

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2024.10.005

考虑货主满意度的“一对多”车货匹配模型

杨京帅, 李永康, 杨伟波*
(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 随着网络货运平台市场的发展, 车货信息不对称的问题得到有效缓解, 车主与货主满意度、车辆满载率、货主担负的成本还有改善空间。在运力供应大于货运需求的背景下, 货主的满意度成为影响车货匹配效率与平台竞争力的关键。为使平台车货匹配的结果能更好地贴合匹配需求, 吸引更多客户, 针对货主方构建了一种新型的匹配满意度模型。首先引入物流流线网络定义, 将车货匹配的双方视为参与物流服务的客户方和提供服务方, 综合考虑货主在货物完好性、运输时间和运输费用的需求与车主提供实际运输服务的情况之间的贴近程度, 定义匹配满意度的含义; 随后构建匹配满意度模型, 以最大化匹配满意度为目标, 设计改进的遗传算法并利用 Python 进行求解; 最后针对网络货运平台的车源货源数据, 在不同车货匹配模式的模型下进行求解并比较优劣。结果表明: 考虑货主匹配满意度的“一对多”车货匹配模型比“一对一”模型平均车辆满载率提高了 31.2%, 货主担负成本降低了 4.3%; 考虑货主匹配满意度的“一对多”车货匹配模型比以运输成本为目标的“一对多”模型货主平均满意度提高了 16.2%, 货主担负成本降低了 2.9%。考虑货主满意度的“一对多”车货匹配模型更符合现实需求情景, 降低了货主担负的总成本, 保持了较高的货主满意度和车辆满载率。

关键词: 智能交通; 车货匹配; 改进遗传算法; 货主满意度; 物流流线网络

中图分类号: U492.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2024) 10-0037-10

One-to-many Vehicle-cargo Matching Model Considering Consignor Satisfaction

YANG Jing-shuai, LI Yong-kang, YANG Wei-bo*
(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: With the network freight platform market development, the problem of asymmetric information between vehicles and consignors has been effectively alleviated. It still has potential for the satisfaction of vehicle owners and consignors, the vehicle loading rate, and the cost borne by consignor. In the context of transportation capacity supply exceeding freight demand, the consignor satisfaction becomes the key factor affecting vehicle-cargo matching and platform competitiveness. To make the vehicle-cargo matching solution more desirable to the requirement of matching party and attract more customers, the new model of matching satisfaction was proposed by considering the consignor. First, the two parties to vehicle-cargo matching were regarded as the customer side and the service provider involved in logistics services according to the definition of logistics streamline network. Considering the closeness between the consignor's requirements (e. g., cargo integrity, transportation time and cost) and the actual transportation service provided by the vehicle owner, the matching degree was defined. Then, the matching satisfaction model was established to maximize the matching satisfaction. The improved genetic algorithm was designed and solved by using Python. Finally,

收稿日期: 2023-10-19

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2024GX-YBXM-530); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (300102223109); 西安市科技计划项目 (23ZDCYJSGG0011-2022)

作者简介: 杨京帅 (1978-), 男, 山东烟台人, 博士, 教授. (jshyang@chd.edu.cn)

* 通讯作者: 杨伟波 (1990-), 男, 陕西扶风人, 博士. (wbyang@chd.edu.cn)

according to the vehicle source and cargo data from the network freight platform, it is solved and compared with different vehicle-cargo matching patterns. The result indicates that the average vehicle loading rate of the proposed model is 31.2% higher than that of one-to-one matching model, and the cost borne by consignor decreases by 4.3%. Compared with the one-to-many vehicle-cargo matching model with transportation cost as the target, the average consignor satisfaction increases by 16.2%, and the cost borne by consignor decreases by 2.9%. It reduces the total cost borne by consignor, and maintains the high consignor satisfaction and vehicle loading rate while being more in line with the actual scenario.

Key words: intelligent transport; vehicle-cargo matching; improved genetic algorithm; consignor satisfaction; logistics streamline network

0 引言

中国道路货运市场普遍存在信息交换不充分、运力资源利用率不高等问题。虽然车货信息的不对称问题随着网络货运平台的发展得到了有效缓解,但随着平台货源和车源数量的增加,如何实现较高的车货匹配满意度和车辆满载率等问题成为影响平台进一步提升竞争力的关键。人工筛选与不够完善的匹配模型算法匹配成功率低,无法很好地满足匹配双方需求,不利于道路运输领域低碳绿色高质量发展^[1]。平台在车主的车辆满载率与货主的货运成本方面还存在较大提升空间,车主与货主满意的供需匹配、高质量的服务水平、为客户创造价值是网络货运平台发展的生命力。

目前网络货运平台车货匹配的相关研究主要集中于车货匹配模式、车货匹配模型算法的构建与设计方面。按照匹配模式的不同,车货匹配的国内外相关研究可归纳为“一对一”匹配、“一对多”匹配、“多对多”匹配3大类^[2]。“一对一”匹配由网络货运平台进行运力调度,为车主和货主匹配唯一的货物订单和车辆,是当前大多数平台采用的车货匹配模式;“一对多”匹配是1辆车同时匹配多个订单,1个订单只能由1辆车运输,是由匹配主体中的一方车主与另一方主体中的多个货主进行匹配形成匹配方案;“多对多”匹配是1辆车可以匹配多个订单,1个订单的货物可匹配多辆车来运输。这3种匹配模式中,“一对一”匹配模式下车辆与货物“一对一”配对,即使车辆有剩余空间,也不能装载其他货物,从而造成车辆满载率不高、匹配效果不佳等问题^[3]。“多对多”匹配模式的匹配结果包含“一车匹配多货”与“一货匹配多车”;“一货匹配多车”的情况较为简单,通常是某一订单货运量较大,需要同时指派多辆车进行货物运输,将货物分配到足够的车辆即可,能实现较高的车辆满载率。“多对

多”匹配的难点实际上也是“一对多”匹配问题,“一对多”匹配模式下车主运送多个货主的货物,可提升车辆的满载率;对货主来说,也能减少运输费用的支付,是值得期待的一种实现双赢的匹配模式^[4]。因此本研究以“一对多”匹配模式构建模型,寻求合理的车货匹配方案。

