

基于正六边形元胞自动机的行人疏散研究

汪 洋, 李 楠, 张 磊

(河北工业大学 控制科学与工程学院, 天津 300130)

摘 要: 在分析、比较现有疏散仿真模型的基础上, 提出一种基于正六边形元胞自动机的行人疏散模型。该模型中疏散空间被分成相等的正六边形, 每个行人有包括静止在内的 7 个运动方向。给出速度等级的概念用来描述行人的疏散速度。在疏散过程中行人选择出口的决策由到出口的距离、视野内行人数量和密度决定。为展示恐慌心理对疏散过程的影响, 定义了恐慌系数。通过实验仿真了有恐慌和无恐慌 2 种情景下的疏散过程, 结果表明, 该模型可真实地反映实际的疏散过程, 可为真实的行人疏散和评估公共建筑设计起到一定的参考作用。

关键词: 正六边形; 人群密度; 元胞自动机; 行人疏散; 恐慌

中文引用格式: 汪 洋, 李 楠, 张 磊. 基于正六边形元胞自动机的行人疏散研究[J]. 计算机工程, 2017, 43(8): 310-315.

英文引用格式: Wang Yang, Li Nan, Zhang Lei. Research on Pedestrian Evacuation Based on Hexagonal Cellular Automata[J]. Computer Engineering, 2017, 43(8): 310-315.

Research on Pedestrian Evacuation Based on Hexagonal Cellular Automata

WANG Yang, LI Nan, ZHANG Lei

(School of Control Science and Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

[Abstract] On the basis of analysing and comparing present evacuation simulation models, this paper proposes a new evacuation model based on hexagonal cellular automata for pedestrian panic. The evacuation space is divided into equal regular hexagon, each pedestrian has seven moving directions, including stationary. Velocity level is proposed to describe pedestrian movements. During evacuation process, the pedestrian decision-making of selecting exit is affected by the distance to the exits and the occupant number and density within the view field of the pedestrian. To show the impact of panic on evacuation, it defines the panic index in this model. The evacuation process is simulated by experiments in the case of without panic and panic. Results show that the proposed model can reproduce exactly the real evacuation process. It has definite reference effect for real pedestrian evacuation and public architectural design estimation.

[Key words] hexagon; population density; cellular automata; pedestrian evacuation; panic

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.08.053

0 概述

随着社会的进步, 越来越多的人聚集到公共场所, 为公共安全埋下了巨大的隐患, 因此, 大型公共建筑中的行人疏散得到了社会的广泛关注。近几年来, 许多学者建立并仿真各种复杂环境下的行人动力学模型。

在通常情况下, 这些模型可以被分成宏观模型和微观模型。宏观模型主要考虑人群整体控制, 忽略人群个体之间的交互和影响, 因此, 对系统计算能力要求较低、仿真度差。微观模型对行人的描述更详细, 考虑了个体行为特征及个体异质性。文献[1]提出了社会力模型, 在此模型中, 每个行人的运动都基于牛顿力学并且每个个体都被视为一个牛顿粒子

受物理力和心理力的作用。文献[2-3]提出了元胞自动机模型, 其时间、空间、状态都是离散的。该模型中行人位于固定的网格节点上并且行人坐标根据更新规则同步更新, 直至疏散完成。文献[4-5]提出了基于 Agent 的疏散仿真模型, 利用 Agent 系统的自治性、协同性、能动性等特点, 突出出人员疏散过程中的行为特征。

在大多数研究中, 对疏散空间的离散往往采用正方形元胞^[2-3]。然而, 正方形元胞结构中存在着明显的缺点: 当行人向对角方向运动时, 正方形元胞很难处理。对于冯·诺依曼型, 对角行走至少需要两步, 导致行人的运动非常机械化; 对于摩尔型, 对角行走和垂直行走的位移是不同的, 导致行人的速度无法控制。文献[6]首先使用六边形格子来仿真行

