

考虑驾驶方式改变的一维元胞自动机交通流模型^{*}

康 瑞 彭莉娟 杨 凯[†]

(四川大学计算机学院图形图像研究所, 成都 610064)

(2008 年 11 月 12 日收到 2008 年 12 月 8 日收到修改稿)

在一维元胞自动机交通流 WWH 模型和 SDNS 模型的基础上,建立了考虑驾驶方式改变的元胞自动机模型 (Change-CA 模型).具体描述为驾驶员可根据交通环境选择不同的驾驶方式在道路上驾车行驶,以各自的演化规则进行状态更新,同时定义了驾驶方式更新原则.通过计算机数值模拟,发现驾驶方式可变时,模型模拟得到的混合交通流流量较大,保守型驾驶方式对交通流变化的影响随改变概率增大而减少,并且在演化过程中,驾驶方式改变频率的变化趋势与改变概率、安全概率密切相关.与 NS 模型和 SDNS 模型相比,Change-CA 模型减少了车流的整体停滞现象,提高了道路的通行能力.

关键词:交通流,元胞自动机,驾驶方式,计算机数值模拟

PACC: 0550

1. 引 言

交通流理论被广泛地应用于交通运输功能的许多研究领域,如交通规划、交通控制和道路工程设计等.交通流理论研究的目标是建立能够描述实际交通一般特性的交通流模型,以揭示控制交通流的基本规律.由于元胞自动机^[1](cellular automata, CA)模型能有效模拟交通流中车辆微观运动状态,有利于了解车辆间的相互作用机理,因而在交通流研究中得到广泛的应用与发展^[2-21].

1992 年 Nagel 和 Schreckenberg 提出了考虑车辆逐步加速和随机减速的 NS 模型^[2],该模型是一种典型的一维单车道 CA 模型,适用于模拟高速公路的交通流.1996 年 Fukui 和 Ishibashi 基于高速驾驶理论提出了车辆迅速加速的 FI 模型^[3].2000 年汪秉宏等提出了 WWH 模型,该模型仅当车间距小于车辆最大速度时才会随机减速,且后车的速度不完全由车间距决定^[4].同年薛郁等在演化规则中考虑车辆之间的相对运动提出了改进的 NS 模型^[5].2002 年,雷丽等以行驶过程中的预期调解为基础,将随机延迟过程放在确定性减速之前,提出了敏感驾驶模型 (SDNS 模型)^[6].2005 年,牟勇彪等提出了考虑了前车速度为零的基于安全驾驶的 CA 模型^[7].

这些模型多对相同类型的车辆构成的交通流进行研究,实际上车辆的性能对交通流的影响是不可忽视的,而车道上一般都由不同性能的车辆混合行驶,因此研究混合车辆的交通流问题更能反映真实交通的特性.虽然一些模型^[8-11]以道路上不同类型的混合车辆进行研究,但模型定义的车辆特性在演化过程中不改变.由于最大速度和长度由车辆性能决定,在行驶时不发生变化,可定义为车辆的单一特性.但不考虑演化过程中的驾驶方式的改变,将每个车辆的驾驶方式也作单一化定义具有一定偏激性.这是由于实际的交通行为与道路环境信息紧密相关,车辆的运动规则不应是绝对不变的.通常驾驶员会根据车辆状态和当前交通情况更改驾驶方式.因此在时步演化中添加驾驶方式更新规则,车辆可选择适合的加减速过程,更符合现实的交通情况.本模型中,将驾驶方式分为两类^[9]:一类为激进型 (aggressive) 驾驶方式是尽量加速,与前车保持较小的车间距,较少刹车,让车辆尽量前行;一类是保守型 (conservative) 驾驶方式是以安全为主,与前车保持较大的车间距,刹车较多.本文在 WWH 模型和 SDNS 模型的基础上,考虑了车辆驾驶方式改变,并定义了改变原则.在周期性边界条件下对驾驶方式变化的混合交通流进行研究,数值模拟得到了流量、速度、混合比例与密度的基本图.经分析讨论,给出

^{*} 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (批准号 2006AA12A104) 和国家自然科学基金 (批准号 60736046) 资助的课题.

[†] 通讯联系人. E-mail: weasy2002@163.com

了混合交通流的几个有意义的结论,表明驾驶方式的变化对交通流量有较大影响。

2. 模 型

将道路视为长度为 L 的一维离散格点链,每一个格点在每一时刻为空或被一辆车占据,由最大速度相同,驾驶方式不同(一种为激进型,一种为保守型)的车辆混合分布在道路上,以 $X_i(t)$ 表示第 i 辆车在 t 时刻的位置; V_{\max} 表示车辆的最大速度; $V_i(t)$ 表示第 i 辆车在 t 时刻的速度, $V_i(t) \in [0, V_{\max}]$; $\text{gap}_i(t)$ 表示第 i 辆车在 t 时刻与前方紧邻车辆的间距, $\text{gap}_i(t) = X_{i+1}(t) - X_i(t) - 1$; $\Delta X_i(t)$ 表示第 i 辆车从 t 时刻到 $t+1$ 时刻的位移量, $\Delta X_i(t) = X_i(t+1) - X_i(t)$; p 表示车辆的随机减速概率; p_{safe} 表示安全减速概率, p_{change} 表示驾驶方式改变概率.定义变量 $\delta_i(t)$ 表示第 i 辆车在 t 时刻的驾驶方式:

$$\delta_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{激进型驾驶方式(AGG)}, \\ 0, & \text{保守型驾驶方式(CON)}. \end{cases}$$

在每一时步 $t \rightarrow t+1$ 中,车道上的车辆自左向右运动,在本模型的演化过程中,每一时步分为两个步骤.第一步,格点上的每一辆车,由于驾驶方式的不同,将按照不同的演化规则进行速度和位置的更新.第二步,根据第一步得到的速度和位置,如果车辆满足改变原则,则更新驾驶方式。

2.1. 车辆状态演化的更新规则

本文模型中,当 $\delta_i(t) = 0$,车辆基于 SDNS 模型^[6]进行状态演化,由加速、随机减速、确定性减速和位置更新构成,并出于驾驶的安全性考虑,当前车速度为 0 时,后面紧邻的车辆以一定的安全概率减速^[7].

