

# 震后随机动态 LRP 多目标优化模型及算法\*

王绍仁, 马祖军

(西南交通大学 物流学院, 成都 610031)

**摘要:** 为了在地震灾区快速配送救灾物资, 建立了一个多产品多运输方式的随机动态应急配送中心定位—运输路线安排问题的多目标优化模型, 据此得出不同阶段应急配送中心的定位以及救援物资运输路线安排决策方案。根据该模型的特点, 提出一种基于动态规划和权重系数变换法的改进遗传算法, 并运用罚函数法处理模型中的约束条件。算例分析表明了该模型和算法的有效性, 能为应急管理部门提供辅助决策支持。

**关键词:** 震后应急物流; 定位—运输路线安排问题(LRP); 多运输方式; 改进遗传算法

**中图分类号:** TP303.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2010)09-3283-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.09.021

## Stochastic dynamic multi-objective optimization location-routing model and algorithm in post-earthquake

WANG Shao-ren, MA Zu-jun

(School of Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** To distribute relief commodities for post-earthquake, developed a stochastic demand multi-objective LRP model with multi-commodities multi-modal transportation to determine the locations of relief distribution centers in the disaster area, as well as the relief vehicle routes in each period during relief process. According to the characteristics of the model, proposed an improved genetic algorithm based on dynamic programming and weighted coefficient transformation, and adopted a punished function method to deal with restriction in model. The results of a numerical example show availability of the proposed model and algorithm, and it can help the emergency management department provide assistant decision-making.

**Key words:** post-earthquake emergency logistics; location-routing problem(LRP); multi-transportation mode; improved genetic algorithm

### 0 引言

地震是对人类威胁最大的自然灾害之一, 面对地震灾害的挑战, 急需建立一套科学、高效的震害应急物流系统, 从而保障救灾物资及时、准确地运输配送到位, 以最大限度地降低地震造成的损失和危害后果。近年来, 应急物流系统优化问题引起了一些学者的关注。Ozdamar 等人<sup>[1]</sup>研究了自然灾害应急物流计划中时间依赖的确定型动态运输问题, 建立了多周期、多品种物资网络流问题和多运输方式下车辆路径问题的集成优化模型, 并提出了一种基于拉格朗日松弛的迭代算法。Barbarosoglu 等人<sup>[2]</sup>提出了灾害救援中直升机任务计划的两层确定型决策模型, 并用 GAMS 软件求解。Yuan 等人<sup>[3]</sup>针对应急物流问题建立路线选择模型, 用蚁群算法进行求解。Sheu<sup>[4]</sup>针对自然灾害应急救援需求, 提出了一种混合模糊聚类—优化方法, 建立了一个应急物资配送的多目标动态规划模型, 并用 LINGO 软件求解; 最近, Sheu<sup>[5]</sup>针对大规模自然灾害提出动态救援管理模型, 涉及动态救援需求预测、灾区分组和紧急救援决策。

地震灾害的突发性、破坏性和应急救援紧迫性, 导致应急

物流工作形势严峻。从 2008 年“5.12”汶川里氏 8.0 级大地震救灾工作实际反馈的信息, 震灾应急物流系统中需要解决如下问题: 如何定位应急设施, 如何优化应急物资运输路线? 这两者是震灾应急物流系统优化中的两个关键问题, 且彼此之间存在相互依赖、相互影响的关系。因此, 从应急物流系统整体优化角度看, 有必要对其进行集成优化与管理, 即研究地震灾害应急物流系统中的定位—运输路线安排问题(LRP)。

目前, 对一般物流系统中 LRP 的研究已经取得了较丰硕的成果, 如 Min 等人<sup>[6]</sup>、Nagy 等人<sup>[7]</sup>、汪寿阳等人<sup>[8]</sup>、林岩等人<sup>[9]</sup>都对 LRP 作过较详细的综述。与一般物流系统中的 LRP 相比, 自然灾害应急物流系统中的 LRP 有许多不同的特性。Yi 等人<sup>[10]</sup>研究了自然灾害应急救援中物资配送和伤员运送救治的协调优化问题, 建立了一种确定型混合整数多品种物资网络流模型, 并用 CPLEX 软件进行求解。自然灾害应急救援过程中需要协调救援物资供应与无法精确预测的需求之间的平衡<sup>[11]</sup>, 然而文献<sup>[10]</sup>没有考虑自然灾害条件下的不确定性以及多种运输方式。徐琴等人<sup>[12]</sup>针对城市突发公共事件应急物流系统中的 LRP, 建立了一个应急救援时间为模糊数、以系统总的应急救援时间满意度最大为目标的 LRP 模型, 并提出

**收稿日期:** 2010-03-17; **修回日期:** 2010-04-26      **基金项目:** 国家自然科学基金重大研究计划培育项目(90924012); 国家自然科学基金资助项目(70771094); 中国博士后科学基金资助项目(20090450637); 四川省青年科技基金资助项目(09ZQ026-021); 国家教育部人文社会科学基金项目(08JC630067)

**作者简介:** 王绍仁(1982-), 男(壮族), 云南文山山人, 博士研究生, 主要研究方向为物流系统优化、应急物流等(okwangshao@163.com); 马祖军(1974-), 男, 浙江开化人, 教授, 博导, 主要研究方向为物流系统优化、应急管理、逆向物流等。

