

# 基于元胞自动机的行人视线受影响的 疏散流仿真研究\*

岳 昊<sup>1)2)</sup> 邵春福<sup>1)†</sup> 关宏志<sup>2)</sup> 段龙梅<sup>3)</sup>

1) (北京交通大学城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

2) (北京工业大学交通研究中心, 北京 100124)

3) (吉林省公路勘测设计院, 长春 130021)

(2009 年 6 月 29 日收到; 2009 年 10 月 29 日收到修改稿)

基于元胞自动机对视线受影响的行人疏散流进行仿真研究. 模型根据行人视野半径将疏散空间划分为可见安全出口区域、可见墙壁区域和盲目区域; 利用两个动态参数描述行人在不同移动区域内的疏散特征, 从而决定行人的行为选择, 包括行人定向移动、沿墙移动和正常疏散移动等行为. 仿真研究了行人在墙壁上存在疏散指示标志的疏散空间内, 视线受影响时采用随机定向寻墙沿墙移动疏散策略的情况下, 行人视野半径对行人疏散时间的影响. 研究表明, 行人疏散时间不仅受行人视野半径的影响, 而且还与安全出口的宽度和安全出口利用率有关.

**关键词:** 元胞自动机, 行人疏散流, 动态参数, 视野半径

**PACC:** 0550, 0520, 6470

## 1. 引 言

行人流理论是行人设施和聚集活动场所设计以及行人流管理、控制和诱导的基础理论之一, 合理规划和设计行人设施和行人交通规则需要掌握和理解行人流的微观和宏观特征. 基于行人微观特征的宏观行人流仿真, 已成为探索不同环境下宏观行人流特征的主要手段. 行人疏散流作为行人流的重要组成部分, 是交通流和颗粒流领域的研究热点. 行人疏散流具有向安全出口聚集, 竞争安全出口空间, 离开疏散空间的特征. 在由于停电火灾等紧急事件导致行人视线受影响的情况下, 行人会采取与正常疏散情况不同的疏散策略进行疏散, 呈现不同的疏散流宏观特征. 因此, 探索行人视线受影响的疏散流宏观特征和现象的生成机理是行人疏散流仿真研究的热点和重点. 同时, 随着科学技术的发展, 自驱动的机器人将会在安全和救灾等领域被广泛应用, 视线受影响的自驱动机器人同样会面临疏散路径选择的问题. 因此, 基于仿真的视线受影响的行人疏散理论在指导行人聚集设施设计和

管理的同时, 将会为未来自驱动机器人的疏散路径选择提供理论指导.

在行人流的仿真研究中, 基于元胞自动机(CA)的仿真技术已经被广泛应用于行人疏散流的仿真研究, 包括领域模型(floors model)<sup>[1-6]</sup>、格子气模型(lattice gas model)<sup>[7,8]</sup>、动态参数模型(dynamic parameters model)<sup>[9]</sup>、实地编码模型(real-coded model)<sup>[10]</sup>、多网格模型(multi-grid)<sup>[11]</sup>等. 文献[12]将摩擦力、排斥力、吸引力引入到元胞自动机模型中, 并用于行人疏散行为的研究; 文献[13]仿真研究了紧急情况下的行人疏散特征; 文献[14]基于元胞自动机模型仿真研究了多种移动速度的行人疏散; 文献[15]仿真研究了行人完全没有视线情况下的行人疏散特征; 文献[16]仿真研究了疏散空间内存在障碍物情况下的行人疏散过程. 文献[17]仿真研究了行人成对的整体跟随现象对行人疏散动力学的影响.

在目前的研究中, 行人常常被假设为对自身周围的情况、安全出口的位置、障碍物布局等疏散环境是全知的, 而对行人视线受影响、对自身疏散环境部分感知的行人疏散研究相对较少. 行人在实际

\* 国家重点基础研究发展计划(批准号:2006CB705500)、国家科技支撑计划(批准号:2006BCG01A01)和国家自然科学基金(批准号:50678004)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: cfshao@center.njtu.edu.cn

的疏散和移动过程中,其移动目的地可以在任意方向.因此,为描述行人移动目标方向的任意性,针对在行人移动规则中行人只能向正前方移动的局限性,本文提出了行人在其移动领域内向任意固定方向前进的移动规则.视线受影响的行人疏散是一个复杂的动态过程,不同于正常疏散,拥有自身的疏散过程和行人移动特征.疏散过程受疏散指示标志的位置、安全出口宽度、疏散环境能见度、行人对环境熟悉程度、疏散策略、恐慌程度以及个体对环境认识差异等诸多环境和行人特征的影响.在视线受影响的疏散环境中,行人视野描述对自身周围疏散环境的感知范围.当在视野范围内看不见安全出口也不被引导时,行人将处于盲目位置,会采取盲目随机移动策略和理智搜索移动策略.论文着重分析研究在不考虑行人个体差异和恐慌程度的条件下,安全出口宽度、行人视野半径、理智搜索移动策略对疏散时间和疏散过程的影响.

本文利用动态参数模型<sup>[18,19]</sup>的两个基本参数(方向参数和空格参数),对在视线受影响、疏散空间墙壁上存在疏散指示标志、无恐慌踩踏行为情况下的行人疏散流进行仿真研究.从行人采用随机定向寻墙、沿墙移动疏散策略的角度,分析行人视野半径对行人疏散时间的影响,以及行人疏散流的演化过程.

