

# 基于服务和价格竞争的再制品最优决策和收益分配研究

崔慧明, 姬磊

(梦百合家居科技股份有限公司, 江苏如皋 226521)

**摘要:** 针对再制品最优价格和服务水平决策的问题, 建立了一个包含零售商、新品制造商和再制品制造商的三级供应链模型. 利用该模型分别探讨了财务“引导原则”下分散决策, 生产企业联盟和集中决策三种情形下的最优决策. 研究表明: 当新产品和再制品价格竞争较为激烈时, 一类产品批发价格上升会促使另一类产品零售价格和服务水平的降低; 每种产品的生产成本和服务成本系数均相等时, 市场容量的增长会促使产品批发价格和服务水平的提高. 数值实验部分运用加权 Shapley 公平分配理论进行了企业间的利润分配, 结果表明并不是每种情况都能实现供应链协调.

**关键词:** 需求确定; 再制品; 服务水平; 加权 Shapley 值

**中图分类号:** F272.3 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.0253-2778.2020.06.004

**引用格式:** 崔慧明, 姬磊. 基于服务和价格竞争的再制品最优决策和收益分配研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2020, 50(6): 738-743.

CUI Huiming, JI Lei. The optimal decisions of remanufactured products and profit allocation under competitions of service and price[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2020, 50(6): 738-743.

## The optimal decisions of remanufactured products and profit allocation under competitions of service and price

CUI Huiming, JI Lei

(Mlily Inc., Rugao 226521, China)

**Abstract:** This paper studies the decisions of price and service level of remanufactured products in three-stage supply chain including retail traders, new product manufacturers and remanufactured product manufacturers. The optimal decisions of the supply chain members under financial “guiding principal” decentralized circumstance, manufacturers-alliance circumstance and centralized circumstance are analyzed. The result shows that when the intensity of price competition of the new products and remanufactured products is pretty violent, the higher the wholesale price of one kind of product, the lower the retail price and service level of the other kind of product; when both of the manufacturer costs and service cost factors are equal, the higher the market base, the higher the wholesale price and service level. In the part of numerical experiments, the profit is distributed by using weighted Shapley value, the results show that the supply chain cannot always be coordinated.

**Key words:** certain demand; remanufactured products; service level; weighted Shapley value

### 0 引言

人们日益增长的物质需求, 对资源和环境产生了巨大的压力. 在此背景下, 再制造引起了各界的广泛关注. 再制造是指企业通过对废旧产品进行拆分、检测、清洗、修复和重组等一系列处理过程后生产出再制品的过程<sup>[1]</sup>. 市场上常见的再制品包括: 轮胎、一次性相机、硒鼓等. 虽然再制品的品质与新产品并无明显差异, 但部分顾客依旧对其持有怀疑态度, 这就使得与再制品销售相关的服务更为重要 (文中的服务主要包括产品满足率、购物环境及售后服务等内容). 我们可以看到, 部分企业也开始对

再制造产品提供服务策略, 例如惠普公司对再制造或再翻新产品的回收和销售提出了更新方案, 保证再制造产品可以如同新产品一样提供必要的服务并以低价替代新产品<sup>[2]</sup>. 本文将主要研究再制品价格和服务水平决策问题, 下面从再制品定价及服务水平决策两个维度进行文献总结.

关于再制品生产和定价问题, 部分学者进行了如下的研究. Ferguson 和 Toktay 研究了制造商如何制定生产策略以减弱再制品对新产品的替代作用, 同时对比了再制造策略和提前回收策略对于利润的影响<sup>[1]</sup>. Ferrer 和 Swaminathan 研究了顾客需求存在差异的情况下, 两阶段、多阶段和无限水

平阶段下产品的产量和定价问题,并与单垄断情形进行了对比<sup>[3]</sup>.颜荣芳等搭建了再制造闭环供应链差别定价模型,研究了集中化和分散化决策下的最优定价决策问题<sup>[4]</sup>.谢家平和王爽研究了基于消费者偏好的制造商两周期最优生产和价格决策,并将结论扩展到多周期情形,同时通过数据模拟分析了消费者风险偏好系数对于生产商利润、成本节约和产品价格的影响<sup>[5]</sup>.Debo等研究了技术产品生产影响再制品成本时的最优决策<sup>[6]</sup>.上述的文献均考虑了再制品原材料的约束,即废弃产品的可回收率.但随着产品进入市场时间的推移,原材料不再是制约生产的条件.Kaya利用线性规划理论,研究了再制品和新产品价值相等以及价值存在差异时的定价问题,同时分析了成本结构对于最优利润、最优价格、最优回收率和不同再制造方式比重的影响<sup>[7]</sup>;计国君提出了一种基于再制品质量差异的定价模型<sup>[8]</sup>;但斌和丁雪峰分析了多区域中环保型消费者占比对于最优决策的影响<sup>[9]</sup>.

