

文章编号:1671-5896(2026)04-0925-08

应急消毒物资跨区域调配路径人工蜂群优化算法

崔志芳¹, 李新敏^{2a}, 卢洪涛^{2a}, 胡文环^{2b}, 王 新³

(1. 晋城市第三人民医院 行政部, 山西 晋城 048000; 2. 联勤保障部队天津康复疗养中心 a. 医学工程科;
b. 综合外科手术室, 天津 300381; 3. 太原科技大学 计算机科学与技术学院, 太原 030024)

摘要: 针对自然灾害发生后应急消毒物资跨区域调配路径的优化问题, 提出一种基于人工蜂群优化算法(ABC: Artificial Bee Colony)的规划方法。运用熵权法综合受灾面积、人口密度、定点医院医疗资源缺口等多维度指标, 对各受灾点及相关医院的需求紧迫度进行量化, 并依据量化结果将应急区域划分为红、橙、黄、蓝4个等级, 据此实现了分区优先级调度。基于此, 设计人工蜂群优化算法的适应度函数, 该函数包含配送总时间与紧迫需求未满足度两个指标。利用人工蜂群优化算法进行求解, 求出调配路径最佳规划方案。实验结果表明, 在两种典型工况下, 该方法最大适应度函数分别达到0.97和0.95, 较人工鱼群算法与遗传算法提升3.19%~13.10%, 显著提高了针对医院等重点机构的物资配送的时效性与应急优先性。

关键词: 应急物资调配; 需求紧迫度; 区域划分; 适应度函数设计; 人工蜂群算法; 路径优化
中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Artificial Bee Colony Optimization Algorithm for Cross-Regional Distribution Paths of Emergency Disinfection Supplies

CUI Zhifang¹, LI Xinmin^{2a}, LU Hongtao^{2a}, HU Wenhuan^{2b}, WANG Xin³

(1. Department of Administration, The Third Hospital of Jincheng, Jincheng 048000, China;
2a. Medical Engineering Department; 2b. Comprehensive Surgical Operating Room,
Tianjin Rehabilitation and Recuperation Center of the Joint Logistics Support Force, Tianjin 300381, China;
3. School of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: A planning method based on artificial bee colony optimization algorithm ABC(Artificial Bee Colony) is proposed to optimize the cross regional allocation path of emergency disinfection materials after natural disasters. Using the entropy weight method to comprehensively evaluate multidimensional indicators such as disaster area, population density, and medical resource gaps in designated hospitals, the urgency of demand for each disaster site and related hospital is quantified. Based on the quantification results, the emergency area is divided into four levels: red, orange, yellow, and blue, in order to achieve priority scheduling in different zones. A fitness function for the artificial bee colony optimization algorithm is designed, which includes total delivery time and unmet urgent needs. Artificial bee colony optimization algorithm is used to solve and find the optimal planning scheme for the allocation path. The experimental results show that under two typical operating conditions, the maximum fitness functions reach 0.97 and 0.95, respectively, which is 3.19% to 13.10% higher than the artificial fish swarm algorithm and genetic algorithm. It significantly improves the timeliness and emergency priority of material distribution for key institutions such as hospitals.

Key words: emergency supply distribution; demand urgency; regional zoning; fitness function design; artificial

收稿日期: 2026-03-03

基金项目: 山西省基础研究计划基金资助项目(202403021221141)

作者简介: 崔志芳(1984—), 女, 山西晋城人, 晋城市第三人民医院主管技师, 主要从事卫生管理、医院公共管理创新研究, (Tel) 86-15835622555 (E-mail) 1137363533@qq.com; 通讯作者: 李新敏(1980—), 女, 陕西宝鸡人, 联勤保障部队天津康复疗养中心初级护师, 主要从事消毒供应和医用耗材管理研究, (Tel) 86-18698025453 (E-mail) xiner7580@163.com。

