

基于离散粒子群算法的应急物资选址与调度*

许可¹, 宫华¹, 刘芳¹, 王世海²

(1. 沈阳理工大学理学院, 沈阳 110159; 2. 辽宁省环境监控中心, 沈阳 110161)

摘要:【目的】为了提高应急管理水平和降低突发事件的不良影响,研究了应急物资储备库的合理布局与物资调度问题。【方法】针对应急物资储备库与物资调度问题的特点,建立了考虑物资供应约束以及转运平衡约束的多目标优化模型,目标函数为储备库建设成本、维护成本与物资运输成本之和最小,整体风险程度和整体灾害处置难度最小。【结果】设计了带惯性权重的离散二进制粒子群算法对模型进行了求解。【结论】仿真实例表明了模型以及算法的有效性与收敛性。

关键词:应急物资储备库选址;应急物资调度;离散二进制粒子群算法

中图分类号:O221

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2018)06-0015-07

自然灾害等突发事件发生后,及时充足的物资供应是减少伤亡、降低损失、维护受灾地区稳定的必需手段。但据相关资料统计,中国应急物资储备存在布局不合理、装备物资种类少、数量短缺、响应时间长等问题^[1]。因此,如何合理选择物资储备库的建设地并确定资源调度方案是应急管理研究的重点问题。

近些年来,国内外学者对应急物资选址与调度问题进行了一系列研究。Sheu^[2]以需求满足率最大和成本最小为目标建立了应急物资储备库模型,并设计了动态规划算法求解。Yi和Ozdamar^[3]以服务延迟时间最小为目标建立了应急物资的选址配送模型,并提出了基于网络流的车辆路线求解算法。Yang等人^[4]以成本和最远距离最小为目标建立了消防站的双目标选址模型,并设计遗传算法求解了模型。Rawls和Turnquist^[5]建立了应急物资储备库选址及救援物资种类决策的两阶段混合整数规划模型。Ai等人^[6]建立了海上救援应急物资储备库与应急救援船舶的资源配置模型,并用遗传算法求解了该模型。王文峰等人^[7]基于最大覆盖模型,建立了多级覆盖质量要求下的设施选址模型,并设计了启发式算法进行求解。曾敏刚等人^[8]以总成本最小为目标建立了应急物资的选址路径优化模型,并对选址与路径两阶段分别做启发式算法来求解。周骞等人^[9]以风险权重、灾害处置难度、建设成本最小为目标,建立了应急物流储备库选址的多目标优化模型,并设计粒子群算法进行了求解。俞武扬^[10]在考虑突发事件发生造成应急设施服务能力受损的情况下,以最大加权服务质量期望值为目标建立了选址模型并设计了基于模拟退火的优化算法。张敏和张玲^[11]研究了基于失效情形的应急设施选址评估指标体系并运用数据包络法对应急设施选址的合理性进行了评价。张国富等人^[12]构建了面向多储备点、多发放点、多种应急物资调度模型,设计了基于二维NSGA-II与蚁群优化的混合智能搜索算法求解。

可以看出,对于应急物资储备库的选址与资源配置问题,多数学者是从单一角度将两个问题分开或看成两个阶段研究。在对优化模型求解时,常采用动态规划算法、启发式算法或遗传算法等智能优化算法。动态规划算法虽然能够求解出问题的最优解,但往往存在着耗时长、效率低的缺点;启发式算法的精确程度往往较差;标准的遗传算法或粒子群算法往往存在容易陷于局部最优或收敛速度较慢的缺点^[13]。因此,本文针对应急物资储备库选址与资源调度问题,建立混合整数规划模型,并设计改进的离散粒子群算法对问题进行求解。

1 应急物资储备库选址与调度模型

根据目标地区灾害发生的相关特点,将目标地区按行政区域划分为三级隶属结构,建立三级应急物流储备

* 收稿日期:2017-04-18 修回日期:2018-05-15 网络出版时间:2018-10-25 10:41

资助项目:辽宁省教育厅科学技术研究项目(No. LG201615)