车货匹配模型的构建,早期主要考虑成本因素,以成本最优作为目标函数构建模型。在道路普通货物运输中,运输成本占总成本的比例较高,为了建模及求解的便利性,通常直接以运输成本最低为目标函数。卢自宝等^[5]针对路网中大规模的货运车辆建立车辆运输成本模型,求解出节约运输成本最大化的车辆路线;张凤^[6]基于运输联盟的角度,建立了以最小化运输成本为优化目标的车货匹配模型;牟向伟等^[7]建立匹配率最大、匹配成本最小的目标函数。随着车货匹配双方需求水平的提高,匹配双方不仅考虑成本因素,对产品质量和服务要求越来越高,匹配满意度成为影响网络货运平台生存发展的重要因素。车货匹配模型的研究逐渐转向以满意度最大为目标来构建模型。杨滨州等^[8]考虑车货匹配主体的公平性建立3类指标,以匹配双方满意度最大为目标建立优化模型;张会凤^[9]分析匹配主体交易意愿,选取影响车货双方共同意愿的指标因素,以意愿最大化为目标构建模型求解;倪少权等^[10]考虑车主、货主及平台3方异质化需求,构建了包含时效满意度的多目标优化模型;郭静妮^[11]提出了基于匹配双方相互满意度整体最高的模糊群决策方法。车货双方的满意度通常都包含成本因素,考虑匹配主体意愿、需求、满意程度等因素来分析建模,更切合当前车货匹配的实际。梳理近年来车货匹配问题的相关文献可以发现,考虑满意度的优化研究越来越多,但满意度的量化因素较为单一,不能很好地诠释客户实际的满意度需求,本研究综合考虑运输成本、时间、货物完好性因素,使满意度的度量

更贴合实际需求。在当前道路货运市场运力供应大于货运需求的背景下^[12], 提高货主满意度可以更大程度上提升网络货运平台的经济效益和竞争力^[13]。以货主匹配满意度为目标的车货匹配, 更符合现实的道路货运市场供需现状。

综合以上研究, 本研究以货主满意度为目标, 综合考虑运输成本、时间、货损 3 方面因素, 结合流线供需网络定义, 构建“一对多”车货匹配模型, 设计改进的遗传算法进行求解。对比“一对一”匹配模型和以运输成本最低为目标的匹配模型, 从匹配满意度、货主担负成本、车辆满载率方面分析所构建模型的优缺点及适用性, 为进一步完善车货匹配研究提供一定的借鉴。

1 车货匹配模型

1.1 问题描述及假设

假设网络货运平台在一段时间内收到了 n 个货主的订单, 需将订单分派给货运平台内的 m 个货车司机, 每个货车司机承担 1 个或多个货主的订单, 依次前往取货点取货并将货物送至各自的目的地。

在此引入物流流线网络定义^[14], 流线网络是弱连通有向图, V_{ij} 是网络中第 i 级第 j 层的节点。匹配环节是“一对多”车货匹配, 1 辆车可能与 1 个或多个货主的货物匹配; 车辆匹配到相应货物后, 根据匹配最优解依次前往相应货物的取货点取货, 取货完成后将货物运送至对应的送货点。“一对多”车货匹配运输活动的流线网络如图 1 所示。实线表示相邻两层节点间的连通流线, 虚线表示相邻两层节点间可能的连通流线。

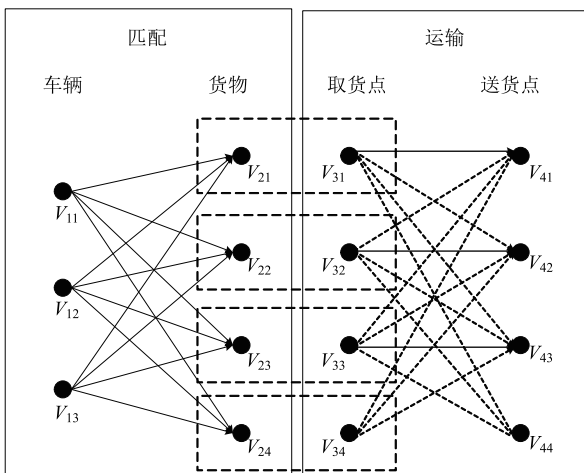


图 1 “一对多”车货匹配运输活动的流线网络

Fig. 1 Streamline network for one-to-many vehicle-cargo matching transportation

当车辆中途装载货物次数过多时, 容易对货物造成损伤, 且会耗费过多时间, 影响后续配送时效。运输路线的改变也会增加运输成本, 在进行车货匹配时考虑一辆车最多装载来自 3 个货主的货物。本研究的假设条件为: 每辆车最多匹配 3 个订单的货物; 每个货物都要被匹配; 假设车辆所载货物的体积不超过车辆的最大容积; 不考虑货车在每个取货点和送货点的装卸货时间与费用; 货车在每趟行程中维持较为稳定的平均速度; 货车在运输过程中平均油耗水平不变。

1.2 模型参数说明

本研究模型构建需要的符号及其说明如表 1 所示。

1.3 货主匹配满意度公式

流线网络结构中的任意相邻两层节点之间, 物流组织方案在物品数量、物流服务时间和物流费用的特征与客户在物品数量、服务时间和物流费用的需求之间的贴近程度, 称为匹配度^[14]。物流活动的本质是物流服务满足物流需求, 本研究将车货匹配的双方视为参与物流服务的客户方和提供服务方。由于在运输服务中, 运输的物品数量是 1 个定值, 故将物品数量的供需贴近程度等价于货物完好性的供需贴近程度。货主的匹配满意度^[15]可定义为车主的车辆运输方案在货物完好性、运输时间和运输费用的特征与货主在货物完好性、运输时间和运输费用的需求之间的贴近程度, 其函数表达式为:

$$M_{V_{1,j} \rightarrow V_{2,j}}(t, q, e) = \begin{cases} 1, & F(t, q, e) \in (0, FT] \\ \left[\frac{F(t, q, e) - FT'}{FT - FT'} \right]^2, & F(t, q, e) \in (FT, FT'] \\ 0, & F(t, q, e) \in (FT', \infty) \end{cases} \quad (1)$$

