

人员踩踏事件中快速疏散复杂网络模型的研究

谢春明¹, 肖露欣¹, 祝元仲²

(1. 乐山师范学院, 四川 乐山 614004;

2. 川北医学院, 四川省南充市 637007)

摘要: 研究发生踩踏事件时人员快速高效的疏散问题。在人员密集区域中一旦发生踩踏事件将造成人流信息的无序化变化, 人流密度和运动方向具有极强的非线性和突变性。传统的疏散路径诱导方法仅仅是针对有序的、平稳的人流密度变化进行疏散路径选取, 非线性和突变性的人流信息不能在模型中得到反应, 一旦踩踏事件发生, 模型的稳定性会被破坏。提出了一种根据突变人流诱导的快速疏散复杂网络模型。引入人流方向突然变异算子将人流密度变异和方向变异的因素充分考虑进来, 提取局部区域突变参数, 并将其反馈到控制端, 从而提高疏散速度。实验证明, 提出的算法提高了人员在踩踏事件中的疏散速度和效率。

关键词: 踩踏事件; 人员疏散; 诱导突变

中图分类号: TP242 **文献标识码:** B

Research on Complex Network Model of Fast Evacuation in Trample

XIE Chun-ming¹, XIAO Lu-xin¹, ZHU Yuan-zhong²

(1. Leshan Teachers College, Leshan Sichuan 614004, China;

2. North Sichuan Medical College, Nanchong, Sichuan 637007)

ABSTRACT: Research fast evacuation of trample. The dense regions of personnel flow information is complex and has many changes. This paper put forward a complex model of quick evacuation based on mutation flow induced. It uses flow direction variation operator, fully considers the factors of people density variation and direction variation. Then it extractes and feeds back the local mutation parameters. The experiment results show that the improved algorithm can improve the speed of evacuation.

KEYWORDS: Trample; Personnel evacuation; Induced mutations

1 引言

随着我国承办大型活动能力的不断增加, 在活动现场对人员的组织和安排显得越来越重要, 在人员密集区域合理地调度人群的流动, 为不同位置的人群选择不同的路径撤离, 在短时间内, 使得人员能够迅速的疏散, 一直是相关领域研究的一个热点问题^[2]。由于踩踏事件是关系到人们生命财产安全的大事件, 因此, 相关机构也对如何在人员密集区域发生拥挤事件同时, 较好地调度人流的方法进行了较为广泛的研究。当前, 主流的人流调度方法包括基于距离算法的人流调度方式、基于神经网络算法的调度方式和基于蚁群算法的调度方式^[3]。其中, 以距离和方向为基础的调度方法是最为热门的方式, 平均起高效性和易用性, 成为众多研究的

首选。

当今的各种活动的现场环境相对比较复杂, 在人员密集区域中一旦发生踩踏事件将造成人流信息的无序化变化, 人流密度和运动方向具有极强的非线性和突变性。传统的以距离和方向为基础的疏散路径诱导方法仅仅是针对有序的、平稳的人流密度变化进行疏散路径选取, 一些非线性和突变性的人流信息不能在诱导模型中得到充分的反应, 一旦大规模踩踏事件发生, 会发生人流的无序流动, 在小区域中, 人流密度和人流方向都会发生非线性较强的突变, 这是由于突变性的存在, 诱导模型的稳定性会被严重破坏。造成各种疏散的手段和措施失效, 不能很好的完成踩踏事件当中完成人员的快速准确疏散。

为了避免上述问题, 提出了一种基于突变人流诱导的快速疏散模型。在传统模型的基础上, 引入人流方向突然变异算子和人流密度变异算子, 将踩踏事件中人流的密度和方向突变的非线性充分考虑进模型, 结合方向和密度变异的因