第一作者简介:许可,女,讲师,研究方向为优化理论与算法,E-mail:minkeer36@163.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20181025.1041.006.html>

库网络:一级物资储备库、二级物资储备库和受灾点物资储备库。设目标地区内有一级物资储备库 l 个,受灾点 m 个。现在要从 n 个二级物资储备库备选地点中选择 q 个地点建设二级物资储备库,并为每个受灾点指定一个二级物资储备库作为物资供应点,在满足物资供应约束条件下使得运输成本、建设成本、维护成本、风险程度、灾害处置困难程度都尽可能的小,见图 1。

建模之前作如下假设:1) 各节点(包括一级物资储备库、二级物资储备库备选点、受灾点)的地理坐标已知,用节点之间的欧氏距离来代表运输距离;2) 每个二级物资储备库备选点的建设费用已知;3) 各节点之间的单位运输成本已知;4) 一级物资储备库的物资调拨量已知;5) 灾害发生时,每个受灾点的物资需求量已知。

文中涉及到的符号作如下说明。 l 表示一级物资储备库数量; n 表示二级物资储备库备选点数量; m 表示受灾点个数; q 表示拟建设的二级物资储备库数量; $S_k, k=1, 2, \dots, l$ 表示一级物资储备库 k 的物资调运量; $V_j, j=1, 2, \dots, n$ 表示二级物资储备库备选点 j 的建设成本; $T_j, j=1, 2, \dots, n$ 表示二级物资储备库 j 的维护成本; $S_i, i=1, 2, \dots, m$ 表示受灾点 i 的物资需求量; $c_{kj}, k=1, 2, \dots, l, j=1, 2, \dots, n$ 表示从一级物资储备库 k 到二级物资储备库备选点 j 的单位运输成本; $c_{ij}, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ 表示从二级物资储备库备选点 j 到受灾点 i 的单位运输成本; $p_{kj}, k=1, 2, \dots, l, j=1, 2, \dots, n$ 表示从一级物资储备库 k 到二级物资储备库备选点 j 的物资运输量; $p_{ij}, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ 表示从二级物资储备库备选点 j 到受灾点 i 的物资运输量; $w_i, i=1, 2, \dots, m$ 表示受灾点 i 所在地区的风险程度,在 $[0, 1]$ 内取值; $u_i, i=1, 2, \dots, m$ 表示受灾地区的灾害处置难度,在 $[0, 1]$ 内取值; $d_{kj}, k=1, 2, \dots, l, j=1, 2, \dots, n$ 表示从一级物资储备库 k 与二级物资储备库备选点 j 之间的距离; $d_{ij}, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$ 表示从二级物资储备库备选点 j 与受灾点 i 之间的距离。

决策变量为: O_j 表示二级物资储备库 j 的库存量; $x_j = \begin{cases} 1, & \text{在候选点 } j \text{ 建设二级物资储备库} \\ 0, & \text{不在候选点 } j \text{ 建设二级物资储备库} \end{cases}, j=1, 2, \dots, n;$
 $y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{受灾点 } i \text{ 的物资由二级物资储备库 } j \text{ 提供} \\ 0, & \text{受灾点 } i \text{ 的物资不由二级物资储备库 } j \text{ 提供} \end{cases}, \forall i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n。$

物资储备库选址与资源配置模型可以描述为:

$$\min Z_1 = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^n c_{kj} d_{kj} p_{kj} x_j + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} d_{ij} p_{ij} x_j + \sum_{j=1}^n x_j V_j + \sum_{j=1}^n x_j T_j, \quad (1)$$

$$\min Z_2 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_i d_{ij} y_{ij}, \quad (2)$$

$$\min Z_3 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m u_i d_{ij} y_{ij}, \quad (3)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_j = q, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m y_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$y_{ij} \leq x_j, j=1, 2, \dots, n, i=1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n p_{kj} = S_k, i=1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^l p_{kj} = O_j, j=1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