0 引 言

当自然灾害发生后,迅速开展应急救援是降低生命财产损失的关键举措。而在应急救援工作中,物资输送至关重要,物资送达越及时,越能保障应急救援的效果^[1]。在应急救援物资中,应急消毒物资是重要组成部分。自然灾害发生后,通常有疫情发生,医院作为收治患者的第一线,面临极高的院内感染风险,对消毒物资的需求尤为迫切。相比自然灾害,疫情传播产生的危害和影响更为严重^[2]。因此,为了有效控制疫情传播、消除灾害影响、防止次生灾害发生,及时、高效地调配应急消毒物资至各受灾点及医院成为应急救援领域研究的重点课题。

关于物资运输路径的规划问题,人们已进行了许多研究。陈超等^[3]综合了3个指标作为路径选择的依据,通过非支配排序遗传算法Ⅱ算法进行了路径规划。在跨区场景中,由于不同区域的地理环境、交通状况和物资需求紧迫性差异显著,该方法灵活性不足,导致规划的运输路径难以满足应急场景对时效性的严格要求。刘艳秋等^[4]将受灾物资分配公平性考虑在内,通过混合人工鱼群算法规划了物流路径。但其未充分考虑多区域差异,因而难以找到全局最优的物流路径。胡晓伟等^[5]以通行时间最短为目标,然后通过迪杰斯特拉算法求解最短路径,完成救援路径规划。但其面对疫情传播速度、范围,物资供应中断风险等不确定性因素,配送系统缺乏灵活性和适应性,无法及时调整配送路径,导致物资配送延误或中断。张鑫等^[6]以最小化燃油成本为目标,在LIFO(Liner In Free Out)装载约束条件下,运用一种改进遗传算法实现车辆路径规划。由于不同区域的货物需求、交通状况和道路条件存在差异,LIFO约束会限制车辆依据实际情况灵活调整装载顺序,进而影响运输效率。

由于不同地区的受灾程度不同,因此对应急消毒物资的需求存在显著差异,若是统一规划路径可能会使运输车辆绕远路,无法优先将物资送达受灾最严重的地区,同时也增加了运输时间和成本。针对上述问题,笔者对应急消毒物资跨区域调配路径人工蜂群优化算法进行了研究,以期提升应急响应能力,最大程度减少灾害损失。

1 基于ABC的应急消毒物资跨区域调配路径规划研究

为解决跨区域应急消毒物资调配运输中遇到的难题,研究了一种基于人工蜂群优化算法(ABC: Artificial Bee Colony Algorithm)的应急消毒物资跨区域调配路径规划方法。其通过计算需求紧迫度进行区域划分,以此确定物资调配优先级。并针对每个小区域,进行分区路径规划。该方法与传统全局统一规划相比,能动态调整路径以响应紧迫度变化,避免高风险区域因配送延迟导致疫情扩散。

1.1 基于需求紧迫度的应急区域划分

受灾程度越严重,特别是当地医院的医疗救治压力越大,对应急消毒物资的需求就越紧迫。通过采集每个受灾点(含区域内核心医院)的属性指标数据,结合熵权法,计算每个受灾点对应急消毒物资的需求紧迫度^[7]。受灾点及关联医院的属性指标数据如表1所示。

表1 受灾点及医院属性指标数据

Tab.1 Attribute index data of disaster affected areas and hospitals

维度	指标	属性	维度	指标	属性
灾害严重性	受灾面积	正向	定点医院医疗资源缺口	医院现有消毒物资储备	负向
	基础设施损毁率	正向		医院医疗设施承载力	正向
人口脆弱性	人口密度	正向	疫情扩散风险	感染人数增长率	正向
	特殊人群比例	正向		人员流动强度	正向

针对表1中的每个属性指标数据,进行标准化,记为 a_j 。然后,利用熵权法计算其权重。如下:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \ln \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \tag{1}$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)}, \tag{2}$$

其中 a_{ij} 表示第 i 个受灾点第 j 个属性指标的标准化值, e_j 表示第 j 个属性指标的熵值, n 表示受灾点数量, w_j 表示第 j 个属性指标的权重。对 a_{ij} 进行加权求和, 得出各受灾点的需求紧迫度, 如下:

$$U_i = \sum_{j=1}^m w_j \times a_{ij}, \tag{3}$$

其中 U_i 表示第 i 个受灾点对应急消毒物资的需求紧迫度^[8]。根据 U_i , 划分应急区域等级, 划分标准如下。

应急区域等级Ⅰ级—— $U_i \geq 0.8$: 极高紧迫区, 需立即优先配送;

