

考虑价格和服务水平竞争的垂直双渠道供应链决策模型

张学龙[†], 覃滢樾, 王军进, 张丹丹

(桂林电子科技大学 商学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 针对垂直双渠道供应链中零售商在电子直销渠道和传统零售渠道销售同质品的情况, 分别建立价格替代系数扰动下、服务水平替代系数扰动下、价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动下的需求模型和利润模型, 利用求解最优利润的条件, 提出3种不同扰动情形的最优决策. 研究表明: 在一定扰动范围内, 制造商可以通过保持产量, 调整两条渠道的价格和服务水平获得该情形下的最优利润; 当扰动超出一定范围时, 制造商可以通过改变产量, 调整两条渠道的价格和服务水平获得该情形下的最优利润.

关键词: 双渠道供应链; 价格替代系数; 服务水平替代系数; 供应链决策; 扰动分析

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Decision model of vertical dual-channel supply chain considering price and service level competition

ZHANG Xue-long[†], QIN Ying-yue, WANG Jun-jin, ZHANG Dan-dan

(School of Business, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: For the situation that manufacturer's electronic direct channel and traditional retail channel sell homogeneous products in a vertical dual-channel supply chain, under price substitution coefficient perturbation, service level substitution coefficient perturbation, and price substitution coefficient and service level substitution coefficient simultaneous perturbations, demand models and profit models are built. Then by using the optimal profit condition, three optimal strategies in three different perturbation situations are proposed. The result shows that, when perturbation and keit within a certain range, by keeping the yield, the price and service level of the two channels can be adjusted. When the perturbation exceeds a certain range, by changing the yield, the price and service level of the two channels can be adjusted in order to obtain the optimal profit in corresponding perturbation situations.

Keywords: dual-channel supply chain; price substitution coefficient; service level substitution coefficient; supply chain decision; perturbation analysis

0 引言

电子商务的迅猛发展颠覆了传统零售模式, 制造商在建立传统零售渠道之外, 又建立了电子直销渠道, 这种模式的供应链称为双渠道供应链. 其中, 若制造商通过自建的传统零售渠道将产品不经过任何中间商直接销售给消费者, 这种模式的供应链称为垂直双渠道供应链. 垂直双渠道间的价格差异与服务水平差异, 使得消费者对两条渠道的价格敏感度及服务水平偏好存在差异, 从而引起了渠道冲突. 此外, 消费者对于产品的需求、价格的敏感度、服务水平的需求等消费行为的变化, 使得渠道冲突问题更加复杂. 因

此, 面对消费者消费行为的不确定性, 如何满足消费者变化的需求, 缓解渠道冲突, 有效制定价格和服务水平策略, 以实现效益最大化, 是制造商面临的问题.

价格和服务水平对双渠道供应链决策的影响问题是当前供应链管理领域研究的热点之一. Soleimani^[1]建立并对比分析了以制造成本和客户需求为模糊变量的双渠道集中决策模型和斯塔克伯格博弈模型, 结果显示后者可决定最优的批发价格和零售价格; Rodríguez等^[2]研究了基于库存成本的双渠道定价和分配问题; Chen等^[3]研究了不同的权力结构对零售商O2O混合渠道供应链策略的影响; Long

收稿日期: 2017-02-28; 修回日期: 2017-08-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71662007); 广西研究生教育创新计划项目(JGY2017058); 广西高校中青年骨干教师基础能力提升项目(2017KY0187).

责任编委: 刘宝碇.

作者简介: 张学龙(1978—), 男, 教授, 博士后, 从事供应链管理和决策分析等研究; 覃滢樾(1992—), 女, 硕士生, 从事供应链管理的研究.

[†]通讯作者. E-mail: zhxl2006@126.com

等^[4]通过在线销售和离线服务合作,研究了旅游运营商和在线旅行社实现O2O模型的最优定价策略;He等^[5]指出,服务商在面对竞争的O2O市场时,应规范其服务管理,为顾客提供稳定的服务.在面对更社会化的顾客时,具有可变服务质量的企业应该采取积极的定价和定位策略.王聪等^[6]指出,当单位赶路成本相对电子渠道感知系数大于一定阈值时,零售商采取线上线下同价的O2O销售策略,可使零售商及其所在供应链上和竞争链上的制造商利润都增加;吴晓志等^[7]等考虑了在线补贴对零售商主导的O2O供应链的影响,表明考虑价格补贴的供应链的利润较优,且两部定价契约可协调零售商O2O供应链;曾伟等^[8]对在确定需求和随机需求情形下的双渠道供应链最优决策和协调机制进行了研究;许民利等^[9]通过对双渠道供应链成员的风险偏好分析,得出了各成员在不同的风险偏好下的不同定价策略;金亮等^[10]研究了线上零售商佣金契约设计问题,认为线下体验店服务成本信息不对称会改变佣金契约参数,但不一定会降低O2O供应链绩效或产生信息租金;张学龙等^[11]建立了制造商主导型双渠道供应链的集中决策、分散决策和协调决策模型,结果显示不同协调策略能够使制造商和零售商整体利益增加;Ren等^[12]对基于价格和服务竞争的双渠道供应链退货策略进行了研究;Dan等^[13]分析了价格和服务竞争的双渠道供应链,研究了零售商权力的影响因素,提出了零售商在电子商务环境下的竞争策略;Dan等^[14]也研究了双渠道供应链在不同决策模式下的最优决策,评估了零售服务和零售渠道的顾客忠诚度对制造商和零售商定价行为的影响;丁锋等^[15]通过对双渠道供应链在价格和服务水平共同作用下的协调运作研究,表明双渠道供应链的价格、服务水平和需求相互影响,其中提高服务水平将会提高本渠道的价格和需求;王燕等^[16]发现制造商和零售商的价格受网络直销渠道的服务水平的影响,且他们的价格和服务在很大程度上受到消费者对网络直销渠道偏好的影响;许明星等^[17]研究发现制造商的服务水平对电子直销渠道和零售渠道的价格都产生影响;黄大荣等^[18]研究了提供服务的供应商在传统收入共享契约失调下的双渠道供应链的收入共享和成本共担契约.以上对于双渠道供应链决策与协调的研究主要是针对稳定的市场,而现实的市场是多变的,因此Zhang等^[19]和Soleimani等^[20]都研究了需求和生产成本扰动下的双渠道供应链的协调机制;曹二保等^[21]也对需求扰动下的双渠道供应链决策及协调机制进行了研究;吴晓志等^[22]研究了当需求和替代系数同时发生

扰动时的O2O供应链协调策略.此外,吴晓志等^[23]还研究了市场需求、生产成本和渠道替代系数同时发生扰动下的双渠道供应链决策,表明多因素在一定范围的扰动并不影响生产决策,只影响渠道间的销售分配决策.上述文献主要讨论了各种不同因素对双渠道供应链的影响,并根据不同因素的影响作用制定相应的供应链协调机制.多数文献都集中于讨论价格和服务因素对供应链绩效的影响,通过控制这两个因素以协调供应链绩效.同时也有一些文献侧重于研究价格、服务和渠道偏好之间的关系,以及系数扰动对渠道供应链决策的影响.虽然双渠道供应链的扰动管理已获得一些成果,但关于垂直双渠道供应链的扰动管理问题尚有待进一步研究.

本文拟从由一个制造商组成的垂直双渠道供应链销售同质产品的情况出发,结合制造商分别在电子直销渠道和传统零售渠道提供服务,利用消费者需求理论,构建一个能够准确刻画渠道间价格竞争和服务水平竞争的决策模型,并考虑在渠道间的价格替代系数、服务水平替代系数及价格替代系数和服务水平替代系数同时发生扰动时对制造商决策的影响,并在此基础上,构建供应链协调机制,以改善供应链绩效.

