

Optimal Design of Pedestrian Evacuation Schemes at Exit of Railway Station

Xuecen Bai, Xingli Li*, Zhongfei Geng

School of Applied Science, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan Shanxi
Email: lixingli80@163.com

Received: Dec. 21st, 2018; accepted: Jan. 4th, 2019; published: Jan. 11th, 2019

Abstract

In recent years, the probability of sudden events in crowded public places has greatly increased. This paper takes the exit of the railway station with huge passenger flow as the research object. The impact of different evacuation schemes on pedestrian evacuation efficiency at the exit of the railway station is simulated by using Anylogic simulation software. The spatio-temporal dynamics during the evacuation process is analyzed. The simulation results show that the overall evacuation efficiency can be greatly improved by classifying pedestrians in advance and allowing pedestrians to evacuate according to categories. In addition, reasonable allocation of different types of pedestrian access ratio will be helpful for pedestrian evacuation.

Keywords

Station Exit, Pedestrian Evacuation, Simulation, Scheme Optimization

火车站出站口行人疏散方案优化设计分析

白雪岑, 李兴莉*, 耿中飞

太原科技大学应用科学学院, 山西 太原
Email: lixingli80@163.com

收稿日期: 2018年12月21日; 录用日期: 2019年1月4日; 发布日期: 2019年1月11日

摘 要

近年来人群密集的公共场所发生突发事件的概率大幅提升。本文以客流量巨大的火车站出站口为研究对
*通讯作者。

象, 运用Anylogic仿真软件, 模拟了不同疏散方案对火车站出站口行人疏散效率的影响, 并对疏散过程中的时空动力学特性进行了分析。仿真结果表明: 提前将行人进行分类, 让行人按类别进行疏散, 可大幅度提高人群整体疏散效率; 此外, 合理分配不同类别行人的通道比例有助行人疏散。

关键词

火车站出站口, 行人疏散, 仿真, 策略优化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程的加速, 居民出行量大大增加, 交通出行需求也增多。由拥挤或突发事件引起的公共安全问题逐年增加, 行人的安全疏散问题引起了许多学者的广泛关注。一般情况下人流疏散模型可分为宏观模型[1] [2]和微观模型[3] [4], 其中微观模型又分为社会力模型[3] [4] [5]和元胞自动机模型[6] [7] [8] [9]以及格子器模型[10] [11] [12] [13]。岳昊等[14]基于元胞自动机对行人疏散行为进行了仿真研究, 为疏散策略的选择提供了一些参考数据。谢积鉴等[15]基于元胞自动机模型数值计算了疏散时间随抵制强度的变化, 为提高室内行人疏散效率提供了新的视角。

交通枢纽往往存在不同的出站口, 如火车站作为主要客流集散中心之一, 其出站口每天客流量极大, 而有些出站口狭窄曲折且相对封闭[16]。在客流高峰期, 这些通道口往往会形成瓶颈效应、拱形效应, 出现行人堵塞, 拥堵等现象。尤其是发生紧急疏散事件时, 疏散能力弱, 容易发生意外, 造成人员伤亡因此对其疏散方案的探讨尤为重要。罗培卿等人[17]仿真模拟了铁路车站人员应急疏散, 在仿真过程中找出了疏散瓶颈, 为现实工作提供指导。李孟洁等人[18]进行了火车站旅客疏散行为统计分析及应用研究, 提出从加强社会化宣传以及车站提高自身设施建设等方面来提高火车站应对突发事件的能力。张晨杰等人[19]以火车站出站大厅防火分区为例, 针对特定的防火预案展开研究, 最后形成针对整个建筑物的更有操作性的完整疏散预案体系。李伏京等人[20]基于人员行为特性建立了人员疏散模型, 该模型具有人员速度可变和能够再现人员自组织现象的特点。

