

文章编号: 1001-0920(2004)03-0335-04

## 非对称信息下供需链中供应商的回购决策分析

索寒生, 金以慧

(清华大学 自动化系, 北京 100084)

**摘要:** 为了解决供需链中下游实体的成本是私有信息的情况下, 上游供应商的回购决策问题, 运用委托-代理模型研究了供应商的最优回购策略, 得到了供应商的最优决策方案. 与对称信息的情况相比, 信息结构的非对称导致下游实体的订货量低于系统的最优订货量, 使得供需链无法达到协调, 供需链的总利润和供应商的利润降低, 零售商的利润增加. 在非对称信息下, 供应商提供的契约菜单值随着下游实体成本的增加而增大.

**关键词:** 供需链; 供需链契约; 协调; 回购; 非对称信息

**中图分类号:** C934; TP29 **文献标识码:** A

## Supplier's optimal buy back decision under asymmetric information in a two-stage supply chain

SUO Han-sheng, JIN Yi-hui

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China Correspondent: SUO Han-sheng, Email: shs01@mails.tsinghua.edu.cn)

**Abstract:** The problem of designing an optimal buy back contract to maximize the supplier's profits in a one-supplier-one-retailer supply chain is solved. When the marginal cost of the retailer is private information, principal-agent models are used to derive the supplier's optimal buy back policy. It is shown that it is no longer possible to let the retailer's order quantity achieve the solution when the supplier has complete information. And the supply chain coordination is not obtained. In this case, the total profits and the supplier's profits are lowered while those of the buyer are improved. The value of supplier's contracts menu augments as the increase of the marginal cost of the retailer.

**Key words:** supply chain; supply contracts; coordination; buy back; asymmetric information

### 1 引言

供需链的本质是一个由决策权独立的各个实体构成的分布式系统. 回购策略是针对分布式供需链的低效性提出的一种在实践中应用广泛的协调机制. 它允许下游成员在销售季节末以一定的返销价格将剩余订货退售给上游成员, 从而使得上下游实体共担风险.

在信息对称的情况下, 文献[1, 2]指出, 供应商

通过实施适当的回购策略, 可以提高供需链的协调性, 缓解由于实体间决策激励不一致引起的“双重边际”效应. 然而, 现实中供需链上的实体间不仅存在激励冲突, 而且各个实体都拥有其私有信息. 这样, 在对称信息下最优的协调策略在非对称信息下可能不再适用. 文献[3]研究了非对称信息下供应商实施批量折扣策略的最优方案. 文献[4]的研究基于非对称的市场信息. 文献[5, 6]虽然研究了非对称成本信

收稿日期: 2003-01-03; 修回日期: 2003-04-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60174046).

作者简介: 索寒生(1976—), 男, 河北邯郸人, 博士生, 从事供需链管理等研究; 金以慧(1936—), 女, 浙江绍兴人, 教授, 博士生导师, 从事流程工业综合自动化、供需链管理等研究.

息,但没有考虑在这种情况下上游实体实施回购策略的最优决策方案.本文研究了在以供应商为主导的供需链中下游零售商的成本是其私有信息时,上游供应商的最优回购策略

## 2 问题描述

两阶段供需链由上游供应商和下游零售商两个成员组成,需求是外部随机变量.零售商根据需求预报向供应商订购批量为 $q$ 的货品,自身的边际成本为 $c$ , $c_1 < c < c_2$ , $c$ 的真实值是零售商的私有信息.供应商根据零售商的订货以批发单价 $w$ 向零售商供货,并以单位成本 $s$ 组织生产或采购.在销售季节末,供应商以回购价 $b$ 回购零售商未能销售的产品.

首先考虑供需链为一个集中决策系统,假设其为风险中性,系统整体期望利润 $\Pi_r$ 只依赖于产品订货量 $q$ .由报童模型,得

$$q_j^* = F^{-1} \left[ \frac{p-s-c}{p} \right], \quad (1)$$

$F^{-1}(\cdot)$ 表示随机需求的逆概率分布函数

当供应商和零售商是决策权独立的两个实体时,假设都是风险中性,供需链成为一个分布式决策系统.此时供应商和零售商的对策过程是一个Stackelberg博弈.给定 $\{w, b\}$ ,零售商的最优订货量为

$$q^* = F^{-1} \left[ \frac{p-w-c}{p-b} \right]. \quad (2)$$

## 3 对称信息下供应商的回购策略

为了分析比较,首先给出零售商的边际成本 $c$ 是在对称信息的情况下供应商的最优回购策略 $\Pi_r$ 和 $\Pi_r$ 分别表示零售商和供应商的期望利润.此时供应商的问题为