1 问题描述

考虑由一个拥有电子直销渠道和自建零售终端的传统零售渠道的制造商构成的垂直双渠道供应链,制造商同时通过电子直销渠道和自建零售终端的传统渠道销售同质的正常产品.

本文的参数和模型如下:该产品的市场需求为 D , $D > 0$;消费者对该产品在电子直销渠道的需求占其市场需求的比例为 μ , $0 < \mu < 1$;该产品在电子直销渠道的销售价格为 p_1 ,单位生产成本为 c_1 ,所提供的服务水平为 s_1 ,服务成本为 $1/2\alpha s_1^2$, α 为服务投入系数, $\alpha > 1$.消费者对该产品在自建零售终端的传统零售渠道的需求占其市场需求的比例为 $(1 - \mu)$;该产品在传统零售渠道的销售价格为 p_2 ,单位生产成本为 c_2 ,所提供的服务水平为 s_2 ,服务成本为 $1/2\alpha s_2^2$.由于电子直销渠道和传统零售渠道所销售的是同质产品,两种渠道销售的产品单位生产成本相同,即 $c_1 = c_2 = c$.

消费者对该产品在其中某一渠道的需求与市场需求正相关,与该渠道的售价负相关,与该渠道的服务水平正相关,与另一渠道的售价正相关,与另一渠道的服务水平负相关.消费者对该产品在某一渠道的需求主要由该产品的市场需求、售价、服务水平以及另一渠道的售价、服务水平等综合因素决定.为简化模型,将相关关系简化为线性相关,可得消费者对

该产品在电子渠道的需求为

$$Q_1 = \mu D - p_1 + ap_2 + s_1 - bs_2,$$

消费者对该产品在传统零售渠道的需求为

$$Q_2 = (1 - \mu)D - p_2 + ap_1 + s_2 - bs_1.$$

其中: a 为两渠道间的价格替代系数, $0 < a < 1$, 反映了消费者由于电子直销渠道和传统零售渠道之间的价格差异而形成对某一渠道的偏好程度; b 为两渠道间的服务水平替代系数, $0 < b < 1$, 反映了消费者由于电子直销渠道和传统零售渠道之间的服务水平差异而形成对某一渠道的偏好程度。

2 垂直双渠道供应链的基本决策模型

制造商所采用的是垂直双渠道供应链模式, 目标是电子直销渠道和传统零售渠道两条渠道的总利润最大化, 则制造商的总利润函数为

$$\pi = Q_1(p_1 - c) + Q_2(p_2 - c) - \frac{1}{2}\alpha s_1^2 - \frac{1}{2}\alpha s_2^2. \quad (1)$$

将电子直销渠道和传统零售渠道的需求函数代入式(1), 得

$$\begin{aligned} \pi = & (\mu D - p_1 + ap_2 + s_1 - bs_2)(p_1 - c) - \\ & \frac{1}{2}\alpha s_1^2 + ((1 - \mu)D - p_2 + ap_1 + \\ & s_2 - bs_1)(p_2 - c) - \frac{1}{2}\alpha s_2^2. \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)取得最大值的二阶条件为其 Hessian 矩阵为负定矩阵, 即

$$4\alpha(\alpha(1 - a^2) + 2ab - b^2 - 1) + (1 - b^2)^2 > 0.$$

由制造商取得利润最大值的一阶条件可得, 其电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平为(上标 “*” 表示最优决策时的值)

$$\begin{aligned} p_1^* &= \frac{\alpha D(2(a\alpha - b) + \mu A)}{AB} - \\ & \frac{c((1 - b)^2 - \alpha(1 - a))}{A}, \\ p_2^* &= \frac{\alpha D((2\alpha - b^2 - 1) - \mu A)}{AB} - \\ & \frac{c((1 - b)^2 - \alpha(1 - a))}{A}, \\ s_1^* &= \frac{D(2\alpha(a - b) + b(b^2 - 1) + \mu(1 + b)A)}{AB} - \\ & \frac{c(1 - b)(1 - a)}{A}, \\ s_2^* &= \frac{D(2\alpha(1 - ab) + (b^2 - 1) - \mu(1 + b)A)}{AB} - \\ & \frac{c(1 - b)(1 - a)}{A}, \end{aligned} \quad (3)$$

则制造商的电子直销渠道和传统零售渠道的最优需求量分别为

$$Q_1^* = \frac{\alpha D(\mu(a + 1)A - (2b - ab^2 - a)) - \alpha c(1 - a)^2 B}{AB},$$

$$Q_2^* = \frac{\alpha D(2\alpha(1 - a^2) + (2ab - b^2 - 1))}{AB} - \frac{\alpha \mu(a + 1)DA + \alpha c(1 - a)^2 B}{AB}. \quad (4)$$

将式(3)代入(2)中, 得到制造商的最优总利润为

$$\begin{aligned} \pi^* = & \frac{D^2(2\alpha^2(b^4 + 1) - \alpha \mu(1 - \mu)A^2 B)}{A^2 B^2} + \\ & \frac{D^2(2\alpha^3(2\alpha(1 - a^2) - (1 + b^2)(3 - a^2) + 4ab))}{A^2 B^2} - \\ & \frac{D^2(b^2 + 1)(\alpha(b^2 - 1)^2/2 + \alpha^2(4ab - b^2 - 1))}{A^2 B^2} + \\ & \frac{\alpha c(1 - a)(c(1 - a) - D)AB^2}{A^2 B^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

其中

$$\begin{aligned} A &= 2\alpha(1 - a) - (b - 1)^2, \\ B &= 2\alpha(1 + a) - (b + 1)^2. \end{aligned}$$

销售同质产品的电子直销渠道与传统零售渠道互为替代渠道, 价格和服务水平是两种渠道的竞争焦点. 两渠道的价格差异影响着消费者对渠道的偏好, 消费者更偏好于低价的渠道. 两渠道的服务差异也同样影响着消费者对渠道的偏好, 电子直销渠道提供的是线上快捷、便利的购买服务, 而传统零售渠道提供的是线下轻松、愉悦的体验服务, 虽然两种渠道所提供的服务存在质的差异, 但量化的服务效用可以进行比较, 消费者更偏好高水平的服务. 当价格和服务水平共同作用于消费者时, 在渠道上形成交叉影响, 令消费者对渠道的偏好不甚明显. 因此, 垂直双渠道供应链的供应商需要将两渠道整体考虑, 参考式(3)或(4)作出平稳状态下的经营决策, 使两渠道的最优价格与最优服务水平有效地平衡消费者对渠道的最优需求量, 以实现式(5)的最优利润。

3 扰动状态下的垂直双渠道供应链决策模型

基于平稳状态下的制造商垂直双渠道供应链决策模型, 考虑价格替代系数和服务水平替代系数的扰动, 建立扰动状态下的垂直双渠道供应链决策模型, 以反映系数的扰动对制造商最优策略的影响。

3.1 价格替代系数扰动状态下的垂直双渠道供应链决策模型

基于垂直双渠道供应链的基本决策模型, 增加价格替代系数的扰动变量, 构建价格替代系数扰动下的垂直双渠道供应链决策模型. 渠道间价格替代系数的扰动变量为 Δa , $-a < \Delta a < 1 - a$ 且 $\Delta a \neq 0$. 受到扰动后的变量用 “~” 表示, 下文也采用同样的表述方式. 由此可得到经过价格替代系数的扰动, 消费者对该产品在电子直销渠道的需求为

$$\tilde{Q}_1 = \mu D - \tilde{p}_1 + (a + \Delta a)\tilde{p}_2 + \tilde{s}_1 - b\tilde{s}_2,$$

消费者对该产品在传统零售渠道的需求为

$$\tilde{Q}_2 = (1 - \mu)D - \tilde{p}_2 + (a + \Delta a)\tilde{p}_1 + \tilde{s}_2 - b\tilde{s}_1.$$