上述研究主要侧重于探讨火车站行人疏散存在的问题、疏散行为的研究以及疏散策略预案等对人群疏散的影响。众所周知, 火车站行人数量众多, 且人员构成结构复杂, 不同人员具有不同的行为特征。本文考虑火车站行人的个体差异, 通过 Anylogic 软件, 建立了火车站出站口行人疏散的模型, 提出行人疏散优化方案并进行仿真分析, 得出最优疏散策略, 从而为火车站出站口的管理提供一些建议。

2. 建立模型

2.1. 行人特性分析

人流中不同的行人存在个体差异, 不同特性的行人对速度、空间需求也不同。这里将火车出站口的行人分为三类: 未携带行李的正常行人、携带行李的正常行人、特殊行人(如老人, 孕妇, 盲人, 小孩等)。正常行人其步行速度范围为 $0.5 \text{ m/s} \sim 1 \text{ m/s}$, 均值为 0.75 m/s ; 行人可能携带行李, 其所占面积为 $0.8 \text{ m}^2 \sim 0.9 \text{ m}^2$; 特殊行人其步行速度为正常行人的一半。

2.2. 模型介绍

Anylogic 中提供的行人库基于社会力模型, 能够模拟仿真行人流。本文针对一个宽度为 9 米, 长度为 15 米的火车站出站口进行建模仿真[16], 模型如图 1 所示。其中紫色实线代表入口, 红色实线代表出口, 黑色实线、蓝色实线及矩形方块分别代表墙壁、栏杆及障碍物, 行人不能翻越墙壁和障碍物。红色实心圆代表未携带行李的正常行人, 蓝色实心圆代表携带行李的正常行人, 绿色实心圆代表特殊行人。考虑到一列火车其核载人数约为 1000, 本文假设行人总数为 1000, 全部为单向行人流, 由入口到达出站口。如无特殊说明, 各类行人参数设置[16]如表 1。

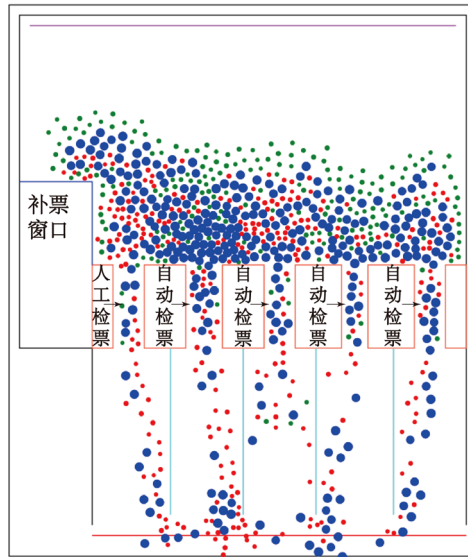


Figure 1. Model diagram

图 1. 模型示意图

Table 1. Pedestrian parameter settings

表 1. 行人参数设置

行人类型 Pedestrian type	所占比例/% Proportion of /%	单个行人所占面积/m ² Area occupied by a single pedestrian/m ²	行人速度 m/s Pedestrian speed m/s
未携带行李的正常行人(红色)	40	0.4-0.5	0.5~1
特殊行人(绿色)	20	0.4-0.5	0.25~0.5
携带行李的正常行人(蓝色)	40	0.8~0.9	0.5~1

3. 仿真及优化

3.1. 仿真结果与分析

初始时刻, 行人从入口处进入模型, 随机选择一个出站口出站。图 2 给出了紧急情况下, $t = 180$ s 时的行人疏散仿真图。未携带行李的正常行人因其行人特性部分顺利移出模型。但随着行人的增多, 携带行李的正常行人由于其所占面积较大以及特殊行人的存在, 导致在检票口形成拥堵, 大幅度降低了疏散效率。极可能因此产生严重踩踏事故, 从而影响行人的生命安全。因此需要改进, 如何在不增加通道宽度的情况下, 尽可能利用通道, 从而尽快疏散人群。