1) 加速过程:

$$V_i(t+1/3) = \min(V_i(t) + 1, V_{\max}).$$

2) 以概率 p 随机减速过程:

$$V_i(t+2/3) = \max(V_i(t+1/3) - 1, 0).$$

3) 若前车速度 $V_{i+1}(t) = 0$ 时,以安全概率 p_{safe} 减速行驶过程:

$$V_i(t+1) = \max\{\min(V_i(t+2/3), \text{gap}_i(t) - 1), 0\}.$$

4) 若前车速度 $V_{i+1}(t) \neq 0$ 时,确定性减速过程:

$$V_i(t+1) = \min(V_i(t+2/3), \text{gap}_i(t)).$$

5) 位置更新:

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

当 $\delta_i(t) = 1$,车辆采用 WWH 模型^[4]进行状态演化,由加速、随机减速和位置更新构成,同样基于驾驶安全性,引入了安全减速机理^[7].

1) 加速过程:

$$V_i(t+1/3) = \min(\text{gap}_i(t), V_{\max}).$$

2) 若 $\text{gap}_i(t) < V_{\max}$,以概率 p 随机减速过程:

$$V_i(t+2/3) = \max(V_i(t+1/3) - 1, 0).$$

3) 若前车速度 $V_{i+1}(t) = 0$ 时,以安全概率 p_{safe} 减速行驶过程:

$$V_i(t+1) = \max\{\min(V_i(t+2/3), \text{gap}_i(t) - 1), 0\}.$$

4) 位置更新:

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

2.2. 车辆驾驶方式的更新规则

由于 SDNS 模型以当前速度为基础逐步加速,而 WWH 模型则根据车间距加速,由此本文模型利用车辆当前速度与车间距定义了驾驶方式的更新规则。

以概率 p_{change} 改变驾驶方式过程:

若 $V_i(t+1) > \text{gap}_i(t+1) + \Delta X_{i+1}(t) - 1$ 时,
 $\delta_i(t+1) = 0$.

若 $V_i(t+1) < \text{gap}_i(t+1) - 1$ 时, $\delta_i(t+1) = 1$.

这里引入车辆间相对位移定义车辆驾驶方式改变为保守型的条件.意义为车辆如果继续加速,则下一时步的运动距离大于前方车间距和前车在下时步产生的位移量之和,即产生追尾.此时,该车辆应该采取保守的行车方式,随时考虑刹车,以调节速度,并限制加速范围,即采用 SDNS 模型的演化规则.而当车辆继续加速所产生的位移量小于前方车间距时,逐步加速已不能有效提高道路使用率,应根据车间距进行加速,可改变为激进型驾驶方式,采用 WWH 模型进行演化.由此车辆可根据行驶状态及车间距离改变驾驶方式,车距较大时加速较快减速较少,车距较小时则优先考虑减速并逐步加速.由此本模型设置的改变规则能满足不同的行驶环境中车辆选择不同驾驶方式的要求,更符合实际交通流中的车辆运行规则。

3. 计算机模拟与数值分析

长度为 L 的一维离散格点链来表示一条单车道, L 为 7.5 km, 每个格子大小为 7.5 m, 车辆的速度分布在 $0-V_{\max}$ 范围内, 单位时间步长为 1 s, 最大速度 $V_{\max} = 5$, 意义为每秒可通过 5 个格子的长度, 相当于实际车速 135 km/h, 采用周期性边界条件, 设分布在格点链上的车辆数为 N . 开始时, 车道上两种驾驶方式车辆按初始混合比例 $p_{\text{agg}}, p_{\text{con}}$ 随机分布在车道上, 满足约束条件 $p_{\text{agg}} + p_{\text{con}} = 1$, 定义 $p'_{\text{agg}}(t), p'_{\text{con}}(t)$ 为系统演化 t 时刻后, 两种驾驶方式的车辆混合比例.

设 $N_{\text{agg_con}}(t)$ 为 t 时刻驾驶方式由激进型变为保守型的车辆数, $N_{\text{con_agg}}(t)$ 为 t 时刻驾驶方式由保守型变为激进型的车辆数. 定义 t 时刻的驾驶方式变化频率为

$$\rho(t) = (N_{\text{agg_con}}(t) + N_{\text{con_agg}}(t)) / N. \quad (1)$$

系统 t 时刻的密度、速度和流量如下:

$$\rho(t) = \frac{M(t)}{L}, \quad (2)$$

$$\bar{V}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i(t), \quad (3)$$

$$J(t) = \rho(t) \times \bar{V}(t). \quad (4)$$

模型每一次演化时步为 2×10^4 步, 为了消除初始状态随机性的影响, 记录后 10^4 时步中每一时步车辆的平均速度, 再对 10^4 个对平均速度根据时间做平均计算, 得到每一次运行的平均速度 $\bar{V} = \frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^{t_0+T-1} \bar{V}(t)$, 为了消除初始构型的随机性对结果的影响, 再对 10 个样本取平均, 得到系统运行的平均速度. 相同方法得到系统平均车辆混合比 $\bar{p}'_{\text{agg}}, \bar{p}'_{\text{con}}$.