一种两阶段启发式算法。以上文献没有考虑应急物资调度的动态性,可事实上应急物资供需、路况等信息通常需要随着时间的推移根据收集到的实际数据进行动态更新,是一个动态决策过程。此外应考虑不同需求优先级,以此采用不同的运输方式,且巡回车辆不一定返回其出发的应急配送中心,而是取决于下一阶段应从哪个配送中心出发。

综上所述,目前对自然灾害应急物流系统中 LRP 的研究还很缺乏,仍有许多问题亟待深入研究。为此,本文在充分考虑震后应急物流具有突发性、不确定性、时效性、多品种和多运输方式等典型特征的基础上,研究震后应急物流系统中的随机需求多产品多运输方式的动态 LRP 多目标优化模型,以提高震害应急物流系统的稳定性、可靠性和时效性。

## 1 模型构建

### 1.1 问题描述

地震发生后,需要建立适当规模和数量的应急配送中心,急需物品如药品、医疗器械等与普通物品如食品、矿泉水等救灾物资使用不同运输工具运送到灾区救助点,如图 1 所示。

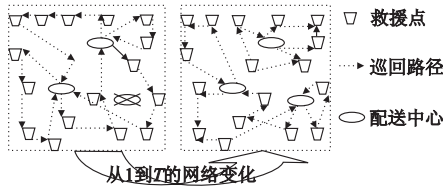


图1 震后应急物流系统中动态LRP示意图

图中对于急需物品采用空运,不仅考虑灾区需求时效性,更重要的是由于地震造成道路破坏或余震不断破坏已修复道路,在道路破损情况下使用直升机仍可以对灾区进行有效配送。由于直升机数量有限,等待道路修复后对普通物品使用卡车进行配送。决策问题为:如何选择建立若干应急配送中心,以及在满足设施容量和救援车辆(直升机和卡车)容量限制的条件下确定一套应急物资运输路径,以满足所有救援点的应急资源需求,且使到达各个救援点的物资运输总时间最短和应急物流系统的总成本最小。

### 1.2 符号说明

- $B = \{t | t = 1, 2, 3, \dots, T\}$  为救援周期集合。
- $C$  为灾区物资需求点(救援点)的集合。
- $W = \{p | p = 1, 2, \dots, P\}$  为候选应急配送中心集合。
- $WQ_p$  为应急配送中心  $p$  的最大处理能力。
- $N = W \cup C$  为所有节点的集合。
- $CW_p$  为表示建立应急配送中心  $p$  的成本。
- $V = \{k | k = 1, 2, \dots, K\}$  为卡车的集合。
- $VQ_k$  为卡车  $k$  最大载货量(容量)。
- $U = \{h | h = 1, 2, \dots, H\}$  为直升机的集合。
- $UQ_h$  为直升机  $h$  最大载货量(容量)。
- $CV_k$  表示卡车  $k$  的派遣成本。
- $CU_h$  表示直升机  $h$  的派遣成本。
- $\alpha_{ij} \in \{1, 0\}$  表示  $t$  周期初的道路状况,取 1 表示节点  $i$  与  $j$  ( $i, j \in N$ ) 之间的道路连通,取 0 则表示道路不连通。该参数通过卫星、航空等遥感影像数据和部分实际反馈道路信息来确定。
- $\beta_{ij}, \varphi$  分别表示两节点  $i$  与  $j$  ( $i, j \in N$ ) 之间的道路破坏率和修复单位距离平均成本,可通过卫星、航空等遥感影像数据和

部分实际反馈道路信息,并计算施工量来确定。

$d_{ij}$  表示从节点  $i$  到  $j$  的平面欧氏距离,有  $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ 。其中:  $x_i$  和  $y_i$  ( $i \in N$ ) 为节点  $i$  的横、纵坐标。

$\bar{d}_{ijt}$  表示  $t$  阶段从节点  $i$  到  $j$  ( $i, j \in N$ ) 的道路距离,且有  $\bar{d}_{ijt} = \Omega(1 - \alpha_{ij}) + \gamma d_{ij}$ 。其中:  $\gamma$  表示平面欧氏距离转换成道路实际距离的系数,有  $\gamma > 1$ ,可根据灾区路网信息估计得到;  $\Omega$  是一个足够大的正数,其含义表示如果道路不连通,则道路距离相当于非常长,从而在优化过程中排除不连道路段的选择。由于地震道路遭到破坏,破损路段在  $t$  阶段未修通,但在后续阶段可能修通。因此,不同阶段路网的连通性是动态变化的。

$q_i^1$  为急需救灾物资(急需物品)人均需求量。

$q_i^2$  为普通救灾物资(普通物品)人均需求量。

$q_j^1$  表示在  $t$  阶段物资需求点  $j$  的急需物品需求量。

$q_j^2$  表示在  $t$  阶段物资需求点  $j$  的普通物品需求量。

$DV_k$  为卡车  $k$  单位距离的平均行驶成本。

$DU_h$  为直升机  $h$  单位距离的平均行驶成本。

$\zeta_k$  表示卡车  $k$  的平均速度。

$l_h$  表示直升机  $h$  的平均速度。

$KT_{jkt}$  表示车辆  $k$  到达物资需求点  $j$  ( $j \in N$ ) 的时间,当  $j \in W$  时,有  $KT_{jkt} = 0$ 。

