

基于改进 Dijkstra 算法的人群反馈调节疏散^①



任少强¹, 汪一鸣²

¹(苏州大学, 苏州 215031)

²(合芯科技有限公司, 广州 511365)

通信作者: 汪一鸣, E-mail: ymwang@suda.edu.cn

摘要: 针对苏州市金鸡湖城市广场在突发情况下的人群疏散问题, 建立了基于实时动态的疏散网络路径规划模型, 分析了大型公众区域复杂环境对人群疏散效率的影响. 同时提出以人群逃离危险区域的终止时间作为权值参数改进 Dijkstra 算法, 并且利用反馈补偿机制合理分配各出口的疏散人数, 实现人群疏散的动态调整和路径规划. 通过 Pathfinder 软件仿真验证算法的有效性, 得出改进以时间为权值的 Dijkstra 算法和提前规划人群疏散特定出口, 可以获得更优的人群疏散结果, 从而保障疏散人群的生命财产安全.

关键词: Dijkstra; 人群疏散; Pathfinder; 路径规划; 反馈调节

引用格式: 任少强, 汪一鸣. 基于改进 Dijkstra 算法的人群反馈调节疏散. 计算机系统应用, 2022, 31(1): 279-285. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8256.html>

Dynamic Crowd Evacuation with Improved Dijkstra Algorithm

REN Shao-Qiang¹, WANG Yi-Ming²

¹(Soochow University, Suzhou 215031, China)

²(He Xin Technology Co. Ltd., Guangzhou 511365, China)

Abstract: To address the crowd evacuation problem at Jinji Lake city square in Suzhou under emergencies, this study builds a real-time dynamic planning model of evacuation network paths and analyzes the influence of complex environments in a large public area on crowd evacuation efficiency. Meanwhile, the Dijkstra algorithm is improved with the time of the crowd escaping from the dangerous area as the weight and the number of people evacuating from each exit is rationally set by the feedback compensation mechanism to realize the dynamic adjustment and path planning of crowd evacuation. The improved algorithm is verified by Pathfinder simulation, which shows that planning the crowd to escape from specific exits in advance is conducive to achieving better crowd evacuation and thus ensuring the safety of life and property under emergencies.

Key words: Dijkstra; crowd evacuation; Pathfinder; path planning; feedback regulation

1 引言

随着人民生活水准的提高, 休闲广场等大型公众区域成为服务人民休闲娱乐的重要场所, 具有服务对象复杂, 承载人群密度高等特点^[1]. 我国早已将公共场所突发情况下的人群疏散管理研究作为重点研究项目, 国务院于 2006 年, 发布《国家中长期科学和技术发展

规划纲要》就将“突发公共事件防范与快速处置”列入其中. 即便如此, 据不完全统计, 全球每年因人群聚集而引发踩踏等事故造成人员伤亡的数量还在急剧增加. 例如, 2014 年 12 月 31 日, 上海外滩广场聚集了一大批因跨年活动而自发到来的人群, 由于疏散管理不到位, 引发大规模人群踩踏事故, 造成近百人伤亡. 成为近些

^① 基金项目: 苏州市公安局苏州工业园区分局项目 (SZYX2018-Y-C-002)

收稿时间: 2021-03-11; 修改时间: 2021-04-07, 2021-04-21; 采用时间: 2021-04-26; csa 在线出版时间: 2021-12-17

年来,我国最严重的自发性人群聚集公共安全事故.苏州市金鸡湖城市广场结合苏州中心商场成为苏州的地标建筑^[2],该广场占地约 12 000 m²,2020 年国庆期间,瞬时峰值人数突破 120 000 人次,密度峰值超过每百平 600 人次,一旦发生紧急情况,将会对人民的生命安全和财产损失产生巨大的影响.因此,以金鸡湖城市广场为例,研究公众开放场所对人群疏散的影响具有指导意义.

