文章编号: 1001-0920 (2015) 08-1453-09 DOI: 10.13195/j.kzyjc.2014.0839

考虑服务竞争的O2O供应链决策与协调

吴晓志, 陈 宏, 张 俊
(电子科技大学 经济与管理学院，成都 611731)

摘 要: O2O 模式下的双渠道供应链颠覆了传统的渠道价格竞争模式、价格协同机制和服务水平, 已成为决策的关键要素. 当供应链发生需求和服务替代系数突变时, 通过 KKT 条件求出不同扰动情形下制造商垂直 O2O 供应链和零售商水平 O2O 供应链的决策值, 然后设计了两部定价契约协调需求和服务替代系数同时扰动下的 O2O 供应链. 研究表明, 两部定价契约可以协调零售商 O2O 供应链, 当突变范围较大时, 作为博弈主导方的零售商将放弃加价销售, 转向收取固定的转移支付.

关键词: O2O 供应链；扰动；两部定价契约；博弈论
中图分类号: F224 **文献标志码:** A

Decision-making and coordination in an O2O supply chain when service competes

WU Xiao-zhi, *CHEN Hong*, *ZHANG Jun*
(School of Economics and Management，University of Electronic Science and Technology of China，Chengdu 611731，China．Corrrespondent：WU Xiao-zhi，E-mail：fjfzwxz@163.com)

Abstract: The dual-channel supply chain under O2O mode completely changes price competition in the traditional channels. Price mechanism and service level have become two key factors in the operation of O2O supply chains. When the disruptions of the market demand and the service substitution coefficient in the supply chain take place, the decision value under different scenarios in the vertical manufacturer's O2O supply chain and the horizontal retailer's O2O supply chain can be obtained by using KKT conditions. The two-part-tariff contract is used to coordinate the O2O supply chain when the disruptions of the market demand and the service substitution coefficient occur simultaneously. The result shows that the two-part-tariff contract can coordinate the retailer's O2O supply chain with disruptions. When the disruptions are large, as the leader of the Stackelberg game, the retailer gives up increasing retail price and turns to charge fixed transfer payment.

Keywords: O2O supply chain；disruption；two-part-tariff contract；game theory

0 引 言

近年来, 消费者开始习惯于通过网络购买商品, 无论是联想、美的等制造商还是沃尔玛、国美等传统零售商都纷纷开拓电子渠道来满足不同顾客的需要, 网络渠道的价格竞争越来越激烈, 利润逐年下降. 部分创新型企业提出 Online To Offline (O2O) 模式, 即线下的商务机会与线上结合. 从 2013 年年底开始, 信息技术的推广使得 O2O 模式开始了本地化以及同移动设备的整合, O2O 模式进入了高速发展的时代. 随着 O2O 概念的深入人心, 商家致力于通过线下体验店和网上商城相结合的方式整合 O2O 供应链, 上汽集团通过整合 4S 店和上汽车享网来实现 O2O, 天猫和银泰百货合作 O2O 等现象表明了无论是制造业巨头还是零售业巨头均对 O2O 模式报以厚望. 苏宁实施了双线同价策略, 对其自身甚至对整个行业的影响都是颠覆性的. 以往的实体店由于价格竞争, 线上商品价格低于线下, 尴尬地沦为了纯体验店, 它以高昂的运营成本"为他人作嫁衣裳". 双线同价后, O2O 模式终于落地, 人们既可以在网上足不出户购物, 又可以在实体店体验之后再购物.

现有 O2O 业务模式的文献大都集中在服务提升与推荐系统上[1-3], 而与 O2O 供应链相关的文献主

收稿日期: 2014-05-26；**修回日期:** 2014-11-03.
基金项目: 国家自然科学基金项目(71472026)；教育部人文社科基金项目(11YJA630141,12YJA630174)；高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110185110022).
作者简介: 吴晓志(1981−), 男, 博士生, 从事供应链管理的研究；陈宏(1956−), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、应急管理、市场营销等研究.

要是针对双渠道供应链进行的研究, 以解决渠道冲突、渠道定价决策以及渠道协调等问题. Tsay 等[4]发现增加电子渠道可以提高供应链双方成员的利润; Dumrongsiri 等[5]发现当零售商存在服务改善时, 会改善双渠道供应链的整体利润; Cai[6]研究了双渠道结构对生产商、零售商以及整个供应链决策的影响. 双渠道供应链协调的文献中, Hua 等[7]研究了电子渠道的承诺配送提前期对制造商和零售商定价策略的影响; Chen 等[8]研究了制造商如何设计两部定价契约和利益分享契约协调双渠道供应链; Xu 等[9]针对双渠道供应链中同一产品在不同渠道间的替代性, 提出了双向收益共享契约协调双渠道供应链. 在涉及到服务方面的双渠道供应链研究中, Chen 等[10]研究了渠道间存在服务竞争情况下制造商如何构建和管理双渠道的问题; Yan 等[11]研究了在双渠道供应链中零售服务对渠道竞争、渠道冲突以及供应链绩效的影响; Dan 等[12]研究了顾客对传统渠道的忠诚度以及零售服务对双渠道供应链成员定价决策的影响. 这些文献主要考虑平稳状态下双渠道供应链的决策和协调问题, 它们都以价格为主要决策参数进行研究.

O2O 环境下以顾客为中心的方式强调对购物体验的提升, 增加服务投入能够提高渠道消费者的需求; 另一方面, 消费者需求的个性化使得产品的生命周期越来越短. 为了更好地匹配供给与需求, 要求供应链上的节点企业相互合作以达到快速响应的目的. 然而, 突发事件会对平稳运行的供应链造成巨大影响. 特别是当互联网环境下的技术革新导致已经预测好的消费者需求和渠道服务的敏感性系数发生扰动时, 会使得只考虑平稳状态的供应链决策产生偏差. 如果在决策时考虑扰动因素, 将会加强双渠道供应链的应对能力. 双渠道供应链扰动管理的文献中, Xiao 等[13-14]研究了需求和成本扰动时一个制造商面对二个古诺竞争零售商的情形; Huang 等[15-16]考虑了双渠道供应链面临着需求或成本扰动时的集中决策和分散决策; 黄松等[17]还研究了需求和成本同时扰动时的双渠道供应链决策问题, 指出了不同扰动区间的信息价值; 曹二保等[18]提出采用改进收益共享契约协调双渠道供应链需求扰动. 从以上文献来看, 关于双渠道供应链协调的文献相对较多, 而考虑突变的双渠道供应链协同领域的文献则相对较少, 考虑 O2O 情形下双渠道供应链协调的文献还未有定量研究. 本文针对制造商垂直 O2O 供应链和零售商水平 O2O 供应链, 研究了市场需求和服务替代系数平稳和突变时的 O2O 双渠道供应链运营决策问题, 给出了平稳和发生扰动情形下 O2O 供应链的决策策略, 同时设计了两部契约协调零售商水平 O2O 供应链.

