

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.04.024

时变条件下应急物流多目标 LRP 研究

赵佳虹

(西南交通大学 交通运输与物流学院, 四川 成都 610031)

摘要: 应急物流系统的多目标选址-路径问题主要旨在解决应急物流中心的选址问题、物流中心处理能力的设定问题和各类应急物资车辆运输路径的选择问题。基于既有研究成果, 主要考虑时变条件下物资需求的多样性特点, 兼顾应急物资类型的多样性特点和物流中心最小处理量要求, 以运输路线能力和含有富余度系数的物流中心能力为约束条件, 以时间和费用最小化为优化目标, 建立了更为完善的多目标 0-1 混合整数线性规划模型。采用百分比无量纲化技术消除优化目标的量纲, 并设计了基于目标规划的模型求解算法。通过算例试验, 对比分析了 0-1 混合整数线性规划模型与既有模型的时间和费用。结果表明, 相较于既有模型, 该模型所得的选址-路径方案在费用和时间的消耗上都有所下降, 更符合应急物流管理的实践工作。

关键词: 运输经济; 选址-路径; 多目标模型; 目标规划; 应急物资; 时变

中图分类号: U492

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2012) 04-0137-06

Multi-objective Location-routing Problem in Emergency Logistics as Time Varies

ZHAO Jiahong

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

Abstract: The multi-objective location-routing problem in emergency logistics aims to decide where to open emergency logistics centers, how much capacity and how to route different types of emergency relief between relief collection nodes, emergency logistics centers and relief demand nodes. Based on the current literatures, considered the diversity of relief demands as time varies as well as the diversity of relief types and emergency logistics centers' minimize treatment amount requirements, taken the route capacity and the emergency logistics centers' capacity with surplus degree as constraints and taken the minimum time and cost as optimal objectives, a multi-objective 0-1 mixed-integer linear programming model for this problem was proposed. Adopted percentage normalization technique to normalize the objective units, the algorithm was designed to solve this model. Through an experimental example, a comparing analysis of the time and cost between this 0-1 mixed-integer linear programming model and the exiting one was conducted. The results proved that the location-routing scheme got from this new model could decrease the cost and time when comparing with the exiting model, and then, this new model would be more in line with the practice of emergency logistics management.

Key words: transport economics; location-routing; multi-objective model; goal programming; emergency relief; time-varying

0 引言

所谓的应急物流系统, 主要包括了应急物资的

收集、运输和配送等环节。如图 1 所示, 在该系统中, 应急物资从物资收集点运至应急物流中心; 应急物流中心将物资运往需求点; 同时, 由于需求的

收稿日期: 2011-08-30

作者简介: 赵佳虹 (1986-), 女, 山西山阴人, 博士研究生. (zhaojiahong1@126.com)

不确定性,应急物资也可直接由收集点运往需求点。



图1 应急物流系统

Fig. 1 Emergency logistics system

随着自然灾害、公共事件、军事冲突等突发事件发生频率的增加和深度的加剧,突发性事件给人类生存和社会发展构成了重大威胁,并给应急救助工作带来了巨大挑战。应急物资的高效调配运输对灾后救援救助工作的及时开展具有举足轻重的作用。因此,对应急物资进行有效的收集、运输和配送就构成了应急物流系统的核心内容^[1]。由于灾后救援救助工作具有阶段性特点,在突发事件发生后,不同的时间段,救援救助工作对不同类型的应急物资的需求量是不同的。即是说,应急物资的需求量具有时变特性,而应急物流系统的优化有必要考虑这一时变特性。

