

基于粒子群蚁群算法求解多式联运中运输方式与运输路径集成优化问题^{*}

□ 康 凯,牛海蛟,朱越杰,张维存

(河北工业大学 管理学院,天津 300401)

【摘 要】多式联运中运输方式和运输路径选择直接影响到承运人和客户的利益。依据运输方式选择和运输路径优化的关系特点及运输路径和运输过程多样化的实际需求,提出运输方式选择和运输路径优化的集成模型,并根据问题特点,设计粒子群-蚁群双层优化算法对模型求解。该模型解决了运输网络多节点、多方式、多路径的集成优化问题,实验结果表明优于蚁群算法。

【关键词】多式联运;运输方式;运输路径;集成优化;PSO-ACO

【中图分类号】 U116

【文献标识码】 B

【文章编号】 1674-4993(2009)10-0061-05

Research on Improved Integrated Optimization Model for Mode and Route in Multimodal Transportation Basing on the PSO-ACO

□ KANG Kai, NIU Hai-jiao, ZHU Yue-jie, ZHANG Wei-cun

(School of Management, Hebei Univ. of Tech., Tianjin 300401, China)

【Abstract】 The transport mode and transport path in the multimodal transport have an effect on the benefits of the carriers and customers. According to the relationship between the transport mode selection and the transport path optimization, a integrated model which can select the transport mode and optimize the transport path synthetically was proposed to fit the diversification of the transport path and the transport process practically. Then, the solving method about the integrated model was achieved by the PSO-ACO double-layer optimization algorithm. The multi-node, multi-mode, multi-path integrated optimization problems was solved by this modal, experimental show that the result is superior to ACO's.

【Key words】 multimodal transportation; transport mode; transport path; integrated optimization; PSO-ACO

1 引言

随着我国基础设施的不断完善,物流运输方式和运输路径多样化形式逐步健全,多式联运中的运输方式选择和运输路径优化已成为本领域研究的焦点问题之一。多式联运中运输方式选择和运输路径优化相互关联、互为影响,并从运输费用与运输时间等方面影响承运人和客户利益。因此探索多式联运中运输方式与运输路径集成优化方法具有重要的现实意义。

在多式联运中运输方式选择与运输路径优化方面,已有学者做过相关研究,并取得一些成果,如 Zlatoper^[1]等研究了在运价和运量变化时运输方式选择的敏感性,Harper 等^[2]研究显示:不同成本/运量是托运人选择运输方式的决定性因素;

Lozano^[3]等研究了多式联运下的最短路径问题,并应用顺序算法求解,Boussedira^[4]等采用双向研究策略考虑综合运输网络,提出源点和终点间运输时间最小化条件下的最短路径算法。并祥鹤^[5]等研究了多式联运的多目标运输方式选择问题,张运河^[6]等提出一种求解最佳运输路线的广义最短路法,孙华灿等^[7]考虑合理的换装次数和运输方式序列,研究了综合运输网络的路径优化模型。

已有研究成果虽不同程度上促进了多式联运的合理化,但这些研究大多是建立在运输路径单一或运输过程(阶段)直线化的假设之上,难以适应现实中运输路径和运输过程多样化需

【收稿日期】 2009-10-06

^{*} 基金项目 河北省科学技术研究与发展计划项目(09215603D)资助。

【作者简介】康 凯(1964-)男,河北乐亭人,教授,博士生导师,研究方向 集成化管理与协作运营、组织理论与人力资源管理。

求。本文在已有研究基础上, 尝试建立运输方式和运输路径集成优化模型, 并设计相关算法求解, 以适应运输路径和运输过程多样化的需求。

2 运输方式选择和运输路径优化的关系

多式联运中, 选定某两个节点间的运输方式和运输路径是两个相互影响的过程。首先, 选定某种运输方式(如图 1a 所示, 其中节点间不同类型的线代表不同的运输方式)是选择该运输方式所对应的运输路径(如图 1b 所示, 其中节点间不同类型的线代表既定运输方式下不同运输路线)的前提; 其次, 某运输方式下所选择的路径是衡量该运输方式优劣的重要依据。结合多式联运的整体目标, 因此, 运输方式和运输路径整体优化方案在于联运中各环节运输方式和运输路径选择的协调。

