

分类号: F272.3

密 级: 公开

学校代码: 10363

学 号: 2210720124



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题 目 考虑用户隐私行为的全渠道零售决策

及隐私服务策略研究

论 文 作 者 宋志远

指 导 教 师 程晋石 教授

学 科 (专 业) 管理科学与工程

研 究 方 向 物流与供应链管理

论文提交日期: 2024 年 06 月 03 日

分类号: F272.3

密 级: 公开

单位代码: 10363

学 号: 2210720124

题 目 考虑用户隐私行为的全渠道零售决策及隐私服务策略研究

英文并列

题 目 RESEARCH ON OMNICHANNEL RETAIL DECISION-
MAKING AND PRIVACY SERVICE STRATEGY
CONSIDERING USERS' PRIVACY BEHAVIOR

学生姓名: 宋志远

指导教师: 程晋石 教授

专 业: 管理科学与工程

研究方向: 物流与供应链管理

论文答辩日期: 2024 年 5 月 29 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期： 2024 年 06 月 03 日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 ____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

学位论文作者签名：

朱友进

指导教师签名：

程书石

日期：2024 年 06 月 03 日

日期：2024 年 06 月 03 日

考虑用户隐私行为的全渠道零售决策及隐私服务策略研究

摘 要

作为一项市场共识，用户的隐私权至关重要。本文深入探讨了隐私因素对零售商全渠道战略影响。基于非线性约束最优化理论和演化博弈理论，本文首先探讨了当消费者存在隐私关切时，传统单渠道零售商向全渠道销售转型时的最优定价和服务策略。在此基础上，进一步分析了商品隐私属性及用户的逐利或隐私关切行为对其市场扩张战略的影响。随后，本文系统地分析了消费者在不同销售阶段效用的动态变化，并确定了相应的边界条件。由此构造一个带约束的非线性决策模型，依次分析了传统双渠道零售商和全渠道零售商的最优市场扩张和运营战略，并且采用数值分析的方式对比了不同类型零售商的隐私服务能力及其收益表现。最后，针对全渠道零售商和消费者群体的最佳隐私服务合作策略，本文构建了一个约束优化模型，获得了不同合作策略下的均衡决策。基于零售商的均衡决策，确定了双方的支付矩阵及相应的演化博弈模型。以此求得双方长期博弈下的最佳合作策略。关键结论总结如下：

首先，商品的隐私价值属性显著影响传统单渠道零售商的定价决策。高隐私价值商品是零售商全价期的盈利重心，而普通商品是其销售收益保障。逐利型用户是折扣期的购买主力，而隐私敏感用户更倾向于在全价期购买。在适当的隐私服务支持下，隐私敏感用户的策略

行为有助于改善零售商利润。

其次，所有零售商的全渠道最优决策均受制于不同销售阶段的单位隐私投资成本。折扣期对所有零售商来说都是一个关键阶段，这决定着他们市场地位及其品牌隐私形象。促销策略的购买溢出效应和BOPS 渠道的交叉销售收益也有助于提高零售商的收益。然而，全价期过高的交叉回报可能导致渠道管理失衡。隐私问题在增强全渠道定价权方面起着关键作用，因此提供隐私服务必不可少。

最后，提供隐私增值服务可以改善全渠道业务，但最佳市场决策会受到隐私成本的抑制。此外，客户对隐私利益和风险的评估会影响运营策略。在完全合作的情况下，隐私服务会更好，但在不完全合作的市场回报会更高。从长远来看，消费者对产品的价值认知将影响双方的合作，隐私增值服务的激励和支持效应将推动他们达成完全合作。

本文为零售商在渠道管理、定价及隐私服务决策方面提供了管理见解。并为用户在个人隐私的保护和利用提供了相应的建议。

关键词：全渠道零售，隐私关切，隐私增值服务，非线性规划，演化博弈理论

RESEARCH ON OMNICHANNEL RETAIL DECISION- MAKING AND PRIVACY SERVICE STRATEGY CONSIDERING USERS' PRIVACY BEHAVIOR

ABSTRACT

As a market consensus, user privacy is of paramount importance. This paper delves into the impact of privacy factors on retailers' omnichannel strategies. Based on nonlinear constrained optimization theory and evolutionary game theory, the paper first explores the optimal pricing and service strategies for traditional single-channel retailers transitioning to omnichannel sales when consumers have privacy concerns. Based on this, we further analyze the impact of commodity privacy attributes and users' profit-seeking or privacy-concerned behaviors on their market expansion strategies. Subsequently, the paper systematically analyzes the dynamic changes in consumers' utility at different sales stages and identifies the corresponding boundary conditions. As such, a nonlinear decision model with constraints is identified to analyze the optimal market expansion and operation strategies of traditional dual-channel and omnichannel retailers. Numerical analysis compares the privacy service capabilities of different types of retailers and their revenue performance. Finally, for the optimal privacy service cooperation strategies of omnichannel retailers and

consumer groups, this paper constructs a constrained optimization model to obtain the equilibrium decisions under different cooperation strategies. The payoff matrix and the corresponding evolutionary game model of both parties are determined based on the equilibrium decisions of the retailers. In this way, the optimal cooperation strategies under the long-term game between the two parties are obtained. The key conclusions are summarized as follows:

Firstly, the privacy value attribute of goods significantly influences the pricing decisions of traditional single-channel retailers. High-privacy-value goods are the center of gravity of retailers' profitability in the full-price period, while ordinary goods are their sales revenue guarantee. Profit-seeking users are the main purchasing force in the discount period, while privacy-sensitive users prefer to purchase in the full-price period. Supported by appropriate privacy services, the strategic behavior of privacy-sensitive users helps to improve retailers' profitability.

Secondly, all retailers' omnichannel optimization decisions are constrained by the cost per unit of privacy investment at different sales stages. The discount period is a critical stage for all retailers, determining their market position and brand privacy image. Purchase spillovers from promotional strategies and cross-selling gains from the BOPS channel also contribute to retailers' profitability. However, excessive cross-returns during the omni-pricing period can lead to channel management

imbalances. Privacy issues play a key role in enhancing omnichannel pricing power, making the provision of privacy services essential.

Finally, offering value-added privacy services can improve omnichannel business, but optimal market decisions are inhibited by privacy costs. Besides, customers' assessment of privacy benefits and risks affects operational strategies. Privacy services will be better in fully cooperative situations, but the returns will be higher in markets that are not fully cooperative. In the long run, consumers' perceived value of the product will influence their cooperation, and the incentive and supportive effects of value-added privacy services will drive them to full cooperation.

This paper provides managerial insights for retailers in terms of channel management, pricing, and privacy service decisions. It also provides corresponding recommendations for users about personal privacy protection and utilization levels.

KEY WORDS: omnichannel retailing, privacy concerns, Value-added privacy services, nonlinear programming, evolutionary game theory

Author: Zhiyuan Song (School of Economics and Management)

Supervised by: Professor Jinshi Cheng

目录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及目的.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究目的.....	2
1.2 研究内容及意义.....	2
1.2.1 研究内容.....	2
1.2.2 研究意义.....	3
1.3 研究方法、贡献及技术路线.....	4
1.3.1 研究方法.....	4
1.3.2 研究贡献.....	5
1.3.3 技术路线.....	5
第 2 章 文献综述及相关理论.....	7
2.1 全渠道零售决策研究.....	7
2.2 隐私服务决策研究.....	8
2.3 国内外研究现状评述.....	9
2.4 相关理论概述.....	10
2.4.1 非线性规划理论.....	10
2.4.2 演化博弈理论.....	11
第 3 章 考虑用户行为偏好的传统单渠道零售商渠道拓展研究.....	13
3.1 问题描述及模型构建.....	13
3.2 模型分析.....	15
3.2.1 折扣期收益分析.....	15
3.2.2 全价期收益分析.....	18
3.3 数值算例.....	21
3.3.1 隐私价值因子对均衡策略的影响.....	21
3.3.2 隐私价值因子对系统利润的影响.....	23
3.4 本章小结.....	24
第 4 章 用户隐私关切下传统双渠道零售商运营及隐私服务策略研究.....	26
4.1 问题描述及模型构建.....	26
4.1.1 问题描述.....	26
4.1.2 模型构建.....	27

4.2 基准模型分析.....	29
4.2.1 折扣期的运营决策分析.....	29
4.2.2 全价期的运营决策分析.....	32
4.3 全渠道拓展.....	34
4.3.1 折扣期的运营决策分析.....	35
4.3.2 全价期的运营决策分析.....	38
4.4 数值算例.....	41
4.4.1 隐私关切.....	41
4.4.2 盈利因素.....	43
4.5 本章小结.....	46
第 5 章 不同合作模式下全渠道零售商定价及最优隐私合作策略研究.....	47
5.1 问题描述及模型构建.....	47
5.1.1 问题描述.....	47
5.1.2 模型构建.....	48
5.2 模型求解及分析.....	49
5.2.1 各情形下的最优定价及服务决策.....	49
5.2.2 最优策略分析.....	53
5.3 数值分析.....	56
5.3.1 隐私参数对最优服务策略的影响.....	56
5.3.2 隐私参数对最优利润的影响.....	57
5.4 隐私服务策略的演化均衡分析.....	58
5.4.1 演化博弈模型的构建.....	58
5.4.2 演化稳定策略分析.....	60
5.4.3 激励及支持效应对演化稳定策略的影响.....	62
5.5 本章小结.....	65
第 6 章 总结与展望.....	67
6.1 全文总结.....	67
6.2 研究展望.....	68
参考文献.....	70
附 录.....	75
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文.....	90
致谢.....	91

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及目的

1.1.1 研究背景

从 1916 年的第一家超市到 20 世纪末的网上零售,再到现在的多渠道和全渠道零售,零售业始终在快速发展^[1]。传统的实体零售商(B&M)纷纷在网上开店,作为其既有渠道的补充。近年来,随着移动互联网技术的飞速发展,产品销售逐渐由单一实体渠道发展到兼具线上和移动渠道的全渠道零售(Omnichannel Retailing)模式。传统电商平台与实体零售商纷纷加大了探索和投入力度,加速布局全渠道业务。在全渠道环境下,订单履行方式多样化,零售商致力于整合、拓展线上、线下和移动电子商务等销售渠道。这充分满足了客户的多样化消费需求,为其提供了无缝的消费体验^[2]。例如,在线购买和店内提货(Buy-online and pick-up-in-store)策略便是全渠道战略的重要组成部分。它充分利用了在线渠道的便利性,同时大幅降低了客户的等待成本。实体店不再只是线上平台的补充,而是客户购买旅程的核心构成要件。2021 年 9 月,全国首家“京东 MALL”落户西安,与传统商超不同,“京东 MALL”实现线上线下同价、同质、同服务,可门店自提或京东配送到家。此外,诸如亚马逊、梅西百货、诺德斯特龙(Nordstrom)等全球知名零售巨头,均在积极布局全渠道销售并取得了巨大成功。得益于全渠道业务的广泛而深入地开展,企业能够获取海量的用户数据,用以改善一致性购物体验或提供定制化的产品促销策略。

然而,作为一项市场共识,用户隐私权至关重要。它甚至被列为《公民权利和政治权利国际公约》(ICCPR)中的一项重要权利。对于追求效益优先的零售商来讲,收集客户数据是盈利导向的商业行为。在此过程中,过度收集敏感信息的行为会加剧用户的隐私关切。例如,2022 年 7 月,国家互联网信息办公室对滴滴强制收集敏感乘车信息等行为罚款人民币 80.26 亿元^[3]; GoodRx 在未经客户同意的情况下,与 Facebook 和谷歌分享了用户的健康状况和处方药信息^[4]; Meta 因将欧盟用户数据传输到美国被欧洲隐私监管机构处以创纪录的 12 亿欧元的罚款^[5]等等。显然,客户隐私保护事关企业形象及其切身利益,但这更关乎用

户的自身权益，亟需各方加以重视。在我国宏观政策层面，2021年8月，十三届全国人大常委会第三十次会议正式表决通过了《中华人民共和国个人信息保护法》。这标志着我国形成了以《网络安全法》、《数据安全法》、《个人信息保护法》三法为核心的网络法律体系，进一步夯实了数字经济时代的公民隐私安全。此外，多国政府也在加紧落实隐私合规监管。例如欧盟出台的《一般数据保护条例》（GDPR）和美国的《加州消费者隐私法》（CCPA），均赋予了消费者知道哪些数据被收集和防止出售其数据的权利。而在个人层面，随着消费者隐私意识的不断提高，近一半的消费者（47%）认为，他们几乎无法控制个人数据。此外，仅5%的用户认为零售行业是他们最信任的三大隐私保护行业之一^[6]。信任至关重要，消费者更愿意与隐私声誉较好的企业分享数据，并期望获得更好的折扣优惠作为回报。因此，越来越多的企业通过展示负责任的隐私承诺以赢得用户的信任。他们尝试在全渠道零售活动中推出强大且完备的隐私增值服务。这既是一项有效的隐私保护策略，更是一种积极且极具潜力的营销方式。实施隐私保护战略势在必行，这事关全渠道零售商的业务前景。

1.1.2 研究目的

本文旨在研究在隐私合规监管的前提下，零售商提供隐私增值服务是否有利于其全渠道战略？在长期博弈下，零售商和用户的最优隐私合作策略是什么？由此，本文抽象出一个零售商在全渠道运营中提供隐私增值服务的理论问题。通过构建静态的非线性约束优化模型，依次探讨了传统单渠道和双渠道零售商在实施全渠道扩张战略时的最优定价和隐私服务决策。进一步地，基于全渠道零售商的最优运营决策，利用演化博弈理论分析了双方在长期博弈下的最优隐私合作策略。最后，本文引入了隐私增值服务的激励效应和支持效应参数，分析了它们对双方均衡策略的影响。

1.2 研究内容及意义

1.2.1 研究内容

论文主体内容主要由以下三方面构成，具体如下：

首先，本文在第一个研究子问题中构建了一个由单渠道零售商和购买行为异质的消费者群体组成的非线性约束优化模型。在逐利型和隐私敏感型消费者的购

买效用约束下,分析零售商在折扣期和全价期的销售策略,并讨论了不同参数对最优策略的影响。在此基础上,通过比较不同赋值情形下的隐私价值因子来分析零售商的盈利表现,由此解释了消费者隐私关切和逐利行为对零售商总利润的影响。

其次,在第二个子问题中,本文分析了传统双渠道零售商的全渠道营销战略。通过构建用户在不同渠道下的效用函数,求得各渠道间的均衡购买点。以此来讨论消费者所有可能的渠道偏好,并得出相应的效用约束条件。由此,分别构建了零售商在折扣期和全价期的最优化决策模型,并以赋值的形式比较了传统双渠道和全渠道零售商的盈利表现。与此同时,本文也推导了隐私关切因子、BOPS 渠道交叉销售收益等因素对最优策略的影响。

最后,在第三个研究子课题中,本文进一步分析了全渠道零售商在不同时间维度下的隐私服务策略。通过构建静态的非线性约束模型,在用户不同效用水平约束下,确定了全渠道零售商在与用户不同隐私合作情形下的最优决策。随后,以双方最优行动策略构建了演化博弈模型,分析双方在长期博弈下的演化稳定策略。最后,通过引入隐私增值服务的激励效应和支持效应,分析了不同参数对均衡策略的影响。

1.2.2 研究意义

本文为传统零售商全渠道业务的转型发展提供了思考。符合隐私监管要求的前提下,提供隐私增值服务是否有利于其业务的开展?用户的隐私行为是否影响其最优策略,双方在长期博弈下的最优合作策略是什么?这是一个值得深入探讨的研究课题。

在理论层面,有关全渠道零售的研究中,针对渠道运营、收益协调、定价及服务策略优化的研究非常丰富,较少有研究关注隐私服务策略的优化协调问题。其次,在以往研究中,学者多从单一静态或动态视角来构建理论问题。本课题进一步丰富了全渠道领域中有关隐私服务的优化研究,本文既得到了静态条件下,零售商的最优运营策略及隐私服务策略,进一步地,基于零售商和用户的最优反应函数,还分析了双方长期博弈下的最优隐私合作策略。本文结果为双方提供了可行的理论见解。

在实践层面,本课题为全渠道零售商的商业实践提供了启示。全渠道零售商

要充分认识隐私保护的战略价值，以制定透明、安全及合规的隐私政策为基础，以数据利用最小化为原则，采取合理的技术措施收集必要信息并进行匿名化或脱敏处理。与此同时，赋予消费者充分的数据控制权限，使其能够自主选择撤销授权或删除数据。此外，要加强市场调研分析，及时响应客户隐私需求，建立有效的沟通反馈机制以增强企业市场声誉和用户的信任。而作为服务的接受方，消费者应选择具有良好隐私声誉和服务稳定性的企业作为长期的隐私的合作伙伴。其次，要充分阅读隐私政策以了解必要的权限和反馈渠道。通过定期检查权限设置和企业的隐私政策，确保其符合个人隐私需要，最终达成最佳的隐私合作意向。

1.3 研究方法、贡献及技术路线

1.3.1 研究方法

本文采用文献综述法梳理了本领域中最新的研究成果，以此确定了本研究的主题。随后，综合运用非线性约束最优化和演化博弈理论构建了数学模型，以此系统地分析用户隐私行为对全渠道决策及隐私服务策略的影响。最后，采用数值仿真法对相关参数进行赋值分析。具体方法如下：

（1）文献综述法

本文通过知网、Informs、Elsevier、Wiley 等期刊数据库，检索并梳理了国内外最新有关全渠道零售和用户隐私的研究文章。通过总结现有文献的研究方向和关注焦点，发掘有价值的课题方向，由此确定本文的研究思路开展课题研究。

（2）数学建模法

在理论建模中，本文运用卡罗需-库恩-塔克条件（Karush-Kuhn-Tucker Condition）构建了非线性约束优化模型。KKT 条件是非线性规划理论中的重要研究成果，是判断凸规划问题极值点以及全局最优解的充要条件。在此基础上，利用演化博弈理论构建了双方隐私合作策略的演化模型。演化博弈理论（Evolutionary Game Theory）源于生物进化论，它强调的是一种动态的博弈均衡。不同于经典博弈论，EGT 理论更加关注策略的动力学特性，即不仅考虑各种竞争策略本身优劣的影响，而且还要考虑竞争策略在群体中出现的频率的效果。EGT 理论对于解释竞争群体合作意愿的演进趋势极具价值，特别是它可以帮助我们解释在一个达尔文式的过程中如何建立利他行为。

(3) 赋值仿真法

在各模型均衡解的基础上，结合问题背景并参考有关文献的参数赋值经验，综合运用 Matlab , Mathematica 等软件对诸变量赋值，进行仿真分析。由此直观地展现不同情形下的最优策略的变化趋势，并验证结论及推论的严谨性和科学性。

1.3.2 研究贡献

本课题的主要研究贡献主要体现在以下三方面：

- (1) 考虑不同购买阶段内用户隐私偏好的差异，并将这一行为偏好纳入决策模型的构建中，进而分析用户的逐利及隐私敏感行为对传统单渠道零售商的渠道拓展战略的影响。
- (2) 考虑用户在不同购买渠道的效用变化，通过比较用户在各渠道的购买效用均衡点来刻画效用约束条件，以此分析传统双渠道零售商的最佳运营及隐私服务策略。
- (3) 通过构建静态的非线性约束模型，确定了零售商在静态条件下的最佳收益函数以及用户的最佳效用函数。在此基础上构建双方的演化博弈模型，分析并得到双方在长期博弈下隐私服务合作的演化稳定策略。

1.3.3 技术路线

本文研究框架如下：

第一章：绪论。本章主要介绍了本课题的研究背景、研究内容以及主要研究思路等内容，从整体出发阐述本课题的研究概况。

第二章：文献综述及相关理论。本章主要围绕“全渠道零售”和“隐私服务”这两个研究方向出发，梳理了国内外的研究现状并对比了本文与已有研究的异同和理论贡献。最后，介绍了理论建模所用到的相关理论。

第三章：考虑用户行为偏好的传统单渠道零售商渠道拓展研究。本章主要分析了用户逐利行为和隐私敏感行为在不同购买阶段内对单渠道零售商的渠道拓展战略的影响。

第四章：用户隐私关切下传统双渠道零售商渠道运营及隐私服务策略研究。本章从传统双渠道零售商视角出发，分析在市场存在隐私关切的前提下，差异化的渠道购买效用对最佳渠道运营和隐私服务策略的影响。

第五章：不同合作模式下全渠道零售商定价及最优隐私合作策略研究。本章

主要分析了零售商和用户在不同隐私合作模式下的最优反应函数，以此为基础构建演化博弈模型，分析了双方长期博弈下的最优隐私合作策略。

第六章：总结与展望。本章首先总结了上述各子问题的结论，并给出了针对性的实践启示。其次，基于已有研究成果指出本研究的不足和可行的研究方向。

本文的技术路线如图 1-1 所示：

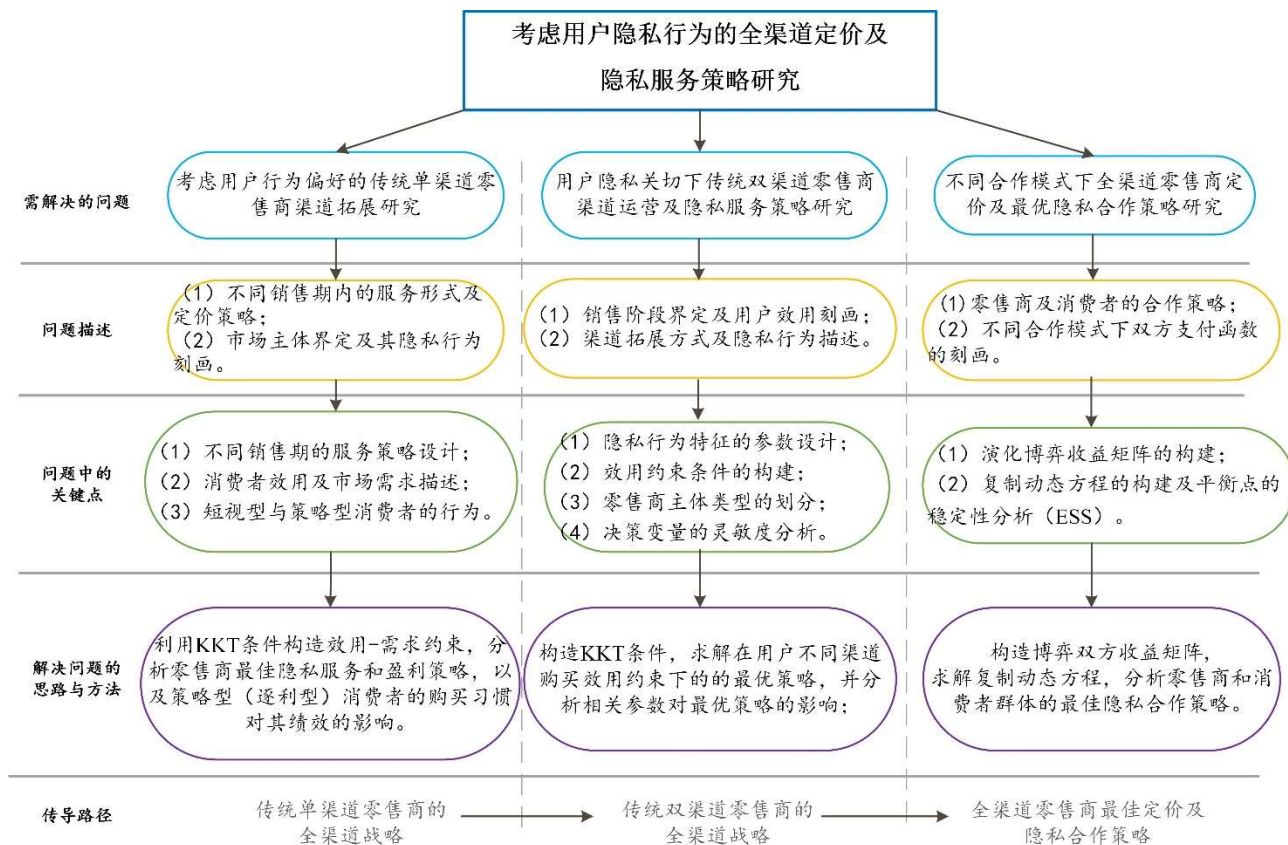


图 1-1 技术路线

第2章 文献综述及相关理论

与本文相关的研究主要有两个方向：全渠道零售运营研究及隐私服务决策研究。本章回顾并梳理了现有研究的发现并强调了本研究对该领域的新贡献。

2.1 全渠道零售决策研究

在早期的研究中，Chiang等^[7]建议在传统零售中增加直销渠道，从而提升渠道控制，改善收益表现。随后，Gallino和Moreno指出^[8]，全渠道销售能够缓解渠道冲突，实现跨渠道的收益共享。全渠道企业以多种方式管理渠道，以利用渠道之间的协同效应，增强跨渠道的客户体验，从而最大限度地提高整体绩效^[9]。

近年来，线上购买线下取货模式已成为全渠道零售的关键战略。这一战略有效降低了客户等待成本并带来了潜在的购买溢出^[10]。由此，许多学者针对BOPS模式的渠道设计开展了大量研究。例如，订单履行和退货策略^[11,12]、展厅策略^[13,14]和定价与收益表现^[15]等。其中，展厅模式的服务努力和优惠券价值最大而收益表现不佳。因为展厅的部署对零售商业绩的影响取决于陈列室的可行性。可行性越高，全渠道零售商越能够从中获利^[13]。朱明^[16]和王淑玉^[17]分别研究了双渠道和全渠道零售模式下的最优退货政策。Y. Liu等^[11]探讨了具有不同订单履行和退货选择的全渠道零售战略。确定了零售商采用 BORS 或 BOPS 策略的最佳时机。周雅莉等^[18]研究了在用户存在退货及隐私关切行为下的全渠道零售商的最优定价及促销策略。马守宇等^[19]针对不同销售渠道退货策略和用户需求，分析了BOPS模式下零售商最佳的运营策略。BOPS模式虽然侵占了传统渠道，但能为供应链成员带来新的市场需求，从而利用实体店来迎合那些喜欢检查购物是否合适的顾客^[20]。针对供应链系统的利润协调，Hosseini-Motlagh等^[21]研究了供应链成员的长期行为如何影响协调决策及其在协调利润盈余中的份额。此外，一些学者还关注了全渠道零售商的联合动态定价^[22]和考虑用户交互行为的跨渠道履约问题^[23]。Li^[24]等探讨了不同全渠道模式和优惠券发放场景下的渠道运营及促销政策。

此外，李宗活等^[25]基于消费者效用分析了不同渠道组合的构成要件，以此确

定了市场划分的约束边界。纪雅杰等^[26]和吴晓志等^[27]分别从消费行为偏好和服务水平出发,研究了全渠道运营的最佳策略。郭文源^[28]研究了拓展直播渠道对全渠道零售商定价决策的影响。Chenavaz等^[29]在动态定价环境中引入了参考价格效应,以此研究双渠道零售的跨期定价问题。该研究强调了价格优化的重要性和渠道协调的必要性。牟玉霞等^[30]利用多项式Logit选择理论构造了服务约束下的跨周期优化模型,以此分析风险厌恶型全渠道零售商的产品选择及库存优化策略。Y. Chen等^[31]讨论了传统零售商与在线零售商之间的渠道互动。研究发现,传统零售商很少充当在线零售商的前置仓库,这导致在线零售商不得不投资建设自己的前置仓库。

2.2 隐私服务决策研究

在有关隐私保护策略的研究中,Acquisti 等^[32]发现,当卖方可以根据客户的购买历史决定报价时,消费者采取隐私保护策略时是否有利可图。研究表明,尽管以区别定价来区分高价值消费者是可行的,但商家并不总是获得最优决策。Du 等^[33]研究了消费者的预期失望厌恶行为对全渠道零售商在库存约束下的最优定价决策的影响。Patel 等^[33]指出,尽管零售业面临着越来越多的隐私合规性检查,但隐私法律并没有导致股市估值下降,消费者隐私保护法不会对公司价值产生直接的不利影响。

在企业与政府政策的博弈方面,有研究建立了一个双方演化博弈模型,以了解商家是否启用商品追溯功能以及消费者是否选择参与商品追溯关系^[35]。该模型探讨了商家对不同程度参与购买行为的消费者实现商品追溯功能的影响边界。此外,惩罚性政策更容易说服中小企业留在市场中^[36]。杨海芳等^[37]提出了一项基于 k-匿名原则的最小化信息损失隐私保护方法,以解决数据利用和用户隐私间的矛盾。陈荣等^[38,39]分析了用户隐私关切对闭环供应链的影响。此外,沈月等^[40]研究了隐私保护对企业经营策略及社会福利的影响。刘百灵等^[41]探讨了企业的隐私设置对用户行为和意愿的影响机制。在全渠道零售背景下,Cheah 等^[42]调查了全渠道零售中的消费者行为。研究发现零售商需要对渠道整合、零售商-消费者关系授权和有效缓解隐私问题进行协同。Song 和 Cheng 关注了传统零售商的全渠道扩张,在此过程中探讨用户隐私关切对其渠道战略的影响^[43]。

在隐私价值的让渡上,对于功利性应用程序,用户会在隐私问题和感知价值之间进行权衡,对明显的隐私提示和微妙的隐私提示会进行谨慎的处理。然而,对于享乐型软件,用户会考虑明显的隐私提示,但不会考虑微妙的隐私^[44]。这将给全渠道零售业以启示。引导用户有效权衡隐私价值,从而在隐私权让渡上达成合作。綦勇等^[45]关注了企业大数据背景下的精准推荐策略,基于水平差异化双寡头模型阐明不同程度隐私数据保护政策的适用条件。Tachyun Ko 等^[46]分析了企业的供应链透明度和道德生产实践。Afèche 等^[47]研究了卖方在重复时期内向对产品有给定估值的客户出售易腐资产的理论问题。他们确定了在消费者损失厌恶水平上企业预期价格和利润的优化条件。此外,他们还详细描述了企业的最优库存和最优定价政策。卢珈璟^[48]和刘晓丹^[49]则分别探讨了消费者在社交媒体中发布口碑信息对于商家获取和发布商务信息的影响,以及社交媒体因素对用户潜水意向的作用机制。S. Chen 等^[49]分析了智能服务战略的差异化隐私成本。此外,他们还讨论了隐私保护和数据挖掘如何影响服务水平的提高。此外,还有一些论文研究了消费者基于在线广告投放的隐私选择^[51]、服务平台、政府以及消费者对大数据歧视性定价的反应策略^[52]。