价格替代系数的扰动将会引起渠道需求量的扰动,所以经过价格替代系数扰动后的需求总量与平稳状态下的需求总量存在3种可能的比较结果.第1种可能的比较结果为扰动后的需求总量大于平稳状态下的需求总量,则此时制造商会增加生产或紧急采购,增加生产或紧急采购的单位成本比原单位生产成本增加了 k_1 ;第2种可能的比较结果为前者小于后者,此时制造商应将多于扰动状态下的产品以低价转售于二级市场,产品于二级市场的售价比原单位生产成本低了 k_2 ;第3种可能的比较结果为前者等于后者,制造商将保持原有生产计划.综合3种比较结果,价格替代系数扰动状态下制造商的总利润函数为

$$\begin{aligned} \tilde{\pi} = & \tilde{Q}_1(\tilde{p}_1 - c) + \tilde{Q}_2(\tilde{p}_2 - c) - \frac{1}{2}\alpha\tilde{s}_1^2 - \frac{1}{2}\alpha\tilde{s}_2^2 - \\ & \max\{k_1(\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 - (Q_1^* + Q_2^*)), \\ & k_2(Q_1^* + Q_2^* - (\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2))\}. \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)取得最大值的二阶条件为其Hessian矩阵为负定矩阵,即

$$\begin{aligned} & 4\alpha(\alpha(1 - (a + \Delta a)^2) + 2(a + \\ & \Delta a)b - b^2 - 1)(1 - b^2)^2 > 0. \end{aligned}$$

情形1 在价格替代系数扰动下,当扰动后的需求总量大于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$1 - a - \frac{E + K_1}{4(c + k_1)A} \leq \Delta a \leq 1 - a - \frac{E - K_1}{4(c + k_1)A}$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* = & \frac{\alpha D(2((a + \Delta a)\alpha - b) + \mu F) -}{FG} - \\ & \frac{(c + k_1)((1 - b)^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{F}, \\ \tilde{p}_2^* = & \frac{\alpha D((2\alpha - b^2 - 1) - \mu F) -}{FG} - \\ & \frac{(c + k_1)((1 - b)^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{F}, \\ \tilde{s}_1^* = & \frac{D(2\alpha((a + \Delta a) - b) + b(b^2 - 1))}{FG} + \\ & \frac{D\mu(1 + b)F - G(c + k_1)(1 - b)(1 - (a + \Delta a))}{FG}, \\ \tilde{s}_2^* = & \frac{D(2\alpha(1 - (a + \Delta a)b) + (b^2 - 1))}{FG} - \\ & \frac{D\mu(1 + b)F + G(c + k_1)(1 - b)(1 - (a + \Delta a))}{FG}. \end{aligned} \quad (7)$$

其中

$$E = 4\alpha c(1 - a)^2 - D(b - 1)^2,$$

$$K_1 = (E^2 + 8(c + k_1)(1 - a)(b - 1)^2 A \times (D - 2c(1 - a)))^{1/2},$$

$$F = (2\alpha(1 - (a + \Delta a)) - (b - 1)^2),$$

$$G = (2\alpha(1 + (a + \Delta a)) - (b + 1)^2).$$

情形2 在价格替代系数扰动下,当扰动后的需求总量小于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$\Delta a \leq 1 - a - \frac{E + K_2}{4(c - k_2)A}$$

或

$$\Delta a \geq 1 - a - \frac{E - K_2}{4(c - k_2)A}$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* = & \frac{\alpha D(2((a + \Delta a)\alpha - b) + \mu F) -}{FG} - \\ & \frac{(c - k_2)((1 - b)^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{F}, \\ \tilde{p}_2^* = & \frac{\alpha D((2\alpha - b^2 - 1) - \mu F) -}{FG} - \\ & \frac{(c - k_2)((1 - b)^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{F}, \\ \tilde{s}_1^* = & \frac{D(2\alpha((a + \Delta a) - b) + b(b^2 - 1))}{FG} + \\ & \frac{D\mu(1 + b)F - G(c - k_2)(1 - b)(1 - (a + \Delta a))}{FG}, \\ \tilde{s}_2^* = & \frac{D(2\alpha(1 - (a + \Delta a)b) + (b^2 - 1))}{FG} - \\ & \frac{D\mu(1 + b)F + G(c - k_2)(1 - b)(1 - (a + \Delta a))}{FG}. \end{aligned} \quad (8)$$

其中

$$K_2 = (E^2 + 8(c - k_2)(1 - a)(b - 1)^2 A \times (D - 2c(1 - a)))^{1/2}.$$

情形3 在价格替代系数扰动下,当扰动后的需求总量等于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$1 - a - \frac{E + K_2}{4(c - k_2)A} < \Delta a < 1 - a - \frac{E + K_1}{4(c + k_1)A}$$

或

$$1 - a - \frac{E - K_1}{4(c + k_1)A} < \Delta a < 1 - a - \frac{E - K_2}{4(c - k_2)A}$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* &= \frac{\alpha\mu D - cI + 2H(\alpha(a + \Delta a) - b)}{G}, \\ \tilde{p}_2^* &= \frac{cI - \alpha\mu D + H(2\alpha - 1 - b^2)}{G}, \\ \tilde{s}_1^* &= \frac{(1 + b)\alpha\mu D - c((1 + b)I + (1 - b)G)}{\alpha G} + \\ &\quad \frac{H(2\alpha(a + \Delta a - b) - b(1 - b)^2)}{\alpha G}, \\ \tilde{s}_2^* &= \frac{c((1 + b)I - (1 - b)G) - (1 + b)\alpha\mu D}{\alpha G} + \\ &\quad \frac{H(2\alpha(1 - (a + \Delta a)b) + b^2 - 1)}{\alpha G}. \end{aligned} \tag{9}$$

其中

$$\begin{aligned} I &= \alpha(a + \Delta a - 1) + (1 - b)^2, \\ H &= \frac{\alpha(D(b - 1)^2 - \alpha(1 - a)(D + 2c(1 - a)))}{(\alpha(a + \Delta a - 1) + (1 - b)^2)A} + \\ &\quad \frac{2c(1 - b)^2}{\alpha(a + \Delta a - 1) + (1 - b)^2}. \end{aligned}$$

价格替代系数的扰动反映了消费者由于销售价格的变化产生对渠道偏好的变化,并对两渠道的需求量产生影响.当其他系数不变时,价格替代系数的扰动量与两种渠道的最优价格,及两种渠道的最优服务水平都呈现正相关关系,但与两条渠道的最优需求量则不存在相关关系.当在某一区间内时,如情形3,扰动前后的需求总量一致,表明平稳状态下的最优需求总量具有一定的鲁棒性,则此时制造商应维持原有的生产计划.同时,应调整两渠道的最优价格与最优服务水平,调整的方向与价格替代系数的扰动方向一致:当扰动为正向时,则上调最优价格与最优服务水平,反之亦然.此外,需要重新分配两种渠道的供应量,以实现需求总量不变时的最优利润,此扰动区间的调整方案可参考式(9).当超出这一区间时,如情形1和情形2,扰动改变了需求总量,此时制造商不仅需要调整两渠道的最优价格和最优服务水平,还需要调整最优生产计划,采取相应的举措应对与平稳状态下的最优生产计划的差额,紧急生产或低价抛售.此外还需调配两种渠道的供应量,让调整的方向与价格替代系数的扰动方向一致,以获取该状态下的最优利润,此扰动区间的调整方案可参考式(7)或(8).

