基于元胞自动机交通流理论的Matlab建模与仿真

智能交通实验室　　朱湧

2012年5月

主要内容

§1 元胞自动机理论

§2 元胞自动机交通流模型

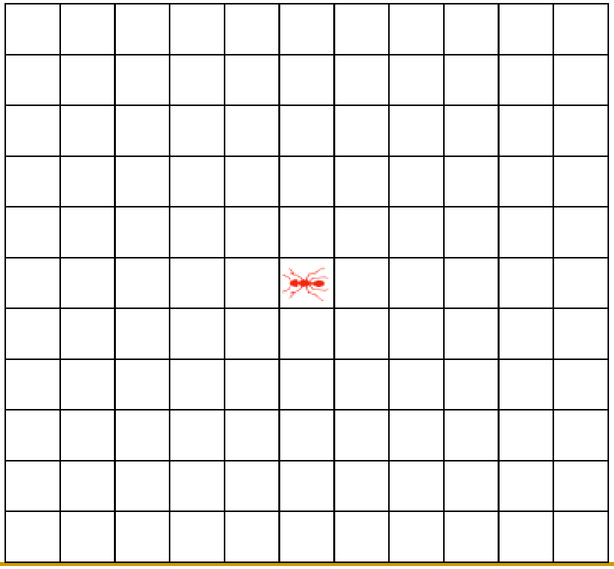
§3 Matlab建模与仿真

§1元胞自动机理论

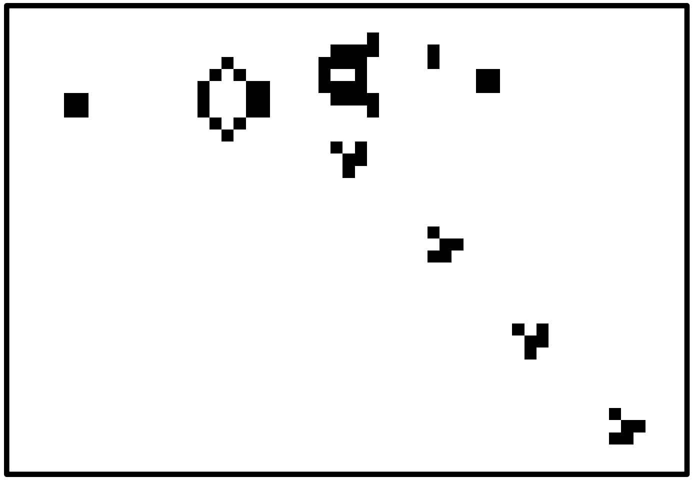
一、什么是元胞自动机

- 元胞自动机（**Cellular Automata，CA**）是一种时空离散的局部动力学模型，是研究复杂系统的一种典型方法，特别适合用于空间复杂系统的时空动态模拟研究。
- 元胞自动机不是由严格定义的物理方程或函数确定，而是用一系列模型构造的规则构成。凡是满足这些规则的模型都可以算作是元胞自动机模型。因此，元胞自动机是一类模型的总称，或者说是一个方法框架。

- **在CA模型中，散布在规则格网 (Lattice Grid)中的每一元胞(Cell)取有限的离散状态，遵循同样的作用规则，依据确定的局部规则作同步更新。大量元胞通过简单的相互作用而构成动态系统的演化。**



兰顿蚂蚁



生命游戏：元胞自动机实例

- **CA模型的特点：时间、空间、状态都离散，每个变量只取有限多个状态，且其状态改变的规则在时间和空间上都是局部的。**

- 就形式而言，细胞自动机有三个特征：
- 平行计算（**parallel computation**）：每一个细胞个体都同时同步的改变。
- 局部的（**local**）：细胞的状态变化只受周遭细胞的影响。
- 一致性的（**homogeneous**）：所有细胞均受同样的规则所支配

- 一个标准的细胞自动机（*A*）由元胞、元胞状态、邻域和状态更新规则构成。用数学表示为：

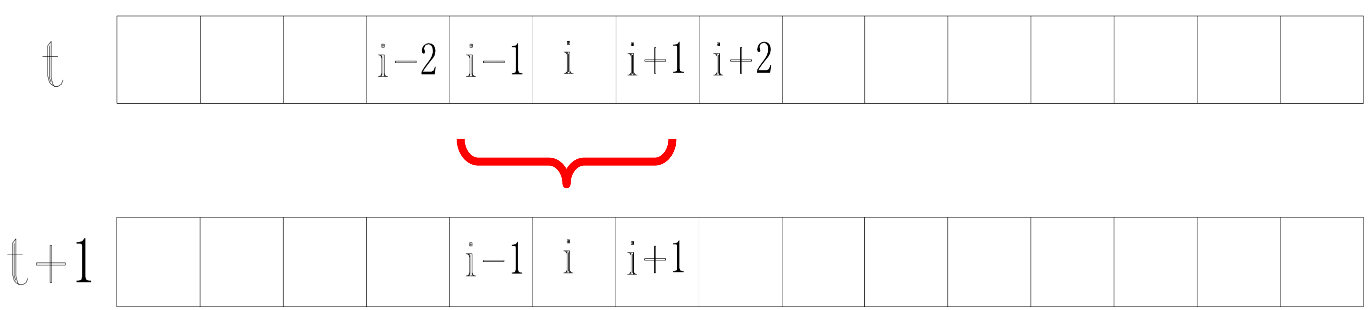
$$A=\left(L,d,S,N,f\right)$$

- 其中*L*为元胞空间；*d*为元胞自动机内元胞空间的维数；*S*是元胞有限的、离散的状态集合；*N*为某个邻域内所有元胞的集合；*f*为局部映射或局部规则。
- 元胞空间是元胞所分布的空间网点的集合。理论上元胞空间在各个维向上是无限延伸的，为了能够在计算机上实现，而定义了边界条件，包括周期型、反射型和定值型

二、初等元胞自动机

- 初等元胞自动机是状态集S只有两个元素{s_1，s_2}，即状态个数k=2，邻居半径r=1的一维元胞自动机。由于在S中具体采用什么符号并不重要，它可取 {0，1}，{-1，1}，{静止，运动} 等等，重要的是S所含的符号个数，通常我们将其记为{0，1}。此时，邻居集N的个数2·r=2，局部映射f：$S_3 \rightarrow S$可记为:

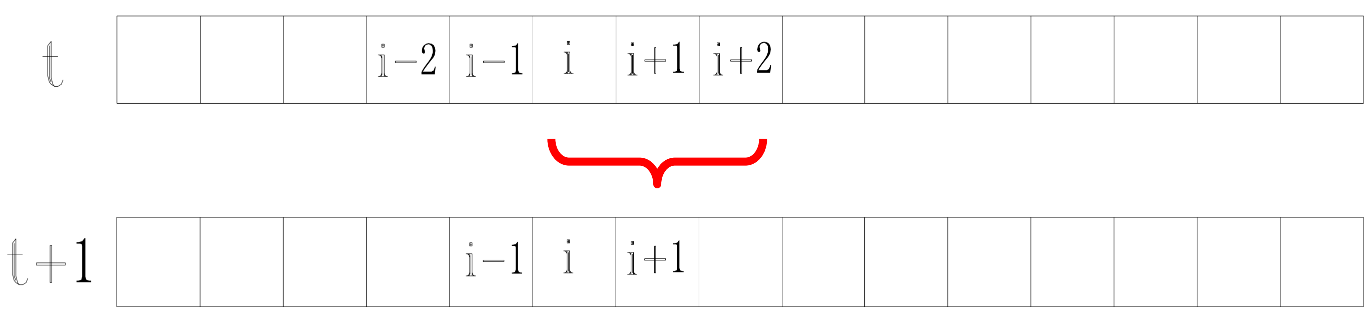
$$S_i^{t+1} = f(S_{i-1}^t, S_i^t, S_{i+1}^t)$$



二、初等元胞自动机

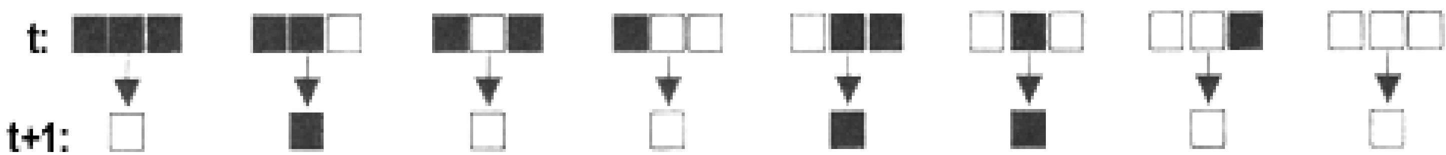
- 初等元胞自动机是状态集*S*只有两个元素{s_1，s_2}，即状态个数*k*=2，邻居半径**r**=1的一维元胞自动机。由于在*S*中具体采用什么符号并不重要，它可取 {0，1}，{-1，1}，{静止，运动} 等等，重要的是*S*所含的符号个数，通常我们将其记为{0，1}。此时，邻居集*N*的个数2·**r**=2，局部映射*f*：$S_3 \to S$可记为:

$$S_i^{t+1} = f(S_{i-1}^t, S_i^t, S_{i+1}^t)$$



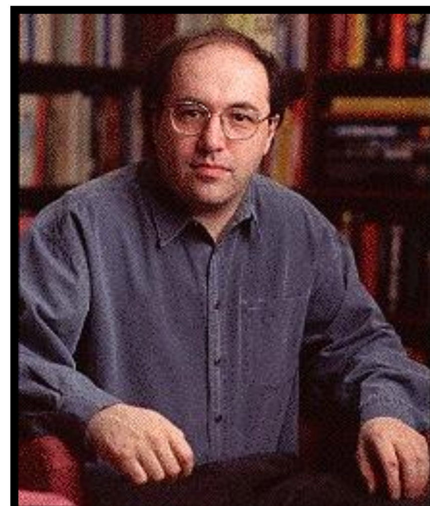
S. Wolfram的初等元胞自动机

t	111	110	101	100	001	010	001	000
t+1	0	1	0	0	1	1	0	0



由于只有0、1两种状态，

所以函数f共有2^8=256种状态。

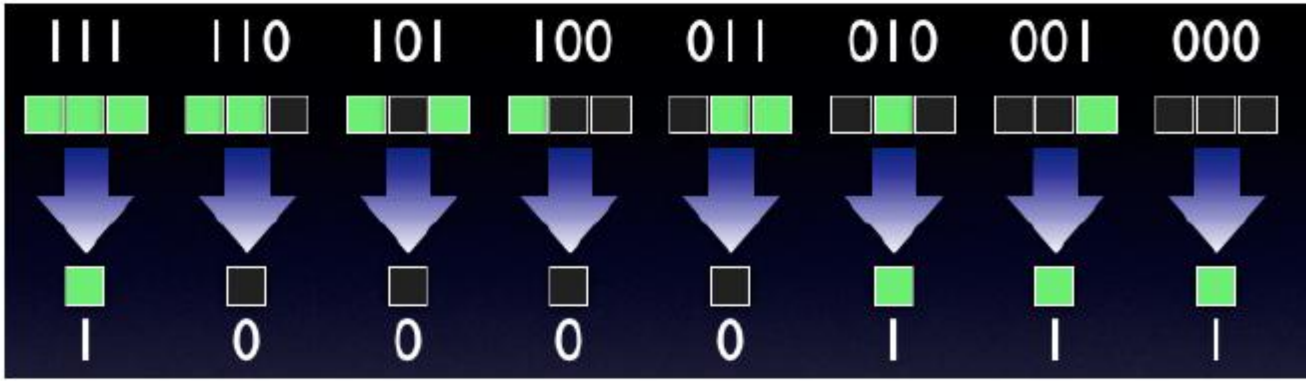


《A New Kind of Science》

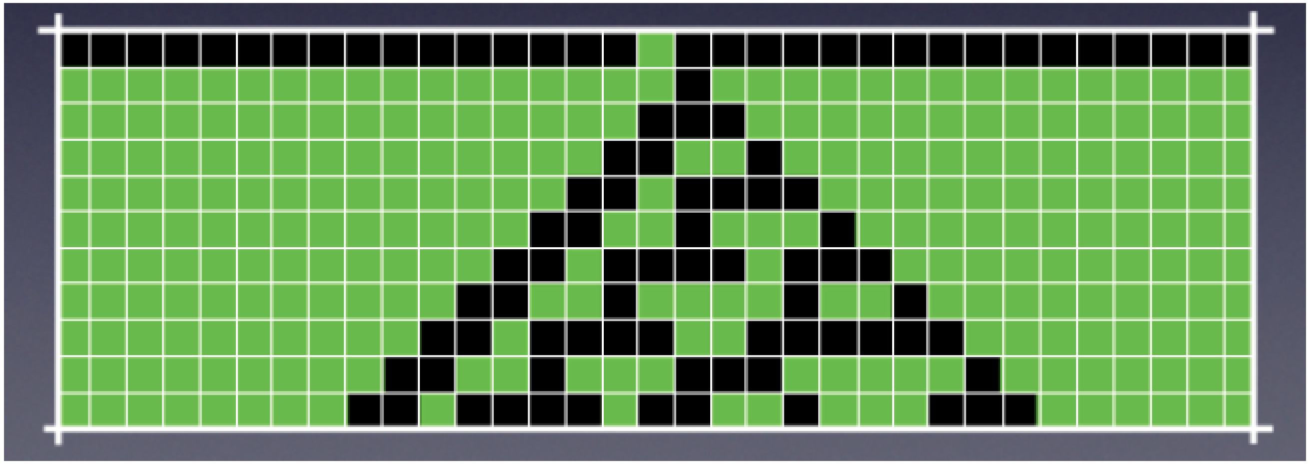
256种初等CA规则

t	111	110	101	100	011	010	001	000	
t+1	0	0	0	0	0	0	0	1	rule 1
	0	0	0	0	0	0	1	0	rule 2
	0	0	0	0	0	0	1	1	rule 3
	0	0	0	0	0	1	0	0	rule 4
	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	1	0	1	1	1	0	0	0	rule 184
	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	1	1	1	1	1	1	1	0	rule 255
	1	1	1	1	1	1	1	1	rule 256

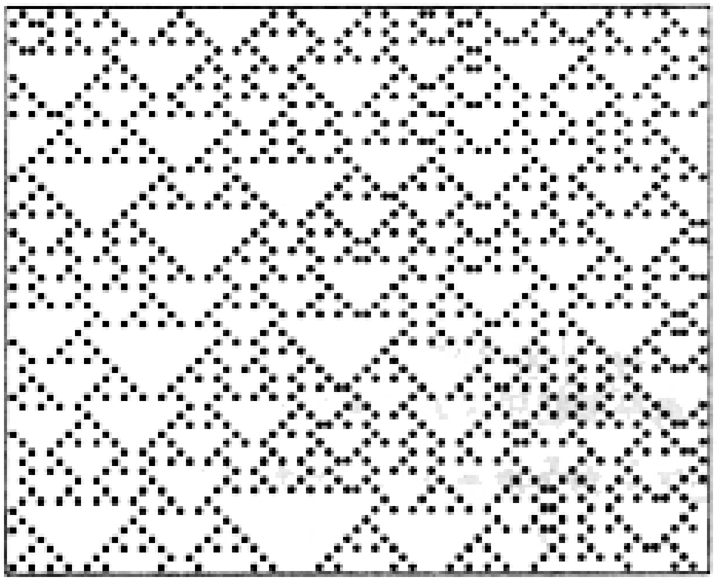
对给定初值及规则 f，可通过计算机得到N步以后的演化结果



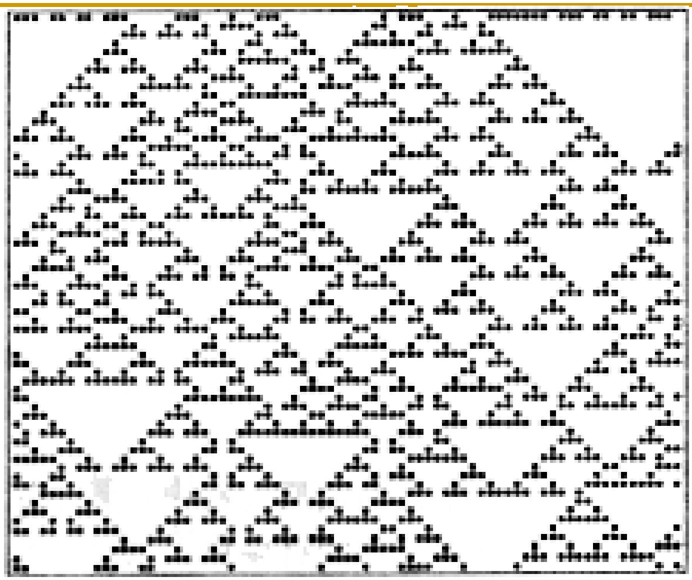
135号演化规则



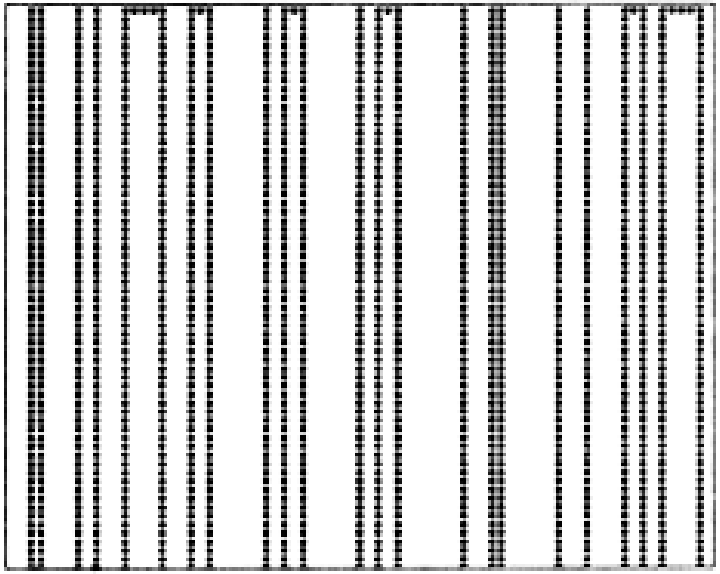
135号演化规则进程



18（00010010）



22（00010110）



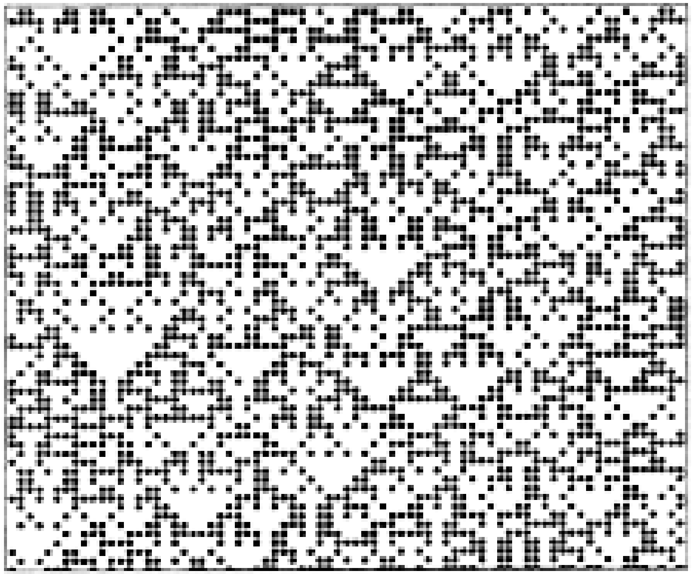
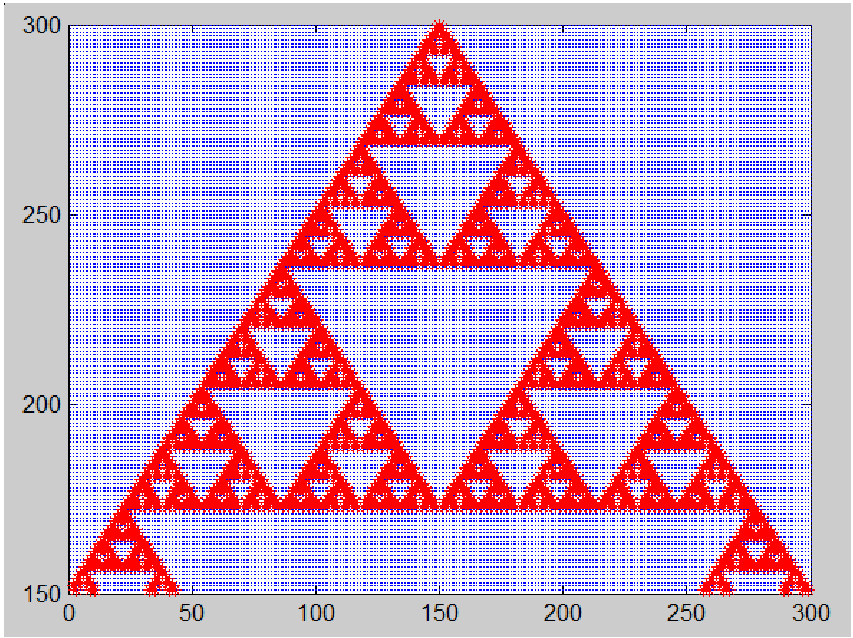


