

吕辉, 谢欣, 李芳, 等. 基于区间直觉模糊数决策的应急疏散仿真研究[J]. 灾害学, 2023, 38(3): 187–191. [LV Hui, XIE Xin, LI Fang, et al. Research on Emergency Evacuation Simulation Based on Interval Intuitionistic Fuzzy Number Decision[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(3): 187–191. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.03.029.]

基于区间直觉模糊数决策的应急疏散仿真研究^{*}

吕辉^{1,2}, 谢欣^{1,2}, 李芳³, 滕黛洁^{1,2}, 谢昌庭^{1,2}

(1. 南昌航空大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330063; 2. 江西省装配式建筑与智能建造重点实验室, 江西 南昌 330063; 3. 江西省建工集团有限责任公司, 江西 南昌 330029)

摘要: 为了在计算机应急疏散仿真中还原实际疏散过程中人类决策的模糊性和犹豫性, 该文提出基于区间直觉模糊数多属性决策的 Agent 应急疏散仿真模型。考虑到疏散路径长度预期、人员密度和主观偏好三个属性, 通过模糊语言变量对属性进行测度, 设计 Agent 决策的规则集, 构建区间直觉模糊决策矩阵, 得出最优方案, 并通过仿真案例进行分析验证。结果表明, 仿真结果与计算结果一致, 相比常规寻路算法, 区间直觉模糊决策模型更符合疏散过程中的实际决策, 还原真人疏散过程, 对研究疏散过程和应急疏散方案优化具有指导意义。

关键词: 应急疏散; 模糊决策; Agent; 疏散仿真

中图分类号: X913.4; X915.5; TU984 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2023)03-0187-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.03.029

随着公共安全事件和群体事件不断增多, 人群的应急疏散研究也逐渐成为众多研究者的热门课题。由于真人生物实验难以还原突发事件的条件, 疏散演练也和突发事件下人群反应有巨大区别, 更多研究者采用计算机仿真的方法对人群的应急疏散进行研究。根据国内外人群应急疏散的研究成果, 从研究内容上看, 主要有三个类别^[1]: ①人群疏散的仿真模拟, 尽可能的还原真人疏散过程^[2]; ②构建人群疏散路径的风险评估数学模型, 对其进行决策分析^[3]; ③优化疏散方案, 包括最短疏散时间、最短疏散路径、最佳疏散效率等^[4-5]。

现行的主流模型中如宏观流体力学模型、社会力模型^[6]、元胞自动机模型^[7]等, 往往忽略人个体的差异性、自主性及决策的复杂性。Agent 模型能引入更多的参数, 包括身体基本尺寸参数, 行为动作、心理影响因素、决策规则等^[8]。能更好的还原应急疏散过程。在基于 Agent 模型的疏散仿真研究中, 疏散路径方面使用欧式距离、曼哈顿距离、Dijkstra 等算法; 疏散时间方面有 Exit89^[9]、TAKAHASHI^[10]等模型, 优化疏散模型方面研究者提出遗传算法、分布估计算法、整数规划算法等。但这些模型中对人员疏散的还原更多体现出 Agent 通过获取精确信息进行判断。真实人类对周围环境参数的量化具有模糊性和决策上的犹豫性。虽然有研究者将运筹学上的博弈论理论运用到应急疏散仿真中, 在仿真中模拟还原人类决策上的冲突^[11-12], 但不能覆盖无冲突对象的决

策情形。人类无法获取周围环境的精确信息, 多数情况下只能用“可能”“一般”“大概率”等这种模糊性词来描述, 因此本文提出一种区间直觉模糊集多属性应急疏散的决策方法, 在疏散仿真中还原真实疏散过程, 通过 Agent 模型模拟决策上的模糊性和犹豫性, 并基于 Unity3D 引擎构建模拟场景, 验证方法的有效性。

1 直觉模糊集的基本理论

现实中由于客观事物的复杂性、不确定性以及人类思维上的模糊性, 在很多的决策问题上, 难以用确定性的语言给出评估信息, 为解决不确定语言多属性决策问题, 1965 年 ZADEH 教授提出了模糊集理论, 之后由 ATANASSOV^[13]引入直觉模糊集的概念, 在传统模糊集理论的基础上新增了非隶属度函数, 以便更加细腻的描述客观世界的模糊性本质。