关于供应链决策中考虑服务水平影响的研究.Tsay和Agrawal分析了一个制造商和两个零售商组成的供应链中零售商提供服务时零售商的最优价格和服务水平决策及制造商的最优批发价格决策<sup>[10]</sup>.Bernstein和Federgruen研究了同时存在服务水平和价格竞争情形下多个零售商的最优价格决策和库存水平决策问题<sup>[11]</sup>.Xia和Gilbert研究了由单个制造商和单个零售商组成的供应链中制造商确定服务水平时可替代产品的最优价格决策问题<sup>[12]</sup>.Dumrongsiri等研究了双渠道模式下价格和服务水平的决策问题,研究结果表明零售商提高服务水平对于制造商和零售商均有利<sup>[13]</sup>.还有一些研究进一步考虑了外部竞争者因素.Xiao和Yang研究了供应链成员厌恶风险情形下,两条供应链相互竞争时供应链成员的最优决策问题,结果表明零售商风险厌恶程度越高其服务水平及产品零售价格越低<sup>[14]</sup>.Wu分析了两个制造商和一个零售商组成的供应链中制造商提供服务时,各参与者的最优价格决策、服务决策和再制努力决策<sup>[2]</sup>.

本文研究了一个零售商、一个制造商和一个再制造商组成的供应链中,各成员在财务“引导原则”下分散决策,生产企业联盟和集中决策三种情形下各成员的最优决策问题,并给出了基于加权Shapley公平分配理论的收益分配方式.和已有研究相比,本文的创新点主要表现在以下两方面:首先,文中的制造商同时生产新产品和再制品而再制造商仅生产再制品,同时融入了部分财务管理的内容,更符合企业决策的实际情况;其次,文中考虑的是零售商针对不同产品提供不同服务的情况,而已有文献多是考虑零售商间服务存在差异.

## 1 模型描述及假设

本文考虑了一个零售商、一个制造商和一个再制造商构成的供应链系统,其中零售商同时销售三种产品并决定两类产品的服务水平,制造商同时生产新产品和再制品并决定新产品的批发价格,再制

造商仅生产再制品并决定着再制品的批发价格,供应链结构如图1所示.

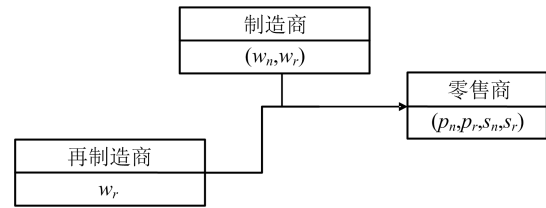


图1 供应链结构图

Fig. 1 Supply chain structure

为使模型更为简化和合理,本文给出以下假设:

①两种再制品零售价格相同.零售商销售的三种产品可以分为两类:第一类为新产品;第二类为再制品.由于新产品和再制品之间存在一定的质量差异以及顾客对两类产品的认可度不同,再制品价格和新品价格存在较大差异.一些文献<sup>[15-17]</sup>也指出了部分企业将再制品生产作为占领低端市场的一种策略.低端市场中再制品的竞争十分激烈,单件产品的利润率较低,不同企业生产的再制品在价格方面差异并不明显,因此本文将两种再制品的零售价格设为相等.