应急区域等级Ⅱ级—— $0.6 \leq U_i < 0.8$: 高紧迫区, 需快速响应;

应急区域等级Ⅲ级—— $0.4 \leq U_i < 0.6$: 中等紧迫区, 需适时调配;

应急区域等级Ⅳ级—— $U_i < 0.4$: 一般紧迫区, 可后续补给。

基于上述划分, 将应急消毒物资需要运输到的受灾点划分为 4 个区域, 为后期路径规划提供前提基础和依据。

图 1 给出了各受灾点应急消毒物资需求紧迫度的分布情况, 图 1 中不同颜色的点表示不同紧迫等级的区域, 可清晰看出大部分受灾点的需求紧迫度集中在 4~8 之间, 其中受灾点 3、8、16 和 18 达到 8 以上, 表明灾害发生后部分区域具有极高的物资需求紧迫性, 需优先响应。该分布反映了受灾点间的异质性, 为后续分区调度提供了直观依据, 验证了基于熵权法的需求紧迫度评估模型能有效区分不同受灾程度与风险等级的区域。

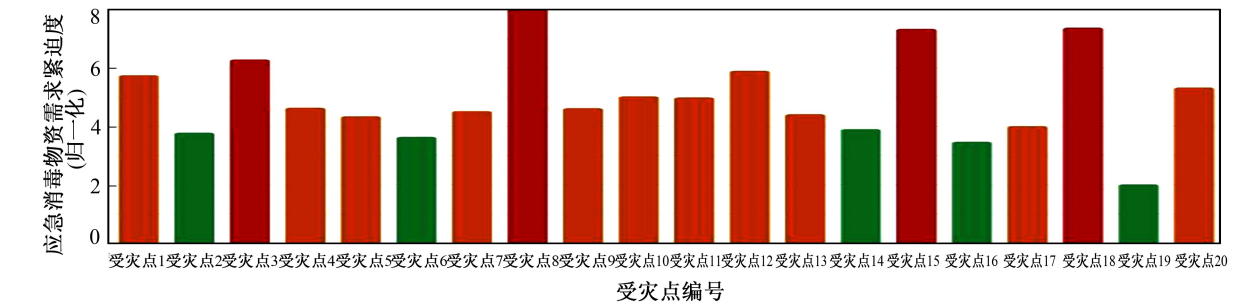


图 1 受灾点应急及核心医院消毒物资需求紧迫度分布

Fig. 1 Distribution of demand urgency for emergency disinfection supplies at affected sites and core hospitals

1.2 考虑需求紧迫度的人工蜂群优化算法规划调配路径

笔者通过 ABC 算法进行迭代求解, 得出每个应急区域的规划方案。为便于后续工作的展开, 设置假设条件, 如表 2 所示。

表 2 假设条件

Tab. 2 Assumptions

序号	假设条件
1	调配中心和各受灾点的地理位置坐标已知且固定
2	道路网络连通, 车辆可在任意两点间行驶(距离已知)
3	车辆类型统一, 载重量和行驶速度恒定
4	各受灾点的消毒物资需求量已知且不可拆分(必须单次满足)
5	车辆从调配中心出发, 完成任务后返回调配中心
6	每个受灾点只能有一辆车服务一次
7	车辆行驶时间与距离成正比, 不考虑拥堵、天气等动态因素
8	时间窗限制: 每个受灾点有最早服务时间和最晚服务时间
9	车辆有最大行驶时间/距离限制
10	调配中心物资总量充足, 可满足所有受灾点的需求

设置人工蜂群优化算法的决策变量 x_{ijk} 和 y_{ik} , 即

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } k \text{ 从节点 } i \text{ 行驶至节点 } j, \\ 0, & \text{否则,} \end{cases} \quad (4)$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{节点 } i \text{ 由车辆 } k \text{ 服务,} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (5)$$