1.1 直觉模糊集的基本定义

设 X 为非空集合, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 形如 $A = \{[x, \mu_A(x), \vartheta_A(x)] | x \in X\}$ 的三重组称为 X 上的一个直觉模糊集, 其中在 $X \rightarrow [0, 1]$, μ_A, ϑ_A 均为 X 的隶属函数, $\mu_A(x)$ 是 X 上元素 x 属于 A 的隶属度, $\vartheta_A(x)$ 为非隶属度, 且 $0 \leq \mu_A(x) + \vartheta_A(x) \leq 1$, 隶属度表示为支持元素 x 属于集合 A 的证据所导出的肯定隶属度下界; 非隶属度表示反

^{*} 收稿日期: 2022-11-01 修回日期: 2023-01-20

基金项目: 2022 年度国家自然科学基金“异形钢管混凝土柱-组合框架结构体系抗震耗能及损伤定量评估”(52268031)

第一作者简介: 吕辉(1982-), 男, 汉族, 江西万年人, 博士, 副教授, 主要从事智慧建筑与装配式建筑理论与应用研究。

E-mail: lvhui@nchu.edu.cn

通信作者: 谢欣(1995-), 男, 汉族, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事虚拟现实技术与机库的应急疏散研究。

E-mail: 359491355@qq.com

对元素 x 属于集合 A 的证据所导出的否定隶属度下界。以比赛胜率模型为例: $(\mu_A(x), \vartheta(x)) = (0.6, 0.4)$ 表示该场比赛胜率为 0.6, 败率为 0.4。

1.2 区间直觉模糊集的基本理论

人类对具体的对象进行决策时通常受到诸多客观或主观因素的影响, 对和的取值无法精确, 这时使用区间数来描述更加合适。以比赛胜率模型为例, 某选手技术远高于对手, 胜率为 100%, 由于该选手身体不适, 对该场比赛的胜率的主观评估为 60% 到 70%, 失败率的主观评估为 20% 到 30%。对该事件的测度只能用一个大范围来描述, 因此 ATANASSOV 对直觉模糊集进行拓展, 提出了区间直觉模糊集。

设 X 为给定论域, 则 X 上的区间直觉模糊集 A 定义为:

$$A = \{[x, \tilde{\mu}_A(x), \vartheta_A(x)] | x \in X\}. \quad (1)$$

式中: $\tilde{\mu}_A: X \rightarrow [0, 1]$ 和 $\vartheta_A: X \rightarrow [0, 1]$, 且对 A 上所有 $x \in X$, 满足 $0 \leq \sup(\tilde{\mu}_A(x)) + \sup(\vartheta_A(x)) \leq 1$ 。

实际计算中, 可将区间直觉模糊数简记为: $([a, b], [c, d])$, 其中, $[a, b] \subset [0, 1]$, $[c, d] \subset [0, 1]$, $b + d \leq 1$ 。

1.3 n 维区间直觉模糊数加权平均算子

设 $\tilde{a}_j = ([a_j, b_j], [c_j, d_j])$ ($j = 1, 2, \dots, n$) 为一组区间直觉模糊数, 令 IFWA: $Q^n \rightarrow Q$, 若

$$\text{IFWA}_\omega(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) = \sum_{j=1}^n \omega_j \tilde{a}_j, \quad (2)$$

式中: $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 为 \tilde{a}_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 的属性权重, 满足 $\omega_j \in [0, 1]$ 和 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 则称函数 IFWA 为 n 维区间直觉模糊数加权平均算子。

$$\omega_j = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m (|a_{ij} - a_{kj}| + |b_{ij} - b_{kj}| + |c_{ij} - c_{kj}| + |d_{ij} - d_{kj}|)}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m (|a_{ij} - a_{kj}| + |b_{ij} - b_{kj}| + |c_{ij} - c_{kj}| + |d_{ij} - d_{kj}|)}. \quad (3)$$