$$\max_{w,b} \Pi_r(w,b) = (w-s)q - b \int_0^q (q-x)f(x)dx, \quad (3)$$

$$\text{s.t. (IP)} \quad \Pi_r(q^*) \geq \pi^{\text{in}}. \quad (4)$$

其中: $\pi^{\text{in}}$ 是零售商的保留效用, $\mathbb{R}$ 约束称为零售商的个人理性约束

在对称信息下,供应商运用回购策略可以使供需链达到协调,并使自身利润极大.具体说,供应商可以使零售商选择系统最优订货量,并使得零售商的利润等于其保留效用.比较式(1)和(2),并令式(4)等号成立,则

$$\begin{cases} \frac{p-w-c}{p-b} = \frac{p-s-c}{p}, \\ \Pi_r(q^*) = \pi^{\text{in}}. \end{cases} \quad (5)$$

此时,供应商赚取的极大利润为 $\Pi_r(q_j^*) - \pi^{\text{in}}$ .

## 4 非对称信息下供应商的回购策略

在非对称信息下,供应商无法观测到确切的 $c$ .假定供应商拥有 $c$ 在区间 $[c_1, c_2]$ 上的先验概率分布函数 $H(c)$ ,这种知识可通过零售商销售的历史数据或供应商与零售商之间以往的交易中获得,其密度函数为 $h(c)$ ,并假设 $H(c)/h(c)$ 是 $c$ 的增函数<sup>[5-7]</sup>.在这种情况下,供应商设计一组契约菜单 $\{w(q), b(q)\}$ 供零售商选择.零售商选择其中一个,然后根据选择的 $\{w, b\}$ 确定订货量 $q$ .因为零售商的订货量 $q$ 是其边际成本 $c$ 的函数,零售商选择了一组 $\{w(q(c)), b(q(c))\}$ 就相当于向供应商传递了其自身的私有信息 $c$ .当然,零售商从自身利益出发,可能向供应商传递虚假的信号,但根据Myerson的显示原理,供应商在设计机制时,可以只考虑直接机制(即零售商说实话)的设计.也就是说,如果存在供应商的一个最优机制,那么在此最优机制下,零售商如实反映其私有信息.下面建立供应商的机制设计模型,为了简化表示,用 $\{w(c), b(c)\}$ 代替 $\{w(q(c)), b(q(c))\}$ ,供应商的优化问题为

$$\max_{w(c), b(c)} \int_{c_1}^{c_2} [(w(c)-s)q(c) - b(c) \int_0^{q(c)} (q(c)-x)f(x)dx] h(c)dc, \quad (6)$$

$$\text{s.t. (IC)} \quad \Pi_r(c) = \max_c \Pi_r(\hat{c}, c), \quad (7)$$

$$\text{(IR)} \quad \Pi_r(c) \geq \pi^{\text{in}}, c_1 \leq c \leq c_2 \quad (8)$$

其中: $\Pi_r(c)$ 为具有边际成本 $c$ ,并选择 $\{w(c), b(c)\}$ 的零售商的期望利润函数; $\Pi_r(\hat{c}, c)$ 为具有边际成本 $c$ ,但选择 $\{w(\hat{c}), b(\hat{c})\}$ 的零售商的期望利润函数.式(7)称为零售商的激励相容约束,其含义是给定供应商不能观测到零售商的信息,在任何激励机制下,零售商总是选择使自己的期望效用最大化的行动,因此任何供应商希望的行动都只能通过零售商的期望效用最大化行为来实现.从该约束可以看到,零售商真实地传递其私有信息比传递虚假信号获得的利润大,因此理性的零售商不会传递虚假信号.这也是显示原理的直观解释.

对上述模型求解的主要问题是如何处理零售商的两个约束条件.注意到 $\Pi_r(c, c) = \Pi_r(c) + (c-c)q(c)$ ,IC约束意味着零售商在传递其真实信号时利润最大,即

$$\left. \frac{\partial \Pi_r(c, c)}{\partial c} \right|_c = 0 =$$

$$\frac{d\Pi_r(c)}{dc} + q(c) + (c - c) \frac{dq(c)}{dc} \Big|_c \Rightarrow 0 = \frac{d\Pi_r(c)}{dc} + q(c). \quad (9)$$

