

文章编号: 1000-0887(2002) 04-0331-07

# 基于跟车思想的一维元胞自动机交通流模型<sup>\*</sup>

董力耘, 薛郁, 戴世强

(上海大学, 上海市应用数学和力学研究所, 上海 200072)

(本刊编委戴世强来稿)

**摘要:** 提出一个改进的一维元胞自动机模型来模拟周期性边界条件下高速公路上车流运动。基于跟车模型的思想, 根据所研究车辆与其前方紧邻车辆之间的间距和相对速度来确定该车的运动, 间接地反映了次近邻车辆的影响。通过引入安全间距来描述高速运动车辆接近前方缓行车辆时的减速行为, 并利用随机减速概率来反映减速行为中的随机因素。由于安全间距的引入, 当减速概率大于零时在较高密度下就出现完全的阻塞相。同时在本模型中采用的是有条件减速, 因而可以较好描述交通实测中观察到的现象。在临界密度附近, 车流运动处于亚稳态并呈现出滞后现象。由于本模型对于车辆微观运动的合理描述, 可以直接用以研究在交通灯控制下城市道路交通中的各种现象。

**关键词:** 元胞自动机; 交通流模型; 亚稳态; 滞后现象; 跟车模型

**中图分类号:** TB126      **文献标识码:** A

## 引 言

近年来, 交通流的元胞自动机模型(CA)开始广泛应用于交通流研究<sup>[1-10]</sup>。由大量车辆组成的车流实际上是一个离散系统, 因此采用本质上离散(时间、空间和状态变量均定义在离散集上)的元胞自动机模型来描述实际的交通现象具有独特的优越性: 1) 算法简单, 易于实现并行计算; 2) 灵活可调, 可以研究各种具体的交通现象。

Nagel 和 Schreckenberg<sup>[1]</sup>提出了描述高速公路交通流的一维随机元胞自动机模型(即 NS 模型)。在该模型中, 将车道离散为等距的一维格点, 并将所有车辆由左至右编号, 其中第  $i$  辆车的位置记为  $x_i$ , 而它的速度  $v_i \in \{1, 2, \dots, V_{\max}\}$ , 其中  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ , 且假定所有车辆具有相同的最大速度  $V_{\max} (\geq 1)$ 。车辆的运动根据如下规则同步并行更新: 1) 加速阶段: 若  $v_i < V_{\max}$ , 则  $v_i \rightarrow v_i + 1$ ; 2) 避免车辆碰撞: 如果  $v_i > d_i$ , 其中车间距  $d_i = x_{i+1} - x_i - 1$ , 则  $v_i = d_i$ ; 3) 随机慢化:  $v_i (> 0) \rightarrow v_i - 1$  以概率  $p$  发生; 4) 车辆位置更新:  $x_i \rightarrow x_i + v_i$ 。该模型考虑到车辆加速和不完善驾驶(随机慢化)的影响, 首次显示出车辆从自由运动相到局部阻塞相的相变, 引起国际学术界的广泛注意。由于采用随机慢化,  $v_i(t+1)$  不能由车间距  $d_i$  唯一确定, 给解析研究工作带来了意外的复杂性。Fukui 和 Ishibashi<sup>[2]</sup> 提出一个更加简单的一维元胞自动机模型(即 FI 模型), 车辆运动规则为: 1) 速度更新:  $v_i \rightarrow \min(d_i, V_{\max})$ ; 2) 位置更新:  $x_i \rightarrow x_i$

\* 收稿日期: 2000\_11\_28; 修订日期: 2001\_11\_09

基金项目: 国家自然科学基金资助课题(19872042, 19932020); 上海市博士后基金资助项目

作者简介: 董力耘(1971—), 男, 江西人, 博士。

+  $v_i$ 。该模型不能描述真实交通中出现的时停时走现象,但是该模型可以得到精确解(参看文[3])。在当系统达到稳定时,车辆的平均速度  $v$  与平均密度  $\rho$  存在如下解析关系:

$$v = \begin{cases} V_{\max} & \rho \leq 1/(V_{\max} + 1), \\ \frac{1}{\rho} - 1, & \rho > 1/(V_{\max} + 1). \end{cases}$$