得出属性权重信息后, 按如下步骤进行计算。

步骤 1: 根据式(4)计算方案的综合属性值。

$$\begin{aligned} \tilde{r}_i &= ([a_i, b_i], [c_i, d_i]) = \text{IFWA}_\omega(\tilde{r}_1, \tilde{r}_2, \dots, \tilde{r}_n) \\ &= ([1 - \prod_{j=1}^n (1 - a_{ij})^{\omega_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - b_{ij})^{\omega_j}], \\ &\quad [\prod_{j=1}^n c_{ij}^{\omega_j}, \prod_{j=1}^n d_{ij}^{\omega_j}]). \end{aligned} \quad (4)$$

步骤 2: 计算决策方案 A_i 的综合属性值 \tilde{r}_i 的得分函数。

$$S(\tilde{r}_i) = (a_i - c_i + b_i - d_i)/2, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

当 $S(\tilde{r}_i)$ 值相同时, 则计算决策方案 A_i 的群体综合属性值 \tilde{r}_i 的精确函数。

$$H(\tilde{r}_i) = (a_i + b_i + c_i + d_i)/2, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

步骤 3: 根据计算所得 $S(\tilde{r}_i)$ 和 $H(\tilde{r}_i)$ 的值进行比较, 对方案 A_i 进行排序, 值最大的方案为最优方案。

3 基于区间直觉模糊数的 Agent 决策设计

3.1 Agent 整体架构

Agent 在应急疏散仿真中需要持续感知周围环境, 对信息进行处理判断, 以此对下一步的动作行为、路径方向进行选择, 通过射线检测模拟 Agent 的视觉感知, 定义 Agent 的感知范围, 在感知

范围 (本文只考虑模糊信息下的决策, 对有明显疏散标志或者引导疏散的情况直接通过感知环境, 从而进行判断, 无需进行模糊决策)。

2 区间直觉模糊数多属性决策方法

设 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 为某决策问题的所有可行方案集, $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ 为某方案的属性集, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T \in W$ 表示评价属性的权重向量, 即 ω_j 表示属性 G_j 的权重, 满足 $\sum_{j=1}^n \omega_j^2 = 1$, $\omega_j \geq 0$, $j = 1, 2, \dots, n$ 。决策者对于方案集 $A_i \in A$ (A_1, A_2, \dots, A_n) 关于属性 $G_j \in G$ (G_1, G_2, \dots, G_n) 进行测度, 得出属性值为区间数的直觉模糊数 $A = \{[G_j, \tilde{\mu}_{A_i}(G_j), \vartheta_{A_i}(G_j)] | G_j \in G\}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。其中 $\tilde{\mu}_{A_i}(G_j)$ 表示决策者对于方案 A_i 关于属性 G_j 的满足程度, $\vartheta_{A_i}(G_j)$ 则表示决策者对于方案 A_i 关于属性 G_j 的不满足程度, 构建区间直觉模糊决策矩阵 $\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n} = ([a_{ij}, b_{ij}], [c_{ij}, d_{ij}])_{m \times n}$ 。

人类决策受诸多主观因素的影响以及思维决策的模糊性, 对某方案属性的权重配比难以确定, 根据王应明和李京峰^[14-15]的研究成果, 运用离差最大化方法, 对直觉模糊数决策的属性权重进行计算:

空间范围内与周围环境进行交互, 检索关键信息, 再结合 Agent 自身的属性参数和心理状态, 传输到规则集进行判断, 做出最后决策 (图 1)。

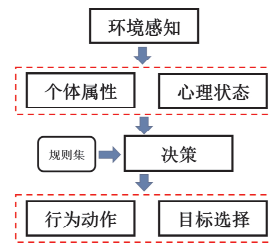


图 1 Agent 架构设计流程图

3.2 区间直觉模糊数多属性决策设计

在 Agent 进行疏散仿真时, 主要以路径选择作为方案集。在多出口封闭空间中, 不同出口依次作为方案选项, 在十字路口或丁字路口等, 以不同方向路径作为方案集。在应急疏散中, 保证安全的情况下, 以疏散时间尽可能短, 所行走路程尽可能少为原则, 根据陈长坤和李润法等人^[16-17]的研究成果, 人在紧急疏散过程有诸多习惯性行为, 如从众行为、向光疏散、左转偏好和向开阔处疏散等。因此拟定疏散方案的属性集如表 1 所示 (本文只考虑模糊信息下的决策, 对有明显疏散标志或者引导疏散的情况直接通过感知环境, 从而进行判断, 无需进行模糊决策)。