设计人工蜂群优化算法的适应度函数。其主要由调配花费总时间和紧迫需求未满足度两个指标组成。

1) 调配花费总时间^[9]。调配花费总时间越短表示能以更快的速度完成应急消毒物资跨区域配送任务, 物资越早运输到受灾点, 越能降低灾区损失^[10]。调配花费总时间 f_1 如下:

$$f_1 = A_c \left(\sum_{i,j=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ijk} B_{ijkl} + \sum_{i=1}^M C_i \right), \quad (6)$$

其中 A_c 表示单位时间成本, B_{ijkl} 表示车辆 k 在时间段 l 内行驶在路段 (i,j) 上的时间, N 表示节点数量, K 表示车辆数量, L 表示时间段的集合, M 表示受灾点的集合, $M \in N$; C_i 表示受灾点 i 的卸货时间。

2) 紧迫需求未满足度。该指标描述了受灾点在某一时刻因未及时获得足够应急物资而面临的潜在风险或损失^[11]。需求越紧迫, 未满足时, 所付出的代价越高。紧迫需求未满足度 f_2 如下:

$$f_2 = \sum_{i=1}^M U_i \max(0, D_i - E_i(t)) G(t), \quad (7)$$

$$G(t) = d_1 \left[\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M y_{ik} \max(T_{ik} - g_i, 0) + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M y_{ik} \max(H_i - T_{ik}, 0) \right] + d_2 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M y_{ik} \max(T_{ik} - H_i, 0), \quad (8)$$

其中 D_i 表示受灾点 i 的应急消毒物资需求量, $E_i(t)$ 表示时间 t 的物资累计调配量, $G(t)$ 表示时间惩罚函数, 反映延迟配送的代价, T_{ik} 表示车辆 k 到达受灾点 i 的时刻, g_i 表示最晚允许到达时间, d_1, d_2 表示迟到成本, 其中若应急物资在时间窗 $(g_i, H_i]$ 内送达, 车辆将承担迟到成本为 d_1 , 其中若应急物资在时间窗 $(H_i, +\infty)$ 内送达, 车辆将承担迟到成本为 d_2 ^[12]。

结合 f_1 和 f_2 , 设计的人工蜂群优化算法适应度函数 $F(X)$ 如下:

$$F(X) = \frac{1}{u_1 f_1(X) + u_2 f_2(X)}, \quad (9)$$

其中 u_1, u_2 表示分配权重^[13]。最后, 利用人工蜂群优化算法迭代求解, 得出最佳应急消毒物资跨区域调配路径。过程如下。

步骤1 初始化算法参数, 包括蜂群规模 S 、雇佣蜂数量、观察蜂数量、最大迭代次数 Z 等。

步骤2 初始化食物源, 即物资调配路径方案, 随机生成 S 个可行解 $X = \{X_1 = (x_{ijk}, y_{ik})_1, X_2 = (x_{ijk}, y_{ik})_2, \dots, X_S = (x_{ijk}, y_{ik})_S\}$, X 中每个可行解 X_s 由两个决策变量组成^[14]。

步骤3 对每个解 X_s , 计算适应度函数值(式(9)), 记为 $F(X_s)$ 。 $F(X_s)$ 越高, 物资调配路径方案的质量越好。

步骤4 雇佣蜂阶段: 每只雇佣蜂对当前 X_s 进行邻域搜索, 生成新解 J_s :

$$J_s = X_s + \psi_r (X_s - X_r), \quad (10)$$

其中 ψ_r 表示 $[-1, 1]$ 随机数, X_r 表示随机选择的另一个解^[15]。

步骤5 跟随蜂按轮盘赌选择机制选择引领蜂。选择概率如下:

$$P_s = \frac{F(X_s)}{\sum_{s=1}^S F(X_s)}. \quad (11)$$

观察蜂根据 P_s 选择食物源 X_s 进行深度搜索, 其生成新解的方式与雇佣蜂相同。

步骤6 侦查蜂阶段: 若 X_s 连续若干次迭代未改进, 则放弃该解, 并随机生成一个新解。

步骤7 重复上述过程, 直至达到最大迭代次数 Z 时, 算法终止, 输出当前最优解; 最优解 X_s^* 包含各节点组成的最优路径序列以及车辆服务受灾点方案^[16]。

