

六方格子行人疏散元胞自动机模拟研究*

Study and Simulation of Pedestrian Evacuation Process Based on Hexagonal Lattice Cellular Automaton Model

周金旺, 邓敏艺, 刘慕仁, 孔令江

ZHOU Jin-wang, DENG Min-yi, LIU Mu-ren, KONG Ling-jiang

(广西师范大学物理科学与技术学院, 广西桂林 541004)

(College of Physics and Technology, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:在正六边形网格上建立六方格子行人疏散元胞自动机模型,模拟研究房间内的行人疏散过程,并在3种人员密度(0.1, 0.3, 0.5)下,比较分析六方格子模型与四方格子模型在房间出口宽度,行人平均速度和平均流量与疏散时间等参数下的差异。结果表明,在同样人员密度下,六方格子模型比四方格子模型平均疏散时间更短,行人疏散得更快,四方格子模型系统平均速度与平均流量比六方格子更大。行人在疏散过程中为了更快地逃离房间可以考虑往多个的方向运动,但是要最大限度地避免出现阻塞,并尽快减少出现阻塞的区域,这样才更有利于疏散。

关键词:元胞自动机 行人流 疏散 六方格子模型

中图法分类号:O415 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2009)03-0277-03

Abstract: Hexagonal lattice pedestrian evacuation cellular automaton mode was established based on hexagon grid, and pedestrian flow evacuation process from a hall was simulated. Then, we compared hexagonal model with square model, analyzed the relationships among, exit width, mean velocity and mean flow with escape time under the different density of pedestrian (0.1, 0.3, 0.5). The results show that the evacuation time of hexagonal model were shorter and people escaped faster than squared model under the same density of pedestrian, but the mean velocity and mean flow of square model were bigger than hexagonal model. Pedestrians can be considered more direction of the movement in order to escape more quickly from the room during the evacuation process, and to maximize avoid congestion, which would be more conducive to evacuate.

Key words: cellular automaton, pedestrian flow, evacuation, hexagonal lattice model

在火灾、地震等紧急情况下,行人成功疏散非常重要。目前,许多物理微观模型已经成功地应用于行人运动的模拟和研究^[1~9]。Helbing D^[1]用社会力模型研究在恐慌情景下人群逃生行为,发现行人的自组织现象及在出口附近行人的聚集行为呈拱现象以及快即是慢效应。Tajima Y等^[3]应用偏向随机行走的格子气模型研究密集人群疏散,得出平均流量发生相变的临界阈值。Burstedde C等^[4]提出地场的概念并建立元胞自动机行人流模型模拟房间内行人的疏散

及双向行人流运动过程,发现了聚集行为和成道等典型现象。杨立中等^[5]在基于地场的方法上,引入位置危险度的概念来确定行人运动规则,再现了火灾发生时行人的逃生过程。以上模型研究行人疏散都是建立在四方网格上,行人具有4个方向的运动速度。考虑到行人在疏散过程中具有更多的运动方向,本文在六方网格上建立行人疏散元胞自动机模型,模拟研究房间内的行人疏散过程,并在不同人员密度下比较分析六方格子模型与四方格子模型在房间出口宽度、行人平均速度及平均流量与疏散时间等参数下的差异。

1 模型建立

六方格子模型建立在二维元胞自动机上。将房间内部平面均匀地划分成大小相等的正六边形网格,每

收稿日期:2008-11-05

作者简介:周金旺(1982-),男,硕士研究生,主要从事行人流模拟仿真研究。

*国家自然科学基金项目(10562001,10762005),广西研究生教育创新计划项目(2008106020711M239)资助。

个网格相当于1个元胞,网格或为空或刚好被1个行人占据,行人简化成直径为0.4m的圆。每个格点对应1个位置危险度,并且根据其邻域内各格点的位置危险度来确定下一时刻的运动,并且在每一时步可以往6个方向运动。六方格子模型与四方格子模型中行人可能的运动方向比较如图1所示。

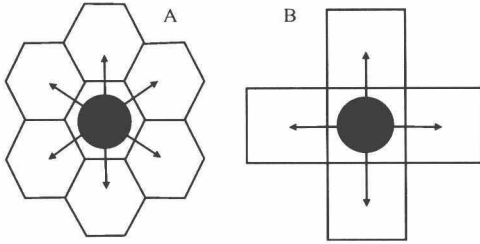


图1 行人运动方向示意

Fig.1 Schematic illustration of pedestrian's movements

A:六方格子模型;B:四方格子模型。

A:Hexagonal model;B:Square model.