1 基本需求模型

在一条两阶段 O2O 供应链中, 生产和销售的产品属于易逝品, 市场需求为 $a(a > 0)$, 电子渠道的需求比例为 $\mu\,(0 < \mu < 1)$, 单位制造成本为 $c_m\,(c_m > 0)$, 电子渠道和传统渠道的销售价格均为 p, 电子渠道和传统渠道中存在一定的服务竞争关系, 渠道的服务水平分别为 s_e 和 s_t, 渠道间的需求服务替代系数为 $\theta\,(0 < \theta < 1)$. 服务投入的成本 $C(s_i) = \eta s_i^2/2,\ i = e, t$, 投入系数 $\eta > 1$, 构建平稳状态下该供应链电子渠道和传统渠道面临的需求函数为

$$\begin{aligned} q_e &= \mu a - p + s_e - \theta s_t,\\ q_t &= (1-\mu)a - p + s_t - \theta s_e. \end{aligned} \tag{1}$$

当生产计划已经下达后, 市场规模以及消费者的渠道替代系数同时发生变化, 特别是信息技术创新或 O2O 商业模式创新使得消费者需求和渠道间的服务反应系数发生了突变. 假设市场规模扰动为 Δa $(\Delta a > -a)$, 渠道间需求服务敏感系数的变化为 $\Delta\theta$ $(-\theta < \Delta\theta < 1-\theta)$. 扰动后的零售价格为 $\widetilde{p}$, 电子渠道和传统渠道的服务水平分别为 $\widetilde{s}_e$ 和 $\widetilde{s}_t$. 当供给不足时, 需要外购或紧急生产, 其增加供给的单位成本为 $k_1\,(0 < k_1 < c_m)$; 当需求不足时, 在二级市场处理剩余产品的单位成本为 $k_2 (0 < k_2 < c_m)$, 发生市场规模和服务敏感系数扰动后的双渠道供应链需求函数为

$$\begin{aligned} \widetilde{q}_e &= \mu(a+\Delta a) - \widetilde{p} + \widetilde{s}_e - (\theta+\Delta\theta)\widetilde{s}_t,\\ \widetilde{q}_t &= (1-\mu)(a+\Delta a) - \widetilde{p} + \widetilde{s}_t - (\theta+\Delta\theta)\widetilde{s}_e. \end{aligned} \tag{2}$$

2 制造商垂直 O2O 供应链

制造商垂直 O2O 供应链指的是制造商垂直双渠道下执行的 O2O 决策, 本质为线上线下同价、服务提升下的制造商双渠道集中决策. 例如, TCL、美特斯邦威、七匹狼等企业在 O2O 浪潮中自营 O2O 线上线下店, 最大程度满足不同渠道顾客的需求. 在制造商垂直 O2O 策略下, 供应链为集中决策, 实现利润最大化.

2.1 平稳状态下制造商垂直 O2O 决策

平稳状态下的供应链决策主要是指供应链在未发生扰动时的最优决策行为, 包括了平稳状态下的最优零售价格 p^* 和线上线下渠道的最佳服务水平 (s_e^*, s_t^*).

平稳状态下可以得到供应链的利润函数为

$$\begin{aligned} \varPi = {}& (p-c_m)[a-2p+(1-\theta)(s_e+s_t)]-\\ & \eta(s_t^2+s_e^2)/2. \end{aligned} \tag{3}$$

$\varPi$ 的海塞矩阵为

$$\begin{bmatrix} -4 & 1-\theta & 1-\theta\\ 1-\theta & -\eta & 0\\ 1-\theta & 0 & -\eta \end{bmatrix},$$

其顺序主子式 $[-4, 4\eta-(1-\theta)^2, -4\eta^2+2\eta(1-\theta)^2]$ 是负定矩阵, 因此, $\Pi(p, s_e, s_t)$ 是关于 (p, s_e, s_t) 的严格可微凹函数.

这样可以得到平稳状态下制造商垂直O2O的最优决策

$$p^* = c_m + \frac{\eta(a-2c_m)}{4\eta-2(1-\theta)^2},$$

$$s_e^* = s_t^* = \frac{(1-\theta)(a-2c_m)}{4\eta-2(1-\theta)^2},$$

$$q_e^* = \frac{a[\eta(4\mu-1)+(1-2\mu)(1-\theta)^2]-2\eta c_m}{4\eta-2(1-\theta)^2},$$

$$q_t^* = \frac{a[\eta(3-4\mu)+(2\mu-1)(1-\theta)^2]-2\eta c_m}{4\eta-2(1-\theta)^2},$$

$$Q^* = q_e^* + q_t^* = \frac{\eta(a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2},$$

$$\Pi^* = \frac{\eta(a-2c_m)^2}{8\eta-4(1-\theta)^2}.$$

2.2　扰动状态下制造商垂直O2O决策

当需求和服务替代系数同时扰动后, 供应链利润函数变为

$$\widetilde{\Pi} = (\widetilde{p}-c_m)(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t) - \eta(\widetilde{s}_t^2+\widetilde{s}_e^2)/2 - k_1(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-Q^*)^+ - k_2(Q^*-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t)^+,$$

其中

$$(x)^+ = \max(x, 0). \tag{4}$$

函数(4)中第3项为紧急采购或生产带来的成本, 第4项为在二级市场处理多余产品带来的成本.

当 $\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t \geqslant q_e^*+q_t^*$ 时, 供应链利润函数变成

$$\widetilde{\Pi}_1 = (\widetilde{p}-c_m)[a+\Delta a-2\widetilde{p}+(\widetilde{s}_e+\widetilde{s}_t)(1-\theta-\Delta\theta)] - \frac{\eta}{2}(\widetilde{s}_t^2+\widetilde{s}_e^2) - k_1(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-Q^*), \tag{5}$$

$$\text{s.t. } \widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t \geqslant q_e^*+q_t^*.$$

供应链利润 Π 是关于零售价格 (p, s_e, s_t) 的严格凹函数, 因此可以求出最优解.

