

基于 WTP 差异化的再制造闭环 供应链利益协调机制*

高 阳, 杨 新

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘 要: 考虑到消费者对新产品和再制造产品支付意愿的差异, 分别建立了分散决策和集中决策下多周期再制造闭环供应链的决策模型, 得出了各供应链成员的最优决策, 通过 shapley 值法来确定利益协调机制, 并利用数值仿真对模型进行求解和分析。研究结果表明, 分散决策存在效益缺失, 中间商的减少可有效提高供应链系统的效益; 可通过 shapley 值对再制造闭环供应链的利益进行合理有效的分配。

关键词: WTP 差异化; 闭环供应链; 再制造; shapley 值; 利益协调

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2014)02-0388-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.02.016

Study of profit coordination of remanufacturing closed-loop supply chain based on WTP differentiation

GAO Yang, YANG Xin

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on WTP differentiation, this paper established decision-making models in two-period remanufacturing closed-loop supply chain in two cases: decentralized decision and centralized decision, and got the optimal decision of the members of supply chain, then presented the shapley value algorithm to confirm the profit coordination, and then implemented the analysis on the solution of the model by numerical simulation. The results show that loss of profit exists in decentralized decision, the reduce of middleman can effectively improve the efficiency of the supply chain system; shapley value is utilized to allot the profit of the remanufacturing closed-loop supply chain reasonably and effectively.

Key words: WTP differentiation; closed-loop supply chain; remanufacturing; shapley value; profit coordination

0 引言

随着社会经济发展与环境保护矛盾的日益加剧, 传统的“资源→产品→废弃物”经济模式已逐渐被人们所抛弃, 取而代之的是“节约资源→产品→再生资源”全新的经济模式, 也就是循环经济。闭环供应链作为循环经济实现的一种方式, 它使物料在闭环供应链中循环流动, 使自然资源得到充分合理的利用。将 EOL(end of life) 产品实施再制造的闭环供应链称为再制造闭环供应链。

传统的供应链决策问题属于分散式决策, 每个企业都会根据已有信息作出自己最优的决策, 但并未达到帕累托最优。企业需要相互合作以求达到整个闭环供应链系统利润最优, 而合理有效的利益协调机制将直接影响集中决策下闭环供应链的运作效率。Savaskan 等人^[1]应用博弈论分析了闭环供应链的最优渠道结构问题。王玉燕等人^[2]对基于单一制造商和单一零售商构成的闭环供应链进行了研究, 并给出了一种按系统增益比例分配的利润分享机制。随后, 王玉燕等人^[3]针对第三方回收商回收模式的闭环供应链协调问题进行了研究, 研究表明闭环供应链内部成员合作的程度越高, 通过渠道获得的利润就越大。盛方正等人^[4]研究了一个供应商和多个零售商组成

的两级供应链的合理分配效益的方法。王利等人^[5]构建了多向主从式三级供应链并定量分析了供应链下游合作利润分配机制。张云等人^[6]根据收益共享理论和 Stackelberg 主从博弈求解方法, 构建了总承包商与分包商之间的利润分配模型。

上述文献对闭环供应链的利益协调作了较为深入的研究, 但并未考虑再制造。为此, 一些学者对再制造闭环供应链的利益协调机制作了研究。包晓英等人^[7]提出一种两部收费制契约协调定价策略, 实现了再制造闭环供应链的协调; Zhou 等人^[8]运用动态定价策略使得再制造闭环供应链达到供需平衡; 魏杰等人^[9]研究模糊不确定环境下制造/再制造供应链系统的定价与协调问题。以上文献将再制造产品和新产品一起销售给消费者, 其中并未考虑到再制造产品和新产品的差异性。然而 Guide 等人^[10-12]的研究表明新产品及再制造产品的消费者支付意愿(willing to pay, WTP)存在显著差异, 对制造商的决策产生显著的影响圈, 并对闭环供应链中各决策主体有显著的影响。因此, 本文在已有文献的基础上, 考虑消费者对新产品和再制造产品的 WTP 不同, 建立了多周期再制造闭环供应链系统。首先研究了分散决策和集中决策两种情况下供应链成员的决策结果; 然后通过 shapley 值法来确定供应链成员的收益分配; 最后通过数据仿真对模型进行求解和分析, 并研究了不同 WTP 值对价格和利润的影响, 从而为供应链成员实