表 1 属性集

属性编号	属性名称	属性解释
G_1	疏散路径长度预期	Agent 所处位置距离出口处的路程长度预估
G_2	路径方向人员密度	判断路径方向或出口处的拥挤程度
G_3	主观偏好	左转偏好、向光偏好、向开阔处、从众行为等偏好程度

3.3 属性区间模糊数的划分

在实际疏散过程中,疏散人员中受客观模糊环境信息和主观因素的影响,决策通常采取保守判断,并且在信息不完全的情况下,决策者通常采用模糊性用词对方案属性进行评价,语言变量与区间直觉模糊数的对应关系如表 2 所示。

表 2 模糊语言变量与区间直觉模糊数对应关系表

语言变量	区间直觉模糊数	
	隶属度	非隶属度
很好	[0.7, 0.8]	[0.1, 0.2]
较好	[0.6, 0.7]	[0.2, 0.3]
一般	[0.4, 0.6]	[0.3, 0.4]
较差	[0.2, 0.4]	[0.4, 0.6]
很差	[0.1, 0.2]	[0.6, 0.8]

3.4 Agent 区间直觉模糊数规则集设计

在 Agent 的计算机仿真中,对方案属性的测度无法像真人对信息输入后直接给出判断,因此需要通过某一测度参数进行属性值的测度,测度值对应模糊变量的层级。

G_1 属性的测度参数采用各方案下 Agent 所处位置距离出口处位移长度与所有方案平均值的差值进行预估:

$$\Delta d_i = s_i - \bar{s}_0 \quad (7)$$

$$\bar{s} = (s_1 + s_2 + \dots + s_i) / i_0 \quad (8)$$

式中: s_i 表示第 i 个方案 Agent 所处位置距离出口处位移长度(若为十字路口或丁字路口的路径方向选择,则 s_i 表示第 i 个方案可视范围内的路径长度); \bar{s} 表示所有方案位移长度的平均值。

G_2 属性的测度参数采用人员密度表示,根据 THOMPSON^[18] 的研究成果,人员密度小于 0.54 人/ m^2 时,人员间距大于 1.36 m,人员之间比较宽松,可自由行走,人员密度大于或等于 4 人/ m^2 时,人员间距小于或等于 0.5 m,人员之间拥挤,几乎无法移动。在计算机仿真中,Agent 无法快速直接测算人员密度,可根据 THOMPSON 的人员密度和人员间距关系式进行换算:

$$d_p = \sqrt{1/\rho} \quad (9)$$

由于决策者的主观偏好属性差异化较大并且难以测量, G_3 属性值的测度根据 Agent 的触发条件进行随机获取。相应属性值与测度参数对应关系如表 3。

表 3 测度参数与属性值对应关系表

测度参数	很好	较好	一般	较差	很差
G_1 $\Delta d_i/\text{m}$	≤ -3	$(-3, -1)$	$[-1, 1]$	$(1, 3)$	≥ 3
G_2 $\rho/(\text{人}/\text{m}^2) \leq 0.5$	$(0.5, 1)$	$[1, 2.7]$	$(2.7, 4)$	≥ 4	
G_3 触发条件	随机数				

根据人员疏散过程中选择路径的基本原则:保证安全情况下,疏散路程尽可能少,疏散时间尽可能短,根据人员密度判断拥挤程度,引入左转偏好、从众行为、和向开阔处等偏好影响因素进行决策调整,建立模糊规则集:

Agent 遍历可通行疏散路径,确定方案集 A_i

IF 路径类型为出口,计算平均位移长度 \bar{s}_1 , s_i 与比较,输出 G_1 语言变量和属性值;

IF 可视范围内检测到其他 Agent,计算人员密度,输出 G_2 语言变量和属性值;

IF 可视范围内未检测到其他 Agent,输出 G_2 语言变量为“很好”及对应属性值;

IF G_2 输出语言变量层级为一般及以上,则最终 G_3 输出语言变量层级加 1;

IF 检测到触发条件出口不同门类型:

双开门,随机输出 G_3 {很好, 较好, 一般} 及对应属性值;

单开门,随机输出 G_3 {一般, 较差, 很差} 及对应属性值。

IF 其他触发条件相同:

左侧方案随机输出 G_3 {很好, 较好, 一般} 及对应属性值;

