

## 具有加权顾前势的交通流模型\*

郑伟范<sup>1)3)</sup> 张继业<sup>1)†</sup> 王明文<sup>2)</sup> 唐东明<sup>3)</sup>

1) (西南交通大学, 牵引动力国家重点实验室, 成都 610031)

2) (西南交通大学数学学院, 成都 610031)

3) (西南交通大学信息化研究院, 成都 610031)

(2014年5月15日收到; 2014年7月2日收到修改稿)

交通流随机行为的研究对于理解交通系统的内在演化规律具有重要作用. 基于元胞自动机模型和顾前势模型, 提出了一种考虑加权顾前势的交通流模型. 通过引入顾前势加权系数及对越靠近自身车辆的相互作用势赋予越大的权重, 使得建模过程更符合实际交通中司机根据前面车辆和环境情况进行随机决策的过程. 通过数值模拟, 再现了丰富的高密度交通行为. 仿真结果表明, 加权系数在高密度情况下作用明显, 更有利于在保持较高交通密度的同时, 具有较高的交通流量和道路通行能力.

关键词: 交通流, 顾前势, 随机模型, 加权

PACS: 89.40.Bb, 02.50.-r, 05.10.Ln

DOI: 10.7498/aps.63.228901

## 1 引言

由于交通流的自身特点和复杂性, 使得目前仍然不能完善地解决交通问题<sup>[1]</sup>. 由1932年对交通流进行建模开始<sup>[2]</sup>, 人们对交通流进行建模的方法不断进步, 大量的模型不断出现. 主要有如下三种尺度的交通流模型<sup>[3]</sup>: 1) 宏观尺度的流体力学模型; 2) 介观尺度的气体动理论模型; 3) 微观尺度的跟驰模型和元胞自动机模型 (cellular automata, CA).

CA模型本质上采用离散空间和时间的元胞自动机, 通过一定的随机演化规则自动演化, 对于描述实际的交通流具有独特的优势, 近年来开始广泛应用于交通流问题的研究<sup>[3-15]</sup>. Cremer和Ludwig<sup>[4]</sup>最早将CA引入交通流的研究. 然而, 1992年Nagel和Schreckenberg<sup>[5]</sup>(NS)提出的模型, 使得CA模型成为公知的交通流模型. 之后人们提出了大量的改进, 如考虑加速度的改进<sup>[6,7]</sup>、速度慢化概率改进为车辆速度的函数<sup>[8-10]</sup>, 以及慢化概率考

虑刹车灯的影响<sup>[11]</sup>. 最近, 文献<sup>[12]</sup>为避免CA模型的车辆碰撞, 考虑了安全概率对随机慢化概率进行改进; 文献<sup>[13]</sup>考虑司机有效使用上一步时变过程的记忆知识效应, 得到了随机慢化概率对元胞自动机交通流的影响; 文献<sup>[14]</sup>研究了考虑快慢车混合的CA模型; 文献<sup>[15]</sup>进一步在CA模型中考虑了加权平均速度反馈策略的作用结果.

上述CA模型多采用固定的随机减速概率, 实际上只是加入了随机噪声、可能性和偏好的确定性模型, 由于缺乏描述可能性影响的机制, 要捕捉到高于临界密度的多值的、时变的影响是困难的<sup>[16,17]</sup>. 为了更好地描述高密度交通流中的随机现象, Sopasakis和Katsoulakis<sup>[16,17]</sup>引入了Arrhenius微观动力系统方法, 将交通流的状态作为随机驱动系统的结果来描述, 车辆基于它周围的交通环境的相互作用的势能而前行, 提出了一种随机交通流模型 (AM模型). 这里的势能即司机能够感知到的自身车辆前面顾前长度个元胞中的车辆交通情况而产生的影响, 即顾前势. 该模型通过数值仿真,

\* 国家自然科学基金 (批准号: 11172247, 61100118) 和四川省科技支撑计划 (批准号: 2013GZX0166) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: jyzhang@swjtu.edu.cn

再现了多样的高密度交通行为. 文献[18]将上述模型应用于多车道的情况, 以及文献[19]进一步扩展到无网格情况. 用势函数来表达车辆之间的相互作用的研究还有Ni<sup>[20-23]</sup>考虑Lennard-Jones势的结果. Hauck等<sup>[24]</sup>进一步将顾前势引入CA模型中, 在顾前相互作用强度为常数的情况下, 得到了适当改进的微观随机交通流模型(CYI模型).

尽管如此, 上述模型所考虑的顾前势在相互作用范围内取不同的常数值, 将较远位置上的车辆对司机的影响等同于较近车辆的影响, 没有考虑顾前过程中, 司机感知到的自身车辆前面道路上不同远近车辆的影响是不同的<sup>[20-23]</sup>, 特别是在高密度交通情况下, 仍然存在局限性. 鉴于此, 本文基于NS, AM和CYI模型, 通过对势函数进行加权处理, 考虑越近的车辆影响权重越大, 提出一种基于加权顾前势的交通流模型(weighted potential, WP). 通过数值仿真, 得到了交通流的流量密度图(基本图), 再现了复杂的高密度交通流现象.

