

控制与决策

Control and Decision

考虑3PL承载能力时变的4PL协同路径定制问题

崔妍, 马跃, 王兴伟, 黄敏

引用本文:

崔妍, 马跃, 王兴伟, 等. 考虑3PL承载能力时变的4PL协同路径定制问题[J]. *控制与决策*, 2022, 37(3): 763–768.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.1307>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于16方向24邻域改进蚁群算法的移动机器人路径规划](#)

Mobile robots path planning based on 16–directions 24–neighborhoods improved ant colony algorithm

控制与决策. 2021, 36(5): 1137–1146 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0600>

[基于地标特征和元学习方法推荐最适用优化算法](#)

Recommending best suitable metaheuristic based on landmarking feature and meta–learning approach

控制与决策. 2021, 36(5): 1223–1231 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0993>

[基于时空聚类求解带容积约束的选址–路径问题](#)

Time–space cluster based location–routing problem with capacitate constraints

控制与决策. 2021, 36(10): 2504–2510 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0073>

[基于 \$\text{pm}3\sigma\$ 正态概率区间分族遗传蚁群算法的移动机器人路径规划](#)

Path planning of mobile robot based on $\text{pm}3\sigma$ normal probability interval population division using genetic ant–colony algorithm

控制与决策. 2021, 36(12): 2861–2870 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0745>

[考虑效率和公平的跨区域协同应急救援路径选择](#)

Routing optimization of cross–regional collaborative emergency rescue considering efficiency and fairness

控制与决策. 2021, 36(2): 483–490 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0919>

考虑 3PL 承载能力时变的 4PL 协同路径定制问题

崔妍^{1,2,5†}, 马跃¹, 王兴伟², 黄敏^{3,4}

- (1. 中国科学院沈阳计算技术研究所有限公司, 沈阳 110168;
2. 东北大学计算机科学与工程学院; 沈阳 110169; 3. 东北大学信息科学与工程学院, 沈阳 110004;
4. 东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室, 沈阳 110004; 5. 沈阳工程学院信息学院, 沈阳 110136)

摘要: 为进一步提升第四方物流(4PL)对多第三方物流(3PL)协同配送网络的适应能力,提出考虑 3PL 承载能力时变的 4PL 协同路径定制问题,建立允许货物在节点等待的非线性数学模型,设计基于蚁群和人工蜂群的两阶段混合智能算法(ACO-ABC). 算法中:第 1 阶段选择路径,使用蚁群算法得到问题的满意解;第 2 阶段选择优势路段的 3PL,利用人工蜂群算法搜索问题的最优解. 数值实验中,通过 ACO-ABC 与启发式算法和其他智能算法的比较,验证算法的优势. 实验分析表明,允许货物等待不仅能够发挥出 4PL 在协同路径定制中整合资源的作用,还可以节省总费用.

关键词: 第四方物流; 协同路径定制问题; 时变网络; 3PL 能力; 蚁群算法; 人工蜂群算法

中图分类号: F505 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.1307

引用格式: 崔妍, 马跃, 王兴伟, 等. 考虑 3PL 承载能力时变的 4PL 协同路径定制问题[J]. 控制与决策, 2022, 37(3): 763-768.

4PL collaborative routing customization problem's model and algorithm with 3PL suppliers' ability varying

CUI Yan^{1,2,5†}, MA Yue¹, WANG Xing-wei², HUANG Min^{3,4}

- (1. Shenyang Institute of Computing Technology Co. Ltd. CAS, Shenyang 110168, China; 2. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 3. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 4. State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 5. College of Information, Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China)

Abstract: For improving the fourth party logistics (4PL)'ability to the multi-third party logistics (3PL)' collaborative transportation network, a 4PL collaborative routing customization problem with 3PL suppliers' varied abilities is proposed. A nonlinear mathematic model which allows waiting on the transit node is built, and a two-stage hybrid algorithm which embeds the ant colony optimization (ACO) and artificial bee colony (ABC) algorithms is designed, where the ACO is used to find a route as the satisfy solution in the first stage and the ABC is employed to choose better 3PLs in the second stage. In the algorithm analysis, the effectiveness of the proposed algorithm is verified by testing the problem with different node numbers and algorithms. By analyzing whether to wait and whether to consider the time-varying capacity of the 3PL suppliers, it not only shows that the proper waiting can save the total cost, but also proves that the 4PL suppliers have the ability to integrate resources in the collaborative routing customization processes.