## 2. 模 型

### 2.1. 疏散空间

行人疏散是一个复杂的动态过程,行人在疏散移动的过程中主要是通过视觉和听觉来获取疏散空间内和自身周围的疏散信息,对疏散信息做出判断后决定自己的疏散策略和移动行为.在疏散空间的地面或墙壁上通常会安装有疏散指示标志,为不熟悉疏散环境和视觉或听觉受影响的行人提供疏散指示.同时,在遇到火灾等紧急事件的疏散中,通常熟悉疏散环境的工作人员也会作为移动疏导人员指导行人疏散.在疏散空间中把对行人疏散起到诱导指示作用的标志和人员统称为疏散指示标志,包括灯光、声音、移动工作人员等.由于疏散空间的大小、行人对疏散指示标志感知能力的个体差异、不同疏散指示标志显示信息的强弱差异,使得行人与疏散指示标志之间存在一定的辨识距离.当行人

的感知能力受到影响时,往往会表现为辨识距离的缩短,即缩短行人与疏散指示标志之间的距离,行人才能辨识疏散指示标志.为突出研究重点,受影响的感知能力对疏散策略和路径选择等疏散过程和时间的影响,模型将听觉、视觉等感官获取信息的范围统称为行人视野.行人视野即行人可辨识疏散信息的范围,在视野内行人可以清楚地判断目标.模型假设行人的视野范围为以行人为中心的可见圆,圆的半径为视野半径 $R$ ,视野半径将随感知能力受影响程度的大小而改变,如图1所示.

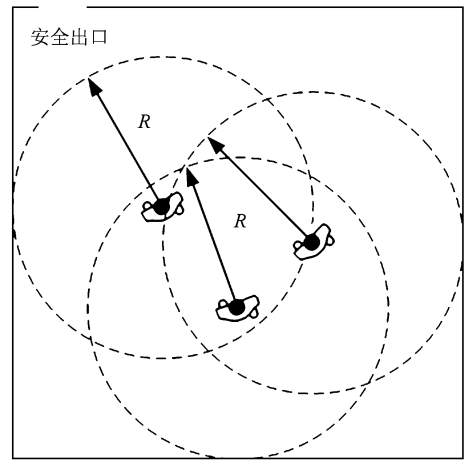


图1 疏散行人的视野范围及其视野半径 $R$

在疏散空间内,疏散指示标志根据其在行人疏散过程中的位置是否改变可以分为静止和移动两类疏散指示标志.静止疏散指示标志位置不变,如安装在地面或墙面的安全出口方向标志;移动疏散指示标志的位置会根据行人疏散过程发生改变,如移动的工作人员指导行人疏散.为突出行人在不同疏散区域内的移动特征,模型假设疏散指示标志安装在墙壁上,标志为安全出口方向.

### 2.2. 疏散策略

在行人视线受影响的情况下,由于行人在疏散环境的某些区域看不到安全出口或疏散空间的墙壁,因此依据 $R$ ,疏散空间可以划分为可见安全出口区域、可见墙壁区域和盲目区域,如图2所示.在盲目区域内行人不可见墙壁和安全出口.

由于疏散房间的安全出口一定安置在房间墙壁上且墙壁上装有指示安全出口方向的疏散指示标志,因此,视线受影响的行人顺着墙壁在指示安全出口方向疏散指示标志的指引下移动一定能找

到安全出口, 离开疏散空间. 在实际视线受影响的疏散环境中, 盲目区域的疏散行人由于看不见安全出口和疏散指示标志, 行人移动没有目的性和方向性, 处于盲目状态. 行人的随机盲目移动将会导致疏散时间的增加. 为减少移动的盲目性以缩短疏散时间, 盲目区域的疏散行人通常会随机选择某一确定的方向移动; 待移动进入可见墙壁区域后, 再按照疏散标志的指引顺指示安全出口的方向沿墙移动; 直到进入可见安全出口区域后, 选择安全出口的方向移动并离开疏散空间(如图 3 所示), 疏散行人的整个移动过程表现为朝墙迂回行走. 因此, 模型采用行人随机定向寻墙、沿墙移动的疏散策略, 对行人疏散流进行仿真研究.

