

[经营·管理]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.027

基于改进的蚁群算法的复杂制造系统 物流配送路径优化

李巧玲¹, 倪益华²

(1. 台州广播电视大学 高职院校, 浙江 台州 318000; 2. 浙江农林大学 工程学院, 浙江 杭州 311300)

摘 要: 为了对复杂系统中物流网络进行规划, 在分析复杂制造系统物流网络特点的基础上, 用多级有向图来对物流配送问题进行建模。针对物流路径的流量和时间限制, 以寻找满足约束条件的最小成本的路径为目标, 利用改进的蚁群算法对配送路径进行规划, 最后运用 MATLAB 语言编程仿真。改进后的蚁群算法克服了一般蚁群算法的不足, 提高了算法的性能, 可以解决复杂制造系统的物流网络配送路径优化问题。

关 键 词: 物流配送; 路径优化; 蚁群算法; 复杂制造系统; MATLAB 仿真

中图分类号: TH187 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2015)02-0106-04

Routing Optimization of Logistics Distribution in Complex Manufacturing Systems Based on Improved Ant Colony Algorithm

LI Qiaoling¹, NI Yihua²

(1. Higher Vocational College, Taizhou Radio & Television University, Taizhou, Zhejiang 318000, China;

2. School of Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: Based on the characteristics of the logistics network in complex manufacturing systems, a multi-level directed graph was used to model the complex logistics distribution problem. In order to satisfy the constraints of seeking the route of least cost as the goal, ant colony algorithm was improved for distribution routing and simulated by using the MATLAB. The algorithm overcomes the general lack of ant colony algorithm and improves the performance. It can solve the problems of logistics network routing optimization in complex manufacturing systems.

Key words: logistics distribution; routing optimization; ant colony algorithm; complex manufacturing system; MATLAB simulation

制造业是国民经济的支柱产业, 制造业的发展水平体现了一个国家的综合国力并制约着其它产业的发展。随着制造业的全球化和信息化进程, 与制造系统相关的企业、部门等各个组织之间相互渗透, 物流作为企业的基本活动, 已经降低原材料消耗、提高劳动生产率之后成为“第三利润源泉”^[1], 并且物流活动从简单的供应商—生产者—销售商的线状模式发展到关系更为错综复杂的网络模式, 因此对复杂系统中物流网络的规划研究尤为重要。物流网络中配送路径优化^[2]是一个 NP 问题, 以往的很多研究证明使用蚁群

算法求解这一类问题具有很大的优越性^[3-4]。但蚁群算法在寻找最优解的过程中搜索到达一定程度后, 容易出现停滞现象, 所有的个体发现的解都是同一个, 不能再对解空间进行深入的搜索^[5]。在这种形势下, 本文针对现代复杂制造系统的特点, 结合物流路径和流量因素, 以改进的蚁群优化算法对复杂制造系统的物流网络配送路径问题进行研究, 使得复杂制造系统的物流成本最小, 物流效率最高。

1 复杂制造系统配送路径模型的建立

现代制造系统中各个组织之间相互关联和影响,

收稿日期: 2014-10-27; 修回日期: 2014-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61175125); 浙江省自然科学基金(Y1110414); 浙江农林大学发展基金(2012FR027)

作者简介: 李巧玲(1976), 女, 浙江台州人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为制造业信息化。通信作者: 倪益华, E-mail: nyh@zafu.edu.cn

各个组织的物流系统之间既彼此相对独立又互相渗透,物流活动之间的关系变得更为复杂。传统的用一个有向图 $G=(V,E)$ (其中 V 是图中的节点集合,假设有 n 个节点, $V=\{0,1,2,\dots,n\}$, E 是边的集合。边为相邻两节点 i,j 间的直达物流路径, $E=\{ij\}, i \neq j, i,j \in V$ 来表示的一般的物流模型已无法满足复杂制造系统的需要。

本文在文献[6]中的多级有向图的基础上进行扩充来描述复杂制造系统中物流配送问题的模型。多级有向图的一级顶点是一个点群集合,是整个制造系统的一个组织;每个点群集合内又由若干二级节点组成

