

吴元君, 徐玉林. 基于改进混合遗传算法的教学楼火灾逃离路径优选研究[J]. 灾害学, 2020, 35(2): 75-79. [WU yuanjun, XU YuLin. Study on Optimum Evacuation Path of Teaching Building Fire Based on Improved Hybrid Genetic Algorithms[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(2): 75-79. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.015.]

基于改进混合遗传算法的教学楼火灾 逃离路径优选研究^{*}

吴元君¹, 徐玉林²

(1. 安徽财贸职业学院 云桂信息学院, 安徽 合肥 230601; 2. 合肥师范学院, 安徽 合肥 230601)

摘 要:为解决教学楼火灾疏散问题,更好地服务于校园火灾应急管理,研究基于改进混合遗传算法的教学楼火灾逃离路径优选。教学楼火灾发生时,确定影响火灾逃离路径优选的权值因子,如楼梯或消防通道长和宽、人流密度、逃离速度、烟雾扩散范围等,动态分析教学楼火灾发展情况,建立教学楼内部空间对象三维网络数据集,有效分析教学楼各楼层空间实体间的顺序、度量、拓扑空间关系,通过图像细化和图像特征点提取算法建立完整的教学楼三维路径模型。采用引入模拟退火拉伸方法的改进混合遗传算法,针对所建立三维路径模型,展开教学楼火灾逃离路径优选。模拟实验研究发现,该方法能从火灾条件、早期生长阶段和火灾发生三个阶段得到最佳的火灾逃生途径。

关键词:混合;遗传算法;教学楼;火灾;逃离;路径优选

中图分类号: TP391.41; X45; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)02-0075-05
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.02.015

近年来,校园火灾事件频频发生,带来重大财产损失和人员伤亡的同时,也给校园公共安全带来极其严重的威胁,对青少年学生心理带来伤害^[1]。校园的教学楼建筑多样化、校园面积大、人口密度高、疏散通道复杂以及校园安防力量不足,造成校园火灾安全管理无法顺利开展。百分百防止校园火灾发生十分困难,因此在火灾发生后,为保证生命财产安全,如何快速、有效做出应急措施,帮助人员逃离火灾现场成为重中之重^[2]。

遗传算法是一种最佳化搜索算法,是基于生物界优胜劣汰的进化原则演变而来^[3],具备良好隐并行性和全局搜索能力,广泛应用于计算机、人工智能,组合优化等领域。但遗传算法还存在限于局部搜索、过早收敛以及求解效率低等不足之处。

为此本文在遗传算法的基础上引入模拟退火拉伸方法,研究基于改进遗传算法的教学楼火灾逃离路径优选方法,减少校园火灾伤亡,以便更好服务于校园火灾应急管理工作^[4]。

1 教学楼火灾逃离路径优选分析

根据教学楼火灾各项权值因子建立的三维网

络数据集,构建教学楼内部三维动态路径模型,采用改进混合遗传算法面向该三维动态路径模型,实现教学楼火灾逃离路径优选^[5]。路径优选过程中,通过选择层高、房间分布等教学楼固有特征和人员数量、分布等逃生人员状态等权重因子展开教学楼火灾逃生最优路径分析^[6]。

1.1 路径权值因子的确定

地理信息系统中,通常根据路径权值最小原理,逐个遍历所有路径后,选取最短路径。众多影响路径分析的因子中,每个因子影响程度均不相同^[7]。针对教学楼火灾逃离场景,影响路径优选的因子主要有:教学楼建筑属性特征,如教学楼内部结构、房间分布、楼梯或消防通道情况、教学楼层高等;火灾相关状态,如火灾起火点位置、火势扩散速度、对周边产生的影响等。教学楼内人员状态,如性别、年龄、数量、心理情况等。分析、比较这些路径优选因子,选择楼梯或消防通道长和宽、人流密度、逃离速度、旅行时间、烟雾扩散范围、转弯限制为教学楼火灾逃离路径优选的路径权值参数,并动态分析教学楼火灾发展情况。