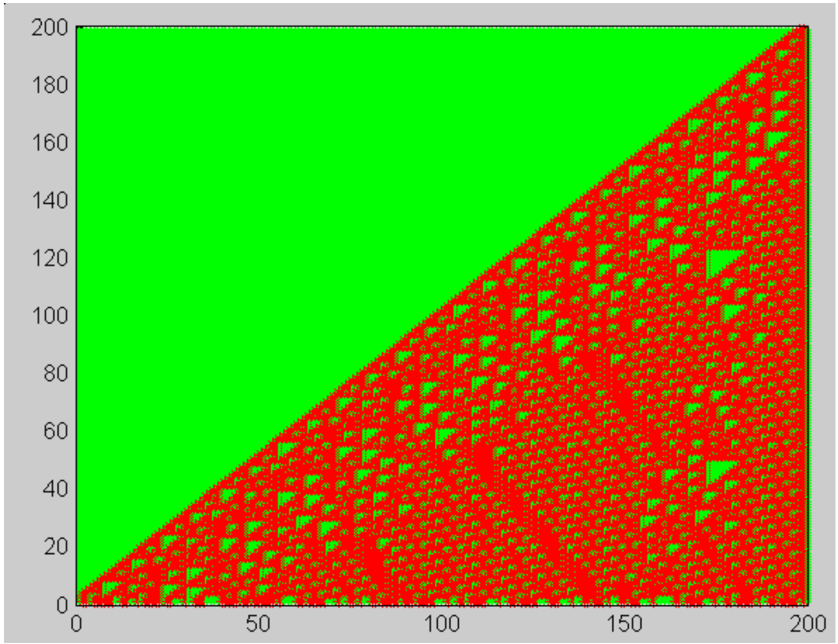
图 2-1　几种初等元胞自动机

图中的纵向坐标为时间，反映一维元胞自动机随时间的演化

90号规则：分形结构——CA_rule_90.m

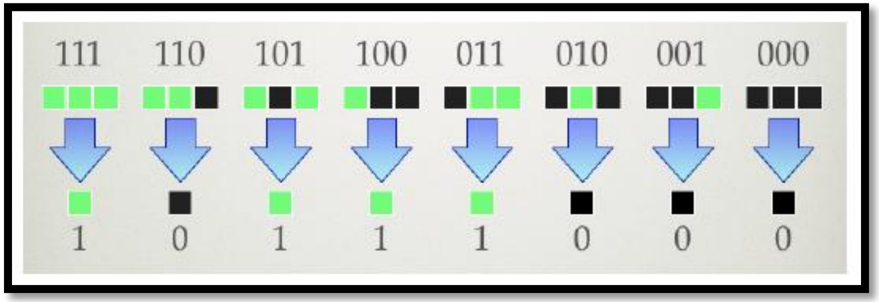


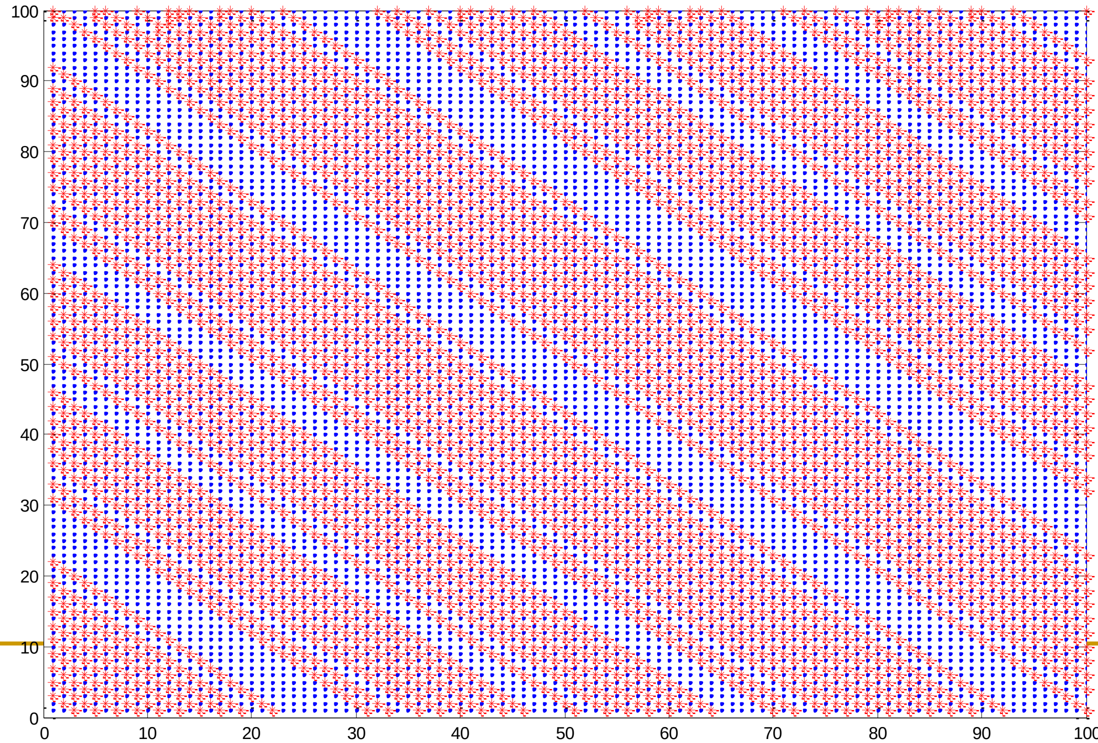
110号规则：复杂结构——CA_rule_110.m



§2 元胞自动机交通流模型

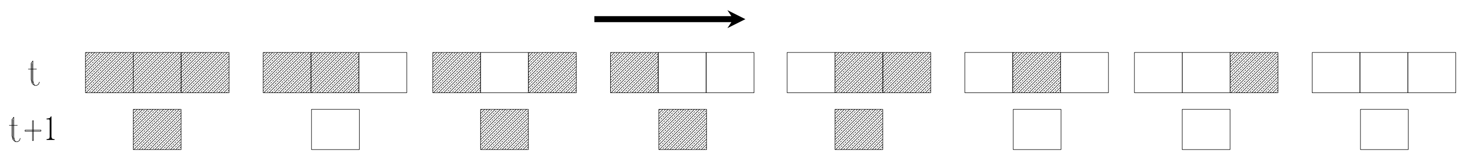
- 一、第**184号**规则





第184号规则

车辆行驶规则为：黑色元胞表示被一辆车占据，白色表示无车，若前方格子有车，则停止。若前方为空，则前进一格。



t	111	110	101	100	011	010	001	000
t+1	1	0	1	1	1	0	0	0

1992年，德国学者Nagel和Schreckenberg在第184号规则的基础上提出了一维交通流CA模型，即，NS 模型（或NaSch模型）

二、NS 模型

- 在第184号规则的基础上，1992年，德国学者Nagel和Schreckenberg提出了一维交通流CA模型，即，NS 模型（或NaSch模型）
- Nagel and Schreckenberg. A Cellular automaton model for freeway traffie．Journal of Physics(France)，1992
- CA模型最基本的组成包括四个部分:元胞(cell)、元胞空间(lattice)、邻域(neighbor)及更新规则(rule)。

- **NS模型是一个随机CA交通流模型，每辆车的状态都由它的速度和位置所表示，其状态按照以下演化规则并行更新：**
- a）加速过程：$v_n \to \min(v_n+1, v_{\max})$
- b）安全刹车过程：$v_n \to \min(v_n, d_n-1)$
- c）随机慢化过程：$v_n \to \max(v_n-1, 0)$
（以随机慢化概率p）
- d）位置更新：$x_n \longrightarrow x_n + v_n$