的有向图组成,它们又可以是一个小的制造系统。如果系统再复杂,二级节点又可以由若干三级节点组成,依此类推。多级有向图中的节点 $i \in V$, 用 (i, C_i, T_i) 表示,其中 i 表示节点, C_i 表示节点 i 上的物流费用, T_i 表示节点 i 上的时间延迟。从 i 到 j 的边用 (C_{ij}, B_{ij}, T_{ij}) 表示,其中 C_{ij} 表示路径上的物流费用, B_{ij} 表示从 i 到 j 路径的最大流量, T_{ij} 表示路径所需的时间。这样,复杂的制造系统的物流关系分成若干彼此关联的点群集合。图1给出了一个由6个一级点群集合组成的物流配送路径模型,物流活动从起点1.1开始,到6.6结束。每条路径和节点的相关信息见图1所示。

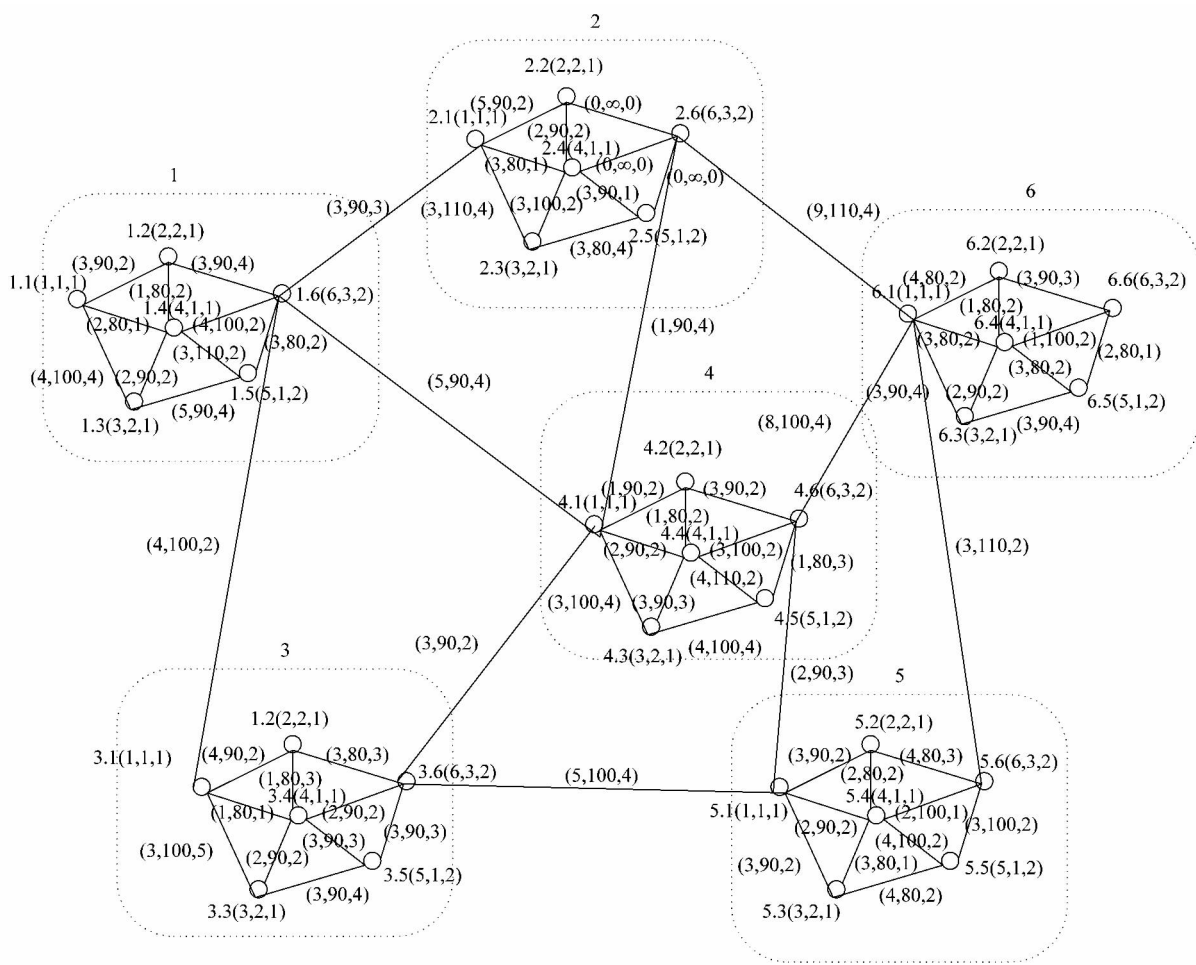


图1 复杂制造系统的物流配送路径模型

Figure 1 Logistics distribution route model of complex manufacturing system

物流配送模型建立之后,模型求解的目标是找到一条从起点到终点的具有最小成本的路径方案 w , 约束条件是:在每条路径 ij 上,流量限制为 $B_{ij} \geq B_w$, 即从 i 到 j 路径的最大流量 B_{ij} 大于物流请求所要求的流量 B_w ;物流起点到终点的时间限制为 $\sum_{i=1}^n T_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} \leq$

T_w , 即所有节点上的时间延迟与所有路径所需时间之和小于等于物流请求所要求时间限制 T_w 。

2 基于改进的蚁群算法的物流配送路径优化

2.1 对蚁群算法的改进

蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)^[7-8]是由意大利学者 M. Dorigo 等人首先提出的一种新型的模拟

进化算法,用以解决多种组合优化问题,例如最短路径寻优问题、二次分配问题、运输调度问题等^[9-11]。蚁群算法的原型是一个寻找最短路径的模型,在物流网络运输问题中,可以把蚁群算法中的蚂蚁映射为负责运输的车辆;算法目标映射为满足一定约束条件的最小成本的路径;路径映射为各个节点之间的费用,流量和时间。信息素 τ_{ij} 用路径费用代替旅行商问题(TSP)中的路径长度;启发信息 η_{ij} 为根据启发式算法得到的关于路径费用的函数。