1.1.1 楼梯或消防通道长和宽

楼梯或消防通道长和宽是影响教学楼火灾发

* 收稿日期: 2019-09-09 修回日期: 2019-11-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401657)

第一作者简介: 吴元君(1982-),男,汉族,安徽明光人,副教授,研究方向为数据挖掘、教育技术学、通信与信息系统等。

E-mail: yj-wuli@sina.com

生时人员逃离的主要因子, 决定人员逃离时间^[8]。通常情况, 楼梯或消防通道越长, 人员逃离时间越大, 楼梯或消防通道宽度越大, 在人流与拥堵时, 人员逃离速度越快。楼梯或消防通道有效宽度为, 不计楼梯或消防通道边界尺寸的宽度。

1.1.2 人流密度

单位面积内的人员数目称之为人流密度。人流密度的计算公式为:

$$\rho = \frac{ns}{((n-1)h + nw)z/2} \quad (1)$$

式中: n 、 s 分别表示需要逃离的人流量、逃离人员水平投影面积; h 、 w 分别表示逃离人员彼此间垂直距离、逃离人员垂直厚度; z 表示楼梯或消防通道有效宽度。因为教学楼火灾逃离对象以学生群体为主, 体型相差不大, 根据相关调查便可获取。

1.1.3 逃离速度

逃离过程中逃离人员单位时间内行进的楼梯或消防通道长度为逃离速度^[9]。根据相关研究, 人处于紧急逃离状态时, 即 $\rho \geq 0.93$ 时, 逃离人员的逃离速度表达公式为:

$$V_1 = (1.48 - 0.35P)V_0 \quad (2)$$

式中: V_0 表示正常行走速度。

1.1.4 旅行时间

人员经过楼梯或消防通道弧段所用时间为旅行时间^[10]。旅行时间的计算公式为:

$$t = l/qV_1 \quad (3)$$

式中: l 表示楼梯或消防通道中每个弧段的长度; q 表示楼梯或消防通道长允许通行的最大队列数, q 的计算公式为:

$$q = z/s \quad (4)$$

1.1.5 烟雾扩散范围

火灾的发生都会产生大量烟雾, 导致被困人员无法辨别方向, 增加人员逃离难度。火灾产生的烟雾中存在的有害气体威胁人员生命^[11], 因此火灾周边烟雾波及范围中不允许被困人员通过。火灾烟雾随着时间推移逐渐扩散, 烟雾波及范围随之增加, 这些均属于动态变化因子, 将这些动态变化因子以障碍面的形式引入网络分析图层中, 确保逃离人员在逃离过程中可以有效躲避烟雾。

1.1.6 转弯限制

两个相邻边间的过渡区称之为转弯。邻边的过渡区包括左转弯、右转弯、反向转弯以及直行四种通用转弯类型。过渡区转弯类型的判断通过转弯延迟赋值器确定, 其遵循特定规则, 处置相

