

多式联运情形下货物中转集拼的运作优化

吕博文 杨斌 朱小林

(上海海事大学物流科学与工程研究院 上海 201306)

摘要 基于需求订单的个性化和多样化,从物流组织的角度建立模型。考虑决策有关的小批量多起点和目的地货物的装卸、整合、转运等因素,通过集装箱作业节点和运输路线的选择,边装边卸,充分利用集装箱。同时设计遗传算法,采用双层染色体编码方式,交叉映射操作、变异和逆转操作,保障解的全局最优性。得出总成本、所需集装箱个数与弹性系数的反比关系,并且可提高 15.86% 的吨位利用率,证明方法和模型的可行性和科学性。

关键词 多 OD(original destination)流 中转集拼 遗传算法 吨位利用率

中图分类号 TP3 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2018.11.020

OPERATIONAL OPTIMIZATION OF GOODS TRANSIT AND CONSOLIDATION UNDER MUTIMODAL TRANSPORT

Lü Bowen Yang Bin Zhu Xiaolin

(Institute of Logistics Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract Based on the personalization and diversification of demand orders, a model was established from the perspective of logistics organization. We took several factors into consideration such as cargo loading and unloading, consolidation and transport of small batches, multi-start and destination related to decision-making. We simultaneously loaded and unloaded to make full use of the container by selecting its operation node and transportation route. We designed the genetic algorithm, and adopted double-layer chromosome coding, crossmapping operation, and mutation and reversal operation to ensure the global optimization. It shows that the total cost and the required container number are inversely proportional to the elastic coefficient. 15.86% tonnage utilization is improved. The method and the model are proved to be feasible and scientific.

Keywords Multiple OD (original destination) flow Transit and consolidation Genetic algorithm Tonnage utilization

0 引言

中转集拼是指货物运输过程中经过多次中转、集拼、分拨,最终到达目的地的一种物流作业形式。中转集拼具有作业集约化、分工专业化、操作灵活等特点,广泛应用于快递、航空、集装箱多式联运等物流运作中。

目前关于中转集拼的运作优化研究,各类相关文献涉及不多,这与当前新运输方式的发展不相适应。

本文在前人研究的基础上,提出了多式联运情形下的中转集拼运作优化研究。权家祥^[1]于 1998 年对货物如何拼箱进行研究,指出在转拼过程中,为了尽量减少集装箱的空载率,在拆箱卸货的同时,可拼入适当数量的货物,充分利用集装箱,此种运输方式随后也被称为中转集拼。中转集拼业务^[2]具体是指:货物经过运输至集拼点,在该节点处进行二次分拣和包装,并根据不同目的地或不同客户,与本地货源一起重新装箱后进行运输的一种新型物流业务。该业务涉及多 OD 对货物的同时装卸、货物对集装箱的选择以及集装箱运输

路线与货物运输路线的耦合等问题。

针对多 OD 同时装卸问题有以下研究。卜雷等^[3]对多种货物的拼箱装配问题进行研究,并构造合理的个体编码适应度函数,运用遗传算法优化普零货物拼箱装配问题。Tasan 等^[4]在解决同时装卸的 VRP 问题的基础上,提出了一种遗传算法,并通过解决多个测试问题对方法进行评估,证明了算法的有效性。Belgin 等^[5]考虑双梯队车辆路线问题同时取货和交货,运用一种基于变邻域下降(VND)和局部搜索(LS)的混合启发式算法,并运用单级和双级分销系统对同时取货交货系统进行研究。

拼箱问题与零担问题的研究有一定的相通之处。Salvador 等^[6]运用分支裁剪法,解决动态容量下零担货物承运人之间的合作问题,通过等待装箱和转运,权衡持有成本和拥挤成本。Cheung^[7]提供了一种策略,对零担服务网络路线的随机性和动态性进行研究,通过具有随机弧成本的网路找到动态最短路径并计算出时间。不同之处在于中转集拼问题可与多式联运相结合,不仅仅作为一个运载工具。但针对多式联运的研究多集中于整箱集装箱的研究,文献[8]研究了有容量约束的枢纽中心的网路设计,从枢纽点的建立和不同交通工具运营两个层面分析多式联运网络的效率。文献[9]从各个网路节点,考虑整个网路的优化研究,用贪婪算法和智能搜索来求解多式联运问题,并对两种算法的运行时间进行对比,得出最优的运营时间。谢雪梅等^[10]考虑运输成本、换装成本、风险成本以及时间惩罚成本的整车多式联运,并运用二进制编码的遗传算法进行求解。这些研究针对整个集装箱在特定条件下的多式联运问题进行建模和求解,并没有考虑集装箱内多 OD 流货物运输过程中的作业整合,即货物的中转集拼作业优化。对于小批量多批次货物运输来说,从空间利用的角度,顺路搭车的观念出发,在货物装运,集装箱转运的过程中,多式联运运作的优化策略也大不相同。

