

陈湑, 林勇. 大数据背景下台风灾害应急物流车辆调度优化仿真[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 194-197. [CHEN Tian and LIN Yong. Typhoon disaster emergency logistics vehicle dispatching optimization simulation under big data background[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 194-197. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.035.]

大数据背景下台风灾害应急物流车辆调度优化仿真*

陈湑¹, 林勇²

(1. 福州理工学院, 福建 福州 350000; 2. 福建商学院, 福建 福州 350000)

摘要: 台风灾害事件发生后的救援阶段, 应急救援物资有限且物资需求点对物资需求具有不确定性。现有调度数学模型只考虑了救援车辆调度距离以及时间等因素, 没有考虑到提供给受灾点的救援物资可能存在不足或是过量及其对应应急救援效果的影响, 导致调度成本过高。针对以上问题, 提出基于离散蜂群的台风灾害应急物流车辆调度优化模型。考虑到提供给受灾点的应急物资可能不足或是过量的特点, 在设定受灾点所需物资量遵从正态分布的前提下, 以最小化物资分配不足和供应过量所带来的损失、车辆调度成本为优化目标, 考虑受灾点对服务时间的要求和车辆承载能力等约束, 构建了紧迫性需求条件下的调度问题的优化模型, 并采用离散蜂群算法对调度问题优化模型进行求解。实验结果表明, 所提模型与其他调度数学模型相比, 有效降低了应急物流车辆调度成本, 可为台风灾害应急管理提供科学的决策依据。

关键词: 大数据背景; 台风灾害; 应急物流; 车辆调度优化; 离散蜂群

中图分类号: X43; TP301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0194-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.035

我国对台风灾害的预报已达到非常高的水平, 但突发性的台风事故时有发生^[1-2]。突发性的台风事故造成了大量的人员伤亡和财产损失, 必然需要对灾区及时供应所需物资, 对人员、资金进行紧急转移。若不及时解决, 受灾面积、人员伤亡、财产损失将会扩大^[3]。应急物流车辆调度是保证台风灾害应急救援工作得以开展的基础。现阶段车辆调度数学模型以追求应急救援时间最短为目标, 能够满足时间限制约束条件, 但所需调度成本较高, 难以满足实际的突发性台风灾害应急需要^[4]。在这种情况下, 如何在满足受灾点应急物流时间窗约束下, 合理安排应急物流车辆运输以尽可能地节省调度成本, 成为该领域亟待研究的主要问题, 受到了广泛关注^[5-6]。

国内外对自然灾害应急物流车辆调度已有大量的研究, 例如朱娜等^[7]提出一种基于矢量投影-理想点法的应急物流车辆调度优化模型。该模型以应急救援时间、物资供应点数量、运输成本为车辆调度优化目标, 在车辆承载能力等约束条件下构建多目标优化模型, 并使用“矢量投影-理想点法”对多目标调度优化模型进行求解。张雷等^[8]提出基于优先等级的应急物流车辆调度优化

模型。考虑到自然灾害发生初期应急物资需求影响因素, 采用可变集理论确定不同物资需求点应急救援优先级, 在此基础上以整个应急救援时间最短为目标函数构建应急物流车辆调度优化模型。该模型能够满足时间限制约束条件, 但所需调度成本较高。

在当前研究成果中, 台风灾害应急物流车辆调度优化的目标都是以最小化调度时间、车辆调度距离等因素进行简化假设, 没有考虑到前期物资供应是否充足, 及救援物资供应不足对台风灾害应急救援效果的影响。针对上述问题, 在充分考虑关键救援阶段应急物资不足的基础上, 构建了考虑紧迫性变化需求的应急物流车辆调度优化模型。

1 台风灾害应急物流车辆调度优化模型

1.1 应急调度问题优化模型

在大数据背景下, 考虑到台风灾害发生后关

* 收稿日期: 2018-07-06 修回日期: 2018-08-15

基金项目: 2017年福建省本科高校重大教育教学改革项目(FBJG20170129); 2018年福建省本科高校教育教学改革研究项目“基于创新创业理念的物流专业实践教学改革”(FBJG20180063)