②分散决策时再制造商决定着再制品的批发价格,制造商仅决定新产品的批发价格且采用再制造商所确定的再制品批发价格.生活中能够同时生产新产品和再制品的制造商一般具有成熟的技术、较大的市场份额以及较高的市场地位,且这类企业往往是从只生产新产品逐渐发展为同时生产两种产品,因此新产品的生产一般为其主要业务.相对应地再制造商一般为区域性中小企业,这类企业的核心业务即为再制品.由于这类企业往往较为了解当地市场,因此制定的价格具有较强的参考性.根据企业财务中“引导原则”,本文假设制造商再制品和再制造商再制品具有相同的批发价格,且这一批发价格由再制造商决定.所谓“引导原则”是指企业理解存在局限,认识能力有限,寻找最优方案成本较高时,直接模仿成功榜样或者大多数人的做法.

## 2 符号说明及假设

$a_i$  为  $i$  类产品的市场容量,  $D_i$  为  $i$  类产品的市场需求,  $p_i$  为  $i$  类产品的销售价格,  $w_i$  为  $i$  类产品的批发价格,  $\eta_i$  为  $i$  类产品的服务成本系数,  $i = n$  代表新产品,  $i = r$  代表再制品;  $c_n, c_{r1}, c_{r2}$  分别表示新产品生产成本、制造商再制品生产成本、再制造商再制品生产成本;  $b_p$  为产品需求关于产品自身价格的敏感系数,  $b_s$  为产品需求关于产品自身服务水平的敏感系数,  $\theta_p$  为价格竞争的激烈程度,  $\theta_s$  为服务水平竞争的激烈程度;  $\lambda$  为制造商再制品占再制品总市场份额的比例 ( $1 > \lambda > 0$ ),  $1 - \lambda$  为再制造商再制品占再制品总市场份额的比例,  $\pi^R, \pi^M, \pi^C$  分别为零售商利润、制造商利润、再制造商利润.

本文考虑产品的需求不仅受自身价格和服务水平的影响,同时受到另外一种产品的价格和服务水平的影响,参考文献<sup>[2,10]</sup>,产品需求可以表示为  $D_i = a_i - b_p p_i + \theta_p (p_j - p_i) + b_s s_i - \theta_s (s_j - s_i)$  (1)

为了确保产品的最优零售价格及服务水平的存在,本文同样采用与文献[10,14]相同的假设:

$$A_i = 2(b_p + \theta_p) - \frac{(b_s + \theta_s)^2}{\eta_j} - \frac{\theta_s^2}{\eta_i} > 0;$$

$$V_i = \theta_p - \frac{\theta_s(b_s + \theta_s)}{\eta_i} > 0;$$

$$B = V_i + V_j; A_i A_j > B^2.$$

上述假设可以理解为当两类产品的替代率和服务投资效用有效时,零售商存在最优价格和服务水平.

### 3 供应链决策分析

#### 3.1 集中决策模型

集中模型实际是指建立一个理想化的集权组

$$I_n = \frac{A_n(a_n - (b_p + \theta_p)c_n + \theta_p \lambda c_{r1} + \theta_p(1-\lambda)c_{r2}) + B(a_r - \lambda(b_p + \theta_p)c_{r1} - (1-\lambda)(b_p + \theta_p)c_{r2} + \theta_p c_n)}{A_n A_r - B^2},$$

$$I_r = \frac{A_r(a_r - \lambda(b_p + \theta_p)c_{r1} - (1-\lambda)(b_p + \theta_p)c_{r2} + \theta_p c_n) + B(a_n - (b_p + \theta_p)c_n + \theta_p \lambda c_{r1} + \theta_p(1-\lambda)c_{r2})}{A_n A_r - B^2}.$$

**命题 3.1** 制造商再制品和再制造商再制品的生产成本相同时再制品的边际利润和再制造商再制品市场份额无关;再制品的服务成本系数与新产品服务成本系数的比值超过一个阈值且制造商再制品生产成本比再制造商再制品生产成本高时,再制造商不进行新产品生产情况下新产品的边际利润最高;新产品和再制品的服务成本系数相等且制造商再制品生产成本高于再制造商再制品成本时,再制造商不进行再制品生产情况下再制品边际利润最高.

