

宋英华, 葛艳, 杜丽敬, 等. 考虑灾民心理的应急设施选址配送问题研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 187-193. [SONG Yinghua, GE Yan, DU Lijing, et al. Study on location and distribution of emergency facilities considering the psychology of victims [J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 187-193. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.034.]

考虑灾民心理的应急设施选址配送问题研究^{*}

宋英华^{1,2,3}, 葛 艳^{1,2,3}, 杜丽敬^{1,2,3}, 吕 伟^{1,2,3}

(1. 武汉理工大学 管理学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉理工大学 中国应急管理研究中心, 湖北 武汉 430070; 3. 安全预警与应急联动技术湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 为提高应急救援效率, 结合震后灾民对应急物资的需求的特征, 及包含中转设施的应急物资两级调配的特点, 提出了一种满意度函数来衡量灾民心理。以灾民感知的满意度最大和系统总成本最小为目标, 并结合两级配送网路中应急配送中心的选址问题, 建立考虑多物资、多级配送、多模式运输的应急物资配送方案优化模型。利用基于实数编码的遗传算法对模型进行求解, 并以汶川地震中的有关数据为例, 验证了模型和算法的有效性和可行性。

关键词: 遗传算法; 满意度; 多目标优化; 应急物资分配; 应急设施选址

中图分类号: X43; U492; F252 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0187-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.034

近年来大规模自然灾害频发, 这些灾害造成了大量的人员伤亡和财产损失。因此, 突发事件发生后, 如何快速高效的将应急物资送到灾民的手中, 是亟需解决的问题。

应急物流的相关研究中, 考虑应急设施选址研究较多, 可分为考虑单级配送的应急设施选址^[1-4]和考虑中转设施的两级应急设施选址问题的研究^[5-7]。其中文献[1]考虑突发事件状态下的灾点需求量和车辆运输时间的不确定性, 基于机会约束规划方法建立时间和成本最小化为目标的LRP模型, 并设计遗传算法对模型进行求解。文献[5]针对震后初期应急物资配送的特征, 建立考虑带有中转设施选址和应急物资多式联运的双层规划模型, 并设计一种混合遗传算法进行求解。张磊^[8]根据灾情的时序变化, 构建针对饮用水和帐篷的物资动态需求预测模型。张永领等^[9]以总成本最小化为目标建立具有多出救点、多资源约束下的应急资源调度模型, 并采用混合粒子群算法进行求解。应急物流的相关研究中, 考虑灾民心理的研究相对较少。其中, 王旭坪等^[10]利用前景理论量化了公众对应急物资获得时间的风险感知程度, 并将其融入到应急物资的调度问题中, 构

建以公众心理风险感知的程度和物资未满足度最小的混合整数规划模型。崔璇等^[11]运用多属性效用理论建立等待心理代价测度函数, 并在此基础上构建以最小化疏散时间、疏散成本、等待心理代价为目标的混合整数规划模型, 并运用CPLEX软件对模型进行求解。Sheu^[12]根据生存心理和认知理论, 建立以需求为导向的应急物流运营模式之下的幸存者感知-态度-抗灾能力概念模型, 从而使得在救灾服务的分配上最大限度地提高幸存者的抗灾能力。杨恩缘等^[13]考虑两级应急物资配送网络, 分析多品种物资在不同类型应急物流中心之间的分配问题, 建立震后多品种应急物资多级配送选址-路径问题的混合整数规划模型。

钱刚毅等^[14]对我国重大公共安全事件预警与应急管理的相关问题进行分析, 指出我国应急管理体系的不足, 并给出相关的政策建议。应急管理体系中, 突发事件发生后的应急物资的配送和调度问题直接关系到灾民的生存。鉴于此, 笔者提出建立灾民的心理感知满意度函数, 包括灾民感知的时间满意度函数和灾民感知的物资量满意度函数的建立。将其应用到考虑配送中心选址的多物资、多式联运问题中, 建立以灾民心理感知

^{*} 收稿日期: 2018-07-12 修回日期: 2018-09-10

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFC0802500); 国家自然科学基金资助(51604204, 71501151); 国家社科基金资助(16CTQ022); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2018VI067)

第一作者简介: 宋英华(1962-), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 主要从事科研管理、应急管理、项目管理等方面的研究。

