

# 集成供应链管理的多目标规划研究

史成东<sup>1,2</sup>

SHI Cheng-dong<sup>1,2</sup>

1.山东理工大学 电气与电子工程学院,山东 淄博 255091

2.西安理工大学 工商管理学院,西安 710048

1.School of Electric and Electronic Engineering,Shandong University of Technology,Zibo,Shandong 255091,China

2.School of Business Administration,Xi'an University of Technology,Xi'an 710048,China

E-mail:scd0211@163.com

**SHI Cheng-dong.Application of multiple objective programming in integrated supply chain management.Computer Engineering and Applications,2009,45(9):33-36.**

**Abstract:** At present,supply chain management has become not only a hot academic research,but also an important respect of the enterprise strategic management.So a multi-product,multi-stage integrated supply chain management performance decision making model is proposed based on the method of multiple-objective programming,which can describe the capability and profit of supply chain members and the coordination operation of supply chain at first;Secondly,an application example is given for testing the effectiveness and feasibility of the model;Lastly,the sensitivity analysis of the model is finished by altering the parameter and the result of the model is compared with that of the decentralization supply chain management performance decision making model,which can provide advice for the decision makers in the optimization of supply chain performance and the exploitation of market need and material supply channel.

**Key words:** integrated supply chain management;multi-objective programming;performance decision making model;sensitivity analysis

**摘要:**目前,供应链管理已经成为学术研究的一个热点问题,也是企业战略管理的一项重要内容。为此首先使用多目标规划的方法描述了供应链及其成员的运作性能、供应链的协调运作、供应链成员的利润等,建立了由一个制造商和一个供应商构成的多产品、多阶段集成供应链管理绩效决策模型;其次通过应用算例的研究验证了模型的有效性和可行性;最后,针对各种参数的变化,对模型进行了灵敏度分析,并与分散供应链管理绩效决策模型进行了对照研究,为优化供应链绩效、拓展市场需求、开发原材料供应渠道提供了决策参考。

**关键词:**集成供应链管理;多目标规划;绩效决策模型;灵敏度分析

**DOI:**10.3778/j.issn.1002-8331.2009.09.009 **文章编号:**1002-8331(2009)09-0033-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**F274;F224

## 1 引言

进入20世纪90年代以来,供应链管理已经成为现代企业的主要管理模式。供应链管理是围绕最终顾客的需求,用系统的观点对供应链中的物流、信息流进行设计、规划和控制,对成本流进行分解与控制,并围绕买卖双方之间的物流和资金流实施信息共享和经营协调,以实现稳定、高效、柔性的供需关系、使供应链中的成员获得相应利益的一种管理理念,其目标是增加供应链成员的销售额或利润(或降低成本)、增强其获利能力与竞争优势、提高运作效率、服务水平以及供应链的响应能力。随着供应链系统的日趋复杂,对供应链管理的定量化研究,特别是供应链管理的建模、优化与仿真已经成为分析供应链系统的最强有力工具。

因为供应链涉及到众多的组织,是一个复杂的系统,所以从供应链全局角度来看,没有一个模型能够描述供应链流程的

所有方面。鉴于此,Chopra S和Meindip(2001)<sup>[1]</sup>提出从战略层、战术层和运作层对供应链模型进行分类,以帮助建模者确定研究范围的宽度和供应链计划水平的长度。Shapiro J(2001)<sup>[2]</sup>一书从建模方法角度将供应链管理模型分为描述性模型(预测模型、成本模型、资源利用及仿真模型)和标准模型(优化与数学模型),这种分类方法清晰地阐述了描述模型与标准模型各自的作用及其相互关系,但仅使用描述模型对有效决策还是不够的,应与优化模型结合起来确定企业的规划与决策。从研究的侧重点来划分,供应链研究的问题可分为供应链中的库存问题、信息流及其价值问题、协调问题、网络设计问题、绩效评价与决策问题等。