邻边时间推迟情况, 重新评估人员逃离时间^[12]。

1.2 教学楼内部三维动态路径模型建立

通过上述分析的教学楼内部三维路径优选因子, 和动态分析的教学楼火灾发展情况, 建立三维网络数据集建立教学楼内部三维动态路径模型结构(图1)。

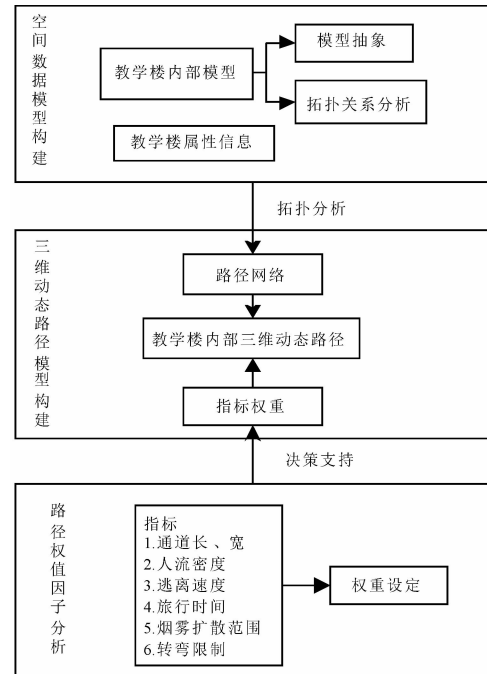


图1 教学楼内部三维动态路径建立

采用模型抽象方式处理所采集的教学楼内部空间对象的三维数据, 有效分析教学楼各楼层空间实体间的顺序、度量、拓扑空间关系, 建立各楼层的平面图。通过数字信息仿真方式构建教学楼内部空间数据库模型, 基于教学楼内部空间数据库模型, 采用图像细化和图像特征点提取算法将教学楼各个楼层的平面图生成各个楼层的平面路径图, 将上下楼层的路径图通过各楼层的楼梯连接处在垂直方向相连, 建立整栋教学楼三维路径图^[13]。并根据教学楼外的空间大小以及云梯高度, 为低楼层提供通往窗户处的路径。建立三维网络数据集, 添加楼梯或消防通道长和宽数据、旅行时间、和转弯等静态因子到三维网络数据集中, 并且将教学楼内走廊、楼梯或者消防通道采用抽象化方式处理成具备实际长度的线状要素, 将教学楼外救援设施采用抽象化方式处理成点状要素, 并给予相应属性信息, 添加到三维网络数据集中, 实施拓扑分析, 使三维网络数据集中的对象能够完整体现教学楼实际结构情况。最后采用三维造型技术, 建立教学楼内部三维动态路径。

表 1 班级分布以及学生基本情况

基本情况	一年级		二年级		三年级		四年级		五年级		六年级	
班级数量/个	8		8		9		9		7		7	
性别	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
平均肩宽/cm	33	30	33	32	34	34	35	35	37	36	40	37
平均逃离速度/(m/s)	4.7	4.5	4.7	4.7	5.8	5.6	5.9	5.8	6.1	5.9	6.3	6.1
平均延迟时间/s	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

1.3 路径优选算法

采用改进混合遗传算法对所建立的教学楼内部三维动态路径展开教学楼火灾逃离路径优选。改进混合遗传算法在标准遗传算法的基础上引入模拟退火拉伸方法。该方法既能延续遗传算法的全局搜索能力,又能有效改进标准遗传算法前期进化的早熟和后期进化速度缓慢等现象。

基于改进混合遗传算法的教学楼火灾逃离路径优选的步骤如下:

步骤 1: 根据所建立的教学楼内部三维动态路径生成路径集并按顺序进行编号^[14], 种群规模、初始温度分别为 N 、 T_0 , 交叉概率、变异概率分别为 P_c 、 P_m , 遗传代数、遗传收敛阈值分别为 I 、 δ 。

步骤 2: 调整教学楼内部三维动态路径集编号为二进制串, 依照火灾情况将多条逃离路径编码成一个串, 采用随机方式组成 N 条染色体, 即 N 条逃离路径方案, 形成原始种群^[15]。

步骤 3: 对 N 条逃离路径方案, 进行人员逃离分配, 根据实际分配结果, 算出第 i 代种群中每条染色体的适值 $\lambda(X_i)$ 、平均适值 $\bar{\lambda}$ 和 $|\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i-1}|$, 观察 $\bar{\lambda}$ 和 $|\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i-1}|$ 与 δ 的关系, 如果 $|\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i-1}| < \delta$ 跳转到步骤 9, 如果 $|\bar{\lambda}_i - \bar{\lambda}_{i-1}| > \delta$, 跳转到步骤 4。

步骤 4: 采用模拟退火拉伸方法计算每条染色体被选中概率 U_i 和累计概率 r_k 。

步骤 5: 采用轮盘赌算法决定新种群, 在 $[0, 0.5]$ 范围内, 随机产生一个平均分布的数值 ζ , 若 $\zeta \leq r_1$, 复制第一条染色体, 若 $r_{k-1} \leq \zeta \leq r_k$, 复制第 K 条染色体。循环往复步骤 5, 直至下一代种群产生。

