

文章编号: 1001-0920(2007)01-0109-04

协同物流网络的任务协调决策模型及其求解算法

宁方华, 陈子辰, 熊 励, 张 云

(浙江大学 现代制造工程研究所, 杭州 310027)

摘 要: 为优化网络资源配置和物流任务的分工协调, 提出一种协同物流网络的任务协调决策模型, 并为其设计了病毒进化求解算法. 该方法将时间和资源成本因素综合到主个体适应度函数中, 通过遗传操作和病毒感染操作获得活动的执行顺序和执行模式, 并运用逆向调度方法合理安排各种模式下活动的开始时间. 对资源成本和执行时间具有不同要求的两种情况进行了仿真实验. 研究结果表明, 该模型和算法是可行的, 为物流网络的高效协同提供了有效的决策方法.

关键词: 协同物流; 任务协调; 病毒进化算法; 决策优化

中图分类号: TP18; F253 **文献标识码:** A

Decision model and algorithm of task coordination for collaborative logistics network

NING Fang-hua, CHEN Zi-chen, XIONGLi, ZHANG Yun

(Institute of Modern Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China. Correspondent: NING Fang-hua, E-mail: fhning@zju.edu.cn)

Abstract: In order to optimize resource configuration and task allocation in collaborative logistics network, a decision model of task coordination is presented. The virus evolutionary genetic algorithm (VEGA) is constructed. The cost and time information are combined into the host fitness function. The operating order and mode of activities are obtained by host evolution and virus infection, and then start time is coordinated by a converse scheduling method. Experiments in two cases with different demand of cost and time of logistics activities. Show that the model and VEGA are valid to provide an effective decision solution for efficient collaboration of logistics network.

Key words: Collaborative logistics; Task coordination; VEGA; Decision optimization

1 引 言

伴随着新一代制造模式和协同商务的兴起, 协同物流的观念已逐渐引起学术界的关注. 它的主要思想是通过优化配置网络成员的有限资源, 以更快的速度和更低的成本将产品或服务送达目的地, 实现更高的顾客满意度. 实现物流协同的关键在于如何将各项物流任务合理地分配给各个网络节点. 时间和资源成本是限制物流协同效果的两个重要因素, 它们之间体现为一定的悖反关系. 因此, 协同策略的任务旨在寻找二者的平衡, 使得整个网络系统的综合性能达到最优.

本文针对物流服务的即时性、低成本目标, 得到资源共享及优化配置的物流协同策略, 以便为企业

间的协同合作提供有力的决策依据.

2 任务协调决策模型

物流活动的资源消耗因不同的节点操作可能存在多种方式, 从而使得任务的执行时间不同. 假设协同物流网络中的 K 项任务 $T_1, T_2, \dots, T_k, k \in \{1, 2, \dots, K\}$, 如采购、供应、配送等, 共有 n 个活动需要执行, 每项任务 T_k 具有一个截止期限 D_k 和最大成本预算 $C_{k \max}$; 每项任务由各自的活动序列 $T_{kl} (l \in \{1, 2, \dots, n_k\})$ 构成, 如订单处理、包装、装卸、运输、存储、搬运、退货处理等. 每个活动 $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 可以由网络的不同节点 $N_i (i \in \{1, 2, \dots, m\})$ 执行, 由于各节点使用的资源和成本不同, 每个活动拥有一个执行模式集合 M_j , 其中元素 m_{ij} 表示活动 j 由节

收稿日期: 2005-10-25; 修回日期: 2006-01-23.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70172016).

作者简介: 宁方华(1978—), 女, 山东泰安人, 博士生, 从事供应链物流管理、CIMS 和协同商务等研究; 陈子辰(1950—), 男, 福州人, 教授, 博士生导师, 从事先进制造模式、微机电系统和 CIMS 等研究.

个执行模式下的节点编号 N_i 替换 r_i , 并采用轮盘赌法选择优良的个体。

3.3.3 病毒个体的进化操作

在病毒感染中, 病毒个体以一个动态变化的感染概率 $\text{inf} = \min\{1 + i, t\} \frac{\text{inf}^{\text{init}}}{\text{inf}^{\text{max}}}$ 替换对应的主个体的基因, 形成一个新的个体, 其中系数 $i, t+1 = i, t + f v_i / \frac{f_{h_k}}{k U}$, 初始值 $i, 0 = 0$. 以概率 copy 和 cut 进行复制/剪切操作, 产生新的病毒。