近年来,应急物流管理的相关问题引起了学术界的研究热潮,各国学者就有关物流系统优化的研究发表了大量文献。其中,文献^[2]已经分别从理论界定、问题描述、模型构建和算法设计等方面,针对应急物流的内涵、应急设施选址、运输路径选择的既有研究情况进行了综述。具体而言,分别考虑了突发事件、应急物资类型和不同应急时期物资需求的多样性^[3-7],通过聚类分析对物资需求点进行分组,以费用或时间为目标,建立了动态规划或随机规划优化的目标模型,并设计了相应的求解算法,借助如GIS等现代计算机技术,指导应急物流管理的实践工作。但以上研究大多只涉及了应急物流系统的某一部分,如应急物资的供应或配送,而没有将这2部分结合起来进行联合研究。其中,文献^[8]虽然较为全面地考虑了应急物流选址-路径问题的各方面,但多目标模型中,时间优化目标未考虑物资在物流中心的中转时间。费用优化目标未考虑物流中心的运营费用;也没有考虑由于需求的不确定性,而使得应急物流中心的最大能力含有一定富余度。同时,物资也可直接由收集点运至需求点。

文献^[8-9]只针对设施选址或车辆运输路径一个NP问题进行研究,而没有将这2个NP问题进行协同优化。而文献^[10-11]在协同优化这2个问题的同时,主要考虑了应急物资需求的不确定性,利用模糊数学理论建立了模糊多目标模型来解决选

址-路径问题;文献^[12]则以政府实施大范围的应急救助工作为背景,就受灾严重程度的不同对灾区进行了等级划分,设计了一个多组别、多阶层、多等级的应急物流系统网络结构,考虑了应急物资在不同组别、阶层和等级的救助机构之间的交叉供给的情况,建立了相应的灾区分组模型和设施选址模型,但模型中没有包括时间这一优化目标。

总体而言,既有文献对在考虑问题的全面程度、模型构建的完善程度和算法设计的高效性等方面都取得了一定的研究成果,但是,将应急物资需求量的时变特性作为主要背景进行优化问题的探讨,并在此基础上进行模型改进与算法设计的研究并不多。因此,针对图1所示的应急物流系统,本文提出的应急物流多目标选址-路径问题(ELMLRP)特别将应急救助时期进行了阶段性的划分,将不同应急时期对各类物资的不同需求纳入物流系统进行研究,即考虑了时变条件下各类物资需求的多样性;同时,协同考虑了应急物资类型的多样性,应急物流中心最小处理量要求,运输线路能力限制,以及含有富余度系数的应急物流中心能力限制;主要确定了应急物流中心的建设位置、建设规模和应急物资的车辆运输路径。在既有文献的基础上,以时间和费用最小化为目标,建立了考虑问题更为完善的多目标0-1混合整数线性规划模型。

1 数学模型

1.1 基本假设

构建ELMLRP模型前提出以下基本假设:(1)各类应急物资均采用公路运输,网络节点满足车辆运输可达性,即只考虑各可达节点间的物资运输,不考虑如空运等其他方式的运输;(2)应急物资与运输车辆满足相容性条件;(3)各类应急物资满足相容性条件,即不相容的物资不在同一时间由同一车辆运输;(4)各应急物资收集点和应急物流中心拥有足够数量的运输车辆,且车辆无工作时间限制。

1.2 目标分析

ELMLRP模型包括时间和费用最小化2个优化目标。其中,时间主要由应急物资在物流中心的中转时间,应急物资在物资收集点、物流中心和需求点间的运输时间组成;费用主要由应急物流中心的修建费用和运营费用,以及应急物资在物资收集点、物流中心和需求点间的运输费用组成。

1.3 符号说明

以应急物流系统为基础构建一个运输网络。其

中,网络节点包括物资收集点、应急物流中心建设候选点、物资需求点和其他中间节点。

令 $N(V, E)$ 代表应急物流系统运输网络,其中, V 为顶点集合, E 为网络中连接两顶点的道路集合。 $V = S \cup T \cup D \cup O$, 其中, $S(1, 2, \dots, s)$ 代表应急物资收集点的集合, $T(1, 2, \dots, t)$ 代表应急物流中心建设候选点的集合, $D(1, 2, \dots, d)$ 代表应急物资需求点的集合, $O(1, 2, \dots, o)$ 代表中间节点或转运节点的集合。 $R(1, 2, \dots, r)$ 代表各类型应急物资的集合; $L(1, 2, \dots, l)$ 代表应急救助时期的集合。

