

文章编号:1001-9081(2010)10-2828-03

敏捷供应链插单调度优化的启发式算法

王建华^{1,2}, 李 南¹, 黄贤凤², 郭 慧¹

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 210016; 2. 江苏大学 工商管理学院, 江苏 镇江 212013)

(jiannywang@163.com)

摘 要:针对在敏捷供应链已有生产计划基础上进行的插单调度问题,以单工厂和多供应商组成的两级供应链系统为研究对象,采用时间槽表示可用调度时间,以最小化供应链总成本为目标,建立了调度优化问题的整数规划(IP)模型,设计了求解该模型的逐批选优启发式(OOSH)算法。通过算例将其与距离优先和作业周期优先决策算法比较,验证了启发式算法的有效性,显示了敏捷供应链协同调度可以有效提高供应链的市场竞争力。

关键词:供应链;插单调度;优化;时间槽;启发式算法

中图分类号: TP18;C391.9 **文献标志码:** A

Heuristic algorithm for optimizing insertion order schedule of agile supply chain

WANG Jian-hua^{1,2}, LI Nan¹, HUANG Xian-feng², GUO Hui¹

(1. College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China;

2. School of Business Administration, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: In order to solve the insertion order scheduling problem of agile supply chains for production planning, a two stage supply chain composed of one factory and many suppliers was studied. Taking the minimization of the total supply chain cost as the objective, an Integer Planning (IP) model was designed to describe the scheduling problem based on the time slot representation of each firm's available scheduling periods, and an One-by-One Selection Heuristic (OOSH) algorithm was proposed to resolve the IP model. Finally, by contrast with the calculation results of Distance Priority (DP) and Cycle Time Priority (CTP) algorithms in some scheduling experiments, the feasibility and effectiveness of the model and algorithm were verified. The experimental results also reveal that the form of agile supply chain is competitive.

Key words: supply chain; inserting order scheduling; optimization; time slot; heuristic algorithm

0 引言

敏捷供应链(Agile Supply Chain, ASC)是在竞争、合作、动态的市场环境中,由供应商、制造商、分销商等实体构成的快速响应环境变化的动态供需网络^[1]。因为敏捷供应链具有的动态、重组和柔性等特征,可以有效提高供应链在复杂市场环境中的竞争力,人们对敏捷供应链的特点和构建过程进行了大量的研究。文献[2-4]对敏捷供应链模式与现有的精益生产和敏捷制造进行了深入的比较及分析,充分描绘敏捷供应链最适合于当前客户定制、需求波动幅度大的市场环境;文献[5-6]针对信息集成、过程集成的网络技术和建模技术做了大量的研究;文献[7-8]对供应链调度的复杂性以及影响因素进行了深入分析,并提出了一系列的解决对策,但是没有设计具体的求解算法。从现有文献看,对敏捷供应链的研究主要集中在信息集成和管理层面,缺乏指导短期供应链运作调度问题的研究。

文献[9]将敏捷供应链调度问题划分为静态调度和动态调度,并设计了求解静态调度的贪婪算法;但在现实市场环境下,经常需要进行的调度决策是在企业已有调度基础上进行的动态插单调度。本文以单工厂和多供应商组成的两级敏捷供应链系统作为研究对象,根据企业的作业周期将其可用调度时段划分为时间槽,在此基础上,以最小化供应链总成本为目标建立了调度优化的整数规划模型,并设计了一种求解该

模型的逐批选优启发式(One-by-One Selection Heuristic, OOSH)算法,最后通过算例将其与距离优先和作业周期优先两种算法比较,验证 OOSH 算法对于敏捷供应链插单调度优化问题求解的有效性,同时算例结果反映了敏捷供应链组织形式的优越性。

1 问题描述及数学模型

1.1 问题描述及变量定义

有一个工厂和 I 个供应商组成的两级供应链系统为市场供应最终产品 P , 其中 I 个供应商均可以制造同种部件 P_i 并供应给工厂以生产最终产品 P 。各供应商距离工厂的距离,各供应商未来的可用调度时段、作业周期、生产和库存费率不同将导致安排不同供应商生产单位部件 P_i 的成本差异。供应链插单调度优化是当市场出现需求订单 (Q, T) , 即需要供应链在时间点 T 为市场提供总量为 Q 的产品 P 时,在各企业已有生产计划的基础上选择最优的部件供应商及其生产和运输调度计划,保证以最小化的生产、库存和运输总成本准时适量的满足市场需求。

