

大数据服务商参与的三级供应链动态合作策略及其比较

吴成霞, 赵道致, 潘新宇

(天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 针对大数据时代的特定背景, 基于动态微分博弈理论建立零售商支付契约、联合支付契约和合作契约模式下的三级供应链营销合作策略模型. 分别求得3种模式下达到均衡状态的质量努力水平、营销努力水平、消费者转化率和联合支付契约下分摊比例, 进而对3种模式进行比较, 并将合作契约拓展到零售商销售成本为变量的情况进行讨论. 在此基础上讨论参数变化对供应链系统利润的影响, 并运用算例分析验证模型的有效性和可信性.

关键词: 大数据服务商; 三级供应链; 大数据营销; 动态微分博弈

中图分类号: TP274

文献标志码: A

Comparison on dynamic cooperation strategies of a three-echelon supply chain involving big data service provider

WU Cheng-xia, ZHAO Dao-zhi, PAN Xin-yu

(College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China. Correspondent: WU Cheng-xia, E-mail: wucxhappy@126.com)

Abstract: The dynamic cooperation strategy model of a three echelon supply chain is built based on the theory of differential game in the mode of retailer payment contract, joint payment contract and cooperation contract respectively with the involvement of big data service provider in this specific big data era. And the quality effort, marketing effort, consumer conversion and apportionment for the joint payment contract under these three modes are calculated. After comparing these three models, the cooperation contract is extended to a new situation where the retailer's cost of sales is variable. The impacts of exogenous parameters on the supply chain profits are discussed, and numerical examples are used to illustrate the effectiveness and credibility of the models.

Keywords: big data service provider; three-echelon supply chain; big data driven marketing; dynamic differential game

0 引言

随着新型社交网络、移动设备的出现和云计算、物联网技术的兴起, 数据正以前所未有的速度增长和累积, 人类进入了大数据时代^[1]. 大数据的出现催生了一些经营大数据相关业务的企业: 拥有海量数据的Twitter将其数据授权给别的公司使用并从中获益; 曾为沃尔玛提供营销新创意的天睿公司是全球领先的专注于大数据分析业务的供应商, 为各类企业提供专业的咨询服务; 亚马逊公司拥有高质量用户数据和巨大的网站流量, 强大的数据优势和先进的信息处理技术能够为自身的产品营销与服务提供科学的决策; 美国GoodData是基于云的数据分析服务公司, 它主要为企业客户服务, 为营销人员提供在线营销活动的深度分析报告, 并提供数据存储、性能报告、数据分析

等工具^[2]. 这些公司运营着大数据相关的业务, 为自身或者其他企业提供服务, 本文将这种具有新型功能的企业称为大数据服务商. 可以预见的是, 大数据服务商参与到供应链, 势必引发供应链结构的改变和交易关系的复杂化, 在此背景下研究大数据服务商参与的三级供应链动态合作策略具有重要的实践意义和管理意义.

大数据服务商已成功将大数据运用到营销领域^[3]. 在大数据时代, 可以根据用户的行为轨迹(社交网站发布的信息、各种银行卡消费记录、网页浏览cookie记录、GPS位置数据)等内容预测和理解用户的需求, 进而判定用户是否属于该产品的潜在消费群体或对潜在消费者进行实时营销, 以便于提高其转化率^[4]. 潜在消费者转化率受到大数据营销力度的直

收稿日期: 2015-06-03; **修回日期:** 2015-10-29.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71472134).

作者简介: 吴成霞(1986—), 女, 博士生, 从事运营管理、供应链管理的研究; 赵道致(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理、运营管理、工业工程学研究.

接影响,反过来,潜在消费者转化率又影响产品需求量,进而影响供应链的绩效.如 Assunção 等^[5]的研究显示,利用大数据技术已成为获取竞争优势的主要途径,能够快速准确地获得信息的企业能够得到更多的顾客,增加单位收益,提高运营效率. Michaelidou 等^[6]的研究显示,电商通过进行大数据营销,可以有效吸引新顾客并有利于维护客户关系,从而提高运营效率. Sundsøy 等^[7]采用实证研究的方法验证了在移动网络运营中,通过利用大数据技术驱动的营销手段能够提高潜在消费者的转化率,增加消费者数量.然而,上述文献仅研究了大数据营销对单个企业的影响,鲜有文献将大数据服务商作为一个独立的供应链成员来研究大数据营销对整体供应链运营的影响以及供应链动态优化的问题.

与经典的动态广告投入问题类似,本文也涉及到大数据营销动态优化与合作策略.经典的广告投入问题主要侧重于广告的动态最优控制模型,如 Vidale 等^[8]首次提出了广告销量模型,该模型反映企业广告投入和市场份额的动态关系, Sethi^[9]在此基础上对模型进行了非线性和随机扩展,随后一些学者对此问题进行了大量的研究^[10-12]. Nerlove 等^[13]首次提出了商誉模型,认为企业的广告投入有利于企业商誉的增加.随后不断有学者在此基础上进行了研究扩展^[14], Burato 等^[15]构建了一种更为一般化的商誉模型,在给出最优广告投入路径的同时,可以实现对新产品引入时间的优化. Nair 等^[16]在商誉模型中加入了质量影响商誉项. 聂佳佳等^[17]利用商誉模型研究了广告影响需求下的垄断企业的定价问题. Grosset 等^[18]在商誉模型中考虑了广告投入对企业的商誉可能会产生负面作用的情况,研究显示当广告投入对商誉的负面作用较大时,不存在最优广告投入路径.上述研究主要侧重于讨论不同情形下,最优广告投入水平和企业最优利润的问题,尚未从供应链运营的视角同时考虑质量和广告投入对产品营销的影响.

值得一提的是,已有学者开始关注供应链框架下的动态营销优化问题.如, Chutani 等^[19]基于动态微分博弈模型研究了一个制造商和两个竞争性零售商构成的供应链系统实施联合营销的问题,制造商作为供应链中的领导者,两个独立的零售商作为博弈的跟随者. 吕芹等^[20]考虑了一个零售商同时出售两类具有竞争性产品的营销渠道,并采用微分博弈方法求得制造商为主导者,零售商为跟随者时的最优反馈均衡解. Huo 等^[21]在同时考虑质量投入和广告投入的基础上,引入了价格因素的影响,构建了动态微分博弈模型,给出了纳什均衡的最优解,并设计了上下游协调的契约.然而,已有文献大都集中于两级供应链之间的博

弈关系,由于经典广告问题中并不存在大数据服务商,鲜有涉及三级供应链动态营销合作策略的问题.