E-mail: song6688c@163.com

通讯作者: 杜丽敬(1985-), 女, 山东菏泽人, 博士, 讲师, 主要从事应急物流、多目标优化、供应链管理等方面的研究。

E-mail: 349666905@qq.com

满意度最大及系统总成本最小为目标的应急物资调配优化模型, 并利用基于实数编码的遗传算法进行求解。

1 模型建立

1.1 问题描述

在应急物流中, 应急物资运送的状况将直接影响到灾区人民的生存和心理状态, 如何从灾区之外调配应急物资运到受灾点以最大限度的满足灾民需求成为目前研究的热点。从而建立具有“供应点—配送中心—受灾点”的包含有中转设施的两级应急物资配送网络, 如图 1 所示, 其中包含有 i 个供应点 I_1, I_2, \dots, I_i ; j 个配送中心 J_1, J_2, \dots, J_j ; k 个受灾点 K_1, K_2, \dots, K_k 。主要考虑灾区需求量较大的食品和生活日用品的配送, 多模式运输中从配送中心运应急物资到达配送中心时只考虑公路、铁路和航空这三种运输方式, 而从配送中心到各受灾点只采用公路运输的情形。如何选择合适的配送中心以及从供应点到配送中心选择合适的运输方式, 进而使得灾民心理感知的满意度最大, 而系统总成本达到最小。

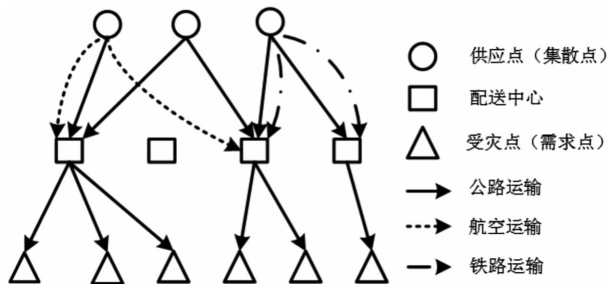


图 1 应急物流系统物资配送示意图

基本假设: ①各运输方式中允许两种物资进行混装, 且公路运输中车辆的型号相同; ②各受灾点对两种物资的需求量已知; ③不考虑配送中心的建造成本和物资在配送中心的装载时间; ④从供应点运出的所有物资可通过公路、铁路和公路这三种运输方式进行运输, 并且均为同时出发且两个不同的供应点到同一个配送中心的时间不存在相同的情况; ⑤铁路运输和航空运输有运输的最大的容量限制, 公路运输无限制。

1.2 变量及其符号说明

$a=1$ 为公路运输, $a=2$ 为铁路运输, $a=3$ 为航空运输; A 表示应急物资的运输所采用的各种运输方式的集合; Cap_2, Cap_3 表示铁路和航空运输的最大容量; t_{aij} 为通过运输方式 a 将物资从供应点 i 运到配送中心 j 的时间; d_{ij} 与 d_{jk} 为车辆由供应点到配送中心, 以及从配送中心到受灾点的最短距离; P_1 为单位车辆的容量限制的上限; P_2 为铁路运输的容量上限; P_3 为航空运输的容量上限; M

为应急物资种类的集合, $m=1$ 为食品, $m=2$ 为生活用品; Q_k^m 为受灾点 k 对物资 m 的需求量; B_i^m 为集散点 i 的物资 m 的供应量; C_1, C_2 为单位车辆的租用成本和单位距离的车辆行驶成本; C_3, C_4 为利用铁路和航空运输的固定使用成本; D_j 为配送中心 j 的容量上限; W^m 为单位物资 m 占的容量; δ^m 为受灾点对物资 m 的最低满足率; p_{aij}^m 为通过运输方式 a 将物资 m 从集散点 i 运到配送中心 j 的量; q_{jk}^m 为公路运输从配送中心 j 运到受灾点 k 的物资 m 的量; p_j^m 为配送中心 j 拥有的物资 m 的量; Veh_{ij} 为通过公路运输从集散点 i 到配送中心 j 的车辆数; Veh_{jk} 为配送中心 j 到受灾点 k 的车辆数; x_j 为若备选配送中心 j 被选中作为配送中心则为 1, 否则为 0; Y_{aij} 为若有物资从集散点 i 通过运输方式 a 运到配送中心 j 则为 1, 否则为 0; z_{jk}^m 为若有车从配送中心 j 出发将物资 m 运到受灾点 k 则为 1, 否则为 0。

1.3 衡量灾民心理的满意度函数的量化

灾难的发生破坏了灾民原有的生活环境, 打破了灾民原有的生理上和心理上的安全感, 从而产生一些消极情感。心理学家库尔特·勒温提出将一个人的行为用公式可表示为 $B=f(PE)$, 其中 B 表示行为, P 是指具体的一个人, E 是指全部的对心理场的解释环境, f 为函数关系, 可以解释为人的行为是随着人和环境这两个因素的变化而变化的。