收稿日期: 2013-04-18; 修回日期: 2013-06-04 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71071163)

作者简介: 高阳(1943-), 男, 湖南望城人, 教授, 博导, 主要研究方向为计算机集成制造系统、物流管理等; 杨新(1988-), 男, 湖南人, 硕士研究生, 主要研究方向为再制造逆向物流网络设计(286135737@qq.com)。

施利益协调机制提供了一定的参考。

1 问题描述和模型假设

1.1 问题描述

为简单起见,本文仅考虑单一制造商 M 、单一分销商 D 和单一零售商 R 构成的再制造闭环供应链系统,其中制造商负责新产品的生产和废旧品的回收与再制造,分销商负责将产品批发给零售商,零售商负责将新产品和再制造产品销售给消费者,即制造商回收模式。

根据企业实际生产运作计划,本文考虑多周期(以两周期为例)的生产运作计划,如图1所示的两周期再制造闭环供应链^[13]。第一周期:制造商仅制造新产品并以出厂价格 w_{1S} 批发给分销商,随后零售商以价格 w_{1D} 向分销商购入新产品,最后零售商以 p_{1n} 的零售价销售给消费者且销售量为 q_{1n} ,制造商在产品生命周期末以单价 A 从消费者手中回收部分 EOL 产品。第二周期:制造商分别以新材料和回收的 EOL 产品生产新产品和再制造产品,并分别以 w_{2S} 和 w_{rS} 的出厂价批发给分销商,然后分销商以 w_{2D} 和 w_{rD} 的价格批发给零售商,最后零售商以 p_{2n} 和 p_r 的价格销售给消费者,相对应的销售量为 q_{2n} 和 q_r 。

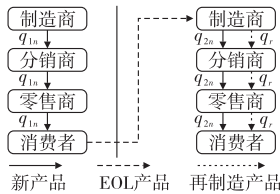


图1 两周期再制造闭环供应链模型

1.2 模型假设

为了更清楚地阐述模型,作如下假设:

a) 仅考虑单一制造商、单一分销商和单一零售商,且三者均为风险中性和完全信息,其中制造商为 Stackelberg 领导者,零售是追随者,分销商相对于制造商而言是追随者,相对于零售商而言是领导者。

b) 假定新产品的单位可变成本为 c_n ,再制造产品的单位可变成本为 c_r ,并假定 $c_n > c_r > 0$,这反映了再制造具有成本节约优势。

c) 根据文献[12]的结论:消费者对新产品和再制造产品的支付意愿(WTP)有差别,若消费者对新产品和再制造产品的 WTP 分别为 1 和 β ,客户效用在 $[0,1]$ 上的均匀分布时,其需求函数满足的替代规律为

$$p_n = 1 - q_n - \beta q_r, p_r = \beta(1 - q_n - q_r)$$

其中: $0 \leq \beta \leq 1$,表示消费者对新产品的支付意愿不会低于再制造产品。由于第一周期内仅生产新产品,而第二周期同时生产新产品和再制造产品,因此有如下需求函数:

$$p_{1n} = 1 - q_{1n}, p_{2n} = 1 - q_{2n} - \beta q_r, p_r = \beta(1 - q_{2n} - q_r)$$

d) 假定 EOL 产品的回收率为 θ , $0 \leq \theta \leq 1$,回收的产品全部用于再制造,其中没有损耗。制造商回收 EOL 的固定投资^[14]为 $I(\theta) = B\theta^2$,其中 $B > 0$ 为规模参数。

e) 由于本文未考虑政府补贴等因素,假定 $A < c_n - c_r$,即制造商对 EOL 产品的回收成本小于再制造的利润,使得制造商有动力去回收 EOL 产品。

f) 假定回收的 EOL 产品足以满足制造商生产再制造产品的需求。

2 模型分析

2.1 分散决策下的决策分析

根据前文假设,在分散式决策(D模型)条件下,供应链成员各自追求利润最大化为决策目标,制造商、分销商和零售商组成三阶段的 Stackelberg 博弈。首先零售商根据分销商的批发价格 w_{1D} 、 w_{2D} 和 w_{rD} 确定新产品和再制造产品的最优零售价格 p_{1n} 、 p_{2n} 和 p_r ,随后分销商根据零售商订货量和制造商的出厂价格来确定批发价格,最后制造商根据产品的生产成本和订货量来制定最优出厂价格 w_{1S} 、 w_{2S} 和 w_{rS} 。