基金项目: 河北省在读研究生创新能力培养项目(220056)。

作者简介: 汪 洋(1992—), 女, 硕士研究生, 主研方向为元胞自动机; 李 楠, 硕士研究生; 张 磊, 教授。

收稿日期: 2016-07-22 **修回日期:** 2016-09-04 **E-mail:** 1358785071@qq.com

人动力学并且发现六边形模型的临界密度大于正方形模型。文献[7]利用六边形结构提出一种自适应路径寻找方法,但没有考虑行人间的相互影响^[7]。

本文提出一种基于正六边形元胞自动机模型。该模型基于正六边形元胞自动机研究了行人恐慌的疏散模型。根据先前的工作^[8],行人根据个体性别的差异被分成男性和女性两类。每类行人有 6 种不同等级的能力被称为竞争力。每类行人的速度也是不同的,把时间分成相等的时间间隔,通过改变更新的时间来改变行人的速度。本文模型中为每一个行人设置基于其竞争力、到出口的距离和行人视野内的人数与密度的更新规则,并给出在出口选择计算中的恐慌系数。

1 模型描述

1.1 空间

由于本文模型考虑了拥挤并且发生伤亡的情况,而人群密度在每平方 7 人~9 人时为拥挤状态;每平方大于 9 人时发生伤亡^[9]。采用边长为 0.346 m 的正方形模型,人口密度最大为 8.35 人/m²,无法达到伤亡密度。采用如图 1 的正六边形模型,人口密度最大为 9.62 人/m²,能够达到伤亡密度。因此,本文模型中,疏散空间被分成相同的正六边形元胞。正六边形的每一个边长为 0.2 m,最大长度为 0.4 m,2 个相邻元胞的中心相距 0.346 m(图 1)^[10]。在任何时刻,一个行人仅能占据一个元胞。如果一个元胞被一个行人占据,那么他将占据整个元胞。每一个行人有相同概率向周围 6 个相邻元胞方向移动或者保持静止在原来的元胞中(图 2)。

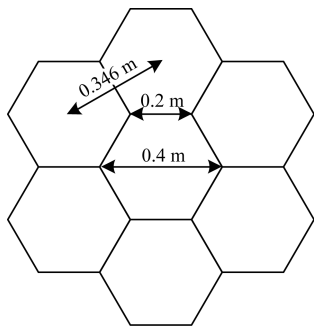


图 1 网格尺寸

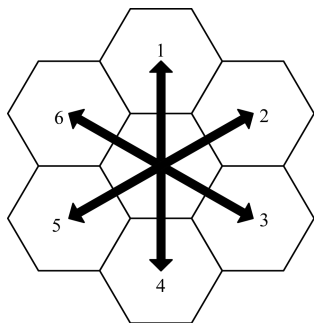


图 2 移动方向

1.2 速度

在本文模型中,时间被离散成基本的时间片,每秒包括 12 个基本时间片。行人的位置在几个基本时间片内更新一次。基本时间片的设置可以分散行人的更新时间,减少因行人位置的同步更新引起的冲突。同时时间片的设置可以描述不同类型的行人速度,行人速度通过改变其更新时间来控制。

速度等级 V_L 表示行人在每 V_L 个基本时间片更新一次。在每个更新时间间隔内,行人可以移动到相邻元胞。2 个相邻元胞的中心相距 0.346 m,每个基本时间片是 1/12 s,速度 $V=0.346 \times 12 V_L$ m/s,详细速度等级参见表 1。

表 1 速度等级和实际速度对应表

速度等级 V_L	实际速度 V / (m · s ⁻¹)	速度等级 V_L	实际速度 V / (m · s ⁻¹)
1	4.152	7	0.593
2	2.076	8	0.519
3	1.384	9	0.461
4	1.038	10	0.415
5	0.830	11	0.377
6	0.692	12	0.346

行人自由移动的速度为 1.24 m/s^[11] 到 1.55 m/s^[12],一些行人可以达到 2 m/s^[13]。在本文中,行人的初始速度设为 1.384 m/s,对应的速度等级为 3。行人速度合理的范围为 0.519 m/s ~ 2.076 m/s,对应的速度等级为 [2,8]。

1.3 视野范围

每个个体都预知出口方向和位置,但无法感知到出口附近的完整信息。个体当前位置到出口的直线方向上,第 5 个有个体占据的网格即为视野范围截止点;如果在个体到出口直线上的人员个数小于 5,则将出口作为视野范围截止点。