鉴于在经过突发灾难后的灾民往往会表现出同样的心理现象即从众心理, 因此在后面考虑环境对于人的影响中将不同的灾民个体作为一类人来看待, 而不再考虑面对环境变化时人与人之间的差异性, 因此就变成只有环境因素会影响人的行为。马斯洛的需求层次理论中提出生理需要是推动人们行动的首要动力, 处于同一个灾难环境下的灾民, 生理需求尤为迫切, 而外界的救援(只考虑救援物资的到达时间及物资的量)是影响其生理需求的主要因素。外界救援相当于改变原有灾难环境的一种新的刺激, 而对于这一变化的差异性, 灾民将会产生不同的反应行为, 为减小灾民产生不理智的行为, 因而在进行物资的配送时需要考虑灾民对于分配措施的心理反应。处于受灾状况下的灾民, 心理处于极度恐慌状态, 并且对于外界信息也格外敏感, 会通过各种方式搜集信息, 灾民通过将自身所在受灾点的物资到达时间以及所获得的物资的量与其他灾区相比较的差异性越小, 心理获得的平衡感, 即对于物资到达时间的满意度以及物资量的满意度也就越大。

1.3.1 灾民感知时间的满意度函数

对于受灾点 k 的灾民而言均希望尽快得到救助, 考虑到公平的心理, 以及灾区灾民通过信息的收集而感知到自身接受救援的时间与其他受灾

点的差距, 并且希望差距越小越好, 利用差距的大小来反映灾民对时间的满意度, 可表示为灾民所感知的时间满意度函数为 $G1_k^m(T_{jk}^m) = \min_{m \in M, j \in J, k \in K} \{T_{jk}^m\} - T_{jk}^m$, 其中 T_{jk}^m 表示物资 m 到达受灾点 k 的时间。

1.3.2 灾民感知物资量的满意度函数

配送初期物资供不应求的情况下, 每个灾区的灾民都期望得到的物资尽可能的多, 处于受灾状态下的灾民对于外界信息格外敏感, 各个受灾点的灾民对于物资的满足率也格外关注, 各灾民通过比较自身受灾点的物资满足率与其他受灾点的物资满足率形成差异, 从而产生心理的不公平性。用来衡量心理落差水平即满意度的比较值为所有灾区的物资满意度最大值, 即 $\max_{m \in M, j \in J, k \in K} \{q_{jk}^m(T_{jk}^m)/Q_k^m\}$, 则受灾点灾民感知的物资量的满意度函数可表示为 $G2_k^m(T_{jk}^m) = \max_{m \in M, j \in J, k \in K} \{q_{jk}^m(T_{jk}^m)/Q_k^m\} - q_{jk}^m(T_{jk}^m)/Q_k^m$, Q_k^m 表示受灾点 k 的物资 m 需求量, $q_{jk}^m(T_{jk}^m)$ 表示 T_{jk}^m 时刻运到受灾点 k 的物资 m 的量。

1.3.3 灾民心理的满意度函数

救援物资的分配方案的制定主要影响了应急物资运到受灾点的时间以及应急物资的量, 因此将灾民对于时间和物资量的满意度进行综合考虑, 得到对于两者进行综合考虑的满意度函数可表示为 $Z_1 = f(G1_k^m(T_{jk}^m), G2_k^m(T_{jk}^m)) = G1_k^m(T_{jk}^m) \cdot G2_k^m(T_{jk}^m)$, 其中 f 为函数关系。

1.4 模型的构建

考虑到受灾点对所接受物资的满意度与物资运达时间及物资运达的数量均有关系, 因此将灾民对物资运达时间的满意度和该时刻内所到的应急物资量的满意度的乘积作为第一目标, 以成本为第二目标。

$$\max Z_1 = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} G1_k^m(T_{jk}^m) \cdot G2_k^m(T_{jk}^m); \quad (1)$$

目标函数式(1)表示所有受灾点对物资运达时间和物资量的感知满意度最大化, 其中, $G1_k^m(T_{jk}^m)$ 为灾民感知时间的满意度函数, $G2_k^m(T_{jk}^m)$ 为灾民感知物资量的满意度函数。

$$\min Z_2 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (C_1 + C_2 d_{ij}) \lceil \sum_{m \in M} p_{1ij}^m / p_1 \rceil + C_3 y_{2ij} + C_4 y_{3ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} ((C_1 + C_2 d_{jk}) \lceil \sum_{\tau \in T} \sum_{m \in M} q_{jk}^m / p_1 \rceil); \quad (2)$$

目标函数式(2)为运输过程中耗费系统总成本最小化, $C_3 y_{2ij}$ 和 $C_4 y_{3ij}$ 表示采用铁路和航空运输的成本, $\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (C_1 + C_2 d_{ij}) \lceil \sum_{m \in M} p_{1ij}^m / p_1 \rceil$ 和 $\sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} ((C_1 + C_2 d_{jk}) \lceil \sum_{\tau \in T} \sum_{m \in M} q_{jk}^m / p_1 \rceil)$ 表示上级和下级运输中公路运输的成本。

$$\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} p_{aj}^m = B_i^m, \forall m \in M, i \in I; \quad (3)$$