由于零售商仅对新产品和再制造产品进行销售,因此零售商在两周期内的总利润 π_R^D 的最优决策问题为

$$\max_{p_{1n}, p_{2n}, p_r} \pi_R^D = (p_{1n} - w_{1D})q_{1n} + (p_{2n} - w_{2D})q_{2n} + (p_r - w_{rD})q_r$$

将 1.2 节假设 c) 中的需求函数代入上式,可得

$$\max_{p_{1n}, p_{2n}, p_r} \pi_R^D = (p_{1n} - w_{1D})(1 - p_{1n}) + (p_{2n} - w_{2D})(1 - \frac{p_{2n} - p_r}{1 - \beta}) + (p_r - w_{rD})\frac{p_r - \beta p_{2n}}{\beta(\beta - 1)} \quad (1)$$

将式(1)对 p_{1n} 、 p_{2n} 和 p_r 分别求一阶偏导数,并令其为 0,可求得零售商关于批发价格 w_{1D} 、 w_{2D} 和 w_{rD} 的反应函数:

$$p_{1n} = \frac{1 + w_{1D}}{2}, p_{2n} = \frac{1 + w_{2D}}{2}, p_r = \frac{\beta + w_{rD}}{2}$$

随后分销商根据零售商的决策来制定产品的最优批发价格,其总利润 π_D^D 可以表示为

$$\max_{w_{1D}, w_{2D}, w_{rD}} \pi_D^D = (w_{1D} - w_{1S})q_{1n} + (w_{2D} - w_{2S})q_{2n} + (w_{rD} - w_{rS})q_r \quad (2)$$

将假设 c) 中的需求函数和零售商的反应函数代入式(2),并对 w_{1D} 、 w_{2D} 和 w_{rD} 分别求一阶偏导数并令其为 0,可得分销商关于出厂价格 w_{1S} 、 w_{2S} 和 w_{rS} 的反应函数:

$$w_{1D} = \frac{1 + w_{1S}}{2}, w_{2D} = \frac{1 + w_{2S}}{2}, w_{rD} = \frac{\beta + w_{rS}}{2}$$

最后制造商根据分销商的决策进行新产品的生产和 EOL 产品的回收及再制造,其总利润 π_M^D 可以表示为

$$\max_{w_{1S}, w_{2S}, w_{rS}, \theta} \pi_M^D = (w_{1S} - c_n)q_{1n} + (w_{2S} - c_n)q_{2n} + (w_{rS} - c_r)q_r - B\theta^2 - A\theta q_{1n} \quad (3)$$

同理,将假设 c) 中的需求函数和分销商的反应函数代入式(3),并对 w_{1S} 、 w_{2S} 、 w_{rS} 和 θ 分别求一阶偏导数,并令其为 0,可得

$$w_{1S}^* = \frac{A^2 - 8B(1 + c_n)}{A^2 - 16B}, w_{2S}^* = \frac{1 + c_n}{2}, w_{rS}^* = \frac{\beta + c_r}{2}, \theta^* = \frac{(1 - c_n)A}{A^2 - 16B}$$

将上式代入分销商反应函数中,可得

$$w_{1D}^* = \frac{1}{2} + \frac{A^2 - 8B(1 + c_n)}{2(A^2 - 16B)}, w_{2D}^* = \frac{3 + c_n}{4}, w_{rD}^* = \frac{3\beta + c_r}{4}$$