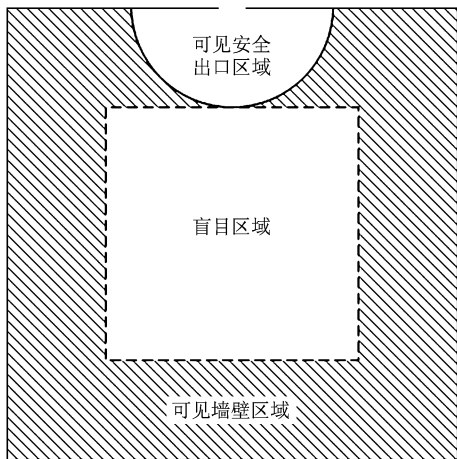


图 2 疏散空间内的区域划分

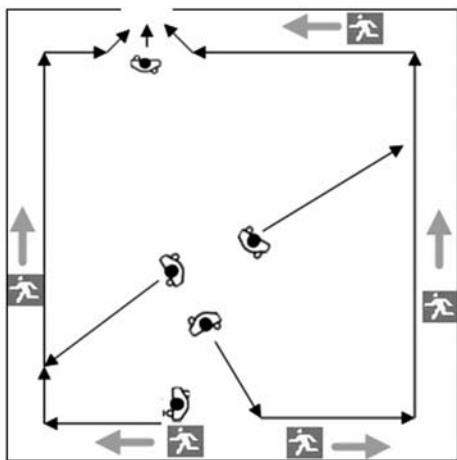


图 3 疏散行人盲目区域随机定向寻墙移动、可见墙壁区域沿墙移动

### 2.3. 基本规则

行人疏散仿真模型建立在大小为  $(W + 2) \times (W + 2)$  的二维离散元胞网格系统内, 即把行人疏散空间的移动区域分割为  $W \times W$  个大小相等的离散元胞空格,  $W$  用来衡量系统规模; 用障碍物占据系统边界元胞形成房间围墙, 在墙上留有空格元胞作为房间的安全出口. 在系统内, 每个空格位置只能容纳一个行人; 每个行人也只能占据一个元胞空格. 行人的仿真过程也被离散化为相等的时间步长, 在每个离散的时间步长内, 行人仅仅能移动一个元胞的位置, 行人或停止等待, 或以最大的速度  $V_{\max} = 1$  移动. 行人不能穿越和跨越围墙, 只能通过房间安全出口离开系统, 疏散行人离开系统后将不再进入系统.

在模型演化的每个离散时间步长内, 行人可以等待或者向自己周围的 8 个方向移动, 移动领域如图 4(a) 所示. 行人移动领域内的 9 个备选位置都拥有自己的动态参数和移动收益(如图 4(b) 所示).

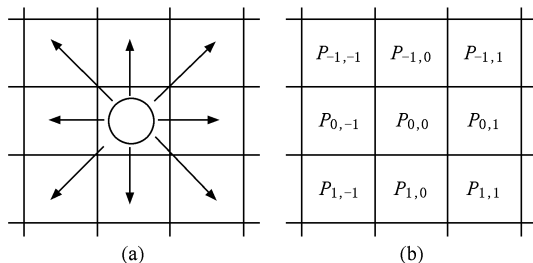


图 4 疏散行人移动领域及其相应的移动收益矩阵 (a) 行人移动领域, (b) 移动收益矩阵

模型假设疏散行人在不同的疏散区域内拥有不同的微观移动行为, 而且在相同的疏散区域内, 疏散行人的微观移动行为是一致的. 在可见安全出口区域内, 疏散行人选择安全出口的方向移动, 并通过安全出口离开疏散空间; 在盲目区域内, 疏散行人在其移动领域内的 8 个移动方向内以等概率随机选取一个方向, 并固定地沿该方向一直移动, 直到进入可见墙壁区域内才改变移动方向; 在可见墙壁区域内, 疏散行人按照疏散标志的指示沿墙壁移动, 直到进入可见安全出口区域才改变移动方向. 模型同时假设每个行人的  $R$  相同.

移动收益是方向参数 (direction-parameter) 和空格参数 (empty-parameter) 两个动态参数值的总和. 两个动态参数的值是根据行人所处移动区域的类

型、行人的移动方向、移动领域内元胞距安全出口的最短距离、以及行人周围疏散环境的变化而变化的. 移动收益的计算为

$$P_{ij} = D_{ij} + E_{ij}, \quad (1)$$

其中,  $P_{ij}$  为移动收益,  $D_{ij}$  为方向参数,  $E_{ij}$  为空格参数.

在疏散行人占据中心位置的移动领域内, 与其对应的空格参数矩阵元素的值为

$$D_{ij} = \begin{cases} \frac{S_{00} - S_{ij}}{1} & (i + j = 1, -1, \text{垂直水平方向}), \\ \frac{S_{00} - S_{ij}}{\sqrt{2}} & (i + j = 0, -2, 2, \text{斜线方向}), \end{cases} \quad (3)$$

其中  $S_{00}$  为移动领域中心位置距安全出口的最短距离,  $S_{ij}$  为行人移动领域内元胞  $(i, j)$  距安全出口的最

$$S_{xy} = \begin{cases} \min_m(\min_n(\sqrt{(x - x_n^m)^2 + (y - y_n^m)^2})) & (\text{元胞}(x, y) \text{ 为空格}), \\ M & (\text{元胞}(x, y) \text{ 为墙}), \end{cases} \quad (4)$$

其中  $S_{xy}$  为元胞  $(x, y)$  距安全出口的最短距离,  $(x, y)$  为元胞在疏散系统中的坐标,  $(x_n^m, y_n^m)$  为可见安全出口区域内第  $m$  个门内的第  $n$  个元胞在疏散系统中的坐标,  $M$  为无穷大, 说明墙对行人几乎没有吸引力.

2) 疏散行人在盲目区域内时, 行人有 8 个可以选择的路线方向移动, 而且在此区域内行人的移动目标方向保持不变, 因此不同移动目标方向的行人拥有不同的方向参数. 在每个移动目标方向下, 行人移动领域内的方向参数矩阵如图 5 所示.

3) 疏散行人在可见墙壁区域内时, 行人只能与墙平行地沿墙作顺时针或逆时针方向移动(如图 3 所示). 在到达墙角转弯处之前, 行人的移动目标方向保持不变, 且盲目区域以及墙壁始终在行人的两侧. 当行人的位置不毗邻墙壁或盲目区域时, 每个路线方向下行人移动领域内的方向参数矩阵如图 6(a)~(d) 所示; 当行人的位置毗邻墙壁或盲目区域时, 每个路线方向下行人移动领域内的方向参数矩阵如图 6(e)~(h) 所示. 图 6 中, 阴影部分的元胞位置为墙壁或盲目区域.

当行人移动到墙角时, 行人也会随着墙壁的转弯而做相应转弯. 行人沿墙移动到能看见墙壁拐角

$$E_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{空的元胞位置}) \\ 0 & (\text{中心元胞位置}) \\ -1 & (\text{他人占据元胞位置}) \end{cases}. \quad (2)$$

疏散行人在不同的移动区域内拥有不同的移动目的地和方向, 其不同移动区域内方向参数值的计算方法如下:

1) 疏散行人在可见安全出口区域内时, 与行人移动领域对应的方向参数矩阵元素的值为

短距离.

