

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2024.08.003

# 全渠道策略中线下有限库存服务决策优化研究<sup>①</sup>

李建斌<sup>1</sup>, 李洪轩<sup>2</sup>, 宋向荣<sup>1</sup>, 郑宇婷<sup>3\*</sup>

(1. 华中科技大学管理学院, 武汉 430074; 2. 武汉大学经济与管理学院, 武汉 430072;  
3. 福州大学经济与管理学院, 福州 350108)

**摘要:** 为了给顾客提供更好的购物体验, 众多零售商引入了线上下单-线下提货(BOPS)购物渠道, 从而使有限的线下库存面对来自多个渠道的需求. 引入BOPS渠道是否对零售商有益, 以及对线下有限库存服务决策优化尚缺乏研究. 本研究考虑一个零售商和两类顾客, 一类顾客为仅通过实体商店购买商品的实体店顾客, 另一类为策略性地在各种渠道中进行选择的全渠道顾客. 现有全渠道研究多假设零售商的线下库存优先满足实体店顾客需求, 本研究将线下有限库存优先服务全渠道顾客需求策略(OPS)、优先服务实体店顾客需求策略(SPS)、按比例服务两类顾客需求策略(EPS)纳入考虑, 与传统文献对比, 发现引入BOPS并不完全对零售商有益, 零售商实体店密度(决定顾客的商店访问成本)和配送中心的密度(决定顾客的线上等待成本)会对零售商收益造成影响. 若顾客的线上等待成本与商店访问成本均较低, 且商店访问成本更低时, 零售商采用EPS和SPS服务策略会提高零售商利润, 同时提高实体店顾客和全渠道顾客的消费剩余.

**关键词:** 全渠道; 线上下单-线下取货; 服务顺序; 库存率

**中图分类号:** F27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2024)08-0046-11

## 0 引言

随着互联网购物的普及, 网上零售的交易规模逐年扩张, 《中国电子商务报告2020》的数据显示: 2020年, 中国电子商务交易总额达到37.21万亿元人民币, 同比增长4.5%, 如图1所示. 其中网上销售总额超过11.76万亿元, 同比增长10.9%, 实物商品网上销售超过9.76万亿元, 同比增长14.8%, 占社会消费品零售总额的比重为24.9%, 比上年提高4.2个百分点.

为增强自身市场竞争力, 零售商在传统零售渠道的基础上发展电子商务渠道, 传统渠道与电商渠道的整合成为业界与学界关注的重点. 艾兴政等<sup>[1]</sup>研究了传统渠道与电商渠道冲突与整合

的问题, 得到了双渠道环境下渠道间的合作与激励机制. 盛昭瀚和徐峰<sup>[2]</sup>研究了直销模式对零售商传统零售渠道的影响, 发现通过新的定价策略新兴的电子商务直销模式可以重塑零售商的零售渠道, 进而提高零售商的整体利润. 随着双渠道运营的成熟, 为了进一步提高运营效率和灵活性, 零售商开始整合多个渠道以建立全渠道(omni-channel)网络, 为顾客提供一体化无缝式的购物体验. 胡祥培等<sup>[3]</sup>对线上线下深度融合的新零售模式进行了文献综述, 并对未来全渠道的发展进行了展望. 全渠道零售商的典型代表优衣库, 2016年推出门店自提(buy online and pick up in store, BOPS)的配送方式, 用线下实体店的库存满

① 收稿日期: 2020-09-28; 修订日期: 2022-1-10.

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2023YFB3308300)及其子课题项目(2023YFB3308301); 国家自然科学基金资助项目(72301074); 制造服务融合供应链理论研究(SQ2023YFB3300003).

通讯作者: 郑宇婷(1992—), 女, 福建福州人, 博士, 副教授. Email: ytzheng@fzu.edu.cn

足线上下单顾客的需求.与快递配送的方式相比,BOPS模式下优衣库为线上购物的顾客提供距离比较近的店铺位置以及库存情况,顾客自行到所选门店取货而无需支付运费.顾客在线上任意平台选择商品和提货门店后提交订单并完成支付,在收到门店备货完成短信后,凭短信到选定的门店提取订单商品完成订单.门店取货时优衣库提供试穿和退换货服务,让顾客以线上渠道的优惠价格获得实体店准确便捷的服务,大大提升了顾客的消费体验.此外,传统电子商务零售商也意识到了全渠道策略实施的必要性,Li等<sup>[4]</sup>指出传统的线上购物渠道由于缺乏产品体验服务会导致很高的退货率,这对于零售商而言是极其不利的.依靠电商起家的小米公司和零食电商三只松鼠也在布局线下实体店,提供BOPS服务,通过建立完善的全渠道网络改善顾客购物体验和提升企业经营绩效.毛照昉等<sup>[5]</sup>关注于线上零售商和线下零售商的售后服务合作问题,研究了线上零售商提供售后服务下单选择,然后线下零售商提供售后服务的全渠道模式.毫无疑问全渠道策略已经成为传统零售商和电子商务零售商竞争的有力武器.

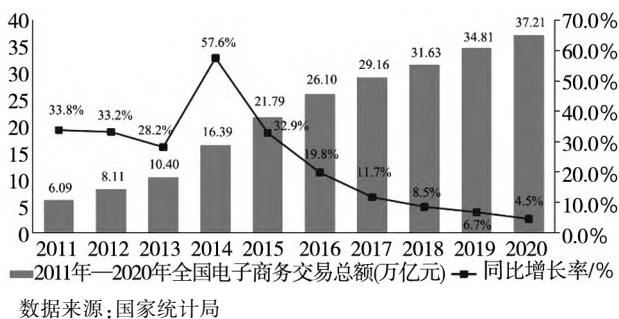


图1 2011年—2020年中国电子商务交易总额

Fig. 1 2011—2020 China e-commerce transaction volume

虽然这种渠道整合拥有众多优势,但其对零售商的影响仍然存在较大的不确定性.因此众多学者也就零售商是否应当引入BOPS渠道这一问题进行了研究.Gallino和Moreno<sup>[6]</sup>从实证方面研究了BOPS渠道对零售商线上线下渠道销量的影响.Cao等<sup>[7]</sup>研究了BOPS对多渠道零售商的需求分配和获利能力的影响,认为这个新渠道可以帮助零售商挖掘新的顾客群体并产生额外的需求,但可能削弱现有渠道的需求并增加运营成本,从而给零售商带来损失.范辰等<sup>[8]</sup>研究双渠道商家是否应进行BOPS渠道整合的问题,讨论

了额外消费、渠道竞争和消费者行为等因素对于定价与服务决策的影响,以及实施BOPS渠道的适用条件.刘咏梅和周笛<sup>[9]</sup>也研究了在传统双渠道基础之上引入BOPS渠道对零售商的影响,结果表明零售商实施BOPS渠道与否,取决于市场中传统消费者的占比规模及各类型消费者对线下服务的敏感性程度.刘金荣等<sup>[10]</sup>考虑退货问题和BOPS渠道实施成本,发现当网络退货率和BOPS渠道不便程度之间满足一定关系的时候,引入BOPS渠道才能使得零售商获益.本研究也针对引入BOPS渠道如何影响零售商利润进行研究,并进一步分析引入BOPS渠道对消费者剩余和社会福利带来的影响.