一般情况下,设行人的平均速度为 $1.0\text{m/s}^{[4]}$,对应地,行人移动一格所需时间 $\Delta t = 0.4\text{s}$ (1个时步),每个时步对系统中的所有行人进行随机编号,行人依照编好的顺序按以下规则依次进行位置更新。

(1)确定每个格点对应的位置危险度

$$PD(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{格点在出口处,} \\ \infty, & \text{格点被行人占据,} \\ \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}, & \text{格点为空,} \end{cases}$$

其中 (i, j) 为格点位置, (x_i, y_j) 为格点坐标, (x_0, y_0) 为房间出口中点坐标。

(2)比较行人邻域内各格点的位置危险度,位置危险度最小的格点作为行人下一时刻的运动目标格点。当有多个位置危险度相等的格点可选时,行人将等概率随机地进入其中一个格点。

(3)到达出口处的行人自动从系统中除去。在六方网格模型中,若行人所在格点一半在房间内另一半在出口处,行人将在下一时刻从系统中除去。

2 模型模拟与结果分析

2.1 计算机模拟

设房间长度(格子数) $L = 40$,宽度(格子数) $W = 30$,出口位于房间正下方,其宽度(格子数) $D = 5$ 。

定义系统平均速度为 $\langle V \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i(t)$,系统平均

流量为 $\langle J \rangle = \rho \langle V \rangle = \frac{1}{N_{\text{total}}} \sum_{i=1}^N v_i(t)$, N 表示 t 时刻房间内的人数, ρ 表示 t 时刻房间内的人员密度, N_{total} 表示房间最多能容纳的人数。为了消除随机性

对结果的影响,取30个样本作系综平均。

2.2 结果分析

初始时刻500人随机地分布在房间内,所有行人按照上述中确定的规则运动。从图2可以看出,行人在疏散过程中迅速向出口方向移动,随后行人将很快聚集在出口周围并出现阻塞,在出口附近由于行人的聚集行为出现明显的呈拱现象(图2a),随着人数逐渐减少,呈现拱形分布的行人将逐渐向内收缩(图2b),直到人员疏散完毕。

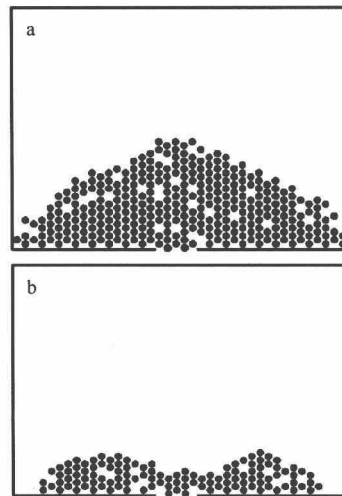


图2 疏散过程中出现的两个典型状态

Fig.2 Two typical state pattern of people during the evacuation process

a: $t = 50\text{s}$; b: $t = 110\text{s}$.

从图3可以看出,疏散时间随着出口宽度的增大而减小,在人员密度和出口宽度相同的情况下,六方格子模型疏散时间比四方格子模型疏散时间要小得多。当 $D > 6$ 时增加出口宽度,疏散时间减小越来越缓慢,尤其是人员

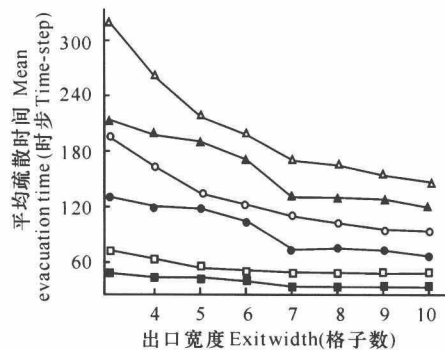


图3 六方格子模型与四方格子模型平均疏散时间随房间出口宽度变化关系对比

Fig.3 Plot of mean evacuation time against exit width under different density for two models

□: (Model A) $\rho = 0.1$; ○: (Model A) $\rho = 0.3$; △: (Model A) $\rho = 0.5$; ■: (Model B) $\rho = 0.1$; ●: (Model B) $\rho = 0.3$; ▲: (Model B) $\rho = 0.5$.

