

基于元胞自动机的交通流计算机模拟

宇仁德, 李大龙

(山东理工大学, 山东 淄博 255049)

摘要: 元胞自动机是把复杂系统量化为简单的个体, 在元胞自动机模型中, 空间、时间都被离散化, 每一个相互作用的单元仅为有限的状态。以元胞自动机理论为基础, 把车辆在路段上交通流中运动的变化规律表述为元胞自动机的演化规则, 建立了基于元胞自动机理论的交通流模拟模型, 标定了元胞长度和最大速度等参数, 分析了元胞变换的原则; 详细探讨了元胞自动机在道路交通模拟中的应用, 设计出了交通元胞自动机的结构, 分析了交通元胞自动机所采取的状态变换原则, 建立了一维 (单车道) 交通流模拟模型; 并利用 C 语言编程实现模拟。模拟结果符合实际交通流的特点。

关键词: 交通元胞自动机; 交通流; 元胞自动机模型; 模拟; 变换原则

中图分类号: U491.3 文献标识码: A

Traffic Flow Simulation by Computer Based on Cellular Automation

YU Ren - de, L I Da - long

(Shandong University of Technology, Zibo Shandong 255049, China)

ABSTRACT: Cellular automata models quantize complex behavior into simple individual components. In general, CA are idealization of physical systems in which both space and time are assumed to be discrete and each of the interacting units can have only a finite number of discrete states. Based on the cellular automata theory, this paper describes the moving character of vehicles in traffic flow as changing rules of cellular automation, thus traffic flow simulation models based on cellular automation are presented. After calibrating the basic parameters such as cellular length, maximum speed and so on, this paper first discusses and establishes the traffic cellular automation on traffic simulation; secondly analyzes the updating rule and establishes a traffic simulation model for single lane; thirdly, a computer simulation system is fulfilled with all cellular automation models in C language. The simulating result accords to real traffic flow.

KEYWORDS: Traffic cellular automation; Traffic flow; Cellular automation model; Simulation; Involving rule

1 引言

元胞自动机是由一些特定规则的格子所组成, 每个格子看做是一个元胞; 每一个元胞可以具有一些状态, 但是在某一时刻只能处一种状态之中。随着时间的变化 (“叠代”过程), 格子上的每一个元胞根据周围元胞的情形, 按照相同的法则而改变状态, 换句话说, 一个元胞的状态是由上一个时刻所围绕的元胞的状态所决定。以人工生命的角度来看, 元胞自动机可以视为一个让许多单细胞生物生活的世界, 在设定好这个世界的初始状态之后, 它们便按照同一个规则做演化^[1]。

在交通系统中, 近年来元胞自动机已广泛地应用在交通

仿真中。由于交通系统的复杂性和数据的庞大性, 一般的离散方法和微分方法都不适宜进行交通计算和仿真, 而元胞自动机的规则简单和快速的计算能力在交通仿真中发挥了重要作用。本文基于元胞自动机对单车道交通流进行了模拟。

2 单车道交通流元胞自动机模拟模型

建立交通模型的根本目的就是要以足够的精确度来再现客观的交通现象, 在进行交通微观模拟的过程中, 以元胞自动机理论为主要的理论基础, 全面构造车辆的到达, 在路段上的自由行驶、跟驶和紧急减速等各种运行状态的运行规则。这里的交通模型主要包括两个部分: 一是车辆产生模型; 二是车辆行驶模型。

车辆产生模型实际上就是将交通流的输入部分, 作用于被模拟路段的起始断面, 它依靠随机数技术产生符合已给定概率分布的车辆的状态属性以及交通流参数以此向系统提

收稿日期: 2007 - 07 - 31 修回日期: 2007 - 08 - 11

供初值。车辆行驶模型即是反映车辆在路段上行驶时状态变化过程的模型,即元胞自动机模型。

2.1 模拟基本参数定义

道路长度: $L = 7500$ 米

元胞长度: $l = 7.5$ 米

元胞数目: 1000 个

最大车速: $V_{\max} = 5$ 元胞长度 / 秒 $= 5 \times 7.5$ 米 / 秒 $= 135$ 千米 / 小时

模拟总时间: $T = 10000$ 秒 (总运行步长)