$d_n = x_{n+1} - x_n - L$　　其中：L---车辆长度~7.5m

NS模型的演化规则：

1）加速：司机总是期望以最大的速度行驶

2）安全刹车：为避免与前车碰撞

3）随机慢化（以随机慢化概率p）:由于不确定因素

a）过度刹车

b）道路条件变化

c）心理因素

d）延迟加速

4）位置更新:车辆前进

例：设 $v_{\max} = 2$

a）加速过程

b）安全刹车过程

c）随机慢化过程

（以随机慢化概率*p*）

d）位置更新

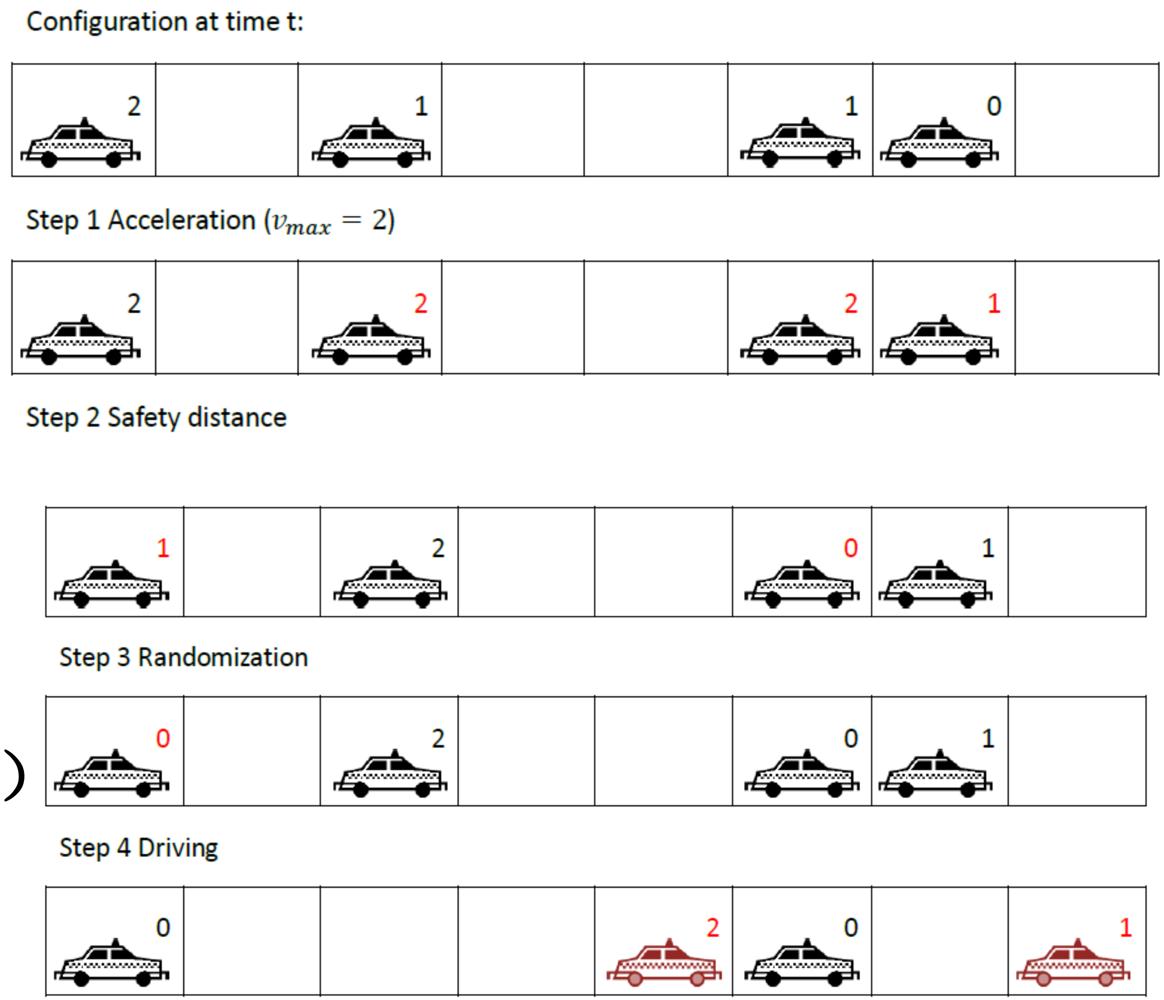
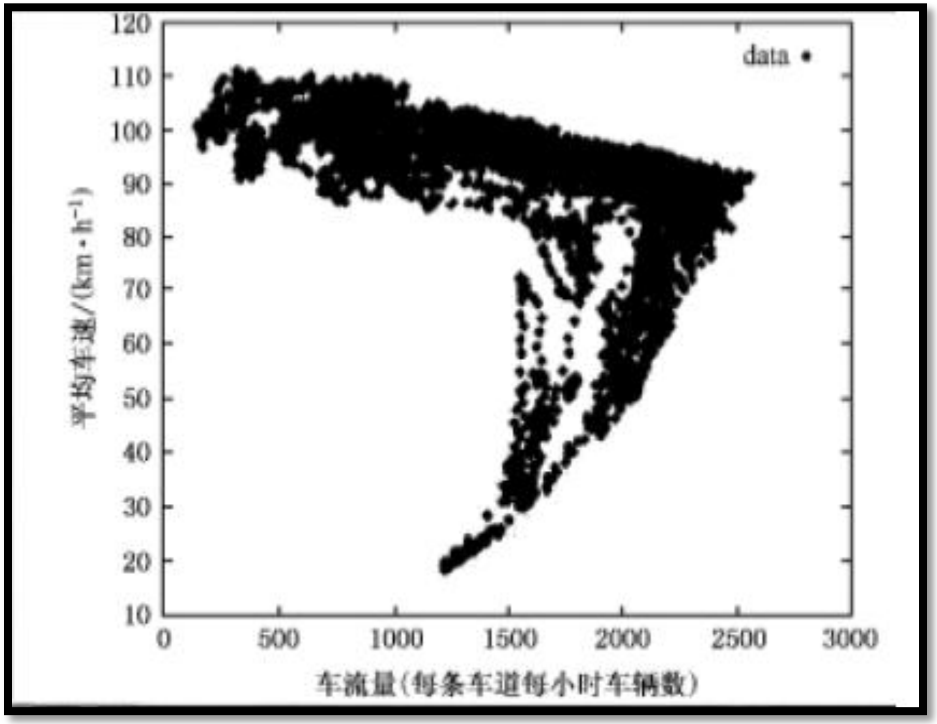
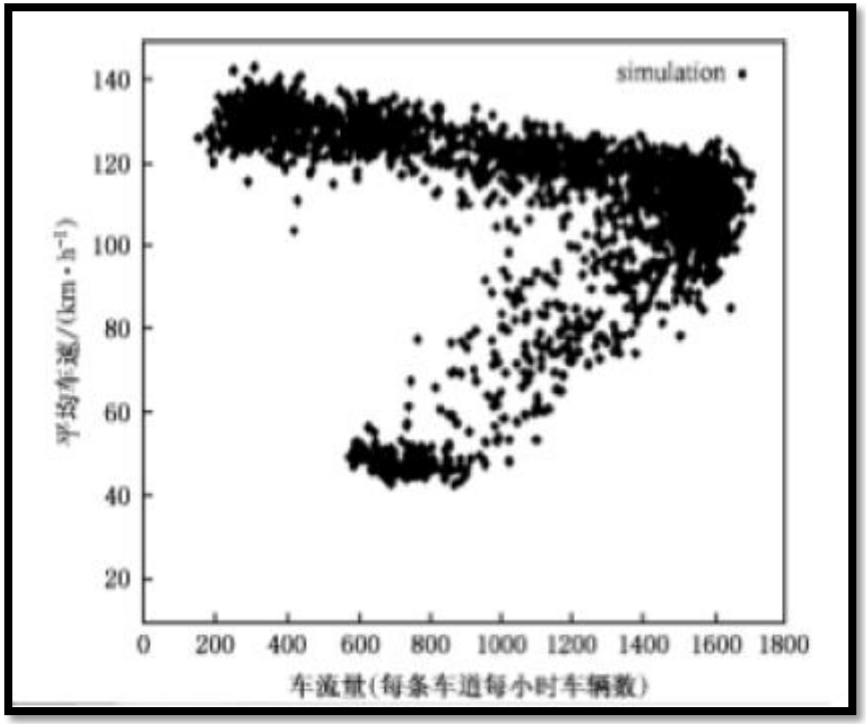


Fig 3.1 Movement of CA Model

NS模型实例

车流量-车速散点图





实际数据结果

NS模型仿真结果

- 在NS 模型的基础上，又陆续地提出了一系列一维CA交通模型，如TT、BJH、VDR、FI等模型；
- 双车道CA交通模型：STNS模型
- 机非混合CA模型： CCA模型
- 城市路网CA二维模型： BML、CTM模型

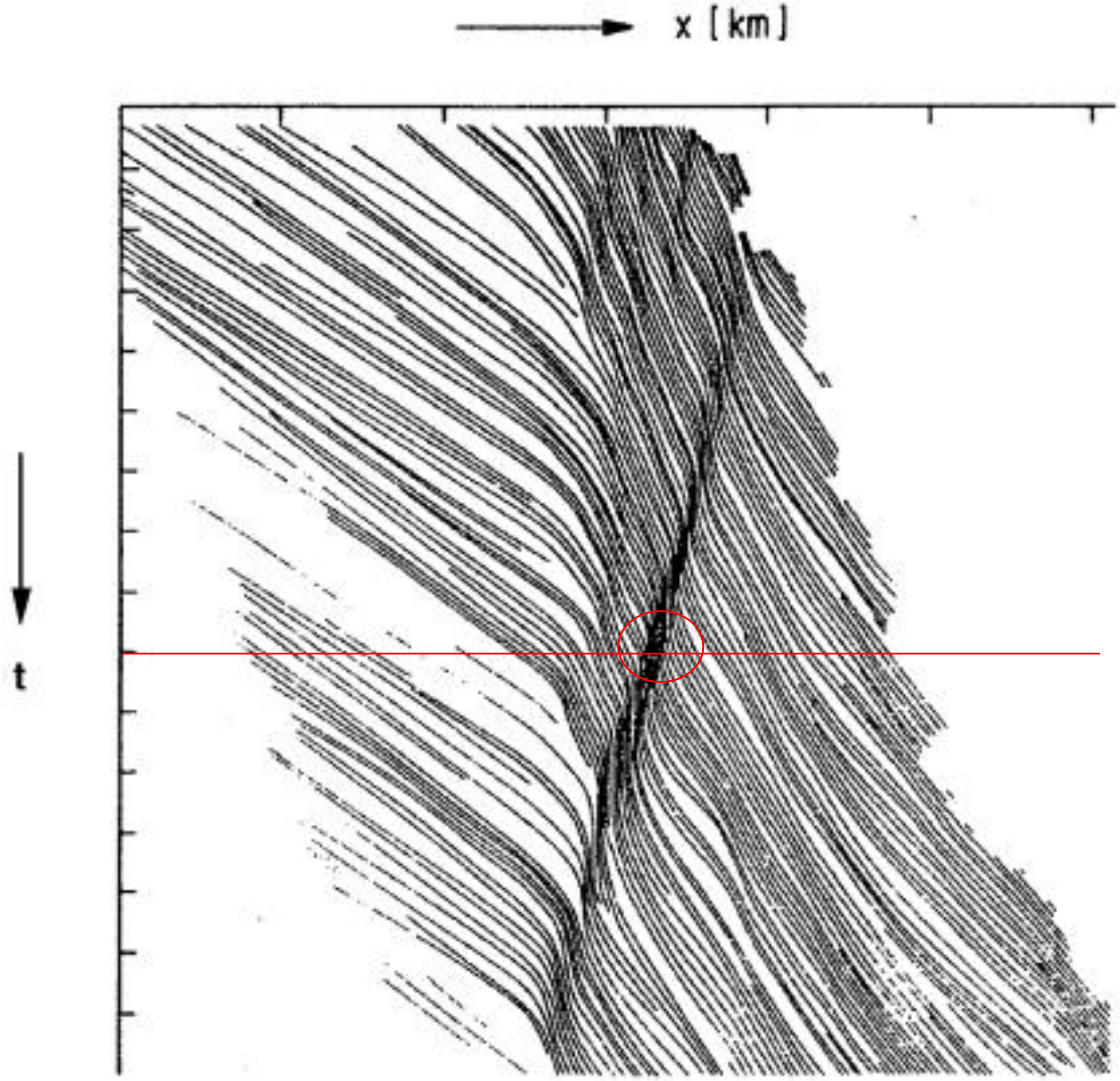
Los Alamos National Laboratory:

TRANSIMS (TRansportation ANalysis SIMulation System)

- “幽灵式交通堵塞” （“phantom” or “ghost” traffic jams）的现象早在1975年就由Treiterer 和Myers 通过航拍图像发现。
- 直到1992年由德国学者Nagel 和 Schreckenberg 用元胞自动机（CA）交通流模型才加以成功再现和模拟解释。
- Nagel and Schreckenberg. A Cellular automaton model for freeway traffie．Journal of Physics(France)，1992

高速公路自发形成的堵塞

——幽灵堵塞（ghost jam）、时走时停（stop-and-go wave）



航拍图，J.Treiterer，1975年

条件：

- 随机慢化概率p；
- 密度ρ=13.3veh/km/lan（0.1）

  ρ=20veh/km/lan（0.15）

  ρ=33veh/km/lan（0.25）
- 车辆长度~7.5m；道路长度L=7.5m×120=900m
- 速度：1 ~ 7.5m/s=27km/h；

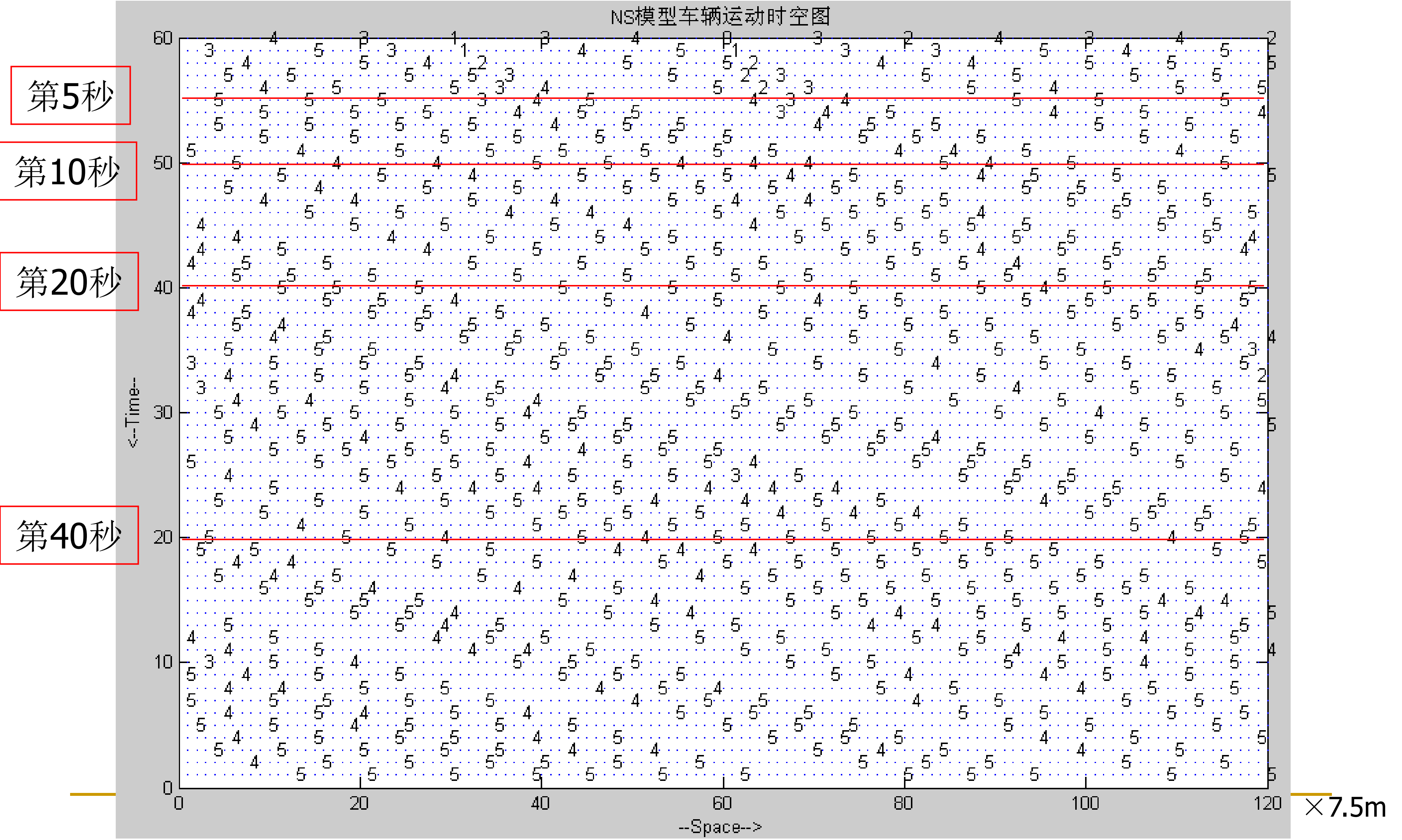
  2 ~ 2×7.5m/s=54km/h；

  3 ~ 3×7.5m/s=81km/h；

  4 ~ 4×7.5m/s=108km/h；

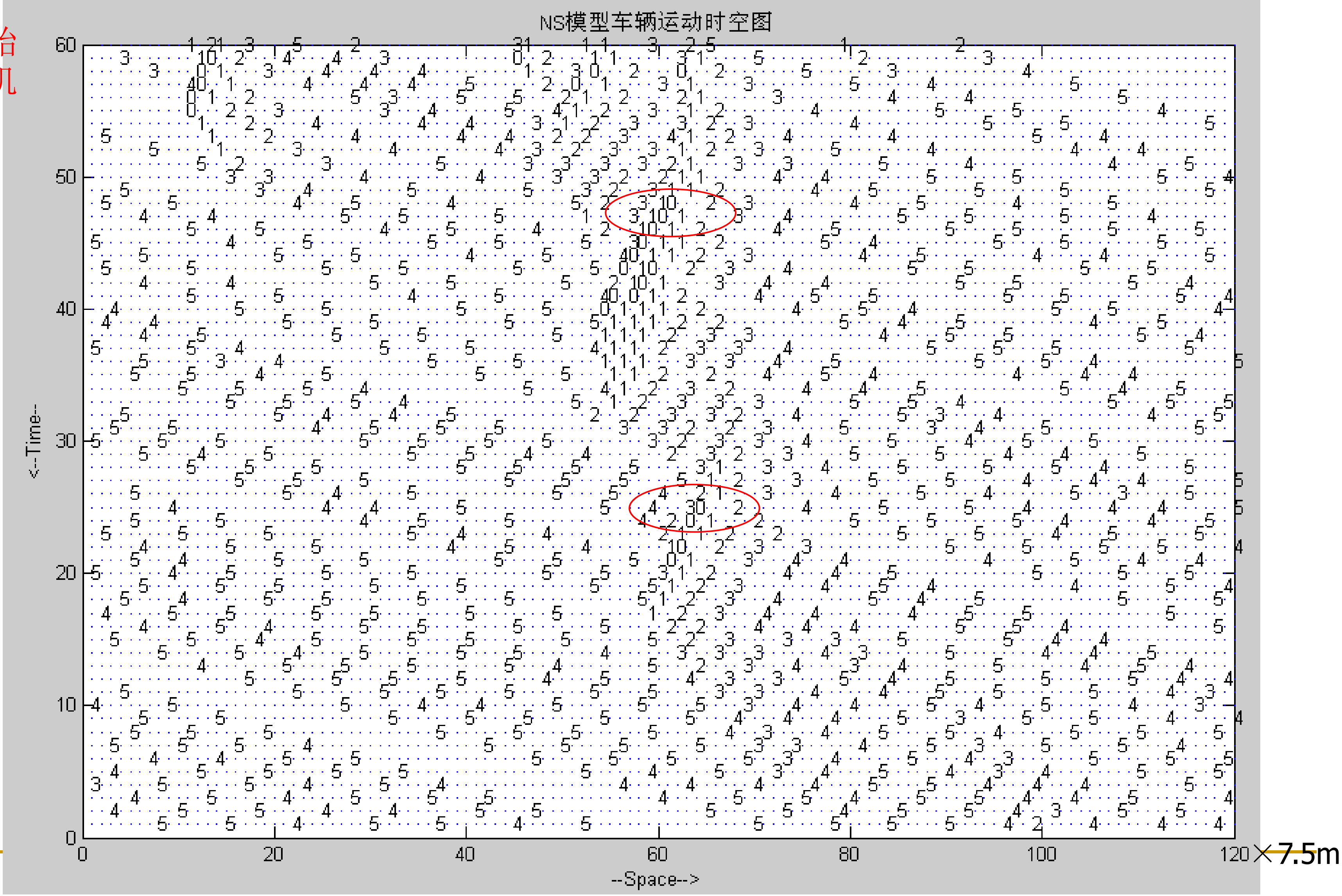
  5 ~ 5×7.5m/s=135km/h；

随机慢化概率p=0.2；密度ρ=13.3veh/km/lan（0.1）；



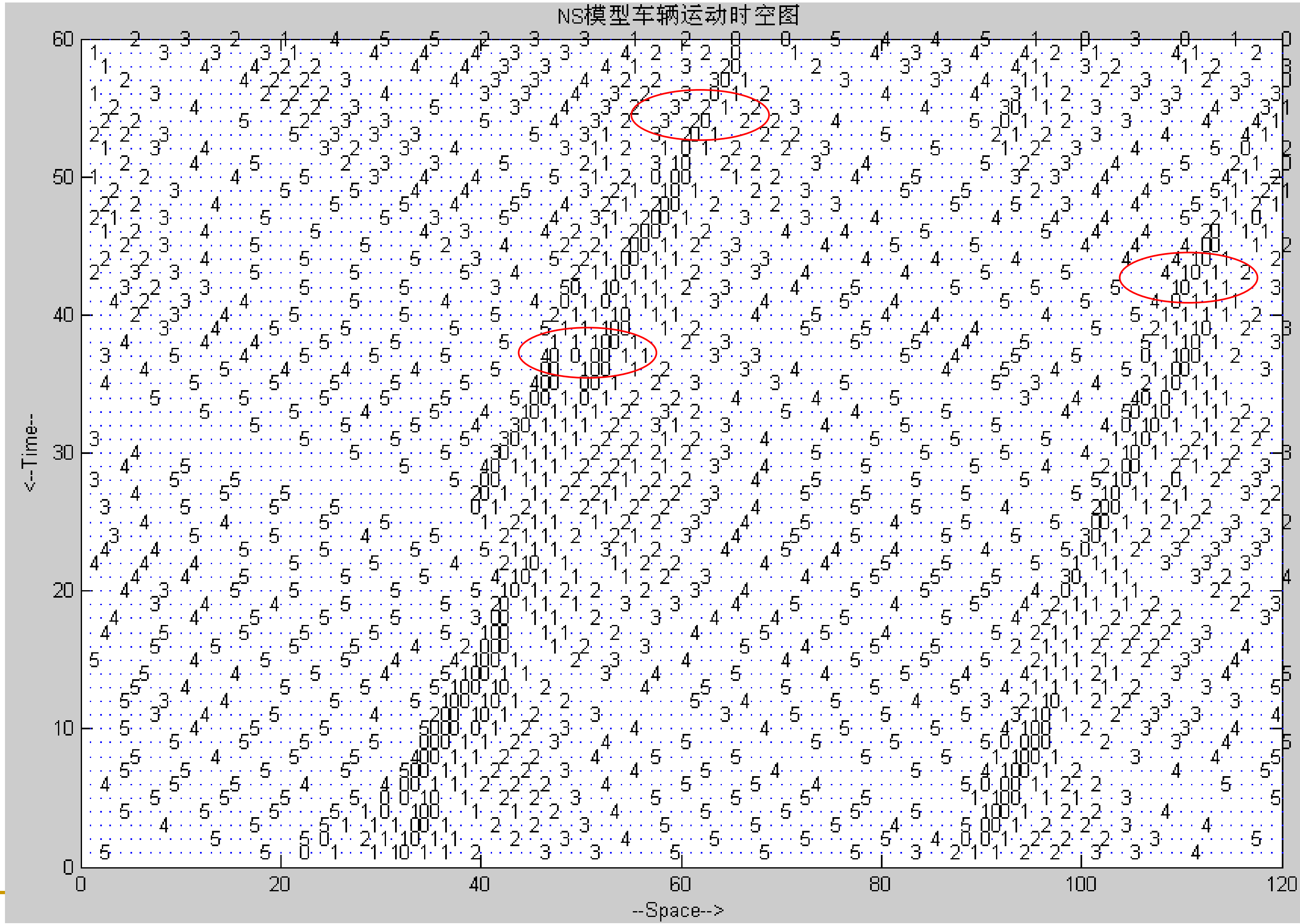
随机慢化概率p=0.2；密度ρ=20veh/km/lan（0.15）；

初始随机



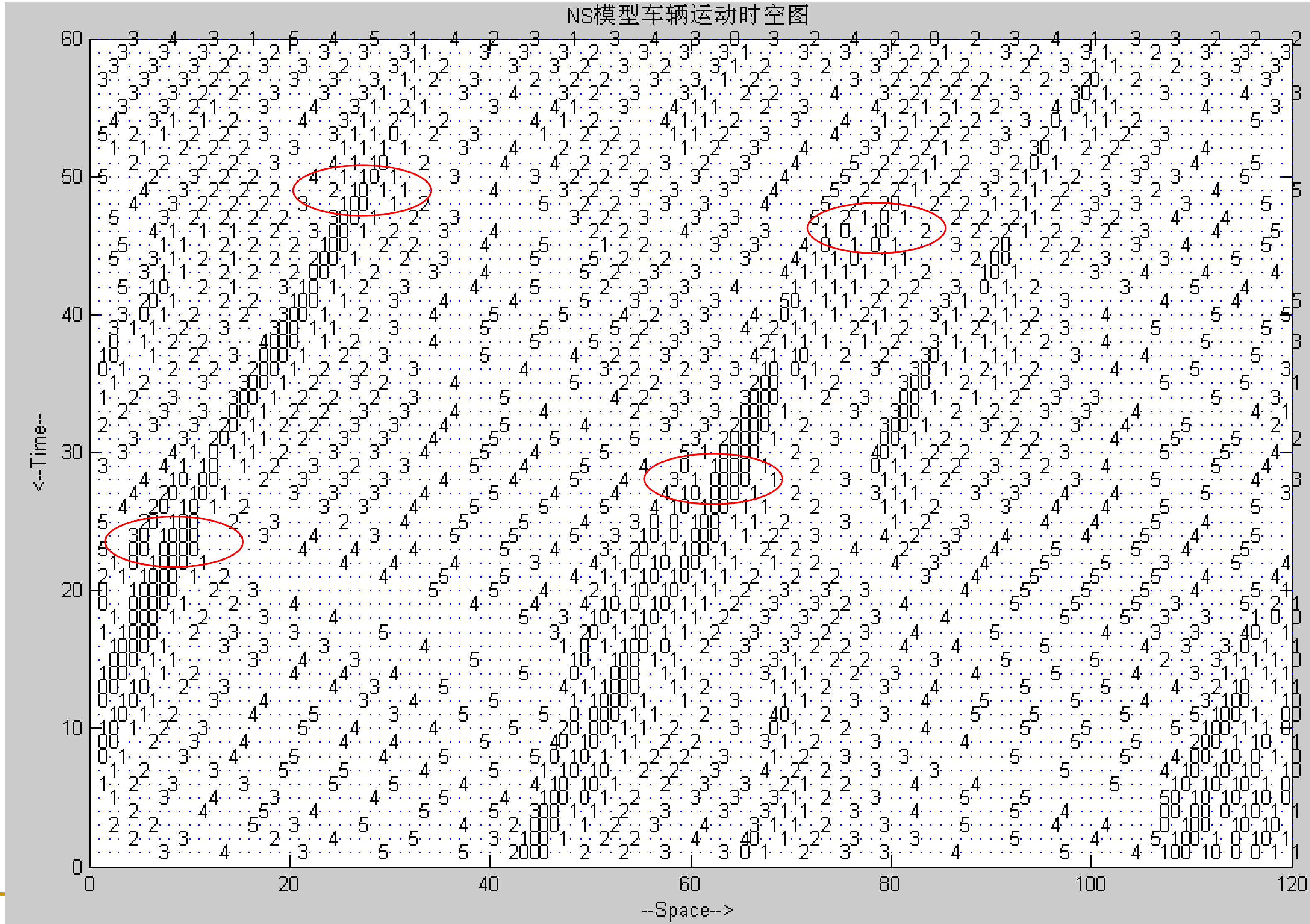
随机慢化概率p=0.2；密度ρ=27veh/km/lan（0.2）；

初始均匀分布



×7.5m

随机慢化概率p=0.2；密度ρ=33veh/km/lan（0.25）；



×7.5m

- 交通流CA模型的主要优点：
