

# 模拟疏散中个体及群体运动方法<sup>①</sup>

杨文举, 周洋洋, 常 瑜

(内蒙古工业大学 信息工程学院, 内蒙古 010051)

**摘 要:** 应用元胞自动机和人工智能原理模拟人员的疏散, 研究了“分块划分”情况下个体的智能寻径行为以及当出口人员密度达到一定阈值时群体运动的规律, 发现分块划分条件下人员的行为与现实中的寻径及避障行为更接近; 采用“出口处群体运动”与单独采用个体运动算法相比, 同等计算机资源条件下, 最大疏散人数得到了提高, 而在同等人员属性配置下, 在一定范围内, 疏散时间变化不大。结果表明分块划分与出口“群体运动模拟”能够减少硬件本身对结果的影响, 并且保证了结果的有效性, 是一种模拟真实场景紧急疏散的可行方法。

**关键词:** 元胞自动机; 人群疏散; 分块划分; 寻径; 群体运动

## Individual and Crowd Activities in Evacuation Simulation

YANG Wen-Ju, ZHOU Yang-Yang, CHANG Yu

(Institute of Science and Technology, Inner Mongolia University of Technology, Inner Mongolia 010051, China)

**Abstract:** Simulate crew's evacuation by using cellular automaton and artificial intelligence theory. Study the action of auto-path searching and the rule of crew's movement when the density of the crew reached a numerical value under the situation of "area division". We find out crew's action of obstacle avoiding and path searching under the condition of Area division is more likely to match the reality. Compared with the individual movement, crew's movement proved that with the same computer resource supplied, the number of evacuated crew has increased, at the same configuration of crowd, the time of evacuation does not change a lot. The result indicates that Area division and "simulation of crew's movement" can reduce the impact on the result and in the meantime ensure the result's validity. It is a practical measure to simulate an urgent evacuation under a real situation.

**Key words:** cellular automaton; crowd evacuation; area division; path searching; group activities

统计数据表明, 由于公众聚集场所如: 高层建筑、购物中心、学校、车站、剧院等人口密度极大, 紧急情况下疏散难度较高, 一直以来都是自然灾害致死率较高的场所。由于灾害的破坏性以及不可重复性, 因此公共聚集场所内人群的安全疏散问题成为当前公共安全和消防安全等领域的研究热点。近年来, 借助计算机对紧急情况下的人员疏散情况进行模拟和还原成为研究者预测及制定应急预案的主要手段。

## 1 模型建立

### 1.1 定义元胞

疏散模型中, 通常把待疏散人员静止时所占据的

空间抽象为指定直径的圆<sup>[1]</sup>, 此处定义圆的直径为  $R=0.4\text{m}$ 。把房间平面图按照自定义的比例缩放, 以正方形网格对其划填充划分, 定义每一个网格为 1 个元胞, 元胞的大小由圆的直径确定, 为圆的外切正四边形, 其坐标定义为内切圆圆心坐标。每个元胞对应两种状态: 为空或被占据。疏散人员可以向前、后、左、右四个方向移动, 如图 1 所示。

把所有障碍物以及从当前元胞出发向障碍物做射线, 障碍物所阻挡的区域作为不可视区域, 把这些之外的区域定义为视野。把与最终出口平行的、位于障碍物之间的一个或多个元胞, 称为区域出口。设定待疏散人员的平均步速为  $1.2\text{m/s}$ <sup>[2]</sup>, 对应的, 行人每移

<sup>①</sup> 收稿时间:2011-10-06;收到修改稿时间:2011-11-26

动一个元胞所用的时间为 $\Delta t = 0.3\text{ s}$ ，称为一个时间步，故定义系统刷新时间为一个时间步长。系统生成疏散人员的同时指定编号，然后按照疏散规则进行疏散。

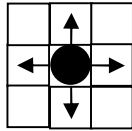


图 1 人员运动方向

① 搜索视野范围内的区域出口

$$P(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{区域出口} \\ 1, & \text{不是出口} \end{cases}$$

②  $P(i,j)$ 表示人员当前所处位置的状态，0 表示当前位置即为出口，1 表示该位置不是出口。确定所在位置的相邻元胞对应的状态属性值

$$PS(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{元胞为空} \\ -1, & \text{元胞被障碍物占据} \\ 1, & \text{元胞被人占据} \end{cases}$$

③ 比较相邻元胞的吸引力，如果相邻元胞有多个为空，则根据  $PX(i,j) = (X_i - X_p)^2 + (Y_j - Y_q)^2$  计算距出口的距离，距离区域出口近的吸引力大于距离远的；在出口方向上未被占据的元胞吸引力大于被占据的元胞吸引力；有多人同时竞争一个目标网格时，将以随机概率进入目标。其中  $(X_i, Y_j)$  表示当前元胞的位置， $(X_p, Y_q)$  表示区域出口元胞。