目前,国内外学者对大型公众场所突发情况下的人群疏散进行了大量研究.其中,晋良海通过分析建筑空间布局的构成要素,构建公共建筑疏散空间的拓扑网络,分析得出疏散路径的人群负荷加载状态对疏散效率的影响^[3].Yang 等利用 Pathfinder 软件仿真模拟和分析得出了地铁站内部障碍物对人群疏散的影响^[4].Helbing 等将体育场抽象成分层网络,分析人员疏散由内向外,由中心向四周疏散的特点,确定到安全区域的最佳疏散路线以提高应急疏散效率^[5].王海红等基于分层和强化学习改进路径搜索算法,通过合理的减小网络规模,保证算法求解精度的同时,改进了算法的效率^[6].巩青歌等通过分析已有的元胞自动机理论基础,改进从众吸引力算法,简化复杂空间欧氏距离算法,从而提高危险排斥力和出口吸引力的量化效率^[7].内蒙古工业大学的杨文举等应用元胞自动机和人工智能原理模拟人员的疏散,分析人群密度达到一定阈值时群体运动的规律,得出分块划分与出口“群体运动模拟”可以保证疏散的有效性^[8].

以上研究都是改进路径规划算法的求解精度和求解速度,本文将安全出口通行能力因素作为路径规划算法的影响参数,在路径规划初期就将安全出口条件考虑在内,实时动态调节分配人群到不同的安全出口,并且以所有人员最终撤离危险区域时间为算法评估参数,从而获得最优的人群疏散解.使用 Pathfinder 软件仿真,对比自然疏散条件和传统 Dijkstra 算法疏散条件的人群疏散结果,验证改进算法的有效性.

2 现代化广场人群疏散问题的描述及分析

2.1 现代化广场人群疏散问题的描述

现代化广场成为城市居民和农村居民的重要休闲娱乐场所.一般广场具有占地面积大,出口位置不固定等特点,从而导致广场中心区域到安全出口距离大的问题.同时现代化广场,具有特定时间人群聚集性特点,

特定时段人群数量陡增,成员复杂,人群密度高,因此将现代化广场作为典型的大型公众区域紧急疏散研究对象.

2.2 影响人群疏散的主要因素分析

(1) 人群与出口距离

现代化广场中心游玩区域距离各出口距离较远,各游玩区域距离各个出口的距离不一致,人群与出口的疏散距离成为影响疏散时的主要因素.游玩区域和出口区域的距离直接影响到路径疏散中人群出口的选择以及人群奔向出口的耗时.

(2) 安全出口通行能力

现代化广场一般具有多个安全出口,由于各出口的宽度不同,导致其通行能力具有一定差异,一定程度造成出口处的人群聚集问题,直接影响到广场人群的疏散效率.

传统 Dijkstra 算法以两节点间距离为权值参数,利用贪心法则遍历所有节点,最终获取起点和终点的最短距离路径.本文以传统 Dijkstra 算法为基础,首先利用距离参数获取起点与终点的所有路径集合并且排序,然后引入安全出口通行能力参数,重新对节点人群科学合理分配至各出口.最终获取疏散时间更短的规划路径.

3 基于改进 Dijkstra 算法的城市广场突发情况下动态人群疏散模型

改进 Dijkstra 算法路径规划流程图如图 1 所示.参考柏柳提出的一种多层域异构交通数据融合模型来对动态环境信息中的人群节点位置信息和出口密度信息实时获取^[9].首先使用多列卷积神经网络 (multi column convolutional neural network, MCNN) 进行低空视角的人数估计,然后设计了一种基于高斯混合模型的密度分级算法,将高空监控视频中的人群密度以关键动点间的距离分级显示^[10].如图 2 所示,结合低空监控和高空监控,将局部信息和全局信息互补融合,更加准确的获取上述模型建立的参数信息,并且构造成 Dijkstra 算法的新权值参数.执行 Dijkstra 输出人群节点到出口节点的最短时间路径.将输出结果带入自己构造的 Ajust 算法,用来调节各条路径的疏散人数.最终输出最优的路径和对应路径上的行人数量.