因此,本文从拼箱的全局角度考虑,充分、均衡利用集装箱的载重和容积,减少空载率,建立一个混合整数规划的多式联运模型,目标函数考虑运营成本的最小化,包括运输成本、转运成本以及节点的作业成本。通过设计遗传算法,并进行一定规模的算例验证,有效地完成集装箱中转集拼过程中不同集装箱拼箱点和转运点的选取,运输方式和运输路线的选取。

1 问题描述

本文在传统的多式联运网络的基础上,考虑小批量货物的运输和集装箱中转集拼作业,由一个货运代理,多个不同国家或地区的多个货主以及公路、铁路和

水路三种运输方式组成了联运网络。研究的对象是拼装入箱的多批货物,研究的整体是一个集装箱由空箱经中转装卸、再到空箱的作业流程,选取适当的拼箱点和中转点,使总成本最小。文中将运输网络 G 定义为由卡车 F、火车 R、轮船 B、节点 N、集装箱 C 组成的网路图,以满足不同货主的需求。该网络是由节点连接而形成的有向图,近似为相邻节点之间形成的折线图, M 和 E 分别表示拼箱点和转运点。图中 s 表示供应方, c 表示需求方,同一需求方可以有多个供应商,同时同一供应商也可以为多个客户提供服务, o、d 分别表示单批次货物的起点和终点, m 或 o 表示港口可拼卸点, t 表示铁路可拼卸点,由此形成具体情形下的最优运输路线。

图 1 为起点到终点完成订单任务的全过程,货物由供应点 S 到需求点 C,首先货物先到达起拼点 o 或者 t,此时货物所在区域为同一区域,比如同一国家,可以选择运输方式有铁路和水路运输,为了降低中转的复杂性,假设同一地区的起拼点之间无运输连接。不同的集装箱按照装入集装箱的货物的目的地、集装箱的剩余容量,选择不同的运输路线、不同的中转集拼路线,在运输过程中会不断地到达货物的目的地卸货,然后拼入相同目的地或途经目的地的货物,进行运输。在货物数量允许的情况下,也可直接拼装一个目的地的货物,由 o 直接到达 d。在拼箱的同时,如果转换运输方式,会有一定的成本优势,可选择铁路运输,或直接门到门运输,使集装箱由空箱到重箱再到空箱不断地转换,完成对小批量货物的运输。

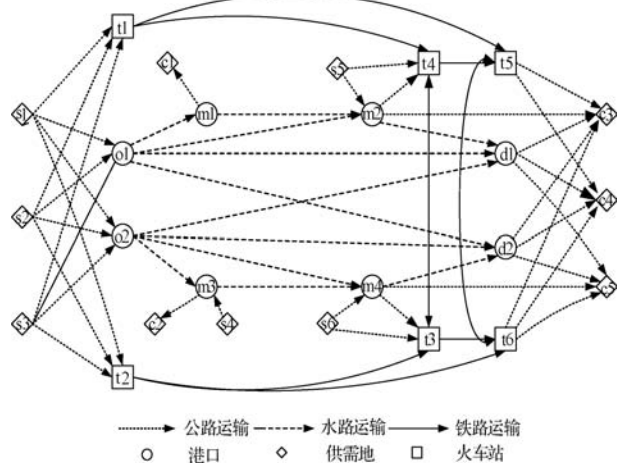


图 1 中转集拼的多式联运网络图

图 1 的运输路线为从供应点到需求点的集装箱以及货物的流动,模型设计针对多个阶段的滚动优化。起运端要完成空的集装箱与拼箱货的组合决策。涉及货物装入集装箱的选择、沿途各节点的选择、运输方式的选择,停靠点的选取(假设整个网络中的信息完全

共享),中间节点需决定货物重新装箱、卸箱后运输方式的选择,以形成该条件下的最优网络运输。

2 模型的建立

2.1 基本假设

1) 服务对象为小批量的货物,便于进行拼箱操作;供给地与需求地不属于同一个国家,便于进行多式联运操作。

2) 整个运输过程中,同一个集装箱全球运输的过程中只有一个货代,可对全局进行统筹规划;货主可以是多个国家,便于沿途边装边卸。

3) 货物拼箱后,该集装箱所装货物的类型已经确定,只能再拼入相同类型的货物,并且集装箱的目的地取决于装入最远距离货物的目的地。

4) 进行拼箱的货物足够多,不会有箱等货的现象;集装箱进行转运,不考虑车辆的调度,是无缝连接的。

5) 指令性优先装箱的原则是:在符合装箱质量和容积限制的货物中,最高优先级:装入和箱内已装货物有相同目的地的货物;次优先级:装入能减少集装箱的空载率的货物。

2.2 数学模型的建立

本文提出了一种基于混合整数线性规划的方法,通过考虑特殊节点,使点与线相结合,形成多式联运网络,用于解决包括不同运输模式和转运位置的联运计划问题。

2.2.1 参数说明

1) 集合:

K 运载工具

F 卡车

B 轮船

R 火车

N 节点

P 货物类别

C 集装箱

L 路线集

A_k 弧的集合

2) 成本参数:

c_{ij}^k 由 k 运输的单位距离运输成本

($r/f/b \subseteq K; i \in N; j \in N$)

c_1 单位质量货物的装载成本

c_2 单位质量货物的卸载成本

c_3 单位集装箱的转运成本

F_c^k 不同运输方式 k 下集装箱的固定费用

e_c 一个集装箱经过的所有节点的个数

3) 箱货参数:

g_{ij}^p 起点为 i 终点为 j 的货物 p 的质量

v_{ij}^p 起点为 i 终点为 j 的货物 p 的体积

G_{\max}^c 集装箱 c 的最大承重量

V_{\max}^c 集装箱 c 的最大体积

G_{\min}^c 集装箱 c 的最小装载单元

V_{\min}^c 集装箱 c 的最小装载体积

P_{m_0} 在节点 m 处优先装箱的货物集

P_{m_1} 在节点 m 处不能装入同一集装箱的货物集

V_m^c 在节点 m 处装卸后集装箱 c 的剩余体积

G_m^c 在节点 m 处装卸后集装箱 c 的剩余承重量

$A_{(ic)}$ 在节点 i 处装入集装箱 c 的货物集

$B_{(ic)}$ 在节点 i 处从集装箱 c 卸下的货物集

λ 如果最大利用容积 $\lambda = 0$, 如果最大利用承重量 $\lambda = 1$, 如果两者均最大利用 $\lambda = 0.5$

η_1 集装箱装载的弹性系数

η_2 集装箱容积的弹性系数

n_p^c 装入集装箱 c 的货物 p 的批量

δ_n^{od} 常数, 如果 $n \in D$ 值为 -1 , 如果 $n \in O$ 值为 1 , 其他的值为 0

q 中转集拼网络中总的货物批次

d_{ij}^k 节点 i 和节点 j 之间的距离

l^c 集装箱 c 的运输路线, 由集装箱的最初起点和货物最远目的地决定, $d_c = \{d_1^c, d_2^c, \dots, d_{\max}^c\}$, $o_c = \{o_1^c, o_2^c, \dots, o_{\max}^c\}$

l^p 货物 p 的运输路线

4) 决策变量:

$g_{ij}^{rs,c}$ 起点为 i 终点为 j 的集装箱运送节点 r 到节点 s 的货物的质量

X_i^c $0-1$ 变量, 集装箱 c 在节点 i 处转运为 1 , 否则为 0

Y_i^c $0-1$ 变量, 集装箱 c 在节点 i 处集拼为 1 , 否则为 0

Z_i^c $0-1$ 变量, 集装箱 c 在节点 i 处卸下货物为 1 , 否则为 0

x_i^c $0-1$ 变量, 集装箱 c 在节点 i 处进行物流作业为 1 , 否则为 0

y_{ij}^k $0-1$ 变量, 交通工具 k 走弧 (i, j) 为 1 , 否则为 0

y_{ij}^{od} $0-1$ 变量, 起点为 o 终点为 d 的货物由弧 (i, j) 提供服务为 1 , 否则为 0

x_{pci} $0-1$ 变量, 货物 p 在节点 i 处装入集装箱 c

为 1, 否则为 0

γ_{lc}^{lp} 0-1 变量, 集装箱 c 的路线 l^c 包含货物 p 的路线 l^p 为 1, 否则为 0

2.2.2 模型建立

$$\min Z = C_1 + C_2 + C_3 = \sum_{c \in C} \frac{F_c^k}{(e-1)} + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \subseteq A_k} c_{ij}^k \times d_{ij}^k \times y_{ij}^k + \left(\sum_{i \in N} \sum_{p \in A(i,c)} c_1 \times g_{ij}^p \times x_{pci} \times x_i^c \times Y_i^c \times \gamma_{lc}^{lp} + \sum_{i \in N} \sum_{p \in B(i,c)} c_2 \times g_{ij}^p \times x_{pci} \times x_i^c \times Z_i^c \times \gamma_{lc}^{lp} + \sum_{i \in N} c_3 \times x_i^c \times X_i^c \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N} y_{in}^{od} - \sum_{j \in N} y_{nj}^{od} = \delta_n^{od} \quad (2)$$

$$y_{ij}^{od} \leq y_{ij}^k \quad (i,j) \in A_k \quad o \in N \quad d \in N; \quad (3)$$

$$\sum_{c=1}^{\max} n_p^c = m \quad p \in P \quad (4)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} g_{ij}^{rs,c} = \sum_{c \in C} \sum_{p \in P} g_p^{rs} \times \gamma_{lc}^{lp} \quad \forall r \in N, \forall s \in N \quad (5)$$

$$x_{pcm} + \frac{1}{|P_{m_i}|} \sum_{i \in P_{m_i}} x_{pci} \leq 1 \quad m \in o_c \cup d_c \quad c \in C \quad p \in P \quad (6)$$

$$\sum_{c \in C} x_{pcm} \leq 1 \quad p \in P - P_{m0} \quad m \in o_c \cup d_c \quad (7)$$

