

两级车辆路径问题下的应急物资配送策略与绩效

张汉鹏¹, 廖毅¹, 邱菀华²

(1. 西南财经大学工商管理学院, 成都 610074; 2. 北京航空航天大学经管学院, 北京 100191)

摘要: 研究应急物资配送中的两级车辆路径决策策略与应急物资配送绩效问题. 首先以最后完成任务的最小时间为目标, 建立了两级车辆路径模型; 然后针对主仓库恢复配送时间不确定性问题, 提出了4种应对策略: 独立策略、乐观协同策略、悲观协同策略和折中协同策略, 设计了多起点迭代局部搜索算法和仿真程序; 最后通过数值算例比较了4种策略对应急物资配送绩效的影响, 比较结果表明, 折衷协同策略的表现效果最好.

关键词: 不确定决策; 两级车辆路径问题; 配送绩效

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

Emergency resource delivery strategy and performance based on two echelon vehicle routing problem

ZHANG Han-peng¹, LIAO Yi¹, QIU Wan-hua²

(1. School of Business Administration, Southwestern University of Finance and Economic, Chengdu 610074, China;

2. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China. Correspondent: ZHANG Han-peng, E-mail: Zhanghanpeng@163.com)

Abstract: The two echelon vehicle route decision strategies and the performance in rescue resource distribution system are analyzed. Firstly, a min-max two echelon vehicle routing model is developed. Then, for the main warehouse delay time uncertainty, four decision strategies are proposed, which are simple strategy, optimistic collaboration strategy, pessimistic collaboration strategy and mixed collaboration strategy. A multi-star iteration local search algorithm and simulation program are developed. Finally, numerical studies are presented to compare the impact of decision strategies on the relief performance, and the results show that mixed collaboration strategy is the best strategy in four strategies.

Keywords: uncertain decision; two echelon vehicle routing problem; delivery performance

0 引言

在目前已有的研究中, 关于结合单级车辆路径问题的研究已经非常丰富, 而关于结合多级车辆路径问题的研究还较为少见. 多级车辆路径问题是由 Crainic 等^[1]于 2008 年给出的, 他们将交通网络分为 2 层: 第 1 层是由主仓库到中介点; 第 2 层是由中介点到最终客户. 每层的车辆都有能力限制, 中介点的物资需求只能由第 1 层的车辆提供, 且第 1 层的车辆只能经过中介点 1 次. 第 2 层的客户只能由一个中介点的车辆提供物资, 且中介点的车辆只能经过客户 1 次. 在此基础上进行的扩展研究以及两级定位路径问题的研究均较为有限^[2-7]. 因此, 目前该问题仍是一个较新的研究课题.

在与车辆路径问题相关的应急研究中, 刘春林

等^[8]研究了多出救点的紧急物资调度问题, 构建了一个应急时间最早前提下出救点数目最少, 以及限制期条件下出救点数目最少的应急模型; 王军等^[9]针对应急响应基地的物资储备量无法满足海上突发事件的物资需求的前提, 构建了一个三级应急物资协同调度模型, 并提出了一种贪婪算法; 张毅等^[10]针对灾后道路抢修与救灾物资配送问题, 利用时空网络流动技巧, 构建了在有限时间内同时获得最佳抢修效益和物资配送的方案, 该方案可提高救灾工作效率.

较多的应急管理研究采用的目标函数是最小救援总成本. 实际上, 最后接收到救援物资的时间也常被用作衡量救援绩效的指标, 这类问题即最小最大车辆路径问题. 在最小最大路径问题的研究中, 刘霞等^[11-12]针对拥有 m 辆相同型号车的单级车辆路径问

收稿日期: 2013-12-08; 修回日期: 2014-05-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71331004); 西南财经大学中央高校基金项目; 教育部人文社科项目(14XJC630010).

作者简介: 张汉鹏(1977—), 男, 副教授, 博士, 从事优化理论与算法等研究; 廖毅(1978—), 男, 副教授, 博士, 从事优化理论等研究.

题, 提出了一种改进禁忌搜索算法, 但该研究也是针对单级车辆路径问题的. 目前, 对于多级车辆路径问题进行研究的文献还较为少见.