鉴于此,在大数据时代的特定背景下,将大数据服务商引入到供应链中,研究三级供应链的动态优化问题具有重要意义.本文借鉴经典的广告销售量模型和广告商誉模型^[8-13],针对大数据营销背景构建消费者转化率模型,设定转化率为状态变量,假定消费者转化率受制造商质量投入和大数据服务商营销投入的双重影响,分别研究了零售商支付契约、联合支付契约及合作契约3种模式下各个企业决策水平以及利润值随时间的变化轨迹,并在此基础上将合作契约拓展到零售商销售成本为变量的情况进行讨论.最后运用算例分析验证了模型的有效性和可信性.

本文要解决的管理学问题是:大数据服务商参与下,大数据营销对企业有哪些影响?供应链成员企业如何选择运营模式?将文献[20]关于两阶段供应链框架下的动态营销问题拓展到大数据公司参与的三级供应链,并考虑到销售成本变化对营销策略和运营模式的影响,这也是对文献[22]的补充.

1 问题描述及符号说明

1.1 问题描述

在现实的市场环境中,考虑到大数据技术服务商已广泛存在^[2],本文假定如下情境,由制造商-大数据服务商-零售商共同组成供应链系统,生产销售一种固定生命周期的产品,制造商作为供应链的领导者,通过投入努力提升产品质量,专业的大数据服务商以其明显的技术和成本优势吸引零售商购买其服务,大数据服务商通过投入努力提升潜在消费者的转化率,供应链成员均以利润最大化为原则进行决策.供应链结构如图1所示,虚线代表大数据营销服务流,大数据服务商面向制造商和零售商提供服务来吸引消费者,实线代表产品流.

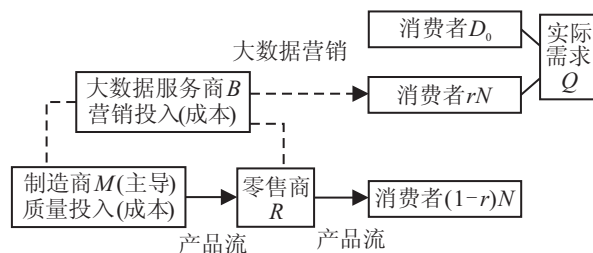


图1 大数据服务商参与的三级供应链结构

1.2 符号说明

π_M 和 π_R 分别表示制造商和零售商的边际利润; $F_B(t)$ 表示 t 时刻大数据服务商投入大数据营销的努力水平,为控制变量; $F_M(t)$ 表示 t 时刻制造商投入产品质量的努力水平,为控制变量; $r(t)$ 表示 t 时刻潜在消费者转化为实际消费者的转化率,依赖于制造商

和大数据服务商的努力程度, 为状态变量; $J_T^{D*}(r)$ 、 $J_T^{O*}(r)$ 、 $J_T^{C*}(r)$ 分别表示不同模式下供应链系统的总利润。

1.3 基本假设

1) 考虑到产品质量投入成本具有凸性特征, 参考文献[23-24]的研究, 将其努力水平投入作为一次性投入, 不受产量的影响, 设为二次函数形式, 即

$$C_M(F_M(t)) = \frac{1}{2}\eta_M F_M(t)^2,$$

其中 $\eta_M > 0$, 表示制造商质量投入成本系数。

2) 大数据服务商的大数据营销投入成本也具有凸性特征, 将其努力水平投入作为一次性投入, 不受产量的影响^[11], 同样假设为二次函数

$$C_B(F_B(t)) = \frac{1}{2}\eta_B F_B(t)^2,$$

其中 $\eta_B > 0$, 表示大数据服务商营销投入的成本系数。

3) 产品市场较为成熟, 制造商的边际生产成本及其给予零售商的批发价格均为常量, 即 π_M 为常量, 同时产品的零售价格也均为确定的常量。

4) 大数据服务商投入的营销努力水平能够提升潜在消费者的转化率, 同时制造商对产品质量投入的努力水平也是促使潜在消费者进行产品购买的重要因素^[16]。若大数据服务商不进行营销投入, 则随着时间变化, 市场竞争加剧, 潜在消费者可能转向其他产品, 从而导致转化率衰减。因此, 从长期视角来看, 消费者转化率是一个动态变化的量, 可以表示为

$$\dot{r}(t) = \alpha F_B(t) + \beta F_M(t) - \delta r(t). \quad (1)$$

其中: $r(t)$ 为 t 时刻潜在消费者的转化率, $0 \leq r(t) \leq 1$, 初始转化率 $0 \leq r(0) = r_0 \leq 1$; $\alpha > 0$ 为大数据服务商的营销努力水平对潜在消费者转化率的影响系数; $\beta > 0$ 为制造商的质量努力水平对产品潜在消费者转化率的影响系数; $\delta > 0$ 为转化率的衰减系数。

5) 将消费者分为独立的两类^[25]: 一类是已知信息消费者 (IC), 该类别消费者主动了解产品相关信息并主动购买产品, 如小米手机“发烧友”; 一类是未知信息消费者 (UC), 又称潜在消费者, 此类型不会自发购买产品, 需要大数据营销对其进行识别, 并诱导其消费, 帮其完成潜在消费者到消费者的转化。本文假定已知信息消费者单位时间内的需求量稳定, 用常数 D_0 表示。为便于处理, 用 N 表示单位时间内识别出的潜在消费者数量, 且 N 为常数。进一步, 价格对消费者需求的影响微乎其微, 不再考虑价格因素对产品需求量的影响 (如小米智能手机定期推出同类新产品, 发行价格均保持相对稳定)。每个消费者只能购买一单位产品, 且不考虑退货, $r(t)$ 表示潜在消费者的转化率, $r(t)N$ 表示单位时间增加的实际消费者的数量,

因此假定需求函数具有如下形式:

$$Q(r(t), t) = D_0 + r(t)N. \quad (2)$$

6) 本文研究一个长期过程, 需将未来收益转化为当前价值的折扣率, 便于供应链成员以当前利益最大化为准则进行决策。设制造商、零售商、大数据服务提供商具有相同的贴现率 $\rho > 0$, 目标均在无限区间内寻求自身利润最大化。

7) 制造商和零售商向大数据服务商订购大数据营销业务, 设制造商对订购费用的分摊比例为 $\chi(t)$, 且 $0 \leq \chi(t) \leq 1$ 。本文所研究的供应链系统包括一个制造商、一个零售商和一个大数据服务提供商, 供应链成员均为风险中性和完全理性, 供应链上的信息完全对称。