以个体当前位置 (x, y) 与视野范围截止点分别为起点和终点作向量 a ,再作 2 条与 a 夹角为 α 的直线,则扇形内的所有网格组成的区域即为个体的视野范围,如图 3 所示,本文仿真时取 $\alpha = 45^\circ$ 。

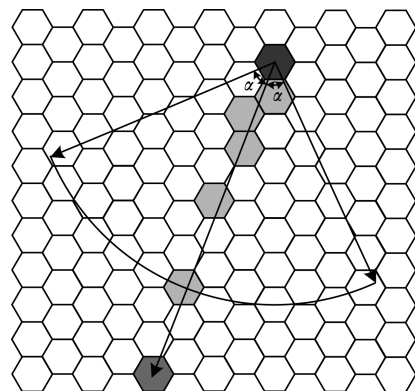


图 3 视野范围

2 建模方法

2.1 疏散人员能力分类

由于疏散人员复杂,个体的能力因性别、年龄及健康状况等不同而存在差异,个体决策规则也不同,体现为参数 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 取值的差异。

2.2 个体受到的拥挤

假设个体的竞争能力为 C_0 , C_0 的取值范围为 $[1, E]$ 的整数集。其中,1 代表最小竞争能力值; E 代表最大竞争能力值,本文设定 $E = 6$ 。根据不同个体类型,本文根据表 2 对每个个体随机赋予竞争能力值。

表 2 个体竞争能力赋值概率

竞争能力值	男性	女性
1	0.0	0.1
2	0.1	0.1
3	0.1	0.2
4	0.3	0.3
5	0.3	0.2
6	0.2	0.1

假设个体受到的拥挤为 H , 个体受到的拥挤主要来自其周围,因此本文利用邻域来计算 H 。假设网格能力为 N , 当网格被个体占据时,此网格的能力为该个体的竞争能力,当网格没有被个体占据时,此网格的能力为 0。

个体受到的拥挤的计算公式如式(1)所示。

$$H = \sum_{i=1}^6 (N_i - N_0) \tag{1}$$

2.3 拥挤超过个体自身承受能力次数的计算

设个体的承受能力为 H_0 , 承受极限次数为 L_0 , 当个体受到的拥挤 H 大于个体的承受能力 H_0 时,增加一次个体超过承受能力的次数,总次数记为 L 。

根据不同的个体类型以及实际生活的常识,本文根据表 3 为每个个体赋予 H_0 和 L_0 。

表 3 每类行人的忍耐能力 H_0 和忍耐限度 L_0

类型	男性	女性
H_0	20	15
L_0	30	28

2.4 拥挤后个体状态的判断

拥挤后个体状态的判断条件包括:受到的拥挤 H 是否超过自身承受能力 H_0 , 超过承受能力的总次数 L 是否超过极限 L_0 。

具体判断条件如下:

1) $H < H_0$, 个体为正常状态,按照正常流程继续进行疏散。

2) $H \geq H_0$ 且 $L < L_0$, 个体为被超越状态,停留在原地。

3) $H \geq H_0$ 且 $L \geq L_0$, 个体为伤亡状态,失去行动

能力,退出疏散仿真。

2.5 出口选择计算

2.5.1 到出口的距离

假设场所有 N 个出口,每个出口为 n 个网格宽,另设 $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, n, D_{ij}$ 分别为个体到每个出口小格的距离,计算公式如式(2)所示。

$$D_{ij} = \sqrt{(x - x_e^{ij})^2 + (y - y_e^{ij})^2} \tag{2}$$

其中, (x, y) 为个体当前位置坐标; (x_e^{ij}, y_e^{ij}) 为第 i 个出口第 j 个小格的位置坐标。

2.5.2 到出口的人员密度

设个体到第 i 个出口的第 j 个小格视野区域的网格集为 U_{ij} , 则在此集合中,人数的总和 P_{ij} 的计算公式如式(3)所示。

$$P_{ij} = \sum_{(x', y') \in U_{ij}} f(x', y') \tag{3}$$

其中:

$$f(x', y') = \begin{cases} 1, & \text{坐标}(x', y') \text{被个体占据} \\ 0, & \text{坐标}(x', y') \text{未被个体占据} \end{cases}$$