时间步长: $dt = 1$ 秒

定义随机减速概率: $p = 0.5$

2.2 车辆的随机产生

本文的随机车辆产生是依据泊松分布原理的断面发车模型。车辆进入模拟路段是个随机性事件,因此,可将其转化为进入模拟路段的车辆之间的间隔时间视为随机量。根据车辆进入模拟路段本身的特点,从理论上应满足下列条件:

1) 在不重叠的时间区间内车辆的产生是互相独立的,即无后效性;

2) 对充分小的 Δt , 在时间区间 $[t, t + \Delta t]$ 内有一辆车产生的概率与 t 无关,而与区间长度 Δt 成正比,即车辆的产生具有平稳性;

3) 对于充分小的 Δt , 在时间区间 $[t, t + \Delta t]$ 内一条车道上有 2 辆或 2 辆以上车辆产生的概率极小,即具有普遍性。

通过对相关资料提供的车流数据的分析与实地观察数据,在城区、市郊、高速公路等车辆通行较为频繁的地方,车流到达情况接近均匀的波峰分布,指无突起的波峰,但非每个时段经过车辆数都平均 (指概率均等)。交通高峰、平峰、低峰差异在于车辆总数上的变化。对于特别的交通情况,如突然产生一个巨大的波峰或者在交通量小的地方 (概率平均分布),当作小概率事件接受。

在此选用常用、简单的概率分布 - 泊松分布来表示交通流的分布情况。由于泊松分布的变异系数为 $D(x)/E(x) = 1$, 则根据变异系数定义,该分布的概率曲线集中度比较均匀,能体现均匀分布^[2]。如公式:

$$P_{\lambda}(n) = [\lambda^n / n!] e^{-\lambda} \quad (1)$$

其中: n 为车辆数; λ 为参数

根据实验采集数据方式得: 式 (1) 中的参数有相应的物理意义, λ 表示在采样时间 t^* 内的车辆数。令 $\lambda = \alpha t^*$, α 则表示车辆平均到达率 (veh/s), 则泊松分布公式 (1) 转化为^[3]:

$$P_n(t^*) = [(\alpha t^*)^n / n!] e^{-\alpha t^*} \quad (2)$$

式 (2) 表示的物理意义是: 在时间区段 t^* 内有 n 辆车进入模拟路段的可能性为 $P_n(t^*)$ 。通过在实际的车道上找一断面, 然后固定采样时间测量通过此断面的车辆数。由实际测量的数据分析得出车辆产生率 λ 的期望。参考上海市金

沙江路, 利用计算机计算得到 $\alpha = 0.5$ 。

通过以上的分析得出, 通过断面的车辆数呈现泊松分布规律, 在基于泊松分布原理而建立断面发车模型时, 重要的是利用概率统计原理, 确定出发车模型的相关参数, 从而建立具体的发车模型。如图 1 所示。