第一作者简介: 陈湑(1981-), 女, 福建福州人, 硕士, 副教授, 研究方向为物流管理. E-mail: zz356398632@163.com

通讯作者: 林勇(1975-), 男, 福建福州人, 硕士, 教授, 研究方向为大数据云计算. E-mail: nkdef546@163.com

键救援阶段应急物资可能供应不足的情况, 设定受灾点物资需求量满足正态分布。考虑提供给受灾点物资过量或是不足所造成的调度损失, 以最小化物资分配损失、车辆调度成本等为优化目标, 构建调度问题优化模型, 具体过程如下所述:

假设, DN 表示台风灾害应急物资需求点集合, SN 表示物资提供点集合, $N = DN \cup SN$, 且满足 $i, j, k \in N$, V 表示所有用于应急救援的车辆数量, d_k 表示某个受灾点 $k \in DN$ 实际所需物资量, 该变化量相应的概率密度函数为 $f_k(x)$; Z_k 表示需求点 $k \in DN$ 上物资实际供应数量; α 和 β 分别表示提供给受灾点物资过量或是不足时所损失的调度成本, W 表示车辆抵达最近物资需求点的固定成本, l_{ij} 表示车辆从受灾点 i 到达 j 的行驶距离, M 表示常数。以下给出决策变量:

$$X_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{节点为救援车辆行驶路径上点后的紧邻点;} \\ 0, & \text{否则 } \forall i, j \in N, \forall v \in V. \end{cases} \quad (1)$$

为了便于台风灾害应急物流车辆调度模型的建立, 结合公式(1)给出的决策描述, 对应急物流车辆调度问题作出以下合理假设:

(1) 每个物资需求点对应急物资的需求遵从正态分布, 且彼此独立。

(2) 全部应急救援车辆类型相同, 各个物资需求点对应一辆应急救援车辆。考虑到救援行动时间紧迫性, 救援车辆返回后不再次运输, 争取第一次调度阶段完成全部应急运输任务。

(3) 应急救援车辆在不同应急物资需求点的服务时间, 均包含在相应的行驶时间之内。

在台风灾害关键救援阶段应急资源不足的情况较多, 但对于任何一个物资需求点, 分配物资的过量或少量都会影响台风灾害事件应急救援效果。即提供给不同受灾点的救援物资应当与受灾点所需物资需求相吻合。可在应急物流车辆调度优化模型目标函数中添加惩罚函数^[9], 以对物资供应不足或是过量的情况进行均衡和评价。对于应急物资需求点 $k \in DN$, 当物资提供点物资调度数量与实际受灾点所需物资数量不吻合时, 其不足量 Δd_k^- 和超出量 Δd_k^+ 可分别表示为:

$$\Delta d_k^- = \max\{0, d_k - z_k\}; \quad (2)$$

$$\Delta d_k^+ = \max\{0, z_k - d_k\}. \quad (3)$$

结合上述论述, 可知在受灾点 k 上实际提供的救援物资量大于实际需求量的几率为:

$$P_k(\phi) = P_k(d_k \leq z_k). \quad (4)$$

分析上式可知, 对于应急物资需求点 k , 提供给受灾点的物资不足或是过量而导致的期望损失分别表示为:

$$E(\Delta d_k^+) = \int_0^{z_k} (z_k - t) f_k; \quad (5)$$

$$E(\Delta d_k^-) = \int_{z_k}^{+\infty} (t - z_k) f_k. \quad (6)$$

式中: t 表示救援时间。

在台风灾害应急关键救援阶段, 可用于救灾

物资运输的车辆通常是有限的, 在满足实际受灾点实际需求的前提下, 应急物流车辆使用数量越少越好, 可在目标函数中添加对物资调度车辆运输成本的衡量。通过上述分析, 可构建考虑紧迫性需求的调度问题优化模型:

$$\min \varphi = (\alpha E(\Delta d_k^+) + \beta E(\Delta d_k^-)) + \sum_{v \in V} \sum_{j \in DN} X_{\varphi}; \quad (7)$$

