

时间依赖下洪涝灾区紧急物资分配混合优化方法

胡忠君[†], 刘艳秋, 李 佳

(沈阳工业大学 管理学院, 沈阳 110870)

摘 要: 针对洪涝灾区紧急物资分配问题, 构建结合“互联网+”的研究框架, 提出一种混合优化方法. 从以下几个方面进行研究: 对灾区物资需求进行遗传点估计; 对受灾区域进行无监督聚类划分; 明确紧急度优先级; 依权重将应急库存剩余救援物资分配到灾区; 更新灾区物资需求, 直到灾区需求达到预设满足程度. 研究表明, 所提出的混合优化方法能够在需求满足比率和时间分配成本两方面实现系统优化, 有效利用黄金救援期实现人道主义救援.

关键词: 互联网+应急物流; 洪涝救援; 聚类分析; 双目标决策; 点估计遗传算法; 粒子群优化

中图分类号: TP224

文献标志码: A

A mixed optimization method of emergency material distribution in flood disaster area depending on time

HU Zhong-jun[†], LIU Yan-qiu, LI Jia

(School of Management, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: In order to solve the problem of emergency material allocation in flood disaster area, this paper constructs the research framework combined with “Internet +” and proposes a mixed optimization method. Firstly, real-time demand point estimation is provided for the material needs of the disaster area. Then, unsupervised clustering is applied to the correlation properties of the flood disaster area to obtain the division of the region. Subsequently, the urgency priority of the material distribution area is determined. According to the weight, the remaining relief supplies of emergency inventory are allocated to the disaster areas, and the disaster area material demand is updated immediately, until the demand in the disaster area reaches the preset level of satisfaction. Finally, the results show that the hybrid optimization method can fully optimize the system in terms of demand satisfaction ratio and time allocation cost, and make effective use of the golden rescue period to complete the humanitarian rescue.

Keywords: Internet + emergency logistics; flood rescue; cluster analysis; dual goal decision; point estimation genetic algorithm; particle swarm optimization

0 引 言

2017年8月8日九寨沟地震发生3小时后, 京东物流立即启动应急机制, 利用互联网平台和仓储物流等, 连续多日出动40多频次车辆运输救灾物资, 成为“互联网+应急物流”的应用典范.

近年来, 灾害应急物流的研究更关注以时间和效率目标为主的救援网络优化, 例如在多层次供应链视角下, 考虑不确定要素对救援物资供应链的时效模型或成本模型的影响^[1-3], 或者结合经典算法的改进^[4-10], 以提高救援人道主义目标的优化效率. 然而, 已有研究忽略了灾情细分, 没有将与自然灾害直接关联的属性进行筛选.

国家测绘地理信息局官方数据显示, 在2008年

~2017年期间发生的所有灾害类型中, 洪涝以38.4%占据灾害统计的首位, 造成经济损失上升51%. 针对洪涝灾区的应急物流的研究日益显现, 其更侧重于预测方法的研究^[11-13], 以及应急配送的时间和成本优化^[14-16], 忽略了洪涝灾区民众的需求满足程度. 此外, 尚未见到结合“互联网+”的应急物资分配研究. 对此, 本文针对洪涝灾区的物资分配问题, 研究由救援物资供应商、紧急救援配送中心和洪涝灾区构成的供应链物流网络, 给出以互联网平台为基础的混合优化方法, 实现决策层和执行层动态交互.

1 应急救援分配决策模型结构描述

洪涝应急物流网络结构涉及救援物资供应商、紧急救援配送中心和洪涝灾区, 形成具有3层物流网

收稿日期: 2017-10-16; 修回日期: 2018-03-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70431003).

责任编辑: 刘士新.

[†]通讯作者. E-mail: doctor160606@163.com.

网络的救援供应链(图1),实时与决策平台发生数据交互.现实情形中,救援物资供应商指私人或公共机构的救济物资来源;紧急救援配送中心指救援物资分配中心,旨在洪涝灾情发生时根据救援期间的紧急需求、物流状况和设施规模,有效地协调实时变化的洪涝灾区入境和出境救援物资分配,且配送中心由公共部门主导,例如当地政府或相应的区域救援机构.