- （1）模型简单，特别易于在计算机上实现。
- （2）能够再现各种复杂的交通现象，反映交通流特性。在模拟过程中人们通过考察元胞状态的变化，不仅可以得到每一辆车在任意时刻的速度、位移以及车头时距等参数描述交通流的微观特性，还可以得到平均速度、密度、流量等参数，呈现交通流的宏观特性。
- （3）能够再现单车道、多车道以及路网的交通流建模；机动车和非机动车交通流的建模

三、多车道CA模型

- 与单车道模型相比，多车道模型增加了换车道规则。
- **Nagel** 等在单车道NS模型的基础上，又提出了多车道模型。在该模型中，在各条车道上行驶的车辆要遵守NS规则，在进行车道变换时还要满足车道变换规则(**lane-changing rules**)。

该模型的车道变换规则如下:

- (1) 如果$v_{max}>gap$,且$gap_{left}\geq gap$，则从右车道变换至左车道。
- (2) 如果 $v_{max}<gap-v_{offset}$,且 $v_{max}<gap_{right}-v_{offset}$，则从左车道变换至右车道。
- (3) 如果$v_{back}<gap_{back}$ (保证后车不会与本车发生碰撞)，则在满足以上条件的情况下，车辆以概率P_{change},进行车道变换，并规定以下限制条件：
- 如果$v_{right}>gap_{left}$，则$v_{right}=gap_{left}$(禁止右车道的车辆超过左车道车辆)。

§3 Matlab建模与仿真

- 元胞自动机（CA）是一种用来仿真局部规则和局部联系的方法。

- 典型的元胞自动机是定义在网格上的，每一个点上的网格代表一个元胞与一种有限的状态。变化规则适用于每一个元胞并且同时进行。典型的变化规则，决定于元胞的状态，以及其（ 4或8 ）邻居的状态。

§3 Matlab建模与仿真

- 矩阵和图像可以相互转化，所以矩阵的显示是可以真接实现的。如果矩阵cells的所有元素只包含两种状态且矩阵Z含有零，那么用image函数来显示cat命令建的RGB图像，并且能够返回句柄。
- imh = image(cat(3,cells,z,z));
- set(imh, 'erasemode', 'none')
- axis equal
- axis tight