$$\sum_{c \in C} x_{pcm} \leq 1 \quad p \in P_{m0} \quad m \in o_c \cup d_c \quad (8)$$

$$\lambda G_{\min}^c \leq \sum_{p \in A(mc)} g_p \times x_{pcm} \leq \eta_1 G_{\max}^c \quad m \in o_c \cup d_c \quad c \in C \quad (9)$$

$$(1-\lambda) V_{\min}^c \leq \sum_{p \in A(mc)} v_p \times x_{pcm} \leq \eta_2 V_{\max}^c \quad m \in o_c \cup d_c \quad c \in C \quad (10)$$

$$\begin{cases} V_m^c = V_{\max}^c - \sum_{m \in M,p \in A(mc)} v_p \times x_{pcm} \times Y_i^c + \sum_{m \in M,p \in B(mc)} v_p \times x_{pcm} \times Z_i^c; \\ G_m^c = G_{\max}^c - \sum_{m \in M,p \in A(mc)} g_p \times x_{pcm} \times Y_i^c + \sum_{m \in M,p \in B(mc)} g_p \times x_{pcm} \times Z_i^c; \\ V_{m-1}^c + \sum_{p \in B(mc)} v_p \times x_{pcm} \times Z_i^c \geq \sum_{p \in A(mc)} v_p \times x_{pcm} \times Y_i^c \\ G_{m-1}^c + \sum_{p \in B(mc)} g_p \times x_{pcm} \times Z_i^c \geq \sum_{p \in A(mc)} g_p \times x_{pcm} \times Y_i^c \\ m \in o_c \cup d_c; o_p - d_p \in o_c^1 - d_{\max}^c; i \in N; c \in C \end{cases} \quad (11)$$

$$x_{pci} \leq Y_i^c + Z_i^c \quad \forall p \in A(i,c) \cup B(i,c); i \in N; c \in C \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} x_i^c \leq |n| - 1 \quad c \in C \quad (13)$$

$$\sum_{i \in o_c} g_i^c = \sum_{i \in d_c} g_i^c \quad c \in C \quad (14)$$

$$\sum_{i \in o_c} v_i^c = \sum_{i \in d_c} v_i^c \quad c \in C \quad (15)$$

$$X_i^c \in \{0,1\} \quad i \in N; c \in C \quad (16)$$

$$Y_i^c \in \{0,1\} \quad i \in N; c \in C \quad (17)$$

$$Z_i^c \in \{0,1\} \quad i \in N; c \in C \quad (18)$$

$$x_i^c \in \{0,1\} \quad i \in N; c \in C \quad (19)$$

$$\gamma_{lc}^{lp} \in \{0,1\} \quad c \subseteq C; p \in P \quad (20)$$

$$y_{ij}^k \in \{0,1\} \quad (i,j) \subseteq A_k; k \in K \quad (21)$$

$$x_{pci} \in \{0,1\} \quad i \subseteq N; c \subseteq C; p \in P \quad (22)$$

$$y_{ij}^{od} \in \{0,1\} \quad (i,j) \subseteq A_k; o \in O; d \in D \quad (23)$$

$$V_m^c \geq 0 \quad G_m^c \geq 0 \quad m \in d_c \cup o_c; c \in C \quad (24)$$

式(1)是总成本目标函数, 包含货物从供给地到需求地的固定成本和可变成本, 固定成本是指整个运输过程中集装箱的固定使用费用, 与所选的运输方式和集装箱经过的节点有关。可变成本包括两个阶段: 节点作业、运输阶段。节点作业阶段, 包含装载工具对集装箱的装卸成本、集装箱对货物的装卸成本, 以及集装箱在节点的转运成本。运输阶段的成本主要包含集装箱的运输成本。

式(2)为节点的流量守恒; 式(3)确保只有弧 (i,j) 可用时, 目的地为 d 的货物才可以经过这段弧; 式(4)表示满足所有货物需求; 式(5)表示集装箱在相同路线上运送的货物量。式(6) - 式(15)为节点作业的约束; 式(6)为不能同时装箱的约束; 式(7)表示同一种货物只能装在同一集装箱内; 式(8)为指令性优先装箱的约束; 式(9) - 式(11)为货物装箱的质量和容积约束; 式(12)表示如果在 m 点发生了拆箱作业, 则必发生了货物的拼入或卸出; 式(13)为作业点的约束; 式(14)表示集装箱由空箱变为空箱的流量约束; 式(15)表示只要节点发生物流作业, 则拼箱、卸箱、转运至少发生一次。式(16) - 式(24)为 0-1 约束和非负约束。

3 求解算法

针对货物装箱运输问题的求解研究, 可采用分支裁剪法、分支定价法等方法解决此类问题^[11]。但大规模、多约束的复杂问题, 多采用智能算法求解^[12-15]。中转集拼的多式联运网络优化问题, 包含货物的装箱分布问题和复杂运输网络的多式联运问题, 因此是一个具有复杂约束的组合优化问题, 属于 NP-hard 问题。本文针对中转集拼的混合整数规划问题, 运用遗传算法, 选取整个过程总成本最小的装箱和运输方案。