2 模型分析

本节仅研究制造商作为供应链主导企业的情形, 制造商在供应链成员合作营销中充当领导者角色, 而零售商和大数据服务商作为博弈的跟随者, 从动态角度分别研究3种模式下大数据服务商参与的三级供应链的最优决策水平和利润值随时间的变化轨迹。

2.1 零售商支付契约 (D 模式)

零售商支付契约的情形下, 由零售商独立订购大数据服务商的营销服务时, 供应链成员以各自利润最大化为原则进行分散决策。本节的博弈过程分为3个阶段: 1) 制造商作为博弈的领导者, 首先决策其不同时刻的质量努力水平 F_M ; 2) 零售商针对制造商的决策水平确定支付水平 m ; 3) 大数据服务商在获知两者的决策性信息后, 决策努力水平 F_B 。

制造商的目标函数为

$$\max_{F_M} J_M^D = \int_0^\infty e^{-\rho t} [\pi_M Q(t) - C_M(F_M(t))] dt, \quad (3)$$

零售商的目标函数为

$$\max_m J_R^D = \int_0^\infty e^{-\rho t} [\pi_R Q(t) - m F_B(t)] dt, \quad (4)$$

大数据服务商的目标函数为

$$\max_{F_B} J_B^D = \int_0^\infty e^{-\rho t} [m F_B(t) - C_B(F_B(t))] dt. \quad (5)$$

定理1 零售商支付契约情形下, 当零售商独立订购大数据服务商的营销服务时, 有:

1) 供应链系统各参与方的最优反馈均衡策略分别为 $(F_M^{D*}, F_B^{D*}, m^{D*})$;

2) 产品潜在消费者转化率的最优轨迹为

$$r^{D*}(t) = \xi - (\xi - r_0)e^{-\delta t};$$

3) 制造商、零售商和大数据服务商的利润最优值函数为

$$J_M^{D*}(r) = e^{-\rho t} V_M^{D*}(r),$$

$$J_R^{D*}(r) = e^{-\rho t} V_R^{D*}(r),$$

$$J_B^{D*}(r) = e^{-\rho t} V_B^{D*}(r),$$

$$\text{其中 } \xi = \frac{\alpha^2 \pi_R N}{2\delta \eta_B (\rho + \delta)} + \frac{\beta^2 \pi_M N}{\delta \eta_M (\rho + \delta)}.$$

证明 采用逆向归纳法进行求解, 首先求解零售商的决策. 由式(5)可知, 记 t 时刻之后大数据服务商的总利润当值最优值函数为

$$V(r)_B^D = \max_{F_B} \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \left(m F_B - \frac{\eta_B}{2} F_B^2 \right) d\tau, \quad (6)$$

记 t 时刻之后大数据服务商的总利润现值最优值函数为

$$J_B^D(r) = e^{-\rho t} V_B^D(r), \quad (7)$$

则 $V(r)_B^D$ 对于所有的 $r \geq 0$ 必须满足如下 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程:

$$\rho V_B^D(r) = \max_{F_B \geq 0} \left(m F_B - \frac{\eta_B}{2} F_B^2 \right). \quad (8)$$

式(8)最大化的一阶条件为

$$F_B = \frac{m}{\eta_B}. \quad (9)$$

记 t 时刻之后零售商的总利润当值最优值函数为

$$V_R^D(r) = \max_m \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} [\pi_R (D_0 + rN) - m F_B] d\tau, \quad (10)$$

记 t 时刻之后零售商的总利润现值最优值函数为

$$J_R^D(r) = e^{-\rho t} V_R^D(r), \quad (11)$$

则 $V(r)_R^D$ 对于所有的 $r \geq 0$ 必须满足如下 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程:

$$\rho V_R^D(r) = \max_m [\pi_R (D_0 + rN) - m F_B + V_R^{D'}(r) (\alpha F_B + \beta F_M - \delta r)]. \quad (12)$$

将式(9)代入(12)整理, 并求得式(12)最大化的一阶条件为

$$m = \frac{V_R^{D'} \alpha}{2}. \quad (13)$$

令 t 时刻之后制造商的总利润当值最优值函数为

$$V_M^D(r) = \max_{F_M} \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \left[\pi_M (D_0 + rN) - \frac{\eta_M}{2} F_M^2 \right] d\tau, \quad (14)$$

t 时刻之后制造商的总利润现值最优值函数为

$$J_M^D(r) = e^{-\rho t} V_M^D(r), \quad (15)$$

则 $V(r)_R^D$ 对于所有的 $r \geq 0$ 必须满足如下 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程:

$$\begin{aligned} \rho V_M^D(r) = & \max_{F_M} [\pi_M (D_0 + rN) - \frac{\eta_M}{2} F_M^2 + \\ & V_M^{D'}(r) (\alpha F_B + \beta F_M - \delta r)]. \end{aligned} \quad (16)$$

式(16)最大化的一阶条件为

$$F_M = \frac{\beta V_M^{D'}}{\eta_M}. \quad (17)$$

将 (F_M, F_R, m) 代入式(8)、(12)和(16), 可得

$$\begin{aligned} \rho V_M^D(r) = & (\pi_M N - V_M^{D'}(r) \delta) r + \pi_M D_0 + \\ & \frac{\beta^2 (V_M^{D'}(r))^2}{2\eta_M} + \frac{\alpha^2 V_R^{D'}(r) V_M^{D'}(r)}{2\eta_B}, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \rho V_R^D(r) = & (\pi_R N - V_R^{D'}(r) \delta) r + \pi_R D_0 + \\ & \frac{\beta^2 V_M^{D'}(r) V_R^{D'}(r)}{\eta_M} + \frac{\alpha^2 (V_R^{D'}(r))^2}{4\eta_B}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\rho V_B^D(r) = \frac{\alpha^2 (V_R^{D'}(r))^2}{8\eta_B}. \quad (20)$$