常量: a_{rij} 代表物资 r 自收集点 i 至物流中心 j 的单位运输成本, $r \in R, i \in S, j \in T$; a'_{rij} 代表物资 r 自物流中心 i 至需求点 j 的单位运输成本, $r \in R, i \in T, j \in D$; a''_{rij} 代表物资 r 自收集点 i 至需求点 j 的单位运输成本, $r \in R, i \in S, j \in D$; b_i 代表物流中心 i 的建设固定成本, $i \in T$; c_{ri} 代表物资 r 在物流中心 i 的单位储存成本, $r \in R, i \in T$; s_{ril} 代表在时期 l 物资 r 在收集点 i 的收集量, $r \in R, i \in S, l \in L$; d_{ril} 代表在时期 l 物资 r 在需求点 i 的需求量, $r \in R, i \in D, l \in L$; e_{rij} 代表物资 r 自收集点 i 至物流中心 j 的最大运量, $r \in R, i \in S, j \in T$; e'_{rij} 代表物资 r 自物流中心 i 至需求点 j 的最大运量, $r \in R, i \in T, j \in D$; e''_{rij} 代表物资 r 自收集点 i 至需求点 j 的最大运量, $r \in R, i \in S, j \in D$; φ_{ilr} 代表物流中心 i 在时期 l 处理物资 r 的最大能力, $i \in T, l \in L, r \in R$; ζ_{ilr} 代表物流中心 i 在时期 l 对物资 r 的最小处理量, $i \in T, l \in L, r \in R$; η 代表物流中心能力的富余度系数, $0 \leq \eta \leq 1$; t_{rij} 代表物资 r 自收集点 i 至物流中心 j 的单位运输时间, $r \in R, i \in S, j \in T$; t'_{rij} 代表物资 r 自物流中心 i 至需求点 j 的单位运输时间, $r \in R, i \in T, j \in D$; t''_{rij} 代表物资 r 自收集点 i 至需求点 j 的单位运输时间, $r \in R, i \in S, j \in D$; f_{rli} 代表在时期 l 物资 r 在物流中心 i 的单位中转时间, $r \in R, i \in T, l \in L$; M 为一个无穷大的正整数。

变量: x_{rij} 代表物资 r 在时期 l 自收集点 i 至物流中心 j 的运量, $r \in R, i \in S, j \in T, l \in L$; x'_{rij} 代表物资 r 在时期 l 自物流中心 i 至需求点 j 的运量, $r \in R, i \in T, j \in D, l \in L$; x''_{rij} 代表物资 r 在时期 l 自收集点 i 至需求点 j 的运量, $r \in R, i \in S, j \in D, l \in L$; y_{rli} 代表物资 r 在时期 l 在物流中心 i 的储存量, $r \in R, l \in L, i \in T$; p_i 为 0-1 变量, 若建设应急物流中心 i , 则为 1, 反之为 0, $i \in T$ 。

1.4 ELMLRP 模型

$$\min z_1 = \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in T} y_{rli} f_{rli} + \left(\sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in S} \sum_{j \in T} x_{rij} t_{rij} + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in T} \sum_{j \in D} x'_{rij} t'_{rij} + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in S} \sum_{j \in D} x''_{rij} t''_{rij} \right), \quad (1)$$

$$\min z_2 = \sum_{i \in T} b_i p_i + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in T} c_{ri} y_{rli} + \left(\sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in S} \sum_{j \in T} a_{rij} x_{rij} + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in T} \sum_{j \in D} a'_{rij} x'_{rij} + \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} \sum_{i \in S} \sum_{j \in D} a''_{rij} x''_{rij} \right), \quad (2)$$

$$\text{s. t. } y_{ril} = \sum_{j \in S} x_{rji}, r \in R, i \in T, l \in L; \quad (3)$$

$$\sum_{j \in S} x_{rji} = \sum_{k \in D} x'_{rki}, i \in T, l \in L; \quad (4)$$

$$\sum_{j \in T} x_{rij} + \sum_{k \in D} x''_{rik} \leq s_{ril}, r \in R, i \in S, l \in L; \quad (5)$$

$$\sum_{k \in T} x'_{rki} + \sum_{j \in S} x''_{rji} \geq d_{ril}, r \in R, i \in D, l \in L; \quad (6)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in T} x_{rij} \leq \sum_{i \in S} \sum_{j \in T} e_{rij}, l \in L; \quad (7)$$