本文研究了一类特殊的应急救援车辆路径问题, 并提出了在该不确定环境下的决策策略, 分析了不同决策策略对应急物资配送绩效的影响.

1 问题描述与模型开发

受灾区域有 n_s 个当地分发中心和 n_c 个受灾点, 每个受灾点的物资需求为 d_c , 由 2 个主仓库负责将救援物资配送到当地分发中心. 其中: 主仓库 0 配送 n_{0s} 个当地分发中心, 主仓库 1 配送 n_{1s} 个当地分发中心, $n_{0s} + n_{1s} = n_s$.

基本假设: 1) 物资均为 1 次配送到位; 2) 每个主仓库、每个车队的配送能力均大于所有受灾点的需求之和; 3) 每个分发中心只允许由 1 个主仓库的 1 个车队配送物资; 4) 受灾点需求只能由 1 个分发中心配送, 不能直接接收第一级车队的配送; 5) 所有受灾点的需求之和与分发中心车队配送能力之和相等.

变量基本含义: $V_s = \{v_{s1}, v_{s2}, \dots, v_{sn}\}$ 为当地分发中心集合, s_n 为当地分发中心数量; $V_c = \{v_{c1}, v_{c2}, \dots, v_{cn}\}$ 为受灾点集合, c_n 为受灾点数量; $V_l = \{v_{l1}, v_{l2}, \dots, v_{ln}\}$ 为主仓库 0 车队集合; $V_m = \{v_{m1}, v_{m2}, \dots, v_{mn}\}$ 为主仓库 1 车队集合; $Q^{(k)}$ 为分发中心 k 车队的配送能力; t_{0i}^l 为主仓库 0 车队 l 由起点到分发点 i 的运输时间; t_{ii}^m 为主仓库 1 车队 m 由起点到分发点 i 的运输时间; t_{ii}^l 表示由主仓库 0 车队 l 配送的, 经由分发中心 i 到 i' 的时间; t_{ii}^m 表示由主仓库 1 车队 m 配送的, 经由分发中心 i 到 i' 的时间; t_{ij}^k 表示由当地分发中心 k 配送的, 经由受灾点 i 到 j 的时间; δ_0^l 为主仓库 0 车队 l 物资的受灾点接收物资的时间; δ_1^m 为主仓库 1 车队 m 物资的受灾点接收物资的时间; T_k^{0l} 为主仓库 0 车队 l 配送物资到当地分发中心 k 的时间; T_k^{1m} 为主仓库 1 车队 m 配送物资到当地分发中心 k 的时间; η^k 为分发点 k 配送物资的时间; x_{ij}^l 由主仓库 0 车队 l 配送, 若由分发中心 i 到 j 则为 1, 否则为 0; x_{ij}^m 由主仓库 1 车队 m 配送, 若由分发中心 i 到 j 则为 1, 否则为 0; y_{ij}^k 由当地分发中心 k 配送, 若受灾点 i 到 j 则为 1, 否则为 0; V_{ck} 为分发点 k 配送物资的受灾点集合; V_{0s} 为主仓库 0 配送物资的分发点集合; V_{1s} 为主仓库 1 配送物资的分发点集合.

基本模型如下:

$$\begin{aligned} & \min \delta^{\max} \\ & \text{s.t. } \delta \leq \delta^{\max}, \forall k \in V_s, \forall \delta \in \{\delta_0^l, \delta_1^m\}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\delta_0^l = T_k^{0l} + \eta^k, \forall k \in V_{0s}, \forall l \in V_l; \quad (2)$$

$$\delta_1^m = T_k^{1m} + \eta^k, \forall k \in V_{1s}, \forall m \in V_m; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} T_k^{0l} &= \sum_{k|V_{0s}} t_{0k}^l x_{0k}^l + \sum_{k|V_{0s}} \sum_{k'|V_{0s}} t_{kk'}^l x_{kk'}^l, \\ & \forall k, k' \in V_{0s}, \forall l \in V_l; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} T_k^{1m} &= \sum_{k|V_{1s}} t_{1k}^m x_{1k}^m + \sum_{k|V_{1s}} \sum_{k'|V_{1s}} t_{kk'}^m x_{kk'}^m, \\ & \forall k, k' \in V_{1s}, \forall m \in V_m; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \eta^k &= \sum_{i|V_{ck}} t_{ki}^k y_{ki}^k + \sum_{i|V_{ck}} \sum_{j|V_{ck}} t_{ij}^k y_{ij}^k + \sum_{j|V_{ck}} t_{jk}^k y_{jk}^k, \\ & \forall k \in V_s; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{j|V_s} x_{ij}^l = \sum_{j|V_s} x_{ji}^l, \forall l \in V_l, \forall i \in \{0, 1, V_s\}; \quad (7)$$