注意到微分方程(18)和(19)的阶数特点, 推测线性函数是 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程的解. 令

$$V_M^D(r) = a_1 r + b_1, \quad V_R^D(r) = a_2 r + b_2, \quad (21)$$

其中 a_1, b_1, a_2 和 b_2 为常数. 由式(21)分别求关于 r 的一阶导数, 可得

$$V_M^{D'}(r) = a_1, \quad V_R^{D'}(r) = a_2. \quad (22)$$

将式(21)和(22)代入(18)和(19), 得到

$$\begin{aligned} \rho(a_1 r + b_1) = & (\pi_M N - a_1 \delta) r + \pi_M D_0 + \frac{\beta^2 (a_1)^2}{2\eta_M} + \frac{\alpha^2 a_1 a_2}{2\eta_B}, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \rho(a_2 r + b_2) = & (\pi_R N - a_2 \delta) r + \pi_R D_0 + \frac{\beta^2 a_1 a_2}{\eta_M} + \frac{\alpha^2 (a_2)^2}{4\eta_B}. \end{aligned} \quad (24)$$

进而可以求得

$$\begin{aligned} a_1 = & \frac{\pi_M N}{\rho + \delta}, \quad a_2 = \frac{\pi_R N}{\rho + \delta}, \\ b_1 = & \frac{\pi_M D_0}{\rho} + \frac{\beta^2 (\pi_M N)^2}{2\rho \eta_M (\rho + \delta)^2} + \frac{\alpha^2 N^2 \pi_M \pi_R}{2\rho \eta_B (\rho + \delta)^2}, \\ b_2 = & \frac{\pi_R D_0}{\rho} + \frac{\beta^2 N^2 \pi_M \pi_R}{\rho \eta_M (\rho + \delta)^2} + \frac{\alpha^2 (\pi_R N)^2}{4\rho \eta_B (\rho + \delta)^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

将式(25)代入(9)、(13)和(17), 求出最优决策 $(F_M^{D*}, F_B^{D*}, m^{D*})$. 将 a_1, b_1, a_2 和 b_2 代入式(8)、(12)和(16), 得到供应链成员的最优当值价值函数分别为 $V_M^{D*}(r), V_R^{D*}(r), V_B^{D*}(r)$. 将上述最优当值价值函数代入式(7)、(11)和(15), 求得最优现值价值函数 $J_M^{D*}(r), J_R^{D*}(r), J_B^{D*}(r)$. 此时, 将 $V_B^{D*}(r)$ 代入状态方程(1)中, 解得产品潜在消费者转化率的最优轨迹为 $r^{D*}(t)$. \square

2.2 联合支付契约(O 模式)

考虑制造商与零售商共同面向大数据服务商订购营销服务的情形, 此时仍为分散决策情形. 博弈过程分为3个阶段: 第1阶段制造商作为博弈的领导者, 首先决策其不同时刻的努力水平 F_M 和分摊比例 χ ; 第2阶段零售商针对制造商的决策水平确定支付水

平 m ; 第3阶段大数据服务商在获知两者的决策性信息后, 决策努力水平 F_B .

制造商的目标函数为

$$\max_{F_M, \chi} J_M^O = \int_0^\infty e^{-\rho t} [\pi_M Q(t) - C_M(F_M(t)) - m\chi(F_B(t))] dt, \quad (26)$$

零售商的目标函数为

$$\max_m J_R^O = \int_0^\infty e^{-\rho t} [\pi_R Q(t) - (1 - \chi)m(F_B(t))] dt, \quad (27)$$

大数据服务商的目标函数为

$$\max_{F_B} J_B^O = \int_0^\infty e^{-\rho t} [mF_B(t) - C_B(F_B(t))] dt. \quad (28)$$

定理2 联合支付契约情形下, 当制造商和零售商共同面向大数据服务商订购营销服务时, 有:

1) 供应链系统各参与方的最优反馈均衡策略分别为 $((F_M^{O*}, \chi^*), (F_B^{O*}, m^{O*}))$;

2) 产品潜在消费者转化率的最优轨迹为

$$r^O(t) = \vartheta - (\vartheta - r_0)e^{-\delta t};$$

3) 制造商、零售商和大数据服务商的利润最优值函数为

$$J_M^{O*}(r) = e^{-\rho t} V_M^{O*}(r),$$

$$J_R^{O*}(r) = e^{-\rho t} V_R^{O*}(r),$$

$$J_B^{O*}(r) = e^{-\rho t} V_B^{O*}(r),$$

其中 $\vartheta = \frac{\alpha^2(2\pi_M + \pi_R)N}{4\delta\eta_B(\rho + \delta)} + \frac{\beta^2\pi_M N}{\delta\eta_M(\rho + \delta)}$.

定理2的证明过程与定理1类似, 此略.

2.3 合作契约(C模式)

合作契约模式下, 制造商、零售商与大数据服务商之间是完全合作的, 供应链系统以整体利润最大化为首要准则, 由统一的控制中心进行决策, 此时供应链系统的目标函数为

$$J_T^C = \max_{F_M(t), F_B(t)} \int_0^\infty e^{-\rho t} [(\pi_M + \pi_R)Q(t) - C_M(F_M(t)) - C_B(F_B(t))] dt. \quad (29)$$

定理3 合作契约情形下的均衡结果如下:

1) 制造商和大数据服务商的静态反馈均衡策略分别为 (F_M^{C*}, F_B^{C*}) ;

2) 产品潜在消费者转化率的最优轨迹为

$$r^{C*}(t) = \varpi - (\varpi - r_0)e^{-\delta t};$$

3) 供应链系统的利润最优值函数为

$$J_T^{C*}(r) = e^{-\rho t} V_T^{C*}(r). \quad (30)$$

其中

$$F_M^{C*} = \frac{\beta(\pi_M + \pi_R)N}{\eta_M(\rho + \delta)},$$

$$F_B^{C*} = \frac{\alpha(\pi_M + \pi_R)N}{\eta_B(\rho + \delta)},$$

$$\varpi = \frac{\alpha^2(\pi_M + \pi_R)N}{\delta\eta_B(\rho + \delta)} + \frac{\beta^2(\pi_M + \pi_R)N}{\delta\eta_M(\rho + \delta)},$$

$$V_T^{C*}(r) = \frac{(\pi_M + \pi_R)N}{\rho + \delta} r + \frac{(\pi_M + \pi_R)D_0}{\rho} + \frac{(\pi_M + \pi_R)^2 N^2}{2\rho(\rho + \delta)^2} \left(\frac{\alpha^2}{\eta_B} + \frac{\beta^2}{\eta_M} \right).$$