同理,将上式代入零售商反应函数中,可得

$$p_{1n} = \frac{3}{4} + \frac{A^2 - 8B(1 + c_n)}{4(A^2 - 16B)}, p_{2n} = \frac{7 + c_n}{8}, p_r = \frac{7\beta + c_r}{8}$$

进一步可得制造商、分销商、零售商和整个再制造闭环供应链系统的利润为

$$\begin{aligned} \pi_M^D &= \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{16\beta(1 - \beta)} + \frac{(1 - c_n)^2}{16} - \frac{B(1 - c_n)^2}{A^2 - 16B} \\ \pi_D^D &= \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{32\beta(1 - \beta)} + \frac{(1 - c_n)^2}{32} + \frac{8B^2(1 - c_n)^2}{(A^2 - 16B)^2} \\ \pi_R^D &= \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{64\beta(1 - \beta)} + \frac{(1 - c_n)^2}{64} + \frac{4B^2(1 - c_n)^2}{(A^2 - 16B)^2} \end{aligned}$$

$$\pi_T^{D*} = \frac{7(\beta c_n - c_r)^2}{64\beta(1-\beta)} + \frac{7(1-c_n)^2}{64} - \frac{(A^2 - 28B)B(1-c_n)^2}{(A^2 - 16B)^2} \quad (4)$$

2.2 集中决策下的决策分析

在分散决策的情况下,供应链成员只追求自身利润的最大化,但不一定使得整个供应链达到利润最大。在集中决策(C模型)下,制造商、分销商和零售商作为一个整体来决策,以求达到再制造闭环供应链利润总和 π^C 最大化的决策目标。在这种情况下,决策问题可表示为

$$\max_{p_{1n}, p_{2n}, p_r, \theta} \pi_T^C = (p_{1n} - c_n)q_{1n} + (p_{2n} - c_n)q_{2n} + (p_r - c_r)q_r - B\theta^2 - A\theta q_{1n} \quad (5)$$

将假设 c) 中的需求函数代入式(5),并对 p_{1n} 、 p_{2n} 、 p_r 和 θ 分别求一阶偏导数,并令其为0,可得

$$p_{1n}^{C*} = \frac{A^2 - 2B(1+c_n)}{A^2 - 4B}, p_{2n}^{C*} = \frac{1+c_n}{2}$$

$$p_r^{C*} = \frac{\beta + c_r}{2}, \theta^{C*} = \frac{A(1-c_n)}{A^2 - 4B}$$

将上式代入式(5)可得整个再制造闭环供应链的利润为

$$\pi_T^{C*} = \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{4\beta(1-\beta)} + \frac{(1-c_n)^2}{4} - \frac{B(1-c_n)^2}{A^2 - 4B} \quad (6)$$

2.3 利益协调机制

在集中决策中,需要设计一个合理有效的利益协调机制使得供应链中的每个成员都能够接受。由于 shapley 值法拥有必定存在且唯一的解又易于量化计算的特点,是一个在博弈学、经济学和其他社会学科上最被广泛使用的方法。本文将采取 shapley 值法对再制造闭环供应链的利润进行合理的分配。

设合作对策 $\eta = (N, v)$ 。其中: $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 表示参与人的集合, n 为整数,表示参与人的个数, S 是 N 的子集,表示参与人之间的联盟,即 $S \subseteq N$; v 是 N 中每个联盟 S 想对应的特征函数, $v(S)$ 表示联盟 S 中成员合作所能得到的效用,而 $v(S/i)$ 则表示合作 S 下除去成员 i 可取得的效用,则合作 N 下各参与人所得效用分配的 shapley 值为

$$\psi_i(v) = \sum_{S \subseteq N, i \in S} \gamma_n(s) (v(S) - v(S/i)) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中: $\gamma_n(s) = ((s-1)!(n-s)!)/n!$, $\psi_i(v)$ 表示合作 N 下 i 成员所得的效用。