经过上述步骤,完成人工蜂群优化算法的求解,得出最佳路径方案。

图2给出了观察蜂在人工蜂群算法迭代过程中选择各食物源(即解)的概率分布,图2中概率值呈现明显的差异分布,表明算法在搜索过程中能根据适应度函数动态调整搜索重点,高适应度的解获得更高的选择概率,从而引导蜂群向优质解区域集中搜索。该机制体现了ABC算法在平衡探索与开发方面的优势,通过概率选择策略避免早熟收敛,同时加速向最优解逼近,为路径优化问题的高效求解提供了理论支撑。

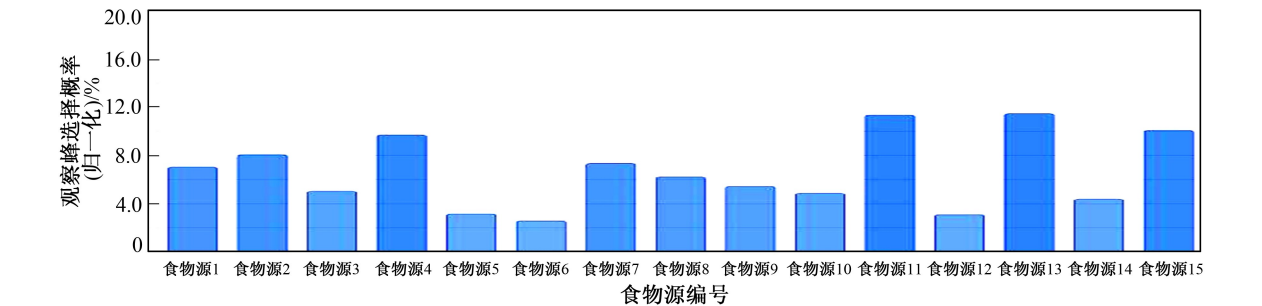


图2 观察蜂食物源选择概率分布

Fig.2 Probability distribution of food source selection by onlooker Bees

2 实验测试

为验证人工蜂群算法在应急消毒物资调配问题中的有效性和优越性,模拟某城市突发公共卫生事件后的消毒物资调配场景,进行实验测试。在实验场景中,共分布了39个节点,其中包含了12个关键需求点(包括受灾社区与定点医院)、26个路径节点以及1个调配中心节点(车辆从这出发),其分布如图3所示。

设置硬件与软件环境,如表3所示。基于上述研究,计算每个受灾点的需求紧迫度,并据此进行应急区域划分,结果如表4和图4所示。

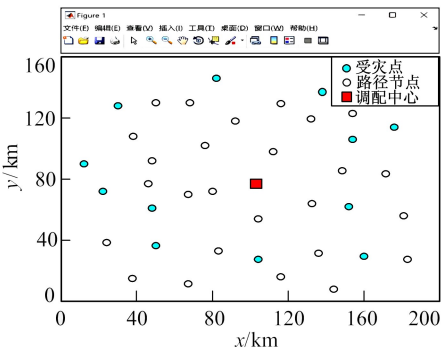


图3 实验场景

Fig.3 Experimental scenario

表3 硬件与软件环境设置

Tab.3 Hardware and software environment settings

项目	配置	项目	配置
处理器	Intel Core i7-12700H	算法库	DEAP,scikit-learn,numpy,matplotlib
内存	16 GByte DDR4	开发工具	Py Charm 集成开发环境。
操作系统	Windows 11	对比算法库	ortools(Google OR-Tools)
编程语言	Python 3.9		

表4 受灾点的需求紧迫度

Tab.4 Demand urgency of disaster stricken areas

受灾点	需求紧迫度	应急区域等级	受灾点	需求紧迫度	应急区域等级
1	0.87	I级	7	0.36	IV级
2	0.92	I级	8	0.58	III级
3	0.43	III级	9	0.49	III级
4	0.65	II级	10	0.68	II级
5	0.73	II级	11	0.77	II级
6	0.21	IV级	12	0.81	I级