$HT_{jht}$  表示直升机  $h$  到达物资需求点  $j$  ( $j \in N$ ) 的时间,当  $j \in W$  时,有  $HT_{jht} = 0$ 。

$\tau_{ijkt}$  表示卡车  $k$  从节点  $i$  到  $j$  ( $i, j \in N$ ) 所用时间,有  $\tau_{ijkt} = \bar{d}_{ijt} / \zeta_k$ 。

$\zeta_{ijht}$  表示直升机  $h$  从节点  $i$  到  $j$  ( $i, j \in N$ ) 所用时间,有  $\zeta_{ijht} = d_{ij} / l_h$ 。

$x_{ijkt}$  如果  $t$  阶段卡车  $k$  ( $k \in V$ ) 从节点  $i$  到  $j$  ( $i, j \in N$ ) 则为 1, 否则为 0。

$y_{ijht}$  如果  $t$  阶段直升机  $h$  ( $h \in U$ ) 从节点  $i$  到  $j$  ( $i, j \in N$ ) 则为 1, 否则为 0。

$z_{pt}$  如果  $t$  阶段在候选点  $p$  ( $p \in W$ ) 建立应急配送中心则为 1, 否则为 0。

$g_{jpt}$  如果  $t$  阶段救援点  $j$  ( $j \in C$ ) 被分配给所建应急配送中心  $p$  ( $p \in W$ ) 则为 1, 否则为 0。

$s_{kt}$  如果  $t$  阶段卡车  $k$  ( $k \in V$ ) 分配了任务则为 1, 否则为 0。

$r_{ht}$  如果  $t$  阶段直升机  $h$  ( $h \in U$ ) 分配了任务则为 1, 否则为 0。

### 1.3 模型假设

本文作如下假设: a) 根据救灾物资需求的优先级把救灾物资分为急需物品和普通物品。c) 应急配送中心之间不进行相互转运。b) 救援点设在灾区村镇或村镇附近,每个村镇的人数是确定的,但到达救援点的灾民来自所设救援点村镇和附近的几个村镇,因此每个救援点接收的灾民来自的村镇个数不确定。根据救灾过程中灾民到达灾区所设立救援点的情况或现象,可以假设在每个时间段到达物资需求点的受灾人数服从泊松分布,设  $N(t) = m$  为地震发生后阶段  $t$  到达救援点  $j$  的人数,  $p_{jt}(N(t) = m)$  为阶段  $t$  到达救援点  $j$  的人数为  $m$  的概率,则有  $p_{jt}(N(t) = m) = (\lambda_j t)^m e^{-\lambda_j t} / m!$ ,其数学期望为  $E(N(t)) = \lambda_j t$ ,则  $\lambda_j = E(N(t)) / t$  就是单位时间间隔  $[0, t)$  内到达救援点人数的期望值,一般可以根据如下信息确定  $\lambda_j$  的取值:震灾级别;灾区人口密度、年龄构成;基础设施、建筑结构和建筑密度;

地理位置、地理环境;以往的救援经验、历史数据等。d) 每阶段  $t$  灾区物资需求点  $j$  的需求是收容受灾人数的线性函数,即

$$q_{jt}^1 = q_j^1 \times \sum_{m=1}^{\infty} [m \times p_{jt}(N(t) = m)] = q_j^1 \times \lambda_{jt} \quad (1)$$

$$q_{jt}^2 = q_j^2 \times \sum_{m=1}^{\infty} [m \times p_{jt}(N(t) = m)] = q_j^2 \times \lambda_{jt} \quad (2)$$

### 1.4 模型建立

建立震后应急物流系统中多产品多运输方式的随机动态设施定位—车辆路线安排(LRP)多目标优化模型:

$$\min Z_1 = \sum_{t=1}^T \{ \sum_{k \in V} \sum_{j \in C} KT_{jkt} + \sum_{h \in U} \sum_{j \in C} HT_{jht} \} \quad (3)$$

$$\min Z_2 = \sum_{t=1}^T \{ \sum_{p \in W} CW_p \times z_{pt} + \sum_{k \in V} CV_k \times s_{kt} + \sum_{h \in U} CU_h \times r_{ht} + \sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (DV_k \times d_{ijt}^X + \varphi \times \alpha_{ijt} + \beta_{ijt} \times d_{ijt}^X) x_{ijkt} + \sum_{h \in U} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} DU_h \times d_{ij} y_{ijht} \} \quad (4)$$

$$s. t. \sum_{j \in C} (q_{jt}^1 + q_{jt}^2) g_{jpt} \leq WQ_p, \forall p \in W, t \in B \quad (5)$$

$$\sum_{j \in C} q_{jt}^2 \sum_{i \in W \cup C} x_{ijkt} \leq VQ_k, \forall k \in V, t \in B \quad (6)$$

$$\sum_{j \in C} q_{jt}^1 \sum_{i \in W \cup C} y_{ijht} \leq UQ_h, \forall h \in U, t \in B \quad (7)$$

$$\sum_{i \in W \cup C} x_{ijkt} - \sum_{i \in W \cup C} x_{jikt} = 0, \forall j \in W \cup C, k \in V, t \in B \quad (8)$$

$$\sum_{i \in W \cup C} y_{ijht} - \sum_{i \in W \cup C} y_{jih t} = 0, \forall j \in W \cup C, h \in U, t \in B \quad (9)$$

$$\sum_{g \in M} \sum_{l \in C} x_{gltk} \geq 1, \forall k \in V, M \subset W, t \in B \quad (10)$$

$$\sum_{g \in M} \sum_{l \in C} y_{glt h} \geq 1, \forall h \in U, M \subset W, t \in B \quad (11)$$