Keywords: fourth party logistics; collaborative routing customization problem; time varying networks; 3PL ability; ant colony algorithm; artificial bee colony algorithm

0 引言

在第四方物流(fourth party logistics, 4PL)整合第三方物流(the third party logistics, 3PL)的问题中, 3PL 作为独立单位, 它的承载能力可能会随承担任务数量

的变化而变化. 在不考虑时变承载能力时, 为了在任何时段均能完成任务, 3PL 往往给出的是最低的承载能力, 这无疑会提高 4PL 的运输费用.

承载能力时变性是普遍存在的问题. 当制造企

收稿日期: 2020-09-18; 录用日期: 2021-01-19.

基金项目: 国家自然科学基金重点国际合作研究项目(71620107003); 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1802115); 辽宁省高校创新团队支持计划项目(LT2016007); 流程工业综合自动化国家重点实验室基础科研业务费项目(2013ZCX11).

†通讯作者. E-mail: slccyy@163.com.

业与多个3PL供应商协同配送时,希望3PL在整个服务期间的承载能力均符合要求.因此,考虑3PL承载能力时变的4PL协同路径定制问题(the 4PL collaborative routing customization problem with varied 3PL suppliers'abilities, 4PLCRCPV)更具实际意义.然而,考虑3PL时变的承载能力,不仅会提升求解4PLCRCPV的计算量,还可能增加4PL采集数据的工作量.因此,这一问题在4PL路径问题^[1-4]的研究中尚属少见.但在其他领域,有关时变网络运输、设备能力有限性等已有研究.例如:文献[5]研究了变速环境车辆路径问题的行为及其对航线成本和油耗的影响;文献[6]研究了考虑车辆负荷、通行能力及时变速度等因素的软时间窗时变车辆路径问题;文献[7]针对时变路网条件下的低碳车辆路径问题,设计了交通拥堵规避方法并根据模型特点使用改进蚁群算法求解.

以上成果为4PLCRCPV研究打下了基础.对于承载能力时变的4PL问题,如果允许任务在运输途中“等待”,则可能避免使用费用较高的3PL供应商.因此,本文提出允许货物在中转节点等待并考虑3PL供应商停靠和转换成本的4PLCRCPV问题.设计蚁群算法搜索路径、人工蜂群算法局部寻优的蚁群-蜂群混合算法(ACO-ABC).实验中,通过对算例的测试和与其他几类算法的对比,说明ACO-ABC的优势.通过对3PL供应商等待时间、承载能力被占用率及存储费用等方面的对比,显示本文提出的模型不仅更贴近3PL供应商可能同时承载多种任务的实际情形,还为制造商节省更多的运输费用.

1 问题描述及模型

1.1 问题描述

假设某4PL供应商承揽了一项由节点 v_1 到节点 v_n 的运输任务. v_2, v_3, \dots, v_{n-1} 为中转节点, r 为3PL供应商的数目.每个3PL供应商具有时变的承载能力且它们在运输和经过中转节点时需要一定的时间和费用.如果在运输途中更换3PL供应商,则还需额外的转换时间和费用.为避免费用高时段运输,4PL还可以在中转节点停留,即在保障停留和运输时间之和不超过交货期的情况下使总费用最小.

将上述问题中 r 个3PL供应商视为边,并以编号 $1, 2, \dots, r$ 为标识,便得到如图1所示的4PLCRCPV运输网络多重图 $G(V, E)$.其中: $V(|V| = n)$ 为节点集, E 为边(3PL供应商)集.于是,为建立4PLCRCPV模型需要的参数及变量如下.

r : 3PL供应商的个数.