步骤 6: 采取两两结合方式处理种群中的染色体, 使每对染色体在 $[0, 0.5]$ 范围内随机产生一个平均分布的数值 ζ_k , 若 $\zeta_k \leq U_c$, 通过随机方式抽取一个断点, 展开相邻两条染色体的交叉运算。循环步骤 6, 至全部父本染色体均运算完成。

步骤 7: 有 N 个平均分布的随机数 $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_k, \dots, \zeta_N$, 存在于 $[0, 0.5]$ 范围内, 若 $\zeta_k \leq U_m$, 则变异染色体 X_k 。

步骤 8: 使 $g = g + 1$, 跳转步骤 3。

步骤 9: 计算终止。计算结果为: 种群中目标函数达到最小的个体。

2 方法测试

为验证本文方法的有效性, 在 Matlab 8.0 仿真环境中进行实验, 选择某小学教学楼为实验对象, 对其展开教学楼火灾逃离路径优选。使用 pathfinder v2017.1.0117 对教学楼进行 1:1 实物建模, 建成后的教学楼 3D 效果图如图 2 所示。

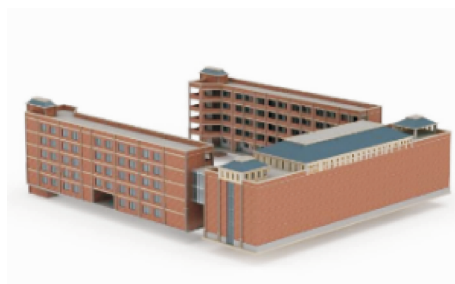


图 2 教学楼 3D 效果图

该小学教学楼共计 5 层, 层高 4.5 m, 共有 48 间教室, 每间教室有前后两扇门, 门宽 0.8 m, 每间教室有学生 38 人, 每层教学楼走廊宽 2.5 m, 有 3 个楼梯口, 两侧楼梯口宽度为 1.5 m, 中间楼梯口宽度为 2.3 m。该小学一到六年级的共计 48 个班级, 以小学生短跑 50 m 成绩为 60 分的学生速度为整个年级学生的逃离速度, 将做出复杂抉择的人均反应时间当做人均延迟时间, 详细数据如表 1 所示。

由于在教学楼火灾逃离过程中, 火灾的火势、火灾产物参数以及路径当量距离均为动态变量, 因此, 为更加直观分析教学楼发生火灾时的路径优选, 将教学楼各层布局通过 30×30 的随机栅格地图形式展示, 设置 3 个出口, 逃离起点到出口 1、出口 2、出口 3 的距离分别为 D_1 、 D_2 、 D_3 , 栅格地图中黑色表示障碍物, 红色表示火势范围, 黄色为教学楼内人员所处位置, 通过模拟火势发展的三个阶段, 对教学楼内学生火灾逃离路径展开优选。阶段一为发现火情, 阶段二为火势增长初期, 阶段三火势大范围波及。

(1) 发现火情阶段

在刚发生火灾时, 教学楼内人员会在第一时间了解火灾位置, 准备逃离, 由于火灾刚刚发生,

火灾产生的有害产物未对人员产生威胁。此时火灾起火点附近人员到 3 个出口的逃离路径如图 3 所示。

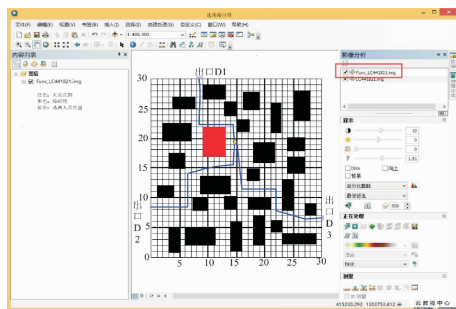


图 3 到三个出口的逃离路径

火灾起始点到 3 个出口的距离情况为 $D1 < D2 < D3$ ，由于此刻火灾产生的有害气体较少，不会影响人的移动速度，可以绕过火灾起始点，选择最近的出口 1 展开逃离。图 4 为此时本文方法得出的最优路径结果。

