

文章编号: 1000-6788(2005)03-0020-06

基于博弈论的逆向供应链定价策略分析

顾巧论^{1,2}, 高铁杠², 石连栓¹

(1. 天津工程师范学院计算机系, 天津 300222; 2. 南开大学信息技术科学学院自动化系, 天津 300071)

摘要: 逆向供应链与传统供应链不同, 传统供应链中的定价策略在逆向供应链中不再适用. 为了解决该问题, 基于单一制造商和单一零售商构成的逆向供应链系统, 应用博弈理论对废旧产品回收的定价策略进行研究. 分别得出了两个非合作博弈的均衡解(斯坦克尔伯格均衡和纳什均衡)和一个合作博弈的均衡解(联合定价), 并进一步对各种定价策略的效率进行了分析.

关键词: 逆向供应链; 非合作博弈; 合作博弈; 定价策略

中图分类号: F224; O21

文献标识码: A

Price Decision Analysis for Reverse Supply Chain
Based on Game TheoryGU Qiao-lun^{1,2}, GAO Tie-gang², SHI Lian-shuan¹

(1. Computer Department, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China; 2. Department of Automation, College of Information Technology, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: The reverse supply chain (RSC) is different from the conventional one, and the conventional price decisions are not suitable for RSC. In order to solve the problem, the price decisions of recycled products based on the reverse supply chain between the manufacturer and the retailer were studied by game theory. Two non-cooperative game equilibrium (Stackelberg equilibrium and Nash equilibrium) and a cooperative game equilibrium (coordination in price decision) were obtained. Efficiencies of every decision were further analyzed.

Key words: reverse supply chain; non-cooperative game; cooperative game; price decision

1 引言

逆向供应链与传统供应链不同. 传统供应链是指: 制造商根据客户订单和市场需求, 开发产品、购进原材料、加工制造出成品, 以商品形式销售给消费者, 并提供售后服务. 物料从供方开始, 沿着生产制造各个环节向需方移动. 每个环节都存在“需方”和“供方”的对应关系, 从而形成的一条首尾相连的长链. 而逆向供应链是从消费者手中回收废旧产品并进行分类/检测/拆解, 直到最终处置或由制造商再利用的过程.

由于逆向供应链对环境保护、资源有效利用、实现可持续发展提供了一条新的途径, 所以越来越多的专家学者开始对逆向供应链进行研究^[1-5]. 这些研究主要涉及参与逆向供应链的相关实体之间的逆向物流、信息流、资金流的同步、协调问题. 近年来, 在供应链协调问题的研究领域开始出现了一种趋势, 即研究视角从单人优化模型转向博弈论的研究框架^[6-12]. 但对逆向供应链的协调问题应用博弈理论进行研究的相关文献却不多见.

本文旨在应用博弈理论基于单一制造商和单一零售商构成的逆向供应链系统, 研究该逆向供应链中

收稿日期: 2004-12-28

资助项目: 天津市自然科学基金(023600811)

作者简介: 顾巧论(1967—), 女, 河北人, 副教授, 南开大学博士生, 主要研究方向: 供应链管理、CIMS 优化及再制造系统的建模、控制与优化, Email: tjguqiaolun@sohu.com

废旧产品回收的定价策略. 以下各节将对两个非合作博弈模型和一个合作博弈模型进行讨论和比较, 给出相应的定价策略.

2 问题描述

制造商对废旧产品的回收有三种模式^[13]: 制造商自己负责回收 (Manufacturer Take-Back, MT); 制造商委托第三方负责回收 (Third Party Take-Back, TPT); 制造商委托零售商负责回收 (Retailer Take-Back, RT). 除 MT 之外, 不管是 TPT 还是 RT, 都涉及到产品回收的定价问题. 下面的研究以 RT 为例, TPT 与此类似.