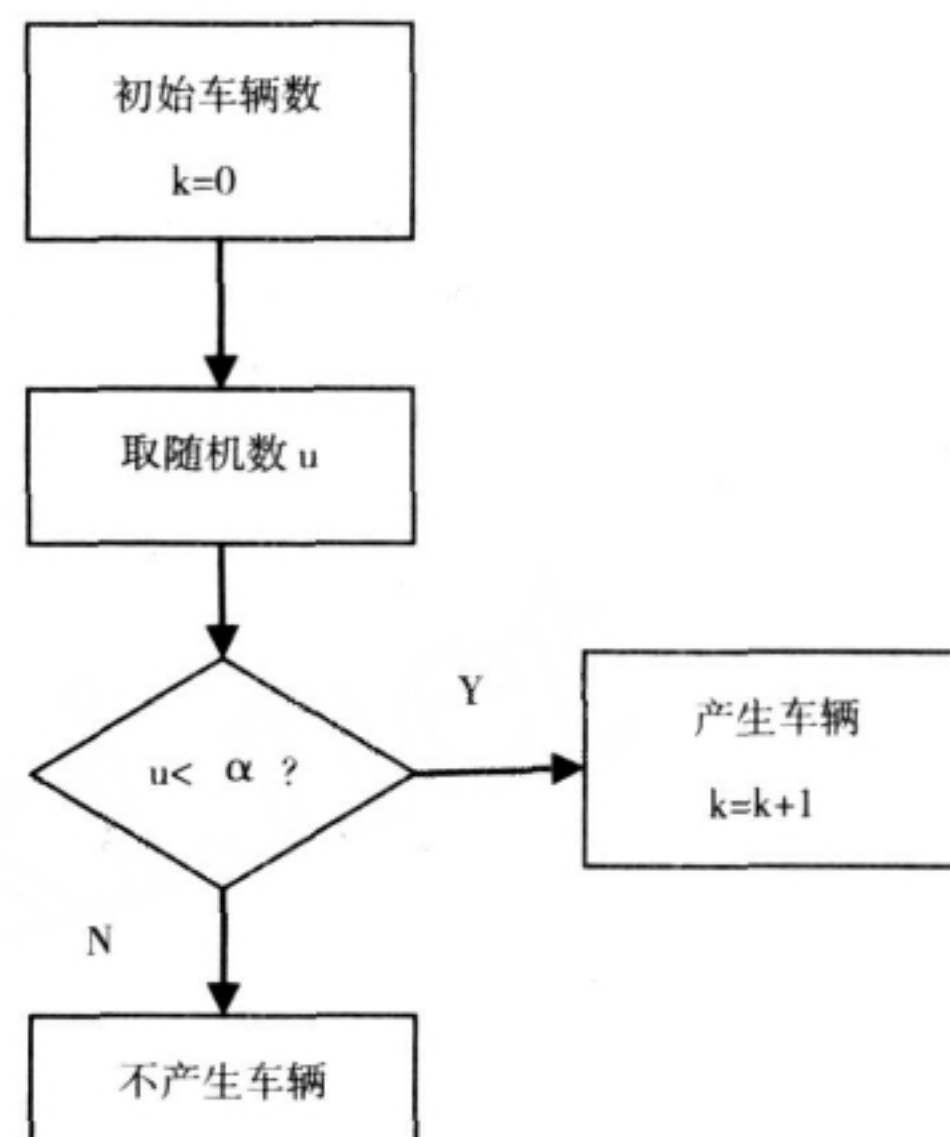


图 1 服从泊松分布的车辆产生

2.3 车速的随机分布产生

入口发车时不仅要产生发车时刻, 也要对发车的速度赋初值, 理论研究证明车速一般服从正态分布或对数正态分布。这里主要介绍了服从正态分布的随机车速的产生^[4]。

正态分布的分布函数 $F(x)$ 为:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (3)$$

由于上式无法积分得到显式, 故不能进行逆变, 而采用函数变换法。当 $X \sim N(0, 1)$ 时, $Y = \sigma X + \mu \sim N(\mu, \sigma^2)$ 因此先考虑生成标准正态分布 $N(0, 1)$ 的随机变量。采用 Box-Muller 的函数变换法, 只要产生两个均匀分布的随机数 u_1 和 u_2 即可产生两个服从标准正态分布的随机变量 w_1 和 w_2 ^[5], 即:

$$w_1 = \sqrt{-2 \ln(u_2)} \sin(2\pi u_1) \quad (4)$$

$$w_2 = \sqrt{-2 \ln(u_2)} \cos(2\pi u_1) \quad (5)$$

其产生正态分布随机变量的程序框图见图 2。

2.4 模型基本规则

●产生阶段: 以按发车概率在起始空格点产生不同速度的车辆, 相当于不同速度的车辆进入车道占据不同的格子;

●加速规则: 如果当前车辆速度 $V(t) < V_{\max}$, 则车辆加速: $V(t+1) = \min(V_{\max}, V+1)$;

●减速规则:如果一辆车到它前面最近邻的另一辆车的距离 $gap < V$,则车辆减速为 $V(t+1) = gap$;