3.1 人群疏散模型的建立

由于城市广场人群疏散问题较为复杂,且影响因

素较多,为便于问题的研究,在此做以下假定:

- (1) 以每 m 人划分为一个人群节点. 初始设定为 f 个人群节点, 共计 $M = m \times f$ 人 ($m > 0, f > 0$);
- (2) 假定发生意外时, 人群是在同一时间向出口疏散, 且疏散速度 μ 一致 ($\mu > 0$);
- (3) 假定广场有 n 个出口, 且各出口通行速率 H_k 确定 ($n > 0, H_k > 0$);
- (4) 最后一名人员成功疏散至广场外, 作为疏散完成的判定条件. 以各出口最终疏散完成时间 T_{k_total} 的长短来判定疏散算法的优劣.



图1 改进 Dijkstra 算法路径规划流程图



图2 疏散模型参数获取

城市广场疏散系统的路网结构用图结构来表示. $G = (V, E)$, 其中 $V \in \{[1,2,3,\dots], [A,B,C,\dots]\}$ 是图 G 中所有节点的集合, $[1,2,3,\dots]$ 共有 f 个人群节点集合, $[A,B,C,\dots]$ 共有 n 个出口节点集合. 弧集 $E = \{e_{ij}: i \in V, j \in V, i \neq j\}$ 是弧的集合, 其中 e_{ij} 表示从节点 i 到节点 j 的弧, 长度用 d_{ij} 来表示. 图中路径 (如 $r = \{e_{i_1 i_2}, e_{i_2 i_3}, e_{i_{n-1} i_n}\}$)

可用一系列首位相连的弧表示, $\{e_{i_1 i_2}, e_{i_2 i_3}, e_{i_{n-1} i_n}\}$ 表示图中路径各条弧的长度. 所以路径长度 $D_{ij} = \sum_{e_{ij} \in r} d_{ij}$, 等于所选路径中各条弧的长度之和.

3.2 疏散路径时间: $T_{fk_v_road}$

根据武汉大学与香港城市大学发展的 SGEM 模型^[11], 人群的疏散速度与人群密度的关系可以用式 (1) 表示:

$$\mu = \begin{cases} 1.4, & \rho \leq 0.75 \\ 0.0412\rho^2 - 0.59\rho + 1.867, & 0.75 < \rho \leq 4.2 \\ 0.1(\approx 0), & \rho > 4.2 \end{cases} \quad (1)$$

其中, μ 表示不同密度下人群的移动速度 (m/s), ρ 表示人群密度 (人/ m^2). 整个广场的人数设定为 $M = m \times f$ (人), 广场移动区域面积为 $S (m^2)$, 式 (2) 计算出人群密度 ρ . 将 ρ 带入式 (1), 即可得到人群的移动速度 μ .

$$\rho = \frac{M}{S} \text{ 人}/m^2 \quad (2)$$

基于低空摄像, BIM 和 GIS 实时获取人群地理位置信息. 可以获得各个人群节点与出口节点的区域位置和具体距离, 从而构成以距离为权值的邻接矩阵 G_{dis} , 其中 d_{ij} 表示节点 i 到节点 j 的距离.

$$G_{dis} = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{i1} & \dots & d_{ij} \end{pmatrix} \quad (3)$$

将式 (3) 邻接矩阵中的各个参数 d_{ij} 除以式 (1) 得出的移动速率 μ , 整理得出以时间为权值的邻接矩阵 G_{T_road} .

$$G_{T_road} = \frac{G_{dis}}{\mu} \quad (4)$$

Dijkstra 算法原理如下:

Step 1. 设置一个集合 S 存放已经找到的最短路径顶点, S 的初始状态只包含源点, 对 $S_i \in V-S$, 假设从源点 S 到 S_i 的有向边为最短路径.

Step 2. 以后每求得一条最短路径 d_1, \dots, d_j , 就将集合加入 S 中, 并将路径 d_1, \dots, d_j, S_i 与原来假设相比较, 取路径长度最小者为最短路径.

Step 3. 重复上述过程, 直到集合 V 中全部顶点加入集合 S 中.