3.1 算法步骤

步骤 1 初始化种群 Chrom, 包含 N_{pop} 对染色体, 每对染色体由双层染色体组成, 分别代表货物段序列和装箱分配关系序列;

步骤 2 解码染色体, 计算每个染色体对应的适应度值, 即完成货物运输的总成本;

步骤 3 判断是否满足迭代停止条件: 最大的遗传代数, 若满足, 则结束算法操作, 否则转步骤 2, 进行适应度值的计算;

步骤 4 选取适应度值相对最大的 N_{pop} 个染色体组成新的种群 Chrom* ;

步骤 5 以新种群 Chrom* 作为父代,按照交叉概率 P_c , 变异概率 P_m 执行对应算子,获得子代,重复进行步骤 2 的操作。

3.2 编码和解码

本文的染色体编码采用双层染色体编码方式,如图 2 所示第一层 L_1 为货物编号的随机生成,第二层编码 L_2 是一个维数可变的向量,在容量约束下,根据贪婪算法,计算出货物的装箱分布。

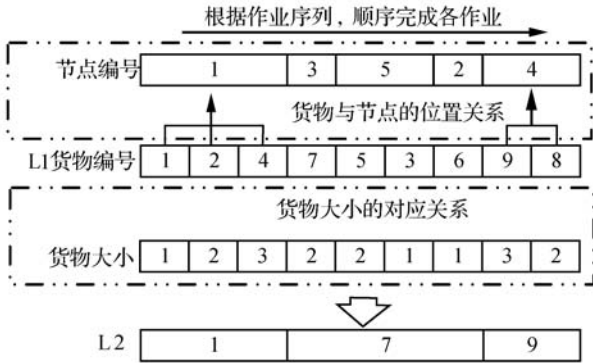


图 2 染色体的编码方式

例如,自然数 1~9 代表货物的编号,其大小依次为 1,2,1,3,2,1,2,2,3,集装箱容量约束为 7 个单位。如图 2 所示,按照容量约束,第一个集装箱装入货物 1,2,4,第二个集装箱装入货物 7,5,3,6,第三个集装箱装入货物 9,8。装入集装箱的第一批货物,作为 L_2 每段基因的编号。

解码过程分为三个阶段,首先根据集装箱编号与货物编号依次解码,得到集装箱 1 装入货物 1,2,4,集装箱 2 装入货物 7,5,3,6,集装箱 3 装入货物 9,8;然后可根据已知的货物起始点位置信息,得到集装箱 1 经过节点 1,5,集装箱 2 经过节点 1,5,2,4,集装箱 3 经过节点 3,4;根据货物的 OD 关系:[1-3,1-5,5-1,1-3,5-4,2-4,3-5,4-1,4-3],得出最终集装箱经过的节点,如图 3 所示。

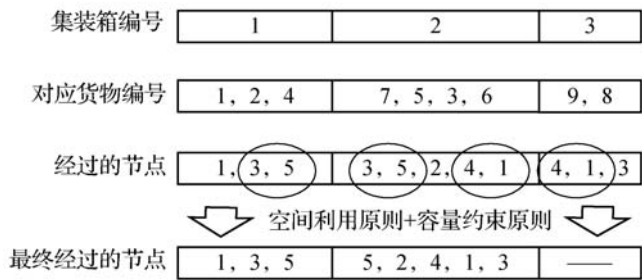


图 3 染色体的解码方式

当集装箱 1 到达节点 3 后,卸下货物 1,3,重新装入货物 7 进行运输;集装箱 2 从节点 5 处开始装入货物 3,5,到达节点 2 装入货物 6,到达节点 4,卸下货物 5,6,由于集装箱容量有剩余,故装入货物 8,9,继续运输,此时只需两个集装箱,即可完成整个运输。

3.3 适应度计算

根据目标函数中作业成本的最小化,计算适应度的步骤如下:

步骤 1 对所生成的染色体,通过模型中装入集装箱的货物的体积、质量约束,对不符合条件的染色体,给予一定的罚数 C_u ;

步骤 2 依照装入集装箱的货物的先后顺序,对单个集装箱货物的装卸成本,按照所经过的节点的先后顺序对 C_3 进行累加;

步骤 3 按照经过节点的先后顺序,对运输成本 C_1 和集装箱的固定成本 C_2 求和;

步骤 4 计算所需集装箱的总的成本 $C = C_u + C_1 + C_2 + C_3$ 。

步骤 5 种群的适应度值 $fit = 1/C$,求得种群的适应度值。

4 算例分析

4.1 数据描述

为了考察算法的有效性,本文模拟了具有 35 个节点(代表不同国家和地区的货物集散港口)的多式联运网络,具体空间分布如图 4 所示。x 轴表示作业节点位置的横坐标,y 轴表示其纵坐标。网络中包含 50 批含不同或相同起点和目的地的货物,为了符合实际情况,数据随机生成且满足公路的单位运输成本高于铁路和水路,单位运输成本公路是水路的 2~3 倍,水路大于铁路,但相差不大,同时公路的单位集装箱固定使用费用少于铁路和水路。