在推广方面,Bleier 等^[53]研究了围绕消费者数据的创新和营销如何引发隐私问题,并提出了几种缓解隐私问题的策略。Wan 等^[54]探讨了两家竞争对手公司之间移动目标推广的最优策略。

2.3 国内外研究现状评述

互联网的出现为变革商业理念铺平了道路^[55]。如今,顾客有多种选择来满足他们对产品和服务的需求,包括店内订购、邮购退货、网上购买、送货上门、陈列室、网络室和拍卖^[56]。在当代竞争环境中,顾客的期望围绕着一致的全渠道体验,促使零售商进行大量投资^[57]。这些服务无缝地充当了跨渠道购物的桥梁,然而渠道的扩张也带来了潜在的切换诱惑^[58,59]。因此,了解消费者的动机,包括潜意识因素,对于充分利用全渠道至关重要。

综上所述,在全渠道零售领域的研究中,针对渠道运营、收益协调以及定价及服务策略优化等方面的研究非常丰富,而较少有研究关注全渠道运营中的隐私服务策略的优化协调问题。其次,以往的有关研究多从单一静态或演化博弈视角

观察市场策略的制定及优化问题。

本文的贡献与前人有所不同。首先，本文既提出了静态条件下，用户效用约束下的零售商最优运营策略及隐私服务策略，进一步地，基于零售商及消费者的最优反应函数构建了动态演化模型，以此分析双方长期博弈下隐私增值服务的最优合作策略。

本文结论为双方长期的合作策略提供了可行的见解。全渠道零售商提供隐私增值服务有助于其制定最优市场运营决策，在短期内不完全合作下的全渠道收益更高。而在长期博弈下，双方达成完全合作时的整体表现更好。

2.4 相关理论概述

2.4.1 非线性规划理论

非线性规划是指目标函数或约束条件中含有自变量的非线性函数。在常见的管理问题中，诸如著名的马可维茨（Markowitz）投资优化组合模型^[60]、平均费用同订货批量的关系、产品的定价决策模型等，均涉及变量为非线性函数的情形。

非线性规划的数学模型为：

$$\begin{cases} \min f(X), X \in R_c \subset E_n \\ g_j(X) \geq 0 (j=1, 2, \dots, l) \end{cases} \quad (2.1)$$

其中， $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 是 n 维欧氏空间 E_n 中的点（向量），目标函数 $f(X)$ 和约束函数 $g_j(X)$ 为凸集 R_c 上的实函数。若对任意实数 a ， $0 < a < 1$ 及 R_c 中任意两点 $X^{(1)}$ 和 $X^{(2)}$ ，恒有

$$f(aX^{(1)} + (1-a)X^{(2)}) \leq af(X^{(1)}) + (1-a)f(X^{(2)}) \quad (2.2)$$

则 $f(X)$ 为定义在 R_c 上的凸函数。

对于一个非线性规划，若目标函数 $f(X)$ 及约束条件 $-h_i(X)$ 、 $-g_j(X)$ 均为凸函数，则该非线性规划为凸规划。此时，任意的局部最优解即为全局最优解。若目标函数为严格凸函数，且最优解存在，则其最优解必唯一。而判定其凹凸性则常通过二阶条件，即证明 $f(X)$ 的 Hessian 矩阵正定性加以确定。

常用的求解无约束非线性规划问题的方法有：求解单变量的无约束极值问题

的 Fibonacci 法和黄金分割法，以及多变量无约束极值问题的梯度法和牛顿法。而对于求解约束极值问题则常用罚函数法和最优性条件（如：可行下降方向和 Karush-Kuhn-Tucker 条件）。本文所构建的非线性约束规划模型均基于 Karush-Kuhn-Tucker 条件进行求解。其基本求解思路如下：

设 X^* 为所求非线性规划(2.1)的局部极小点， $f(X)$ 和 $g_j(X)$ 在点 X^* 处有一阶连续偏导数，则存在 $\mu_1^*, \mu_2^*, \dots, \mu_l^*$ 使得：

$$\begin{cases} \nabla f(X^*) - \sum_{j=1}^l \mu_j^* \nabla g_j(X^*) = 0 \\ \mu_j^* \nabla g_j(X^*) = 0, (j=1, 2, \dots, l) \\ \mu_j^* \geq 0, (j=1, 2, \dots, l) \end{cases} \quad (2.3)$$

条件(2.3)称为 Karush-Kuhn-Tucker 条件，求解得到满足该条件的点即最优解点，也称 KKT 点，这是确定某点为全局最优解的必要条件。但对于凸规划，Karush-Kuhn-Tucker 条件则是求解最优解的充要条件。

2.4.2 演化博弈理论

古典博弈论是迄今发展最迅速、影响最深远的分支学科。然而在理论上其采取的是一种完美假设：参与人具备完美理性且以自身收益最大化为原则。与此同时，该理论要求博弈各方有理性的共同认知。然而在现实实践中，不论是参与人个人决策还是集体决策在面对较为复杂的问题时均会出现偏差。

由此，演化博弈理论假设所有参与人均有限理性，它更强调决策变迁的动态过程，认为在决策过程中博弈各方无法对各决策变量做出迅速的最优化反应。自 Maynard Smith 和 Price^[61, 62]提出了演化稳定策略 (Evolutionary Stable Strategy) 概念以来，演化博弈理论被越来越多的应用于研究各种经济管理问题。在过往研究中，演化博弈理论被应用于双方乃至三方的动态博弈中，本文构建的由零售商和用户所组成的两方演化博弈模型。其基本求解思路为：

首先，确定博弈双方的支付矩阵如表 2-1 所示：

表 2-1 博弈双方的支付矩阵

		主体 B	
		选择 P_1 策略	选择 P_2 策略
主体 A			

选择 P_1 策略	(g, g)	(k, f)
选择 P_2 策略	(f, k)	(c, c)

由此，各主体选择不同策略的期望收益及平均期望收益分别为：

$$U_{1A} = yg + (1-y)k \quad (2.4)$$

$$U_{2A} = yf + (1-y)c \quad (2.5)$$

$$\bar{U}_A = xU_{1A} + (1-x)u_{2A} \quad (2.6)$$

其中， x 和 y 分别为主体 A 和 B 采取 P_1 策略的概率。同理可得主体 B 的期望收益及平均期望收益。由此进一步构造博弈系统的复制动态方程组：

$$\begin{cases} F(X) = \frac{dx}{dt} = x(U_{1A} - \bar{U}_A) \\ F(Y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{1B} - \bar{U}_B) \end{cases} \quad (2.7)$$

联立复制动态方程组求解方程组，即可求得该系统的所有均衡点。

求解 Jacobian 矩阵：

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(X)}{\partial x} & \frac{\partial F(X)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(Y)}{\partial x} & \frac{\partial F(Y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

最后，通过判定各均衡点的渐进稳定性，(即是否满足 $\begin{cases} tr(J) < 0 \\ det(J) > 0 \end{cases}$)，便可得到

相应的演化稳定策略 (ESS 策略)。

第3章 考虑用户行为偏好的传统单渠道零售商渠道拓展研究

本章探讨了当市场存在隐私问题时，传统单一渠道零售商向全渠道销售转型的最佳定价和服务策略。本章构建了一个非线性约束优化模型，考虑用户隐私行为在不同购买阶段内存在差异，将用户群体划分为逐利型和隐私敏感型。在不同购买效用条件约束下，分析零售商在折扣期和全价期的销售策略，并讨论了不同参数对最优策略的影响。此外，本章还分析了商品隐私属性和客户追求利润或策略隐私行为的影响。

3.1 问题描述及模型构建

考虑一家传统的单一渠道零售商，通过拓展新的零售渠道来实施全渠道战略。潜在市场需求总量记为 a 。当消费者有一定的隐私关切 θ ， $\theta \in [0, 1]$ 时，市场需求收敛至 θa 。零售商在折扣期和全价期销售产品， $t = 1, 2$ 。其中，折扣期和全价期的全渠道定价分别记为 p_1 和 p_2 。在折扣期，零售商会制定有吸引力的销售策略，提供基于用户消费习惯的，定制化的优惠券 γ ，以实施新渠道的促销^[25]。在全价期，零售商将提供相应的隐私服务 λ ，以展示其在遵守隐私政策方面所做的努力，从而赢得用户的信任。隐私保护通常被视为一种增值服务^[63]，这将赋予产品潜在更高的货币价值，在此定义为隐私货币价值 c ， $c \in [0, 1]$ 。本文参考既有文献的模型假定，将边际销售成本归一化为零^[64]，因为正的边际销售成本不会影响本文的研究结果。此外，由于不同类型的产品或服务用户隐私价值的，本文设定了一个隐私价值因子 k 来量化隐私的市场价值。考虑到定制化优惠券将导致用户长期的购买效用边际递减。在此，本文用二次函数来描述这种边际化的影响。因此，不同购买阶段的市场需求刻画如下：

$$\begin{cases} D_1 = \left(a - kp_1 + \frac{1}{2}v\gamma^2 \right)^+ \\ D_2 = \left[\theta a - kp_2 + \frac{1}{2}(v+c)\lambda^2 \right]^+ \end{cases} \quad (3.1)$$

所有的潜在用户会在折扣期开始时进入市场^[65]，在不失一般性的情况下，他们的群体规模记为 1。他们对产品的价值感知为 v ，且均匀地分布在 $[0, 1]$ 。本文假设市场中的消费者均为逐利型或隐私敏感型。逐利型用户对隐私受到侵犯的潜在风险相对漠视，他们会被促销优惠和较低的价格所吸引。假定这部分群体的规模为 β ， $\beta \in (0, 1)$ 。相对地，隐私敏感型用户更加关注个人信息的安全，他们更喜欢完备的隐私保护和卓越的消费体验。这一人群的比例记为 $1 - \beta$ 。此外，他们有一定程度的隐私关切 θ ， $\theta \in (0, 1)$ 。由此，逐利型和隐私敏感型客户的购买效用如下：

$$U_m = v - p_1 + \gamma \quad (3.2)$$

$$U_s = \theta v - p_2 + \lambda c \quad (3.3)$$

假设消费者的效用会影响潜在的市场需求。即只有当 $U_i > 0$ ， $i = "m" \text{ or } "s"$ 时，潜在市场需求才存在。图 3-1 描述了每个市场参与者的决策顺序。

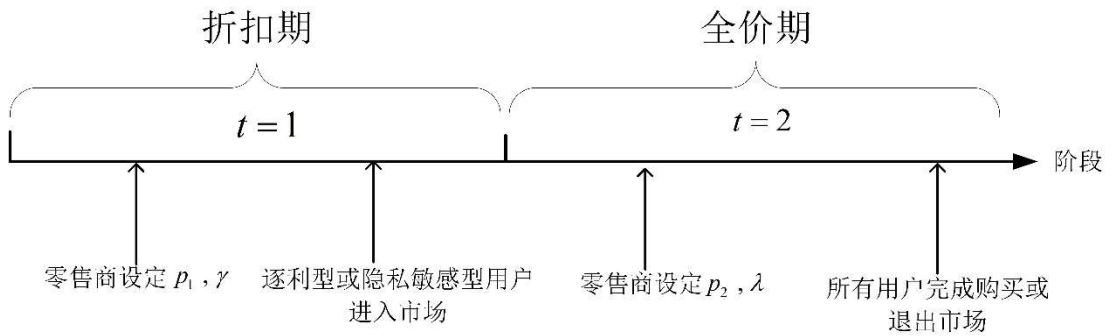


图 3-1 各市场主体的决策顺序

零售商是风险中性的，在各阶段都追求收益最大化。因此，零售商在不同时期的利润函数如下：

$$\Pi = \max \pi_1 + \max \pi_2 \quad (3.4)$$

其中 $\pi_1 = \beta D_1(p_1 - \gamma)$ ， $\pi_2 = (1 - \beta) D_2(p_2 - \lambda)$ 。

详细说明见表 3-1。

表 3-1 符号说明

符号	定义
a	潜在的市场总需求
p_t	折扣期和全价期的定价, $t = 1, 2$ (决策变量)
γ	折扣期提供的个性化优惠券的价值 (决策变量)
λ	全价期的隐私保护服务 (决策变量)
c	隐私货币价值, $c \in [0, 1]$
k	隐私价值因子
θ	隐私关切, $\theta \in [0, 1]$
β	逐利型用户的规模, $\beta \in (0, 1)$
v	用户的产品价值感知, $v \sim U[0, 1]$
U_i	逐利型和隐私敏感型用户的效用, $i = "m" \text{ or } "s"$
Π	零售商的系统总利润
D_t	折扣期和全价期的市场需求, $t = 1, 2$
π_t	折扣期和全价期的利润, $t = 1, 2$

3.2 模型分析

3.2.1 折扣期收益分析

从第 3.1 节可知, 零售商的利润存在一个约束条件 $U_m > 0$ 。一般情况下, 本章默认 $p_t > 0, \gamma > 0$ 。因此, 零售商利润的决策模型如下所示:

$$\begin{aligned} \max \pi_1(p_1, \gamma) &= \beta D_1(p_1 - \gamma) = \beta \left(a - kp_1 + \frac{1}{2}v\gamma^2 \right) (p_1 - \gamma) \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} v - p_1 + \gamma > 0 \\ p_1 > 0, \gamma > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.5)$$

利润函数的第一项和第二项分别代表逐利型消费者占比和折扣期间的市场需求。第三项表示折扣后的单位产品净收入。求解 $\pi_1(p_1, \gamma)$ 的二阶偏导数, 得到 Hessian 矩阵为

$$\nabla^2 \pi_1(p_1, \gamma) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1 \partial \gamma} \\ \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \gamma \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \gamma^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2k\beta & k\beta + v\beta\gamma \\ k\beta + v\beta\gamma & v\beta(-3\gamma + p_1) \end{bmatrix}$$

显然， $\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1^2} = -2k\beta < 0$ ，令 $|\nabla^2 \pi_1(p_1, \gamma)| = \beta^2(4kv\gamma - k^2 - v^2\gamma^2 - 2kvp_1) > 0$ ，解得 $p_1 < \frac{4kv\gamma - k^2 - v^2\gamma^2}{2kv}$ 。因此，当折扣期定价满足 $p_1 < \frac{4kv\gamma - k^2 - v^2\gamma^2}{2kv}$ 时， $\nabla^2 \pi_1(p, \gamma)$ 负定。

此时模型为凸规划，存在一个严格意义上的局部极大值点 (p_1^*, γ^*) 能使利润函数最大化。

$$\begin{aligned} \max \pi_1(p_1, \gamma) &= \beta D_1(p_1 - \gamma) = \beta \left(a - kp_1 + \frac{1}{2}v\gamma^2 \right) (p_1 - \gamma) \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} p_1 < v + \gamma \\ p_1 < \frac{4kv\gamma - k^2 - v^2\gamma^2}{2kv} \\ p_1 > 0, \gamma > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.6)$$

拉格朗日函数为：

$$L_1 = \pi_1(p_1, \gamma) + \eta_1(v + \gamma - p_1) + \eta_2 \left(\frac{4kv\gamma - k^2 - v^2\gamma^2}{2kv} - p_1 \right) \quad (3.7)$$

零售商通过决策 p_1 和 γ 来实现利润最优。求解 Karush-Kuhn-Tucker (KKT 条件)，由此可以得到命题 1。详细证明过程请参阅附录 1-1-1。

命题 1： 零售商在折扣期的最佳运营决策为：

$$\begin{cases} p_1^* = \frac{3k^2 + 2av}{4kv} \\ \gamma^* = \frac{k}{v} \\ \pi_1^* = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{16kv^2} \end{cases} \quad (3.8)$$

命题 1 是零售商在折扣期的最优营销策略和盈利表现。进一步分析认为，隐私价值因子的阈值变化会影响零售商的最优营销策略。相关结论如推论 1~3 所示，详情请参见附录 1-1-2。

推论 1： 在折扣期，当隐私价值因子满足 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 时，全渠道定价 p_1^* 随产

品隐私价值因子的增加而增加；当 $k \in \left(0, \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}\right)$ 时，定价随隐私价值因子的增加而减少。

推论 1 指出，隐私价值因子 k 影响定价。当 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 时， k 与定价正相关。当 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 时，隐私对定价的影响更大。这表明，对于出售高隐私风险价值的商品或服务而言，零售商此时将具备较为明显的市场优势。与此相反，当 $k \in \left(0, \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}\right)$ ， k 与定价呈负相关。这表明，在向消费者销售隐私风险价值较低的商品时，零售商提高价格的能力会受到一定限制。这将促使零售商降低价格以抢占市场份额。因此，零售商应明确不同隐私敏感商品的价格浮动区间。在实施商品促销或提供隐私服务时，通过差异化定价确定不同商品的隐私价值，以获取预期的降价（提价）空间。

推论 2： 在折扣期

- i. 个性化优惠券的价值 γ^* 随 k 的增加而增加；
- ii. γ^* 随用户的产品价值感知 v 的增加而减少。

求得 γ^* 对 k 和 v 的一阶偏导数分别为 $\frac{\partial \gamma^*}{\partial k} = \frac{1}{v} > 0$, $\frac{\partial \gamma^*}{\partial v} = -\frac{k}{v^2} < 0$ 。推论 2 指出，隐私价值因子会对个性化优惠券面额产生积极影响。这表明，产品隐私价值的高低不会制约零售商在折扣期间的促销决策。零售商可以提供更多个性化优惠券，以巩固其市场主导地位。此外，零售商的个性化优惠券会损害消费者对产品的感知价值。这一观点更符合消费常识。当促销力度大时，购物者对商品价值的不确定性就会增加。他们预计价格下降的可能性更大。因此，频繁的促销会让更多的消费者持观望态度，从而导致更多的策略性购买行为。商家应在促销的同时提供价格保证。这有助于打消消费者对持续降价所带来的顾虑。

推论 3： 在折扣期

- i. 当 $k > \sqrt{2}\sqrt{av}$ 时，折扣期利润 π_1^* 随 k 的增加而增加；当 $k \in \left(0, \sqrt{2}\sqrt{av}\right)$ 时，折扣期利润 π_1^* 随 k 的增加而减少；

- ii. 当 $k \in (0, \sqrt{2}\sqrt{av})$ 时, π_1^* 随市场需求 a 和产品价值 v 的增加而增加; 当 $k > \sqrt{2}\sqrt{av}$ 时, π_1^* 随市场需求 a 和产品价值感知 v 的增加而减少;
- iii. π_1^* 随逐利型消费者占比 β 的增加而增加。

推论 3 指出了折扣期间利润与隐私价值因子 k 、市场需求 a 、产品价值感知 v 和逐利型消费者比例 β 之间的关系。首先, 当 $k > \sqrt{2}\sqrt{av}$ 时, 折扣期利润与隐私价值因子 k 正相关。这表明, 高隐私属性商品对零售商的盈利影响相对较大。反之, 其影响则较弱。其次, 市场需求和产品价值对零售商盈利能力的影响 k 的因阈值范围而异。具体来说, 当 $0 < k < \sqrt{2}\sqrt{av}$ 时, 市场需求和产品价值可以有效刺激零售商的盈利能力。这进一步表明, 销售低隐私特征的商品将保证零售商的利润。原因可能是消费者在购买这类商品时不必担心隐私问题。对于零售商来说, 扩大这类商品的销售量是有益的。最后, 与常识一致地是, 逐利消费者的比例会对零售商的盈利产生积极影响。也就是说, 更多的促销活动会吸引更多逐利的买家在折扣期冲动消费。这将有利于零售商的收入表现。

3.2.2 全价期收益分析

与第 3.2.1 节类似, 零售商在全价期的利润为:

$$\begin{aligned} \max \pi_2(p_2, \lambda) &= (1-\beta)D_2p_2 = (1-\beta)\left(\theta a - kp_2 + \frac{1}{2}c\lambda^2\right)(p_2 - \lambda) \\ \text{s.t. } &\begin{cases} \theta v - p_2 + \lambda c > 0 \\ p_2 < 2\lambda - \frac{k}{2(c+v)} - \frac{(c+v)\lambda^2}{2k} \\ p_2 > 0, \lambda > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.9)$$

同样, 通过求解这个非线性约束最优化模型 π_2 , 可以得到命题 2。详细证明请参阅附录 1-1-3。

命题 2: 零售商在全价期的运营策略为:

$$\begin{cases} p_2^* = \frac{3k}{4(c+v)} + \frac{a\theta}{2k} \\ \lambda^* = \frac{k}{c+v} \\ \pi_2^* = \frac{(1-\beta)[k^2 - 2a(c+v)\theta]^2}{16k(c+v)^2} \end{cases} \quad (3.10)$$

命题 2 是零售商在全价期的最优经营策略。同样, 进一步得到推论 4~6。

推论 4: 在全价期

- i. 当 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{ac\theta + av\theta}$ 时, 全价期定价 p_2^* 随 k 的增加而增加; 当 $k \in \left(0, \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{ac\theta + av\theta}\right)$ 时, 定价随 k 的增加而减少;
- ii. 当 $k \in (0, \sqrt{2}\sqrt{av})$ 时, p_2^* 随隐私的货币价值 c 的降低而降低, 随策略型消费者的隐私关切的增加而增加;

推论 4 表明, 在全价期, 当 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{ac\theta + av\theta}$ 时, 隐私价值因子与定价正相关。

反之, 当 $k \in \left(0, \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{ac\theta + av\theta}\right)$, 两者负相关。这表明, 商品的隐私价值属性会对其定价产生重大影响。对于高隐私价值的商品, 零售商可以提供更好的隐私服务承诺, 提高此类商品的附加值, 以寻求更高的产品定价。对于普通商品, 零售商可以利用其市场竞争地位, 充分发挥产品分销的规模优势。他们可以制定有吸引力的价格, 以完成更多的销售。

其次, 可以求得 p_2^* 对 c 和 θ 的一阶偏导数分别为 $\frac{\partial p_2^*}{\partial c} = -\frac{3k}{4(c+v)^2} < 0$, $\frac{\partial p_2^*}{\partial \theta} = \frac{3a}{2k} > 0$ 。

当隐私敏感型顾客对其隐私的货币价值有更高的估价时, 他们在面对与预期相比过高的定价时往往会谨慎行事。零售商可以制定较低的价格来应对顾客基于隐私的策略行为。这一发现与 Y.-T. Lin 等人^[64]的观点一致。零售商可以利用价格工具与策略消费者谈判, 以商定双方都能接受的定价方案。这将缓解客户对隐私的担忧。

推论 5: 在全价期

- i. 隐私服务 λ^* 随 k 的增加而增加;
- ii. λ^* 随隐私货币价值 c 和产品价值 v 的增加而减少;

在推论 5 中, λ^* 对 k, c 和 v 的一阶偏导数分别为 $\frac{\partial \lambda^*}{\partial k} = \frac{1}{c+v} > 0$ 和

$\frac{\partial \lambda^*}{\partial c} = \frac{\partial \lambda^*}{\partial v} = -\frac{k}{(c+v)^2} < 0$ 。这表明, 在全价期, 隐私服务与隐私价值因子正相关, 与

隐私的货币价值和产品价值负相关。显然, 随着隐私敏感度的提高, 零售商必须提供隐私服务。因此, 零售商应针对不同隐私敏感度的商品提供相匹配的隐私服

务，以提高服务质量和及时性。此外，购物者既会对商品本身进行评价，也会对货币化的隐私价值进行评价。因此，对于零售商来说，在提高服务能力的同时，要更加关注服务的有效性。也就是说，隐私服务是否符合隐私敏感的消费者的实际需求。这就对零售商的服务能力和质量提出了更高的要求。

推论 6：在全价期

- i. 当 $k > \sqrt{2ac\theta + 2av\theta}$ 时，全价期利润 π_2^* 随 k 的增加而增加；当 $k \in (0, \sqrt{2ac\theta + 2av\theta})$ 时， π_2^* 随 k 的增加而减少；
- ii. 当 $k \in (0, \sqrt{2ac\theta + 2av\theta})$ 时， π_2^* 随市场需求 a 、隐私货币价值 c 、产品价值 v 以及隐私关切 θ 的增加而增加；当 $k > \sqrt{2ac\theta + 2av\theta}$ 时， π_2^* 随 a 和 θ 的增加而减少；
- iii. π_2^* 随隐私敏感型消费者占比 β 的增加而减少。

推论 6 表明当 $k > \sqrt{2ac\theta + 2av\theta}$ 时，全价期的利润与隐私价值因子正相关，与市场需求，隐私货币价值、产品价值感知和隐私关切负相关。这表明，销售高隐私敏感度商品有助于全价期的盈利，但相应的市场规模和隐私敏感型用户比例对收益存在客观制约。简而言之，零售商应关注市场上策略消费者的数量，只有当市场上策略消费者的数量较少时，销售此类商品才有利可图。相反，对于低隐私敏感度的商品（即 $0 < k < \sqrt{2ac\theta + 2av\theta}$ ） a, c, v 和 θ 与盈利呈正相关，但 k 与盈利负相关。这表明，扩大对隐私敏感度低的商品的销售有利于零售商的盈利，即使市场上有更多的策略消费者。此外，零售商应选择更多隐私敏感度较低的商品进行销售。因为较高的隐私敏感度会损害他们的收益。值得注意的是，全价期隐私敏感型用户的数量会对零售商的盈利能力产生负面影响。原因是策略消费者在此时成为市场消费的主要消费主力。

在本节中，求解模型后分别得出零售商在折扣期和全价期的最优行动策略。相应地，在对最优策略的分析后得到了一些有意义的推论。有趣的是，隐私价值因子的变化对零售商的定价和收入产生不同的影响。下一节将进一步研究这一观察结果，并讨论隐私问题和逐利型消费者比例对系统总收入的影响。

3.3 数值算例

在本节中,通过数值案例研究来比较不同赋值情形下的隐私价值因子对零售商盈利策略的影响。此外,本节还解释了逐利和隐私关切行为对零售商总收入的影响。并得到了更加直观的结论。

与 Z. Li 等人^[66]的设定类似,假定潜在的市场需求为 $a=1$ 。这有助于直观地解释关键变量 k 对定价 p_1^* , p_2^* 和利润 π_1^* , π_2^* 的影响。以一组数值作为基准($v=0.5, c=0.5, \beta=0.5, \theta=0.5$),将它与其他两种赋值情况进行对比。情形 2 代表对隐私关注度低、产品价值感知不高的消费者群体的情形,而情形 3 代表了对隐私关注度高、产品价值评估高的消费者群体。具体赋值情况见表 2。

表 3-2 赋值表

情形设定	赋值			
情形 1.	$v=0.5$	$c=0.5$	$\beta=0.5$	$\theta=0.5$
情形 2.	$v=0.25$	$c=0.25$	$\beta=0.25$	$\theta=0.25$
情形 3.	$v=0.75$	$c=0.75$	$\beta=0.75$	$\theta=0.75$

3.3.1 隐私价值因子对均衡策略的影响

将表 3-2 中的参数代入零售商在折扣期和全价期的最优定价中,可以得到隐私价值因子与定价之间的关系,如图 3-2 所示。

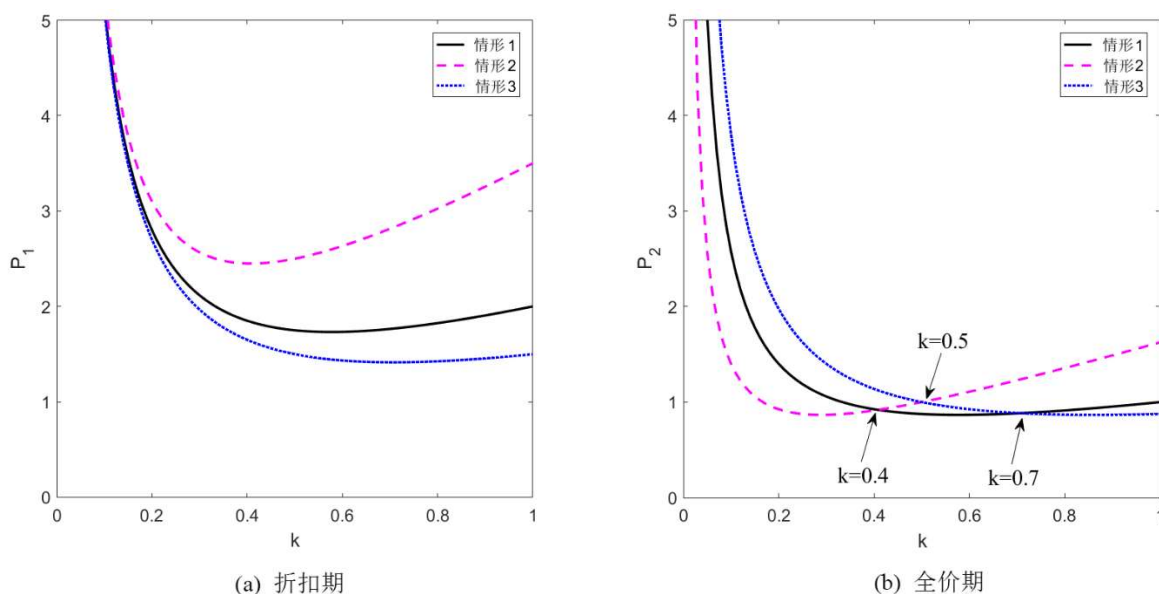


图 3-2 隐私价值因子与折扣和全价期间的定价的关系

图 3-2 显示, 随着隐私价值因子的增加, 折扣期和全价期的产品定价先减小后增大。根据推论 1 和推论 4, 拐点分别为 $k = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 和 $k = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{ac\theta + av\theta}$ 。其次, 零售商在折扣期的定价表现为: 情形2 > 情形1 > 情形3。这意味着在折扣期, 零售商在销售普通商品时的定价调节能力要优于销售高价值商品, 因为此时消费者对隐私的关注度较低。然而, 全价期的情况更为复杂。结果如表 3-3 所示。结果表明, 商品的隐私属性会深刻影响消费者对商品的判断, 从而影响零售商的定价。因此, 零售商必须提供相匹配的隐私服务。这将改变消费者对商品的态度, 从而决定最终的销售业绩。最后, 产品的隐私属性决定了其价格浮动范围。对于隐私属性低的产品, 零售商可以承受较低的价格。对于高隐私属性的产品, 零售商通过提供隐私服务和适当加价来提高产品的附加值, 从而提高利润率。

表 3-3 全价期 k 与 p_2 之间的关系

全价期	结果
$k < 0.4$	情形3 > 情形1 > 情形2
$0.4 < k < 0.5$	情形3 > 情形2 > 情形1
$0.5 < k < 0.7$	情形2 > 情形3 > 情形1
$k > 0.7$	情形2 > 情形1 > 情形3