元胞位置距安全出口的最短距离为

点的元胞位置时发生转弯, 即满足下式时行人随墙转弯并沿新的墙壁前进:

$$(D_1 + D_2 - 1) \leq R, \quad (5)$$

其中,  $D_1$  和  $D_2$  分别为行人距两个相邻墙壁的距离.

## 2.4. 演化规则

模型采用并行更新机理, 在仿真模型的演化规则中, 每个行人都必须遵守如下行人移动规则:

1) 在每一时间步长  $t$  内, 疏散行人只能移动一个元胞的长度. 行人有 9 个可选的位置作为自己的下一步目标位置. 2) 疏散行人在选择自己的下一步目标位置时, 首先计算和判断自己移动领域内 9 个被选位置的移动收益, 并选择拥有最大收益值的位置作为自己下一步的目标位置. 3) 在疏散行人选择下一目标位置时, 当移动领域内存在多个拥有移动收益最大值的元胞位置时, 行人在这些元胞中以相同的概率随机选择一个元胞作为自己的下一步目标位置. 4) 在模型演化过程中, 由于存在多个行人同时竞争一个空闲位置的情况, 因此行人之间会存在位置冲突. 当行人之间存在位置冲突时, 系统将会以相等概率随机选择一个行人占据该位置, 被选择的行人将在下一步内移动到目标位置, 没有被选中的

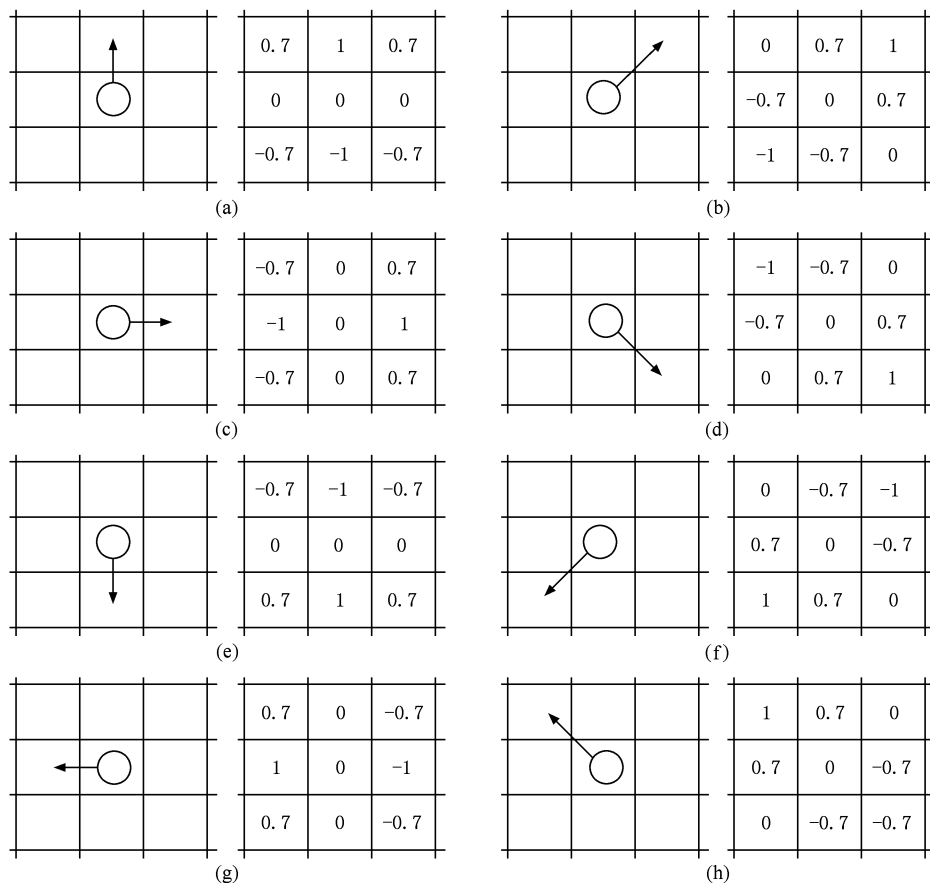


图5 盲目区域内行人的移动方向及其相应的方向参数矩阵 (a)向上,(b)右上,(c)向右,(d)右下,(e)向下,(f)左下,(g)向左,(h)左上

行人将留在原地保持位置不变.5)在模型演化过程中,只有当两个行人同时选择对方当前的位置作为自己下一步的目标位置时,行人之间才交换彼此的位置.当行人之间位置交换的条件满足时,位置交换一定会成功完成;但行人之间位置交换的条件不满足时,行人将会保持原有的位置不变,不作任何移动.6)当疏散行人移动到安全出口内时,在下一时间步长内,行人将移出系统.7)当疏散房间内的所有疏散行人都移出系统后,房间内没有行人存在时,仿真过程结束.

在并行更新机理的演化规则中,模型在每个时间步长内需要并行地把行人的移动规则应用到每一个人,并做相应的数据统计工作.

### 3. 仿真分析

在仿真研究中,疏散行人流的密度定义为系统内的行人数量  $N$  与行人移动区间内的元胞数量  $W \times W$  之比;行人疏散时间  $T$  定义为系统内所有疏

散行人离开房间时所需要的时间步数.在仿真过程中,为减少仿真初始状态对各项统计指标的影响,每项统计指标分别取 10 次运行指标的平均值.在仿真的初始时刻,所有疏散行人随机地分布在房间内,安全出口内没有布置行人.当行人全部离开房间后,仿真过程终止.