**证明**  $\frac{dI_n}{d\lambda} = (c_{r1} - c_{r2}) \frac{A_n \theta_p - B(b_p + \theta_p)}{A_n A_r - B^2},$

令  $A_n \theta_p - B(b_p + \theta_p) = 0$  可以得到

$$\frac{\eta_r}{\eta_n} = \frac{b_s b_s \theta_p + b_s \theta_s \theta_p - b_s b_p \theta_s - b_p \theta_s \theta_s}{b_s b_p \theta_s + b_p \theta_s \theta_s + b_s \theta_s \theta_p}.$$

因此当

$$\frac{\eta_r}{\eta_n} > \frac{b_s b_s \theta_p + b_s \theta_s \theta_p - b_s b_p \theta_s - b_p \theta_s \theta_s}{b_s b_p \theta_s + b_p \theta_s \theta_s + b_s \theta_s \theta_p}$$

且  $c_{r1} > c_{r2}$  时,  $\frac{dI_n}{d\lambda} > 0;$

$$\frac{dI_r}{d\lambda} = (c_{r1} - c_{r2}) \frac{B\theta_p - A_r(b_p + \theta_p)}{A_n A_r - B^2},$$

当  $\eta_n = \eta_r$  且  $c_{r1} > c_{r2}$  时,可以得到  $\frac{dI_r}{d\lambda} < 0.$

命题 3.1 说明集中决策情况考虑新产品和再制品间的关系时主要考虑的是内部替代效应的影响,再制品服务成本较高且生产成本较高时内部替代

作用相对较小,企业获得的新产品边际利润较高,此时企业应更为关注新产品的销售.新产品和再制品服务成本相同情况下企业选择低成本的生产模式时再制品边际利润更高,这符合我们的经验认知.

**3.2 “引导原则”下分散决策模型**

分散决策过程中参与者的决策顺序为:首先,再制造商制定出再制品批发价格;其次,制造商制定新产品的批发价格;最后,零售商决定两类产品的批发价格及服务水平.

零售商同时销售新产品和再制品并分别决定着两类产品的服务水平.因此,可以将零售商的利润表示为

$$\pi^{TC} = (p_n - c_n)D_n - \frac{\eta_r}{2}s_r^2 + (p_r - \lambda c_{r1} - (1-\lambda)c_{r2})D_r - \frac{\eta_n}{2}s_n^2 \quad (2)$$

结合式(1)和(2)可以解得两类产品的最优零售价格和最优服务水平:

$$p_n^{***} = I_n + c_n; p_r^{***} = I_r + \lambda c_{r1} + (1-\lambda)c_{r2},$$

$$s_i^{***} = \frac{I_i(b_s + \theta_s) - I_j \theta_s}{\eta_i},$$

其中,

作用相对较小,企业获得的新产品边际利润较高,此时企业应更为关注新产品的销售.新产品和再制品服务成本相同情况下企业选择低成本的生产模式时再制品边际利润更高,这符合我们的经验认知.

#### 3.2 “引导原则”下分散决策模型

分散决策过程中参与者的决策顺序为:首先,再制造商制定出再制品批发价格;其次,制造商制定新产品的批发价格;最后,零售商决定两类产品的批发价格及服务水平.

零售商同时销售新产品和再制品并分别决定着两类产品的服务水平.因此,可以将零售商的利润表示为

$$\pi^R = (p_n - w_n)D_n - \frac{\eta_n}{2}s_n^2 + (p_r - w_r)D_r - \frac{\eta_r}{2}s_r^2 \quad (3)$$

制造商同时进行着新产品和再制品的生产,因此面临着较为复杂的决策环境,需要平衡产品间的内部替代效应和外部竞争间的关系.为简化决策本文假设制造商采取财务中的“引导原则”,但需要注意的是在此情形下企业的决策为次优的.此时制造商的利润可以表示为

$$\pi^M = (w_n - c_n)D_n + \lambda(w_r - c_{r1})D_r \quad (4)$$

再制造商仅进行再制品的生产并决定着再制品的批发价格,再制造商的利润可以表示为

$$\pi^C = (1-\lambda)(w_r - c_{r2})D_r \quad (5)$$

通过逆推法可以得到产品的最优批发价格、零售价格和服务水平分别为

$$w_r^* = \frac{-L_n M - c_n U_n M - c_{r1} \lambda M^2 + c_{r2} (1+\lambda) M^2 - 2U_n (c_{r2} U_r - L_r)}{4U_n U_r - (1+\lambda) M^2} + c_{r2},$$

$$w_n^* = \frac{-ML_r (1+\lambda) - c_{r2} U_r M (1+\lambda) + c_n (1+\lambda) M^2 - 2U_r (U_n c_n - \lambda M c_{r1} - L_n)}{4U_n U_r - (1+\lambda) M^2} + c_n,$$



$$p_i^* = N_i^* + \omega_i^*, s_i^* = \frac{N_i^*(b_s + \theta_s) - N_j^*\theta_s}{\eta_i}$$