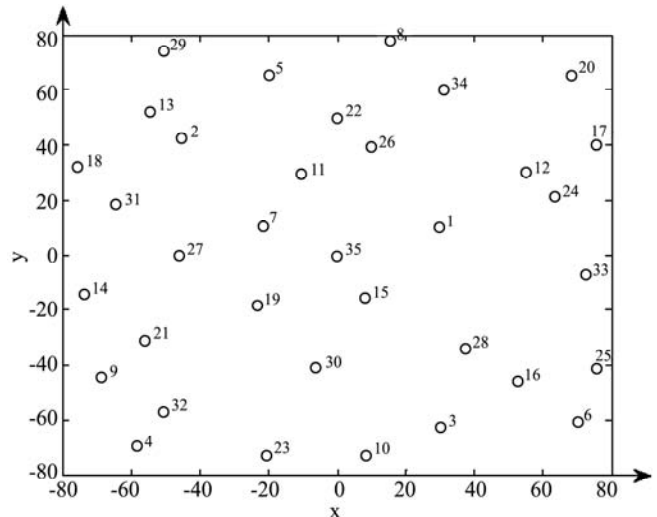


图 4 35 个节点的空间分布

由 $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ 求得城市间的距离。不同节点之间,不同运输方式的单位运输成本按照数据满足条件随机生成,单位质量货物的装卸费用

分别为 $c_1 = 15$ 和 $c_2 = 10$, 单位集装箱的转运费为 $c_3 = 20$, 总成本包括装卸成本、转运成本、运输成本(包含每个箱的运输成本以及整体网络的运输成本)。货物的相关具体信息, 如表 1 所示。不同影响因子的设计取值集合, 如表 2 所示。

表 1 网络中所有货物的信息

货号	质量/t	体积/m ³	起始点	目的地
1	5.260	9.746	35	12
2	2.156	4.251	1	24
3	4.749	8.135	35	17
4	3.608	5.164	12	17
5	5.147	2.863	35	20
6	5.708	6.595	35	34
7	4.053	6.059	35	26
8	8.686	6.226	22	8
9	9.943	9.866	35	22
10	5.660	8.459	35	29
11	2.988	2.317	35	2
12	8.773	12.786	11	5
13	7.556	10.454	35	31
14	5.708	9.037	35	13
15	4.784	5.664	7	18
16	2.107	4.055	35	27
17	3.885	5.240	35	9
18	7.003	8.974	19	14
19	4.727	5.819	21	14
20	1.775	8.217	33	25
21	7.172	14.703	35	6
22	3.849	9.592	35	25
23	2.544	2.949	35	33
24	4.673	13.291	33	25
25	5.193	2.945	35	16
26	3.679	9.444	26	34
27	5.117	6.593	16	6
28	4.724	4.706	2	13
29	5.135	9.888	26	34
30	5.979	7.536	35	12
31	4.247	10.626	35	17
32	7.486	8.465	35	34
33	2.860	3.603	22	8
34	3.732	7.224	11	5
35	3.455	0.941	35	27

续表 1

货号	质量/t	体积/m ³	起始点	目的地
36	5.858	4.482	21	14
37	4.523	7.430	35	25
38	3.869	7.425	26	34
39	2.200	9.829	35	33
40	6.938	5.249	2	13
41	2.308	8.259	36	12
42	1.727	2.496	36	34
43	3.211	9.623	36	4
44	2.435	9.764	36	32
45	4.087	2.649	36	3
46	6.985	4.896	30	23
47	7.215	8.940	35	28
48	4.417	10.096	15	10
49	5.685	7.134	32	23
50	3.087	10.457	35	10

表 2 影响因子设计

影响因子	值
不同运输方式下集装性的固定成本 F_c^k	{ 300, 310, 130; 400, 430, 240; 500, 550, 350 }
装载弹性系数 η_2	{ 0.05; 0.07; 0.1 }

4.2 结果与分析

4.2.1 模型有效性验证

为了验证遗传算法求解模型的有效性, 影响因子分别取表 2 集合中的第一组元素, 通过 MATLAB 编程, 对代码运行 10 次, 选取最优的一次计算过程, 其最大迭代次数为 200 代, 其中到达 80 代时, 曲线趋于收敛趋势, 其后相对收敛缓慢, 此时的满意成本是 14 688.587 9, 需要安排 6 个集装箱, 以满足整体作业要求, 货物装箱的分布如表 3 所示。

表 3 货物装箱的分布表

集装箱编号	装入集装箱的货物的编号
1	12, 34, 15, 18, 36, 19, 9, 32, 42, 6, 8, 33
2	11, 28, 40, 10, 14, 13
3	7, 26, 29, 38, 31, 3, 5, 41, 2, 4
4	22, 37, 23, 39, 20, 24, 1, 30
5	45, 47, 25, 27, 21
6	17, 35, 13, 44, 43, 49, 50, 48, 46