供应链绩效评价问题因其对企业决策和网络设计的支持而得到了很多学者的关注,特别是当供应链能力成为企业创造和保持竞争力的一个关键因素的时候,进行供应链绩效评价尤

**基金项目:**国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.70602017)。

**作者简介:**史成东(1965-),男,博士生,副教授,研究方向:系统工程,物流与供应链管理。

**收稿日期:**2008-12-12 **修回日期:**2009-01-04

为重要。常良峰(2003)<sup>[3]</sup>认为,供应链管理的绩效评价问题实质上是对供应链整体运行状况、供应链成员以及供应链上企业间合作关系的度量,一般涉及各企业内部绩效度量、供应链上各企业间外部合作的绩效度量以及供应链整体绩效度量三个方面;而 Arns M et al.(2002)<sup>[4]</sup>则从链水平和运作水平以及利润、柔性、可靠性、成本等几个角度阐述了供应链绩效评价。供应链的决策模式一般分为分散式和集中式,分散式是指供应链上的成员根据利润等指标自行决策,集中式又称集成式是指将供应链作为一个整体进行决策。本文主要对集成供应链绩效评价与决策模型做一点分析探索。从前人研究所使用的模型来看,大部分是从建立评价指标体系入手,然后采用神经网络、ANP、AHP、BSC、DEA、模糊、主成分等方法进行分析<sup>[5-7]</sup>;而使用标准模型(优化与数学规划模型)进行深度研究的相对较少一些,文献[8-12]应用数学规划与最优化的方法建立了多阶段供应链的多目标优化模型,取得了一些满意的效果,但大都没有进行深入分析,例如灵敏度分析等,决策参考的价值少了些。

## 2 问题描述

### 2.1 集成供应链结构

本文研究的集成供应链是指将制造商和供应商的利润之和作为一个整体来考虑。供应链运作过程中,假设集成供应链利润(制造商和供应商利润之和)最大化为第一优先因子,各阶段制造商向供应商订购生产原料的数量与供应商向制造商交付数量的平衡关系为第二优先因子,供应链成员之间的关系如图1所示。

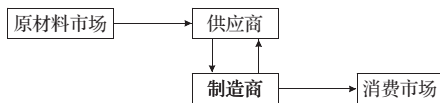


图1 供应链成员之间的关系

### 2.2 符号说明

下标  $j$  为制造商最终产品( $j=1,2,\dots,J$ );  $i$  为制造商的生产原料( $i=1,2,\dots,I$ );  $t$  为阶段( $t=1\cdots T$ ),  $h$  为供应商的原材料( $h=1\cdots H$ )。

变量  $v_j^s$  为最终产品  $j$  在阶段  $t$  的销售量,  $z_j^l$  为最终产品  $j$  在阶段  $t$  的生产量,  $z_j^i$  为最终产品  $j$  在阶段  $t$  的库存,  $y_i^l$  为制造商的生产原料  $i$  在阶段  $t$  的库存;  $b_i^u$  为制造商在阶段  $t$  对生产原料  $i$  的订购量,  $l_i^u$  为供应商在阶段  $t$  对制造商生产原料  $i$  的交付量。

变量  $x_i^s$  为供应商在阶段  $t$  对其产品(制造商生产原料)  $i$  的生产量,  $x_i^l$  为供应商在阶段  $t$  对其产品(制造商的生产原料)  $i$  的库存。

参数  $p_j$  为  $t$  阶段最终产品  $j$  的价格,  $q_i^u$  为  $t$  阶段生产原料  $i$  的价格,  $c_j^z$  为最终产品  $j$  的可变单位制造成本,  $h_j^z$  为最终产品  $j$  的单位库存成本,  $h_i^y$  为制造商生产原料  $i$  的单位库存成本;  $\alpha_j^k$  为最终产品  $j$  的生产能力消耗率,  $k^{\max}$  为制造商可利用的最大生产能力;  $z_{j0}^l$  为最终产品  $j$  的初始库存,  $o_j^z$  为单位最终产品  $j$  在制造商处所占的库存,  $z^{\max}$  为最终产品的总库存能力;  $s_j^y$  为最终