对邻接矩阵 G_{T_road} 执行如上 Dijkstra 算法.

$$Dijkstra[v_f, v_k, G_{T_road}] = T_{fk_v_road} \\ T_{fk_v_road} = \sum_{d_{ij} \in r_{fk}} \frac{d_{ij}}{\mu} \quad (5)$$

其中, v_f 表示起点, v_k 表示终点, G_{T_road} 表示存储各节点权值信息的邻接矩阵. r_{vk} 表示由 Dijkstra 算法得到的最短路径. d_{ij} 表示该最短路径上的分支节点距离. $T_{fk_v_road}$ 表示从人群节点 f 到出口节点 k 的最短疏散路径时间.

3.3 疏散出口时间: T_{k_exit}

疏散出口时间 T_{k_exit} 表示人群通过安全出口所花费的时间. 参考光海鹏提出的安全出口空间特征对密集人群疏散的影响^[12], 获得各安全出口通行能力 H_k (人/s).

已知各出口通行能力 H_k , 由式 (6) 计算出每个出口理论通行人数与所有出口通行能力的比值 P_k .

$$P_k = \frac{H_k}{\sum_1^n H_k} \quad (k \in \{A, B, C, \dots\}) \quad (6)$$

由式 (7) P_k 与疏散总人数 M 的乘积, 可获得各个出口节点的理论疏散人数 B_k , 由式 (8) 将出口理论疏散人数 B_k 除以对应出口疏散能力 H_k , 获得该出口的疏散出口时间 T_{k_exit} .

$$B_k = M \times P_k \quad (7)$$

$$T_{k_exit} = \frac{B_k}{H_k} \quad (8)$$

3.4 疏散模型总时长: T_{k_total}

由式 (9) 疏散路径时间 $T_{fk_v_road}$ 和疏散出口时间 T_{k_exit} 相加构成疏散模型总时长 T_{k_total} . 表示在突发情况下, 人群从游玩区域疏散到出口区域的时长 $T_{fk_v_road}$. 加上在安全出口处排队疏散至广场外安全区域的时间 T_{k_exit} , 构成整个疏散过程的总时长. 将传统 Dijkstra 算法改进成双目标优化算法.

$$T_{k_total} = T_{fk_v_road} + T_{k_exit} \quad (9)$$

$$T_{fk_v_road} = \sum_{d_{ij} \in r_{fk}} \frac{d_{ij}}{\alpha_{ij} \mu} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} T_{k_exit} &= \frac{M}{\beta(m, T_{fk_v_road})} \times \frac{B_k}{H_k} \\ &= \frac{m \times f}{\beta(m, T_{fk_v_road})} \times \frac{H_k}{\sum_1^n H_k} \end{aligned} \quad (11)$$

式 (10) 中, $\alpha_{ij} \in (0, 1]$, 代表障碍物等对各路径疏散速度 μ 的影响. 当无障碍物时, $\alpha_{ij} = 1$. 当有障碍物时, $0 < \alpha_{ij} < 1$. α_{ij} 与疏散路径时间 $T_{fk_v_road}$ 成反比.

式 (11) 中, $\beta \in (0, 1]$, 代表人口从出口疏散的误差疏散效率. $\beta = 1$, 代表无误差, 疏散人数等于该出口理论疏

散人数 B_k . 疏散过程中, 前期疏散人数势必小于通行能力 H_k . 故 β 与疏散出口时间 T_{k_exit} 成反比. β 受到疏散人数 m 和疏散路径时间 $T_{fk_v_road}$ 影响. 本文 α_{ij} , β 默认取值为 1.

3.5 构造人数调整 Adust 算法

本文构造了实时人数反馈调节 Ajust 算法.

输入参数: 各人群节点到各出口节点最短路径 r_{fk} , 路径 r_{fk} 对应最短疏散时间 $T_{fk_v_road}$, 路径 r_{fk} 对应人群节点人数 M_f 及对应出口节点理论疏散人数 B_k .

输出参数为最优路径及对应疏散人数.

Ajust 算法如下:

将 4 个输入参数构造成 Python 语法中“字典”变量类型. 共计 $f \times k$ 条“字典”. 执行如下 Adust 算法.

Adust [r_{fk} , $T_{fk_v_road}$, M_f , B_k]

Step 1. 以 $T_{fk_v_road}$ 由小到大对 $f \times k$ 条“字典” (r_{fk} , $T_{fk_v_road}$, M_f , B_k) 排序.