各集装箱经过的节点集合, 以及各节点间的运输方式如表 4 所示。

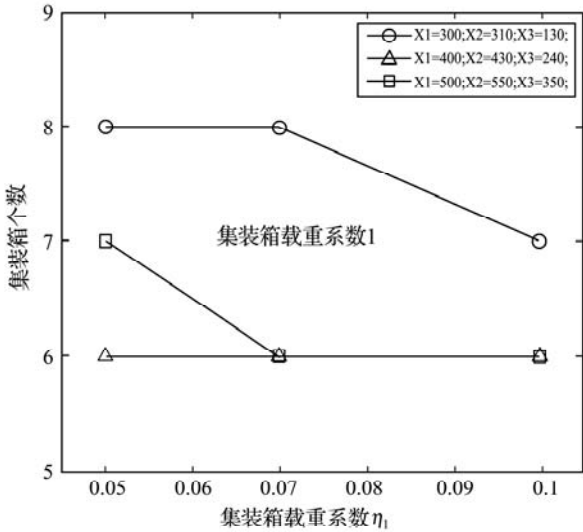
表 4 集装箱经过的操作节点和节点间的运输方式

箱编号	依次经过的操作节点	节点间运输方式
1	11,5,7,19,21,14,18,35,22,8,34	1,2,2,1,2,3,1,1,2,1
2	35,31,2,13,29	1,1,2,2
3	35,1,12,24,17,20,26,34	2,1,2,2,1,2,2
4	35,12,33,25	2,1,2
5	35,28,3,16,6	1,2,2,3
6	35,15,10,30,23,32,4,9,27	2,2,2,1,1,2,3,2

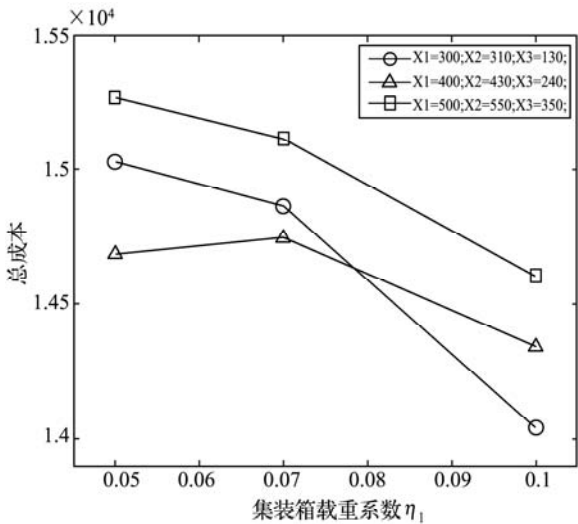
说明:1 表示水路运输,2 表示铁路运输,3 表示公路运输

4.2.2 载重弹性系数和集装箱的固定运输费对结果的影响

由于所研究的集装箱装运小批量货物的问题,其中涉及集装箱的容量约束,以及相应的固定成本,因此分别对表 2 中的影响因子进行测试, $\eta_1 = \{0.05; 0.07; 0.1\}$; $F_c^k = \{300, 310, 130; 400, 430, 240; 500, 550, 350\}$, 取 10 次结果的平均值,结果如图 5 所示。



(a)



(b)

图 5 集装箱载重系数和其固定成本对箱数和总成本的影响

图 5(a) 表示载重系数和集装箱的固定成本对所需集装箱的个数的影响, x 轴表示集装箱载重系数, y 轴表示所需集装箱的个数。当载重系数一定时, 固定成本越大, 箱数需求越小, 当固定成本很小时, 运输成本占总成本的比重较大; 当固定成本一定时, 载重系数越大, 需求量越少, 符合实际情况。

图 5(b) 表示载重系数和集装箱的固定成本对目标函数满意解的影响, x 轴表示集装箱载重系数, y 轴表示总的运行成本。在 F_c^k 一定的情况下, 最优解随载重系数的增加逐渐减小, 载重系数缓慢变化, 成本的减少幅度也相对较小, 这是因为集装箱的容量对整体结果的影响, 按照实际情况, 载重系数不可无限增大。当载重系数一定时, 固定成本的设立对结果也有一定的影响, 当载重系数为 0.05 时, 三种固定成本下所需集装箱数(按固定成本的增序 F_{c1}, F_{c2}, F_{c3} 排列)分别是 8、6、7, 总成本由于 F_{c1} 下所需集装箱个数相对较多, F_{c3} 的固定成本相对较大, 因此总成本 $C_{c3} > C_{c1} > C_{c2}$, 满足实际情况。

4.2.3 对比分析集装箱的利用率

与设立枢纽点进行对比, 经求解得: 节点 35 为枢纽点, 由于货物是静态存在的, 此时首先需要起点非 35 的货物分别运送至枢纽点, 然后从 35 点开始装箱运输, 需要 10 个集装箱, 由于此时的整体成本不具有可比性, 故只比较单个集装箱的成本之和, 相比中转集拼的成本 14 688.587 9 元, 采用枢纽点装箱运输的成本为 19 742.736 4 元, 其中 4 672.9 元为分散节点运往枢纽点的成本, 且不包含枢纽点的建设成本。因此, 采用中转集拼所具有很明显的成本优势。