T : 客户要求的运输完成时间.

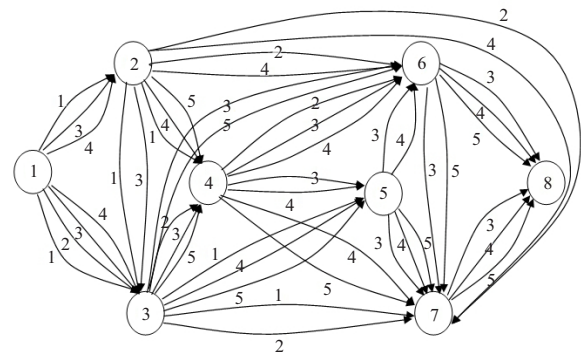


图1 4PLCRCPV网络多重图

$T_{ijk}, C_{ijk}, PO_{ijk}$: 3PL供应商 k 将货物由 i 运输到 j 的时间、费用和初始承载能力.

$PL_{ijk}(q)$: 3PL供应商 k 在第 q 个时间段将货物由点 i 运输到点 j 的能力, $q = 1, 2, \dots, TV$.

$P_{ijk}(t)$: 3PL供应商 k 在时间 t 将货物由点 i 运输到点 j 的能力.

P_i : 中转节点 i 的吞吐能力.

P : 待运输的货物量.

T_i, T'_i : 在节点 i 停靠和转换3PL供应商的时间.

b_i : 点 i 对货物的需求量, $b_i = \begin{cases} -1, & \text{点}i\text{是始发点;} \\ 1, & i\text{是需求点;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$

TV : 时间段个数.

$VTime$: 每个时间段的时间间隔.

C_i, C'_i, C''_i : 3PL供应商在节点 i 停靠、更换以及存储3PL供应商时的费用.

$WTime$: 途中允许等待的时间.

决策变量定义如下.

$x_{ijk}(t)$: 3PL供应商 k 是否在时间 t 负责 i 到 j 的运输,即 $x_{ijk}(t) = \begin{cases} 1, & \text{3PL}k\text{在时间}t\text{负责}i\text{到}j\text{的任务;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$

$y_i(t)$: 节点 i 是否在时间 t 承担转运任务,即 $y_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{点}i\text{在时间}t\text{承担转运任务;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$

$z_i(t)$: 途经点 i 时,是否在节点 i 更换3PL供应商,即 $z_i(t) = \begin{cases} 1, & y_i(t) = 1\text{且在点}i\text{更换3PL供应商;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$

ω_i : 在 i 点的等待时间,其中 $\omega_i = 0, 1, \dots$,当 $\omega_i = 0$ 时,表示途经点 i 时无等待.

1.2 跨时段时变承载能力处理

3PL供应商的承载能力具有时变性.当某3PL被选中时,必须保证在使用过程中它的承载能力均符合要求.如果3PL供应商 k 在时间 t 承担由点 i 到点 j 的运输任务($i, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, r$),

则在 $\left[\left\lfloor \frac{t}{VTime} \right\rfloor + 1, \left\lfloor \frac{t + T_{ijk}}{VTime} \right\rfloor + 1\right]$ 时间内, 供应商 k 的承载能力不能小于 4PL 的需求量, 其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整. 令 $K = \left\lfloor \frac{t + T_{ijk}}{VTime} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{t}{VTime} \right\rfloor$ ($K = 0, 1, \dots, TV - 1$) 表示从点 i 出发到达点 j 时相差的时间段个数. 当 $K = 0$ 时, 表示供应商 k 在同一时间段到达点 j , 这时 $P_{ijk}(t) = PL_{ijk}\left(\left\lfloor \frac{t}{VTime} \right\rfloor + 1\right)$; 当 $K \geq 1$ 时, 表示到达点 j 的时间与从点 i 出发的时间相差了 K 个时间段, 这时令 $P_{ijk}(t) = \min\left\{PL_{ijk}\left(\left\lfloor \frac{t}{VTime} \right\rfloor + 1\right), PL_{ijk}\left(\left\lfloor \frac{t}{VTime} \right\rfloor + 2\right), \dots\right\}$.