传统的蚁群算法解决物流网络问题的数学模型为:设 m 为蚁群中蚂蚁的数量,这些蚂蚁具有记忆功能,蚂蚁在运动过程中,根据概率选择规则生成一个有 M 步过程的行动路线,用 $p_{ij}^k(t)$ 表示 t 时刻循环蚂蚁 k 由节点 i 转移到节点 j 的状态转移概率

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in A_{\text{allowed}}^k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}(t)]^\beta}, & j \in A_{\text{allowed}}^k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

A_{allowed}^k 表示蚂蚁下一步可以选择的节点集合, s 属于 A_{allowed}^k 中的某个节点。 $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻边 ij 上残留信息素浓度,初始时刻,各条路径上信息量相等,设 $\tau_{ij}(0)$ 为一个常量。 $\eta_{ij}(t)$ 表示 t 时刻边 ij 上的局部启发信息即能见度。一般定义 $\eta_{ij}(t) = \frac{1}{d_{ij}}$, d_{ij} 是节点 i 到节点 j 的间的距离,其值越小, $\eta_{ij}(t)$ 越大, $p_{ij}^k(t)$ 越大。 α 为信息启发式因子,表示轨迹(信息素)的相对重要性。 β 为期望启发式因子,表示能见度(距离)的相对重要性。

在模型规模和复杂度比较高时蚁群算法搜索时间较长,容易出现停滞现象,局限于局部最优解,因此为了提高算法的全局搜索能力及收敛速度,本文从以下两方面对蚁群算法进行改进,解决复杂制造系统中的物流网络运输问题。

1) 路径选择策略

给定一个初始参数 q_0 ($0 \leq q_0 \leq 1$),假设 t 时刻蚂蚁 k 在节点 i 上,产生一个 $[0,1]$ 的随机数 q ,如果 $q \leq q_0$,蚂蚁 k 选择由启发信息和信息素浓度中较大的目前局部最优的下一节点:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \max([\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta), & j \in A_{\text{allowed}}^k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

