

蚁群算法在渤海内支线集装箱运输网络优化中的应用^①

王鹤 邵良杉 任建华 邱云飞 (辽宁工程技术大学 系统工程研究所 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 为了解决集装箱海上运输网络系统的 NP 问题,采用智能仿生蚁群优化算法进行网络优化计算,寻找运输网络中的最短路径。以环渤海内支线集装箱运输网络系统为研究对象,通过构建蚁群优化模型,实验分析和计算,证明运用蚁群智能优化算法可以得到最优的航行路线,算法为合理进行集装箱运输网络的航线配置提供了一个参考依据。

关键词: 蚁群算法;优化组合;最短路径;集装箱运输网络;网络优化

Application of Ant Colony Optimization to the Bohai Sea Container Transportation Network

WANG He, SHAO Liang-Shan, REN Jian-Hua, QIU Yun-Fei

(Liaoning Technical University Systems Engineering Institute, Hu ludao 125105, China)

Abstract: The purpose of this paper is to solve the NP problems of the container sea transport network system. An ant colony optimization algorithm was proposed to search the shortest path of the transportation networks. An ant colonies optimization model for Bohai Sea Container transportation network was constructed by experimental analysis and optimization calculation. It is concluded that the ant colony optimization algorithm obtains the optimal navigation. It provides a reference route configuration for container transportation network.

Keywords: ant colony algorithm; optimization combination; shortest path; container transport network; Network Optimization

随着全球贸易的快速增长,国际集装箱运输量大幅提升,集装箱港口也功能分化日益明显,影响到了整个海上集装箱运输网络体系的演化。目前,集装箱班轮运输已形成干线网和支线网为一体的航线网络。作为集装箱班轮航线网络的重要组成部分,支线运输网络是集装箱枢纽港和干线运输的重要支撑,也是干线运输网络顺利运转的重要保障^[1]。

1 引言

1.1 基本介绍

环渤海内支线已覆盖营口、锦州、秦皇岛、龙口、

烟台、威海、丹东等环渤海地区各主要港口,并形成了以大连港为中转中心、辐射环渤海湾周边港口的完善的外贸公共内支线服务网络。如何科学地解决支线集装箱运输网络优化问题,降低支线运营成本,提高班轮公司的市场竞争力,是航运界面临的重要课题。

本文旨在通过引入人工智能仿生的蚁群优化方法,寻找解决集装箱运输网络系统最短路径最小费用流问题的有效途径,为港口集装箱运输网络系统的统一决策调配提供更充实的参考依据,以提高运输效率,加快沿海经济区域的发展。

^① 基金项目:国家自然科学基金(709711059);辽宁省高等学校创新团队项目(2009T045);辽宁工程技术大学优秀青年科研基金(09-260)

收稿时间:2010-04-18;收到修改稿时间:2010-05-17

2 沿海支线集装箱运输网络问题描述

沿海支线集装箱运输系统是由一个枢纽港和多个支线港组成, 船舶从枢纽港出发, 经过一个或多个支线港, 最后返回枢纽港, 为枢纽港和支线港提供班轮运输服务。运输系统空间布局是一个典型的网络结构: 各班轮公司开辟的航线构成网络的边, 进行集装箱货物装卸的港口构成运输网络的节点^[2,3](如图 1)。其中, H 是枢纽中心大连港, 其他为分布在渤海湾的其它 7 个港口(A,B,...G): 丹东港、龙口港、威海港, 烟台港、营口港、秦皇岛港、锦州港。传统的集装箱网络如图 1(a), 经过发展优化为图 1(b)。降低班轮公司运输成本的因素很多, 其中运输的最短路线是一个主要因素, 也是本文研究的重点。