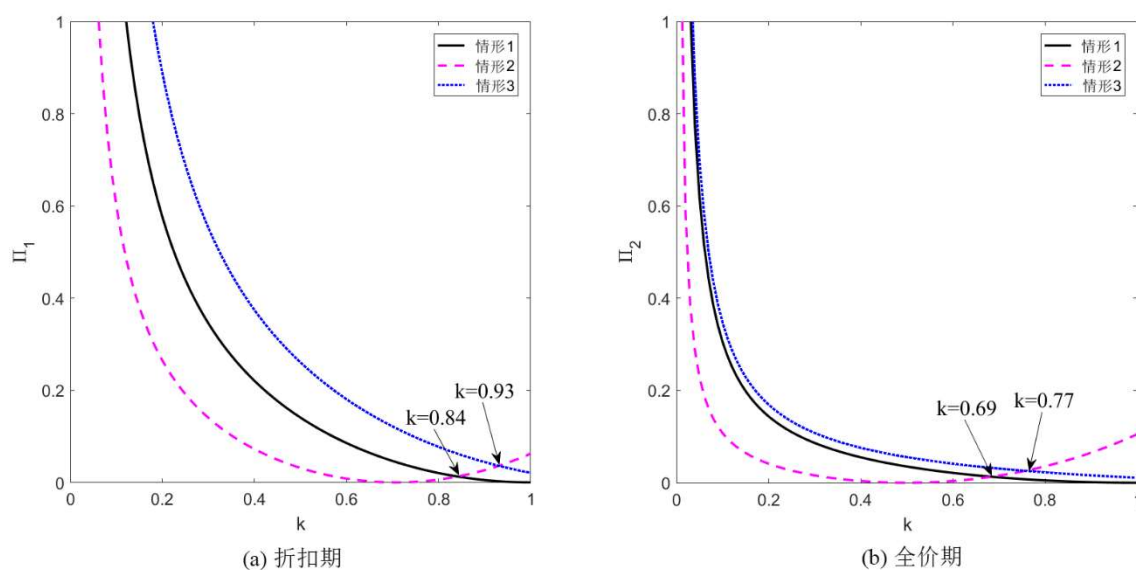


图 3-3 折扣期和全价期隐私价值因子与利润之间的关系

图 3-3 显示了隐私价值因子对两销售阶段利润的影响。首先，随着隐私因子的增加，两个阶段的利润也呈先减后增的趋势。回顾推论 3 和推论 6，拐点分别为 $k = \sqrt{2}\sqrt{av}$ 和 $k = \sqrt{2ac\theta + 2av\theta}$ 。其次，比较折扣期和全价期的利润，可以发现，消费者的价值感知越高，零售商的利润表现就越好。这说明提高消费者对商品价值的判断是决定零售商收益的关键。

然而，商品隐私价值因子的临界值在全价期（即 $k = 0.77$ ）小于折扣期（即 $k = 0.93$ ）。具体结果如表 3-4 所示。由此可见，在消费者衡量商品价值时，商品的隐私属性也是一个重要的决策因素。因此，零售商在探索产品增值服务时，应同样关注产品的隐私属性。这有助于提高全价期的盈利潜力。最后，商品的隐私特性在两个阶段都会对零售商的收益产生重大影响，而在全价期的影响更为显著。因此，隐私问题是执行营销战略的核心因素之一。妥善解决消费者的隐私问题决定了零售商的整体收入潜力。

表 3-4 k 和 π_i 的关系

折扣期	结果	全价期	结果
$k < 0.84$	情形3 > 情形1 > 情形2	$k < 0.69$	情形3 > 情形1 > 情形2
$0.84 < k < 0.93$	情形3 > 情形2 > 情形1	$0.69 < k < 0.77$	情形3 > 情形2 > 情形1
$k > 0.93$	情形2 > 情形3 > 情形1	$k > 0.77$	情形2 > 情形3 > 情形1

3.3.2 隐私价值因子对系统利润的影响

回顾第 3.2 节，零售商的最优系统利润为 $\Pi^* = \pi_1^* + \pi_2^* = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{16kv^2} + \frac{(1-\beta)(k^2 - 2a(c+v)\theta)^2}{16k(c+v)^2}$ 。

参照上一节的结论，分别令 $k = 0.25$ ， $k = 0.65$ ， $k = 0.95$ ，并将表 3-2 中的值代入利润函数。结果如图 3-4 所示。

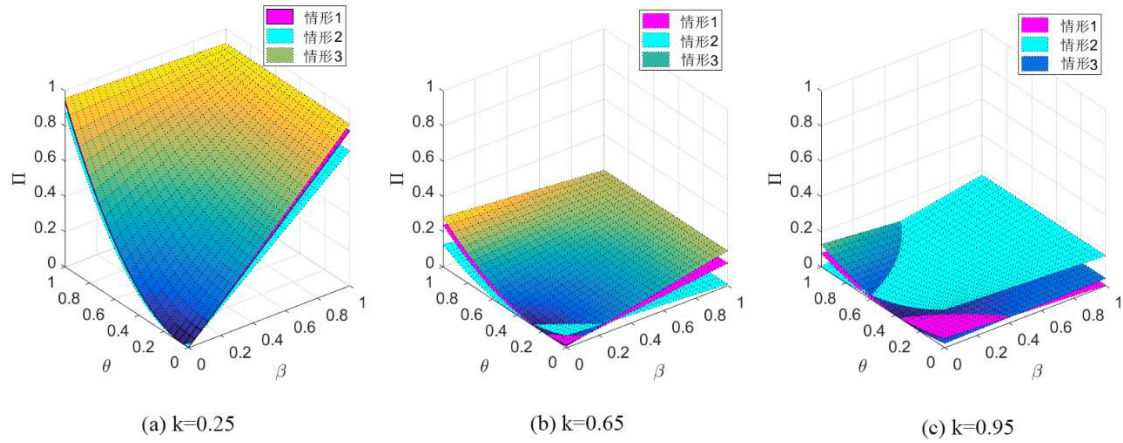


图 3-4. 隐私关切和短视消费者占比对系统盈利能力的影响

从图 3-4 可以看出，系统利润与 θ 和 β 正相关。这表明消费者的逐利或策略行为对利润率有积极影响。零售商在不同的销售周期内执行相匹配的销售策略将有助于提高其利润率。此外，当隐私值系数较小时（即 $k=0.25$ ），零售商的总收益明显好于其他情况（即 $k=0.65$ 或 $k=0.95$ ）。具体来说，通过比较三种情况下的值，可以得到 情形3 > 情形1 > 情形2。也就是说，当消费者对产品的价值较高时，零售商的系统收益最好。零售商应挖掘低隐私属性商品的潜在价值。不断丰富消费者的购物体验，提高服务质量。这有助于提高顾客的产品价值感知，并最终改善利润表现。当隐私价值系数较高时（即 $k=0.95$ ），可以得到：情形2 > 情形3 > 情形1。此时，购物者更愿意购买低价值的普通商品。零售商在销售对隐私高度敏感的商品时，应及时补充适当的隐私服务。这将减轻消费者对隐私的担忧。

3.4 本章小结

本章从理论角度探讨了传统单渠道零售商实施全渠道零售的最优市场运营策略。本章构建了一个受约束的两阶段非线性销售模型，研究了针对逐利型消费者和隐私敏感型的策略消费者的市场表现和相应的政策选择。研究结果和见解具有启发性。

不同产品的隐私属性会对全渠道定价和收益产生巨大影响。具体来说，隐私敏感度高的商品价格更高，但受众更少。这有利于公司在全价期的盈利。相应地，低隐私敏感度商品的定价更加灵活。这是零售商实现整体收益的最佳保障。其次，逐利型用户是折扣期的消费主力，而隐私敏感型用户更倾向于在全价期消费。这

与直觉是一致的,即逐利型消费者偏爱促销优惠和低价,而忽视潜在的隐私风险。而隐私敏感型消费者则希望在全价期获得完备的隐私和消费体验。最后,用户的逐利或隐私关切行为是企业利润的积极因素,在某些条件下会使企业受益。

第 4 章 用户隐私关切下传统双渠道零售商运营及隐私服务策略研究

本章深入探讨了隐私关切因素对传统双渠道零售商的全渠道拓展战略的影响。通过分析消费者效用在不同销售阶段的变化。本章提出了一个带有约束条件的非线性决策模型，以确定最佳的销售和隐私服务策略。

4.1 问题描述及模型构建

4.1.1 问题描述

考虑一个双渠道零售商同时经营线上（渠道 O ）和线下渠道（渠道 S ）。其中，线下渠道考虑提供“线上购买，线下提货”服务（buy online, pick up in-store, 渠道 $O-S$ ）。假定总的潜在市场需求为 1。与第三章类似，将整个销售过程分为两个不同的阶段：折扣期和全价期。折扣期涉及新销售渠道的启动，如传统双渠道零售商开通 BOPS 服务。在这一阶段，零售商会有策略地实施各种促销活动，以刺激用户消费。另一方面，全价期是促销活动结束后的常规运营阶段。在折扣期和全价期（记为 $k=1, 2$ ），零售商确定销售价格 p_k 。由于边际销售成本为正值不会影响结果，故将边际销售成本归一化为零^[64]。

消费者需要应对产品估值的不确定性，这种不确定性服从均匀分布 $v \sim U[0, 1]$ 。根据 Feng 等人^[67]的研究，由于在线渠道缺乏实物验证以及订单交付延迟等因素，这会导致消费者对产品价值的感知降低。考虑到这一因素对消费者效用的影响，将其表示为 mv ，以量化在线渠道的效率，其中 $m \in (0, 1)$ 。同样，在线下渠道中，消费者会进行店铺选择和商品检索。线下渠道的效率用 hv 来表示，以捕捉这些动态变化，其中 $h \in (0, 1)$ 。为了与实际情况保持一致，假定 $m > h$ 。值得注意的是，BOPS 模式的用户在预先确定了目标实体店后，不会产生等待或麻烦成本。此外，他们还能从零售商为新渠道所做的营销努力中获得购买溢出 ε ，

即购买溢出效应^[68]。

在市场上,消费者会表达不同程度的隐私关切 θ , $\theta \in (0, 1)$ 。据普华永道的一项调查显示,近 85% 的消费者希望加强对其个人数据的控制^[69]。因此,这种担忧对消费者的效用函数产生了有害影响。为此,零售商将积极整合隐私服务,以满足消费者不同的隐私偏好。例如,苹果公司赋予消费者权力,允许他们撤销应用程序跟踪其活动的权限,从而实现符合个人需求的个性化选择^[70]。零售商利用技术解决并缓解隐私问题,策略性地展示隐私友好政策,以增强用户的购买意愿^[71]。故将隐私服务水平记为 λ ,单位隐私投资成本记为 μ 。根据 G. Li 等人提出的服务成本函数设置^[13],全渠道零售商的隐私保护成本函数表示为 $f = \frac{1}{2}\mu\lambda^2$ 。该成本函数能够恰当地捕捉零售市场中与隐私保护服务相关的逐步递减的成本。

此外,本章将 BOPS 渠道的交叉销售收入记为 r ,该参数旨在刻画使用 BOPS 服务的用户在光顾实体店时进行的潜在额外消费。这种行为有别于用户线下购物所产生的交易。当消费者优先考虑保护自己的私人信息时,本章决策模型的目标是全面分析他们的购买效用和零售商的表现不同渠道和购买阶段的差异。

详细的符号说明见表 4-1。

表 4-1 符号说明

符号	定义
p_k	折扣和全价期间的定价($k=1,2$)(决策变量)
λ_k	折扣和全价期间的隐私服务水平($k=1,2$)(决策变量)
v_i	消费者对隐私问题的认知价值($i=O, O-S, S$), $v \sim U[0, 1]$
U_i	渠道 i 的隐私关切用户的效用 ($i=O, O-S, S$)
m	线上渠道的效率
h	线下渠道的效率, $m > h$
ε	购买溢出
θ	隐私关切, $\theta \in (0, 1)$
μ	单位隐私投资成本
f	隐私服务成本函数
r	BOPS 渠道的交叉销售收益
D_i	渠道 i 的市场需求 ($i=O, O-S, S$).
π_k	折扣期或全价期的利润 ($k=1,2$).

4.1.2 模型构建

对于传统双渠道零售商，只有 BOPS 渠道是新铺设的。以这种情况为基准，各渠道的效用函数为：

$$U_o = (mv - p_k - \theta + \lambda_k)^+ \quad (4.1)$$

$$U_{o-s} = (v - p_k - \theta + \lambda_k + \varepsilon)^+ \quad (4.2)$$

$$U_s = (hv - p_k)^+ \quad (4.3)$$

线上和线下渠道之间的均衡购买点为：

$$v_{o,s} = \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \quad (4.4)$$

显然，仅在 $\theta > \lambda_k$ 时， $v_{o,s} = \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} > 0$ 。为了强调用户隐私关切的影响，本章仅讨论有隐私顾虑的消费者的渠道购买决策。

- a) 当 $U_o > 0$ ， $U_o > U_{o-s}$ 且 $U_o > U_s$ 时，消费者选择渠道 O 进行产品购买，此时消费者的产品价值感知效用集为：

$$v_o \in \left(\frac{p_k + \theta - \lambda_k}{m}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right) \quad (4.5)$$

- b) 当 $U_s > 0$ ， $U_s > U_{o-s}$ 且 $U_s > U_o$ 时，消费者选择渠道 S 进行产品购买，此时消费者的产品价值感知效用集为：

$$v_s \in \left(\frac{p_k}{h}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right) \quad (4.6)$$

- c) 当 $U_{o-s} > 0$ ， $U_{o-s} > U_s$ 且 $U_{o-s} > U_o$ 时，消费者选择渠道 $O-S$ 进行产品购买，此时的产品价值感知效用集为：

$$v_{o-s} \in \left(\max \left\{ p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right\}, 1 \right] \quad (4.7)$$

接下来，通过讨论上述诸情况下的价值感知效用集合，由此得到相应的约束条件。证明过程见附录 1-2-1。

情形 1： 当 $0 \leq \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} < p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon \leq 1$ 时，能够得到 $v_o \in \left(\frac{p_k + \theta - \lambda_k}{m}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ ， $v_s \in \left(\frac{p_k}{h}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ 以及 $v_{o-s} \in (p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon, 1]$ 。此时，各渠道的需求函数分别为：

$$D_o = \int_{\frac{p_k + \theta - \lambda_k}{m}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m - h}} dx, \quad D_s = \int_{\frac{p_k}{h}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m - h}} dx, \quad D_{o-s} = \int_{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}^1 dx$$

且需满足：

$$\begin{cases} \lambda_k < \theta < m - h + \lambda_k \\ \varepsilon - \theta + \lambda_k + \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} < p_k < 1 + \varepsilon - \theta + \lambda_k \end{cases} \quad (4.8)$$

情形 2: 当 $0 \leq p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon < \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \leq 1$ 时, 能够得到 $v_o \in \left(\frac{p_k + \theta - \lambda_k}{m}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$, $v_s \in \left(\frac{p_k}{h}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ 以及 $v_{o-s} \in \left(\frac{\theta - \lambda_k}{m - h}, 1 \right]$ 。此时, 各渠道的需求函数分别为:

$$D_o = \int_{\frac{p_k + \theta - \lambda_k}{m}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m - h}} dx, \quad D_s = \int_{\frac{p_k}{h}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m - h}} dx, \quad D_{o-s} = \int_{\frac{\theta - \lambda_k}{m - h}}^1 dx$$

且需满足:

$$\begin{cases} \lambda_k < \theta < m - h + \lambda_k \\ \varepsilon - \theta + \lambda_k < p_k < \varepsilon - \theta + \lambda_k + \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \end{cases} \quad (4.9)$$

因此, 传统双渠道零售商的利润函数包括三部分: 线上、线下渠道收入、BOPS 收入和隐私保护成本, 具体表现为:

$$\pi_k = p_k (D_o + D_s) + (p_k + r) D_{o-s} - \frac{1}{2} \mu \lambda_k^2 \quad (4.10)$$

4.2 基准模型分析

4.2.1 折扣期的运营决策分析

在折扣期, 用户会受到促销活动的影响, 从而对不同渠道的产品价值产生不同的感知, 各渠道的感知价值如情形 1 所示。因此, 零售商利润模型为:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= p_1 \left(\frac{2(\theta - \lambda_1)}{m - h} - \frac{p + \theta - \lambda_1}{m} - \frac{p_1}{h} \right) + (p_1 + r)(1 - p_1 - \theta + \lambda_1 + \varepsilon) - \frac{1}{2} \mu \lambda_1^2 \\ s.t. &\begin{cases} \varepsilon - \theta + \lambda_k + \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} < p_k < 1 + \varepsilon - \theta + \lambda_k \\ 0 < p_1, 0 < \lambda_1 < \theta \end{cases} \end{aligned} \quad (4.11)$$

命题 3 当用户选择在折扣期购买时, 双渠道零售商的最优决策为

$$\begin{cases} p_1^* = \frac{h(h-m)m(-(h+m+hm-m^2)r+(h-m)m(-1+r-\varepsilon)\mu+(h+m+hm-m^2)\theta\mu)}{h(h+m+hm-m^2)^2-2(h-m)^2m(h+m+hm)\mu}, \\ \lambda_1^* = \frac{2m^4r-2h^2m(m(r+m(1+r+\varepsilon-\theta))+\theta)+h(-1+m)m^2(m(1+r+\varepsilon-\theta)+\theta)+h^3(1+m)(m(1+r+\varepsilon)-(1+m)\theta)}{2(h-m)^2m(h+m+hm)\mu-h(h+m+hm-m^2)^2}, \\ \pi_1^* = \frac{A}{(-2h(h+m+hm-m^2)^2+4(h-m)^2m(h+m+hm)\mu)}. \end{cases}$$

其中,

$$A = 2m^4 r(r + 2(1 + \varepsilon - \theta)\mu) + 2h^2 m(-r(2 + mr + 2\varepsilon) - 2mr(1 + \varepsilon - \theta)\mu - m^2(1 + r + \varepsilon - \theta)^2 \mu + \theta^2 \mu) + \\ hm^2(2(-1 + m)r(1 + \varepsilon) + (m^2(1 + r + \varepsilon - \theta)^2 + \theta^2 + 2m(-2r(1 + \varepsilon) + (1 + r + \varepsilon)\theta - \theta^2))\mu) + \\ h^3(-2(1 + m)r(1 + \varepsilon) + (m^2(1 + r + \varepsilon - \theta)^2 + \theta^2 + 2m(2r(1 + \varepsilon) - (1 + r + \varepsilon)\theta + \theta^2))\mu)$$

且单位隐私投资成本需满足 $\mu > \frac{h(h + m + hm - m^2)^2}{2(h - m)^2 m(h + m + hm)}$ 。

证明： 求解 π_1 关于 p_1 和 λ_1 的二阶偏导数，可以得到 Hessian 矩阵为

$$\nabla^2 \pi_1(p_1, \lambda_1) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1 \partial \lambda_1} \\ \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \lambda_1 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \lambda_1^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(h + m + hm)}{hm} & 1 + \frac{1}{m} - \frac{2}{m - h} \\ 1 + \frac{1}{m} - \frac{2}{m - h} & -\mu \end{bmatrix}$$

显然， $\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1^2} = -\frac{2(h + m + hm)}{hm} < 0$ 。其次，仅在 $\mu > \frac{h(h + m + hm - m^2)^2}{2(h - m)^2 m(h + m + hm)}$ 时，

$|\nabla^2 \pi_1(p_1, \lambda_1)| > 0$ 。此时， $\nabla^2 \pi_1(p_1, \lambda_1)$ 负定， π_1 为严格凹函数。因此，对于该凸规划模型，存在一个严格的局部极大值点 (p_1^*, λ_1^*) 使利润函数值最大化。求解该模型的 KKT 条件，能够得到 p_1^* 和 λ_1^* ，将其代入 π_1 即得到模型的最优解，如命题 3 所示。

证明详情见附录 1-2-2。

显然，传统双渠道零售商的单位隐私投资成本只有在满足 $\mu > \frac{h(h + m + hm - m^2)^2}{2(h - m)^2 m(h + m + hm)}$ 的情况下，才能获得如命题 3 所示的最优定价、隐私服务水平 and 收益。这也表明，当隐私技术成本低于该临界值时，就无法维持全渠道最优决策。

推论 7 在折扣期，

- i. 最优定价 p_1^* 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而增长；
- ii. p_1^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而降低。

证明： 求解最优定价 p_1^* 对隐私关切 θ 的一阶偏导数，能够得到

$\frac{\partial p_1^*}{\partial \theta} = \frac{h(h-m)m(h+m+hm-m^2)\mu}{h(h+m+hm-m^2)^2 - 2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu}$ 。由于 $\mu > \frac{h(h+m+hm-m^2)^2}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)}$ ，因此 $h(h-m)m(h+m+hm-m^2)\mu < 0$ ， $h(h+m+hm-m^2)^2 - 2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu < 0$ 。所以 $\frac{\partial p_1^*}{\partial \theta} > 0$ 。同理可得 $\frac{\partial p_1^*}{\partial \varepsilon} > 0$ ， $\frac{\partial p_1^*}{\partial r} < 0$ ，证毕。

推论 7 表明，隐私问题迫使零售商提高产品定价，从而提高了新渠道营销的购买溢出效应。此外，“网上购买，店内提货”（BOPS）渠道产生的交叉销售收入会蚕食全渠道的定价能力。考虑到顾客隐私意识的不断提高，零售商可以通过提供适当的隐私保护服务来缓解顾客的顾虑。而为了抵消这些成本，零售商相应地会调整定价。此外，对于旨在开辟 BOPS 渠道的折扣期，传统双渠道零售商应优先考虑 BOPS 渠道的交叉销售收入和营销活动带来的购买溢出。该战略有助于缓解隐私问题导致的不利影响。

因此，隐私关切可能会导致产品成本的增加，迫使零售商改变定价结构。此外，新渠道的引入可能会带来交叉销售，但对于 BOPS 渠道来说，潜在的缺点是会出现蚕食现象。这凸显了建立全渠道协调综合系统的重要性。此外，鉴于消费者隐私敏感度的不断提高，企业应分配资源用于开发和整合隐私保护技术，以适应用户不断提高的隐私意识。这些持续、长期的投资对于培养弹性和持久的竞争优势至关重要。总之，管理者必须慎重考虑隐私问题，巧妙调整定价策略，强化各渠道之间的协同作用，将隐私保护视为一种战略资产，并制定与消费者的动态期望相适应的持久战略。这种综合管理方法有可能有效缓解隐私问题的不利影响。

推论 8 在折扣期，

- i. 最优隐私保护服务 λ_1^* 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而减少；
- ii. λ_1^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而增长。

与推导 p_1^* 关于 θ 的一阶偏导类似，可以确定 $\frac{\partial \lambda_1^*}{\partial \theta} < 0$ ， $\frac{\partial \lambda_1^*}{\partial r} > 0$ 和 $\frac{\partial \lambda_1^*}{\partial \varepsilon} < 0$ 。重

要的是，隐私服务与隐私问题和购买溢出之间存在负相关。本章的基本假设是 $\theta > \lambda_k$ ，提供隐私服务的目的是减轻而不是完全消除对隐私的担忧。当隐私问题

相对较弱时，零售商的服务水平就会提高。因此，传统的双渠道零售商可以提供更全面的隐私服务，以满足消费者在折扣期间的隐私要求，从而造成部分购买溢出损失。相反，隐私服务水平的降低会增加零售商的购买溢出补偿。此外，“网上购买，店内提货”（BOPS）渠道的交叉销售收入与隐私服务呈正相关，促进了零售商全渠道销售收入的增长。这种资金流入使零售商能够不断加强其隐私服务。

4.2.2 全价期的运营决策分析

如情形 2 所示，在全价期，消费者的渠道偏好不再受外部活动的影响，因此对于渠道的选择表现出均衡的趋势。此时零售商利润模型为：

$$\pi_2 = p_2 \left(\frac{2(\theta - \lambda_2)}{m-h} - \frac{p_2 + \theta - \lambda_2}{m} - \frac{p_2}{h} \right) + (p_2 + r) \left(1 - \frac{\theta - \lambda_2}{m-h} \right) - \frac{1}{2} \mu \lambda_2^2$$

$$s.t. \begin{cases} \varepsilon - \theta + \lambda_2 < p_2 < \varepsilon - \theta + \lambda_2 + \frac{\theta - \lambda_2}{m-h} \\ 0 < p_2, 0 < \lambda_2 < \theta \end{cases} \quad (4.12)$$

命题 4 当用户选择在全价期购买时，双渠道零售商的最优决策为

$$\begin{cases} p_2^* = \frac{hm(-hr + (h-m)((h-m)m - h\theta)\mu)}{2(h-m)^2 m(h+m)\mu - h^3}, \\ \lambda_2^* = \frac{(h-m)m(h^2 - 2(h+m)r) - h^3\theta}{2(h-m)^2 m(h+m)\mu - h^3}, \\ \pi_2^* = \frac{B}{4(h-m)^2 m(h+m)\mu - 2h^3}. \end{cases}$$

其中，

$$B = -2(h+m)r(h^2 - mr) + ((h-m)^2 m(hm + 4(h+m)r) - 2(h-m)m(h^2 - 2(h+m)r)\theta + h^3\theta^2)\mu$$

且单位隐私投资成本需满足 $\mu > \frac{h(h-2m)^2}{2(h-m)^2 m(h+m)}$ 。

证明： 求解 π_2 关于 p_2 和 λ_2 的二阶偏导数，可以得到 Hessian 矩阵为

$$\nabla^2 \pi_2(p_2, \lambda_2) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2^2} & \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2 \partial \lambda_2} \\ \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial \lambda_2 \partial p_2} & \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial \lambda_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(h+m)}{hm} & \frac{2m-h}{m(m-h)} \\ \frac{2m-h}{m(m-h)} & -\mu \end{bmatrix}$$

显然, $\frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2^2} = -\frac{2(h+m)}{hm} < 0$, 当 $\mu > \frac{h(h-2m)^2}{2(h-m)^2 m(h+m)}$ 时, $|\nabla^2 \pi_2(p_2, \lambda_2)| > 0$ 。此时,

$\nabla^2 \pi_2(p_2, \lambda_2)$ 负定, π_2 为严格凹函数。因此, 对于该凸规划模型, 同样存在一个严格的局部极大值点 (p_2^*, λ_2^*) 使利润函数值最大化。求解该模型的 KKT 条件即得到模型的最优解, 如命题 4 所示。

证明详情见附录 1-2-3。

命题 4 表明, 零售商在全价期的最优策略同样受制于单位隐私投资成本, 即 $\mu > \frac{h(h-2m)^2}{2(h-m)^2 m(h+m)}$ 。显然, 与隐私相关的技术成本始终对最优决策的实施产生重大影响, 即使在全价时段也是如此。因此, 零售商在这一时期提供优质的隐私服务, 同时强调改善全渠道消费者的购物体验。

推论 9 在全价期,

- i. 最优定价 p_2^* 随着隐私关切 θ 的增加而增长;
- ii. p_2^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而降低。

证明: 求解最优定价 p_2^* 对隐私关切 θ 的一阶偏导数, 能够得到

$$\frac{\partial p_2^*}{\partial \theta} = \frac{h^2(h-m)m\mu}{h^3 - 2(h-m)^2 m(h+m)\mu}。由于 \mu > \frac{h(h-2m)^2}{2(h-m)^2 m(h+m)}, 故 \frac{\partial p_2^*}{\partial \theta} < 0。同理可得 \frac{\partial p_2^*}{\partial r} > 0,$$

证毕。

推论 9 认为, 在全价期, 隐私关切会对产品定价产生向上的压力。此外, 通过 BOPS 渠道产生的交叉销售收入也会对全渠道定价产生积极影响。与折扣期的运营情况相反, 营销活动产生的购买溢出对定价的影响有所减弱。这种现象可能是由于在此期间新渠道对消费者的吸引力下降, 消费者的渠道选择更多地受到个人价值判断的影响, 而不是商家折扣活动的影响。因此, 零售商应把提高购物者满意度放在首位, 不断完善隐私服务, 优化整体体验。最重要的是, BOPS 渠道在传统双渠道零售商的全渠道战略中发挥着举足轻重的作用, 有助于提高定价绩效。

分析得出了几项关键的管理见解。首先, 零售商必须认识到隐私问题对平价期定价策略的影响, 从而精心制定产品定价策略。其次, 在全渠道定价中, 应特

别强调利用 BOPS 渠道带来的交叉销售机会，以优化定价效果。此外，在制定折扣和促销活动时，应关注采购溢出效应的潜在下降，从而在折扣和其他促销策略的利弊之间取得更微妙的平衡。最重要的是，零售商必须将顾客满意度作为战略的基石，通过不断提升隐私服务来培养顾客忠诚度，从而创造卓越的购物体验。该建议不仅为零售业提供了管理启示，还为制定全面的全渠道战略提供了思路。

推论 10 在全价期，

- i. 最优隐私保护服务 λ_2^* 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而减少；
- ii. λ_2^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而增长。

求解 λ_2^* 对 θ 和 r 的一阶偏导，得到 $\frac{\partial \lambda_2^*}{\partial \theta} < 0$ ， $\frac{\partial \lambda_2^*}{\partial r} > 0$ 。这表明，在全价期，隐

私服务与隐私关切之间存在负相关关系，而隐私服务与来自 BOPS 渠道的交叉销售收入之间存在正相关关系。因此，零售商有能力在全价销售期间针对消费者的隐私需求提供全面的隐私服务。然而，消费者对隐私的敏感度仍然是一个关键因素。对隐私问题的高度关注极大地影响了零售商提供的服务。此外，BOPS 渠道的交叉销售收益将继续促进在全价期提供更优质的隐私服务。

总之，当消费者在全渠道零售的整个过程中都对隐私有所顾虑时，传统的双渠道零售商必须加强隐私保护服务，同时优先考虑 BOPS 渠道的交叉销售收入和营销活动带来的购买溢出效应。更具体地说零售商应丰富隐私服务，包括可见隐私许可、个性化价格匹配、产品预览、线下库存实时显示和店铺推荐等要素。同时，提高服务质量以符合消费者的隐私期望，从而提高店内交易的可能性^[63]。