王雷在其博士论文<sup>[3]</sup>中采用车辆间距为变量的全局方法获得了 FI 模型及其变型的解析解,为最终得到 NS 模型的解析解提供了新的思路。自 NS 模型提出以后,已经被许多研究者改进和推广。Chowdhury 等人<sup>[6]</sup>在其综述性文章中列举了 NS 模型的变种及其它的相关模型,它们分别反映了真实车辆运动的不同侧面。这些模型多数仅考虑到瞬时车辆间距的影响,而没有考虑到车辆的相对运动。这一点已经被国内的一些研究者注意到,并提出了相应的改进模型。胡永涛<sup>[4]</sup>在其改进的 NS 模型中对时间步长作适当细分,从而可以较好地描述车辆的高速跟驰运动;而薛郁等人<sup>[5]</sup>的新模型中引入了依赖于平均密度的减速概率并借鉴了二维绿波模型(GWM)的思想,数值模拟结果与实测结果符合较好。

同时,交通流其它微观模型(如跟车模型等)的思想也被应用于元胞自动机模型的构造。最近,Helbing<sup>[7]</sup>提出一个一维交通流 CA 模型,其中借鉴了优化速度(OV)模型中的速度更新规则,可以视为优化速度模型的 CA 版本。

本文基于跟车模型的思想,考虑到车辆之间的相对运动,提出一个改进的元胞自动机模型,来更为确切真实地描述城市单车道上的车辆运动。跟车模型的思想可以用如下方程表示:

$$\dot{x}_i = f_{\text{sti}}(v_i, d_i, \Delta v_i),$$

即一车辆所受到前方车辆运动的刺激(stimulus)由该车辆的瞬时速度、前后两车的间距和相对速度共同确定。对于只考虑车间距的情形,为避免碰撞,必有  $v_i \leq d_i$ 。实际上,由于前方车辆一直在向前运动,对于当前车辆而言,在一个时间步长内可能向前运动的距离  $d_i + \min\{v_{i+1}, d_{i+1}\} \geq d_i$ 。因此如果考虑到车辆的相对运动,在密度较小时,车辆可能以更大的速度运动。这种对于车辆运动的描述类似于跟车模型,因此我们的模型可以认为是跟车模型的 CA 版本。

## 1 改进的一维交通流模型

我们的改进模型定义在由  $L$  个格点组成的一维离散点列上,每个格点上可能有  $V_{\max} + 2$  个状态:空格点(无车),或有一辆以速度  $v$  运动的车,其中  $v \in \{0, 1, 2, \dots, V_{\max}\}$  表示,而  $V_{\max}$  表示车辆可以达到的最大速度。

已知  $x_j(t)$  和  $v_j(t)$  分别表示第  $j$  辆车在  $t$  时刻的位置和初始速度,则在  $t$  时刻第  $j$  辆车与前方紧邻车辆(第  $j+1$  辆车)之间的瞬时间距为

$$d_j(t) = x_{j+1}(t) - x_j(t) - 1.$$

通过对于前方车辆运动的估计,来确定当前车辆的运动。假设所有车辆尽可能以原来速度运动,同时为了避免发生碰撞,当前车辆向前运动的距离不能超过瞬时间距,则第  $j$  辆车可能达到的位置记为  $x'_j = x_j(t) + \min(v_j(t), d_j(t))$ ,对于第  $j+1$  辆车,则有  $x'_{j+1} = x_{j+1}(t) + \min(v_{j+1}(t), d_{j+1}(t))$ 。因此两车的可能间距为

$$d'_j = x'_{j+1} - x'_j - 1 = d_j(t) + \min(v_{j+1}(t), d_{j+1}(t)) - \min(v_j(t), d_j(t)) \geq \min(v_{j+1}(t), d_{j+1}(t)) \geq 0,$$

则确定第  $j$  辆车的可能速度为

$$v_j' = \begin{cases} v_j(t), & d_j' \geq V_{\max}, \\ \min(v_j(t), d_j(t)), & d_j' < V_{\max}. \end{cases}$$

上式表明当车间距较大或前方车辆高速运动时,第  $j$  辆车的速度将保持其原来的速度不受影响,而其加速运动可以通过引入安全间距  $d_{\text{safe}}$  来确定:

$$a_j' = \begin{cases} a, & d_j' > d_{\text{safe}}, \\ -a, & d_j' \leq d_{\text{safe}}, \end{cases}$$