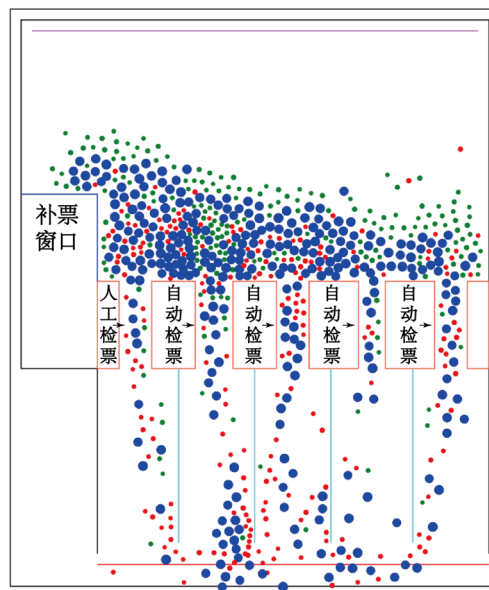


Figure 2. Simulation diagram of pedestrian evacuation under emergency at $t = 180$ s
图 2. $t = 180$ s 时, 紧急情况下行人疏散仿真图

3.2. 优化方案及对比

方案一: 为了消除携带行李的正常行人对人群的影响, 可使其单独行走一个通道, 如图 3 所示。可发现由于携带行李的正常行人较多, 当其从各个地方汇聚到一个检票口时, 易影响其他行人, 且由于自身特性, 在检票口形成拱形效应。同时会占据周边检票口, 降低通道利用率。

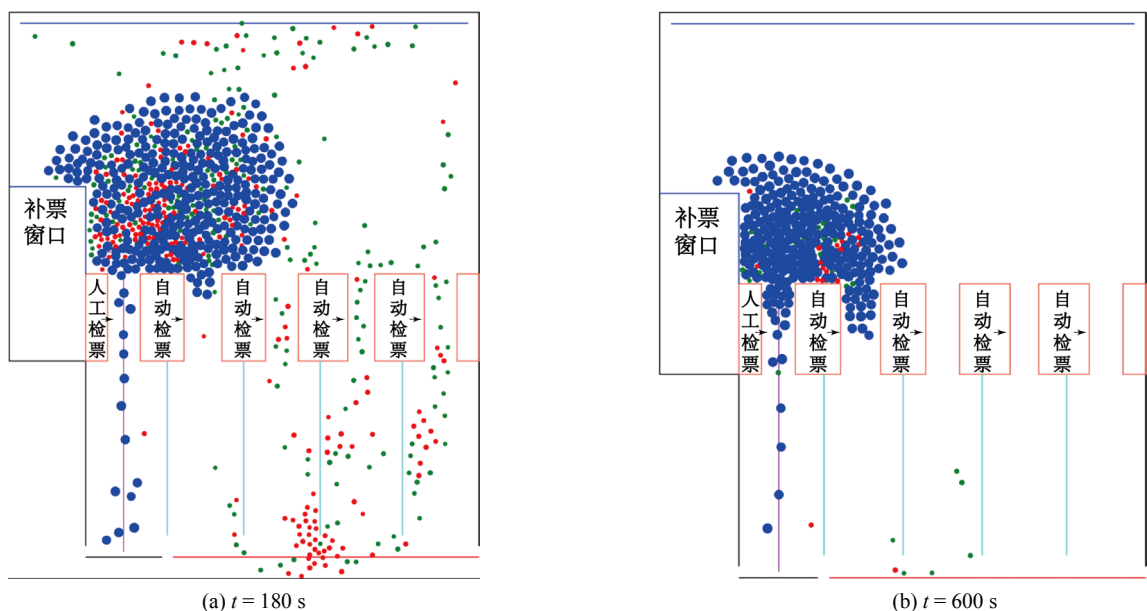


Figure 3. The spatio-temporal patterns of scheme 1
图 3. 方案一模拟的时空演化图

方案二: 基于方案一, 增加携带行李的正常行人专用疏散通道到 2 个, 如图 4。通过图 3 与图 4 对比, 可发现随着专用疏散通道的增加, 携带行李的正常行人对人群的影响得到大幅度缓解。但是随着疏

