

文章编号:1000-6788(2006)06-0035-06

市场供求不确定供应链的多目标鲁棒运作模型

徐家旺^{1,2}, 黄小原¹

(1. 东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 沈阳航空工业学院管理系, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 提出了由一个制造商和一个供应商构成的多产品、多阶段供应链在原材料市场的供应和消费市场的需求均不确定条件下的多目标鲁棒运作模型. 采用已知概率的离散情景描述消费市场需求和原材料市场供应的不确定性. 供应链的运作模型为一个多目标规划问题, 满足诸如供应链协调运作、所有供应链成员的目标利润尽可能最大、对应于不确定供求的决策的鲁棒性等多个相互冲突的目标. 数值算例的结果表明, 将鲁棒性运用于这些目标中, 能够减少产品需求和原材料供应的不确定性对目标值的影响.

关键词: 供应链管理; 不确定性; 鲁棒性; 多目标优化

中图分类号: F406.2

文献标识码: A

A Multi-objective Optimization Model for Supply Chain with Uncertain Market Supplies and Demands

XU Jia-wang^{1,2}, HUANG Xiao-yuan¹

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Management Department, Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, Shenyang 110034, China)

Abstract: A multi-product, multi-stage robust operating model is proposed in this paper to deal with multiple incommensurable goals for a supply chain consisting of a supplier and a producer with uncertain market demands and raw material supplies. The uncertain market demands and raw material supplies are modeled as a number of discrete scenarios with known probabilities. The supply chain operating model is constructed as a multi-objective programming problem to satisfy several conflict objectives, such as coordination of supply chain, the maximum profit of all participants, and robustness of decision to uncertain product demands and raw material supplies. The result of a numerical example proved effectively that the inclusion of robustness measures as part of objectives can significantly reduce the variability of objective values to product demand and raw material supply uncertainties.

Key words: supply chain management; uncertainty; robustness; multiple objectives optimization

1 引言

供应链是为顾客提供产品或服务的供应商、制造商、分销商、零售商以及顾客之间相互联系的网络. 在常规的供应链中, 信息流由消费者通过分销商和制造商传递给供应商, 而物流的方向则相反: 从原材料供应商沿供应链向后传递给消费者^[1,2]. 一般来说, 管理和控制供应链的挑战性来源于供应链固有的复杂性. 产生此复杂性的原因很多. 首先, 供应链中的物流和信息流可以形成一个多供应商、制造商和分销商相互之间互联活动的复杂网络^[3,4]; 第二, 供应链的每个成员可能也与多个其他的供应链相牵连, 每个成员都有自己的需求; 供应链复杂性的第三个原因在于它们具有不确定性的动态性质, 诸如客户需求、原材料供应、生产能力、运输时间、制造时间、成本、质量、支付日期(限定付款时间)、优先权、丢失信息、模糊信息和牛鞭效应等^[3,5~8]. 这些不确定性参数可以通过供应链网络传送^[9]; 第四个原因与参与到供应链中的众

收稿日期: 2005-07-01

资助项目: 国家自然科学基金(70572088); 教育部高校博士点专项基金(20050145022); 辽宁省高校科研项目(05W178)

作者简介: 徐家旺(1966-), 男, 江西九江人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为供应链管理和电子商务; 黄小原(1947-), 男, 河南罗山人, 教授, 博士生导师, 研究方向为供应链管理和电子商务.

多组织有关,他们中的每一个都有自己的目标,通常与其他组织的目标相冲突.结果,整个供应链缺乏一个统一的计划.

对许多供应链而言,管理和控制供应链的困难在于对供应链其他部分的可见性的缺乏,这意味着各成员仅从他们的下游成员出发来处理数据,因为这可能是可供使用的最好数据.结果,许多供应链的运作靠各层独立地行动并孤立地试图最优化他们的运作.这样的局部最优并不能带来整体最优.因此,提高供应链集成存在着相当大的压力.