全渠道策略中提供的信息解决了产品价值和库存可用性两方面的不确定性,Gao和Su<sup>[11]</sup>研究了三种信息机制对全渠道零售商利润的影响.同时Gao和Su<sup>[12]</sup>认为BOPS渠道通过提供库存的实时信息和减少购物的麻烦成本影响顾客的渠道选择,BOPS策略对零售商的影响取决于产品特性,不建议实体店对热销产品实施该策略.Gao等<sup>[13]</sup>研究发现在不同的全渠道策略下,零售商会根据实体店的功能定位决策其数量与规模.本研究也通过对零售商本身的运营特点分析,为其选择不同的全渠道策略提出管理建议.

引入BOPS渠道会导致顾客需求流发生变化,Hu等<sup>[14]</sup>发现BOPS渠道会激励全渠道顾客从线上渠道转移到BOPS渠道,从而导致需求集中于实体商店.Ben-Zvi和Gerchak<sup>[15]</sup>建立了具有不同短缺成本的集中库存共享模型,并认为零售商需将库存用于服务优先级较高的顾客.Jiu<sup>[16]</sup>研究了全渠道零售商分配中心和实体店的库存分配问题,以及当实体店缺货时,如何将其库存从分配中心分配到不同的商店.Alishah等<sup>[17]</sup>设计了三个分配机制研究线下渠道为线上渠道供货的问题.Chen等<sup>[18]</sup>和Li等<sup>[19]</sup>研究了在有限产能的背景下,按比例分配机制和字典序分配机制的优劣问题.在全渠道背景下,零售商面临多个需求流,实体店库存是优先满足线下渠道顾客的需求还是优先满足BOPS渠道顾客的需求,亦或是按比例分配实体店库存分别满足两个渠道的需求?Gao和Su<sup>[12]</sup>将所有顾客视为一个整体,实体店不加以区分地同时满足抵达实体店的各渠道顾客需求.

Hu 等<sup>[14]</sup>假设实体店库存优先满足线下渠道的顾客需求,剩余库存再尽可能满足 BOPS 渠道顾客的需求.但 BOPS 渠道的可用性作为一个公开信息,全渠道顾客可以低成本地获取,如果优先满足线下渠道的顾客需求,全渠道顾客可能在发现 BOPS 渠道不可用时立刻转向线上渠道甚至退出市场,从而损害零售商的收益,因此应考虑实体店库存优先满足 BOPS 渠道的顾客需求.

本研究在 Gao 和 Su<sup>[12]</sup>和 Hu 等<sup>[14]</sup>的研究基础上,研究了三种不同的实体店库存服务策略:优先满足实体店顾客需求的库存服务策略(store customer priority strategy, SPS)、优先满足全渠道顾客的库存服务策略(omnichannel-customer priority strategy, OPS)、相等服务优先级策略(equal priority strategy, EPS).不同的实体店库存服务策略会对零售商经营决策和利润带来什么样的影响?以及引入 BOPS 会给消费者剩余和社会福利带来怎样的变化?基于以上问题,本研究将单一顾客群体的传统报童模型进一步延伸,考虑两类随机分布的顾客群体独立存在的情况,探索不同的运营特点和不同的库存服务策略对零售商全渠道转型的影响.本研究结论为零售商提供运营参考:如何根据自己的运营特点选择是否引入 BOPS 渠道,以及引入 BOPS 渠道后,如何选择利润更高的库存服务策略.<sup>②</sup>

## 1 传统双渠道策略中线下库存决策优化模型

本章模型基于一个双渠道零售商和两类顾客:一类是只在线下购物的实体店顾客,包括不懂网购,不会使用智能手机的老年人以及喜欢传统购物,忠爱逛街的年轻人等;另一类是在多个购买渠道之间进行策略选择的全渠道顾客,比如喜欢尝试新的产品,寻求新的体验,对新鲜事物接纳程度较高的年轻人.当零售商经营两个渠道时,全渠道顾客即为双渠道顾客.本研究所用到的符号及其含义如表 1 所示.

表 1 符号与定义

Table 1 Notation and definition

符号	含义
$D_m, D_n$	实体店顾客和全渠道顾客的市场规模,分别服从均值和方差为 $(\mu_m, \sigma_m^2)$ 和 $(\mu_n, \sigma_n^2)$ 的正态分布,且 $\sigma_m/\mu_m = \sigma_n/\mu_n$
$\rho$	$D_m, D_n$ 相关系数, $-1 < \rho < 1$
$p_o, p_s$	商品的线上价格和商店价格
$c_o$	配送中心的单位订单履行成本,包括零售商的采购成本,将商品运送到配送中心的物流成本,以及配送中心的库存和处理成本
$c_s$	实体商店的单位订单履行成本,包括零售商的采购成本,将商品运送到实体商店的物流成本,以及实体商店的库存和处理成本
$h_o$	顾客的线上等待成本
$h_s$	顾客的商店访问成本
$\theta$	全渠道顾客通过线上渠道购买时的估值折扣率
$v$	顾客对商品的估值
$v_o, v_s$	顾客通过线上或线下下单的价值剩余,其中 $v_o = \theta v - p_o, v_s = v - p_s$
$\xi$	实体店的库存率
$q_o$	配送中心库存

顾客购物时不仅考虑产品价格的高低,还会权衡购物的麻烦程度,比如访问商店时交通的便捷性,线上购买时产品送达的及时性.后者主要取决于社会整体物流效率,除了在电商大促时期顾客数量暴涨会造成送货时间延迟外,一般的顾客数量增长不会对送货速度造成显著影响,所以这些成本都主要与距离有关,即零售商的实体店密度越大顾客的商店访问成本越低,零售商的配送中心密度越大顾客的线上等待成本越低.不同的实体店密度和配送中心密度代表零售商不同的运营特点.