定义曲线

$$\Delta a = \frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2} + 2k_1,$$

和

$$\Delta a = \frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2} - 2k_2,$$

将决策区间分成了3个部分. 如图1所示, 可以得到制造商垂直O2O下的扰动决策区域: 当扰动范围处于区域 D_1 时, 制造商将增加生产计划或外购; 当扰动范围处于区域 D_2 时, 制造商不改变销量; 当扰动范围处于区域 D_3 时, 多余产品将销往二级市场.

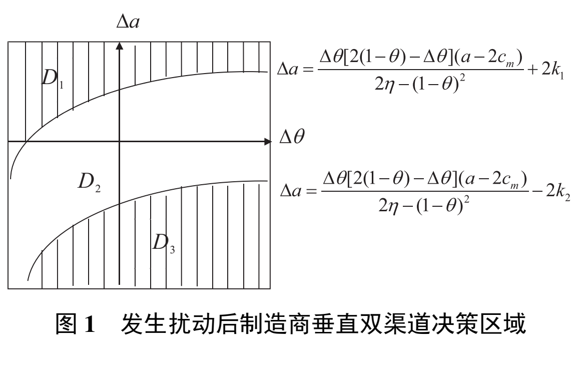

图 1　发生扰动后制造商垂直双渠道决策区域

定理 1　当双渠道供应链为制造商垂直O2O供应链时, 在面临需求和服务替代系数同时扰动时, 最优零售价格、渠道服务水平、制造商销量以及利润分别为

$$\widetilde{p}^* = \begin{cases} \dfrac{\eta(a+\Delta a)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]} + c_m + k_1, & \Delta a, \Delta\theta \in D_1; \\ p^* + \dfrac{\Delta a[1+3\theta+2\mu(1-\theta)]}{4(1-\theta^2)}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_2; \\ \dfrac{\eta(a+\Delta a)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]} + c_m - k_2, & \Delta a, \Delta\theta \in D_3. \end{cases}$$

$$\widetilde{s}_e^* = \widetilde{s}_t^* = \begin{cases} \dfrac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_1; \\ \dfrac{(1-\Delta\theta-\theta)(a-2c_m)}{4\eta-2(1-\theta)^2}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_2; \\ \dfrac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_3. \end{cases}$$

$$\widetilde{Q}^* = \widetilde{q}_e^* + \widetilde{q}_t^* = \begin{cases} \dfrac{\eta[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_1; \\ \dfrac{\eta(a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_2; \\ \dfrac{\eta[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2}, & \Delta a, \Delta\theta \in D_3. \end{cases}$$

$$\widetilde{\Pi}^* = \begin{cases} \dfrac{\eta(a+\Delta a-2c_m-2k_1)^2}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]} + \dfrac{\eta(a-2c_m)k_1}{2\eta-(1-\theta)^2}, \\ \qquad \Delta a, \Delta\theta \in D_1; \\ \dfrac{\eta(a-2c_m)\Delta a}{2[2\eta-(1-\theta)^2]} + \\ \dfrac{\eta(a-2c_m)^2[2(\eta+\Delta\theta^2)-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}{4[2\eta-(1-\theta)^2]^2}, \\ \qquad \Delta a, \Delta\theta \in D_2; \\ \dfrac{\eta(a+\Delta a-2c_m+2k_2)^2}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]} - \dfrac{\eta(a-2c_m)k_2}{2\eta-(1-\theta)^2}, \\ \qquad \Delta a, \Delta\theta \in D_3. \end{cases}$$

证明　根据Kuhn-Tucker条件, 求解函数

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\widetilde{\Pi}_1}{\partial\widetilde{p}} - 2\lambda = \dfrac{\partial\widetilde{\Pi}_1}{\partial\widetilde{s}_i} + (1-\theta-\Delta\theta)\lambda = 0, \\ \widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-q_e^*-q_t^* \geqslant 0, \\ \lambda(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-q_e^*-q_t^*) = 0, \ \lambda \geqslant 0, \end{cases} \tag{6}$$

可以得到两种情形.

情形 1　若 $\lambda = 0$, 则当

$$\Delta a \geqslant \frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2}+2k_1$$

时, 市场最优零售价格、渠道的服务水平分别为

$$\widetilde{p}_1^* = \frac{\eta(a+\Delta a)+2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](c_m+k_1)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

$$\widetilde{s}_{e1}^* = \widetilde{s}_{t1}^* = \frac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]};$$

渠道销量为

$$\widetilde{q}_{e1}^* = \frac{(a+\Delta a)[\eta(4\mu-1)+(1-\theta-\Delta\theta)^2(1-2\mu)]-2\eta(c_m+k_1)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

$$\widetilde{q}_{t1}^* = \frac{(a+\Delta a)[\eta(3-4\mu)-(1-\theta-\Delta\theta)^2(1-2\mu)]-2\eta(c_m+k_1)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]};$$

供应链销量为

$$\widetilde{Q}_1^* = \frac{\eta[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2}.$$

情形 2 若 $\lambda > 0$, 则当

$$\Delta a < \frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2}+2k_1$$

时, 市场最优零售价格、渠道的服务水平分别为

$$\widetilde{p}_2^* = \frac{\Delta a[2\eta-(1-\theta)^2]+a[\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]+}{4\eta-} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]c_m}{2(1-\theta)^2},$$

$$\widetilde{s}_{e2}^* = \widetilde{s}_{t2}^* = \frac{(1-\Delta\theta-\theta)(a-2c_m)}{4\eta-2(1-\theta)^2};$$

渠道销量为

$$\widetilde{q}_{e2}^* = \frac{a[(1-\theta)^2(1-2\mu)-\eta(1-4\mu)]-}{4\eta-} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{\Delta a[2\eta-(1-\theta)^2](1-2\mu)-2\eta c_m}{2(1-\theta)^2},$$

$$\widetilde{q}_{t2}^* = \frac{a[\eta(3-4\mu)-(1-\theta)^2(1-2\mu)]+}{4\eta-} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{\Delta a[2\eta-(1-\theta)^2](1-2\mu)-2\eta c_m}{2(1-\theta)^2};$$

供应链销量为

$$\widetilde{Q}_2^* = \frac{\eta(a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2} = Q^*.$$

当 $\widetilde{q}_e + \widetilde{q}_t \leqslant q_e^* + q_t^*$ 时, 供应链利润函数变成

$$\widetilde{\Pi}_2 = (\widetilde{p}-c_m)[a+\Delta a-2\widetilde{p}+(\widetilde{s}_e+\widetilde{s}_t)(1-\theta-\Delta\theta)]-\frac{\eta}{2}(\widetilde{s}_e^2+\widetilde{s}_t^2)-k_2(Q^*-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t), \quad (7)$$

s.t. $\widetilde{q}_e + \widetilde{q}_t \leqslant q_e^* + q_t^*$.