典型的供应链以他们的复杂性和在运作过程中固有的不确定性为特征,给这样的供应链建立模型是件很困难并富有挑战性的研究任务,尤其是在建模时还要考虑不确定性的时候.目前,大量的文献对不确定环境下供应链的运作问题进行了研究,这些研究大都仅考虑需求或价格等单个因素的随机性或不确定性.最近,文献[10]建立了产品需求和价格均不确定情况下的多成员供应链的多目标优化模型.文献[11]研究了交货时间以及需求不确定情况下短生命周期产品的协调订货决策.

本文建立由一个制造商和一个供应商构成的多产品、多阶段供应链在原材料市场供应和最终产品市场需求均不确定情况下的多目标优化模型.采用已知概率的离散情景描述供求的不确定性,利用鲁棒线性规划方法并采用多目标规划模型来描述供应链的运作情况.

2 模型

2.1 供应链结构

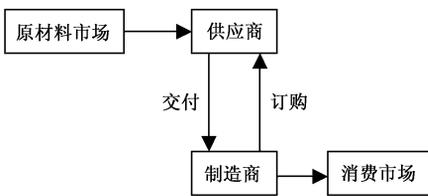


图1 供应链成员之间的关系

我们考查的供应链由一个制造商和一个供应商构成,供应商生产的产品作为制造商的生产原料,在供应链的运作过程中,制造商在追求目标利润最大化条件下决定其各阶段向供应商订购生产原料的数量,供应商同样以追求利润最大化为目标决定各阶段向制造商交付的数量,供应链成员之间的关系如图1所示.

供应链整体运作过程中,在每个具体阶段,供应链双方的订购和交付的数量应该是相等的,即供应链成员之间的运作是协调的,这是供应链运作过程中必须最先考虑的.同时,供应链双方均面对各自不确定的市场来确定自己的最优运作策略,制造商追求目标利润最大化、供应商在供应链协调运作的基础上追求最高收益.

2.2 符号含义

下标 j 为最终产品 ($j = 1, \dots, J$); i 为制造商的原料 ($i = 1, \dots, I$); t 为阶段 ($t = 1, \dots, T$); h 为供应商的原材料 ($h = 1, \dots, H$).

决策变量 v_{jt} 为最终产品 j 在阶段 t 的销售量; z_{jt} 为最终产品 j 在阶段 t 的生产量; z_{jt}^L 为最终产品 j 在阶段 t 的库存; y_{it}^L 为制造商的原料 i 在阶段 t 的库存; b_{it} 为制造商在阶段 t 对原料 i 的订货量; l_{it} 为供应商在阶段 t 对原料 i 的交付量; x_{it} 为供应商在阶段 t 对原料 i 的生产量; x_{it}^L 为供应商在阶段 t 对原料 i 的库存.

参数 p_{jt} 为 t 阶段最终产品 j 的价格; q_{it} 为 t 阶段原料 i 的价格; c_j^s 为最终产品 j 的可变单位制造成本; h_j^s 为最终产品 j 的单位库存成本; h_i^s 为制造商原料 i 的单位库存成本; k_j^s 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}^s 为最终产品 j 的初始库存; o_j^s 为单位最终产品 j 所占的库存; z^{\max} 为最终产品的总库存能力; s_{ij}^y 为最终产品 j 对原料 i 的 BOM 系数; y_{i0}^L 为原料 i 的初始库存; o_i^y 为每单位原料 i 在制造商处所占的库存; y^{\max} 为原料总库存能力; r_{ht} 为 t 阶段原材料 h 的价格; c_i^s 为供应商生产原料 i 的单位可变成本; s_{hi}^r 为原料 i 对原材料 h 的 BOM 系数; h_i^r 为供应商原料 i 的单位库存成本; a_i^s 为原料 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 为原料 i 的初始库存; o_i^r 为单位原料 i 在供应商处所占用的库存; x^{\max} 为原料总库存能力; s_{ht} 为 t 阶段原材料市场原材料 h 的供应量; d_{jt} 为 t 阶段消费市场最终产品 j 的需求量.