2.1 二级逆向供应链模型结构

图 1 是一个典型的二级逆向供应链模型结构. 制造商委托零售商负责回收一种产品, 并以一定的价格从零售商处将该产品回收. 之后, 制造商对回收的废旧产品进行加工处理, 形成再生产品, 进而将再生产品投放市场. 零售商以一定的价格从消费者回收废旧产品, 然后转卖给制造商. 假设不同的零售商的回收模式与成本结构相同 (即废旧产品的供应与零售商的运营成本是相同的). 因此, 该模型仅讨论单个零售商的情形. 制造商、零售商均为独立的决策者, 其目标为各自利润的最大化. 市场供应假定为回收价格的增加函数. 决策过程如下: 首先, 制造商基于市场分析制定废旧产品的回收计划, 在回收时机到来之前确定回收价格, 以最大化自己的利润. 同样, 零售商也要确定自己的回收价格以使利润最大化.

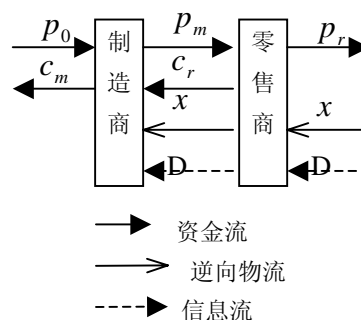


图 1 一个典型的二级逆向供应链模型结构

2.2 符号说明

p_0 : 再生产品的单位销售价格 (元/件), 是确定的常量;

c_m : 制造商加工再生产品的单位边际再生成本 (元/件);

p_m : 制造商从零售商处购买废旧产品的单位回收价格, 为制造商的决策变量, 也是零售商的单位销售价格 (元/件), $p_m \leq p_0 - c_m$;

c_r : 零售商单位边际运营 (包括库存、运输) 成本 (元/件);

$p_r = (1-r)p_m$: 零售商从消费者回收废旧产品的单位回收价格 (元/件), 为零售商的决策变量. 其中, r 为边际利润率或零售商的减价率 (无量纲).

D : 废旧产品的市场拥有量;

x : 当单位回收价格为 p_r 时废旧产品的回收量. 依假设: $x = f(p_r) = d(p_r)^k$, ($d > 0, k > 1$), 这里, d 是换算常数, k 为价格弹性. $x \leq D$.

π_m : 制造商的利润;

π_r : 零售商的利润;

π : 二级逆向供应链系统的利润, $\pi = \pi_m + \pi_r$.

假设制造商对所有回收的产品进行加工处理, 形成再生产品, 即没有废弃处理. 因此, 对给定的回收价格 p_m 和 p_r , 有:

$$\pi_m = (p_0 - c_m - p_m)f[(1-r)p_m], \quad (1)$$

$$\pi_r = (p_m - c_r - (1-r)p_m)f[(1-r)p_m], \quad (2)$$

$$\pi = \pi_m + \pi_r = (p_0 - (1-r)p_m - c_m - c_r)f[(1-r)p_m], \quad (3)$$

称数对 (p_m, r) 为一个价格策略.

容易证明如下引理:

引理 当 $\frac{k-1}{k+1}(p_0 - c_m) < p_m \leq p_0 - c_m$, $\frac{c_r}{p_m} \leq r < \frac{2p_m + c_r(k-1)}{(k+1)p_m}$ 时, (i) π_m 是关于 p_m 的凹函数; (ii)

π_r 是关于 r 的凹函数; (iii) π 是关于 (p_m, r) 的凹函数. 用 F 表示价格策略的集合, 即

$$F = \{(p_m, r) \mid \frac{k-1}{k+1}(p_0 - c_m) < p_m \leq p_0 - c_m, \frac{c_r}{p_m} \leq r < \frac{2p_m + c_r(k-1)}{(k+1)p_m}\}. \quad (4)$$

引理表明, 当 $(p_m, r) \notin F$ 时, 或者双方无利可图, 或者由于回收量的减少使得系统与成员的利润都减少. 因此, 限定双方在 F 上进行价格决策. 故称 F 为决策的可行集合.

3 非合作博弈模型

3.1 斯坦克尔伯格均衡

在这里, 把制造商和零售商之间的关系建立成制造商为主导者而零售商为跟随者的一个序贯非合作博弈模型. 此博弈的解称作斯坦克尔伯格均衡. 在该博弈中, 制造商根据市场信息率先做出回收价格的定价决策, 零售商在观测到制造商的决策后做出自己的回收价格的定价决策. 一旦这些决策确定, 制造商按既定的回收价格从零售商回收废旧产品, 零售商按既定的回收价格从消费者回收废旧产品.