产品  $j$  对生产原料  $i$  的 BOM 系数,  $y_{i0}^l$  为生产原料  $i$  的初始库存,  $o_i^y$  为每单位生产原料  $i$  在制造商处所占的库存,  $y^{\max}$  为生产原料总库存能力;  $r_{ht}$  为  $t$  阶段供应商原材料  $h$  的价格,  $c_i^x$  为  $t$  阶段供应商的生产产品(制造商生产原料)  $i$  的单位可变成本,  $s_{hi}^r$  为供应商生产产品  $i$  对原材料  $h$  的 BOM 系数,  $h_i^x$  为供应商生产产品  $i$  的单位库存成本,  $\alpha_i^g$  为单位产品  $i$  的生产能力消耗率,  $G^{\max}$  为供应商可利用的最大生产能力;  $x_{i0}^l$  为供应商产品  $i$  的初始库存,  $x_i^s$  为供应商单位产品  $i$  所占用的库存,  $x^{\max}$  为供应商产品总库存能力;  $s_{ht}^s$  为  $t$  阶段原材料市场原材料  $h$  的供应量,  $d_j^s$  为  $t$  阶段消费市场对最终产品  $j$  的需求量,  $w_{vj}$  表示产品  $j$  的需求量每减少一个单位给制造商带来的利润损失,  $w_{2h}$  表示原材料  $h$  的供应每减少一个单位给供应商带来的利润损失。

## 3 集成供应链管理绩效决策模型

在图1所示的供应链中,考虑以下两个决策目标:

(1) 供应链的运作追求参与主体之间的协调性、连续性,即供应商的交付量不低于制造商的订购量。用模型表示为:

$$\begin{aligned} \min P_T * \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I d_i^+ \\ \text{s.t. } -b_i^u + l_i^u - d_i^+ = 0, \forall i, t \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $P_T$  为优先因子,是一个足够大的常数,  $d_i^+$  为供应商在  $t$  阶段对制造商所需的第  $i$  种生产原料的过剩交付量。

(2) 集成供应链(制造商和供应商利润之和)追求目标利润最大化,即

$$\begin{aligned} \min p * d^- \\ \text{s.t. } c^p + c^s + d^- - d^+ = M \\ c^p + \sum_{i=1}^I [ \sum_{j=1}^J (c_j^z z_j^l + h_j^z z_j^i - p_{ji} v_j^s + w_{vj} e_j^s) + \sum_{i=1}^I (q_i^u b_i^u + h_i^y y_i^l) ] + c^s + \sum_{i=1}^I [ \sum_{j=1}^J [-q_{ij} l_i^u + h_i^x x_i^l + [c_i^x + \sum_{h=1}^H r_{hi} s_{hi}^r] x_i^s ] + \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H w_{2h} \varepsilon_{hi}^s \leq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $p$  为优先因子,是一个足够大的常数;  $M$  是一个给定的常数,为集成供应链所追求的期望利润,  $d^-$  和  $d^+$  分别为集成供应链期望利润的不足量和超过量,  $c^p$  为制造商的实际利润,  $e_j^s$  是未满足的市场需求量;  $c^s$  为供应商的实际利润,  $\varepsilon_{hi}^s$  是原材料供应的不足量。

考虑利润为第一优先因子,因此  $P >> P_T$ 。这样,图1所示的集成供应链管理绩效决策模型的目标函数可以写成如下的形式。

$$\min P_T * \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T d_i^+ + p * d^-$$

供应链上各环节的约束除了式(1)~(3)以外,还受到下列条件的约束。

制造商各阶段生产能力:

$$\sum_{j=1}^J \alpha_j^k z_j^l \leq K_{\max}, \forall t \quad (4)$$

制造商各阶段的最终产品库存:

$$z_{jt}^l = z_{j,t-1}^l + z_{jt}^s - v_{jt}^s, \forall j, t, s \quad (5)$$

$$z_{j0}^l = z_{j0}^l, \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{j=0}^J o_j^l z_{jt}^l \leq z^l, \forall t \quad (7)$$