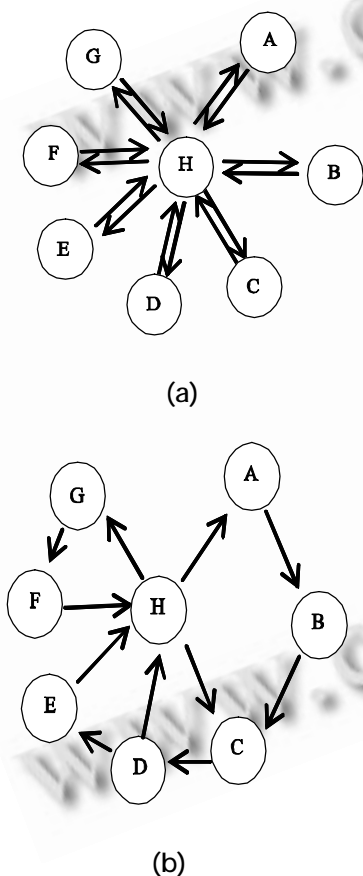


图 1 环渤海内支线运输网络发展对比

这个集装箱运输系统是一个典型的 TSP 问题 (Traveling Salesman problem), 问题详细描述如下: 现有一艘班轮 Q 从枢纽港 D 出发, 有 m 个支线港的货运任务需完成, 最后返回到枢纽港 D。各港口间运输距离已知, 在所有可能的路径中求出路径长度最

短的一条。从图论的角度来看, 该问题实质是在一个带权完全无向图中, 找一个权值最小的 Hamilton 回路^[4]。

该问题的可行解是所有顶点的全排列, 随着顶点数的增加, 会产生组合爆炸, 它是一个 NP 完全问题, 当问题规模较大时, 无法在有限时间内求得, 是一个经典的 NP 难题。

NP 难题使用传统的算法很难求解, 且得到的解多为近似解, 近些年新兴的智能优化算法(也称现代启发式算法)可以很好解决这个问题, 即通过模拟生物进化和生物群体的智能化方法、揭示某些自然现象或过程而得到发展。

目前比较热点研究的主要有人工神经网络、遗传算法、蚁群算法等, 这些算法在并行性、随机性、自适应性、鲁棒性、非线性复杂问题的搜索能力等方面表现出了显著的特点, 在解决 NP 问题上表现出很大的优势。但是相比较, 遗传算法存在收敛慢、容易陷入局部优化导致搜索停滞的缺点。人工神经网络也存在网络收敛速度慢、易于陷入早熟, 参数的选择对求解结果的影响很大。而蚁群算法可以克服上述缺点, 能够表现出比较好的性能, 并且蚁群算法模型、参数设置也相对简单, 便于一些实际应用^[5]。所以本文采用蚁群算法对集装箱网络优化问题进行求解。

3 基于改进的蚁群算法的网络优化

3.1 蚁群算法描述 TSP 问题

蚁群算法(ant colony optimization, ACO), 是一种用来在图中寻找优化路径的机率型算法。它由 Marco Dorigo 于 1992 年在他的博士论文中提出, 其灵感来源于蚂蚁在寻找食物过程中发现路径的行为。蚂蚁觅食过程中, 每一只蚂蚁都会在自己身后留下一定量的信息素, 用于提示自己回巢的路径, 并为其他蚂蚁提示食物的方向。

蚁群算法, 蚂蚁个体之间利用正反馈机制不断进行信息交流和传递, 算法具有很强的并行性, 有利于发现较好解。单个个体容易收敛于局部最优, 而多个个体之间通过合作, 可以很快地收敛于解空间的某个子集, 有利于扩大对解空间的进一步搜索, 从而发现更好的解。

基本蚁群算法描述 TSP 问题^[6]。

- (1) 将 m 只蚂蚁随机分配到 n 个城市中去;
- (2) 位于城市 c 上的蚂蚁 k 以一定概率 P 选择一条从城市 c 到城市 s 的道路, J 表示蚂蚁 k 还没有访问的城市列表;
- (3) 当所有蚂蚁完成环游, 进行信息素更新;
- (4) 看是否满足结束条件, 如不满足则转到(2)。

3.2 改进的蚂蚁群算法

通过对基本蚁群算法进行整体改进, 使其更适于离散网络的优化计算。首先, 进行网络系统的不同诱惑力的“食物”, 各节点间的海路表示为食物间的路径, 使所有港口纳入一个带约束的多点多向连接图中。将 m 只蚂蚁放在 n 个港口的任意起点上 ($1 \leq m \leq n$), 每只蚂蚁趋向于访问具有较高信息素浓度的路径。每个运输航线优化方案由蚂蚁群体走过的路径表示, 每只蚂蚁所走的路线对应为一个方案可行解^[7,8]。

对于在第 i 个港口点的第 k 只蚂蚁, 它以概率 $P_{ij}^k(t)$ 选择下一个港口 j :

$$j = \begin{cases} \operatorname{argmax}(t_{ij})^a \cdot (h_{ij})^b & (i=0, j \in \{1,2,\dots,n\}), q \leq q_0 \\ P_{ij}^k(t), \text{其他} \end{cases}$$