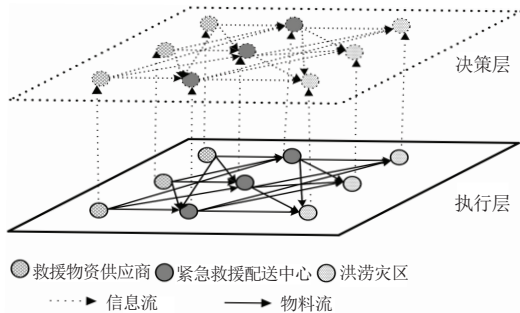


图1 “互联网+应急物流”研究结构框架

2 物资分配平台系统混合优化方法设计

紧急救援配送中心通过设计网络平台的应急相应机制(图2),对实时调配救援物资过程进行流程分解,得到5个需要解决的关键步骤,构成本文混合算法的组成框架.

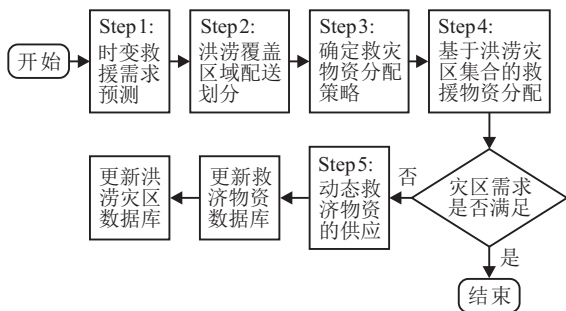


图2 洪涝灾区应急物流系统运行流程

2.1 救援物资需求点估计遗传算法

主要考虑两种类型的紧急救援:第I类需求是生存易耗品供应,包括水、餐盒和药物;第II类需求是救援设备,例如搜救设施和起居设施.基于安全库存^[17-18],考虑潜在的物资供应紧张情况,分别估计生存易耗品和救援设备的需求.初始种群的编码由 $n \times m$ 的单位行向量给出.配送时间间隔上界范围 \bar{L} 内救援短缺概率为 ε .得到救援计划执行层(图1)的判断条件为

$$P(\bar{L} \leq \Pi^n \times \theta_i(t) \times \bar{L} + z_{1-\varepsilon} \times \sigma_i^n(t) \times \sqrt{\bar{L}}) = 1 - \varepsilon. \quad (1)$$

选择操作的时变估计量为

$$d_i^n(t) =$$

$$\sum_{n=1}^{N_C} \{\Pi_i^n \times \theta_i(t) \times \bar{L}\} + z_{1-\varepsilon} \times \sigma_i^n(t) \times \sqrt{\bar{L}} + \sum_{n=1}^{N_E} \Pi_i^n - \sum_{\varepsilon=1}^{t-1} \tilde{d}_i^n(t - \Delta). \quad (2)$$

其中: $d_i^n(t)$ 表示给定时间间隔 t 内洪涝区域 i 的时变救济需求量; Π_i^n 和 Π_i^n 分别表示洪涝区域内需要第I类和第II类物资的平均时变需求; $\tilde{d}_i^n(t - \Delta)$ 表示给定的时间间隔 $t - \Delta$ 内洪涝区域的时变需求量; \bar{L} 表示洪涝区域内任意两个连续的救援物资接收站之间配送时间间隔上界; $z_{n-\varepsilon}$ 表示随时间变化的救援需求短缺(统计量记为 ε) 的可容忍度; $\theta_i(t)$ 表示在时间间隔 t 内洪涝区域中被困幸存者的估计量; $\sigma_i^n(t)$ 表示需求预测的时变标准偏差,均值为 $\tilde{d}_i^n(t)$.

相邻两个染色体的 r 到 m 位进行交换操作,完成交叉;变异过程为两个染色体的 r 到 m 进行0与1互换.适应度最大的个体将被保存到下一代,并确定终止迭代条件.

2.2 洪涝灾区关联属性规约与聚类分组

明确5个紧急属性作为分组区域的决定要素: $e_i^1(t)$ 表示当前时间间隔 t 和区域 i 上一次救援到达时间间隔的时间差; $e_i^2(t)$ 表示在已知的时间间隔 t 内,区域 i 被观察到的伤亡人数相对于总人口数的比率; $e_i^3(t)$ 表示在已知的时间间隔 t 中观察到给定区域的无助人口比率; $e_i^4(t)$ 表示降雨量,单位时间内单位面积的降雨累积深度; $e_i^5(t)$ 指时间间隔内建筑物损坏情况,如严重或完全破坏.洪涝灾区关联紧急属性向量为

$$E_i(t) = [e_i^1(t), e_i^2(t), e_i^3(t), e_i^4(t), e_i^5(t)]. \quad (3)$$

基于模糊聚类算法执行功能区域分组的步骤如下.