## 2 NS和AM模型

NS模型<sup>[5]</sup>将单车道道路划分为若干个离散的格子, 每个格子一般长7.5 m, 格子或为空, 或被一辆车占据, 每辆车的最大安全期望驾驶速度为 $V_{\max} = 5$ , 即车辆的速度取值范围为区间 $[0,5]$ 的整数. 取样频率为100, 每秒钟取样一次, 即模拟迭代的时间步长为1 s, NS模型的演化过程随机步骤为以慢化概率 $P$ 随机慢化. 现有CA模型随机慢化概率为固定值, 改进模型很少有考虑实际随机慢化过程中, 司机减速概率并不固定的事实. 实际上, 司机的减速慢化决策是在驾驶过程中, 根据道路环境情况, 主要是自身车辆前面车辆的动态变化的距离、速度等做出的. 因此随机慢化概率是随道路环境和前面车辆距离及速度等变化而变化的. AM模型<sup>[16-19]</sup>考虑司机能够感知到的前面车辆对自身

的相互作用, 可以很好地描述高密度交通流的复杂非线性现象.

该模型描述了单类车辆在单车道公路上沿一个方向上的运动. 模型定义一维格子 $L = \{1, 2, \dots, N\}$ ,  $N > 1$ 空间元胞( $N$ 为格子总数), 系统的状态由序参量函数 $\sigma : L \times R^+ \rightarrow \{0, 1\}^N$ 确定. 对任意时间 $t \in R^+$ 和 $x \in L$ ,

$$\sigma(x) = \begin{cases} 1, & \text{车辆占据}x \\ 0, & \text{格点}x\text{为空} \end{cases} \quad (1)$$

与Ising系统<sup>[25]</sup>的Arrhenius动力学相似, 令相互作用势 $U(x, \sigma)$ 有如下形式:

$$U(x, \sigma) = \sum_{\substack{y \in L \\ y > x}} J(y - x)\sigma(y), \quad (2)$$

其中 $J$ 表示车辆间的短程相互作用势,

$$J(x, y) = \gamma V(\gamma(y - x)) \quad x, y \in L, \quad (3)$$

其中 $\gamma = 1/(2l + 1)$ 是描述微观交互范围的参数,  $l$ 表示势半径; 令 $0 \leq r < 1$ 时,  $V(r) = J_0$ , 为放大函数, 其余为零. 假定车辆在交通中不能向后退, 运动方向由左边运动到右边, 且相互作用影响局部, 只有一个车辆在同一时刻占据一个元胞. 采用周期边界条件, 使得对任意 $x \in L$ 和整数 $m$ ,  $\sigma(mN + x) = \sigma(x)$ .

序参量状态的改变是模型的车辆运动机制. 遵守排斥过程的规律<sup>[26]</sup>: 每次交换两个格点改变相互的值, 且车辆不允许运动到被占据的格点. 格点只允许向右移动到一个格点, 这样交换的仅有可能结构是如下形式:

$$\begin{aligned} & \{\sigma(x, t) = 1, \sigma(x + 1, t) = 0\} \\ & \rightarrow \{\sigma(x, t + \Delta t) = 0, \sigma(x + 1, t + \Delta t) = 1\}. \end{aligned} \quad (4)$$

相邻两个格点之间的状态转换, 以Arrhenius动力学的形式<sup>[17]</sup>, 其转换率为

$$c(x, y, \sigma) = \begin{cases} c_0 \exp[-U(x)], & \text{如果}y = x + 1\text{且}\sigma(x) = 1, \sigma(y) = 0 \\ c_0 \exp[-U(y)], & \text{如果}\sigma(x) = 0, \sigma(y) = 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad (5)$$

比较参数为 $c_0 = 1/\tau_0$ , 其中,  $\tau_0$ 为弛豫时间. (5)式描述了在时间间隔 $[t, t + \Delta t]$ 内, 格点 $x$ 与 $y$ 之间的转子交换概率为

$$c(x, y, \sigma)\Delta t + O(\Delta t^2). \quad (6)$$

基于该概率, 司机对于车辆运动或不运动(或

减速)的决策就做出来了。

上述模型通过如下两个封闭性假设: A1, 顾前相互作用是弱相互作用; A2,  $\sigma$  上的概率测度近似为乘积测度, 以及随机过程的微分算子, 可以推导出相关粗粒度模型, 以及交通流的 Burgers 形式的平衡方程. 在无相互作用势 ( $J_0 = 0$ ) 的情况下, 与公知的 Lighthill-Whitham<sup>[16,27]</sup> 模型结果一致.