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in C} x_{ijkt} \leq 1, \forall k \in V, t \in B \quad (12)$$

$$\sum_{i \in W} \sum_{j \in C} y_{ijht} \leq 1, \forall h \in U, t \in B \quad (13)$$

$$x_{ipkt} = 1 \Leftrightarrow \begin{cases} x_{pjkt(t+1)} = 1, t < T, \forall k \in V, \\ i, j \in C, p \in W \end{cases} \quad (14)$$

$$y_{ipht} = 1 \Leftrightarrow \begin{cases} y_{pjht(t+1)} = 1, t < T, \forall h \in U, \\ i, j \in C, p \in W \end{cases} \quad (15)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in C} x_{pjkt} + \sum_{h \in U} \sum_{j \in C} y_{pjht} \geq z_{pt}, \forall p \in W, t \in B \quad (16)$$

$$\sum_{j \in C} x_{pjkt} \leq z_{pt}, \forall k \in V, p \in W, t \in B \quad (17)$$

$$\sum_{j \in C} y_{pjht} \leq z_{pt}, \forall h \in U, p \in W, t \in B \quad (18)$$

$$\sum_{g \in N} x_{ijgt} + \sum_{g \in N} x_{pgkt} - g_{jpt} \leq 1 \text{ or } \sum_{g \in N} y_{ijgt} + \sum_{g \in N} y_{pght} - g_{jpt} \leq 1, \forall j \in C, k \in V, h \in U, p \in W, t \in B \quad (19)$$

$$KT_{jkt} = KT_{ikt} + \tau_{ijkt} x_{ijkt}, \forall i, j \in N, k \in V, t \in B \quad (20)$$

$$HT_{jht} = HT_{iht} + \zeta_{ijht} y_{ijht}, \forall i, j \in N, h \in U, t \in B \quad (21)$$

$$x_{ijkt} \in \{0, 1\}, y_{ijht} \in \{0, 1\}, z_{pt} \in \{0, 1\}, g_{jpt} \in \{0, 1\}, s_{kt} \in \{0, 1\}, r_{ht} \in \{0, 1\}, \forall i \in C, j \in C, k \in V, h \in U, p \in W, t \in B \quad (22)$$

目标函数式(3)表示车辆(卡车和直升机)从各个应急配送中心运输物资到达各个救援点的总时间最少;目标函数式(4)表示震后应急物流系统总成本最小;约束式(5)表示分配给应急配送中心  $p$  的所有救援点需求量之和不超过该应急配送中心最大处理能力;式(6)(7)分别表示分配给卡车  $k$  和直升机  $h$  的所有救援点需求量之和不超过该卡车和直升机的运输能力;式(8)(9)表示路径连续性约束,进入节点的车辆必须从该节点离开;式(10)(11)子巡回消除约束,每一条路径至少连接到一个应急配送中心;式(12)(13)分别表示  $t$  阶段每一辆卡车和每一架直升机至多只能分配给一个应急配送中心;式(14)(15)分别表示巡回卡车和巡回直升机去向约束,即在救援周期结束之前( $t < T$ ),巡回车辆在拜访最后一个需求点后,如果接到指令:下阶段将从配送中心  $p$  出发服务所分到的需求点,那么该车在本阶段完成任务后前往配送中心  $p$ ;式(16)~(18)表示只要应急配送中心开放就有车辆分配给它,且车辆只分配给开放的应急配送中心;式(19)表示每个阶段当且仅当一条路径从应急配送中心  $p$  出发经过需求点  $j(j \in C)$  时,该

需求点才能分配给该应急配送中心  $p$ ;式(20)(21)表示分别给出了  $KT_{jkt}$  和  $HT_{jht}$  的数学表达式;式(22)为 0-1 决策变量。

## 2 算法设计

以往求解 LRP 的算法大都基于两阶段求解的思路,而本文设计的遗传算法将 LRP 的解看做一个整体,能有效降低进化过程中停滞于局部最优解的概率,提高解的质量。算法步骤如下:

a)染色体编码采用特定的实值编码方法。每个染色体由四个子串构成:第一个子串有  $T \times n$  个基因位, $T$  为营救阶段数, $n$  为物资需求点的个数( $n = \text{length}(C)$ ),该子串对应每个阶段已编号的救援点(即  $(t-1) \times n + 1$  到  $t \times n$  表示第  $t$  阶段的救援点),所配送的物资是急需物品,每个基因位的值是从 1 到  $H$  的一个随机数, $H$  为最大直升机数;第二个子串长度为  $T \times n$ ,该子串同样对应每个阶段已编号的救援点,然而所配送的物资是普通物品,每个基因位的值是  $1 \sim K$  的自然数, $K$  为最大卡车数;第三个子串长度为  $T \times H$ ,该子串的基因位对应每个阶段已编号的直升机,每个基因位的值为  $1 \sim P$  的自然数, $P$  为候选应急配送中心的数量;第四个子串长度为  $T \times K$ ,该子串的基因位对应每个阶段已编号的卡车,每个基因位的值为  $1 \sim P$  的自然数。笔者采用这样的编码方案,可以较方便地处理模型中的各个约束条件,即:

(a)车辆和设施容量约束处理。采用罚函数法处理运输车辆和应急配送中心的容量约束,即对不满足约束条件的个体的目标函数值乘上一个惩罚系数。

(b)其他约束。通过特定编码使搜索空间与解空间一一对应。

b)创建初始种群。运用英国设菲尔德大学开发的遗传算法通用函数中的 `crtbase` 和 `crtbp` 函数创建初始种群。先用 `crtbase` 函数分别创建两个向量:一个长度为  $2T \times n$ ,由  $T \times n$  个基数为  $H$  的基本字符  $\{0, 1, 2, \dots, H-1\}$  和  $T \times n$  个基数为  $K$  的基本字符  $\{0, 1, 2, \dots, K-1\}$  组成;另一个长度为  $T \times (H+K)$ ,由  $T \times (H+K)$  个基数为  $P$  的基本字符  $\{0, 1, 2, \dots, P-1\}$  组成。再用 `crtbp` 函数创建两个行数一样元素,为随机数的矩阵 `chrom1` 和 `chrom2`,矩阵行数为种群规模。定义一矩阵 `chrom` = [`chrom1`, `chrom2`],加上维数与 `chrom` 一样的元素为 1 的矩阵 `ones`,以保矩阵处理中的行、列序号不为零,至此得到初始种群。

c)计算适应度。采用适应度函数  $f_i = 1 / \sum_{j=1}^L w_j Z_j(i)$ ,有选择概率  $P_i = f_i / \sum_{i=1}^L f_i$ 。其中: $Z_j(i)$  为第  $i$  条染色体的第  $j$  个目标函数值; $w_j$  是赋予第  $j$  个子目标函数值的权重; $L$  为种群规模(即个体数)。

d)遗传操作有以下三种:

(a)选择操作。采用随机遍历抽样与基于适应度重插入法相结合。随机遍历抽样具有零偏差和最小个体扩展,能使种群多样性相对持久,可以防止算法过早收敛。基于适应度重插入可使最合适个体被连续代繁殖,提高优选策略的有效性。

(b)交叉操作。为了维持种群多样性,采用基于交叉算子的重组策略,采用具有较大破坏性的交叉算子—多点交叉算子,以促进遗传算法对解空间的搜索。

(c)变异操作。在变异概率  $P_m$  的选用上为了增加种群多样性,使用可变的变异概率,即算法前期  $P_m$  取值较大以扩大

搜索空间,算法后期  $P_m$  取值较小以加快收敛速度。

e) 终止条件。

达到设定的迭代次数后,算法结束。

其算法在 MATLAB M 语言中部分伪代码如下:

```
function Z = hmmlrp (chrom); %编写目标函数文件
...
gen = 0; %代数计数器
ObjVL = hmmlrp (chrom); %计算初始种群个体目标函数值
while gen < MAXGEN
    FitnV = ranking (ObjVL); %分配适应度值
    SelC = select ('sus', Chrom, FitnV, GGAP); %选择操作
    ...
    ObjVSI = hmmlrp (SelC); %计算子代目标函数值
    [chrom, ObjVL] = reins (chrom, SelC, 1, 1, ObjVL, ObjVSI);
    %重插入
    gen = gen + 1; %代数计数器增加
end
[Y, 1] = min (ObjVL), x = Chrom (I, :);
%输出最优目标函数值、序号和代码
```

### 3 算例分析

随机给出 3 个候选应急配送中心, 10 辆卡车, 10 架直升机, 20 个物资需求点。假定震后救援过程分为三个阶段; 随机选取各个救援点的期望  $\lambda_j$  及每个阶段的时间间隔, 并根据式 (1) (2) 分别得出灾区不同阶段各个物资需求点的急需物品和普通物品的需求量, 有关数据如表 1 所示; 表 2 给出各个设施点的坐标、容量及建设成本; 表 3 给出各类车辆的容量、派遣成本、速度和单位距离运输成本。设转换系数  $\gamma = 1.5$ ;  $\alpha_{ji}$  随机赋值为 0 或 1, 且  $\alpha_{ji} = \alpha_{ji} (i, j \in N)$ ;  $\varphi = 2$  元/km;  $\beta_{ji}$  为 0 ~ 1 的随机非负实数。