制造商生产原料库存:

$$y_{it}^l = y_{i,t-1}^l + b_{it} - \sum_{j=1}^J s_{ij}^y z_{jt}^l, \forall i, t \quad (8)$$

$$y_{i0}^l = y_{i0}^l, \forall t \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I o_i^y y_{it}^l \leq y^l, \forall t \quad (10)$$

制造商实际销售约束:

$$v_{jt}^s + e_{jt}^s \leq d_{jt}^s, \forall j, t, s \quad (11)$$

其中,  $d_{jt}^s$  为消费市场所能实现的最大需求量。

供应商生产能力约束:

$$\sum_{i=1}^I \alpha_i^g x_{it}^g \leq G^{\max}, \forall t, s \quad (12)$$

供应商产品的库存:

$$x_{it}^l = x_{i,t-1}^l + x_{it}^s - l_{it}^s, \forall j, t, s \quad (13)$$

$$x_{i0}^l = x_{i0}^l, \forall t \quad (14)$$

$$\sum_{i=0}^I o_i^x x_{it}^l \leq x^l, \forall t \quad (15)$$

供应商原材料供应约束:

$$\sum_{i=1}^I s_{hi}^r x_{it}^s + \varepsilon_{ht}^s \leq s_{ht}^s, \forall h, t, s \quad (16)$$

其中,  $s_{ht}^s$  是供应商从原材料市场所能获得的原材料数量。

非负条件:

$$b_{it}, z_{it}^l, z_{it}^s, y_{it}^l, l_{it}^s, x_{it}^l, d_{it}^-, d_{it}^+, d_p^-, d_p^+ \geq 0$$

$$d_s^-, d_s^+, C^p, C^s, e_{jt}^s, \varepsilon_{ht}^s, v_{jt}^s, x_{it}^s \geq 0 \quad (17)$$

### 4 应用举例

为了减轻数值运算的工作量,考虑图 1 所示集成供应链管理绩效决策模型比较简单的情形,来验证上述模型的可行性。假设  $J=2$ (两个最终产品)、 $I=1$ (制造商只需一种生产原料)、 $H=2$ (两种原材料)、 $T=2$ (两个阶段)。参数值如下:

$$K^{\max} = 400, G^{\max} = 600, z^l = 200, y^l = 200, x^l = 200, z_0^l = 0, y_0^l = 0$$

$$x_0^l = 0, c^x = 10, c_1^z = 15, c_2^z = 15, q_1 = 95, q_2 = 100, o^x = 1, o^y = 1, o_1^z = 1, o_2^z = 1, h^x = 1, h^y = 2, h_1^z = 3, h_2^z = 3, \alpha^g = 1, \alpha_1^k = 1, \alpha_2^k = 1, s_1^r = 0.6, s_2^r = 0.4, s_1^y = 1, s_2^y = 1。$$

其他的参数分别给定如下: 优先因子  $P_T, p$  分别取  $10^4, 10^6$ , 集成供应链期望利润(制造商和供应商期望利润之和)  $M$  取 150 000, 并且  $w_{11} = 190, w_{12} = 190, w_{21} = 50, w_{22} = 50$ 。消费市场的需求量、产品销售价格及原材料市场的供应量、原材料价格见表 1 所示。

表 1 市场供求状况

供求数量	消费市场需求情况				原材料市场需求情况			
	产品 1		产品 2		原材料 1		原材料 2	
	阶段 1	阶段 2	阶段 1	阶段 2	阶段 1	阶段 2	阶段 1	阶段 2
供求数量	191.5	195	197	194.5	236	233.5	235	224.5
市场价格	200	205	205	200	30	35	35	30

利用以上数据,经过使用 MATLAB 运算,获得集成供应链管理绩效最优运作策略如表 2 所示。

如果供应链上成员是分散决策的,利用以上数据,经过使用 MATLAB 运算,获得分散供应链管理绩效最优运作策略如表 3 所示。

如果优先因子  $P_T, p$  分别取  $10^6, 10^4$ , 则集成供应链协调的最优运作策略如表 4 所示。

从表 2 和表 3 可以看出,分散决策时制造商的利润比集成时高,而供应商的利润则比集成时低;不过供应链的总利润不论集成还是分散时都不变,主要原因是产品的市场容量、生产能力和原材料供应能力均能满足生产需要,对产品生产和销售不构成制约。从表 2 和表 4 可以看出,在利润为第一优先因子