证明 令 t 时刻后供应链系统的总利润当值最优值函数为

$$V_T^C(r) = \max_{F_M \geq 0, F_B \geq 0} \int_t^\infty e^{-\rho(\tau-t)} \left[(\pi_M + \pi_R)Q(\tau) - \frac{\eta_M}{2} F_M^2 - \frac{\eta_B}{2} F_B^2 \right] d\tau, \quad (31)$$

t 时刻后供应链系统的总利润现值最优值函数为

$$J_T^C(r) = e^{-\rho t} V_T^C(r), \quad (32)$$

则 $V_T(r)$ 对于所有的 $r \geq 0$ 都必须满足如下 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程:

$$\rho V_T^C(r) = \max_{F_M \geq 0, F_B \geq 0} \left[(\pi_M + \pi_R)(D_0 + rN) - \frac{\eta_M}{2} F_M^2 - \frac{\eta_B}{2} F_B^2 + V_T^{C'}(r)(\alpha F_B + \beta F_M - \delta r) \right]. \quad (33)$$

由一阶条件可解得合作情形下制造商的最优策略为

$$F_B^{C*} = \frac{\alpha V_T^{C'}(r)}{\eta_B}, \quad F_M^{C*} = \frac{\beta V_T^{C'}(r)}{\eta_M}. \quad (34)$$

将式(33)代入(32), 可得

$$\rho V_T^C(r) = [(\pi_M + \pi_R)N - V_T^{C'}(r)\delta]r + (\pi_M + \pi_R)D_0 + \left(\frac{\alpha^2}{2\eta_B} + \frac{\beta^2}{2\eta_M} \right) (V_T^{C'}(r))^2. \quad (35)$$

由式(34)可知, 关于 r 的线性函数是该HJB方程的解. 令

$$V_T^C(r) = a_0 r + b_0, \quad (36)$$

其中 a_0 和 b_0 为常数. 将式(35)及其对 r 的一阶导数代入(34), 整理并对比左右两边同类项系数, 可解得

$$\begin{cases} a_0 = \frac{(\pi_M + \pi_R)N}{\rho + \delta}, \\ b_0 = \frac{(\pi_M + \pi_R)D_0}{\rho} + \frac{(\pi_M + \pi_R)^2 N^2}{2\rho(\rho + \delta)^2} \left(\frac{\alpha^2}{\eta_B} + \frac{\beta^2}{\eta_M} \right). \end{cases} \quad (37)$$

将式(35)和(36)代入(34), 求得合作博弈情形下制造商质量努力水平和大数据服务商营销努力水平的静态反馈均衡策略 (F_M^{C*}, F_B^{C*}) . 将 F_M^{C*} 和 F_B^{C*} 代入式(34), 求得合作契约下供应链系统总利润最优当值价值函数 $V_T^{C*}(r)$ 和最优现值价值函数 $J_T^{C*}(r)$. 将 F_M^{C*} 和 F_B^{C*} 代入状态方程(1), 解得产品转化率的最优轨迹为 $r^{C*}(t)$. \square

由以上3个定理可知, 制造商和大数据服务商的

反馈均衡策略都与时间无关,即最优策略不需要随时间变化,这与实际情况相符.当市场已较为成熟时,三级供应链运营模式趋于稳定,大数据服务商的引入使得销售成本大幅下降,边际销售成本趋于零, π_R 亦为常量,此时最优策略水平不能随时间显著变化,而是会稳定在某一定值.同时也说明,在企业的实际生产和运营中,该策略具有较强的可行性和可操作性,模型具有良好的管理实践意义.

推论 1 制造商、零售商和大数据服务商合作博弈情形下,制造商最优的质量努力水平 F_M^{C*} 、大数据服务商最优的营销努力水平 F_B^{C*} 和供应链系统的总利润 J_T^{C*} 均与边际利润 π_M 、 π_R 、潜在消费者数量 N 、影响系数 α 、 β 呈正比关系;与各自的成本系数 η_M 、 η_B 和潜在消费者转化率的衰减系数 δ 呈反比关系.

由推论 1 可知:随着大数据服务商营销投入对潜在消费者转化率影响系数 α 的增加,供应链利润值不

断提升,这表明大数据营销对消费者的转化效果越明显,产品需求量越大,供应链长期合作营销的效果越好,利润值越高.随着大数据服务商营销成本系数 η_B 的增加,供应链利润值不断下降,这表明大数据服务商的单位投入成本越高,实现大数据营销所面临的困难越大,此时供应链长期合作的营销效果减弱,利润值变低.随着 δ 的增大,供应链利润逐渐降低,当 δ 值足够大时,转化率自身的衰减带来的负效用远远大于制造商质量投入和大数据服务商营销投入带来的正效用,利润值过低,此时应中止该产品的生产和销售活动.

2.4 比较分析

由以上定理可知,决策水平是与时间无关的变量,本节试图对比 3 种不同情形下制造商、零售商和大数据服务商的最优决策水平,并讨论其达到最优水平应满足的条件.为了更加直观地对比分散情形下的两种模式,表 1 详细列出了各个对比项.

表 1 分散情形下两种模式比较

| D 模式 | O 模式 |
|--|--|
| $F_M^{D*} = \beta\pi_M N / (\eta_M(\rho + \delta))$ | $F_M^{O*} = \beta\pi_M N / (\eta_M(\rho + \delta))$ |
| — | $\chi^* = (2\pi_M - \pi_R) / (2\pi_M + \pi_R), \pi_M > \pi_R / 2$ |
| — | $\chi^* = 0, \pi_M \leq \pi_R / 2$ |
| $m^{D*} = \alpha\pi_R N / (2(\rho + \delta))$ | $m^{O*} = \alpha(2\pi_M + \pi_R) N / (4(\rho + \delta))$ |
| $F_B^{D*} = \alpha\pi_R N / (2\eta_B(\rho + \delta))$ | $F_B^{O*} = \alpha(2\pi_M + \pi_R) N / (4\eta_B(\rho + \delta))$ |
| $V_M^{D*} = K_M + \pi_M^2 G_1 / 2 + \pi_M \pi_R G_2 / 2$ | $V_M^{O*} = K_M + \pi_M^2 G_1 / 2 + (2\pi_M + \pi_R)^2 G_2 / 16$ |
| $V_R^{D*} = K_R + \pi_M \pi_R G_1 + \pi_R^2 G_2 / 4$ | $V_R^{O*} = K_R + \pi_M \pi_R G_1 + \pi_R(2\pi_M + \pi_R) G_2 / 8$ |
| $V_B^{D*} = \pi_R^2 G_2 / 8$ | $V_B^{O*} = (2\pi_M + \pi_R)^2 G_2 / 32$ |

表 1 中

$$K_R = \frac{\pi_R N}{\rho + \delta} r + \frac{\pi_R D_0}{\rho}, K_M = \frac{\pi_M N}{\rho + \delta} r + \frac{\pi_M D_0}{\rho},$$

$$G_1 = \frac{\beta^2 N^2}{\rho \eta_M (\rho + \delta)^2}, G_2 = \frac{\alpha^2 N^2}{\rho \eta_B (\rho + \delta)^2}.$$

由表 1 可见, $\pi_M > \pi_R / 2$ 是 O 模式成立的必要条件,当制造商的边际利润是零售商边际利润的一半以上时,制造商才有意愿与零售商达成联合支付契约.为了便于讨论,记 $\sigma = 2\pi_M / \pi_R$,依据以上定理和表 1 的内容进行推导,得出如下推论.