其中  $a_j'$  是第  $j$  辆车的速度增加值,在本文中仅考虑  $a = 1, d_{\text{safe}} = 1, 2$ 。于是第  $j$  辆车在  $t$  时刻的实际速度为

$$v_j = \max(\min(v_j' + a_j', V_{\max}), 0),$$

即车辆的运动速度不能超过最大速度  $V_{\max}$  且不能为负(车辆不能后退)。

最后更新车辆的位置:

$$x_j(t+1) = x_j(t) + v_j.$$

从上面的车辆运动的演化规则可以看出,该模型具有以下三个特点:

- 1) 车辆采取逐步有限加速方式,即每一个时间步长内车辆速度最多只能增加 1。
- 2) 车辆是延迟起动的,即只有当前方间距大于安全间距时车辆才能从静止状态起动。
- 3) 该模型描述了经常发生的后方车辆高速追赶前车的行为,这种情况通常发生在前车遭遇红灯或减速行驶的情况。

到此为止,本模型是一个完全确定性的模型。实际上随机因素可在速度更新的各个阶段引入,为了简单起见,我们仅在减速过程中引入随机因素  $p_d$ ,用来反应实际交通中司机的刹车减速行为中的随机性,即当  $0 \leq d_j' \leq d_{\text{safe}}$  时

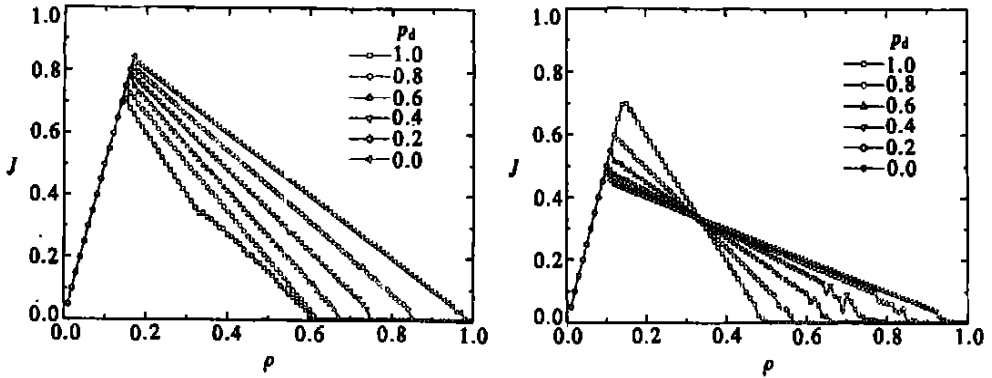
$$a_j' = \begin{cases} -a & \text{以概率 } p_d, \\ 0 & \text{以概率 } 1 - p_d. \end{cases}$$

本模型与 NS 模型中引入的减速步骤的方式区别在于:在 NS 模型中,所有速度大于 0 的车辆都可以以一定概率的减速,并不考虑具体交通情况。而在现代交通中,各种车辆的独立性越来越小,即交通现象的随机性减弱。在本模型中只有当两辆车靠得很近,且前方车辆以较低速度运动时才发生减速,这符合我们的日常经验。

## 2 数值模拟结果与分析

该交通流模型的基本特性反映在基本图上,即密度  $\rho$ 和平均流量  $J = \rho v$  的关系,其中  $v$  是平均速度。我们定义如下宏观量:在周期性边界条件下,车辆数守恒,记为  $N$ ,车道由  $L$  个离散格点构成,则车辆的密度为  $\rho = N/L$ ,而  $t$  时刻的空间平均速度定义为  $v(t) = (1/N) \sum_{j=1}^N v_j(t)$ 。根据文献[1],一个格点所对应的实际道路长度为 7.5 m,而每个时间步长  $\Delta t \approx 1$  s,本文中车道由 1 000 个格点组成,对应的实际道路长度为 7.5 km,而最大速度  $V_{\max}$  一般取为 5,则对应的实际车速  $V_{\max} = 135$  km/h。在进行数值模拟时,初始时刻所有的车辆以给定密度  $\rho$ 随机分布在  $L$  个离散格点上。在经过足够长时间  $t_0$  的过渡阶段以后(实际的运行步数 10 000 步),我们记录以后运行  $T$  (1 000 步) 中每一时间步长内的速度  $v(t)$ ,然后将得到 1 000 个速度值再作时间平均,得到一次运行的平均速度  $v = (1/T) \sum_{t=t_0}^{t_0+T-1} v(t)$ 。在下面给出的