4 算法效率分析

为了验证上述算法, 应用模式理论^[6] 定性分析本文所设计的病毒进化算法的计算性能. 每个病毒个体可以看作一种模式, 记为 H_k ; 具有模式 H_k 的主个体的集合记为 $S(H_k)$, 则对应模式 H_k 的所有第 t 代主个体的平均适应值为

$$\overline{f_h(H_k, t)} = \frac{f_{h_i}}{i S(H_k)} / N(H_k, t). \quad (9)$$

其中: $N(H_k, t)$ 为与病毒模式 H_k 匹配的第 t 代主个体数, f_{h_i} 为模式个体的适应值。

不考虑交叉和变异的影响, 按轮盘赌比例选择规则, 在传统的遗传算法中, 第 $(t+1)$ 代主群体中模式 H_k 的数量为

$$N(H_k, t+1) = N(H_k, t) \frac{\overline{f_h(H_k, t)}}{\overline{f_h(t)}}. \quad (10)$$

因为规模为 N 的主种群中所有个体的平均适应值为 $\overline{f_h(t)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_{h_i} / N$, 所以式(10)又可表示为

$$N(H_k, t+1) = N \frac{f_{h_i}}{i S(H_k)} / \sum_{i=1}^n f_{h_i}. \quad (11)$$

模式 H_k 的 $(t+1)$ 代主群体由两部分组成: 一部分是比原个体具有更好适应度的感染后的个体, 记作子群 $T(H_k)$; 另一部分是感染后个体适应值减小的保留主个体. 同样, 主群体也可划分为两部分. 式(11)进一步表示为

$$N(H_k, t+1) = N \frac{\frac{f_{h_i}}{i S \setminus T} + \frac{f_{h_i}}{i T(H_k)}}{\frac{f_{h_i}}{i hp(t+1) \setminus T} + \frac{f_{h_i}}{i T(H_k)}}. \quad (12)$$

设感染后模式个体的适应值为 f_{h_i} , 感染后第 $(t+1)$ 代主群体中模式 H_k 的期望数量表示为

$$N(H_k, t+1) = N \frac{\frac{f_{h_i}}{i S \setminus T} + \frac{f_{h_i}}{i T(H_k)}}{\frac{f_{h_i}}{i hp(t+1) \setminus T} + \frac{f_{h_i}}{i T(H_k)}}. \quad (13)$$

定理 1 求解协同物流网络决策协调模型的病毒进化算法中, 高于主群体平均适应值的模式在后续代中试验次数的递增指数高于传统遗传算法的递增指数, 即 $N(H_k, t+1) > N(H_k, t)$.

证明 首先证明下式成立:

$$\left(\frac{f_{h_i}}{i hp(t+1) \setminus T} - \frac{f_{h_i}}{i S \setminus T} \right) \left(\frac{f_{h_i}}{i T(H_k)} - \frac{f_{h_i}}{i T(H_k)} \right) > 0. \quad (14)$$

因为主群体的个体数不小于模式群体的数目, 所以 $\frac{f_{h_i}}{i hp(t+1) \setminus T} > \frac{f_{h_i}}{i S \setminus T}$. 从病毒感染操作的原理可知 $f_{h_i} > f_{h_i}$, 从而推得定理 1 成立。

定理 1 表明, 病毒进化算法的问题求解效率高于传统遗传算法。

5 仿真实验

对于 4 个物流任务的一系列活动在 6 个网络节点间的分工协调问题, 用 C# 编制程序进行仿真实验, 主要数据如表 1 所示. 对于每一种执行模式, “/” 左边的数字代表活动的执行时间, 右边的数字为资源成本. “—” 表示不存在此执行模式. 设定仿真实验的初始参数为 $N = 200, M = 20, g_{\text{max}} = 300, \text{mut} = 0.05, \text{inf}^{\text{init}} = 0.03, \text{inf}^{\text{max}} = 0.1, \text{copy} = 0.2, \text{cut} = 0.15, \alpha = 0.9$, 运用上述算法进行优化协调。

实验结果如表 2 所示, 其中成本和时间分别指各项任务的资源费用和总执行时间. 从表 2 可以看出, Case 1 对执行成本的要求高于执行时间 ($>$), 协调的结果为牺牲执行时间偏向成本最小化; Case 2 与之不同, 协调的目标偏重于任务的总时间最短. 在满足每项物流任务及时性要求的前提下, 根据系统对活动的执行成本和时间的不同要求, VEGA 方法获得了令人满意的结果。

表 1 协同物流任务的活动参数

T_k	T_1			T_2			T_3			T_4		
D_k / k	30/2			34/3			38/3			40/4		
T_{k1}	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{31}	T_{32}	T_{33}	T_{41}	T_{42}	T_{43}
N_1	4/20	-	2/20	6/20	8/20	-	10/20	-	-	18/28	-	2/20
N_2	6/16	6/16	8/16	-	6/24	-	12/16	8/16	-	-	12/16	-
N_3	8/12	-	10/14	10/12	-	8/32	-	-	26/22	14/36	-	6/16
N_4	-	4/20	-	-	-	-	-	6/24	-	18/28	8/24	-
N_5	-	8/12	-	4/24	12/16	14/20	-	10/12	18/36	-	-	-
N_6	-	-	-	-	-	22/12	-	-	24/28	-	10/20	6/16