推论 2 1) $F_M^{C*} > F_M^{D*}, F_B^{C*} > F_B^{D*}, V_T^{C*}(r) > V_T^{D*}(r);$

2) 当 $\sigma > 1$ 时,有

$$F_M^{C*} > F_M^{O*} = F_M^{D*}, m^{O*} > m^{D*},$$

$$F_B^{C*} > F_B^{O*} > F_B^{D*}, V_T^{C*}(r) > V_T^{O*}(r) > V_T^{D*}(r),$$

$$V_M^{O*}(r) > V_M^{D*}(r), V_R^{O*}(r) > V_R^{D*}(r),$$

$$V_B^{O*}(r) > V_B^{D*}(r).$$

由推论 2 可知,合作契约情形下,制造商的质量

努力水平和大数据服务商的营销努力水平最高,供应链的总利润当值最高.当制造商和零售商达成联合支付契约时,制造商的质量努力水平与零售商单独支付时质量努力水平相同,大数据服务商的营销努力水平和联合支付水平分别大于零售商支付模式下的努力水平和支付水平,各参与方的利润均大于零售商单独支付情况下各自的利润.因为在联合支付契约下,制造商为零售商分摊转移支付 m ,能够激励零售商进行合作,从而使得大数据服务商获得较高的转移支付水平 m ,在较高的支付水平激励下,大数据服务商的营销努力水平提升.

本节研究了大数据服务商引入供应链并步入稳定期的市场情况.该情形下制造商-大数据服务商-零售商共同组成的供应链运营模式已趋于成熟,大数据服务商的引入使得销售成本大幅下降,边际销售成本趋于零.由于产品终端价格为常量,零售商边际利润亦为常量.下节将研究大数据服务商引入制造商-零售商两级供应链初期时,新加入的经济主体付出大数据营销努力水平引起销售成本变化的情况.

3 销售成本变化的情形

由推论2可知, 3种情形下合作契约是最优策略, 本节将以合作契约为例进一步拓展, 研究销售成本变化的情形. 随着大数据服务商的初步引入, 其提供的营销服务会引起零售商原有销售成本发生变化. 设 $\varphi(F_B) = (a_i + b_i F_B)$ 为销售成本, I 为终端价格, $\tilde{\pi}_R$ 为此种情形下零售商的边际利润, $\tilde{\pi}_R = I - \varphi(F_B)$ 为变量. 此时供应链系统的目标函数为

$$\begin{aligned} \tilde{J}_T^C(r, t) = & \max_{F_M(t), F_B(t)} \int_0^\infty e^{-\rho t} [(\pi_M + \tilde{\pi}_R)Q(t) - \\ & C_M(F_M(t)) - C_B(F_B(t))] dt. \end{aligned} \quad (38)$$

定理4 当零售商边际成本为变量时, 合作契约下的均衡结果为:

1) 制造商和大数据服务商的静态反馈均衡策略分别为 $(\tilde{F}_M^{C*}, \tilde{F}_B^{C*})$;

2) 产品潜在在消费者转化率的最优轨迹为

$$\tilde{r}^{C*}(t) = [(r_0 H_2 + H_1)e^{H_2 t} - H_1]/H_2;$$

3) 供应链系统的利润最优值函数为

$$\tilde{J}_T^{C*}(r) = e^{-\rho t} \tilde{V}_T^*(r).$$

其中

$$\begin{aligned} \tilde{V}_T^{C*}(r) &= Ar^2 + Br + C, \\ \tilde{F}_M^{C*} &= \beta(2Ar + B)/\eta_M, \\ \tilde{F}_B^{C*} &= (-b_i N + 2A\alpha)r - b_i D_0 + \alpha B/\eta_B, \\ A &= \frac{\eta_B \eta_M}{4\eta_M \alpha^2 + \eta_B \beta^2} \left[2\delta + \rho + \frac{2\alpha N b_i}{\eta_B} - \sqrt{\left(\frac{2\alpha N b_i}{\eta_B} + 2\delta + \rho \right)^2 - \frac{4N^2 b_i^2}{\eta_B} \left(\frac{\alpha^2}{2\eta_B} + \frac{\alpha^2}{2\eta_M} \right)} \right], \\ B &= \frac{-\frac{2\alpha_i A D_0}{\eta_B} + (\pi_M + I - a_i)N + \frac{b_i^2 N D_0}{\eta_B}}{\rho + \delta - 2A \left(\frac{\alpha^2}{\eta_B} + \frac{\beta^2}{\eta_B} \right) + \frac{\alpha N b_i}{\eta_B}}, \\ C &= \left[(\pi_M + I - a_i)D_0 + \frac{b_i^2 D_0^2}{2\eta_B} - \frac{\alpha b_i B D_0}{\eta_B} + \left(\frac{\alpha^2}{2\eta_B} + \frac{\beta^2}{2\eta_M} \right) B^2 \right] / \rho, \\ H_1 &= \left(\frac{\alpha^2}{\eta_B} + \frac{\beta^2}{\eta_M} \right) B - \frac{\alpha b_i D_0}{\eta_B}, \\ H_2 &= \frac{2A\alpha^2}{\eta_B} + \frac{2A\beta^2}{\eta_M} - \delta - \frac{\alpha b_i N}{\eta_B}, \\ A' &= \frac{\eta_B \eta_M}{4\eta_M \alpha^2 + \eta_B \beta^2} \left[2\delta + \rho + \frac{2\alpha N b_i}{\eta_B} + \sqrt{\left(\frac{2\alpha N b_i}{\eta_B} + 2\delta + \rho \right)^2 - \frac{4N^2 b_i^2}{\eta_B} \left(\frac{\alpha^2}{2\eta_B} + \frac{\alpha^2}{2\eta_M} \right)} \right]. \end{aligned}$$

在求解过程中求得 A' 和 A , 但因 A' 不满足假设 $0 \leq r \leq 1$, 故舍弃, 仅保留 A .