右侧方案随机输出 G_3 {一般, 较差, 很差} 及对应属性值;

IF 路径类型为方向,计算可视范围平均位移长度,与比较,输出 G_1 直觉模糊区间数;

IF 可视范围内检测到其他 Agent,计算人员密度,输出 G_2 语言变量和属性值;

IF 可视范围内未检测到其他 Agent,输出 G_2 语言变量为“很好”及对应属性值;

IF G_2 输出语言变量层级为一般及以上,则最终 G_3 输出语言变量层级加 1。

IF 其他触发条件相同:

左侧方案随机输出 G_3 {很好, 较好, 一般} 及对应属性值;

右侧方案随机输出 G_3 {很好, 较好, 一般} 及对应属性值。

4 案例分析验证

4.1 场景构建

选用 Unity3D 引擎构建双出口封闭空间的场景模型如图 2。选用 Unity3D 引擎进行仿真的优势:①具有强大物理系统,包括重力、摩擦力、弹力等,可进行碰撞检测和射线检测,以此来模拟现实世界的物理现象和效果。②可通过 C# 编程技术进行脚本编写,对 Agent 模型的进行功能设计和拓展,还原真实人类的身体尺寸参数、行为动作和思维决策。

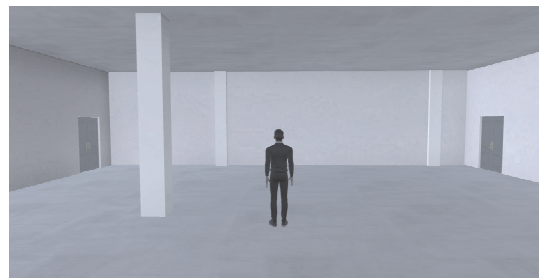


图 2 双出口场景模型

4.2 常规寻路算法模拟

假定 Agent 所处建筑物发生火灾,警报响起进行应急疏散,室内有左右两个双开门出口如,选择左出口定义为方案 A_1 ,右出口为方案 A_2 ,无明显疏散标志,疏散人员密度约 3 人/ m^2 。红色三角形图标为疏散目的地,理论案例模型如图 3,所有 Agent 身体尺寸参数一致,按照常规寻路算法进行模拟,寻路算法模拟效果如图 4。

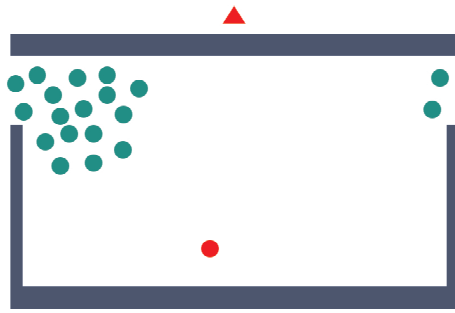


图3 案例理论模型

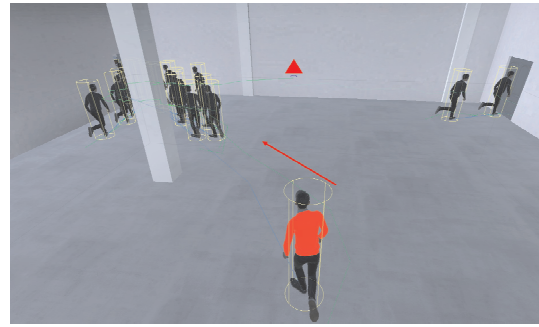


图4 常规寻路算法模拟效果

表4 区间直觉模糊决策矩阵

	G_1	G_2	G_3
A_1	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$	$([0.2, 0.4], [0.4, 0.6])$	$([0.4, 0.6], [0.3, 0.4])$
A_2	$([0.4, 0.6], [0.3, 0.4])$	$([0.7, 0.8], [0.1, 0.2])$	$([0.6, 0.7], [0.2, 0.3])$

常规寻路算法通常以计算 Agent 位置到目的地位置的最短距离为准,而忽略了其他的影响因素,此次模拟中红色 Agent 及多数 Agent 根据最短路径,选择了方案 A_1 。造成左出口拥堵现象,右出口疏散作用未充分利用,与实际疏散决策不符合。