3.1. 初始混合比例 $p_{\text{agg}}, p_{\text{con}}$ 对交通流的影响

图 1(a)(b) 和 (c) 分别给出了随机减速概率 $p = 0.5$, 安全减速概率 $p_{\text{safe}} = 0.5$, 单车道上两类驾驶方式车辆按不同初始比例混合组成的交通流仿真得到的速度-密度关系图、流量-密度关系图和混合比例-密度关系图. 前 5 组数据是变化概率 $p_{\text{change}} = 0.5$ 时, 不同初始混合比例仿真结果. 第 6, 7 组数据

为 $p_{\text{change}} = 0$ 时仅有一种驾驶方式的仿真结果. $p_{\text{agg}}, p_{\text{con}}$ 的取值如图所示(按照图中顺序将仿真结果简称为 1—7 组).

前 5 组数据虽然初始混合比例不同, 但演化后混合车辆的流量曲线、速度曲线和混合比例曲线基本重合. 说明考虑驾驶方式改变时, p_{change} 相同条件下, 初始比例不同的混合车辆进行了相同程度的驾驶方式的改变, 整个车道的流量与速度不由初始混合比例决定, 初始混合比例对系统无影响. 这是因为虽然车辆设置了初始驾驶方式, 但在交通过程中, 车辆根据状态及道路环境, 驾驶方式进行了改变. 车辆行驶的自由程度有所提高, 演化过程中初始状态的影响逐渐消除. 图 1(a)(b) 中第 6, 7 组数据实际为模型 WWH 和 SDNS 的仿真结果. 在低密度区, 前 5 组流量曲线随着密度线性增加, 与第 7 组基本一致, 由图 1(c) 可知, 这时混合交通流中车辆基本为激进型驾驶方式. 这是因为密度较小的情况下, 车间距较大, 车辆采取自由行驶方式前进, 初始化为保守型的车辆逐渐向激进型转化, 在每个时步都可以加速到最大速度, 且只有当车间距小于 V_{\max} 时, 车辆才会以随机减速概率 p 减速. 因此前 5 组数据均具有最大流量 0.65, 平均速度为 5, 在密度为 0.13 时出现拐点. 此后随着密度增加, 流量减小. 这是由于车间距的缩小导致部分车辆选择保守型的行车方式, 保守型车辆速度只能逐步增加, 并且允许车辆从任何速度 $V (V \in [0, V_{\max}])$, 以随机减速概率 p 减速到 $V - 1$. 虽然流量和速度大幅度减小, 但由于此时道路拥挤情况较少, 畅行与阻塞交替出现, 部分车辆仍然采用激进的行车方式. 因此流量、速度曲线介于 6, 7 组数据之间. 其中, 由图 1(c) 可知当密度大于拐点密度 0.13 时, 激进型车辆的比例下降明显. 这是由于单车道环境下, 保守型的减速方式影响了其后续车辆的车间距及速度的增加, 导致后续车辆依次选择保守驾驶方式, 系统中驾驶方式的选择显示出链式反应, 整个系统的混合比例变化明显. 保守型车辆比例显著增加, 对整个系统影响较大. 故图 1(a), (b) 流量、速度曲线与第 7 组数据更加接近, 并且相似地出现亚稳态区域, 流量曲线在密度为 0.12—0.14 时有两个分支, 上面均匀状态的分支流量较大, 车辆处于畅通运动相, 下面一个分支对应阻塞状态, 出现分离相, 流量迅速减小^[6]. 当密度为 0.22 时, 两种类型车辆混合比例约为 50%. 随着密度继续增加, 混合比例曲线变化逐渐平缓, 出现下凹

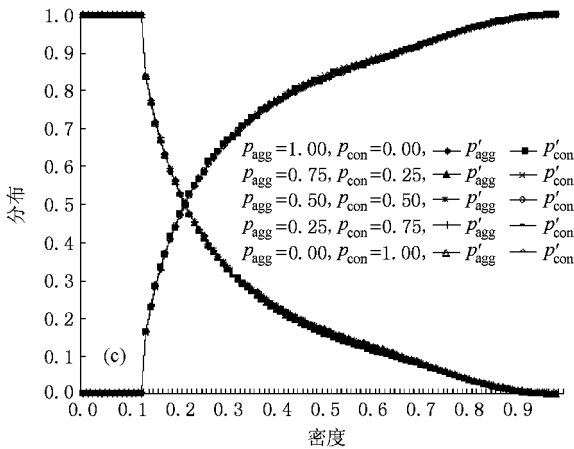
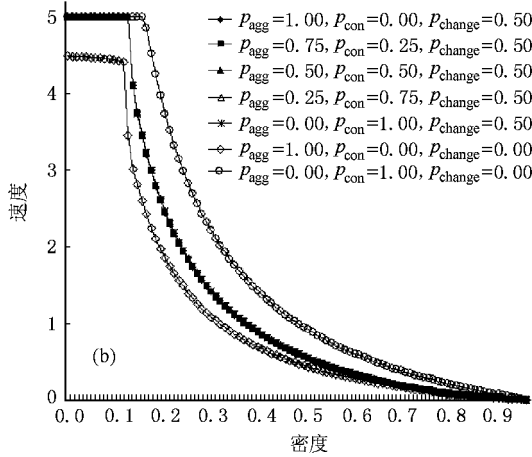
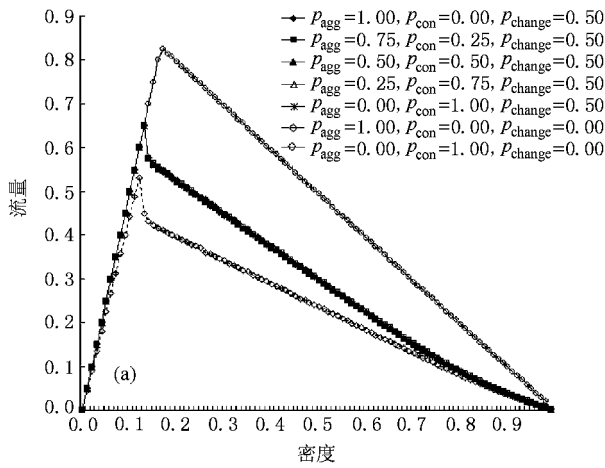