3.2 服务水平替代系数扰动状态下的垂直双渠道供应链决策模型

基于垂直双渠道供应链的基本决策模型,增加服务水平替代系数的扰动变量,构建服务水平替代系数扰动下的垂直双渠道供应链决策模型.渠道间服务水平替代系数的扰动变量为 Δb , $-b < \Delta b < 1 - b$ 且 $\Delta b \neq 0$.由此可得经过服务水平替代系数扰动后,消费者对该产品在电子直销渠道的需求为

$$\tilde{Q}_1 = \mu D - \tilde{p}_1 + a\tilde{p}_2 + \tilde{s}_1 - (b + \Delta b)\tilde{s}_2,$$

消费者对该产品在传统零售渠道的需求为

$$\tilde{Q}_2 = (1 - \mu)D - \tilde{p}_2 + a\tilde{p}_1 + \tilde{s}_2 - (b + \Delta b)\tilde{s}_1.$$

服务水平替代系数的扰动将会引起渠道需求量的扰动,所以经过服务水平替代系数扰动后的需求总量与平稳状态下的需求总量同样存在3种可能的比较结果.制造商面对这3种结果,将采取相应的经营策略.综合3种比较结果,在服务水平替代系数扰动状态下制造商的总利润函数为

$$\begin{aligned} \tilde{\pi} &= \tilde{Q}_1(\tilde{p}_1 - c) + \tilde{Q}_2(\tilde{p}_2 - c) - \frac{1}{2}\alpha\tilde{s}_1^2 - \frac{1}{2}\alpha\tilde{s}_2^2 - \\ &\quad \max\{k_1(\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 - (Q_1^* + Q_2^*)), \\ &\quad k_2(Q_1^* + Q_2^* - (\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2))\}. \end{aligned} \tag{10}$$

式(10)取得最大值的二阶条件为其Hessian矩阵为负定矩阵,即

$$4\alpha(\alpha(1 - a^2) + 2a(b + \Delta b) - (b + \Delta b)^2 - 1) + (1 - (b + \Delta b)^2)^2 > 0.$$

情形4 在服务水平替代系数扰动下,当扰动后的需求总量大于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$\Delta b \leq 1 - b - K_3$$

或

$$\Delta b \geq 1 - b + K_3$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* &= \frac{\alpha D(2(a\alpha - (b + \Delta b)) + \mu J)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c + k_1)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - a))}{J}, \\ \tilde{p}_2^* &= \frac{\alpha D((2\alpha - (b + \Delta b)^2 - 1) - \mu J)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c + k_1)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - a))}{J}, \\ \tilde{s}_1^* &= \frac{D(2\alpha(a - (b + \Delta b)) + \mu(1 + (b + \Delta b))J)}{JK} + \\ &\quad \frac{D(b + \Delta b)((b + \Delta b)^2 - 1)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c + k_1)(1 - (b + \Delta b))(1 - a)}{J}, \\ \tilde{s}_2^* &= \frac{D(2\alpha(1 - a(b + \Delta b)) - \mu(1 + (b + \Delta b))J)}{JK} + \\ &\quad \frac{D((b + \Delta b)^2 - 1)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c + k_1)(1 - (b + \Delta b))(1 - a)K}{JK}. \end{aligned} \tag{11}$$

其中

$$\begin{aligned} K_3 &= (((b - 1)^2(D - 2(c + k_1)(1 - a)) + \\ &\quad 4\alpha k_1(1 - a)^2)/(D - 2c(1 - a)))^{1/2}, \\ J &= 2\alpha(1 - a) - ((b + \Delta b) - 1)^2, \\ K &= 2\alpha(1 + a) - ((b + \Delta b) + 1)^2. \end{aligned}$$

情形5 在服务水平替代系数扰动下,当扰动后的需求总量小于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$1 - b - K_4 \leq \Delta b \leq 1 - b + K_4$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* &= \frac{\alpha D(2(a\alpha - (b + \Delta b)) + \mu J)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c - k_2)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - a))}{J}, \\ \tilde{p}_2^* &= \frac{\alpha D((2\alpha - (b + \Delta b)^2 - 1) - \mu J)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c - k_2)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - a))}{J}, \\ \tilde{s}_1^* &= \frac{D(2\alpha(a - (b + \Delta b)) + \mu(1 + (b + \Delta b))J)}{JK} + \\ &\quad \frac{D(b + \Delta b)((b + \Delta b)^2 - 1)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c - k_2)(1 - (b + \Delta b))(1 - a)}{J}, \\ \tilde{s}_2^* &= \frac{D(2\alpha(1 - a(b + \Delta b)) - \mu(1 + (b + \Delta b))J)}{JK} + \\ &\quad \frac{D((b + \Delta b)^2 - 1)}{JK} - \\ &\quad \frac{(c - k_2)(1 - (b + \Delta b))(1 - a)K}{JK}. \end{aligned} \quad (12)$$

其中

$$K_4 = (((b - 1)^2(D - 2(c - k_2)(1 - a)) - 4\alpha k_2(1 - a)^2)/(D - 2c(1 - a)))^{1/2}.$$

情形6 在服务水平替代系数扰动下,当扰动后的需求总量等于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$1 - b - K_3 < \Delta b < 1 - b - K_4$$

或

$$1 - b + K_4 < \Delta b < 1 - b + K_3$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* &= \frac{\alpha\mu D - cM + 2L(\alpha a - (b + \Delta b))}{K}, \\ \tilde{p}_2^* &= \frac{cM - \alpha\mu D + L(2\alpha - 1 - (b + \Delta b))}{K}, \\ \tilde{s}_1^* &= \frac{(1 + (b + \Delta b))\alpha\mu D}{\alpha K} + \\ &\quad \frac{L(2\alpha(a - (b + \Delta b)))}{\alpha K} - \\ &\quad \frac{L((b + \Delta b)(1 - (b + \Delta b))^2)}{\alpha K} - \\ &\quad \frac{c((1 + b + \Delta b)M + (1 - (b + \Delta b))K)}{\alpha K}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{s}_2^* &= \frac{c((1 + b + \Delta b)M - (1 - (b + \Delta b))K)}{\alpha K} + \\ &\quad \frac{L(2\alpha(1 - a(b + \Delta b)) + (b + \Delta b)^2 - 1)}{\alpha K} - \\ &\quad \frac{(1 + (b + \Delta b))\alpha\mu D}{\alpha K}. \end{aligned} \quad (13)$$

其中

$$\begin{aligned} M &= \alpha(a - 1) + (1 - (b + \Delta b))^2, \\ L &= \frac{\alpha(D(b - 1)^2 - \alpha(1 - a)(D + 2c(1 - a)))}{(\alpha(a - 1) + (1 - (b + \Delta b))^2)A} + \\ &\quad \frac{2c(1 - (b + \Delta b))^2}{\alpha(a - 1) + (1 - (b + \Delta b))^2}. \end{aligned}$$

服务水平替代系数的扰动反映了消费者由于服务效用的变化产生对渠道偏好的变化,并对两渠道的需求量产生影响.当其他系数不变时,在某一区间内(如情形6),扰动前后的需求总量一致,表明平稳状态下的最优需求总量具有一定的鲁棒性,则此时制造商应维持原有的最优生产计划.同时,应调整两渠道的最优价格与最优服务水平,并需重新分配两种渠道的供应量,以实现需求总量不变时的最优利润,此扰动区间的调整方案可参考式(13).当超出这一区间时(如情形4和情形5),扰动改变了需求总量,此时制造商不仅需要调整两渠道的最优价格与最优服务水平,还需要调整最优生产计划,采取相应的举措应对(外部采购或低价出售)与平稳状态下的最优生产计划的差额,此外还需调整分配两种渠道的供应量,以在应对扰动的同时获取最优利润,此扰动区间的调整方案可参考式(11)或(12).