本文博弈模型中 $n = 3$,其中制造商参与的联盟有 $\{M\}$, $\{M, D\}$, $\{M, D, R\}$, 分销商参与的联盟有 $\{D\}$, $\{M, D\}$, $\{D, R\}$, $\{M, D, R\}$, 零售商参与的联盟有 $\{R\}$, $\{D, R\}$, $\{M, D, R\}$ 。由于制造商 M 和零售商 R 不能单独组成联盟,因此 $v(\{M, R\})$ 为制造商 M 和零售商 R 在分散决策下的总收益。分散决策和集中决策的决策已在前文讨论,下面对制造商与分销商联盟和分销商与零售商联盟时的决策进行分析。

2.3.1 制造商与分销商联盟

在此情况下,零售商确定新产品和再制造产品的最优零售价和订货量,而后制造商和分销商通过集中决策的方式来确定产品的最优批发价格。零售商和联盟 MD 的利润分别为

$$\max_{p_{1n}, p_{2n}, p_r} \pi_R^{A1} = (p_{1n} - w_{1S})q_{1n} + (p_{2n} - w_{2S})q_{2n} + (p_r - w_{rS})q_r \quad (7)$$

$$\max_{w_{1S}, w_{2S}, w_{rS}, \theta} \pi_{MD}^{A1} = (w_{1S} - c_n)q_{1n} + (w_{2S} - c_n)q_{2n} + (w_{rS} - c_r)q_r - B\theta^2 - A\theta q_{1n} \quad (8)$$

同理,根据推导可得零售商和联盟 MD 的最优利润为

$$\pi_R^{A1} = \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{16\beta(1-\beta)} + \frac{(1-c_n)^2}{16} + \frac{4B^2(1-c_n)^2}{(A^2 - 8B)^2}$$

$$\pi_{MD}^{A1} = \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{8\beta(1-\beta)} + \frac{(1-c_n)^2}{8} - \frac{B(1-c_n)^2}{A^2 - 8B} \quad (9)$$

2.3.2 分销商与零售商联盟

在此情况下,分销商和零售商通过集中决策确定新产品和再制造产品的最优订货量,而后制造商根据分销商与零售商联盟的决策来确定产品的最优出厂价格。制造商和联盟 DR 的利润分别为

$$\max_{p_{1n}, p_{2n}, p_r} \pi_{DR}^{A2} = (p_{1n} - w_{1S})q_{1n} + (p_{2n} - w_{2S})q_{2n} + (p_r - w_{rS})q_r \quad (10)$$

$$\max_{w_{1S}, w_{2S}, w_{rS}, \theta} \pi_M^{A2} = (w_{1S} - c_n)q_{1n} + (w_{2S} - c_n)q_{2n} + (w_{rS} - c_r)q_r - B\theta^2 - A\theta q_{1n} \quad (11)$$

同理,可求得制造商和联盟 DR 的最优利润为

$$\pi_{DR}^{A2} = \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{16\beta(1-\beta)} + \frac{(1-c_n)^2}{16} + \frac{4B^2(1-c_n)^2}{(A^2 - 8B)^2}$$

$$\pi_M^{A2} = \frac{(\beta c_n - c_r)^2}{8\beta(1-\beta)} + \frac{(1-c_n)^2}{8} - \frac{B(1-c_n)^2}{A^2 - 8B} \quad (12)$$

根据上述讨论的结果,可得联盟 S 的特征值为

$$\begin{cases} v(\{\Phi\}) = 0, v(\{M\}) = \pi_M^D, v(\{D\}) = \pi_D^D \\ v(\{R\}) = \pi_R^D, v(\{M, D\}) = \pi_{MD}^{A1}, v(\{M, R\}) = \pi_M^D + \pi_R^D \\ v(\{D, R\}) = \pi_{DR}^{A2}, v(\{M, D, R\}) = \pi_T^C \end{cases}$$

由此,可以根据 shapley 值计算出制造商、分销商和零售商的 shapley 值,也就是在利益协调机制下每个供应链成员应该分配得到的利润。

3 仿真数值分析

下面以算例对前文所建模型及求解算法进行数值分析。首先利用数值仿真求出模型的最优解,然后分析制造商利润、分销商利润和消费者利润与各决策变量随 β 变动而变化的规律。各参数分别赋值如下: $\beta = 0.7$, $c_n = 10$, $c_r = 3$, $A = 1$, $B = 5$ 。通过计算,可以得到各情况下供应链成员的决策结果,如表1~4所示。