Step 2. 当 $M_{f_l} < B_{k_l}$ 时:

该人群节点人数小于该出口理论疏散人数:

则删除人群节点为 f_l 的所有“字典”.

更新出口节点 k_l 剩余疏散人数为 $B_{k_l} - M_{f_l}$. 重复

Step 1.

Step 3. 当 $M_{f_l} \geq B_{k_l}$ 时:

该人群节点人数大于该出口理论疏散人数:

则删除出口节点为 k_l 的所有“字典”.

更新人群节点 f_l 剩余人数为 $M_{f_l} - B_{k_l}$.

重复 Step 1.

重复以上 3 个步骤, 直到所有人群节点疏散至出口节点.

Adust [r_{fk} , $T_{fk_v_road}$, M_f , B_k] = fk_num

fk_num 表示各人群节点疏散至各出口节点具体人数.

4 案例分析

4.1 地理环境概况

苏州市金鸡湖城市广场占地 12 000 m², 以每 1 200 人为一个人群节点, 共设定 5 个人群节点, 人群总数为 6 000 人, 导入式 (1) 中, 获得人群行动速度 μ 为 1.4 m/s. 如图 3(a) 表示由人群节点 $V_f \{1, 2, 3, 4, 5\}$, 出口节点 $V_k \{A, B, C, D\}$ 构成的路网关系图. 由低空摄像, BIM 和 GIS 获得各人群节点和出口节点位置距离 (单位: m), 同时用邻接矩阵 G_dis 构成各节点的距离关系. 导入式 (4), 更新为以疏散路径时间为权值的邻接矩阵 G_{T_road} .

$G_{T_road} =$

A	0	60	92	127	46	29	53	71	115
B	60	0	45	117	105	58	35	72	118
C	92	45	0	85	134	77	41	62	96
D	127	117	85	0	148	97	83	55	28
1	46	105	134	148	0	59	94	97	127
2	29	58	77	97	59	0	35	44	85
3	53	35	41	83	94	35	0	35	82
4	71	72	62	55	97	44	35	0	47
5	115	118	96	28	127	85	82	47	0

金鸡湖城市广场共有 4 个出口, 分别为南朝向 A 出口 (宽度 1.5 m), 西朝向 B 出口 (宽度 2 m) 和 C (出口宽度 2 m), 北朝向 D 出口 (宽度 4 m). 表 1 为不

表 1 不同宽度安全出口通行能力表^[12]

安全出口宽度 (m)	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	4.0
通行能力 (人/s)	4.251	4.803	5.231	6.019	6.452	6.836	7.119	7.487	19.031

运行 Dijkstra 算法^[13], 获得各个人群节点疏散至各个出口节点结果. 人群节点 1,2 均奔向出口 A, 人群节点 3 奔向出口 B, 人群节点 4,5 奔向出口 D. 同时, 将广场疏散总人数 $M = 6000$ 人, 带入式 (7), 获取各出口理论逃生人数 B_k . 数据整理如表 2. 如图 3 所示, 以金鸡湖城市广场为基础构建疏散路网结构图, 图 4 参考实际环境, 在仿真软件 1:1 绘制广场疏散环境模型. 图 5 则展示了 Pathfinder 软件模拟疏散过程.

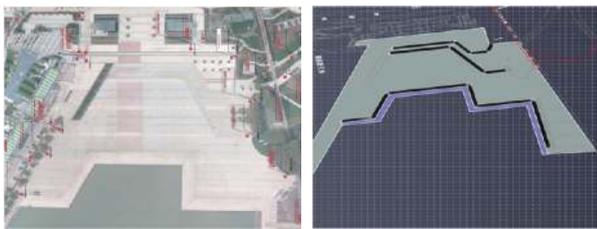


图 4 城市广场实景图与 Pathfinder 软件绘制图

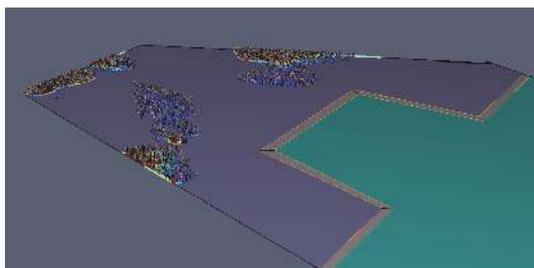


图 5 Pathfinder 软件模拟疏散过程

同宽度安全出口通行能力表. 由表 1 获取 A 出口通行能力为 5.231 人/s. 出口 B 和出口 C 通行能力为 7.487 人/s. 出口 D 通行能力为 19.031 人/s.