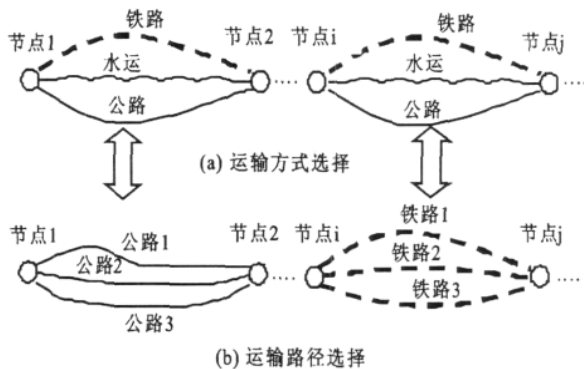


图 1 运输方式与运输路径优化关系

3 运输方式和运输路径集成优化模型

3.1 问题描述

假设一批货物欲从出发点 O 运达目的地 D。途中可选择 n 个节点(城市)中的若干个节点作为中转以构建从出发点到目的点的完整路径, 任意相联的两个节点之间有 k 种运输方式, 且每种运输方式有条运输路径可供选择。每个节点都可实现货物在不同运输方式之间的相互转载, 但需要一定的中转时间和中转费用。整个运输过程还受线路容量和货物转载次数的约束。选择整个运输过程中所途经的节点及节点间最佳的运输方式和运输路径组合, 以使总运输费用最低, 且尽可能满足用户的运输期限。

3.2 假设条件

假设 1 货物的转载只能发生在节点, 且在各节点最多进行一次转载;

假设 2 货物在两个节点只能选择一种运输方式和运输路径;

假设 3 货物在节点换装时不存在库存;

假设 4 运输成本与运距和所选路径单位运输成本成正比。

3.3 符号说明

$x_{ij}^{k,q}$ ——若从节点 i 到节点 j 选择运输方式为 k 的 q 路径, 则 $x_{ij}^{k,q}=1$, 否则 $x_{ij}^{k,q}=0$;

$y_i^{k,l}$ ——若在节点 i 由运输方式为 k 转换为运输方式 l, 则 $y_i^{k,l}=0$, 否则;

$c_{ij}^{k,q}$ ——从节点 i 到 j 选择运输方式为 k 的 q 路径时的单位运输费用;

$t_{ij}^{k,q}$ ——从节点 i 到 j 运输方式为 k 的 q 路径的运输时间;

$c_i^{k,l}$ ——在节点 i 处, 运输方式由 k 转到 l 的中转费用;

$t_i^{k,l}$ ——在节点 i 处, 运输方式由 k 转到 l 的中转时间;

$d_i^{k,q}$ ——从节点 i 到节点 j 运输方式为 k 的 q 路径的运输距离;

$w_{ij}^{k,q}$ ——从节点 i 到节点 j 运输方式为 k 的 q 路径的承载能力;

$[ab]$ ——用户要求的到达期限;

q——待运输的货物总量;

p——货物最多的换装次数;

Ω_n ——节点集合;

Ω_k ——运输方式集合;

Ω_q ——运输路径集合。

3.4 模型描述

$$\min z_1 = \sum_{q \in \Omega_q} \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_n} c_{ij}^{k,q} \cdot d_{ij}^{k,q} \cdot x_{ij}^{k,q} + \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_n} c_i^{k,l} \cdot y_i^{k,l} \quad (1)$$

$$\min z_2 = \max((\sum_{q \in \Omega_q} \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_n} t_{ij}^{k,q} x_{ij}^{k,q} + \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_n} t_i^{k,l} y_i^{k,l} - b), 0) \\ + \max((a - \sum_{q \in \Omega_q} \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_n} t_{ij}^{k,q} x_{ij}^{k,q} - \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_n} t_i^{k,l} y_i^{k,l}), 0) \quad (2)$$

st :

$$\sum_{q \in \Omega_q} \sum_{k \in \Omega_k} x_{ij}^{k,q} = 1, \forall i, j \in \Omega_n \quad (3)$$