为了得到斯坦克尔伯格均衡, 应首先求出该博弈第二阶段的反应函数. 由引理知, 当 $(p_m, r) \in F$ 时, π_r 是关于 r 的凹函数, 因此零售商的边际利润率的最优值可由 π_r 的一阶条件得到. 由于

$$\frac{\partial \pi_r}{\partial r} = dp_m^k [p_m(1-r)^k - k(rp_m - c_r)(1-r)^{k-1}] = 0, \quad (5)$$

故

$$r = \frac{1}{k+1} + \frac{kc_r}{(k+1)p_m}. \quad (6)$$

(6) 式给出了当制造商的回收价格给定时, 零售商的最优决策. 这是零售商对制造商的回收价格策略的反应, 故称为零售商的反应函数 (或反应曲线). 将 (6) 代入 π_m , 得到:

$$\pi_m = (p_0 - c_m - p_m)d \left[\frac{k(p_m - c_r)}{k+1} \right]^k. \quad (7)$$

由

$$\frac{\partial \pi_m}{\partial p_m} = d \left(\frac{k}{k+1} \right)^k [-(p_m - c_r)^k + (p_0 - c_m - p_m)k(p_m - c_r)^{k-1}] = 0, \quad (8)$$

得到

$$p_m^{**} = \frac{k(p_0 - c_m) + c_r}{k+1}. \quad (9)$$

因此, 斯坦克尔伯格均衡为:

$$(p_m^{**}, r^{**}) = \left(\frac{k(p_0 - c_m) + c_r}{k+1}, \frac{1}{k+1} + \frac{kc_r}{(p_0 - c_m)k + c_r} \right). \quad (10)$$

于是得出如下定理:

定理 1 (10) 式即为在制造商和零售商以序贯的、非合作的决策方式下双方的最优定价策略.

用 π_m^{**} 、 π_r^{**} 、 p_r^{**} 及 π^{**} 分别表示在该最优定价策略时, 制造商的利润、零售商的利润、零售商的回收价格及该逆向供应链系统利润, 则:

$$\pi_m^{**} = d \frac{k^{2k} (p_0 - c_m - c_r)^{k+1}}{(k+1)^{2k+1}}, \quad (11)$$

$$\pi_r^{**} = d \frac{k^{2k+1} (p_0 - c_m - c_r)^{k+1}}{(k+1)^{2k+2}}, \quad (12)$$

$$p_m^{**} = \frac{k^2 (p_0 - c_m - c_r)}{(k+1)^2}, \quad (13)$$

$$\pi^{**} = \pi_m^{**} + \pi_r^{**}. \quad (14)$$

3.2 纳什均衡

近年来的市场营销研究表明零售商对供应链的影响力在不断增强. 在这里, 假定制造商与零售商具有平等的关系, 即双方同时地、非合作地进行决策以最大化自己的利润. 这种博弈被称作静态博弈, 其解被称作纳什均衡.

此时, 制造商的最优化问题为:

$$\begin{aligned} \max_{p_m} \quad & \pi_m = (p_0 - p_m - c_m)f[(1-r)p_m], \\ \text{s.t.} \quad & \frac{k-1}{k+1}(p_0 - c_m) < p_m \leq p_0 - c_m. \end{aligned} \quad (15)$$

零售商的最优化问题为:

$$\begin{aligned} \max_r \quad & \pi_r = (rp_m - c_r)f[(1-r)p_m], \\ \text{s.t.} \quad & \frac{c_r}{p_m} \leq r < \frac{2p_m + c_r(k-1)}{(k+1)p_m}. \end{aligned} \quad (16)$$

通过联立求解一阶条件

$$\begin{cases} \partial \pi_m / \partial p_m = d(1-r)^k p_m^{k-1} [(p_0 - c_m)k - (1+k)p_m] = 0 \\ \partial \pi_r / \partial r = d(1-r)^{k-1} p_m^k [p_m(1-r) - k(rp_m - c_r)] = 0 \end{cases}, \quad (17)$$

得到纳什均衡:

$$(p_m^*, r^*) = \left(\frac{k(p_0 - c_m)}{k+1}, \frac{1}{k+1} + \frac{c_r}{p_0 - c_m} \right). \quad (18)$$

定理 2 (18) 式即为在制造商和零售商同时地、非合作地进行决策时双方的最优定价策略.