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in D} x'_{rij} \leq \sum_{i \in T} \sum_{j \in D} e'_{rij}, l \in L; \quad (8)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in D} x''_{rij} \leq \sum_{i \in S} \sum_{j \in D} e''_{rij}, l \in L; \quad (9)$$

$$y_{rli} \geq \varphi_{ilr} p_i, r \in R, l \in L, i \in T; \quad (10)$$

$$y_{rli} \leq (1 - \eta) \zeta_{ilr} p_i, r \in R, l \in L, i \in T; \quad (11)$$

$$y_{rli} = 0, r \in R, l \in L, i \in (V - T); \quad (12)$$

$$y_{rli} \leq M p_i, r \in R, i \in T, l \in L; \quad (13)$$

$$s_{ril} \geq 0, r \in R, l \in L, i \in S; \quad (14)$$

$$d_{ril} \geq 0, r \in R, l \in L, i \in D; \quad (15)$$

$$e_{rij} \geq 0, r \in R, i \in S, j \in T; \quad (16)$$

$$e'_{rij} \geq 0, r \in R, i \in T, j \in D; \quad (17)$$

$$e''_{rij} \geq 0, r \in R, i \in S, j \in D; \quad (18)$$

$$t_{rij} \geq 0, r \in R, i \in S, j \in T; \quad (19)$$

$$t'_{rij} \geq 0, r \in R, i \in T, j \in D; \quad (20)$$

$$t''_{rij} \geq 0, r \in R, i \in S, j \in D; \quad (21)$$

$$f_{rli} \geq 0, r \in R, i \in S, l \in L; \quad (22)$$

$$y_{rli} \geq 0, r \in R, l \in L, i \in T; \quad (23)$$

$$x_{rij} \geq 0, r \in R, l \in L, i \in S, j \in T; \quad (24)$$

$$x'_{rij} \geq 0, r \in R, l \in L, i \in T, j \in D; \quad (25)$$

$$x''_{rij} \geq 0, r \in R, l \in L, i \in S, j \in D; \quad (26)$$

$$p_i \in \{0, 1\}, i \in T; \quad (27)$$

$$\sum_{i \in T} p_i \geq 1. \quad (28)$$

式 (1) 和式 (2) 为目标函数。式 (1) 表示最小化时间, 式 (2) 表示最小化费用。约束条件为式

(3) ~ (28)。其中,式(3)和式(4)表示各时期各类物资在网络中各节点的流量守恒等式;式(5)表示各时期只能运输各收集点实际收集到的物资;式(6)表示各时期内物资需求点的需求都应满足;式(7)~式(9)为各时期各运输线路的最大能力约束;式(10)为各时期物流中心的最小处理量约束;式(11)为各时期物流中心带富余度系数的最大能力约束;式(12)表示物流中心只能在候选点建设;式(13)表示决策变量的逻辑关系;式(14)~式(22)为各常量的定义域约束;式(23)~式(27)为各决策变量的定义域约束;式(28)表示至少建立一个物流中心。

2 求解算法

2.1 算法设计

ELMLRP模型是一个多目标线性规划模型,若令 $X = \{x, x', x'', y, p\}$ 代表ELMLRP的决策变量向量; $Z(X)$ 代表其目标函数; $Z_1(X)$ 和 $Z_2(X)$ 分别代表模型中的时间和费用2个子目标函数; F 代表其可行域。不失一般性,对于多目标优化问题,都有一个无需证明的定理:

若多目标优化问题 $\{Z(X) = \min(\dots, Z_i(X), \dots) \mid X \in F\}$ 存在最优解 $Z^* = (\dots, Z_i^*(X), \dots)$,且其任意一个子目标对应的单目标优化问题 $\{z_i(X) = \min z_i(X) \mid X \in F\}$ 也存在最优解 z_i^* ,则必有 $Z_i^* \geq z_i^*$ 。

根据此定理,可在求解每一个子目标对应的单目标优化问题后,将该多目标优化问题转化为单目标优化问题并进行求解,最终求得有效解。但是,由于时间和费用2个子目标度量单位不同,简单的加权求和不能将多目标优化问题转化为单目标优化问题;同时,转化为单目标问题后,子目标的优先等级、权系数具有模糊性,难以确定。对此,可利用目标规划方法将多目标优化问题转化为单目标优化问题,在设定2个子目标优先等级相同,且都为1的基础上,采用百分比无量纲化方法^[3],消除时间和费用2个子目标的量纲,进而确定其权系数。

2.2 算法步骤

综上所述,ELMLRP模型求解算法的具体实施步骤为:

步骤1 求解单目标优化问题 $\{z_i(X) = \min z_i(X) \mid X \in F\}$,得最优目标函数值 z_i^* , $i = 1, 2$ 。

步骤2 引入正负偏差变量 d_i^+ 和 d_i^- ,将子目标转化为约束条件 $z_i(X) - d_i^+ + d_i^- = z_i^*$, $i = 1, 2$ 。

步骤3 构造无量纲化系数 $\lambda_i = \frac{100}{z_i^*}$, $i = 1, 2$,

建立目标规划模型。

$$\begin{aligned} \min z &= \sum_{i=1}^2 \lambda_i d_i^+ + \sum_{i=1}^2 \lambda_i d_i^-, \\ \text{s. t. } &\begin{cases} z_i(X) - d_i^+ + d_i^- = z_i^*, i = 1, 2, \\ X \in F. \end{cases} \end{aligned}$$

步骤4 求解目标规划模型,得到时变条件下的ELMLRP的选址和路径方案。

3 计算实例

某应急物流系统的运输网络共有节点9个,道路27条。其中,节点1、2和3为应急物资收集点,节点4、5和6为应急物流中心建设候选点,节点7、8和9为应急物资需求点;节点间各道路均满足物资运输要求;运输车辆与应急物资满足运输相容性。

假设应急工作分为3个时期,以时期1、2和3表示;各时期内,物资收集点提供3类应急物资,以物资1、2和3表示。物资收集点、需求点以及应急物流中心候选点相关信息见表1、表2和表3。物资1、2和3的运费分别是150、100和200 CNY/(批·km);道路信息见表4、表5和表6。

表1 物资收集点信息

Tab. 1 Relief collection nodes

收集点	物资1	物资2	物资3
	/(批·时期 ⁻¹)	/(批·时期 ⁻¹)	/(批·时期 ⁻¹)
1	400	500	400
2	400	300	300
3	200	200	300

注:各应急时期内,各收集点的各类物资收集量相同。

表2 物资需求点信息

Tab. 2 Relief demand nodes

需求点	物资1			物资2			物资3		
	/(批·时期 ⁻¹)			/(批·时期 ⁻¹)			/(批·时期 ⁻¹)		
	时期1	时期2	时期3	时期1	时期2	时期3	时期1	时期2	时期3
10	400	500	200	400	500	200	400	500	200
11	300	300	200	300	300	200	300	300	200
12	200	100	200	200	100	200	200	100	200

3.1 计算结果

运用数学优化软件Lingo11.0编程,计算的时间单目标优化问题的最优解结果为46 280 h, 10 384 000 CNY,中心选址为节点4;费用单目标优化问题的最优解结果为69 620 h, 8 290 000 CNY,中心选址为节点5。而求解多目标优化问题得到的部分计算结果见表7。