Step 1: 对于给定区域的紧急属性采用气象术语进行衡量,由弱到强依次划分为5个等级:白、蓝、黄、橙、红.得到以下逻辑规则:

$$\Pi[e_i^k(t)] = \begin{cases} \text{红, } e_i^k(t) \geq 0.8e_{\max}^k; \\ \text{橙, } 0.6e_{\max}^k \leq e_i^k(t) < 0.8e_{\max}^k; \\ \text{黄, } 0.4e_{\max}^k \leq e_i^k(t) < 0.6e_{\max}^k; \\ \text{蓝, } 0.2e_{\max}^k \leq e_i^k(t) < 0.4e_{\max}^k; \\ \text{白, } e_i^k(t) < 0.2e_{\max}^k. \end{cases} \quad (4)$$

其中: $e_i^k(t)$ 表示在给定时间间隔 t 内收集到给定区域 i 相关联的第 k 个紧急属性; $e_{\max}^k(t)$ 是指 $e_i^k(t)$ 的预期最大值; Π 代表与 $e_i^k(t)$ 相关的语言逻辑.紧急属性归一化后被转换成二进制码,定性标准有5位二进制码,

如表1所示.

表1 标准化5位二进制码的属性含义

强度	$e_i^1(t)$	$e_i^2(t)$	$e_i^3(t)$	$e_i^4(t)$	$e_i^5(t)$
红	1	1	1	1	1
橙	1	1	1	1	0
黄	1	1	1	0	0
蓝	1	1	0	0	0
白	1	0	1	1	0

任何给定的紧急属性 $e_i^k(t)$ 均可以转换成5位的二进制编码 $\Pi_i^k(t)$, 即

$$\Pi_i^k(t) = [s_{i,1}^k(t), s_{i,2}^k(t), s_{i,3}^k(t), s_{i,4}^k(t), s_{i,5}^k(t)], \quad (5)$$

其中向量元素表示为 $s_{i,j}^k(t), j = 1, 2, \dots, 5$.

标准化的二进制紧急属性 $\Pi_i^k(t)$ 的表达式为

$$\tilde{\Pi}_i^k(t) = [\tilde{s}_{i,1}^k(t), \tilde{s}_{i,2}^k(t), \tilde{s}_{i,3}^k(t), \tilde{s}_{i,4}^k(t), \tilde{s}_{i,5}^k(t)]. \quad (6)$$

Step 2: 生成模糊关联矩阵. 根据灾区分组 i 和标准化后的二进制紧迫属性估计得到时变的 $i \times i$ 阶模糊关系矩阵 $R(t)$, 其中 $R(t)$ 的每个元素 $r_{pq}(t)$ 表示灾区 p 与 q 的相关性, 即

$$R(t) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & \cdots & r_{2n} \\ r_{31} & \cdots & \ddots & \cdots & r_{3n} \\ \vdots & \cdots & \cdots & r_{pq} & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & \cdots & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$r_{pq}(t) = 1 - \frac{1}{\eta} \sqrt{\sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^5 [\tilde{s}_{pj}^k(t) - \tilde{s}_{qj}^k(t)]^2}. \quad (8)$$

其中: $\eta \in [0, 1]$ 为 r_{pq} 的预设参数, j 表示给定的位代码. 由式(7)和(8)得知 $R(t)$ 是对称矩阵.

Step 3: 聚类分析确定区域分组, 将具有相似紧急特征的区域按以下步骤分配到同一组.

Step 3.1: 初始化迭代计算. 关键救援期从 $t = 1$ 开始; 设置列搜索的索引 $H = 1$; 输入 $\tilde{R}(t)$ 从当前模糊相关矩阵的第1列开始迭代, 令 $p = H$, 在此列中, 将最多伤亡人数相关联的区域设定为首先执行的一个区域分组.

Step 3.2: 给定有效区域 p , 删除 $\tilde{R}(t)$ 中与 $p[\tilde{R}_p(t)]^T$ 相关联的行. 将目标配送需求所在的有效区域记为 $\tilde{R}_p(t)$, 时间间隔 t 内不需要重新克隆目标区域. 因此, 可以移除相应的行.