式中 $F(\cdot)$ 为广义费用函数, 目的是将不同量纲的时间、货物完好性和费用的单位统一为费用单位, 按照式 (2) 计算^[16]为:

$$F(t, q, e) = f_1(t) + f_2(q) + f_3(e), \quad (2)$$

式中, $F(t, q, e)$ 为根据货主需求提供的实际货运方案中货主需承担的成本; FT 为货主在时间、货物完好性和费用上对运输服务的期望成本; FT' 为货主可以接受的运输服务耗费的最大成本。

(1) 计算时间损失成本。采用软时间窗特点对时间成本进行量化^[17]。运往 j 点的货物, 货主要求的时间窗为 $[T_{j1}, T_{j2}]$, 早于时刻 T_{j1} 到达, 车主需

表 1 模型参数说明
Tab. 1 Description of model parameters

符号	说明	符号	说明
t	运输服务的实际所用时间	c_i	车辆 i 的单位运费
q	实际运输过程的货物完好性	Q_i	车辆 i 的额定载重
e	实际运输过程客户需要支付的费用	V	车辆运输过程的平均速度
T	客户预期的运输服务时间	L_j	货物 j 的运输距离
Q	客户预期运输过程的货物完好性	$M_{V_{1,j} \rightarrow V_{2,j}}(t, q, e)$	点 $V_{1,j}$ 与 $V_{2,j}$ 之间的实际货运方案与客户货运需求间的匹配度, 即货主的匹配满意度
E	客户预期的运输费用	$F(\cdot)$	广义费用函数
$T^\wedge$	客户可接受运输完成的最晚时间	$f_1(t)$	货主实际的时间损失成本
$Q^\wedge$	客户可接受的运输过程最低的货物完好性	$f_1(T)$	货主期望的时间损失成本
$E^\wedge$	客户可接受的最高运输费用	$f_1(T^\wedge)$	货主能接受的最大时间损失成本
m	车辆(车主)总数	$f_2(q)$	货主实际的货损成本
n	货物(货主)总数	$f_2(Q)$	货主期望的货损成本
i	任意车辆, $i=1, 2, 3, \dots, m$	$f_2(Q^\wedge)$	货主能接受的最大货损成本
j	任意货物, $j=1, 2, 3, \dots, n$	$f_3(e)$	货主实际的运输成本
K	货物的种类, $K=1, 2, 3, 4$	$f_3(E)$	货主期望的运输成本
P	货物点集合(1个货物对应1个取货点和送货点)	$f_3(E^\wedge)$	货主能接受的最大运输成本
d_{ab}	a 与 b 两地之间的最短距离, $a, b \in P$	A_K	K 类货物开始变质的时刻
$(d_{ab})_1$	货主可接受的 a 与 b 两地之间的最长距离	B_K	K 类货物变质至失去价值的时刻
J_1, J_2	分别为货物 j 的取货点和送货点, $J_1, J_2 \in P$	θ_t^K	K 类货物 t 时刻的变质率, $t \in [A_K, B_K]$
$[T_{j1}, T_{j2}]$	货物 j 的送达时间窗, 分别表示最早收货时刻和最晚收货时刻	ρ_j	货主对货物 j 的期望货损系数
t_j	货物 j 实际送达时间	α_j	货主对货物 j 的最大货损容忍度
β_j	货主对货物 j 的最晚时间容忍系数	o	任一车辆的始发点
W_j	货物 j 延迟到达时货主单位时间内的惩罚成本	x_{ij}	决策变量, 表示如果车辆 i 与货物 j 匹配, 则取 1, 否则取 0。
q_j	货物 j 的总质量		
p_K	货物种类 K 的单价		

等待至时刻 T_{j1} , 对货主无影响; 晚于时刻 T_{j2} 到达, 会对货主有一定损失, 造成时间惩罚成本。实际运输方案中运往 j 点的货物, 货主需承担的时间成本计算为:

$$f_1(t) = \begin{cases} 0 & t_j < T_{j2} \\ W_j(t_j - T_{j2}) & t_j > T_{j2} \end{cases} \quad (3)$$

对于货主来说, 其预期情况是货物在某个时间范围内准时到达, 并不会产生时间损失成本, 故货主期望无时间损失成本, 如式 (4) 所示。货主对时间的要求是一个范围, 但实际上车主可能在规定的时间内无法送到指定地点。晚于时刻 T_{j2} 到达, 货主需承担时间惩罚成本, 因此货主会有一个最晚时刻容忍系数 β_j , 根据货主的需求紧迫度来确定系数大小。货主所能接受的最大时间成本计算如式 (5) 所示。

$$f_1(T) = 0, \quad (4)$$

$$f_1(T^\wedge) = W_j(T_{j2}\beta_j - T_{j2})。 \quad (5)$$

(2) Osvald 等^[18]指出易腐货物在它自己的生命周期中都存在 3 个阶段, 此类物流产品的货物变质率与时间关系如图 2 所示。易腐货物在 A 时刻开始变质, 在 B 时刻完全变质。 $t \in [0, A]$ 时为第 1 阶段, 物品的品质完好, 货物变质率为 0; $t \in (A, B]$ 时为第 2 阶段, 物品品质发生可见变化, 货物变质率成线性发展, 其变质率为 $\theta_t = \frac{t-A}{B-A}$; $t \in [B, +\infty]$ 时为第 3 阶段, 这个阶段物品变质十分严重, 货物变质率超出了可接受范围, 货物失去价值。实际货损成本可计算为:

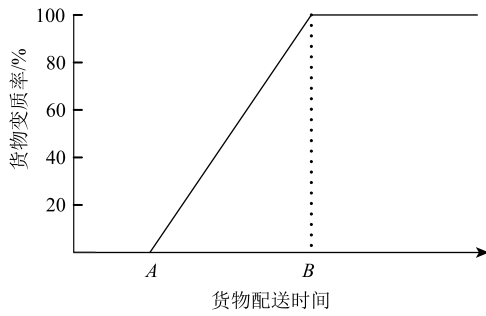


图 2 货物变质率与时间关系

Fig. 2 Relation between cargo deterioration rate and time

$$f_2(q) = \begin{cases} 0 & t \in [0, A_K] \\ q_j p_k \theta_i^K & t \in [A_K, B_K] \\ +\infty & t \in [B_K, +\infty] \end{cases} \quad (6)$$

因为货物的损耗是由货物本身的性质决定的, 是避免不了的, 但货主的期望货损是尽可能少的发生, 故设置一个系数 $\rho_j (0 < \rho_j < 1)$ 来表示货主期待的货损, 如式 (7) 所示。货主对货物的运输有一个最大货损容忍度, 在本研究把这个最大货损容忍度定义为 α_j , 货主可接受的最高货损成本如式 (8) 所示。

$$f_2(Q) = \begin{cases} 0 & T \in [0, A_K] \\ \rho_j q_j p_k \theta_T^K & T \in [A_K, B_K] \end{cases} \quad (7)$$

$$f_2(Q^\wedge) = \alpha_j f(Q) \quad (8)$$

(3) 计算运输成本。设 o 点为任一车辆的始发点; $(d_{oj_1})_1$ 表示货主可接受的货车到货物取货点 J_1 的最长距离; 其中 $d_{oj_1} < (d_{oj_1})_1$, $(d_{oj_1})_1$ 根据不同的货主要求来取值。 d_{aj_2} 表示为车辆上一个途经点与当前货物目的地的实际距离。车主运输多个货主的货物时, 多方货主共同承担运输费用, 每个货主担负的费用为车辆从车辆始发点到取货点费用与车辆从途经点至该货物送货点的费用之和, 具体计算如式 (9) 所示。 $d_{J_1 J_2}$ 表示货物从始发地到目的地的最短距离。货主期望的运输费用计算如式 (10) 所示, $(d_{J_1 J_2})_1$ 表示货主可接受的货物运输最长距离, $d_{J_1 J_2} < (d_{J_1 J_2})_1$ 。货主可接受的运输费用计算如式 (11) 所示。

$$f_3(e) = d_{oj_1} c_i + d_{aj_2} c_i, \quad (9)$$

$$f_3(E) = d_{J_1 J_2} c_i, \quad (10)$$

$$f_3(E^\wedge) = (d_{oj_1})_1 c_i + (d_{J_1 J_2})_1 c_i \quad (11)$$

1.4 模型建立

由于货主是从个体角度关注其利益目标, 为了更直观地反映其匹配效果, 对整体匹配满意度求平

均值, 以最大化的平均匹配满意度为目标, 可得目标函数为:

$$\text{Max } Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{M}{V_{1,i} \rightarrow V_{2,j}}(t, q, e) x_{ij} \quad (12)$$

式 (13) 表示每个货物必须被运输且只能被一辆车运输; 式 (14) 表示每辆货车最多运输 3 个货主的货物; 式 (15) 表示运输货物的总质量不能超过车辆的最大载重; 式 (16) 为车辆需要在规定的最迟送达时间前完成货物交付。在考虑“一对一”

匹配模式的情况下, 式 (14) 约束条件改为 $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m$ 。

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 3, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} q_j \leq Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (15)$$

$$t_j \leq T_j^\wedge, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

2 基于车货匹配的改进遗传算法

2.1 算法选择

目前有很多解决复杂优化问题的智能优化算法, 如粒子群算法和蚁群算法^[19-20], 适用于解决路径优化问题; 模拟退火算法^[21], 收敛速度较慢, 更适合与其他算法结合使用; 遗传算法^[22], 在解决最优化问题上比较成熟, 收敛速度快, 根据适应度值产生新个体, 不易陷入局部最优。本研究提出的车货匹配问题是 1 个最优化问题, 目的是寻求使平均匹配度最大化的车货匹配方案, 因此采用改进遗传算法进行求解。

2.2 算法流程设计

遗传算法的工作流程如图 3 所示。

2.3 算法实现过程

2.3.1 染色体编码

算法的编码方式要根据问题的实际情况来确定, 本研究采用的是自然数编码方式。设车货匹配的货物共有 n 个, 可参与匹配的车辆 m 辆。在编码时, 首先随机生成包含 n 个不同数字且范围为 $[1, n]$ 的自然数串, 然后向该数串随机插入 $m-1$ 个分隔符, 数串被分割为 m 段, 每辆车分别负责其中一段货物的运输。当 2 个分隔符相邻时, 中间无货物, 表示负责这一段的车辆闲置。假设车货匹配时共有 10 个货物点, 6 辆车待匹配, 初始化种群得到某一