其中,

$$N_i^* = \frac{A_i(a_i - (b_p + \theta_p)\omega_i^* + \theta_p\omega_j^*) + B(a_j - (b_p + \theta_p)\omega_j^* + \theta_p\omega_i^*)}{A_iA_j - B^2},$$

$$U_i = 2\theta_p(b_p + \theta_p)B - (b_p + \theta_p)^2A_i - A_j(\theta_p)^2,$$

$$M = A_r\theta_p(b_p + \theta_p) + A_n\theta_p(b_p + \theta_p) - (b_p + \theta_p)^2B - B(\theta_p)^2,$$

$$L_i = a_i\theta_pB + a_j\theta_pA_j - a_i(b_p + \theta_p)A_i - a_j(b_p + \theta_p)B.$$

**命题 3.2** 两类产品的价格竞争较为激烈时, 一类产品的最优零售价格及最优服务水平随着另一类产品批发价格的上升而下降.

**证明** 当

$$\theta_p > \theta_p^* = \left( \frac{\theta_s(b_s + \theta_s)b_p\eta_j + \theta_s(b_s + \theta_s)b_p\eta_i}{(b_s + \theta_s)b_s\eta_i - \theta_s b_s\eta_j} \right) > 0$$

时,  $\frac{dp_i}{d\omega_j} < 0$ .

$$\text{当 } \theta_p > \theta_p^* = \frac{2b_p b_s \theta_s^2 + b_p \theta_s b_s^2 + 2\theta_s \eta_j b_p^2}{b_s^3 + 2\theta_s b_s^2 - 4b_p \theta_s \eta_j} > 0$$

时,  $\frac{ds_j}{d\omega_j} < 0$ .

命题 3.2 表明两类产品的价格竞争程度较激烈时, 一类产品批发价格上升意味着对于零售商而言其竞争力的降低. 面对这一情形, 零售商应降低对其依赖程度. 因此, 零售商一方面应降低另一类产品的零售价格促进其销售, 另一方面需要降低另外一类产品的服务水平节约服务成本.

表 1 给出了三种产品生产成相同, 两类产品的服务成本系数和市场容量相等情况下, 供应链成员最优决策的比较.

表 1 生产成本且服务成本系数和市场容量相等情况下的供应链成员最优决策

Tab. 1 Supply chain member optimal decisions when production cost, service cost coefficient and market capacity are equal

“财务引导”原则下决策情况比较	
$\omega_r^* - \omega_n^*$	$\lambda M \frac{c_n(b_p)^2 B - a_r b_p B + c_n(b_p)^2 A_r - a_r(b_p)A_r}{4U_n U_r - (1+\lambda)M^2}$
$p_r^* - p_n^*$	$\frac{(b_s + 2\theta_s)^2 - \eta_r(b_p + 2\theta_p)}{\eta_r(A_r + B)}(\omega_n^* - \omega_r^*)$
$s_r^* - s_n^*$	$\frac{(b_s + 2\theta_s)(b_p + 2\theta_p)}{(B + A_r)\eta_r}(\omega_n^* - \omega_r^*)$
$D_r^* - D_n^*$	$\frac{(b_p + 2\theta_p)^2}{A_r + B}(\omega_n^* - \omega_r^*)$

[注]  $c_{r2} = c_n = c_{r1}; \eta_r = \eta_n; a_r = a_n; c_n b_p - a_r < 0;$

$$M = 2\theta_p b_p (b_p + 2\theta_p) + 2(b_s b_p + \theta_s b_p + b_s \theta_p) \frac{b_p \theta_s - b_s \theta_p}{\eta_r}$$

**命题 3.3** 三种产品的生产成本、服务成本系数和市场容量相等的情况下: ①产品最优批发价格的上升会导致产品服务水平和需求量的下降; ②产品服务成本系数较高时, 产品最优批发价格的上升将会导致产品零售价格的上升.

命题 3.3 表明企业可以根据产品特点决定其定

价策略. 如果产品定位为高端产品, 制造商应保持相对较低的批发价格, 此时零售商会提供较高的服务水平, 虽然价格也会有所提升但有利于维护企业形象. 反之, 产品定位为大众消费品时, 制造商可以适当提高产品价格, 此时产品的零售价格和服务水平将呈现不同程度的降低.