基本图上, 每一个点代表 20 次运行的平均值。



(a)  $d_{safe} = 1, p_d = 0, 0.2, \dots, 1.0$

(b)  $d_{safe} = 2, p_d = 0, 0.2, \dots, 1.0$

图 1 基本图

图 1(a)、(b) 分别给出  $d_{safe} = 1, 2$ ; 以及减速概率  $p_d = 0, 0.2, \dots, 1.0$  时的流量-密度图(即基本图)。最引人注目的特征是: 由于安全间距  $d_{safe}$  的引入, 当减速概率  $p_d > 0$  时, 系统发生完全阻塞的密度  $\rho_{max} < 1$ , 且随  $p_d$  的增大而减小。对于  $p_d = 0, 1.0$ , 该模型是确定性的, 因此强烈依赖于初始条件。当  $p_d = 0$  时, 由于减速不起作用, 形成紧密的阻塞区域(车间距为 0), 因此直到  $\rho \rightarrow 1.0$  时系统才演化到完全静止的终态。而对于确定性减速  $p_d = 1.0$ , 将会形成松散的阻塞区域(车间距为 1), 因此在  $d_{safe} = 1, 2$  两种情形下均有  $\rho_{max} \approx 0.5$ 。对于有一大阻塞区域的初始条件进行模拟, 可以验证上述结论。

在临界密度  $\rho_c$  和  $\rho_{max}$  附近, 可以观察到流量的突然跳跃。当  $\rho < \rho_c$  时, 当系统达到定态时, 是所有车辆均以  $V_{max}$  运动的自由运动相, 无局部阻塞区域。而当  $\rho > \rho_c$  时, 由于随机初始分布而形成稳定的局部阻塞区域, 此时自由运动区和阻塞区达到动力学平衡, 由于空格点数目的减少, 造成流量的突降, 这是由于模拟过程中系统有限尺度带来的影响<sup>[2]</sup>。当系统尺度趋于无穷大时, 流量的突降逐渐减弱直到消失。而在  $\rho_{max}$  附近所发现的流量跳跃可能与每次模拟时系统的初始条件有关, 可能出现局部仍有车辆运动或所有车辆均静止两种状态。

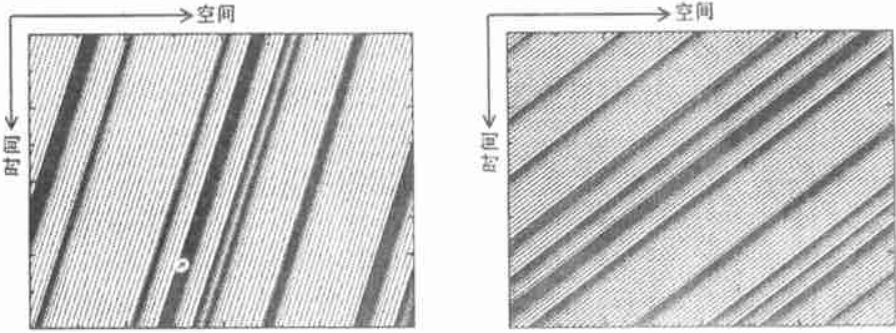
根据基本图分析, 在不同密度范围内, 车流处于不同的状态: 1) 当  $0 < \rho < \rho_c$  时, 车流处于自由运动相, 系统从任何初始条件开始均会自组织演化到  $v_i = V_{max}$  的终态。2) 当  $\rho_c \leq \rho < \rho_{max}$  时, 是自由运动相和局部阻塞相混合的流态。当系统达到稳态时, 进入阻塞的流量等于离开阻塞的流量, 即  $J_{in} = J_{out}$ 。由于采用周期边界条件, 可知随着密度的增大, 阻塞的尺度也不断增大, 流量也相应减小。3) 当  $\rho_{max} \leq \rho \leq 1$  时, 系统达到终态时是完全阻塞相, 所有的车辆均静止  $v_i = 0$  且车间距  $d_i \leq 1$ 。