3.3 价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动状态下的垂直双渠道供应链决策模型

基于垂直双渠道供应链的基本决策模型,同时增加价格替代系数和服务水平替代系数的扰动变量,构建价格替代系数、服务水平替代系数同时扰动下的垂直双渠道供应链决策模型.由此可得经过价格替代系数、服务水平替代系数同时扰动后,消费者对该产品在电子直销渠道的需求为

$$\tilde{Q}_1 = \mu D - \tilde{p}_1 + (a + \Delta a)\tilde{p}_2 + \tilde{s}_1 - (b + \Delta b)\tilde{s}_2,$$

消费者对该产品在传统零售渠道的需求为

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_2 &= (1 - \mu)D - \tilde{p}_2 + (a + \Delta a)\tilde{p}_1 + \\ &\quad \tilde{s}_2 - (b + \Delta b)\tilde{s}_1. \end{aligned}$$

价格替代系数与服务水平替代系数同时扰动也将会引起需求量的扰动,所以经过价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动后的需求总量与平稳状态下的需求总量同样存在3种可能性的比较结果.制造商面对这3种结果,同样将采取相应的经营策略.综合3种比较结果,在价格替代系数和服务水平替代系

数同时扰动状态下制造商的总利润函数为

$$\begin{aligned} \tilde{\pi} = & \tilde{Q}_1(\tilde{p}_1 - c) + \tilde{Q}_2(\tilde{p}_2 - c) - \frac{1}{2}\alpha\tilde{s}_1^2 - \frac{1}{2}\alpha\tilde{s}_2^2 - \\ & \max\{k_1(\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2 - (Q_1^* + Q_2^*)), \\ & k_2(Q_1^* + Q_2^* - (\tilde{Q}_1 + \tilde{Q}_2))\}. \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)取得最大值的二阶条件为其Hessian矩阵为负定矩阵,即

$$4\alpha(2(a + \Delta a)(b + \Delta b) - (b + \Delta b)^2 - 1) + 4\alpha^2(1 - (a + \Delta a)^2) + (1 - (b + \Delta b)^2)^2 > 0.$$

情形7 在价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动状态下,当扰动后的需求总量大于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$1 - a - \frac{E + K_5}{4(c + k_1)A} \leq \Delta a \leq 1 - a - \frac{E - K_5}{4(c + k_1)A}$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* = & \frac{\alpha D(2((a + \Delta a)\alpha - (b + \Delta b)) + \mu N)}{NR} \\ & \frac{(c + k_1)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{N}, \\ \tilde{p}_2^* = & \frac{\alpha D((2\alpha - (b + \Delta b)^2 - 1) - \mu N)}{NR} \\ & \frac{(c + k_1)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{N}, \\ \tilde{s}_1^* = & \frac{2\alpha D((a + \Delta a) - (b + \Delta b))}{NR} + \\ & \frac{D((b + \Delta b)((b + \Delta b)^2 - 1) + \mu(1 + (b + \Delta b))N)}{NR} \\ & \frac{(c + k_1)(1 - (b + \Delta b))(1 - (a + \Delta a))}{N}, \\ \tilde{s}_2^* = & \frac{2\alpha D(1 - (a + \Delta a)(b + \Delta b))}{NR} + \\ & \frac{D(((b + \Delta b)^2 - 1) - \mu(1 + (b + \Delta b))N)}{NR} \\ & \frac{(c + k_1)(1 - (b + \Delta b))(1 - (a + \Delta a))}{N}. \end{aligned} \quad (15)$$

其中

$$\begin{aligned} K_5 = & (E^2 + 8(c + k_1)(1 - a)((b + \Delta b) - 1)^2 A \times \\ & (D - 2c(1 - a)))^{1/2}, \\ N = & 2\alpha(1 - (a + \Delta a)) - ((b + \Delta b) - 1)^2, \\ R = & 2\alpha(1 + (a + \Delta a)) - ((b + \Delta b) + 1)^2. \end{aligned}$$

情形8 在价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动状态下,当扰动后的需求总量小于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠

道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$\Delta a \leq 1 - a - \frac{E + K_6}{4(c - k_2)A}$$

或

$$\Delta a \geq 1 - a - \frac{E - K_6}{4(c - k_2)A}$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* = & \frac{\alpha D(2((a + \Delta a)\alpha - (b + \Delta b)) + \mu N)}{NR} \\ & \frac{(c - k_2)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{N}, \\ \tilde{p}_2^* = & \frac{\alpha D((2\alpha - (b + \Delta b)^2 - 1) - \mu N)}{NR} \\ & \frac{(c - k_2)((1 - (b + \Delta b))^2 - \alpha(1 - (a + \Delta a)))}{N}, \\ \tilde{s}_1^* = & \frac{2\alpha D((a + \Delta a) - (b + \Delta b))}{NR} + \\ & \frac{D((b + \Delta b)((b + \Delta b)^2 - 1) + \mu(1 + (b + \Delta b))N)}{NR} \\ & \frac{(c - k_2)(1 - (b + \Delta b))(1 - (a + \Delta a))}{N}, \\ \tilde{s}_2^* = & \frac{2\alpha D(1 - (a + \Delta a)(b + \Delta b))}{NR} + \\ & \frac{D(((b + \Delta b)^2 - 1) - \mu(1 + (b + \Delta b))N)}{NR} \\ & \frac{(c - k_2)(1 - (b + \Delta b))(1 - (a + \Delta a))}{N}. \end{aligned} \quad (16)$$

其中

$$\begin{aligned} K_6 = & (E^2 + 8(c - k_2)(1 - a)((b + \Delta b) \\ & - 1)^2 A \times (D - 2c(1 - a)))^{1/2}. \end{aligned}$$

情形9 在价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动状态下,当扰动后的需求总量等于平稳状态下的需求总量时,制造商电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格和最优服务水平如下:

当

$$1 - a - \frac{E + K_6}{4(c - k_2)A} < \Delta a < 1 - a - \frac{E + K_5}{4(c + k_1)A}$$

或

$$1 - a - \frac{E - K_5}{4(c + k_1)A} < \Delta a < 1 - a - \frac{E - K_6}{4(c - k_2)A}$$

时,有

$$\begin{aligned} \tilde{p}_1^* = & \frac{\alpha\mu D - cU + 2T(\alpha(a + \Delta a) - (b + \Delta b))}{R}, \\ \tilde{p}_2^* = & \frac{cU - \alpha\mu D + T(2\alpha - 1 - (b + \Delta b)^2)}{R}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1^* &= \frac{2\alpha T((a + \Delta a) - (b + \Delta b))}{\alpha R} + \frac{T(b + \Delta b)(1 - (b + \Delta b))^2 + (1 + b + \Delta b)\alpha\mu D}{\alpha R} - \frac{c((1 + b + \Delta b)U + (1 - (b + \Delta b))R)}{\alpha R}, \\ \tilde{s}_2^* &= \frac{c((1 + b + \Delta b)U - (1 - (b + \Delta b))R)}{\alpha R} + \frac{T(2\alpha(1 - (a + \Delta a)(b + \Delta b)) + (b + \Delta b)^2 - 1)}{\alpha R} - \frac{(1 + (b + \Delta b))\alpha\mu D}{\alpha R}. \end{aligned} \quad (17)$$

其中

$$\begin{aligned} U &= \alpha((a + \Delta a) - 1) + (1 - (b + \Delta b))^2, \\ T &= \frac{\alpha(D(b - 1)^2 - \alpha(1 - a)(D + 2c(1 - a)))}{(\alpha(a + \Delta a - 1) + (1 - (b + \Delta b))^2)A} + \frac{2c(1 - (b + \Delta b))^2}{\alpha(a + \Delta a - 1) + (1 - (b + \Delta b))^2}. \end{aligned}$$

价格替代系数与服务水平替代系数同时扰动,构成了一个扰动区域,当其他系数保持不变时, Δa 和 Δb 落入某一区域内(如情形9),制造商应对两者同时的扰动,可通过相应调整两渠道的最优价格与最优服务水平有效平衡两渠道的最优需求量,并据此调配两渠道的供应量,以沿用平稳状态下的最优生产计划继续生产. 此区域的扰动对制造商的影响较小,只需调整价格与服务水平,及时调货方可,而不需要改变生产计划,此扰动区域的应对方案为式(17). 但是,当 Δa 和 Δb 落入另一区域时(如情形7和情形8),此区域的扰动对制造商的冲击性较大,制造商不仅需要调整两渠道的最优价格和最优服务水平,还需要重新安排生产计划,并对原计划生产外的产品作相应安排或处理. 当原生产计划不能满足扰动时的需求,需要增加生产或紧急采购;当原生产计划过多满足扰动时的需求,需要向二级市场低价抛售. 这些措施无疑增加了无形的人力成本,但即便如此仍需采取相应举措,如式(15)或(16),方可实现扰动状态下的最佳利润.