在传统双渠道模式下,零售商经营线上线下两个渠道.顾客在线下购物时可近距离感知商品实现准确估值,但可能遇到缺货风险,因为顾客在到达商店之前不知道实体商店的确切库存,仅对库存率有一个预估  $\hat{\xi}$ .双渠道顾客通过线上渠道购物时不能接触实物,对商品的估值会有一个折

<sup>②</sup> 因版面限制,本文引理、命题、定理等证明未详细展开,如有需要可联系作者获取证明过程.

扣  $\theta$ , 但可通过网上平台实时获知库存可用性, 所以不需要对库存率做出预估. 通过线下渠道购买的实体店顾客和双渠道顾客效用可表示为  $U_{m,s}^B = U_{n,s}^B = \hat{\xi}v_s - h_s$ , 通过线上渠道购买的双渠道顾客所获得的效用为  $U_{n,o}^B = v_o - h_o$  ( $B$  表示传统双渠道模型,  $s$  表示线下渠道,  $o$  表示线上渠道). 顾客根据自身效用做出购买决策, 如果  $U_{m,s}^B \geq 0$ , 实体店顾客将会选择购买产品, 否则退出市场. 对于双渠道顾客, 当且仅当  $U_{n,s}^B \geq \{0, U_{n,o}^B\}$  时, 双渠道顾客从线下渠道购买产品, 当且仅当  $U_{n,o}^B \geq \{0, U_{n,s}^B\}$  时, 双渠道顾客从线上渠道购买产品. 传统双渠道模型的物流结构图如图 2 所示.

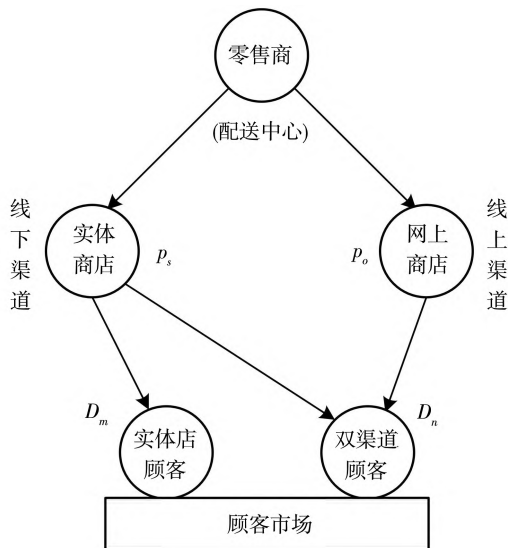


图 2 传统双渠道结构图

Fig. 2 Traditional dual-channel structure

为了研究渠道策略对零售商线下实体店库存的影响, 首先通过比较两种情况来研究需求变化如何影响库存率:

1) 只有实体店顾客选择到线下实体店购物时, 零售商的利润函数可以表示为.

$$\pi_B(q) = p_s E[\min(D_m, q)] - c_s q + (p_o - c_o) E[\min(D_n, q_o)] \quad (1)$$

2) 实体店顾客和双渠道顾客都在线下购买时, 零售商的利润函数可以表示为.

$$\pi_B(q) = p_s E[\min(D_m + D_n, q)] - c_s q \quad (2)$$

设  $q_1^B$  和  $q_2^B$  分别为情况 1 和情况 2 下实体店的最优订货量, 相应库存率可表示为  $\xi_1^B =$

$$E[\min(D_m, q_1^B)] / E[D_m] \text{ 和 } \xi_2^B = E[\min(D_m + D_n, q_2^B)] / E[D_m + D_n].$$

引理 1  $\xi_2^B > \xi_1^B$

从引理 1 可以看出, 当双渠道顾客与实体店顾客都到实体店购买时, 线下实体店的库存率高于仅实体店顾客到店购买时的库存率. 双渠道顾客到实体店购物的选择使得线下实体店的总需求升高, 激励零售商提高实体店的库存水平以满足顾客需求, 这又促进顾客到店购买, 最终提高库存率, 称之为需求汇集效应.

命题 1 实体商店的最优库存水平和顾客的渠道选择如下:

1) 如果  $h_s \leq \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+$ , 则  $q^* = q_2^B$ , 此时所有的双渠道顾客和实体店顾客会选择线下渠道购买;

2) 如果  $\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+ < h_s \leq \xi_1^B v_s$ , 则  $q^* = q_1^B$ , 此时双渠道顾客选择线上渠道购买, 实体店顾客会选择去线下渠道购买;

3) 如果  $h_s \geq \max(\xi_1^B v_s, \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+)$ , 则  $q^* = 0$ , 此时双渠道顾客和实体店顾客都不会选择线下渠道购买.

当商店访问成本  $h_s$  较低时, 实体店顾客和双渠道顾客都将选择通过线下渠道购买. 随着  $h_s$  增加到一定水平, 线上渠道购买效用高于线下渠道, 双渠道顾客将转移到线上渠道, 而实体店顾客仍然选择线下渠道, 因为其效用仍然为正的. 当实体店访问成本很高时, 没有顾客会访问实体店.

双渠道模式下, 零售商难以区分到实体店购物的顾客种类, 只能无差别服务, 但引入 BOPS 渠道可以帮助零售商识别顾客, 在使用实体店库存服务多类顾客、多渠道需求时采取不同的库存服务策略. 下文将研究加入 BOPS 的全渠道模型零售商的利润变化并与传统双渠道模型对比.

## 2 全渠道策略中线下有限库存服务决策模型

全渠道策略为顾客提供了新的购物渠道, 全渠道顾客首先在线上提交订单, 线下实体店获得

需求信息并备货,顾客直接到实体店取货.全渠道模型的物流结构图如图3所示.通过BOPS渠道购买的顾客下单前不能接触实际产品,只能实现有折扣的估值,其价值剩余等于线上购物的价值剩余  $v_o$ .但可以在线上确定实体店库存的可用性,并在线上下单后到实体店取得商品而无需等待,因此其购物的麻烦成本等于线下购物的访问成本  $h_s$ .全渠道顾客通过线下渠道、线上渠道、BOPS渠道获得的顾客效用分别为  $U_{n,s}^p = v_s - h_s$ ,  $U_{n,o}^p = v_o - h_o$ ,  $U_{n,os}^p = v_o - h_s$ .

为了研究BOPS渠道对零售商策略的影响,假设  $v_o \geq v_s$ ,即全渠道顾客通过BOPS渠道购物所获得的价值剩余大于线下渠道所获得的价值剩余,这样全渠道顾客永远不会选择线下渠道购买.因此全渠道顾客面临三种选择:线上渠道,BOPS渠道,或退出市场.全渠道顾客比较每个渠道的效用,选择使自身效用最大化的渠道.当且仅当  $U_{n,os}^p \geq \max(0, U_{n,o}^p)$ ,即  $\{v_o \geq h_s, h_o \geq h_s\}$  时,全渠道顾客将选择BOPS渠道,当且仅当  $U_{n,o}^p \geq \max(0, U_{n,os}^p)$ ,即  $\{v_o \geq h_o, h_o < h_s\}$  时,全渠道顾客会选择线上渠道.