1.3 数学模型

根据以上内容, 建立模型如下:

$$Z = \min \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r C_{ijk} P x_{ijk}(t) + \sum_{i=1}^n C_i P z_i(t) + \sum_{i=1}^n C'_i P z_i(t) + \sum_{i=1}^n C'_i P \omega_i(t) \right); \quad (1)$$

$$\text{s.t. TT} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r T_{ijk} x_{ijk}(t) + \sum_{i=1}^n T_i y_i(t) + \sum_{i=1}^n T'_i z_i(t) + \sum_{i=1}^n \omega_i \leq T, \quad (2)$$

$$P x_{ijk}(t) \leq P_{ijk}(t + \omega_i), \quad (3)$$

$$P y_i(t) \leq P_i, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \omega_i \leq WTime, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk}(t) - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r x_{jik}(t + T_i + T'_i z_i(t) + \omega_i) = b_j, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk}(t) = y_j(t + T_{ijk}(t) + \omega_i), \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk}(t + T_i + T'_i z_i(t) + \omega_i) = y_i(t), \quad (8)$$

$$z_i(t) \leq y_i(t), \quad (9)$$

$$y_1(1) = 1, \quad (10)$$

$$y_n(TT) = 1, \quad (11)$$

$$x_{ijk}(t), y_i(t), z_i(t) = 0 \text{ or } 1, \quad (12)$$

$$\omega_i \in Z. \quad (13)$$

其中: $i, j = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, r$. 式(1)为目标函数, 表示运输途中、转运节点停靠、转换和等待的费

用之和; 式(2)表示运输时间 TT 不大于客户要求的时间 T ; 式(3)表示在时间 t 到达 i 点等待时间 ω_i 后, 3PL 供应商 k 承担 i 到 j 任务的能力不应小于能力 P ; 式(4)表示节点 i 的能力不小于 P ; 式(5)表示各节点的等待时间之和不应大于总等待时间; 式(6)表示网络流量平衡; 式(7)、(8)表示所选择的节点可以构成起点到终点的通路; 式(9)表示如果在点 i 转换 3PL 供应商, 则一定在该点中转; 式(10)、(11)分别表示路径的起始和终止节点; 式(12)表示 $x_{ijk}(t)$ 、 $y_i(t)$ 和 $z_i(t)$ 为 0 或 1 的决策变量; 式(13)表示决策变量 ω_i 在各节点的等待时间为整数.

2 ACO-ABC 算法设计

蚁群算法 (ACO) 是处理路径问题的有效方法. 但是, 当同时考虑路径、3PL 及等待时间时, 算法容易陷入局部最优. 人工蜂群算法^[8]是由 Karaboga 于 2005 年提出的一种智能优化算法. 它的主要原理是通过引领蜂、跟随蜂和侦查蜂 3 种算子的配合与角色转换来搜索最优蜜源等^[9-10]. 本文利用 ACO 算法搜索路径、ABC 算法搜索优势路段 3PL 的策略提出 ACO-ABC 算法, 流程如图 2 所示.