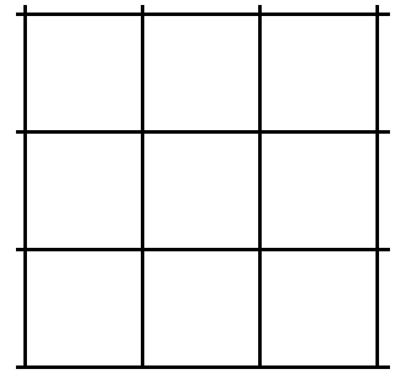
§ 3 Matlab建模与仿真

- 矩阵和图像可以相互转化，所以初始条件可以是矩阵，也可以是图形。以下代码生成一个零矩阵，初始化元胞状态为零，然后使得中心十字形的元胞状态= 1。
- z = zeros(n,n);
- cells = z;
- cells(n/2,.25*n:.75*n) = 1;
- cells(.25*n:.75*n,n/2) = 1;

§ 3 Matlab建模与仿真

- Matlab的代码应尽量简洁以减小运算量。以下程序计算了最近邻居总和，并按照CA规则进行了计算。
- x = 2:n-1;
- y = 2:n-1;
- sum(x,y) = cells(x,y-1) + cells(x,y+1) + ...
- cells(x-1, y) + cells(x+1,y) + ...
- cells(x-1,y-1) + cells(x-1,y+1) + ...
- cells(x+1,y-1) + cells(x+1,y+1);
- cells = (sum==3) | (sum==2 & cells);

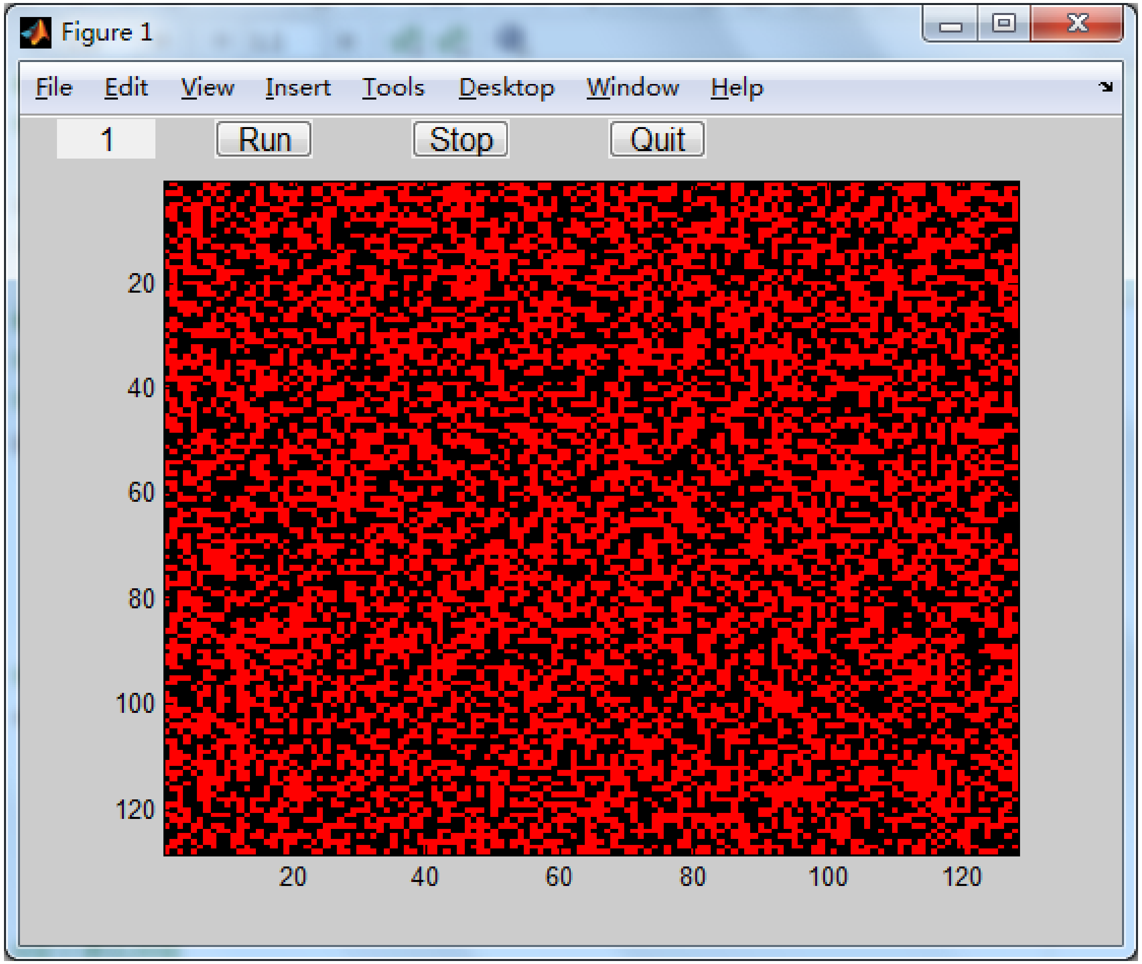
§3 Matlab建模与仿真



- 以Conway的“生命游戏”为例
- 规则是:
- 对周围的8个近邻的元胞状态求和
- 如果总和为 2的话，则下一时刻的状态不改变
- 如果总和为3，则下一时刻的状态为 1
- 否则状态= 0