素提取局部区域人流突变参数,并将其反馈到诱导控制端,从而提高疏散速度和准确性。

2 人员密集区域诱导原理

2.1 疏散原理

在人员密集区域的疏散过程中,需要根据人员密度的不同合理的设置疏散渠道,从而完成密集区人员最优的疏散路径诱导。其模型结构如图1所示。

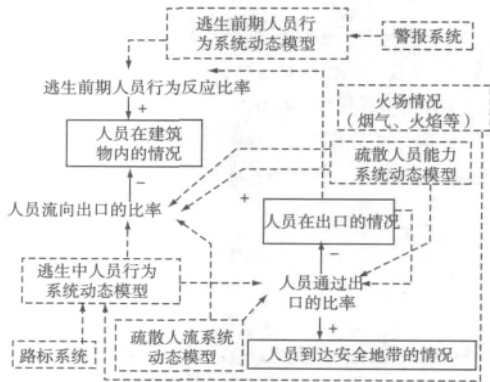


图1 人员密集区域中路径诱导结构图

在人员较为集中的区域,完成人员诱导疏散模型建立的步骤如下:

1) 设置人员密集区域可诱导路径的有效数目是 n ,最大的诱导路径长度设为 l_{\max} ,最小的诱导路径长度设为 l_{\min} ,能够进行交汇的路径方向参数 i 。利用式(1),能够计算人流的拥挤程度,也称为密度:

$$\alpha = i^2 \log [1 / (n(l_{\max}) - n^2(l_{\min}))] \quad (1)$$

通过上述公式,能够准确描述堵塞路段的人流情况。

2) 利用式(2),能够计算出,人员密集程度的最优疏散诱导路径:

$$\beta = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (l_{\max} - l_{\min})^2}{\alpha} \quad (2)$$

通过上述公式,能够获取最优路径参数,用来描述在发生人员拥挤事件过程中,诱导人员撤离的最优路径。

为了验证疏散效率,一般运用疏散时间来衡量疏散效果的优劣,疏散时间的计算方法如下:

$$T = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{i^2 \log [1 / (n(l_{\max}) - n^2(l_{\min}))]}{\frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (l_{\max} - l_{\min})^2}{\alpha}} \quad (3)$$

2.2 交通路径诱导方式缺陷

当今的各种活动的现场环境相对比较复杂,在人员密集区域中一旦发生踩踏事件将造成人流信息的无序化变化,人流密度和运动方向具有极强的非线性和突变性。根据式(1)能够得知,一旦人员发生了较强的非线性随机运动,其人流

密度参数 α 会发生无序变化,甚至不收敛。根据式(2)能够得知,一旦人流密度参数 α 误差增大,造成疏散时最优路径参数出现错误,造成诱导路径选择失败,式(3)中分子变大,结果耗时。

为了避免在发生踩踏事故的现场出现这种缺陷,提出了一种基于突变人流诱导的快速疏散模型。充分考虑在踩踏现场人流的密度突变和方向突变因素。避免了选取路径中只考虑固定路径和人流平稳线性陷,提高了踩踏事故中人员诱导的效率。

3 踩踏事故中人员诱导路径复杂网络模型

在发生踩踏事故中,人员的合理疏散是核心问题。传统的疏散模型基本都只考虑了静态情况和密度变化情况,以最短路径为有效选择,没有考虑人流集体性方向和密度大规模突变对模型鲁棒性带来的影响,因此,可能在运算过程中,模型中的参数陷入到不收敛的境地,使得诱导效果不佳。为此提出了一种基于突变人流诱导的快速疏散复杂网络模型。

3.1 提取人员的密度和方向参数

对人流密集区域的状况进行准确的采集,提取人流的主要密度参数和方向参数,是模型准确建立的前提,假设人流的密度和方向的变化情况可以用一个集合表示。 $N_i (i = 1, 2, \dots, n)$,可以在以下集合中选取一个最有可能,最大程度的估计人流的密度和方向变化。