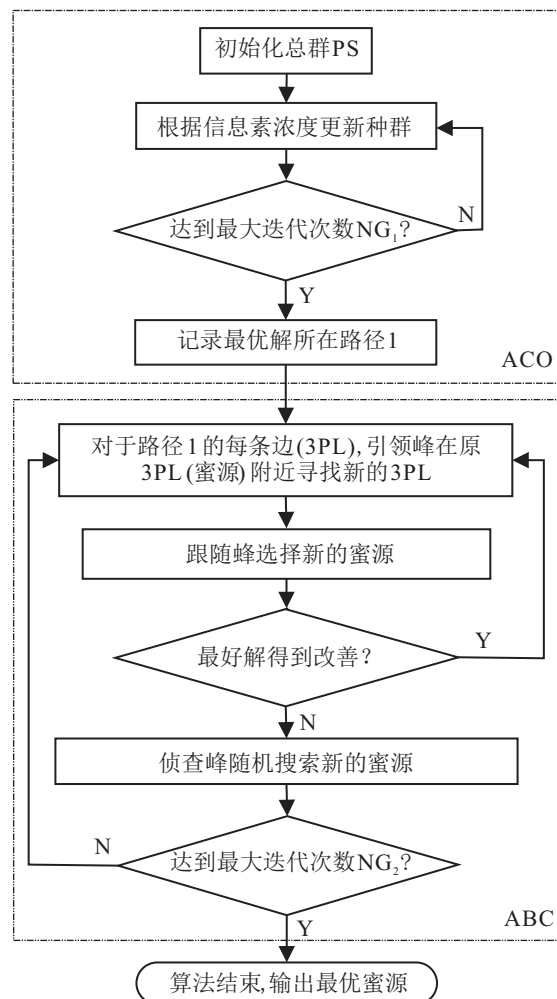


图 2 ACO-ABC 总体流程

3 数值实验

3.1 算法分析

针对提出的4PLCRCPV,采用ACO-ABC进行求解.经多次实验,较为合理的计算参数为:PS = 10, NG₁ = 10, NG₂ = 20, η = 10, ρ = 0.5, r₁ = 2, r₂ = 5, α = 0.5. 假设TV = 20, WTime = 5, VTime = 2, RAN = 0.7, T = 29, P = 3. 最好解path为[1, 2, 6, 8], PL为[1, 4, 4], wn为[1, 4, 0]. 这意味着4PL接受任务后,在起点1停留一天后,选择3PL供应商1将货物运至节点2. 等待4天后改由3PL供应商4继续运输,并在节点6中转. 总耗时为28.4 s, 费用为41.

为说明ACO-ABC算法(记为算法4)的有效性,本文同时使用剪枝算法(记为算法1)、嵌入随机等待时间机制的遗传算法(GA)(记为算法2)和ACO算法(记为算法3)作为对比算法分别对上述算例进行计算,得到的结果如表1所示.

表1 ACO-ABC与其他算法的对比情况

n	算法	PS	NG	最好解	最差解	均值	时间
8	算法1	-	-	41	-	-	436
8	算法2	20	20	41	48.8	44.2	10
8	算法3	15	15	41	47.4	42.5	8
8	算法4	10	30	41	41.9	41.9	9
15	算法1	-	-	272.8	-	-	8327
15	算法2	30	30	272.8	325.1	296.5	38
15	算法3	20	20	272.8	294.7	288.1	30
15	算法4	15	40	272.8	281.3	276.5	31
50	算法1	-	-	-	-	-	-
50	算法2	130	60	981.3	1062.7	1097.6	214
50	算法3	100	50	973.7	1054.4	1083.5	178
50	算法4	80	80	966.2	1031.9	1047.1	180

表1展示了4种算法求解4PLCRCPV的结果. “-”表示剪枝算法不存在的信息. 对于剪枝算法,当n = 8时,第1次剪枝后的路径数目是14条,第2次剪枝后的路径数目约为60000条,总计算时间为436 s. 这一结果与使用GA、ACO和ACO-ABC计算得到的最好解一致. 当n = 15时,3种智能算法得到的最好解仍与剪枝算法得到的最优解相同,但智能算法的计算时间要少于剪枝算法的求解时间. 与此同时,由于3PL承载能力的时变性,使GA计算得到的均值略差于ACO和ACO-ABC的结果. 而且这种差距会随着节点数目的增多而逐渐加大:当n = 50时,剪枝算法无法在有限时间内求得最优解. 而GA和ACO也无法得到与ACO-ABC一样的最好解.