图 1 在不同初始混合比例下的流量-密度关系图 (a), 速率-密度关系图 (b) 和混合比例-密度关系图 (c)

形状, 与图 1(a) 中流量变化相同, 说明道路拥塞逐步加重, 速度与车间距波动减小, 保守型车辆虽然持续增加, 但增加速度逐步减少. 在高密度区域, 道路拥挤与时停时走现象导致车辆均选择保守型驾驶方式, 因此前 5 组流量曲线与第 6 组流量曲线在高密

度区基本重合.

3.2. 改变概率 p_{change} 对混合交通流的影响

图 2(a)(b) 和 (c) 分别给出了随机减速概率 $p = 0.5$, 安全减速概率 $p_{safe} = 0.5$, 初始混合比例 $p_{agg} = 0.5, p_{con} = 0.5$ 时, p_{change} 不同时, 单车道上两种驾驶方式车辆组成的交通流仿真得到的流量-密度关系图 (a)、速度-密度关系图 (b) 和混合比例-密度关系图 (c).

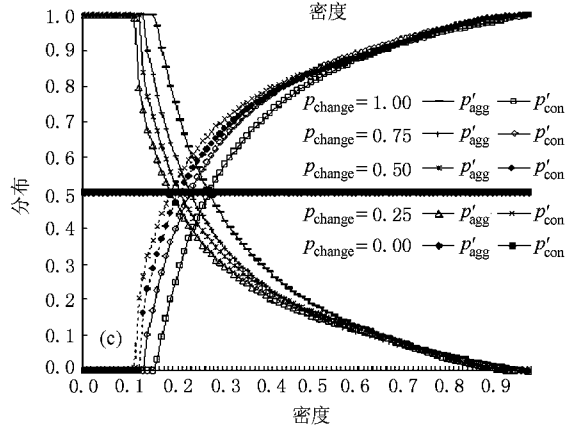
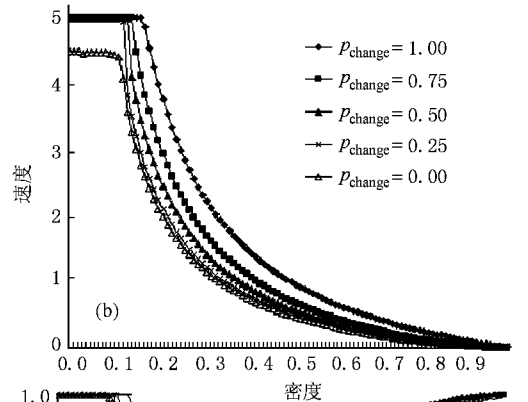
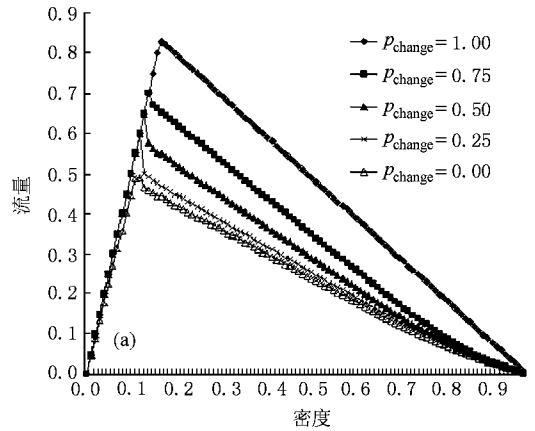


图 2 在不同改变概率下的流量-密度关系图 (a), 速度-密度关系图 (b) 和混合比例-密度关系图 (c)

从图中可知, $p_{\text{change}} > 0$ 时, 低密度区内流量曲线重合, 最大速度均达到 5, 激进型车辆比例最大为 1.0. 临界密度随 p_{change} 增大而增大. 其中当 $p_{\text{change}} = 1.0$ 时, 密度为 0.17 时得到最大流量为 0.828. 当密度大于临界密度后, 流量曲线就出现了不同的分支. 随着密度增加, 交通环境中拥挤畅行交替出现, 但系统仍保持较高的流量, $p_{\text{change}} = 1.0$ 时此现象尤为明显. 因为当变化概率较大时, 虽然保守型车辆比例随密度变大不断增加, 而一旦车辆行进中出现道路间隙, 保守型车辆将会变为激进型车辆, 以车间距作为加速的依据, 迅速填补道路空位, 增加了道路的使用量, 因此 p_{change} 值较大时, 激进型车辆对系统影响更为显著, 仿真可得到数值最大的流量和速度曲线. 当 p_{change} 减小, 保守型车辆对系统的影响逐渐增强, 随机减速过程的重要性在交通流中得到体现, 反映出了交通过程的非线性现象. 第 2, 3, 4, 5 组流量数据在临界密度的临域内出现了亚稳态现象. 同理, 除第一组曲线外, 高密度区域内流量曲线变化平缓, 均出现下凹形状, 均体现了保守型驾驶方式的演化特性. 当密度大于拐点密度时, 由于出现交通拥挤, 保守型车辆大幅度增加, 激进型车辆的比例都有明显下降. 其中, p_{change} 越大交通拥挤程度越小, 混合比例达到