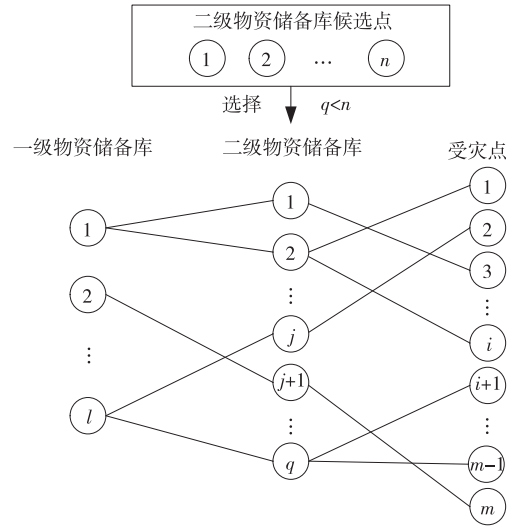


图 1 应急物资储备库选址与调度模型

Fig. 1 Schematic of emergency resources storage facilities location and scheduling model

$$\sum_{i=1}^m p_{ij} y_{ij} = O_j, j=1,2,\dots,n, \quad (9)$$

$$x_j \in \{0,1\}, y_{ij} \in \{0,1\}, j=1,2,\dots,n, i=1,2,\dots,m \quad (10)$$

$$p_{ij}, p_{kj}, O_j, W_j \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,l \quad (11)$$

(1)~(3)式为目标函数,(1)式表示确定二级物资储备库的建设地点,并指派各自服务的受灾点,使得运输成本与二级物资储备库的建设维护成本最小;(2)式表示二级物资储备库到各受灾点的风险加权距离最小;(3)式表示二级储备库到各点的灾害处置能力加权距离和最小。(4)~(11)式为模型的约束条件。(4)式表示建设的二级物资储备库总数与给定数目一致。(5)式表示给每个受灾点安排而且只安排一个二级物资储备库供应物资,即该受灾点的所有救灾物资都由该二级物资储备库供应。(6)式确保受灾点不会由没有被选中的备选点供应物资,即只有在备选点 j 建立二级物资储备库,该点才有可能为受灾点供应物资。(7)~(9)式是转运平衡约束条件,(7)式表示从一级物资储备库 k 运出的物资总量不能超过该储备库的存储量;(8)式表示从各一级物资储备库运往第 j 个二级物资储备库的物资总量等于该储备库的库存量,也就是说二级物资储备库的物资都来自于一级物资储备库;(9)式是受灾点物资供应量约束,一般来说运送到受灾点的物资不应该超过二级物资储备库的库存量,此处将问题简化,令从第 j 个二级物资储备库运往各个受灾点的物资总量与该二级物资储备的库存量相等。(10)式是决策变量 x_j 和 y_{ij} 的取值约束,它们只能取值 0 或者 1。(11)式为变量取值的非负性约束。

2 粒子群算法设计

上面建立的应急物资储备库选址与调度模型属于 NP 难问题,精确求解的计算量会随问题规模的增加呈指数方式增长。因此,本文设计粒子群算法求解该问题。粒子群算法(Particle swarm optimization, PSO)是由 Kennedy 与 Eberhart^[14]提出的一种基于种群的智能优化算法,它通过模拟鸟群觅食行为来搜索最优解。问题解空间中的每一个可行解称为一个粒子,粒子通过计算自身的适应度函数值与调整飞行方向,不断地向自身经历过的最优位置(p_{best})和群体中最优粒子位置(g_{best})学习,从而达到接近食物的位置即问题最优解的目的。