约束式(3)表示从集散点 i 运出的物资 m 的数量等于该集散点的物资的供应量。

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} \sum_{m \in M} p_{aj}^m \leq D_j, \forall j \in J; \quad (4)$$

约束式(4)表示运到配送中心 j 的物资总量在其容量限制内。

$$\sum_{j \in J} q_{jk}^m \leq Q_k^m, \forall m \in M, k \in K; \quad (5)$$

约束式(5)表示从配送中心运到受灾点 k 的物资 m 的数量不大于其对该种物资的需求量。

$$\sum_{i \in I} \sum_{a \in A} p_{aj}^m \geq \delta^m (\sum_{k \in K_j} Q_k^m), \forall j \in J, m \in M; \quad (6)$$

约束式(6)表示运到配送中心 j 的物资 m 的量不低于其所负责受灾点的最低需求量。

$$G1_k^m(T_{jk}^m) = T_{jk}^m - \min_{m \in M, j \in J, k \in K} \{T_{jk}^m\}, \forall k \in K, m \in M, j \in J; \quad (7)$$

约束式(7)表示灾民感知时间的满意度函数。

$$G2_k^m(T_{jk}^m) = \max_{m \in M, j \in J, k \in K} \{q_{jk}^m(T_{jk}^m)/Q_k^m\} - q_{jk}^m(T_{jk}^m)/Q_k^m, \forall k \in K, m \in M, j \in J; \quad (8)$$

约束式(8)表示灾民感知物资量的满意度函数。

$$T_j = \max_{\forall a \in A, i \in I} \{t_{aj} y_{aj}\}, \forall j \in J; \quad (9)$$

约束式(9)表示配送中心 j 处物资的运出时间, 即配送中心 j 的发车时间。

$$T_{jk}^m = (T_j + d_{jk} t_0) z_{jk}^m, \forall k \in K, m \in M, j \in J; \quad (10)$$

约束式(10)表示从配送中心 j 发车将物资的运到受灾点 k 的时间。

$$\sum_{j \in J} q_{jk}^m(T_{jk}^m) > 0, \forall m \in M, k \in K; \quad (11)$$

约束式(11)表示受灾点 k 有物资 m 送达。

$$q_{jk}^m(T_{jk}^m) = \sum_{a \in A} \sum_{i \in I} p_{aj}^m, \forall j \in J; \quad (12)$$

约束式(12)为从配送中心 j 运往所负责受灾点的物资 m 的量等于从集散点运往该配送中心的物资 m 的量。

$$y_{aj} \leq x_j, \forall a \in A, i \in I, j \in J; \quad (13)$$

约束式(13)表示只有当配送中心开放时, 才能有物资运到该配送中心。

$$z_{jk}^m \leq x_j, \forall k \in K, m \in M, j \in J; \quad (14)$$

约束式(14)表示只有当配送中心开放时, 才能从该配送中心运出物资。

$$Veh_{ij} = \lceil \sum_{m \in M} p_{aj}^m / p_1 \rceil, i \in I, j \in J; \quad (15)$$

约束式(15)表示从集散点 i 到配送中心 j 通过公路运输所需车辆数。

$$Veh_{jk} = \lceil \sum_{m \in M} q_{jk}^m / p_1 \rceil, j \in J, k \in K; \quad (16)$$

约束式(16)从配送中心 j 到其所负责受灾点所需车辆数。

$$x_j = \{0, 1\}, \forall j \in J; \quad (17)$$

约束式(17)表示配送中心开放为 1, 否则为 0。

$$y_{aj} = \begin{cases} 1, & \sum_{m \in M} p_{aj}^m > 0; \\ 0, & \text{反之。} \end{cases} \forall a \in A, i \in I, j \in J. \quad (18)$$

约束式(18)表示若从集散点 i 通过运输方式 a 运物资到配送中心则为 1, 否则为 0。

$$z_{jk}^m = \begin{cases} 1, & q_{jk}^m > 0, \\ 0, & \text{反之。} \end{cases} \quad \forall k \in K, m \in M, j \in J. \quad (19)$$

约束式(19)表示若从配送中心 j 发出的物资 m 运往受灾点 k 则为 1, 否则为 0。

2 模型的求解与分析

对于模型中多目标问题, 先将多目标转化为单目标形式。鉴于遗传算法能够直接对结构对象进行操作, 不存在求导和函数连续性的限定, 能够自动获取和指导优化的搜索空间, 并进行自适应地调整搜索方向的特点, 因此本文采用实数编码的遗传算法进行求解。

