

11-25-2022

Evacuation Model Considering the Restricted View of the Sign

Yinghua Song

1.China Center for Emergency Management Research, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;2.School of Safety Science and Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;; song6688c@163.com

Zheqian Zhang

1.China Center for Emergency Management Research, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;2.School of Safety Science and Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

Feizhou Huo

1.China Center for Emergency Management Research, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;2.School of Safety Science and Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;; huofz@whut.edu.cn

Danhui Fang

1.China Center for Emergency Management Research, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;2.School of Safety Science and Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Evacuation Model Considering the Restricted View of the Sign

Abstract

Abstract: In order to study the influence of restricted vision on the process of pedestrian evacuation, a cellular automata model of pedestrian evacuation under restricted vision is established. *In the model, the evacuation space is divided into three different areas according to the field of view radius, pedestrians have different ways of moving in different areas. Different income parameters are defined to calculate the pedestrian movement income matrix and determine the target position of the pedestrian in the next time step. An evacuation scene is established to simulate the initial density of different pedestrians, the change of the field of view and the indicator signs in different areas, and the influence of these factors on the evacuation process of pedestrians are analyzed.* The simulation results show that the greater the initial density of pedestrians, the longer the evacuation time will be. The larger the field of view radius will help pedestrians evacuate. When the field of view radius increases to a certain value, the effect of pedestrian evacuation is not obvious. There are signs in the room, the evacuation time for pedestrians should be significantly shorter than that without signs, and the evacuation efficiency of pedestrians when there are signs in the blind movement area is higher than that in the visible area of the wall.

Keywords

cellular automata, restricted field of view, income parameter, indicator, pedestrian evacuation

Recommended Citation

Yinghua Song, Zheqian Zhang, Feizhou Huo, Danhui Fang. Evacuation Model Considering the Restricted View of the Sign[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(11): 2416-2424.

考虑指示标志的视野受限情况下人员疏散模型

宋英华^{1,2}, 张哲谦^{1,2}, 霍非舟^{1,2*}, 方丹辉^{1,2}

(1. 武汉理工大学 中国应急管理研究中心, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉理工大学 安全科学与应急管理学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 为研究视野受限对行人疏散过程的影响, 建立视野受限情况下行人疏散元胞自动机模型。模型中根据视野半径大小, 将疏散空间划分为 3 个不同的区域, 行人在不同区域有着不同的运动方式; 定义不同的收益参数, 用于计算行人运动收益矩阵, 确定行人下一个时间步的目标位置; 建立疏散场景, 对不同行人初始密度, 视野半径变化以及指示标志在不同区域进行仿真模拟, 分析这些因素对行人疏散过程的影响。仿真结果表明: 行人初始密度越大, 所用疏散时间越长; 视野半径增大有助于行人疏散, 当视野半径增大到一定值后, 对行人疏散效果增益不明显; 房间内有指示标志情况下行人所用疏散时间要明显小于没有指示标志的情况, 且盲目运动区有指示标志时行人疏散效率要高于墙壁可见区有指示标志的情况。

关键词: 元胞自动机; 视野受限; 收益参数; 指示标志; 行人疏散

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2022) 11-2416-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.21-0648

Evacuation Model Considering the Restricted View of the Sign

Song Yinghua^{1,2}, Zhang Zheqian^{1,2}, Huo Feizhou^{1,2*}, Fang Danhui^{1,2}

(1. China Center for Emergency Management Research, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. School of Safety Science and Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to study the influence of restricted vision on the process of pedestrian evacuation, a cellular automata model of pedestrian evacuation under restricted vision is established. In the model, the evacuation space is divided into three different areas according to the field of view radius, pedestrians have different ways of moving in different areas. Different income parameters are defined to calculate the pedestrian movement income matrix and determine the target position of the pedestrian in the next time step. An evacuation scene is established to simulate the initial density of different pedestrians, the change of the field of view and the indicator signs in different areas, and the influence of these factors on the evacuation process of pedestrians are analyzed. The simulation results show that the greater the initial density of pedestrians, the longer the evacuation time will be. The larger the field of view radius will help pedestrians evacuate. When the field of view radius increases to a certain value, the effect of pedestrian evacuation is not obvious. There are signs in the room, the evacuation time for pedestrians should be significantly shorter than that without signs, and the evacuation efficiency of pedestrians when there are signs in the blind movement area is higher than that in the visible area of the wall.

Keywords: cellular automata; restricted field of view; income parameter; indicator; pedestrian evacuation

收稿日期: 2021-07-12

修回日期: 2021-08-30

基金项目: 国家自然科学基金(51808422); 中央高校基本科研业务费专项资金(2019IVB005, 2020VI002)

第一作者: 宋英华(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为公共安全与应急管理。E-mail: song6688c@163.com

通讯作者: 霍非舟(1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为公共安全与应急管理、风险评估。E-mail: huofz@whut.edu.cn

引言

随着社会的发展以及城市规模变大, 各式各样的建筑不断出现, 建筑内空间结构复杂多样, 一旦发生突发事件, 可能会造成人员伤亡和财产损失, 因此研究行人疏散过程和人员疏散动力学特征十分必要。