用 π_m^* 、 π_r^* 、 p_r^* 及 π^* 分别表示在该最优定价策略时, 制造商的利润、零售商的利润、零售商的回收价格及该逆向供应链系统利润, 则,

$$\pi_m^* = d \frac{k^k [k(p_0 - c_m - c_r) - c_r]^k (p_0 - c_m)}{(k+1)^{2k+1}}, \quad (19)$$

$$\pi_r^* = d \frac{k^k [k(p_0 - c_m - c_r)]^{k+1}}{(k+1)^{2k+2}}, \quad (20)$$

$$p_r^* = \frac{k^2 (p_0 - c_m - c_r) - kc_r}{(k+1)^2}, \quad (21)$$

$$\pi^* = \pi_m^* + \pi_r^*. \quad (22)$$

3.3 斯坦克尔伯格均衡与纳什均衡条件下的效率比较

通过上面的分析得到如下表 1:

表 1 两种均衡条件下的效率比较

	斯坦克尔伯格均衡	比较	纳什均衡
制造商利润	π_m^{**}	\geq	π_m^*
零售商利润	π_r^{**}	\geq	π_r^*
制造商回收价格	p_m^{**}	\geq	p_m^*
零售商回收价格	p_r^{**}	\geq	p_r^*
回收数量	x^{**}	\geq	x^*
系统总利润	π^{**}	\geq	π^*

定理 3 i) $p_m^* \leq p_m^{**}$, $p_r^* \leq p_r^{**}$,
ii) $x^* \leq x^{**}$, $\pi_m^* \leq \pi_m^{**}$, $\pi_r^* \leq \pi_r^{**}$, $\pi^* \leq \pi^{**}$.

i) 说明当制造商和零售商分别地、独立地进行决策时, 双方的最优回收价格低于制造商为主导者, 零售商为跟随者时双方的最优回收价格. ii) 说明当制造商和零售商分别地、独立地进行决策时, 由于双方最优回收价格的降低导致回收数量的减少, 从而双方的利润及系统利润都减少.

定理 3 的结果很符合现实. 当制造商和零售商分别地、独立地进行决策时, 双方都会尽力压低回收价格, 以期获取最大利润. 其实, 这样做的结果却使得其反. 所以说制造商和零售商不能各自独立地进行定价决策.

4 联合定价合作博弈模型

联合定价即联合决策制造商和零售商对废旧产品的回收价以最大化系统的利润. 此时, 问题可建模为如下的二元规划问题:

$$\begin{cases} \max & \pi(p_m, r) \\ \text{s.t.} & (p_m, r) \in F \end{cases} \quad (23)$$

上式的解可由联立的一阶条件 $\begin{cases} \partial \pi / \partial p_m = 0 \\ \partial \pi / \partial r = 0 \end{cases}$ 得到. 由于

$$\begin{cases} \partial \pi / \partial p_m = d(1-r)^k p_m^{k-1} \{-(1-r)p_m + k[p_0 - (1-r)p_m - c_m - c_r]\} = 0 \\ \partial \pi / \partial r = d(1-r)^{k-1} p_m^k [p_m(1-r) - k(p_0 - p_m + rp_m - c_m - c_r)] = 0 \end{cases} \quad (24)$$

故:

$$(1-\bar{r})\bar{p}_m = \frac{k(p_0 - c_m - c_r)}{k+1} \quad (25)$$

解的集合记作

$$Y = \{(\bar{p}_m, \bar{r}) \mid (1-\bar{r})\bar{p}_m = \frac{k(p_0 - c_m - c_r)}{k+1}, (\bar{p}_m, \bar{r}) \in F\} \quad (26)$$

即只要 \bar{p}_m, \bar{r} 满足该条件, 则可使双方总利润最大.

定理 4 (26) 式即为制造商和零售商的联合定价策略集.

用 $\bar{\pi}$ 表示制造商和零售商的联合定价时系统利润, 则

$$\bar{\pi} = d \frac{k^k (p_0 - c_m - c_r)^{k+1}}{(k+1)^{k+1}} \quad (27)$$

定理 5 i) $(1-r^{**})p_m^{**} < (1-\bar{r})\bar{p}_m$

ii) $\pi^{**} < \bar{\pi}$.

i) 说明非合作均衡时回收价格低于合作时的回收价格; ii) 说明非合作均衡时的逆向供应链系统利润低于合作时的系统利润.