图3和图4展示了n = 15时3种算法随时间段间隔VTime变化得到的计算结果. 当VTime = 1时,

每隔一个单位时间对3PL供应商的承载能力更新一次. 这时3PL承载能力的变化是最大的. 在这种情况下,对算法的考验也最大. 随着VTime的增加,路段上经过的时间段越来越少. 当VTime = 35时,整个运输周期相当于一个时间段. 这时4PLCRCPV转化为4PLCRCP,3种算法得到的解的均值相等. 这说明对于4PLCRCP, GA、ACO和ACO-ABC具有相近的可靠性. 但是对于4PLCRCPV而言,尤其是当VTime被设定为较小时段时,ACO-ABC的计算结果明显优于ACO和GA.

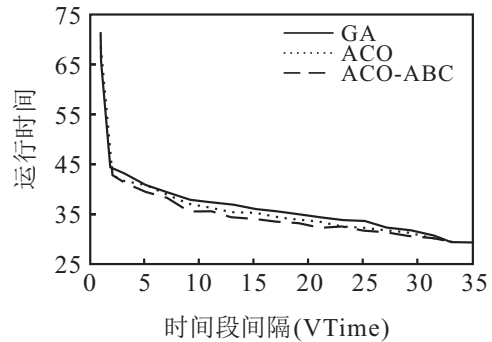


图3 不同时间段间隔下3种算法的最好解

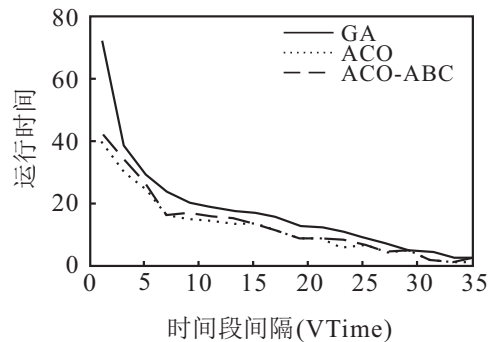


图4 不同时间段间隔下3种算法的运行时间

3.2 4PLCRCPV实验结果分析

为更好分析4PLCRCPV,本节从等待时间的选择、3PL供应商承载能力已使用比例与等待时间之间的关系、等待时间与存储费用之间的关系以及不同条件下最好路径经过各中转节点时的对比情况4个方面进行分析.

在同一交货期下(如图5所示),随着等待时间WTime的增加,总的运输费用随之减少. 当等待时间WTime = 7时,总费用不再变化. 这表明当WTime = 7时,等待时间已十分充足. 另一方面,当交货期定在29天以下时,4PL无法完成任务. 随着交货期天数的增加,4PL的运输费用逐渐减少. 当交货期定为31天时,总运输费用最小. 因此,在4PL可以与客户协商交货期的前提下,4PL应选择使总费用最小的交货期(31天). 当客户要求28天内送货时,4PL不应承担此任务.

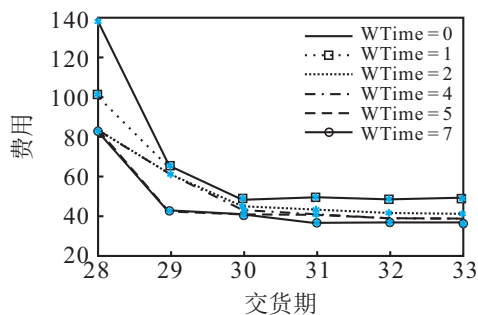


图5 不同等待时间下交货期与费用之间的关系

图6展示了等待时间WTime取不同值时承载能力被占用比例RAN与运输费用之间的关系.当RAN = 0时,所有3PL供应商均未承担任务.这问题转化为4PLRPCP,因此不同的WTime取值均会得到相同结果,且为最好解.随着RAN的增加,不同等待时间WTime下的结果会产生明显差异.当WTime = 0时,运输费用随RAN变化的幅度最大,并且当RAN ≥ 0.9时,4PL无法在原约束下找到最好解.造成这种现象的原因是3PL被占用较多,而等待时间却明显不足.随着WTime的增加,尤其是当WTime = 7时,运输费用随RAN增加的趋势变缓,且在所有RAN变化的情况下均能得到最好解.