表 3 应急物流中心建设候选点信息
Tab. 3 Emergency logistics center candidates

候选点	建设费用 (×10 ⁶ CNY)	运营费用/(CNY · 批 ⁻¹)			最大能力/(CNY · 批 ⁻¹)			中转时间/(CNY · 批 ⁻¹)			最小处理量/(CNY · 批 ⁻¹)		
		物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3
4	30	200	350	300	600	1 000	800	1	2	2	100	200	120
5	20	200	350	300	1000	1200	700	3	3	4	150	180	140
6	20	200	350	300	800	600	500	2	2	1	200	120	100

注: 应急物流中心能力冗余度系数为 0.15, 每个应急时期内各应急物资的运营费用、最大能力和中转时间都相同。

表 4 收集点与应急物流中心建设候选点间的道路信息
Tab. 4 Links between relief collection nodes and emergency logistics center candidates

网络 节点	距离 /km			运输时间 /h									最大运输能力 /批								
	4	5	6	4			5			6			4			5			6		
				物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3
1	5	6	2	7	10.5	21	3	4.5	9	8	12	24	150	120	180	100	80	120	120	100	140
2	2	4	6	5	7.5	15	3	4.5	9	7	10.5	21	160	130	150	120	100	140	150	120	180
3	8	3	4	2	3	6	10	15	30	5	7.5	15	120	100	140	100	80	120	100	80	120

注: 各应急时期内,表中的各数据相同,每条道路上各类型应急物资的运输时间相同。

表 5 应急物资中心建设候选点与需求点间的道路信息
Tab. 5 Links between emergency logistics center candidates and relief demand nodes

网络 节点	距离 /km			运输时间 /h									最大运输能力 /批								
	7	8	9	7			8			9			7			8			9		
				物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3
4	6	4	7	6	9	18	3	4.5	9	8	12	24	120	100	140	150	120	180	100	80	120
5	3	4	4	3	4.5	9	4	6	12	1	1.5	3	150	120	180	160	130	200	120	100	140
6	5	8	3	8	12	24	6	9	18	5	7.5	15	100	80	120	120	100	100	100	80	120

注: 各应急时期内,表中的各数据相同,每条道路上各类型应急物资的运输时间相同。

表 6 收集点与需求点间的道路信息
Tab. 6 Links between relief collection nodes and relief demand nodes

网络 节点	距离 /km			运输时间 /h									最大运输能力 /批								
	7	8	9	7			8			9			7			8			9		
				物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3
1	12	12	10	6	9	18	3	4.5	9	5	7.5	15	100	80	150	120	100	120	150	100	180
2	4	8	13	4	6	12	5	7.5	15	4	6	12	120	90	160	150	120	120	160	180	150
3	10	9	15	3	4.5	9	6	9	18	2	3	6	100	80	120	100	80	100	120	120	150

注: 各应急时期内,表中的各数据相同,每条道路上各类型应急物资的运输时间相同。

3.2 结果分析

由此可见,本文设计的求解算法可以得到 ELLRP 的折中解。同文献 [7] 相比,若时间单目标不考虑物资在物流中心的中转时间、在收集点和需求点间的运输时间;费用单目标不考虑应急物流中心的运营费用、物资在收集点和需求点间的运输费用,则计算这 2 个单目标求得的最优解包括以上的时间和费用在内的结果为 51 770 h 和 10 003 000

CNY,相较于本文的单目标最优解结果,分别增加了 10.6% 和 17.1%。因此,本文的 ELMLRP 模型更符合应急物流管理的实际工作,其考虑的问题更全面,使得时间和费用的单目标结果更优。