目前, 常见的仿真行人疏散模型有社会力模型^[1-2]、元胞自动机模型^[3-5]、格子气模型^[6]等。文献[7]考虑了行人帮助行为对疏散效率和疏散过程的影响; 文献[8]提出一种考虑多出口吸引、人员从众行为与火源威胁三者耦合作用的场域疏散模型; 文献[9]根据行人绕开障碍物的避障行为, 提出了带有决策点的改进场域模型; 文献[10]对视线受影响的行人疏散进行研究, 利用 2 个动态参数描述行人在不同区域内的运动规则; 文献[11]在能见度受限情况下, 考虑行人对环境的熟悉程度, 将行人分为熟悉环境人群和不熟悉环境人群, 研究行人的跟随行为; 文献[12]在不利的视线条件下模拟行人疏散, 考虑了不确定信息的影响, 在模型中引入了“记忆角”概念来定量地反映疏散信息的准确性; 文献[13]提出了一种扩展的成本潜在场元胞自动机模型, 引入了可见性函数来描述由视力不良引起的视觉效果, 研究了心理张力和行人密度等因素对行人疏散的影响。

上述研究具有一定的指导意义, 但关于视野受限情况下行人视野半径变化以及指示标志对行人疏散过程影响的研究较少, 因此基于元胞自动机模型建立视野受限情况下的人员疏散模型, 分析行人视野半径变化以及指示标志分布在不同区域内对行人疏散过程的影响。

1 视野受限情况下的疏散模型

1.1 元胞自动机模型

不同于社会力模型、流体力学模型等研究方法, 元胞自动机模型是由有限状态的离散元胞单元在元胞空间中按照一定的局部规则在离散的时间

维度上进行演化, 它的高度离散性和良好的开放性使其便于在计算机程序上实现, 且能够更好引入各种参数从而全面考虑行人运动特征。

基于元胞自动机将人员疏散场景划分为元胞数量为 $L \times L$ 的二维离散元胞网格, 元胞大小为 $0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$, 每个元胞可以为空, 也可以被行人或障碍物占据, 疏散场景边界为墙壁, 并留有空元胞作为出口。采取的元胞邻域为 Moore 型邻域, 在一个时间步长内, 人员可原地等待或向周围的 8 个方向移动, 如图 1(a)所示。图 1(b)为行人的运动收益矩阵, 行人处于中间位置, 根据收益参数计算行人邻域元胞收益值, 行人将选择收益值最高的单元格作为下一个时间步的目标位置。

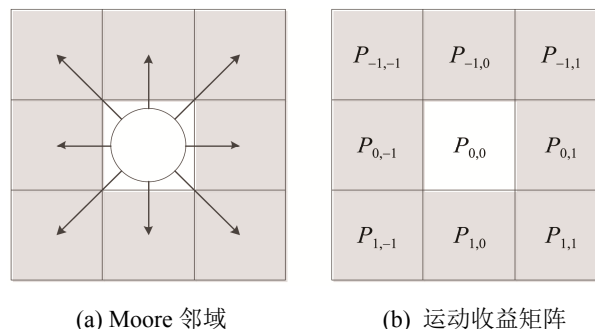


图 1 元胞邻域及行人运动收益矩阵
Fig. 1 Cell neighborhood and pedestrian movement income matrix

1.2 视野受限场景

在视野受限的情况下, 行人在一定的疏散空间可能看不见安全出口或墙壁。因此, 根据视野半径 R , 将疏散空间划分为出口可见区, 盲目运动和墙壁可见区, 如图 2(a)所示。

出口可见区为到出口距离小于或等于 R 的区域, 该区域内的行人可以看见出口, 向出口运动从而离开房间; 墙壁可见区为到墙壁的距离小于或等于 R 的区域, 在该区域中行人将沿着墙壁运动, 直到运动到出口可见区; 疏散空间中除去出口可见区和墙壁可见区, 剩下的区域为盲目运动区, 在该区域内人员看不见墙壁和出口, 只能向四周随机运动, 直到运动到墙壁可见区和出口可见区。在该场

景中随着视野半径 R 的变大, 出口可见区和墙壁可见区面积也会变大, 而中间盲目运动区面积则会减小。

图 2(b) 为行人的运动情况, 图中黑色实心圆形表示的是行人, 白色圆圈为其视野范围, 黑色箭头表示行人的运动方向, 白色箭头为指示标志。当行人看不见墙壁、指示标志和出口时, 就会随机选择一个方向运动; 当行人能看见出口时, 就会向出口运动; 当行人看见墙壁时, 就会沿着墙壁等概率的顺时针或逆时针运动; 当行人能看见指示标志时, 就会朝着指示标志指引的方向运动。指示标志作用范围半径等于行人视野半径, 即只有行人能看见指示标志时, 指示标志才能发挥作用。

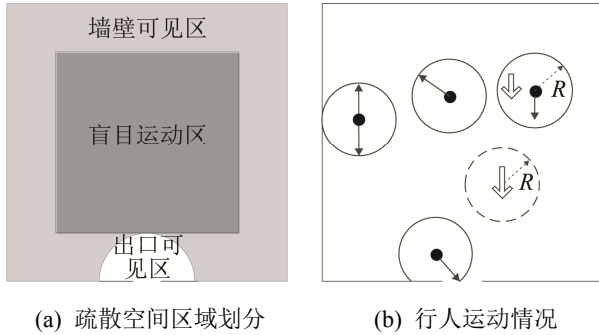


图 2 视野受限场景

Fig. 2 Scene with limited field of view

1.3 人员运动规则

引入收益参数来描述行人在不同区域内的运动, 传统的元胞场地模型通过静态场和动态场来计算行人向其他元胞的转移概率, 行人根据转移概率向邻域元胞移动, 而收益参数则是用来计算行人的运动收益矩阵, 得到行人邻域元胞中收益值最高的元胞, 确保行人在下一个时间步向收益值最高(即风险最低)的邻域元胞移动。这些参数分别为出口收益、空格收益、方向收益和指示标志收益。