④ 到达区域出口后或者能看到下一区域出口时，则更新区域出口，直到到达疏散出口。

⑤ 在最终出口处设定监视器，当监视区内疏散人员密度达到设定阈值时，监视区内的人员不再计算目标格和出口，而是随机从队尾处除去相应数量的人员，进而模拟人员疏散。

## 2 过程模拟与结果分析

设定疏散空间比例尺为 1:500，空间长  $L=50\text{m}$ ，

宽  $W=20\text{m}$ ，出口宽  $D=3\text{m}$ ，以出口所在边为坐标轴填充网格。则出口处每个时间步内的最大流量为  $J=D/R$ 。

### 2.1 个体避障模拟

设置房间内障碍物，如图 2 所示，a, b 为障碍物，O 为出口。以出口 O 为起始点，向障碍物边界点做切线，取边界交点到另一障碍物之间的区域为区域出口，如图 2 中  $O_1, O_2, O_3, O_4$  为区域出口。初始化设定空间内人数为 200 人，疏散开始时，疏散人员寻找视野范围内的区域出口，并根据疏散规则尝试向距离最近的出口位置移动，当视野中出现最终出口 O 或者距离最终出口 O 更近的区域出口时则改变出口目标，并向该目标移动，图 3(a)—(b)显示了疏散开始一定时间后房间内人员的分布情况。

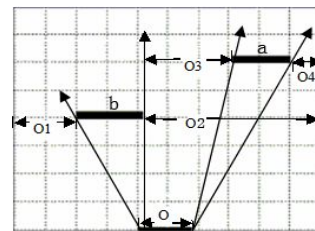
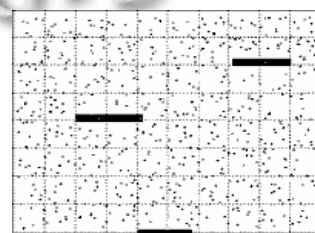


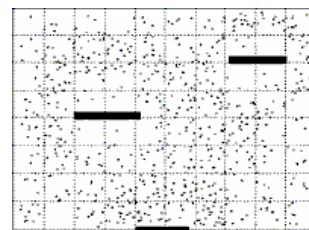
图 2 房间结构图

### 2.2 结果分析

从图 3(b)可以看出，人员在疏散开始后迅速向区域出口移动，出现如图所示的聚集现象，这种现象符合人类对障碍物的回避行为，而且区域出口的设置简化了最优路径的寻径过程，提高疏散效率。



(a)  $t = 0\text{ s}$



(b)  $t = 7.1\text{ s}$

图 3 不同时刻房间内人员的分布情况

### 3 出口群体运动

#### 3.1 群体运动规则

随着疏散的进行，逃生人员大量向出口处聚集，当超过出口处单位时间的疏散能力时就会出现拥塞，而随着人数的不断增多，在出口会出现明显的拱形效应，与此同时，出口处一定范围内，疏散人员密度达到一个临界范围，而且在一定时间内，该区域人口密度不会发生大的变化。根据这一现象，在出口处设置监视区，如图 4(a)所示，M、N 分别为监视区域半径，当内层区域到达阈值而外层未达到时，在内层区域采用群体运动规则；而当外层区域达到指定阈值时，则在外层区域采用群体运动规则，内层不再执行：

- ① 计算出口处每个时间步内的最大流量 J。
- ② 随机从监视区边缘即半径为 M 或 N 的圆所经过的元胞删除相应数量的疏散人员，监视区内的其他人员不动。
- ③ 监视区外的其他人员仍然按照个体疏散规则，计算路径、竞争出口。

#### 3.2 群体运动模拟及结果分析

随着时间的延长，出口处人员数量开始下降，拱形开始向内收缩(图 4b)，直到疏散完毕。

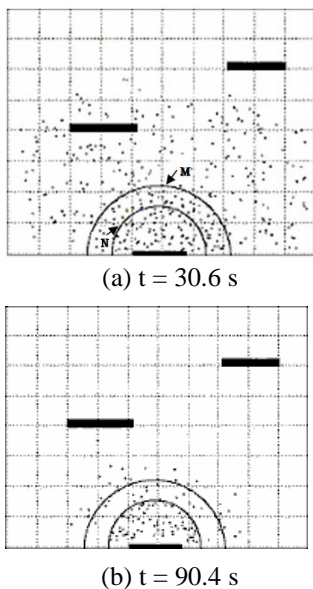
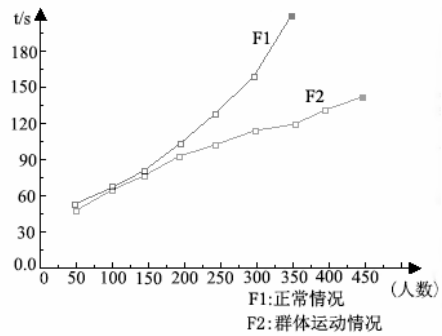