2.1 编码策略及初始化种群

由于问题的决策变量大都属于 0-1 变量,因此采用改进的离散二进制粒子群算法(BPSO),对应的编码方式也采用二进制编码。每个粒子表示问题的一个可行解,将粒子设计成 $m \times n$ 维的 0-1 矩阵 $\mathbf{X}=(x_{ij})_{m \times n}$, $x_{ij}=1$ 表示选中第 j 个备选点作为二级应急物资储备库,此时第 i 个需求点的物资由二级物资储备库 j 配送,显然 $\sum_{j=1}^n x_{ij}=1, i=1,2,\dots,m$,即每个受灾点的物资只由一个二级物资储备库配送。粒子的速度也用 $m \times n$ 维的 0-1 矩阵 $\mathbf{V}=(v_{ij})_{m \times n}$ 来表示,对应分量表示粒子对应位置的变化。

算法按照上述规则,基于混沌理论初始化粒子,这样既保持了初始化的随机性,也增强了粒子的混沌序列性,具体步骤如下:

步骤 1,随机产生 1 至 n 的 q 个随机数作为随机选择的 q 个二级应急物资储备库;

步骤 2,在步骤 1 随机产生的 q 个数中随机循环产生 n 个值 A_j ,使矩阵 \mathbf{X} 的第 i 行第 A_j 列为 1,其余元素全为 0;

步骤 3,重复步骤 1、步骤 2,直到种群中所有粒子都被赋值。

2.2 适应度函数设计

上面建立的模型是一个多目标优化模型,将费用最小、风险程度最小以及整体处置难度最小这 3 个目标进行归一化处理,可得适应度函数 $\min Z=r_1 \frac{Z_1-Z_1^*}{Z_1^*}+r_2 \frac{Z_2-Z_2^*}{Z_2^*}+r_3 \frac{Z_3-Z_3^*}{Z_3^*}$,其中, r_1, r_2, r_3 分别是上述 3 个目标函数的权重,对于应急物流来说,物资运输的及时性和可靠性往往比成本更为重要,因此,这里取 $(r_1, r_2, r_3)=(0.2, 0.4, 0.4)$ 。 Z_1^*, Z_2^*, Z_3^* 为 3 个目标函数的最优值(理想点)。

2.3 基于离散二进制的带惯性权重的粒子与速度更新规则

在产生初始种群后,计算每个粒子的适应度函数值,在迭代过程中找到每个粒子自身经历的局部极值 p_{best} 以及当前种群中的全局极值 g_{best} 。通过跟踪这两个极值,采用带有惯性权重的更新公式对粒子进行速度与位置更新:

$$v_{k,ij}^{t+1} = \omega v_{k,ij}^t + c_1(p_{k,ij}^t - x_{k,ij}^t) + c_2(p_{g,ij}^t - x_{k,ij}^t), \tag{12}$$

$$x_{k,ij}^{t+1} = x_{k,ij}^t + v_{k,ij}^{t+1}. \tag{13}$$

式中 $V_k^t = (v_{k,ij}^t)_{m \times n}$ 为第 k 个粒子的当前速度; $X_k^t = (x_{k,ij}^t)_{m \times n}$ 为第 k 个粒子的当前位置; $P_k = (p_{k,ij}^t)_{m \times n}$ 为个体极值 p_{best} ; $P^t = p_{g,ij}^t$ 为全局极值 g_{best} ; c_1 和 c_2 为粒子的加速常数,表示粒子对自身和种群的依赖程度。其中涉及到的运算定义如下。

1) 粒子位置和位置求差。假设有粒子 $X_1 = (x_{1,ij}), X_2 = (x_{2,ij})$, 粒子对应位置的减法运算得到速度: $V = X_2 - X_1$, 其中 $v_{ij} = \begin{cases} x_{1,ij}, & x_{1,ij} \neq x_{2,ij} \\ 0, & x_{1,ij} = x_{2,ij} \end{cases}$ 。