Step 3.3: 找到 $\tilde{R}_p(t)$ 中最大元素, 记为 $\tilde{R}_{pq}^*(t)$, 设置 ρ 为两个区域之间相似度阈值. 如果条件 $\tilde{R}_{pq}^*(t) > \rho$ 成立, 则将有效区域 q 分配给与目标区域 p 相同的组, 并删除与 $q[\tilde{R}_p(t)]^T$ 相关联的一行, 表示区域 q 与

目标区域 p 具有相似紧急条件, 被分配到同一组. 返回 Step 3.3 检查 $\tilde{R}_p(t)$ 的其他元素, 直到不存在满足上述聚类条件的任何元素为止, 则从 $R(t)$ 中删除 $\tilde{R}_p(t)$, 表示已经考虑 $\tilde{R}_p(t)$ 的所有元素, 可以在给定的时间间隔内结束基于目标区域 p 的紧急属性聚类过程. 如果此阶段分配了一个区域, 则将所有分配区域作为目标区域, 即 $p = q$; 否则, 令 $p = H$, 再返回 Step 3.2 继续下一个区域的分组.

Step 4: 测试执行以下规则, 以停止功能区域分组的机制: 如果没有列向量, 则停止聚类过程; 否则, 返回 Step 3.2 进行下一次迭代.

设已知区域在 t 内聚类成 G 组, 因此, 得到基于灾区分组 g 的标准二进制紧迫度属性矩阵

$$\tilde{\Omega}_g(t) = [\Omega_{ig}(t), i = 1, 2, \dots, n_g]_{16 \times i_g}, \quad (9)$$

其中 $\tilde{\Omega}_g(t)$ 是由分组 g 的区域 l_g 标准化得到的 $25 \times l_g$ 阶二元紧急属性矩阵, 并且 l_g 表示分组 g 中涉及区域的数量. 可进一步表示为

$$\Omega_{lg}(t) = [\Omega_{lgj}^k(t), j = 1, 2, \dots, 5; k = 1, 2, \dots, 5]_{25 \times 1}. \quad (10)$$

2.3 紧急属性的度量

令 w_k 表示与属性 k 相关联的紧急度权重, 用于确定属性在紧迫度方面的相对重要性. 据此, 设计评估原则 $\Phi_g(t)$, 以确定区域分组 g 救援优先级, 有

$$\Phi_g(t) = \frac{\sum_{k=1}^5 w_k \left[\sum_{\forall i_g} \sum_{j=1}^5 \Omega_{i_g j}^k(t) \right]}{n_g}. \quad (11)$$

通过对 $\Phi_g(t)$ 进行估计, 再利用聚类集合 G 的区域组进行优先级排序, 其中同组区域将在缓冲分配中具有相同的优先级. 存在某些区域组具有相同 $\Phi_g(t)$ 值的可能性, 其中与最高权重 w_k 相关联的紧急属性的平均值可用于二次排序.

2.4 确定双目标权重

在分配实施阶段, 构建综合加权多目标优化模型, 最大化时变缓解需求满足速率 $z_g^1(t)$, 以及最小化时间分配成本 $z_g^2(t)$, 即

$$\max z_g^1(t) = \frac{\sum_{\forall n} \sum_{f=1}^F \sum_{\forall i_g \in g} y_{f,i_g}^n(t)}{\sum_{\forall n} \sum_{\forall i_g \in g} d_{i_g}^n(t)}, \quad \forall (g, t); \quad (12)$$

$$\min z_g^2(t) = \sum_{\forall n} \sum_{f=1}^F \sum_{\forall i_g \in g} [ce_f^n \times (e_{i_g}^n(t)) + ct_{f,i_g}^n] \times y_{f,i_g}^n(t). \quad (13)$$

其中: ce_f^n 和 ct_{f,i_g}^n 分别表示与救援物资 n 和分配中心 f 相关的单位设置和运输成本,用于向给定的区域 i_g 的排放分配; F 代表救济物流中心的数量; $y_{f,i_g}^n(t)$ 是一个决策变量,表示在给定的时间间隔 t 内从分配中心 f 到给定区域 i_g 配送物资 n 的时变量. 考虑上一阶段已经确定分配优先级,引入两个权重 w_1 和 w_2 , 且 $w_1 + w_2 = 1$. 因此,多目标函数可重写为复合归一化形式

$$\max z_g(t) = w_1 \times \left[\frac{z_g^1(t) - z_g^1}{z_g^1(t) - z_g^1} \right] - w_2 \times \left[\frac{z_g^2(t) - z_g^2}{z_g^2(t) - z_g^2} \right]. \quad (14)$$