否则,和基本蚁群算法相似,如公式(1),执行有

控制的探索,引导算法趋于收敛。该状态转移策略在轮盘赌选择法^[12]的基础上增加了搜索的多样性,可以避免过早地陷入局部最优而导致算法停滞。

2) 信息素更新策略

对于第 k 只蚂蚁,如果节点 i, j 是该蚂蚁所选路径上的2个相邻节点,则 $t+1$ 时刻信息素浓度 $\tau_{ij}(t+1)$ 可调节为

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \rho F. \quad (3)$$

式中: ρ 表示信息素衰减系数,范围在 $[0,1]$ 。 F 是一个由约束条件决定的限制函数,由费用限制 F_1 和流量与时间限制 F_2 组成:

$$F = F_2 - F_1. \quad (4)$$

其中:

$$F_1 = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} + \sum_{i=1}^n C_i, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁所选路径为 } ij \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

$$F_2 = K_1 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (B_{ij} - B_w) + K_2 (T_w - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} - \sum_{i=1}^n T_i). \quad (6)$$

式中 K_1 和 K_2 分别表示流量可用限制系数和时间可用限制系数。

与其他改进的蚁群算法相比较,该信息素更新策略中充分考虑到了路径和节点上的费用和时间延迟,可以更科学地进行配送路径的优化。如果每一项在计算中超出流量或时间限制,则该项值取0,以此减少迭代次数,提高计算效率。

2.2 复杂物流系统内寻找最优路径的算法

假设复杂制造系统内物流网络构建为一个 N 级有向图模型,在上述改进蚁群算法的基础上,寻找最小成本路径的算法步骤为:

1) 寻找一个聚类点群内的最优路径。

①初始化有向图中各边的信息素。

②不符合流量限制要求的路径(即流量小于流量限制的路径)中设 $K_1=0$ 。

③放置 m 只蚂蚁于网络节点中,第1个时间单位,每只蚂蚁从节点集合中随机选择一个节点,然后各蚂蚁通过应用路径选择策略公式(1)和(2)选择各自的路径。直到 m 只蚂蚁都完成步骤③。

④选择费用最小并满足限制要求的蚂蚁,使用信息素更新策略对该蚂蚁所选路径的信息素进行更新。

⑤重复③和④步,直到获得最优路径结果。

2) 用 $N-1$ 级一个节点代替 N 级点群,把步骤 1) 所得最优路径相关信息保存在 $N-1$ 级节点信息中,最优路径的费用和时延等信息就是该节点的费用和时延信息。

3) 重复步骤 1) 和 2),直到寻找并保存好所有聚类点群内的最优路径信息,构建出 $N-1$ 级网络模型。

4) 重复步骤 1) 到 3),计算所有 $N-1$ 级聚类点群内的最优路径,构建 $N-2$ 级网络;依此类推,直到计算出第 1 级最优路径。

3 实验分析

通过 MATLAB 编程仿真图 1 表示的模型中节点 1.1 到 6.6 的最优路径求解过程,约束条件是: $B_w = 70 \text{ t}$, $T_w = 35 \text{ h}$ 。初始条件 $m = 20$, $q_0 = 0.8$, $\rho = 0.09$, $K_1 = 10$, $K_2 = 10$ 。按照上节描述的算法,先计算二级聚类点群的最优路径,聚类点群 1 的最优路径为 1.1→1.4→1.6,最小费用为 11 000 元,最小时延为 7 h,因此聚类点群 1 可以抽象为 (1,11,7)。各聚类点群内的最优路径信息计算结果如表 1 所示。

表 1 二级聚类点群内最优路径信息表

Table 1 Secondary clustering points within group of optimal path information table