为了深入探讨这一点，下节将阐述全渠道零售商的运营绩效。与传统的双渠道零售商相比，值得注意的是，他们所有销售渠道都是新建立的。

4.3 全渠道拓展

在该情景下，零售商所有渠道均是新开设的。此时，消费者对各渠道的效用函数分别为：

$$U_o = (mv - p_k - \theta + \lambda_k + \varepsilon)^+ \quad (4.13)$$

$$U_{o-s} = (v - p_k - \theta + \lambda_k + \varepsilon)^+ \quad (4.14)$$

$$U_s = (hv - p_k + \varepsilon)^+ \quad (4.15)$$

各渠道间的均衡购买点分别为：

$$v_{o,o-s} = 0, \quad v_{o,s} = \frac{\theta - \lambda_k}{m - h}, \quad v_{o-s,s} = \frac{\theta - \lambda_k}{1 - h}$$

显然， $v_{o,s} > 0$ 和 $v_{o-s,s} > 0$ 仅在 $\theta > \lambda_k$ 时成立。此时，有隐私顾虑的消费者会有以下的渠道选择：

情形 3： 当 $v_o \in \left(\frac{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}{m}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ ， $v_s \in \left(\frac{p_k - \varepsilon}{h}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ ， $v_{o-s} \in (p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon, 1]$ 时，

此时，各渠道的需求函数分别为：

$$D_o' = \int_{\frac{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}{m}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m-h}} dx, \quad D_s' = \int_{\frac{p_k - \varepsilon}{h}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m-h}} dx, \quad D_{o-s}' = \int_{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}^1 dx$$

且需满足：

$$\begin{cases} h < 1 - \theta + \lambda_k \\ \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda_k)}{1 - h} < p_k < 1 + \varepsilon + \lambda_k - \theta \end{cases} \quad (4.16)$$

情形 4： 当 $v_o \in \left(\frac{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}{m}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ ， $v_s \in \left(\frac{p_k - \varepsilon}{h}, \frac{\theta - \lambda_k}{m - h} \right)$ ， $v_{o-s} \in \left(\frac{\theta - \lambda_k}{1 - h}, 1 \right]$ 时，此时，

各渠道的需求函数分别为：

$$D_o' = \int_{\frac{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}{m}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m-h}} dx, \quad D_s' = \int_{\frac{p_k - \varepsilon}{h}}^{\frac{\theta - \lambda_k}{m-h}} dx, \quad D_{o-s}' = \int_{\frac{\theta - \lambda_k}{1-h}}^1 dx$$

且需满足：

$$\begin{cases} h < 1 - \theta + \lambda_k \\ \varepsilon - \theta + \lambda_k < p_k < \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda_k)}{1 - h} \end{cases} \quad (4.17)$$

证明详情见附录 1-2-4。

4.3.1 折扣期的运营决策分析

如情形 3 所示，在整个折扣期，消费者会被各种促销活动所吸引，从而对不同渠道产生不同的价值认知。因此，全渠道零售商的盈利模型为：

$$\begin{aligned} \pi_1' &= p_1' \left(-\frac{p_1' - \varepsilon}{h} + \frac{2(\theta - \lambda_1')}{-h + m} - \frac{p_1' - \varepsilon + \theta - \lambda_1'}{m} \right) + (p_1' + r)(1 - p_1' + \varepsilon - \theta + \lambda_1') - \frac{1}{2}(\mu\lambda_1')^2 \\ s.t. &\begin{cases} h < 1 - \theta + \lambda_1' \\ \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda_1')}{1 - h} < p_1' < 1 + \varepsilon + \lambda_1' - \theta \\ p_1' > 0, \lambda_1' > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (4.18)$$

命题 5 当用户选择在折扣期购买时，全渠道零售商的最优决策为

$$\begin{cases} p_1^* = \frac{(h-m)m(h(m+h+hm-m^2)r - ((h-m)(hm(-1+r) - (h+m+hm)\varepsilon) + h(h+m+hm-m^2)\theta)\mu)}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu - h(h+m+hm-m^2)^2}, \\ \lambda_1^* = \frac{(h-m)(m(-2m^2r + h^2(1+m)(1+r) - hm(-1+m+r+mr)) + (h+m+hm)(h+m+hm-m^2)\varepsilon) - h(h+m+hm-m^2)^2\theta}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu - h(h+m+hm-m^2)^2}, \\ \pi_1^* = \frac{C}{2h(-h(h+m+hm-m^2)^2 + 2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu)}, \end{cases}$$

其中，

$$\begin{aligned} C = & m^4\varepsilon^2\mu + 2hm^3(-r\varepsilon + mr(r+\varepsilon) + mr(2+\varepsilon-2\theta)\mu + m\varepsilon(1+\varepsilon-\theta)\mu + \varepsilon\theta\mu) + \\ & h^4(-2(1+m)r + m^2r^2\mu + (m+\varepsilon+m\varepsilon-(1+m)\theta)^2\mu + 2mr(2+m+\varepsilon+m\varepsilon-(1+m)\theta)\mu) + 2h^3m \\ & (-r(2+\varepsilon+m(r+\varepsilon)) - (mr(2+\varepsilon-2\theta) + m\varepsilon(1+\varepsilon-\theta) + m^2(1+r+\varepsilon-\theta)^2 + (\varepsilon-\theta)\theta)\mu) + h^2m^2 \\ & (2r(-1+m-2\varepsilon) + (-2\varepsilon^2 + m^2(1+r+\varepsilon-\theta)^2 - 2m(\varepsilon + (\varepsilon-\theta)^2 + r(2+\theta)-\theta) + 2\varepsilon\theta + \theta^2)\mu) \end{aligned}$$

且单位隐私投资成本需满足 $\mu > \frac{h(h+m+hm-m^2)^2}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)}$ 。

证明： 求解 π_1 关于 p_1 和 λ_1 的二阶偏导数，可以得到 Hessian 矩阵为

$$\nabla^2 \pi_1(p_1, \lambda_1) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1 \partial \lambda_1} \\ \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \lambda_1 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi_1}{\partial \lambda_1^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(h+m+hm)}{hm} & 1 + \frac{1}{m} - \frac{2}{m-h} \\ 1 + \frac{1}{m} - \frac{2}{m-h} & -\mu \end{bmatrix}$$

因为 $\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial p_1^2} = \frac{-2(h+m+hm)}{hm} < 0$ 。且仅在 $\mu > \frac{h(h+m+hm-m^2)^2}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)}$ 时， $|\nabla^2 \pi_1(p_1^*, \lambda_1^*)| > 0$ 。

故此时 $\nabla^2 \pi_1(p_1^*, \lambda_1^*)$ 负定， π_1 为严格凹函数。对于该凸规划模型，存在一个严格的局部极大值点 (p_1^*, λ_1^*) 使利润函数值最大化。求解可得 p_1^* 和 λ_1^* ，将其代入 π_1 即得到模型的最优解，如命题 5 所示。

证明详情见附录 1-2-5。

如命题 5 所示，单位隐私投资成本的约束条件与传统双渠道零售商一致。这表明，所有零售商在折扣期间推进隐私技术时都应采取一致的方法。从本质上讲，隐私技术存在最低成本约束，有利于执行最优的全渠道决策。

推论 11 在全价期，

- i. 最优定价 p_1^* 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而增长；
- ii. p_1^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而降低。

证明：与推论 11 的证明类似，能够得到 $\frac{\partial p_1^*}{\partial \theta} > 0$ ， $\frac{\partial p_1^*}{\partial \varepsilon} > 0$ 和 $\frac{\partial p_1^*}{\partial r} < 0$ 。推论

5 认为，在打折期间，隐私问题会促使全渠道零售商提高定价，从而有利于获取额外的购买溢出。此外，BOPS 渠道的交叉销售收入与定价之间存在负相关关系。这意味着过度的全渠道定价策略不利于交叉销售收入的最大化。因此，建议全渠道零售商合理调整定价策略，在打折期间优先满足消费者的隐私需求。随之而来的管理影响显而易见。首先，折扣期的定价决策应考虑隐私问题对购买行为的影响，以减轻定价过高对交叉销售收入的潜在负面影响。其次，全渠道零售商应采用更具适应性的合理定价方法，避免单一的高定价策略，以有效迎合不同的消费群体。此外，在打折期间优先满足消费者的隐私需求，可以赢得信任和忠诚度，对零售商的长期业绩做出积极贡献。

推论 12 在折扣期，

- i. 最优隐私保护服务 λ_1^* 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而减少；
- ii. λ_1^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而增长。

与推论 12 的证明类似，考虑到 $\mu > \frac{h(h+m+hm-m^2)^2}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)}$ ，推导出 $\frac{\partial \lambda_1^*}{\partial \theta} < 0$ ，

$\frac{\partial \lambda_1^*}{\partial \varepsilon} < 0$ 和 $\frac{\partial \lambda_1^*}{\partial r} > 0$ 。具体而言，隐私服务和购买溢出与折扣期的隐私问题呈负相

关，但与 BOPS 渠道的交叉销售收入呈正相关。因此，当用户对隐私的关注度较低时，零售商有能力提供充足的隐私服务来满足消费者的隐私需求；然而，相应的购买溢出效应却会降低。相反，当用户对隐私的关注度增加时，提供隐私服务的能力就会降低，但购买溢出效应的增加却抵消了这一影响。此外，BOPS 渠道的交叉销售收入的增加强化了隐私服务，从而提高了全渠道销售收入。这反过来又使全渠道零售商能够分配更多资源，用于不断增强隐私服务。

其中的管理含义强调了零售商协调隐私保护与销售扩张的必要性。首先，了

解消费者的隐私需求和顾虑对于制定合适的隐私服务战略至关重要。随着隐私意识的不断增强,零售商必须以创新的方式同时解决消费者的隐私问题和扩大销售额的当务之急。此外,加强隐私服务可能会减少购买溢出效应,但也有可能削弱对消费者的吸引力。因此,零售商必须在提供隐私服务和促进交叉销售之间取得平衡,以优化消费者需求和扩大销售。最终,BOPS 渠道在扩大交叉销售收入和加强隐私服务方面的突出作用得到了强调。这就要求零售商必须对其发展投入足够的关注和资源,从而增加销售收入,同时加强对扩大隐私服务的支持。

4.3.2 全价期的运营决策分析

如情形 4 所示,该情形阐明了消费者在全价销售期间的购买决策。在这种情况下,消费者在不同渠道之间的偏好出现了可观察到的均衡,但对 BOPS 渠道的偏好依然存在。因此,全渠道零售商利润的制定就是基于这些考虑的。

$$\pi_2' = p_2' \left(-\frac{p_2' - \varepsilon}{h} + \frac{2(\theta - \lambda_2')}{m - h} - \frac{p_2' - \varepsilon + \theta - \lambda_2'}{m} \right) + (p_2' + r) \left(1 - \frac{\theta - \lambda_2'}{1 - h} \right) - \frac{1}{2} (\mu \lambda_2')^2$$

$$\begin{cases} h < 1 - \theta + \lambda_2' \\ \varepsilon - \theta + \lambda_2' < p_2' < \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda_2')}{1 - h} \\ p_2' > 0, \lambda_2' > 0 \end{cases} \quad (4.19)$$

命题 6 当用户选择在全价期购买时,双渠道零售商的最优决策为

$$\begin{cases} p_2^{**} = \frac{(h - m)m(h(h - h^2 + m - m^2)r + (-1 + h)((-1 + h)(h - m)(m\varepsilon + h(m + \varepsilon)) + h(h - h^2 + m - m^2)\theta)\mu)}{-h((-1 + h)h + (-1 + m)m)^2 + 2(-1 + h)^2(h - m)^2m(h + m)\mu}, \\ \lambda_2^{**} = \frac{D}{(-h((-1 + h)h + (-1 + m)m)^2 + 2(-1 + h)^2(h - m)^2m(h + m)\mu)}, \\ \pi_2^{**} = \frac{E}{(2h(-h((-1 + h)h + (-1 + m)m)^2 + 2(-1 + h)^2(h - m)^2m(h + m)\mu))}. \end{cases}$$

其中,

$$\begin{aligned}
 D &= m^3(2mr + (-1+m)\varepsilon) - h^4(m(2+m+2r) + 2(\varepsilon - \theta)) + h^5(m + \varepsilon - \theta) + h^2m(\varepsilon - 2\theta + m(-m^2 - 2r + 2mr + \varepsilon + 2\theta)) \\
 &+ h^3(\varepsilon - \theta + m(1 + 2r - \varepsilon + m(1 + m + 2r - 2\theta) + 2\theta)) - hm^2(\varepsilon + \theta + m(1 + 2r - \varepsilon - 2\theta + m(-1 + 2r + \varepsilon + \theta))) \\
 E &= m^4\varepsilon^2\mu + 2h^5(-r(-2 + m + \varepsilon) - 2mr(2 + m - \theta)\mu - (m + \varepsilon - \theta)(m + m^2 + \varepsilon - \theta)\mu) + \\
 &2hm^3(-r\varepsilon + mr(r + \varepsilon) + \varepsilon\theta\mu - m(2r(-1 + \theta) + \varepsilon(-1 + \varepsilon + \theta))\mu) + 2h^3m(-r(2 + m(-2 + m + r) - \varepsilon) \\
 &+ (m^2(-1 + 2\varepsilon - 2r(-2 + \theta)) + \theta(-\varepsilon + \theta) + m^3(-1 + 2r + \varepsilon + \theta) + m(\varepsilon(-1 + 2\varepsilon) + 2r(-1 + \theta) - \theta(\varepsilon + \theta)))\mu) + \\
 &h^2m^2(-2r(1 + m(-1 + r) + \varepsilon) + (-2\varepsilon^2 + m^2(\varepsilon^2 + 4r(-2 + \theta) + 2\varepsilon(-2 + \theta) + (-1 + \theta)^2) + 2\varepsilon\theta + \theta^2 + 2m \\
 &(-\varepsilon + 2r(-1 + \theta) + \theta - \theta(\varepsilon + \theta)))\mu) + h^6((m + \varepsilon - \theta)^2\mu + r(-2 + 4m\mu)) + h^4(2mr^2 + (m^4 + (\varepsilon - \theta)^2 \\
 &+ 2m(\varepsilon - \theta)(1 + \theta) - 2m^3(-2 + \varepsilon + \theta) + m^2(1 - 2(-2 + \varepsilon)\varepsilon + 2(-1 + \theta)\theta))\mu + 2r(-1 + \varepsilon + m(3 - m - 2 \\
 &(-1 + \theta + m(-2 + m + \theta))\mu))).
 \end{aligned}$$

且单位隐私投资成本需满足 $\mu > \frac{h((-1+h)h+(-1+m)m)^2}{2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)}$ 。

证明： 求解 π_2 关于 p_2 和 λ_2 的二阶偏导数，可以得到 Hessian 矩阵为

$$\nabla^2 \pi_2(p_2', \lambda_2') = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_2'}{\partial p_2'^2} & \frac{\partial^2 \pi_2'}{\partial p_2' \partial \lambda_2'} \\ \frac{\partial^2 \pi_2'}{\partial \lambda_2' \partial p_2'} & \frac{\partial^2 \pi_2'}{\partial \lambda_2'^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{m}\right) & \frac{1}{1-h} + \frac{1}{m} - \frac{2}{m-h} \\ \frac{1}{1-h} + \frac{1}{m} - \frac{2}{m-h} & -\mu \end{bmatrix}$$

由于 $\frac{\partial^2 \pi_2'}{\partial p_2'^2} = -2\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{m}\right) < 0$ ，当 $\mu > \frac{h((-1+h)h+(-1+m)m)^2}{2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)}$ 时， $|\nabla^2 \pi_2(p_2', \lambda_2')| > 0$ 。此

时， $|\nabla^2 \pi_2(p_2', \lambda_2')| > 0$ 负定， π_2' 为严格凹函数。对于该凸规划模型，同样存在一个严格的局部极大值点 (p_2^*, λ_2^*) 使利润函数值最大化。求解该模型的 KKT 条件即得到模型的最优解，如命题 6 所示。

证明详情见附录 1-2-6。

如命题 6 所示，全渠道零售商在全价期执行最优决策时，依然会受到最小隐私投资成本的限制（即 $\mu > \frac{h((-1+h)h+(-1+m)m)^2}{2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)}$ ）。

推论 13 在全价期，

- i. 最优定价 p_2^* 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而增长；
- ii. p_2^* 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而降低。

鉴于 $\mu > \frac{h((-1+h)h+(-1+m)m)^2}{2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)}$ ，求解最优定价关于各参数的一阶偏导可得

$\frac{\partial p_2^{**}}{\partial \theta} > 0$, $\frac{\partial p_2^{**}}{\partial \varepsilon} > 0$ 和 $\frac{\partial p_2^{**}}{\partial r} < 0$ 。简而言之, 全价期的定价与隐私关切和购买溢出直接相关。

然而, 这种相关性与 "网上购买, 店内提货" (BOPS) 渠道的交叉销售利润呈反向关系。这凸显了隐私问题的持续影响, 它对全渠道零售商在整个全价期间都构成了严峻的挑战。此外, 值得注意的是, 加强营销力度有助于改善定价结果。有趣的是, BOPS 渠道固有的交叉销售优势对全渠道定价能力产生了负面影响, 因为渠道偏好不可避免地减少了其他渠道的流量。因此, 全渠道零售商必须采取行动完善其运营, 这无意中加剧了渠道间的竞争。因此, 在全价期, 全渠道零售商必须谨慎处理消费者隐私问题和各渠道的运营效率问题, 迅速调整运营资源, 以缓解渠道销售的变化。这些发现引发了以下思考。全渠道零售商必须承认营销支出对定价结果的有利影响。除了解决消费者对隐私的担忧, 全渠道零售商还必须善于监督各渠道的运营, 降低因偏爱某一渠道而导致其他渠道客流流失的风险。最终, 培养灵活性和敏捷性成为全渠道零售商应对全价期固有复杂问题的关键决定因素。

推论 14 在全价期,

- i. 最优隐私保护服务 λ_2^{**} 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而减少;
- ii. λ_2^{**} 随着 BOPS 渠道交叉销售收入 r 的增加而增长。

同样地, 在给定约束 $\mu > \frac{h((-1+h)h+(-1+m)m)^2}{2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)}$ 条件下, 得到 $\frac{\partial \lambda_2^{**}}{\partial \theta} < 0$, $\frac{\partial \lambda_2^{**}}{\partial \varepsilon} < 0$ 和

$\frac{\partial \lambda_2^{**}}{\partial r} > 0$ 。因此, 在全价期提供隐私服务与隐私关切和购买溢出效应呈负相关,

但与 BOPS 渠道的交叉销售利益呈正相关。根据推论 8, 在隐私冲突不激烈的情况下, 零售商有能力提供更全面的隐私服务, 但可能会放弃营销活动带来的购买溢出效应。此外, BOPS 渠道中交叉销售利益的放大也是一个积极的促进因素。同样, 与推论 7 所阐述的道理类似, 对特定渠道的过度偏爱不可避免地会破坏多渠道之间的运营平衡, 从而阻碍全渠道零售商提供更优质的隐私服务。因此, 建议全渠道零售商在全价销售期间对各销售渠道的表现保持警惕, 通过灵活调整资源分配来维持平衡。

总之, 全渠道零售商必须在整个全渠道购物过程中优先考虑保护消费者的隐

私问题，并在全渠道运营中关注营销工作。这种战略重点将有助于其选择最佳政策。值得注意的是，全渠道零售商必须降低全价期间运营渠道之间的不平衡，因为这种不平衡会阻碍他们提供完备的隐私服务和最佳的全渠道定价能力。因此，在全价期间，谨慎地管理销售渠道并在这些渠道之间合理分配资源至关重要。

4.4 数值算例

鉴于利润解析解的复杂性，使得获取直观的见解变得具有挑战性。因此，本节转而通过数值分析来了解零售商的盈利表现。借鉴现有文献^[67, 72]并结合我们的研究实际，本节设置了以下参数： $m = 0.6$ ， $h = 0.3$ 。因此，双渠道零售商的单位隐私成本在折扣期和全价期的阈值范围分别为 $\mu > 1.33$ 和 $\mu > 2.5$ 。具体来说，将折扣期的单位隐私成本确定为 $\mu = 1.5$ ，全价期的单位隐私成本确定为 $\mu = 3$ 。同样，对于全渠道零售商来说，单位隐私成本在折扣期和全价期这两个销售阶段均保持一致。

4.4.1 隐私关切

本小节对两家不同零售商在不同购买时段提供的隐私服务水平进行了比较分析。传统双渠道零售商在折扣期和全价期的隐私服务水平分别记为 λ_1 和 λ_2 。同样，全渠道零售商在这两个销售时段的隐私服务水平分别记为 λ_3 和 λ_4 。为便于分析，我们假定 $r = 0.7$ ， $\varepsilon = 0.05$ 。值得注意的是，能够直观地观察到隐私服务水平与隐私关切之间存在负相关关系，这与推导出的推论一致。此外，零售商在折扣期间的隐私服务水平明显高于全价期间。具体来说，传统双渠道零售商的隐私服务水平在这一时期超过了全渠道零售商（即 $\lambda_1 > \lambda_3$ ）。

此外，在隐私关切加剧的情况下（如 $\theta > 0.28$ ），全渠道零售商在折扣期间提供服务的能力会明显受到影响。作为一项建议，所有零售商在消费者对隐私的关注度相对较低时优先提供隐私服务。这种策略的基础是，消费者在这些时期对隐私风险的意识会减弱。因此，零售商在这一时期提供充分的隐私保护，有利于培养消费者的信任感。相反，当消费者对隐私的关注度升高时，他们会对零售商的隐私承诺产生极大的不信任感。在该时期，零售商提供的隐私服务不会改变消费

者对隐私的态度。

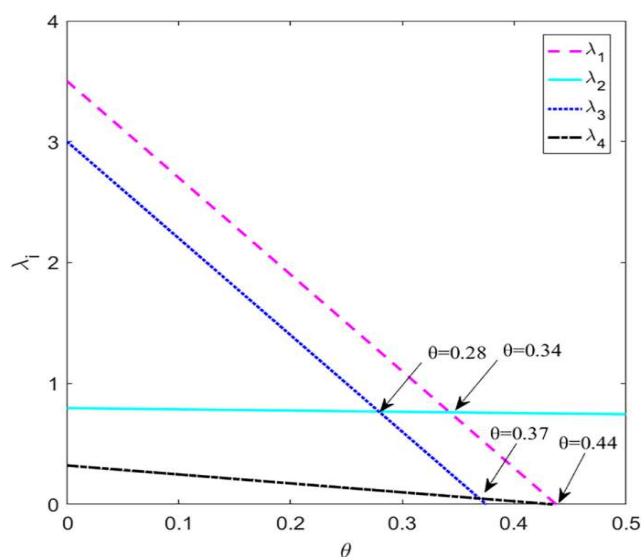


图 4-1 隐私关切对隐私服务水平的影响

图 4-1 注：传统双渠道和全渠道零售商在折扣或全价期隐私服务水平对比。

如图 4-2 所示，在折扣期，隐私关切成为促进零售商经济收益的积极因素。值得注意的是，全渠道零售商的盈利能力提升更为明显，这表明满足客户的隐私期望是企业实现利润增长的关键途径。相反，在全价期，隐私关切与双渠道零售商的盈利呈负相关。与折扣期相反，隐私关切与全渠道零售商的收益呈正相关。此外，在大多数情况下（即 $\theta > 0.27$ ），全渠道零售商的盈利能力均超过了传统的双渠道零售商。这一观察结果突出表明，全渠道零售商实施了更有力的隐私保护措施，有效缓解了消费者对隐私的担忧，从而促进了卓越的盈利表现。

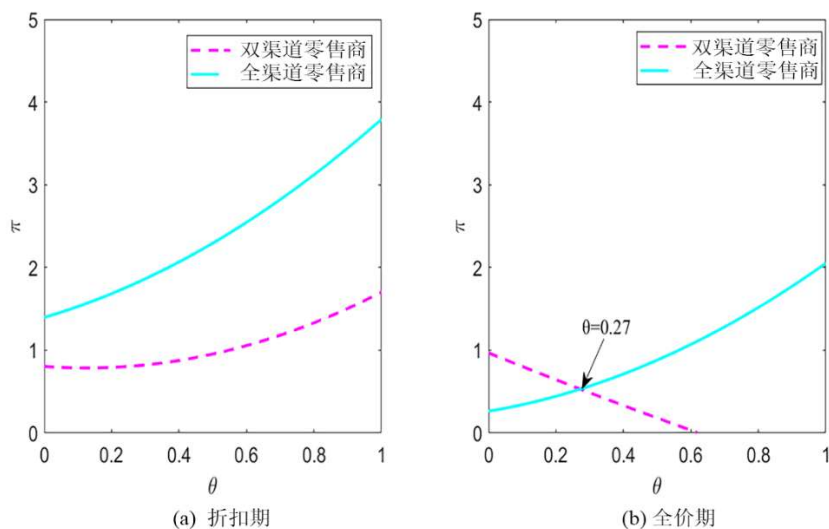


图 4-2 隐私关切对零售商利润的影响

图 4-2 注：传统双渠道和全渠道零售商在折扣或全价期隐私服务水平对比。

根据图 4-1 和图 4-2 的分析，在此提出推测 1。

推测 1 零售商在折扣期提供隐私服务能力最强，而此时消费者对隐私的关注度较低。这种一致性强调了隐私关切在折扣期间增加全渠道零售商收入的潜力。此外，隐私问题对传统的双渠道零售商来说是不利的，尤其是在全价期。与此相反，全渠道零售商在 $\theta > 0.27$ 时表现优于传统双渠道零售商。此外，值得注意的是，全渠道零售商的利润大大超过了传统双渠道零售商。

推测 1 提出了几个值得注意的管理问题。首先，可以看出用户在享受折扣时对隐私的关注程度相对较低。这种情况为零售商提供了通过扩大隐私服务来增加销售收入的良机。因此，零售商加强隐私服务的推广和实施，尤其是在打折期间，这样既能吸引更多的消费者，又能加强对品牌的信任。此外，这种一致性还凸显了全渠道零售商与传统双渠道零售商相比所享有的竞争优势。在打折期间，全渠道零售商在满足消费者隐私需求方面表现出更强的能力，从而提升了品牌形象和声誉，并最终建立了可持续的竞争优势。最后，值得注意的是，全渠道零售商的盈利能力明显高于传统的双渠道零售商。这种差距可能归因于前者满足消费者隐私需求的能力更强。这种辨别力向管理层发出了明确的指示，即对隐私的考虑不仅仅局限于道德和监管层面，而是与企业的整体盈利能力有着内在联系。因此，全渠道零售商将隐私服务视为一种战略差异化因素，将其无缝融入品牌价值和客户体验的整个运营环境中。该策略有助于实现持久的竞争优势和促进利润增长。

4.4.2 盈利因素

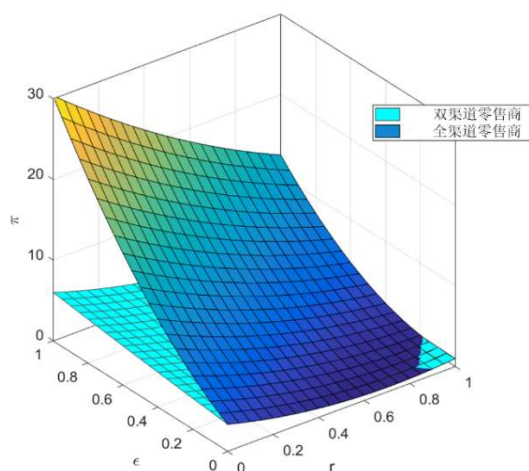


图 4-3 折扣期 r 和 ε 对利润的影响

图 4-3 注：折扣期跨渠道收入和购买溢出对传统双渠道和全渠道零售商利润的影响。

图 4-3 分析了折扣期跨渠道收入 r 和购买溢出 ε 对两个利润实体的不同影响。在此，假定隐私关切 $\theta = 0.5$ 。直观地说，跨渠道收入与利润呈正相关，而购买溢出与利润呈负相关。因此，在折扣期，购买溢出效应在推动零售商的全渠道销售方面发挥着重要作用。此外，零售商还可以通过实施适当的营销措施，有效提高整体盈利能力。其次，从图中可以看出，与传统的双渠道零售商相比，全渠道零售商的盈利表现明显优于传统的双渠道零售商。这种差异表明，全渠道零售商在折扣期间的经营溢价，为他们的定价决策提供了相当大的灵活性。这种灵活性使其能够分配足够的资源来提高隐私服务的质量，从而提高其品牌声誉——这也是其全渠道战略成败的关键因素。

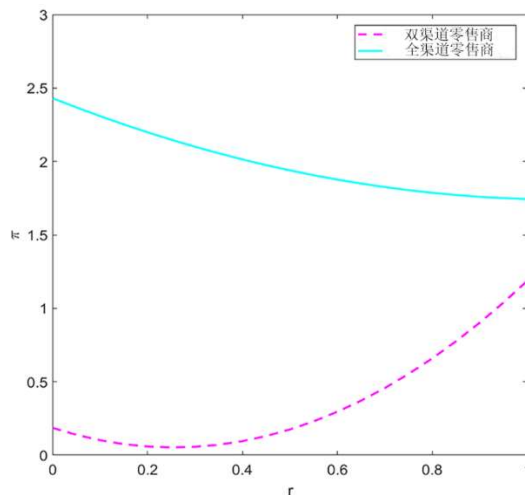


图 4-4 全价期 r 对利润的影响

图 4-4 注：全价期跨渠道收入对传统双渠道和全渠道零售商最佳盈利能力的影响分析。

图 4-4 对交叉销售收益对全价期利润的影响进行了比较分析。值得注意的是，双渠道零售商的利润率在这一时期不再受购买溢出的影响。这种转变是由于顾客的渠道选择更多地受到个人价值判断而非商家折扣活动的影响。在此，假设 $\theta = 0.5$ ， $\varepsilon = 0.5$ 以分析交叉销售收益对利润的影响。很明显，全渠道零售商的交叉销售收入与利润呈负相关。相比之下，传统双渠道零售商的交叉销售收入与利润之间的关系则呈现出先下降后上升的趋势。这强调了 BOPS 渠道在全价销售中的重要性，并肯定了其对零售商的关键作用。此外，分析还证实，在全价期，全