$$\sum_{j|V_s} x_{ij}^m = \sum_{j|V_s} x_{ji}^m, \forall m \in V_m, \forall i \in \{0, 1, V_s\}; \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j|V_s} x_{ij}^l + x_{ij}^m &= 1, \forall l \in V_l, \forall m \in V_m, \\ & \forall i \in \{0, 1, V_s\}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sum_{j|V_s} y_{ij}^k = \sum_{j|V_s} y_{ji}^k, \forall k \in V_s, \forall i \in V_c; \quad (10)$$

$$\sum_{j|V_s} y_{ij}^k = 1, \forall k \in V_s, \forall i \in \{V_s, V_c\}; \quad (11)$$

$$\sum_{c \in V_{ck}} d_c = Q^k, \forall c \in V_{ck}, \forall k \in V_s; \quad (12)$$

$$x_{ij}^l \in \{0, 1\}, \forall i \in \{0, 1, V_s\}, \forall j \in V_s, \forall l \in V_l;$$

$$x_{ij}^m \in \{0, 1\}, \forall i \in \{0, 1, V_s\}, \forall j \in V_s, \forall m \in V_m;$$

$$y_{ij}^k \in \{0, 1\}, \forall k \in V_s, \forall i \in \{V_s, V_c\}, \forall j \in V_c.$$

其中: 目标函数是最小化物资配送时间的最大值, 即最后完成配送任务分发中心的时间最小化; 约束(1)表示每个分发中心完成任务的时间均小于等于最大时间值; 约束(2)和(3)分别为主仓库 0 和主仓库 1 配送的受灾点接收物资的时间, 由第一级配送时间和第二级配送时间构成; 约束(4)和(5)分别表示主仓库 0 的第一级配送时间和主仓库 1 的第一级配送时间; 约束(6)表示各个当地分发点的配送时间; 约束(7)和(8)分别表示主仓库 0 和主仓库 1 车队对应的分发中心进出车辆平衡; 约束(9)表示每个分发点车辆均只能由主仓库 0 或者主仓库 1 的车队配送; 约束(10)表示每个受灾点进出车辆平衡; 约束(11)表示每个受灾点只允许由 1 个分发中心配送; 约束(12)表示每个分发中心配送的受灾点需求之和与该分发中心配送能力相等.

2 多起点迭代局部搜索算法

上述模型是一类确定性模型, 最后完成配送任务的分发中心的时间是判断整个救援物资配送绩效的标准. 该模型也是两级定位车辆路径问题的一个变形. 因此, 可以利用多起点形成初始解的全局思想和局部

搜索算法确定主仓库0车队和主仓库1车队分别配送的当地分发中心和第一级路径,同时确定当地分发中心配送的受灾点集合和第二级路径.该启发式算法的流程如下.

输入:受灾点坐标集合 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$; 受灾点需求集合 $q = \{q_{c1}, q_{c2}, \dots, q_{cn}\}$; 当地分发中心坐标集合 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$; 当地分发中心车辆容量集合 $Q = \{Q^{v_{s1}}, Q^{v_{s2}}, \dots, Q^{v_{sm}}\}$; 主仓库坐标集合 $s = \{M_0, M_1\}$; 主仓库车辆容量集合 $VQ = \{VQ_0^0, VQ_2^0, \dots, VQ_n^0; VQ_1^1, VQ_2^1, \dots, VQ_n^1\}$; 局部搜索最大迭代次数 L_{max} , 全局搜索最大迭代次数 G_{max} .

输出: 第一级车辆路径, 当地分发中心的车辆路径.

令 $G_n = 0, L_n = 0$, 执行如下步骤.