节点	最小费用/元	最小时延/h	最优路径
(1,11,7)	11 000	7	1.1→1.4→1.6
(2,8,5)	8 000	5	2.1→2.4→2.6
(3,8,7)	8 000	7	3.1→3.4→3.6
(4,10,8)	10 000	8	4.1→4.2→4.6
(5,9,7)	9 000	7	5.1→5.4→5.6
(6,9,8)	9 000	8	6.1→6.4→6.6

6 个聚类点群计算结束后一级网络图可由图 2 表示。

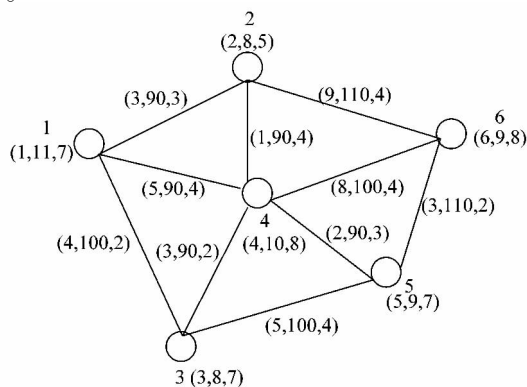


图 2 一级网络图

Figure 2 First level network diagram

继续调用蚁群算法,得到最优配送路径为: (1.1→1.4→1.6→2.1→2.4→2.6→6.1→6.4→6.6), 费用为 40 000 元,时延为 27 h。

在限制要求不变的前提下,与基本的蚁群算法进行求解相比较,实验进行 100 次,本文提出的算法的平均计算时间为 16.18 s,而基本的蚁群算法的平均计算时间为 32.24 s,对于复杂的物流网络,该算法可以有效地提高计算速度。

4 结论

通过对蚁群算法的分析,结合复杂制造系统中物流配送问题的模型,实现了基于改进蚁群算法的复杂制造系统物流网络的优化。该算法从路径选择策略和信息素更新策略等方面进行改进,能很好地提高算法收敛速度,扩大算法搜索空间。基于上面的解决方案,采用 MATLAB 实现了该算法的性能测试,实验证明该方法可以有效地实现对复杂物流网络的配送路径的优化。

参考文献:

- [1] 刘颖,刘飞,阎春平. 大物流工程项目类制造系统的跨企业物流调度模型[J]. 中国机械工程,2003,14(6):537-540.
- [2] BULLNHEIMER B, HARTL R F, STRAUSS C. An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem[J]. Annals of Operations Research,1999,89:319-328.
- [3] BLUM C, DORIGO M. The hyper-cube framework for ant colony optimization[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics:Part B,2004,34(2):1161-1172.
- [4] 薛戈丽,王建平. 一种基于蚁群算法的物流配送 VRP 解决方案[J]. 计算机系统应用,2012,21(2):200-203.
- [5] 张静,卫文学,刘倩. 基于遗传算法的物流配送路径优化算法[J]. 中国科技信息,2013(1):98-99.
- [6] 李东龙. 无边界制造系统的物流网络规划及其系统实现[D]. 杭州:浙江理工大学,2009:33-34.
- [7] COLOMI A, DORIGO M, MANIEZZO V. Distributed optimization by ant colonies[C]//Proceeding of ECAL91-European Conference on Artificial Life. Paris, France: Elsevier Publishing, 1991:134-142.
- [8] DORIGO M, MANIEZZO V, COLOMI A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics:Part B,1996,26(1):29-41.
- [9] 祝文康,钟育彬. 基于改进蚁群算法的物流车辆调度问题研究[J]. 江南大学学报,2012,11(3):273-276.
- [10] 张维泽,林剑波,吴洪森,等. 基于改进蚁群算法的物流配送路径优化[J]. 浙江大学学报,2008,42(4):574-578.
- [11] 陈建军. 蚁群算法在物流配送路径优化中的研究[J]. 计算机仿真,2011(2):268-271.
- [12] 滕玮. 基于蚁群算法的车辆调度问题研究[D]. 武汉:华中师范大学,2006:35-36.
- [13] 何文锦,鲁建厦,李修琳. 基于生产物流瓶颈的生产排程研究[J]. 轻工机械,2013,31(1):101-105.