假设人流在运动过程中的状态设为 K_i ,因为密度和方向都会发生一定程度的变化,为这种变化设置一个误差项,设为 E_j ,当人流密度或者方向估计出现了较大程度误差,可以通过调节误差项对结果进行修正,保证结果的准确性。通过得到的状态值,可以对路径值做出一个较为浅显的估计,假设估计值为 D_q ,并根据 $f(\alpha)$ 和 D_q 的关系式得到:

$$\begin{cases} \alpha(X) = \frac{d}{dX} [(X - E) D_q] \pm E \\ D_q = \frac{1}{X - 1} [X\alpha - f(\alpha)] \pm E \end{cases}$$

可以通过计算得到的路径估计值 D_q ,其中 $f(\alpha)$ 为人员突变密度和方向的约束函数。

计算步骤如下:①读入踩踏状态发生后人流的各种状态信号;②截取最优化的密度和方向信号加入到 m 维约束空间 $f(\alpha)$ 中,实验中参数选择收敛函数特征;③对不断变换的密度参数和方向参数值,进行关联运算,然后设定一个密度和方向合理的波动区域,设为 $\ln r \sim \ln c_q(r)$,以双对数为基数会保证结果的收敛性,最后求出最优路径 D_q 。受到多条件限制,路径求出的结果可能不是唯一的,甚至是冲突的还需要进一步校验。

3.2 计算人流方向和密度突变参数约束

传统的模型没有充分考虑在发生踩踏事故后,人流的密度和方向都会发生较强的随机性变化,因此要对这种变化进行一定的约束计算,保证结果的准确性,为了限制结果受到

突变性的影响,可以在一个二维区域内描述这种突变性,假设突变区在一个三角区域内,设为 $\Delta A_k B_k C_k$,在此区域可能发生踩踏事故中的人流密度或者方向突变,假设所有的突变因素都在三角区域内,三角区域外为不收敛区域,为了保证所有约束都为有效约束,必须保证所有的方向密度估计值都在区域内部,判断方法如下:设置约束直线方程

$$(Q - B) \cdot \underline{m} = 0$$

其中 Q 是三角区域顶点的切线方程,可以用一个三维表示为:

$$Q = x_i \underline{i} + y_j \underline{j} + z_k \underline{k}$$

$$B = x_A \underline{i} + y_A \underline{j} + z_A \underline{k}$$

则是三角区域内法线的向量表示; $\underline{m} = \underline{a}i + \underline{b}j + \underline{c}k$ 约束线段的向量表示。

假定突变约束区域中, F 为方向突变的极大值, D 为方向突变的极大值,可以通过这两点的连线,计算出约束区域的边界。首先由:

$$\begin{cases} s = li + mj + nk \\ k = x_D - x_F, m = y_D - y_F \end{cases}$$

得出负载点连线的参数方程:

$$x = lt + x_F, y = mt + y_F$$

其中:

$$t_Q = -\frac{p}{s}$$

$$p = \underline{n} \cdot F - \underline{n} \cdot A, s = al + bm + cn.$$

带入上式得:

$$x_Q = lt_Q + x_F, y_Q = mt_Q + y_F \quad (4)$$

通过以上计算,能够很好的计算出踩踏事故发生过程中,人流的密度突变约束区域和方向突变约束区域,保证结果的有效性。

3.3 选择诱导冲突路径检测

计算得到当踩踏事故发生后,人员诱导疏散的最近佳路径可能不是唯一的,如果这种情况发生,需要对得到的最优路径进行冲突的判断,以免发生路径冲突的情况,在判断过程中,也要充分考虑密度和方向的突变,假设人流的特征用 L_k 表示。这些特征中包含了密度和方向的拥堵特征,如果得到了这些特征之后,需要判断是否存在冲突,假设冲突的条件为 Δ 。可以计算诱导疏散路径中存在冲突的概率,设为密度冲突和方向冲突,密度冲突概率为 $P(Q|\Delta)$,方向冲突为 $P(F|\Delta)$ 。根据 2 个概率的计算能够计算出诱导路径中是否存在冲突的情况,如果单纯的计算概率,结果可能不准,因此需要考虑一些干扰因素,在计算公式中加入一些矢量信息:

$$i_j = e_i^{-1/2}, \rho_i = \wedge_E^{-1/2}$$

其中, \wedge 为疏散诱导路径中,人群方向和密度矩阵中的最大特征值。

根据得到的结果计算相关冲突概率:

$$\begin{cases} P(\Delta | \Omega_i) = \frac{e^{-1/2} \Delta^T \sum I^{-1} \Delta}{(2\pi)^{D/2} \left| \sum I \right|^{1/2}} \\ P(\Delta | \Omega_E) = \frac{e^{-1/2} \Delta^T \sum E^{-1} \Delta}{(2\pi)^{D/2} \left| \sum E \right|^{1/2}} \end{cases}$$

最终计算出在踩踏事件发生后,求出最佳路径下的可能存在冲突的最大概率:

$$S' = P(\Delta | \Omega_i) = \frac{e^{-1/2} \|i_j - i_k\|^2}{(2\pi)^{D/2} \left| \sum_i \right|^{1/2}}$$

根据计算出的路径矛盾概率信息,能够分析出,在计算得到的疏散诱导路径中,有多大可能是存在冲突的,冲突的概况给后期的选择提供依据。运用以上的原理,能够在模型中准确的考虑密度和方向冲突带来的影响,为模型提供准确的依据。保证诱导疏散过程中的时效性和准确性。

4 实验结果分析

当今的各种活动的现场环境相对比较复杂,在人员密集区域中一旦发生踩踏事件将造成人流信息的无序化变化,人流密度和运动方向具有极强的非线性和突变性。传统的以距离和方向为基础的疏散路径诱导方法仅仅是针对有序的、平稳的人流密度变化进行疏散路径选取,一些非线性和突变性的人流信息不能在诱导模型中得到充分的反应,一旦大规模踩踏事件发生,会发生人流的无序流动,在小区域中,人流密度和人流方向都会发生非线性较强的突变,这是由于突变性的存在,诱导模型的稳定性会被严重破坏。造成各种疏散的手段和措施失效,不能很好的完成踩踏事件当中完成人员的快速准确疏散。

分别利用传统算法和本文提出的复杂网络模型模拟踩踏事故发生时,疏散人群的效率和时间,运用不同的算法进行 10 次疏散,每次试验中,人流的密度和方向变化保证随机性,做不定向变化,进行疏散诱导路径计算。其中实验中的人流密度参数 α 成正向变化,人流的密度逐渐增加。对每次的疏散路径诱导的时间进行标定,记录 2 种算法下,完成人员疏散的耗时,具体的时间分布如图 2 所示。

在图 2 中,本文算法下得到的大人流密度下的疏散时间要少于传统的时间,这说明在运用人流高密度模拟踩踏现场过程中,本文的算法诱导疏散时间更快。利用不同算法进行踩踏环境下人员的快速诱导疏散,对得到的实验中的相关数据进行记录,表 1 是发生了踩踏,人流密度和方向发生大幅随机波动的情况下,得到的实验结果。