密度较低时,增加出口宽度对人员疏散几乎没有什么影响。 $D < 7$ 时,两种模型疏散时间随出口宽度之间的变化关系有明显的区别,四方格子模型疏散时间随出口宽度的增大呈向下凹状迅速衰减,而六方格子模型呈向上凸状减少缓慢。

从图 4 可以明显地看出,在固定房间出口宽度 $D = 5$ 的同一时刻,四方格子模型中房间内人员滞留更多,六方格子模型比四方格子模型疏散得更快,人员密度较大时更加明显。由于六方格子模型中行人可以往 6 个方向运动,行人在选择运动目标格点时有更多的机会向出口方向移动,因此比四方格子模型疏散得更快。

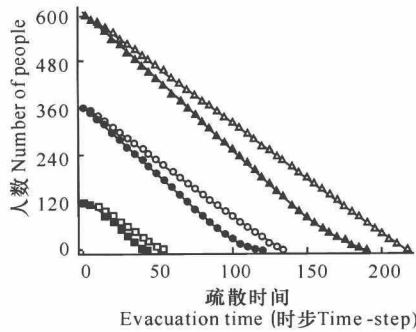


图 4 六方格子模型与四方格子模型人员数目随时间的变化关系对比

Fig. 4 Plot of number of people against time under different density for two models

□: (Model A) $\rho = 0.1$; ○: (Model A) $\rho = 0.3$; △: (Model A) $\rho = 0.5$; ■: (Model B) $\rho = 0.1$; ●: (Model B) $\rho = 0.3$; ▲: (Model B) $\rho = 0.5$.

从图 5 和图 6 可以看到,固定出口宽度 $D = 5$ 时虽然六方格子模型行人疏散得更快,但是由于行人疏散过程中存在快即是慢效应^[1,2],系统平均速度和平均流量比四方格子模型要小,六方格子模型平均速度迅速减小又较快地增大,而四方格子模型平均速度变化相对较缓慢。在疏散初始阶段,行人迅速向出口方向运动,人员很快聚集在出口附近出现阻塞,行人彼此之间的相互阻碍导致平均速度迅速减小,六方格子模型中行人运动得更快,出现堵塞更严重,因此平均速度下降得更快,人员密度越大越容易出现堵塞,平均速度也减小得越快。而四方格子模型中虽然行人运动较慢,但是出现堵塞也很慢而且不明显,将有更多的行人能够移动,平均速度在较长的一段时间内相对保持稳定,因此平均速度和平均流量比六方格子模型更大,随着房间内行人人数的逐渐减小,出现阻塞的区域逐渐减小,系统平均速度又逐渐增大,此时,六方格子模型人员数目更少,平均速度将迅速增大,直到

人员全部疏散完毕,平均速度变为零。平均流量随时间逐渐减小,在初始阶段,六方格子模型中行人迅速运动,平均流量比四方格子模型更大,由于在六方格子模型中行人很快出现阻塞,平均流量迅速减小,此后,四方格子模型平均速度和平均流量一直较大。

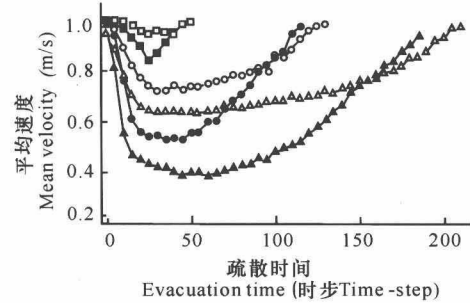


图 5 六方格子模型与四方格子模型疏散平均速度与疏散时间变化关系对比

Fig. 5 Plot of mean velocity against time under different density for two models

□: (Model A) $\rho = 0.1$; ○: (Model A) $\rho = 0.3$; △: (Model A) $\rho = 0.5$; ■: (Model B) $\rho = 0.1$; ●: (Model B) $\rho = 0.3$; ▲: (Model B) $\rho = 0.5$.

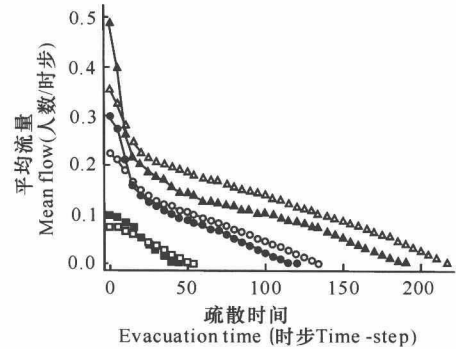


图 6 六方格子模型与四方格子模型疏散平均流量与疏散时间变化关系对比

Fig. 6 Plot of mean flow against time under different density for two models

□: (Model A) $\rho = 0.1$; ○: (Model A) $\rho = 0.3$; △: (Model A) $\rho = 0.5$; ■: (Model B) $\rho = 0.1$; ●: (Model B) $\rho = 0.3$; ▲: (Model B) $\rho = 0.5$.

