截距与车辆密度的关系 (a) k_b - D_a 的关系; (b) d_b - D_a 的关系; (c) k_a - D_b 的关系; (d) d_a - D_b 的关系

5 结论

结合实际跟车行为中前车运动的影响和安全驾驶条件, 提出了基于跟车行为的元胞自动机模型, 模型的仿真流量与实测数据符合较好, 并能描述系统在临界密度附近的亚稳态性质. 模型采用小元胞尺寸, 可以通过调整相关参数对车辆性能和驾驶员行为进行精细调节, 方便不同交通条件下的仿真模拟.

在考虑跟车行为模型的基础上引入换道规则建立了考虑跟车行为的双车道 CA 模型, 对车辆换道行为进行数值模拟, 得到如下结论: 1) 在换道安

全条件中考虑车辆的相对运动可以显著增大车辆的换道率, 但频繁的换道对系统流量的提高并无明显作用; 2) 不考虑车辆个体差异的情况下, 当路段上车辆总数和两车道临界换道概率的比值一定时, 车道上经过换道达到稳定的车辆密度取值就被唯一确定, 不受车辆初始密度分布和单个临界换道概率取值的影响; 3) 满足由车道 a 向 b 换道条件的车辆数 H_{ab} 可以用换道函数 $hd(D_a, D_b)$ 表示, 在正常的交通条件下, 车辆密度经换道达到稳定后, 两车道上车辆密度差值不会超过 30 veh/km , 在此范围内, 当 D_b 或 D_a 确定时, H_{ab} 与 D_a 或 D_b 的关系可以用线性表达式描述; 根据上述结论在仿真数据

基础上通过多项式拟合求得换道函数的解析解,使用换道函数预测的经换道到达稳定的车辆密度值与仿真结果符合很好,说明换道函数可以较准确地描述满足换道条件车辆数与两车道车辆密度间的关系.

本文在对车辆换道行为的模拟和对换道函数的求解过程中,研究对象都是具有标准化驾驶行为

的车辆.实际的交通系统更为复杂,在双车道模型中引入具有不同尺寸、速度和驾驶员保守程度的车辆,对车道实行限速等交通管理措施,在上述条件下研究换道函数的性质,采用更精确的方法求得函数的解析解并在其基础上深入研究车辆换道行为,可以作为下一步的研究方向.

-
- [1] Nagel K, Schreckenberg M 1992 *J. Phys. I France* **2** 2221
- [2] Wagner P 1996 *Traffic and granular flow* (Singapore: World Scientific) p193
- [3] Fukui M, Ishibashi Y 1996 *J. Phys. Soc. Japan* **65** 1868
- [4] Barlovic R, Santen L, Schreckenberg A 1998 *Eur. Phys. J. B* **5** 793
- [5] Lei L, Xue Y, Dai S Q 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2121 (in Chinese) [雷丽, 薛郁, 戴世强 2003 物理学报 **52** 2121]
- [6] Chowdhury D, Wolf D E, Schreckenberg M 1997 *Physica A* **235** 417
- [7] Nagel K, Wolf D E, Wagner P 1998 *Phys. Rev. E* **58** 1425
- [8] Wagner P, Nagel K, Wolf D E 1997 *Physica A* **234** 687
- [9] Rickert M, Nagel K, Schreckenberg M 1996 *Physica A* **231** 534
- [10] Knosp W, Santen L, Schadschneider A 1999 *Physica A* **265** 614
- [11] Wang Y M, Zhou L S, Lü Y B 2008 *China Journal of Highway and Transport* **21** 89 (in Chinese) [王永明, 周磊山, 吕永波 2008 中国公路学报 **21** 89]
- [12] Wang Y M, Zhou L S, Lü Y B 2008 *Journal of System Simulation* **20** 1159 (in Chinese) [王永明, 周磊山, 吕永波 2008 系统仿真学报 **20** 1159]
- [13] Schadschneider A 2002 *Physica A* **313** 153
- [14] Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A 2000 *Physics Reports* **329** 199
- [15] Qiang M, Jin X W 2011 *Transportation research. C* **19** 1263

Two-lane cellular automaton traffic model based on car following behavior*

Jing Ming[†] Deng Wei Wang Hao Ji Yan-Jie

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

(Received 2 June 2012; revised manuscript received 12 July 2012)

Abstract

With considering the influence of relative motion of vehicles in car following behavior, safe driving conditions and lane changing rules, a two-lane cellular automaton traffic model is proposed based on car following behavior, which is able to illustrate the system's metastable state near the critical point and produce simulation results that accord with observed data. With simulation data on lane changing behavior, a study is conducted on relationship between traffic density and number of vehicles meeting lane changing conditions. Lane changing function is defined to describe lane change process under standard driving behavior. Analytical solution of the function is obtained and used to predict traffic density that stabilizes after lane change process, which contributes to further research on vehicle lane changing behavior.

Keywords: cellular automaton, metastability, lane changing rules, numerical simulation

PACS: 45.70.Vn, 89.40.-a

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 51008074, 50908051), and the Doctoral Program of Higher Education of China(Grant No. 20090092120047).

[†] E-mail: 410406341@qq.com