对于  $d_{safe} = 1$  的情形, 车流从运动相向阻塞相转变的临界密度  $\rho_c$  依赖于  $d_{safe}$  和  $p_d$ , 且  $\rho_c \leq 1/(V_{max} + 1)$ 。随着减速概率  $p_d$  的增大, 在相同密度下, 对应的流量  $J$  逐渐减小, 且临界密度略有减小。当  $0 < \rho < \rho_c$  时, 流量随密度增加而线性增大, 即  $J = \rho V_{max}$ 。当  $\rho_c \leq \rho < \rho_{max}$  时, 流量随密度线性下降, 并可定量估计如下: 考虑整个车道上仅有一个阻塞区域的情况, 记自由运动区的密度为  $\rho_f$ , 局部阻塞区的密度为  $\rho_j$ , 有  $\rho_f + \rho_j = \rho$ 。假设在自由运动区域车辆均以  $V_{max}$  运动, 则有  $\rho_j(1 + q d_{safe}) + \rho_f V_{max} = 1$ , 同时有  $J \approx \rho_f V_{max}$ , 则我们可以得到

$$J = \frac{(1 - \rho - \rho_j d_{safe}) V_{max}}{V_{max} - 1 - p_d d_{safe}}$$

该结果与数值模拟结果(图 1a)定性符合。

注意到当  $p_d = 0$  时, 临界密度  $\rho_c = 1/(V_{max} + 1)$ , 而当  $\rho > \rho_c$  时, 有  $J = 1 - \rho$  这与 FI 模型的结果一致, 也与确定性 NS 模型( $p = 0$ )一致。对于确定性减速情况  $p_d = 1.0$ , 数值模拟结果显示当  $\rho_c \leq \rho \leq 1/3$  时, 流密关系呈现线性关系, 而当  $1/3 < \rho \leq \rho_{max}$  时, 系统对于系统初始分布较为敏感, 因而有一定的脉动。



(a)  $\rho = 0.2, d_{safe} = 2, p_d = 0$  (b)  $\rho = 0.2, d_{safe} = 2, p_d = 1.0$

图 2 时空演化斑图

对于  $d_{safe} = 2$ , 基本图上显示出与  $d_{safe} = 1$  情形明显不同的特征。随着减速概率  $p_d$  的增大, 临界密度随之增大; 且在  $\rho_c \leq \rho \leq 1/3$  范围内, 减速概率  $p_d$  大的曲线在同一密度下相应的流量反而更大。这是在周期性边界条件下, 当系统达到稳态时, 流量依赖于形成阻塞的结构(确定延迟时间  $\tau$ ) 和系统的尺度(确定空格点数目)。当  $\rho_c \leq \rho \leq 1/3$  时, 平均流量由延迟时间  $\tau$  确定, 而当  $\rho > 1/3$  时, 则空格点数目限制了流量。首先, 作为对比, 图 2(a)、(b) 分别给出  $p_d = 0, 1.0$  两种确定性情况下的时空演化斑图(当系统达到定态时记录在  $[300 \sim 700]$  空间范围内 200 个时间步长的演化情况, 其中每一点代表一辆车), 可以发现形成稳定后向传播的密度波(stop\_and\_go waves)。我们考察局部阻塞区域和运动区域之间的动力学平衡关系: 对于  $p_d = 1.0$ , 形成松散的阻塞区域(车间距为 1), 这样两相邻车辆离开阻塞区域所需延迟时间  $\tau$  较短; 而当  $p_d = 0.0$  时, 形成紧密的阻塞区域(车间距为 0), 相应的延迟时间  $\tau$  较长, 这是由上述运动规则所决定的。考察交通阻塞波前的传播速度  $v_g$ , 即图中带状阻塞区域的斜率, 对于  $p_d = 0.0, v_g \approx 13.5 \text{ km/h}$ ; 而对于  $p_d = 1.0, v_g \approx 54 \text{ km/h}$ 。很明显, 在此密度范围内, 当  $p_d$  较大时, 同一密度所对应的流量要更大一些。

