

# 非对称信息下基于委托代理模型的供应链协调

范颖, 赵庆祯

(山东师范大学, 山东 济南 250014)

**摘要:** 针对供应链中分销商与制造商之间关于如何降低成本的信息不对称, 运用委托代理模型研究供应链中分销商的成本控制问题。根据改进的联合确定基数法, 建立了制造商与分销商的目标函数, 确定了制造商的最优自报成本, 并建立了非对称信息下分销商期望效用最大化模型。最后, 运用进化规划算法作了仿真实验。

**关键词:** 非对称信息; 委托代理模型; 成本控制; 进化规划

**中图分类号:** TB114.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2006)09-0024-03

## Coordinating a Supply Chain under Asymmetric Information on a Basis of Principal-Agent Model

FAN Ying, ZHAO Qing-zhen

(Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

**Abstract:** To a supply chain of one-distributor and one-producer with asymmetric information on how to reduce the costs between the two members, the paper analyzes the problem that how the distributor controls products costs on a basis of principal-agent model. Based on the improved combined base method, some objective functions in terms of producer and the distributor are given to determine optimal costs. And a model to maximize distributor's expected utility is given under asymmetric information. At last, a simulation is conducted by way of the evolutionary programming algorithm.

**Key words:** asymmetric information; principal-agent model; cost control; evolutionary programming

### 0 引言

供应链是由不同利益主体构成的合作型系统, 其成员在追求自身利润最大化的同时, 往往与系统整体目标产生冲突。因此要协调成员间的信息流, 实现降低成本与增加利润的目的。最近的一些研究成果显示, 许多研究者从不同的研究角度聚焦于供应链的成本控制问题。文献[1]和[2]分别讨论了配送系统中运输成本分配与各节点的存货成本问题。委托代理模型的产生是由于委托人和代理人之间存在信息不对称现象<sup>[3-6]</sup>, 即一方处于信息优势而另一个方处于信息劣势, 委托代理模型已经在金融、经济、市场营销和会计领域都得到了广泛应用<sup>[7]</sup>。文中研究的是供应链中分销商与制造商之间的成本控制问题, 分销商希望制造商尽力降低产品的单位生产成本, 但如何降低成本只有制造商清楚, 因此分销商和制造商在成本降低潜力方面的信息是不对称的。非对称信息是委托代理模型研究的一个重要方面, 目前用委托代理理论研究非对称信息条件下供应链中成本控制问题的文献尚不多见。从理论上,

成本控制问题中分销商与制造商的关系可以用委托代理关系来描述。

联合确定基数法可以用来防范制造商的道德风险<sup>[8]</sup>, 其激励机制要求代理人的成本自报数与实际数相等时, 才能实现代理人的收效最大。但在实际生产中, 由于经营能力、经济风险等外在因素, 在签合同同时, 代理人不能预知确切的成本数, 所以对联合确定基数法进行改进, 以此确定了制造商的最优自报成本, 并计算出在满足个体理性约束和激励相容约束条件下的分销商期望效用的最大值。并运用进化规划算法对此模型做了仿真实验, 最后与基于Stackelberg博弈模型中非对称信息下的零售商的期望效用进行比较。

### 1 基本参数设定

这里研究的供应链包括一个分销商与一个制造商。制造商出售商品给分销商, 再由分销商卖给顾客。根据实际情况, 产品的需求是随机的, 需求表示为  $D_1(S) + D_2$ 。其中  $D_1$  为确定性需求部分, 为价格  $S$  敏感性函数。随机需求部分  $D_2$  为连续变量, 其密度函数为  $f(x)$ , 分布函数为  $F(x)$  ( $x > 0$ ), 其均值为  $\mu$ , 方差为  $\sigma^2$ , 且有  $D_1(S) \geq 0$ ,  $D_2 \geq 0$ 。设订货量  $q = q_1 + q_2$ ,  $q_1$  和  $q_2$  分别为确定性和随机性需求部分。令  $S(q_1)$  为  $D_1$  的逆函数, 则  $S(q_1)$  可解

收稿日期: 2005-12-30

基金项目: 山东省社会科学规划重点研究项目(03BJZ37)

作者简介: 范颖(1981-), 女, 山东威海人, 硕士研究生, 研究方向为供应链管理、博弈论与多代理系统; 赵庆祯, 教授, 博士生导师, 研究方向为供应链管理、决策支持系统、运筹学、MIS。