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{(t_{ij})^a \cdot (h_{ij})^b}{\sum (t_{is})^a \cdot (h_{is})^b} & (s \in \{1,2,\dots,n\}) \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

式中: q_0 为变异系数, $0 \leq q_0 \leq 1$; q 为随机生成数且 $q \in [0,1]$ 。 t_{ij} 为节点 i 到节点 j 路径上的信息素量浓度, $t_{ij} \in [t_{\min}, t_{\max}]$, h_{ij} 为 (i, j) 边的可见度; a, b 为信息和能见度的启发式因子。

根据蚁群系统, 只有全局最优的蚂蚁才被允许释放信息素来进行全局更新。在所有 m 只蚂蚁都游历完成之后, 检索出 m 个子方案中成本最小的那只精英蚂蚁, 保存其各种信息并对其路径上的信息素浓度进行全局更新^[2]。

(1) 信息素局部更新规则:

蚂蚁 k 从节点 i 转移到节点 j 后, 边 (i, j) 上的信息素量更新方式如下:

$$t_{ij} = (1-x)t_{ij} + xt_0, \text{ 其中: } t_0 \text{ 为常数, } x \text{ 为可调参数, } 0 < x < 1。$$

(2) 信息素全局更新:

全局更新在所有蚂蚁完成一次循环后执行, 各路径上的信息素根据如下规则更新:

$$t_{ij} = r t_{ij} + \Delta t_{ij}$$

$$\Delta t_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta t_{ij}^k$$

$$\Delta t_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过路径 } (i, j) \\ 0 \end{cases}$$

其中, r 表示信息素残留系数; Δt_{ij} 表示本次循环中路径 (i, j) 上的信息素量的增量; Δt_{ij}^k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留在路径 (i, j) 上的信息素量; L_k 表示蚂蚁 k 在本次循环中所走路径长度。

局部更新新规则可以有效地避免蚂蚁收敛到相同的路径上, 而 r 的作用是: 降低搜索路径被在此搜索的可能性, 扩大了蚂蚁的搜索空间, 但是它的取值必须在 0 到 1 之间。全局更新规则可以使搜索过程具有指导性, 蚂蚁的搜索域为: 当前循环所找到的最优路径领域内, 提高了搜索效率^[8]。

用改进后的蚁群算法求解最短路问题的具体步骤如下:

(1) 初始化。蚂蚁个数 m , 时间 $t=0$, 最大循环次数 NC , 循环次数 $n=1$ 。 $t_{ij} = C$ (为边 (i, j) 上的信息素量初始值), $Q, \Delta t_{ij} = 0, r_{\min}, t_{\min}, t_{\max}$ 。

(2) 将 m 只蚂蚁置于起始点 S , 将各蚂蚁的初始点 S 置于当前解 $\text{tabuk}(s)$, 对每个蚂蚁 $k(k=1, 2, \dots, m)$, 转移至下一节点 j , 再将 j 置于当前解集 $\text{tabuk}(s)$ 中。

(3) 对边 (i, j) 上的信息素进行局部更新, 若 $t_{ij} > t_{\max}$, 令 $t_{ij} = t_{\max}$; 若 $t_{ij} < t_{\min}$, 令 $t_{ij} = t_{\min}$ 。

(4) 重复步骤(2)、(3), 直到所有蚂蚁都到达终点 T 。

(5) 求出本次循环的最优解, 并将其保留。

(6) 判断本次循环的最优解是否等于 N 个循环以前的最优解, 如果等于更新 r ; 否则直接转入下一步。

(7) 更新 $\Delta t_{ij}, t_{ij}$, 若 $t_{ij} > t_{\max}$, 令 $t_{ij} = t_{\max}$; 若 $t_{ij} < t_{\min}$, 令 $t_{ij} = t_{\min}$ 。

(8) 如果 $n=NC$, 循环结束, 输出最优解; 否则, 令 $\Delta t_{ij} = 0$, $n=n+1$, 回到(2)。

4 实证分析

将改进蚁群优化算法运用到沿海支线集装箱运输网络优化中, 以经营环渤海支线集装箱运输的 M 公司为例, 构建以大连港中心、辐射环渤海湾周边各主要支线港口的合理的支线集装箱运输网络。