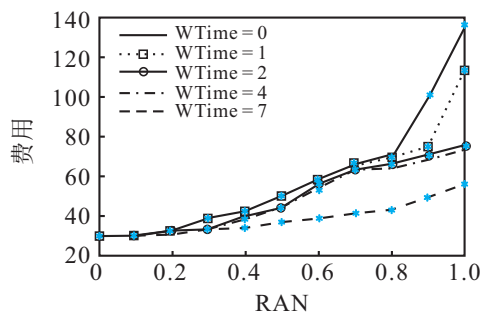


图6 不同等待时间下RAN与运费之间的关系

WTime取不同值时的存储与运输费用之间的关系如图7所示.

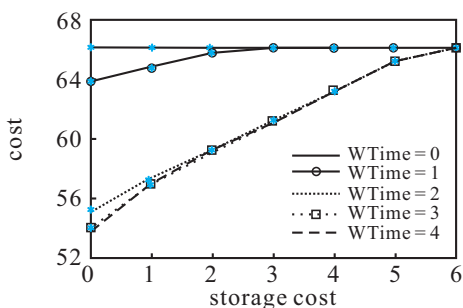


图7 不同等待时间下存储费用与运费之间的关系

当WTime = 0时,存储费用对运输没有影响.当存储费用为0时,WTime的增加会减少总运输费用.但是由于时间约束,随着存储费用的增加,尤其是WTime ≥ 3时,WTime增加给运输结果带来的优势

开始减弱.当存储费用取6时,等待将不再受到青睐,原因是等待需花费的存储费用大于不等待时增加的运输费用.

图8展示了考虑等待与不考虑等待两种条件下经过各节点时的对比情况.

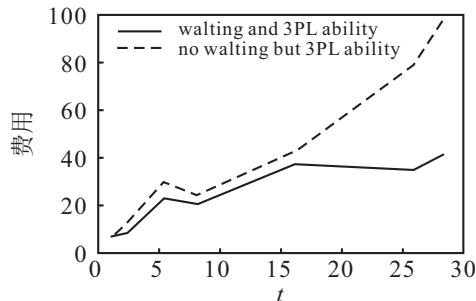


图8 最好路径经过各中转节点时的对比情况

假设两种条件下经过每个节点时具有相同的时间约束,于是从图8可以看出,不考虑3PL供应商等待时的费用明显高于考虑3PL等待时的费用.对于节点7和节点8而言,不考虑等待条件时甚至无法在规定时间内将货物送达.造成这种现象的原因是在不考虑等待条件时4PL不得不在某些时段选择一些承载能力充足但时间和费用较高的3PL供应商.因此,虽然考虑3PL等待会增加4PL计算的工作量,但这样做不仅会使本文研究的内容更加符合实际,也更能突显4PL在协同3PL定制路径中的作用.

4 结论

3PL供应商作为独立运输单位,考虑其承载能力的时变性可以使问题更具实际意义.本文基于货物可以在中转及起始节点等待的假设,首次在4PL协同路径定制问题中考虑了3PL承载能力的时变性,并建立了4PLCRCPV的数学模型.鉴于问题需要同时选择路径、3PL供应商并考虑等待时间的特点,在算法设计中本文将人工蜂群算法作为寻找3PL供应商的局部搜索模块嵌入到善于搜索路径的蚁群算法中,并最终形成蚁群算法搜索路径、人工蜂群算法寻找3PL供应商的蚁群-蜂群混合算法(ACO-ABC).算法分析中,通过对算例的测试和与其他算法的对比,充分说明ACO-ABC的优势.通过对是否考虑节点等待与3PL承载能力时变性的分析,充分说明考虑上述因素在4PL协同路径定制中的实际价值.