**命题 3.4** 制造商再制品生产成本与再制造商再制品生产成本相等时, 再制品批发价格随制造商再制品市场份额的增加而提高; 三种产品的生产成本满足  $c_n M - c_{r2} U_r + 2U_r c_{r1} = L_r$  关系时, 新产品批发价格随市场份额的增加而提高.

命题 3.4 表明产品生产成满足一定市场关系时, 制造商采用“引导原则”策略是非常有效的, 此时制造商只需将企业经营重点放到市场推广上, 通过扩大产品市场影响力进一步降低竞争对手的威胁, 提高企业的盈利能力.

### 3.3 生产企业联盟决策模型

制造商和再制造商可以通过建立联盟的形式, 提高企业竞争力. 此时, 供应链成员的决策顺序为可分为两阶段. 首先生产企业联盟制定产品的批发价格, 然后零售商决定产品的零售价格和服务水平.

零售企业和生产企业联盟的利润可以分别表示为

$$\pi^R = (p_n - \omega_n)D_n - \frac{\eta_n}{2}s_n^2 + (p_r - \omega_r)D_r - \frac{\eta_r}{2}s_r^2,$$

$$\pi^{M+C} = (\omega_n - c_n)D_n + \lambda(\omega_r - c_{r1})D_r + (1-\lambda)(\omega_r - c_{r2})D_r.$$

可以解得新产品和再制品的最优批发价格、零售价格和服务水平分别为

$$\omega_n^{**} = \frac{L_n U_r - c_n(U_r U_n - M^2) - M L_r}{2(U_r U_n - M^2)} + c_n,$$

$$\omega_r^{**} = \frac{L_r U_n - M L_n - c_{r2}(1-\lambda)(U_r U_n - M^2)}{2U_r U_n - 2M^2} -$$

$$\frac{\lambda c_{r1}(U_r U_n - M^2)}{2U_r U_n - 2M^2} + \lambda c_{r1} + c_{r2}(1-\lambda),$$

$$p_i^{**} = N_i^{**} + \omega_i^{**},$$

$$s_i = \frac{N_i^{**}(b_s + \theta_s) - N_j^{**}\theta_s}{\eta_i}.$$

**命题 3.5** 制造商再制品生产成本高于再制造商再制品生产成本时, 再制品最优批发价格随着制造商再制品市场份额的增加而增加; 制造商再制品生产成本低于再制造商再制品生产成本时, 再制品最优批发价格随着制造商再制品市场份额的增加而降低.

命题 3.5 表明生产企业建立联盟后,企业再制品的批发价格主要由其平均生产成本决定.因此,制造商再制品生产成本较高时,随着其占比的增加应该提升再制品的最优批发价格.

表 2 给出了三种产品生产成本相同且两类产品的服务成本系数相等情况下,供应链成员最优决策的比较.

**命题 3.6** 三种产品生产成本相同且服务成本系数相同时批发价格、服务水平和产品需求均随着市场容量的增长而增长;当产品服务成本系数较低时,零售价格随着市场容量的增加而降低,当产品服务成本系数较高时,零售价格随着市场容量的增加而增加.

命题 3.6 表明产品市场容量的增加对于市场产生了良性影响.产品处于增长期时企业不仅需要关注于产品的产能同时应提高服务意识,在此阶段企业可以获得更高的利润,这是企业发展的重要时期,而对于消费者而言此时选择具有较高管理水平的公司将更有利.