4.3 区间直觉模糊数决策模拟

根据上述条件,构建 Agent 的区间直觉模糊决策矩阵(表4)。

由于属性权重信息未知,根据式(3)计算最优属性权重向量 $\omega = (0.192\ 3, 0.615\ 4, 0.192\ 3)^T$ 。

根据式(4)求得决策方案 A_i 的综合属性值 \tilde{r}_i 。
 $\tilde{r}_1 = ([0.337\ 5, 0.514\ 3], [0.331\ 2, 0.485\ 7])$; (10)

$\tilde{r}_2 = ([0.637\ 7, 0.753\ 0], [0.141\ 1, 0.247\ 0])$ 。(11)

根据式(5)计算决策方案 A_i 综合属性值的得分函数 $S(\tilde{r}_i)$ 。

$$S(\tilde{r}_1) = 0.017\ 5, S(\tilde{r}_2) = 0.501\ 3。 \quad (12)$$

根据计算结果,即 A_2 方案优于 A_1 ,最终 Agent 选择 A_2 方案。实际模拟效果如图5。



图5 区间直觉模糊数决策模拟效果

仿真模拟结果与实际计算结果相吻合,验证了区间直觉模糊数多属性决策方法的有效性。

5 结论

(1)在计算机应急疏散仿真中,考虑疏散路径长度预期、人员密度和主观偏好作为方案属性,通过模糊语言变量对属性进行测度,结合 Agent 模型,提出了基于区间直觉模糊数多属性决策的应急疏散仿真模型,还原了真人决策上的模糊性和犹豫性。

(2)基于 Unity3D 引擎搭建仿真场景,比较常规寻路算法和区间直觉模糊决策的疏散仿真效果,区间直觉模糊决策更符合实际疏散决策,并且模

拟结果与计算结果相吻合,验证了该决策方法的有效性。

(3)通过模糊语言变量测度疏散路径长度预期和人员密度的属性值,来模拟现实疏散过程中决策者对客观环境信息的模糊性,引入从众行为、左转偏好、向开阔处等主观偏好模拟决策者所受到的主观影响因素。在计算机仿真中还原真实人类应急疏散过程,对研究疏散过程和应急疏散方案优化具有重要意义。

参考文献:

- [1] 朱金龙. 室内场景下人群疏散的若干关键技术研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [2] 刘朝峰, 许强, 齐钦, 等. 高层住宅建筑火灾应急疏散模拟与策略研究[J]. 灾害学, 2022, 37(2): 174-181.
- [3] 李佳旭, 胡玉玲, 李嘉峰. 综合 GAN 与 CNN 的应急疏散快速风险评估方法[J]. 消防科学与技术, 2022, 41(2): 210-215.
- [4] YANG X, YANG X, WANG Q, et al. Guide optimization in pedestrian emergency evacuation [J]. Applied Mathematics and Computation, 2020, 365: 124711.
- [5] CHU H, YU J, WEN J H, et al. Emergency evacuation simulation and management optimization in urban residential communities [J]. Sustainability, 2019, 11(3): 795.
- [6] HELBIG D, MOLNAR P. Social force model for pedestrian dynamics [J]. Physical review E, Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics, 1995, 51(5): 4282-4286.
- [7] WOLFRAM S. Cellular automata as models of complexity [J]. Nature, 1984, 311(5985): 419-424.
- [8] TRIVEDI A, RAO S. Agent-based modeling of emergency evacuations considering human panic behavior [J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(1): 277-288.
- [9] FAHY R F. An Evacuation Model for High Rise Buildings, Proceedings of the Third International Symposium on Fire Safety Science, pp. 815-823, 1991.
- [10] TAKAHASHI K, TANAKA T, KOSE S. An evacuation model for use in fire safety design of buildings [J]. Fire Safety Science, 1989, 2: 551-560.
- [11] 闫绪娟, 曾强, 李志超. 突发事件应急管理中社会参与行为演化博弈分析[J]. 灾害学, 2021, 36(3): 189-194.
- [12] 陈玉林. 基于复杂网络和博弈论的行人疏散算法的研究与优化[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2021.
- [13] ATANASSOV K. T. Review and New Results on Intuitionistic Fuzzy Sets, Mathematical Foundations of Artificial Intelligence Seminar, Sofia, 1988, Preprint IM-MFAISI-88. Reprinted: Int. J. Bioautomation, 2016, 20(S1), S7-S16.
- [14] 王应明. 运用离差最大化方法进行多指标决策与排序[J]. 系统工程与电子技术, 1998, 20(7): 36-38, 65.
- [15] 李京峰, 项华春, 严雅榕, 等. 基于离差最大化的组合赋权评价方法及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(6): 18-23, 29.