分析两种不同方案下的集装箱的动态吨位利用率, 如表 5 所示。

表 5 集装箱中转集拼的吨位利用率

箱编号	实际完成的货物周转量/ton-km	有载行程周转量/ton-km	集装箱吨位利用率
1	5 486.248	8 718.098	62.93%
2	5 203.953	7 779.005	66.90%
3	5 984.590	10 447.543	57.28%
4	3 594.774	4 923.291	73.02%
5	3 299.259	4 915.423	67.12%
6	9 670.803	11 935.189	81.03%

表 6 集装箱建立枢纽点的吨位利用率

箱编号	实际完成的货物 周转量/ton-km	有载行程周 转量/ton-km	集装箱吨 位利用率
1	6 100.925	10 031.191	60.82%
2	6 585.257	9 471.685	69.53%
3	3 410.151	6 889.331	49.50%
4	4 718.079	9 226.065	51.14%
5	3 915.076	7 412.528	52.82%
6	5 047.779	9 927.649	50.85%
7	2 896.248	5 077.704	57.04%
8	4 234.227	11 984.380	35.33%
9	6 490.524	10 805.396	60.07%
10	2 399.177	6 897.867	34.78%

通过建立枢纽点,需要 10 个集装箱,不仅成本上不占优势,而且集装箱的利用率也很低,平均吨位利用率为 52.19%,低于中转集拼中的集装箱的最低利用率;而且集装箱的实际货运周转量和有载行程周转量均比较高。因此对于小批量的货物,中转集拼减少了集装箱的空载里程,提高了装载效率,实现了集装箱的极大利用。

5 结 语

本文对中转集拼的运作优化的问题进行分析,通过分析集装箱动态容量和运输优化,提供了一种分析拼箱货运代理的运输整合潜在效益的机制。并设计遗传算法应用于中转集拼运作优化得出以下结论:

在小批量货物的运输网络中,选择合适的货物包装布局和运输方式将降低整个过程的总成本(节省 5 054.148 5 元的成本),这与实际情况相符,说明模型的有效性。利用该算法可以有效解决多货物运输拼装问题;同时得出载重系数与所需集装箱个数、总成本反比的关系;并获得最佳的货物布局,以及每个集装箱的路线,平均动态吨位利用率与建立枢纽相比提高了 15.86%,由此得出中转集拼运作优化的有效性。算法设计说明了该中转集拼运作优化的可行性,值得进一步研究和探讨。

参 考 文 献

- [1] 权家祥. 如何配装拼箱货[J]. 集装箱化,1998(12): 16-16.
- [2] 武大顺. 上海洋山深水港物流园区发展问题研究[D]. 上海:上海海事大学,2007:14.
- [3] 卜雷,尹传忠,蒲云. 优化普零货物配装的遗传算法[J]. 交通运输工程学报,2004,4(4): 84-87.
- [4] Tazan A S, Gen M. A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 62(3): 755-761.
- [5] Belgin O, Karaoglan I, Altiparmak F. Two-echelon vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery: Mathematical model and heuristic approach[J]. Computers & Industrial Engineering, 2018, 115:1-16.
- [6] Hernández S, Peeta S, Kalafatas G. A less-than-truckload carrier collaboration planning problem under dynamic capacities[J]. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 2011, 47(6):933-946.
- [7] Cheung R K, Muralidharan B. Dynamic routing for priority shipments in LTL service networks[J]. Transportation Science, 2000, 34(1): 86-98.
- [8] Serper E Z, Alumur S A. The design of capacitated intermodal hub networks with different vehicle types[J]. Transportation Research Part B Methodological, 2016, 86: 51-65.
- [9] García J, Florez J E, Torralba á, et al. Combining linear programming and automated planning to solve intermodal transportation problems[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 227(1):216-226.
- [10] 谢雪梅,杨家其. 带时间窗的整车多式联运路径优化模型研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2017,41(6):1061-1065.
- [11] Mesa-Arango R, Ukkusuri S V. Benefits of in-vehicle consolidation in less than truckload freight transportation operations[J]. Transportation Research Part E, 2013, 60(12): 113-125.
- [12] 王晓博,李一军. 多车型多品种货物配装优化问题的混合启发式算法[J]. 运筹与管理,2011,20(6): 1-8.
- [13] Oliveira L L D, Freitas A A, Tinós R. Multi-objective genetic algorithms in the study of the genetic code's adaptability[J]. Information Sciences, 2017, 425C:48-61.
- [14] 陆华,赵琨郭. 基于复杂约束的多个集装箱配载优化问题研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2016,40(6):1058-1062.
- [15] Al Chami Z, Manier H, Manier M-A, et al. A hybrid genetic algorithm to solve a multi-objective pickup and delivery problem[J]. IFAC-PapersOnLine, 2017, 50(1): 14656-14661.