

文章编号: 1001-0920(2004)09-1042-03

带有风险规避型销售商的供需链协调

索寒生, 储洪胜, 金以慧
(清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘要: 以一个两阶段的供需链系统为背景, 针对供需链上决策激励不一致和风险规避效应导致供需链低效的问题, 研究了在实践中广泛应用的利益共享合同和批量折扣合同对供需链协调性的影响, 证明了两种合同均可克服双重边际效应和风险规避效应, 使得供需链协调, 并给出了合同参数的设计方案, 同时指出在实施上, 利益共享合同需强制执行, 批量折扣合同自动执行。

关键词: 博弈论; 供需链合同; 风险规避; 协调

中图分类号: F 224.32; TP14 **文献标识码:** A

Supply chain coordination with risk aversion retailers

SUO Han-sheng, CHU Hong-sheng, JIN Yi-hui

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

Abstract: Supply chain inefficiencies can result from incompatible incentives provided by independent decision-makers and also their risk aversion effect. The impact of revenue sharing contract and quantity discount contract on the coordination of a two-stage supply chain is studied. It shows that the above two contracts can eliminate the double marginalization and risk aversion effect, and hence the supply chain can achieve coordination. Also, the parameters of the two contracts are given. Moreover, it is proved that the revenue sharing contract operates under forced compliance and the quantity discount contract operates under voluntary compliance.

Key words: game theory; supply chain contracts; risk aversion; coordination

1 引言

供需链的本质是决策的分布性,“双重边际”效应和实体的风险规避效应通常导致供需链整体性能的下降^[1]。利用企业间的合同关系作为协调机制平衡供需链实体间的决策激励是现代市场环境下常用的方法^[2,3]。利益共享合同在音像产品领域有广泛的应用。它通常使上游供应商以一个较低的批发价向下游销售商供货,作为交换,下游销售商分享自己利润的一部分给供应商。批量折扣合同是现代企业常用的定价战略,它通过价格的折扣吸引多订货,一般

分为总量折扣合同和增量折扣合同两类^[4]。

对供需链协调性的研究通常基于实体风险中性的假设^[5,6]。上述两类合同在实体风险中性的前提下都可以使得供需链协调。当考虑供需链上的销售商是风险规避型时,如何设计合同,同时克服“双重边际”效应和风险规避效应的影响,协调整个供需链就是本文研究的内容。

2 模型

本文研究的模型由上游一个供应商和下游一

收稿日期: 2003-10-14; 修回日期: 2003-12-16

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,从事供需链管理的研究;金以慧(1936—),女,浙江绍兴人,教授,博士生导师,从事流程工业的综合自动化、供需链管理等研究。

个销售商组成, 其中销售商采用报童模型 报童模型可以看成对产品生命周期很短的情形的一种近似, 比如电脑、时装、影像等产品 模型中, 产品市场价格为 p , 供应商采购成本为 c , 市场需求 D 是服从概率密度函数 $f(\cdot)$ 和概率分布函数 $F(\cdot)$ 的随机量, 假设 $F(\cdot)$ 是连续、可导且可逆的 供应商和销售商之间的博弈过程为: 供应商提供合同形式和参数, 销售商决定订货量 q , 供应商采购并供货, 市场需求发生, 货款交割

在表示实体的风险规避态度上, 本文采用 loss-averse 模型^[8]. 具体来说, 销售商的效用函数 U_r 表示为

$$U_r(\Pi_r) = \begin{cases} \Pi_r, \Pi_r \geq 0; \\ \lambda \Pi_r, \Pi_r < 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中: Π_r 为销售商的期望利润, λ 是风险规避因子, 且 $\lambda \geq 1$. 由式(1) 可以看出, λ 越大, 销售商越害怕损失, 因而风险规避性越强 $\lambda=1$ 时, 销售商成为风险中性

集中决策下系统总的期望利润 Π^c 为

$$\Pi^c(q) = p \int_0^q x f(x) dx + p q \int_q^\infty f(x) dx - cq, \quad (2)$$

最大化式(2), 得集中决策下系统的最优订货量

$$q^c = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right).$$

3 供需链协调性分析

3.1 利益共享合同

利益共享合同的形式是 (w_r, ϕ) , 其中 w_r 是供应商提供的批发价格, ϕ 是利润分成比例, 这里 $\phi \in (0, 1]$. 合同制定后, 销售商以批发价 w_r 订货, 销售季节末, 销售商把销售收入的 $(1-\phi)$ 倍返回给供应商 相当于销售商每以价格 p 售出一单位产品, 就必须向供应商上交 $(1-\phi)p$ 的利润 在利益共享合同下, 销售商的期望效用为

$$U_r(q, w_r, \phi) = R_r(q, w_r, \phi) + (\lambda-1)L_r(q, w_r, \phi) \quad (3)$$