人员密度 Q_{ij} 的计算公式如式(4)所示。

$$Q_{ij} = \frac{P_{ij}}{|U_{ij}|} \tag{4}$$

2.5.3 综合确定出口

在实际疏散时,目标出口的选择由到出口的距离及视野范围内行人的数量与密度决定,由式(5)可确定目标出口 $E_{i^*j^*}$ 。

$$i_j^* = \arg \left\{ \min_{1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq n} \left\{ \frac{\alpha_1 \beta_1 D_{ij} + \alpha_2 \beta_2 P_{ij} + \alpha_3 \beta_3 Q_{ij}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} \right\} \right\} \tag{5}$$

其中, $(x_e^{i^*j^*}, y_e^{i^*j^*})$ 是目标出口 E_{ij} 的位置坐标; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 是决策因素的权重系数,在目标出口的选择上影响了相关因素的权重。参数 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 的选定将在 3.2 节详细介绍。

在式(5)中, $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 是恐慌系数。在恐慌情景下,行人在疏散开始时处于恐慌状态并且保持这一状态。恐慌系数反映了行人的恐慌程度,其大小取决于周围行人的数量、性别等。恐慌系数的算法如下。

计算基础恐慌系数 β_0 :

$$\beta_0 = 1 + H/30 \tag{6}$$

其中, $\beta_0 \in [1, 2)$ 。

对于男性,恐慌系数 $\beta = \beta_0$; 对于女性, $\beta = 1.2\beta_0$ 。这是因为在紧急情况下女性比男性更容易恐慌。

当恐慌发生时,行人想尽快撤离,尝试选择最近的出口。同时,他们可能有从众心理。基于这些考虑,式(5)中的恐慌系数为:

$$\beta_1 = 6\beta, \beta_2 = \frac{1}{6\beta}, \beta_3 = \frac{1}{4\beta} \tag{7}$$

显然, $\beta_1 > 1, \beta_2 < 1, \beta_3 < 1$ 。 β_1 的值越大,行人

移向最近出口的可能性越大。 β_2 和 β_3 表示视野内行人的数量和密度对疏散决策的影响度。 β_2 和 β_3 的值越小,行人不会和其他人或者视野内的高密度人群移向出口。

2.6 方向选择

在完成目标出口的选择后,个体将会在 7 个可行方向内选择下一步的运动方向,如图 2 所示。目标方向选择的步骤如下:

步骤 1 根据六边形边线划分区域,如图 4 所示。

步骤 2 确定目标出口所在区域,即主目标区域。

步骤 3 判断主目标区域的前进方向是否被阻挡,若未被阻挡则选择当前方向作为目标方向并执行步骤 8;若被阻挡则执行步骤 4。

步骤 4 判断主目标区域相邻的 2 个间接目标区域的前进方向是否被阻挡,若 2 个方向均被阻挡则执行步骤 9;若其中一个方向被阻挡则选择另一个方向作为目标方向,执行步骤 8;若 2 个方向均未被阻挡则执行步骤 5。

步骤 5 根据六边形中轴线划分区域,如图 5 所示。

步骤 6 确定目标出口所在区域,即次目标区域。

步骤 7 选择与次目标区域有重叠的间接目标区域的方向作为目标方向。

步骤 8 向目标方向前进。

步骤 9 循环执行步骤 1 ~ 步骤 8。

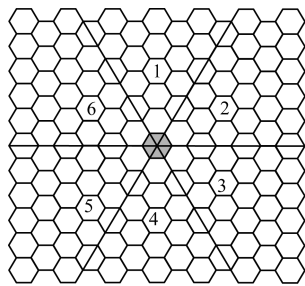


图 4 方向选择 a

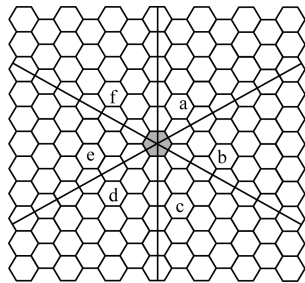


图 5 方向选择 b

2.7 运动

每个行人在每一步做出选择后移向相邻单元格。由于每个单元格至多只能被一个行人占据,如果几个行人竞争相同的单元格,那么只有一个行人的位置和其他人一样保持更新。更新的行人是随机选择的。