表 2 两种情况下的决策协调结果

	Case I: $\alpha = 0.7, \beta = 0.3$	Case II: $\alpha = 0.4, \beta = 0.6$
执行顺序	(3,4,2,3,1,2,3,1,4,2,1,4)	(2,3,2,1,2,3,1,4,3,1,4,4)
执行模式	(1,3,5,4,2,1,5,2,6,3,1,6)	(5,1,3,2,3,6,4,2,5,2,4,1)
开始时间	(4,6,14,14,16,18,20,22,24,26,28,34)	(2,4,6,8,12,14,16,16,20,22,30,38)
执行成本	264(44 + 60 + 80 + 80)	280(52 + 76 + 80 + 72)
执行时间	112(22 + 32 + 34 + 24)	92(14 + 20 + 34 + 24)

6 结 语

本文以系统的总成本最小和 JIT 服务为目标,构建了协同物流网络中活动分工协调的决策优化模型及算法.结果表明,针对成本和时间的不同要求,该方法对于多节点的任务协调决策是可行的.然而,协同物流网络的最终决策优化尚有赖于系统整体方案与成员局部优化之间的动态协调,这将在下一步的研究中得到体现.

参考文献(References)

- [1] Cheng R, Gen M, Tsujimura Y. A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms, Part I: Representation[J]. Int J of Computers and Industrial Engineering, 1996, 30(4): 343-364.
- [2] 潘全科,罗翔,朱剑英.基于准时制的时间成本双目标作业调度优化[J].东南大学学报,2003,33(1):97-101.
(Pan Q K, Luo X, Zhu J Y. Intelligent scheduling optimization of bi-objective job-shop based JIT production[J]. J of Southeast University, 2003, 33(1):

97-101.)

- [3] Kolisch R. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation[J]. European J of Operational Research, 1996, 90(2): 320-333.
- [4] 刘士新,王梦光.一种求解工程调度中时间/成本权衡问题的遗传算法[J].东北大学学报,2000,21(3):257-259.
(Liu S X, Wang M G. Genetic algorithm for the discrete time/cost trade-off problem in project networks[J]. J of Northeastern University, 2000, 21(3): 257-259.)
- [5] 胡仕成,徐晓飞,李向阳.项目优化调度的病毒协同进化遗传算法[J].软件学报,2004,15(1):49-57.
(Hu S C, Xu X F, Li X Y. A virus coevolution genetic algorithm for project optimization scheduling [J]. J of Software, 2004, 15(1): 49-57.)
- [6] Yang H J, LI M Q. Schemata theorem and building blocks in evolutionary algorithms [J]. Chinese J of Computers, 2003, 26(11): 1550-1554.

(上接第 108 页)

参考文献(References)

- [1] Lenstra J K, Rinnooy Kan A H G. Complexity of vehicle routing and scheduling problems [J]. Neural Networks, 1981, 11: 221-227.
- [2] Laporte G, Mercure H, Nobert Y. A branch and bound algorithm for a class of asymmetrical vehicle routing problems[J]. J of Operational Research Society, 1992, 43(5): 469-481.
- [3] Fisher M L. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum K-trees[J]. Operations Research, 1994, 42(4): 626-642.
- [4] Clarke G, Wright J W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points [J]. Operations Research, 1964, 12(4): 568-581.
- [5] Gillett B, Miller L. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem[J]. Operations Research, 1974, 22(2): 340-349.
- [6] Fisher M L, Jaikumar R. A generalized assignment heuristic for vehicle routing [J]. Networks, 1981, 11

(2): 109-124.

- [7] Bezdek J C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms [M]. New York: Plenum Press, 1981: 39-40.
- [8] Chen L, Aihara K. Chaotic simulated annealing by a neural network model with transient chaos[J]. Neural Networks, 1995, 8(6): 915-930.
- [9] Glover F. Tabu search — Part I [J]. Operations Research Society of America J on Computing, 1989, 1(3): 190-206.
- [10] Glover F. Tabu search — Part II [J]. Operations Research Society of America J on Computing, 1990, 2(1): 4-32.
- [11] Christofides N, Eilon S. An algorithm for the vehicle dispatching problem [J]. Operations Research Quarterly, 1969, 20(3): 309-318.
- [12] Campos V, Mota E. Heuristic procedures for the capacitated vehicle routing problem[J]. Computational Optimization and Applications, 2000, 16(3): 265-277.