采取出口收益来描述行人在出口可见区向房间出口运动, 出口收益定义为从行人位置到离其最近的出口元胞欧氏距离的倒数, 其计算公式为

$$E_{ij} = \frac{1}{\sqrt{(x_{ij} - x_e)^2 + (y_{ij} - y_e)^2}} \quad (1)$$

式中: (x_{ij}, y_{ij}) 和 (x_e, y_e) 分别是行人和离行人最近出口元胞的坐标。 E_{ij} 的值越大, 表示到出口的距离越近。相反, E_{ij} 的值越小, 表示到出口的距离越远。

空格收益指的是行人邻域内元胞的收益值, 当元胞被其他人员或者墙壁占据时就没有收益, 如果是空元胞, 则收益值为 1。空格收益取值为

$$D_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{元胞为空} \\ 0, & \text{元胞被占据} \end{cases} \quad (2)$$

为了确保行人在没有指示标志的情况下能够朝一个方向进行连续运动, 而不是做无意义的来回运动, 定义了方向收益来描述行人的行为, 如图 3 所示。图 3 中圆形代表的是行人, 黑色箭头为行人上一个时间步的运动方向, 白色箭头为行人这个时间步可能的运动方向, 将这 2 个方向之间的夹角 α 称为偏离角度。当 $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$ 时, 行人这个时间步的运动方向没有偏离上一时间步的运动方向, 那么行人元胞邻域内在这个方向上的元胞收益为正; 当 $\alpha = 90^\circ$ 时, 行人这个时间步的运动方向与上一个时间步的运动方向垂直, 那么行人元胞邻域内在这个方向上的元胞没有收益; 当 $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$ 时, 行人这个时间步的运动方向已经偏离上一步的时间方向, 那么行人元胞邻域内在这个方向上的元胞收益为负。

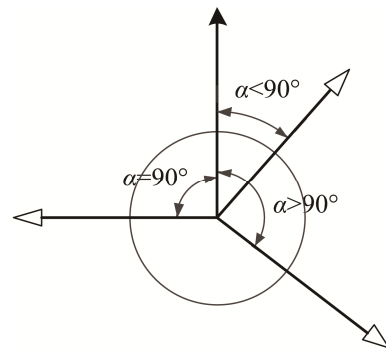


图 3 方向收益

Fig. 3 Directional benefits

方向收益取值为

$$F_{ij} = \begin{cases} 1, & 0^\circ \leq \alpha < 90^\circ \\ 0, & \alpha = 90^\circ \\ -1, & 90^\circ < \alpha \leq 180^\circ \end{cases} \quad (3)$$

在有指示标志的情况下, 行人通过指示标志得到出口位置信息。如图 4 所示, 当指示标志出现在行人视野半径 R 范围内, 行人将沿着指示标志指引的方向进行运动, 黑色实线箭头为行人下一个时间步的运动方向, 如果在这个方向上有其他行人, 那么行人将以黑色虚线箭头作为下一个时间步的运动方向, 除去这 3 个方向之外, 其他运动方向都没有收益。

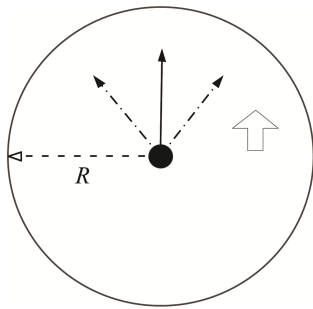


图 4 指示标志收益
Fig. 4 Indicator income

指示标志收益取值为

$$G_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{指示标志的指引方向} \\ 1, & \text{指引方向的相邻方向} \\ 0, & \text{其他方向} \end{cases} \quad (4)$$

在出口可见区, 人员将根据出口收益来运动, 即行人运动收益矩阵为

$$P_{ij} = E_{ij} \quad (5)$$

在墙壁可见区和盲目运动区, 人员将根据空格收益和方向收益来运动, 即

$$P_{ij} = aD_{ij} + bF_{ij} \quad (6)$$

式中: a, b 分别为空格收益和方向收益权重, $a+b=1$ 且 $a < b$ 。

当人员视野范围内出现知识标志时, 人员将根据空格收益和指示标志收益来运动, 即

$$P_{ij} = cD_{ij} + dG_{ij} \quad (7)$$

式中: c, d 分别为空格收益和指示标志收益权重, $c+d=1$ 且 $c < d$ 。

1.4 更新规则

模型采用并行更新规则对场景中所有的行人

位置进行更新, 具体更新如下:

- (1) 给出房间内行人的随机初始分布。
- (2) 计算行人邻域内元胞的收益值, 选取收益值最大的单元格为目标, 作为下一个时间步的目标位置。
- (3) 如果有多个具有最大收益值的单元格, 行人将以相同的概率随机选择一个单元格作为下一个目标位置。
- (4) 如果一个空元胞有多个人员竞争, 则等概率选取其中一位, 其他人员保持静止。
- (5) 当人员移动到安全出口时会被移出房间。
- (6) 当房间内没有行人则视为疏散完成, 否则重复步骤(2)~(5)直到房间内没有行人。