50% 时的密度也越大. 因此图 2(c) 中, 在混合比例达到 50% 前的下降趋势基本相同. 此后随着密度增加, 混合车辆的比例进一步变化. 其中 p_{change} 较大时, 车辆会反复变化驾驶方式, 尽可能占用道路间隙, 导致局部拥挤程度加强, 流量明显减小. 所以此时更多的车辆会采用保守型的行车方式. 因此 p_{change} 越大, 激进型车辆减少趋势越明显, 曲线曲率越高.

图 3 给出了 $p_{\text{change}} = 0.25, 0.5, 0.75$ 时, 系统演化每 100 时步的平均驾驶方式变化频率随密度和演化时间的增加趋势图. 由图可知, 当密度小于临界密度时, 变化频率仅在开始演化时不为 0, 说明在高速畅行区域, 演化开始一段时间后, 车辆的驾驶方式不再发生变化, 此时激进车辆约为 100%. 当密度增大阻塞逐步产生, 变化频率逐渐增加, 图形上凸成拱形. 进一步观察得到, 在演化初期数据波动较大, 增长趋势明显. 随着演化的不断进行, 增长趋势与数据波动逐渐平缓. 当密度到达一个较大值, 变化频率在演化过程中会增长到某一定值, 并不再产生变化. 且随着密度增加, 这个定值逐渐减小, 因此图形上出现一个微微下凹的平面. 其中, 变化频率定值随 p_{change} 增加而增加, 图 3(a)–(c) 的最大变化频率分别为 0.0187, 0.0364, 0.0433. 而且在演变过程中, 达到定

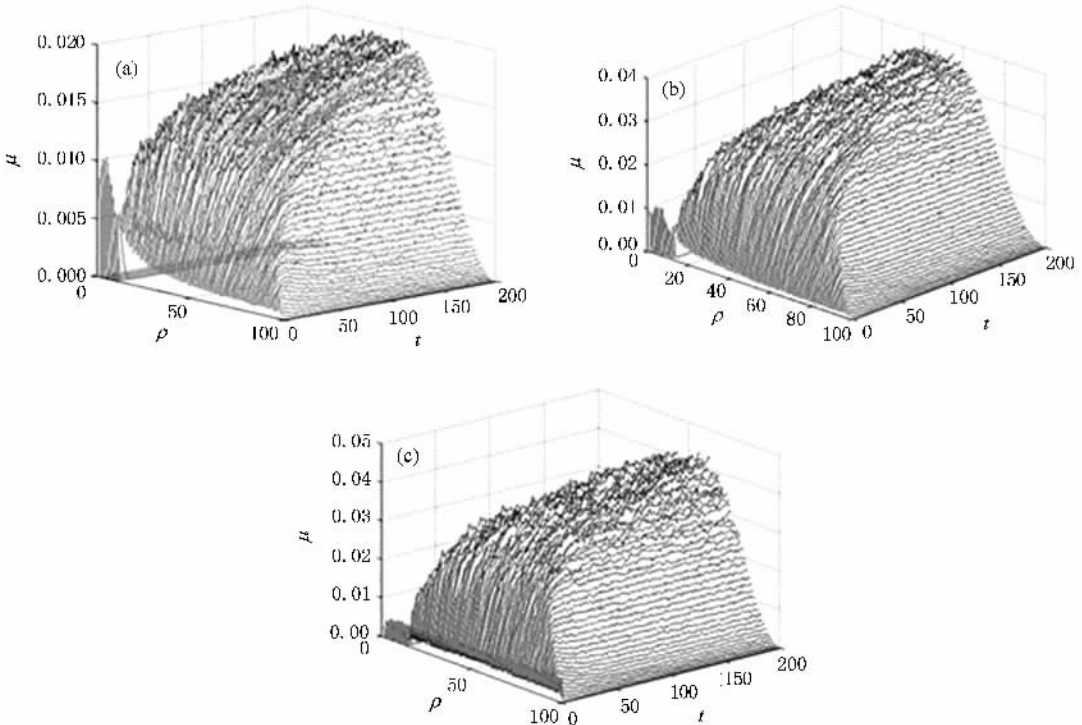


图 3 不同改变概率条件下, 系统演化每 100 时步的平均驾驶方式变化频率-时步-密度关系图

值需要的时步逐渐减少,表现为此平面面积随 p_{change} 增加逐步增大.进一步分析发现,当密度大于 0.74, 变化频率定值不再随 p_{change} 变化.这个现象在图 2 中以高密度区域多组混合比例曲线的重合表现出来.说明过度拥挤的交通环境下,保守型车辆所占比例很大,道路上可利用的间隙很少,车辆驾驶方式变化频率很小,因此高密度区域的变化频率受 p_{change} 影响不大.