Step 1: 对当地分发中心随机排序, 依据先主仓库0车队, 后主仓库1车队的顺序依次分配当地分发中心, 形成第一级车辆路径; 对受灾点随机排序, 依据分发中心顺序依次分配受灾点, 形成第二级路径. 由此得到初始解 S .

Step 2: 对初始解 S 执行 OPT2 子程序, 形成新解 S' .

Step 3: 对 S' 执行合并子程序, 形成由所有受灾点构成的大环游 $Tour$.

Step 4: 对 $Tour$ 执行变异子程序, 形成新的大环游 $Tour'$.

Step 5: 对 $Tour'$ 执行分解子程序, 形成新解 S'' .

Step 6: 如果与 S'' 对应的目标函数小于与 S' 对应的目标函数, 则 $S \leftarrow S''$; 如果 $L_n < L_{max}$, 则转 Step 4, 否则执行下一步骤.

Step 7: 如果 $G_n < G_{max}$, 则终止, 否则转 Step 1.

在合并子程序中, 根据先主仓库0, 后主仓库1的次序和第一级车辆路径确定的当地分发中心顺序, 依次链接每个当地分发中心的受灾点集合 V_{ck} , 形成包含所有受灾点的大环游 $Tour$, 并首尾相连. 在变异子程序中, 在 $Tour$ 中路径最长的3个链接中随机选择一个断开, 以断开后的 $Tour$ 的后段作为起始, 并将前段放在后段后面形成新的 $Tour'$. 在分解子程序中, 根据先主仓库1, 后主仓库0的点集次序, 依次将 $Tour'$ 上的受灾点分配到分发中心车辆 k 中, 并满足分发中心车辆的容量限制, 形成新解 S'' .

3 决策策略分析

在灾害救援过程中, 经常遇到泥石流、道路塌方等2次灾害和救援交通堵塞等各种突发情况, 同时也可能存在由于救援物资准备不充分而不能展开配送的情况. 假定主仓库0和主仓库1在出发前由于道路塌方和组织协调等各种原因导致同时停滞, 恢复配送的时间 T_0, T_1 均服从均值为 T 、方差为 σ 的正态分布,

且恢复配送时间在 $[T - 3\sigma, T + 3\sigma]$ 区间内. 2个主仓库为了通力协作完成配送任务, 如何在该不确定情景下进行决策是本文探索的核心问题. 在此背景下, 上述确定模型转变为随机模型

$$\gamma(T_0, T_1) = \min E[\delta^{\max}(T_0, T_1)].$$

$$\delta_k(T_0, T_1) \leq \delta^{\max}(T_0, T_1), \quad (13)$$

$$\delta_0(T_0, T_1) = T_0 + T_k^{0l}(T_0, T_1) + \eta_0(T_0, T_1), \quad (14)$$

$$\delta_1(T_0, T_1) = T_1 + T_k^{1m}(T_0, T_1) + \eta_1(T_0, T_1). \quad (15)$$

考虑到2个主仓库谁先恢复配送面临的决策情景是一致的, 本文仅对主仓库0先恢复配送情景下的决策过程进行阐释, 并比较不同决策策略对应急物资配送绩效的影响. 假定主仓库0在时刻0首先恢复配送后, 并不确定主仓库1的恢复通行时间. 在此情景下, 主仓库0需要2次决策完成配送. 首先, 在对方恢复配送时间未知时, 根据本文提出的策略确定第一级路径和第二级路径计划并执行; 其次, 在对方恢复配送时间已知时, 根据当时情景确定新的路径计划并执行. 假定主仓库1在主仓库0恢复配送后 t 时刻恢复配送, 如图1所示. 在图1中: 矩形代表主仓库, 黑点代表分发中心, 小圆点代表受灾点, 虚线代表根据本文策略确定的第一阶段路径, 在 t 点需进行第二阶段决策. 此外, 图中只示意了左下角主仓库2个车队第一阶段部分的初始路径.