4 结论

在既有研究的基础上,将时变条件下物资需求的多样性、物流中心最小处理量要求、运输线路能

表 7 算例多目标部分计算结果
Tab. 7 Parts of result of multi-objective problem

目标值			运输路径								
时间/h	费用/ CNY	选址	时期 1			时期 2			时期 3		
			物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3	物资 1	物资 2	物资 3
53 570	11 881 955	4,5			1-4,100	1-4,100	1-4,160		1-4,100		1-4,20
				1-4,160	3-4,20	1-4,100	1-4,160		1-5,70	1-4,160	1-5,100
			1-4,100	2-4,40	4-7,120	4-7,100	2-4,40	2-4,40	2-5,80	1-5,95	2-4,100
			4-7,100	4-9,200	1-7,300	4-7,100	4-7,100	3-4,100	4-1,100	2-4,40	2-5,40
			1-7,300	1-7,40	1-8,180	2-7,100	4-9,100	4-8,120	5-8,150	2-5,85	4-8,120
			2-8,200	1-8,300	2-7,180	2-8,200	1-7,40	1-7,220	1-7,100	4-7,200	5-8,140
			2-9,200	2-7,260	2-9,20	2-9,100	1-8,300	2-7,280	1-9,130	5-9,180	1-7,40
			3-8,100	3-7,100	3-9,20	3-8,100	2-7,260	3-9,100	2-8,50	1-8,200	1-9,240
									2-9,70	1-9,45	2-7,160
									3-9,300		3-9,300

注: (1-4,100) 表示应急物资从节点 1 运输至节点 4,运量为 100 批次。

力约束以及含有富余量的物流中心能力限制纳入约束条件; 时间优化目标考虑了应急物流中心的中转时间和应急物流网络中各节点间的运输时间; 费用优化目标则考虑了应急物流网络中各节点间的运输费用, 设施选址费用和运营费用, 使得所研究的 ELMLRP 模型更为完善合理。同时, 利用目标规划方法, 将多目标转化为单目标优化问题, 根据时间和费用 2 个优化目标度量单位的不同, 采用百分比无量纲化方法确定了 2 个优化目标的权重, 进而设计了 ELMLRP 模型的求解算法, 对于中小型规模的实际问题, 可借助常规数学优化软件, 如 IBM ILOG CPLEX、GAMS 和 LINGO 等求解。通过算例的试验分析, 表明了本文算法的可行性, 同时, 相较于既有模型, 本文所构建的新模型所得的选址-路径方案在费用和时间的消耗上都有所下降。但是, 将突发事件的多样性, 物资需求量预测, 应急物资与运输车辆的相容性, 运输车辆能力约束以及需求满意度的优化目标等内容一并纳入应急物流系统进行综合考虑, 并针对大规模的问题设计有效的算法等问题, 都仍值得进一步的研究。

参考文献:

References:

[1] SHEU J B. Challenges of Emergency Logistics Management [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007, 43 (6): 655-659.

[2] CAUNHYE M A, NIE X F, POKHAREL S. Optimization Models in Emergency Logistics: A literature Review [J].

Socio-Economic Planning Sciences, 2012, 46 (1): 4-13.

[3] HAGHANI A, OH S C. Formulation and Solution of a Multi-commodity, Multi-modal Network Flow Model for Disaster Relief Operations [J]. Transportation Research A: Policy and Practice, 1996, 30 (3): 231-250.

[4] GUTIERREZ G J, KOUVELIS P, KURAWALA A A. A Robustness Approach to Uncapacitated Network Design Problems [J]. European Journal of Operations Research, 1996, 94 (2): 362-376.

[5] FIEDICH F, GEHBAUER F, RICKERS U. Optimized Resource Allocation for Emergency Response after Earthquake Disasters [J]. Safety Science, 2000, 35 (1/3): 41-57.

[6] ÖZDAMAR L, EKINCI E, KÜÇÜKYAZACI B. Emergency Logistics Planning in Natural Disasters [J]. Annals of Operations Research, 2004, 129 (1/4): 217-245.

[7] TZENG G H, CHENG H J, HUANG T D. Multi-objective Optimal Planning for Designing Relief Delivery Systems [J]. Transportation Research Part E, 2007, 43 (6): 673-676.

[8] 方磊, 何健敏. 应急系统优化选址的模型及其算法 [J]. 系统工程学报, 2003, 18 (1): 49-54.

FANG Lei, HE Jianmin. Optimal Location Model and Algorithm of Emergency System [J]. Journal of Systems Engineering, 2003, 2 (1): 49-54.

[9] 刘春林, 何建敏, 盛昭瀚. 应急系统调度问题的模糊规划方法 [J]. 系统工程学报, 1999, 12 (4): 351-356.