- [16] 陈长坤, 秦文龙, 童蕴贺, 等. 突发火灾下人员疏散心理及行为的调查与分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(8): 35–40.
- [17] 李润法. 基于 VR 的城市轨道交通车站火灾及乘客疏散模拟仿真研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [18] Thompson P A, Marchant E W. Simulex; developing new computer modelling techniques for evaluation[J]. Fire Safety Science, 1994, 4: 613–624

Research on Emergency Evacuation Simulation Based on Interval Intuitionistic Fuzzy Number Decision

LV Hui^{1,2}, XIE Xin^{1,2}, LI Fang³, TENG Daijie^{1,2}, XIE Changting^{1,2}

(1. College of Civil Architecture, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Prefabricated Building and Intelligent Construction,

Nanchang 330063, China; 3. Jiangxi Construction Group Co., Ltd., Nanchang 330029, China)

Abstract: In order to restore the fuzziness and hesitation of human decision – making in the actual evacuation process in the computer emergency evacuation simulation, an emergency evacuation simulation model based on interval – valued intuitionistic fuzzy number multi – attribute decision – making is proposed. Considering the three attributes of evacuation path length expectation, personnel density and subjective preference, the attributes are measured by fuzzy linguistic variables, the rule set of decision – making is designed, the interval – valued intuitionistic fuzzy decision – making matrix is constructed, and the optimal scheme is obtained, which is verified by simulation case analysis. The results show that the simulation results are consistent with the calculation results. Compared with the conventional pathfinding algorithm, the interval – valued intuitionistic fuzzy decision model is more in line with the actual decision – making in the evacuation process. It is of great significance to study the evacuation process and emergency evacuation plan optimization.

Keywords: emergency evacuation; fuzzy decision making; Agent; evacuation simulation

(上接第 186 页)

- [26] 汪明. 第一次全国自然灾害综合风险普查总体技术体系解读[J]. 城市与减灾, 2021(2): 2–4.
- [27] 游路. 政府部门信息共享的现实难题与法治保障[J]. 行政管理改革, 2022(8): 64–74.
- [28] 侯衍社, 侯耀文. 我国社会主义主要矛盾转化若干重要问题的思考[J]. 中国特色社会主义研究, 2018, 9(1): 36–41.
- [29] 张耀南. 数据工程学建设思考与实践[J]. 数据与计算发展前沿, 2022, 4(1): 5–19.
- [30] FAN C, ZHANG C, YAHJA A, et al. Disaster city digital twin: a vision for integrating artificial and human intelligence for disaster management[J]. International Journal of Information Management, 2021, 56: 102049.
- [31] 孟祥保, 常娥, 叶兰. 数据素养研究: 源起、现状与展望[J]. 中国图书馆学报, 2016, 42(2): 109–126.
- [32] 国务院灾害调查组. 河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[R]. 北京: 中华人民共和国应急管理部, 2022.

Connotation and Logical Structure of Data Emergency under Rainstorm Disaster Scenario

HAN Liqin^{1,2}, ZHANG Yaonan^{2,3}

(1. Institute of Tourism, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. National Cryosphere Desert Data Center, Lanzhou 73000, China;

3. Northwest institute of Eco – Environment and Resources, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The scientific delineation of data emergency, reflects the cognition and understanding level of the extreme natural disaster phenomenon and characteristics in the process, which is the foundation of smart emergency management. From the perspective of data system engineering, this paper first explicates the core issues of the basic concepts, scientific content and the properties of data emergency. Then, according to the internal logic of the norm, model, engineering, product and legal system of emergency data, the whole process disaster management data flow is constructed, and which is also integrated with the management process flow of disaster emergency management before, during and after the event, the research framework of data emergency system coupling data flow and management process is proposed. This research is expected to deepen the understanding of the role of data emergency security mechanism and enrich the theory and methods of emergency management science.

Keywords: natural disaster; emergency management; data science; data value