渠道零售商的盈利始终优于传统的双渠道零售商。这再次证明了全渠道零售商的运营优势，有助于他们在激烈的市场竞争中稳固地位。

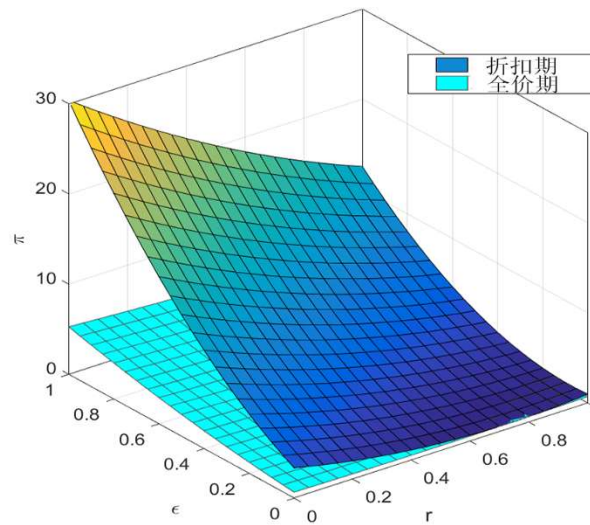


图 4-5 全渠道零售商的两阶段收益比较

图 4-5 注：全渠道零售商在折扣期和全价期最佳利润的比较分析。

图 4-5 扩展了全渠道零售商在折扣期和全价期之间的业绩比较，在此，假设隐私关切 $\theta = 0.5$ 。显而易见，折扣期的表现明显优于全价期。这凸显了全渠道零售商在折扣期间优先拓展渠道的重要性，并努力管理好每个渠道，最终确立市场主导地位。在这种情况下，全渠道零售商将其网络展厅多样化。这种多样化可以包括为消费者提供定制的隐私许可协议，并根据个人喜好提供个性化的产品推荐。此外，还必须注重挖掘线下渠道的潜力，根据消费者的购买习惯和品牌偏好，采取量身定制的产品展示和商品折扣等策略。与此同时，保持跨渠道服务的一致性也势在必行，这有助于满足消费者的隐私期望，并完成跨渠道订单的履行。

最后，综合图 4-3 至图 4-5 的结论，得出推测 2。

推测 2 零售商利润的增长得益于“线上购买，线下提货”（BOPS）模式带来的购买溢出和跨渠道收益。值得注意的是，与传统的双渠道零售商相比，全渠道零售商的利润表现更为出色。在消费者关注隐私的情况下，折扣期成为零售商巩固市场地位的关键阶段。

推测 2 具有重要的管理意义。首先，与传统零售商相比，全渠道零售商通过将线上和线下渠道巧妙地结合在一起，展示了更优越的运营模式，从而实现了更高的灵活性和效率。其次，在消费者隐私保护意识增强的情况下，零售商在经营过程中必须更加谨慎，尤其是在打折期间。在努力扩大市场份额的同时，零售商

有义务在促销活动中严格管理客户数据，维护消费者的信任。因此，折扣期已不再仅仅是促进销售的阶段，而是零售商积极构建和巩固品牌声誉的关键时刻。

4.5 本章小结

本章从分析用户在不同购买渠道的效用出发，确定了不同情形下的效用边界。随后，采用非线性最优化理论构造约束优化模型，探讨了不同零售商的渠道拓展及运营战略，所获结论总结如下：

首先，零售商在不同销售阶段的最佳运营策略受到单位隐私投资成本的制约。隐私关切会影响全渠道定价，因此在不同销售阶段提供合适的隐私服务势在必行。其次，零售商拥有更强的能力，可在人们对隐私的关注度最低时提供隐私服务。折扣期是市场扩张和培养消费者信任的关键阶段。此外，BOPS 渠道的购买溢出效应和交叉销售收益提高了所有零售商的盈利能力。值得注意的是，交叉销售收益可能会导致全渠道零售商在全价期的渠道管理失衡，而全渠道零售商在市场上的表现明显优于传统的双渠道零售商。

第 5 章 不同合作模式下全渠道零售商定价及最优隐私合作策略研究

本章从理论上探讨了全渠道零售商的最优隐私服务策略,构建了一个非线性约束优化模型,以获得不同合作策略下零售商的均衡运营决策。基于均衡决策,本章分析了由零售商和消费者组成的演化博弈问题,并得到了最优合作协议。

5.1 问题描述及模型构建

5.1.1 问题描述

考虑一家零售商实施全渠道销售,在销售过程中决策是否提供隐私增值服务。顾客根据自己的购买效用决策是否接受隐私增值服务。假定潜在的市场总需求为 1,各渠道产品的定价 p 是一致的。零售商以一定比例的加点 r 向消费者收取隐私增值服务费用, $r \in (0, 1)$, 假定零售商提供隐私服务的单位技术成本为 μ , 服务水平为 λ , 参照 G.Li 等人的服务函数的构造^[13], 零售商的隐私服务成本函数为 $f = \frac{1}{2}\mu\lambda^2$ 。

不同消费者的产品价值感知 v 是异质的, 均匀分布在 $[0, 1]$ 。假定市场所有消费者均存在一定程度的隐私关切 θ , $\theta \in (0, 1)$, 这将导致消费者的产品价值感知收敛至 θv 。全渠道业务涵盖了消费者从售前, 购买到售后支持的全过程, 为消费者提供了一致的, 无缝的购物体验(Lehrer & Trenz, 2022), 这将使消费者能够获得传统购物体验中所不具备的购买溢出 ε , 当消费者愿意支付费用获得相应的隐私增值服务时, 此时消费者的购买溢出为 $(1+k)\varepsilon$, 相应的产品价值感知为 $(\theta+k)v$, 有效隐私服务量为 $k\lambda$ 。其中 k 为隐私价值系数, 以此刻画消费者对于隐私的价值评估和支付意愿。因此, 消费者不接受(或接受)隐私增值服务时所获得的购买效用分别为:

$$u_{N-T} = (\theta v - p + \varepsilon)^+$$

$$u_T = [(\theta + k)v - (1 + r)p + (1 + k)\varepsilon + k\lambda]^+$$

详细的符号描述如表 5-1 所示。

表 5-1 符号定义

符号	定义
p	全渠道产品定价
r	隐私服务的收费比率, $r \in (0, 1)$
μ	单位隐私技术成本
λ	隐私服务水平
v_j	不接受（或接受）隐私增值服务的消费者产品价值感知, $v_i \sim U(0, 1)$, $j = "N-T" \text{ or } "T"$
θ	隐私关切, $\theta \in (0, 1)$
ε	全渠道零售的购买溢出效应
k	隐私价值系数, $k \in (0, 1)$
f	隐私服务成本函数
u_j	不接受（或接受）隐私增值服务的消费者效用, $j = "N-T" \text{ or } "T"$
D_j	顾客不接受（或接受）隐私增值服务的市场需求, $j = "N-T" \text{ or } "T"$
π_{ij}	全渠道零售商不提供（或提供），顾客不接受（或接受）隐私增值服务时的利润, $i = "N-O" \text{ or } "O"$, $j = "N-T" \text{ or } "T"$

5.1.2 模型构建

由消费者的效用函数能够得到不接受（或接受）隐私增值服务的无差异购买点为：

$$v_{N-T} = \frac{p - \varepsilon}{\theta} \quad (5.1)$$

$$v_T = \frac{(1+r)p - (1+k)\varepsilon - k\lambda}{k + \theta} \quad (5.2)$$

因此，消费者不接受（接受）隐私增值服务的产品的价值感知域及其约束分别为：

$$\begin{cases} v_{N-T} \in \left(\frac{p - \varepsilon}{\theta}, 1 \right) & s.t. \quad \varepsilon < p < \varepsilon + \theta \\ v_T \in \left(\frac{(1+r)p - (1+k)\varepsilon - k\lambda}{k + \theta}, 1 \right) & s.t. \quad \frac{(1+k)\varepsilon + k\lambda}{1+r} < p < \frac{(1+k)\varepsilon + k + \theta + k\lambda}{1+r} \end{cases} \quad (5.3)$$

由此，不接受（或接受）隐私增值服务的市场需求分别为：

$$D_{N-T} = \int_{\frac{p-\varepsilon}{\theta}}^1 dx \quad D_T = \int_{\frac{(1+r)p-(1+k)\varepsilon-k\lambda}{k+\theta}}^1 dx$$

全渠道零售商和顾客均为有限理性的决策主体，双方基于自身利益最大化独立进行决策。因此博弈双方均有两种策略可供其选择。即全渠道零售商的可行决策集合为{ 提供隐私增值服务，不提供隐私增值服务}，消费者的决策集合为{ 接受，不接受}。零售商力求实现收益最大化。因此，全渠道零售商在所有情形下的利润模型分别刻画如下：

$$\begin{aligned} \pi_{(N-O, j)} &= \pi_{(N-O, j)} = p D_{N-T} \\ \text{模型}(N-O, j): \quad & \\ \text{s.t. } \varepsilon < p < \varepsilon + \theta & \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} \pi_{(O, N-T)} &= (p+r)(D_{N-T} + k\lambda) - f \\ \text{模型}(O, N-T): \quad & \\ \text{s.t. } \varepsilon < p < \varepsilon + \theta & \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} \pi_{(O, T)} &= (p+r)(D_T + k\lambda) - f \\ \text{模型}(O, T): \quad & \\ \text{s.t. } \frac{(1+k)\varepsilon + k\lambda}{1+r} < p < \frac{(1+k)\varepsilon + k + \theta + k\lambda}{1+r} & \end{aligned} \quad (5.6)$$

下一节分别求解了各情形下全渠道零售商的最优定价及服务决策，得到最优利润，并对最优决策进行分析。

5.2 模型求解及分析

5.2.1 各情形下的最优定价及服务决策

为区分不同情形下的最优定价和服务决策，记不同利润模型中的最优定价 p 和最优隐私服务 λ 为 p_{ij} 和 λ_{ij} ，其中 $i = "N-O"$ 或 $"O"$ ， $j = "N-T"$ 或 $"T"$ 。

(1) 模型 $(N-O, j)$ ：全渠道零售商不提供且消费者不接受隐私增值服务时的利润为：

$$\begin{aligned} \pi_{(N-O,j)} &= p(1 - \frac{p-\varepsilon}{\theta}) \\ s.t. &\begin{cases} \varepsilon < p < \varepsilon + \theta \\ p > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.7)$$

因为 $\frac{\partial^2 \pi_{(N-O,j)}}{\partial p^2} = -\frac{2}{\theta} < 0$ ，所以原函数为凸函数，此时存在一个极大值点 p^* 使得

$\pi_{(N-O,j)}$ 取最大值。令 $\frac{\partial \pi_{(N-O,j)}}{\partial p} = 1 - \frac{p}{\theta} - \frac{p-\varepsilon}{\theta} = 0$ ，解得 $p^* = \frac{\varepsilon + \theta}{2}$ ，代入 $\pi_{(N-O,j)}$ 得

$\pi_{(N-O,j)}^* = \frac{(\varepsilon + \theta)^2}{4\theta}$ 。由此得到模型 $(N-O, j)$ 的最优决策如命题 7 所示。

命题 7 当不提供隐私增值服务时，全渠道零售商的最优决策为：

$$\begin{cases} p_{(N-O,j)}^* = \frac{\varepsilon + \theta}{2}, \\ \pi_{(N-O,j)}^* = \frac{(\varepsilon + \theta)^2}{4\theta} \end{cases} \quad s.t. \quad \varepsilon < p < \varepsilon + \theta \quad (5.8)$$

(2) 模型 (O, T) ：全渠道零售商提供且消费者接受隐私增值服务时的利润为：

$$\pi_{(O,T)} = (p+r) \left(1 - \frac{(1+r)p - (1+k)\varepsilon - k\lambda}{k+\theta} + k\lambda \right) - \frac{1}{2} \mu \lambda^2 \quad (5.9)$$

$$s.t. \quad \frac{(1+k)\varepsilon + k\lambda}{1+r} < p < \frac{(1+k)\varepsilon + k + \theta + k\lambda}{1+r}$$

证明： $\pi_{(O,T)}$ 在点 (p, λ) 处的 Hessian 矩阵为：

$$\nabla^2 \pi_{(O,T)}(p, \lambda) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{(O,T)}}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \pi_{(O,T)}}{\partial p \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 \pi_{(O,T)}}{\partial \lambda \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_{(O,T)}}{\partial \lambda^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2(1+r)}{k+\theta} & k + \frac{k}{k+\theta} \\ k + \frac{k}{k+\theta} & -\mu \end{bmatrix}$$

显然， $\frac{\partial^2 \pi_{(O,T)}}{\partial p^2} = -\frac{2(1+r)}{k+\theta} < 0$ ，当且仅当 $\mu > \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$ 时， $|\nabla^2 \pi_{(O,T)}(p, \lambda)| > 0$ 。

此时，模型 $\pi_{(O,T)}$ 为凸规划，故存在唯一的严格局部极大值点 (p^*, λ^*) 使得 $\pi_{(O,T)}$ 取最大值。

构造拉格朗日函数：

$$L_2 = \pi_{(O,T)}(p, \lambda) + \eta_1 \left[p - \frac{(1+k)\varepsilon + k\lambda}{1+r} \right] + \eta_2 \left[\frac{(1+k)\varepsilon + k + \theta + k\lambda}{1+r} - p \right] \quad (5.10)$$

求解 KKT 条件即得到命题 8。证明过程见附录 1-3-1。

命题 8 当全渠道零售商提供隐私增值服务且消费者接受服务时，全渠道零售商的最优决策为：

$$\begin{cases} p_{(O,T)}^* = \frac{k^2 r (1+k+\theta)^2 + (k+\theta)(k-r(1+r)+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)\mu}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2} \\ \lambda_{(O,T)}^* = \frac{k(1+k+\theta)(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2} \\ \pi_{(O,T)}^*(p^*, \lambda^*) = \frac{(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)^2 \mu}{4(1+r)(k+\theta)\mu - 2k^2(1+k+\theta)^2} \end{cases} \quad (5.11)$$

其中，单位隐私技术成本需满足 $\mu > \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$ 。

由命题 2 可知，当零售商提供增值隐私服务并得到顾客肯定时，最优决策及收益表现相较于隐私服务不受欢迎的情形有了显著改善。这表明，只有受到客户欢迎的隐私服务策略才能更加有效地提高全渠道收益。双方良性的互动将使得资源得以充分利用并实现效益的最大化。值得注意的是，此时单位隐私技术成本阈值高于客户不接受隐私增值服务的情形，这表明全渠道零售商获得最优市场表现时的最低单位隐私成本限制更高。

(3) 模型(O, N-T)：全渠道零售商提供但消费者不接受隐私增值服务时的利润为

$$\begin{aligned} \pi_{(O,N-T)} &= (p+r)\left(1 - \frac{p-\varepsilon}{\theta} + k\lambda\right) - \frac{1}{2}\mu\lambda^2 \\ s.t. \begin{cases} \varepsilon < p < \varepsilon + \theta \\ p > 0, \lambda > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (5.12)$$

证明：求解 $\pi_{(O,N-T)}$ 关于 p 和 λ 二阶偏导，得到 $\pi_{(O,N-T)}$ 在点 (p, λ) 处的 Hessian 矩阵：

$$\nabla^2 \pi_{(O,N-T)}(p, \lambda) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial p \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial \lambda \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial \lambda^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2}{\theta} & k \\ k & -\mu \end{bmatrix}$$

显然, $\frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial p^2} = -\frac{2}{\theta} < 0$, 当且仅当 $\mu > \frac{k^2 \theta}{2}$ 时, $|\nabla^2 \pi_{(O,N-T)}(p, \lambda)| > 0$ 。此时, 模型

$\pi_{(O,N-T)}$ 为凸规划, 故存在唯一的严格局部极大值点 (p^*, λ^*) 使得 $\pi_{(O,N-T)}$ 取最大值。

构造拉格朗日函数:

$$L_1 = \pi_{(O,N-T)}(p, \lambda) + \eta_1(p - \varepsilon) + \eta_2(\varepsilon + \theta - p) \quad (5.13)$$

求解 Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 条件即得到命题 9。证明过程见附录 1-3-2。

命题 9 当全渠道零售商提供但消费者不接受其隐私增值服务时, 全渠道零售商的最优决策为:

$$\begin{cases} p_{(O,N-T)}^* = \frac{k^2 r \theta + (\varepsilon + \theta - r) \mu}{2\mu - k^2 \theta} \\ \lambda_{(O,N-T)}^* = \frac{k(r + \varepsilon + \theta)}{2\mu - k^2 \theta} \\ \pi_{(O,N-T)}^*(p^*, \lambda^*) = \frac{(r + \varepsilon + \theta)^2 \mu}{2\theta(2\mu - k^2 \theta)} \end{cases} \quad (5.14)$$

其中, 单位隐私技术成本需满足 $\frac{k^2 \theta}{2} < \mu < \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$ 。

对比命题 7 和命题 9 可知, 当全渠道零售商提供隐私增值服务时, 无论顾客是否接受其服务, 他的全渠道最优定价将会提高 $\frac{k^2 \theta(2r + \varepsilon + \theta) - 2r\mu}{4\mu - 2k^2 \theta}$ (即

$p_{(O,N-T)}^* - p_{(N-O,j)}^*$)。从零售商角度看, 提供隐私增值服务将有助于改善其全渠道

定价。此外, 全渠道零售商的最优决策会受到单位隐私技术成本的约束 (即

$\frac{k^2 \theta}{2} < \mu < \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$), 这表明追求极致的隐私技术成本并不会使零售商始终获益,

当成本低于一定阈值时, 其最优利润将受到蚕食。故在投资隐私技术时, 全渠道零售商要时刻关注客户的隐私关切的变化, 急客户之所需, 避免出现隐私服务供

需失衡。

为方便后续分析各情形下零售商的最优市场策略及与均衡合作策略，表 5-2 中展示了各模型的最优解。

表 5-2 各模型的最优策略

决策 模型	定价	隐私服务	利润	约束条件
模型(N-O,j)	$\frac{\varepsilon + \theta}{2}$	N/A	$\frac{(\varepsilon + \theta)^2}{4\theta}$	$\varepsilon < p < \varepsilon + \theta$
模型 (O, N-T)	$\frac{k^2 r \theta + (\varepsilon + \theta - r) \mu}{2\mu - k^2 \theta}$	$\frac{k(r + \varepsilon + \theta)}{2\mu - k^2 \theta}$	$\frac{(r + \varepsilon + \theta)^2 \mu}{2\theta(2\mu - k^2 \theta)}$	$\frac{k^2 \theta}{2} < \mu < \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$
模型 (O, T)	$\frac{E}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2}$	$\frac{F}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2}$	$\frac{G}{4(1+r)(k+\theta)\mu - 2k^2(1+k+\theta)^2}$	$\mu > \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$

注： $E = k^2 r(1+k+\theta)^2 + (k+\theta)(k-r(1+r)+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)\mu$ ， $F = k(1+k+\theta)(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)$ ，

$G = (k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)^2 \mu$ 。

5.2.2 最优策略分析

通过分析各模型的最优策略，将得到如下推论：

推论 15 当全渠道零售商不提供隐私增值服务时

- 全渠道最优定价 $p_{(N-O,j)}^*$ 随着隐私关切 θ 和购买溢出 ε 的增加而增加；
- 最优利润 $\pi_{(N-O,j)}^*$ 随着 ε 的增加而增加；
- 当 $\theta < \varepsilon$ 时，最优利润 $\pi_{(N-O,j)}^*$ 随着 θ 的增加而降低，反之二者呈正相关。

分别求解最优定价和利润关于 θ 和 ε 的一阶偏导，则 $\frac{\partial p_{(N-O,j)}^*}{\partial \theta} = \frac{\partial p_{(N-O,j)}^*}{\partial \varepsilon} = \frac{1}{2} > 0$ ，

$\frac{\partial \pi_{(N-O,j)}^*}{\partial \varepsilon} = \frac{\varepsilon + \theta}{2\theta} > 0$ 。当 $\theta < \varepsilon$ 时， $\frac{\partial \pi_{(N-O,j)}^*}{\partial \theta} = \frac{1}{4} - \frac{\varepsilon^2}{4\theta^2} < 0$ ，反之则为正。

推论 15 指出顾客的隐私关切及购买溢出有助于全渠道零售商获得更高的市场定价。此外，从收益角度看，当消费者在全渠道购物旅程中所获得的购买溢出高于其对隐私泄露的担忧时，全渠道零售商将获得更加良好的收益表现。因此，客观地说，为顾客提供购物便利性将使全渠道零售商从中获益，因为这是吸引和

提高客户留存率的关键。随着消费者购物习惯的变化，他们将更加期待能够在任何时间、任何地点地购买产品。倘若企业不重视客户的这些需求，长此以往必然抑制其业务的增长。通过提供在线购物平台、移动端及智能家居平台等多渠道的商品比价、产品陈列及购买推介服务，辅之以必要的隐私披露策略并提供灵活快速的配送和自取等物流服务，这将极大提高消费者的购物体验，增进与零售商的隐私互信。

推论 16 当全渠道零售商提供但客户不接受其隐私增值服务时，此时

$$\frac{k^2\theta}{2} < \mu < \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}。$$

- i. 在定义域内，全渠道最优定价 $p_{(O,N-T)}^*$ 与隐私关切 θ 、购买溢出 ε 及隐私价值系数 k 正相关。最优隐私服务水平 $\lambda_{(O,N-T)}^*$ 与隐私关切 θ 、购买溢出 ε 、隐私价值系数 k 及隐私服务收费比率 r 正相关；
- ii. 当单位隐私技术成本 $\mu > k^2\theta$ 时，全渠道最优定价 $p_{(O,N-T)}^*$ 与隐私服务收费比率 r 负相关，当 $\frac{k^2\theta}{2} < \mu < k^2\theta$ 时，双方正相关。

分别求解最优定价 $p_{(O,N-T)}^*$ 和最优隐私服务水平 $\lambda_{(O,N-T)}^*$ 关于 θ ， k ， r 和 ε 的

$$\text{一阶偏导，则 } \frac{\partial p_{(O,N-T)}^*}{\partial \theta} = \frac{\mu(k^2(r+\varepsilon)+2\mu)}{(k^2\theta-2\mu)^2} > 0, \quad \frac{\partial p_{(O,N-T)}^*}{\partial k} = \frac{2k\theta(r+\varepsilon+\theta)\mu}{(k^2\theta-2\mu)^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \lambda_{(O,N-T)}^*}{\partial \theta} = \frac{k^3(r+\varepsilon)+2k\mu}{(k^2\theta-2\mu)^2} > 0, \quad \frac{\partial \lambda_{(O,N-T)}^*}{\partial k} = \frac{(r+\varepsilon+\theta)(k^2\theta+2\mu)}{(k^2\theta-2\mu)^2} > 0, \quad \frac{\partial p_{(O,N-T)}^*}{\partial r} = \frac{k^2\theta-\mu}{2\mu-k^2\theta},$$

$$\frac{\partial p_{(O,N-T)}^*}{\partial \varepsilon} = \frac{\mu}{2\mu-k^2\theta}, \quad \frac{\partial \lambda_{(O,N-T)}^*}{\partial r} = \frac{\partial \lambda_{(O,N-T)}^*}{\partial \varepsilon} = \frac{k}{-k^2\theta+2\mu}。$$

当 $\mu > k^2\theta$ 时， $\frac{\partial p_{(O,N-T)}^*}{\partial r} < 0$ ，当 $\frac{k^2\theta}{2} < \mu < k^2\theta$ 时， $\frac{\partial p_{(O,N-T)}^*}{\partial r} > 0$ 。同理，当 $\mu > \frac{k^2\theta}{2}$

时， $\frac{\partial \lambda_{(O,N-T)}^*}{\partial r} = \frac{\partial \lambda_{(O,N-T)}^*}{\partial \varepsilon} > 0$ ，反之则为正。

推论 16 指出，消费者的隐私关切及隐私价值系数正向影响全渠道零售商的定价及隐私服务策略。这表明消费者对其隐私风险的评估及隐私获益预期的权衡将左右全渠道零售商最优市场策略的制定。因此，零售商要不断完善其隐私政策，

提升透明度和政策的合规性。在收集和使用客户的个人信息时要明确告知其敏感信息的用途及控制权限,通过隐私服务的推介告知顾客如何从信息共享中获得更多的消费增益。其次,隐私技术成本的变动影响着全渠道零售商的产品及隐私增值服务的定价。合理地控制隐私技术成本需综合考虑诸多因素,通过积极地市场调研,聚焦消费者的隐私痛点,适时调整数据收集策略,减少冗余数据的收集以降低成本。此外,通过与技术供应商建立合作关系,采取共同研发策略,精准匹配隐私需求。通过动态优化技术和资源的分配,有效控制隐私技术成本始终处在合理区间。

推论 17 当全渠道零售商提供但顾客不接受其隐私增值服务时,此时 $\frac{k^2\theta}{2} < \mu < \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}$ 。最优利润 $\pi_{(O,N-T)}^*$ 与隐私价值系数 k 、隐私服务收费比率 r 和购买溢出 ε 正相关;

求解最优利润 $\pi_{(O,N-T)}^*$ 关于 k , r 和 ε 的一阶偏导得:

$$\frac{\partial \pi_{(O,N-T)}^*}{\partial k} = \frac{k(r+\varepsilon+\theta)^2 \mu}{(k^2\theta - 2\mu)^2} > 0, \quad \frac{\partial \pi_{(O,N-T)}^*}{\partial r} = -\frac{(r+\varepsilon+\theta)\mu}{\theta(k^2\theta - 2\mu)} \quad \text{和} \quad \frac{\partial \pi_{(O,N-T)}^*}{\partial \varepsilon} = -\frac{(r+\varepsilon+\theta)\mu}{\theta(k^2\theta - 2\mu)}, \quad \text{因为}$$

$$\mu > \frac{k^2(1+k+\theta)^2}{2(1+r)(k+\theta)}, \quad \text{故} \quad \frac{\partial \pi_{(O,N-T)}^*}{\partial r} > 0, \quad \frac{\partial \pi_{(O,N-T)}^*}{\partial \varepsilon} > 0。$$

推论 17 进一步强调了消费者的隐私价值评估和隐私技术成本对于全渠道零售商的收益的影响。良好的隐私互动有助于提升顾客的隐私支付意愿。如果零售商能够有效回应顾客的隐私需求,他们将更有可能选择信任并与其合作,从而带来更多的商业获益。具体地,通过建立良好的隐私声誉,不断提升隐私政策的合规性妥善保护顾客隐私。此外,通过控制隐私技术成本的浮动,驱动零售商精准实施隐私服务和个性化营销策略,这有助于全渠道零售商提升精细化运营能力,实现更高的商业价值和竞争优势。

由于隐私关切 θ 对 $\pi_{(O,N-T)}^*$ 的求解以及模型 (O, T) 的最优策略的解析解较为复杂,无法获得相应的显性结论,在此基础上,也难以直观地比较各模型的最优利润表现。因此,参考现有文献^[10,43,66]的处理思路并结合本研究实际,通过赋值处理得到相应的观察结论。

5.3 数值分析

结合各参数的定义域，容易得到模型 $(O, N-T)$ 和模型 (O, T) 最优策略下的单位隐私技术成本的定义域分别为： $\mu_{(O, N-T)} \in (0.5, 1.125)$, $\mu_{(O, T)} > 1.125$ 。分别对 r ， k ， θ 赋三组不同的值以比较不同情形下的图形特征，具体赋值如表 5-3 所示。

表 5-3 参数 r ， k ， θ 的赋值

情形	赋值		
情形 1	$r = 0.2$	$k = 0.2$	$\theta = 0.2$
情形 2	$r = 0.5$	$k = 0.5$	$\theta = 0.5$
情形 3	$r = 0.8$	$k = 0.8$	$\theta = 0.8$

5.3.1 隐私参数对最优服务策略的影响

分别代入表中各参数的数值，能够得到消费者隐私关切及隐私技术成本对于全渠道零售商最优隐私服务策略的影响。

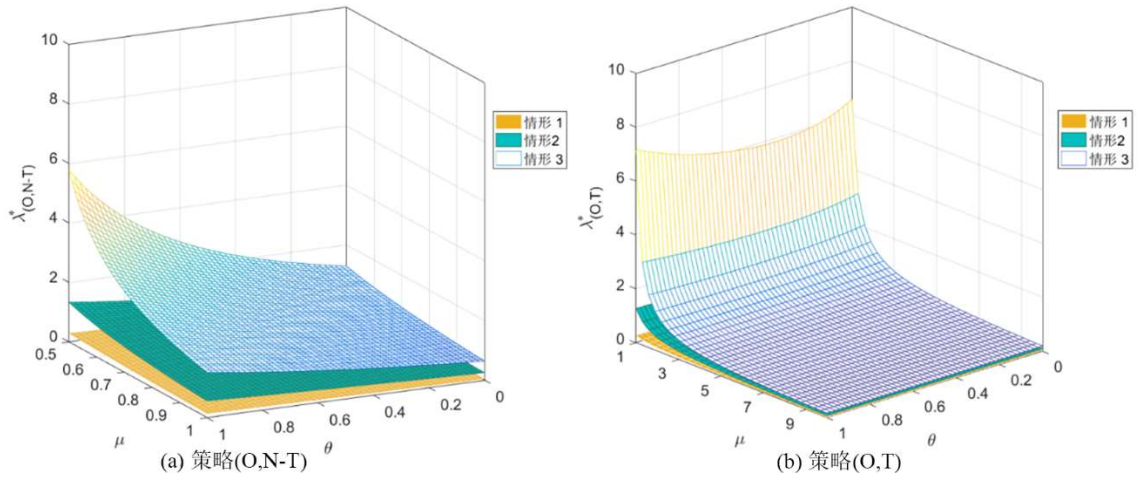


图 5-1 不同情形下隐私关切及隐私技术成本对隐私服务水平的影响

如图 5-1 所示，无论顾客是否积极响应全渠道零售商的隐私服务承诺，当全渠道零售商提供隐私增值服务时，隐私服务水平 $\lambda_{(O, N-T)}^*$ 和 $\lambda_{(O, T)}^*$ 与隐私关切 θ 正相关，与单位隐私技术成本 μ 负相关。从企业外部看，这表明随着客户隐私感知的提高，全渠道零售商提供更加充分的隐私保护承诺尤为必要，全渠道零售商是

否积极回应外部市场的隐私关切，事关企业声誉和市场形象并显著影响其最优决策的制定实施。从企业内部看，追求极致的隐私技术成本是实现更高技术水平和市场效益的关键。因此，全渠道零售商应关注外部市场的隐私需求变化，减少冗余敏感信息的收集，这既是降本增效的必要举措，更是赢得客户信任，换取更多合作意向并最终实现效益最优化的关键。其次，通过对比不同隐私参数赋值情形下的最优服务，无论客户是否积极响应隐私承诺，情形 3（即 $r=0.8$ ， $k=0.8$ ， $\theta=0.8$ ）的隐私服务表现均显著优于其他情形。这表明消费端较高的隐私需求将催生出更高质量隐私服务的投放。此外，对比双方是否达成合作意向下的隐私服务能力表现，双方积极合作时（即 $\lambda_{(O,T)}^*$ ）的隐私服务能力更强。这进一步说明只有供给和需求的有效匹配，双方良性互动下的隐私服务水平才能实现效力的最大化。由此给出推测 3。