为了便于分析问题和构建模型,定义如下变量: $i(i \in \{0, 1, 2, \dots, I\})$ 为供应链企业索引,其中工厂索引为 0; $j(j \in \{1, 2, \dots, J_i\})$ 为供应链企业可调度时间槽索引; $k(k \in \{1, 2, \dots, Q\})$ 为产品索引; $l(l \in \{1, 2, \dots, L_i\})$ 为可调度时段索引; I 为两级供应链中供应商的数量; J_i 为企业 i 可调度时间槽数

收稿日期:2010-04-19。

作者简介:王建华(1977-),男,安徽巢湖人,讲师,博士研究生,主要研究方向:供应链管理,计算机仿真优化;李南(1956-),女,重庆人,教授,博士生导师,主要研究方向:工业工程、供应链与物流、技术经济;黄贤凤(1980-),女,江苏常州人,讲师,博士研究生,主要研究方向:供应链管理、技术经济;郭慧(1985-),女,江苏南通人,硕士研究生,主要研究方向:供应链管理、知识管理。

量; L_i 为企业 i 可调度时段数量; α_i 为每个企业可调度时间槽的数量; Q 为一订单对最终产品的需求量; T 为该订单对最终产品的需求时间; v_0, v_1 分别为产品 P 和部件 P_1 的单位价值(单位:元); t_i^1 为企业 i 生产单位部件的作业周期时间(单位:小时); $[a_{ij}, b_{ij}]$ 为企业 i 的第 j 个可调度时间槽的起始时间和结束时间, 其中 $b_{ij} = a_{ij} + t_i^1, j = [1, \alpha_i]$; $[c_{il}, d_{il}]$ 为企业 i 的第 l 个可调度时段的起始时间和结束时间; cap_i 为供应商 i 处运输车辆的容量; t_i^2 为供应商 i 运输物料至工厂所需的时间(单位:小时); c_i^1 为企业 i 处的存储费率(单位:元/小时); c_i^2 为企业 i 处的单位时间作业费率(单位:元/小时); c_i^3 为企业 i 处发货的固定运输费(单位:元/次); c_i^4 为企业 i 处发货的变动运输费率(单位:元/(小时·元)); 决策变量 x_i 为调度方案中包含第 i 个企业的时间槽数量。

1.2 可调度时间槽的划分

调度主体通过信息系统获得各个企业的可调度时段和作业周期时间, 为了降低调度问题的复杂性, 将连续决策问题转化为离散的整数规划问题, 需要将可调度时段划分为可调度时间槽。可调度时间槽划分过程简述为: 1) 获得企业 i 的一个可调度时段 $[c_{il}, d_{il}]$; 2) 判断 $\min(d_{il}, t) - c_{il} \geq t_i^1$ 是否成立, 其中 t 为该企业最迟完工时间, 如果条件成立, 则划分一个新的可调度时间槽 $[a_{ij}, b_{ij}]$, $b_{ij} = \min(t, d_{il})$, $a_{ij} = b_{ij} - t_i^1$, 同时更新 $d_{il} = a_{ij}$, 然后继续划分; 如果不成立, 则选择下一个没有划分的可调度时段进行划分, 直至所有可调度时段被划分结束。将可调度时段划分为可调度时间槽使得调度决策问题由确定各个供应商供应部件数量及其开工时间点转化为仅确定占用供应商时间槽的数量, 消除了确定开工时间点的连续决策优化过程, 降低了问题的复杂性。

1.3 数学模型的构建

敏捷供应链调度优化目标是在满足按照准时生产(Just In Time, JIT)方式准时适量地将需求送达客户的前提下, 尽可能降低供应链运营成本。本文的两级供应链中仅有一家工厂, 该工厂的最优生产调度可以直接使用精益调度算法^[9]获得, 因此插单调度优化问题可以简化为 I 个供应商向工厂这一个客户供应 Q 套部件 P_1 的问题。令获得工厂对该市场需求生产调度的最早开工时间为 t_0 , 则上游供应商处的生产运输调度方案要能够满足在 t_0 时刻之前将工厂所需要全部部件 P_1 送达工厂处。