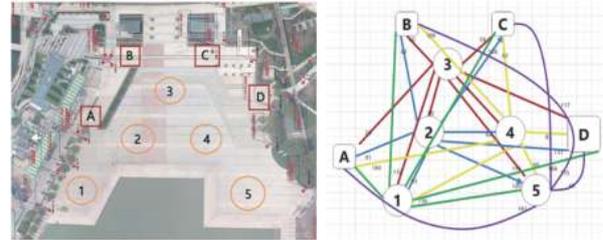


图 3 广场节点路网结构图

表 2 多种情况疏散结果表 (s)

方法	最早出口完成疏散时间	最晚出口完成疏散时间	最早最晚时间差
自然疏散	209.6 (A出口)	156.3 (D出口)	53
传统DJ疏散	143 (D出口)	472.4 (A出口)	329.4
改进算法	172.3 (C出口)	185.2 (D出口)	12.9

表 3 人群节点疏散至出口节点表

出口	区域人群	总人数	通行能力 (人/s)	疏散出口时理论疏散时间 T_{n_exit} (s)	理论疏散人数 N_n
A	1,2	2 400	5.231	458	804
B	3	1 200	7.487	160	1 149
C	—	—	7.487	0	1 149
D	4, 5	2 400	19.031	126	2 922

4.2 人数动态调整

表 3 可以得出传统 Dijkstra 算法路径规划结果为 $T_{A_exit} = 458$ s, $T_{B_exit} = 160$ s, $T_{C_exit} = 0$ s $T_{D_exit} = 126$ s. 疏散出口时间 T_{k_exit} 差异巨大, 由于 C 出口没有人群节点疏散, 造成出口资源浪费. 1,2 人群节点距离出口 A 较近, 故疏散至 A 出口节点, 但是 A 出口通行能力较差, 造成拥堵, 疏散时间最长. 各出口的理论疏散总人数为 A 出口疏散 804 人, B, C 出口各疏散 1 149 人, D 出口疏散 2 922 人.

执行 Dijkstra 算法, 输出结果如表 4, 使用 Ajust 算法合理分配人数至各出口, 疏散结果如表 5 所示.

人群节点 1 转移 678 人至出口 C, 转移 522 至出口 D.

表4 人群动态调整至出口表

路径	人群节点人数 m_f	出口节点理论疏散人数 B_n	疏散路径时间 $T_{f_n \rightarrow road}$ (s)	排序
r_{1A}	1 200	804	46	5
r_{1B}	1 200	1 149	105	16
r_{1C}	1 200	1 149	134	19
r_{1D}	1 200	2 922	148	20
r_{2A}	1 200	804	29	2
r_{2B}	1 200	1 149	58	8
r_{2C}	1 200	1 149	77	12
r_{2D}	1 200	2 922	97	15
r_{3A}	1 200	804	53	6
r_{3B}	1 200	1 149	35	3
r_{3C}	1 200	1 149	41	4
r_{3D}	1 200	2 922	83	13
r_{4A}	1 200	804	71	10
r_{4B}	1 200	1 149	72	11
r_{4C}	1 200	1 149	62	9
r_{4D}	1 200	2 922	55	7
r_{5A}	1 200	804	115	17
r_{5B}	1 200	1 149	118	18
r_{5C}	1 200	1 149	96	14
r_{5D}	1 200	973	28	1

表5 动态人群出口分配表

出口	区域人群	总人数	通行能力 (人/s)	疏散出口时间 (s)
A	2->804	804	5.231	153
B	3->1 149	1 149	7.487	153
C	3->45; 2->396; 1->678	1 149	7.487	153
D	5->1 200; 1->522; 4->1 200	2 922	19.031	153

人群节点 2 转移 804 人至出口 A, 转移 396 人至出口 C.