表 1 拥塞程度较高区域相关数据表

交通区域参数	传统算法	本文算法
交通拥塞系数 α	0.89	0.89
疏散耗时	67 S	44 S
疏散效率	68.4%	77%

在踩踏区域人员诱导疏散过程中,通过对表 1 中的数据

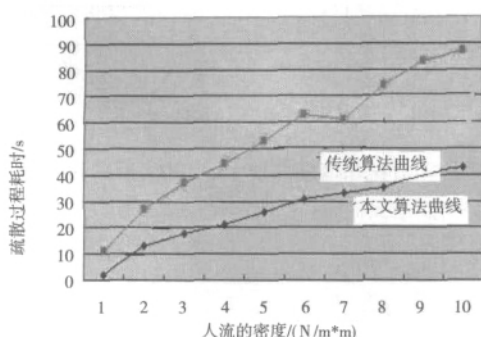


图2 不同算法完成人员疏散的耗时

进行整理分析能够得知,利用本文算法进行疏散路径诱导的效率高于传统算法。这说明本文算法针对人流突变和非线性的制约有一定的优势。

5 结论

为了避免传统的人员疏散路径运用到踩踏事故发生现场的缺陷,提出了一种基于突变人流诱导的快速疏散模型。在传统模型的基础上,引入人流方向突然变异算子和人流密度变异算子,将踩踏事件中人流的密度和方向突变的非线性充分考虑进模型,结合方向和密度变异的因素,提取局部区域人流突变参数,并将其反馈到诱导控制端,从而提高疏散速度和准确性。

参考文献:

- [1] 李晓磊,邵之江,钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 32-38.
- [2] 刘佳,等. 基于模拟退火算法的人工鱼群优化研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(10): 195-198.
- [3] 曲良东,何登旭. 基于自适应高斯变异的人工鱼群算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(15): 182-189.
- [4] 曲良东,何登旭. 基于自适应柯西变异人工鱼群算法及其应用[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(10): 74-78.
- [5] Lan Kuo-Tong, Lan Chun-Hsiung. Notes on the distinction of Gaussian and Cauchy mutations[C]. Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2008: 272-277.
- [6] 王梓坤. 概率论基础及其应用[M]. 北京: 科技出版社, 1979.
- [7] 周方俊,王向军,张民. 基于t分布变异的进化规划[J]. 电子学报, 2008, 36(4): 667-671.

[作者简介]



谢春明(1966-),男(汉族),重庆人,副教授,主要研究方向: 计算机软件与理论、计算机网络。

肖露欣(1980-),女(汉族),四川广安人,硕士,讲师,主要研究方向: 计算机软件与理论、计算机网络。

祝元仲(1971-),男(汉族),四川南充人,硕士,副教授,主要研究方向: 计算机应用。

(上接第130页)

- [5] 戴福山. 海洋大气近地层折射指数模式及其在蒸发波导分析上的应用[J]. 电波科学学报, 1998, 13(3): 280-286.
- [6] 赵小龙,黄际英,王海华. 大气波导中多径信道的参数研究[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2008, 35(2): 314-318.
- [7] 陈绍贺,郑辉,黄兴忠. 大气波导中多径衰落信道参数的定量计算[J]. 电波科学学报, 2010, 25(4): 638-645.
- [8] 任香凝,李文计. 海面蒸发波导微波超视距通信可行性分析[J]. 无线电通信技术, 2008, 34(2): 22-24.
- [9] L Barclay. Propagation of Radio Waves[M]. London: The Institution of Electrical Engineers, 2003.
- [10] 郭立新,等. 改进DMFT算法研究粗糙海上蒸发波导中的电波传输特性[J]. 电波科学学报, 2009, 24(3): 414-421.
- [11] 赵小龙. 电磁波在大气波导环境中的传播特性及其应用研究[D]. 西安电子科技大学, 2008.

- [12] L E Vogler, J A Hoffmeyer. A New Approach to HF Channel Modeling and Simulation[R]. NTIA Report 88-240, 1988.

[作者简介]



孙亿平(1986-),女(汉族),陕西省宝鸡市人,硕士研究生在读,主要研究领域为通信信号处理及移动通信。

张捷(1964-),男(汉族),安徽滁州市人,硕士研究生导师,副教授,主要研究领域为通信信号处理及移动通信。

彭茜(1970-),女(汉族),湖南省株洲人,硕士研究生,高级工程师,主要研究领域为移动通信及计算机网络。

吴畏(1980-),男(汉族),四川省人,博士研究生,工程师,主要研究领域为无线通信及频谱管理。