表1 不联盟(分散决策)

p_{1n}	p_{2n}	p_r	w_{1D}	w_{2D}	w_{rD}	w_{1S}
1.464	2.125	0.988	2.829	3.25	1.275	5.557
w_{2S}	w_{rS}	θ	π_R^D	π_D^D	π_M^D	π_T^D
5.5	1.85	0.114	3.754	7.508	14.951	26.213

表2 制造商和分销商联盟

p_{1n}	p_{2n}	p_r	w_{1S}	w_{2S}
3.308	3.25	1.275	5.615	5.5
w_{rS}	θ	π_R^{A1}	π_{MD}^{A1}	π_T^{A1}
1.85	0.231	15.15	30.033	45.183

表3 分销商和零售商联盟

p_{1n}	p_{2n}	p_r	w_{1S}	w_{2S}
3.308	3.25	1.275	5.615	5.5
w_{rS}	θ	π_M^{A2}	π_{DR}^{A2}	π_T^{A2}
1.85	0.231	30.033	15.15	45.183

表4 制造商、分销商和零售商大联盟(集中决策)

p_{1n}	p_{2n}	p_r	θ	π_T^C
5.738	5.5	1.85	0.474	60.614

由表1~4可以看出,分散决策下再制造闭环供应链的系统效益小于集中决策下的效益,未达到帕累托最优,利润损失了56.8%;集中决策下大大地提高了产品的回收率,符合了可

持续发展的要求。

另外,假设再制造闭环供应链中去除分销商这个成员(即由三级供应链转变为制造商和零售商组成的二级供应链),表2和3将表示制造商和零售商在分散决策下的决策结果。可以看出,此决策情况下,与三级供应链下制造商和零售商的利润相比,二级供应链下的制造商和零售商利润都得到了很大的提高。因此,在实际运作中,应努力减少供应链的中间商(如分销商),以确保其他供应链成员的利益。

根据 shapley 值公式计算制造商、分销商和零售商的 shapley 值,即每个企业在集中决策下应分配得到的利润,如表5所示。

表5 制造商、分销商和零售商的 shapley 值

$\psi_M(v)$	$\psi_D(v)$	$\psi_R(v)$
26.385	20.884	13.345

从表5可以看出,通过 shapley 值法对集中决策下的系统利润进行分配,供应链各成员的收益比分散决策下的收益要大,有利于供应链中的每个参与者接受该利益协调机制。

参数 β 对利润的影响如图2所示。由图2可以看出,当 $\beta c_n > c_r$ 时,再制造闭环供应链成员利润随着 β 值的增大而增大;当 $\beta c_n < c_r$ 时,再制造闭环供应链成员利润随着 β 值的增大而减小。

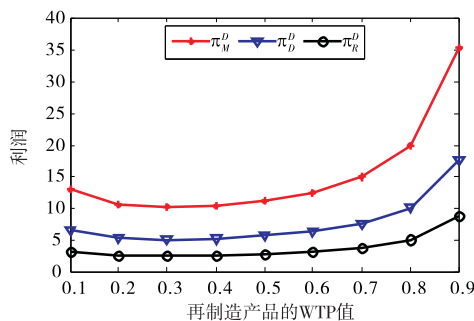


图2 参数 β 对利润的影响

4 结束语

本文在基于消费者对新产品和再制造产品有差异的条件下,以多周期再制造闭环供应链为研究对象,分别研究了分散决策和集中决策两种情况下供应链成员的最优决策,并通过 shapley 值法对集中决策下的整个再制造闭环供应链系统的效益进行分配。研究表明,集中决策比分散决策更有效率,达到了帕累托最优,中间商的减少能有效提高其他供应链成员