其中: \bar{z}_g^1 和 \underline{z}_g^1 分别是 z_g^1 的期望最大值和最小值, \bar{z}_g^2 和 \underline{z}_g^2 是 z_g^2 的期望最大值和最小值. 由式(14)可以看出,针对上一阶段确定的各个区域群体所涉及的分配优先事项的总目标函数 $\tilde{z}(t)$,用于从多个救济配送中心到多个区域组的紧急救济配置,有

$$\max \tilde{z}(t) = \sum_{g=1}^G w_g(t) \times \tilde{z}_g, \quad \forall t, \quad (15)$$

其中 $w_g(t)$ 为与区域 g 相关联的时变权重,且

$$w_g(t) = \Phi_g(t) / \sum_{g=1}^G \Phi_g(t), \quad \forall t. \quad (16)$$

区域 i_g 的救援物资总分配量不超过 $d_{i_g}^n(t)$,即

$$\sum_{f=1}^F y_{f,i_g}^n(t) \leq d_{i_g}^n(t), \quad \forall (g, i_g, n, t). \quad (17)$$

分配量不超过可用库存量

$$\sum_{g=1}^G \sum_{i_g \in g} y_{f,i_g}^n(t) \leq q_f^n(t-1|t-1), \quad \forall (n, f, t). \quad (18)$$

分配物资量不得超过集体运输能力

$$\sum_{g=1}^G \sum_{i_g \in g} \sum_{\forall n} V_n y_{f,i_g}^n(t) \leq \sum_{\forall n} V_v \times V_t^f(t), \quad \forall (f, t). \quad (19)$$

其中: 决策变量 $y_{f,i_g}^n(t)$ 满足正则约束 $y_{f,i_g}^n(t) \geq 0$; $q_f^n(t-1|t-1)$ 表示时间间隔 $t-1$ 结束时,观测到救援分配中心 f 的救援物资 n 库存量; V_n 表示救援物资的单位体积量; V_v 表示给定类型车辆 v 的单位承载能力; $V_t^f(t)$ 表示间隔 t 内给定类型车辆 v 的调配次数. 对于下一时间间隔的物资调度,配送中心的库存为

$$q_f^n(t|t) = q_f^n(t-1|t-1) + \sum_{u_n} \tilde{y}_{u_n}^n - \sum_{g=1}^G \sum_{i_g \in g} \tilde{y}_{f,i_g}^n(t). \quad (20)$$

2.5 动态救援物资分配的粒子群算法

初始化粒子群体包括粒子位置、粒子速度、最优个体粒子数和方案表. 目标函数转化为与救济物

资物流配送相关的运输费用复合加权形式,即

$$\min \sum_{\forall n} \sum_{f=1}^F \lambda_m(t) \times \left[\sum_{u_n=1}^{U_n} (ce_{u_n}^n + ct_{u_n,f}^n) \times y_{u_n}^n \times y_{u_n,f}^n(t) \right]. \quad (21)$$

其中: $ce_{u_n}^n$ 和 $ct_{u_n,f}^n$ 分别表示救援物资供应商 u_n 为分配中心 f 提供救援物资 n 的单位安装和运输成本; U_n 是救援物资供应商总量; $y_{u_n,f}^n(t)$ 是一个决策变量,表示在时间间隔 t 内从救援物资供应商 u_n 到救援分配中心 f 提供的给定类型物资 n 的时变量; λ_f 表示与救援分配中心 f 相关联的紧急程度时变权重,即

$$\lambda_f(t) = \frac{\sum_{g=1}^G w_g(t) \times \left(\sum_{i_g \in g} \tilde{y}_{f,i_g}^n(t) \right)}{\sum_{f=1}^F \sum_{g=1}^G w_g(t) \times \left(\sum_{i_g \in g} \tilde{y}_{f,i_g}^n(t) \right)}. \quad (22)$$

