

大规模定制下的供应链调度建模与仿真

马飞¹, 吴梦娜¹, 孙宝凤², 杨华¹

(1. 吉林大学 管理学院, 长春 130022; 2. 吉林大学 交通学院, 长春 130022)

摘要: 基于顾客订单分离点, 针对顾客化生产阶段和标准化生产阶段, 研究单一供应商和单一制造商的供应与采购的协调批量及单一制造商向多顾客的生产与配送协调调度问题。分析了传统的调度方式导致的供应商与制造商、制造商与配送中心之间的矛盾, 在此基础上利用非线性规划进行分析建模。最后通过仿真算例得出协调调度的总成本小于非协调调度的总成本, 协调调度模式优于传统的非协调调度方式。

关键词: 供应链调度; 非线性规划; 大规模定制

中图分类号: TB114.1; F406.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2009)Sup. 2-0337-04

Modeling and simulation of supply chain scheduling in mass customization

MA Fei¹, WU Meng-na¹, SUN Bao-feng², YANG Hua¹

(1. School of Management, Jilin University, Changchun 130022, China; 2. College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Study the batch by coordination of one supplier and one manufacturer in supply and procure in the stage of mass production, and the coordination scheduling of one manufacturer to several customers in production and distribution in the stage of customization base on the customer order decoupling point, analysis the conflict between the supplier and the manufacturer, the manufacturer and the distributors caused by the traditional scheduling, furthermore, modeling the problem with nonlinear programming, finally, The conclusion that the cost of coordination scheduling less than the cost of the scheduling without coordination, and the scheduling by coordination is better than the traditional scheduling is given from the numerical example by simulation.

Key words: supply chain scheduling; nonlinear programming; mass customization

目前, 协调原材料的生产和供应、产品的生产以及配送的调度是供应链管理的核心问题之一。尤其针对以顾客拉动为主的供应链^[1], 大规模定制(Mass Customization, MC)是“推拉”结合以“拉”为主的生产模式, 因此, 在大规模定制下对供应、制造和配送的协调调度是实现以较低的成本为顾客提供高水平服务的关键。

已有的大规模定制下的供应链调度的研究主

要分为两类。一些学者强调了企业的自私性和他们之间的矛盾与冲突, 进行了信息不对称的供应链调度研究^[2-3]。另外一些学者基于信息共享前提, 进行了集中式的供应链调度研究^[4-5], 但这些研究没有针对大规模定制的推拉结合的特点, 也没有具体地从协调供应、生产、配送的角度研究大规模定制下的供应链调度问题。

本文在已有研究^[6-8]的基础上根据大规模定

收稿日期: 2008-12-14.

基金项目: 吉林省专项基金项目(20072402).

作者简介: 马飞(1948-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 物流与供应链管理. E-mail: maf@jlu.edu.cn

制下供应链的特点,分标准化生产阶段和定制生产阶段,研究单一供应商、单一制造商以及多顾客的多级供应链的协调调度问题,并将协调调度下的供应链成本与非协调调度下的供应链成本进行比较,得出系列有价值的结论,证实了研究结果的先进性。

1 问题描述及模型定义

1.1 问题描述

订单分离点将 MC 划分为标准化生产和定制生产两阶段,标准化生产属于备货生产(Make-to-stock, MTS),定制生产属于按订单生产(Make-to-order, MTO)。本模型研究的订单分离点位置在制造商的产品装配环节,则标准化生产阶段的调度矛盾是供应商的生产调度与生产商的采购批量之间的矛盾。定制生产阶段是以 JIT 为前提,主要进行定制生产调度和配送的安排,定制生产调度的目标是生产商的生产成本最小,而生产率的变化会给生产商带来额外的生产成本,配送的目标是配送成本最小(包括库存成本与延迟惩罚成本)以及交货时间最短,而定制生产的延迟或者提前都会增加配送成本。

本文研究单一供应商、单一制造商和多顾客的供应链系统。供应商向制造商供应零部件,制造商进行定制生产并将最终产品通过配送中心送达顾客。

1.2 模型假设及相关参数定义

模型基本假设:①制造商被看作为单一机器,并且无生产准备时间。②定制生产和配送是在接到订单之后进行的。③装卸作业及其他交易的时间与成本计入运输成本当中。④本模型不考虑订单分类问题。