根据 Kuhn-Tucker 条件, 求解

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\widetilde{\Pi}_2}{\partial\widetilde{p}}+2\lambda = \dfrac{\partial\widetilde{\Pi}_2}{\partial\widetilde{s}_i}-(1-\theta-\Delta\theta)\lambda = 0, \\ q_e^*+q_t^*-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t \geqslant 0, \\ \lambda(q_e^*+q_t^*-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t) = 0,\ \lambda \geqslant 0, \end{cases} \quad (8)$$

同样也存在两种情形.

情形 3 若 $\lambda > 0$, 则同情形 2, 得到当

$$\Delta a > \frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2}-2k_2$$

时, 市场最优零售价格、渠道的服务水平分别为

$$\widetilde{p}_3^* = \frac{\Delta a[2\eta-(1-\theta)^2]+a[\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]+}{4\eta-} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]c_m}{2(1-\theta)^2},$$

$$\widetilde{s}_{e3}^* = \widetilde{s}_{t3}^* = \frac{(1-\Delta\theta-\theta)(a-2c_m)}{4\eta-2(1-\theta)^2};$$

渠道销量为

$$\widetilde{q}_{e3}^* = \frac{a[(1-\theta)^2(1-2\mu)-\eta(1-4\mu)]-}{4\eta-} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{\Delta a[2\eta-(1-\theta)^2](1-2\mu)-2\eta c_m}{2(1-\theta)^2},$$

$$\widetilde{q}_{t3}^* = \frac{a[\eta(3-4\mu)-(1-\theta)^2(1-2\mu)]+}{4\eta-} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{\Delta a[2\eta-(1-\theta)^2](1-2\mu)-2\eta c_m}{2(1-\theta)^2};$$

供应链销量为

$$\widetilde{Q}_3^* = \frac{\eta(a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2} = Q^*.$$

因此, 情形 3 下制造商的生产计划也不变.

情形 4 若 $\lambda = 0$, 则当

$$\Delta a \leqslant \frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{2\eta-(1-\theta)^2}-2k_2$$

时, 市场最优零售价格、渠道的服务水平分别为

$$\widetilde{p}_4^* = \frac{\eta(a+\Delta a)+2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](c_m-k_2)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

$$\widetilde{s}_{e4}^* = \frac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

$$\widetilde{s}_{t4}^* = \frac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]};$$

渠道销量为

$$\widetilde{q}_{e4}^* = \frac{(a+\Delta a)[\eta(4\mu-1)+(1-\theta-\Delta\theta)^2(1-2\mu)]-2\eta(c_m-k_2)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

$$\widetilde{q}_{t4}^* = \frac{(a+\Delta a)[\eta(3-4\mu)-(1-\theta-\Delta\theta)^2(1-2\mu)]-2\eta(c_m-k_2)}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]};$$

供应链销量为

$$\widetilde{Q}_4^* = \frac{\eta[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2}.$$

定理得证. □

从定理 1 中可以看出, 制造商垂直 O2O 供应链具有一定的鲁棒性, 在鲁棒区域内, 制造商不用调整生产计划, 仅需要调整零售价格和渠道服务水平即可实现供应链决策优化, 而当扰动范围在鲁棒区域之外时,

制造商必须调整生产计划, 或者借助二级市场调整供应数量.

3　零售商水平 O2O 供应链

零售商水平 O2O 供应链指的是零售商双渠道条件下执行 O2O 策略, 传统零售商用水平 O2O 策略来抵抗电子商务的冲击, 电子零售商用自建线下体验店的方式吸引线下顾客, 银泰百货、1 号店、苏宁等企业都开始致力于零售商水平 O2O 供应链的建设, 实现 O2O 的基础是线上线下同价策略, 同时服务的提升不断增加着对顾客的吸引力.

在西方国家, 基于手机 APP 的 O2O 零售模式已经非常成熟, 而中国的 O2O 零售模式也被 BAT 所控制的地图类 APP 所领导, 在这些 APP 软件的引领下, 零售商通过大数据可以实时掌握顾客的消费行为与趋势, 也逐渐掌握了在供应链中的主导权. 能够实现 O2O 模式的零售商往往都是零售巨头, 在零售商水平 O2O 模式下, 零售商在供应链博弈中一般是主导方, 因此, 假设零售商水平 O2O 供应链中存在着零售商主导的 Stackelberg 博弈.

3.1　平稳状态下零售商水平 O2O 分散决策

平稳状态下零售商利润函数为

$$\Pi_r=(p-w)(q_e+q_t)-\frac{\eta}{2}(s_t^2+s_e^2), \tag{9}$$

制造商的利润函数为

$$\Pi_m=(w-c_m)(q_e+q_t). \tag{10}$$

根据主从博弈原理, 零售商根据市场需求率先提出边际利润和服务水平, 制造商根据生产成本以一定的批发价格提供给零售商, 零售商的零售价格为

$$p=w+m,$$

其中 m 为零售商单位边际利润.