在  $W=20$ ,单个安全出口、位置在墙壁中间的情况下进行仿真  $R$  对行人疏散流宏观特征的影响情况.图 7 显示了不同行人初始密度  $K$ 、安全出口宽度  $L=2$  和  $L=4$  的情况下行人疏散时间随  $R$  的变化曲线.图 8 显示了不同  $L, K=0.2$  和  $K=0.4$  的情况下  $T$  随  $R$  的变化曲线.图 9 显示了  $W=20$ ,单安全出口,  $L=2, R=6$  的行人疏散演化过程.图 10 显示了  $W=20$ ,单安全出口,  $L=4, R=1$  的行人疏散演化过程.

从图 7 和图 8 可以看出,当  $L \leq 2$  时,  $T$  受  $R$  的影响比较小,  $T$  不会随  $R$  的变化而改变,此时决定  $T$  的因素是  $K$  和  $L$ .但  $L > 2, R$  较小时,  $T$  随  $R$  的增加而减少,同时,随着  $K$  的增加,曲线的弯曲程度逐渐剧烈;但随着  $R$  的逐渐增加,  $T$  将会趋于稳定,最后

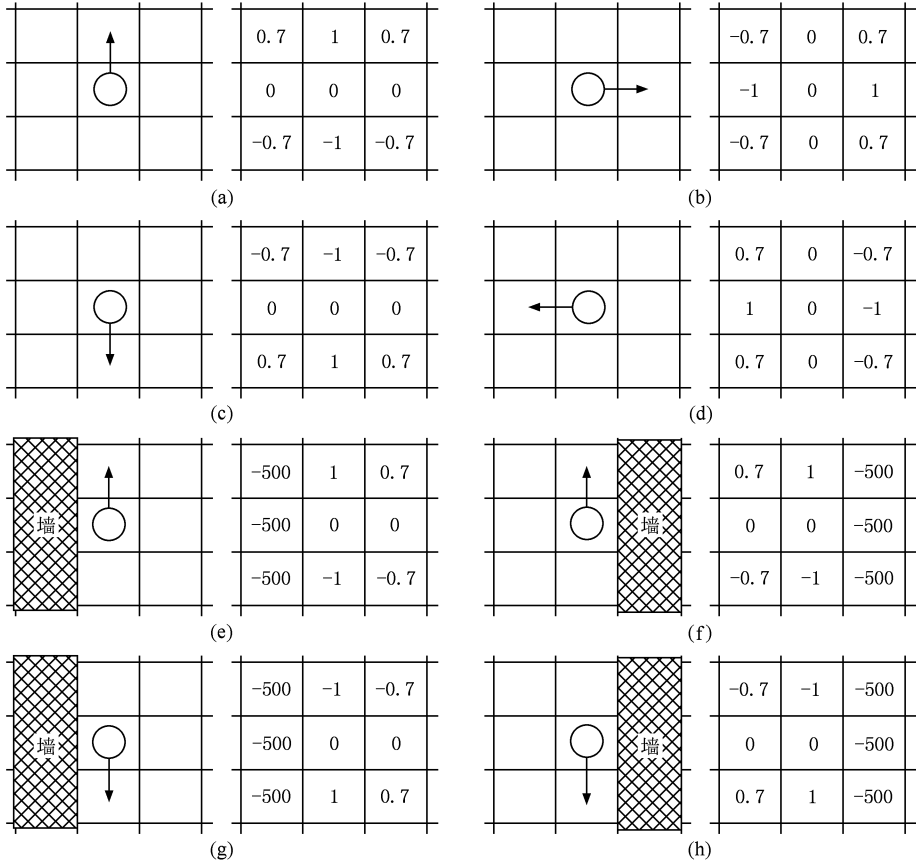


图6 可见墙壁区域内行人的移动方向及其相应的方向参数矩阵 (a)向上,(b)向右,(c)向下,(d)向左,(e)向上,(f)向上,(g)向下,(h)向下

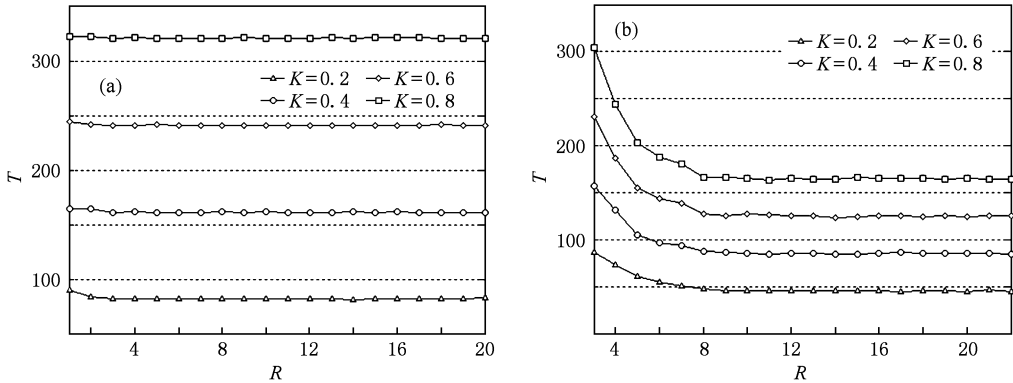


图7 系统规模  $W=20$  不同行人初始密度的疏散时间随视野半径的变化曲线 (a) $L=2$ , (b) $L=4$

保持不变,曲线保持水平后决定  $T$  的因素是  $K$  和  $L$ . 从图 8 可以看出,当  $L > 2$ ,在  $R$  比较小的情况下, $L$  对  $T$  的影响比较小,曲线几乎相互重合.产生这些现象的主要原因是,本文采用了理智搜索安全出口的行人疏散策略,所有行人最终都将会离开疏散空间,同时,决定  $T$  的主要因素除  $K$  外,还有安全出口的饱和通行能力和其实际利用率.