表 2 生产成本、服务成本系数相等情况下的供应链成员最优决策

Tab. 2 Supply chain member optimal decisions when production cost and service cost coefficient are equal

生产企业联盟情形下决策情况比较	
$w_r^{**} - w_n^{**}$	$\frac{a_r - a_n}{2(b_p + 2\theta_p)}$
$p_r^{**} - p_n^{**}$	$\frac{(a_n - a_r)}{2(b_p + 2\theta_p)(B + A_r)} \cdot \left( \frac{(b_s + 2\theta_s)^2}{\eta_r} - 3(b_p + 2\theta_p) \right)$
$s_r^{**} - s_n^{**}$	$\frac{3(b_s + 2\theta_s)}{2(B + A_r)\eta_r} (a_r - a_n)$
$D_r^{**} - D_n^{**}$	$\frac{((b_p + 2\theta_p)\eta_r + 2(b_s + 2\theta_s)^2)}{2(B + A_r)\eta_r} (a_r - a_n)$

[注]  $c_{r2} = c_{r1} = c_n; \eta_r = \eta_n$ .

## 4 基于加权 Shapley 的利润分配

合作模式下供应链成员间如何进行利润分配

表 3 不同情形下供应链成员收益

Tab. 3 Profits of supply chain members in different situations

$b_p$	$\theta_p$	$\lambda$	$\eta_n$	$\eta_r$	$\pi^{M*}$	$\pi^{C*}$	$\pi^{R*}$	$\pi^{M+C**}$	$\pi^{R**}$	$\pi^{TC}$
0.6	0.4	0.1	4	2	1.6	2.68	3.65	4.64	3.22	8.58
0.4	0.6	0.1	4	2	3.58	3.96	6.54	8.59	4.29	15.2
0.4	0.6	0.4	4	2	5.37	2.94	5.39	8.81	4.4	14.8
0.4	0.6	0.4	3	2	5.47	2.89	5.6	8.86	4.43	14.7
0.4	0.6	0.4	3	3	5.53	2.46	5.07	8.44	4.22	14.3

表 4 基于加权 Shapley 值法供应链成员的利润分配

Tab. 4 Profit distribution of supply chain members based on weighted Shapley value method

$\theta_p$	$\lambda$	$\eta_n$	$\eta_r$	$\delta^M$	$(\pi_s^{M**}, \pi_s^{C**})$	$\delta^R$	$(\pi_s^{R**}, \pi_s^{M+C**})$
0.4	0.1	4	2	0.54	(1.82, 2.82)	0.10	(2.86, 5.72)*
0.6	0.1	4	2	0.56	(4.23, 4.36)	0.23	(4.69, 10.51)
0.6	0.4	4	2	0.69	(6.69, 2.12)	0.24	(3.84, 11.00)*
0.6	0.4	3	2	0.70	(6.29, 2.57)*	0.27	(4.52, 10.20)
0.6	0.4	3	3	0.72	(6.39, 2.05)*	0.25	(4.39, 9.92)

[注] 调节系数为 0.5;  $\delta$  表示企业成本比; ( ) \* 表示无法实现供应链协调.

是企业面临的另一难题.企业在进行利润分配时不仅需要考虑各自的成本而且要兼顾公平. Shapley 值法更加关注于资源使用效率及供应链资源集成所产生的效益,以边际贡献确定收益的分配,避免了以规模定收益的不合理性.但是传统 Shapley 值方法中有着各方的投入均相等这一严格假设(如表 3 所示),限制其使用范围.本文使用加权 Shapley 值<sup>[18]</sup>方法解决联盟企业间的利润分配问题,这一方法考虑了各方的投入对于所得利润的影响.

以生产企业间利润分配为例,其具体计算过程为

**第一步** 计算各成员成本占总成本的权重  $\delta$ , 本文中  $\delta^M + \delta^C = 1$ ;

**第二步** 计算实际承担因子与理论承担因子的差值,本文中实际承担的投入因子即为成本的权重,同时本文探讨的是两者间的利润分配,因此差值为  $\Delta\delta^M = \delta^M - \frac{1}{2}$ ;

**第三步** 计算利润分配补偿值

$$\Delta\pi^M = (\pi^M + \frac{\pi^{M+C} - \pi^M - \pi^C}{2})\Delta\delta^M\delta,$$

$1 > \delta > 0$  为调节系数;

**第四步** 计算应分利益

$$\pi_s^M = \pi^M + \frac{\pi^{M+C} - \pi^M - \pi^C}{2} + \Delta\pi^M.$$

## 5 数值实验

为了进一步说明问题,本文进行了几组数值实验,假设:

$$a_n = a_r = 4, b_s = 0.5, \theta_s = 0.5, \\ c_n = 2, c_{r1} = 0.5, c_{r2} = 1.$$

通过上述的数值实验,可以发现:①系统集中决策情况下整条供应链的收益优于生产企业联盟情况下整条供应链的收益;②生产企业联盟情况下整条供应链的收益优于“引导原则”下整条供应链的收益,即合作带来的利润大于对抗时产生的利润.