制造商的批发价格对零售商边际利润和服务水平的反应函数为

$$w_0=\frac{1}{4}[a+\Delta a+2(c_m-m)+(1-\theta)(s_e+s_t)], \tag{11}$$

因此, 将式 (11) 代入 (9), 可以求解得到平稳状态下零售商水平 O2O 分散决策

$$m^0=\frac{\eta(a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2},$$

$$s_e^0=s_t^0=\frac{(1-\theta)(a-2c_m)}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},$$

$$q_e^0=\frac{a[(1-\theta)^2(1-2\mu)-\eta(3-8\mu)]-2\eta c_m}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},$$

$$q_t^0=\frac{a[(1-\theta)^2(1-2\mu)+\eta(5-8\mu)]-2\eta c_m}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},$$

$$Q^0=q_e^0+q_t^0=\frac{\eta(a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2},$$

$$\Pi^0=\frac{\eta[6\eta-(1-\theta)^2](a-2c_m)^2}{4[4\eta-(1-\theta)^2]^2}.$$

3.2　扰动状态下零售商水平 O2O 分散决策

当突发事件导致需求和渠道服务替代系数同时扰动时, 零售商利润函数为

$$\widetilde{\Pi}_r^0=(\widetilde{p}-\widetilde{w})(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t)-\eta(\widetilde{s}_t^2+\widetilde{s}_e^2)/2-k_1(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-Q^0)^+-k_2(Q^0-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t)^+, \tag{12}$$

零售商的零售价格为 $\widetilde{p}=\widetilde{w}+\widetilde{m}$.

制造商的利润函数为

$$\widetilde{\Pi}_m^0=(\widetilde{w}-c_m)(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t). \tag{13}$$

定义曲线

$$\Delta a=\frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2}+2k_1,$$

和

$$\Delta a=\frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2}-2k_2,$$

决策区间分成了 3 个部分. 如图 2 所示, 可得到分散决策下零售商水平 O2O 的扰动决策区域: 当扰动范围处于区域 D_4 时, 零售商将向制造商紧急采购或选择外购; 当扰动范围处于区域 D_5 时, 零售商不改变销量; 当扰动范围处于区域 D_6 时, 多余产品将销往二级市场.

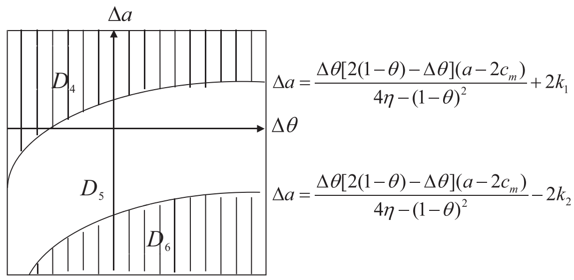

图 2　发生扰动后分散决策下零售商水平双渠道决策区域

定理 2　在双渠道供应链为零售商水平 O2O 供应链时, 供应链存在零售商主导的 Stackelberg 博弈, 当制造商和零售商之间不存在契约约束, 面临需求和服务替代系数同时扰动时, 单位边际利润、渠道服务水平、供应链销量和总利润分别为

$$\widetilde{m}^0=\begin{cases}\dfrac{3\eta(a+\Delta a)+2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](c_m+k_1)}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}, & \Delta a,\Delta\theta\in D_4;\\[2ex] \dfrac{\Delta a[4\eta-(1-\theta)^2]+(a-2c_m)[2\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]}{2[4\eta-(1-\theta)^2]}, & \Delta a,\Delta\theta\in D_5;\\[2ex] \dfrac{3\eta(a+\Delta a)+2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](c_m-k_2)}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}, & \Delta a,\Delta\theta\in D_6.\end{cases}$$

$$\widetilde{s}_e^0 = \widetilde{s}_t^0 = \begin{cases} \dfrac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_4; \\ \dfrac{(1-\theta-\Delta\theta)(a-2c_m)}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_5; \\ \dfrac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_6. \end{cases}$$

$$\widetilde{Q}^0 = \widetilde{q}_e^0+\widetilde{q}_t^0 = \begin{cases} \dfrac{\eta[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_4; \\ \dfrac{\eta(a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_5; \\ \dfrac{\eta[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_6. \end{cases}$$

$$\widetilde{\Pi}^0 = \begin{cases} \dfrac{\eta[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]^2}{4[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+ \\ \dfrac{[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]^2\eta^2}{2[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2}+ \\ \dfrac{\Delta\theta(a-2c_m)(2-2\theta-\Delta\theta)\eta k_1}{[4\eta-(1-\theta)^2][4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+ \\ \dfrac{\eta k_1(a-2c_m)}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_4; \\ \dfrac{2\eta(a-2c_m)^2\Delta\theta^2}{4[4\eta-(1-\theta)^2]^2}+ \\ \dfrac{\eta(a-2c_m)^2[6\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}{4[4\eta-(1-\theta)^2]^2}+ \\ \dfrac{\eta\Delta a(a-2c_m)}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_5; \\ \dfrac{\eta[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]^2}{4[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+ \\ \dfrac{[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]^2\eta^2}{2[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2}- \\ \dfrac{\Delta\theta(a-2c_m)(2-2\theta-\Delta\theta)\eta k_2}{[4\eta-(1-\theta)^2][4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}- \\ \dfrac{\eta k_2(a-2c_m)}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_6. \end{cases}$$

证明 当 $\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t\geqslant q_e^0+q_t^0$ 时, 根据 Kuhn-Tucker 条件, 求解

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\widetilde{\Pi}_m^0}{\partial\widetilde{w}}+2\lambda=0, \\ \widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-q_e^0-q_t^0\geqslant 0, \\ \lambda(\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t-q_e^0-q_t^0)=0,\ \lambda\geqslant 0, \end{cases}$$

可以得到两种情形.