推测 3 隐私服务水平 $\lambda_{(O,N-T)}^*$ 和 $\lambda_{(O,T)}^*$ 与隐私关切 θ 正相关，与单位隐私技术成本 μ 负相关，双方积极合作时（即 $\lambda_{(O,T)}^*$ ）的隐私服务能力更强。较高的隐私需求将催生出更高质量隐私服务的投放。

5.3.2 隐私参数对最优利润的影响

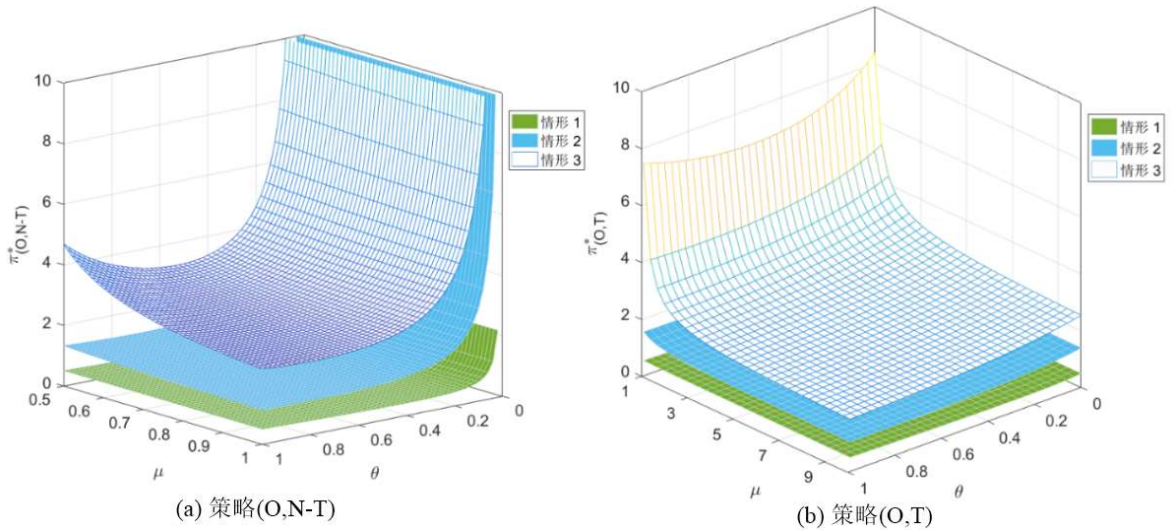


图 5-2 不同情形下隐私关切及隐私技术成本对利润的影响

显然，全渠道零售商的最优利润 $\pi_{(O,N-T)}^*$ 和 $\pi_{(O,T)}^*$ 与客户的隐私关切 θ 及单位隐私技术成本 μ 负相关。这进一步佐证了提供隐私增值服务以及隐私技术的降本增效举措的必要性，市场中潜在的隐私风险是全渠道零售商实现更高收益的抑制

性因素，但同样是其转变市场营销策略，实现企业服务转型的重要机遇。因此，企业要重视对隐私服务研发的资源倾斜和技术支持，持续提高服务质量和能力，为市场和客户树立起良好的隐私承诺形象。同样的，全渠道零售商在情形 3（即 $r = 0.8$ ， $k = 0.8$ ， $\theta = 0.8$ ）的市场收益表现更好。这得益于市场中较高的隐私服务需求，带动更多的隐私增值服务投放，从而支撑起全渠道零售商的市场收益的不断改善。此外，对比双方是否合作情形下（即 $\pi_{(O,N-T)}^*$ 和 $\pi_{(O,T)}^*$ ）的收益表现，双方不完全合作时（即 $\pi_{(O,N-T)}^*$ ）的利润表现更好，这在某种意义上与直观感受不同。对此，全渠道零售商提供隐私增值服务更重要的是向市场传递明确的信号：即企业重视客户的隐私保护，并致力于为其提供完备且值得信任的隐私承诺。这将显著缓解客户对隐私风险的担忧，增进了彼此间的互信。即使客户不为隐私增值服务支付，但凭借其对企业的信任基础，必将推动更多消费订单的达成，从而带动企业效益的提高。由此，得出推测 4。

推测 4 全渠道零售商的最优利润 $\pi_{(O,N-T)}^*$ 和 $\pi_{(O,T)}^*$ 与客户的隐私关切 θ 及单位隐私技术成本 μ 负相关，双方不完全合作下（即 $\pi_{(O,N-T)}^*$ ）的利润表现更好，较高的隐私服务需求，支撑起市场收益的不断改善。

5.4 隐私服务策略的演化均衡分析

在静态均衡的分析中，求解得到了各市场主体的最佳行动策略。本节将利用演化博弈理论进一步分析双方的动态均衡策略，研究全渠道零售商和消费者在进行长期市场博弈后的演化稳定策略。

5.4.1 演化博弈模型的构建

作为博弈双方的全渠道零售商和消费者，两者均为有限理性的主体。3.2 节假定了全渠道零售商的可行决策集合为：{ 提供隐私增值服务，不提供隐私增值服务 }，消费者的可行决策集合为 { 接受，不接受 }。其中，全渠道零售商提供隐私增值服务的概率为 x ， $x \in [0,1]$ ，不提供隐私增值服务的概率为 $1-x$ 。同理，消费者接受服务的概率为 y ， $y \in [0,1]$ ，不接受的概率为 $1-y$ 。由 5-1-1 节可知，

消费者不接受（接受）隐私增值服务的效用分别为： $u_{(i,N-T)} = (\theta v - p_{(i,N-T)}^* + \varepsilon)^+$ 和 $u_{(i,T)} = [(\theta + k)v - (1+r)p_{(i,T)}^* + (1+k)\varepsilon + k\lambda_{(i,T)}^*]^+$ 。由命题 2 和命题 3 得到全渠道零售商静态条件下的最优收益为： $\pi_{(O,N-T)}^*(p^*, \lambda^*) = \frac{(r + \varepsilon + \theta)^2 \mu}{2\theta(2\mu - k^2\theta)}$ 和 $\pi_{(O,T)}^*(p^*, \lambda^*) = \frac{(k + r + r^2 + \varepsilon + k\varepsilon + \theta)^2 \mu}{4(1+r)(k + \theta)\mu - 2k^2(1+k + \theta)^2}$ 。

在此，通过引入参数 α_1 和 α_2 ，分别刻画提供零售商提供隐私增值服务对消费者效用的激励效应，其中 $\alpha_1, \alpha_2 > 0$ 。同理，以参数 β_1 和 β_2 分别刻画消费者积极响应隐私增值服务对全渠道零售商的支持效应，其中 $\beta_1, \beta_2 > 0$ 。由此构建双方动态条件下的支付矩阵，如表 5-4 所示。

表 5-4 博弈双方的支付矩阵

决策类型	消费者（决策主体 C）	
	接受，（策略 T）	不接受，（策略 N-T）
全渠道零售商 （决策主体 R）	提供隐私服务 （策略 O） $(1 + \beta_2)\pi_{(O,T)}^*, (1 + \alpha_2)u_{(O,T)}^*$	$(1 + \beta_1)\pi_{(O,N-T)}^*, u_{(O,N-T)}^*$
	不提供隐私服务 （策略 N-O） $\pi_{(N-O,j)}^*, (1 + \alpha_1)u_{(N-O,T)}^*$	$\pi_{(N-O,j)}^*, u_{(N-O,N-T)}^*$

因此，全渠道零售商采取不同服务策略的期望收益及平均期望收益分别为：

$$E_O = y(1 + \beta_2)\pi_{(O,T)}^* + (1 - y)(1 + \beta_1)\pi_{(O,N-T)}^* \quad (5.15)$$

$$E_{N-O} = y\pi_{(N-O,j)}^* + (1 - y)\pi_{(N-O,j)}^* \quad (5.16)$$

$$\overline{E_R} = xE_O + (1 - x)E_{N-O} \quad (5.17)$$

同理，消费者采取各策略的期望收益及平均期望收益分别为：

$$E_T = x(1 + \alpha_2)u_{(O,T)}^* + (1 - x)(1 + \alpha_1)u_{(N-O,T)}^* \quad (5.18)$$

$$E_{N-T} = xu_{(O,N-T)}^* + (1 - x)u_{(N-O,N-T)}^* \quad (5.19)$$

$$\overline{E_C} = yE_T + (1 - y)E_{N-T} \quad (5.20)$$

构造博弈双方的复制动态方程：

$$\begin{cases} F(X) = \frac{dx}{dt} = x(E_O - \overline{E_R}) = x(x-1) \left\{ -[(1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^* - \pi_{(N-O,j)}^*] + y[(1+\beta_2)\pi_{(O,T)}^* - (1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^*] \right\} \\ F(Y) = \frac{dy}{dt} = y(E_T - \overline{E_C}) = y(y-1) \left\{ -\alpha_1 u_{(N-O,j)}^* + x[u_{(O,N-T)}^* + \alpha_1 u_{(N-O,j)}^* - (1+\alpha_2)u_{(O-T)}^*] \right\} \end{cases}$$

求解 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(X)}{\partial x} & \frac{\partial F(X)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(Y)}{\partial x} & \frac{\partial F(Y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

$$\text{其中, } \begin{cases} A_{11} = (1-2x) \left\{ (1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^* - \pi_{(N-O,j)}^* + y[(1+\beta_2)\pi_{(O,T)}^* - (1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^*] \right\} \\ A_{12} = (1-x)x[(1+\beta_2)\pi_{(O,T)}^* - (1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^*] \\ A_{13} = (-1+y)y[\alpha_1 u_{(N-O,j)}^* + u_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)u_{(O,T)}^*] \\ A_{14} = (-1+2y)[xu_{(O,N-T)}^* - \alpha_1(1-x)u_{(N-O,j)}^* - x(1+\alpha_2)u_{(O,T)}^*] \end{cases}$$

联立复制动态方程组, 解得双方演化博弈的均衡点分别为: $(0,0)$, $(1,0)$,

$(0,1)$, $(1,1)$, (x^*, y^*) , 其中,

$$x^* = \frac{\alpha_1 u_{(N-O,j)}^*}{u_{(O,N-T)}^* + \alpha_1 u_{(N-O,j)}^* - (1+\alpha_2)u_{(O-T)}^*}, \quad y^* = \frac{(1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^* + \pi_{(N-O,j)}^*}{(1+\beta_2)\pi_{(O,T)}^* - (1+\beta_1)\pi_{(O,N-T)}^*}。$$

5.4.2 演化稳定策略分析

分析该系统的 Jacobian 矩阵在各均衡点的局部渐进稳定性, 由此得到命题 10 和命题 11, 各均衡点的局部稳定性结果如表 5-5 所示。证明过程见附录 1-3-3。

命题 10 当 $0 < v < \frac{p_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)p_{(O,T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O,T)}^* - \alpha_2(\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta)\alpha_2}$ 时, 该动力系统的

稳定点为 $(1,0)$ 。

由命题 10 可知, 当消费者的产品价值感知位于区间 $\left(0, \frac{p_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)p_{(O,T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O,T)}^* - \alpha_2(\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta)\alpha_2}\right)$ 时, 双方长期博弈下的演化稳定策略为 $(O, N-T)$ 。

如图 5-3 所示。即全渠道零售商提供隐私增值服务, 消费者不接受隐私增值服务。这表明在动态视角下, 当顾客的产品价值感知较低时, 全渠道零售商提供隐私增值服务的目的是树立隐私友好的品牌形象, 向市场及广大客户传递其隐私服务理

念，增进彼此互信。从而赢得市场肯定，带动企业效益的提高。

命题 11 当 $v > \frac{p_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)p_{(O,T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O,T)}^* - \alpha_2(\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta)\alpha_2}$ 时，该动力系统的稳定

点为(1,1)。

显然，当顾客的产品价值感知处于较高的值域（即 $v > \frac{p_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)p_{(O,T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O,T)}^* - \alpha_2(\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta)\alpha_2}$ ）时，双方长期互动下的稳定策略将趋向

于采取策略(O,T)，如图 5-4 所示。即全渠道零售商提供隐私增值服务，消费者接受隐私增值服务。这说明，在较高的产品价值感知下，顾客有了更多的隐私服务需要，在长期的博弈下双方将倾向于达成隐私服务合作以满足各自的现实需求。

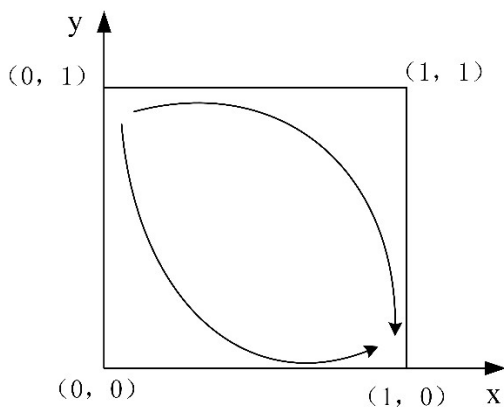


图 5-3 策略(O,N-T)演化图

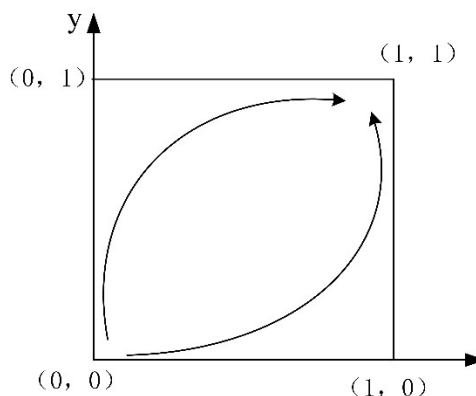


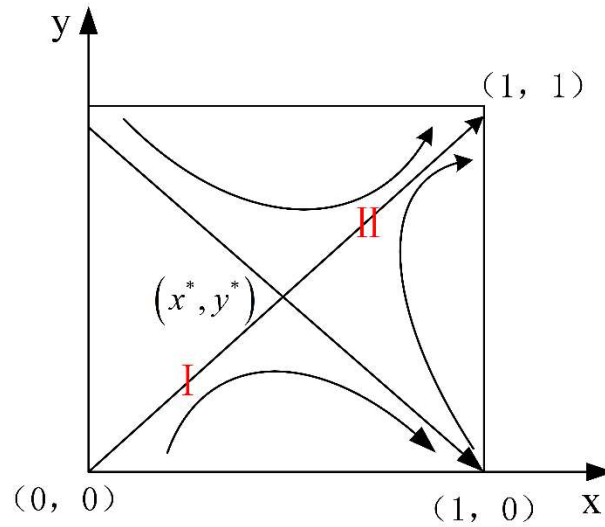
图 5-4 策略(O,T)演化图

表 5-5 均衡点的稳定性分析

均衡点	$det(J)$	$tr(J)$	稳定性	条件
(0,0)	+	+	不稳定	N/A
(1,0)	+	-	ESS	$0 < v < \frac{p_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)p_{(O,T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O,T)}^* - \alpha_2(\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta)\alpha_2}$
(0,1)	+	+	不稳定	N/A
(1,1)	+	-	ESS	$v > \frac{p_{(O,N-T)}^* - (1+\alpha_2)p_{(O,T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O,T)}^* - \alpha_2(\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta)\alpha_2}$
(x^*, y^*)	N/A	0	鞍点	任意条件下均为鞍点

注：演化稳定策略（ESS）

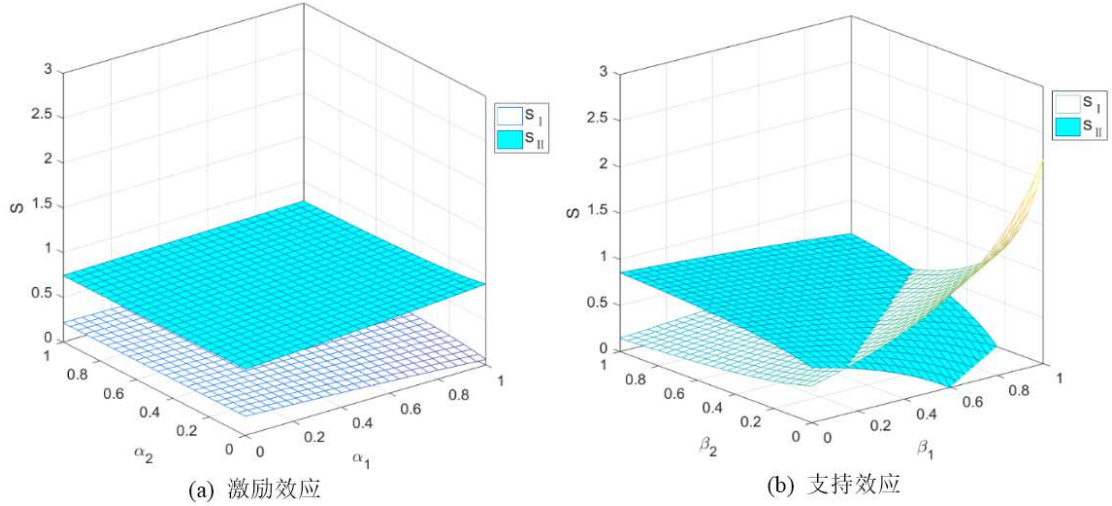
5.4.3 激励及支持效应对演化稳定策略的影响

图 5-5 $x = x^*, y = y^*$ 演化图

由图 5-5 可知，鞍点 (x^*, y^*) 处双方的演化稳定策略为 (O, T) 和 $(O, N-T)$ ，其演化趋势取决于区域I和II的面积，即 $S_I = \frac{1}{2}(x^* + y^*)$ ， $S_{II} = \frac{1}{2}(2 - x^* - y^*)$ 。故通过分析激励效应和支持效应对两区域面积的影响推断双方在不同情形下的演化稳定趋势。结合本研究研究实际，令 $r = 0.5$ ， $k = 0.5$ ， $\theta = 0.5$ 。参考 Liu 等人^[35]的参数设置，各策略集的参数赋值情况如表 5-6 所示。

表 5-6 参数赋值

策略		赋值	
策略 (O, T)	$\mu_{(O, T)} = 2$	$\varepsilon_{(O, T)} = 4$	$v_{(O, T)} = 4$
策略 $(O, N-T)$	$\mu_{(O, N-T)} = 1$	$\varepsilon_{(O, N-T)} = 2$	$v_{(O, N-T)} = 2$
策略 $(N-O, j)$	N/A	$\varepsilon_{(N-O, j)} = 1$	$v_{(N-O, j)} = 1$


 图 5-6 α , β 对两区域面积的影响

从图 5-6 可以看出，在激励效应 α 的定义域中， $S_{II} > S_I$ 。这表明，双方长期博弈下的演化稳定策略有更高的概率向点 (1,1) 处演进，即双方的演化稳定策略为 (O, T) 。此时，全渠道零售商更倾向于提供隐私增值服务，从而树立自身隐私友好的企业形象和声誉，培养用户的信任和忠诚度。顾客也愿意积极响应企业的隐私服务承诺，在长期视角下，双方将建立良性的隐私合作关系。

其次，支持效应 β 对于双方的均衡策略有着更加复杂的影响。即当 $\beta_2 > \beta_1$ 时， $S_{II} > S_I$ ；当 $\beta_1 > \beta_2$ 时， $S_I > S_{II}$ 。这表明当支持效应 β_2 较高时，双方长期博弈下的均衡策略有更高的概率向 (1,1) 处演进，双方选择策略 (O, T) 的概率更高。反之则更有可能向 (1,0) 处演进。因此，越多消费者接受隐私增值服务，这将支持全渠道零售商不断改善业务运营并促进销售增长，同时能更加充分了解客户的偏好和需求，不断优化产品设计及隐私服务模式，提高业务运营效率和效益。由此得到推测 5。

推测 5 激励效应 α 推动双方在长期博弈下有更高的概率采取策略 (O, T) ，当支持效应 $\beta_2 > \beta_1$ 时，双方更有可能采取策略 (O, T) ，反之更可能采取策略 $(O, N-T)$ 。

在此，进一步细化不同策略的激励效应和支持效应的值域范围以更加贴近市

场实践。假定 $0 < \alpha_1 < \alpha_2 < 1$ ， $0 < \beta_1 < \beta_2 < 1$ 。其中， $\alpha_1, \beta_1 \in (0, 0.5)$ ， $\alpha_2, \beta_2 \in (0.5, 1)$ 。图 7 和图 8 展示了激励及支持效应在不同取值条件下对两区域面积的影响。

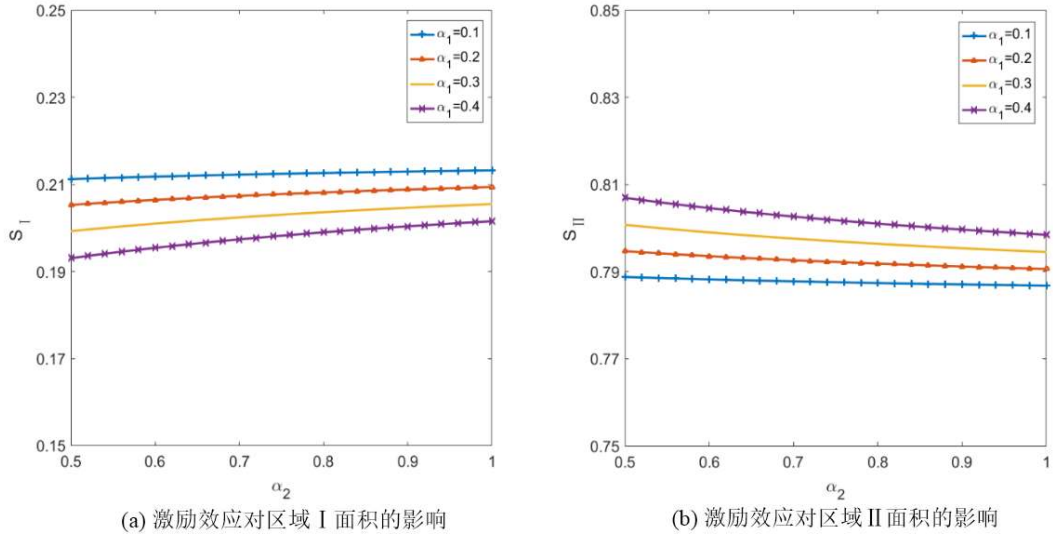
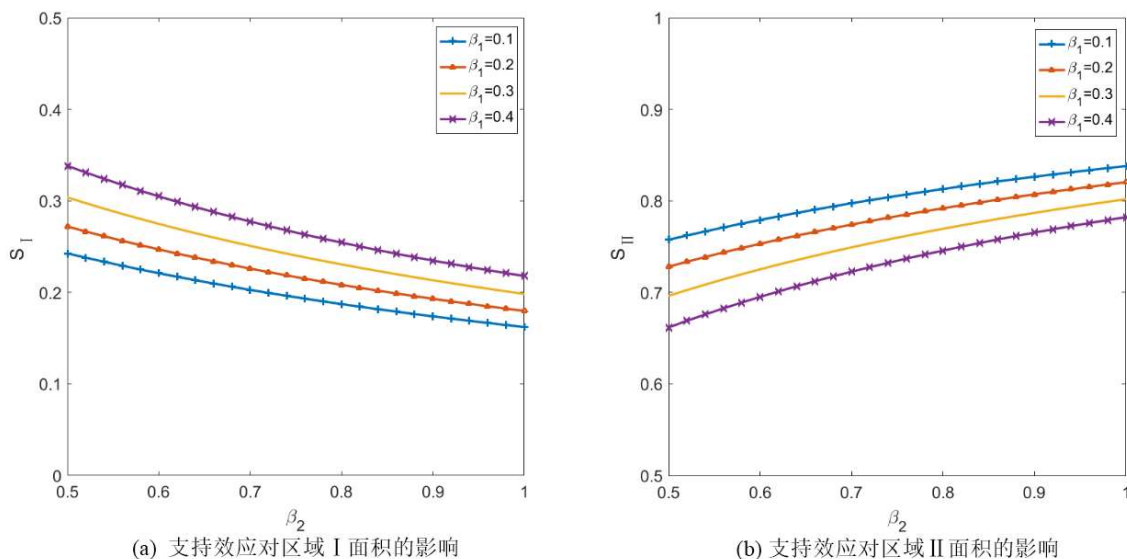


图 5-7 α 对两区域面积的影响 ($\beta_1=0.2$, $\beta_2=0.8$)

显然， S_I 与 α_1 负相关，与 α_2 正相关。 S_{II} 与 α_2 负相关，与 α_1 正相关。这表明随着 α_2 的增加，双方倾向于采取策略 (O, T) 。具体地， α_1 有助于提升策略 (O, T) 的发生概率，但会使策略 $(O, N-T)$ 的概率有所降低。总的来说，从图 7 能够发现激励效应有助于提升双方采取不同策略的概率，在长期博弈下双方的均衡策略 (O, T) 发生的可能性更高。因此，全渠道零售商要重视隐私增值服务的激励效应，这将有助于改善消费者对其服务承诺的认知，从而有更大可能推动顾客参与隐私服务合作。由此得到推测 6。

推测 6 S_I 与 α_1 负相关，与 α_2 正相关。 S_{II} 与 α_2 负相关，与 α_1 正相关。激励效应 α_1 有助于提升策略 (O, T) 的发生概率，但会使策略 $(O, N-T)$ 的概率有所降低，长期博弈下双方倾向于采取策略 (O, T) 。

图 5-8 β 对两区域面积的影响 ($\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.8$)

由图 5-8 可知, S_I 与 β_2 负相关, 与 β_1 正相关。 S_{II} 与 β_1 负相关, 与 β_2 正相关。这表明随着 β_2 的增加, 双方同样更倾向于采取策略 (O, T) 。 β_1 有助于提升策略 $(O, N-T)$ 的发生概率, 但其对策略 (O, T) 概率有一定的削弱。因此, 这同样反映了支持效应对于双方在长期博弈下采取合作战略的积极影响。这将有力地支持全渠道零售商提供个性化的服务体验, 提升客户跨渠道购物的一致性。其次, 双方所达成的良性的隐私互动提高了消费过程中数据的安全利用, 更强化了企业数据挖掘和市场分析能力。这将推动全渠道零售商不断提升市场竞争力和企业的隐私保护声誉。由此总结得到推测 7。

推测 7 S_I 与 β_2 负相关, 与 β_1 正相关。 S_{II} 与 β_1 负相关, 与 β_2 正相关。支持效应 β_1 有助于提升策略 $(O, N-T)$ 的发生概率, 但其对策略 (O, T) 概率有一定的削弱, 长期博弈下双方同样倾向采取策略 (O, T) 。

5.5 本章小结

本章构建了一个由全渠道零售商和消费者组成的非线性约束优化模型, 从理论上分析了双方在销售互动过程中的最佳行动策略。在此基础上, 利用演化博弈理论分析了双方在动态视角下的长期均衡策略, 以及隐私服务的激励及支持效应对演化稳定策略的影响。所获得的结论具有启发性:

首先，提供隐私增值服务有助于全渠道零售商实现更高的市场定价，顾客的隐私关切及购买溢出是影响企业收益的积极因素，提供隐私服务势在必行。其次，消费者对隐私风险价值的评估影响零售商最优市场策略的选择。静态视角下，双方完全合作时的隐私服务能力更强，但不完全合作下的全渠道收益表现更好。第三，动态视角下消费者的产品价值感知影响双方合作策略的选择，长期博弈下的激励效应和支持效应更有可能驱动双方选择完全合作策略。

第6章 总结与展望

6.1 全文总结

互联网的出现颠覆了实体零售业的持久主导地位^[73]。这种模式的转变现已得到业界和学术界的广泛认可^[74]。与此同时，隐私问题也迫使监管机构倡导提高企业的透明度。对于传统零售商来说，如何在有效管理成本的同时拓展全渠道零售是一个多方面的难题。本研究通过将消费者对隐私的关注纳入全渠道零售商的决策过程来应对这一挑战。由于消费者的购买效用在不同销售期的波动，各种目标约束给最优决策带来了限制。本研究采用非线性优化模型，为不同零售商制定全渠道战略提供了初步见解。本文主要结论如下：

在第三章中，研究认为商品的隐私属性显著影响全渠道定价。具体来说，隐私属性高的商品定价更高，但受众更少。该种商品有利于全渠道企业在全价期实现盈利。相应地，低隐私价值的商品定价更加灵活。这是零售商实现整体收益的最佳保障。其次，逐利型用户是折扣期的消费主力，而隐私关切用户更倾向于在全价期消费。这是因为逐利型消费者青睐促销和低价，而忽视潜在的隐私风险。隐私敏感型消费者则更希望在全价期获得完备的隐私保护。最后，用户的逐利或隐私关切行为是企业利润的正向因素，能够为企业带来盈利。

在第四章中，研究发现所有类型的零售商在不同销售阶段的最佳运营策略均受到单位隐私投资成本的限制。隐私关切影响全渠道定价，因此在不同购买阶段提供适当的隐私服务势在必行。其次，零售商在用户隐私关切较低时拥有更强的隐私服务能力。折扣期是市场扩张和树立品牌信任的关键阶段。此外，BOPS 渠道的购买溢出效应和交叉销售收益改善了所有零售商的盈利。值得注意的是，过高的交叉销售收益可能会导致全渠道零售商在全价期的渠道管理失衡，且全渠道零售商在市场上的表现明显优于传统的双渠道零售商。

在第五章，研究发现对于全渠道零售商，提供隐私增值服务有助于其强化市场定价，用户的隐私关切及购买溢出是影响收益的积极因素。其次，消费者对隐私风险和价值的判断会左右零售商最优市场策略的选择。静态视角下，双方完全合作时的隐私服务能力更强，但不完全合作下的全渠道收益表现更好。最后，长期来看，用户产品价值感知会影响双方的合作策略，长期博弈下的激励效应和支持效应将推动双方达成完全合作。

基于此，本文提出如下管理建议：

首先，本文建议参与全渠道销售的单渠道零售商应关注客户的消费偏好和隐私习惯。及时响应他们的服务需求，面向市场提供更多个性化的促销和隐私增值服务。此外，鼓励零售商对各种隐私敏感产品进行合理分类，并匹配合适的价格，提供适当的促销或隐私保护服务。这将有助于提高企业的盈利能力，强化全渠道运营。