从表 4 和图 4 可看出, 根据需求紧迫度计算结果, I 级区域包含了 1、2、12 3 个受灾点, II 级区域包含了 4、5、10、11 4 个受灾点, III 级区域包含了 3、8、9 3 个受灾点, IV 级区域包含了 6、7 2 个受灾点。

假设两种实验工况: 一是调配中心派出 1 辆车进行应急消毒物资运送, 二是调配中心派出 2 辆车进行应急消毒物资运送。针对这两种工况, 利用上述研究对人工蜂群优化算法进行求解, 得出路径规划方案, 结果如图 5 所示。

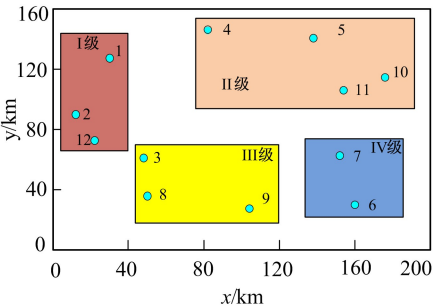


图 4 应急区域划分
Fig. 4 Emergency area division

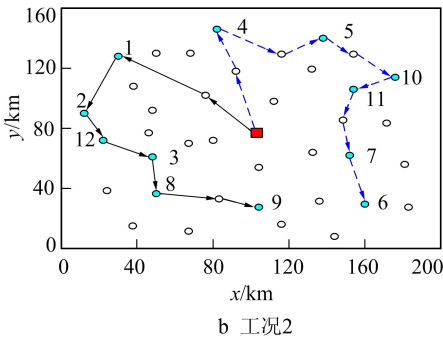
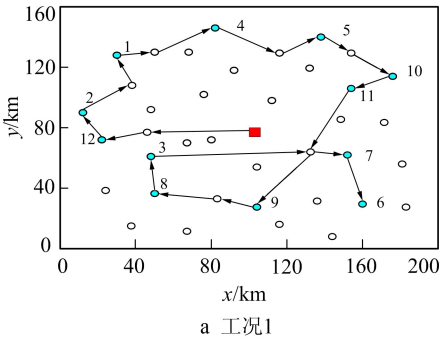


图 5 应急消毒物资跨区域调配路径规划方案

Fig. 5 Cross regional deployment path planning scheme of emergency disinfection materials

从图 5 可看出, 工况 1 路径规划方案中, 车辆依次对从高到低的应急区域中的受灾点进行了应急消毒物资跨区域调配, 其间经过了 7 个路径节点; 工况 2 路径规划方案中, 一辆车负责 I 级和 III 级应急区域内 6 个受灾点应急消毒物资跨区域调配, 其间途经 2 个路径节点, 另一辆车负责 II 级和 IV 级应急区域内 6 个受灾点应急消毒物资跨区域调配, 其间途经 4 个路径节点。

为验证人工蜂群优化算法求解的优越性, 与两种传统方法(基于人工鱼群算法的方法、基于遗传算法的方法)进行适应度迭代曲线对比, 结果如图 6 所示。

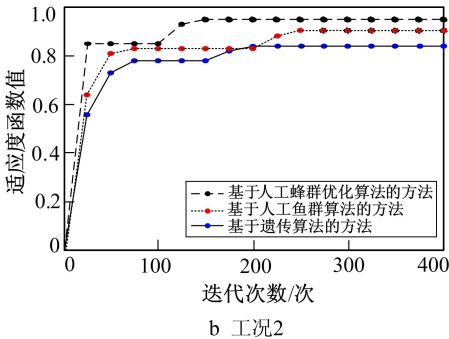
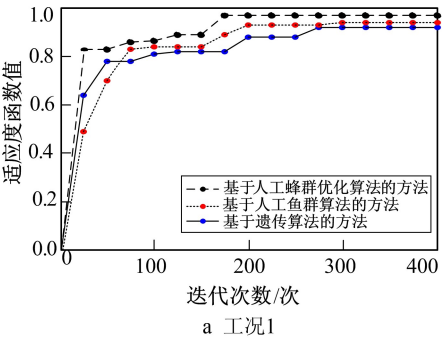