2 仿真结果分析

仿真场景是一个 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的房间, 对应元胞空间大小为 50×50 个元胞, 场景边界为墙壁, 出口在房间上方, 宽度为 6 个元胞, 即 2.4 m , 如图 5 所示。房间内行人初始密度 ρ (行人数量/场景内空元胞数) 取值范围为 $0.1 \sim 0.9$, 视野半径 R 大小范围为 $3 \sim 11$ 个元胞大小。

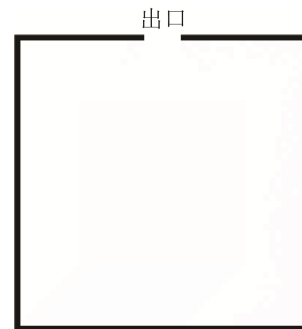


图 5 仿真场景
Fig. 5 Simulation scene

2.1 没有指示标志时行人的疏散情况

图 6 为没有指示标志的情况下随着行人初始密度的增加, 不同视野半径对疏散时间的影响。可以看出, 随着行人初始密度增大, 不同视野半径下行人的疏散时间呈增加的趋势; 在初始密度相同的情况下, 随着视野半径增大, 行人的疏散时间呈减

小的趋势。

当 $\rho=0.1$ 时,不同视野半径对行人疏散时间的影响并不显著;随着行人密度的增大,不同视野半径下疏散时间的差距开始显现出来,当 $\rho=0.3, R \leq 5$ 时行人疏散时间与其他视野半径的差距较为明显;当 $0.4 \leq \rho \leq 0.6, R=10$ 和 $R=11$ 时的疏散时间相差不多,但与其他视野半径下的疏散时间差距较明显;当 $0.7 \leq \rho \leq 0.9, R \leq 5$ 时疏散时间差距很明显, $6 \leq R \leq 8$ 时疏散时间差距较明显, $R \geq 9$ 时疏散时间差距不是很明显。

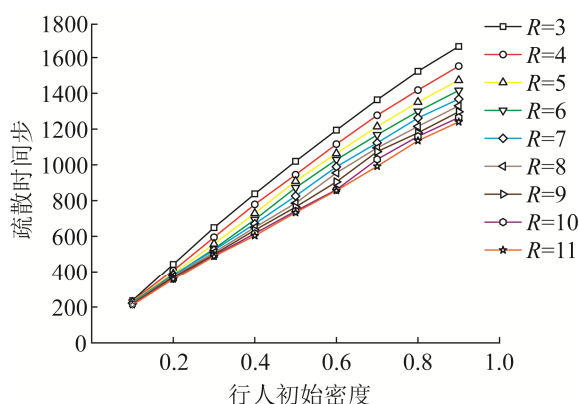


图6 没有指示标志情况下疏散时间变化
Fig. 6 Changes in evacuation time without signs

当 $\rho=0.5$ 时,没有指示标志情况下不同视野半径的行人分布如图7~9所示。当疏散时间步 $T=100$ 时,行人离开盲目运动区向墙壁可见区移动,部分行人直接从盲目运动区移动到出口可见区,看见出口后向出口运动;当 $T=400$ 时,行人沿着墙壁向出口运动,由于没有指示标志,有不少行人沿着墙壁绕了一大圈,出口两侧墙壁可见区行人分布不均匀, $R=4$ 和 $R=7$ 的情况下出口两侧墙壁可见区还有行人,而 $R=10$ 的情况下出口一侧墙壁可见区的行人已经全部离开房间;当 $T=700$ 时,出口一侧的墙壁可见区里的行人已经全部从出口离开房间,另一侧的墙壁可见区里还有行人,随着视野半径的增大,房间内没有疏散的行人越来越少。

2.2 墙壁可见区有指示标志对行人疏散的影响

墙壁可见区有指示标志的情况下,指示标志在

墙壁上,不占据元胞,只有在墙壁可见区内的行人可以看见指示标志,并根据指示标志的指引沿墙壁运动。

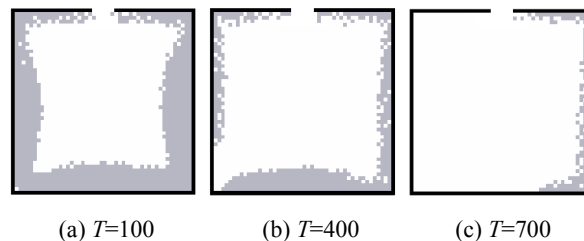


图7 $\rho=0.5, R=4$ 时行人分布
Fig. 7 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=4$

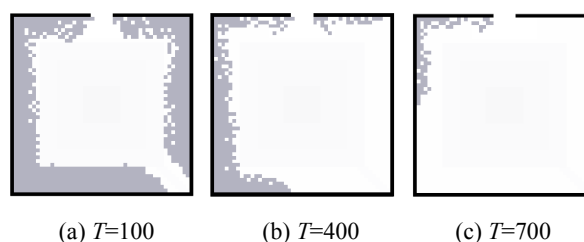


图8 $\rho=0.5, R=7$ 时行人分布
Fig. 8 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=7$