3 仿真实验结果与分析

用 Visual C# 仿真行人疏散过程。考虑有恐慌和无恐慌 2 种情况。2 种颜色的圆点红和绿分别代表男性和女性两类行人。

3.1 仿真场景

在 2 种典型场景中均有以下假设:

1) 房间大小为 12.4 m × 11.6 m。

2) 在房间的左、右、下墙上分别有一个出口。每个出口的宽度是 3 个单元格。为了展示 3 个出口的不对称疏散,最开始在右出口放置了 2 个伤亡的行人。

3) 266 个行人最初被随机放在房间里,包括右边出口 2 个伤亡的行人。

4) 男性:女性 = 1:1。

3.2 参数选定

参数 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 分别表示在出口选择计算时,到出口的距离、视野内人员个数和密度对个体决策的影响。因此,参数 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 的选定对疏散仿真结果至关重要。

由于本文的仿真目的在于再现和解释真实的疏散情形,而非得到最优的疏散方法或数据,因此采用基于理论的反复试凑法进行疏散仿真参数的选定,过程如图 6 所示。由参数选定流程不难看出,表征个体决策的参数需要经过多步的调整才能得到恰当的取值。

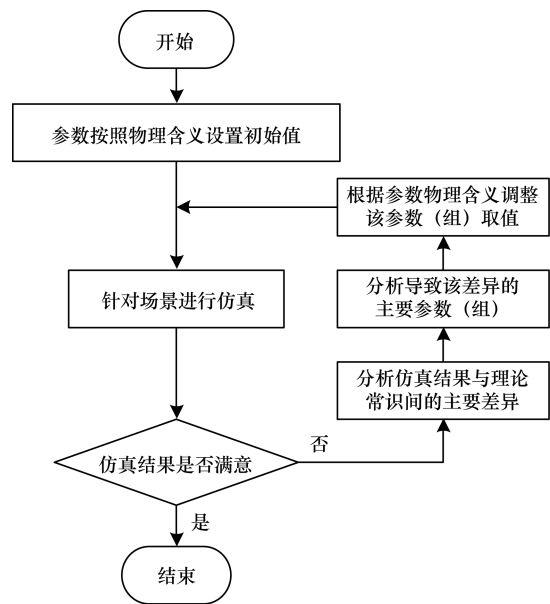


图 6 参数选定方法流程

两类行人的参数 $\alpha_i, i = 1, 2, 3$ 如表 4 所示。

表 4 情况 1 和情况 2 下的参数

参数	男性	女性
α_1	2.4	4.0
α_2	3.6	4.0
α_3	1.2	1.6

3.3 无恐慌(情景1)

由于没有恐慌,在式(5)中, $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$ 。在这种情况下,展示仿真中4个截图。图7(a)是最初状态,图7(b)和图7(c)是2个中间状态,图7(d)是临近仿真结束的状态。

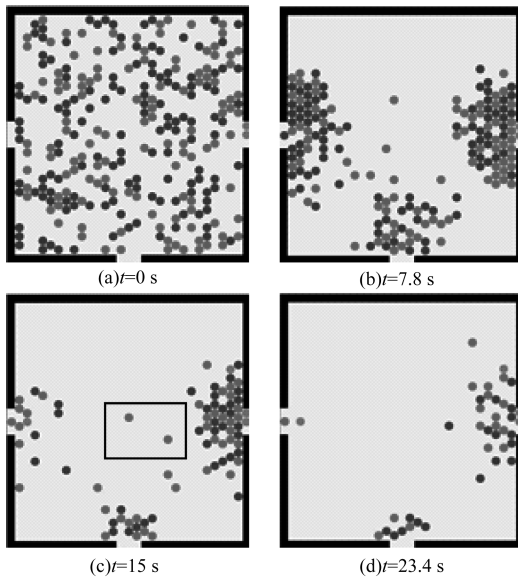


图7 无恐慌示意图

3.4 有恐慌(情景2)

根据式(6)、式(7)计算式(5)中 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 的值。在这种情况下展示仿真中4个截图。图8(a)是最初状态,图8(b)和图8(c)是2个中间状态,图8(d)是临近仿真结束的状态。