$$s. t. \quad \sum_{i \in N} \sum_{k \in DN} z_k \leq Q; \quad (8)$$

$$\sum_{j \in DN} X_{\varphi} \leq \vartheta_i; \quad (9)$$

$$t_i^v + t_{ij} - t_j^v \leq X_{\varphi} M; \quad (10)$$

$$t_i^v \leq T_i. \quad (11)$$

应急物流车辆调度优化模型目标函数式(7)由四部分构成, $\alpha E(\Delta d_k^+)$ 表示提供给受灾点的物资少于该受灾点所需物资而导致的期望损失, $\beta E(\Delta d_k^-)$ 表示提供给受灾点的物资超过该受灾点所需物资而导致的期望损失, $\sum_{v \in V} \sum_{j \in DN} X_{\varphi}$ 表示应急救援全部车辆运输成本, X_{φ} 表示救援车辆使用成本。公式(8)表示救援车辆载重限制, Q 表示应急车辆最大载重。公式(9)表示相同物资提供点发出的车辆数量, ϑ_i 表示物资提供点 $i \in SN$ 含有的车辆数量。公式(10)表示应急车辆达到需求受灾点 j 的时刻, t_{ij} 表示应急车辆从受灾点 i 到达 j 的行驶时间, t_i^v 表示车辆 $v \in V$ 达到某个受灾点 $i \in DN$ 的时间, t_j^v 表示车辆 $v \in V$ 达到某个受灾点 $j \in DN$ 的时间。公式(11)表示应急救援车辆抵达需求点的时刻需要满足服务时间窗要求, T_i 表示受灾点 $i \in DN$ 能接受物资最晚供应的时刻。

1.2 基于离散蜂群的调度问题优化模型求解

采用离散蜂群算法对车辆调度问题优化模型进行求解, 从编码方式、变异、交叉和贪婪选取等方面进行改进, 通过阶段进展调节种群交叉和变异概率进行个体淘汰操作, 有效提高调度问题的最优解质量。具体过程如下所述:

台风灾害应急物流车辆调度优化问题已被证明是 NP 难问题, 采用离散蜂群算法^[10]进行求解, 使用 $(n' + m' - 1)$ 的自然数对蜜源进行编码, $1, 2, \dots, n'$ 表示 n' 个灾害救援需求点的编号, $n'(n' + m' - 1)$ 用于描述将 n' 个灾害救援需求点划分为 m' 条调度路线。实际编码过程中没有考虑到应急救援车辆的载重容量约束以及不同救援需求点的硬时间窗约束。运用离散蜂群算法构造了蜜源编码的评价函数 $f(\tau)$, 用于计算不同蜜源编码所映射的解相应的适应度值:

$$f(\tau) = \sum_{i=1}^n (c_{ij} x_{ij}^k) + \alpha_1 \sum_{i=1}^n \max\{\tau_i - d_i\} + \alpha_2 \sum_{i=1}^n \max\{(t_{ij} \vartheta_i) - Q\}. \quad (12)$$

式中: $\sum_{i=1}^n (c_{ij} x_{ij}^k)$ 表示台风灾害应急救援车辆调度问题的目标函数值, c_{ij} 表示车辆从 i 抵达 j 的运输成本, x_{ij}^k 表示蜂群转移规则, $\sum_{i=1}^n \max\{\tau_i - d_i\}$ 和

$\sum_{i=1}^n \max \{ (r_i y_i^k) - Q \}$ 分别表示违反车辆载重容量约束和硬时间窗约束生成的惩罚值, τ_i 表示供应点提供的物资量, d_i 表示某个受灾点 $i \in DN$ 实际所需物资量, α_1 和 α_2 分别表示惩罚系数。

为了提高离散蜂群算法的搜索能力, 运用离散差分搜索方法对蜂群个体进行邻域搜索, 具体步骤如下:

(1) 变异部分。针对当前离散蜂群中个体 ρ , 设定交叉概率 ℓ_m 和变异转换 φ_m , 新蜂群个体的生成过程满足下式:

$$\rho^m = \begin{cases} \varphi_m(\pi), & \text{若 } \text{rand}(0, 1) < \ell_m; \\ \pi, & \text{否则。} \end{cases} \quad (13)$$

(2) 针对实现变异转变生成的新的个体 ρ^m , 设定交叉概率 ℓ_c 和交叉转换 φ_c , 蜂群中新个体 ρ^c 的生成过程为:

$$\rho^c = \begin{cases} \varphi_c(\rho^m), & \text{若 } \text{rand}(0, 1) < \ell_c; \\ \rho^m, & \text{否则} \end{cases} \quad (14)$$