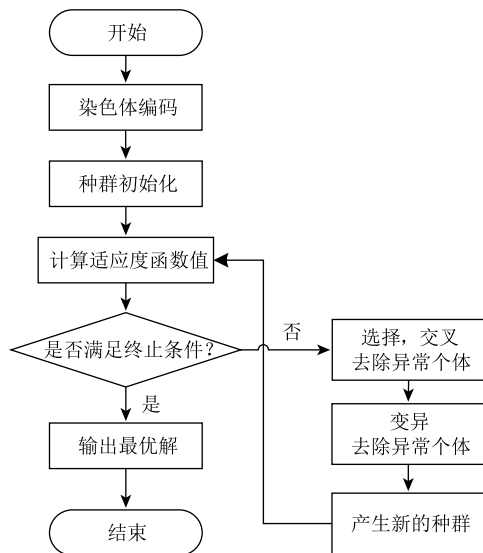


图3 遗传算法流程图

Fig. 3 Flowchart of genetic algorithm

个体如图4所示。

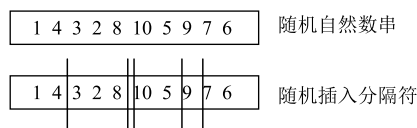


图4 编码效果图

Fig. 4 Encoding renderings

2.3.2 种群初始化

与一般的种群初始化情况不同的是,本研究在

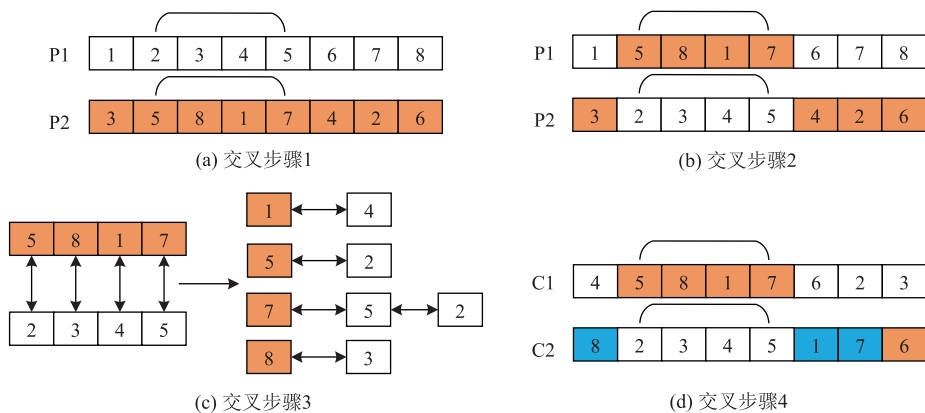


图5 交叉过程

Fig. 5 Cross-over process

2.3.4 变异算子改进

由于车货匹配时需考虑取货送货点的先后顺序,一般的变异方法无法保证车主经过货主节点的先后顺序,因此采用改进的变异操作。随机选取被分隔符隔开的某段基因,对基因段顺序进行变异,变异过程如图6所示。

初始种群时需注意车辆能否承载匹配的货物总质量,而且每辆货车至多与3个货主的货物匹配。因此本研究在随机插入分隔符时考虑上述2个约束,提高了算法效率。

2.3.3 交叉算子改进

不同于遗传算法常用的交叉操作方式,本研究的车货匹配问题考虑的是不同车辆与货物之间进行匹配而寻求最优。一般的交叉方式欠缺考虑运送顺序的问题,因此选用部分匹配交叉方式^[23]。部分匹配交叉保证每个染色体中的基因仅出现一次,在每个染色体中不会出现重复的基因。在染色体执行交叉后,个别基因会出现重复的情况,为了消除重复,在交叉区域内建立每个染色体的匹配关系,然后在交叉区域外对重复基因应用此匹配关系就可以消除冲突。交叉步骤如下。

步骤1,随机选择2条父代染色体中相同位置的几个连续基因,如图5(a)所示。

步骤2,交换这2组染色体选中的基因,如图5(b)所示。

步骤3,根据交换的2组基因建立一个映射关系,如图5(c)所示。

步骤4,做冲突检测,重复映射至没有冲突为止。按照映射关系,将2个父代染色体未被交换的冲突基因进行替换,最后所有冲突的基因都会经过映射,保证形成的新一对子代基因无冲突,最终得到子代染色体,如图5(d)所示。

2.3.5 基于精英保留策略选择算子

算法在采用轮盘赌选择策略的同时,结合运用了精英保留策略,通过从父代群体中保留一定量的优良个体,与其他新生子代个体组成总的种群进一步进行迭代优化。

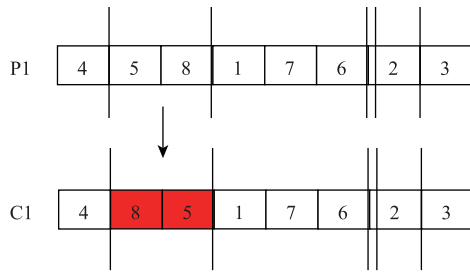


图 6 变异过程

Fig. 6 Mutation process

3 算例分析

3.1 数据来源

本研究的数据来源于中国互联网某在线网络货运平台上的一些货物信息，这些信息包括货物质量、起始点、目的地、路线长度、货物类型等。对原始数据进行预处理，获取完整性较高的数据，并根据运输距离与不同货物类型匹配生成货主的时间要求。对于容易变质的水果蔬菜，货主时间要求严格；对于不易变质的其他货物，时间要求相对宽松。算例中车辆的平均速度取 55 km/h，为保证时间要求的随机性，取 $[0.9, 1.1]$ 区间的 1 个随机数，距离与平均速度的比值与该随机数乘积为货主的时间要求。考虑货物因素，货物类型为水果蔬菜时，时间要求严格，按 $[0.9, 1.1]$ 区间计算；货物为畜产品时，区间乘以 1.05 的系数；其他类货物时，系数为 1.1。生成货主订单信息如表 2 所示。

3.2 结果分析

算例中采用额定载重为 28 t、长度为 9.6 m 货车和载重为 35 t、长度为 14~17 m 货车运输，货车使用 0 号柴油，价格为 7.62 元/L；28 t 货车 0 号柴油的油耗为 0.2 L/km；35 t 大货车柴油的油耗为 0.3 L/km。案例采用 30 批货物数据，载重为 28 t 的货车 15 辆（编号 1~15）和 35 t 的货车 15 辆（编号 16~30）共计 30 辆车进行分析计算。

3.2.1 基本结果分析

针对 1.4 节构建的车货匹配模型，运用改进遗传算法求解，算法收敛过程如图 7 所示。本研究案例中用 30 辆车运输 30 批货物，在求得的结果中货物匹配过程只用到了 23 辆车，有 7 辆车闲置。货主的运输成本为 32 835.75 元，货损成本为 6 808.46 元，时间成本为 2 245.95 元，货主所担负的总成本为 41 890.16 元。货主需求与实际运送的平均匹配满意度为 0.889，总成本为 41 890.16 元。