### 3 加权顾前势交通流模型

由上述 AM 模型中势函数在仿真时  $J_0$  采用常数的形式, Hauck 等<sup>[24]</sup> 进一步将顾前势引入 CA 模型中, 在顾前相互作用强度为常数的情况下, 得到了适当改进的 CYI 模型. 由于没有区别远近不同的车辆对影响的不同贡献, 较远位置上的车辆对司机的影响等同于较近车辆的影响, 仍然存在不足. 实际上, 司机受到前面车辆的影响根据车辆的远近是不同的, 可以对上述模型引入权重, 表示越近的车辆的影响比远处的车辆的影响越大, 即越近的车辆权重越大. 本文考虑引入权重, 将 AM 和 CYI 的动力学模型引入 NS 模型中, 代替其中随机慢化概率为固定值的情况, 采用动力学的状态转换概率来计算. 过程如下:

由上述 (2) 式及 (3) 式的定义, 势函数的形式如下,  $U(x, \sigma) = \sum_{\substack{y \in L \\ y > x}} J(y-x)\sigma(y)$ . 在势半径以内  $r > 0$ , 相互作用强度  $J(x, y)$  取常数  $J_0$ , 且  $J_0 > 0$ , 这种情况下势函数可改写为

$$U(x, \sigma) = \sum_{\substack{y \in L \\ y > x}} J_0 \sigma(y) = \frac{1}{Q} J_0 \sum_{i=1}^Q \sigma_{x+i+1}(t), \quad (7)$$

其中,  $Q$  是顾前长度, 即在元胞  $x$  前面, 势半径  $l$  以内, 对元胞  $x$  中的车辆有相互作用的格子数目. 这种情况下, 相邻两个车辆的状态发生转换的转换率变为

$$c_0 \exp(-U(x, \sigma)) = c_0 \exp\left(-J_0 \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \sigma_{x+i+1}(t)\right), \quad (8)$$

$c_0 \exp(-U(x, \sigma))$  在前面车辆很多时, 即道路拥塞时, 起慢变因素的作用.

考虑对顾前势半径以内, 司机感知到的前面车辆对自身车辆的影响权重分别根据距离的远近取不同的值,  $w_i$  表示前面第  $i$  个元胞中的车辆对自身

影响的权重, 具体权重的大小将在仿真时具体讨论. 这样势函数 (7) 式可改写为

$$U(x, \sigma) = \sum_{\substack{y \in L \\ y > x}} J_0 \sigma(y) = \frac{1}{Q} J_0 \times \left[ \left( \sum_{i=1}^Q w_i \sigma_{x+i+1}(t) \right) / \sum_{i=1}^Q w_i \right], \quad (9)$$

式中各参数意义同 (7) 式. 这种情况下, 相邻两个车辆的状态发生转换的转换率变做相应变化, 以 (9) 式替换 (7) 式的势函数计算, 可得到加权顾前势的 WP 模型, 其状态转换率为

$$c_0 \exp(-U(x, \sigma)) = c_0 \exp\left(-\frac{1}{Q} J_0 \left[ \left( \sum_{i=1}^Q w_i \sigma_{x+i+1}(t) \right) / \sum_{i=1}^Q w_i \right]\right). \quad (10)$$

与 AM 模型<sup>[16-19]</sup> 及 CYI 模型<sup>[24]</sup> 的推导过程一样, 可以推导相应的交通流模型及与其他交通流模型的联系.

由封闭性假设 A2 可得  $\sigma(x)$  与  $\sigma(y)$  不相关, 即对于  $x \neq y$ , 有

$$E(\sigma(x, t)\sigma(y, t)) \approx E(\sigma(x, t))E(\sigma(y, t)) = u_x u_y,$$

其中  $u_k = u(k, t)$ . 则可以有如下近似,

$$E \exp(-J_0 U(k)) = E \left( \prod_{i=1}^Q \exp\left(-\bar{J}_0 w_i \sigma_{k+i+1} / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) \right) \approx \prod_{i=1}^Q E \left( \exp\left(-\bar{J}_0 w_i \sigma_{k+i+1} / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) \right), \quad (11)$$

其中,  $\bar{J}_0 = J_0/Q$ . 实际上  $1 \leq i \leq N$ , 对任意正整数  $m$ ,  $(\sigma_l)^m = \sigma_l(\sigma_l = \sigma(l))$ . 则化简如下:

$$\exp\left(-\bar{J}_0 w_i \sigma_l / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right)^m (\sigma_l)^m}{m!}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 + \sigma_l \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right)^m}{m!} \\
 &= 1 + \sigma_l \left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right).
 \end{aligned}$$

因此, 对上式两边求期望可得

$$\begin{aligned}
 &E \exp\left(-\bar{J}_0 \sigma_l w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) \\
 &= 1 + E(\sigma_l) \left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right) \\
 &= 1 + u_l \left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right). \tag{12}
 \end{aligned}$$