释为确定性需求部分的价格函数,采用线性需求函数  $S(q_1) = a - bq_1$ 。在生产产品前,分销商经过调查先提出产品的单位成本要求  $C_1$ ,随后要求制造者提交可达到的生产成本数  $C_2$ ,再根据预先分销商与制造商商订好的权值  $W$ ,确定成本基数  $B = WC_1 + (1 - W)C_2$ 。当制造商的实际单位生产成本( $C$ )低于此基数时,分销商给制造商奖励为  $U(B - C)$ ,当  $C > B$  时,制造商需要承担同等数额的惩罚。同时,为了避免制造商故意高报成本以获得更多的奖励,当  $C_2 > C$  时,分销商将以  $P(C_2 - C)$  对制造商进行处罚。 $W, C_1$  以及  $F(x)$  是双方的共同知识。 $U$  和  $H$  分别为奖励系数与惩罚系数。则分销商与制造商收益分别为

$$\Pi_m = (S(q_1) - C) \left( \int_0^{q_2} xf(x)dx + \int_{q_2}^{\infty} q_2 f(x)dx \right) - U(B - C) + H(C_2 - C) \quad (1)$$

$$\Pi_p = Qh + U(B - C) - H(C_2 - C) - V(e) \quad (2)$$

其中  $h$  是单位产品的标准工资,  $V(e)$  是生产者生产产品付出努力  $e$  的成本。

设  $V(e) = \beta e^2$ ,  $\beta$  是成本系数 ( $\beta > 0$ )<sup>[8]</sup>。设  $C = S - ne + \epsilon$ 。其中  $n$  是努力对成本的影响因子,现实生产中,产品的实际生产成本会随生产者努力的增加而减少。 $\epsilon$  表示外界的不确定影响因素,是服从均值为 0、方差为  $\sigma^2$  的正态分布的随机变量。在分销商与制造商都是风险中性的情况下,根据文献[9]可得两者的期望效用分别为:

$$E\Pi_m = (U - H)S(q_1) - UWC_1 + (H + UW - U)C_2 + (H - U + Q)ne \quad (3)$$

$$E\Pi_p = Qh + (H - U)S(q_1) + UWC_1 + (U - UW - H)C_2 + (U - H)ne - \beta e^2 \quad (4)$$

其中,制造商生产成本自报数  $C \in [C_L, C_H]$ ,付出的努力程度  $e \in [e_L, e_H]$ ,  $E\Pi_m$  和  $E\Pi_p$  分别为分销商和制造商的期望效用。这些是分销商和制造商的共有信息。为了简化计算,根据文献[10]对  $C_2$  和  $e$  的约束转化为二次型跟踪函数,制造商的期望效用就转换为一种广义形式:

$$E\Pi_{pg} = Qh + (H - U)S(q_1) + U(1 - W)C_1 + (UW - H)C_2 + (U - H)ne - \beta e^2 - \frac{1}{2}k_1(C_2 - C_L)^2 - \frac{1}{2}k_2(C_H - C_2)^2 - \frac{1}{2}k_3(e - e_L)^2 - \frac{1}{2}k_4(e_H - e)^2 \quad (5)$$

式中,  $E\Pi_{pg}$  是制造商的广义期望效用,  $k_i (i = 1, 2, 3, 4)$  分别为制造商成本自报数的最低与最高约束和制造商努力程度的最低与最高约束。

通过理性分析,制造商会考虑在提交自报数时使其期望效用最大化。经计算  $E\Pi_{pg}$  对  $C_2$  的二阶导数存在并且小于零。由  $E\Pi_{pg}$  对  $C_2$  的一阶导数可得制造商的最优自报数为:

$$C_2^* = \frac{U - UW - H + k_1 C_L + k_2 C_H}{k_1 + k_2} \quad (6)$$

## 2 成本控制模型

将委托代理模型用于供应链,以达到降低产品生产成本的目的。分销商希望最大限度地降低产品的生产成本,但在哪些环节可以降低成本只有制造商知道,这就出现了信息的不对称。制造商通常被称为代理人,分销商通常被称为委托人。由于降低成本会给制造商带来一些负效用,  $V(e) = \beta e^2$  中,对于同样的努力参数  $e, \beta$  越大,产生的负作用越大。如果成本降低不会给制造商带来利益,由于制造商实际付出的努力对于分销商来说是未知的,作为理性的个体制造商通常不会努力降低成本,由此而产生了道德风险问题,这时分销商就要考虑如何设计激励机制,使制造商主动降低成本值。