设计两级敏捷供应链插单调度优化问题的整数规划模型如下。

目标函数:

$$f = f_1 + f_2 + f_3 \quad (1)$$

$$f_1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{x_i} \left(t_0 - \frac{b_{ij} + a_{ij}}{2} \right) c_i^1 v; \quad \forall x_i > 0 \quad (2)$$

$$f_2 = \sum_{i=1}^I x_i v c_i^2 t_i^1 \quad (3)$$

$$f_3 = \sum_{i=1}^I \left\{ \left\lceil \frac{x_i}{cap_i} \right\rceil c_i^3 + x_i v t_i^2 c_i^4 \right\} \quad (4)$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^I x_i = Q \quad (5)$$

$$x_i \leq \alpha_i; \quad \forall i \quad (6)$$

$$b_{ij} - t_i^2 \leq t_0; \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$x_i \text{ 为自然数} \quad (8)$$

插单调度优化的目标为最小化供应链库存、生产和运输总成本, 如式(1)所示; 式(2)为调度方案的库存成本; 式(3)

为调度方案生产作业成本; 式(4)为运输成本, 其中符号 $\lceil x \rceil$ 为取不小于 x 的最小整数; 式(5)为供应总量约束, 即调度方案占用的供应商总时间槽数量要等于工厂需求批量 Q ; 式(6)为单个供应商供应总量约束, 即为单个供应商安排的生产量要不大于该供应商可用时间槽数量; 式(7)为时间约束, 即任意可行时间槽的结束时间加上运输至工厂的时间要不迟于工厂的最迟开工时间。

2 启发式算法设计

2.1 算法设计基本思路

插单调度决策的问题是已知在 I 个地点有 $\sum_i \alpha_i$ 个可调度时间槽, 需要从中选择出 Q 个时间槽用于生产所需要的部件, 并保证目标函数(1)最小。OOSH 算法设计基本思想是: 为整批需求 Q 中的每个部件进行生产调度时, 都为其选择最优的调度方案, 从而保证最终为整批产品选定的生产调度最优, 即为 Q 个部件逐次安排调度, 在对第 k 个部件安排生产调度之前, 已经有了对前 $k-1$ 个部件的最优调度方案 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{k-1}\}$, 假设让所有的企业分别生产部件 k , 则将会在 X 的基础上得到 I 个可行调度方案 X_k , 计算 X_k 获得每种调度方案的总成本, 从中选择总成本最小的调度方案作为新的调度方案, 直至对 Q 个部件调度完毕。

2.2 启发式算法实现

两级供应链插单调度优化 OOSH 算法具体步骤如下:

步骤 1 获得相关信息。

步骤 2 划分工厂和各供应商的可调度时间槽。

步骤 3 逆推算算法获取工厂的最优调度方案。

1) 根据条件 $b_{0j} \leq T, \forall j$, 获得工厂时间槽集合 $P_0 = \{[(a_{01}, b_{01}), (a_{02}, b_{02}), \dots, (a_{0\alpha_0}, b_{0\alpha_0})]\}$, 其中该集合中的

时间槽按照时间降序排列, 即满足条件 $b_{0j} \geq a_{0j'}, \forall j' > j$ 。

2) 按顺序递推工厂前 Q 个时间槽为工厂调度方案, 获得工厂最早开工时间 a_{0Q} , 令 $t_0 = a_{0Q}$ 。

步骤 4 基于式(7)提取第 i 个供应商的可调度时间槽集合 $P_i = \{[(a_{i1}, b_{i1}), (a_{i2}, b_{i2}), \dots, (a_{i\alpha_i}, b_{i\alpha_i})]\}$, 且任一企

业可调度时间槽集合 P_i 进行时间降序排列, 即满足条件 $b_{ij} \leq a_{ij'}, \forall i, \forall j' > j$ 。

步骤 5 构成可调度时间槽矩阵 $P_{IJ} = \begin{bmatrix} (a_{11}, b_{11}) & (a_{12}, b_{12}) & \dots & (a_{1J}, b_{1J}) \\ (a_{21}, b_{21}) & (a_{22}, b_{22}) & \dots & (a_{2J}, b_{2J}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ (a_{I1}, b_{I1}) & (a_{I2}, b_{I2}) & \dots & (a_{IJ}, b_{IJ}) \end{bmatrix}$, 其中 $J = \max(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_I)$, 对于长度不足 J 的供应商可调度时间槽以 $(-M, -M)$ 补足, 其中 M 为足够大的正数, 保证选中这些补足时间槽方案的总成本非常大, 而使得对应方案不被选中。

步骤 6 初始化调度方案 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_I\}$, x_i 存储调度方案中选中第 i 个供应商的时间槽数量, 初始值均为 0; 令 $k = 1$ 。