其中销售商的期望利润为

$$R_r(q, w_r, \phi) = \int_0^q [\phi x - w_r q] f(x) dx + \int_q^\infty [\phi q - w_r q] f(x) dx,$$

销售商的期望利润损失为

$$L_r(q, w_r, \phi) = \int_0^{\frac{w_r q}{\phi}} [\phi x - w_r q] f(x) dx.$$

定理 1 存在唯一的 w_r^*/ϕ 使得供需链协调,

且有: 1) $w_r^* < \phi c$; 2) $d(w_r^*/\phi)/d\lambda < 0$

证明 由式(3) 易知 $U_r(q, w_r, \phi)$ 是 q 的凹函数, 因此存在唯一的 q^* , 且满足如下的一阶导条件:

$$\phi - w_r - \phi F(q^*) - (\lambda-1)w_r F\left(\frac{w_r q^*}{\phi}\right) = 0 \quad (4)$$

令 $q^* = q^c$, 代入式(4), 并注意到 $q^c = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right)$, 整理得

$$\frac{w_r}{\phi} + \frac{w_r}{\phi}(\lambda-1)F\left(\frac{w_r q^c}{\phi}\right) = c \quad (5)$$

注意到式(5) 左边是 w_r/ϕ 的增函数, 且当 $w_r/\phi = 0$ 时, 左边 < 0 ; 当 $w_r/\phi = c$ 时, 左边 > 0 . 因此, 必存在唯一的 $w_r^*/\phi > 0$ 满足式(5). 且易得 $w_r^*/\phi < c$, 即 $w_r^* < \phi c$. 另外, 定义函数表达式如下:

$$G\left(\frac{w_r^*}{\phi}, \lambda\right) = \frac{w_r^*}{\phi} + \frac{w_r^*}{\phi}(\lambda-1)F\left(\frac{w_r^* q^c}{\phi}\right) - c = 0 \quad (6)$$

利用隐函数求导法, 得

$$d(w_r^*/\phi)/d\lambda = -G_\lambda/G_{w_r^*/\phi} < 0$$

定理 1 说明通过适当的参数设计, 利益共享合同可以使得供需链协调 其中 1) 告诉我们, 供应商提供的批发价 $w_r^* < \phi c < c$, 因此供应商在向销售商供货的交易中是不获益的, 他的收入靠分享销售商的销售收入获得 2) 说明随着销售商风险规避效应的增强, 供应商必须通过进一步降低批发价或进一步降低自身的获益份额来吸引销售商多订货

3.2 批量折扣合同

采用批量折扣合同中总量折扣的形式, 并只取一个折扣点, 也就是供应商提供的批发价为

$$w(q) = \begin{cases} w_1, & 0 < q < q_1; \\ w_2, & q \geq q_1 \end{cases}$$

其中 $w_1 > w_2 > 0$

定理 2 当销售商的风险规避因子满足

$$\lambda < \frac{p \int_0^{q_1} x f(x) dx + p q_1 \int_{q_1}^\infty f(x) dx - c q_1^c}{\int_0^{q_1} [p x - c q_1^c] f(x) dx} + 1$$

时, 存在批量折扣合同 (w_1, w_2, q_1) , 使得供需链协调

证明 选 $q_1 = q^c$, 即折扣点等于系统最优订货量 销售商的效用函数为

$$U_r(q, w_i) = p \int_0^q x f(x) dx + pq \int_q^\infty f(x) dx - w_i q + (\lambda - 1) \int_0^{\frac{w_i q}{p}} [px - w_i q] f(x) dx. \quad (7)$$

当 $0 < q < q^c$ 时, $w_i = w_1$; 当 $q > q^c$ 时, $w_i = w_2$. 注意到 $\frac{\partial U_r(q, w_i)}{\partial q^2} < 0$, 则销售商的最优订货量 $q_\lambda^*(w_i)$ 由如下一阶导条件获得:

$$p - w_i - pF(q_\lambda^*) - (\lambda - 1)w_i F\left(\frac{w_i q_\lambda^*}{p}\right) = 0 \quad (8)$$

利用隐函数求导法, 易得 $dq_\lambda^*/dw_i < 0$, 因此 $0 < q_\lambda^*(w_1) < q_\lambda^*(w_2) < q^c$, 且 $U_r(0, w_i) = 0$, $U_r(q_\lambda^*(w_2), w_2) > U_r(q_\lambda^*(w_1), w_2) > U_r(q_\lambda^*(w_1), w_1)$. 所以此时只要能找到 (w_1, w_2) , 使得

$$U_r(q^c, w_2) = U_r(q_\lambda^*(w_1), w_1), \quad (9)$$

则销售商会选择订货量 q_0 . 参照图 1 所示, 并假设式 (9) 中等号成立时, 销售商选择 q^c .