人群节点 3 转移 1 149 人至出口 B, 转移 51 人至出口 C.

人群节点 4 转移 1 200 人至出口 D, 人群节点 5 转移 1200 人至出口 D. 式 (5) 可得疏散路径时间 $T_{f_k \rightarrow road}$:

$$T_{2A \rightarrow road} = 29 \text{ s}, T_{3B \rightarrow road} = 35 \text{ s}, T_{3C \rightarrow road} = 41 \text{ s}, T_{5D \rightarrow road} = 28 \text{ s}.$$

由式 (8) 得出疏散出口时间: $T_{k \rightarrow exit} = 153 \text{ s}$.

由式 (9) 得出疏散模型总时间:

$$T_{A_total} = T_{2A \rightarrow road} + T_{A \rightarrow exit} = 182 \text{ s}, T_{B_total} = T_{3B \rightarrow road} + T_{B \rightarrow exit} = 191 \text{ s}, T_{C_total} = T_{3C \rightarrow road} + T_{C \rightarrow exit} = 194 \text{ s}, T_{D_total} = T_{5D \rightarrow road} + T_{D \rightarrow exit} = 181 \text{ s}.$$

5 软件仿真

使用 Pathfinder 软件仿真模拟 3 种情况下的人群

疏散结果^[14]. 情况 1: Pathfinder 软件自然疏散. 情况 2 使用传统 Dijkstra 算法路径规划. 情况 3 使用改进 Dijkstra 算法和 Adjust 人数调节算法结合输出路径规划结果.

情况 1 Pathfinder 自然仿真结果如图 6(a) 所示, 最早完成疏散出口为 156 s. 最晚完成疏散为 A 出口 209 s.

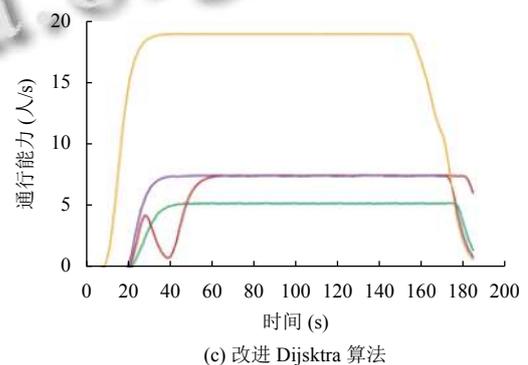
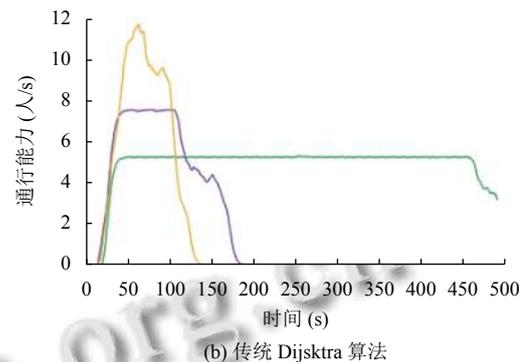
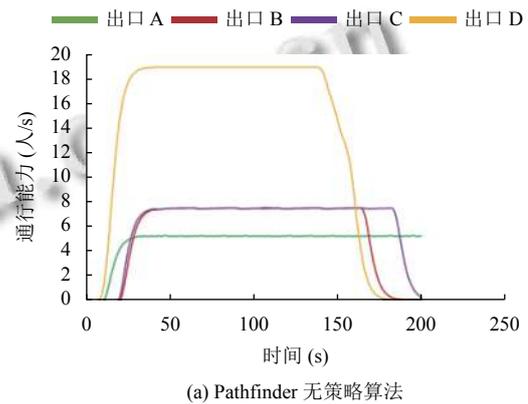


图6 3种疏散算法仿真对比结果

情况 2 如图 6(b) 所示, 使用传统 Dijkstra 算法, 以最短路径为算法的主要参数. 由于 C 出口无人疏散, 导致模型疏散总时间差异巨大. 最早完成疏散出口为 D 出口, 用时 143 s. 最晚完成疏散出口为 A 出口, 用

时 472 s. 相差 329 s.