当  $L \leq 2$  时,由于疏散环境中布设有疏散指示标志,在可见安全出口区域外的行人通过疏散标志的指示沿墙向安全出口聚集,安全出口的两个元胞位置将被完全利用,疏散能力达到了安全出口的饱和通行能力(如图 9 所示).虽然随着  $R$  的增加,行人将会以更短的时间向安全出口前聚集,即在很短的时间内安全出口的实际利用率达到 100%,但行人

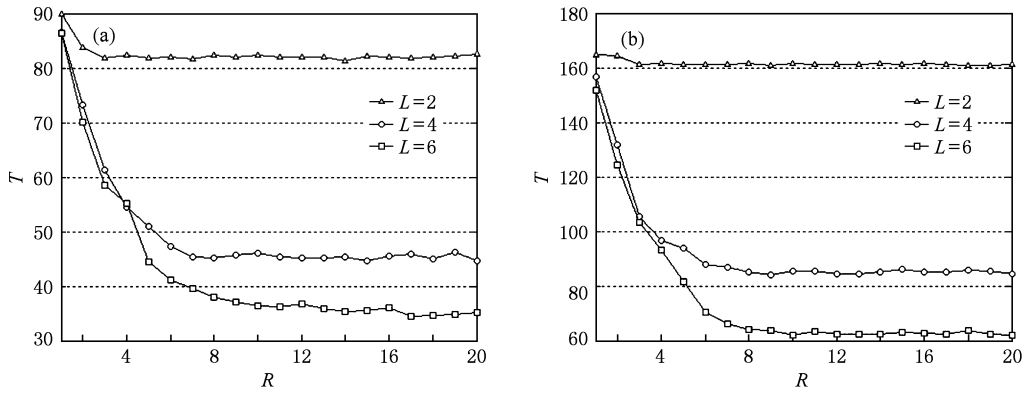


图 8 系统规模  $W=20$  不同安全出口宽度的疏散时间随视野半径的变化曲线 (a)  $K=0.2$ , (b)  $K=0.4$

的快速聚集不能提高安全出口的饱和通行能力,因此在  $L \leq 2$  的情况下,  $T$  对  $R$  的依赖程度很小,对  $K$  和  $L$  的依赖程度很大.

当  $L > 2$  时,在  $R$  比较小的情况下,行人将会依照疏散标志沿墙进入可见安全出口区域,很小的  $R$  导致在墙附近生成很窄的通道,从而限制了进入可见安全出口区域的行人数量,导致疏散行人对安全出口的利用率非常低(如图 10 所示).因此  $L$  对  $T$  的影响很小,此时影响  $T$  的因素是安全出口的利用率,即  $R$  对安全出口利用率的影响.

随着  $R$  的逐渐增加,可见安全出口区域面积增加,同时沿墙形成的行人移动通道逐渐增宽,行人落

在可见安全出口区域的概率增大,盲目区域内的行人按照疏散标志沿墙进入可见安全出口区域的时间也相应缩短.因此,降低了行人在安全出口前聚集的时间,从而提高安全出口的利用率,降低  $T$ . 当  $R$  的增加导致安全出口流量达到其饱和通行能力时,安全出口的利用率达到 100%,由于  $R$  的增加不会提高安全出口的通行能力,因此,行人的  $T$  将稳定不变.此时,影响行人疏散时间的因素是  $L$  和  $K$ .

通过分析发现,在行人视线受影响的疏散系统中,影响  $T$  的关键因素是安全出口的饱和通行能力、安全出口的利用率和  $K$ . 通行能力越高、利用率越高、密度越低,  $T$  越短. 因此,在实际的行人聚集设