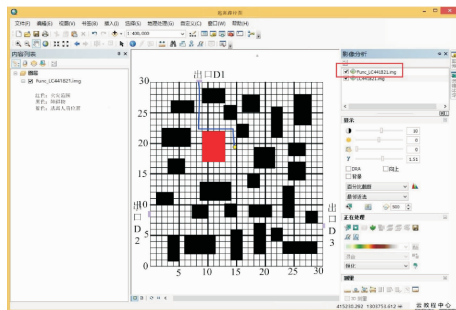


图 4 逃离路径优选结果

(2) 火势增长初期阶段

伴随火势的增长，火势向出口 1 方向蔓延，造成部分通道无法通行现象，并且火灾产生的有害产物逐渐增加，对人员逃离的影响也随之增加。此时火灾起火点附近人员到 3 个出口的逃离路径如图 5 所示。

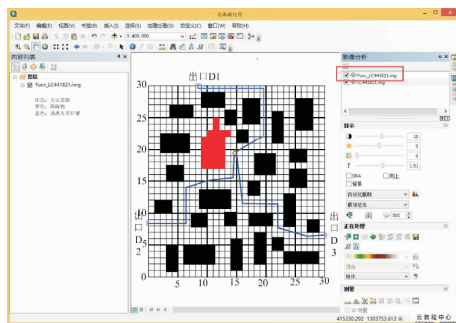


图 5 到三个出口的逃离路径

火灾起始点到 3 个出口的距离情况为 $D2 < D1 < D3$ ，在一定量的火灾有害产物影响下，选择距离最短的出口 2 展开逃离。图 6 为此时本文方法得

出的最优路径结果。

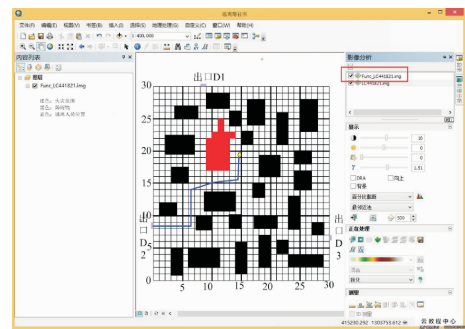


图 6 逃离路径优选结果

(3) 火势大范围波及阶段

伴随火势继续增长，火势大范围波及，火灾有害产物对人的影响继续增加。此时火灾起火点附近人员到 3 个出口的逃离路径如图 7 所示。

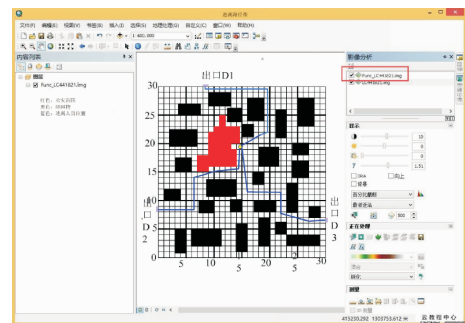


图 7 到三个出口的逃离路径

火势大范围波及阶段，火灾起始点到 3 个出口的距离情况依旧为 $D2 < D1 < D3$ ，由于此时火灾有害产物对人的影响很大，所以应避开火势波及范围，放弃出口 2 和出口 1，选择未受到火灾有害产物影响的出口 3 展开逃离。图 8 为此时本文方法得出的最优路径结果。

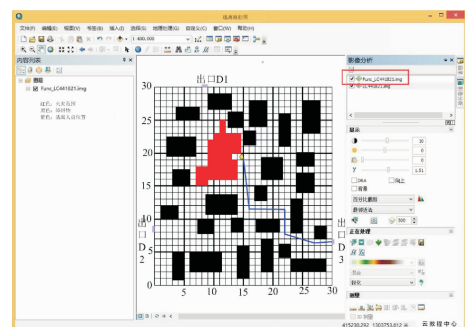


图 8 逃离路径优选结果

通过发现火情、火势增长初期以及火势大范围波及三个阶段的模拟实验结果可以看出，本文方法针对火灾动态变化情况，能够实现火灾逃离路径优选。

3 结论

影响教学楼火灾安全逃离的因素很多, 范围较广, 本文从影响逃离路径优选的权值因子角度出发, 建立教学楼内部三维动态路径模型, 并在该模型的基础上, 采用引入模拟退火拉伸算法的改进混合遗传算法, 有效弥补遗传算法过早收敛以及求解效率低等缺点, 在教学楼三维路径模型中实现火灾逃离路径优选。本文仅验证了火灾产生有害产物对火灾逃离路径优选的影响, 未考虑人员拥挤程度以及人员滞留等情况对火灾路径逃离影响, 还需继续展开相关调查研究。