这里: $w_g(t)$ 表示与区域组 g 相关联的时变权重; $\tilde{y}_{f,i_g}^n(t)$ 指上一阶段确定的 $y_{f,i_g}^n(t)$ 的最优解. 同时,考虑救援物资渠道的存储容量限制

$$\sum_{g=1}^G \sum_{i_g \in g} \tilde{y}_{f,i_g}^n(t) \leq \sum_{u_n} y_{u_n,m}^n(t) \leq Q_f^n, \quad \forall (n, f, t). \quad (23)$$

间隔 t 内救援物资供应商 u_n 提供的物资减少量不应超过上一时间间隔 $t-1$ 结束时剩余量,即

$$\sum_{g=1}^G \sum_{i_g \in g} y_{f,u_n}^n(t) \leq Q_{u_n}^n(t-1|t-1), \quad \forall (n, u_n, t); \quad (24)$$

$$y_{f,u_n}^n(t) \geq 0, \quad \forall (n, f, u_n, t). \quad (25)$$

其中: Q_f^n 表示救援物资 n 在分配中心 f 的存储容量; $q_{u_n}^n(t-1|t-1)$ 表示在给定时间间隔 $t-1$ 结束时,能够观察到救援物资供应商 u_n 的时变剩余库存. 式(25)为决策变量 $y_{f,u_n}^n(t)$ 的正则约束. 下一时间间隔,救援物资供应商的库存为

$$q_{u_n}^n(t-1|t-1) + \Delta q_{u_n}^n - \sum_{f=1}^F \tilde{y}_{f,i_g}^n(t), \quad \forall (n, u_n, t), \quad (26)$$

其中 $\Delta q_{u_n}^n$ 表示给定的时间间隔内,救援物资供应商 u_n 内部产生的救援物资恒定增量.

将每组分配方案记为一个粒子,多组分配方案称为种群. 第 t 代的粒子记为 $\mathbf{x}_i(t)$, 计算粒子的速度和位置 $\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_i(t-1) + \mathbf{v}_i(t)$. 以给定的概率应用变异算子,评估所得到的粒子. 更新粒子标记、方案表和迭代次数的标记. 利用 NSGA-II 的拥挤距离确定留在方案表的粒子,找到邻近拥挤距离最大的粒子作为终

选最优分配方案.

通过执行混合优化方法, 获得时变救援供给信息流 $y_{f,u_n}^n(t)$ 和分配信息流 $y_{f,i_g}^n(t)$ 的最优解, 得到特定紧急情况下救援物资流量.

3 算例分析

以洪涝发生时两个救援物资供应商的位置为对角线划定灾区监测范围为例(图3), 依据式(4)得到灾情强度着色图. 其中聚类分析得到16个划分区域分别在收到灾情警报后 $t = 1$ 、 $t = 2$ 和 $t = 3$ 的紧急程度变化与划分区域演变如图3(a)~图3(c)所示. 洪涝灾情在爆发之初, $t = 1$ 和 $t = 2$ 存在短暂的平稳期; $t = 3$ 时蓝色区域急剧扩张.