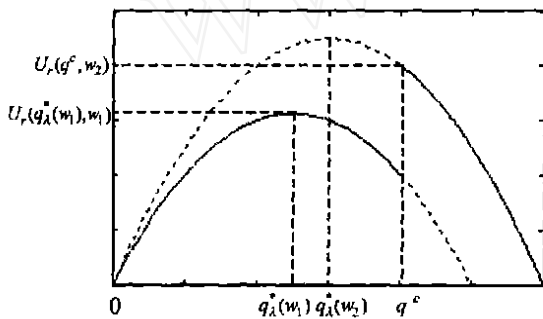


图 1 批量折扣合同下的销售商的效用

事实上, 注意到 $\lim_{w_1 \rightarrow p} U_r(q_\lambda^*(w_1), w_1) = 0$, 因此为了使式 (9) 成立, 只需找到 $w_2 > c$, 使得 $U_r(q^c, w_2) > 0$. 令 $U_r(q^c, c) > 0$, 此时因为 $U_r(q^c, t)$ (t 为批发价变量) 是 t 的连续可微函数, 且 $\frac{dU_r(q^c, t)}{dt} < 0$, 因此总能找到 $w_2 > c$, 使得 $U_r(q^c, w_2) > 0$ 也成立. 为了 $U_r(q^c, c) > 0$, 则

$$\lambda < \frac{p \int_0^{q^c} x f(x) dx + p q^c \int_{q^c}^\infty f(x) dx - c q^c}{\int_0^{q^c} [px - c q^c] f(x) dx} + 1, \quad (10)$$

其中 $q^c = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right)$ 是系统的最优订货量

条件 (10) 将销售商的风险规避效应限制在一定范围内, 其原因在于 $dq_\lambda^*/d\lambda < 0$. 当销售商的风

险规避效应加大时, 供应商协调供需链更为困难

3.3 两种合同的比较

从实施的角度考虑, 批量折扣合同比利益共享合同更为简单. 这是因为, 从批量折扣合同的形式来看, 该合同只与销售商的订货量有关, 而利益共享合同却要求供应商知道销售商在销售季节的销售额. 从供应商的角度考虑, 定理 3 给出了两种合同的优缺点.

定理 3 在本文的供需链模型中, 利益共享合同需强制执行, 批量折扣合同自动执行.

证明 在利益共享合同下, 供应商的期望利润 Π_s 为

$$\Pi_s(w_r^*, \phi, q) = (w_r^* - c)q + (1 - \phi)p \times \left[\int_0^q x f(x) dx + q \int_q^\infty f(x) dx \right].$$

由定理 1 得 $\Pi_s(w_r^*, \phi, q)$ 在 q^c 点的导数 $d\Pi_s(w_r^*, \phi, q^c)/dq = w_r^* - \phi c < 0$, 因此供应商有趋势供应小于 q^c 的产品. 在批量折扣合同下, 供应商的期望利润为 $\Pi_s(w_1, w_2, q_1) = (w_2 - c)q^c$, 供应商从自身最优的角度会自动提供 q^c 的产品, 不会小于这个供货.

虽然批量折扣合同在以上两方面有它的优点, 但也应看到, 本文提供的批量折扣合同要求销售商的风险规避效应小于一个特定的值, 因此它有一定的适用范围.

4 结 语

本文以一个两阶段的供需链为背景, 研究了带有风险规避型销售商的供需链协调性问题. 得出利益共享合同可以使得供需链协调, 批量折扣合同当销售商的风险规避效应小于某个特定值时, 也可使得供需链协调. 同时, 当销售商的风险规避效应加大时, 协调变得更为困难, 这是因为风险规避效应越大, 其对系统最优决策的扭曲越严重. 在实施上, 批量折扣合同比利益共享合同更为简单, 并且, 批量折扣合同可以自动执行, 而利益共享合同则必须强制执行. 由于本文的研究是基于风险规避型销售商是 loss-averse 型的, 因此, 考虑其他风险规避模型是进一步研究的方向.