价格替代系数的扰动、服务水平替代系数的扰动及价格替代系数与服务水平替代系数同时的扰动,对垂直双渠道供应链制造商的影响既有区别也有联系. 1)区别:单独替代系数的扰动能够直接反映某一系数扰动对制造商最佳方案中决策变量的影响作用及影响程度;两个替代系数同时扰动呈现的只是两者对制造商最优决策的共同作用. 2)联系:价格替代系数与服务水平替代系数同时扰动的模型更具一般性,因此价格替代系数的扰动模型和服务水平替代系数的扰动模型都是价格替代系数与服务水平替代系数同时扰动模型的特殊形式. 3)共性:3种情形的

扰动量都可根据其取值范围来划分需求总量的扰动情况,从而采用相同的应对方案,即在某一范围内使平稳时的总产量得以保持,调整两渠道的价格、服务水平及供货量则可获得最优利润,但当超出某一范围时,则需在此前的调整上增加对总产量的调整.

垂直双渠道供应链的制造商应注意消费者消费行为的变化,对消费者的价格替代系数和服务水平替代系数进行准确估算与及时修正;对比修正前后系数的差值,即系数的扰动量,判定扰动落入的区域;根据扰动的情况,制定相应的价格和服务水平,确定产量,安排生产计划,提高需求预测的准确性,以在应对扰动的同时获得当前情况的最优利润.

4 数值分析

设置系统参数 $D = 100, \mu = 0.5, a = b = 0.4, c = 10, \alpha = 4, k_1 = k_2 = 4$. 通过分别选取点集 $\{-0.3 \leq \Delta a \leq 0.5 | \Delta a \in Z\}$ 和 $\{-0.3 \leq \Delta b \leq 0.5 | \Delta b \in Z\}$ 中的9个点,以观察不同扰动情形下,制造商最优策略的变化,见图1~图8. 其中:“×”表示电子直销渠道的最优价格或最优服务水平,“○”表示传统零售渠道的最优价格或最优服务水平,“⊗”表示电子直销渠道和传统零售渠道的最优价格重合或最优服务水平重合,“▲”表示最优需求总量或最优利润.

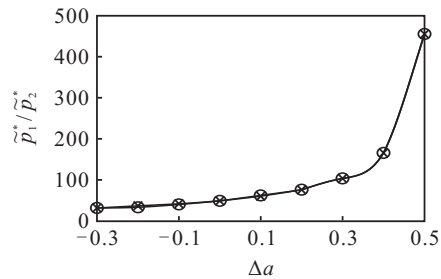


图1 价格替代系数扰动下的最优价格

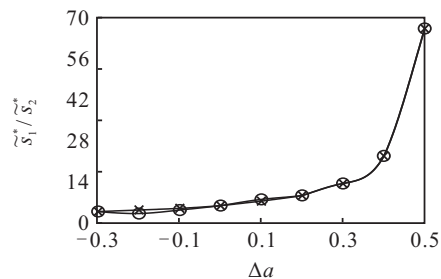


图2 价格替代系数扰动下的最优服务水平

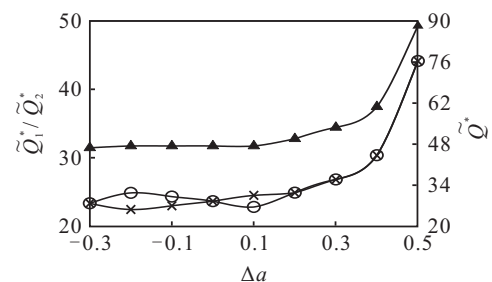


图3 价格替代系数扰动下的最优需求量

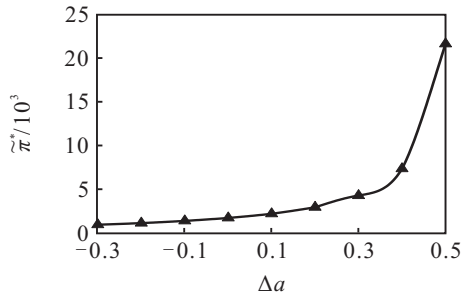


图4 价格替代系数扰动下的最优利润

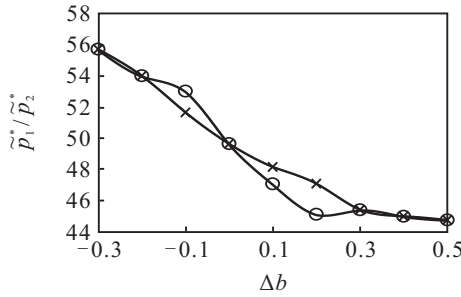


图5 服务水平替代系数扰动下的最优价格

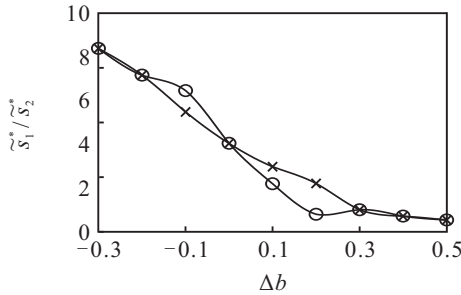


图6 服务水平替代系数扰动下的最优服务水平

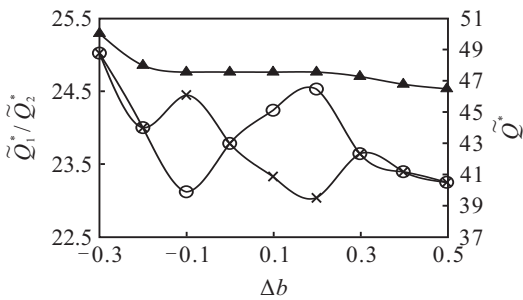


图7 服务水平替代系数扰动下的最优需求量

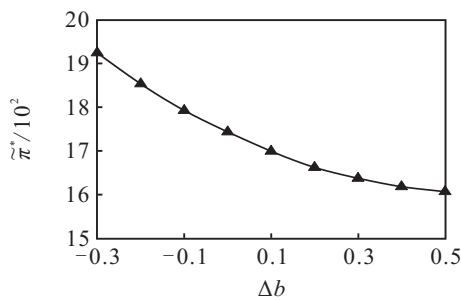


图8 服务水平替代系数扰动下的最优利润

分析表1和图1~图4可得:1)当 $-0.3 \leq \Delta a < -0.2$ 时,扰动时的最优需求总量小于平稳时的最优需求总量,两种渠道的价格、服务水平和供给量都降