步骤 7 为第 k 个部件进行最优生产时间槽调度。

1) 使用 X 初始化中间调度方案矩阵 $R_{II} =$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1I} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2I} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{I1} & r_{I2} & \dots & r_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_I \\ x_1 & x_2 & \dots & x_I \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_1 & x_2 & \dots & x_I \end{bmatrix};$$

2) 分别将第 k 个部件的生产安排到任意一家供应商, 即使

用 $r_{ii} = r_{ii} + 1$ 将调度矩阵转化为可行调度方案矩阵 $R_{ii}' =$

$$\begin{bmatrix} x_1 + 1 & x_2 & \cdots & x_l \\ x_1 & x_2 + 1 & \cdots & x_l \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1 & x_2 & \cdots & x_l + 1 \end{bmatrix}, \text{其中第 } i \text{ 个可行调度方案 } X_i' =$$

$$R_{ii}' = \{x_1, x_2, \dots, x_i + 1, \dots, x_l\};$$

3) 根据式(1)计算各可行调度方案目标函数值 y_i ;

4) 选择 y_i 最小的对应调度方案 X_i' 作为新的调度方案, 令 $X = X_i'$ 。

步骤8 令 $k = k + 1$, 如果 $k > Q$, 算法结束, 获得最优调度方案 X^* ; 否则转向步骤7。

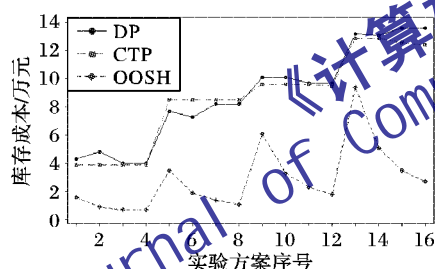
3 算例实验及结果分析

3.1 对比算法选择

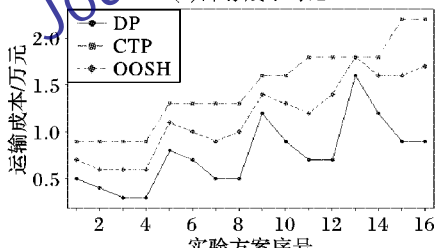
分别选择传统企业依据距离或作业成本优先选择供应商的距离优先 (Distance Priority, DP) 供应商选择算法和作业周期有限 (Cycle Time Priority, CTP) 供应商选择算法同本文设计的 OOSH 算法进行比较。

1) DP 供应商选择算法: 在工厂确定了其部件需求时间后, 优先选择距离近的企业作为供应商; 当最近距离供应商供应能力有限, 只能供应需求量的一部分时, 再选择次近距离企业供应, 直至全部需求量分配完毕。

2) CTP 供应商选择算法: 在工厂确定其部件需求时间后, 优先选择作业周期短 (生产率高) 的企业作为供应商; 当作业周期短的企业供应能力有限时, 再选择作业周期次优的企业供应, 直至全部需求量分配完毕。



(a) 库存成本对比



(c) 运输成本对比

3.2 实验设计

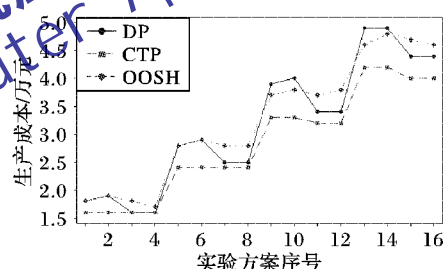
实验场景设定需求在 $[400, 1000 \text{ step } 200]$ 中取值, 为了保证能够获得可行调度, 设定最早开工时间设置为 2000 h, 供应商数量在 $[3, 12 \text{ step } 3]$ 中取值, 具体实验方案设计如表 1 所示。其他相关数据设定为: 所有运输车辆容量均为 50 套, 供应商成本参数均为 $(0.001, 0.05, 300, 0.001)$, 部件单套价值为 1000 元, 而各供应商作业周期使用 $U(0.7, 1.3)$ 均匀随机分布产生, 供应商地理坐标使用 $U(0, 2000)$ 随机产生, 供应商已有调度使用 $U(10, 20)$ 来间断产生, 即一段随机时间长度为已有调度, 则接下来的随机时间长度则为空闲时段。