图 6 适应度迭代曲线对比

Fig. 6 Comparison of fitness iteration curves

从图 6 可看出, 在处理工况 1 中 12 个受灾点的调配任务时, 人工蜂群优化算法求解出的最大适应度函数为 0.97, 人工鱼群算法求解出的最大适应度函数为 0.94, 遗传算法求解出的最大适应度函数为 0.92, 人工蜂群优化算法分别比人工鱼群算法和遗传算法高出 3.19% 和 5.43%; 在处理工况 2 中 12 个受灾点的调配任务时, 人工蜂群优化算法求解出的最大适应度函数为 0.95, 人工鱼群算法求解出的最大适应度函数为 0.90, 遗传算法求解出的最大适应度函数为 0.84, 人工蜂群优化算法相比人工鱼群算法和遗传算法分别提升了 5.56% 和 13.10%。相比较, 所提出的人工蜂群优化算法在不同的应急调配情境下

均表现出优越的求解性能,为应急消毒物资的跨区域调配提供了可靠的优化解决方案。其主要得益于人工蜂群算法特有的引领蜂、跟随蜂、侦察蜂分工机制,该机制有效平衡了全局探索与局部开发;其灵活的邻域搜索策略尤其适合路径优化问题。

3 结 语

针对应急消毒物资跨区域调配的路径优化问题,笔者提出了一种融合需求紧迫度评估与人工蜂群算法的协同规划方法。该方法在不同车辆配置和区域分布情境中,均表现出良好的适应性与优越性,可有效缩短应急响应时间、确保医院等关键机构优先获得物资、提高物资配送效率,为灾害救援中的资源优化配置提供了可靠的理论支撑与实践参考。但该研究仍有进一步拓展空间。未来可进一步探索多车型协同与无人机联合配送模式,特别是针对偏远地区医院的“最后一公里”配送,构建“空地一体”的立体化应急物流体系。

参考文献:

- [1]王培栋,汪玲.考虑需求紧迫度的应急物资卡车-无人机联合配送路径优化[J].科学技术与工程,2025,25(28):12231-12240.
WANG P D, WANG L. Optimization of Joint Truck-Drone Delivery Paths for Emergency Supplies Considering Demand Urgency [J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(28): 12231-12240.
- [2]黄宝静,陈诚,王嘉源.基于复杂网络的城市轨道交通货物运输路径优化方法[J].都市快轨交通,2025,38(6):132-139.
HUANG B J, CHEN C, WANG J Y. Optimization Method for Freight Intermodal Transportation of High Speed Rail and Urban Rail Transit Based on Complex Networks [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2025, 38(6): 132-139.
- [3]陈超,王佳苗,马鑫晟.突发公共卫生事件下应急医疗物资配送路径优化模型研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2024,43(11):76-83,94.
CHEN C, WANG J M, MA X S. Optimization Model of Emergency Medical Material Delivery Path under Sudden Public Health Emergencies [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2024, 43(11): 76-83,94.
- [4]刘艳秋,胡绩辉.基于混合人工鱼群算法的应急物流路径优化研究[J].中国管理科学,2025,33(8):198-208.
LIU Y Q, HU J H. Research on Emergency Logistics Path Optimization Based on Hybrid Artificial Fish Swarm Algorithm [J]. Chinese Journal of Management Science, 2025, 33(8): 198-208.
- [5]胡晓伟,卢泓博,安实.考虑暴雨灾害动态影响的城市应急车辆救援路径优化研究[J].交通运输系统工程与信息,2024,24(3):75-82,93.
HU X W, LU H B, AN S. Optimization of Urban Emergency Vehicle Rescue Route Considering Dynamic Impact of Rainstorm Disasters [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2024, 24(3): 75-82,93.
- [6]张鑫,叶春明,曹磊,等.考虑LIFO装载约束的绿色车辆路径研究[J].计算机仿真,2025,42(10):257-262.
ZHANG X, YE C M, CAO L, et al. Research on Green Vehicle Routing Problem Considering LIFO Loading Constrains [J]. Computer Simulation, 2025, 42(10): 257-262.
- [7]郭瑞军,范超冉,刘悦,等.基于需求紧迫度的不相容应急物资配送的车辆路径选择[J].中国安全生产科学技术,2024,20(12):150-158.
GUO R J, FAN C R, LIU Y, et al. Vehicle Path Selection for Distribution of Incompatible Emergency Materials Based on Demand Urgency [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2024, 20(12): 150-158.
- [8]苏莹莹,李慧茹,卢洪志.考虑需求紧迫度的应急物资车辆路径节点优化模型[J].机械设计与研究,2025,41(4):229-237.
SU Y Y, LI H R, LU H Z. Vehicle Routing Optimization Model for Emergency Supplies Considering the Urgency of Demand [J]. Machine Design & Research, 2025, 41(4): 229-237.
- [9]张林静,丁溢.基于卡车-无人机协同配送的双目标应急物资运送优化[J].系统管理学报,2025,34(1):81-95.
ZHANG L J, DING Y. Optimizing Bi-Objective Emergency Supply Transportation Based on Synchronized Truck-Drone Delivery [J]. Journal of Systems & Management, 2025, 34(1): 81-95.
- [10]李国旗,郝志丹,杨佳鑫,等.运力短缺下的生活物资临时分配点选址-路径优化研究[J].交通运输系统工程与信息