表 1 物资需求点的坐标及各阶段需求量

| 指标        | 救援点编号 |        |         |         |         |         |         |        |         |         |         |    |
|-----------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|----|
|           | 1     | 2      | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8      | 9       | 10      |         |    |
| 坐标/km     | x,y   | 10,60  | 120,50  | 220,250 | 50,120  | 200,270 | 240,150 | 70,20  | 150,40  | 230,170 | 160,290 |    |
| 各阶段物资需求/件 | 1     | 急需物品   | 25      | 30      | 28      | 24      | 23      | 32     | 22      | 35      | 36      | 34 |
|           |       | 普通物品   | 34      | 45      | 52      | 31      | 42      | 35     | 46      | 58      | 35      | 46 |
|           | 2     | 急需物品   | 25      | 45      | 32      | 28      | 33      | 42     | 65      | 31      | 22      | 40 |
|           |       | 普通物品   | 42      | 45      | 60      | 65      | 75      | 52     | 100     | 52      | 60      | 60 |
|           | 3     | 急需物品   | 25      | 25      | 25      | 28      | 29      | 26     | 32      | 24      | 31      | 32 |
|           |       | 普通物品   | 48      | 65      | 52      | 55      | 42      | 62     | 53      | 66      | 48      | 65 |
|           |       | 11     | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      | 17     | 18      | 19      | 20      |    |
| 坐标/km     | x,y   | 90,210 | 130,100 | 300,70  | 120,100 | 250,60  | 20,140  | 80,250 | 260,190 | 50,80   | 180,120 |    |
| 各阶段物资需求/件 | 1     | 急需物品   | 28      | 32      | 35      | 22      | 25      | 24     | 25      | 28      | 32      | 32 |
|           |       | 普通物品   | 40      | 45      | 64      | 25      | 46      | 42     | 50      | 46      | 38      | 35 |
|           | 2     | 急需物品   | 24      | 35      | 25      | 32      | 32      | 42     | 62      | 45      | 35      | 33 |
|           |       | 普通物品   | 65      | 62      | 55      | 44      | 55      | 85     | 115     | 45      | 62      | 65 |
|           | 3     | 急需物品   | 28      | 25      | 25      | 25      | 28      | 24     | 32      | 25      | 36      | 24 |
|           |       | 普通物品   | 48      | 52      | 52      | 64      | 41      | 38     | 45      | 44      | 45      | 38 |

表 2 设施点坐标、容量及建设成本

| 指标     | 编号       |            |            |
|--------|----------|------------|------------|
|        | 1        | 2          | 3          |
| 坐标/km  | (20, 50) | (100, 150) | (280, 130) |
| 容量/件   | 1 000    | 800        | 1 000      |
| 建设成本/元 | 10 000   | 8 000      | 10 000     |

表 3 车辆(直升机和卡车)参数

| 指标           | 编号  |      |      |     |      |      |      |      |      |      |
|--------------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
|              | 1   | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| 容量/件         | 卡车  | 200  | 200  | 160 | 200  | 200  | 200  | 180  | 200  | 200  |
|              | 直升机 | 100  | 100  | 80  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |
| 速度/km/min    | 卡车  | 1.2  | 1.2  | 0.9 | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 1    | 1.2  |
|              | 直升机 | 5    | 5    | 4   | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    |
| 派遣成本/元       | 卡车  | 200  | 200  | 160 | 200  | 200  | 200  | 180  | 200  | 200  |
|              | 直升机 | 1000 | 1000 | 800 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 单位距离平均运输成本/元 | 卡车  | 2    | 2    | 1.6 | 2    | 2    | 2    | 2    | 1.8  | 2    |
|              | 直升机 | 20   | 20   | 16  | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   |

设种群规模 popsize = 50, 代沟率 GGAP = 0.9, 最大迭代数 maxgen = 100, 交叉概率  $p_c = 0.7$ , 变异概率  $p_m$  前期为 0.08, 后期为 0.02; 时间和成本权重分别为 0.8 和 0.2。根据上述设计的算法, 通过 MATLAB M 语言编程计算, 在 Intel Core™ 2 Duo 1.83 GHz CPU, 1 GB 内存的笔记本电脑上运行程序耗时 79.09 s, 得出加权目标函数值为 60 486.80, 其设施定位和路线安排决策结果如表 4 所示。