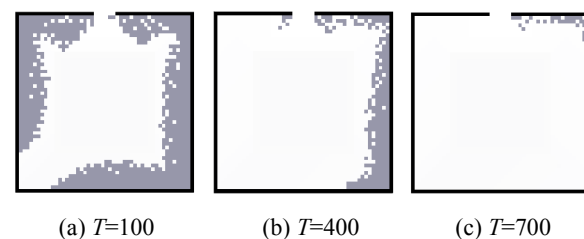


图9 $\rho=0.5, R=10$ 时行人分布
Fig. 9 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=10$

图10为墙壁可见区有指示标志的情况下随着行人初始密度的增加,不同视野半径对疏散时间的影响。随着行人初始密度增大,不同视野半径下行人的疏散时间呈增加的趋势;在初始密度相同的情况下,随着视野半径增大,行人的疏散时间呈减小的趋势。

当 $\rho=0.1$ 时,不同视野半径下行人疏散时间的差距并不明显;当 $\rho=0.3, R \leq 5$ 时行人疏散时间与其他视野半径的差距较为明显;在 $0.4 \leq \rho \leq 0.9$ 这个范围内,当 $R < 7$ 时,随着初始行人密度的增大,不同视野半径下所用的疏散时间差距越来越明显,

说明视野半径大小的变化对行人疏散的影响显著, 当 $R > 7$ 时, 不管密度如何变化, 不同视野半径下所用的疏散时间差距不明显, 说明再增大视野半径对行人疏散没有太大增益。

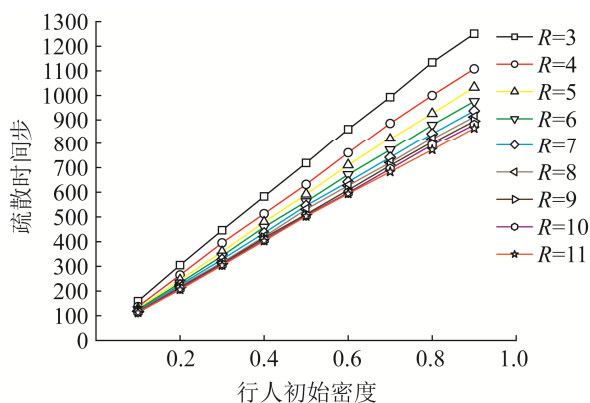


图 10 墙壁可见区有指示标志情况下疏散时间变化
Fig. 10 Changes in evacuation time when there are signs in visible area of the wall

当 $\rho=0.5$ 时, 墙壁可见区有指示标志情况下不同视野半径的行人分布如图 11~13 所示。当 $T=100$ 时, 不同视野半径情况下大部行人已经离开盲目运动区来到墙壁可见区, 并根据指示标志沿着墙壁向出口运动; 当 $T=300$ 时, $R=4$ 的情况下墙壁可见区内已经被行人占据, 而在 $R=7$ 和 $R=10$ 的情况下, 出口对面的墙壁可见区内已经没有行人, 行人都在沿着房间左右两侧的墙壁向出口运动; 当 $T=500$ 时, $R=4$ 的情况下房间内还有不少行人, 而 $R=7$ 和 $R=10$ 的情况下房间内只剩少许行人, 且两者差距不大, 由此可以看出在墙壁可见区有指示标志的情况下, 当 $R < 7$ 时, 视野半径的增大对行人疏散影响显著, 而 $R > 7$ 后, 再增大视野半径对行人疏散影响不明显。

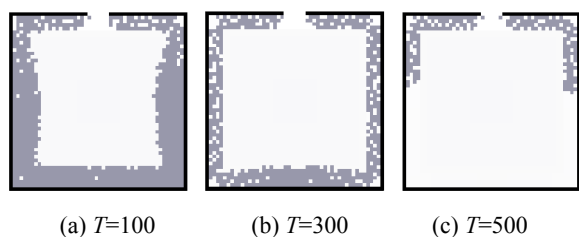


图 11 $\rho=0.5$, $R=4$ 时行人分布
Fig. 11 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=4$

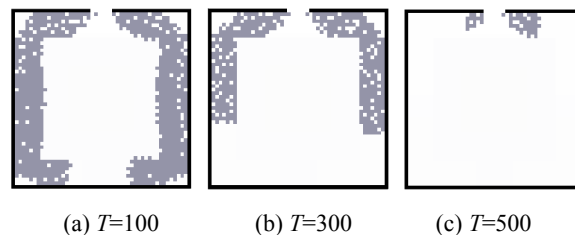


图 12 $\rho=0.5$, $R=7$ 时行人分布
Fig. 12 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=7$

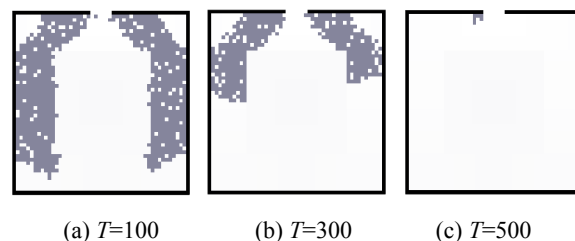


图 13 $\rho=0.5$, $R=10$ 时行人分布
Fig. 13 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=10$

2.3 盲目运动区有指示标志对行人疏散的影响

盲目运动区有指示标志的情况下, 指示标志以地标的形式分布在盲目运动区内, 不占据元胞, 盲目运动区内的行人根据指示标志向出口运动, 其他区域内行人看不见指示标志。