定理4的证明过程与定理3类似, 此略.

由定理4可见, 制造商和零售商的最优决策水平均与零售商边际利润相关, 与 D 模式、 O 模式和 C 模式明显不同的是, 制造商最优的质量努力水平和大数据服务商最优的营销努力水平随时间变化. 这是因为在大数据服务商引入制造商-零售商两级供应链的初期, 其提供的大数据营销服务直接作用于零售商, 引起零售商销售成本变化, 在这种变化的持续期内, 因销售成本的变化带动其边际利润变化, 进而影响制造商和零售商的决策水平.

4 算例分析

上述讨论对比分析了同一市场情形下, 供应链系统在3种模式中的最优决策水平和利润值变化, 并解释了相关的管理意义. 本节采用算例验证上述模型的有效性, 并以合作契约为例, 进一步对比不同市场情形下最优决策水平和利润值的变化. 给定相关参数值如下: $\pi_M = 8, \pi_R = 6, \eta_M = 18, \eta_B = 15, \alpha = 0.6, \beta = 0.3, \delta = 3, N = 20, \rho = 0.9, D_0 = 12, r_0 = 0$.

图2为3种模式下供应链系统总利润. 由图2可见, 在不同模式下利润值均随着时间变化, 先是逐渐增加, 然后趋向于稳定状态, 这表明该供应链系统的营销过程是可控的. 为了着重讨论边际利润变化对供应链绩效的影响, 令 $t = 10$ (由图2可知, 此时供应链系统达到稳定), 供应链利润变化趋势如图3所示. 合作契约情形下供应链系统总利润最高, 这与制造商和零售商边际利润的变化无关. 当制造商的边际利润达到零售商边际利润的一半以上时, 较之零售商单独支付契约, 联合支付契约下各个参与方的利润值均有提高, 实现了 Pareto 改善.

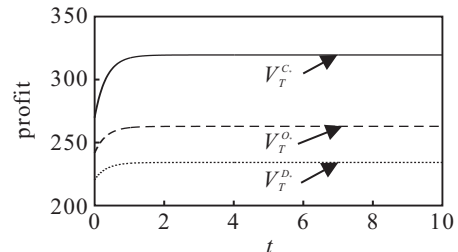


图2 3种模式下供应链系统总利润

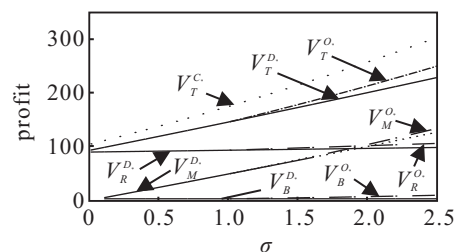


图3 $t = 10$ 时 σ 对供应链利润的影响

大数据营销服务降低了企业捕捉新客户成本,减少了促销人员人力成本,降低了库存成本等,这引起零售商销售成本下降,从而使边际利润提升.此时,零售商边际利润(边际成本)随着营销努力水平的增加而增大(减小)($a_i = 2.5, b_i = -0.2$),大数据服务商的努力水平先随着时间增大,后趋于稳定,见图4.这是因为受到资源要素的限制,大数据服务商的努力水平不能无限增加,与此同时供应链利润随着大数据营销努力水平提升而提升,随着其稳定而稳定,见图5.这是较为有利的情形,有助于整个经济社会朝着零成本社会方向发展.

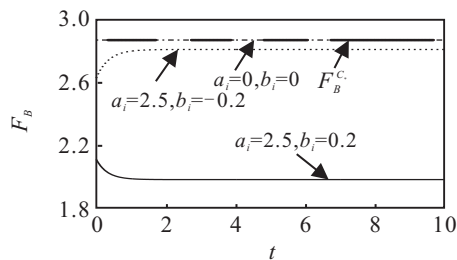


图4 大数据服务商营销努力水平的变化

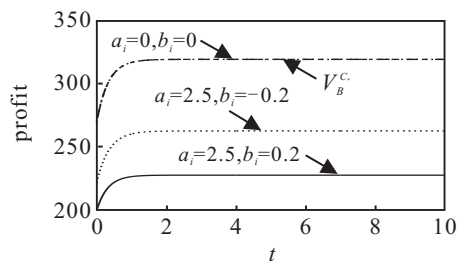


图5 供应链总利润的变化

当大数据服务商处于市场寡头或垄断地位,且渠道权利很强时,大数据服务商向零售商收取额外费用来瓜分利润,可能引起零售商销售成本增加.此时,零售商边际利润(边际成本)随着营销努力水平的增加而减小(增加)($a_i = 2.5, b_i = 0.2$),大数据服务商的努力水平随时间先降低,后趋于稳定.由于大数据服务商的市场地位较强,缺乏竞争,可能会导致疏于管理,进而引起营销努力水平下降.营销努力水平的下降会直接引起供应链利润下降,当营销水平趋于稳定时,供应链利润也趋于稳定.

当销售成本 $\varphi(F_B)$ 取值为零 ($a_i = 0, b_i = 0$) 时,营销努力水平图线与合作契约中的曲线重合,为常量.当零售商销售成本为零的情况下,三级供应链的运营模式趋于稳定,此时营销努力水平不再随时间变化.同样,供应链总利润的图线与合作契约中的利润值图线重合,这充分验证了该拓展模型的合理性和有效性,即合作契约(C模式)是该模型中的一种特殊情况.

5 结论

随着经济的发展和消费水平的提高,消费者需求个性化日渐凸显.鉴于此,企业借助于大数据手段细

分市场有利于找准目标市场,明确市场定位,在目标市场中进行针对性营销,发挥自身优势,并使市场聚集化效果更好,从而提升企业乃至整个供应链的绩效.本文从上下游长期动态联合促销的角度,构建了3种不同情形下的微分博弈模型,经研究得出以下结论:

1) 合作契约下供应链系统的总利润、制造商的质量努力水平和大数据服务商的营销努力水平均为最高.分散情形下,联合支付契约比零售商支付契约更优.从动态角度验证了在大数据服务商参与的供应链中,采用合作契约能够实现供应链系统长期共赢,这为大数据服务商参与的三级供应链长期合作提供了有效的理论依据.但是,若要使各方自愿参与合作契约,则需要满足参与约束,即制造商、零售商和大数据服务商三方在合作契约下各自分得的利润值要大于分散决策情形下各自的利润值,有关利润的具体分配方案取决于各自的渠道能力和谈判能力,合作协议需要各方一致通过并严格执行,以保障能够实现合作契约情形下的最优利润值.