●随机慢化规则:在概率 p 下,在加速和减速规则下得到的速度减 1,即:

$$V(t+1) = \max(V(t+1) - 1, 0)$$

●运动阶段:各车辆以自己的速度向前运动: $X(t+1) = X(t) + V(t+1)$

●转出阶段:如果车辆运动到终点格子处时,它代表车辆的转出。

加速规则反映了司机有追求最大速度的愿望,减速规则即避免碰撞是为了避免与前车发生碰撞,随机慢化规则考虑了不同驾驶者的个体行为,随机化参数 p 同驾驶行为的三种特性有关:最大速度时的速度波动;制动时减速的过度反应;加速时的延迟。

同时有:1)若该车辆前方(右方)为空,则该车辆可向前移动几格或静止不动;2)若该格子有车辆占据,且其前方也有车辆占据,则不管前方车辆在下一时刻是否向前运动,该车辆均不能向前运动。

以上演化步骤作为一个周期反复进行下去,它实际上描述了较为接近实际的高速公路上车辆的运动状况。

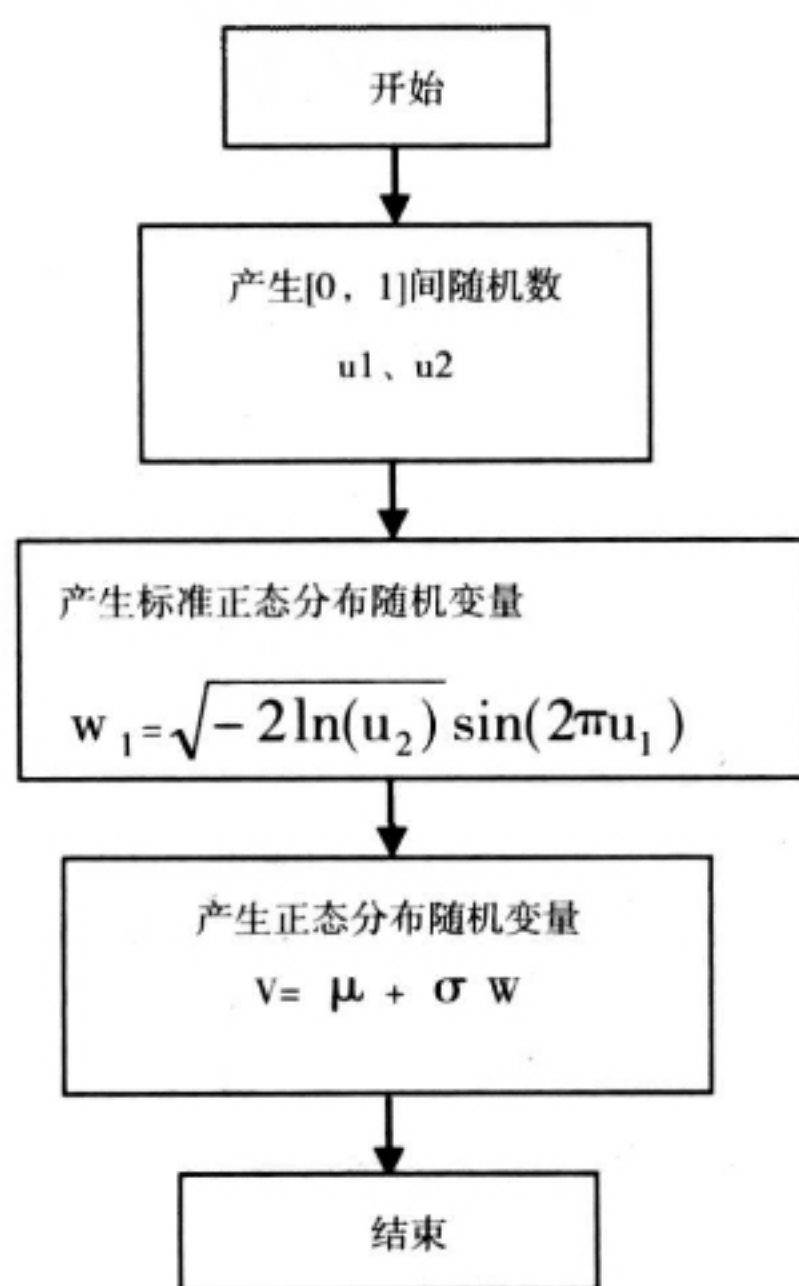


图 2 产生服从正态分布随机变量的程序框图

3 计算机模拟

3.1 单车道交通流模拟模型流程图

基于上述的一维单车道交通元胞自动机,按照元胞自动机规则确定的路段上的所有车辆运动状态的程序如图 3 所示。

3.2 主程序设计

1)随机数发生器

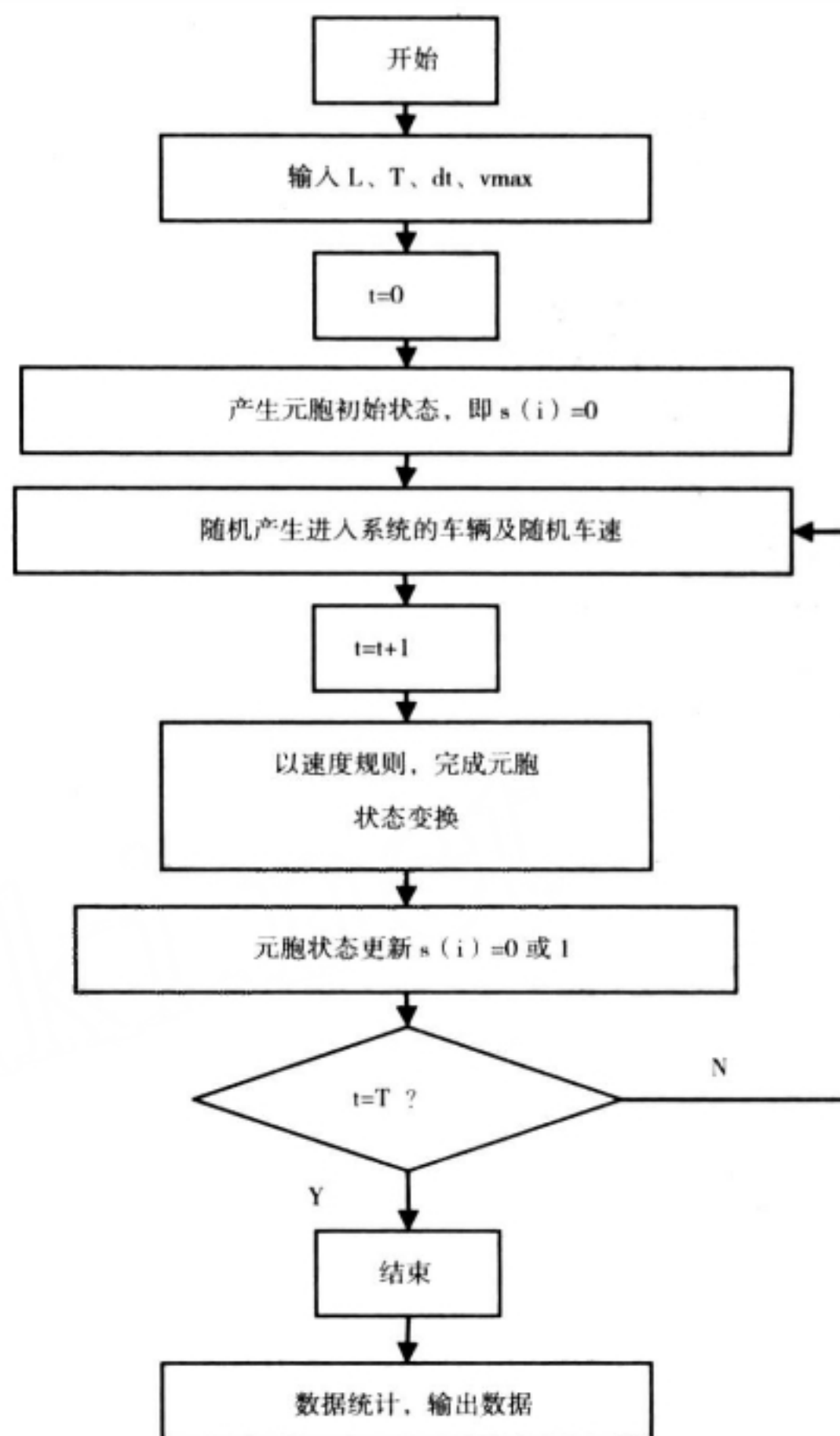