模型相关参数定义如下。

决策变量: q_p 为供应商向制造商的供应批量; q_b 为制造商的采购批量; W_{jk} 为配送中心 j 在正常运输能力下向顾客 $k(k=1, 2, \dots, n)$ 配送的产品数量; W'_{jk} 为由配送中心 j 在超常运输能力下向顾客 $k(k=1, 2, \dots, n)$ 配送的产品数量; T_{j0} 为制造商生产结束时间; T_{jk0} 为由配送中心 j 向顾客 k 的运输开始时间; T_{jk} 为由配送中心 j 向顾客 k 的运输到达时间; θ_{ip} 为当订单 i 在第 p 生产工序上时, $\theta_{ip}=1$, 否则为 $\theta_{ip}=0$; T_M 为制造商最大产品生产周期。

参数: Ca 为供应商加速生产成本; I_m 为制

造商单位库存成本; B 为制造商单位采购成本; D 为零部件需求; Cap_s 为供应商的生产能力; Cap_m 为制造商的库存能力; C_p 为供应商规模生产的成本; T_s 为供应商完成生产批量 q_p 的生产时间; L 为提前期; Cr_{jk} 为配送中心 j 在正常运输能力下向顾客 k 配送的单位运输成本; Cr'_{jk} 为配送中心 j 在超常运输能力下向顾客 k 配送的单位运输成本; Q_k 为顾客 k 订单中对产品的需求量; Cap_{jk} 为配送中心 j 向顾客 k 的正常运输能力; Cap'_{jk} 为配送中心 j 向顾客 k 的超常运输能力; C_T 为制造商单位时间的生产成本; h_{jk} 为配送中心的单位库存成本; l_{jk} 为配送延迟的单位惩罚成本; η 为提前结束生产的惩罚成本; α 为定制生产阶段的时间偏好因子; I_i 为生产准备时间。

2 大规模定制下的供应链调度建模

2.1 标准化生产阶段供应商与制造商的矛盾及协调调度批量求解

以采购为核心,即供应商根据制造商的采购批量进行生产调度。则制造商的采购目标

$$\min C_m = I_m q_b + B \frac{D}{q_b} \quad (1)$$

$$\text{采购批量 } q_b = \sqrt{\frac{BD}{I_m}}$$

如果采购批量 q_b 不等于供应商的额定生产率下的生产批量 q_p ,会出现生产率变动成本 Ca , 则供应商的生产成本为

$$C_s = C_p q_b + Ca \cdot \max\{0, |q_b - q^*|\} \quad (2)$$

以供应商的生产为核心,即制造商根据供应商的生产批量而进行采购安排。供应商的生产成本为

$$\min C_s = C_p q_p \quad (3)$$

则供应商的供应批量为 q^* ,即批量生产的最佳产量。

若供应商的最佳产量大于制造商的额定采购批量 q_b ,会出现额外的库存成本,则制造商的额外库存成本为

$$I' = I_m(q_p - q_b) \quad (4)$$

若制造商的最佳产量小于制造商的额定采购批量 q_b ,则会产生多次采购成本。则制造商的采购成本为

$$B' = B \frac{D}{q_b} \quad (5)$$

供应商与制造商协调的批量确定模型为

$$\min C_{sm} = C_p q^* + Ca \cdot \max\{0, |q - q^*|\} + I_m q + B \frac{D}{q} \quad (6)$$

协调后的订货批量和产量为:当 $q > q^*$ 时, $q = \sqrt{\frac{BD}{I_m + Ca}}$; 当 $q < q^*$ 时, $q = \sqrt{\frac{BD}{I_m - Ca}}$; 当 $q = q^*$ 时, $q = \sqrt{\frac{BD}{I_m}}$ 。