2) 零售商边际成本随大数据服务商努力水平提升而下降是较优情境,企业和消费者处于物联网环境下,一方面开放的市场环境有利于企业竞争,动摇垄断者地位;另一方面通过资源共享,协同消费,不断降低销售的边际成本,逐步实现共享经济模式,使得社会经济发展的可持续性越来越强.若大数据服务商处于垄断地位,则凭借渠道权利强行瓜分零售商利润会导致供应链系统值降低,不利于市场健康发展,因此政府应采用政策调控防止大数据服务商形成垄断.

本文的后续研究拟从以下几个角度持续展开:

- 1) 本文考虑潜在消费者数量为常数情形,今后可以进一步考虑其服从某一类随机分布的情形;
- 2) 策略性消费者的购买行为使得企业的决策设计更加复杂,这也是后续研究需要考虑的重要内容;
- 3) 本文在价格为外生的情形下,研究了大数据服务商作为新经济主体参与到供应链主体间博弈关系中所引起的运营机制的变化,下一步可同时考虑价格因素对产品需求的影响.

参考文献(References)

- [1] Cao S, Manrai A K. Big data in marketing and retailing[J]. J of Int & Interdisciplinary Business Research, 2014, 1(2014): 23-42.
- [2] Mayer-Schönberger V, Cukier K. Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think[M]. Boston: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, 2013: 1-49.
- [3] Zwick D, Knott J D. Manufacturing customers the database as new means of production[J]. J of Consumer Culture,

- 2009, 9(2): 221-247.
- [4] Chen H C, Chiang R H L, Storey V C. Business intelligence and analytics: From big data to big impact[J]. *MIS Quarterly*, 2012, 6(4): 1165-1188.
- [5] Assunção M D, Calheiros R N, Bianchi S, et al. Big data computing and clouds: Trends and future directions[J]. *J of Parallel and Distributed Computing*, 2015, 79(2015): 3-15.
- [6] Michaelidou N, Siamagka N, Christodoulides G. Usage, barriers and measurement of social media marketing: An exploratory investigation of small and medium B2B brands[J]. *Industrial Marketing Management*, 2011, 40(7): 1153-1159.
- [7] Sundsoy P, Bjelland J, Iqbal A M, et al. Big data-driven marketing: How machine learning outperforms marketers' gut-feeling[M]. Berlin: Springer International Publishing, 2014: 367-374.
- [8] Vidale M L, Wolfe H B. An operations-research study of sales response to advertising[J]. *Operations Research*, 1957, 5(3): 370-381.
- [9] Sethi S P. Deterministic and stochastic optimization of a dynamic advertising model[J]. *Optimal Control Applications and Methods*, 1983, 4(2): 179-184.
- [10] Fruchter G E, Kalish S. Closed-loop advertising strategies in a duopoly[J]. *Management Science*, 1997, 43(1): 54-63.
- [11] Bass F M, Krishnamoorthy A, Prasad A, et al. Generic and brand advertising strategies in a dynamic duopoly[J]. *Marketing Science*, 2005, 24(4): 556-568.
- [12] 熊中楷, 聂佳佳, 李根道. 基于微分对策的多寡头品牌和大类广告策略研究[J]. *管理工程学报*, 2009, 23(3): 72-79.
(Xiong Z K, Nie J J, Li G D. Competitive brand and generic advertising strategy in oligopoly with differential game[J]. *J of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2009, 23(3): 72-79.)
- [13] Nerlove M, Arrow K J. Optimal advertising policy under dynamic conditions[J]. *Economica*, 1962, 29(114): 129-142.
- [14] Feichtinger G, Hartl R F, Sethi S P. Dynamic optimal control models in advertising: Recent developments[J]. *Management Science*, 1994, 40(2): 195-226.
- [15] Buratto A, Viscolani B. New product introduction: goodwill, time and advertising cost[J]. *Mathematical Methods of Operations Research*, 2002, 55(1): 55-68.
- [16] Nair A, Narasimhan R. Dynamics of competing with quality-and advertising-based goodwill[J]. *European J of Operational Research*, 2006, 175(1): 462-474.
- [17] 熊中楷, 聂佳佳, 李根道. 考虑广告影响下的新产品垄断动态定价研究[J]. *管理学报*, 2008, 5(6): 849-855.
(Xiong Z K, Nie J J, Li G D. Dynamic pricing of new products by a monopolist under consideration of the effects of advertising[J]. *Chinese J of Management*, 2008, 5(6): 849-855.)
- [18] Grosset L, Viscolani B. Optimal dynamic advertising with an adverse exogenous effect on brand goodwill[J]. *Automatica*, 2009, 45(4): 863-870.
- [19] Chutani A, Sethi S P. Optimal advertising and pricing in a dynamic durable goods supply chain[J]. *J of Optimization Theory and Applications*, 2012, 154(2): 615-643.
- [20] 吕芹, 霍佳震. 基于制造商和零售商自有品牌竞争的供应链广告决策[J]. *中国管理科学*, 2011, 19(1): 48-54.
(Lü Q, Huo J Z. Supply chain advertising decision based on competition of national and store brands[J]. *Chinese J of Management Science*, 2011, 19(1): 48-54.)
- [21] Huo J, Zhang T. A dynamic pricing model with goodwill influenced by price-quality effect[J]. *Int J of Management and Decision Making*, 2014, 13(2): 143-156.
- [22] Liu G, Zhang J, Tang W. Strategic transfer pricing in a marketing-operations interface with quality level and advertising dependent goodwill[J]. *Omega*, 2015, 56(2015): 1-15.
- [23] Ma P, Wang H, Shang J. Contract design for two-stage supply chain coordination: Integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts[J]. *Int J of Production Economics*, 2013, 146(2): 745-755.
- [24] Chen J, Liang L, Yang F. Cooperative quality investment in outsourcing[J]. *Int J of Production Economics*, 2015, 162(2015): 174-191.
- [25] Ghose A, Mukhopadhyay T, Rajan U. The impact of Internet referral services on a supply chain[J]. *Information Systems Research*, 2007, 18(3): 300-319.

(责任编辑: 郑晓蕾)