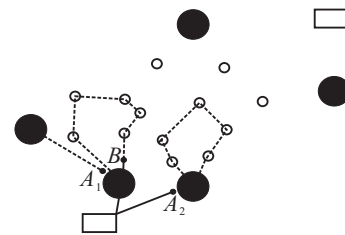


图1 决策过程

在主仓库1恢复配送时刻 t 的情景下: 主仓库0的第1个车队已经配送完第1个分发中心, 向第2个分发中心配送的过程已进行到 A_1 点, 第1个分发中心向第1个受灾点配送过程已进行到 B 点; 主仓库0的第2个车队还未前进到第1个分发中心, 但已进行到 A_2 点.

本文假定: 1) 第2阶段的决策时间点为对方恢复配送的时刻 t , 即在时刻 t 确定新的第一级路径计划和第二级路径计划, 目标函数中的配送时间从时刻 t 算起. 2) 已完成配送的分发中心和受灾点均不再参与第2阶段的决策. 例如, 图1中第1个车队的第1个分发点不再加入第2步决策. 3) 正在进行配送中的分发点和受灾点在第2阶段决策中为确定点, 作为约束条件加入新的优化模型中. 例如, 第2个车队的第1个分发中心为确定点, 第1个车队第1个分发中心配送的第1个受灾点也为确定点.

在此基础上, 本文提出2类决策策略.

1) 单独策略 (s_1).

无论哪个主仓库首先恢复配送, 每个主仓库的车队均在剩余的分发中心点中选择最近的分发中心点进行配送. 同时, 每个分发中心也采取同样策略, 在剩余受灾点中以最近点原则确定受灾点路径.

2) 协同策略.

与单独策略相比, 主仓库0恢复通行后, 需要考虑主仓库1可能恢复开通的时间来确定自己的路径计划. 由于不确定主仓库1的恢复通行时间, 在此提出3种协同策略:

① 乐观协同策略 (s_2).

在主仓库0首先恢复配送, 主仓库1未恢复配送的情景下, 在起点和到达的每个分发中心点均假定主仓库1立即恢复配送, 即在起点假定对方立即恢复通行, 形成路径计划; 如果主仓库0的某个车队先到达第1个分发中心时, 对方仍未恢复配送, 则此时仍假定对方立即恢复通行, 形成新的路径计划. 由此可见, 如果对方未恢复配送, 则乐观协同策略每到达1个新的分发中心就调整1次路径计划.

对方恢复通行后, 问题变为确定问题, 执行第2阶段决策, 由本文提出的确定模型和图1阐释的规则确定最终方案即可.

② 悲观协同策略 (s_3).

主仓库0首先恢复配送后, 总是假定主仓库1在最后时刻恢复通行, 即如果主仓库0的某个车队到达第1个分发中心时, 主仓库1仍未恢复配送, 则仍按照事前计划执行配送任务. 由此可见, 如果对方未恢复配送, 则悲观策略并不需要每到1个分发中心就调整1次路径计划, 而是在对方恢复通行后再做调整.

在主仓库恢复通行后, 问题变为确定问题, 执行第2阶段决策, 由本文提出的确定模型和图1阐释的规则确定最终方案即可.

③ 折衷协同策略 (s_4).

主仓库0首先恢复配送后, 根据恢复时间 T_0 和执行的第1级路径时间之和与均值 T 的关系确定路径计划. 例如, 在恢复配送的起点: 如果 T_0 小于均值时间 T , 则假定主仓库1在均值 T 时刻恢复配送, 由此形成主仓库0车队的路径; 如果 T_0 大于均值 T , 则假定主仓库1即刻恢复配送, 由此形成主仓库0车队路径. 在先到第1个分发中心后: 如果 $T_0 + T_{01}$ 小于均值时间 T , 则仍按照原计划执行; 如果 $T_0 + T_{01}$ 大于均值时间 T , 则假定主仓库1即刻恢复配送, 重新计划路径. 由此可见, 折衷协同策略由主仓库0的恢复时间和车队执行时间确定是否在每个分发中心形成新的计划, 不一定在每个分发中心都要决策调整路径计划.

同样地, 在主仓库1恢复配送后, 问题变为确定

问题, 执行第2阶段决策, 由本文提出的确定模型和图1阐释的规则确定最终方案即可.

与单独策略相比, 乐观协同策略、悲观协同策略和折衷协同策略均考虑了对方的不确定性来安排自身的路径计划, 而不是仅根据自身时间最小化来安排自己的路径计划.

