

# 优先随机慢化模型的密度波动与相变\*

## Density Fluctuations and Phase Transition in the Noise-First Model

梁一志, 郑容森, 曾耀荣

LIANG Yi-zhi, ZHENG Rong-sen, ZENG Yao-rong

(玉林师范学院物理与信息科学系, 广西玉林 537000)

(Department of Physics and Information Science, Yulin Normal College, Yulin, Guangxi, 537000, China)

**摘要:**引入局域密度几率分布分析 3 种不同交通相之间的转化, 运用序参量研究平均车流量的 2 个临界点的相变行为来计算机仿真交通流模型——优先随机慢化模型(Noise-First)。数值模拟结果与实际测得的相变结论较吻合。该模型能够真实反映交通状况。

**关键词:**元胞自动机 相变 局域密度 序参量

**中图分类号:**O415 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2009)03-0274-03

**Abstract:** The local density distribution of probability is introduced to analyze the transfers between three kinds of traffic phases. The phase transition behavior of two critical points for the average car flow is studied with order parameter, and is simulated traffic flow model——(Noise-First Model) by computer. The numerical simulation results are more consistent with the actual measured results of the phase transitions. The model can truly reflect the traffic situation.

**Key words:** cellular automaton, phase transition, local density, order parameter

交通系统具有复杂性、动态性和随机性等特点, 同时存在自组织临界性和从自由运动相到阻塞相的相变行为。元胞自动机模型可以很好地反映这些特性, 又易于在计算机上进行数值模拟, 并且能够灵活地修改规则以模拟真实交通条件下的各种效应, 因此它已成为近年来研究交通流的一种强有力的工具。

1992 年, 德国学者 Nagel 和 Schreckenberg 提出了一维元胞自动机交通流模型, 简称 NaSch 模型<sup>[1]</sup>, 由于其能够再现孤立波、“幽灵式”堵塞、时走时停交通等现象, 所以引起了大量的追踪研究<sup>[1~10]</sup>。

交通流阻塞机理的研究也一直是人们高度关注的热点, 在统计物理中, 相关性和序参量是研究相变的重要手段<sup>[2]</sup>, 通过对车辆之间的相关性和交通相变的序参量研究, 结果发现有噪声作用的 NaSch 模型没有临界性, 呈现从自由流动到阻塞的跨接现象, 即

从自由流动相连续变化到交通阻塞相; 在无噪声情况下, 最大相关长度趋于无穷, 呈现出连续二级相变<sup>[3]</sup>。然而 Kerner 实际测得的自由流→同步流→阻塞或自由流→阻塞的相变是局域一级相变<sup>[4]</sup>, 理论与实际相差较大。本文基于优化随机慢化模型, 引入局域密度几率分布和序参量计算机仿真交通流。

### 1 模型

薛郁等人<sup>[5]</sup>于 2005 年提出了优化随机慢化模型(Noise-First 模型), 成功再现了与实际交通相一致的不同步流现象。Noise-First 模型演化规则:

(i) 随机减速:  $v_i(t+1/3) = \max(v_i(t) - 1, 0)$ , 以概率  $p$  发生。

(ii) 确定性加速:  $v_i(t+2/3) = v_i(t+1/3) + 1$ 。

(iii) 确定性减速:  $v_i(t) = \min(v_i(t+2/3), gap_i(t))$ 。

(iv) 位置更新:  $x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$ 。

其中  $x_i(t)$ ,  $v_i(t)$  分别表示  $t$  时刻, 编号为  $i$  的车辆位置和速度;  $gap_i(t)$  表示  $t$  时刻, 编号为  $i$  的车辆与前方紧邻车辆之间的间隔。

收稿日期: 2009-03-05

作者简介: 梁一志(1969-), 男, 实验师, 主要从事交通流及非线性科学的研究。

\* 国家自然科学基金项目(批准号: 10762005)和广西自然科学基金项目(桂科自 0991285)资助。

## 2 数值模拟与分析

数值模拟时,采用周期性边界条件,取  $L = 5000$  cells 组成一维格点链,每个格点对应的实际道路长为 7.5m,整个格点链对应的实际道路长为 37.5Km,局域宽度  $\delta$  取 375m,相当于 50 个格点。设道路上车辆总数为  $N$ , 车辆最大速度  $V_{\max} = 5$  cells/s, 对应的实际车速为 135km/h。其中全局密度  $\rho_g$ 、局域密度  $\rho_l$  和平均车流量  $J$  的计算公式如下:

$$\text{全局密度: } \rho_g = \frac{N}{L},$$

$$\text{局域密度: } \rho_l = \frac{1}{\delta} \sum_{r=i}^{r=i+\delta-1} S(r),$$

$$\text{平均车流量: } J = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{i=N-1} v_i(t).$$