表1 价格替代系数扰动下的垂直双渠道供应链最优策略

Δa	\tilde{p}_1^*	\tilde{p}_2^*	\tilde{s}_1^*	\tilde{s}_2^*	\tilde{Q}_1^*	\tilde{Q}_2^*	\tilde{Q}^*	$\tilde{\pi}^*$
-0.3	32.08	32.08	3.91	3.91	23.47	23.47	46.95	972.98
-0.2	37.36	33.95	4.45	3.25	22.57	25.00	47.57	1155.62
-0.1	42.32	40.68	5.01	4.44	23.12	24.45	47.57	1407.74
0.0	49.64	49.64	5.95	5.95	23.78	23.78	47.57	1744.14
0.1	60.91	62.58	7.47	8.05	24.62	22.94	47.57	2218.74
0.2	76.54	76.54	9.38	9.38	25.01	25.01	50.03	2966.83
0.3	103.80	103.80	13.47	13.47	26.94	26.94	53.88	4303.29
0.4	166.26	166.26	22.84	22.84	30.45	30.45	60.90	7376.85
0.5	455.82	455.82	66.27	66.27	44.18	44.18	88.36	21662.63

低.2)当 $0.2 \leq \Delta a \leq 0.5$ 时,扰动时的最优需求总量大于平稳时的最优需求总量,两种渠道的价格、服务水平和供给量都提高.3)当 $-0.2 \leq \Delta a < 0.2$ 且 $\Delta a \neq 0$ 时,扰动时的最优需求总量等于平稳时的最优需求总量.其中,当 $-0.2 \leq \Delta a < 0$ 时,两条渠道的价格和服务水平都降低,但传统零售渠道价格和服务水平的降幅大于两者在电子直销渠道的降幅,同时电子直销渠道的供给量减少,而传统零售渠道的供给量增加,而 $0 < \Delta a < 0.2$ 时情况则相反.4)随着 Δa 增大, $\tilde{\pi}^*$ 也不断增大,且 $\tilde{\pi}^*$ 的增幅也在增加.

分析表2和图5~图8可得:1)当 $-0.3 \leq \Delta b \leq -0.2$ 时,扰动时的最优需求总量大于平稳时的最优需求总量,两种渠道的价格、服务水平和供给量都提高.2)当 $0.3 \leq \Delta b \leq 0.5$ 时,扰动时的最优需求总量小于平稳时的最优需求总量,两种渠道的价格、服务水平和供给量都降低.3)当 $-0.2 < \Delta b < 0.3$ 且 $\Delta b \neq 0$ 时,扰动时的最优需求总量等于平稳时的最优需求总量.其中,当 $-0.2 < \Delta b < 0$ 时,两条渠道的价格和服务水平都提高,但传统零售渠道价格和服务水平提高的幅度大于两者在电子直销渠道提高的幅度,同时电子直销渠道的供给量增加,而传统零售渠道的供给量减少,当 $0 < \Delta b < 0.3$ 时的情况则相反.4)随着 Δb 增大, $\tilde{\pi}^*$ 则不断减少,且 $\tilde{\pi}^*$ 的减幅也增加.

表2 服务水平替代系数扰动下的垂直双渠道供应链最优策略

Δb	\tilde{p}_1^*	\tilde{p}_2^*	\tilde{s}_1^*	\tilde{s}_2^*	\tilde{Q}_1^*	\tilde{Q}_2^*	\tilde{Q}^*	$\tilde{\pi}^*$
-0.3	55.70	55.70	9.38	9.38	25.02	25.02	50.05	1925.17
-0.2	54.00	54.00	8.00	8.00	24.00	24.00	48.00	1854.27
-0.1	51.66	53.02	7.19	7.63	24.45	23.12	47.57	1793.22
0.0	49.64	49.64	5.95	5.95	23.78	23.78	47.57	1744.14
0.1	48.16	47.07	4.91	4.50	23.33	24.24	47.57	1700.01
0.2	47.08	45.12	4.00	3.22	23.04	24.53	47.57	1662.99
0.3	45.41	45.41	2.96	2.96	23.64	23.64	47.29	1638.15
0.4	44.99	44.99	1.95	1.95	23.39	23.39	46.79	1618.94
0.5	44.75	44.75	0.97	0.97	23.25	23.25	46.50	1607.61

表3 价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动下的垂直双渠道供应链最优策略

编号	Δa	Δb	\bar{p}_1^*	\bar{p}_2^*	\bar{s}_1^*	\bar{s}_2^*	\bar{Q}_1^*	\bar{Q}_2^*	\bar{Q}^*	$\bar{\pi}^*$
1	-0.3	0.5	30.81	30.81	0.62	0.62	22.33	22.33	44.66	916.36
2	-0.2	0.4	34.43	34.43	1.42	1.42	22.74	22.74	45.48	1 094.66
3	-0.1	0.3	39.25	39.25	2.49	2.49	23.27	23.27	46.55	1 332.52
4	0.0	0.0	49.64	49.64	5.95	5.95	23.78	23.78	47.57	1 744.14
5	0.1	0.2	56.43	55.82	4.73	4.49	23.52	24.05	47.57	2 108.61
6	0.2	0.2	71.36	72.06	6.03	6.31	24.12	23.45	47.57	2 782.83
7	0.3	-0.1	109.92	109.92	16.79	16.79	28.77	28.77	57.55	4 583.23
8	0.4	-0.2	210.67	210.67	39.33	39.33	39.33	39.33	78.67	9 472.94
9	0.5	0.1	367.45	367.45	44.18	44.18	35.35	35.35	70.69	17 368.16

从表3中的最优需求总量可知,编号4为平稳状态下制造商的最优策略,则在编号1~编号3中,制造商应向二级市场低价转售因扰动而剩余的产品;在编号5和编号6中,制造商应保持产量不变;而当遇到编号7~编号9时,则应采取增加生产或紧急外购的策略。

以 Δa 和 Δb 为平面直角坐标系的纵轴和横轴,在 Δa 和 Δb 的取值范围内,组成点集 $S = \{(\Delta a, \Delta b) | -a < \Delta a < 1 - a, -b < \Delta b < 1 - b\}$,形成一个矩形的扰动区域.定义曲线

$$\begin{aligned} \Delta a_1 &= -a + \frac{(b + \Delta b) - K_7}{\alpha}, \\ \Delta a_2 &= -a + \frac{(b + \Delta b) + K_7}{\alpha}, \\ \Delta a_3 &= 1 - a - \frac{E + K_6}{4(c - k_2)A}, \\ \Delta a_4 &= 1 - a - \frac{E + K_5}{4(c + k_1)A}, \\ \Delta a_5 &= 1 - a - \frac{E - K_5}{4(c + k_1)A}, \\ \Delta a_6 &= 1 - a - \frac{E - K_6}{4(c - k_2)A}, \end{aligned}$$

其中

$$K_7 = (\alpha(\alpha - 1 - (b + \Delta b)^2) + (1 - (b + \Delta b)^2)^2 / 4 + (b + \Delta b)^2)^{1/2}.$$

在扰动区域内描绘这6条曲线,如图9所示.呈现在扰动区域的曲线只有点线的 Δa_2 、虚线的 Δa_3 和实线的 Δa_4 这3条曲线,这3条曲线将扰动区域划分

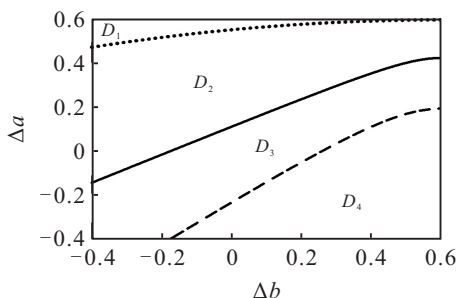


图9 价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动下的扰动区域

为4个区域.当 $S \in D_1$ 或在 Δa_2 上时,不存在最大利润;当 $S \in D_2$ 或在 Δa_4 上时,制造商应增加产量或者外购产品,并相应调整电子直销渠道和传统零售渠道的价格和服务水平;当 $S \in D_4$ 或在 Δa_3 上时,制造商应将多于扰动时的产品低价格转售于二级市场;当 $S \in D_3$ 时,制造商应保持产量,调整电子直销渠道和传统零售渠道的价格和服务水平,以实现相应扰动情形下的最佳利润。