2) 粒子位置和速度求和。在(13)式中,粒子的下一个位置需要由当前位置与速度的求和获得,运算规则为 $x_{k,ij}^{t+1} = \begin{cases} x_{k,ij}^t, & v_{k,ij}^{t+1} = 0 \\ v_{k,ij}^{t+1}, & \text{否则} \end{cases}, \forall j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, n$ 。

也就是说如果 $v_{k,ij}^{t+1}$ 的第 i 行元素全为 0,说明粒子位置不发生变换,此时 $x_{k,ij}^{t+1}$ 的第 i 行与 $x_{k,ij}^t$ 相同;如果 $v_{k,ij}^{t+1}$ 的第 i 行元素不全为 0,此时粒子位置发生变化, $x_{k,ij}^{t+1}$ 的第 i 行元素与 $v_{k,ij}^{t+1}$ 相同。

3) 速度的数乘运算。在(12)式中,为获得下一个速度,需要将速度与惯性权重或者加速常数相乘。假如速度的倍乘为: $V_2 = cV_1$, V_2 的元素 $v_{2,ij}$ 的值定义为 $v_{2,ij} = \begin{cases} v_{1,ij}, & \text{rand} \leq c \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$, 其中 rand 为 $[0, \max c]$ 之间均匀分布的随机数。

4) 速度与速度求和。在(12)式中,为获得下一个速度,需要进行速度之间的求和,设有速度 V_1 和 V_2 , 它们的和 $V_3 = V_1 + V_2$, V_3 的元素 $v_{3,ij}$ 的值定义为 $v_{3,ij} = \begin{cases} v_{1,ij}, & v_{1,ij} = 0, v_{2,ij} = 0, \forall j = 1, 2, \dots, n \\ v_{1,ij}, & v_{1,ij} \text{ 不全为 } 0 \text{ 或 } v_{2,ij} \text{ 不全为 } 0 \text{ 且 } \text{rand} \leq \text{const} \\ v_{2,ij}, & \text{否则} \end{cases}$, 其中 rand 为 $[0, 1]$ 之间均匀分布的随机数; const 为常数,表征 $v_{3,ij}$ 依赖 $v_{2,ij}$ 或者 $v_{1,ij}$ 的程度,一般取 $\text{const} = 0.5$ 。

为了进一步调整算法的全局搜索能力与局部搜索能力,引入惯性权重 ω ,表示粒子更新过程对上一代的依赖程度,在算法初始阶段,给 ω 赋予较大正值,保证各粒子能以较快速度在全局范围内搜索到较好区域;随着迭代的进行,使 ω 逐渐线性减小,保证在搜索后期粒子能够在极值点附近做精细搜索。因此,采用如下线性变换公式确定惯性权重 $\omega = \frac{\omega_{\max} - (t \times (\omega_{\max} - \omega_{\min}))}{D_{\max}}$, 其中 D_{\max} 表示最大迭代次数, t 表示当前迭代次数。

3 实例分析

本节以某省为例,对上述模型和算法进行检验。该省有 14 个地级市,将省会城市 1 作为一级物资储备库,其余 13 个城市作为应急物资储备库候选点以及物资需求点,要在其中选择 4 个建设二级物资储备库,为其余 9 个点配送物资(如果在该城市建有物资储备库,则应急物资由本地储备库供应),相关数据见表 2、表 3。