散的进行，只剩携带行李的这一类行人且其数量较多，因此可知行人通道利用率未得到最大化利用。并且发现会存在不同类别行人交叉的现象，影响疏散效率。

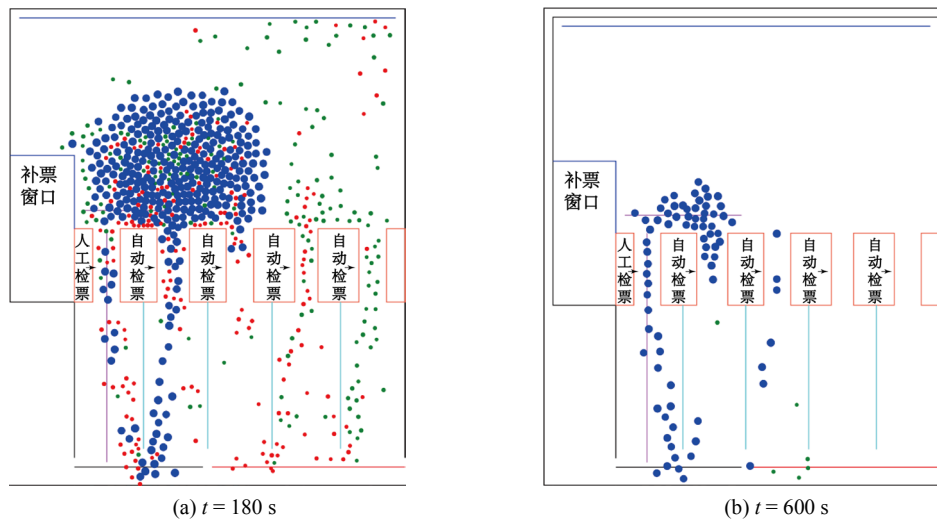


Figure 4. The spatio-temporal patterns of scheme 2
图 4. 标方案二模拟的时空演化图

方案三：提前对行人进行分类，减少不同类别行人交叉移动，同时令不同行人通道所占比例一致，使人群能够按类别进行移动，如图 5。从图 5 可以看出，此次方案消除了不同类别行人交叉移动造成的阻碍影响。但是模型模拟到最后发现，所剩行人只剩一类为携带行李的正常行人且其数量较多，同方案二问题一致，因此得知通道利用率还是未能最大化。