将 (12) 式代入到 (11) 式的右边, 可得

$$\begin{aligned}
 &E \exp(-J_0 U(k)) \\
 &= \prod_{i=1}^Q \left[1 + u_{k+i+1} \left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right].
 \end{aligned}$$

这个公式可以用来推导车辆密度  $u_k(t)$  的新的具有加权顾前势的交通流模型:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} u_k &= c_0 u_{k-1} (1 - u_k) \prod_{i=1}^Q \left[1 + u_{k+i} \right. \\
 &\quad \times \left.\left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right] \\
 &\quad - c_0 u_k (1 - u_{k+1}) \prod_{i=1}^Q \left[1 + u_{k+i+1} \right. \\
 &\quad \times \left.\left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right],
 \end{aligned}$$

进一步, 上式可以改写为

$$\begin{aligned}
 &\frac{d}{dt} u_k \\
 &= c_0 u_{k-1} (1 - u_k) \exp\left(\sum_{i=1}^Q \ln \left[1 + u_{k+i} \right. \right. \\
 &\quad \times \left.\left.\left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right]\right) \\
 &\quad - c_0 u_k (1 - u_{k+1}) \exp\left(\sum_{i=1}^Q \ln \left[1 + u_{k+i+1} \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\times \left.\left.\left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right]\right). \tag{13}$$

由 (13) 中的指数和对数函数展开可以很容易地恢复到文献 [16] 的粗粒度模型. 实际上, 通过简单的 Taylor 展开如下:

$$\begin{aligned}
 &\ln \left[1 + u_{k+i+1} \left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right] \\
 &= -\bar{J}_0 u_{k+i+1} w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right) + O(\bar{J}_0^2), \tag{14} \\
 &\sum_{i=1}^Q \ln \left[1 + u_{k+i+1} \left(\exp\left(-\bar{J}_0 w_i / \left(\sum_{i=1}^Q w_i\right)\right) - 1\right)\right] \\
 &= -J_0 U_k + O(Q^{-1}). \tag{15}
 \end{aligned}$$

由于当  $N \rightarrow \infty$  时,  $Q^{-1} = O(h)$ , 则上述 WP 模型与之前的 AM 及 CYI 模型具有相同的偏微分方程极限.

#### 4 数值模拟与分析

将道路划分为 60 个格子, 每个格子长 7.5 m, 总长为  $60 \times 7.5 = 450$  m. 最大期望速度一般为  $135 \text{ km/h} = 5 \text{ cell/s}$ , 即  $V_{\max} = 5$ , 比较参数  $c_0 = 1/\tau_0 = 4.3478^{[24]}$ . 车辆只能向行驶或停止, 速度非负. 在不同的顾前长度参数  $Q$ 、以及不同的相互作用强度  $J_0$  的情况下进行实验. 每 1 s 钟取样 1 次, 取样频率取 100, 即  $\delta t = 0.01$ . 加权系数对于最近的第一辆车的权重是第二辆的 2 倍, 以此类推, 即  $w_1 = 16, w_i = 2w_{i+1}$ .

为了模拟实际的道路情况, 我们采用开放边界条件, 车辆从起始格子一端进入, 由最后一个格点位置一端离开. 道路上车辆的初始分布生成概率为 0.5, 车辆以随机分布到达起始格点, 最后一个格点的减速概率为 0.5. 密度采用瞬时密度进行计算, 系统的交通流量采用抽样周期内通过某观察点的车辆数的统计平均计算得到. 结果与讨论如下.

##### 1) 顾前势强度变化的基本图

分别考虑加权和不加权的势函数相互作用下, 考虑顾前势长度参数固定 (如  $Q = 1, 2, 3, 4, 5$ ), 而势强度取不同值的情况下分别实验, 得到的结果如

图1所示. 具体参数为: 最大速度为  $V_{\max} = 4$ , 势强度  $J_0$  取值分别为0, 2, 4, 6, 8.