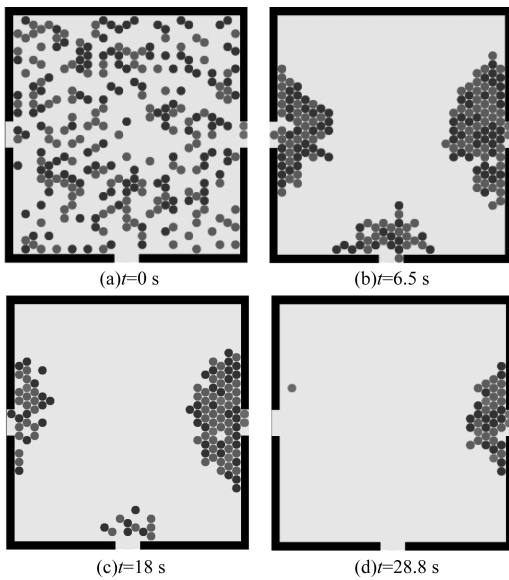


图8 有恐慌示意图

3.5 结果分析

3.5.1 疏散规律

为了减少实验数据的偶然性,取相同参数和设置下10组数据的平均值。2种情景下的疏散数据如表5所示。

表5 疏散数据

情景	平均疏散时间/s				平均疏散步数	平均伤亡人数
	左出口	右出口	下出口	总时间		
无恐慌	30.0	38.1	25.9	38.1	9 930	2.5
有恐慌	18.6	44.6	20.7	44.6	10 188	6.0

从图7、图8和表5可以看到:

1)恐慌心理产生了“快即是慢效应”,即在紧急情况下,由于处于高度紧张和恐慌状态下,每个人都试图尽快疏散出去,在出口处人群之间的推挤概率和程度大大增加,使得整体疏散效率反而降低。

2)由恐慌心理衍生出的“从众”行为具有非理性,它通常会导致严重的后果,如过分拥挤、疏散速度降低等,最终导致伤亡人数增加的后果。

3)对于无恐慌情景,当行人发现当前的目标出口被越来越多的人堵塞,一些人会改变目标出口(参考图7(c)中矩形内的行人)。对于有恐慌情景,“从众”行为导致备用出口或其他较通畅出口被忽视。

3.5.2 数据对比

利用 Matlab 分别对有/无恐慌情景下,疏散时间百分比与疏散人数关系进行对比,数据对比如图9所示。

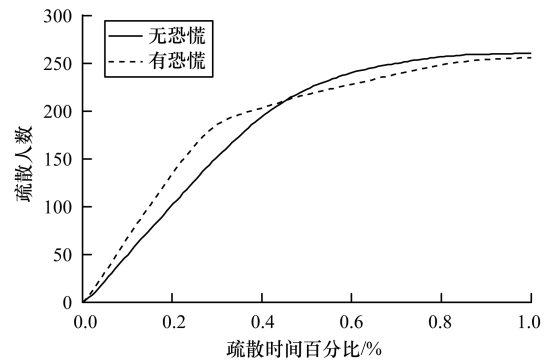


图9 疏散时间百分比与疏散人数关系

由图9可知,在前半段疏散时间内,恐慌情况下由于个体都变得紧张,疏散效率比无恐慌情况高;在后半段时间内,恐慌引起拥挤加剧,发生与无恐慌相比较严重的伤亡现象,使疏散的速度变得缓慢。疏散的最终点没有重合说明恐慌情况下伤亡的人数比无恐慌多。

4 结束语

本文以正六边形元胞自动机研究了行人恐慌的疏散模型及行人疏散问题^[14-15]。本文模型为每个人设置基于其竞争力、到出口的距离、视野内行人的数量和密度的更新规则。仿真结果表明,行人自发地聚集在出口处形成拱形或半圆;如果无恐慌,当发

现当前目标出口较慢,行人将改变他们的目标出口。然而,对于有恐慌的情况,行人不会改变目标出口。因此,其他可用出口被忽略,恐慌下的伤亡比无恐慌大量增加。上述现象较精确地复现了实际的行人疏散过程。