定理 5 的含义很明显. 当制造商和零售商联合定价时回收价格提高, 回收量增加, 系统利润增加. 其实, 这种情况相当于制造商和零售商通过提高回收价格把废旧产品再生获取的利润部分地返回给消费者. 不仅制造商和零售商达到双赢目的, 而且消费者也从中受益.

5 结论

本文应用博弈理论, 基于单一制造商和单一零售商构成的逆向供应链系统, 研究废旧产品回收的定价策略. 对两个非合作博弈模型和一个合作博弈模型进行了讨论和比较, 给出了相应的定价策略. 研究表明, 当制造商和零售商分别地、独立地进行决策时, 双方的最优回收价格低于制造商为主导者、零售商为跟随者时双方的最优回收价格, 废旧产品的回收数量减少, 双方的利润及系统利润也相应减少. 通过将非合作博弈与合作博弈比较发现: 非合作均衡时回收价格低于合作时的回收价格; 非合作均衡时系统利

润低于合作时的系统利润. 如果一方决策时不顾及对方的利益, 则逆向供应链系统总利润无法达到最大. 为提高系统效率, 必须协调双方的决策.

参考文献:

- [1] 夏绪辉, 刘飞, 尹超, 高全杰. 供应链、逆向供应链管理与企业集成[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2003, 9(8): 652-656.
Xia Xu-hui, Liu Fei, Yin Chao, Gao Quan-jie. Supply chain and reverse supply chain management and enterprise integration[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(8): 652-656.
- [2] 储洪胜, 宋士吉. 反向物流及再制造技术的研究现状和发展趋势[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2004, 10(1): 10-14.
Chu Hong-sheng, Song Shi-jie. Status and developing trends of reverse logistics[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(1): 10-14.
- [3] 顾巧论, 陈秋双. 再制造/制造系统集成物流网络及信息网络研究[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2004, 10(7): 721-726, 731.
GU Qiao-lun, CHEN Qiu-shuang. Research on logistics and information network integrating remanufacturing and manufacturing system[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(7): 721-726, 731.
- [4] Shih L H. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2001, 32(1): 55-72.
- [5] Fleischmann M. Quantitative models for reverse logistics[D]. The Netherlands: Erasmus University Rotterdam, 2001.
- [6] Susan X. Li, Zhimin Huang, Allan Ashley. Seller-buyer system co-cooperation in a monopolistic market[J]. Journal of Operational Research Society, 1995, 46(1): 1456-1470.
- [7] Diane J. Reyniers and Charles S. Tapiero. The delivery and control of quality in supplier-producer contracts[J]. Management Science, 1995, 41(10): 1581-1589.
- [8] Zhimin Huang & Susan X. Li. Co-op advertising models in manufacturer-retailer supply chains: A game theory approach[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 135(3): 527-544.
- [9] Wei Shi Lim, A lemons market? An incentive scheme to induce truth-telling in third party logistics providers[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 125(3): 519-525.
- [10] 梁浩, 王渝. 基于对策论的供需链运作稳定性问题的研究[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2001, 7(11): 7-10.
Liang Hao, Wang Yu. Game Theory-Based Supply Chain Operation Stability[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2001, 7(11): 7-10.
- [11] 牟德一. 基于博弈理论的供应链决策分析[D]. 天津: 南开大学博士学位论文, 2000.
Mou De-yi. Decision Analysis for Supply Chain Management Based on Game Theory[D]. Doctoral disser, Nankai University, 2002.
- [12] 罗卫, 张子刚, 欧阳明德. 基于一个博弈论方法的简单供应链合作广告模型[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(2): 31-36.
Luo Wei, Zang Zi-gang, Ouyang Ming-de. Co-op advertising models in simple supply chain based on a game theory approach[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2004, 2: 31-36.
- [13] 姚卫新. 再制造条件下逆向物流回收模式的研究[J]. 管理科学, 2004, 17(1): 76-79.
Yao Wei-xin. Comparison of different take-back models in reverse logistics[J]. Management Sciences in China, 2004, 17(1): 76-79.