$$\sum_{l \in \Omega_k} y_i^{k,l} = 1, \forall i \in \Omega_n \quad (4)$$

$$Q \cdot x_{ij}^{k,q} \leq w_{ij}^{k,q}, \forall i, j \in \Omega_n, \forall k \in \Omega_k, \forall q \in \Omega_q \quad (5)$$

$$\sum_{i \in \Omega_n} y_i^{k,l} \leq p, \forall k, l \in \Omega_k \quad (6)$$

$$x_{ij}^{k,q}, y_i^{k,l} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

$$c_{ij}^{k,q}, d_{ij}^{k,q}, c_i^{k,l}, t_i^{k,l}, a, b \geq 0 \quad (8)$$

3.5 模型说明

其中, 目标函数 (1) 是最小化运输和转载费用 (2) 是总运输时间尽量满足用户要求到达的期限 约束条件 (3) 指两节点间只能选择一种运输方式和一条路径 (4) 指在某节点只能进行一次换装 (5) 指从节点 i 到节点 j 选择运输方式 k 和路径 q 的货物运量不能超出路径承载能力 (6) 指运输过程的总换装次数不能超出规定要求 (7) 和 (8) 为变量的取值范围。

4 算法求解过程

4.1 求解思路

由 3.4 节模型可知, 本文所研究的问题是一类求解多目标、多权值、多约束的运输网络中两节点间最短路问题。该问题已被证明是 NP-hard 问题, 因此采用智能启发式优化算法的求解效果会更好。

首先, 本文所研究问题可以转化为 3 个相关、并需要依次

求解的子问题,即 ①选择由起点到终点所经过的中间节点序列,且使节点间不会形成回路;②对已选定由起点到终点路径上的节点序列,选择节点间的运输方式,且使节点间运输方式的转载次数不超过规定的转载次数;③对已选定由起点到终点路径上的节点序列,选择节点间既定运输方式下的运输路线,且使所选路线的承载能力满足货物运量的要求。

根据上述问题的求解特点,可采用主-从两级(层)的混合智能启发式优化方法对问题进行求解。主级采用编码简单、计算效率高的粒子群优化算法求解子问题①;从级采用基于解空间参数化概率分布模型的蚁群优化方法求解子问题②和③。设计该主-从混合智能启发式优化算法需要解决 3 个关键问题:①主级粒子向量的编码和解码方法;②从级蚁群优化算法的蚂蚁游历地图、局部和全局启发式信息的设计;③主、从两级算法的协调机制。

4.2 算法设计

4.2.1 PSO 设计优化

粒子群优化算法(PSO)是一种进化计算技术(evolutionary computation),由 Eberhart 博士和 Kennedy 博士于 1995 年提出,源于对鸟群捕食的行为研究。

算法描述为:设搜索空间为 D 维,粒子数为 m,第 r 个粒子位置向量为 $X_r=(x_{r1},x_{r2},\dots,x_{rd})$,速度向量为 $V_r=(v_{r1},v_{r2},\dots,v_{rd})$, $r=1\cdots m$, $d=1\cdots D$ 。 $P_r=(p_{r1},p_{r2},\dots,p_{rd})$ 为粒子的历史最优位置向量(即适应值最优的位置向量), $P_g=(p_{g1},p_{g2},\dots,p_{gd})$ 为全局最优位置向量,各粒子按公式(9)更新位置,

$$\begin{aligned} v_{rd} &= wv_{rd} + c_1 r_1(p_{rd} - x_{rd}) + c_2 r_2(p_{gd} - x_{rd}), \\ x_{rd} &= x_{rd} + v_{rd} \end{aligned} \quad (9)$$

式中 w 为惯性因子, c_1, c_2 为学习因子, r_1, r_2 为 $[0,1]$ 之间的随机数。粒子位置和速度初始化随机产生,并按上述公式迭代,直到找到最优解为止。