这里  $S(r)$  是布尔变量,假如该处格点被车辆占据,则  $S(r) = 1$ ,反之  $S(r) = 0$ 。

初始时刻所有车辆以给定的全局密度  $\rho_g$  随机分布在一维格点链上。为消除暂态影响,每次运行对最初的  $5 \times 10^4$  时步不做统计。以后  $1 \times 10^4$  时步进行时间平均,这样就得到了每一次运行的结果。为减小初始分布对结果的影响,取样本数为 30。图 1~3 中的每个点都是 30 次运行的平均值。

### 2.1 模型基本图

模型基本图(图 1)中平均车流量出现了 2 个临界点,这在 NaSch 模型中从未出现过。当车道上全局密度较低时,车流处于畅行相,所有的车辆都以期望的最大速度行驶。流量随全局密度线性增加;当系统的全局密度超过第一个临界点时,系统并没有出现预料中的自由运动相与窄幅运动阻塞相的分离,而是出现了一流量平台,即流量不再是密度的单值函数。通过后面的局域密度几率曲线我们可以确认此时系统中开始出现同步流;当系统的全局密度超过第二个临界点时,行驶车辆受到静止车辆的影响,自由运动的进程显著减小,系统出现低速运动相与阻塞相的分离,从而导致交通流量的急剧下降。

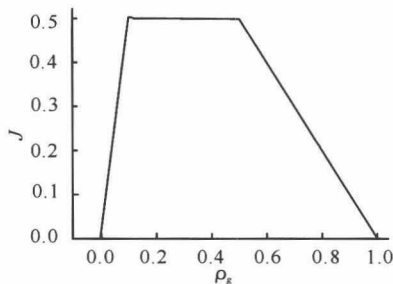


图 1 基本图

Fig. 1 Basic chart

### 2.2 模型密度波动

引入局域密度可以更细致地描述车道上车辆的聚集状态(图 2)。

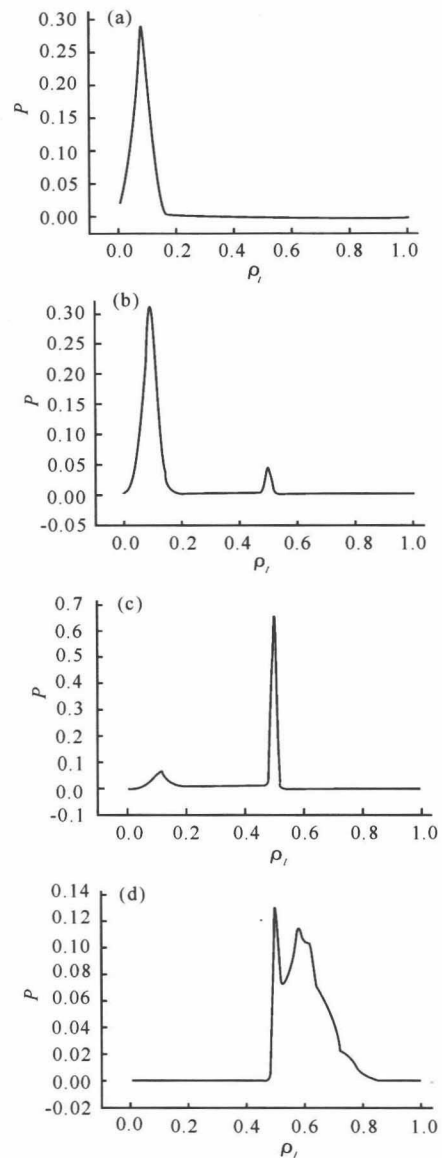


图 2 不同全局密度时,局域密度几率分布曲线

Fig. 2 Local density probability distribution curve, different from the overall density

(a)  $\rho_g = 0.08$ ; (b)  $\rho_g = 0.12$ ; (c)  $\rho_g = 0.4$ ; (d)  $\rho_g = 0.6$ .