通过对不同初始分布进行数值模拟发现, 在临界密度  $\rho_1$  ( $\rho_c$ ) 附近, 车辆的运动表现出亚稳态和滞后现象, 如图 3 所示。当初始时刻车辆在车道上均匀分布, 根据初始速度不同可分为两种情况:

1. 所有车辆赋予速度初值  $v$  ( $0 \leq v < V_{max}$ ), 当系统达到稳态时

$$J = \begin{cases} \rho V_{max}, & 0 < \rho \leq \rho_2 \\ 1, & \rho_2 < \rho \leq 1/2 \end{cases}$$

如赋速度初值为  $v = 0$ , 当  $\rho \leq \rho_2$  时, 所有车辆将会逐渐加速到  $V_{max}$ :  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 5 \rightarrow \dots \rightarrow 5$

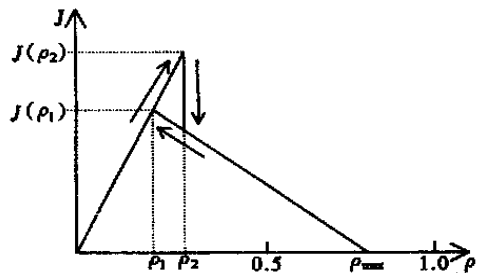


图 3 亚稳态和滞后现象

当  $\rho > \rho_2$  时, 所有车辆将会逐渐加

速到  $v = d + 1 = 1/\rho$

2. 如果对所有车辆的速度初值为  $V_{\max}$  的情形, 当系统达到稳态时有

$$J = \rho V_{\max} \quad 0 < \rho \leq 1/(d_{\text{safe}} + 1)$$

同时注意到由于格点位置用整数值表示, 可以使车辆在车道上均匀分布的最大密度为 0.5。

当  $\rho > \rho_c$  时, 这种流动是亚稳态的, 即当扰动达到一定强度时会使车流运动失稳, 并导致流量的迅速减小。因此在临界密度  $\rho_c$  附近可能出现两种流态, 一是车辆的均匀高速运动状态, 对应于较大的流量(由于  $d_i > d_{\text{safe}}$ , 减速步骤不起作用) 和较高的临界密度; 二是车流内部出现局部阻塞区域, 对应于较小的流量和较低的临界密度。这种流动是稳定的, 也是在真实交通中经常发生的现象。

根据上述讨论, 可以将流动的性质将划分 4 个不同的密度区间: (1) 当  $0 < \rho < \rho_1$  时, 稳定区域; (2) 当  $\rho_1 < \rho \leq \rho_2$  时, 亚稳态区域; (3) 当  $\rho_2 < \rho \leq \rho_{\max}$  时, 不稳定区域; (4) 当  $\rho_{\max} < \rho \leq 1$  时, 稳定区域。经过短时间演化, 系统进入静止终态。

为了再现图 2 中所示的滞后现象, 可以通过如下方式<sup>[6][8]</sup>: 1) 我们从低密度 ( $\rho < \rho_c$ ) 开始, 当系统运行到终态时, 所有的车辆均以最大速度  $V_{\max}$  运动, 此时如果插入一些以  $V_{\max}$  运动的车辆, 这相当于施加了一个小扰动  $\Delta\rho$ , 那么  $\rho + \Delta\rho < \rho_2$  时, 根据运动规则, 这并不会改变整个车流的运动, 对应于相同密度下流量更大的分支。值得注意的是如果插入一些低速运动的车辆 ( $v < V_{\max}$ ), 则在车流内不会产生自发的局部的阻塞, 当这种低速车辆较少时, 经过一段时间的运行, 车流可以重新恢复高速运动状态。但是当这种扰动超过一定限度, 则整个车流的状态将会失稳, 从而突然跳跃到流量较小的分支。当车流密度  $\rho$  接近  $\rho_2$  时, 车流对于扰动更加敏感。2) 如果我们从高密度状况 ( $\rho > \rho_c$ ) 开始, 车流运动达到终态时会出现运动相和阻塞相交替出现的状态, 如果我们从中随机取出一些车辆, 车流系统将保持原来的状态, 从而对应于图中的流量较小的分支。