其次，零售商应在折扣期间优先考虑隐私问题，并通过提供良好的隐私体验来促进信任。建立积极的隐私关系需要各方持续地参与，而折扣期对于消费者探索新的销售渠道和确立初步印象至关重要。重要的是，折扣期是展示企业隐私保护承诺的关键阶段。因此，零售商应向消费者全面、详细地介绍其隐私服务战略，并提供个性化的隐私服务，以表达对消费者隐私的尊重。消费者愿意分享个人信息，以换取预期的利益，如便利或折扣。传统双渠道零售商应积极拓展 BOPS 渠道，支持其全渠道零售转型，而全渠道零售商则必须善于管理渠道，审慎投入运营资源，以缓解市场运作规范阶段各渠道销售失衡的问题。

最后，全渠道零售商要充分认识隐私保护的战略价值，制定透明、安全及合规的隐私政策。以数据利用最小化为原则，采取合理的技术和组织措施收集必要信息并进行匿名化或脱敏处理。与此同时，赋予消费者充分的数据控制权限，使其能够自主选择撤销授权或删除数据。此外，要加强市场调研分析，及时响应客户隐私需求，建立有效的沟通反馈机制以增强企业市场声誉和用户的信任。

作为服务的接受方，消费者应选择具有良好隐私声誉和服务稳定性的企业作为长期的隐私服务的合作伙伴。其次，要充分阅读隐私政策以了解个人所享有的隐私控制权限和服务反馈渠道。通过定期检查个人隐私权限设置和企业的隐私策略的更新，确保其符合个人隐私保护需要。最终使双方在长期博弈下达成最佳的隐私合作意向。

6.2 研究展望

本研究在一定意义上丰富了全渠道零售定价-促销机制的研究^[66]，并进一步探讨了顾客策略行为的影响^[64]。然而，本文尚存在一定的研究局限有待进一步延伸。

首先,在文中的各决策模型中,均将消费者的行为进行了标准化处理。然而,现实生活中他们的最佳行动策略是基于个人的喜好和性格特征所决定,因此可以考虑引入心理学领域中有关失望厌恶理论,以此进一步刻画用户的行为并采用实证方式调查用户的消费偏好。

其次,本文没有深入探讨市场上存在多家相互竞争的全渠道零售商的情形。未来的研究可以探讨竞争企业之间的隐私保护对市场决策的影响,以及竞争企业间的契约协调策略。此外,未来还可以考虑进一步引入政府监管,在市场信息对称及不对称情形下构建三方演化博弈模型,以此分析均衡策略的演进方向。

参考文献

- [1] Bansal V, Bisi A, Roy D, et al. Integrated inventory replenishment and online demand allocation decisions for an omnichannel retailer with ship-from-store strategy[J]. *European Journal of Operational Research*, 2024, 316(3): 1085-1100.
- [2] Du S, Wang L, Hu L. Omnichannel management with consumer disappointment aversion[J]. *International Journal of Production Economics*, 2019,215:84-101.
- [3] 严成. 人民网评: 维护网络安全、保护个人信息, 滴滴须牢记! [EB/OL]. <http://opinion.people.com.cn/n1/2022/0721/c1003-32482422.html>.
- [4] Puig A. GoodRx's not-so-good privacy practices come to light[EB/OL]. <https://consumer.ftc.gov/consumer-alerts/2023/02/goodrxs-not-so-good-privacy-practices-come-light>.
- [5] Kharpal A. Meta fined a record \$1.3 billion over EU user data transfers to the U.S.[EB/OL]. (2023-05-22)<https://www.cnbc.com/2023/05/22/meta-fined-record-1point3-billion-over-eu-user-data-transfers-to-the-us-.html#:~:text=Meta%20has%20been%20fined%20a%20record%201.2%20billion,it%20would%20appeal%20the%20decision%20and%20the%20fine>.
- [6] Sides R, Marsh M, Goldberg R, et al. Consumer Privacy in Retail: The Next Regulatory and Competitive Frontier[J]. Deloitte Development,, LLC, 2019.
- [7] Chiang W K, Chhajed D, Hess J D. Direct Marketing, Indirect Profits: A Strategic Analysis of Dual-Channel Supply-Chain Design[J]. *Management Science*, 2003,49(1):1-20.
- [8] 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.
- [9] Lehrer C, Trenz M. Omnichannel Business[J]. *Electronic Markets*, 2022,32(2):687-699.
- [10] Feng Y, Zhang J, Feng L, et al. Benefit from a high store visiting cost in an omnichannel with BOPS[J]. *Transp Res E Logist Transp Rev*, 2022,166:102904.
- [11] Liu Y, Xiao Y, Dai Y. Omnichannel retailing with different order fulfillment and return options[J]. *International Journal of Production Research*, 2023,61(15):5053-5074.
- [12] 刘会新, 黄艳丹. 全渠道供应链中的退货路径[J]. *系统工程*, 2021,39(03):80-89.
- [13] Li G, Zhang T, Tayi G K. Inroad into omni-channel retailing: Physical showroom deployment of an online retailer[J]. *European Journal of Operational Research*, 2020,283(2):676-691.
- [14] 刘金荣, 徐琪. 全渠道零售下“Showrooms”对需求分布、定价和收益的影响研究[J]. *中国管理科学*, 2019,27(12):88-99.
- [15] Lin X, Zhou Y, Hou R. Impact of a “Buy-online-and-pickup-in-store” Channel

- on Price and Quality Decisions in a Supply Chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021,294(3):922-935.
- [16] 朱明. 考虑用户退货的双渠道供应链定价决策研究[D]. 安徽工程大学, 2023.
- [17] 王淑玉. 全渠道零售系统的无缺陷产品交叉退货策略研究[D]. 青岛理工大学, 2023.
- [18] 周雅莉,林锐,程晋石.考虑退货和隐私关切的全渠道零售商定价与个性化推荐决策研究[J/OL].重庆文理学院学报(社会科学版),1-16[2024-05-07].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1182.C.20240131.1114.002.html>.
- [19] 马守宇,梁艳青,娄鹏辉,等.BOPS模式下考虑退货异质性及需求随机性的订购决策及供应链协调研究[J/OL].中国管理科学,1-18[2024-05-07].<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0522>.
- [20] He Y, Xu Q, Wu P. Omnichannel retail operations with refurbished consumer returns[J]. *International Journal of Production Research*, 2019,58(1):271-290.
- [21] Hosseini-Motlagh S, Choi T, Johari M, et al. A profit surplus distribution mechanism for supply chain coordination: An evolutionary game-theoretic analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2022,301(2):561-575.
- [22] Zhou Y, Zhang X, Zhong Y, et al. Dynamic pricing and cross-channel fulfillment for omnichannel retailing industry: An approximation policy and implications[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2021,156.
- [23] 葛晨晨,朱建军.考虑异质性顾客多重交互行为的全渠道竞争策略研究[J].系统工程理论与实践,2023,43(05):1395-1413.
- [24] Li Z, Wang D, Yang W, et al. Price, online coupon, and store service effort decisions under different omnichannel retailing models[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2022,64.
- [25] 李宗活,杨文胜,刘晓红,等.全渠道零售企业在线投放优惠券的渠道整合策略[J].系统工程理论与实践,2020,40(03):630-640.
- [26] 纪雅杰,马德青,胡劲松.供应商管理库存下基于消费者行为偏好的全渠道运营策略[J].中国管理科学,2021,29(01):82-96.
- [27] 吴晓志,曹细玉,陈宏.考虑服务水平的全渠道供应链运行模式比较研究[J].数学的实践与认识,2020,50(02):104-110.
- [28] 郭文源.考虑直播因素的全渠道零售商定价决策研究[D].南昌大学,2023.
- [29] Chenavaz R, Klibi W, Schlosser R. Dynamic pricing with reference price effects in integrated online and offline retailing[J]. *International Journal of Production Research*, 2021,60(19):5854-5875.
- [30] 牟玉霞,关志民,赵莹,等.风险规避型全渠道零售商多周期产品组合与库存联合优化[J].管理工程学报,2023,37(06):212-226.
- [31] Chen Y, Xiong H, Chen Y. Should traditional retailers function as pre-warehouses of online retailers?[J]. *International Journal of Production Research*, 2020,59(5):1476-1495.
- [32] Acquisti A, Varian H R. Conditioning Prices on Purchase History[J]. *Marketing Science*, 2005,24(3):367-381.

- [33] Du S, Wang L, Hu L. Omnichannel management with consumer disappointment aversion[J]. *International Journal of Production Economics*, 2019,215:84-101.
- [34] Patel P C, Oghazi P, Arunachalam S. Does consumer privacy act influence firm performance in the retail industry? Evidence from a US state-level law change[J]. *Journal of Business Research*, 2023,162.
- [35] Liu J, Ai S, Du R, et al. Analysis of commodity traceability service effects on the purchase behavior of consumers using an evolutionary game model[J]. *Data Science and Management*, 2022,5(4):175-186.
- [36] Hafezalkotob A, Nersesian L, Fardi K. A policy-making model for evolutionary SME behavior during a pandemic recession supported on game theory approach[J]. *Comput Ind Eng*, 2023,177:108975.
- [37] 杨海芳, 王明征. 基于最小化信息损失的用户隐私保护方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2021,41(02):483-497.
- [38] 陈荣, 龚本刚, 程晋石, 等. 不同回收模式下用户隐私关切对闭环供应链决策的影响[J]. *系统科学与数学*, 2022,42(03):659-675.
- [39] 陈荣. 考虑用户隐私关切的电子产品回收再制造的渠道决策优化研究[D]. 安徽工程大学, 2022.
- [40] 沈月, 仲伟俊, 梅姝娥. 消费者信息隐私保护对企业定价策略的影响[J]. *系统工程理论与实践*, 2022,42(02):368-381.
- [41] 刘百灵, 杨世龙, 李延晖. 隐私偏好设置与隐私反馈对移动商务用户行为意愿影响及交互作用的实证研究[J]. *中国管理科学*, 2018,26(08):164-178.
- [42] Cheah J, Lim X, Ting H, et al. Are privacy concerns still relevant? Revisiting consumer behaviour in omnichannel retailing[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2022,65.
- [43] Song Z, Cheng J. Omnichannel expansion for traditional retailers: Considering consumers' privacy concerns[J]. *Managerial and Decision Economics*, 2023,44(7):3997-4010.
- [44] Gu J, Tian J, Xu Y C. Private or not? The categorical differences in mobile users' privacy decision-making[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2022,52.
- [45] 綦勇, 侯泽敏, 曹金霞. 差异化隐私数据保护政策下的厂商数据利用策略研究[J]. *中国管理科学*, 2023.
- [46] Ko T, Lee J, Park D, et al. Supply chain transparency as a signal of ethical production[J]. *Managerial and Decision Economics*, 2023,44(3):1565-1573.
- [47] Afèche P, Araghi M, Baron O. Customer Acquisition, Retention, and Service Access Quality: Optimal Advertising, Capacity Level, and Capacity Allocation[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2017,19(4):674-691.
- [48] 卢珈璟. 基于社会交换理论的社交媒体口碑发布研究[D]. 大连理工大学, 2018.
- [49] 刘晓丹. 角色视角下社交媒体用户潜水机制研究[D]. 大连理工大学, 2020.

- [50] Chen S, Wang W, Wen X, et al. Smart services and privacy, can we have both?[J]. *International Journal of Production Research*, 2023:1-15.
- [51] Johnson G A, Shriver S K, Du S. Consumer Privacy Choice in Online Advertising: Who Opts Out and at What Cost to Industry?[J]. *Marketing Science*, 2020,39(1):33-51.
- [52] Liu W, Long S, Xie D, et al. How to govern the big data discriminatory pricing behavior in the platform service supply chain?An examination with a three-party evolutionary game model[J]. *International Journal of Production Economics*, 2021,231.
- [53] Bleier A, Goldfarb A, Tucker C. Consumer privacy and the future of data-based innovation and marketing[J]. *International Journal of Research in Marketing*, 2020,37(3):466-480.
- [54] Wan Q, Yang S, Shi V, et al. Optimal strategies of mobile targeting promotion under competition[J]. *International Journal of Production Economics*, 2021,237.
- [55] Vhatkar M S, Raut R D, Gokhale R, et al. A glimpse of the future sustainable digital omnichannel retailing emerges - A systematic literature review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024,442:141111.
- [56] Hossain T M T, Akter S, Kattiyapornpong U, et al. Reconceptualizing Integration Quality Dynamics for Omnichannel Marketing[J]. *Industrial Marketing Management*, 2020,87:225-241.
- [57] Thaichon P, Quach S, Barari M, et al. Exploring the Role of Omnichannel Retailing Technologies: Future Research Directions[J]. *Australasian Marketing Journal*, 2023:1596693840.
- [58] Sharma N, Fatima J K. Influence of perceived value on omnichannel usage: Mediating and moderating roles of the omnichannel shopping habit[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2024,77:103627.
- [59] Verhoef P C, Kannan P K, Inman J J. From Multi-Channel Retailing to Omnichannel Retailing[J]. *Journal of Retailing*, 2015,91(2):174-181.
- [60] Markowitz H M. Foundations of portfolio theory[J]. *The journal of finance*, 1991,46(2):469-477.
- [61] Smith J M. The theory of games and the evolution of animal conflicts[J]. *Journal of theoretical biology*, 1974,47(1):209-221.
- [62] Smith J M, Price G R. The logic of animal conflict[J]. *Nature*, 1973,246(5427):15-18.
- [63] Wu Z, Luo J. Online information privacy and price: A theoretical model and empirical tests[J]. *Information & Management*, 2022,59(2).
- [64] Lin Y, Parlaktürk A K, Swaminathan J M. Are Strategic Customers Bad for a Supply Chain?[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2018,20(3):481-497.
- [65] Papanastasiou Y, Savva N. Dynamic Pricing in the Presence of Social Learning and Strategic Consumers[J]. *Management Science*, 2017,63(4):919-939.
- [66] Li Z, Wang D, Yang W, et al. Price, online coupon, and store service effort

- decisions under different omnichannel retailing models[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2022,64.
- [67] Feng Y, Zhang J, Feng L, et al. Benefit from a high store visiting cost in an omnichannel with BOPS[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2022,166:102904.
- [68] 李建斌, 郭培强, 陶智颖. 双边收益共享与两部收费契约下的全渠道协调策略[J]. *系统工程理论与实践*, 2021,41(11):2887-2901.
- [69] PwC. Personalize the experience to improve consumer privacy[EB/OL]. <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/cybersecurity/consumer-privacy-experience.html>.
- [70] Anant V, Donchak L, Kaplan J, et al. The consumer-data opportunity and the privacy imperative[J]. Retrieved from McKinsey website: <https://www.mckinsey.com/business-functions/risk-and-resilience/our-insights/the-consumer-data-opportunity-and-the-privacy-imperative>, 2020.
- [71] Tsai J Y, Egelman S, Cranor L, et al. The Effect of Online Privacy Information on Purchasing Behavior: An Experimental Study[J]. *Information Systems Research*, 2011,22(2):254-268.
- [72] Shao X. Omnichannel retail move in a dual-channel supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021,294(3):936-950.
- [73] 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.
- [74] Park J, Dayarian I, Montreuil B. Showcasing optimization in omnichannel retailing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021,294(3):895-905.

附录

1-1-1 证明命题1

由于 $p_1 > 0, \gamma > 0$, 我们仅讨论以下三种情形: ① $\eta_1 = \eta_2 = 0$, ② $\eta_1 = 0, \eta_2 > 0$ ③

$\eta_1 > 0, \eta_2 = 0$.

Karush-Kuhn-Tucker 条件为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L_1}{\partial p_1} = a\beta + k\beta\gamma + \frac{1}{2}v\beta\gamma^2 - 2k\beta p_1 - \eta_1 - \eta_2 \leq 0 \\ \frac{\partial L_1}{\partial \gamma} = -\frac{1}{2}\beta(2a + 3v\gamma^2) + \beta(k + v\gamma)p_1 + \eta_1 + \left(2 - \frac{v\gamma}{k}\right)\eta_2 \leq 0 \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_1} = v + \gamma - p_1 \leq 0 \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_2} = \frac{-k^2 + 4kv\gamma - v^2\gamma^2}{2kv} - p_1 \leq 0 \\ p_1 \left(a\beta + k\beta\gamma + \frac{1}{2}v\beta\gamma^2 - 2k\beta p_1 - \eta_1 - \eta_2 \right) = 0 \\ \gamma \left(-\frac{1}{2}\beta(2a + 3v\gamma^2) + \beta(k + v\gamma)p_1 + \eta_1 + \left(2 - \frac{v\gamma}{k}\right)\eta_2 \right) = 0 \\ \eta_1(v + \gamma - p_1) = 0 \\ \eta_2 \left(\frac{-k^2 + 4kv\gamma - v^2\gamma^2}{2kv} - p_1 \right) = 0 \\ p_1 > 0, \gamma > 0, \eta_1, \eta_2 \geq 0 \end{array} \right.$$

当 $p_1 > 0, \gamma > 0, \eta_1 = \eta_2 = 0$ 时, 解得:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{3k^2 + 2av}{4kv} \\ \gamma = \frac{k}{v} \end{array} \right. \text{ 或 } \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{k - \sqrt{k^2 - 2av}}{v} \\ \gamma = \frac{k - \sqrt{k^2 - 2av}}{v} \end{array} \right. \text{ 或 } \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{k + \sqrt{k^2 - 2av}}{v} \\ \gamma = \frac{k + \sqrt{k^2 - 2av}}{v} \end{array} \right. \text{ 代入利润函数得:}$$

$$\pi_1 = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{16kv^2} \text{ 或 } \pi_1 = 0. \text{ 故 } \pi_1 = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{16kv^2}.$$

当 $p_1 > 0, \gamma > 0, \eta_1 = 0, \eta_2 > 0$ 时, 解得:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{k}{v} \\ \gamma = \frac{k}{v} \end{array} \right. \text{ 或 } \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{1}{8} \left(\frac{2a}{k} + \frac{7kv - 4\sqrt{v^2(k^2 - 2av)}}{v^2} \right) \\ \gamma = \frac{2kv - \sqrt{v^2(k^2 - 2av)}}{2v^2} \end{array} \right. \text{ 或 } \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{1}{8} \left(\frac{2a}{k} + \frac{7kv + 4\sqrt{v^2(k^2 - 2av)}}{v^2} \right) \\ \gamma = \frac{2kv + \sqrt{v^2(k^2 - 2av)}}{2v^2} \end{array} \right.$$

代入利润函数解得: $\pi_1 = 0$ 或 $\pi_1 = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{32kv^2}$ 。因此, $\pi_1 = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{32kv^2}$ 。

当 $p_1 > 0, \gamma > 0, \eta_1 > 0, \eta_2 = 0$ 时, 解得: $\left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{k+v^2}{v} \\ \gamma = \frac{k}{v} \end{array} \right.$ 代入求得

$$\pi_1 = -\frac{1}{2}(k^2 - 2av + 2kv^2)\beta$$

综上所述,对比各情形下利润函数的极大值,即可得到 $\pi_{1\max} = \frac{(k^2 - 2av)^2 \beta}{16kv^2}$ 。此

$$\text{时, } \left\{ \begin{array}{l} p_1^* = \frac{3k^2 + 2av}{4kv} \\ \gamma^* = \frac{k}{v} \end{array} \right.。$$

证毕。

1-1-2 证明推论 1

最优定价 p_1^* 对隐私价值因子的一阶偏导数 k 为:

$$\frac{\partial p_1^*}{\partial k} = \frac{3k^2 - 2av}{4k^2v}$$

当 $\frac{\partial p_1^*}{\partial k} > 0$ 时, 解得: $k < -\sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 或 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 。由于 $k > 0$, 故 $k > \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{av}$ 。

同理可证推论 2 ~ 6。

证毕。

1-1-3 证明命题 2

与第 3.2.1 节类似，利润函数需满足以下约束 $U_s > 0, p_t > 0, \gamma > 0$ 。零售商的利润模型如下：

$$\begin{aligned} \max \pi_2(p_2, \lambda) &= (1-\beta)D_2(p_2 - \lambda) = (1-\beta) \left[\theta a - k p_2 + \frac{1}{2}(v+c)\lambda^2 \right] (p_2 - \lambda) \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \theta v - p_2 + \lambda c > 0 \\ p_2 > 0, \lambda > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

第一项和第二项分别代表战略消费者份额和全价期的市场表现。最后一项是每单位商品的净收入。其 Hessian 矩阵为：

$$\nabla^2 \pi_2(p_2, \lambda) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2^2} & \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2 \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial \lambda \partial p_2} & \frac{\partial^2 \pi_2}{\partial \lambda^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2k(1-\beta) & (1-\beta)[k+(c+v)\lambda] \\ (1-\beta)[k+(c+v)\lambda] & (c+v)(1-\beta)(p_2 - 3\lambda) \end{bmatrix}$$

显然， $\frac{\partial^2 \pi_2}{\partial p_2^2} = -2k(1-\beta) < 0$ 。仅在 $|\nabla^2 \pi_2(p, \lambda)| = (1-\beta)^2 \left(2k(c+v)(3\lambda - p_2) - (k+(c+v)\lambda)^2 \right) > 0$ 时，

该模型才是凸规划，解得 $p_2 < 2\lambda - \frac{k}{2(c+v)} - \frac{(c+v)\lambda^2}{2k}$ 。此时，存在一个严格意义

上的局部极大值点 (p_2^*, λ^*) 使得利润最大。此时零售商的利润模型为：

$$\begin{aligned} \max \pi_2(p_2, \lambda) &= (1-\beta)D_2 p_2 = (1-\beta) \left(\theta a - k p_2 + \frac{1}{2}c\lambda^2 \right) (p_2 - \lambda) \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \theta v - p_2 + \lambda c > 0 \\ p_2 < 2\lambda - \frac{k}{2(c+v)} - \frac{(c+v)\lambda^2}{2k} \\ p_2 > 0, \lambda > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

构造 Lagrange 函数

$$L_2 = \pi_2(p_2, \lambda) + \eta_1(\theta v - p_2 + \lambda c) + \eta_2 \left(2\lambda - \frac{k}{2(c+v)} - \frac{(c+v)\lambda^2}{2k} - p_2 \right)$$

Karush-Kuhn-Tucker 为：

$$\begin{cases}
 \frac{\partial L_2}{\partial p_2} = -\frac{1}{2}(-1+\beta)(2a\theta+2k\lambda+(c+v)\lambda^2)+2k(-1+\beta)p_2-\eta_1-\eta_2 \leq 0 \\
 \frac{\partial L_2}{\partial \lambda} = \frac{1}{2}(-1+\beta)(2a\theta+3(c+v)\lambda^2)-(-1+\beta)(k+(c+v)\lambda)p_2+c\eta_1+\frac{(2k-(c+v)\lambda)\eta_2}{k} \leq 0 \\
 \frac{\partial L_2}{\partial \eta_1} = \theta v - p_2 + \lambda c \leq 0 \\
 \frac{\partial L_2}{\partial \eta_2} = 2\lambda - \frac{k}{2(c+v)} - \frac{(c+v)\lambda^2}{2k} - p_2 \leq 0 \\
 p_2 \left(-\frac{1}{2}(-1+\beta)(2a\theta+2k\lambda+(c+v)\lambda^2)+2k(-1+\beta)p_2-\eta_1-\eta_2 \right) = 0 \\
 \lambda \left(\frac{1}{2}(-1+\beta)(2a\theta+3(c+v)\lambda^2)-(-1+\beta)(k+(c+v)\lambda)p_2+c\eta_1+\frac{(2k-(c+v)\lambda)\eta_2}{k} \right) = 0 \\
 \eta_1(\theta v - p_2 + \lambda c) = 0 \\
 \eta_2(2\lambda - \frac{k}{2(c+v)} - \frac{(c+v)\lambda^2}{2k} - p_2) = 0 \\
 p_2 > 0, \lambda > 0, \eta_1, \eta_2 \geq 0
 \end{cases}$$

当 $p_2 > 0, \lambda > 0, \eta_1 = \eta_2 = 0$ 时,解得:

$$\begin{cases} p_2 = \frac{3k}{4(c+v)} + \frac{a\theta}{2k} \\ \lambda = \frac{k}{c+v} \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} p_2 = \frac{k - \sqrt{k^2 - 2a(c+v)\theta}}{c+v} \\ \lambda = \frac{k - \sqrt{k^2 - 2a(c+v)\theta}}{c+v} \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} p_2 = \frac{k + \sqrt{k^2 - 2a(c+v)\theta}}{c+v} \\ \lambda = \frac{k + \sqrt{k^2 - 2a(c+v)\theta}}{c+v} \end{cases}$$

代入 $\pi_2(p_2, \lambda)$, 解得 $\pi_2 = \frac{(1-\beta)(k^2 - 2a(c+v)\theta)^2}{16k(c+v)^2}$ 或 $\pi_2 = 0$ (舍)。因此

$$\pi_2 = \frac{(1-\beta)(k^2 - 2a(c+v)\theta)^2}{16k(c+v)^2}.$$

当 $p_2 > 0, \lambda > 0, \eta_1 = 0, \eta_2 > 0$ 时,解得:

$$\begin{cases} p_2 = \frac{k}{c+v} \\ \lambda = \frac{k}{c+v} \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} p_2 = \frac{1}{8} \left(\frac{7k}{c+v} + \frac{2a\theta}{k} - \frac{4\sqrt{(c+v)^2(k^2 - 2a(c+v)\theta)}}{(c+v)^2} \right) \\ \lambda = \frac{2k(c+v) - \sqrt{(c+v)^2(k^2 - 2a(c+v)\theta)}}{2(c+v)^2} \end{cases} \text{ 或 }$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p_2 = \frac{1}{8} \left(\frac{7k}{c+v} + \frac{2a\theta}{k} + \frac{4\sqrt{(c+v)^2(k^2 - 2a(c+v)\theta)}}{(c+v)^2} \right) \\ \lambda = \frac{2k(c+v) + \sqrt{(c+v)^2(k^2 - 2a(c+v)\theta)}}{2(c+v)^2} \end{array} \right\} \text{代入 } \pi_2(p_2, \lambda) \text{ 解得: } \pi_2 = 0 \text{ (舍)}$$

$$\text{或 } \pi_2 = \frac{(1-\beta)(k^2 - 2a(c+v)\theta)^2}{32k(c+v)^2}. \text{ 因此, } \pi_2 = \frac{(1-\beta)(k^2 - 2a(c+v)\theta)^2}{32k(c+v)^2}.$$

当 $p_2 > 0, \lambda > 0, \eta_1 > 0, \eta_2 = 0$ 时, 解得:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_2 = \frac{2c^3k - 3v^2\theta + cv(-3+2v)\theta - 2c^2(k-v\theta) - c\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2}}{3(-1+c)(c+v)} \\ \lambda = -\frac{-2(-1+c)ck + v(c+v)\theta + \sqrt{4(-1+c)^2c^2k^2 + 2(-1+c)(c+v)(-3a(-1+c) + (-3+4c)kv)\theta + v^2(c+v)^2\theta^2}}{3(-1+c)(c+v)} \\ \pi_2 = \frac{A}{54(c+v)^2(-1+c)^2} \end{array} \right.$$

其中,

$$\begin{aligned} A = & 2(-1+\beta)(\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \\ & + 2ck - 2c^2k - 2cv\theta - 2v^2\theta)(-2c^2k^2 + 4c^3k^2 - 2c^4k^2 + 6ac\theta - 12ac^2\theta + 6ac^3\theta + 6av\theta - 12acv\theta + 6ac^2v\theta \\ & - 6ckv\theta + 10c^2kv\theta - 4c^3kv\theta - 6kv^2\theta + 10ckv^2\theta - 4c^2kv^2\theta + c^2v^2\theta^2 + 2cv^3\theta^2 + v^4\theta^2 \\ & - ck\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \\ & + c^2k\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \\ & + cv\theta\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \\ & + v^2\theta\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \end{aligned}$$

或

$$\left\{ \begin{array}{l} p_2 = \frac{2c^3k - 3v^2\theta + cv(-3+2v)\theta - 2c^2(k-v\theta) + c\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2}}{3(-1+c)(c+v)} \\ \lambda = \frac{2(-1+c)ck - v(c+v)\theta + \sqrt{4(-1+c)^2c^2k^2 + 2(-1+c)(c+v)(-3a(-1+c) + (-3+4c)kv)\theta + v^2(c+v)^2\theta^2}}{3(-1+c)(c+v)} \\ \pi_2 = \frac{B}{54(c+v)^2(-1+c)^2} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned} B = & 2(-1+\beta)(\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \\ & - 2ck + 2c^2k + 2cv\theta + 2v^2\theta)(2c^2k^2 - 4c^3k^2 + 2c^4k^2 - 6ac\theta + 12ac^2\theta - 6ac^3\theta - 6av\theta + 12acv\theta \\ & - 6ac^2v\theta + 6ckv\theta - 10c^2kv\theta + 4c^3kv\theta + 6kv^2\theta - 10ckv^2\theta + 4c^2kv^2\theta - c^2v^2\theta^2 - 2cv^3\theta^2 - v^4\theta^2 \\ & - ck\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} + \\ & c^2k\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} + \\ & cv\theta\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} + \\ & v^2\theta\sqrt{6(-1+c)(c+v)(a-ac+(-1+2c)kv)\theta + \frac{1}{4}(4(-1+c)ck - 2v(c+v)\theta)^2} \end{aligned}$$

综上，比较可得最大值为： $\pi_2 = \frac{(1-\beta)(k^2 - 2a(c+v)\theta)^2}{16k(c+v)^2}$ ，此时

$$\left\{ \begin{array}{l} p_2 = \frac{3k}{4(c+v)} + \frac{a\theta}{2k} \\ \lambda = \frac{k}{c+v} \end{array} \right.$$

证毕。

1-2-1 证明 4.1.2 节消费者各渠道效用

对于情形 c) 中的 v_{o-s} ：

当 $0 \leq p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon < \frac{\theta - \lambda_k}{m-h} \leq 1$ ($0 \leq \frac{\theta - \lambda_k}{m-h} < p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon \leq 1$) 时， $v_{o-s} \in \left(\frac{\theta - \lambda_k}{m-h}, 1 \right]$ 或

$v_{o-s} \in (p_k + \theta + \lambda - \varepsilon, 1]$ 。求解不等式得：

$$\begin{cases} \lambda_k < \theta < m-h+\lambda_k \\ \varepsilon-\theta+\lambda_k < p_k < \varepsilon-\theta+\lambda_k + \frac{\theta-\lambda_k}{m-h} \end{cases} \text{或} \begin{cases} \lambda_k < \theta < m-h+\lambda_k \\ \varepsilon-\theta+\lambda_k + \frac{\theta-\lambda_k}{m-h} < p_k < 1+\varepsilon-\theta+\lambda_k \end{cases}$$