表中所列的坐标为该地区的几何中心,在实际运算中将其视为平面坐标,用来计算各点间距离。另外取人均物资需求量为 1 单位,根据人口数量就可得需求点的物资需求量。

根据前面建立的模型,需要知道各地区的风险程度、灾害处置难度、维护

表 2 各地区地理坐标、人口数量及 GDP

Tab. 2 The geographical coordinates, population size and GDP of each region

| 编号 | 中心位置 | | 人口数量/万 | GDP/亿元 |
|----|--------|-------|--------|---------|
| | 东经 | 北纬 | | |
| 1 | 123.35 | 41.48 | 730.4 | 7 272.3 |
| 2 | 121.36 | 38.55 | 594.3 | 7 731.6 |
| 3 | 123.00 | 41.07 | 348.2 | 2 337.0 |
| 4 | 123.54 | 41.51 | 217.4 | 1 216.5 |
| 5 | 123.46 | 41.18 | 152.0 | 1 164.7 |
| 6 | 124.22 | 40.08 | 239.5 | 984.9 |
| 7 | 121.09 | 41.07 | 305.3 | 1 327.3 |
| 8 | 122.13 | 40.39 | 233.3 | 1 513.8 |
| 9 | 121.39 | 42.01 | 191.0 | 525.5 |
| 10 | 123.12 | 41.16 | 179.9 | 1 028.6 |
| 11 | 122.03 | 41.07 | 129.2 | 1 256.5 |
| 12 | 123.51 | 42.18 | 302.0 | 740.9 |
| 13 | 120.27 | 41.34 | 340.6 | 854.7 |
| 14 | 120.51 | 40.45 | 280.7 | 720.2 |

成本及建设成本等相关因素。利用该地区发生自然灾害等突发事件的历史频率乘以地区人口数并归一化来表示该地区风险程度;利用该地区一定时间段内突发事件的数量与 GDP 之比并归一化来表示该地区灾害处置难度。储备库的维护费用根据备选点与一级物资储备库之间的距离以及地区物流状况得出。另外单位运输成本统一取为每千米 20 元。

表 3 影响参数表

Tab.3 Influence parameters

| 编号 | 风险权重 | 灾害处置难度 | 建设成本/万元 | 维护费用/(万元·年 ⁻¹) | 编号 | 风险权重 | 灾害处置难度 | 建设成本/万元 | 维护费用/(万元·年 ⁻¹) |
|----|------|--------|---------|----------------------------|----|------|--------|---------|----------------------------|
| 2 | 0.91 | 0.58 | 425 | 48.4 | 9 | 0.73 | 0.87 | 375 | 32.6 |
| 3 | 0.80 | 0.67 | 375 | 21.2 | 10 | 0.70 | 0.74 | 350 | 16.8 |
| 4 | 0.67 | 0.71 | 350 | 10.6 | 11 | 0.68 | 0.71 | 400 | 34.4 |
| 5 | 0.81 | 0.77 | 400 | 23.6 | 12 | 0.78 | 0.83 | 375 | 23.4 |
| 6 | 0.87 | 0.89 | 375 | 28.9 | 13 | 0.89 | 0.92 | 425 | 54.8 |
| 7 | 0.85 | 0.80 | 375 | 32.2 | 14 | 0.76 | 0.76 | 400 | 35.6 |
| 8 | 0.71 | 0.69 | 400 | 30.5 | | | | | |

取加速常数 $c_1=c_2=2, \omega_{\max}=0.9, \omega_{\min}=0.1$, 利用 Matlab 编程, 在 Windows 系统下, 运行内存为 2 GB 的运行环境下对上述模型进行求解。从表 4 可以看出, 随着迭代次数的增多与初始种群规模的增大目标函数值逐渐变小, 但同时运行时间也越来越长。从图 2 可以看出, 当种群规模为 50, 迭代次数增加到 300 代以后, 适应度函数值基本稳定。

表 4 不同初始种群规模与迭代次数的运行结果对比

Tab.4 Comparing the results of different initial population sizes and iterations

| 种群规模 | 迭代次数 | 适应度函数值 | 运行时间/s |
|------|------|---------|-----------|
| 10 | 100 | 0.098 1 | 6.312 0 |
| 30 | 100 | 0.081 6 | 22.990 0 |
| 50 | 100 | 0.071 9 | 50.761 0 |
| 50 | 300 | 0.067 5 | 164.808 0 |
| 50 | 500 | 0.066 2 | 278.342 0 |