根据我们求解问题的特点(如图 2),按照运输网络中节点总数 n 构造粒子 r 为一维向量且包含 n 个元素(如图 3),每个元素分别对应相应的节点,表示相应节点解码时的优先级。粒子群算法通过解码找到一条连通起点和终点的节点序列,并计算该通路的路径长度,再将其最优路径回传给蚁群算法以求解最优的运输方式和运输路径组合。

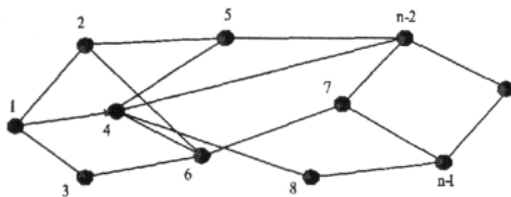


图 2 运输网络图

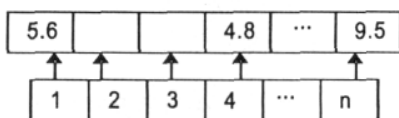


图 3 粒子向量元素结构

4.2.2 蚁群算法设计优化

为更好体现蚁群算法全局搜索的优点,避免早熟、搜索时间长的缺点,在算法设计中不仅集合最大-最小蚁群算法和最优-最差蚁群算法的优点,并在蚂蚁搜索过程中加入了信息素的局部更新,使得蚂蚁更快更好的收敛到最优解。具体优化设计如下:

①对路径选择的设计

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^a(t) \eta_{ij}^b(t)}{\sum_{s \in allowed_k} \tau_{is}^a(t) \eta_{is}^b(t)} & j \in allowed_k \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

蚂蚁在路径选择过程中并不是唯一选择概率最大的路径,而是结合赌轮法,使蚂蚁以较大的概率选择概率最大的路径,但不排除选其他路径的可能,从而保证搜索的全面。

②在蚂蚁构造路径的同时按公式(11)进行局部信息素更新,使相应的信息素量减少,更符合蚂蚁搜索过程,且可以有效避免蚂蚁收敛到同一路径。

$$\tau(i,i+1) = (1-\rho_1) \tau(i,i+1) + \rho_1 \Delta \tau(i,i+1) \quad (11)$$

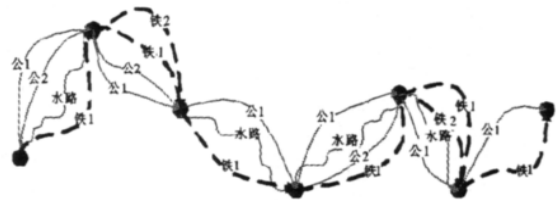


图 4 蚂蚁搜索路径图

③每只完成蚂蚁循环后,不仅对最优蚂蚁的信息素加强,同时对最差蚂蚁的信息素进行削弱,增大最优、最差路径上信息素的差异,使搜索行为更快集中到最优路径。

4.2.3 评价函数的选取

对此类运输问题本模型提出了运输费用最少和运输时间刚好满足客户要求的双目标,设计惩罚函数的概念处理实际运输时间和客户对运期的要求,将运输时间的目标转化为惩罚函数:

$$\begin{aligned} M^* &= \max((\sum_{q \in \Omega_k} \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_k} t_{ij}^{k,q} \cdot x_{ij}^{k,q} + \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_k} t_i^{k,l} \cdot y_i^{k,l} - b) \cdot 0) \\ &+ \max((a - \sum_{q \in \Omega_k} \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_k} t_{ij}^{k,q} \cdot x_{ij}^{k,q} - \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_k} t_i^{k,l} \cdot y_i^{k,l}), 0) \end{aligned} \quad (12)$$

其中 M 为一个充分大的正数,于是将目标装化为

$$\min \sum_{q \in \Omega_k} \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_k} c_{ij}^{k,q} \cdot d_{ij}^{k,q} \cdot x_{ij}^{k,q} + \sum_{k \in \Omega_k} \sum_{i \in \Omega_k} c_i^{k,l} \cdot y_i^{k,l} + (12);$$

其中式子(12)的含义是当实际运输时间大于或小于客户要求的期限,都会使得目标函数值非常大,当实际运输时间在客户要求期限内,式子(12)则不会有影响。

4.3 粒子群-蚁群算法步骤

双层粒子群-蚁群算法分为上下两部分,首先上层粒子群算法产生连通起点到终点的运输节点,下层应用蚁群算法找出此节点序列上最优的运输方式和运输路径的组合,具体算法如下:

步骤 1、PSO 相关参数和变量初始化；

步骤 2、设置蚁群算法相关参数，初始化每只蚂蚁的位置；

(1)按照概率选择公式(10)和赌轮法为每只蚂蚁选择路径；

(2)每只蚂蚁在构造路径的同时按公式(11)进行局部信息素的更新；

(3)循环执行(1)、(2)直到每只蚂蚁都生成一条完整的路径；

(4)按禁忌表记录计算每只蚂蚁的目标函数值，评出最优蚂蚁和最差蚂蚁；

(5)将本次迭代最优蚂蚁的路径按照公式(13)进行全局信息素更新；

$$\tau(r,s)=(1-\rho_2)\cdot\tau(r,s)+\rho_2\Delta\tau(r,s)$$

(13)

(6)将最差蚂蚁按照公式(14)进行全局信息素更新；

$$\tau(r,s)=(1-\rho_2)\cdot\tau(r,s)-\varepsilon\cdot C_{worst}/C_{best}$$

(14)

(7)循环(2)-(7)直到满足结束条件；

步骤 3、调用蚁群算法得出每个粒子的适应度值，更新历史最优粒子位置向量 P_i 和全局最优粒子位置向量 P_g ；

步骤 4、按照公式(9)对粒子速度向量和位置向量进行更新；

步骤 5、循环 2-4 到满足结束条件，用下层蚁群算法得出最优解；

步骤 6、结束。

5 仿真实验

有一批货物，总量为 2000 吨，客户要求在[65h-85h] 之间从 O 地运往 D 地，O、D 两地之间的运输网络及道路信息如下表 1 所示，换装信息如表 2 所示，由于货物原因要求换装次数不得超过 2 次，选取最佳运输节点，求解最佳的运输方式和运输路径组合使总费用最少，运输时间满足客户要求。

表 1 运输网络信息

起始节点	终止节点	运输方式	最大载重 / 吨	运输时间 / 时	运输费用 / 元	起始节点	终止节点	运输方式	最大载重 / 吨	运输时间 / 时	运输费用 / 元
1	2	1	2500	7	8000	5	7	3	3200	35	60000
1	2	1	2600	9	7000	6	7	1	1500	20	35000
1	2	1	2800	10	5000	6	7	1	2800	15	40000
1	2	2	3000	10	5000	6	7	2	3600	16	37000
1	3	1	3000	7	7500	6	7	3	4200	25	27000
1	3	1	4000	9.5	7000	6	8	1	3500	13	60000
1	3	1	2600	12	4000	6	8	2	4600	17	45000
1	3	2	2900	11	4500	6	8	2	5300	14	40000
2	4	1	3000	9	18000	7	9	1	4100	5	20000
2	4	2	2500	11	15000	7	9	1	2900	4	30000
2	4	2	4000	13	13000	7	9	2	3200	3	35000
3	4	1	3000	8	35000	8	10	1	5400	6	10000
3	4	3	6000	18	14000	8	10	1	2700	3	15000
4	5	1	5000	21	50000	8	10	2	2900	2.5	15000
4	5	2	3000	20	30000	8	10	2	6300	2	20000
4	5	3	6200	24	17000	9	10	1	3000	5	5000
4	6	2	5000	32	70000	9	10	1	4000	3	8000
4	6	2	1900	33	60000	9	10	2	5000	2.5	10000
4	6	2	6500	20	90000	10	11	1	3000	3	5000
4	6	3	8000	38	49000	10	11	1	3200	2	7000
5	7	2	6000	33	80000	10	11	2	5200	1.5	10000
5	7	2	2400	26	92000	10	11	4	2000	0.5	50000