图 14 为盲目运动区有指示标志的情况下随着行人初始密度的增加, 不同视野半径对疏散时间的影响。在视野半径不变的情况下, 随着初始行人密度的增加, 疏散时间呈上升的趋势; 在密度不变的情况下, 随着视野半径的增大, 疏散时间也会增加, 且相邻的 2 个视野半径下行人疏散时间差距不大。

出现这种情况有以下 2 点原因: ①随着视野半径的增大, 出口可见区和墙壁可见区面积会增大, 而盲目运动区面积则会减小, 随机分布在此区域的行人也会相对减少, 分布在墙壁可见区的人则会增加, 即能看到指示标志的行人会减少, 更多的人会沿着墙壁运动, 所以疏散时间会增加; ②随着视野半径的增大, 墙壁可见区的宽度也会增加, 在这个区域运动的行人也能更快地沿着墙壁向出口运动, 从而使疏散时间减少。总体上来看, 随着视野半径的增大, 行人疏散时间有一个不明显的增加趋势。

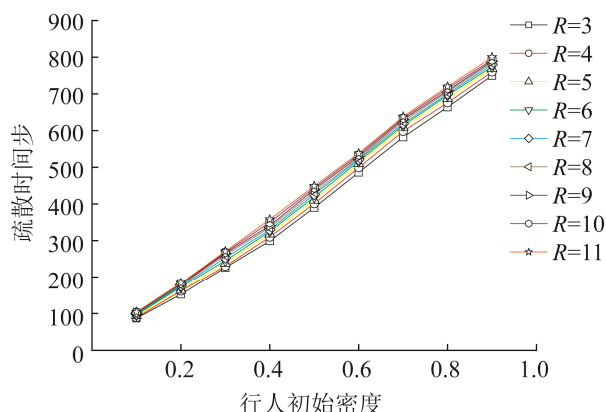


图 14 盲目运动区有指示标志情况下疏散时间变化
Fig. 14 Changes in evacuation time when there are signs in blind movement area

当 $\rho=0.5$ 时, 盲目运动区有指示标志情况下不同视野半径的行人分布如图 15~17 所示。当 $T=100$ 时, 在这 3 个不同的视野半径下, 行人都聚集在房间的上半区, 且在盲目运动区的上半部分行人呈“拱形”分布, 出现这种情况是因为盲目运动区内有指示标志使得大量行人向出口运动, 再加上墙壁可见区的行人沿着墙壁想出口运动, 而出口宽度有限, 所以行人在出口附近聚集, 从三幅图对比可以发现视野半径越大, “拱形”越小; 当 $T=200$ 时, 可以看出, $R=10$ 时, 盲目运动区上半部分的“拱形”现象已经消失, 而 $R=4$ 和 $R=7$ 时还有较明显的“拱形”现象, 这也说明了随着视野半径的增大, 中间盲目运动区域变小, 随机分布在此区域的行人减少, 那么由此区域向出口运动的行人能更快离开房间; 当 $T=300$ 时, 房间内剩余行人大部分在墙壁可见区, 视野半径越大, 房间内剩余的行人也越多。

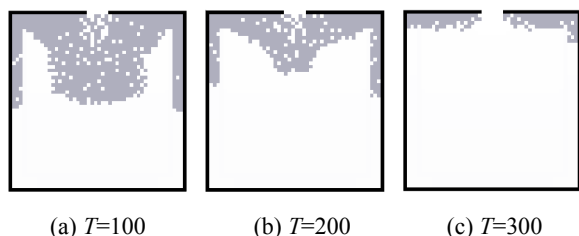


图 15 $\rho=0.5$, $R=4$ 时行人分布
Fig. 15 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=4$

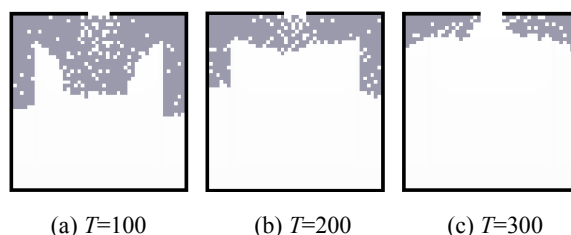


图 16 $\rho=0.5$, $R=7$ 时行人分布
Fig. 16 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=7$

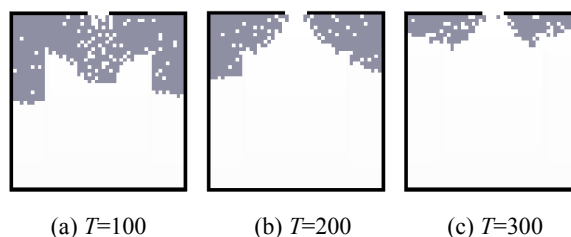


图 17 $\rho=0.5$, $R=10$ 时行人分布
Fig. 17 Pedestrian distribution when $\rho=0.5$ and $R=10$

2.4 疏散区域内有无指示标志对比分析

对没有指示标志、墙壁可见区有指示标志以及盲目运动区有指示标这 3 种情况进行对比分析, 在图 18, 19 中将没有指示标志的情况简称为“无”, 将墙壁可见区有指示标志的情况简称为“墙壁”, 将盲目运动区有指示标的情况简称为“盲目”。