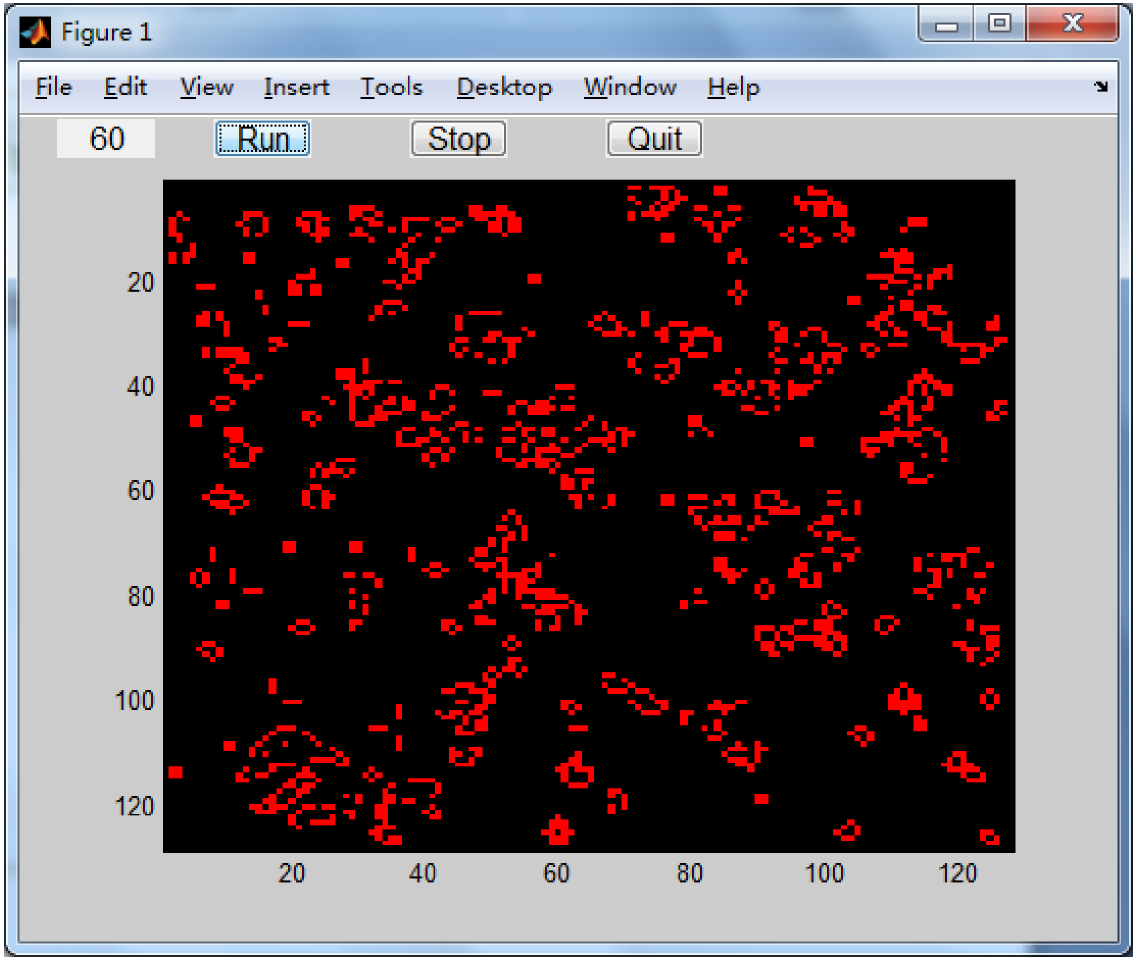
§3 Matlab建模与仿真

- 初始化



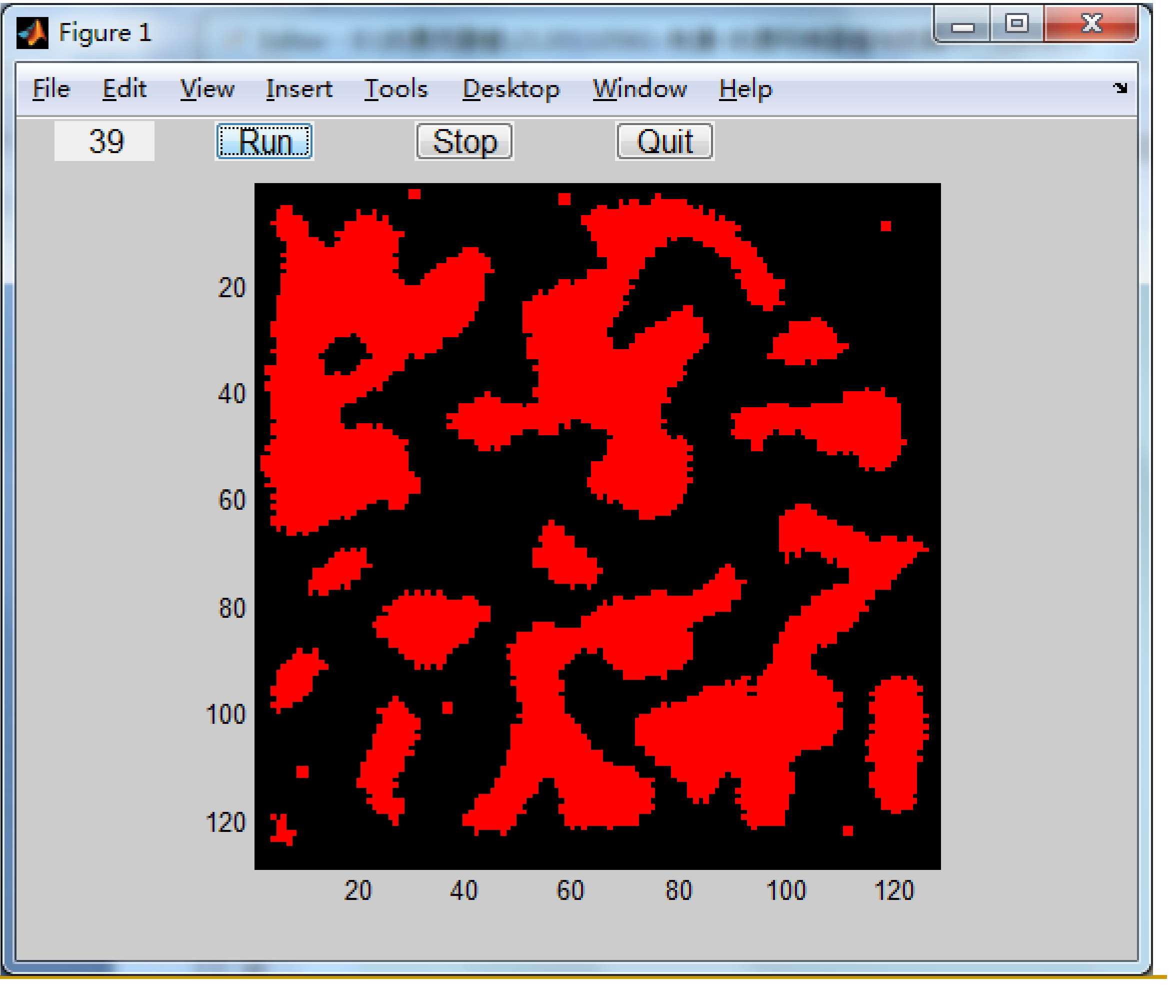
§ 3 Matlab建模与仿真

- 规则1



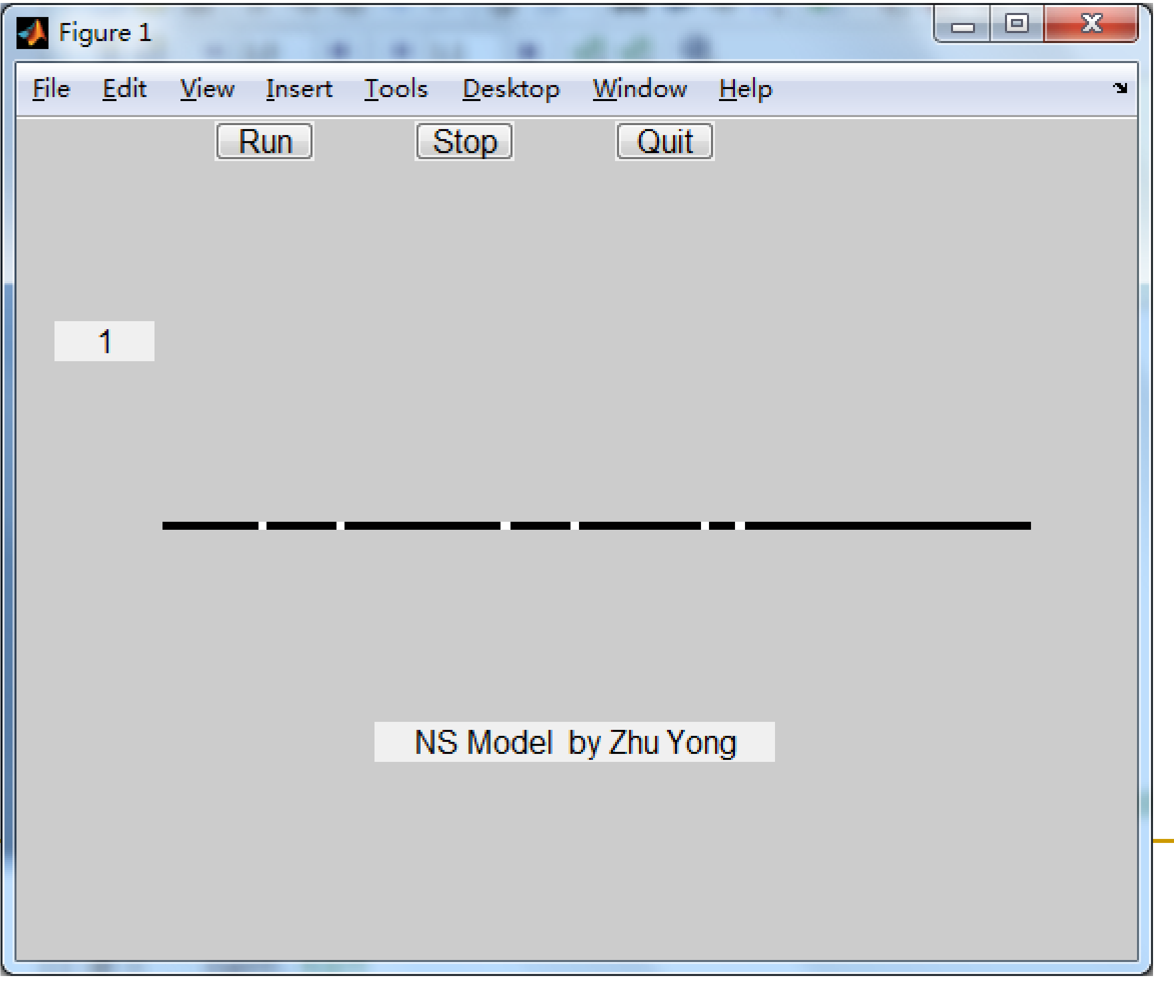
§ 3 Matlab建模与仿真

- 规则2



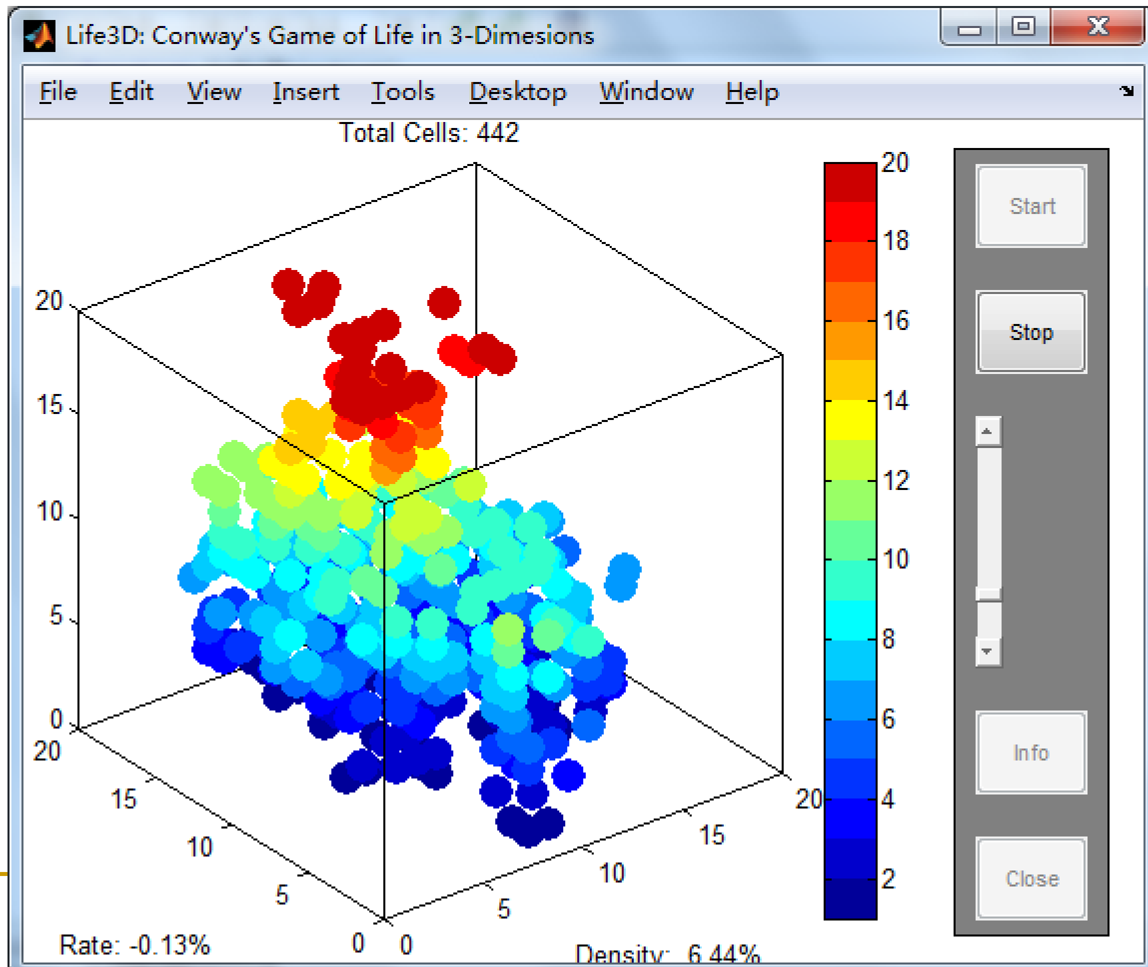
§ 3 Matlab建模与仿真

- NS-Model:单车道建模与仿真



§ 3 Matlab建模与仿真

- 三维“生命游戏机”



谢谢！