参考文献

- [1] Helbing D, Farkas I, Vicsek T, Simulating Dynamical Features of Escape Panic [J]. Nature, 2000, 407 (6803): 487-490.
- [2] Yue H, Hao H, Chen X, et al, Simulation of Pedestrian Flow on Square Lattice Based on Cellular Automata Model [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2007, 384(2): 567-588.
- [3] Kirchner A, Schadschneider A. Simulation of Evacuation Processes Using a Bionics-inspired Cellular Automaton Model for Pedestrian Dynamics [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2002, 312 (1): 260-276.
- [4] 陈佳俊,安晓宇,蔡希辉,等. 基于 Agent 的人员疏散系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2010, 36(14): 264-266.
- [5] 黄希发,王科俊,郭莲英,等. 基于 Agent 技术的人员疏散微观仿真模型研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(15): 4568-4571.
- [6] Maniccam S. Traffic Jamming on Hexagonal Lattice [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2003, 321(3): 653-664.
- [7] Hartmann D. Adaptive Pedestrian Dynamics Based on Geodesics [J]. New Journal of Physics, 2010, 12 (4): 1287-1299.
- [8] Wang Jinhuan, Zhang Lei, Shi Qiongyu, et al. Modeling and Simulating for Congestion Pedestrian Evacuation with Panic [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2015, 428: 396-409.
- [9] 冉丽君,刘茂. 人群密度对人群拥挤事故的影响[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(4): 135-138.
- [10] Leng Biao, Wang Jianyuan, Xiong Zhang. Pedestrian Simulations in Hexagonal Cell Local Field Model [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2015, 438: 532-543.
- [11] Fang J, Qin Z, Hu H, et al, The Fundamental Diagram of Pedestrian Model with Slow Reaction [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2012, 391(23): 6112-6120.
- [12] Zhang J, Klingsch W, Schadschneider A, et al. Ordering in Bidirectional Pedestrian Flows and Its Influence on the Fundamental Diagram [J]. Journal of Statistical Mechanics Theory & Experiment, 2012, 2012(2).
- [13] Leng Biao, Wang Jianyuan, Zhao Wenyuan, et al. An Extended Floor Field Model Based on Regular Hexagonal Cells for Pedestrian Simulation [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2014(402): 119-133.
- [14] 党小超,张春娇,郝占军. 基于模糊元胞自动机的网络舆情传播模型研究[J]. 计算机工程, 2014, 40(4): 209-213.
- [15] 孟圆. 基于多 Agent 的大型公共建筑人员应急疏散微观特征分析与仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.

编辑 索书志

(上接第 309 页)

- [6] Pao T L, Chen Y T, Yeh J H, et al. Mandarin Emotional Speech Recognition Based on SVM and NN [C]// Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2006: 1096-1100.
- [7] Banbrook M, McLaughlin S, Mann I. Speech Characterization and Synthesis by Nonlinear Methods [J]. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 1999, 7(1): 1-17.
- [8] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis [J]. Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 1998, 454(1971): 903-925.
- [9] Wu Z, Huang N E. Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-assisted Data Analysis Method [J]. Advances in Adaptive Data Analysis, 2011, 1(1): 1-41.
- [10] 秦娜,金炜东,黄进,等. 基于 EEMD 的高速列车转向架故障诊断[J]. 计算机工程, 2013, 39(12): 1-4.
- [11] Wang T, Zhang M C, Yu Q H, et al. Comparing the Applications of EMD and EEMD on Time-frequency Analysis of Seismic Signal [J]. Journal of Applied Geophysics, 2012, 83(8): 29-34.
- [12] 张佳芳. 基于 EEMD 的车内语音增强研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [13] 曾现巍,许凌云,江晓波,等. 基于快速 EEMD 单通道混合信号分离算法的研究[J]. 电子设计工程, 2015, 23(14): 20-22, 25.
- [14] 张鑫瑜,李雪耀,张汝波,等. 基于语音抑制的飞机识别研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(S2): 291-294.
- [15] 秦娜,金炜东,黄进,等. 高速列车转向架故障信号的聚合经验模态分解和模糊熵特征分析[J]. 控制理论与应用, 2014, 31(9): 1245-1251.
- [16] Burkhardt F, Paeschke A, Rolfes M, et al. A Database of German Emotional Speech [C]// Proceedings of the 9th European Conference on Speech Communication and Technology. Lisbon, Portugal: ISCA, 2005: 1517-1520.

编辑 陆燕菲