注意到  $\Pi_r(c)$  是  $c$  的减函数, 令  $\Pi_r(c_2) = \pi_r^{min}$ , 则  $\mathbb{R}$  约束满足. 利用该初始条件, 式(9)左右两边同时积分得

$$\Pi_r(c) = \pi_r^{min} + \int_c^{c_2} q(x) dx. \quad (10)$$

由式(6), 并注意到可行解的条件式(10), 可得

$$\begin{aligned} & \int_{c_1}^{c_2} [(w(c) - s)q(c) - b(c) \int_0^{q(c)} (q(c) - x)f(x) dx] h(c) dc = \\ & \int_{c_1}^{c_2} [\Pi_j(c) - \Pi_r(c)] h(c) dc = \\ & \int_{c_1}^{c_2} [\Pi_j(c) - \int_0^{c_2} q(x) dx] h(c) dc - \pi_r^{min} = \\ & \int_{c_1}^{c_2} [\Pi_j(c)h(c) - H(c)q(c)] dc - \pi_r^{min} = \\ & \int_{c_1}^{c_2} [p \int_0^{q(c)} xf(x) dx + pq(c) \int_{q(c)} f(x) dx - \left( s + c + \frac{H(c)}{h(c)} \right) q(c)] h(c) dc - \pi_r^{min}. \quad (11) \end{aligned}$$

由式(11)可以看出, 积分号里面的表达式相当于零售商的边际成本为  $c + H(c)/h(c)$  时集中决策系统的利润表达式. 因此, 此时的最优订货量  $q_{A1}^*(c) = q_j^*(c + H(c)/h(c))$ . 由假设  $H(c)/h(c)$  是  $c$  的增函数, 且  $q_j^*(c)$  是  $c$  的减函数,  $q_{A1}^*(c)$  是  $c$  的减函数, 结合式(2), 得到非对称信息下供应商的最优回购策略为

$$\begin{cases} q_{A1}^*(c) = F^{-1} \left[ \frac{p - w(c) - c}{p - b(c)} \right] = \\ q_j^* \left[ c + \frac{H(c)}{h(c)} \right], \\ (w(c) - s)q_{A1}^*(c) - \\ b(c) \int_0^{q_{A1}^*(c)} (q_{A1}^*(c) - x)f(x) dx = \\ \Pi_j(q_{A1}^*(c), c) - \int_c^{c_2} q_{A1}^*(x) dx - \pi_r^{min}. \end{cases} \quad (12)$$

由式(12), 解得供应商在非对称信息下的最优回购策略  $\{w(c), b(c)\}$ .

### 5 分析与仿真

由于  $q_j^*(c)$  是  $c$  的减函数, 非对称信息下零售商的订货量  $q_{A1}^*(c) = q_j^*(c + H(c)/h(c))$  小于对称信息下零售商的订货量  $q_{C1}^*(c) = q_j^*(c)$ . 在对称信息下实施回购策略, 可以使供需链协调. 在非对称信息

下, 尽管供应商实施了回购策略, 但分布式系统的决策仍然偏离系统最优决策, 供需链无法达到协调. 非对称信息下系统的总利润  $\Pi_{JA1}^*(q_{A1}^*(c), c)$  低于对称信息下系统的总利润  $\Pi_{JC1}^*(q_{C1}^*(c), c)$ , 失去的利润可理解为系统为信息结构非对称付出的代价. 因此, 非对称信息导致了供需链的低效.

对称信息下供应商通过实施回购策略, 自身获得极大利润. 非对称信息下, 供应商的利润  $\Pi_{JA1}^*(q_{A1}^*(c), c) - \int_c^{c_2} q_{A1}^*(x) dx - \pi_r^{min}$  低于对称信息下的利润  $\Pi_{JC1}^*(q_{C1}^*(c), c) - \pi_r^{min}$ , 供应商失去的利润可理解为为获得零售商的私有信息而付出的代价. 零售商因为拥有私有信息而获益. 在非对称信息下, 零售商的利润  $\int_c^{c_2} q_{A1}^*(x) dx + \pi_r^{min}$  大于对称信息下零售商的利润  $\pi_r^{min}$ .

下面给出供应商契约菜单  $\{w(c), b(c)\}$  的仿真结果. 假设供应商拥有的零售商边际成本  $c$  的先验分布是区间  $[5, 15]$  上的均匀分布, 同时假设随机需求是区间  $[0, 20]$  上的均匀分布,  $s = 30, p = 60, \pi_r^{min} = 0$ . 由图 1 可以看出, 随着零售商边际成本  $c$  的增大, 供应商提供的  $w(c)$  和  $b(c)$  呈上升趋势. 这是因为, 当零售商的边际成本  $c$  增大时, 非对称信息下零售商的订货量下降. 因此, 供应商为了在这种情况下吸引零售商多订货, 必须提高回购价  $b$ , 同时为了获得利益, 也需要提高  $w$ . 由图 1 还可以看到,  $b(c)$  的上升幅度比  $w(c)$  大, 原因在于随着边际成本  $c$  的增加, 非对称信息下的订货量与对称信息下的订货量差距加大. 当零售商的边际成本达到一定的值时 (图中  $c = 13.87$ ), 供应商提供的回购价高于批发价. 这似乎不符合现实情况 (如果这样, 零售商就可以不销售产品, 而等待供应商回购, 从而获得利益). 然而, 图 1 对应的情况是在本文假设零售商在销售季节销