3 结束语

本文在正六边形网格上建立六方格子行人疏散元胞自动机模型,对房间内行人疏散过程进行模拟,并与四方格子元胞自动机模型进行对比和分析,讨论不同人员密度下六方格子模型与四方格子模型行人疏散过程之间的差异。计算机模拟结果表明,六方格子模型比四方格子模型行人疏散得更快所需疏散时间更短,四方格子模型系统平均速度与平均流量比六方格子更大。通过对比模拟进一步了解到,行人在疏

(下转第 282 页 Continue on page 282)

key distribution and coin tossing; proceedings of IEEE international conference on computers, systems and signal processing, Bangalore, India [C]. New York: IEEE, 1984: 175-179.

- [2] Bennett C H. Quantum cryptography using any two-orthogonal state [J]. Phys Rev Lett, 1992, 68: 3121-3124.
- [3] Ekert A K. Quantum cryptography on Bell's theorem [J]. Phys Rev Lett, 1991, 67: 661-663.
- [4] Brown K R, Dani K M, Staper-Kun D M, et al. Deterministic optical fock-state generation [J]. Phys Rev A, 2003, 67: 043818-1~043818-16.
- [5] Meekhof D M, Monroe C R, King B E, et al. Generation of nonclassical motional states of a trapped atom [J]. Phys Rev Lett, 1996, 76: 1796-1799.
- [6] Yang Q Y, Wei L F, Ding L E. Generations of macroscopic quantum states of a single trapped ion beyond the Lam-Dicke limit [J]. J Opt B: Quantum Semiclass Opt, 2005, 7: 5-9.
- [7] Zhang P, Xue Q K, Zhao X G, et al. Coulomb-enhanced localization and Bell-state generation in coupled quantum

dots [J]. Phys Rev A, 2002, 66: 022117-1~022117-5.

- [8] Monroe C, Meekhof D M, King B E, et al. A "Schrodinger Cat" Superposition state of an atom [J]. Science, 1996, 272: 1131-1136.
- [9] Ralph T C. Continuous variable quantum cryptography [J]. Phys Rev A, 1999, 61: 010303-1~010303-4
- [10] Hillery M. Quantum cryptography with squeezed states [J]. Phys Rev A, 2000, 61: 022309-1~022309-8.
- [11] Xiao M, Wu L A, Kimble H J. Precision measurement beyond the shot-noise limit [J]. Phys Rev Lett, 1987, 59: 278-281.
- [12] Molmer K, Sorensen A. Spin-spin interactions and spin squeezing in an optical lattice [J]. Phys Rev Lett, 1999, 80: 2474-2477.
- [13] 杨庆怡. 增光子压缩真空态的压缩特性 [J]. 广西大学学报, 2006, 31: 124-127.
- [14] 杨庆怡, 庞华峰. 二能级原子与增光子相干态光场相互作用的非经典特性 [J]. 广西大学学报, 2007, 32: 288-291, 311.

(责任编辑: 韦廷宗)

(上接第 279 页 Continue from page 279)

散过程中为了更快地逃离房间可以考虑往多个的方向运动,但是要最大限度地避免出现阻塞,并尽快减少出现阻塞的区域,这样才更有利于疏散。

参考文献:

- [1] Helbing D, Farkas I, Vicsek T. Simulating dynamical features of escape panic [J]. Nature, 2000, 407 (28): 487-490.
- [2] Helbing D D, Mulnar P. Social force model for pedestrian dynamics [J]. Phys Rev E, 1995, 51: 4282-4286.
- [3] Tajima Y, Nangatani T. Scaling behavior of crowd flow outside a hall [J]. Physica A, 2001, 292: 545-515.
- [4] Burstedde C, Klauck K, Schadschneider A, et al. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton [J]. Physica A, 2001, 295: 507-525.

- [5] 杨立中, 方伟峰, 黄锐, 等. 基于元胞自动机的火灾中人员逃生的模型 [J]. 科学通报, 2002, 47 (12): 896-901.
- [6] Maniccam S. Traffic jamming on hexagonal lattice [J]. Physica A, 2003, 321: 653-664.
- [7] 谭惠丽, 邱冰, 刘慕仁, 等. 房间内人群疏散过程的元胞自动机研究 [J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2004, 22 (4): 1-4.
- [8] Zhao Daoliang, Yang Lizhong, Li Jian. Exit dynamics of occupant evacuation in an emergency [J]. Physica A, 2005, 363: 501-511.
- [9] Varas A, Cornejo M D, Mainemer M, et al. Cellular automaton model for evacuation process with obstacles [J]. Physica A, 2007, 382: 631-642.

(责任编辑: 尹 闯 邓大玉)