参考文献

- [1] 张学锋, 白晨曦. 双层教学楼人员疏散仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(5): 1070-1076.
- [2] 孙超, 刘月婵, 王博, 等. 教学楼火灾蔓延及人员疏散的数值模拟[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2018, 23(5): 110-116.
- [3] 王睿, 漆泰岳, 冯剑, 等. 基于遗传算法的 BP 神经网络隧道施工参数正反演分析与应用[J]. 铁道学报, 2016, 38(4): 98-104.
- [4] 刘二辉, 姚锡凡. 基于改进遗传算法的自动导引小车路径规

- 划及其实现平台[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(3): 465-472.
- [5] 申艳光, 张玲玉, 刘永红. 基于混合遗传算法的物流路径优化方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2018, 28(3): 192-196.
- [6] 李玉民, 郭晓燕, 杨露. 考虑多目标的中欧集装箱多式联运路径选择[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(10): 2239-2248.
- [7] 辛晶, 夏登友, 李向欣, 等. 建筑物火灾中人员响应性能及其影响因素分析[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 22-25.
- [8] 陈进平, 张树生, 何卫平, 等. 基于驱动参数建模的可行更改路径搜索和优选方法[J]. 上海交通大学学报, 2017, 51(10): 1220-1227.
- [9] 文世熙, 张贵, 吴鑫. 森林火灾逃生路径网络决策研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(9): 62-65.
- [10] 金南江, 毛占利. 火灾环境下多层建筑的人员疏散路径模型研究[J]. 工业安全与环保, 2018, 44(4): 1-4.
- [11] 袁丹灿, 傅智敏, 毛占利. 多参数耦合条件下人群疏散路径优化模型[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(2): 185-189.
- [12] 周扬, 夏登友, 高平. 城市商业综合体建筑火灾事故演变路径分析[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(2): 170-174.
- [13] 仇国芳, 陈含芳, 张炜. 单源点火灾多出口单层建筑人员疏散路径[J]. 消防科学与技术, 2018, 37(11): 1530-1533.
- [14] 刘华森, 程文明, 张铭奎. 基于改进遗传算法的旅客列车席位分配组合优化[J]. 中国铁道科学, 2016, 37(6): 113-120.
- [15] 陈成明. 基于改进遗传算法的远洋渔船船队调度路径优化[J]. 上海海事大学学报, 2016, 37(4): 1-6.

Study on Optimum Evacuation Path of Teaching Building Fire Based on Improved Hybrid Genetic Algorithms

WU yuanjun¹ and XU YuLin²

(1. Anhui Finance & Trade Vocational College, Hefei 230601, China;
2. Hefei Normal University, Hefei 230601, China)

Abstract: In order to solve the problem of fire evacuation of teaching building and better serve the campus fire emergency management, the optimization of fire escape path of teaching building based on improved hybrid genetic algorithm is studied. The building when the fire broke out, to determine the weights of factors that affects the fire escape route optimization, such as; the stairs or fire long and wide, the density of stream of people, escape velocity, smoke diffusion range, etc., the dynamic analysis of the building fire development situation, to establish teaching building internal space object 3D network dataset, effective analysis of the building floors space sequence, measurement, topological spatial relations between entities, through the image and image feature points extraction algorithm is used to build complete teaching building 3D model of the path. An improved hybrid genetic algorithm based on simulated annealing tensile method is used to optimize the fire escape path of teaching building. It is found in the simulation experiment that this method can obtain the best escape route of the fire in the teaching building in three stages: fire condition, early growth stage and spread over a large area.

Key words: hybrid; genetic algorithms; teaching building; fire; escape; path selection