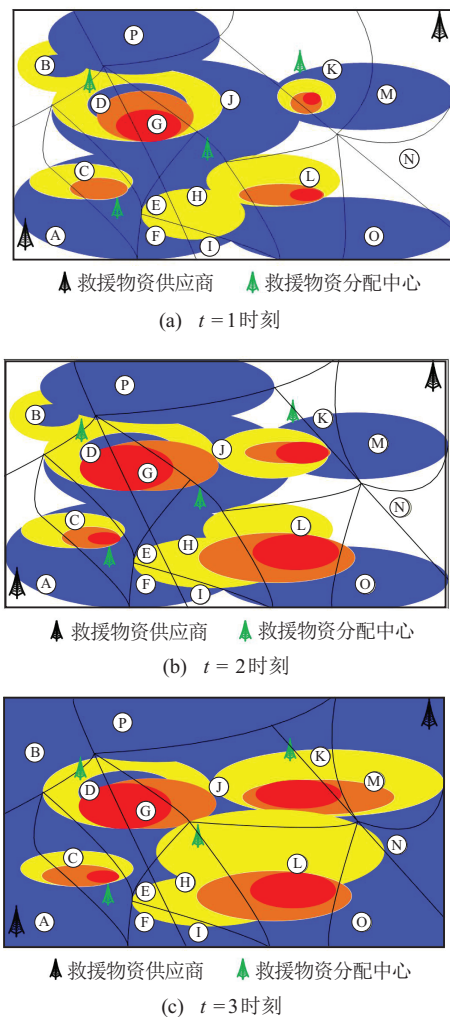


图3 洪涝区域 t 时刻聚类分组着色图

由图3(a)可见: 存在3个红色紧急程度的受灾点; $t = 1$ 时, 3个已有红色受灾点的区域都发生不同程度的扩大, 同时新增一处红色受灾点, 并且16个划分区域因为紧急程度的变化, 区域聚类边界发生了部分移动; $t = 3$ 时, 红色紧急程度的区域范围没有扩张, 但是蓝色和黄色紧急程度的受灾点面积有所增加. 对应3个时间点的配送方案如表2~表4所示.

表2 物资配送初始方案 ($t = 1$)

物质配送优先级	分组区域标识	需求满足率/%	成本/万元
1	D、J、L	42.9	27.00
2	K、M	42.9	19.80
3	C、G	55.8	15.30
4	O、I	62.1	11.70
5	A、H	65.3	9.00
6	B、F	55.3	4.50
7	N、E	48.0	2.25
8	P	39.5	0.45

表3 物资配送初始方案 ($t = 2$)

物质配送优先级	分组区域标识	需求满足率/%	成本/万元
1	C、D、G、J、L	52.1	32.87
2	K、M	68.6	15.29
3	E、F、H、I	74.9	28.65
4	O	80.5	10.62
5	A	72.6	8.50
6	B、N、P	55.3	10.21

表4 物资配送初始方案 ($t = 3$)

物质配送优先级	分组区域标识	需求满足率/%	成本/万元
1	C、D、G、J、L	65.7	42.72
2	E、F、K、M	72.3	34.18
3	H、I、O	81.0	24.41
4	A、B	69.6	14.65
5	N、P	62.1	6.10

由表2~表4可知, 在互联网平台下, 同一时刻的优先级越高, 需求满足率反而越低, 这一现象与传统应急经验不相符. 这是因为划分过程是依据紧急配送优先级进行配送响应, 实时的需求满足率恰好反映当前实时需求补给的紧急程度; 而传统的应急响应过程, 由于数据的实时性相对于互联网平台较弱, 测算的需求满足率具有数据延时, 是含有一定程度补给效果的需求满足率. 总成本增量均匀, 洪涝区域需求满足率并没有随着灾情时间的延长而出现减少的情况. 灾情发生初始阶段, 互联网平台的数据更新时间间隔小, 存在误差较大, 因为灾情发生初期, 灾情导致受伤人员和毁坏情况统计不完善, 随着灾情的稳定, 数据可靠程度也会增加.

4 结论

“互联网+”的兴起为应急物流解决方案提供了新思路和新模式. 本文设计了基于互联网平台的决策层与执行层交互运行下混合优化方法, 以解决洪涝灾区的应急物资调配问题. 构建的三级洪涝应急物流供应链中, 紧急救援配送中心通过网络平台得到执行

层面各参与方的初始灾情和物资数据,利用遗传算法进行洪涝灾区物资需求点估计,依据洪涝灾区关联属性进行模糊聚类分析,包括救援频率、伤亡率、弱势群体比率、降雨量和建筑损坏程度,从而得到受灾区域划分.经过量化分析明确灾区物资分配区域的优先级.根据预设权重和紧急程度,紧急救援配送中心将依据粒子群算法给出救援物资分配到灾区的解决方案,确定同时更新灾区物资需求估计,循环执行混合优化方法直到灾区需求得到预期满足.互联网平台数据的丰富性和实时性,启发本文从物资配送优先级角度进行探索.紧急分配优先级间接反映人道主义量化程度.事实上,在配送能力受限的情况下,优先响应更加需要物资配送的地区也是人道主义的体现.