2.1 多目标问题的处理

对多目标问题利用 Min - Max 进行标准化处理, 目标函数一变为 $Z_1^* = (Z_1 - Z_1^{\min}) / (Z_1^{\max} - Z_1^{\min})$, 目标函数二变为 $Z_2^* = (Z_2 - Z_2^{\min}) / (Z_2^{\max} - Z_2^{\min})$, 然后再利用线性加权组合法, 结合各子目标的重要程度给予相应的权数, 再用各子目标分别乘以对应的权数后相加, 便将原多目标问题转化为单目标函数。

$$Z = \max(\omega_1 \times Z_1^* - \omega_2 \times Z_2^*). \quad (20)$$

式中: ω_1, ω_2 表示决策者对目标函数的选择倾向所占的比重。

2.2 染色体编码和解码及其种群初始化

子串 I: 采用实数编码, 长度为 $|M||J|$, 第 m 个分子串的第 j 个基因位表示配送中心 j 所分得的物资 m 的量。由于每个配送中心所负责的区域均有最低需求量的限制, 因此向各配送中心分配的物资的量需要首先满足其所负责区域的最低需求量, 使得式(6)成立。再将剩余的物资随机分配给各配送中心, 第 m 个分子串之和为 $\sum_{i \in I} B_i^m - \delta^m \sum_{k \in K_j} Q_k^m$, 最低需求量与染色体各分子串之和为 $\sum_{i \in I} B_i^m$, 保证式(3)成立。

子串 II: 用二进制编码, 长度为 $|J|$, 其中第 j 个基因位为 1 表示配送中心 j 选择开放, 否则为 0;

解码获得各个受灾点的物资的分配量、配送中心的选择以及各供应点向配送中心分配物资的情况。

Step 1: 由子串 II 随机选择开放的配送中心 OJ , 按照临近分配原则确定已开放的配送中心 j 所需负责的受灾点 K_{Oj} ;

Step 2: 用 D_j^m 表示配送中心 j 应分得的应急物资 m 的量, 其首先满足各配送中心所负责的各受灾点的最低需求量, p_j^m 表示配送中心 j 的物资 m 的量, q_k^m 为分配给受灾点 k 的物资 m 的量, 令 $D_j^m =$

$$\delta^m \sum_{k \in K_{Oj}} Q_k^m, p_j^m = 0, q_k^m = 0, T_j = 0, j = 1, m = 1;$$

Step 3: 根据子串 I 确定开放配送中心 j 分得的物资 m 的量, $D_j^m = D_j^m + \text{sub1}(j + (m - 1) \cdot |J|)$, $\forall j \in OJ$;

Step 4: 选择为开放的配送中心 j 提供应急物资 m 的集散点和运输方式的最优组合为 $(i^*, a^*) = \arg \min \{t_{aj} | B_j^m > 0 \cap \lfloor \text{Cap}_{aj} / W^m \rfloor > 0\}$;

Step 5: $p_{a^*i^*j}^m = \min \{B_{i^*}^m, \lfloor D_j^m / W^m \rfloor, \lfloor \text{Cap}_{a^*i^*j} / W^m \rfloor\}$ 为采用运输方式 a^* 从集散点 i^* 运到配送中心 j 的应急物资 m 的量, 更新集散点处剩余应急物资 m 的量为 $B_{i^*}^m = B_{i^*}^m - p_{a^*i^*j}^m$; 如果 $a^* \in \{2, 3\}$, 则更新铁路和航空运输的剩余可容纳量为 $\text{Cap}_{a^*i^*j} = \text{Cap}_{a^*i^*j} - p_{a^*i^*j}^m - p_{a^*i^*j}^m W^m$; 更新配送中心还需配送的物资的量 $D_j = D_j - p_{a^*i^*j}^m W^m$;

Step 6: 确定已开放配送中心 j 的物资 m 的拥有量 $p_j^m = \sum_{i \in I} \sum_{a \in A} p_{aj}^m$;

Step 7: 如果 $m < |M|$, 则令 $m = m + 1$, 转到步骤 3, 否则执行 Step 8;

Step 8: 如果 $a = 1$, 则确定从集散点 i 到配送中心 j 通过公路运输所需车辆数 $\text{Veh}_{ij} = \lceil \sum_{m \in M} p_{aj}^m / p_1 \rceil$

Step 9: 如果 $\sum_{m \in M} p_{aj}^m > 0$, 则 $y_{aj} = 1$, 配送中心的物资开始运往受灾点的时间为 $T_j = \max_{a \in A, i \in I} \{t_{aj} y_{aj}\}$;