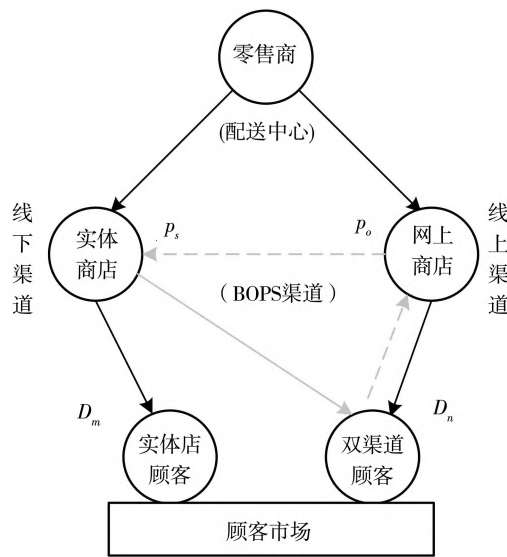


图3 加入BOPS渠道的全渠道结构图

Fig. 3 Omnichannel with BOPS channel structure

在全渠道策略中,实体店面临两个渠道的顾客需求,零售商需要在需求实现之前决定实体商店中的库存以及库存服务策略.本研究分别考虑三种不同的库存服务策略:即OPS策略、SPS策

略、EPS策略.假设零售商的最优库存水平为  $q_i^p$  ( $i = 1, 2, 3$ ; 分别代表三种不同的服务策略),相应的库存率为  $\xi_i^p$ .

**命题2** 零售商线下最优库存水平和顾客的最优渠道选择如下:

1) 如果  $h_s \leq \min(h_o, \xi_i^p v_s)$ , 则最优库存为  $q_i^p$ . 全渠道顾客通过BOPS渠道购买(并且在缺货时转到线上渠道),实体店顾客通过线下渠道购买.

2) 如果  $h_o \leq h_s \leq \xi_1^p v_s$ , 则最优库存为  $q_1^p$ . 全渠道顾客通过线上渠道购买,实体店顾客通过线下渠道购买.

3) 如果  $h_s \geq \max(\min(h_o, \xi_i^p v_s), \xi_1^p v_s)$ , 则最优库存为0. 全渠道顾客通过线上渠道购买,实体店顾客选择退出市场.

在配送中心的库存水平设置方面,本文假设线上渠道的需求都可以满足,即  $q_o > D_n$ . 如果线上渠道库存是有限的,全渠道顾客通过线上渠道购物遇到缺货时,会选择退出市场,这对于零售商来说无疑是很大的利润损失. 为了避免这种情况发生,零售商会致力于在线上渠道设置较大库存.

### 2.1 全渠道顾客优先的库存服务策略(OPS策略)

BOPS渠道向全渠道顾客披露了实时的实体店库存可用性信息,原计划采用BOPS方式购买的顾客,若在线上下单时发现实体店缺货,则不会再访问实体店,甚至退出市场. 所以本节考虑实体店库存优先满足全渠道顾客的BOPS渠道需求,在满足该部分需求后,若实体店有剩余库存再满足实体店顾客的需求. 选择BOPS渠道的全渠道顾客数量为  $1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n$ , 在OPS策略下通过BOPS渠道买到产品的顾客数量为  $\min(q, 1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n)$ , 在服务完全渠道顾客后,商店剩余库存  $(q - 1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n)^+$  用于满足实体店顾客. 线上渠道的需求为  $1_{\{v_o \geq h_o, h_o < h_s\}} D_n$ , 同时未被实体店库存满足的全渠道顾客  $(1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n - q)^+$  也转移到线上渠道. 所以零售商的期望利润函数可以表示为

$$\pi_p(q) = p_s E[\min(D_m, (q - 1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n)^+)] - c_s q + p_o E[\min(q, 1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n)] + (p_o - c_o) E[\min(q_o, 1_{\{v_o \geq h_o, h_o < h_s\}} D_n + (1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n - q)^+)] \quad (3)$$

其中式(3)第一部分为来源于实体店顾客的收入

入,第三部分为 BOPS 渠道收入,第四部分为线上渠道利润.如前所述,全渠道顾客在发现 BOPS 渠道缺货后会选择转到线上购买,但若  $v_o < h_o$ ,即线上购物的效用小于零,全渠道顾客会选择退出市场,对零售商造成很大的利润损失,所以零售商会致力于减少线上等待成本使得  $h_o \leq v_o$ .为了更好地了解 BOPS 对商店库存率的影响,考虑  $\{v_o \geq h_o \geq h_s\}$ ,此时如果实体店库存可用则全渠道顾客选择 BOPS 渠道购买,若实体店库存不可用,则全渠道顾客将转移到线上渠道购买.因此式(3)中的目标函数可以写为

$$\begin{aligned} \pi_p(q) = & p_s E[\min(D_m, (q - D_n)^+)] + \\ & p_o E[\min(q, D_n)] - c_s q + (p_o - c_o) \times \\ & E[\min(q_o, (D_n - q)^+)] \end{aligned} \quad (4)$$

$q_1^p$  表示式(4)零售商的最优库存,相应的实体店库存率表示为  $\xi_1^p = E[\min(q_1^p, D_m)]/E[D_m]$ .定理 1 给出了采用 OPS 策略时全渠道零售商的最优渠道选择.

**定理 1**

1) 当  $\max(\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+, \xi_1^B v_s) < h_s \leq \min(\xi_1^p v_s, h_o)$  时(图 4,区域 I),引入 BOPS 渠道会提高零售商的期望利润;

2) 当  $\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+ < h_s \leq \min(\xi_1^B v_s, h_o)$  时(图 4,区域 II-1),引入 BOPS 渠道会降低零售商的期望利润;

3) 当  $h_s \leq \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+$  时(图 4,区域 II-2),引入 BOPS 渠道会降低零售商的期望利润.

当  $\max(\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+, \xi_1^B v_s) < h_s \leq \min(\xi_1^p v_s, h_o)$  时,传统双渠道模型中实体店顾客由于较高的商店访问成本将会选择退出市场,全渠道顾客选择线上渠道购买,零售商选择关闭实体店.引入 BOPS 渠道会使得全渠道顾客从线上渠道转移到 BOPS 渠道,升高的库存率将会吸引实体店顾客到店购买,所以零售商引入 BOPS 渠道会增加其利润.