表 2 集成供应链管理绩效最优运作策略

阶段	制造商实际利润 56 540						供应商实际利润 56 540				
	最终产品产量		最终产品销量		最终产品库存		生产原	生产原	生产原	产量(生	产品
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	料库存	料订购	料交付	产原料)	库存
1	192	197	192	197	0	0	0	389	389	393	5
2	195	194	195	194	0	0	0	389	394	389	0

表 3 分散供应链管理绩效最优运作策略

阶段	制造商实际利润 70 032						供应商实际利润 43 048				
	最终产品产量		最终产品销量		最终产品库存		生产原	生产原	生产原	产量(生	产品
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	料库存	料订购	料交付	产原料)	库存
1	192	197	191	197	0	0	0	389	389	393	5
2	195	194	195	194	0	0	0	389	394	389	0

表 4 集成供应链协调最优运作策略

阶段	制造商实际利润 56 412						供应商实际利润 56 412				
	最终产品产量		最终产品销量		最终产品库存		生产原	生产原	生产原	产量(生	产品
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	料库存	料订购	料交付	产原料)	库存
1	191	197	191	197	0	0	0	389	389	392	4
2	195	194	195	194	0	0	0	389	389	386	0

的情况下,制造商和供应商的利润均比“订购量=交付量”是第一优先因子时制造商利润 56 412、供应商利润 56 412 要多。

## 5 灵敏度分析

产品、原材料、市场容量等变化造成的供应链利润的变动,因篇幅所限,不再列出。其变化规律为:只要生产能力满足要求,原材料供应不受制约,当最终产品销价变动或原材料价格变动时,制造商和供应商的利润都会发生变化;而生产能力提高时,二者的利润均不变,生产能力降低时,制造商和供应商利润也会发生变化;此外,当拓展市场需求时,制造商和供应商利润增加;扩大原材料供应渠道时,制造商和供应商利润也会增加。

## 6 结语

针对一个制造商和一个供应商组成的多产品、多阶段供应链,使用多目标规划的方法描述了供应链及其成员的运作性能,建立了集成供应链管理绩效决策模型。并通过应用举例验证了该模型的可行性。应用举例的结果还表明,使用该模型可以准确地核算出制造商生产材料订购量和供应商产品的交付量、制造商和供应商的库存等。此外,该模型还可以为供应链的科学决策提供以下支持:

(1)根据对市场需求和原材料供求的预测,可以优化生产结构、库存能力,避免出现生产结构与供应链利润不匹配。

(2)为增加供应链的利润,充分挖掘生产能力、库存能力的潜力,一方面继续加大市场开拓的力度、增加市场需求和原材料供给;另一方面可采用外包的方式,增加业务量,提高生产能力、库存能力。

(上接 23 页)

真,结果验证了该方案在性能上是优于 Zhao-Haggman 所提出的方案,代价是在接收端一次  $N$  阶 FFT 变换以及一次全相位解码运算,运算量增加。

## 参考文献:

- [1] van Nee R, Prasad R. OFDM for wireless multimedia communications[M]. Norwood, MA: Artech House, 2000.
- [2] Bingham J A C. Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come[J]. IEEE Commun Mag, 1990, 28(5): 5-14.
- [3] Pollet T, van Bladel M, Moeneclaey M. BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Wiener phase noise[J]. IEEE Trans Commun, 1995, 43(2): 191-193.
- [4] van de Beek J J, Sandell M, Borjesson P O. ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems[J]. IEEE Trans Signal Process, 1997, 45(7): 1800-1805.
- [5] Tureli U, Kivanc D, Liu H. Experimental and analytical studies on a high-resolution OFDM carrier frequency offset estimator[J]. IEEE Trans Veh Technol, 2001, 50(2): 629-643.
- [6] Fernandez-Getino Garcia M J, Edfors O, Paez-Borrillo J M. Frequency offset correction for coherent OFDM in wireless systems[J]. IEEE Trans Consum Electron, 2001, 47(1): 187-193.
- [7] Luise M, Marselli M, Reggiani R. Low-complexity blind carrier frequency recovery for OFDM signals over frequency-selective radio channels[J]. IEEE Trans Commun, 2002, 50(7): 1182-1188.
- [8] Armstrong J. Analysis of new and existing methods of reducing intercarrier interference due to carrier frequency offset in OFDM[J]. IEEE Trans Commun, 1999, 47(3): 365-369.