图 4 出口处的人员分布情况

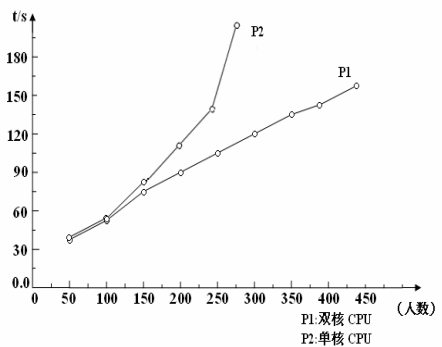
为了减少随机性对结果的影响，取 10 个样本求其平均值。图 5(a)所示为在同一台双核 CPU 电脑上，正常情况下及采用群体运动规则情况下，疏散人数与电脑用时之间的关系，发现当人数小于 200 时两者差别

不大。图 5(b)所示为采用单核和双核 CPU 时，在其他硬件配置相同的情况下，不采用群体运动运动规则时，疏散人数和电脑用时之间的关系。发现人数在一定范围内时，电脑完成仿真的程序用时差别不大。通过 P1 与 P2 对比得知，CPU 性能高的电脑相对疏散时间减少；通过 F1 与 F2 对比得知，采用群体运动规则时，人数达到超过一定界限，相对疏散用时减少，且疏散时间变化平滑；通过 F1 和 P1 对比可知，人数达到一定数量时，群体运动时疏散用时减少。

图 6 所示为体育场管内实际消防训练时，训练人数与疏散用时的结果图，体育馆出口一个，宽 3.1 米，疏散开始时，所有人随机站立位置，结果如图 6 中 Q1 所示。通过对比表明，采用群体运动规则进行疏散，具有有效性，而且提高了电脑疏散效率。



(a) 疏散人数与执行时间的结果图



(b) 两种 PC 机执行结果对比图

图 5 模拟结果图

### 4 结语

本文在正方形二维网格的基础上建立元胞自动机模型，对房间内人员进行疏散。讨论“分块划分”情况下人员的避障行为与现实中人避障行为的关系，讨论疏散出口处不同人员密度情况下群体的运动情况，

计算机模拟结果表明“分块划分”情况下,疏散人员的避障特性接近现实中人的行为,提高了智能寻径的效率;而利用群体运动规则模拟人员疏散,在保证有效性的前提下疏散规模得到一定程度的提高。

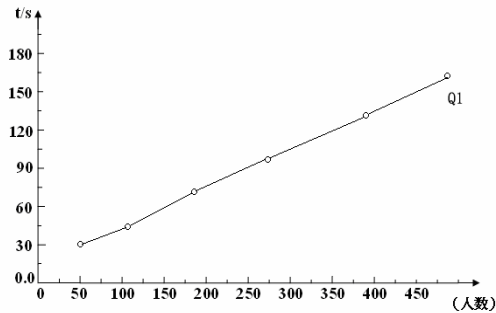


图 6 实际疏散训练用时图

### 参考文献

- 1 周金旺,邓敏艺,刘慕仁,孔令江.六方格子行人疏散元胞自动机模拟研究.广西科学,2009,16(3):277-279.
- 2 Burstedde C, K lauck K, Schadschneider A, et al. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. Physica A,2001,295:507-525.
- 3 刘少博.人员疏散中个体和群体行为的试验和计算机模拟研究[硕士学位论文].中国科学技术大学,2010.
- 4 崔喜红,李强,陈晋,陈春晓.大型公共场所人员疏散模拟研究.自然灾害学报,2005.
- 5 Song WG, Yu YF, Fan WC, et al. A cellular automata evacuation model considering friction and repulsion. Science in China Series E: Engineering & Materials science,2005.
- 6 高歌.大型商场火灾人员安全疏散及仿真模拟研究[硕士学位论文].中南大学,2009.
- 7 张培红,岳丽红,陈宝智.最优应急疏散路线动态模拟的研究.人类工效学,2001.
- 8 杨漪,蒋云涛.基于元胞自动机的消防安全疏散模拟软件的开发.消防科学与技术,2010.6
- 9 褚冠全,孙金华,王青松,陈思凝.疏散准备时间及出口宽度对人员疏散影响的模拟.科学通报,2006.(3).
- 10 陈大宏,段金曦,钱小玉,胡忠日.人员疏散模拟中几何数据创建方法和实现.消防科学与技术,2005.
- 11 Mori K. Significance of chirality in pheromone science. Bioorg Med Chem, 2007,15(24):7505-23.
- 12 姜传胜.人员疏散计算机模拟技术的研究现状和发展趋势.北京市劳动保护科学研究所,2005.
- 13 赵道亮.紧急条件下人员疏散特殊行为的元胞自动机模拟[博士学位论文].中国科学技术大学,2007.
- 14 Turner BL, Kasperson RE, Matson RA, et al. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability science. PNAS, 2003.