情况 3 如图 6(c) 所示, 改进 Dijkstra 算法结合人群合理分配出口结果. 最早完成疏散为 C 出口 172 s, 最晚完成疏散为 D 出口 185 s. 相差 12.9 s, 用时最短, 对比 3 种算法, 最早完成疏散任务.

改进的 Dijkstra 算法通过合理的分配人群到各个出口, 完成人群疏散的结果最佳, 比 Pathfinder 软件模拟自然疏散提升了 10 s. 传统 Dijkstra 算法只考虑最短路径为权值, 没有考虑安全出口的疏散能力, 导致人群大量拥堵在疏散能力差的出口, 浪费了大量时间, 疏散结果最差.

6 总结与展望

本文对苏州市金鸡湖城市广场的人群疏散路径规划进行了研究. 改进传统 Dijkstra 最短路径权值为最短时间权值, 同时加入人群人数反馈调节 A_{just} 算法, 合理分配人群至不同出口, 从而减少人群疏散时间. 通过 Pathfinder 软件仿真, 对比 3 种条件下疏散结果, 发现最大化利用所有出口资源对路径规划疏散效率有显著提高.

参考文献

- 1 陆君安, 方正, 卢兆明, 等. 建筑物人员疏散逃生速度的数学模型. 武汉大学学报(工学版), 2002, 35(2): 66–70.
- 2 雷诚, 李锦, 丁邹洲. “双效健康城市”理念下既有公共空间环境更新设计探讨——以金鸡湖环湖绿道为例. 西部人居环境学刊, 2020, 35(3): 1–9.
- 3 晋良海, 易小钰, 殷双萍, 等. 公共建筑人群疏散流线负荷的拓扑解析模型研究. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(9): 30–36.
- 4 Yang SG, Jin J, Lu XF. Research on spatial arrangement of metro station floor facilities based on pathfinder. American Journal of Civil Engineering, 2019, 7(6): 147–151. [doi: 10.11648/j.ajce.20190706.11]
- 5 Helbing D, Buzna L, Johansson A, et al. Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions. Transportation Science, 2005, 39(1): 1–24. [doi: 10.1287/trsc.1040.0108]
- 6 王海红, 刘莉. 基于分层和强化学习的改进路径搜索算法. 计算机与现代化, 2020, (11): 77–82, 88. [doi: 10.3969/j.issn.1006-2475.2020.11.013]
- 7 巩青歌, 沈晓飞, 王文骏. 基于元胞自动机的人群疏散模型. 计算机系统应用, 2013, 22(11): 105–109. [doi: 10.3969/j.issn.1003-3254.2013.11.020]
- 8 杨文举, 周洋洋, 常瑜. 模拟疏散中个体及群体运动方法. 计算机系统应用, 2012, 21(6): 182–185. [doi: 10.3969/j.issn.1003-3254.2012.06.041]
- 9 Bai L, Wu C, Wang YM, et al. Multiview-fusion-based crowd density estimation method for dense crowd. The Fifteenth International on Conference on Systems (ICONS). Lisbon, 2020.
- 10 Bai L, Wu C, Wang YM. Overcrowding detection based on crowd-gathering pattern model. Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference. London: Springer, 2020. 270–284.
- 11 Lo SM, Fang Z, Lin P, et al. An evacuation model: The SGEM package. Fire Safety Journal, 2004, 39(3): 169–190. [doi: 10.1016/j.firesaf.2003.10.003]
- 12 光海鹏. 安全出口空间特征对密集人群疏散的影响研究. 安徽建筑, 2020, 27(8): 32, 38.
- 13 刘志威, 杨莉琼, 谢永胜, 等. 基于改进 Dijkstra 算法的川藏铁路站房工程物资动态调运研究. 建筑经济, 2020, 41(S1): 166–170.
- 14 赵金龙, 孙博阳, 王善生, 等. 基于 Pathfinder 的特殊地铁站点人群紧急疏散模拟. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(1): 146–150.