情形 5 若 $\lambda=0$, 则当

$$\Delta a\geqslant\frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2}+2k_1$$

时, 制造商的批发价格对零售商边际利润和服务水平的反应函数为

$$\widetilde{w}_1=\frac{1}{4}[a+\Delta a+2(c_m+k_1-\widetilde{m}_1)+ (1-\theta-\Delta\theta)(\widetilde{s}_e+\widetilde{s}_t)]. \tag{14}$$

将式 (14) 代入 (12), 求最优解可得到零售商的单位边际利润

$$\widetilde{m}_1^0=\frac{\eta[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

服务水平

$$\widetilde{s}_{1e}^0=\widetilde{s}_{1t}^0=\frac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m+k_1)]}{2[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

此时制造商的批发价格为

$$\widetilde{w}_1^0=\frac{(a+\Delta a)\eta+2[3\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](c_m+k_1)}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

零售商的零售价格为

$$\widetilde{p}_1^0=\frac{3\eta(a+\Delta a)}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+\frac{c_m+k_1}{2}.$$

情形 6 若 $\lambda>0$, 则当

$$\Delta a<\frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2}+2k_1$$

时, 制造商的批发价格对零售商边际利润和服务水平的反应函数为

$$\widetilde{w}_2=\frac{1}{4}[a+\Delta a-2\widetilde{m}_2+2c_m+ (1-\theta-\Delta\theta)(s_e+s_t)]. \tag{15}$$

将式 (15) 代入 (12), 求解得到

$$\widetilde{m}_2^0=\frac{\Delta a[4\eta-(1-\theta)^2]+(a-2c_m)[2\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},$$

$$\widetilde{s}_{2e}^0=\widetilde{s}_{2t}^0=\frac{(1-\theta-\Delta\theta)(a-2c_m)}{2[4\eta-(1-\theta)^2]}.$$

此时制造商的批发价格为

$$\widetilde{w}_2^0=\frac{a\eta+2[3\eta-(1-\theta)^2]c_m}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},$$

零售商的零售价格为

$$\widetilde{p}_2^0=\frac{a[3\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]+2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]c_m}{2[4\eta-(1-\theta)^2]}+\frac{\Delta a}{2}.$$

当 $\widetilde{q}_e+\widetilde{q}_t\leqslant q_e^0+q_t^0$ 时, 根据 Kuhn-Tucker 条件, 求解

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\widetilde{\Pi}_m^0}{\partial\widetilde{w}}-2\lambda=0, \\ q_e^0+q_t^0-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t\geqslant 0, \\ \lambda(q_e^0+q_t^0-\widetilde{q}_e-\widetilde{q}_t)=0,\ \lambda\geqslant 0, \end{cases}$$

同样也存在两种情形.

情形 7 若 $\lambda>0$, 则同情形 2, 得到当

$$\Delta a>\frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2}-2k_2$$

时, 制造商的批发价格为

$$\widetilde{w}_3^0=\frac{a\eta+2[3\eta-(1-\theta)^2]c_m}{2[4\eta-(1-\theta)^2]},$$

零售商的零售价格为

$$\widetilde{p}_3^0=\frac{a[3\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]}{2[4\eta-(1-\theta)^2]}+\frac{2[\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]c_m}{2[4\eta-(1-\theta)^2]}+\frac{\Delta a}{2}.$$

情形 8　若 $\lambda=0$, 则同情形 1, 得到当

$$\Delta a\leqslant\frac{\Delta\theta[2(1-\theta)-\Delta\theta](a-2c_m)}{4\eta-(1-\theta)^2}-2k_2$$

时, 制造商批发价格为

$$\widetilde{w}_4^0=\frac{(a+\Delta a)\eta+2[3\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](c_m-k_2)}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]},$$

零售商的渠道零售价格和服务水平为

$$\widetilde{p}_4^0=\frac{3\eta(a+\Delta a)}{4[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+\frac{c_m-k_2}{2},$$

$$\widetilde{s}_{4e}^0=\widetilde{s}_{4t}^0=\frac{(1-\Delta\theta-\theta)[a+\Delta a-2(c_m-k_2)]}{2[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}.$$

定理得证. □

从定理 2 中可以看出, 零售商水平 O2O 供应链在无契约约束下, 供应链的决策参数不等于制造商垂直 O2O 时的决策利润, 因此, 无契约下的零售商水平 O2O 供应链无法实现协调.

4　零售商水平 O2O 供应链协调

制造商垂直 O2O 供应链由于供应链集中决策, 供应链利润实现最大化, 而分散决策下的零售商水平 O2O 供应链在“双边际”效应的影响下, 无法实现最优. 供应链契约的设计可以使得零售商水平 O2O 供应链实现优化. 在零售商水平 O2O 分散供应链中, 零售商收取服务费的情况较多, 因此, 考虑采用两部定价契约 (M,T). 两部定价, 是指厂商在销售产品或服务时向顾客收取一笔购买权的固定费, 同时收取每单位的使用费, 其协调方式为零售商在制造商给予的批发价格上加价 M 销售到 O2O 渠道, 然后再向制造商收取一定的转移支付 T, 此转移支付类似于制造商给 O2O 零售商某批次销售的固定服务费. $M>0$ 意味着在批发价格的基础上加价销售, $M<0$ 意味着在批发价格的基础上打折销售, 比如酒类 O2O 中, 由于存在返利, 团购网站的零售价格可能小于酒厂给予零售商的批发价格. 当突发事件导致需求和渠道服务替代系数同时扰动时, 零售商根据集中决策制定的最佳服务水平 $(\widetilde{s}_e^*,\widetilde{s}_t^*)$, 零售商的零售价格为 $\widetilde{p}=\widetilde{w}+M$, 零售商利润函数为

$$\begin{aligned}&\widetilde{\Pi}_r^{TP}=\\&M[(a+\Delta a)-2(\widetilde{w}+M)-(1-\theta-\\&\Delta\theta)(\widetilde{s}_e^*+\widetilde{s}_t^*)]-\frac{\eta}{2}(\widetilde{s}_e^{*2}+\widetilde{s}_e^{*2})-\\&k_1(\widetilde{Q}-Q^*)^+-k_2(Q^*-\widetilde{Q})^++T,\end{aligned}\tag{16}$$

制造商的利润函数为

$$\begin{aligned}&\widetilde{\Pi}_m^{TP}=\\&(\widetilde{w}-c_m)[(a+\Delta a)-2(\widetilde{w}+M)-\\&(1-\theta-\Delta\theta)(\widetilde{s}_e^*+\widetilde{s}_t^*)]-T.\end{aligned}\tag{17}$$