表 2 货主订单信息

Tab. 2 Information of consignor orders

货主	货物类型	质量/t	终点位置	距离/km	要求时间/h
1	其他	16	(130.372 612, 46.813 512)	2 269.21	41.77
2	蔬菜	10	(107.244 575, 34.368 916)	156.41	2.83
3	水果	15	(104.966 864, 33.376 032)	383.39	6.59
4	蔬菜	16	(107.657 391, 35.736 864)	194.24	3.33
5	水果	17	(108.671 612, 31.953 391)	267.71	4.70
6	蔬菜	16	(112.182 456, 37.195 601)	431.16	7.37
7	其他	17	(101.809 569, 36.605 708)	693.87	12.15
8	畜产品	10	(110.050 395, 40.582 228)	700.86	11.91
9	水果	8	(106.681 415, 35.548 815)	246.16	4.40
10	畜产品	15	(113.837 541, 34.053 251)	451.45	8.02
11	蔬菜	16	(106.356 518, 38.560 407)	523.13	9.07
12	蔬菜	14	(111.480 398, 33.313 316)	261.04	4.60
13	蔬菜	14	(114.654 576, 37.905 816)	648.10	11.27
14	其他	10	(116.872 433, 38.320 367)	836.64	14.61
15	畜产品	17	(107.776 097, 30.660 553)	424.84	7.34
16	蔬菜	12	(106.295 494, 38.479 579)	517.62	9.10
17	水果	14	(104.119 566, 35.848 851)	470.25	8.45
18	畜产品	13	(111.231 406, 35.622 63)	252.14	4.43
19	蔬菜	18	(111.676 607, 35.303 015)	271.20	4.89
20	水果	12	(101.809 569, 36.605 708)	693.87	12.30
21	水果	16	(110.688 546, 36.103 999)	251.66	4.43
22	畜产品	15	(123.426 644, 41.795 236)	1 512.58	27.56
23	蔬菜	16	(111.773 58, 30.175 342)	535.18	9.54
24	畜产品	11	(115.567 392, 29.850 441)	799.90	13.92
25	畜产品	21	(98.514 322, 39.751 246)	1 103.77	19.87
26	蔬菜	15	(105.650 555, 36.570 781)	387.99	6.59
27	畜产品	15	(113.982 485, 34.725 011)	463.66	8.27
28	蔬菜	15	(104.626 438, 28.772 052)	743.48	13.13
29	畜产品	16	(120.856 417, 37.341 418)	1 124.25	19.63
30	其他	13	(98.226 473, 39.806 466)	1 128.23	20.21

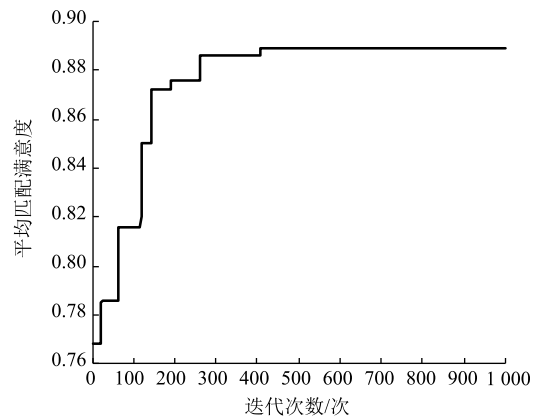


图 7 改进遗传算法收敛过程

Fig. 7 Improved genetic algorithm convergence process

3.2.2 对比分析

(1) 模型对比

选取当前道路货运中普遍以运输成本最小为目标的模型^[24]与大多数平台采用的“一对一”匹配模式构建的模型,从匹配满意度、成本、满载率等指标对比分析本研究所构建模型的优缺点。匹配满意度、成本、满载率是与当前网络货运平台竞争力提升有关的因素,各类成本数据能够体现出各模型对成本的影响,所需车辆数可以直观体现运力的节省程度。基于表 2 的数据分别求解,模型对比结果如表 3 所示。基于表 3 分别从各类成本和平均匹配满意度 2 方面对 3 种模型进行对比,分别如图 8 和图 9 所示。为了便于表示,在图 9 中用模型 A、模型 B、模型 C 分别代表货主匹配满意度最大的“一对多”匹配模型、以运输成本最小为目标的“一对多”匹配模型、货主匹配满意度最大的“一对一”匹配模型。

表 3 模型对比结果

Tab. 3 Model comparison result

指标	货主匹配 满意度最大的 “一对多”匹配	运输成本最小 为目标的“一 对多”匹配	货主匹配满意度 最大的“一 对一”匹配
	“一对多”匹配	“一对多”匹配	“一对一”匹配
平均匹配满意度	0.889	0.765	0.933
运输成本/元	32 835.75	28 721.22	38 812.73
货损成本/元	6 808.46	7 224.79	4 846.04
时间成本/元	2 245.95	7 213.43	97.57
总成本/元	41 890.16	43 159.44	43 756.34
平均满载率	0.601	0.612	0.458
匹配所需货车/辆	23	22	30

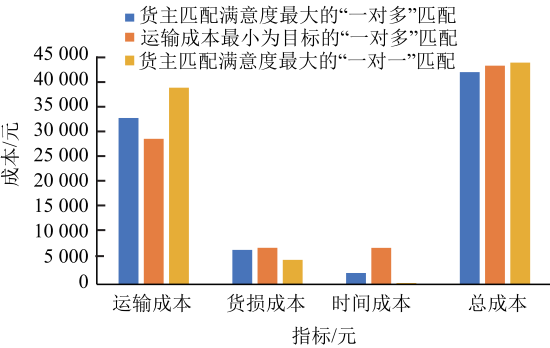


图 8 成本对比

Fig. 8 Cost comparison

通过表 3,图 8,图 9 可知,相较于以运输成本最小为目标的匹配模型,本研究提出的车货匹配模型货主匹配满意度提高了 16.2%,控制了货损成本与时间成本,货主担负的总成本降低了 2.9%。“一对一”匹配模型相较于运输成本最小为目标的匹配