2.2 定制生产阶段生产与配送的矛盾及协调调度建模

以定制生产为核心,即配送中心根据生产调度确定配送量、配送时间以及配送路线。定制生产的目标是最小化生产成本,生产调度模型为

$$\begin{aligned} \min C_T * T_M & \quad (7) \\ \text{s. t.} \quad \sum_{p=1}^N \theta_{ip} = 1, i = 1, 2, \dots, N & \quad (8) \\ \sum_{i=1}^N \theta_{ip} = 1, p = 1, 2, \dots, N & \quad (9) \\ \sum_{i=1}^N \theta_{iN} C_i = T_M & \quad (10) \end{aligned}$$

此时,配送中心必须根据定制生产的调度确定自身的最佳调度方案。如果制造商提前完成生产任务,配送中心会被迫产生库存成本 $h_{jk} \sum_j \sum_i (W_{jk} + W'_{jk})$ 。相反,若制造商生产延迟,配送中心将产生延迟惩罚成本 $h_{jk} \sum_j \sum_i (W_{jk} + W'_{jk})$ 。因此,配送中心的调度目标是

$$\begin{aligned} \min C_D = & \\ \sum_j \sum_i (Cr_{jk} W_{jk} + Cr'_{jk} W'_{jk}) + & \\ I_{jk} \cdot \sum_j \sum_i (W_{jk} + W'_{jk}) & \quad (11) \end{aligned}$$

以配送为核心,即定制生产的调度根据配送时间、配送量和配送路线的确定而确定。配送的目标是最小化配送时间和配送成本,即

$$\begin{aligned} \min F = & \alpha \max(T_{jk} - T_{jk0}) + \\ (1 - \alpha) \{ & \sum_j \sum_k Cr_{jk}(t) W_{jk} + \\ \sum_j \sum_k Cr'_{jk}(t) W'_{jk} + & \sum_j \sum_k \beta l_{jk} (W_{jk} + W'_{jk}) \} \\ \text{s. t.} \quad \sum_k W_{jk} \leq & Cap_j(t) \quad (13) \\ \sum_k W'_{jk} \leq & Cap'_j(t) \quad (14) \\ \sum_j W_{jk} + \sum_j W'_{jk} = & Q_k \quad (15) \\ \lambda = \begin{cases} 1, T_{jk0} + T_{jk} \leq L_c \\ 0, T_{jk0} + T_{jk} \geq L_c \end{cases} & \quad (16) \end{aligned}$$

$$\beta = \begin{cases} 1, T_{jk0} \leq T_{j0} \\ 0, T_{jk0} \geq T_{j0} \end{cases} \quad (17)$$

此时,如果配送的要求改变了定制生产的节奏,会产生制造商生产率变化成本。制造商的调度目标为最小化生产率变动成本,即

$$\min \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^F \eta (T_{jk0} - T_{j0}) q_{ij} + C_T T_M \quad (18)$$

综上所述,无论是以定制生产为核心还是以配送为核心进行调度,都会对另一方造成额外成本。为了缓解这种矛盾,应该进行基于协调的调度,则定制生产与配送的协调调度模型为

$$\begin{aligned} \min F = & \\ \alpha (T_{jk} - T_{jk0}) + (1 - \alpha) \{ & \sum_j \sum_k Cr_{jk}(t) W_{jk} + \\ \sum_j \sum_k Cr'_{jk}(t) W'_{jk} + & \\ \sum_j \sum_k (\lambda h_{jk} + \beta l_{jk}) (W_{jk} + W'_{jk}) \} + & \\ \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^F \eta (T_{jk0} - T_{j0}) q_{ij} + C_T T_M & \quad (19) \\ \text{s. t.} \quad T_{j0} = \sum_{p=1}^N (\theta_{ip} (P_i + I_i) + & \\ \sum_{p'=1}^{p-1} \sum_{i'=1}^N \theta_{i'p'} (p_{i'} + I_{i'})) & \quad (20) \\ T_{j0} \leq L_c - T_{jk} & \quad (21) \\ I_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N & \quad (22) \end{aligned}$$

及约束(8)~(10),(13)~(17)。

3 仿真分析

根据前文提出的一系列模型,通过实际给定的数据,分别求解非协调与协调下的调度目标,并进行比较。在定制生产阶段的调度求解属于 NP 难题,本文使用遗传算法对其求解。以国内某汽车制造企业为核心的供应链为背景进行研究,具体参数取值见表 1,计算结果见表 2、表 3。