3.3. 安全概率 p_{safe} 对交通流的影响

图 4(a)和(b)分别给出了随机减速概率 $p = 0.5$ 变化 $p_{change} = 0.5$,初始混合比例 $p_{agg} = 0.5$, $p_{con} = 0.5$ 时,不同安全概率条件下,单车道上两类驾驶方式的车辆组成的混合交通流仿真得到的流量-密度关系图(a),车辆混合比例-密度关系图(b).从图中可以看出,在低密度区由于前车速度为 0 的情况较少,流量曲线完全重合,最大流量约为 0.65,临界密度约为 0.13.当密度大于临界密度后,流量曲线出现了不同的分支.当 $p_{safe} < 0.5$,流量曲线的变化很小,而 $p_{safe} > 0.5$,流量在高密度区出现了明显的减小.根据图 4(b)可知,由于安全减速使车间距增大,因此转化为激进型车辆的个数增加,因此随着 p_{safe} 增大,激进车辆比例下降逐渐平缓,达到 50%时的密度也越大.且当 $p_{safe} = 1.0$ 时,在密度 $\rho = 0.64$ 时,系统的流量 J 减小到了 0,混合比例曲线在此处出现一个拐点,此后激进型车辆比例的下降趋势明显增强.说明在高密度区域过于考虑安全减速,会导致道路空间利用率不高,随着密度增加,拥挤逐渐变得严重,使车辆在时走时停时仍产生较大的减速概率,因此当 $p_{safe} > 0.5$ 时,流量明显减小.因此激进型车辆比例迅速下降,混合比例曲线在低密度区变化加剧.

图 5 给出了 $p_{safe} = 0.25, 0.5, 0.75$ 时,系统演化每 100 时步的平均驾驶方式变化频率随密度和演化时间的增加趋势图.图形基本特征与图 4 相似,都因密度增大上凸成拱形,并在演化初期伴随较大的数据波动,随密度增大产生出现一个下凹的平面,变化频率成定值.当 p_{safe} 增加,图 5 中各图的最大变化频率增大,图 5(a)-(c)分别为 0.0221, 0.0364, 0.0451.密度大于临界密度时, p_{safe} 越大,演化初期时的变化频率增加的幅度越大,表现为图形中部拱起程度越高,因此达到定值所需演化时步减少,表现

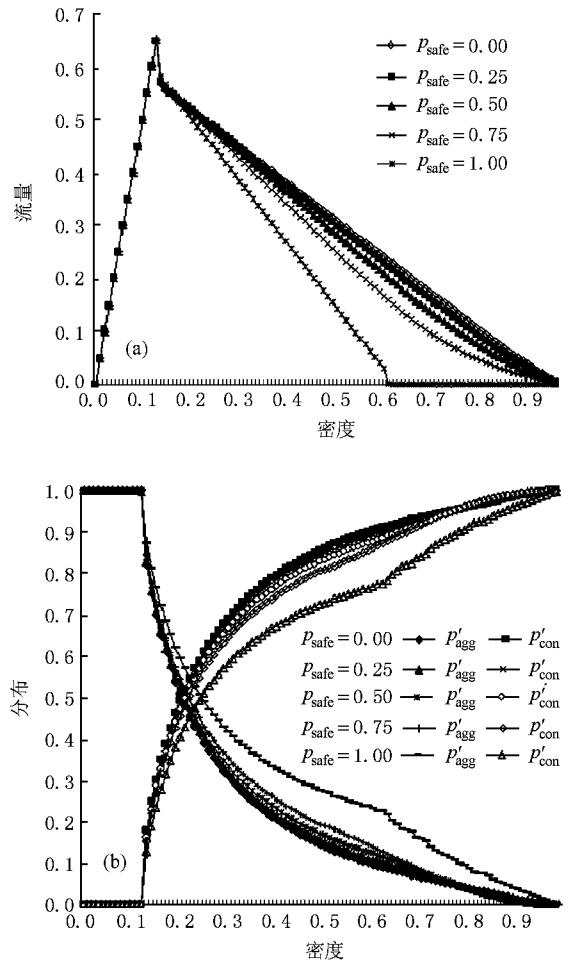


图 4 在不同安全概率下的流量-密度关系图(a)和混合比例-密度关系图(b)

为图形中下凹平面形状改变, $p_{safe} = 0.25$ 约为三角形, $p_{safe} = 0.5$ 约为扇形, $p_{safe} = 0.75$ 约为矩形.这个现象说明考虑安全减速能增加车间距,控制车速,使行车环境发生临时改变,因此鼓励驾驶员重新选择驾驶方式,使系统中驾驶方式变化频率增加,且变化频率的增加幅度随 p_{safe} 增大而增大.因此演化至变化稳定状态需要的时步也随之减少.图 5 中表现为平面下凹程度因 p_{safe} 增大而增大.结合图 4(a)中流量曲线的变化,可得出结论:这种由于安全减速而引起的驾驶方式的过度改变,对增加系统流量和提高速度并无帮助.