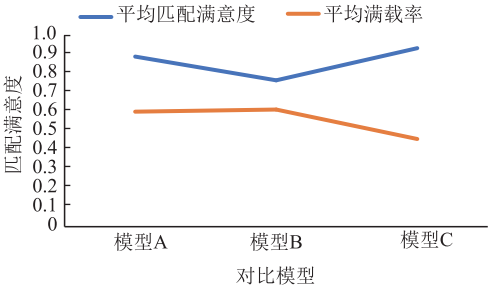


图 9 满意度与满载率对比

Fig. 9 Satisfaction v. s. full load rate

模型,在增加了 36.3%的车辆运力情况下提高了 21.9%的匹配满意度,而本研究模型仅增加 4.5%的运力便提高了 16.2%的匹配满意度,提升满意度的表现更为出色,且相较于“一对一”匹配,货主担负的总成本降低了 4.3%,平均满载率提升了 31.2%。货主匹配满意度最大的“一对多”匹配模型可在提升满载率与降低成本的同时维持较高的货主满意度。

对车主而言,相较于“一对一”匹配模型,本研究模型的最大优势是提升了 31.2%的满载率,节约了 23.3%的运力及 4.3%的总成本。这意味着车主将获得更多的收益,收益主要来自于运输成本节约了 15.4%,但相应增加了 40.5%货损成本与 225.0%时间成本。对于货物装卸运输过程中不易损坏、对运输时间要求较为宽松的货物,“一对多”车货匹配模型更适合于车主,对车主的收益也将更好。

(2) 算法对比

为评价本研究改进遗传算法的性能,利用该算法求解得到的结果与标准遗传算法求解结果^[25]进行比较。求解过程中标准遗传算法的种群数、染色体个数和变异概率等控制参数与本研究改进遗传算法完全相同,设置迭代次数为 3 000 次,算法分别独立求解 10 次。本研究改进的遗传算法求解平均收敛次数约为 500 次,平均收敛时间为 34 s,求得的最优匹配满意度为 0.889,准确率为 90%。标准的遗传算法求解平均收敛次数约为 2 400 次,平均收敛时间为 195 s,求得的最优满意度为 0.889,准确率为 80%。算法求解对比如图 10 所示,通过对比可以发现,本研究的改进遗传算法具有较好的求解效率,原算法易陷入局部最优的情况得到改善。

(3) 模型适用性分析

考虑货主满意度的“一对多”车货匹配模型是基于当前道路货运市场运力供应大于货运需求的背景下构建的。货主满意度可以从更大程度上影响车货匹配的实现,以货主匹配满意度为目标的车货匹

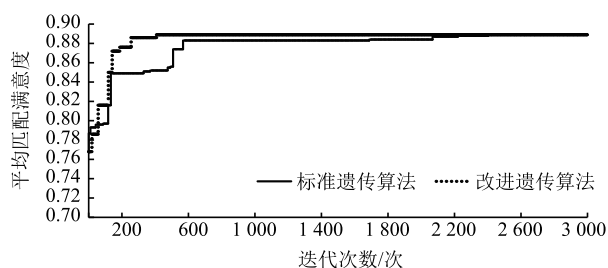


图10 算法求解对比

Fig. 10 Comparison of algorithm solutions

配更符合现实的道路货运市场供需现状。但在现实中特定时期和特定情况下,也会发生运力短缺的情况,此时货主满意度对车货匹配的影响程度会降低。为了适应该特殊情形,需要对1.4节建立模型中的货主期望时间损失成本、货损成本、运输成本相应增加,以保障模型在运力不足情形下的适用性。

4 结论与展望

本研究针对公路货运中多品种货物长途运输情景运力资源利用率不高的问题,综合考虑货主在货物完好性、运输时间和运输费用的需求与车主提供实际运输服务情况之间的贴近程度,构建了考虑货主满意度的“一对多”车货匹配模型。设计了一种改进遗传算法对其进行求解,基于网络货运平台的货运数据,通过算例分析对模型进行了验证。与“一对一”模型对比,以货主匹配满意度为优化目标的“一对多”模型在匹配满意度差距不大的情况下,降低了车辆所需数量与货主担负的总成本,提高了车辆满载率,减少了运力的浪费。相较于以运输成本最低为目标的模型,本研究提出的模型在提升匹配满意度的同时维持了较高的车辆满载率,更贴合实际匹配情况需要。

本研究在建模过程中将起始位置视为同一个起始点,未考虑“一对多”车货匹配的取货运输时间、成本及货物装卸时间与费用,在后续研究中可以根据车货的动态位置信息及装卸时间费用等更贴合现实的情况来进行车货匹配,以增加模型与算法的适用性与可推广价值。

参考文献:

References:

- [1] 贾艳丽,杨晓蕾,刘明.基于客户绿色偏好的无车承运人平台车货匹配研究[J].交通运输工程与信息学报,2019,17(4):141-148.
JIA Yan-li, YANG Xiao-lei, LIU Ming. Vehicle-cargo

- Matching of Carrier Broker Based on Customer's Green Preference [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2019, 17 (4): 141-148.
- [2] 傅怡.基于改进蚁群算法的货运物流平台车货匹配优化方法[D].合肥:合肥工业大学,2020.
FU Yi. An Improved Ant Colony Algorithm for Vehicle and Cargo Matching of Freight Logistics Platform [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020.
- [3] 黄泽滨.基于空间特征分析的网络货运平台匹配策略与路径优化研究[D].西安:长安大学,2022.
HUANG Ze-bin. Research on Matching Strategy and Path Optimization of Network Freight Platform Based on Spatial Feature Analysis [D]. Xi'an: Chang'an University, 2022.
- [4] WANG Z H, LI Y Y, GU F, et al. Two-sided Matching and Strategic Selection on Freight Resource Sharing Platforms [J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2020, 559: 125014. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125014>.
- [5] 卢自宝,田凯健,方明星,等.基于运输成本的高速公路车辆协同调度与速度规划[J].控制与决策,2023,38(6):1637-1645.
LU Zi-bao, TIAN Kai-jian, FANG Ming-xing, et al. Cooperative Scheduling and Speed Planning of Vehicles on Highways Based on Transportation Cost [J]. Control and Decision, 2023, 38 (6): 1637-1645.
- [6] 张凤.基于托运人联盟的车货匹配及成本分摊问题研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.
ZHANG Feng. Study on Vehicle and Cargo Matching and Cost Allocation Based on Shipper Alliance [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2021.
- [7] 牟向伟,陈燕,高书娟,等.基于改进量子进化算法的车货供需匹配方法研究[J].中国管理科学,2016,24(12):166-176.
MOU Xiang-wei, CHEN Yan, GAO Shu-juan, et al. Vehicle and Cargo Matching Based on Improved Quantum Evolutionary Algorithm [J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24 (12): 166-176.
- [8] 杨滨舟,叶欣扬,王睿,等.基于直觉模糊优化的车货双边公平匹配方法[J].计算机集成制造系统,2023,29(5):1696-1707.
YANG Bin-zhou, YE Xin-yang, WANG Rui, et al. Method of Vehicle-cargo Matching Considering Fairness Based on Intuitionistic Fuzzy Optimization [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2023, 29 (5): 1696-1707.
- [9] 张会凤.基于双方交易意愿的车货匹配模型研究[D].西安:西安电子科技大学,2018.
ZHANG Hui-feng. Research on Vehicle and Cargo Matching Model based on Transaction Intention of Both