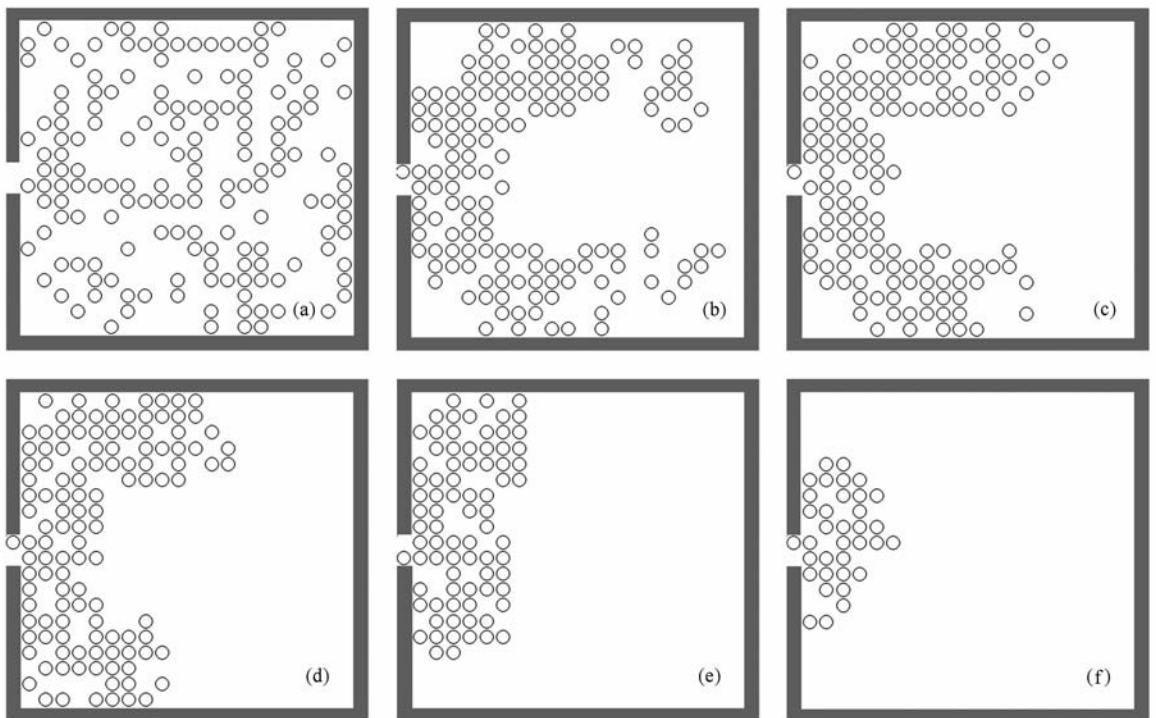


图 9  $W=20, L=2, R=6$  时行人疏散流演化过程 (a)  $t=0$ , (b)  $t=12$ , (c)  $t=20$ , (d)  $t=40$ , (e)  $t=81$ , (f)  $t=126$

施设计和管理中,为减少在断电、火灾等影响行人视线的突发事件中行人的  $T$ ,需要通过增加  $L$  或安全出口数量来提高安全出口的饱和通行能力,或者通过清除影响安全出口通行能力的不良因素来保障安全出口的畅通,以防止安全出口通行能力的下降;在理想的视线受影响的行人疏散中,行人到达安全出口前的时间将影响安全出口的利用率,  $R$  是影响行人到达安全出口前时间和安全出口利用率的主要因素,需要通过增加疏散指示标志的数量或者增强指示标志显示强度,以增加行人与安全出口或指示标志之间的认知距离,从而缩短行人到达安全出口前的时间,以提高安全出口的利用率;在安全出口被充分利用的前提下,应通过控制行人的初始数量,来降低  $K$ ,以减少  $T$ .

在实际视线受影响的行人疏散中,由于行人之间的个体差异和疏散标志之间的显示强度差异,不同行人对不同疏散标志会拥有不同的  $R$ ;在处于没有指导信息的盲目位置时,不同行人会根据自身恐

慌程度采取不同的疏散策略,如采取盲目随机移动策略或理智搜索移动策略.为强调  $R$  对  $T$  的影响,模型假设  $R$  是统一的,行人的疏散策略是没有恐慌的理智搜索移动策略.图 10 是仿真系统演化特例,  $R=1$ ,即行人像盲人一样不能感知周围的疏散环境,仅仅通过双手摸索前进,用以充分说明较小  $R$  导致沿墙形成较窄的疏散通道,从而增加行人到达安全出口前的时间,降低安全出口的利用效率,从而增加了  $T$ .充分解释了疏散环境虽然拥有较高通行能力的安全出口,但由于行人视线被影响拥有非常低的  $T$  的现象.在实际视线受影响的行人疏散中,虽然行人的  $R$  不同,但  $R$  往往大于 1.因此,由于仿真系统与实际疏散的差异造成了图 10 疏散演化过程在实际中很难被观察到的现象.为使仿真模型更能切实地描述再现行人的实际疏散过程,我们进一步的研究工作是将行人个体在  $R$  和疏散策略选择之间的差异引入到仿真模型中,分析研究个体差异和选择差异对疏散时间和过程的影响.