### 3 结 论

本文提出一个模拟高速公路车辆运动的元胞自动机模型。由于同时考虑到相邻两车的间距和相对速度, 因此当车辆密度超过临界密度以后, 仍然允许车辆以较高的速度运行; 同时当车辆密度足够大, 前方车辆运动的影响也能及时地反映到当前车辆的运动中来, 如当  $\rho < 1$  时就可能发生完全的阻塞。最近对于高速公路上实测数据的分析表明, 阻塞相或同步相(车辆以很低速度前进, 但是由于车辆密度很大, 其流量仍接近最大流量) 可以长时间地维持。在 NS 模型中, 由于随机慢化作用, 这种状态是无法维持的, 而在本模型中则可以实现, 时空演化斑图显示阻塞区域可以长时间稳定地存在。

由于该模型对单个车辆运动的合理描述, 可以直接将其应用于研究城市道路中交通灯控制下的车辆运动。它们的典型特征如逐步有限加速、车辆从静止状态的延迟起动以及对前方车辆的高速追尾运动都在模型中得到体现。数值模拟结果显示, 在临界密度附近车流运动状态表现出亚稳态和滞后现象。在本文中仅考虑了周期边界条件, 可以预期在开放边界条件下, 该模型可以较为准确地再现真实交通现象, 如大尺度交通阻塞的形成及缓解和同步相的产生等将在以后作进一步的分析研究。

### [参 考 文 献]

[1] Na el K, Schreckenber M. A cellular automaton model or reeway tra ic[J]. J Phys I France,

- 1992, **2**: 2221—2229.
- [2] Fukui M, Ishibashi Y. Traffic flow in 1D cellular automaton model including cars moving with high speed[J]. J Phys Soc Japan, 1996, **65**(6): 1868—1870.
- [3] 王雷. 一维交通流元胞自动机模型中自组织临界性及相变行为的研究[D]. 博士学位论文. 合肥: 中国科学技术大学, 2000.
- [4] 胡永涛. 改进的元胞自动机模型及其应用[D]. 硕士学位论文, 上海: 上海大学, 1999.
- [5] 薛郁, 董力耘, 戴世强. 一种改进的一维元胞自动机交通流模型及减速概率的影响[J]. 物理学报, 2001, **50**(3): 445—449.
- [6] Chowdhury D, Santen L, Schadschneider A. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems[J]. Physics Report, 2000, **329**: 199—329.
- [7] Helbin D, Schreckenberg M. Cellular automata simulating experimental properties of traffic flow[J]. Phys Rev E, 1999, **59**(3): R2505—R2508.
- [8] Krauss S, Wagner P, Gawron C. Metastable states in a microscopic model of traffic flow[J]. Phys Rev E, 1997, **55**(4): 5597—5602.
- [9] Lbeck S, Schreckenberg M, Usadel K D. Density fluctuations and phase transition in the Nagel-Schreckenberg traffic flow[J]. Phys Rev E, 1998, **57**(1): 1171—1174.
- [10] Nagel K, Paczuski M. Emergent traffic jams[J]. Phys Rev E, 1995, **51**(4): 2909—2918.

## One Dimensional Cellular Automaton Model of Traffic Flow Based on Car Following Idea

DONG Liyun, XUE Yu, DAI Shiqian

(Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200072, P R China)

**Abstract:** An improved one-dimensional CA traffic model was proposed to describe the highway traffic under the periodic boundary conditions. This model was based on the idea of the car following model, which claims that the motion of a vehicle at one time step depends on both the its headway and the synchronous motion of the front vehicle, thus including indirectly the influence of its subneighbor vehicle. In addition, the so-called safety distance was introduced to consider the deceleration behavior of vehicles and the stochastic factor was taken into account by introducing the deceleration probability. Meanwhile, the conditional deceleration in the model gives a better description of the phenomena observed on highways. It is found that there exists the metastability and hysteresis effect of traffic flow in the neighborhood of critical density under different initial conditions. Since this model gives a reasonable depiction of the motion of a single vehicle, it is easy to be extended to the case of traffic flow under the control of traffic lights in cities.

**Key words:** cellular automaton(CA); traffic model; metastability; hysteresis phenomenon; car-following model