当  $\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+ < h_s \leq \min(\xi_1^B v_s, h_o)$  时,全渠道顾客通过 BOPS 渠道获得的效用高于线上渠道的效用,所以将从线上渠道转移到 BOPS 渠道进行购买.需求增多使实体店倾向于提高库存水平,吸引更多实体店顾客需求,有利于提高零售商利润.但由假设  $v_o \geq v_s (v_s = v - p_s, v_o = \theta v - p_o, \theta \leq 1)$  可知

$p_s - c_s > p_o - c_s$ ,相较于传统双渠道模型中实体店库存服务于利润率更高的实体店顾客,引入 BOPS 渠道后实体店库存将服务于利润率较低的全渠道顾客,这会降低零售商的利润.在 OPS 策略下,实体店库存优先服务利润率较低的全渠道顾客,导致负向效应大于正向效应,零售商利润降低.

当  $h_s \leq \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+$ ,在传统双渠道模型中实体店顾客与全渠道顾客都选择线下实体店购买,如果引入可给顾客带来更高效用的 BOPS 渠道,全渠道顾客将会从线下渠道切换到 BOPS 渠道.但该部分需求仍由实体店库存满足,零售商需要以同样的成本满足更低收益的需求,所以当线下布局完善,顾客线下访问成本很小时,零售商引入 BOPS 渠道会降低其自身利润.

OPS 策略的全渠道模型与传统双渠道模型比较如图 4 所示.

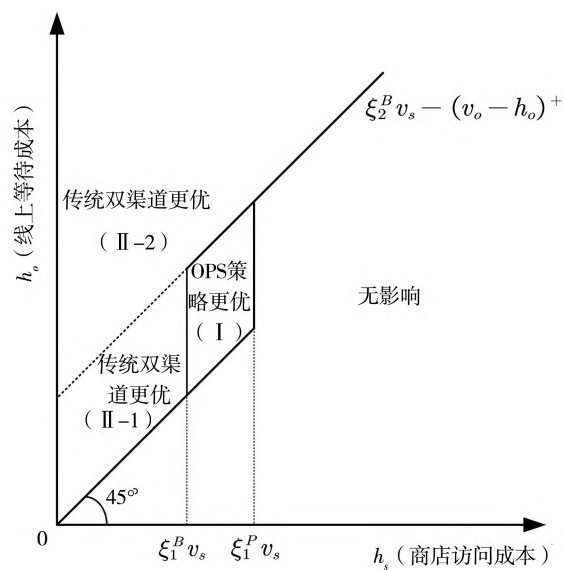


图 4 OPS 策略下的全渠道模型 vs 传统双渠道模型  
Fig. 4 Omnichannel model with OPS strategy vs traditional dual channel model

**2.2 实体店顾客优先的库存服务策略(SPS 策略)**

线下实体店的价格一般高于电商平台的价格,即线下渠道单位销售的利润高于 BOPS 渠道  $p_s - c_s > p_o - c_s$ ,所以零售商考虑采用 SPS 策略,优先满足利润率更高的实体店顾客的需求.在满足实体店顾客需求以后,如果实体店库存有剩余,则再满足 BOPS 渠道的顾客需求.零售商的期望利润函数可以表示为

$$\pi_p(q) = p_s E[\min(D_m, q)] + p_o E[\min(1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n, (q - D_m)^+) - c_s q + (p_o - c_o) E[\min(1_{\{v_o \geq h_o, h_o < h_s\}} D_n + (1_{\{v_o \geq h_o \geq h_s\}} D_n - (q - D_m)^+)^+, q_o)]] \quad (5)$$

同样假设  $\{v_o \geq h_o \geq h_s\}$ , 式(5)可以写为

$$\pi_p(q) = p_s E[\min(D_m, q)] + p_o E[\min(D_n, (q - D_m)^+)] - c_s q + (p_o - c_o) E[\min((D_n - (q - D_m)^+)^+, q_o)] \quad (6)$$

$q_2^p$  表示式(6)零售商的最优库存, 相应的库存率表示为  $\xi_2^p = E[\min(q_2^p, D_m)] / E[D_m]$ .

零售商的库存服务策略是其私有信息, 顾客并不知道实体店的服务优先级, 因此实体店顾客仍针对商店的整体库存做出库存率预估.

定理2给出了SPS策略下, 全渠道零售商的最优策略选择.

**定理2**

1) 如果  $\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+ < h_s \leq \min(\xi_2^p v_s, h_o)$  (图5, 区域I), 引入BOPS渠道会提高零售商的期望利润;

2) 如果  $\xi_2^p v_s < h_s \leq \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+$  (图5, 区域II), 引入BOPS渠道会降低零售商的期望利润;

3) 如果  $h_s \leq \min(\xi_2^p v_s, \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+)$  (图5, 区域III), 存在一个阈值  $\eta$ , 其中  $\eta = c_o + (p_s - c_o) E[\min(D_n, (q - D_m)^+)] / \mu_n$ , 当  $p_o < \eta$  时, 引入BOPS渠道会降低零售商的期望利润,  $p_o \geq \eta$  时, 引入BOPS渠道会提高零售商的期望利润.

线下实体店库存优先服务实体店顾客的全渠道模型与传统双渠道模型比较如图5所示.

当  $\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+ < h_s \leq \min(\xi_2^p v_s, h_o)$  时, 全渠道顾客将从线上渠道转移到BOPS渠道进行购买, 此时同样发生需求汇集效应, 实体店库存率将会比之前更高, 进而提高零售商利润.

当  $\xi_2^p v_s < h_s \leq \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+$  时, 在传统双渠道模型中实体店顾客与全渠道顾客都选择线下实体店购买, 如果引入可给顾客带来更高效用的BOPS渠道, 全渠道顾客将会从线下渠道切换到BOPS渠道. 此时零售商引入BOPS渠道会降低其利润.