图 18 为 $\rho=0.5$ 时, 3 种情况下疏散时间随着视野半径变化的关系。有指示标志和没有指示标志所用的疏散时间差距明显; 盲目运动区有指示标志的情况所用的疏散时间要小于另外 2 种情况, 但随着视野半径的增大其疏散时间与另外 2 种情况的差距在逐渐减小; 盲目运动区有指示标志的情况下所用的疏散时间的最大值最小值差距不大, 而另外 2 种情况下差距明显, 这说明视野半径的增大对盲目运动区有指示标志这种情况的影响不如对另外 2 种情况的影响显著。

图 19 为 $R=7$ 时 3 种情况下疏散时间随着初始行人密度的关系。随着密度的增大, 3 种情况下疏散时间都有一个上升的趋势; 在没有指示的情况下疏散时间随密度增大而上升的幅度要超过另外 2 种情况, 这说明在没有指示标志的情况下, 行人密度的增加对疏散时间的影响要比另外 2 种情况显著; 在密度和视野半径相同的情况下, 盲目运动区有指

示标志行人所用的疏散时间要小于另外 2 种情况。

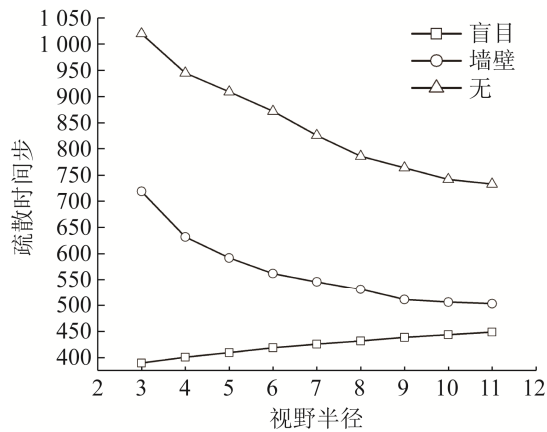


图 18 $\rho=0.5$ 时 3 种情况下疏散时间随视野半径变化

Fig. 18 Evacuation time varies with field of view radius under three conditions when $\rho=0.5$

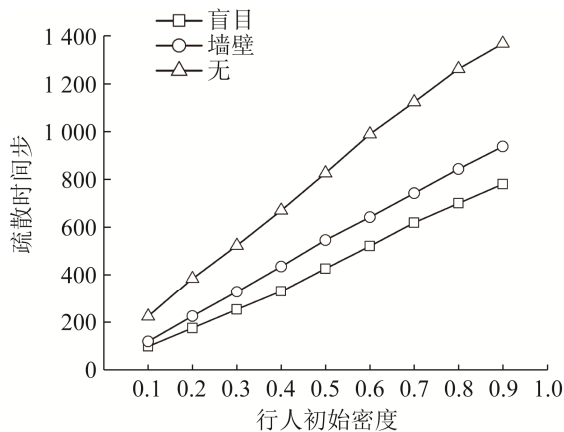
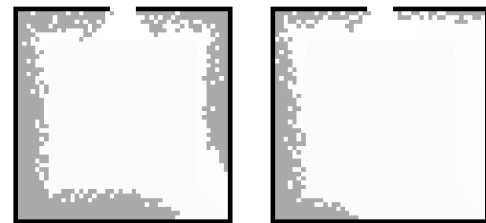


图 19 $R=7$ 时 3 种情况下疏散时间随行人初始密度变化

Fig. 19 Evacuation time varies with initial density of pedestrians under three conditions when $R=7$

当 $\rho=0.5$, $R=7$ 时, 没有指示标志、墙壁可见区有指示标志和盲目运动区有指示标志的情况下行人分布如图 20~22 所示。当 $T=200$ 时, 盲目运动区有指示标志的情况下行人分布于房间的上半区, 比另外 2 种情况离出口更近, 这是因为另外 2 种情况下只有小部分行人刚好从盲目运动区运动到出口可见区, 从出口离开房间, 大部分行人则是沿着墙壁运动找到出口, 而盲目运动区有指示标志的情况下, 不少行人直接根据指示标志向出口运动, 再加上墙壁可见区的行人沿墙壁向出口运动, 这样对出口的利用率要高于其他 2 种情况; 当 $T=400$ 时, 盲目运动区有指示标志的情况下房间内只剩下少数行人,

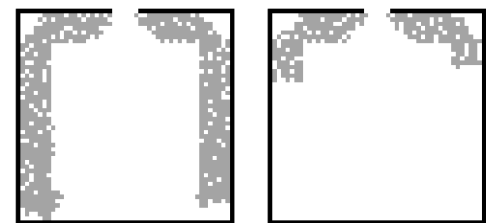
墙壁可见区有指示标志的情况下房间内还剩部分行人, 没有指示标志的情况下房间内还剩不少行人, 再对比后 2 种情况可以发现, 墙壁可见区有指示标志的情况下出口两侧行人数量相差不多, 而没有指示标志情况下出口一侧行人要明显多于另一侧, 而且在墙壁可见区有指示标志的情况下房间墙角处没有行人, 这是因为行人在运动到墙角处附近看到指示标志开始调整方向, 而无需一直地向前运动直到前方是墙壁才开始转向。从图 20~22 可以更直观地看出, 在密度和视野半径相同的情况下, 盲目运动区有指示标志的行人疏散时间小于另外 2 种情况。



(a) $T=200$

(b) $T=400$

图 20 $\rho=0.5$, $R=7$ 时无指示标志情况下行人分布
Fig. 20 Distribution of pedestrians when $\rho=0.5$ and $R=7$ without an indicator