M 公司是经营环渤海地区外贸支线集装箱运输的企业, 主要从事环渤海港口间支线集装箱班轮运输。运用改进的蚁群算法, 对该公司在环渤海湾的支线集装箱运输航线进行优化选择。通过调查统计得出环渤海各港口间的距离^[9](见表 1)。

表 1 各港口之间距离表(单位: 海里)

D(i,j)	大连	丹东	龙口	威海	烟台	营口	秦皇	锦州
								岛
大连	0	159	127	93	89	210	156	226
丹东	159	0	360	195	195	367	315	383
龙口	127	260	0	123	89	217	143	193
威海	93	195	123	0	47	199	180	208
烟台	89	215	89	47	0	219	169	202
营口	210	367	217	199	219	0	135	61
秦皇岛	156	315	143	180	169	135	0	54
锦州	226	383	193	208	202	61	154	0

取 $\alpha=0.1$, $\beta=2$, $\rho=0.3$, $\tau_0=0.1$, $\tau_{max}=500$ 。用 Java 语言对改性的蚁群算法进行实现, 共进行 15 次运算, 11 次达到近似最优解, 解的平均值为 321062557, 得到的最优解航线为 321065307。同时也用遗传算法和人工网络算法进行计算。遗传算法最优解平均值为 326204858, 最优航线 322098334。遗传算法最优解平均值为 325007521, 最优航线 351998378。三种算法比较如表 2。

M 公司环渤海内支线集装箱网络的最优航线路径为: 0-3-2-1-0-6-5-4-0-7-0。

表 2 几种算法最优解路径比较

运算次数	改进的蚁群算法	遗传算法	人工网络算法
1	321065407	642243011	621008912
2	630543011	350677001	450847321
3	321065407	334590123	321998334
4	560977012	322098334	322091256
5	321054065	537893022	321998334
6	321065407	322098334	321998334
7	321065407	422098335	450857890
8	321065405	322097321	321998234
9	134267054	322098334	321997334
10	321065307	322098334	321998334
11	321065307	322094128	650847112
12	321065406	322098334	321998333
13	321065407	653478001	569011265
14	597021786	543210657	321998334
15	321045607	322098334	351998378

5 总结

集装箱海运网络的合理配置是一个多因素多变化的综合规划问题, 复杂多样的运输方式使得运营企业无法在有限时间内运用线性规划方法进行运营方案决策。本研究主要研究集装箱运输网络的最短路径问题, 环渤海内支线集装箱运输的 M 公司为例, 将自然仿生的蚁群优化算法予以部分改进同海运集装箱运输网络相结合, 将问题转化成典型的 TSP 问题, 并进行了仿真计算求解, 计算出了 M 公司较合理的环渤海支线集装箱运输网络。

蚁群算法具有并行搜索的独特特性, 能够快速找出较优的路线。将蚁群算法应用在海运网络中, 将为海运企业针对集装箱运输网络配置的方案决策提供可靠的理论规划依。

由于集装箱运输系统的复杂性, 本文的归纳一定有不完善之处, 在将来还需要以后从更全面的角度分析研究, 使其更好地解决实际问题。

(下转第 130 页)

参考文献

- 1 谢新连. 船舶调度与船队规划方法. 北京:人民交通出版社, 2000.
- 2 焦宁泊. 沿海支线集装箱运输网络优化研究 [硕士学位论文]. 大连海事大学, 2008.03.
- 3 Ghaug-Ing Hsu, Yu-Ping Hsieh. Direct Versus Terminal Routing on a Maritime Hub-And-Spoke Container Network. *Marine Science and Technology*, 2005,13:209 – 217.
- 4 王进. 蚁群算法在物流系统中的应用研究[硕士学位论文]. 南昌大学, 2008.
- 5 MarcoDorigo, ThomasStutzle. *Ant Colony Optimization*. 2004, The MIT Press.Cambridge, Massehusetts ondon, England.
- 6 段海滨. 蚁群算法原理及其应用. 北京:科学出版社, 2005.
- 7 白明,张健. 可行解优先蚁群算法对车辆路径问题的求解. *计算机系统应用*, 2009,18(1):110 – 113.
- 8 宋向群,张鹏. 基于蚁群算法的港口集装箱运输网络径流优化. *大连理工大学学报*, 2007,17(6):853 – 857.
- 9 薛明昊,杨淮清. 基于改进蚁群算法的铁路路网最优路径规划. *计算机工程与应用*, 2010,46(3):189 – 210.