3.4. 时空图比较

图 6(a)-(c)为 NS 模型、SDNS 模型和 Change-CA 模型的时空图,随机减速概率为 0.5,安全概率为 0.5,变化概率为 0.5,密度 0.17,图中给出的是

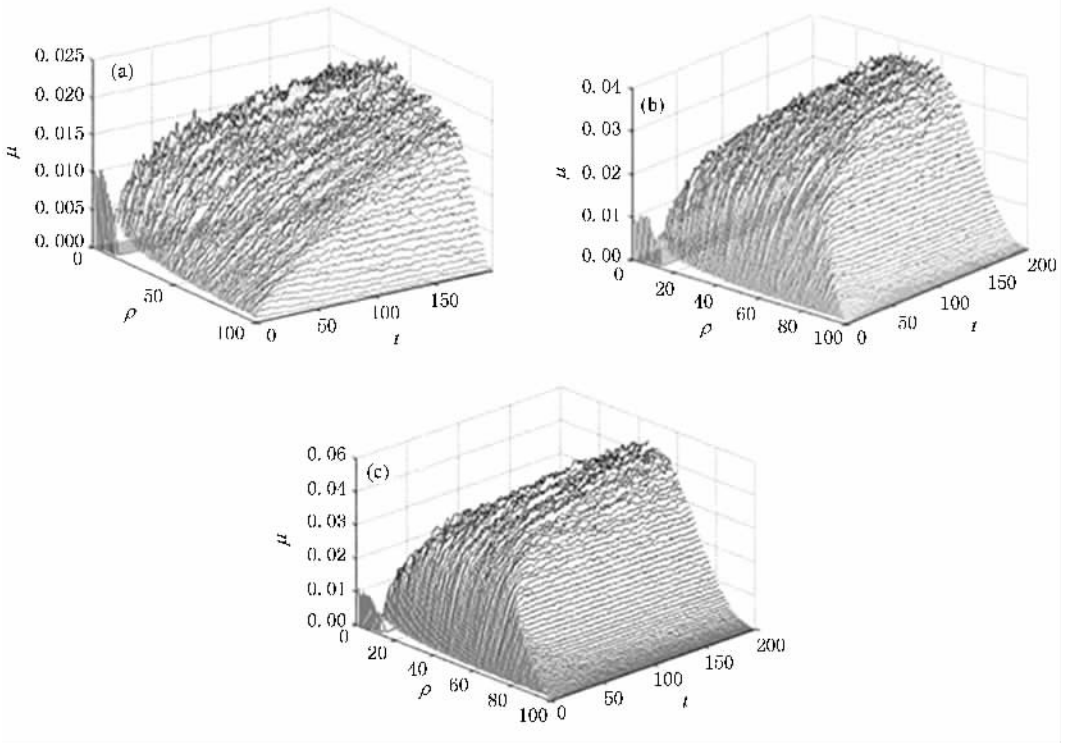


图 5 不同安全概率条件下,系统演化每 100 时步的平均驾驶方式变化频率-时步-密度关系图

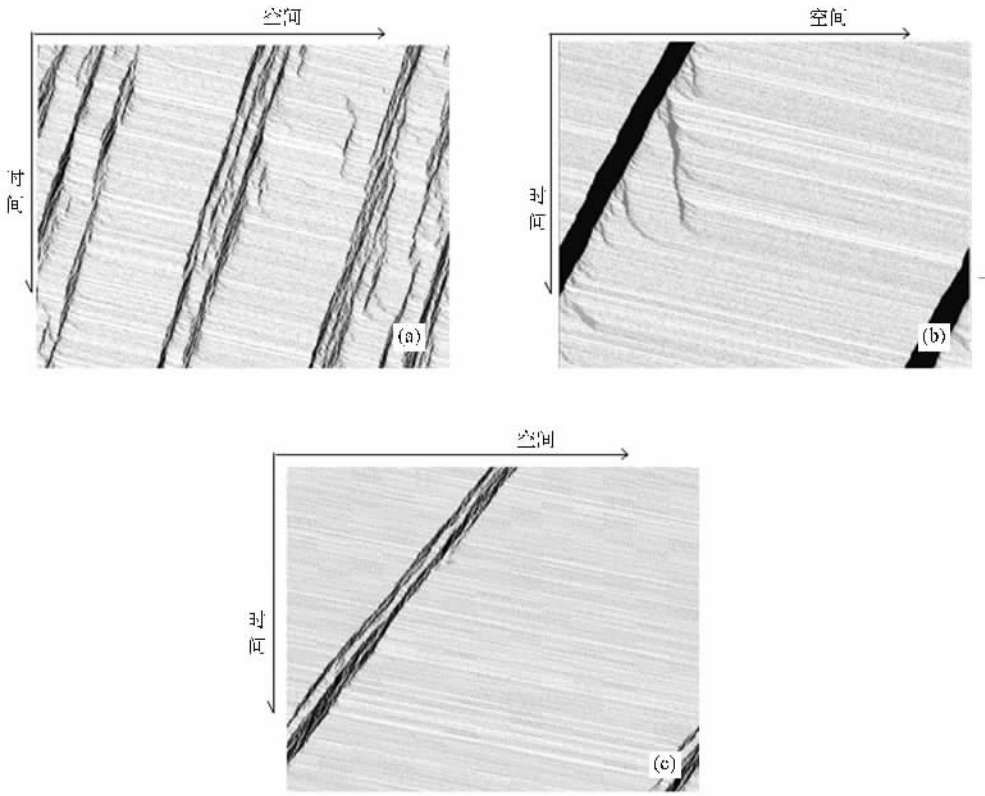


图 6 NS 模型(a),SDNS 模型(b)和本文模型(c)时空图比较

1000 个格点从 18000 到 18800 时步的演化过程,车辆从左至右运动,横轴表示车辆的位置,纵轴表示运

行时间.图中明显看出三个模型都出现了局部阻塞,并向后传播,但是图(a)的阻塞区域明显多于后两

种模型,车辆自由运动程度很小,位移与时间关系为非线性关系.图 (b) 中的黑色区域为停止前进的车辆聚集在一起形成阻塞相,与运动相明显分离^[6].图 (c) 中车辆自由运动程度最大,虽然也交替出现了局部阻塞,但由于考虑了安全减速和驾驶方式的改变,在该阻塞区域中的车辆大多保守型车,故其中包含速度为 1 间距为 1 的缓慢行驶区域,即同步相^[7].因此本文模型中出现的堵塞相明显减少,大部分区域车辆分布均匀,处于较为稳定的运动状态.