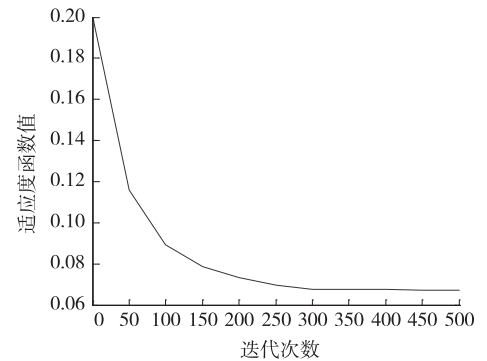


图 2 求解过程收敛曲线

Fig.2 Convergent curve of solution process

同时编写 lingo 程序对上述模型进行求解, 结果见表 5。

可以看出虽然运用 lingo 求解的适应度函数值稍微优于粒子群算法, 但运行时间远远超过粒子群算法, 在问题规模较大时, 这个求解效率是难以接受的。事实上, lingo 软件虽然具有强大的功能, 可以求解线性规划、非线性规划、非线性方程组等多种问题, 但由于 lingo 采用全局搜索方式, 对于 NP 难问题, 当问题规模比较大时, 求解效率难以保证。

表 5 lingo 程序运行结果

Tab.5 The program run result of lingo

| 项目 | 结果 |
|-------------|-------------------------------------------------------|
| 适应度函数值 | 0.065 4 |
| 二级物资储备库建设地点 | (0,0,1,0,0,1,1,0,0,0,1,0) |
| 物资储备库容量 | $O_4=1\ 090.8; O_7=625.5; O_8=1\ 175.8; O_{13}=621.3$ |
| 配送方案 | (0,0,1,1,1,0,0,0,1,0,1,0,0), $j=4$ |
| | (0,0,0,0,0,1,0,1,0,1,0,0,0), $j=7$ |
| | (1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0), $j=8$ |
| | (0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1), $j=13$ |
| 运行时间/s | 7 312.48 |

综上,采用粒子群算法,选择初始种群规模为 50,迭代次数为 300 次,可以得到较好的结果,此时运行一次程序问题的解为(0,0,1,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0),物资配送方案为: $j=4$ 时,(0,0,1,1,1,0,0,0,0,1,0,0); $j=7$ 时,(0,0,0,0,0,1,0,1,1,1,0,0,0); $j=8$ 时,(1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0); $j=13$ 时,(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1)。即选择点 4,7,8,13 建设二级应急物资储备库,对应的物资储备量为 $O_4=910.9, O_7=805.4, O_8=1175.8, O_{13}=621.3$ 。点 4,5,6,12 的应急物资由二级物资储备库 4 负责配送;点 7,9,10,11 的应急物资由二级应急物资储备库 7 负责配送;点 2,3,8 的应急物资由二级应急物资储备库 8 负责配送;点 13,14 的应急物资由二级应急物资储备库 13 负责配送。