的效益,基于 shapley 值法的利益协调机制有利于再制造闭环供应链中的每个成员接受。

本文还有许多有待进一步扩展的地方,如本文仅考虑制造商、分销商和零售商的闭环供应链系统,如何扩展为更符合实际的多级供应链系统值得下一步继续研究;此外,本文考虑了消费者对所有再制造产品共享一个 β 值,其变化规律相同,然而事实上消费者对不同的再制造产品具有不同的偏好,其 β 值不同,这也有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] SAVASKAN R, BHATTACHARYA S, WASSENHOVEL N V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239-252.
- [2] 王玉燕,李帮义,申亮. 供应链、逆向供应链系统的定价策略模型[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(4): 40-45.
- [3] 王玉燕,李帮义,申亮. TPT-CLSC 的协调研究[J]. *中国管理科学*, 2007, 15(5): 101-106.
- [4] 盛方正,李建华. 供应链信息共享效益分配及实证研究[J]. *系统工程与电子技术*, 2008, 30(3): 485-488.
- [5] 王利,彭亮,孟庆良. 三级供应链合作利润博弈与分配机制构建[J]. *运筹与管理*, 2010, 19(5): 59-65.
- [6] 张云,吕萍,宋吟秋. 总承包工程建设供应链利润分配模型研究[J]. *中国管理科学*, 2011, 19(4): 98-104.
- [7] 包晓英,唐志英,唐小我. 基于回收再制造的闭环供应链差异定价策略及协调[J]. *系统管理学报*, 2010, 19(5): 65-69.
- [8] ZHOU S X, YU Yi-kun. Optimal product acquisition, pricing, and inventory management for systems with remanufacturing [J]. *Operations Research*, 2011, 59(2): 514-521.
- [9] 魏杰,赵静. 不确定环境下制造再制造供应链定价与协调问题研究[J]. *模糊系统与数学*, 2012, 26(2): 18-22.
- [10] GUIDE V D R, JI Jia-yi. The potential for cannibalization of new products sales by remanufactured products [J]. *Decision Sciences*, 2010, 41(3): 547-573.
- [11] FERRER G, SWAMINATHAN J M. Managing new and differentiated remanufactured products [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 203(2): 370-379.
- [12] JOAO Q, JACQUELINE B. An analysis of the eco-efficiency of remanufactured personal computers and mobile phones [J]. *Production and Operations Management*, 2012, 21(1): 101-114.
- [13] 孙浩,达庆利. 基于产品差异的再制造闭环供应链定价与协调研究[J]. *管理学报*, 2010, 7(5): 733-738.
- [14] ZHAO Zhao. Raising awareness and signaling quality to uninformed consumers: a price advertising model [J]. *Marketing Science*, 2000, 19(4): 390-396.

(上接第363页)

4 结束语

针对标准粒子群优化算法较易出现早熟收敛、收敛精度不高及搜索后期的振荡现象,提出一种随机惯性权重的简化粒子群优化算法。该算法采用去除速度项的简化结构,惯性权重服从随机分布,学习因子采用异步变化的策略。仿真实验表明,该算法在优化复杂的多峰函数时,比起几种典型的改进算法具有更好的收敛性能(搜索速度快、收敛精度高),同时通过对实验结果数据进行 F-检验的结果表明,所提算法具有更好的稳定性。

参考文献:

- [1] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization [C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995: 1942-1948.

- [2] LEU M S, YEH M F. Grey particle swarm optimizer [J]. *Applied Soft Computing*, 2012, 12(9): 2985-2996.
- [3] 胡旺,李志蜀. 一种更简化而高效的粒子群优化算法[J]. *软件学报*, 2007, 18(4): 861-868.
- [4] 赵志刚,张振文,张福刚. 自适应扩展的简化粒子群优化算法[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(18): 45-47.
- [5] 王庆国,颜文俊,姚维. 基于改进粒子群算法的电厂循环水泵组合优化[J]. *热力发电*, 2010, 39(7): 65-68.
- [6] 魏秀业,潘宏侠. 粒子群优化及智能故障诊断[M]. 北京:国防工业出版社, 2010.
- [7] SHI Yu-hui, EBERHART R. A modified particle swarm optimizer [C]//Proc of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1998: 69-73.
- [8] 纪震,廖惠连,吴青华. 粒子群算法及应用[M]. 北京:科学出版社, 2009: 87-98.