- 息, 2025, 25(2): 304-313.
- LI G Q, HAO Z D, YANG J X, et al. Living Materials Temporary Distribution Points Location-Routing Optimization under Transportation Capacity Shortage [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2025, 25(2): 304-313.
- [11]魏明, 吴蕾, 孙博. 一类多物资类型无人机应急配送路径优化模型 [J]. 数学的实践与认识, 2024, 54(6): 141-150.
- WEI M, WU L, SUN B. Optimization Model of Emergency Delivery Routing of UAVs with Multi-Type Goods [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2024, 54(6): 141-150.
- [12]唐建勋, 岳帅, 王岩韬. 基于速度暂停粒子群算法的应急物资空地联合调运 [J]. 科学技术与工程, 2025, 25(28): 12241-12252.
- TANG J X, YUE S, WANG Y T. Air-Ground Scheduling of Emergency Supplies Based on VPPSO Algorithm [J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(28): 12241-12252.
- [13]史晓东, 郭永城, 马铭杞, 等. 公共卫生事件下交叉感染风险的车辆路径优化研究 [J]. 系统仿真学报, 2025, 37(4): 910-921.
- SHI X D, GUO Y C, MA M Q, et al. Optimization of Vehicle Routing for Cross-Infection Risk in the Epidemic [J]. Journal of System Simulation, 2025, 37(4): 910-921.
- [14]马梓元, 刘伟鹏, 胡春朝, 等. 基于改进人工蜂群算法的无人飞行器路径协同规划 [J]. 南京航空航天大学学报(自然科学版), 2025, 57(6): 1124-1134.
- MA Z Y, LIU W P, HU C Z, et al. Path Cooperative Planning for Unmanned Aerial Vehicles Based on Improved Artificial Bee Colony Algorithm [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics (Natural Science Edition), 2025, 57(6): 1124-1134.
- [15]刘润恺, 胡伟, 宋彦杰, 等. 面向三维无人机物流路径规划问题的改进人工蜂群算法 [J]. 控制理论与应用, 2025, 42(11): 2274-2285.
- LIU R K, HU W, SONG Y J, et al. An Improved Artificial Bee Colony Algorithm for 3D UAV Logistics Path Planning Problem [J]. Control Theory & Applications, 2025, 42(11): 2274-2285.
- [16]刘笑, 朱磊, 张媛. 基于人工蜂群算法的循环包装箱回收中心多目标选址 [J]. 包装工程, 2025, 46(11): 267-276.
- LIU X, ZHU L, ZHANG Y. Multi-Objective Site Selection of Circular Packaging Recycling Centers Based on Artificial Bee Colony Algorithm [J]. Packaging Engineering, 2025, 46(11): 267-276.

(责任编辑: 刘东亮)