根据表 2 和表 3 的结果可见,在标准化生产阶段,协调调度下的供应商和制造商的总成本要小于非协调下的二者的成本之和;同样,在定制生产阶段,制造商和配送中心协调后的总成本要小于各自为核心的成本之和。由此可以验证模型的有效性,也证明了供应链协作企业经过协调联合调度要优于各自为政的调度策略。

表 1 参数取值表

Table 1 Selected values range for input data of parameters in the problems

参数	取值范围	参数	取值范围	参数	取值范围
α	0.4	Q_i	25	Cr'_{jk}	(2.4,3)
η	0.2	h_{jk}	(1.2,1.6)	Cap_{jk}	(40,50)
C_T	1.25	l_{jk}	1.25	Cap'_{jk}	(45,60)
I_m	2	L_{11}	8	L_{14}	10
Cr_{jk}	(1.8,2.4)	L_{12}	10	L_{21}	10
D	200	L_{13}	9	L_{22}	7
Q_1	25	L_{23}	9	L_{24}	8
Q_2	35	I_i	2	B	1
Q_3	20	C_p	2	C_a	1

表 2 标准化生产阶段批量及成本计算表

Table 2 The calculation of batch and the cost

计算方式	批量/万件		成本/万元		总成本/万元
	供应商	制造商	供应商	制造商	
以供应商为核心	12	24	40.7	64.7	
以制造商为核心	10	32	40	72	
协调	10	10	24	40.7	64.7

表 3 定制生产阶段成本和时间计算表

Table 3 The calculation of cost and time

计算方式	时间/h		成本/万元		总时间/h	总成本/万元	加权值
	制造商	配送中心	制造商	配送中心			
以制造商为核心	4	6	48	57	10	105	67
以配送中心为核心	3	5	54	48	8	102	64.2
协调	3	5	51	49	8	100	63.2

4 结束语

本文分析了供应商、制造商和配送中心独立进行非协调的调度所产生的矛盾,并在此基础上建立了供应链调度模型,通过仿真数据进行成本计算,证明了协调调度下的供应链总成本要小于非协调下的供应链总成本。本文的研究再次证实基于协调的供应链调度的重要性和先进性,丰富了供应链调度问题的研究成果。接下来的研究将进一步分析多供应商、多制造商和多顾客的更为

复杂的供应链结构下的协调调度,并且将对订单的分类纳入到供应链调度研究当中。

参考文献:

- [1] Arshinder Kanda A, Deshmukh S G. Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 115:316-335.
- [2] Sadeh N M, Hildum D W, Kjenstad D A. MAS-COT: an Agent based architecture for dynamic supply chain creation and coordination in the internet economy [J]. Production Planning and Control, 2001, 12(3):212-223.
- [3] 孙靖,林杰. 信息不完全共享下 MC 供应链动态调度模型研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(9): 1945-1953.
Sun Jing, Lin Jie. Study on dynamic scheduling model with partial information in MC supply chain [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(9) : 1945-1953.
- [4] 姚建明,周国华. 大规模定制模式下供应链计划调度优化分析[J]. 管理科学学报, 2003, 6(5):58-64.
Yao Jian-ming, Zhou Guo-hua. Analysis of supply chain optimization planning and scheduling in mass customization[J]. Journal of Management Science in China, 2003, 6(5):58-64.
- [5] 姚建明,张秀敏,刘丽文. 基于改进蚂蚁算法的拉动式供应链动态调度分析[J]. 中国管理科学, 2006, 14(3): 20-26.
Yao Jian-ming, Zhang Xiu-min, Liu Li-wen. Analysis on pull supply chain dynamic scheduling cased on improved ant algorithm[J]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14(3):20-26.
- [6] Hall N G, Potts C N. Supply chain scheduling: batching and delivery [J]. Operations Research, 2003, 51(4):566-584.
- [7] Wang Xiu-li, Cheng T C E. Production scheduling with supply and delivery considerations to minimize the makespan[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 194:743-752.
- [8] Manoj Vanajakumari. Supply chain scheduling models and a case study on supply risk mitigation[D]. University of Texas at Dallas, 2007.