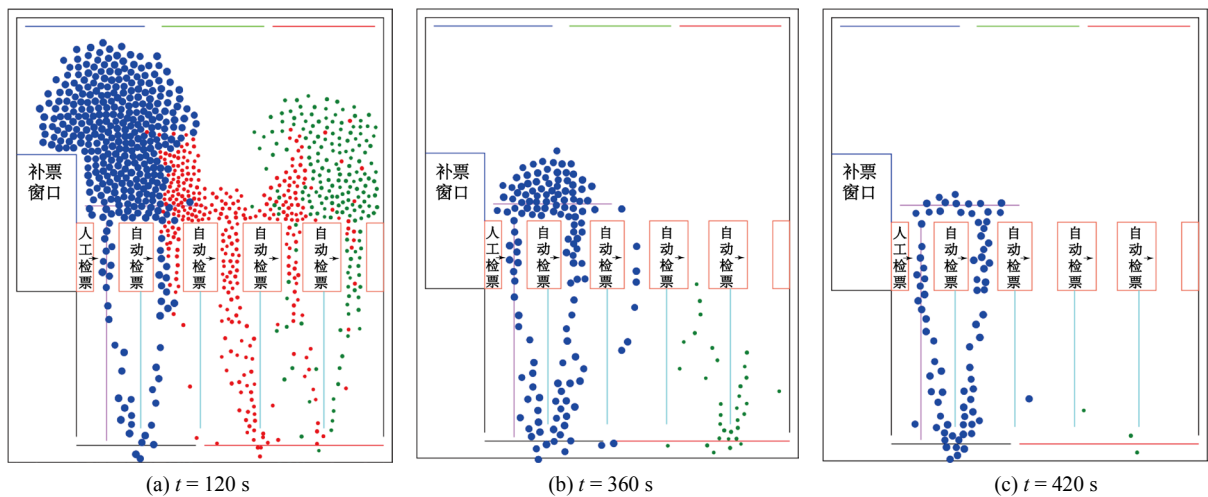


Figure 5. The spatio-temporal patterns of scheme 3
图 5. 方案三模拟的时空演化图

方案四：在方案三基础上，调整不同行人所占检票通道比例，如图 6。将不同行人通道所占比例调整为，携带行李的正常行人占用检票通道个数：未携带行李的正常行人占用检票通道个数：特殊行人占用检票通道个数 = 3:1:1。通过对比图 5 与图 6 分析发现，各个检票口都能够合理利用，且模拟运行到最后行人基本同时移出模型。

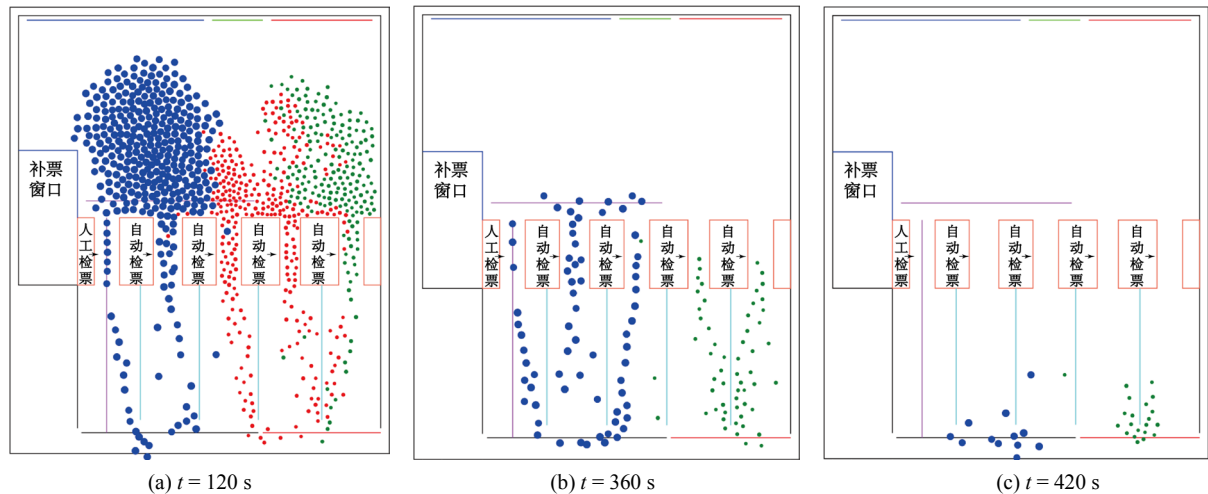


Figure 6. The spatio-temporal patterns of scheme 4
图 6. 方案四模拟的时空演化图

Table 2. Simulation time required for different schemes
表 2. 不同方案所需模拟时间

方案类型 Scheme type	方案一 Scheme 1	方案二 Scheme 2	方案三 Scheme 3	方案四 Scheme 4
所需模拟时间/min	51.52	14.41	10.27	7.79

4. 结论

本文通过 Anylogic 软件仿真模拟, 建立了火车站出站口的行人疏散模型, 得到行人通过出站口可能存在的问题, 针对拥堵的本质, 提出四种优化方案并论证。通过比较紧急情况下, 各个方案所需模拟时间(如表 2)以及模拟仿真图发现: 将不同类别行人在即将到达出口处提前进行分类有助于行人疏散; 此外, 根据预估的不同类型行人比例, 及时调整通过通道数, 有助于提高通道利用率, 从而提高行人疏散效率。