2.3 供应链的鲁棒运作模型

下面,我们采用文献[12]所提出的鲁棒优化方法建立图 1 所示供应链在原材料市场的供应以及消费市场的需求均不确定情况下的鲁棒运作模型.

在整个计划水平中,假设供应商的生产量 x_{it} 和制造商的销售量 v_{jt} 为控制变量,一旦原材料供应和最终产品的需求被观测到时可以进行相应地调整,而其他的决策变量是对所有情景均有效的设计变量.这样,对每个情景,供应商都有一个生产量,制造商也有一个销售量,我们分别用 s_{it}^s 和 d_{jt}^s 表示情景 s 下原材料的供应量和最终产品需求量,用 x_{it}^s 和 v_{jt}^s 表示对应于情景 s 的供应商生产量和制造商销售量,其他的参数在所有不同情景都是相同的.另外引入两个参数 l_j 和 2_h ,其中 l_j 表示产品 j 的需求每减少一个单位给制造商带来的利润损失, 2_h 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,用 p_s 表示情景 s 发生的概率.

在图 1 所示的供应链中,考虑以下三个运作目标.

1) 在每个具体阶段,供应链的运作追求参与主体之间的协调性,即供应商的交付量等于制造商的订购量.用模型可以表示为:

$$\begin{aligned} \min P_T \times & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (d_{it}^- + d_{it}^+), \\ \text{s.t. } & -b_{it} + l_{it} + d_{it}^- - d_{it}^+ = 0 \quad \forall i, t. \end{aligned} \tag{1}$$

其中, P_T 为优先因子,是一个足够大的常数, d_{it}^- 和 d_{it}^+ 分别为供应商在 t 阶段对制造商所需第 i 种原料的不足交付量和过剩交付量.

2) 制造商追求目标利润最大化,即

$$\begin{aligned} \min P_P \times & d_P^-, \\ \text{s.t. } & C^P + d_P^- - d_P^+ = M_P, \\ & C^P + \sum_s p_s \left\{ \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^J (c_{jt}^z z_{jt} + h_{jt}^z z_{jt}^L - p_{jt} v_{jt}^s + l_j e_{jt}^s) + \sum_{i=1}^I (q_{it} b_{it} + h_{it}^y y_{it}^L) \right] \right\} \geq 0. \end{aligned} \tag{2}$$

其中, P_P 为优先因子,是一个足够大的常数; M_P 是一个给定的常数,为制造商的期望利润; d_P^- 和 d_P^+ 分别为制造商期望利润的不足值和超过量; C^P 为制造商的实际利润, e_{jt}^s 是情景 s 下未满足的需求量.

3) 供应商同样追求目标利润的最大化,即

$$\begin{aligned} \min P_S \times & d_S^-, \\ \text{s.t. } & C^S + d_S^- - d_S^+ = M_S, \\ & C^S + \sum_s p_s \left\{ \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^I \left(-q_{it} l_{it} + h_{it}^x x_{it}^L + \left[c_{it}^x + \sum_{h=1}^H r_{ht} s_{ht}^r \right] x_{it}^s \right) \right] + \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H 2_h s_{ht}^s \right\} \geq 0. \end{aligned} \tag{3}$$

其中, P_S 为优先因子,是一个足够大的常数; M_S 为供应商所追求的最大期望利润,为一个给定的常数; d_S^- 和 d_S^+ 分别为供应商期望利润的不足值和超过量. C^S 为供应商的实际利润, s_{ht}^s 是情景 s 下原材料供应的不足量.