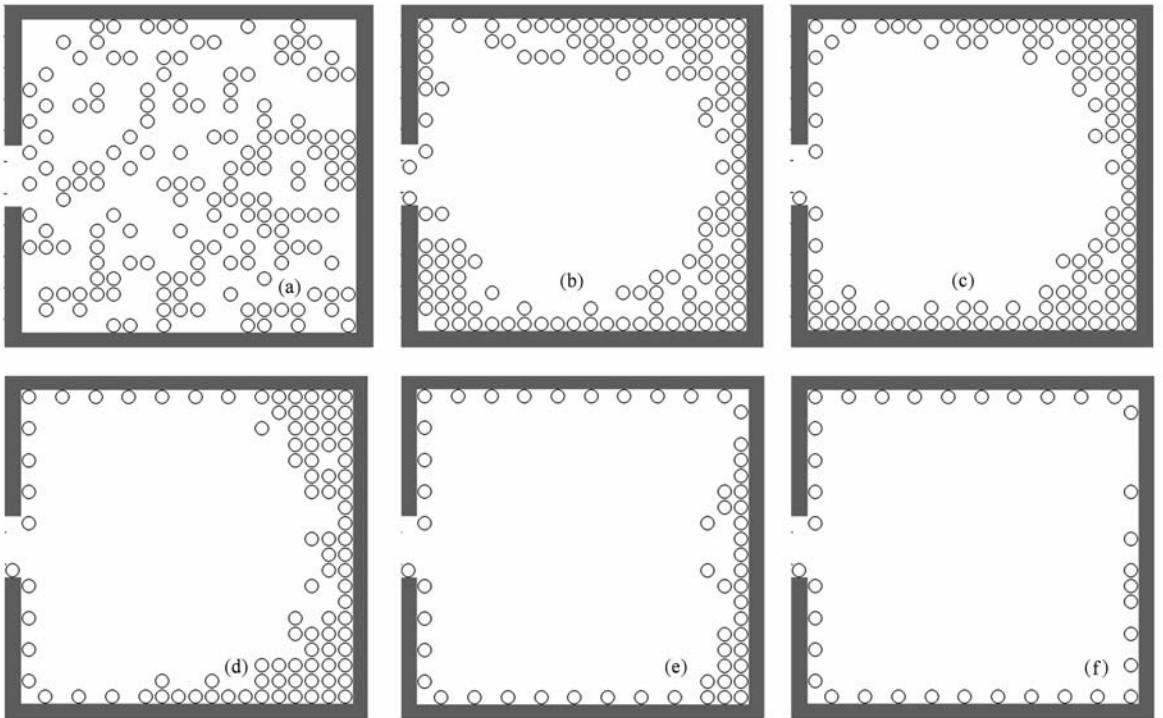


图 10  $W=20, L=4, R=1$  时行人疏散流演化过程 (a)  $t=0$ , (b)  $t=20$ , (c)  $t=40$ , (d)  $t=60$ , (e)  $t=100$ , (f)  $t=120$

## 4. 结 论

基于元胞自动机的动态参数模型对视线受影响、无恐慌踩踏行为、房间墙壁上存在疏散指示标

志的行人疏散流进行仿真研究.模型同时也没有考虑行人之间的摩擦拥挤排斥等因素对行人疏散过程的影响.模型假设所有行人的视野半径相同;行人在可见安全出口区域内正常疏散移动,在盲目区域内随机寻墙定向移动,在可见墙壁区域内按照疏



散指示沿墙移动. 研究表明, 在存在疏散指示标志的行人视线受影响的疏散情况下, 行人的视野半径对行人疏散时间产生很大的影响. 同时, 行人疏散

时间也受安全出口的宽度、安全出口的利用率、行人初始密度等因素的影响.

- [1] Burstedde C, Klauck K, Schadschneider A, Zittartz J 2001 *Physica A* **295** 507
- [2] Kirchner A, Schadschneider A 2002 *Physica A* **312** 260
- [3] Henein C M, White T 2007 *Physica A* **373** 694
- [4] Yanagisawa D, Nishinari K 2007 *Phys. Rev. E* **76** 061117
- [5] Huang H J, Guo R Y 2008 *Phys. Rev. E* **78** 021131
- [6] Kirchner A, Klüpfel H, Nishinari K, Schadschneider A, Schreckenberg M 2003 *Physica A* **324** 689
- [7] Nagai R, Fukamachi M, Nagatani T 2006 *Physica A* **367** 449
- [8] Takimoto K, Nagatani T 2003 *Physica A* **320** 611
- [9] Yue H, Shao C F, Yao Z S 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4523 (in Chinese) [岳昊、邵春福、姚智胜 2009 物理学报 **58** 4523]
- [10] Yamamoto K, Kokubo S, Nishinari K 2007 *Physica A* **379** 654
- [11] Song W G, Xu X, Wang B H, Ni S J 2006 *Physica A* **363** 492
- [12] Song W G, Yu W F, Wang B H, Fan W C 2006 *Physica A* **371** 658
- [13] Zhao D L, Yang L Z, Li J 2006 *Physica A* **363** 501
- [14] Yuan W F, Tan K H 2007 *Physica A* **379** 250
- [15] Nagai R, Nagatani T, Isobe M, Adachi T 2004 *Physica A* **343** 712
- [16] Varas A, Cornejo M D, Mainemer D, Toledo B, Rogan J, Muñoz V, Valdivia J A 2007 *Physica A* **382** 631
- [17] Zhou J W, Kuang H, Liu M R, Kong L J 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3001 (in Chinese) [周金旺、邝华、刘慕仁、孔令江 2009 物理学报 **58** 3001]
- [18] Yue H, Hao H R, Chen X M, Shao C F 2007 *Physica A* **384** 567
- [19] Yue H, Shao C F, Chen X M, Hao H R 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6901 (in Chinese) [岳昊、邵春福、陈晓明、郝合瑞 2008 物理学报 **57** 6901]

## Simulation of pedestrian evacuation flow with affected visual field using cellular automata \*

Yue Hao<sup>1)2)</sup> Shao Chun-Fu<sup>1)†</sup> Guan Hong-Zhi<sup>2)</sup> Duan Long-Mei<sup>3)</sup>

1) (Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology of Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

2) (Transportation Research Center, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

3) (Jilin Provincial Highway Survey and Design Institute, Changchun 130021, China)

(Received 29 June 2009; revised manuscript received 29 October 2009)

### Abstract

Simulation of pedestrian evacuation flow with affected visual field is carried out on the basis of cellular automata. The room to be evacuated is divided into exit visible area, wall visible area and blind area by pedestrian sight radius, and two basic dynamic parameters in the dynamic parameters model are used to simulate the varied movement characteristics of pedestrian in different evacuation areas, including normal evacuation movement, movement along the wall and movement in fixed direction. The effect of pedestrian sight radius on evacuation time is studied with evacuation signs on the wall and pedestrian stochastically moving to find the wall in fixed directions and then moving along the wall. It is observed that the evacuation time depends not only on the pedestrian sight radius but also on the length and utilization rate of exit.

**Keywords:** cellular automata, pedestrian evacuation flow, dynamic parameters, sight radius

**PACC:** 0550, 0520, 6470

\* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2006CB705500), the National Key Technology Research and Development Program of Ministry of Science and Technology of China (Grant No. 2006BCG01A01), and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50678004).

† Corresponding author. E-mail: cfshao@center.njtu.edu.cn