表 4 设施定位和路线安排决策结果

| 周<br>期   | “√”和“×”<br>分别表示设施<br>设立和未设立 | 直升机<br>编号 | 有无<br>任务 | 急需物品运输  |   | 卡车<br>编号  |   | 普通物品运输 |    |    |   |    |   |   |   |   |
|----------|-----------------------------|-----------|----------|---|---|---|---|--------|----|----|---|----|---|---|---|---|
|          |                             |           |          | “+”和“0”<br>分别表示车辆派遣和未派遣任务, “□”<br>方框里面的数据表示配送中心编号, “-”表示无配送 | “+”和“0”<br>分别表示车辆派遣和未派遣任务, “□”<br>方框里面的数据表示配送中心编号, “-”表示无配送 | “+”和“0”<br>分别表示车辆派遣和未派遣任务, “□”<br>方框里面的数据表示配送中心编号, “-”表示无配送 | “+”和“0”<br>分别表示车辆派遣和未派遣任务, “□”<br>方框里面的数据表示配送中心编号, “-”表示无配送 |        |    |    |   |    |   |   |   |   |
| 第一<br>阶段 | 应急<br>配送<br>中心              | 编号        | 定        | 1   | +   | 1   | -   | 2      | -  | 20 | - | 2  | 1 | 0 | - |   |
|          |                             | 位         | 2        | +   | 1   | -   | 11  | -      | 9  | -  | 6 | -  | 2 | 0 | - |   |
|          |                             | 1         | √        | 3   | 0   | -   | -   | -      | -  | -  | - | -  | 3 | + | 2 | - |
|          |                             | 2         | √        | 4   | +   | 2   | -   | 3      | -  | 18 | - | 8  | - | 4 | + | 1 |
|          |                             | 3         | ×        | 5   | +   | 1   | -   | 19     | -  | 15 | - | 2  | 5 | + | 1 | - |
|          |                             | 6         | +        | 2   | -   | 14  | -   | 13     | -  | 17 | - | 2  | 6 | + | 1 | - |
|          |                             | 7         | +        | 2   | -   | 5   | -   | 10     | -  | 4  | - | 2  | 7 | + | 1 | - |
|          |                             | 8         | +        | 2   | -   | 16  | -   | 12     | -  | 7  | - | 1  | 8 | 0 | - |   |
|          |                             | 9         | 0        | -   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | -  | 9 | 0 | - |   |
|          |                             | 10        | 0        | -   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | 10 | + | 1 | - |   |
| 第二<br>阶段 | 应急<br>配送<br>中心              | 编号        | 定        | 1   | +   | 2   | -   | 6      | -  | 20 | - | 1  | 1 | 0 | - |   |
|          |                             | 位         | 2        | +   | 2   | -   | 3   | -      | 10 | -  | 4 | -  | 2 | 0 | - |   |
|          |                             | 1         | 启用       | 3   | +   | 1   | -   | 2      | -  | 8  | - | 1  | 3 | + | 2 | - |
|          |                             | 2         | 启用       | 4   | +   | 1   | -   | 15     | -  | 17 | - | 2  | 4 | + | 3 | - |
|          |                             | 3         | 新建       | 5   | +   | 2   | -   | 9      | -  | 18 | - | 11 | - | 2 | 5 | - |
|          |                             | 6         | 0        | -   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | -  | 6 | + | 3 | - |
|          |                             | 7         | 0        | -   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | -  | 7 | + | 1 | - |
|          |                             | 8         | +        | 1   | -   | 12  | -   | 14     | -  | 5  | - | 2  | 8 | + | 1 | - |
|          |                             | 9         | +        | 1   | -   | 7   | -   | 19     | -  | 2  | - | 9  | 0 | - |   |   |
|          |                             | 10        | +        | 2   | -   | 13  | -   | 16     | -  | 2  | - | 10 | + | 3 | - |   |
| 第三<br>阶段 | 应急<br>配送<br>中心              | 编号        | 定        | 1   | +   | 1   | -   | 11     | -  | 20 | - | 15 | - | 7 | 1 |   |
|          |                             | 位         | 2        | 0   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | 2  | + | 1 | - |   |
|          |                             | 1         | 启用       | 3   | +   | 1   | -   | 14     | -  | 6  | - | 18 | 3 | 0 | - |   |
|          |                             | 2         | 启用       | 4   | +   | 2   | -   | 2      | -  | 12 | - | 10 | 4 | 0 | - |   |
|          |                             | 3         | 撤除       | 5   | 0   | -   | -   | -      | -  | -  | - | 5  | + | 1 | - |   |
|          |                             | 6         | +        | 2   | -   | 4   | -   | 16     | -  | 3  | - | 6  | + | 1 | - |   |
|          |                             | 7         | 0        | -   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | 7  | 0 | - |   |   |
|          |                             | 8         | +        | 2   | -   | 19  | -   | 1      | -  | 8  | - | 9  | 8 | 0 | - |   |
|          |                             | 9         | +        | 2   | -   | 17  | -   | 5      | -  | 13 | - | 9  | + | 1 | - |   |
|          |                             | 10        | 0        | -   | -   | -   | -   | -      | -  | -  | - | 10 | + | 2 | - |   |

研究表明, 随着时间的推移, 根据收集到的实际数据和路网状况的变化频繁动态地更新救灾物资供应和需求、车辆规模等信息, 由此需要进行动态决策。此外, 救灾结束后各车辆的去向可根据实际情况确定。图 2 反映了遗传算法种群最优解和均值的变化情况, 在第 20 代以后, 其解趋于某值, 算法迅速收敛。

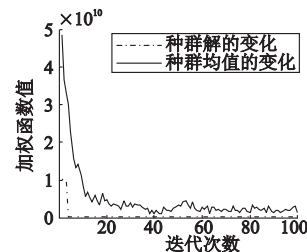


图 2 遗传算法性能跟踪图

### 4 结束语

针对震后不同需求优先级的应急物流系统优化问题, 提出了一个以物资到达救援点的总时间最少和应急物流系统总成本最小为目标的随机动态 LRP 多目标优化模型, 并提出了一种基于动态规划和权重系数变换的改进遗传算法。采用随机遍历抽样、重组策略和变化变异率法, 以防遗传算法过早收敛。算例分析结果表明, 该模型和算法能较好地解决震后应急物流系统中的多产品多运输方式随机动态 LRP 多目标优化问题。

表 1 候梯时间比较/s

| 控制方式 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 均值    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 粒子群  | 21.45 | 21.26 | 21.66 | 20.58 | 20.14 | 21.02 |
| 混合算法 | 19.48 | 18.65 | 18.95 | 19.98 | 18.18 | 19.05 |

表 2 长时等待率比较/%

| 控制方式 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 均值   |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 粒子群  | 6.06 | 5.84 | 6.67 | 6.21 | 5.66 | 6.11 |
| 混合算法 | 3.75 | 3.20 | 3.17 | 3.40 | 3.14 | 3.33 |

表 3 系统能耗比较/次数

| 控制方式 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 均值   |
|------|----|----|----|----|----|------|
| 粒子群  | 31 | 30 | 30 | 31 | 28 | 30.0 |
| 混合算法 | 29 | 28 | 27 | 28 | 26 | 27.6 |