整理即可得到情形 3~4。

证毕。

1-2-2 证明命题 3

构造 Lagrange 函数：

$$L_1 = \pi_1^T(p_1, \lambda_1) + \eta_1(p_1 + \theta - \lambda_1 - \varepsilon - \frac{\theta - \lambda_1}{m-h}) + \eta_2(1 + \varepsilon - \theta + \lambda_1 - p_1) + \eta_3(\theta - \lambda_1)$$

求得 Karush-Kuhn-Tucker 条件为：

$$\begin{cases} \frac{\partial L_1}{\partial p_1} = 1 - 2p_1 - \frac{2p_1}{h} - \frac{2p_1}{m} - r + \varepsilon - \theta - \frac{\theta}{m} + \frac{2\theta}{-h+m} + \lambda_1 + \frac{2\lambda_1}{h-m} + \frac{\lambda_1}{m} + \eta_1 - \eta_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \lambda_1} = p_1 + \frac{(h+m)p_1}{(h-m)m} + r - \lambda_1\mu + \left(-1 + \frac{1}{-h+m}\right)\eta_1 + \eta_2 - \eta_3 \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_1} = p_1 - \varepsilon + \theta - \frac{\theta - \lambda_1}{-h+m} - \lambda_1 \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_2} = 1 - p + \varepsilon - \theta + \lambda_1 \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_3} = \theta - \lambda_1 \leq 0, \\ p_1 \left(1 - 2p_1 - \frac{2p_1}{h} - \frac{2p_1}{m} - r + \varepsilon - \theta - \frac{\theta}{m} + \frac{2\theta}{-h+m} + \lambda_1 + \frac{2\lambda_1}{h-m} + \frac{\lambda_1}{m} + \eta_1 - \eta_2\right) = 0, \\ \lambda_1 \left(p_1 + \frac{(h+m)p_1}{(h-m)m} + r - \lambda_1\mu + \left(-1 + \frac{1}{-h+m}\right)\eta_1 + \eta_2 - \eta_3\right) = 0, \\ \eta_1(p_1 - \varepsilon + \theta - \frac{\theta - \lambda_1}{-h+m} - \lambda_1) = 0, \\ \eta_2(1 - p + \varepsilon - \theta + \lambda_1) = 0, \\ \eta_3(\theta - \lambda_1) = 0, \\ p_1 > 0, \lambda_1 > 0, \eta_i > 0, (i=1,2,3). \end{cases}$$

当 $p_1 > 0, \lambda_1 > 0, \eta_i = 0, (i=1,2,3)$ 时，解得：

$$\begin{cases} p_1 = \frac{h(h-m)m(-(h+m+hm-m^2)r + (h-m)m(-1+r-\varepsilon)\mu + (h+m+hm-m^2)\theta\mu)}{h(h+m+hm-m^2)^2 - 2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu} \\ \lambda_1 = \frac{2m^4r - 2h^2m(m(r+m(1+r+\varepsilon-\theta)) + \theta) + h(-1+m)m^2(m(1+r+\varepsilon-\theta) + \theta) + h^3(1+m)(m(1+r+\varepsilon) - (1+m)\theta)}{2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu - h(h+m+hm-m^2)^2} \end{cases}$$

将其代入 $\pi_1(p_1, \lambda_1)$ 得: $\pi_1^T(p_1, \lambda_1) = \frac{A}{\left(-2h(h+m+hm-m^2)^2 + 4(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu\right)}$

其中

$$\begin{aligned} A = & 2m^4 r(r+2(1+\varepsilon-\theta)\mu) + 2h^2 m \left(-r(2+mr+2\varepsilon) - 2mr(1+\varepsilon-\theta)\mu - m^2(1+r+\varepsilon-\theta)^2 \mu + \theta^2 \mu \right) + \\ & hm^2 \left(2(-1+m)r(1+\varepsilon) + \left(m^2(1+r+\varepsilon-\theta)^2 + \theta^2 + 2m(-2r(1+\varepsilon) + (1+r+\varepsilon)\theta - \theta^2) \right) \mu \right) + \\ & h^3 \left(-2(1+m)r(1+\varepsilon) + \left(m^2(1+r+\varepsilon-\theta)^2 + \theta^2 + 2m(2r(1+\varepsilon) - (1+r)\theta + \theta^2) \right) \mu \right) \end{aligned}$$

除 $p_1 > 0$, $\lambda_1 > 0$, $\eta_i = 0$, ($i=1,2,3$) 外, 方程组无解。综上所述, 我们得到最优解如命题 3 所示。

证毕。

1-2-3 证明命题 4

构造 Lagrange 函数:

$$L_2 = \pi_2^T(p_2, \lambda_2) + \eta_1(p_2 + \theta - \lambda_2 - \varepsilon) + \eta_2(\varepsilon - \theta + \lambda_2 + \frac{\theta - \lambda_2}{m - h} - p_2) + \eta_3(\theta - \lambda_2)$$

求得 Karush-Kuhn-Tucker 条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial L_2}{\partial p_2} = 1 - \frac{p_2}{h} + \left(-\frac{1}{h} - \frac{1}{m} \right) p_2 + \frac{\theta - \lambda_2}{-h + m} - \frac{p_2 + \theta - \lambda_2}{m} + \eta_1 - \eta_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \lambda_2} = \left(\frac{1}{m} - \frac{2}{-h + m} \right) p_2 + \frac{p_2 + r}{-h + m} - \lambda_2 \mu - \eta_1 + \left(1 - \frac{1}{-h + m} \right) \eta_2 - \eta_3 \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \eta_1} = p_2 - \varepsilon + \theta - \lambda_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \eta_2} = -p_2 + \varepsilon - \theta + \frac{\theta - \lambda_2}{-h + m} + \lambda_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \eta_3} = \theta - \lambda_2 \leq 0, \\ p_2 \left(1 - \frac{p_2}{h} + \left(-\frac{1}{h} - \frac{1}{m} \right) p_2 + \frac{\theta - \lambda_2}{-h + m} - \frac{p_2 + \theta - \lambda_2}{m} + \eta_1 - \eta_2 \right) = 0, \\ \lambda_2 \left(\left(\frac{1}{m} - \frac{2}{-h + m} \right) p_2 + \frac{p_2 + r}{-h + m} - \lambda_2 \mu - \eta_1 + \left(1 - \frac{1}{-h + m} \right) \eta_2 - \eta_3 \right) = 0, \\ \eta_1(p_2 - \varepsilon + \theta - \lambda_2) = 0, \\ \eta_2(-p_2 + \varepsilon - \theta + \frac{\theta - \lambda_2}{-h + m} + \lambda_2) = 0, \\ \eta_3(\theta - \lambda_2) = 0, \\ p_2 > 0, \lambda_2 > 0, \eta_i > 0, (i=1,2,3). \end{cases}$$

当 $p_2 > 0$, $\lambda_2 > 0$, $\eta_i = 0$ ($i=1,2,3$) 时, 解得:

$$\begin{cases} p_2 = \frac{hm(-hr + (h-m)((h-m)m - h\theta)\mu)}{2(h-m)^2 m(h+m)\mu - h^3} \\ \lambda_2 = \frac{(h-m)m(h^2 - 2(h+m)r) - h^3\theta}{2(h-m)^2 m(h+m)\mu - h^3} \end{cases}, \quad \text{将其代入 } \pi_2(p_2, \lambda_2) \text{ 得:}$$

$$\pi_2(p_2, \lambda_2) = \frac{B}{4(h-m)^2 m(h+m)\mu - 2h^3}.$$

其中,

$$B = -2(h+m)r(h^2 - mr) + ((h-m)^2 m(hm + 4(h+m)r) - 2(h-m)m(h^2 - 2(h+m)r)\theta + h^3\theta^2)\mu.$$

除此之外, 方程组无解。由此即得到最优解如命题 4 所示。

证毕。

1-2-4 证明全渠道模式下消费者的渠道选择

当 $U_o > 0$, $U_o > U_{o-s}$ 且 $U_o > U_s$ 时, 用户倾向于选择渠道 o 购买商品, 此时, 用户的产品价值感知效用集为:

$$v_o \in \left(\frac{p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon}{m}, \frac{\theta - \lambda_k}{m-h} \right)$$

当 $U_s > 0$, $U_s > U_{o-s}$ 且 $U_s > U_o$ 时, 用户倾向于选择渠道 s 购买商品, 此时, 用户的产品价值感知效用集为:

$$v_s \in \left(\frac{p_k - \varepsilon}{h}, \max \left\{ \frac{\theta - \lambda_k}{m-h}, \frac{\theta - \lambda_k}{1-h} \right\} \right)$$

当 $U_{o-s} > 0$, $U_{o-s} > U_o$ 且 $U_{o-s} > U_s$ 时, 用户倾向于选择渠道 $o-s$ 购买商品, 此时, 用户的产品价值感知效用集为:

$$v_{o-s} \in \left(\max \left\{ p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon, \frac{\theta - \lambda_k}{1-h} \right\}, 1 \right]$$

对于 v_s :

显然, $\frac{\theta - \lambda_k}{m-h} > \frac{\theta - \lambda_k}{1-h}$ 。由此, 我们得到 $v_s \in \left(\frac{p_k - \varepsilon}{h}, \frac{\theta - \lambda_k}{m-h} \right)$ 。

对于 v_{o-s} :

当 $0 \leq p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon < \frac{\theta - \lambda_k}{1-h} \leq 1$ ($0 \leq \frac{\theta - \lambda_k}{1-h} < p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon \leq 1$) 时, 此时

$v_{o-s} \in \left(\frac{\theta - \lambda_k}{1-h}, 1 \right]$ ($v_{o-s} \in (p_k + \theta - \lambda_k - \varepsilon, 1]$) 求解不等式得:

$$\begin{cases} h < 1 - \theta + \lambda_k \\ \varepsilon - \theta + \lambda_k < p_k < \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda_k)}{1 - h} \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} h < 1 - \theta + \lambda_k \\ \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda_k)}{1 - h} < p_k < 1 + \varepsilon + \lambda_k - \theta \end{cases}$$

整理可得情形 3~4。

证毕。

1-2-5 证明命题 5

构造 Lagrange 函数：

$$L_3 = \pi_1'(p_1', \lambda_1') + \eta_1(\lambda_1' + 1 - \theta - h) + \eta_2(p_1' - \varepsilon + \frac{h(\theta - \lambda_1')}{1 - h}) + \eta_3(1 + \varepsilon + \lambda - \theta - p_1')$$

求得 Karush-Kuhn-Tucker 条件：

$$\begin{cases} \frac{\partial L_3}{\partial p_1'} = 1 - 2p_1' + \left(-\frac{1}{h} - \frac{1}{m}\right)p_1' - r - \frac{p_1' - \varepsilon}{h} + \varepsilon - \theta + \frac{2(\theta - \lambda_1')}{-h + m} - \frac{p_1' - \varepsilon + \theta - \lambda_1'}{m} + \lambda_1' + \eta_2 - \eta_3 \leq 0, \\ \frac{\partial L_3}{\partial \lambda_1'} = p_1' + \left(\frac{1}{m} - \frac{2}{-h + m}\right)p_1' + r - \lambda_1'\mu + \eta_1 - \frac{h\eta_2}{1 - h} + \eta_3 \leq 0, \\ \frac{\partial L_3}{\partial \eta_1} = 1 - h - \theta + \lambda_1' \leq 0, \\ \frac{\partial L_3}{\partial \eta_2} = p_1' - \varepsilon + \frac{h(\theta - \lambda_1')}{1 - h} \leq 0, \\ \frac{\partial L_3}{\partial \eta_3} = 1 - p_1' + \varepsilon - \theta + \lambda_1' \leq 0, \\ p_1' \left(1 - 2p_1' + \left(-\frac{1}{h} - \frac{1}{m}\right)p_1' - r - \frac{p_1' - \varepsilon}{h} + \varepsilon - \theta + \frac{2(\theta - \lambda_1')}{-h + m} - \frac{p_1' - \varepsilon + \theta - \lambda_1'}{m} + \lambda_1' + \eta_2 - \eta_3\right) = 0, \\ \lambda_1' \left(p_1' + \left(\frac{1}{m} - \frac{2}{-h + m}\right)p_1' + r - \lambda_1'\mu + \eta_1 - \frac{h\eta_2}{1 - h} + \eta_3\right) = 0, \\ \eta_1(1 - h - \theta + \lambda_1') = 0, \\ \eta_2(p_1' - \varepsilon + \frac{h(\theta - \lambda_1')}{1 - h}) = 0, \\ \eta_3(1 - p_1' + \varepsilon - \theta + \lambda_1') = 0, \\ p_1' > 0, \lambda_1' > 0, \eta_i > 0, (i = 1, 2, 3). \end{cases}$$

当 $p_1' > 0, \lambda_1' > 0, \eta_i = 0, (i = 1, 2, 3)$ 时，解得：

$$\begin{cases} p_1' = \frac{(h - m)m(h(h + m + hm - m^2)r - ((h - m)(hm(-1 + r) - (h + m + hm)\varepsilon) + h(h + m + hm - m^2)\theta)\mu)}{2(h - m)^2 m(h + m + hm)\mu - h(h + m + hm - m^2)^2}, \\ \lambda_1' = \frac{(h - m)(m(-2m^2r + h^2(1 + m)(1 + r) - hm(-1 + m + r + mr)) + (h + m + hm)(h + m + hm - m^2)\varepsilon) - h(h + m + hm - m^2)^2 \theta}{2(h - m)^2 m(h + m + hm)\mu - h(h + m + hm - m^2)^2} \end{cases}$$

将其代入 $\pi'_1(p'_1, \lambda'_1)$ 得:

$$\pi'_1(p'_1, \lambda'_1) = \frac{C}{2h \left(-h(h+m+hm-m^2)^2 + 2(h-m)^2 m(h+m+hm)\mu \right)}$$

除此之外, 方程组无解。由此即得到最优解如命题 5 所示。

证毕。

1-2-6 证明命题 6

构造 Lagrange 函数:

$$L_4 = \pi'_2(p'_2, \lambda'_2) + \eta_1(\lambda'_2 + 1 - \theta - h) + \eta_2(p'_2 - \varepsilon + \theta - \lambda'_2) + \eta_3 \left(\varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda'_2)}{1-h} - p'_2 \right)$$

求得 Karush-Kuhn-Tucker 条件:

$$\begin{cases} \frac{\partial L_4}{\partial p'_2} = 1 + \left(-\frac{1}{h} - \frac{1}{m} \right) p'_2 - \frac{p'_2 - \varepsilon}{h} - \frac{\theta - \lambda'_2}{1-h} + \frac{2(\theta - \lambda'_2)}{-h+m} - \frac{p'_2 - \varepsilon + \theta - \lambda'_2}{m} + \eta_2 - \eta_3 \leq 0, \\ \frac{\partial L_4}{\partial \lambda'_2} = \left(\frac{1}{m} - \frac{2}{-h+m} \right) p'_2 + \frac{p'_2 + r}{1-h} - \lambda'_2 \mu + \eta_1 - \eta_2 + \frac{h\eta_3}{1-h} \leq 0, \\ \frac{\partial L_4}{\partial \eta_1} = 1 - h - \theta + \lambda'_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_4}{\partial \eta_2} = p'_2 - \varepsilon + \theta - \lambda'_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_4}{\partial \eta_3} = -p'_2 + \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda'_2)}{1-h} \leq 0, \\ p'_2 \left(1 + \left(-\frac{1}{h} - \frac{1}{m} \right) p'_2 - \frac{p'_2 - \varepsilon}{h} - \frac{\theta - \lambda'_2}{1-h} + \frac{2(\theta - \lambda'_2)}{-h+m} - \frac{p'_2 - \varepsilon + \theta - \lambda'_2}{m} + \eta_2 - \eta_3 \right) = 0, \\ \lambda'_2 \left(\left(\frac{1}{m} - \frac{2}{-h+m} \right) p'_2 + \frac{p'_2 + r}{1-h} - \lambda'_2 \mu + \eta_1 - \eta_2 + \frac{h\eta_3}{1-h} \right) = 0, \\ \eta_1(1 - h - \theta + \lambda'_2) = 0, \\ \eta_2(p'_2 - \varepsilon + \theta - \lambda'_2) = 0, \\ \eta_3 \left(-p'_2 + \varepsilon - \frac{h(\theta - \lambda'_2)}{1-h} \right) = 0, \\ p'_2 > 0, \lambda'_2 > 0, \eta_i > 0, (i=1, 2, 3). \end{cases}$$

当 $p'_2 > 0, \lambda'_2 > 0, \eta_i = 0, (i=1, 2, 3)$ 时, 解得:

$$\begin{cases} p_2' = \frac{(h-m)m(h(h-h^2+m-m^2)r+(-1+h)((-1+h)(h-m)(m\varepsilon+h(m+\varepsilon))+h(h-h^2+m-m^2)\theta)\mu)}{-h((-1+h)h+(-1+m)m)^2+2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)\mu} \\ \lambda_2' = \frac{D}{(-h((-1+h)h+(-1+m)m)^2+2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)\mu)} \end{cases}$$

其中,

$$D = m^3(2mr+(-1+m)\varepsilon)-h^4(m(2+m+2r)+2(\varepsilon-\theta))+h^5(m+\varepsilon-\theta)+h^2m(\varepsilon-2\theta+m(-m^2-2r+2mr+\varepsilon+2\theta))+h^3(\varepsilon-\theta+m(1+2r-\varepsilon+m(1+m+2r-2\theta)+2\theta))-hm^2(\varepsilon+\theta+m(1+2r-\varepsilon-2\theta+m(-1+2r+\varepsilon+\theta)))$$

将其代入 $\pi_2'(p_2', \lambda_2')$ 得:

$$\pi_2'(p_2', \lambda_2') = \frac{E}{(2h(-h((-1+h)h+(-1+m)m)^2+2(-1+h)^2(h-m)^2m(h+m)\mu))}$$

其中,

$$\begin{aligned} E = & m^4\varepsilon^2\mu + 2h^5(-r(-2+m+\varepsilon)-2mr(2+m-\theta)\mu-(m+\varepsilon-\theta)(m+m^2+\varepsilon-\theta)\mu) + \\ & 2hm^3(-r\varepsilon+mr(r+\varepsilon)+\varepsilon\theta\mu-m(2r(-1+\theta)+\varepsilon(-1+\varepsilon+\theta))\mu)+2h^3m(-r(2+m(-2+m+r)-\varepsilon) \\ & +(m^2(-1+2\varepsilon-2r(-2+\theta))+\theta(-\varepsilon+\theta)+m^3(-1+2r+\varepsilon+\theta)+m(\varepsilon(-1+2\varepsilon)+2r(-1+\theta)-\theta(\varepsilon+\theta)))\mu)+ \\ & h^2m^2(-2r(1+m(-1+r)+\varepsilon)+(-2\varepsilon^2+m^2(\varepsilon^2+4r(-2+\theta)+2\varepsilon(-2+\theta)+(-1+\theta)^2)+2\varepsilon\theta+\theta^2+2m \\ & (-\varepsilon+2r(-1+\theta)+\theta-\theta(\varepsilon+\theta)))\mu)+h^6((m+\varepsilon-\theta)^2\mu+r(-2+4m\mu))+h^4(2mr^2+(m^4+(\varepsilon-\theta)^2 \\ & +2m(\varepsilon-\theta)(1+\theta)-2m^3(-2+\varepsilon+\theta)+m^2(1-2(-2+\varepsilon)\varepsilon+2(-1+\theta)\theta))\mu+2r(-1+\varepsilon+m(3-m-2 \\ & (-1+\theta+m(-2+m+\theta))\mu))) \end{aligned}$$

除此之外, 方程组无解。由此即得到最优解如命题 6 所示。

证毕。

1-3-1 证明 5.2.1 命题 8

构造拉格朗日函数:

$$L_1 = \pi_2^T(p_2, \lambda_2) + \eta_1(p_2 + \theta - \lambda_2 - \varepsilon) + \eta_2(\varepsilon - \theta + \lambda_2 + \frac{\theta - \lambda_2}{m - h} - p_2) + \eta_3(\theta - \lambda_2)$$

所以, Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 条件为

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L_1}{\partial p} = 1 - \frac{(1+r)(p+r)}{k+\theta} + k\lambda - \frac{p+pr-\varepsilon-k\varepsilon-k\lambda}{k+\theta} + \eta_1 - \eta_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \lambda} = (p+r) \left(k + \frac{k}{k+\theta} \right) - \lambda\mu - \frac{k\eta_1}{1+r} + \frac{k\eta_2}{1+r} \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_1} = p - \frac{\varepsilon+k\varepsilon+k\lambda}{1+r} \leq 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \eta_2} = -p + \frac{k+\varepsilon+k\varepsilon+\theta+k\lambda}{1+r} \leq 0, \\ p \left(1 - \frac{(1+r)(p+r)}{k+\theta} + k\lambda - \frac{p+pr-\varepsilon-k\varepsilon-k\lambda}{k+\theta} + \eta_1 - \eta_2 \right) = 0, \\ \lambda \left((p+r) \left(k + \frac{k}{k+\theta} \right) - \lambda\mu - \frac{k\eta_1}{1+r} + \frac{k\eta_2}{1+r} \right) = 0, \\ \eta_1 \left(p - \frac{\varepsilon+k\varepsilon+k\lambda}{1+r} \right) = 0, \\ \eta_2 \left(-p + \frac{k+\varepsilon+k\varepsilon+\theta+k\lambda}{1+r} \right) = 0, \\ p > 0, \lambda > 0, \eta_i > 0, (i=1,2). \end{array} \right.$$

(1) 当 $p > 0, \lambda > 0, \eta_i = 0$. 解得

$$\left\{ \begin{array}{l} p = \frac{k^2 r(1+k+\theta)^2 + (k+\theta)(k-r(1+r)+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)\mu}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2} \\ \lambda = \frac{k(1+k+\theta)(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2} \end{array} \right. \quad \text{。 代入 } \pi_{(O,T)} \text{ 得}$$

$$\pi_{(O,T)} = \frac{(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)^2 \mu}{4(1+r)(k+\theta)\mu - 2k^2(1+k+\theta)^2},$$

(2) 除 $p_2 > 0, \lambda_2 > 0, \eta_i = 0, (i=1,2)$ 外, 方程组无解。

综上所述, 最优解为

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{(O,T)}^* = \frac{k^2 r(1+k+\theta)^2 + (k+\theta)(k-r(1+r)+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)\mu}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2} \\ \lambda_{(O,T)}^* = \frac{k(1+k+\theta)(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)}{2(1+r)(k+\theta)\mu - k^2(1+k+\theta)^2} \\ \pi_{(O,T)}^*(p^*, \lambda^*) = \frac{(k+r+r^2+\varepsilon+k\varepsilon+\theta)^2 \mu}{4(1+r)(k+\theta)\mu - 2k^2(1+k+\theta)^2} \end{array} \right. \quad \text{证毕。}$$

1-3-2 证明 5.2.1 命题 9

证明：求解 $\pi_{(O,N-T)}$ 关于 p 和 λ 二阶偏导，我们得到 $\pi_{(O,N-T)}$ 在点 (p, λ) 处的 Hessian 矩阵：

$$\nabla^2 \pi_{(O,N-T)}(p, \lambda) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial p \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial \lambda \partial p} & \frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial \lambda^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2}{\theta} & k \\ k & -\mu \end{bmatrix}$$

显然， $\frac{\partial^2 \pi_{(O,N-T)}}{\partial p^2} = -\frac{2}{\theta} < 0$ ，当且仅当 $\mu > \frac{k^2 \theta}{2}$ 时， $|\nabla^2 \pi_{(O,N-T)}(p, \lambda)| > 0$ 。此时，模型

$\pi_{(O,N-T)}$ 为凸规划，故存在唯一的严格局部极大值点 (p^*, λ^*) 使得 $\pi_{(O,N-T)}$ 取最大值。

构造拉格朗日函数：

$$L_2 = \pi_{(O,N-T)}(p, \lambda) + \eta_1(p - \varepsilon) + \eta_2(\varepsilon + \theta - p)$$

因此，KKT 条件为

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L_2}{\partial p} = 1 - \frac{p+r}{\theta} - \frac{p-\varepsilon}{\theta} + k\lambda + \eta_1 - \eta_2 \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \lambda} = k(p+r) - \lambda\mu \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \eta_1} = p - \varepsilon \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \eta_2} = -p + \varepsilon + \theta \leq 0, \\ p \left(1 - \frac{p+r}{\theta} - \frac{p-\varepsilon}{\theta} + k\lambda + \eta_1 - \eta_2 \right) = 0, \\ \lambda [k(p+r) - \lambda\mu] = 0, \\ \eta_1(p - \varepsilon) = 0, \\ \eta_2(-p + \varepsilon + \theta) = 0, \\ p > 0, \lambda > 0, \eta_i > 0, (i=1,2). \end{array} \right.$$

(1) 当 $p > 0, \lambda > 0, \eta_i = 0, (i=1,2)$ 。求得

$$\begin{cases} p = \frac{k^2 r \theta + (\varepsilon + \theta - r) \mu}{2\mu - k^2 \theta} \\ \lambda = \frac{k(r + \varepsilon + \theta)}{2\mu - k^2 \theta} \end{cases} \text{ . 将其代入 } \pi_{(O, N-T)} \text{ 得}$$

$$\pi_{(O, N-T)}(p, \lambda) = \frac{(r + \varepsilon + \theta)^2 \mu}{2\theta(2\mu - k^2 \theta)},$$

(2) 除 $p > 0$, $\lambda > 0$, $\eta_i = 0$, ($i=1,2$) 外, 无解.

$$\text{综上所述, 最优解为} \begin{cases} p_{(O, N-T)}^* = \frac{k^2 r \theta + (\varepsilon + \theta - r) \mu}{2\mu - k^2 \theta} \\ \lambda_{(O, N-T)}^* = \frac{k(r + \varepsilon + \theta)}{2\mu - k^2 \theta} \\ \pi_{(O, N-T)}^*(p^*, \lambda^*) = \frac{(r + \varepsilon + \theta)^2 \mu}{2\theta(2\mu - k^2 \theta)} \end{cases} \text{ 证毕。}$$

1-3-3 证明 5.4.2 命题 10 和命题 11

求解 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(X)}{\partial x} & \frac{\partial F(X)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(Y)}{\partial x} & \frac{\partial F(Y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \quad 1$$

$$\text{其中, } \begin{cases} A_{11} = (1-2x) \{ (1+\beta_1) \pi_{(O, N-T)}^* - \pi_{(N-O, j)}^* + y [(1+\beta_2) \pi_{(O, T)}^* - (1+\beta_1) \pi_{(O, N-T)}^*] \} \\ A_{12} = (1-x) x [(1+\beta_2) \pi_{(O, T)}^* - (1+\beta_1) \pi_{(O, N-T)}^*] \\ A_{13} = (-1+y) y [\alpha_1 u_{(N-O, j)}^* + u_{(O, N-T)}^* - (1+\alpha_2) u_{(O, T)}^*] \\ A_{14} = (-1+2y) [x u_{(O, N-T)}^* - \alpha_1 (1-x) u_{(N-O, j)}^* - x (1+\alpha_2) u_{(O, T)}^*] \end{cases}$$

若 (1,0) 为稳定点, 则需满足不等式 (2):

$$\begin{cases} tr(J) = \pi_{(N-O, j)}^* - (1+\beta_1) \pi_{(O, N-T)}^* + (1+\alpha_2) u_{(O, T)}^* - u_{(O, N-T)}^* < 0 \\ det(J) = ((1+\alpha_2) u_{(O, T)}^* - u_{(O, N-T)}^*) (\pi_{(N-O, j)}^* - (1+\beta_1) \pi_{(O, N-T)}^*) > 0 \end{cases} \quad 2$$

联立解得 $0 < v < \frac{p_{(O, N-T)}^* - (1+\alpha_2) p_{(O, T)}^* - \alpha_2 k \lambda_{(O, T)}^* - \alpha_2 (\varepsilon + k\varepsilon)}{(k+\theta) \alpha_2}$, 同理可证命题 11,

证毕。

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文

已发表或录用的学术论文

- [1] Song, Z., & Cheng, J. (2023). Omnichannel expansion for traditional retailers: Considering consumers' privacy concerns. *Managerial and Decision Economics*, 44(7), 3997–4010. <https://doi.org/10.1002/mde.3931>.

致谢

岁月如梭，倏然间已至研途之末。回首这段时光，我感慨万千。从初入校门的迷茫与好奇，到如今行将毕业的从容与自信，一路走来，历经磨砺与成长。

在学术上，我要由衷地感谢程老师的悉心指导和大力支持。面对陌生的环境和未知的挑战，我一度感到无所适从。然而，在程老师的悉心指导下，我逐渐找到了自己的方向。程老师不仅在学术上给予我深入的指导，更在人生的道路上为我点亮了前行的灯塔。他严谨的治学态度、深厚的学术造诣和无私的奉献精神，让我深受感染。在小论文和毕业论文的撰写过程中，程老师更是倾注了大量的心血，对我的文章进行了多次深入的、细致的修改和完善。

此外，同门的陪伴和支持也让我倍感温暖。我们一起度过了无数难忘的时光，共同探讨学术问题，互相学习、互相帮助。同门们的友谊是我人生中最宝贵的财富，我将永远珍惜。

当然，我还要感谢我的家人对我的关心和支持。他们一直是我坚实的后盾，无论我遇到什么困难，他们总是第一个站出来支持我。家人的关爱让我感受到了无尽的温暖和力量，也让我有了勇气去追求自己的梦想。每当我遇到挫折和困难时，他们总能给予我最大的支持和鼓励，让我重新振作起来。他们的支持和鼓励是我不断前进的动力源泉，让我在学术及人生的道路上越走越坚定。

在这三年的学术生涯中，我深刻体会到了学术研究的艰辛与乐趣。我明白了学术研究不仅仅是知识的积累和探索，更是一种思维方式和生活态度的体现。建模过程中一次次、反反复复地推倒重来，文章一次次地润色与修改，无不在锤炼着我的心智。通过不断地学习和实践，我掌握了扎实的专业知识和技能，还培养了独立思考和解决问题的能力。同时，我也认识到了自己的不足和局限性，明白了自己还有很长的路要走。展望未来，我将继续努力学习和探索，不断提升自己的学术水平和综合素质。

最后，再次感谢所有陪伴我走过这段路的人。感谢你们的关心、支持和鼓励，让我能够顺利完成学业。展望未来，山高路远，我将不忘初心，勇毅前行！