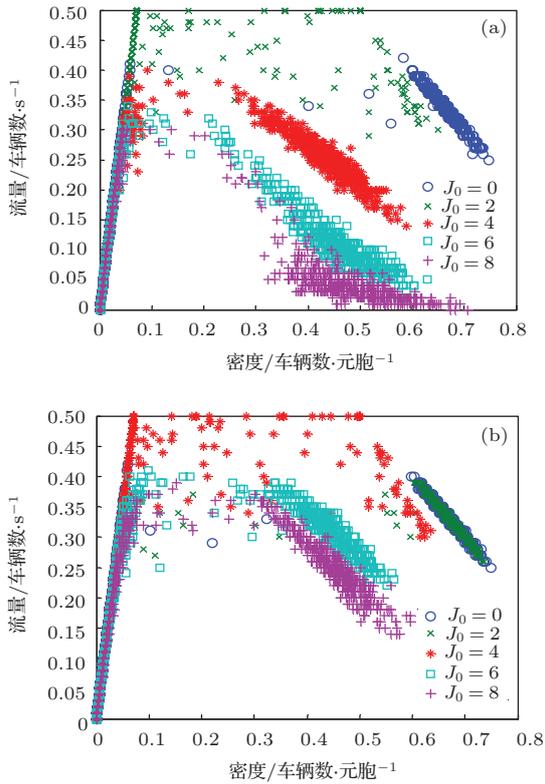


图1 (网刊彩色) (a) 不加权基本图, 顾前势长度参数  $Q = 2$ , 运行 800 s 得到的流量密度关系随  $J_0$  的变化曲线; (b) 加权基本图, 顾前势长度参数  $Q = 2$ , 运行 800 s, 得到的流量密度关系随  $J_0$  的变化曲线

由图1可知, 加权与不加权情况下, 基本图曲线的变化规律一致, 即随着  $J_0$  的增大, 流量密度曲线由开始的凸形, 渐变为凹形, 以及非凸非凹形, 与文献[16]中图10的结果一致. 随着  $J_0$  的增大, 最大流量逐渐降低, 而且临界密度也减小.

### 2) 顾前长度参数变化的基本图

分别考虑加权和不加权的势函数相互作用下, 考虑顾前势强度  $J_0$  固定 ( $J_0$  分别取  $J_0 = 1, 3, 6, 10, 20$ ), 顾前长度参数取不同值的情况下, 分别进行实验, 得到的结果如图2所示. 具体参数为: 最大速度为  $V_{\max} = 4$ , 顾前势长度  $Q$  取值分别为1, 2, 4, 8, 16.

由图2可知, 在  $J_0 = 10$  的情况下, 流量密度曲线随顾前长度参数  $Q$  的增大, 曲线由开始的凸形渐变为凹形, 以及非凸非凹形, 与文献[16]中图9的结果一致. 在不加权情况下, 随着顾前长度  $Q$  的增大, 最大流量逐渐降低, 临界密度也减小. 在加权的情况下, 随着顾前长度  $Q$  的增大, 最大流量逐渐

增大, 临界密度也增大, 且高于不加权情况. 该结果与文献[16]中图9的结果相反, 主要是加权情况下, 虽然前面的车辆数目相同, 由于权系数的递减作用, 车辆数越多, 后面车辆的影响越小, 司机感受到的作用势有所减小, 减速概率减小. 这说明权系数的作用在高密度的交通流情况下效果明显, 加权情况下更符合实际交通中司机受到前面越近的车辆影响越大的决策过程, 有利于保持高密度下的较高的流量. 只有当  $Q = 1$  时的情况是例外的, 而这种情况实际上是等效于不加权的情况.

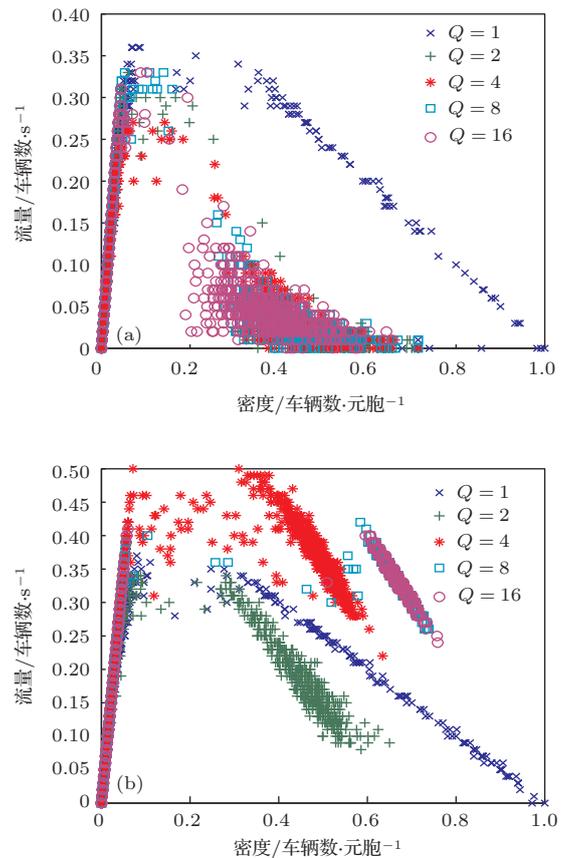


图2 (网刊彩色) (a) 不加权基本图, 顾前势强度参数  $J_0 = 10$ , 运行 800 s 得到的流量密度关系随顾前长度参数  $Q$  的变化; (b) 加权基本图, 顾前势强度参数  $J_0 = 10$ , 运行 800 s 得到的流量密度关系随顾前长度参数  $Q$  的变化

由图1和图2可见, 在临界密度以上, 特别是在高密度时, 加权势的作用比较明显; 在低密度情况下, 曲线基本重合, 加权势作用不明显. 这主要是由于在低密度流时, 车辆流几乎为自由流, 车辆之间的距离较大, 司机可以按自己的期望速度行驶, 车辆之间的相互作用比较小, 因此, 加权势的作用比较小.