表 1 实验方案设计

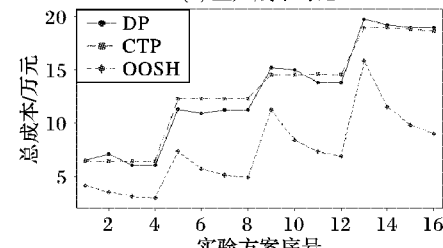
实验方案序号	需求套数	供应商数量	实验方案序号	需求套数	供应商数量
1	400	3	9	800	3
2	400	6	10	800	6
3	400	9	11	800	9
4	400	12	12	800	12
5	600	3	13	1000	3
6	600	6	14	1000	6
7	600	9	15	1000	9
8	600	12	16	1000	12

3.3 实验结果分析

使用 Matlab 编制上述算法程序, 运行三种算法求解各实验方案下的供应链调度方案, 并计算各调度方案成本指标比较如图 1 所示。



(b) 生产成本对比



(d) 总成本对比

图 1 DP、CTP 和 OOSH 算例实验结果对比

从图(a)的库存成本对比中可以看出, OOSH 算法具有明显的优势, 不论在何种实验方案下, 总是要比 DP 和 CTP 算法的库存成本低得多; 从图(b)的生产成本对比中可以看出, 利用 CTP 算法获得的调度方案具有最低的生产成本, DP 算法和 OOSH 算法在不同的实验方案下生产成本不断交替, 比较不出明显的优势; 从图(c)的运输成本中可以看出, 三种算法获得的调度方案的运输成本由高到低依次是 CTP、OOSH 和 DP, 其中 DP 算法为距离优先策略, 变动运输成本最低, 所以总运输成本最低; 从图(d)的总成本对比中可以看出, 不论需求量和供应商企业数量采取何种配置, OOSH 算法获得的供应链调度总成本都要比 DP 和 CTP 算法要好, OOSH 获得的总成本要比 DP 平均低 44%, 而比 CTP 平均低 45%, 其原因

是虽然 DP 算法获得调度方案在运输成本上具有优势, 而 CTP 算法获得调度方案在生产成本上具有优势, 但是, OOSH 获得的调度方案在库存成本节约方面具有大幅度地降低, 最终体现总调度成本的大幅度降低。

通过算例分析可以看出:

1) OOSH 算法可以有效解决两级敏捷供应链插单调度优化问题;

2) 在高度发达的信息技术支持下, 供需企业之间按照动态联盟的方式组成敏捷供应链, 协同调度可以大幅度地降低成本, 提高产品和市场的竞争力。

(下转第 2842 页)

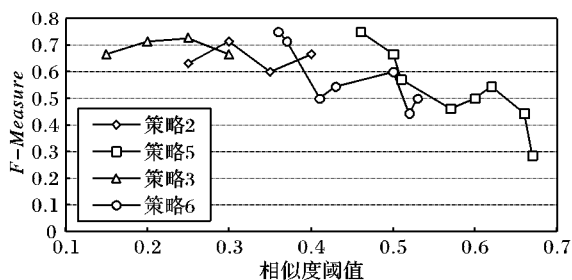


图6 策略2、3分别与策略5、6的 F -Measure- 阈值曲线的比较

实验结果表明,OntoNM 系统具有较好的映射效果。阈值为 0.25 时,三种策略都发现了大部分正确的映射结果,策略 1、2、3 的召回率分别达到 0.83、1、0.67,同时精确度都不低于 0.45。OntoNM 系统的性能与其算法的复杂度是可以接受的,在普通 PC 机上所有任务能够在适当的时间内完成,对于小的本体,其运行时间为几秒,大规模的本体,运行时间为 1~2 h,而人工识别的时间远超过于此。但是实验结果的总体精确度还不够高,主要是由于上述策略过于依赖实体的名称信息,且模型间概念的结构性差异较大造成的。

根据图 4 所知,随着阈值的降低,逐渐添加了更多的映射结果,三种策略都达到较高的召回率,但精确度在下降。当三种策略的召回率达到 1 时,策略 1 的精确度只有 0.03,而策略 2 和 3 的精确度都不低于 0.46,因此在保证召回率时,策略 2 和 3 较优于策略 1。根据图 5 所知,三种策略在阈值为 0.25 和 0.3 时的 F -Measure 都达到了最高,同时策略 2 和 3 的 F -Measure 值总体较优于策略 1,但策略 1 在阈值为 0.27 时存在特例。策略 2 和 3 较优的原因是网管信息模型的实体名称主要是由关键词组合而成的。根据图 6 所知,策略 4、5、6 由于仅考虑类的名称相似度,其总体上分别较差于策略 1、2、3,其中策略 2、3 的 F -Measure 相对策略 5、6 平均提高 12% 和 14%,这说明类的属性结构相似度具有较高的相关性,其作用较大。综上所述,根据代表数据集的实验结果,在几种主要的策略中,策略 2、3 的技术和方法较优,并将阈值设定为 0.3 和 0.25,这样在对 CIM 和 MIB 模型的其他部分进行映射时可获