在供应链的运作过程中,首先保证在每个具体阶段,供应商的交付量与制造商的订购量是相等的,以达到供应链的渠道协调.同时,由于原材料市场的供应和消费市场的需求都是不确定的,因此无法断定图 1 所示的供应链是靠需求拉动的还是靠原材料供应推动的.因此,在建立模型时我们假定制造商和供应商的期望利润优先因子是相等的,即三个优先因子 P_T 、 P_P 和 P_S 有以下关系: $P_P = P_S = P$, 并且 $P_T \gg P$. 这样,图 1 所示供应链的运作模型的目标函数可以写成如下的形式.

$$\min P_T \times \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I (d_{it}^- + d_{it}^+) + P \times (d_P^- + d_S^-).$$

约束条件除了(1)~(5)以外,还受到下列条件的约束.

制造商各阶段生产能力约束:

$$\sum_{j=1}^J z_{jt} \leq K^{\max} \quad \forall t. \tag{6}$$

制造商各阶段的最终产品库存:

$$z_{jt}^L = z_{j,t-1}^L + z_{jt} - v_{jt}^s - e_{jt}^s, \quad \forall j, t, s, \quad (7)$$

$$z_{j0}^L = z_{j0}^L, \quad \forall j, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J \sigma_j^L z_{jt}^L \leq z^L, \quad \forall t. \quad (9)$$

制造商原料库存:

$$y_{it}^L = y_{i,t-1}^L + b_{it} - \sum_{j=1}^J s_{ij}^y z_{jt}^L, \quad \forall i, t. \quad (10)$$

$$y_{i0}^L = y_{i0}^L, \quad \forall i. \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^I \sigma_i^y y_{it}^L \leq y^L, \quad \forall t. \quad (12)$$

制造商实际销售约束:

$$v_{jt}^s + e_{jt}^s \leq d_{jt}^s, \quad \forall j, t, s. \quad (13)$$

其中, d_{jt}^s 为情景 s 下需求实现值.

供应商生产能力约束:

$$\sum_{i=1}^I g_i^s x_{it}^s \leq G^{\max}, \quad \forall t, s. \quad (14)$$

供应商产品的库存:

$$x_{it}^L = x_{i,t-1}^L + x_{it}^s - l_{it} + x_{it}^s, \quad \forall i, t, s. \quad (15)$$

$$x_{i0}^L = x_{i0}^L, \quad \forall i. \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^I \sigma_i^x x_{it}^L \leq x^L, \quad \forall t. \quad (17)$$

其中, x_{it}^s 为 s 情景下原材料供应的不确定性给供应商生产所带来的影响, 它与情景 s 下原材料供应的不足量 s_{ht}^s 之间有下列关系:

$$\sum_{i=1}^I s_{hi}^r x_{it}^s = s_{ht}^s, \quad \forall h, t, s. \quad (18)$$

供应商原材料供应约束:

$$\sum_{i=1}^I s_{hi}^r x_{it}^s + s_{ht}^s \leq s_{ht}^s, \quad \forall h, t, s. \quad (19)$$

其中, s_{ht}^s 是情景 s 下供应商从原材料市场所能获得的原材料数量.

非负条件:

$$b_{it}, z_{it}, z_{it}^L, y_{it}^L, l_{it}, x_{it}^L, d_{it}^-, d_{it}^+, d_p^-, d_p^+, d_s^-, d_s^+, C^P, C^S, e_{jt}^s, s_{ht}^s, v_{jt}^s, x_{it}^s \geq 0. \quad (20)$$

从以上模型可以看出, 模型的目标函数及所有的约束条件均是线性的, 因此至少可以采用线性规划方法得到模型的最优解.