### 3) 时间-空间-密度三维演化图

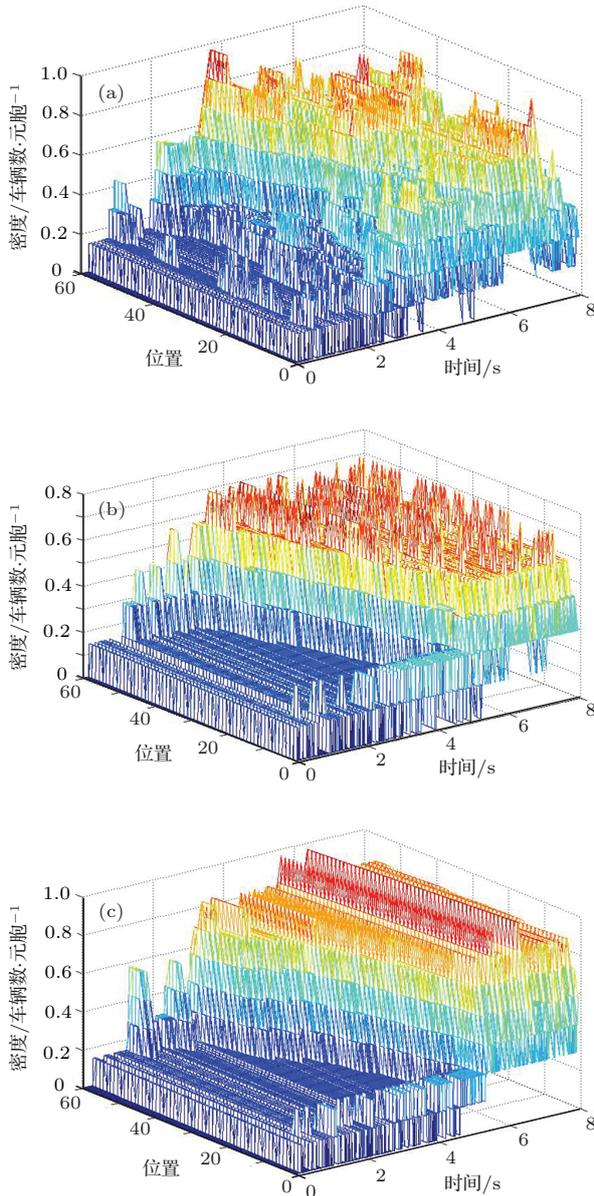


图3 (网刊彩色) (a) 不考虑势函数, 按 NS 模型演化, 减速概率为 0.2,  $V_{\max} = 4$ , 每秒钟取样 1 次, 运行 800 步得到的时间-空间-密度演化; (b) 考虑未加权顾前势作用, 势强度常数  $J_0 = 3$ ,  $Q = 4$ ,  $V_{\max} = 4$ , 每秒钟取样 1 次, 运行 800 步得到的时间-空间-密度演化; (c) 考虑加权顾前势作用, 同图 3(b) 的参数, 权重取值为  $w_1 = 16$ ,  $w_i = 2w_{i+1}$ , 得到的时间-空间-密度演化图

图 3 为时间-空间-密度演化图. 图 3(a) 表示不考虑势函数的演化情形, 图 3(b) 表示不加权顾前势作用的演化情形, 图 3(c) 表示考虑加权顾前势作用的演化情形. 由图 3(a) 和 (b) 的比较可以看出, 在不考虑势函数的情况下, 演化图中高密度的出现比较随机, 这正好体现了 NS 模型的固定概率的减速规则. 在考虑了势函数作用的情况下, 演化图中可以看到典型的孤波的存在, 更符合实际交通流的波动特征. 进一步比较图 3(b) 和 (c) 可知, 考虑加

权顾前势的情况下, 演化图表现出的密度波峰高于不考虑加权的情况, 而且高密度下的车辆运动的波动特征更加明显. 说明加权情况下更符合司机会根据远近不同的车辆的影响重要程度不同而做出的决策不同的情况.

4) NS, CYI 和 WP 三种模型的比较

进一步对 NS, CYI 和 WP 模型进行比较, 模拟参数为  $Q = 5$ ,  $J_0 = 6$ ,  $V_{\max} = 4$ , 运行 800 s, 结果如图 4 所示.