式中: 交叉变换 φ_c 选取部分匹配交叉算子。

(3) 贪婪选取部分。针对离散蜂群中的原始个体 ρ 和实现变异、交叉转换的个体 ρ^c , 结合不同个体的适应度值, 执行贪婪操作生成新的个体, 即:

$$\rho^{new} = \begin{cases} \rho^c, & \text{若 } f(\rho^c) \leq f(\rho) \\ \rho, & \text{否则} \end{cases} \quad (15)$$

针对当前离散蜂群中的 P 个蜜源均需要执行离散差分搜索。根据轮盘赌机制选取当前种群中任意蜜源进行离散差分搜索, 给出第 P 个蜜源 ρ_p 被选取的几率值。当离散蜂群算法达到最大迭代次数时, 完成调度问题优化模型求解:

$$K = \beta_p f(\rho_p) / \sum_{p=1}^P f(\rho_p) \quad (16)$$

式中: β_p 表示第 p 个蜜源 ρ_p 被选取的几率值, $f(\rho_q)$ 、 $f(\rho_p)$ 分别表示完成交叉的个体 ρ_q 、 ρ_p 相应的适应度值, q 表示第 q 个蜜源。

2 实验结果与分析

某沿海地区发生台风灾害, 共有 6 个受灾点需要物资救援, 采用计算机仿真技术, 使用 paramics 仿真软件, 对构建的台风灾害应急物流车辆调度优化模型进行验证分析。受灾地区交通运输网络如图 1 所示。现有一批物资需要从应急供应点 1 运输到不同的需求点, 6 表示当前等待救援的受灾点, 未来物资需求点为 2, 3, 4, 5, 且物资运输过程中无物资补充。

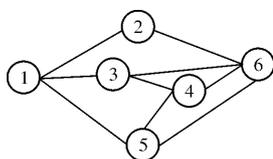


图1 物资需求点地区交通运输网络

设定应急物资供应点共有 5000 个单位的物资,

每个物资供应点提供一台运输车。不同应急物资供应点的单位物资需求量如表 1 所示。

表 1 各个物资需求点的单位物资需求量

物资需求点	单位物资需求量/kg
2	550
3	800
4	1000
5	650
6	900

经过计算机仿真模拟, 可计算得到应急救援车辆抵达不同物资需求点的最优救援调度路径, 选取方案结果如表 2 所示。

表 2 救援车辆抵达受灾点的最优救援运输路径

未来受灾点	选取最优路径	调度所需时间/min	最少应急物资未满足量/kg
2	1-2-6	140	132
3	1-3-6	80	0
4	1-3-4-6	100	125
5	1-5-6	180	175

分析表 2 可知, 当前物流需求点在位置 6, 假设未来阶段台风灾害点发生在位置 3 时, 调度应急物资所需时间最少, 且有充足的应急救援物资; 假设未来阶段台风灾害点发生在位置 5 时, 救援物资调度所需时间最多, 且应急救援物资未满足量最大。相比当前的哪里发生灾害再考虑向发生灾害的受灾点提供物资运输的情况, 所构建的优化模型能够提前对可能发生台风灾害的受灾点进行救援准备, 当发生突发性台风灾害事件时也能及时应对。

为了进一步验证所提模型的综合有效性, 将所提模型与基于矢量投影-理想点法的应急物流车辆调度优化模型和基于优先等级的应急物流车辆调度优化模型的车辆调度成本进行对比, 对比结果如图 2 所示。为了便于描述, 将所提模型、基于矢量投影-理想点法的应急物流车辆调度优化模型和基于优先等级的应急物流车辆调度优化模型分别表示为 MI 、 VU 、 PI 。

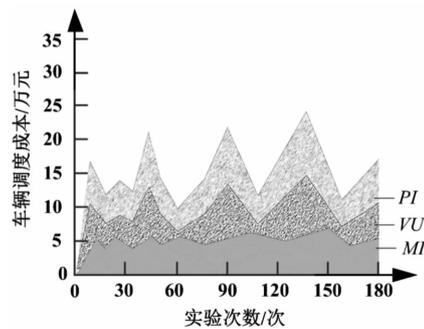


图 2 不同模型车辆调度成本的对比

分析图 2 可知, 所提模型相比基于矢量投影-理想点法的应急物流车辆调度优化模型和基于优先等级的应急物流车辆调度优化模型车辆调度成

本较少, 且仿真效果更稳定。基于优先等级的应急物流车辆调度优化模型车辆运输成本最高, 主要原因在于该模型以整个应急救援时间最短为目标函数, 没有考虑到调度成本问题, 导致最终车辆调度成本较高。