3 数值算例

为了相对地减轻数值上的负担, 我们考虑图 1 所示供应链运作模型的更简单情形. 假设 $J=2$ (两个最终产品)、 $I=1$ (制造商只有一种生产原料)、 $H=2$ (两种原材料)、 $T=2$ (两个阶段) 并且 $S=3$ (三种情景). 参数值如下:

$$K^{\max} = 400, G^{\max} = 600, z^L = 200, y^L = 200, x^L = 200, z_0^L = 0, y_0^L = 0, x_0^L = 0.$$

$$c^x = 10, c_1^z = 15, c_2^z = 15, q_1 = 95, q_2 = 100, \sigma^x = 1, \sigma^y = 1, \sigma_1^z = 1, \sigma_2^z = 1.$$

$$h^x = 1, h^y = 2, h_1^z = 3, h_2^z = 3, g = 1, k_1 = 1, k_2 = 1, s_1^r = 0.6, s_2^r = 0.4, s_1^y = 1, s_2^y = 1.$$

其它的参数值分别给定如下: 优先因子 P_T 、 P_P 和 P_S 分别取 10^6 、100、100, 制造商和供应商的期望利润

M_P 和 M_S 均取 160,000. 并且 $\pi_1 = 100$, $\pi_2 = 100$ 、 $\alpha_1 = 50$, $\alpha_2 = 50$. 两个市场的供求情景及发生概率等参数列在表 1 中.

表 1 市场供求情景及发生概率

情景	情景发生概率	消费市场需求情景				原材料市场供应情景			
		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
1	0.3	185	195	190	185	240	235	225	220
2	0.4	205	195	200	205	230	235	225	220
3	0.3	180	195	200	190	240	230	235	235
平均供求(确定)		191.5	195	197	194.5	236	233.5	235	224.5
市场价格		180	185	185	180	30	35	35	30

利用以上所列数据,分别计算了市场供求为确定(平均供求)和不确定(基于情景)两种情况下,供应链的最优运作策略,结果如表 2 和表 3 所示.

表 2 平均供求(确定)情况下的最优运作策略

阶段	制造商(利润:54473)						供应商(利润:42792)				
	最终产品产量		最终产品销售量		最终产品库存		生产原料库存	生产原料订购	产品交付	生产	库存
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2					
1	191.5	197	191.5	197	0	0	0	388.5	388.5	391.6	3.1
2	195	194.5	195	194.5	0	0	0	389.5	389.5	386.4	0

表 3 供求均不确定情况下的最优运作策略

阶段	制造商(利润:52525)						供应商(利润:41270)				
	最终产品产量		最终产品销售量		最终产品库存		生产原料库存	生产原料订购	产品交付	生产	库存
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2					
1	180	190	180	190	0	0	0	370	370	381.3	11.3
2	196	185	195	185	0	0	0	380	380	368.7	0

从表 2 和表 3 的结果可以看出,模型能够保证各阶段供应商的交付量等于制造商的订购量.在原材料市场供应与消费市场需求均确定情况下,制造商和供应商的利润均大于不确定情形各自对应的利润.制造商在供求均不确定情况下的利润仅比确定情形减少 3.58%,供应商利润也仅减少 3.56%.由此可以看出,用离散情景来描述供求的不确定性时,我们所给模型的解是最保守的,但却能够有效地保证供应链运作的鲁棒性.

4 结束语

不确定性贯穿于供应链运作的整个过程,如何去研究这些不确定性对供应链运作的影响是供应链管理不可回避的问题.本文利用鲁棒优化方法,将消费市场的需求不确定性和原材料市场供应的不确定性描述成不同的情景,利用多个目标来描述供应链及其成员的运作性能,得到了供应链运作的多目标鲁棒运作模型.数值算例的结果表明,通过我们所提出的模型能够得到市场供求均不确定情况下供应链的运作策略.与确定情形的运作结果相比较,我们所提出的建模方法能够有效保证供应链运作的鲁棒性,对于上、下游均不确定的供应链运作研究具有一定的参考价值.

参考文献:

[1] Riddalls C, Bennett S, Tipi N. Modeling the dynamics of supply chain [J]. International Journal of Systems Science, 2000, 31: 969 - 976.
 [2] Simchi-Levi D, Kaminski P, Simchi-Levi E. Designing and Managing the Supply Chain [M]. New York: Irwin McGraw-Hill,

2000.