定理 3　当扰动规模足够大时, 零售商水平 O2O 供应链可以通过收取一次性转移支付来实现 O2O 供应链协调, 即零售商水平 O2O 供应链中, 零售商直接按制造商的批发价格销售产品, 仅收取 O2O 服务费. 当扰动规模较小, 不需要改变产量时, 零售商可以采用调整服务水平、边际利润和一次性转移支付来实现 O2O 供应链的协调. 在不同扰动区间内, 转移支付的范围和零售商边际利润为

$$T\in\begin{cases}\Big[\dfrac{\eta^3(a+\Delta a-2c_m-2k_1)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2][2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2},\\ \dfrac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](a+\Delta a-2c_m-2k_1)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2}\Big],\\ \quad\Delta a,\Delta\theta\in D_1;\\ \Big[\dfrac{\eta^3(a-2c_m)^2}{[4\eta-(1-\theta)^2][2\eta-(1-\theta)^2]^2},\\ \dfrac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta)^2](a-2c_m)^2}{[4\eta-(1-\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta)^2]^2}\Big],\\ \quad\Delta a,\Delta\theta\in D_2;\\ \Big[\dfrac{\eta^3(a+\Delta a-2c_m+2k_2)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2][2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2},\\ \dfrac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](a+\Delta a-2c_m+2k_2)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2}\Big],\\ \quad\Delta a,\Delta\theta\in D_3.\end{cases}$$

$$M=\begin{cases}0,\ \Delta a,\Delta\theta\in D_1,D_3;\\ \dfrac{\Delta a}{2}-\dfrac{\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)(a-2c_m)}{2[2\eta-(1-\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_2.\end{cases}$$

证明　求解可以得到制造商批发价格 $\widetilde{w}^{TP}$ 关于零售商边际利润 M 的反应函数

$$\widetilde{w}^{TP}=\begin{cases}c_m+k_1+\dfrac{(a+\Delta a)\eta}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}-\dfrac{M}{2},\\ \quad\Delta a,\Delta\theta\in D_1;\\ \dfrac{a[2\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]}{4[2\eta-(1-\theta)^2]}+\dfrac{\Delta a}{4}-\dfrac{M}{2}+\\ \dfrac{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]c_m}{4[2\eta-(1-\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_2;\\ c_m-k_2+\dfrac{(a+\Delta a)\eta}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}-\dfrac{M}{2},\\ \quad\Delta a,\Delta\theta\in D_3.\end{cases}\tag{18}$$

零售价格为

$$\widetilde{p}^{TP}=\begin{cases}c_m+k_1+\dfrac{(a+\Delta a)\eta}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+\dfrac{M}{2},\\ \qquad \Delta a,\Delta\theta\in D_1;\\ \dfrac{a[2\eta-\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)]}{4[2\eta-(1-\theta)^2]}+\dfrac{\Delta a}{4}+\dfrac{M}{2}+\\ \dfrac{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]c_m}{4[2\eta-(1-\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_2;\\ c_m-k_2+\dfrac{(a+\Delta a)\eta}{2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]}+\dfrac{M}{2},\\ \qquad \Delta a,\Delta\theta\in D_3.\end{cases}$$

令 $\widetilde{p}^{TP}=\widetilde{p}^{*}$, 可以求出当

$$M=\begin{cases}0,\ \Delta a,\Delta\theta\in D_1,D_3;\\ \dfrac{\Delta a}{2}-\dfrac{\Delta\theta(2-2\theta-\Delta\theta)(a-2c_m)}{2[2\eta-(1-\theta)^2]},\ \Delta a,\Delta\theta\in D_2\end{cases}$$

时, 供应链实现总利润最大化.

为了更好地协调供应链, 还需供应链成员实现 Pareto 改进, 考虑到两部定价契约协调下供应链成员各自的利润比无契约分散决策情形下更好, 联立求解

$$\begin{cases}\widetilde{\Pi}_r^{TP}\geqslant\widetilde{\Pi}_r^{0},\\ \widetilde{\Pi}_m^{TP}\geqslant\widetilde{\Pi}_m^{0},\end{cases}$$

可以得到转移支付的决策范围

$$T\in\begin{cases}\Big[\dfrac{\eta^3(a+\Delta a-2c_m-2k_1)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2][2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2},\\ \dfrac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](a+\Delta a-2c_m-2k_1)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2}\Big],\\ \qquad \Delta a,\Delta\theta\in D_1;\\ \Big[\dfrac{\eta^3(a-2c_m)^2}{[4\eta-(1-\theta)^2][2\eta-(1-\theta)^2]^2},\\ \dfrac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta)^2](a-2c_m)^2}{[4\eta-(1-\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta)^2]^2}\Big],\\ \qquad \Delta a,\Delta\theta\in D_2;\\ \Big[\dfrac{\eta^3(a+\Delta a-2c_m+2k_2)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2][2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2},\\ \dfrac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2](a+\Delta a-2c_m+2k_2)^2}{[4\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta-\Delta\theta)^2]^2}\Big],\\ \qquad \Delta a,\Delta\theta\in D_3.\end{cases}$$

定理得证. □

在企业的实际操作中, 如果顾客的需求波动太大, 零售商亦可采用仅收取服务费的方式进行协调, 如很多团购网站在 O2O 模式中采用的就是收取服务费的模式, 天猫商城和银泰百货在 O2O 模式中也存在只收取服务费, 而零售价格由制造商定价的情形.

当 $\Delta a=\Delta\theta=0$ 时, 供应链处于平稳状态, 可以得到使得平稳状态下零售商水平 O2O 供应链协调的两部定价契约

$$\overline{M}=0,$$

$$\overline{T}\in\Big[\frac{\eta^3(a-2c_m)^2}{[4\eta-(1-\theta)^2][2\eta-(1-\theta)^2]^2},\ \frac{2\eta^3[3\eta-(1-\theta)^2](a-2c_m)^2}{[4\eta-(1-\theta)^2]^2[2\eta-(1-\theta)^2]^2}\Big].$$

5 算例分析

假设某产品的市场规模 $a=100$, 电子零售市场规模比例 $\mu=0.4$, 电子渠道和传统渠道的服务替代系数 $\theta=0.4$, 服务投入的成本系数 $\eta=4$, 单位生产成本 $c_m=10$, 偏离计划的单位成本 $k_1=k_2=4$. 不同扰动情形下, 制造商 O2O 模式下的最优零售价格、生产数量、服务水平、供应链利润和零售商 O2O 分散决策下制造商批发价格、零售商边际利润、生产数量、服务水平、供应链利润以及两种 O2O 模式的利润差由表 1 给出. 当供应链采用两部定价契约进行协调时, 零售商水平 O2O 模式的决策值以及转移支付的范围由表 2 给出. 由表 1 和表 2 可以看出, 在无契约协调下的零售商水平 O2O 供应链总利润小于制造商垂直 O2O 供应链利润, 而两部定价契约能够有效地协调零售商水平 O2O 供应链; 在外部环境波动较大时, 作为供应链的主导方, 零售商可以放弃再次定价权, 直接在 O2O 平台上按制造商批发价进行销售, 只向制造商收取一定的固定费用, 降低了 O2O 供应链的协调难度.