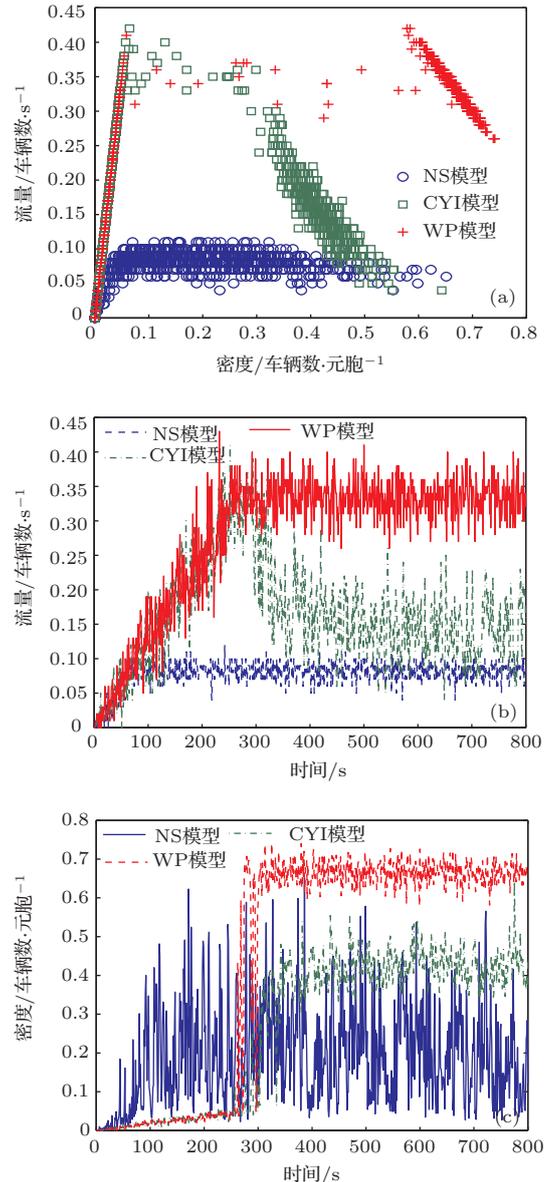


图 4 (网刊彩色) (a) NS, CYI, WP 三种模型的流量密度关系; (b) NS, CYI, WP 三种模型的流量随时间的变化图; (c) NS, CYI, WP 三种模型的密度随时间的变化图

由图 4(a) 可知, NS 模型的临界密度低于 CYI 模型, CYI 模型的临界密度低于 WP 模型. 由图 4(b) 可知, NS 模型的最大流量稳定在 0.08, 考

虑顾前势的CYI模型的最大流量具有先增大,之后渐渐稳定在0.14,而加权顾前势模型也先增大,之后稳定在0.33.由图4(c)可知,NS模型的密度稳定在0.15,CYI模型的密度稳定在0.4,而WP模型的密度稳定在0.65.进一步说明,在考虑加权情况下,有利于保持高密度下的高流量和道路通行能力.

## 5 结论与展望

本文在交通流元胞自动机模型和考虑顾前势的随机交通流模型的基础上,进一步考虑实际交通中距离司机最近的车辆影响较大、越远的车辆影响逐渐减小的情况,通过引入加权顾前势,对越靠近司机的车辆的顾前势赋予越大权重,研究了具有加权顾前势的交通流模型,使得建模过程更符合实际交通中司机根据前面车辆和环境的情况随机决策的过程.通过数值模拟,结果表明:

1) 考虑加权顾前势的作用,可以得到典型的密度-流量基本关系图,以及时间-空间-密度三维演化曲线图,能够再现丰富的高密度交通流行为;

2) 得到了加权势强度及顾前长度参数对交通流密度和流量的关系,加权顾前势作用下,流量密度曲线的凸凹形与不加权顾前势情况一致,流量密度曲线随着势强度的增大,曲线由开始的凸形,渐变为凹形,以及非凸非凹形;在顾前长度固定的情况下,随着势强度的增大,临界密度与交通流量降低;在加权势强度固定的情况下,随着顾前长度的增大,交通流量逐渐增大,临界密度也增大;

3) 加权系数在高密度交通流的情况下作用明显,在加权系数作用下,临界密度、交通流密度和流量高于不加权情况,且车辆运动的波动特征更加明显;加权情况下更有利于在保持较高交通密度的情况下,具有较高的交通流量和道路通行能力;由于低密度时,车辆之间的相互作用不大,因此,加权势的作用不明显.

本文提出的随机交通流模型为离散模型,其加权势函数基于道路上车辆间的相互作用强度为常数情况,还存在局限性.为了更好地再现和模拟交通流高密度情况下的复杂行为,可以进一步考虑相互作用强度为与距离有关的连续函数的情况,将有利于描述更细节的交通流现象,这是我们下一步的工作.