由图 2(a)可以看出,当系统的全局密度低于第一个临界点时,局域密度几率分布曲线出现了单脉冲,峰值点出现在  $\rho_l = \rho_g$  处,同时  $\rho_l = 0$  也占据了一定的几率,换句话说,车道上存在较大范围的空白带,所有的车辆都以期望的最大速度行驶,系统处于畅行相。由图 2(b)和(c)可以看出,当系统的全局密度位于两个临界点之间时,局域密度几率分布曲线出现了双脉冲,前者对应于自由流,后者对应于同步流。系统出现自由流与同步流的分离,且随着全局密度增加,处于自由流的车辆逐渐进入同步流区域,同步流区域

不断加宽。由图 2(d)可以看出,当系统的全局密度高于第 2 个临界点时,局域密度几率分布曲线同样出现了双脉冲,前者对应于同步相,后者对应于阻塞相,处于同步流的车辆逐渐进入阻塞区域,系统出现同步运动相与宽幅运动阻塞相的分离。

### 2.3 模型相变

引入一个序参量以定性描述两种相变之间的不同行为,结果见图 3。序参量的定义<sup>[6]</sup>为

$$m(\rho) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{i=L-1} S_i S_{i+1}.$$

从图 3 结果可以看出,序参量在第一个临界点附近总是等于零,优先随机慢化抹平了临界性,自由流→同步流不存在相变行为,呈现从自由流动到同步流动的跨接现象;序参量在第二个临界点附近发生突变,同步流→阻塞的相变具有一级相变的特征,这表明优先随机慢化作用引起同步流到阻塞相变特性的改变,这样的一级相变的特征与 Kerner 实际测得到的结论相一致。

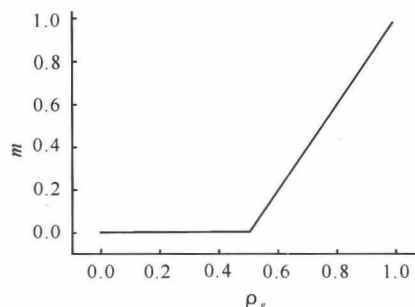


图 3 序参量随全局密度变化曲线

Fig. 3 Order parameter curve with the overall density

### 3 结束语

本文主要是计算机仿真 Noise-First 模型对交通流的影响。数值模拟发现,元胞自动机交通流模型对于规则的演化次序是极其敏感的。Noise-First 模型能够反映出与实际交通相一致的复杂的交通行为,例如同步流。Noise-First 模型通过优先考虑噪声效应,获

得了 3 种不同的相:畅行相、同步相、宽幅运动阻塞相<sup>[5]</sup>。

我们借助于局域密度几率分布分析 3 种交通相之间的分离;运用序参量研究两个临界点的相变行为,数值模拟结果与 Kerner 实际测得到的相变结论较为吻合,Noise-First 模型能反映真实的交通状况。

#### 参考文献:

- [1] Nagel K, Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic[J]. J Phys I, 1992, 2: 2221-2225.
- [2] 于绿,郝柏林,陈晓松. 边缘奇迹——相变和临界现象[M]. 北京:科学出版社, 2005: 72-74.
- [3] Schadschneider A. The Nagel-Schreckenberg model revisited[J]. Eur Phys J B, 1999, 10: 573-582.
- [4] Kerner B S, Konhäuser P. Experimental properties of phase transition in traffic flow[J]. Phys Rev Lett, 1997, 49: 4030-4033.
- [5] Xue Yu, Dong Liyun, Lei Li, et al. Effects of changing orders in the update rules on traffic flow [J]. Physical Review E, 2005, 71 (026123): 1-6.
- [6] Eisenblatter B, Santen L, Schadschneider A. Jamming transition in a cellular automaton model for traffic flow [J]. Physical Review E, 1998, 57: 1309-1314.
- [7] Kerner B S, Klenov S L, Wolf D E. Cellular automata approach to three-phase traffic theory[J]. Phys A, 2002, 35: 1-55.
- [8] Maerivoet S, Moor B D. Cellular automata model of road traffic[J]. Physics Report, 2005, 419: 9-12.
- [9] 田丽君,刘天亮,黄海军. 含重叠路段交通系统中信息反馈策略的比较研究[J]. 物理学报, 2008, 57(4): 2122-2129.
- [10] 彭莉娟,康瑞. 考虑驾驶员特性的一维元胞自动机交通流模型[J]. 物理学报, 2009, 58(2): 0830-0835.

(责任编辑:尹 闯)

### 日本开发出可延长感染禽流感鸡寿命的化合物

日本研究人员最近开发出一种类型介于氨基酸和蛋白质之间的有机化合物。这种化合物是一种化合肽,可以使感染 H5N1 型禽流感鸡只的寿命延长。研究人员把 10 只刚感染 H5N1 型禽流感的鸡分成 2 个组,只给其中 1 个组(5 只)注射他们开发的这种化合物,另一个组作为对照不注射化合物。结果发现,注射过这种化合物的鸡到感染第 3 天仍然存活,而对照组的 5 只鸡第 2 天就全部死亡。鸡感染禽流感后,体内的内皮素会很活跃,从而引发炎症,新开发的化合物抑制了内皮素的活性,从而延长了鸡的寿命。研究人员下一步是要研究这种化合物能否对人有效。

(据科学网)