5 结论

针对垂直双渠道供应链的制造商在具有价格竞争和服务水平竞争的电子直销渠道和传统零售渠道销售同质品的情况,考虑价格替代系数扰动、服务水平替代系数扰动的情形,分别构建了价格替代系数扰动下、服务水平替代系数扰动下及价格替代系数和服务水平替代系数同时扰动下的需求模型和利润模型,以寻求最优利润下的最优决策.研究结果显示,当价格替代系数和服务水平替代系数的联合扰动在适当的扰动区域时,制造商应保持当前的总产量,调整电子直销渠道和传统零售渠道的价格和服务水平,重新分配两条渠道的供应量,以获取该状态下的最优利润.当价格替代系数和服务水平替代系数的联合扰动超出了适当的扰动区域时,若扰动后的最优需求总量大于平稳状态下的最优需求总量,则制造商应增加生产或紧急采购以满足该状态的需求,同时调整两条渠道的价格、服务水平及供应量;若扰动后的最优需求总量小于平稳状态下的最优需求总量,则制造商应将多余的产品销售至二级市场以减少库存,同时调整两条渠道的价格、服务水平及供应量.制造商在面对扰动时,应根据不同的扰动情形,采取与之相适应的策略,以在应对扰动的同时获得当前情形的最优利润。

参考文献(References)

[1] Soleimani F. Optimal pricing decisions in a fuzzy dual-channel supply chain[J]. Soft Computing, 2016, 20(2): 689-696.

- [2] Rodríguez B, Aydn G. Pricing and assortment decisions for a manufacturer selling through dual channels[J]. *European J of Operational Research*, 2015, 242(3): 901-909.
- [3] Chen X, Wang X J, Jiang X K. The impact of power structure on the retail service supply chain with an O2O mixed channel[J]. *J of the Operational Research Society*, 2016, 67(2): 294-301.
- [4] Long Y, Shi P P. Pricing strategies of tour operator and online travel agency based on cooperation to achieve O2O model[J]. *Tourism Management*, 2017, 62: 302-311.
- [5] He Z, Cheng T, Dong J C, et al. Evolutionary location and pricing strategies for service merchants in competitive O2O markets[J]. *European J of Operational Research*, 2016, 254(2): 595-609.
- [6] 王聪, 杨德礼. 基于链与链竞争的零售商线上线下同价 O2O 销售策略研究[J]. *运筹与管理*, 2017, 26(5): 74-80.
(Wang C, Yang D L. Research into O2O sales strategy of uniform price online and offline based on chain-to-chain competition[J]. *Operations Research and Management Science*, 2017, 26(5): 74-80.)
- [7] 吴晓志, 陈宏, 张俊. 考虑在线补贴的零售商水平 O2O 供应链协调[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(专辑): 479-484.
(Wu X Z, Chen H, Zhang J. Coordinating a retailer's O2O supply chain under online subsidy[J]. *Chinese J of Management Science*, 2014, 22(S1): 479-484.)
- [8] 曾伟, 周永务. 混合需求下双渠道供应链联合定价决策与协调机制研究[J]. *合肥工业大学学报: 自然科学版*, 2015, 38(3): 393-398.
(Zeng W, Zhou Y W. Research on dual-channel supply chain joint pricing decision and coordination mechanism under mixed demand[J]. *J of Hefei University of Technology: Natural Science*, 2015, 38(3): 393-398.)
- [9] 许民利, 聂晓哲, 简惠云. 不同风险偏好下双渠道供应链定价决策[J]. *控制与决策*, 2016, 31(1): 91-98.
(Xu M L, Nie X Z, Jian H Y. Pricing decision of dual-channel supply chain with risk preference[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(1): 91-98.)
- [10] 金亮, 张旭梅, 李诗杨. 不对称信息下线下到线上 O2O 供应链佣金契约设计[J]. *管理学报*, 2017, 14(6): 908-915.
(Jin L, Zhang X M, Li S Y. Commission contract design in offline to online (O2O) supply chain under asymmetric information[J]. *Chinese J of Management*, 2017, 14(6): 908-915.)
- [11] 张学龙, 王军进. 制造商主导型双渠道供应链协调决策模型[J]. *控制与决策*, 2016, 31(8): 1519-1525.
(Zhang X L, Wang J J. Supply chain coordination decision model of manufacture-led dual-channel supply [J]. *Control and Decision*, 2016, 31(8): 1519-1525.)
- [12] Ren L L, He Y, Song H F. Price and service competition of dual-channel supply chain with consumer returns[J]. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014, 2014(11): 1-10.
- [13] Dan B, Qu Z J, Liu C, et al. Price and service competition in the supply chain with both pure play Internet and strong bricks-and-mortar retailers[J]. *J of Applied Research and Technology*, 2014, 12(2): 212-222.
- [14] Dan B, Xu G Y, Liu C. Pricing policies in a dual-channel supply chain with retail services[J]. *Int J of Production Economics*, 2012, 139(1): 312-320.
- [15] 丁锋, 霍佳震. 服务水平对双渠道供应链协调策略影响研究[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(专辑): 485-490.
(Ding F, Huo J Z. Study on the effect of service for coordination strategy of dual-channel supply chain[J]. *Chinese J of Management Science*, 2014, 22(S1): 485-490.)
- [16] 王燕, 颜荣芳. 双渠道供应链中的价格决策与服务决策研究[J]. *经济数学*, 2013, 30(4): 84-89.
(Wang Y, Yan R F. Research on pricing and service decisions in a dual-channel supply chain[J]. *J of Quantitative Economics*, 2013, 30(4): 84-89.)
- [17] 许明星, 王健. 基于服务策略的双渠道供应链定价研究[J]. *软科学*, 2014, 28(5): 111-114.
(Xu M X, Wang J. Pricing analysis of dual-channel supply chain with service strategy[J]. *Soft Science*, 2014, 28(5): 111-114.)
- [18] 黄大荣, 赖星霖, 舒雪绒. 基于制造商提供服务的双渠道协调机制研究[J]. *运筹与管理*, 2016, 25(4): 248-256.
(Huang D R, Lai X L, Shu X R. Research on coordination mechanism of a dual-channel supply chain with manufacturer provide service[J]. *Operations Research and Management Science*, 2016, 25(4): 248-256.)
- [19] Zhang P, Xiong Y, Xiong Z K. Coordination of a dual-channel supply chain after demand or production cost disruptions[J]. *Int J of Production Research*, 2015, 53(10): 3141-3160.
- [20] Soleimani F, Kharseh A A, Naderi B. Optimal decisions in a dual-channel supply chain under simultaneous demand and production cost disruptions[J]. *Annals of Operations Research*, 2016, 243(1/2): 301-321.
- [21] 曹二保, 郑健哲, 马玉洁, 等. 双渠道供应链应对需求扰动的协调机制研究[J]. *管理学报*, 2014, 11(2): 267-273.
(Cao E B, Zheng J Z, Ma Y J, et al. Coordination of dual-channel supply chain with demand disruptions[J]. *Chinese J of Management*, 2014, 11(2): 267-273.)
- [22] 吴晓志, 陈宏, 张俊. 考虑服务竞争的 O2O 供应链决策与协调[J]. *控制与决策*, 2015, 30(8): 1453-1461.
(Wu X Z, Chen H, Zhang J. Decision-making and coordination in an O2O supply chain when service competes[J]. *Control and Decision*, 2015, 30(8): 1453-1461.)
- [23] 吴晓志, 陈宏, 张俊. 多因素同时扰动下双渠道供应链应急协调[J]. *系统工程*, 2015, 33(9): 52-57.
(Wu X Z, Chen H, Zhang J. Coordinating a dual-channel supply chain under multi-factorial disruptions[J]. *Systems Engineering*, 2015, 33(9): 52-57.)