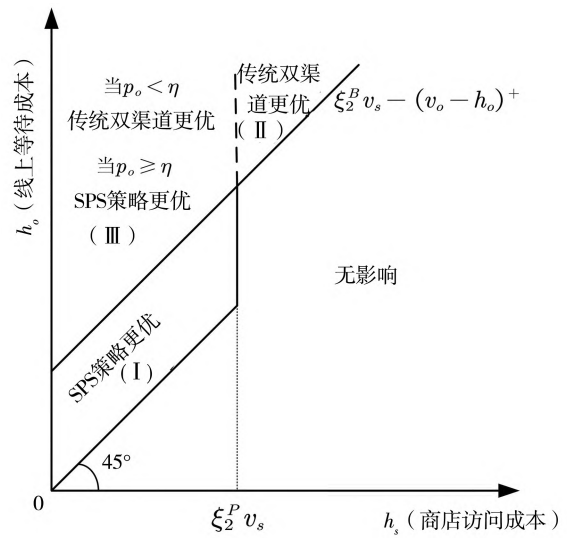


图5 SPS策略下的全渠道模型 vs 传统双渠道模型

Fig. 5 Omnichannel model with SPS strategy vs traditional dual-channel model

当  $h_s \leq \min(\xi_2^p v_s, \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+)$  时, 在引入BOPS渠道之前, 实体店顾客与全渠道顾客都选择线下实体店购买, 引入BOPS渠道后, 全渠道顾客同样将会从线下渠道切换到BOPS渠道. 但与OPS策略不同的是, 由于优先满足了单位利润更高的实体店顾客需求, 且线上的销售价格较高 ( $p_o$  大于阈值  $\eta$ ), 引入BOPS仍然可以提高零售商利润.

**2.3 相等服务优先级策略 (EPS策略)**

在OPS和SPS策略中, 对于需要实体店库存服务的多个需求流 (线下渠道和BOPS渠道), 零售商优先满足其中一个渠道的顾客需求, 并为该部分顾客保留库存. 但在现实中, 有的零售商会更加重视当前需求, 在库存不为零的情况下直接满足已经到达的顾客需求, 即实体店顾客和全渠道顾客拥有相等的服务优先级. 下面考虑在相同服务优先级策略下, 零售商的收益将会如何变化?

考虑一个多渠道顾客按顺序到达的系统, 相同服务优先级则等同于按需求比例分配库存. 零售商将  $\lambda q$  的线下实体店库存分配给线下渠道需求, 其中  $\lambda = D_m / (D_m + D_n)$ , 则BOPS渠道需求所分配的实体店库存比例为  $(1 - \lambda)q$ . 当  $\{v_o \geq h_o \geq h_s\}$  时, 零售商的期望利润函数可以表示为

$$\pi_p(q) = p_s E[\min(D_m, \lambda q)] + p_o E[\min(D_n, (1 - \lambda)q)] -$$

$$c_s q + (p_o - c_o) E[\min((D_n - (1 - \lambda)q)^+, q_o)] \quad (7)$$

用  $q_3^P$  表示在式(7)下零售商的最优库存. 相应库存率表示为  $\xi_3^P = E[\min(q_3^P, D_m + D_n)]/E[D_m + D_n]$ .

**定理 3**

1) 如果  $\xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+ < h_s \leq \min(\xi_3^P v_s, h_o)$  (图 6, 区域 I), 引入 BOPS 渠道会提高零售商的利润;

2) 如果  $\xi_3^P v_s < h_s \leq \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+$  (图 6, 区域 II), 引入 BOPS 渠道会降低零售商的利润;

3) 如果  $h_s \leq \min(\xi_3^P v_s, \xi_2^B v_s - (v_o - h_o)^+)$  (图 6, 区域 III), 存在一个阈值  $\tau$ , 其中  $\tau = c_o + (p_s - c_o) E[\min(D_n, \lambda q)]/\mu_n$ , 当  $p_o < \tau$  时, 引入 BOPS 渠道会减少零售商的利润, 当  $p_o \geq \tau$  时, 引入 BOPS 渠道会增加零售商的利润.

将 EPS 策略下的全渠道模型和传统双渠道模型进行比较, 如图 6 所示.

当零售商对实体店库存采用 EPS 策略时, 可以发现 EPS 策略和 SPS 策略有相似结构的运营策略划分, 当线上渠道的商品价格  $p_o$  大于阈值  $\tau$  时, 引入 BOPS 渠道可以提高零售商的利润. 阈值  $\tau$  和  $\eta$  的大小会影响零售商的运营决策, 因此通过证明引理 2 得到了  $\tau$  和  $\eta$  的大小关系.

**引理 2**  $\tau > \eta$

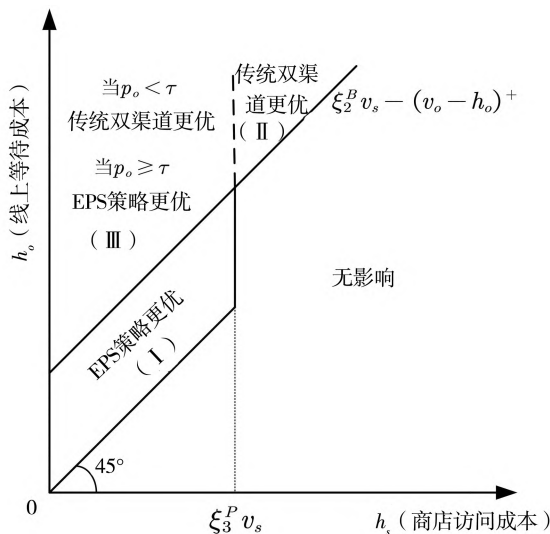


图 6 EPS 策略下的全渠道模型 vs 传统双渠道模型

Fig. 6 Omnichannel model with EPS strategy vs traditional dual-channel model

### 3 社会福利视角下的线下有限库存服务决策

引入 BOPS 渠道会改变两类顾客的渠道选择和零售商库存决策, 进而影响消费者剩余和零售商利润, 这两者之和即为社会福利<sup>[20]</sup>. 本节从线下库存服务决策优化的角度来分析引入 BOPS 渠道对社会福利的影响.

**引理 3**  $\xi_2^P > \xi_3^P > \xi_1^P > \xi_1^B$

引理 3 表明不论采取何种服务策略, 零售商引入 BOPS 渠道后(全渠道顾客选择 BOPS 渠道)的库存率高于传统双渠道策略下(全渠道顾客选择线上渠道)的库存率. 全渠道顾客从线上转移到 BOPS 渠道, 实体店的需求流增加, 零售商为满足顾客需求会倾向于设置更高的库存, 使得库存率升高.

结合引理 2 与引理 3 和定理 1 ~ 定理 3, 可以得到零售商最优的 BOPS 策略, 如图 7 所示.