## 参考文献:

- [1] Chopra S, Meindi P. Supply chain management: strategy, planning and operation[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2001.
- [2] Shapiro J. Modeling the supply chain[M]. 北京: 中信出版社, 2001.
- [3] 常良峰. 供应链优化及主从对策问题应用研究[D]. 东北大学, 2003.
- [4] Ams M, Fischer M, Kemper P, et al. Supply chain modeling and its analytical evaluation[J]. Journal of Operations Research Society, 2002(53): 885-894.
- [5] Lee W M, Liao Y S, Chang S H. Neural-based WEDM optimization via grey analysis[J]. The Journal of Grey System, 2001, 13(2): 135-146.
- [6] Nagurney A, Dong J, Zhang Ding. A supply chain network equilibrium model[J]. Transportation Research Part E, 38, 2002: 281-303.
- [7] Ohdar R, Ray P K. Performance measurement and evaluation of suppliers in supply chain: an evolutionary fuzzy-based approach[J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2004, 15(8): 723-734.
- [8] Grout J R. A model of incentive contracts for just-in-time delivery[J]. European Journal of Operational Research, 1996(96): 139-147.
- [9] Cheng-Liang C, Wen-Cheng L. Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices[J]. Computers and Chemical Engineering, 2004, 28(10): 1131-1144.
- [10] Wu S D, Golbasi H. Multi-item, multi-facility supply chain planning: models, complexities, and algorithms[J]. Computational Optimization and Applications, 2004(28): 325-356.
- [11] 徐家旺, 黄小原. 市场供求不确定供应链的多目标鲁棒运作模型[J]. 系统工程理论与实践, 2006(6): 35-40.
- [12] 舒良友, 晏启鹏. 以制造商为核心的供应链非线性优化模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006(2): 36-42.
- [9] Gudmundson M, Anderson P O. Adjacent channel interference in an OFDM system[C]//Proc 46th IEEE Vehicular Technology Conf, 1996: 918-922.
- [10] Muschallik C. Improving an OFDM reception using an adaptive Nyquist windowing[J]. IEEE Trans Consum Electron, 1996, 42(3): 259-269.
- [11] Zhao Y, Haggman S G. Sensitivity to doppler shift and carrier frequency errors in OFDM systems—the consequences and solutions[C]//Proc 46th IEEE Vehicular Technology Conf, 1996: 1564-1568.
- [12] Zhao Y, Haggman S G. Intercarrier interference self-cancellation scheme for OFDM mobile communication systems[J]. IEEE Trans Commun, 2001, 49: 1185-1191.
- [13] Zhao Y, Haggman S G. Intercarrier interference compression in OFDM communication systems by using correlative coding[J]. IEEE Commun Lett, 1998, 2(8): 214-216.
- [14] Sathananthan K, Tellambura C. Forward error correction codes to reduce intercarrier interference in OFDM[C]//Proc IEEE Int Symp Circuits and Systems, 2001, 4.
- [15] Seyedi A, Saulnier. General ICI self-cancellation scheme for OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54(1).
- [16] 吴国乔, 王兆华, 黄晓红. 离散频谱的全相位校正法[J]. 数据采集与处理, 2005, 20(3): 286-290.
- [17] Sathananthan K, Terambulla C. Probability of error calculation of OFDM systems with frequency offset[J]. IEEE Trans Commun, 2001, 49(11): 1884-1888.
- [18] Oda Y, Tsunekawa K. Advanced LOS path loss model in microwave mobile communications[C]//10th International Conference on Antennas and Propagation, 14-17 April 1997, Conference Publication No. 4360 IEE, 1997.