参考文献 (References):

- [1] Schweitzer M, Cachon G. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence[J]. *Management Science*, 2000, 46(3): 404-420.

(下转第 1049 页)

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} w(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t),$$

$$z(t) = [0 \quad 1]x(t) + 0.1w(t).$$

系统可写成式(1)形式,即

$$A_0 = \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, A_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ -1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$D_0 = E_0 = \begin{bmatrix} \sqrt{1.6} & 0 \\ 0 & \sqrt{0.05} \end{bmatrix},$$

$$D_1 = E_1 = \begin{bmatrix} \sqrt{0.1} & 0 \\ 0 & \sqrt{0.3} \end{bmatrix},$$

$$\tau_1(t) = 0.9, \tau_1(t) < 1.$$

考虑 H_∞ 控制, $M = \begin{bmatrix} -\gamma & 0 \\ 0 & \frac{1}{\gamma} \end{bmatrix}$, 取 $\gamma = 0.8$,

利用 Matlab 软件中的 LM I toolbox 求解式(4), 求得状态反馈控制器增益矩阵 $K_0 = - [0.524 \quad 0.972]$

5 结 语

本文基于 Lyapunov 方法, 研究了不确定中立型线性时滞系统的二次性能综合问题, 获得系统鲁棒渐近稳定且满足二次性能指标的状态反馈控制器的存在条件, 及控制器的构造方法

参考文献(References):

- [1] Kolmanovskii V, Richard J P. Stability of some linear systems with delays [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1999, 44(6): 984-989.
- [2] Niculescu S I. On delay-dependent stability under model transformations of some neutral linear systems [J]. *Int J of Control*, 2001, 74(6): 609-617.
- [3] Kim J H. Delay and its time-derivative dependent robust stability of time-delay linear systems with

uncertainty [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2001, 46(5): 789-792

- [4] Moon Y S, Park P, Kwon W H, et al. Delay-dependent robust stabilization of uncertain state delays systems [J]. *Int J of Control*, 2001, 74(14): 1447-1455.
- [5] Fridman E, Shaked U. New bounded real lemma representation for time-delay systems and their applications [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2001, 46(12): 1973-1979.
- [6] Xu S Y, James L, Yang C W, et al. An LM I approach to guaranteed cost control for uncertain linear neutral delay systems [J]. *Int J of Robust and Nonlinear Control*, 2003, 13: 35-53.
- [7] Lee J, Kim S, Kwon W. Memoryless H_∞ controllers for delayed systems [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1994, 39(1): 159-162.
- [8] Fridman E, Shaked U. Delay-dependent stability and H_∞ control: Constant and time-varying delays [J]. *Int J of Control*, 2003, 76(1): 48-60.
- [9] 李志虎, 王景成, 邵惠鹤. 时变不确定离散时滞系统的 H_∞ 鲁棒控制 [J]. *控制理论与应用*, 2003, 20(1): 139-142.
(Li Z H, Wang J C, Shao H H. H_∞ robust control for discrete time-delay systems with time-varying [J]. *Control Theory and Applications*, 2003, 20(1): 139-142.)
- [10] Mahmoud M S, Mohamed Z. Passive control synthesis for uncertain systems with multiple-state delays [J]. *Computers and Electrical Engineering*, 2002, 28: 195-216.
- [11] Fridman E, Shaked U. On delay-dependent passivity [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2002, 47(4): 664-669.

(上接第 1044 页)

- [2] Taylor Terry A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects [J]. *Management Science*, 2002, 48(8): 992-1007.
- [3] Emmons Hamilton, Gilbert Stephen M. The role of returns policies in pricing and inventory decisions for catalogue goods [J]. *Management Science*, 1998, 44(2): 276-283.
- [4] Weng Z K. Channel coordination and quantity discount [J]. *Management Science*, 1995, 41(9): 1509-1522.
- [5] Tsay A, Nahmias S, Agawal. Modeling supply chain

contracts: A review [A]. *Quantitative Models for Supply Chain Management* [C]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999. 299-336

- [6] Petrucci N M Dada. Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions [J]. *Operations Research*, 1999, 47(2): 183-194.
- [7] Tversky, Amos, Daniel Kahneman. Loss aversion in riskless choice: A reference dependent model [J]. *Quarterly J of Economics*, 1991, 106(4): 1039-1061.