利用加权 Shapley 值法将合作后的利润在成员间进行了重新分配,结果如表 4 所示. ( $\pi_s^{M^{**}}$ ,  $\pi_s^{C^{**}}$ ) 表示生产企业联盟时,生产企业总利润在制造商和再制造商间的分配. ( $\pi_s^{R^{***}}$ ,  $\pi_s^{M+C^{***}}$ ) 表示整条供应链集中决策时,整条供应链总利润在生产企业联盟及零售商间的分配. 从数值实验可以看出某些情况下加权 Shapley 值法无法实现供应链协调,因为个别企业存在分配后的利润低于独立决策时的利润.

## 6 结论

本文探讨了财务“引导原则”下分散决策、生产企业联盟和集中决策三种决策模式下供应链的最优价格和服务水平决策问题. 实验结果表明,供应链集中决策时供应链利润最高,生产企业联盟时次之,“引导原则”分散决策时利润最少. 并且利用加权 shapley 值法对供应链利润进行了重新分配,结果表明并不是每种情况下都可以实现供应链协调. 该研究可以帮助企业更科学合理地进行定价,但所用数据模型没有充分考虑替代产品、关联产品等影响因素,会导致实践中存在部分偏差. 这也为以后的研究工作提供了方向.

### 参考文献 (References)

- [1] FERGUSON M E, TOKTAY L B. The effect of competition on recovery strategies [J]. *Production and Operations Management*, 2006, 15(3): 351-368.
- [2] WU C H. Price and service competition between new and remanufactured products in a two-echelon supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 140(1): 496-507.
- [3] FERRER G, SWAMINATHAN J M. Managing new and remanufactured products[J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 15-26.
- [4] 颜荣芳,程永宏,王彩霞. 再制造闭环供应链最优差别定价模型[J]. *中国管理科学*, 2013, 21(1): 90-97.
- [5] 谢家平,王爽. 偏好市场下制造/再制造系统最优生产决策[J]. *管理科学学报*, 2011, 14(3): 24-33.
- [6] DEBO L G, TOKTAY L B, VAN WASSENHOVE L N. Market segmentation and product technology selection for remanufacturable products[J]. *Management Science*, 2005, 51(8): 1193-1205.
- [7] KAYA O. Incentive and production decisions for remanufacturing operations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(2): 442-453.
- [8] 计国君. 基于再造产品的销售定价策略研究[J]. *技术经济*, 2010, 29(7): 10-19.
- [9] 但斌,丁雪峰. 基于客户细分的再制造价格歧视策略[J]. *系统工程学报*, 2011, 26(4): 515-523.
- [10] TSAY A A, AGRAWAL N. Channel dynamics under price and service competition[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, 2(4): 372-391.
- [11] BERNSTEIN F, FEDERGRUEN A. A general equilibrium model for industries with price and service competition [J]. *Operations Research*, 2004, 52(6): 868-886.
- [12] XIA Y, GILBERT S M. Strategic interactions between channel structure and demand enhancing services [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 181(1): 252-265.
- [13] DUMRONGSIRI A, FAN M, JAIN A, et al. A supply chain model with direct and retail channels[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 187(3): 691-718.
- [14] XIAO T J, YANG D Q. Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty [J]. *Int. J. Production Economics*, 2008, 114: 187-200.
- [15] WEBSTER S, MITRA S. Competitive strategy in remanufacturing and the impact of take-back laws [J]. *Journal of Operations Management*, 2007, 25(6): 1123-1140.
- [16] MITRA S, WEBSTER S. Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111(2): 287-298.
- [17] JUNG K S, HWANG H. Competition and cooperation in a remanufacturing system with take-back requirement[J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2011, 22(3): 427-433.
- [18] KALAI E, SAMET D. On weighted Shapley values[J]. *International Journal of Game Theory*, 1987, 16(3): 205-222.