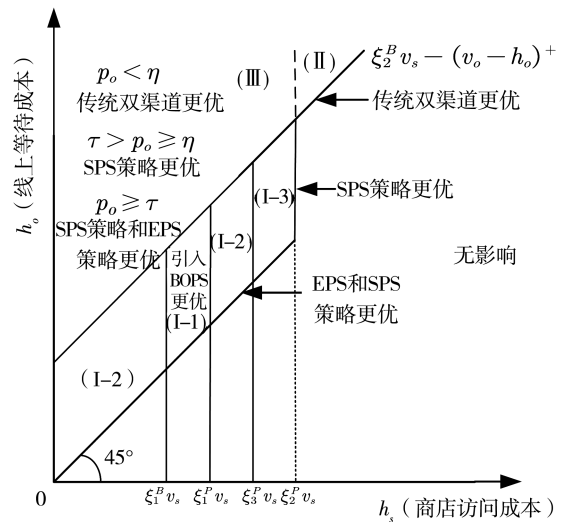


图 7 零售商最优 BOPS 策略

Fig. 7 The retailer's optimal BOPS strategy

1) 区域( I )中, 顾客的线上等待成本与商店访问成本均较低, 且商店访问成本更低. 全渠道顾客会从线上渠道转移到 BOPS 渠道, 即在价值剩余相同的情况下, 以更低的麻烦成本满足了需求, 全渠道顾客的消费剩余增加. 同时, 因实体店的需求流增加, 零售商需在实体店设置更高的库存, 从而提高了实体店的库存率 ( $\xi_3^P > \xi_1^B$ ), 所以实



实体店顾客的消费者剩余也得到提升。

全渠道顾客的渠道转移,一方面提升了库存率,原本顾客效用为负的实体店顾客选择到店购物,为零售商带来市场的扩张.另一方面相较于线下渠道需求,BOPS渠道需求带来的边际利润较低,引入BOPS渠道使实体店利润降低.在区域(I-1)中,采取OPS、SPS和EPS策略的需求汇集效应带来的利润提升大于BOPS渠道较低的边际利润带来的利润降低,所以在区域(I-1),三种服务策略下全渠道模型都能实现比传统双渠道模型下更高的利润;在区域(I-2),采取EPS和SPS策略的零售商利润高于传统双渠道策略;在区域(I-3),仅有实行SPS策略的零售商才能在全渠道策略下获得高于传统双渠道策略的利润。

2) 区域(II)中,顾客的商店访问成本高于实体店顾客的价值剩余与库存率( $\xi_i^p$ )的乘积,即实体店顾客退出线下购物市场,消费者剩余为零.当实体店顾客退出市场,全渠道顾客选择BOPS渠道购物时,零售商的最优实体店库存持有量为零,此时全渠道顾客只能转到线上渠道购物,全渠道顾客的消费者剩余降低.原本在实体店线下购物的实体店顾客和全渠道顾客分别退出市场或转移到线上渠道,导致零售商利润降低,整体社会福利降低.因此当零售商的实体店密度以及配送中心密度均较低,即顾客的商店访问成本和线上等待成本均较高时,零售商不宜引入BOPS渠道。

3) 区域(III)中顾客的商店访问成本较低,而线上等待成本较高,全渠道顾客将由线下渠道转移到BOPS渠道,以相同的麻烦成本获得更高的价值剩余,从而其消费者剩余增加.但对零售商而言,相当于以相同成本满足了低收益的需求 $p_o < p_s$ ,此时零售商实体店库存率降低,导致实体店顾客的消费者剩余减少。

在引入BOPS渠道后,全渠道顾客可以在线上获得准确的实体店库存信息,并在发现实体店缺货时从BOPS渠道切换到线上渠道购物( $v_o > h_o$ 时),这就使得在传统双渠道购物环境中遇到缺货会退出市场的全渠道顾客留存下来,零售商获得更高的收益.因此,引入BOPS渠道同时存在正面效应和负面效应,两者的整体影响取决于线上价格;当线上价格较低( $p_o < \eta$ )时,引入BOPS渠道会降低零售商利润;当线上价格处于中间水

平( $\tau > p_o \geq \eta$ )时,引入BOPS渠道并采用SPS策略服务顾客才会提高零售商利润;当线上价格较高( $p_o \geq \tau$ )时,引入BOPS且采用EPS策略或SPS策略都可提高零售商利润。

通过以上分析可以发现,引入BOPS渠道后,零售商会根据全渠道顾客的渠道转移情况调整实体店库存水平,进而影响实体店顾客的消费选择.零售商不同的库存服务策略实现的利润变化方向不同,合适的服务策略有利于实现零售商-全渠道顾客-实体店顾客的三赢局面,提高社会福利。

优衣库正是运用BOPS策略最为成功的企业之一,即使零售业在2020年被突如其来的新冠疫情严重冲击,但优衣库的线下布局仍在稳步推进.截止到2020年8月底,优衣库中国门店数量达到767家.除了广为人知的线下布局,优衣库还是率先拥抱全渠道的零售企业之一,它率先开通天猫旗舰店并实施BOPS策略,全方位布局电商业务.与本文分析相一致,全渠道模式将线上线下变成一个整体,在线上顾客可以零成本获得库存可用性等信息,同时密集的线下实体店网络,顾客的商店访问成本低,促使更多的顾客选择到店购买,良好的购物体验增强了品牌信任,又促进了线上消费,实现良性循环,多个渠道相互补充、相互促进,提高了零售商利润。

## 4 结束语

本研究从线下实体店有限库存的角度出发,探索零售商全渠道转型的可行性条件,研究在全渠道经营策略下,当零售商实体店面临多个渠道的顾客需求时,其需求满足顺序的选择问题和库存分配的策略问题。

Gao和Su<sup>[12]</sup>从零售商的商品特性角度研究了BOPS渠道通过提供库存的实时信息和减少购物的麻烦成本影响顾客的渠道选择,不建议零售商对实体店热销产品实施BOPS策略.本文从零售商的运营特性角度研究引入BOPS渠道的影响,发现零售商应根据自身的线上线下经营水平选择引入BOPS渠道以及最优的库存服务策略。

与Hu等<sup>[14]</sup>假设实体店库存优先满足线下渠道顾客需求不同,本文研究了不同的实体店库

存服务策略,即 OPS 策略、SPS 策略和 EPS 策略对零售商 BOPS 渠道选择的影响.发现当配送中心密度较大,且零售商的实体店密度较大,即顾客的线上等待成本较小,商店访问成本更小时,不论采取何种库存服务策略,零售商引入 BOPS 渠道均可以提高其期望利润,但随着商店访问成本的增加,OPS 策略、EPS 策略、SPS 策略相继失效,引入 BOPS 渠道反而降低零售商期望利润.该发现表明全渠道策略对零售商线上线下的经营水平要求均较高,零售商需谨慎进行全渠道转型决策.结

合本文结论,零售商可根据自己的运营特点决定是否引入 BOPS 渠道,以及在引入 BOPS 渠道后,选择何种库存服务策略.

在目前的互联网购物模式下,全渠道顾客不仅可以选择购买渠道,还可以选择购买时间,全渠道顾客开始变得越来越有策略性.所以在未来的研究中,考虑将短视型的全渠道顾客变为策略型的全渠道顾客时,零售商的库存决策对策略型全渠道顾客购买行为以及对零售商自身利润的影响.