4 仿真流程

为了评估本文提出的4种策略的效果, 下面给出数值算例的仿真流程. 在仿真程序执行之前, 首先根据单独策略、乐观协同策略、悲观协同策略和折衷协同策略确定车队0的配送路径. 仿真流程的具体步骤如下.

输入: 主仓库随机恢复配送时间 $\{T_0, T_1\}$, 恢复配送时间区间 $[T_{\min}, T_{\max}]$, 仿真迭代次数 S_n ;

输出: 不同策略对应的最后获取救援物资的受灾点的救援时间平均值 T_{ave} .

Begin

$s = 1; T_{s_1} = 0, T_{s_2} = 0, T_{s_3} = 0, T_{s_4} = 0;$

for $s = 1 : S_n$

生成符合正态分布的随机数 T_0 和 T_1 ;

$T_{s_1} = \{T_0, T_1\}, T_{s_2} = \{T_0, T_1\},$

$T_{s_3} = \{T_0, T_1\}, T_{s_4} = \{T_0, T_1\};$

根据 T_0, T_1 和单独策略计算时间 $\delta(s_1)$;

$T_{s_1} = T_{s_1} + \delta(s_1);$

根据 T_0, T_1 和乐观协同策略计算时间 $\delta(s_2)$;

$T_{s_2} = T_{s_2} + \delta(s_2);$

根据 T_0, T_1 和悲观协同策略计算时间 $\delta(s_3)$;

$T_{s_3} = T_{s_3} + \delta(s_3);$

根据 T_0, T_1 和折衷协同策略计算时间 $\delta(s_4)$;

$T_{s_4} = T_{s_4} + \delta(s_4).$

end

$T_{ave}(s_1) = \frac{T_{s_1}}{S_n}, T_{ave}(s_2) = \frac{T_{s_2}}{S_n},$

$T_{ave}(s_3) = \frac{T_{s_3}}{S_n}, T_{ave}(s_4) = \frac{T_{s_4}}{S_n}.$

5 数值实验

数值实验以 Prodhon 为例^[13], 由于 Prodhon 研究的是 LRP2E 问题, 不适合本文的研究背景, 在 Prodhon 数据基础上给出每个例子中第一级2个主仓库坐标和恢复配送时间分布, 如表1所示. 考虑在不同协同策略中, 由1个主仓库车队完成所有分发中心的配送时间不同, 为了保证在所有策略下, 每个主仓库都有单独完成所有分发中心配送的可能性, 这里选择所有协同策略单独主仓库完成配送时间最大值作为恢复配送时间的区间最大值, 由此构造配送时间分布的均值和方差. 同时, 假定每个主仓库均有2个车队, 所有受灾点需求相同, 且每个分发中心车队的配送能力也相

同。

表1 主仓库坐标与恢复时间分布

算例	主仓库0坐标	主仓库1坐标	恢复时间分布
coord 50-5-1-2 e	(0, 50)	(50, 0)	(35, 11.7)
coord 50-5-2-2 e	(20, 40)	(60, 35)	(40, 13.3)
coord 50-5-3-2 e	(20, 20)	(20, 50)	(20, 6.67)
coord 100-5-1-2 e	(25, 0)	(25, 40)	(35, 11.7)
coord 100-5-2-2 e	(25, 0)	(25, 50)	(35, 11.7)
coord 100-10-1-2 e	(0, 0)	(40, 30)	(60, 20)
coord 100-10-2-2 e	(0, 0)	(60, 60)	(75, 25)
coord 100-10-3-2 e	(0, 0)	(35, 30)	(55, 18.3)

根据本文提出的仿真流程,分别利用4种策略对表1中的算例进行仿真,所得结果如表2所示。

表2 仿真结果

算例	s_1	s_2	s_3	s_4
coord 50-5-1-2 e	303.33	134.24	159.05	132.59
coord 50-5-2-2 e	201.76	159.67	176.11	142.81
coord 50-5-3-2 e	249.59	133.50	161.36	130.92
coord 100-5-1-2 e	423.76	196.71	222.59	183.51
coord 100-5-2-2 e	407.47	182.77	188.42	177.36
coord 100-10-1-2 e	533.77	173.50	194.88	170.75
coord 100-10-2-2 e	693.36	201.09	221.71	183.59
coord 100-10-3-2 e	518.89	174.10	197.03	160.68