#### 4 结束语

本文打破将电梯作为离散事件动态系统的传统分析方法,将运行速度和位移视为连续变量,并以细胞自动机理论为基础,建立了电梯混合系统模型。由仿真程序可知,基于细胞自动机理论建立的混合电梯群控系统模型可以直观、正确地模拟电梯的运动行为。在此基础上建立的电梯群控系统计算机仿真实验平台能够提供各种高质量的性能指标参数,从而准确、有效地对控制算法进行验证。该模型结构简单,程序的通用性和可扩展性较强,建筑物楼层数可以方便地更改,轿厢数量的增减,甚至是派梯算法的改变均可通过修改少量代码实现,模型中使用的细胞活动规则数量有限,减少了编程的工作量。本文将粒子群算法与模拟退火算法相结合,利用模拟退火的概率选择性增加粒子群的多样性,防止陷入局部最小,提出一种基于改进粒子群的新型调度策略,经仿真后其优化派梯效果理想,但是在电梯节能方面改善不够,还需作进一步改进。

#### 参考文献:

[1] 田国会,刘长有. 电梯服务系统的时态逻辑描述、分析与控制 [C]//中国控制决策学术年会论文集. 1996:188-192.

[2] LIN Chu-hui, FU Li-chen. Petri net based dynamic scheduling of an elevator system [C]//Proc of IEEE Internatione Conference on Robotics and Automation. 1996:192-199.

[3] 宗群,何彦召,魏利剑. 面向 agent 的电梯群控仿真系统建模研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5):1391-1393.

[4] XU Yu-ge, FEI Luo, WANG Jian-guo. A new modeling method for elevator group control system with cellular automata [C]//Proc of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation. Hangzhou:IEEE, 2004: 3596-3599.

[5] EBERHART R C, SHI Yu-hui. Particle swarm optimization: developments, applications and resources [C]//Proc of Congress on Evolutionary Computation. 2001: 81-86.

[6] 黄少荣. 粒子群优化算法综述 [J]. 现代计算机, 2009(8):1977-1980.

[7] 高鹰,谢胜利. 基于模拟退火的粒子群优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(1):47-50.

[8] 王振树,李林川,李波. 基于粒子群与模拟退火相结合的无功优化算法 [J]. 山东大学学报, 2008, 38(6):15-20.

[9] SONG M, GU G. Research on particle swarm optimization: a review [C]//Proc of the 3rd International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Shanghai:[s. n.], 2004:2236-2241.

[10] 孙亮,代存杰,张克云. 新型混合粒子群优化算法 [J]. 重庆工学院学报, 2008, 22(2):146-149.

[11] 田晓丹,罗飞,许玉格. 基于细胞自动机的电梯混合系统建模及仿真 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10):2740-2745.

[12] 宗群,童玲,薛丽华. 电梯群控系统智能优化调度方法的研究 [J]. 控制与决策, 2004, 19(8):939-942.

[13] 王鹏,杨明,靳祯. 细胞自动机及 MATLAB 仿真 [J]. 中北大学学报, 2006, 27(5):388-391.

[14] 王华秋,曹长修. 基于模拟退火的并行粒子群优化研究 [J]. 控制与决策, 2005, 20(5):500-505.

(上接第 3286 页)

本文根据不同需求的优先级把救灾物资分为急需物品和普通物品,建立多品种、多运输方式的随机动态 LRP 多目标优化模型,而地震物流设施多级特征显著,如灾区外围救灾物资集散点、灾区应急配送中心等应急设施,由此多级设施 LRP 有待进一步研究;另外震后应急物流系统具有很强的不确定性,因而进一步的研究还应考虑应急物资需求、救援车辆行驶时间等方面的多种随机性或模糊性因素。

#### 参考文献:

[1] OZDAMAR L, EKINCI E, KUCUKYAZICI B. Emergency logistics planning in natural disasters [J]. Annals of Operations Research, 2004, 129(4): 217-245.

[2] BARBAROSOGLU G, OZDAMAR L, CEVIK A. An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 140(1):118-133.

[3] YUAN Yuan, WANG D. Path selection model and algorithm for emergency logistics management [J]. Computer & Industrial Engineering, 2009, 56(2):1081-1094.

[4] SHEU J B. Challenges of emergency logistics management [J]. Transportation Research Part E, 2007, 43(2):655-659.

[5] SHEU J B. Dynamic relief-demand management for emergency logis-

tics operations under large-scale disasters [J]. Transportation Research Part E, 2010, 46(4): 1-17.

[6] MIN H, JAYARAMAN V, SRIVASTAVA R. Combined location-routing problems: a synthesis and future research directions [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 108(1): 1-15.

[7] NAGY G, SALHI S. Location-routing: issues, models and methods [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 177(2): 649-672.

[8] 汪寿阳,赵秋红,夏国平. 集成物流管理系统中的定位—运输线路安排问题的研究 [J]. 管理科学学报, 2000, 3(2):69-75.

[9] 林岩,胡祥培,王旭茵. 物流系统优化中的定位—运输路线安排问题 (LRP) 研究评述 [J]. 管理工程学报, 2004, 18(4):45-49.

[10] YI W, OZDAMAR L. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179(3): 1177-1193.

[11] TOMASINI R M, WASSENHOVE L N van. Pan-American health organization's humanitarian supply management system: depoliticization of the humanitarian supply chain by creating accountability [J]. Journal of Public Procurement, 2004, 4(3):437-49.

[12] 徐琴,马祖军,李华俊. 城市突发公共事件在应急物流中的定位—路径问题研究 [J]. 华中科技大学学报:社会科学版, 2008, 22(6): 65-68.