### 参考文献:

- [1]艾兴政,唐小我,马永开.传统渠道与电子渠道预测信息分享的绩效研究[J].管理科学学报,2008,11(1):12-21.  
Ai Xingzheng, Tang Xiaowo, Ma Yongkai. Performance of forecasting information sharing between traditional channel and E-channel[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(1): 12-21. (in Chinese)
- [2]盛昭瀚,徐峰.地区差异化背景下制造商双渠道定价策略研究[J].管理科学学报,2010,13(6):1-11.  
Sheng Zhaohan, Xu Feng. Study on manufacturer's pricing strategy with dual-channel based on regional gap background [J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(6): 1-11. (in Chinese)
- [3]胡祥培,王明征,王子卓,等.线上线下融合的新零售模式运营管理研究现状与展望[J].系统工程理论与实践,2020,40(8):2023-2036.  
Hu Xiangpei, Wang Mingzheng, Wang Zizhuo, et al. The overviews on operation management for the new retailer model of online and offline integration[J]. System Engineering: Theory & Practice, 2020, 40(8): 2023-2036. (in Chinese)
- [4]Li Y, Xu L, Li D. Examining relationships between the return policy, product quality, and pricing strategy in online direct selling[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 144(2): 451-460.
- [5]毛照昉,刘鹭,李辉.考虑售后服务合作的双渠道营销定价决策研究[J].管理科学学报,2019,22(5):47-56.  
Mao Zhaofang, Liu Lu, Li Hui. Pricing decisions of a dualchannel under after sales service cooperation[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(5): 47-56. (in Chinese)
- [6]Gallino S, Moreno A. Integration of online and offline channels in retail: The impact of sharing reliable inventory availability information[J]. Management Science, 2014, 60(6): 1434-1451.
- [7]Cao J, So K C, Yin S. Impact of an "online-to-store" channel on demand allocation, pricing and profitability[J]. European Journal of Operational Research, 2016, 248(1): 234-245.
- [8]范辰,刘咏梅,陈晓红.考虑向上销售和渠道主导结构的 BOPS 定价与服务合作[J].中国管理科学,2018,26(3):101-108.  
Fan Chen, Liu Yongmei, Chen Xiaohong. BOPS pricing and service partnerships considering upward selling and channel-led structures [J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(3): 101-108. (in Chinese)
- [9]刘咏梅,周笛.实行 BOPS 模式是否总是有益的?与传统双渠道的对比研究[J].运筹与管理,2018,27(2):168-177.  
Liu Yongmei, Zhou Di. Is it always beneficial to implement BOPS? A comparative research with traditional dual channel [J]. Operational Research and Management Science, 2018, 27(2): 168-177. (in Chinese)
- [10]刘金荣,徐琪,陈啟.考虑网络退货和渠道成本时全渠道 BOPS 定价与服务决策[J].中国管理科学,2019,27(9):56-67.  
Liu Jinrong, Xu Qi, Chen Qi. Pricing and service decisions of omni-channel BOPS: Considering online return and channel cost [J]. Chinese Journal of Management Science, 2019, 27(9): 56-67. (in Chinese)
- [11]Gao F, Su X. Online and offline information for omnichannel retailing[J]. Manufacturing & Service Operations Manage-

- ment, 2017, 19(1): 84–98.
- [12] Gao F, Su X. Omnichannel retail operations with buy-online-and-pick-up-in-store[J]. *Management Science*, 2016, 63(8): 2478–2492.
- [13] Gao F, Agrawal V V, Cui S. The effect of multichannel and omnichannel retailing on physical stores[J]. *Management Science*, 2022, 68(2): 809–826.
- [14] Hu M, Xu X, Xue W, et al. Demand pooling in omnichannel operations[J]. *Management Science*, 2022, 68(2): 883–894.
- [15] Ben-Zvi N, Gerchak Y. Inventory Centralization in a Newsvendor Setting when Shortage Costs Differ: Priorities and Costs Allocation[M]. *New York: Handbook of Newsvendor Problems*. Springer, 2012.
- [16] Jiu S. Robust omnichannel retail operations with the implementation of ship-from-store[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2022, 157: 102550.
- [17] Alishah E J, Moinzadeh K, Zhou Y P. Inventory fulfillment strategies for an omni-channel retailer[J]. *SSRN Electronic Journal*, 2015. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2659671](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2659671).
- [18] Chen F, Li J, Zhang H. Managing downstream competition via capacity allocation[J]. *Production and Operations Management*, 2013, 22(2): 426–446.
- [19] Li J, Yu N, Liu Z, et al. Allocation with demand competition: Uniform, proportional, and lexicographic mechanisms[J]. *Naval Research Logistics (NRL)*, 2017, 64(2): 85–107.
- [20] 王 聪, 杨德礼. 电商平台折扣券对制造商双渠道策略的影响研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(6): 1525–1535.
- Wang Cong, Yang Deli. A study of the influence of the platform coupons on the dual-channel supply chain strategy of manufacturers[J]. *System Engineering: Theory & Practice*, 2018, 38(6): 1525–1535. (in Chinese)

## Optimal service sequence decision of limited offline inventory under omnichannel strategy

LI Jian-bin<sup>1</sup>, LI Hong-xuan<sup>2</sup>, SONG Xiang-rong<sup>1</sup>, ZHENG Yu-ting<sup>3\*</sup>

1. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. School of Economics and Management, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China

**Abstract:** In order to provide customers with a better shopping experience, many retailers have introduced the buy online and pick up in store (BOPS) shopping channel, so that the limited offline inventory is faced with multiple channels demand. Whether the introduction of BOPS channel is beneficial to retailers and how to fully utilize offline limited inventory is still lacking research. This study considers a retailer and two customer segments: physical store customers who purchase goods only through physical stores, and omnichannel customers who choose among various channels strategically. Most existing omnichannel research assume that retailers' offline inventory satisfies offline channels with priority. This paper takes three service strategies into consideration, including store customer priority strategy (SPS), omnichannel customer priority strategy (OPS), and equal priority strategy (EPS). Compared with the traditional literature, it is found that the introduction of BOPS is not entirely beneficial to the retailer. The density of physical store (determining the customer's store visiting cost) and distribution center (determining the customer's online waiting cost) affect the retailer's revenue. Moreover, it is found that if customers' online waiting costs are low, and store visit costs are even lower, the introduction of BOPS channels with SPS and EPS can increase the retailer's profits, while simultaneously increasing the consumer surplus for both store customers and omnichannel customers.

**Key words:** omnichannel; BOPS; service order; stock-sales ratio