Step 10: 对分配到配送中心 j 的物资按比例分配, $q_k^m = \lfloor p_j^m \cdot Q_k^m / \sum_{k \in K_{Oj}} Q_k^m \rfloor$;

Step 11: 配送中心处剩余未分配的物资 m 的量为 $p_j^m - \sum_{k \in K_{Oj}} q_k^m$, 并按满意度大小进行再分配, 分配给满意度最小的灾点, 即 $k^* = \arg \min \{q_k^m / Q_k^m | k \in K_{Oj}\}$, 为该受灾点分配 1 个单位的物资 m , 即 $q_{k^*}^m = q_{k^*}^m + 1$, 重复步骤 11, 直至剩余物资分配完毕;

Step 12: 若 $j = |J|$, 则结束, 否则更新 $j = j + 1$, 转步骤 3, 否则执行 Step 13。

Step 13: 确定从配送中心 j 到其所负责受灾点所需车辆数 $\text{Veh}_{jk} = \lceil \sum_{m \in M} q_{jk}^m / p_1 \rceil, k \in K_{Oj}, q_{jk}^m = q_k^m$ 。

Step 14: 根据各开放配送中心的发车时间, 确定物资到达受灾点的时间 $T_{jk}^m, \forall j \in OJ, \forall m \in M$ 。

对不满足约束条件的情况直接在适应度函数上加一无穷小数进行惩罚。

根据染色体编码规则随机生成种群规模为 pop-size 的初始种群。

2.3 适应度值的计算

通过对染色体解码后, 计算每个染色体对应的经过转化后的目标函数值来表示染色体适应度值。根据 T_j 求出物资到达灾区的时间 T_{jk}^m , 利用目标函数值表示染色体的适应度值。

2.4 遗传操作

(1) 选择: 从旧种群中以一定概率选择个体

到新的种群中,个体被选中的概率与适应度值有关,个体适应度值越大,则被选中的概率越大。

(2)交叉:由于染色体中的子串 I 为实数编码,且子串 I 中第 m 个分子串之和为定值,为保证交叉变异后的分子串基因和不变,则采用算术交叉法,通过两个个体的线性组合产生新的个体;子串 II 的取值为 0-1 随机变量,因此采用单点交叉算子进行交叉操作。

(3)变异:子串 I 采用边界变异,即随机选取一个基因位点取可行范围内的最大值或最小值,并将其他基因位点的值进行按比例缩减,同时为保证符合实际问题将每个基因位点进行向下取整,并将和值与定值之差随机加到某个基因位点上,从而保证了分子串中基因位点之和为定值;子串 II 采用基因位变异,随机选择需要变异的基因,若所选基因的编码为 1,则通过变异操作变为 0,反之,变为 1。

2.5 终止规则

遗传算法的运算迭代次数达到 MAXGEN 后,则停止运算,输出结果。

3 算例分析

以汶川 8 级地震中的数据作为算例,通过 Google Map 中获得道路数据信息,集散点选择为军用机场、成都双流国际机场以及火车北站,以茂县、汶川、都江堰、德阳等九处作为候选应急配送中心,通过选定的配送中心向各受灾点运输物资时,按照到配送中心距离邻近分配原则,确定各应急配送中心所需负责配送的受灾点。各供应点的物质拥有量,及各受灾点的物资需求量情况如表 2、表 3 所示。各受灾点对两种物资的最低满足率分别为 $\delta^1 = 0.4$, $\delta^2 = 0.3$, 两种物资的每份的重量为 $W^1 = 0.82 \text{ kg/份}$, $W^2 = 5 \text{ kg/份}$, 将所有起始救援时刻当作 0 时来看待。

算法参数设置 popsize = 200, MAXGEN = 400, pc = 0.8, pm = 0.05, 在 MATLAB R2014a 上进行编程,目标权重取值为 $\omega_1 = 0.7$, $\omega_2 = 0.3$ 。选择不同数量的配送中心所得到的目标函数值如表 4 所示。

表 1 候选应急配送中心及其可容纳量

候选配送中心	茂县	汶川	都江堰	绵阳	江油	剑阁	广元
可容纳量/t	800	500	400	650	600	600	700

表 2 供应点应急物资供应量

物资供应点	食品/份	日用品/份
军用机场	65000	6600
成都双流国际机场	62000	6400
火车北站	76000	7200

表 3 受灾点应急物资需求量

受灾点	食品/份	日用品/份
盐亭县	150500	15120
永昌镇	45500	4620
梓潼县	164920	16510
理县	324520	32410
卧龙镇	225400	22540
汶川	35700	3570
茂县	227890	23240
黑水县	65240	6510
太平乡	33950	3500
广元市	135940	13530
朝天区	86520	8470
苍溪县	163720	16500