参考文献(References)

- [1] Duque P A M, Dolinskaya I S, Sørensen K. Network repair crew scheduling and routing for emergency relief distribution problem[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 248(1): 272-285.
- [2] Dalal J, Üster H. Combining worst case and average case considerations in an integrated emergency response network design problem[J]. *Trans Science*, 2017, 52(1): 171-188.
- [3] Musolino G, Polimeni A, Rindone C, et al. Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013, 87(10): 193-202.
- [4] 刘长石, 寇纲, 刘导波. 震后应急物资多方式供应的模糊动态 LRP[J]. *管理科学学报*, 2016, 19(10): 61-72. (Liu C S, Kou G, Liu D B. Fuzzy dynamic LRP for post-earthquake multimodal relief delivery[J]. *J of Management Sciences in China*, 2016, 19(10): 61-72.)
- [5] 刘长石, 彭怡, 寇纲. 震后应急物资配送的模糊定位——路径问题研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(5): 111-118. (Liu C S, Peng Y, Kou G. Research on fuzzy location-routing problem in post-earthquake delivery of relief materials[J]. *Chinese J of Management Science*, 2016, 24(5): 111-118.)
- [6] 刘长石, 寇纲. 震后应急物流系统中的定位——路径问题[J]. *系统工程*, 2015, 33(9): 63-67. (Liu C S, Kou G. Location-routing problem of emergency logistics system in post-earthquake[J]. *Systems Engineering*, 2015, 33(9): 63-67.)
- [7] 张国富, 王永奇, 苏兆品, 等. 应急救援物资多目标分配与调度问题建模与求解[J]. *控制与决策*, 2017, 32(1): 86-92. (Zhang G F, Wang Y Q, Sun Z P, et al. Modeling and solving multi-objective allocation-scheduling of emergency relief supplies[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(1): 86-92.)
- [8] Defour É, Laporte G, Paquette J, et al. Logistics service network design for humanitarian response in East Africa[J]. *Omega*, 2018, 74(1): 1-14.
- [9] Su Zhaopin, Zhang Guofu, Liu Yang, et al. Multiple emergency resource allocation for concurrent incidents in natural disasters[J]. *Int J of Disaster Risk Reduction*, 2016, 17(8): 199-212.
- [10] 苏兆品, 张婷, 张国富, 等. 基于云模型和模糊聚合的应急方案评估[J]. *模式识别与人工智能*, 2014, 27(11): 1047-1055. (Su Z P, Zhang T, Zhang G F, et al. Evaluation of emergency disposal schemes based on cloud model and fuzzy aggregation[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2014, 27(11): 1047-1055.)
- [11] 龚艳冰, 胡娜, 刘高峰, 等. 基于正态云信息扩散方法的水旱灾害风险评估模型——以徐州市为例[J]. *系统工程*, 2016, 34(11): 54-58. (Gong Y B, Hu N, Liu G F, et al. Risk evaluation model of flood and drought disaster based on normal cloud information diffusion method: A case study in Xuzhou city[J]. *Systems Engineering*, 2016, 34(11): 54-58.)
- [12] Garrido R A, Lamas P, Pino F J. A stochastic programming approach for floods emergency logistics[J]. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, 75(3): 18-31.
- [13] Díaz-Delgado C, Iniestra J G. Flood risk assessment in humanitarian logistics process design[J]. *J of Applied Research & Technology*, 2014, 12(5): 976-984.
- [14] Rodríguez-Espíndola O, Albores P, Brewster C. Disaster preparedness in humanitarian logistics: A collaborative approach for resource management in floods[J]. *European J of Operational Research*, 2017, 264(3): 978-993.
- [15] Rodríguez-Espíndola O, Gaytán J. Scenario-based preparedness plan for floods[J]. *Natural Hazards*, 2015, 76(2): 1241-1262.
- [16] Gama M, Santos B F, Scaparra M P. A multi-period shelter location-allocation model with evacuation orders for flood disasters[J]. *Euro J on Computational Optimization*, 2016, 4(3/4): 299-323.
- [17] Baker K R. The effect of commonality on safety stock in a simple inventory model[J]. *Management Science*, 1986, 32(8): 982-988.
- [18] Corbett C J. Stochastic inventory systems in a supply chain with asymmetric information: Cycle stocks, safety stocks, and consignment stock[J]. *Operations Research*, 2001, 49(4): 487-500.

作者简介

胡忠君(1970—),男,工程师,博士生,从事物流系统管理与工程的研究, E-mail: doctor160606@163.com;

刘艳秋(1963—),男,教授,博士生导师,从事物流系统可靠性等研究, E-mail: liuyanqiu@sut.edu.cn;

李佳(1983—),女,博士,从事物流系统管理与工程的研究, E-mail: 94252305@qq.com.

(责任编辑:李君玲)