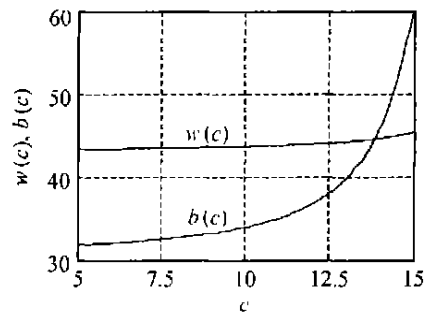


图 1 非对称信息下的契约菜单

售产品下得出的 对应于现实中的情况, 由于供应商处于供需链中的优势地位, 他可以采取多种方式监督零售商在销售季节销售产品, 使得在零售商边际成本较大时自身也可以获得利润

## 6 结 论

本文以一个供应商和一个零售商的两阶段供需链为背景, 运用委托-代理模型研究了当零售商的边际成本是其私有信息时供应商的最优回购策略, 得到了供应商在这种情况下最优决策方案 信息结构的非对称导致分布式系统的决策偏离集中系统下的决策, 因此在非对称信息的情况下供需链无法达到协调 同时, 信息结构的非对称导致了系统总利润和供应商利润的下降, 但零售商的利润却得到了提高 在非对称信息下, 供应商提供的契约菜单值随着下游实体成本的增加而增大 因此, 在供需链中, 虽然通过实施适当的协调机制(本文实施回购策略)可以克服不一致激励的问题, 但信息结构的非对称也会影响到系统效率的提高 所以, 在供需链管理中, 非对称信息结构和不一致激励应同时考虑, 忽视任何一方, 都会使整个系统的效率下降 由于现实中的供需链是一个横向实体间存在竞争的网状结构, 考虑实体间存在竞争时非对称信息对决策的影响是今后的一个研究方向

## 参考文献(References):

- [1] Pasternack B A. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities [J]. *Marketing Science*, 1985, 4(2): 166-176
- [2] Terry A Taylor. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects[J]. *Management Science*, 2002, 48(8): 992-1007.
- [3] Charles J Corbett, Xavier de Groot. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information [J]. *Management Science*, 2000, 46(3): 444-450
- [4] Amy Hing-Ling Lau, Hon-Shiang Lau. Some two-echelon style-goods inventory models with asymmetric market information [J]. *European J of Operational Research*, 2001, 134(1): 29-42
- [5] Baron D, Myerson R. Regulating a monopolist with unknown costs [J]. *Econometrica*, 1982, 50(4): 911-930
- [6] Albert Y Ha. Supplier-buyer contracting: A symmetric cost information and cutoff level policy for buyer participation [J]. *Naval Research Logistics*, 2001, 48(1): 41-64
- [7] Charles J Corbett. Stochastic inventory systems in a supply chain with asymmetric information: Cycle stocks, safety stocks and consignment stock [J]. *Operations Research*, 2001, 49(4): 487-500

(上接第 334 页)

## 6 结 论

本文提出了一种鲁棒滑模状态观测器, 该观测器的参数选取不要求解大量方程, 只需配置误差系统特征值, 从而简化了设计过程, 而且通过设计滑模, 可以调整误差系统的收敛速度 将该鲁棒滑模状态观测器用于一类混沌系统, 实现了两个混沌系统的同步 将本文提出的鲁棒滑模状态观测器用于一类存在参数摄动和/或干扰的混沌系统的同步具有鲁棒性 由于鲁棒滑模观测器的输入存在抖振现象, 如何在保证系统鲁棒性的同时, 做到控制平滑尚有待于进一步研究

## 参考文献(References):

- [1] Pecora L M, Carroll T L. Synchronization in chaotic systems [J]. *Physical Review Letter*, 1990, 64(8): 821-824
- [2] Carroll T L, Pecora L M. Synchronizing chaotic circuits [J]. *IEEE Trans on Circuits Systems*, 1991, 38(4): 453-456
- [3] Carroll T L, Pecora L M. Synchronizing nonautonomous chaotic circuits [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems-II*, 1993, 40(10): 646-649
- [4] Chen G. *From Chaos to Order* [M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1998
- [5] Chua L O, Itoh M, Kocarev L, et al. Chaos synchronization in Chua's circuit [J]. *J of Circuits, Systems and Computers*, 1993, 3(1): 93-108
- [6] Liao T L, Huang N S. An observer-based approach for chaotic synchronization with applications to secure communication [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems*, 1999, 46(9): 1144-1150
- [7] Tang Y. Terminal sliding mode control for rigid robots [J]. *Automatica*, 1998, 34(1): 51-56