表 4 选择不同数量的配送中心的最优方案比较

配送中心 的数量	所选最佳的 配送中心	第一个目标 函数值	第二个目标 函数值
3	茂县、江油、剑阁	58.5680	208238.6
4	茂县、江油、剑阁、广元	70.0776	213461.8
5	茂县、都江堰、绵阳、江油、广元	51.0708	205900.8
6	茂县、汶川、都江堰、绵阳、剑阁、广元	26.9926	254220.8
7	茂县、汶川、都江堰、绵阳、江油、剑阁、广元	29.1885	248511.8

选择一个或两个配送中心时,物资配送的量大于配送中心的最大容量,因此不再考虑选择一个或两个配送中心的情况。通过比较选择不同数量的配送中心的最优方案,选择四个配送中心时所得到的第一目标函数值最大,选择四个配送中心相比于与选择三个配送中心的最优方案而言,第一个目标函数值增加了 19.65%,而第二个目标函数值增加了 2.51%;选择四个配送中心相比于与选择五个配送中心的最优方案而言,第一个目标函数值增加了 37.22%,而第二个目标函数值增加了 3.67%;选择四个配送中心相比于与选择六个配送中心的最优方案而言,第一个目标函数值增加了 159.62%,而第二个目标函数值减少了 16.03%;选择四个配送中心相比于与选择七个配送中心的最优方案而言,第一个目标函数值增加了 140.09%,而第二个目标函数值减少了 14.1%。综上可知,选择茂县、江油、剑阁、广元这四个点作为应急物资配送中心可以获得最优效果。其最优配送方案如表 5~表 8 所示。

表 5 配送中心的物资分配量

配送中心	食品/份	日用品/份
茂县	671894	90087
江油	216857	22523
剑阁	163720	16500
广元	368529	12290

表 6 供应点到配送中心的物资和车辆分配情况及发车时间

供应点	配送中心	供应点 发车时间/h	发送应急 物资的量/份
成都机场	茂县	0	食品: 207313; 日用品: 39687
火车北站		0	食品: 464577; 日用品: 50400
军用机场	江油	0	日用品: 17410
成都机场		0	食品: 149434; 日用品: 5113
火车北站		0	食品: 67423;
军用机场	剑阁	0	食品: 86471; 日用品: 16500
国际机场		0	食品: 77249;
军用机场	广元	0	食品: 368529 日用品: 12290

表 7 物资供应点发往各配送中心的车辆数(单位: 辆)

供应点	配送中心			
	茂县	江油	剑阁	广元
军用机场	0	1	6	9
成都机场	2	0	8	4
火车北站	26	0	4	0

表 8 配送中心到受灾点的物资和车辆分配情况及发车时间

配送中心	配送中心 发车时间/h	受灾点	发车数 量/辆	发送应急 物资的量/份
茂县	5.46	理县	17	食品: 308145 日用品: 31816
		卧龙镇	12	食品: 214027 日用品: 22127
		汶川	2	食品: 33899 日用品: 3505
		茂县	3	食品: 21639 日用品: 22814
		黑水	4	食品: 61948 日用品: 6390
		太平乡	2	食品: 32236 日用品: 3435
江油	5.25	盐亭	5	食品: 90428 日用品: 9395
		永昌镇	2	食品: 27338 日用品: 2870
		梓潼县	6	食品: 99091 日用品: 10258
剑阁	5.48	苍溪县	10	食品: 163720 日用品: 16500
广元	5.78	广元市	12	食品: 225200 日用品: 7559
		朝天区	8	食品: 143329 日用品: 4731

4 结论

结合含有中转应急设施的两级应急配送网络的特征,建立以灾民心理满意度最大化,系统总成本最小化为目标的考虑灾民心理的应急设施选址和应急物资配送及调度问题的模型。通过比较选择不同数量的应急配送中心的最优方案,得出配送中心最适合选择的数量以及应急物资配送和车辆调度的最优方案。最优方案的选择很好的考虑到灾区人民的心理状态,使得配送方案不仅能满足灾民的生理需求,也更能很好的满足灾民的心理需求。

文中仅考虑了在需求确定下的选址配送问题,而在实际的受灾状况下的物资的需求量往往是不确定的,因此在未来的研究中应当将需求量进行模糊化处理。

参考文献:

- [1] 王海军,杜丽敬,胡蝶,等. 不确定条件下的应急物资配送选址-路径问题[J]. 系统管理学报, 2015, 24(6): 828-834.
- [2] CHANG K, ZHOU H, CHEN G, et al. Multiobjective Location Routing Problem considering Uncertain Data after Disasters[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017, 2017(3): 1-7.
- [3] 宋英华,王莉芳,杜丽敬,等. 模糊条件下应急物资配送选址-多模式运输问题[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(7): 169-174.
- [4] WANG H, DU L, MA S. Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in post-earthquake[J]. Transportation Research Part E, 2014, 69(3): 160-179.
- [5] 郑斌,马祖军,李双琳. 基于双层规划的震后初期应急物流系统优化[J]. 系统工程学报, 2014, 29(1): 113-125.
- [6] 李双琳,马祖军,郑斌,等. 震后初期应急物资配送的模糊多目标选址-多式联运问题[J]. 中国管理科学, 2013, 21(2): 144-151.
- [7] 代颖,马祖军,朱道立,等. 震后应急物资配送的模糊动态定位-路径问题[J]. 管理科学学报, 2012, 15(7): 60-70.
- [8] 张磊. 面向地震灾情时序变化的应急救援物资需求动态预测研究[J]. 灾害学, 2018, 33(3): 161-164.
- [9] 张永领,马娇. 混沌粒子群算法在应急资源调度中的应用[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 185-189.
- [10] 王旭坪,马超,阮俊虎. 考虑公众心理风险感知的应急物资优化调度[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(7): 1735-1742.
- [11] 崔璇,丁一,林国龙. 等待心理代价影响下的灾区伤员疏散决策模型研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(19): 309-314.
- [12] Sheu J. Post-disaster relief-service centralized logistics distribution with survivor resilience maximization[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2014, 68(68): 288-314.
- [13] 杨恩缘,李进,严翌娴,等. 震后多品种应急物资多级配送中的选址-路径模型[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 200-205.
- [14] 钱刚毅,余廉,张凯. 重大公共安全事件的预警及应急管理: 现实挑战与发展建议[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(12): 25-28.

Study on Location and Distribution of Emergency Facilities Considering the Psychology of Victims

SONG Yinghua^{1,2,3}, GE Yan^{1,2,3}, DU Lijing^{1,2,3} and LV Wei^{1,2,3}

(1. School of Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Research Center for Chain's Emergency Management, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;
3. Hubei Collaborative Innovation Center for Early Warning and Emergency Response Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of emergency rescue, combined with the characteristics of the demand for emergency materials after the earthquake, and the characteristics of the two-level deployment of emergency materials including transit facilities. We propose a satisfaction function to measure the psychology of the victims. Based on the satisfaction of the victims and the minimum total system cost, combined with the location problem of the emergency distribution center in the two-level distribution network, the emergency material distribution plan optimization model considering multi-material, multi-level distribution and multi-mode transportation is established. The model is solved by a real-coded genetic algorithm, and the data in the Wenchuan earthquake is taken as an example to verify the validity and feasibility of the model and algorithm.

Key words: genetic algorithm; satisfaction; multi-objective optimization; emergency supplies allocation; emergency facility location

(上接第 156 页)

Frontiers and Prospects of Regional Comprehensive Disaster Prevention and Mitigation: Review and Reflection on the Three Domestic and International Conferences on Disaster Reduction in 2018

GUO Jun^{1,2}, KONG Feng^{1,2}, WANG Pin³ and LU Lili⁴

(1. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Center for Crisis Management Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Institute of Remote Sensing and Earth Sciences, College of Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China;
4. Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the brief introduction of the three domestic and International Conference on disaster reduction in 2018, we expound coping with the complexity of the climate change diversity risk, understanding of the disaster chain, disaster group and disaster encounter, mitigating regional systemic risk, focusing on the spatial and temporal ripples and amplification effects of catastrophic disasters, the prevention of integrated disaster risk in the Belt and Road, the synergistic approach to the benefit and the avoidance of disaster and ecological civilization construction and other frontiers topics in the field of disaster reduction. Finally, six aspects of comprehensive disaster prevention, disaster reduction and disaster relief are discussed and discussed. Disaster risk research will pay more attention to disaster risk complexity of multi-scale, multi factors and processes. The concept of disaster reduction will be more biased towards the approach to the benefit and the avoidance of disaster and the construction of ecological civilization. Disaster management will pay more attention to the system and mechanism of comprehensive disaster prevention, reduction and relief. Disaster reduction business practice will pay more attention to the effectiveness and benefits of disaster and risk prevention. The international cooperation in disaster risk management pays more attention to the comprehensive risk management of production chain, supply chain, Internet of things and ecosystem. Urban disaster reduction will pay more attention to resilience cities and coordinated sustainable development, and the level of rural disaster prevention needs to be improved.

Key words: integrated disaster prevention; reduction and relief; Emergency Management Department of PRC; climate change diversity; mitigating systemic risk; the Belt and Road Initiative; tenacity city construction