表 1 扰动时制造商垂直 O2O 模式与零售商水平 O2O 模式的比较

	Δa	$\Delta\theta$	Case	$\widetilde{p}^*$	$\widetilde{w}^0$	$\widetilde{m}^0$	$\widetilde{Q}^*$	$\widetilde{Q}^0$	$\widetilde{S}_i^*$	$\widetilde{S}_i^0$	$\widetilde{\Pi}^*$	$\widetilde{\Pi}^0$	$\Delta\widetilde{\Pi}$
1	20	−0.2	1	39.0	26.0	24.0	50.0	24.0	5.0	2.4	1317.5	919.9	397.7
2	5	−0.1	2	34.1	20.2	23.3	41.9	20.5	3.7	1.8	956.7	673.1	283.6
3	−5	0.1	3	27.9	20.2	20.2	41.9	20.5	2.6	1.3	720.9	564.5	156.4
4	−20	0.2	4	23.3	14.6	17.2	34.7	17.2	1.7	0.9	422.3	357.5	64.7
5	0	0	2	30.9	20.2	20.5	41.9	20.5	3.1	1.5	837.7	618.5	219.2

表 2 两部定价契约协调下零售商水平 O2O 供应链的决策

	Δa	$\Delta\theta$	Case	$\widetilde{p}^{TP}$	$\widetilde{w}^{TP}$	$\widetilde{m}^{TP}$	$\widetilde{Q}^{TP}$	$\widetilde{S}_i^{TP}$	$\widetilde{\Pi}^{TP}$	$T_{\min}$	$T_{\max}$
1	20	−0.2	1	39.0	39.0	0.0	50.0	5.0	1317.5	669.5	1067.2
2	5	−0.1	2	34.1	30.9	3.2	41.9	3.7	956.7	384.3	667.9
3	−5	0.1	3	27.9	30.9	−3.1	41.9	2.6	720.9	511.4	667.9
4	−20	0.2	4	23.3	23.3	0.0	34.7	1.7	422.3	319.6	384.3
5	0	0	2	30.9	30.9	0	41.9	3.1	837.7	448.7	667.9

6 结 论

随着 O2O 供应链的发展, 消费者越来越重视渠道所带来的服务, 在同价机制的基础上, 购物体验等服务将决定消费者选择在线上还是在线下进行购物, 传统双渠道供应链基于价格竞争的模式将逐渐被基

于服务竞争的模式所代替. 制造商垂直O2O模式和零售商水平O2O模式是经常见到的两种O2O模式. 本文基于需求和服务替代系数扰动、双渠道价格协同、服务竞争的供应链环境, 构建了O2O下的双渠道供应链需求模型, 研究了制造商垂直O2O模式以及零售商分散水平O2O模式下的供应链决策, 并考虑了需求和服务替代系数同时扰动下的O2O供应链协调机制. 研究表明, 制造商垂直O2O模式可以实现O2O供应链利润的优化, 而分散决策无契约下的零售商水平O2O模式无法实现协调, 所设计的两部定价机制可以实现需求和服务替代系数同时扰动时的零售商水平O2O供应链协调.

参考文献(**References**)

[1] Tsai T M, Yang P C, Wang W N. Pilot study toward realizing social effect in O2O commerce services[C]. The 5th Int Conf on Social Informatics. Kyoto, 2013: 268-273.

[2] Chen Y C, Hsieh H C, Lin H C. Improved precision recommendation scheme by BPNN algorithm in O2O commerce[C]. The 10th IEEE Int Conf on E-Business Engineering(ICEBE). Coventry, 2013: 324-328.

[3] Hsieh H C, Chen Y C, Lin H C. More Precise: stores recommendation under O2O commerce[J]. Int J of Computing and Digital Systems, 2014, 3(2): 91-99.

[4] Tsay A A, Agrawal N. Channel conflict and coordination in the E-Commerce age[J]. Production and Operations Management, 2004, 13(1): 93-110.

[5] Dumrongsiri A, Fan M, Jain A, et al. A supply chain model with direct and retail channels[J]. European J of Operational Research, 2008, 187(3): 691-718.

[6] Cai G G. Channel selection and coordination in dual-channel supply chains[J]. J of Retailing, 2010, 86(1): 22-36.

[7] Hua G, Wang S, Cheng T C E. Price and lead time decisions in dual-channel supply chains[J]. European J of Operational Research, 2010, 205(1): 113-126.

[8] Chen J, Zhang H, Sun Y. Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain[J]. Omega, 2012, 40(5): 571-583.

[9] Xu G, Dan B, Zhang X, et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract[J]. Int J of Production Economics, 2014, 147(1): 171-179.

[10] Chen K Y, Kaya M, Özer Ö. Dual sales channel management with service competition[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10(4): 654-675.

[11] Yan R, Pei Z. Retail services and firm profit in a dual-channel market[J]. J of Retailing and Consumer Services, 2009, 16(4): 306-314.

[12] Dan B, Xu G, Liu C. Pricing policies in a dual-channel supply chain with retail services[J]. Int J of Production Economics, 2012, 139(1): 312-320.

[13] Xiao T, Qi X, Yu G. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete[J]. Int J of Production Economics, 2007, 109(1): 162-179.

[14] Xiao T, Qi X. Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers[J]. Omega, 2008, 36(5): 741-753.

[15] Huang S, Yang C, Zhang X. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 62(1): 70-83.

[16] Huang S, Yang C, Liu H. Pricing and production decisions in a dual-channel supply chain when production costs are disrupted[J]. Economic Modelling, 2013, 30(1): 521-538.

[17] 黄松, 杨超, 杨珺. 需求和成本同时扰动下双渠道供应链定价与生产决策[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(5): 1219-1229.
(Huang S, Yang C, Yang J. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand and production cost disruptions[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2014, 34(5): 1219-1229.)

[18] 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 chains with demand disruptions[J]. Chinese J of Mangement, 2014, 11(2): 267-273.)

(责任编辑：孙艺红)