根据委托代理模型,在存在道德风险的情况下,分销商的问题可以描述如下:

$$\begin{aligned} \max_{UH} E\Pi_m^* &= (U - H)S(q_1) - UWC_1 + (H + UW - U)C_2^* + (H - U + Q)ne^* \\ \text{s.t. } &Qh + (H - U)S(q_1) + UWC_1 + (U - UW - H)C_2^* + (U - H)ne^* - \beta e^{*2} - \frac{1}{2}k_1(C_2^* - C_L)^2 - \frac{1}{2}k_2(C_H - C_2^*)^2 - \frac{1}{2}k_3(e^* - e_L)^2 - \frac{1}{2}k_4(e_H - e^*)^2 \geq \overline{U_p} \quad (\text{IR}) \end{aligned} \quad (7)$$

(7) 式是激励相容约束(IC)。

$$\begin{aligned} e^* &= \arg \max \{ Qh + (H - U)S(q_1) + UWC_1 + (U - UW - H)C_2^* + (U - H)ne - \beta e^{*2} - \frac{1}{2}k_1(C_2^* - C_L)^2 - \frac{1}{2}k_2(C_H - C_2^*)^2 - \frac{1}{2}k_3(e - e_L)^2 - \frac{1}{2}k_4(e_H - e)^2 \} \quad (\text{IC}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$U \geq 0, H \geq 0 \quad (9)$$

$$\text{其中, } C_2^* = \frac{U - UW - H + k_1 C_L + k_2 C_H}{k_1 + k_2}$$

式(8)是个体理性约束(IR),即参与约束  $\Pi_p$  是制造商的保留期望效用。因为存在道德风险,无论分销商如何奖惩制造商,后者总会选择使自己期望效用最大的努力程度。

激励相容约束可以用一阶条件代替<sup>[8]</sup>,由于  $E\Pi_{pg}^*$  对  $e$  的二阶导数存在并且小于零,因此由  $E\Pi_{pg}^*$  对  $e$  的一阶导数可得制造商付出的最优努力程度为

$$e^* = \frac{(U - H)n + k_3 e_L + k_4 e_H}{2\beta + k_3 + k_4}$$

将最优努力程度  $e^*$  代入模型中,即可通过对模型的优化得出使分销商期望效用值最大的决策变量  $U$  和  $H$  的值。

## 3 算法举例与比较结果

虽然设定的确定性需求函数部分是线性的,但分销商和制造商的目标函数是非线性的,约束条件中也包含非线性条件,这样的问题用传统的运筹学方法求解会比较困难。文中用了进化规划方法来计算该问题的近似解。

进化规划是为求解预测问题提出的一种有限状态机

进化模型<sup>[11]</sup>。20 世纪 90 年代, Fogel 将进化规则思想拓展到实数空间, 成为能够求解实数空间优化计算的方法。进化规划实质上是一种优化搜索的智能化算法。将规划用于供应链问题的仿真, 是比较有效的方法。

算例中, 订货量  $q = q_1 + q_2$ ,  $D_2$  服从均匀分布, 其分布函数为  $F(x) = kx (0 \leq x \leq 1/k)$ , 其均值  $\mu = \frac{1}{2k}$ , 方差  $\sigma^2 = \frac{1}{12k^2}$ ,  $C_1 = 30$ ,  $n = 4$ ,  $\beta = 3$ ,  $W = 0.7$ ,  $h = 6$ ,  $\prod_p = 20$ ,  $k_i = 3 (i = 1, 2, 3, 4)$ ,  $e_L = 9$ ,  $e_H = 9$ ,  $C_L = 15$ ,  $C_H = 70$ , 例中将目标函数作为适应度函数, 决策变量  $U$  和  $H$  随机产生。将有关数据代入优化模型后, 可得出满足分销商期望效用最大的奖励和惩罚系数。在进化计算机中产生规模为 30 的初始种群, 第二代终止为 50 代, 采用高斯变异算子进化变异操作。对于某一个体中的组成元素  $x_i$ , 子代个体的组成元素  $x'_i = x_i + \phi_i M_i(0, 1)$ 。其中,  $\phi_i = \sqrt{\lambda_i F(x) + \gamma_i}$ ,  $F(X)$  是适应度函数,  $M_i$  是均值为 0 方差为 1 的正态分布的随机变量。由  $S(q_1) = a - bq_1$ ,  $a = 60$ ,  $b = 1$ , 变异操作时的参数初始设为  $\lambda_i = [0.000\ 000\ 7, \dots, 0.000\ 000\ 7]$ ,  $\gamma_i = [0, \dots, 0]$ 。以  $q_1 = 6.4840$  为例, 使分销商期望效用最大的奖励  $U = 54$ , 惩罚系数  $H = 9$ , 制造商付出的最大努力  $e^* = 10$ , 产品成本的最优自报数为  $C_2^* = 67.73$ 。