4 结论

本文建立了应急物资储备库选址与调度的非线性混合整数规划模型,以建设运输成本最小、整体风险程度最小、灾害处置难度最小为目标函数,设计了带惯性权重的离散二进制粒子群算法对建立的模型进行了求解。算例表明,BPSO 算法具有较好的时间效率,算法的收敛性能良好。当然,在本文建立的数学模型中,建设成本与维护成本都为常数,没有随着建设的物资储备库规模的改变而变化,另外存储与运输的均为单一物资,没有考虑多种物资的情况,这些问题都有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵岩. 欲善其事,先利其器:聚焦我国应急物资储备体系建设[J]. 中国公路,2016,463(3):66-68.
ZHAO Y. To do good work, must first sharpen his tools: focusing on emergency resources storage system construction in our country[J]. China Highway, 2016, 463(3): 66-68.
- [2] SHEU J B. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007, 43: 687-709.
- [3] YI W, OZDZMAR L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179: 1177-1193.
- [4] YANG L L, BRYAN F. J, YANG S. A fuzzy multi objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181: 903-915.
- [5] CARMAN G R, TURNQUIST M A. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response[J]. Transportation Research Part B, 2010, 44: 521-534.
- [6] AI Y, LIU J, ZHANG L L. The optimization model for the location of maritime emergency supplies reserve bases and the configuration of salvage vessels[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2015, 83: 170-188.
- [7] 王文峰,郭波,刘新亮. 多级覆盖设施选址问题建模及求解方法研究[C]//中国优选法统筹法与经济数学研究会. 第九届中国管理科学学术年会论文集. 北京:《中国管理科学》编辑部,2007,15:144-148.
WANG W F, GUO B, LIU X L. Model and solution approach for multiple-quality-of-coverage facility location problem [C]//Chinese Society of Optimization, Overall Planning and Economical Mathematics. Proceedings of the Annual Conference on Management Science in China. Beijing: Editorial Board of Chinese Journal of Management Science, 2007: 144-148.
- [8] 曾敏刚,崔增收,余高辉. 基于应急物流的减灾系统 LRP 研究[J]中国管理科学,2010,18(2):75-80.
ZENG M G, CUI Z S, YU G H. Research on location-routing problem of relief system based on emergency logistics [J]. Chinese Journal of Management Science, 2010, 18(2): 75-80.
- [9] 周骞. 基于多目标粒子群算法的应急物流储备库选址[J]. 长沙理工大学学报,2013,10(1):37-38.
ZHOU Q. Multi objective programming model of location on emergency logistics storage repository based on particle swarm optimizer[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science), 2013, 10(1): 37-38.
- [10] 俞武扬. 服务能力受损情景下的应急设施选址模型[J]. 控制与决策,2016,31(11):1979-1984.
YU W Y. Emergency facility location model under service ability damage scenarios[J]. Control and Decision, 2016, 31(11): 1979-1984.
- [11] 张敏,张玲. 基于失效情景的应急设施选址评估指标体系与模型[J]. 中国管理科学,2016,24(11):129-135.
ZHANG M, ZHANG L. System of evaluation indices of emergency facility location and model based on facility failure scenarios[J]. Chinese Journal of Management Science,

- 2016,24(11):129-135.
- [12] 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, SU Z P, et al. Modeling and solving the multi-objective allocation-scheduling of emergency relief supplies control and decision,2017,32(1):86-92.
- [13] 李志鹏,李卫忠,江洋,等. 应用小生境和反向学习策略的量子粒子群算法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2018,32(1):181-187.
- LI Z P, LI Z W, WANG Y, et al. Quantum-behaved particle swarm optimization algorithm using niche and opposition-based learning[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science),2018,32(1):181-187.
- [14] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization[C]//Proc of the IEEE Int Conf on Neural Networks. New York:IEEE,1995.

Operations Research and Cybernetics

Research on Emergency Resources Storage Facilities Location and Scheduling based on Binary Particle Swarm Optimization Algorithm

XU Ke¹, GONG Hua¹, FANG Liu¹, WANG Shihai²

(1. College of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang 100159;

2. Center of Environmental Monitoring of Liaoning Province, Shenyang 100159, China)

Abstract: [Purposes]In order to improve the level of emergency management and effectively reduce the adverse impact of emergencies, it studies the reasonable layout and resources scheduling problem of emergency storage facilities. [Methods]In view of the characteristics of emergency resources storage and scheduling, a multi-objective optimization model is established where material supply constraints and transfer balance constraints are considered. The objective is to minimize the sum of construction cost, maintenance cost, transportation cost, overall risk degree and the overall disaster treatment difficulty. [Findings]A discrete binary particle swarm optimization algorithm with inertia weight is proposed to solve the model. [Conclusions]Finally, a discrete simulation experiment results show the effectiveness and stability of the model and the binary particle swarm optimization algorithm.

Keywords: emergency resources storage facilities location; emergency resources scheduling; binary particle swarm optimization

(责任编辑 黄颖)