4. 结 论

在实际的交通道路中,驾车方式对整个交通流产生较大影响.本文在 WWH 模型和 SDNS 模型的基础上,提出了考虑驾驶方式改变的一种新的一维元胞自动机交通流模型(Change-CA 模型).模型中,将

驾驶方式按不同的演化规则分为了激进型、保守型了两类,并定义了新的驾驶方式转换规则.为了进一步研究重要参数对整个系统的影响,分别设置不同的初始混合比例、变化概率和安全概率进行计算机模拟.通过数值分析表明,初始混合比例与系统流量和速度的变化无明显关系.随密度逐渐增大,激进型车辆逐步改为保守型驾驶方式,混合比例有明显改变.系统流量速度变化趋势、变化频率与 p_{safe} 、 p_{change} 取值关系密切. p_{change} 较大时,激进型车辆对系统影响显著, p_{change} 减小,保守型车辆对系统影响逐步加强.超过临界密度之后,系统流量随 p_{safe} 增大而减小.将本文模型与 NS 模型和 SDNS 模型进行比较,结果表明驾驶方式产生变化对交通流作用很大,本文模型增加了系统流量,提高了道路的使用率,减少了局部堵塞.本文的数据模拟反复进行了多次,模拟结果得到很好的重复性,体现了本文模型的可靠和有效.

- [1] Wolfram S 1986 *Theory and Application of Cellular Automata* (Singapore : World Scientific)
- [2] Nagel K , Schreckenberg M 1992 *J. Phys. I* (France) **2** 2221
- [3] Fukui M , Ishibashi Y 1996 *J. Phys. Soc. Jpn.* **65** 2345
- [4] Wang B H , Wang L , Xu B M *et al* 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 1926 (in Chinese) [汪秉宏、王 雷、许伯铭等 2000 物理学报 **49** 1926]
- [5] Xue Y , Dong L Y , Dai S Q 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 445 (in Chinese) [薛郁等、董力耘、戴世强 2001 物理学报 **50** 445]
- [6] 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]
- [7] 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]]
- [8] Lü X Y , Kong L J , Liu M R 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 1255 (in Chinese) [吕晓阳、孔令江、刘慕仁 2001 物理学报 **50** 1255]
- [9] Wu K F , Kong L J , Liu M R 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 6275 (in Chinese) [吴可非、孔令江、刘慕仁 2006 物理学报 **55** 6275]
- [10] Peng L , Tan H L , Kong L J , Liu M R 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 3007 (in Chinese) [彭 麟、谭惠丽、孔令江、刘慕仁 2003 物理学报 **52** 3007]
- [11] 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]
- [12] Knospé W , Santen L , Schadschneider A *et al* 1999 *Physica A* **265** 614
- [13] Knospé W , Santen L , Schadschneider A *et al* 2002 *J. Phys. A* **35** 3369
- [14] Tan H L , Liu M R , Kong L J 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2713 (in Chinese) [谭惠丽、刘慕仁、孔令江 2003 物理学报 **51** 2713]
- [15] Huang P H , Kong L J , Liu M R 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 30 (in Chinese) [黄兵花、孔令江、刘慕仁 2001 物理学报 **50** 30]
- [16] Chen Y H , Xue Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 4145 (in Chinese) [陈燕红、薛 郁 2004 物理学报 **53** 4145]
- [17] Li H B , Chen R H , Liu M R *et al* 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 1769 (in Chinese) [李华兵、陈若航、刘慕仁等 2004 物理学报 **47** 1769]
- [18] Levine E , Ziv G , Gray L *et al* 2004 *J. Stat. Phys.* **117** 819
- [19] Bai K Z , Tan H L , Liu M R , Kong L J 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2421 (in Chinese) [白克钊、谭惠丽、刘慕仁、孔令江 2003 物理学报 **52** 2421]
- [20] Hua W , Lin B L 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2596 (in Chinese) [花伟、林柏梁 2005 物理学报 **54** 2596]
- [21] 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]

One-dimensional traffic cellular automaton model with consideration of the change of driving rules^{*}

Kang Rui Peng Li-Juan Yang Kai[†]

(*Institute of Image & Graphics , College of Computer Science , Sichuan University , Chengdu 610064 , China*)

(Received 12 November 2008 ; revised manuscript received 8 December 2008)

Abstract

Based on the WWH and SDNS cellular automata (CA) traffic model , an improved single lane traffic CA model with consideration of the change of driving rules is proposed. The model considers the drivers adopting different driving rules under mutative traffic condition , and introduces the rules of driving method change. Numerical simulations have been carried out. The results show the complicated evolution process of traffic flow. Different values of change probability have different effect on mixed traffic flow. With the increase of change probability , aggressive vehicles cause greater effect. In the evolution process , the change frequency can be controlled by the definition of the change probability and safety probability. The traffic flow is higher in the new model than in the NS and SDNS model. This proves that the stop status of the whole traffic flow has been improved.

Keywords : traffic flow , cellular automaton , driving rule , computer simulation

PACC : 0550

^{*} Project supported by the National High Technology Development Program of China (Grant No. 2006AA12A104) , and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60736046).

[†] Corresponding author. E-mail : weasy2002@163.com