在成本控制过程中, 分销商为了促使制造商降低产品的生产成本, 需要设定适当的奖励和处罚系数, 过小的奖励和处罚系数起不到激励的效果, 而过大的奖励和处罚系数会使制造商的期望效用低于保留期望效用, 会导致制造商不愿付出努力降低成本。由实验结果可得, 在设定的成本基数确定方式下, 高报生产成本不会为制造商带来更多的收益, 根据文中设定的变量和参数的数值, 仿真计算所得的  $U$  和  $H$  可以达到最佳的激励效果。

将实验结果与参文[12]中零售商信息处于劣势时计算出的效用进行比较, 为了进行有效比较, 对两文中的相同参数取同值, 可得比较结果如表 1 所示。

表 1 两种模型下零售商与分销商的期望效用比较

$k$	$q_1$	$q_2$	$q$	$\prod_{m1}$	$\prod_{m2}$
3.2	6.484	0.038	6.522	42.398	56.613
1.6	6.467	0.076	6.544	42.547	57.269
0.8	6.435	0.153	6.588	42.846	59.751
0.4	6.369	0.310	6.679	43.455	62.289
0.2	6.232	0.634	6.866	44.710	64.517
0.1	5.937	1.327	7.264	47.373	67.264

其中  $\prod_{m1}$  为参文[12]中零售商信息处于劣势时计算出的效用,  $\prod_{m2}$  为文中分销商的期望效用。结果表明文中用到的委托代理模型不仅很好地控制了产品的生产成本, 还会使分销售得到更多的期望效用。

## 4 结 论

将信息经济学中的委托代理模型应用于供应链中, 为消除委托方企业与代理方企业间由于利益目标不一致和信息不对称而引起的风险问题, 委托方需要设计一份激励合约促使代理方企业努力工作。采用了改进的联合基数法来确定合约基数, 在此模型下, 制造商会根据分销商的奖励系数和惩罚系数及自己的最大期望效用报出生产成本, 分销商的成本控制决策是在生产商最优自报数前提下进行的, 分销商对制造商努力程度的任何激励都是在满足制造商的个体理性约束和激励相容约束的条件下提出的。用进化规划算法来得到近似解, 实验结果表明, 文中所采用的模型不仅有效地控制了产品的生产成本, 并且分销商得到的期望效用大于基于 Stackelberg 博弈模型中零售商的期望效用。

## 参考文献:

- [1] Luca B, Grazia S M. Minimizing logistic costs in multistage supply chains[J]. Naval Research Logisticw, 1999, 46(4): 399 - 417.
- [2] 隋明刚, 魏 巍. 综述: 供应链库存成本研究的现状及其发展趋势[J]. 物流技术, 2000(5): 28 - 29.
- [3] Gorbet C, Groote A. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J]. Management Science, 2000, 46(3): 445 - 450.
- [4] Yeom S, Balachandran K, Ronen J. The role of transfer price for coordination and control within a firm[J]. Review of Quantitative Finance and Accounting, 2000, 14(2): 161 - 192.
- [5] Barucci E, Gozz F, Swiech A. Incentive compatibility constraints and dynamic programming in continuous time[J]. Journal of mathematical economics, 2000, 34(4): 471 - 508.
- [6] Wei S L. Producer - supplier contracts with incomplete information[J]. Management Science, 2001, 47(5): 709 - 715.
- [7] Ann V A. The principal/agent paradigm: its relevance to various functional fields [J]. European Journal of Operational Research, 1993, 70(1): 83 - 103.
- [8] 丁元耀, 贾让成. 道德风险防范模型研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2001, 12: 67 - 70.
- [9] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996. 397 - 538.
- [10] 陈子玉, 陈燕庆, 周凤歧. 最优化管理[M]. 北京: 宇航出版社, 1988. 121 - 132.
- [11] 黄小原, 卢 震. 一种交互式进化规划及其在供应链问题中的应用[J]. 东北大学学报, 2000(5): 569 - 571.
- [12] 晓 斌, 刘 鲁, 张阿玲. 非对称信息下两阶段供应链协调[J]. 控制与决策, 2004(5): 517 - 524.

欢迎订阅, 欢迎投稿。