## 参考文献

- [1] Gazis D C 2002 *Operat. Res.* **50** 69
- [2] Greenshields B N 1934 *Proceedings of the 14th Annual Meeting of the Highway Research Board* Washington D.C., December 6-7, 1934 Part I. p448
- [3] Jia B, Gao Z Y, Li K P, Li X G 2007 *Models and Simulations of Traffic System Based on the Theory of Cellular Automaton* (Beijing: Science Press) pp289-296 (in Chinese) [贾斌, 高自友, 李克平, 李新刚 2007 基于元胞自动机的交通系统建模与模拟 (北京: 科学出版社) 第289-296页]
- [4] Cremer M, Ludwig J 1986 *Math. Comput. Simulat.* **28** 297
- [5] Nagel K, Schreckenberg M 1992 *J. Phys. I* **2** 2221
- [6] Benjamin S C, Johnson N F, Hui P M 1996 *J. Phys. A: Math. Gen.* **29** 3119
- [7] Li X B, Wu Q S, Jiang R 2001 *Phys. Rev. E* **64** 066128
- [8] Barlovic R, Santen L, Schadschneider A, Schreckenberg M 1998 *Eur. J. Phys. B* **5** 793
- [9] Knospe W, Santen L, Schadschneider A, Schreckenberg M 2000 *J. Phys. A* **33** L477
- [10] Knospe W, Santen L, Schadschneider A, Schreckenberg M 2002 *Phys. Rev. E* **65** 056133
- [11] Jiang R, Wu Q S 2003 *J. Phys. A: Math. Gen.* **36** 381
- [12] Mou Y B, Zhong C W 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 5597 (in Chinese) [牟勇飏, 钟诚文 2005 物理学报 **54** 5597]
- [13] Ding J X, Huang H J, Tang T Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7591 (in Chinese) [丁建勋, 黄海军, 唐铁桥 2009 物理学报 **58** 7591]
- [14] Bentaleb K, Jetto K, Ez-Zahraouy H, Benyoussef A 2013 *Chin. Phys. B* **22** 018902
- [15] Xiang Z T, Xiong Li 2013 *Chin. Phys. B* **22** 028901
- [16] Sopasakis A, Katsoulakis M A 2006 *SIAM J. Appl. Math.* **66** 92
- [17] Sopasakis A 2004 *Physica A* **342** 741
- [18] Alperovich T, Sopasakis A 2008 *J. Statist. Phys.* **133** 1083
- [19] Sopasakis A 2013 *Procedia-Social and Behavioral Sciences* **80** 837
- [20] Ni D 2011 *Math. Aeterna, Hilaris Ltd.* **12** 7
- [21] Ni D 2013 *Appl. Math. Sci.* **7** 1929
- [22] Ni D 2013 *Appl. Math. Sci.* **7** 1947
- [23] Ni D 2013 *Appl. Math. Sci.* **7** 1965
- [24] Hauck C, Sun Y, Timofeyev I 2012 arXiv:1209.5802 [math. PR]
- [25] Vlachos D G, Katsoulakis M A 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 3898
- [26] Liggett T M 1985 *Interact. Part. Syst.* (Berlin: Springer) pp361-413
- [27] Lightill M J, Whitham G B 1995 *Proc. Roy. Soc. A* **229** 317

# On traffic flow model with weighted look-ahead potential\*

Zheng Wei-Fan<sup>1)3)</sup> Zhang Ji-Ye<sup>1)†</sup> Wang Ming-Wen<sup>2)</sup> Tang Dong-Ming<sup>3)</sup>

1) (*Traction Power State Key Laboratory, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China*)

2) (*School of Mathematics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China*)

3) (*Institute of Information Research, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China*)

( Received 15 May 2014; revised manuscript received 2 July 2014 )

## Abstract

Research on the stochastic behavior of traffic flow is important to understand the intrinsic evolution rule of traffic system. On the basis of cellular automata model and traffic flow model with look-ahead potential, in this paper, a novel traffic flow model with weighted look-ahead potential is presented. By introducing the weighting coefficient into the look-ahead potential and endowing the potential of vehicle closer to itself with a greater weight, the modeling process is more suitable for the driver's random decision-making process which is based on the vehicle and environment situation in front of him in actual traffic. Complex high-density traffic behavior is reproduced by numerical simulations. The simulation results show that the weighting coefficient has an obvious effect on high-density traffic flux, and the weighted model is more conducive to keeping high traffic flux and road capacity while maintaining a high traffic density.

**Keywords:** traffic flow, look-ahead potential, stochastic model, weighted

**PACS:** 89.40.Bb, 02.50.-r, 05.10.Ln

**DOI:** [10.7498/aps.63.228901](https://doi.org/10.7498/aps.63.228901)

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11172247, 61100118), and the Science and Technology support Project of Sichuan Province (Grant No. 2013GZX0166).

† Corresponding author. E-mail: [jyzhang@swjtu.edu.cn](mailto:jyzhang@swjtu.edu.cn)