表 2 换装信息

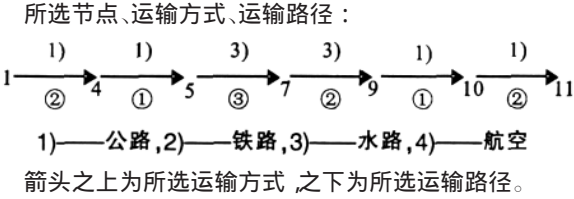
换装 _From	_To	换装费用 / 元	换装时间 / 时
1	2	4.3	2.5
1	3	3	2
1	4	10	3
2	3	2.5	1.2
2	4	8	3
3	4	9	1.5

表 1 中给出了一个包括起点和终点共 11 个节点的运输网络，每两个节点间有 2、3 或 4 种运输方式，每种运输方式又有数条运输路径可以选择，每条路径都有最大运输载重，且每两种运输方式之间换装存在换装费用。

表 3 粒子群-蚁群求解结果

运输费用 / 元	运输时间 / 小时	换装次数 / 次	运行时间 / 秒
138000	85	2	23

用粒子群 - 蚁群算法求解结果如下 :



经过试验程序所定最优参数为 :

表 4 程序参数

α	β	ρ	ϵ	ζ_{\min}	ζ_{\max}
2	5	0.05	0.2	0	1

各运行 15 次与蚁群算法结果比较 :

表 5 结果比较

	运输 费用 / 元	运输时间 / 小时	换装 次数 / 次	运行 时间 / 秒
粒子群 - 蚁群	138000	85	2	23
蚁群算法	165000	85	2	45

通过与蚁群算法的结果比较 ,发现 PSO- ACO 算法不仅比蚁群算法结果优 ,且效率更高。

6 结论

针对多式联运中运输路径和运输过程多样化的实际需求 ,本文提出了运输方式和运输路径集成优化模型 ,设计粒子群 - 蚁群双层优化算法对模型求解 ,解决了多节点、多方式、多路径的运输优化问题 ,得出优化的运输方案 ,通过仿真实验表明其结果优于蚁群算法 ,为承运商选择运输过程提供了参考方法。

[参考文献]

[1] Zlatoper T J,Austrian A. Freight Transportation Demand: A Survey of Recent Econometric Studies [J].Transportaion Journal, 1989,16(1):27-46.
[2] Harper D V,Evers P T.Competitive Issues in Intermodal Railroad-truck Service [J].Transporation Journal,1993,32(3): 31-45.

[3] Lozano A,Storchi G.Shortest viable path algorithm in multimodal networks [J].Transportation Research Part A, 2001,35:225-241.
[4] Boussejram,Bloch C,Eimoudni A. An exact method to find the Intermodal Shortest Path [C].TaiWan,China,2004, (2):1075-1080.
[5] Maurizio Bielli a,Azedine Boulmakoul,Hicham Mouncif. Object modeling and path computation for multimodal travel systems [J].European Journal of Operational Research 175 (2006):1705-1730.
[6] Lili Qu,Yan Chen,Xiangwei Mu. A Transport Mode Selection Method for Multimodal Transportation based on [C].Fourth International Conference on Natural Computation, 2008.
[7] Qinglan Xia.Interior regularity of optimal transport paths[J]. Calculus of Variations,2004,(20),283-299.
[8] Andre's Monzo'n *, Alvaro Rodr'iguez-Dapena.Choice of mode of transport for long-distance trips:Solving the problem of sparse data [J].Transportation Research Part A 2006,(40)587-601.
[9] Jing-Xianghe,Wei-Dongfeng,Zhou-xianzhong. 运输方式选择多目标优化问题的混合遗传算法[J].计算机工程与应用, 2008,44(6):210-212.
[10] Zhang-Yunhe,Lin-Boliang,Liang-Dong,Gao-Hongyan. 优化多式联运问题的一种广义最短路方法研究[J].铁道学报. 2006,28(4):31-34.
[11] Sun-Huacan,Li-Xuhong,Chen-Dawei,Yu-shijun. 综合运输网络中合理路径优化模型 [J]. 东南大学学报,2008,38(5): 873-877.
[12] Zhang-Weicun,Kang-Ka Zi. 蚁群-粒子群算法求解多模式资源受限项目调度问题[J].计算机工程与应用,2007,43. (34):213-216.