得较好效果。

5 结语

基于本体的网管信息模型映射方法及其采用的推荐本体匹配策略能够高效地帮助用户完成模型间的自动映射,很好地解决语义异构问题,为实现网络管理信息孤岛间的联系和集成提供先决条件。下一步的主要工作是进一步扩展总体方法、本体匹配策略和 OntoNM 系统,以提高应用价值。具体工作是添加其他网管信息模型转换模块,其他相似度计算、聚合和选择等技术和方法模块,提供对模型或本体中除概念或类以外其他实体的语义相等或包含关系发现的支持。

参考文献:

- [1] de VERGARA J E L, VILLAGRA V A, BERROCAL J. Applying the Web ontology language to management information definitions [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(7): 68-74.
- [2] de VERGARA J E L, VILLAGRA V A, ASENSIO J I, et al. Ontologies: Giving semantics to network management models [J]. IEEE Network, 2003, 17(3): 15-21.
- [3] RAYMER D, BEST I. DMTF CIM & TMF SID alignment [EB/OL]. [2009-11-06]. <http://www.tmforum.org/browse.aspx?linkID=30494&docID=3376>.
- [4] de VERGARA J E L, VILLAGRA V A, BERROCAL J. Semantic management: Advantages of using an ontology-based management information meta-model [C]// HP-OVUA'2002: Proceedings of the HP Openview University Association Ninth Plenary Workshop. Boblingen, HP-OVUA, 2002: 11-13.
- [5] SHVAIKO P, EUZENAT J. A survey of schema-based matching approaches [J]. Journal on Data Semantics, 2005, 4: 146-171.
- [6] MASCARDI V, LOCORO A, ROSSO P. Exploiting DOLCE, SUMO-OWL, and OpenCyc to boost the ontology matching process, DISI-TR-08-08 [R]. Genoa: University of Genoa, 2008.
- [7] MELNIK S, BERNSTEIN P A, HALEVY A, et al. Supporting executable mappings in model management [C]// Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York: ACM, 2005: 167-178.

(上接第 2830 页)

4 结语

本文以单工厂多供应商组成的两级敏捷供应链为研究对象,研究应对市场插单需求下的生产和运输调度优化决策问题,建立了问题的数学规划模型,设计了对应的优化求解启发式算法 OOSH,并通过算例实验和算法对比,验证了 OOSH 算法的可行性和有效性,同时实验结果显示敏捷供应链协同调度可以有效提高供应链的市场竞争力。

OOSH 算法可以有效解决两级敏捷供应链插单调度问题,但供应链通常是多级的,而且组织形式呈现网络化,因此多级敏捷供应链插单调度优化问题可以作为进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] CHRISTOPHER M, TOWILL D R. Supply chain migration from lean and functional to agile and customized [J]. Supply Chain Management, 2000, 5(4): 206-213.
- [2] NAYLOR J B, NAIM M M, BERRY D. Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain [J]. International Journal of Production Economics, 1999, 62(1/2): 107-118.

- [3] PRINCE J, KAY J M. Combining lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis [J]. International Journal of Production Economics, 2003, 85(3): 305-318.
- [4] 王英林, 戚克涛, 张申生. 敏捷供应链的 XML/EDI 集成框架研究 [J]. 中国机械工程, 2003, 14(22): 1922-1966.
- [5] MOON C, LEE Y H, JEONG C S, ET AL. Integrated process planning and scheduling in a supply chain [J]. Computers and Industrial Engineering, 2008, 54(4): 1048-1061.
- [6] NASO D, SURICO M. Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 177(3): 2069-2099.
- [7] de MATTA R, MILLER T. Production and inter-facility transportation scheduling for a process industry [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 158(1): 72-88.
- [8] CHEN P. Integrating production and transportation scheduling in a make-to-order environment [D]. New York: Cornell University, 2000.
- [9] 王建华, 李南, 郭慧. 敏捷供应链静态调度模型及其贪婪算法 [J]. 计算机应用, 2010, 30(3): 846-849.