3 结论

现阶段的应急物流车辆调度优化模型多数只考虑了调度距离以及时间等因素, 没有考虑到提供给受灾点的救援物资是否充足, 导致最终应急救援效果并不好。对此方面加以改进, 综合救援运输车辆承载容量和物资需求点的硬时间窗约束, 构建以最小化调度费用为目标的应急物流车辆调度问题模型, 并采用离散蜂群算法对应急物流车辆调度问题模型进行求解。通过仿真实验验证了所提模型的综合有效性, 能够满足台风灾害事件发生时, 应急物流车辆调度的需要。

所构建的应急物流车辆调度优化模型可为相关应急供应管理部门提供有效决策。但篇幅有限, 没有考虑到未满足救援物资供应量的灾害点进行补偿运输, 这是未来阶段需要进一步研究的问题。

Typhoon Disaster Emergency Logistics Vehicle Dispatching Optimization Simulation under Big Data Background

CHEN Tian¹ and LIN Yong²

(1. Fuzhou Institute of Technology College, Fuzhou 350000, China;

2. Fujian Business University, Fuzhou 350000, China)

Abstract: In the rescue phase after the typhoon disaster incident, emergency relief supplies are limited and the demand for materials at the material demand point is uncertain. The existing dispatching mathematical model only considers factors such as the distance and time of the dispatch of the rescue vehicles, and does not consider that the relief supplies provided to the affected points may have insufficient or excessive amounts and the impact of the corresponding emergency rescue results, resulting in an excessively high dispatching cost. To solve the above problems, a typhoon disaster emergency logistics vehicle scheduling optimization model based on discrete bee colony is proposed. Taking into account the characteristics of emergency supplies provided to the disaster site may be insufficient or excessive, in the premise of setting the amount of material required for the disaster site to follow a normal distribution, the losses and vehicles caused by underestimation of material resources and oversupply Scheduling cost is the optimization goal, taking into account the constraints of service time requirements and vehicle carrying capacity of the affected site, constructing an optimization model of the scheduling problem under the urgency demand conditions, and using a discrete bee colony algorithm to solve the optimization model of the scheduling problem. The experimental results show that compared with other scheduling mathematical models, the proposed model can effectively reduce the emergency logistics vehicle dispatching cost and can provide scientific decision-making basis for the typhoon disaster emergency managers.

Key words: big data background; typhoon disaster; emergency logistics; vehicle scheduling optimization; discrete bee colony

参考文献:

- [1] 吕峻闽, 徐鸿雁, 郭进, 等. 关于应急物流快速传输路径规划仿真研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(9): 394-397.
- [2] 郭子雪, 曹万鹏. 基于区间数的应急物资调度决策模型及算法研究[J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(1): 24-31.
- [3] 段满珍, 陈光, 董博, 等. 不确定信息下应急救援路径选择模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(4): 173-181.
- [4] 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.
- [5] 杨建亮, 侯汉平. 基于自然灾害的大众应急物资快速投送问题研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2017, 16(4): 72-79.
- [6] 滕威. 基于 GIS 的物流配送车辆调度系统的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2017, 25(18): 50-53.
- [7] 朱娜, 郑亚平. 复杂物流网络下的应急物资分配模型[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(19): 133-141.
- [8] 张雷. 基于优先等级的震后应急物资冰 LRP 优化决策模型[J]. 系统科学与数学, 2017, 37(2): 491-501.
- [9] 于福莹, 宋之杰, 崔冬初. 高速公路分阶段协作应急资源调度模型[J]. 公路交通科技, 2016, 11(9): 136-140.
- [10] 高志鹏, 颜奥娜, 杨杨, 等. 面向应急救援的多目标资源调度机制[J]. 北京邮电大学学报, 2017, 40(S1): 1-4.