- Parties [D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [10] 倪少权, 罗轩, 肖斌. 考虑三方利益的车货匹配优化 [J]. 西南交通大学学报 (自然科学版), 2023, 58 (1): 48-57.
- NI Shao-quan, LUO Xuan, XIAO Bin. Optimization of Vehicle-Cargo Matching Regarding Interests of Three Parties [J]. Journal of Southwest Jiaotong University (Natural Science Edition), 2023, 58 (1): 48-57.
- [11] 郭静妮. 基于模糊群决策方法的车货供需匹配研究 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2017, 15 (4): 141-146.
- GUO Jing-ni. Vehicle-cargo Matching Using a Fuzzy Group Decision-making Approach [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2017, 15 (4): 141-146.
- [12] 叶子. 基于信用评价体系的一对多车货匹配研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
- YE Zi. Research on One-to-multiple Vehicle and Freight Matching Based on Credit Evaluation System [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2021.
- [13] 王业祥. 基于物流优化的电子商务客户满意度提升研究 [J]. 物流科技, 2023, 46 (18): 76-79.
- WANG Ye-xiang. Research on Improving E-commerce Customer Satisfaction Based on Logistics Optimization [J]. Logistics Sci-Tech, 2023, 46 (18): 76-79.
- [14] 张锦, 王坤. 以物流供需匹配度为目标的流线优化模型 [J]. 西南交通大学学报 (自然科学版), 2010, 45 (2): 324-330.
- ZHANG Jin, WANG Kun. Stream Line Optimization Model with Matching Degree Between Logistics Supply and Demand as Objective Function [J]. Journal of Southwest Jiaotong University (Natural Science Edition), 2010, 45 (2): 324-330.
- [15] BAI J R, SO K C, TANG C S, et al. Coordinating Supply and Demand on an On-demand Service Platform with Impatient Customers [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2019, 21 (3): 556-570.
- [16] 王靖. 公路货运车货匹配寻优模型与算法研究 [D]. 西安: 长安大学, 2020.
- WANG Jing. Research on Model and Algorithm for Highway Freight Vehicle-cargo Matching Optimization [D]. Xi'an: Chang'an University, 2020.
- [17] VIDAL T, CRAINIC T G, GENDREAU M, et al. A Hybrid Genetic Algorithm with Adaptive Diversity Management for a Large Class of Vehicle Routing Problems with Time Windows [J]. Computers & Operations Research, 2013, 40 (1): 475-489.
- [18] OSVALD A, STIRN L Z. A Vehicle Routing Algorithm for the Distribution of Fresh Vegetables and Similar Perishable Food [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85 (2): 285-295.
- [19] LING H F, FU Y, HUA M, et al. An Adaptive Parameter Controlled Ant Colony Optimization Approach for Peer-to-Peer Vehicle and Cargo Matching [J]. IEEE Access, 2021, 9 (9): 15764-15777.
- [20] 陈志新, 闫昊炜, 张昕宇, 等. 基于改进蚁群算法的B2B城配模式下车辆路径优化 [J]. 公路交通科技, 2023, 40 (7): 231-238.
- CHEN Zhi-xin, YAN Hao-wei, ZHANG Xin-yu, et al. Vehicle Routing Optimization Under B2B Urban Distribution Mode Based on Improved Ant Colony Algorithm [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2023, 40 (7): 231-238.
- [21] 唐燕, 许睿, 黄锴迪, 等. 基于温区细化的多温共配车辆路径优化 [J]. 公路交通科技, 2021, 38 (3): 136-143.
- TANG Yan, XU Rui, HUANG Kai-di, et al. Optimization of Multi-temperature Co-distribution Vehicle Route Based on Temperature Zone Refining [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2021, 38 (3): 136-143.
- [22] 管德永, 吴晓芳, 赵杰, 等. 需求响应型公交车辆调度及路径优化 [J]. 公路交通科技, 2022, 39 (5): 140-148.
- GUAN De-yong, WU Xiao-fang, ZHAO Jie, et al. Dispatch and Route Optimization of Demand-responsive Bus [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2022, 39 (5): 140-148.
- [23] CHAN K C, TANSRI H. A Study of Genetic Crossover Operations on the Facilities Layout Problem [J]. Computers & Industrial Engineering, 1994, 26 (3): 537-550.
- [24] 王勇, 黄秋彬, 刘永, 等. 基于客户重要度的混合时间窗车辆路径问题研究 [J]. 公路交通科技, 2019, 36 (11): 151-158.
- WANG Yong, HUANG Qiu-bin, LIU Yong, et al. Study on Vehicle Routing Problem with Mixed Time Windows Based on Importance of Customers [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2019, 36 (11): 151-158.
- [25] 缪小红, 周新年, 林森, 等. 第3方冷链物流配送路径优化研究 [J]. 运筹与管理, 2011, 20 (4): 32-38.
- MIAO Xiao-hong, ZHOU Xin-nian, LIN Sen, et al. Study on Routing Optimization of Cold-chain Logistics Distribution of 3PL [J]. Operations Research and Management Science, 2011, 20 (4): 32-38.