通过上述模拟研究可以发现疏散方案的改变对疏散效率有着显著的影响, 说明制定合理的疏散方案十分重要, 对行人流疏散方案的研究有着实际意义。

基金项目

本论文获山西省自然科学基金(201601D011013)、山西省留学回国人员科技活动择优资助项目(2017004)资助。

参考文献

- [1] Helbing, D. (2000) Traffic and Related Self-Driven Many-Particle Systems. *Physics*, **73**, 1067-1141.
- [2] Henderson, L.F. (1971) The Statistics of Crowd Fluids. *Nature*, **229**, 381-383. <https://doi.org/10.1038/229381a0>
- [3] Hoogendoorn, S.P., Wageningen-Kessels, F.V., Daamen, W., et al. (2015) Continuum Theory for Pedestrian Traffic Flow: Local Mute Choice Modelling and Its Implications. *Transportation Research Part C*, **59**, 183-197. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.05.003>
- [4] Helbing, D. and Molnar, P. (1995) Social Force Model for Pedestrian Dynamics. *Physical Review E*, **51**, 4282. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>
- [5] Helbing, D., Farkas, I. and Vicsek, T. (2000) Simulating Dynamical Features of Escape Panic. *Nature*, **407**, 487-490. <https://doi.org/10.1038/35035023>
- [6] Chraïbi, M., Seyfried, A. and Schadschneider, A. (2010) Generalized Centrifugal Force Model for Pedestrian Dynam-

- ics. *Physical Review E*, **82**, Article ID: 046111. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.82.046111>
- [7] Burstedde, C., Klauck, K. and Schadschneider, A. (2001) Simulation of Pedestrian Dynamics Using a Two-Dimensional Cellular Automaton. *Physica A*, **295**, 507-525. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(01\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00141-8)
- [8] Kirchner, A. and Schadschneider, A. (2002) Simulation of Evacuation Processes Using a Bionics-Inspired Cellular Automaton Model for Pedestrian Dynamics. *Physica A*, **312**, 260-276. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00857-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00857-9)
- [9] Zhang, P., Jian, X.X., Wong, S.C., *et al.* (2012) Potential Field Cellular Automata Model for Pedestrian Flow. *Physical Review E*, **85**, Article ID: 021119. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.85.021119>
- [10] Jian, X.X., Wong, S.C., Zhang, P., *et al.* (2014) Perceived Cost Potential Field Cellular Automata Model with an Aggregated Force Field for Pedestrian Dynamics. *Transportation Research Part C*, **42**, 200-210. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.018>
- [11] Tajima, Y. and Nagatani, T. (2001) Scaling Behavior of Crowd Flow Outside a Hall. *Physica A*, **292**, 545-554. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(00\)00630-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(00)00630-0)
- [12] Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., *et al.* (2003) Lattice Gas Simulation of Experimentally Studied Evacuation Dynamics. *Physical Review E*, **67**, Article ID: 067101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.67.067101>
- [13] Kuang, H., Li, X., Song, T., *et al.* (2008) Analysis of Pedestrian Dynamics in Counter Flow via an Extended Lattice Gas Model. *Physical Review E*, **78**, Article ID: 066117. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.78.066117>
- [14] 岳昊. 基于元胞自动机的行人疏散流仿真研究[J]. 物理学报, 2009, 58(7): 4523-4530.
- [15] 谢积鉴, 薛郁. 通过博弈的室内行人疏散动力学研究[J]. 物理学报, 2012, 61(19): 275-281.
- [16] 吴中, 施雯. 基于 Anylogic 的行人换乘通道入口优化设计[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2013, 30(6): 130-133.
- [17] 罗培卿, 李续扬. 铁路车站人员应急疏散仿真研究[J]. 交通科技与经济, 2015, 17(4): 82-85.
- [18] 李孟洁. 火车站旅客疏散行为统计分析及应用研究[J]. 防灾科技学院学报, 2013, 15(2): 57-62.
- [19] 张晨杰, 程旭东, 张洪江. 火车站出站大厅火灾人员疏散预案的制定[J]. 消防科学与技术, 2008, 27(7): 509-511.
- [20] 李伏京, 方卫宁, 胡清梅, 等. 地铁车辆安全疏散性能的仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 852-855.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojtt@hanspub.org