由仿真结果可以看出,折衷协同策略的效果最好,单独策略的效果最差。这主要是由于本文研究的目标是以最后完成任务的时间作为评判指标,而不是以所有受灾点获取救援物资的时间之和作为评判指标。因此,只考虑自身效率,势必导致对方配送的时间越发延后。在折衷协同策略中,由于综合了2种原则,效果更好。乐观协同策略由于在对方恢复配送前,在到达的每个分发中心均进行调整,相对悲观协同策略要更好一些。

6 结 论

本文针对应急救援中的特定不确定环境下的决策策略,构建了两级车辆路径模型,提出了4种决策策略,并利用算例分析了不同决策策略对应的应急物资配送绩效。结果表明,协同策略相对独立策略在整个不确定时间区间内均具有显著优势,在协同策略中,折衷协同策略的表现效果最好。

参考文献(References)

- [1] Crainic T, Mancini S, Perboli G, et al. Multi-start heuristics for the two-echelon vehicle routing problem[C]. Proc of the 11th European Conf. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011: 179-190.
- [2] Perboli G, Tadei R, Vigo D. The two-echelon capacitated vehicle routing problem: Models and math-based heuristics[J]. Transportation Science, 2011, 45(3): 364-380.
- [3] Hemmelmayr V C, Cordeau J F O, Crainic T G. An adaptive large neighborhood search heuristic for two-

echelon vehicle routing problems arising in city logistics[J]. Computers Operations Research, 2012, 39(12): 3215-3228.

- [4] Crainic T G, Mancini S, Perboli G, et al. Clustering-based heuristics for the two-echelon vehicle routing problem[R]. Montreal: Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation, 2008.
- [5] Perboli G, Tadei R. New families of valid inequalities for the two-echelon vehicle routing problem[J]. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 2010, 36(1): 639-646.
- [6] 许维胜, 曾正洋, 徐志宇. 一种求解两级车辆路径问题的Memetic算法[J]. 控制与决策, 2013, 28(10): 1587-1590.
(Xu W S, Zeng Z Y, Xu Z Y. A memetic algorithm for solving two-echelon vehicle routing problem[J]. Control and Decision, 2013, 28(10): 1587-1590.)
- [7] Nguyen V P, Prins C, Prodhon C. A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012, 25(1): 56-71.
- [8] 刘春林, 何建敏, 施建军. 一类应急物资调度的优化模型研究[J]. 中国管理科学, 2001, 9(3): 29-36.
(Liu C L, He J M, Shi J J. The study on optimal model for a kind of emergency material dispatch problem[J]. Chinese J of Management Science, 2001, 9(3): 29-36.)
- [9] 王军, 陈金晶, 陆永祥, 等. 基于需求链的海上应急物资协同调度方法研究[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(6): 1727-1730.
(Wang J, Chen J J, Lu Y Y, et al. The study on collaborative scheduling method under emergency at sea based on demand chain[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(6): 1727-1730.)
- [10] 张毅, 郭晓汾, 李金辉. 灾后道路抢修和物资配送的整合优化算法[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 117-122.
(Zhang Y, Guo X F, Li J H. Combinatorial optimization algorithm of rapid road repair and material distribution after disaster[J]. J of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(2): 117-122.)
- [11] 刘霞, 齐欢. 最小-最大车辆路径问题的禁忌搜索算法[J]. 系统工程, 2007, 25(1): 49-52.
(Liu X, Qi H. Tabu search algorithm of min-max vehicle routing problems[J]. Systems Engineering, 2007, 25(1): 49-52.)
- [12] 刘霞, 杨超. 最小-最大车辆路径问题的蚁群算法[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2012, 13(3): 336-341.
(Liu X, Yang C. Min-max vehicle routing problem based on ant colony algorithm[J]. J of PLA University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2012, 13(3): 336-341.)
- [13] Caroline Prodhon. Instances LRP-2E(2 jeux d'instances) [EB/OL]. [2011-10-2]. <http://prodhonc.free.fr/homepage>.
(责任编辑: 闫妍)