(a) $T=200$

(b) $T=400$

图 21 $\rho=0.5$, $R=7$ 时墙壁可见区有指示标志情况下行人分布
Fig. 21 Distribution of pedestrians with signs in visible area of wall when $\rho=0.5$ and $R=7$



(a) $T=200$

(b) $T=400$

图 22 $\rho=0.5$, $R=7$ 时盲目运动区有指示标志情况下行人分布
Fig. 22 Distribution of pedestrians in blind movement area with indicators when $\rho=0.5$ and $R=7$

3 结论

(1) 随着行人初始密度的增大, 行人疏散所用的时间呈增长的趋势, 在房间内没有指示标志的情况下, 疏散时间增长的幅度要大于另外 2 种情况。

(2) 在房间内没有指示标志的情况以及墙壁可见区有指示标志的情况下, 随着视野半径增大, 行人疏散时间呈减少的趋势, 当视野半径增大到一定值后, 继续增大视野半径, 疏散时间没有明显减少。

(3) 与其他 2 种情况不同, 在盲目运动区有指示标志的情况下, 随着视野半径增大, 行人疏散时间呈增大的趋势, 且相邻的 2 个视野半径下行人疏散时间差距不大。

(4) 当初始行人密度和视野半径相同时, 房间内有指示标志情况下行人所用疏散时间要明显小于没有指示标志的情况; 而在房间内有指示标志的情况下, 盲目运动区有指示标志时行人疏散效率要高于墙壁可见区有指示标志。

参考文献:

- [1] 钟少波, 余致辰, 杨永胜, 等. 基于社会力模型的机场人员疏散建模研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(10): 3648-3656.
Zhong Shaobo, Yu Zhichen, Yang Yongsheng, et al. Study on Evacuation Modeling of Airport Based on Social Force Model[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(10): 3648-3656.
- [2] Helbing D, Buznal L, Johansson A, et al. Self-organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations, and Design Solutions[J]. Transportation Science (S0041-1655), 2005, 39(1): 1-24.
- [3] Kirchner A, Schadschneider A. Simulation of Evacuation Processes Using a Bionics-inspired Cellular Automaton Model for Pedestrian Dynamics[J]. Physica A (S0378-4371), 2002, 312(1/2): 260-276.
- [4] 李阳, 陈建忠, 张倩, 等. 考虑环境熟悉度的行人疏散模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2016, 26(4): 168-174.
Li Yang, Chen Jianzhong, Zhang Qian, et al. Research on Pedestrian Evacuation Model Considering Environmental Familiarity[J]. China Safety Science Journal, 2016, 26(4): 168-174.
- [5] 宋英华, 张宇, 霍非舟, 等. 考虑避让行为的人员疏散元胞自动机模型研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(6): 975-981.
Song Yinghua, Zhang Yu, Huo Feizhou, et al. Study on Evacuation Cellular Automaton Model Considering Avoidance Behavior[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(6): 975-981.
- [6] Helbing D, Isobe M, Nagatani T, et al. Lattice Gas Simulation of Experimentally Studied Evacuation Dynamics[J]. Physical Review E (S2470-0045), 2003, 67: 1-4.
- [7] 高国平, 管昌生. 考虑帮助行为的人员疏散元胞自动机模型[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(1): 56-61.
Gao Guoping, Guan Changsheng. A Helping Behavior-considering Cellular Automaton Model for Evacuation from a Building[J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(1): 56-61.
- [8] 陈长坤, 孙华锴, 童蕴贺, 等. 基于元胞自动机的火源威胁下人员疏散模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(10): 47-52.
Chen Changkun, Sun Huakai, Tong Yunhe, et al. Personnel Evacuation Model Under Fire Source Threat Based on Cellular Automata[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(10): 47-52.
- [9] 徐福顺, 丁赛喆, 侯亚楠, 等. 考虑行人避障行为的元胞自动机模型[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2021, 43(2): 247-254.
Xu Fushun, Ding Saizhe, Hou Yanan, et al. Cellular Automata Model Considering Pedestrian Obstacle Avoidance Behavior[J]. Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition), 2021, 43(2): 247-254.
- [10] 岳昊, 邵春福, 关宏志, 等. 基于元胞自动机的行人视线受影响的疏散流仿真研究[J]. 物理学报, 2010, 59(7): 4499-4507.
Yue Hao, Shao Chunfu, Guan Hongzhi, et al. Simulation of Pedestrian Evacuation Flow with Affected Visual Field Using Cellular Automata[J]. Acta Physica Sinica, 2010, 59(7): 4499-4507.
- [11] 杨灿, 陈群, 陈璐. 考虑在能见度受限下行人跟随行为特性的建模与模拟[J]. 物理学报, 2019, 68(24): 81-95.
Yang Can, Chen Qun, Chen Lu. Following Behaviors of Visibility-limited Pedestrians[J]. Acta Physica Sinica, 2019, 68(24): 81-95.
- [12] Geng Zhongfei, Li Xingli, Kuang Hua, et al. Effect of Uncertain Information on Pedestrian Dynamics under Adverse Sight Conditions[J]. Physica A (S0378-4371), 2019, 521: 681-691.
- [13] Li Xingli, Guo Fang, Kuang Hua, et al. An Extended Cost Potential Field Cellular Automaton Model for Pedestrian Evacuation Considering the Restriction of Visual Field[J]. Physica A (S0378-4371), 2019, 515: 47-56.