图 3 单车道交通流元胞自动机模拟模型流程图

double schrage (int a, int m, int b) / 随机数发生器,直接返回随机数 [0, 1]

```

{
    int q, r;
    double z;
    q = m / a;
    r = m % a;
    I = a * (I % q) - r * (I / q);
    if (I < 0)
        I = I + m;
    z = (double) I / m;
    return z;
}
  
```

2)随机车辆产生子程序

```

int car( )
{
    int flag;
    if ( schrage (16807, 2147483647, 0) < 0.5)
        flag = 1;
    else flag = 0;
}
  
```

```

return(flag);
}

```

3)速度更新规则

```

for(i=0; i<n; i++)
{

```

```

    if(v[i] < gap[i] && v[i] < Vmax)
        v[i] = v[i] + 1;          // 随机加速
    else if(v[i] >= gap[i])
        v[i] = gap[i];           // 随机减速
}

```

```

for(i=0; i<n; i++)
{

```

```

    if(schrage(16807, 2147483647, 0) < 0.5) // 随机慢化
        概率: p = 0.5

```

```

        v[i] = v[i] - 1;          // 车速随机慢化规则
    }

```

4)车辆位置更新

```

for(i=0; i<n; i++)
{
    a[i] = a[i] + v[i];
}

```

4 模拟结果和讨论

根据以上模型模拟,运用 C 语言编程实现模拟,并利用 matlab^[6,7]可以得到流量与交通密度之间的关系如图 4。

分析图中的曲线陡变原因,主要是因为随着车辆数的增加,在道路上车辆的密度增大,车辆之间的间距变小,车辆之间的相互影响加剧,模型中的规则全部产生作用。在车辆密度较小时,车辆是自由运动,随时间的增加,车辆向前行驶,位置与时间是线性关系,即车辆匀速行驶。当车辆密度增大时,车辆自由运动的程度减小,随时间的增加,出现了车辆聚集的阻塞相,位置与时间变为了非线性关系,车辆位置分布是非均匀的,有的区域车辆密集,有的区域没有车辆,车流的运动相与阻塞相交替出现,非常类似于波的波峰和波谷的传播。

参考文献:

[1] 靳文舟,张杰,梅冬芳.基于细胞自动机模型的交通流模拟程

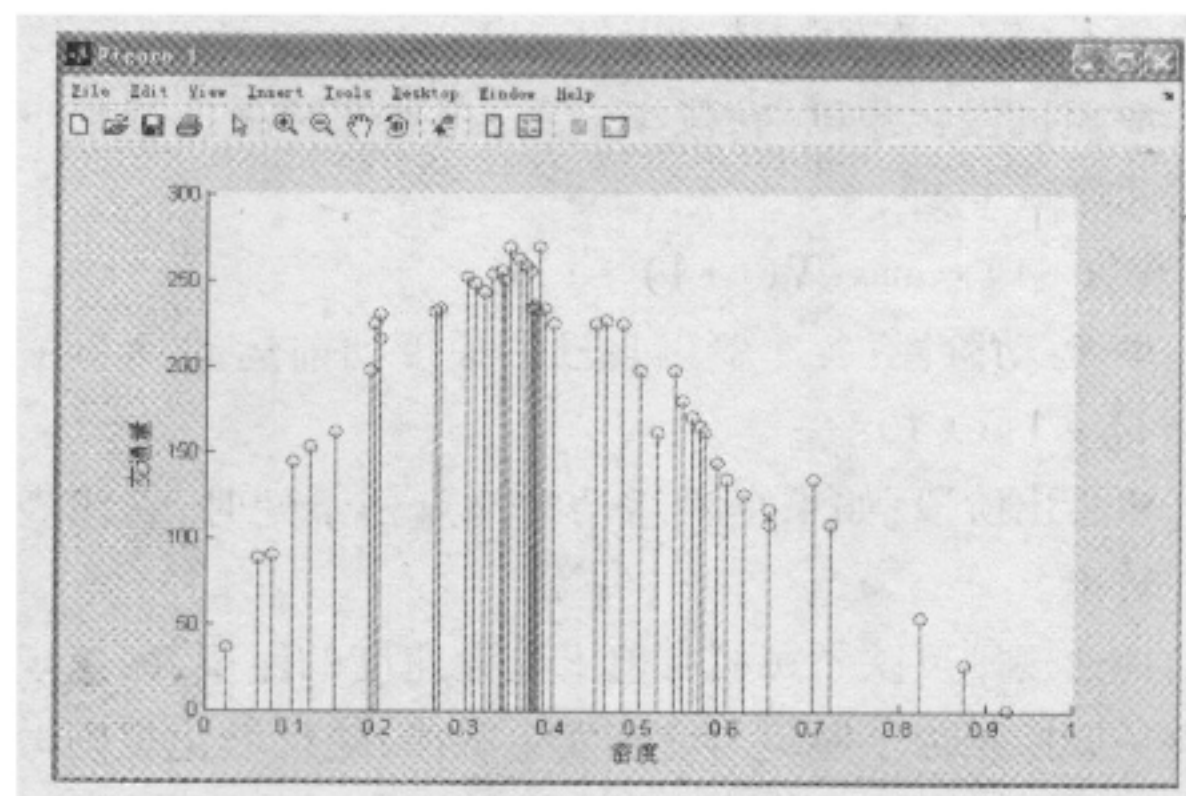


图 4 流量与交通密度的关系

序[J]. 华南理工大学学报. 2003. 05(4): 17 - 18

- [2] Bastien Chopard, Alexandre Dupuis, Alexandre Maselet Cellular Automation And Lattice Boltzmann Techniques: An Approach To Model And Simulate Complex Systems[J]. Advances in Complex Systems, 2002, (2&): 103 - 246.
- [3] Nino Boccara On The Existence of a Variational Principle For Deterministic Cellular Automaton Models of Highway Traffic Flow[J]. International Journal of Modern Physics C, 2001, 12(2): 143 - 158.
- [4] E G Campari, G Levi A Cellular Automaton Models For Highway Traffic[J]. Eur Phys J. B17, 2000. 159 - 166.
- [5] N Moussa, A K Daoudia Numerical Study of Two Classes of Cellular Automaton Models For Traffic Flow On a Two - lane Roadway[J]. Eur Phys J. B31, 2003. 413 - 420.
- [6] 孙亮. matlab语言与控制系统仿真[M]. 北京:北京工业大学出版社, 2006.
- [7] 苏金明,刘宏,刘波. MATLAB高级编程[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.



[作者简介]

宇仁德(1965 -),男(汉族),山东烟台人,副教授,研究方向:交通安全、交通规划与管理及计算机仿真。

李大龙(1975 -),男(汉族),安徽蚌埠人,讲师,研究方向:计算机仿真。

(上接第 233 页)

- [5] 易翔,王蔚然.彩色图像多签名水印算法的研究[J].电子科技大学学报. 2005(10) Vol 34 No 5
- [6] J Fridrich, et al New Fragile Authentication Watermark for Image[C]. Proc. Of the IEEE Int Conf On Image Processing, Vancouver, Canada: IEEE, 2000. 10 - 13.



[作者简介]

郑吉武(1982 -)男(汉族),浙江舟山人,硕士生,研究方向:信息安全。

王玲(1962 -)女(汉族),湖南长沙人,博士,教授,研究方向:现代通信技术,多媒体技术,模式识别等。

刘辉(1964 -)女(汉族),湖南汉寿人,博士,副教授,研究方向:通信技术,多媒体技术。