- Volume [J]. Modern Transportation Technology, 2007, 4 (6): 56-59.
- [6] 袁长伟, 王建伟. 高速公路货流统计方法与实证分析 [J]. 公路交通科技, 2009, 26 (10): 149-158.
YUAN Changwei, WANG Jianwei. Analysis of Statistical Method of Expressway Freight Flow Volume and Verification [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (10): 149-158.
- [7] 陈善智, 张建勇, 李超, 等. 高速公路货运量与轴重关系研究 [J]. 交通标准化, 2009 (224): 26-30.
CHEN Shanzhi, ZHANG Jianyong, LI Chao, et al. Relationship of Freight Volume and Axle Load on Expressway [J]. Transport Standardization, 2009 (224): 26-30.
- [8] 交通部公路司. 印发关于收费公路试行计重收费指导意见的通知 [R]. 北京: 交通部公路司, 2005.
Highway Department of Ministry of Communications The Printed Notice about the Guide Opinion of Taking the Trial Practice of Loading-based Toll Collection [R]. Beijing: Highway Department of Ministry of Communications, 2005.
- [9] 刘拥华, 和永军, 缪应峰, 等. 高速公路计重收费模型研究及改进 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (5): 153-158.
LIU Yonghua, HE Yongjun, MIAO Yingfeng, et al. Research and Improvement of Expressway Loading Based Toll Collection Model [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (5): 153-158.
- [10] LIU Yonghua, SUN Jingyi, MIU Yingfeng. Research on the Calculation Method of Link Traffic Volume Based on Database of Expressway Loading Based Toll Collection [C] // 2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, Xianning: IEEE, 2011: 3478-3481.
- [11] 云南省交通厅, 云南省交通科学研究所, 云南省公路投资开发有限公司. 规范和调整云南省经营性高速公路车辆通行费收费标准听证报告 [R]. 昆明: 云南省交通厅, 2007.
Yunnan Communications Department, Traffic Science Research Institute of Yunnan Province, Yunnan Provincial Highway Investment and Development Co. Ltd. Hearing Report about Standardizing and Adjusting the Charging Fees Criterion of Passing Vehicles on Operating Expressway in Yunnan Province [R]. Kunming: Yunnan Communications Department, 2007.
- [12] 叶长征, 钟足峰. 基于联网收费数据预测行程时间的实现 [J]. 微计算机信息, 2007, 23 (17): 44-46.
YE Changzheng, ZHONG Zufeng. Realization of an OD Traveling Time Forecast System Based on Highway Network Toll Data [J]. Microcomputer Information, 2007, 23 (17): 44-46.

(上接第142页)

- LIU Chunlin, HE Jianmin, SHENG Zhaohan. Fuzzy Programming for Scheduling Problem in Emergency Systems [J]. Journal of Systems Engineering, 1999, 12 (4): 351-356.
- [10] 刘春林, 施建军, 李春雨. 模糊应急系统组合优化方案选择问题的研究 [J]. 管理工程学报, 2002, 12 (2): 25-28.
LIU Chunlin, SHI Jianjun, LI Chunyu. Selection of the Combinatorial Optimal Scheme for Fuzzy Emergency System [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2002, 12 (2): 25-28.
- [11] 郑斌, 马祖军, 方涛. 应急物流系统中的模糊多目标定位-路径问题 [J]. 系统工程, 2008, 26 (8): 21-25.
ZHENG Bin, MA Zujun, FANG Tao. Fuzzy Multi-objective Location-routing Problem in Emergency Logistics System [J]. Systems Engineering, 2008, 26 (8): 21-25.
- [12] CHANG M S, TSENG Y L, CHEN J W. A Scenario Planning Approach for the Flood Emergency Logistics Preparation Problem under Uncertainty [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007, 43 (6): 737-754.
- [13] TAMIZ M, JONES D, ROMERO C. Goal Programming for Decision Making: An Overview of the Current State-of-the-art [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 111 (3): 569-581.