- [3] Lee H, Billington C. Material management in decentralized supply chains [J]. *Operations Research*, 1993, 41(4) : 835 - 847.
- [4] Lee H, Whang S. Information sharing in a supply chain [R]. Working Papers, Graduate School of Business, Stanford University, 1998.
- [5] Davis T. Effective supply chain management [J]. *Sloan Management Review*, 1993, 34(1) : 35 - 46.
- [6] Arns M, Fischer M, Kemper P, Tepper C. Supply chain modeling and its analytical evaluation [J]. *Journal of the Operation Research Society*, 2002, 53(4) : 885 - 894.
- [7] Geary S, Childerhouse P, Towill D. Uncertainty and the seamless supply chain [J]. *Supply Chain Management Review*, 2002, 6(1) : 52 - 60.
- [8] Kouvelis P, Milner J. Supply chain capacity and outsourcing decision: The dynamic interplay of demand and supply uncertainty [J]. *IIE Transactions*, 2002, 34(3) : 717 - 728.
- [9] Van der Vorst J, Beulens A. Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign and strategies [J]. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 2002, 32(2) : 409 - 430.
- [10] 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.
- [11] Z. Kevin Weng, Tim McClurg. Coordinated ordering decisions for short life cycle products with uncertainty in delivery time and demand [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 151(1) : 12 - 24.
- [12] Mulvey J M, Vanderbei R J, Zenios S A. Robust optimization of large-scale system [J]. *Operations Researches*, 1995, 43(2) : 264 - 281.

(上接第7页)

- [4] 谢经荣, 曲波. 地产泡沫与金融危机[M]. 北京: 经济管理出版社, 2002.
- [5] 高汝焘, 宋忠敏. 上海房地产泡沫实证研究[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2005.
- [6] Charls P Kinleberger. Manias, Panics and Crashes: A history of financial crises[M]. New York: Basic Books. Dec. 2000.
- [7] Fred E Foldvary. Comments on "Echoes of Henry George in modern analysis"[J]. *American Journal of Economics and Sociology*, 2004, 65(5) : 1139 - 1147.
- [8] Feiger George. What is speculation? [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1976, 90(4) : 677 - 687.
- [9] Jean Tirole. On the possibility of speculation under rational expectations[J]. *Econometrica*, 1982, 50(5) : 1163 - 1181.
- [10] Management and Coordination Agency Government of Japan Statistics Bureau[M]. *Japan Statistical Yearbook*, 1982 - 2004.
- [11] 冯昭奎. 日本经济[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [12] United Nations Human Settlements Programme. Secure Tenure and the Millennium Development Goals. *Habitat Debate*, 2003, 9(4). <http://www.unhabitat.org/hd/hdv9n4/6.asp>.
- [13] Campbell J Y, Shiller R. The dividend-price ratio and expectations of future dividends and discount factors[J]. *Reviews of Financial Studies*, 1988, 1(3) : 195 - 228.
- [14] Gourieroux C, Laffont J, Monfort A. Rational expectations in dynamic linear models: Analysis of the solutions[J]. *Econometrica*, 1982, 50(5) : 409 - 425.
- [15] Marsh, Terry A, Merton Robert C. Dividend variability and variance bounds tests for the rationality of stock market prices[J]. *American Economic Association*, 1986, 76(3) : 483 - 498.
- [16] Stephen A Pyhr, Stephen E Roulac, Waldo L Born. Real estate cycles and their strategic implications for investors and portfolio managers in the global economy[J]. *Journal of Real Estate Research*, 1999, 18(1) : 7 - 68.
- [17] Tirole J. Asset bubbles and overlapping generations[J]. *Econometrica*, 1985, 53(6) : 1499 - 1528.