参考文献(References)

[1] 崔妍,马跃,王兴伟,等. 第四方物流协同路径定制问题研究[J]. 计算机应用研究, 2020, 37(2): 489-492.
(Cui Y, Ma Y, Wang X W, et al. Research on 4PL collaborative routing customization problem[J].

Application on Research of Computers, 2020, 37(2): 489-492.)

[2] Subramanian N, Angappa G. 4th party logistics service providers and industrial cluster competitiveness[J]. Industrial Management & Data Systems, 2016, 116(7): 1303-1330.

[3] Tao Y, Chew E P, Lee L H, et al. A column generation approach for the route planning problem in fourth party logistics[J]. Journal of the Operational Research Society, 2017, 68(2): 165-181.

[4] Xiaohu Qian, Shu-Cherng Fang, Mingqiang Yin. Selecting green third party logistics providers for a loss-averse fourth party logistics provider in a multiattribute reverse auction[J]. Information Sciences, 2020, 548(16): 357-377.

[5] Poonthalir G, Nadarajan R. A fuel efficient green vehicle routing problem with varying speed constraint (F-GVRP)[J]. Expert Systems with Applications, 2018, 100(15): 131-144.

[6] Xu Z T, Elomri A, Pokharel S, et al. A model for capacitated green vehicle routing problem with the timevarying vehicle speed and soft time windows[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 137(11): 1-14.

[7] 刘长石, 申立智, 盛虎宜, 等. 考虑交通拥堵规避的低碳时变车辆路径问题研究[J]. 控制与决策, 2020, 35(10): 2486-2496.

(Liu C S, Shen L Z, Sheng H Y, et al. Research on low-carbon time-dependent vehicle routing problem with traffic congestion avoidance approaches[J]. Control and Decision, 2020, 35(10): 2486-2496.)

[8] Karaboga D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, TR06[R]. Kayseri: Erciyes University, 2005.

[9] Karaboga D, Basturk B. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(1): 687-697.

[10] Karaboga D, Goukemli B, Ozturk C, et al. A comprehensive survey: Artificial bee colony algorithm and applications[J]. Artificial Intelligence Review, 2014, 42(1): 21-57.

作者简介

崔妍(1982-), 女, 讲师, 博士, 从事第四方物流路径优化、智能算法的研究, E-mail: slccyy@163.com;

马跃(1960-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事工业控制安全、网络通信技术等研究, E-mail: mayue@sict.ac.cn;

王兴伟(1968-), 男, 教授, 博士生导师, 从事未来互联网、移动无线因特网路由选择机制等研究, E-mail: wangxw@mail.neu.edu.cn;

黄敏(1968-), 女, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理、制造与服务系统建模与优化等研究, E-mail: mhuang@mail.neu.edu.cn.

(责任编辑: 闫 妍)

下 期 要 目

网络系统的安全决策与控制: 容错博弈研究综述 杨 浩, 等

基于复杂网络理论的大电网脆弱性研究综述 陈超洋, 等

基于独立成分分析及其扩展模型的工业过程监测方法综述 孔祥玉, 等

基于CiteSpace的故障预测知识结构与热点迁徙研究 周涵婷, 等

一种基于改进RRT*的全局路径规划算法 许 万, 等

基于改进量子粒子群的K-means聚类算法及其应用 李 玥, 等

基于强化学习的扑翼飞行器路径规划算法 王思鹏, 等

基于分层强化学习的通用装配序列规划算法 赵铭慧, 等

基于双层稳定匹配的异构无人机集群“分布式”协同算法 向 竹, 等

基于刺激-响应分工机制的人工蜂群算法 王英聪, 等

状态时延和全状态约束下的多智能体系统自适应事件触发控制 范利蓉, 等

考虑扰动与输入饱和的机械臂连续非奇异快速终端滑模控制 陈正升, 等