

基于区块链技术的产品延保服务 供应链决策



季洪悦¹, 周兴建^{1,*}, 潘家丽², 李永¹, 潘帆¹

¹ 武汉纺织大学管理学院, 湖北武汉 430200

² 广州商学院管理学院, 广东广州 511363

摘要: 消费者不信任严重制约延保服务行业的发展, 投资区块链技术可以提升消费者的信任度并为企业带来信任效用, 同时也会增加巨额的区块链应用成本。本文分析该技术投入前后供应链均衡解的变化, 探寻技术和经济价值目标条件下延保服务供应链实施区块链的充分条件, 最后对结果进行算例分析。研究表明: 在未实施区块链的情形下, 延保服务削弱因子将负向影响供应链均衡解。当实施区块链的固定成本大于一定限度时, 制造商实施区块链后的利润小于实施区块链前的利润。当考虑信任效用时, 供应链成员实施区块链的条件相比未考虑效用时更为宽松, 且零售商实施区块链的条件最为宽松。存在一个最优的消费者信任度差, 使制造商在技术价值目标下投资区块链技术的充分条件最宽松。

关键词: 区块链; 延保服务; 供应链; 信任; 决策

DOI: [10.57237/j.wjmst.2023.01.002](https://doi.org/10.57237/j.wjmst.2023.01.002)

Product Extended Warranty Service Supply Chain Decision-Making Based on Blockchain Technology

Ji Hongyue¹, Zhou Xingjian^{1,*}, Pan Jiali², Li Yong¹, Pan Fan¹

¹School of Management, Wuhan Textile University, Wuhan 430200, China

²School of Management, Guangzhou Commerce College, Guangzhou 511363, China

Abstract: Consumer distrust seriously restricts the development of the extended warranty service industry, and investing in blockchain technology can enhance consumer trust and bring trust utility to enterprises, while also increasing the huge cost of blockchain applications. This paper analyzes the changes in the equilibrium solution of the supply chain before and after the technology investment, explore the sufficient conditions for the implementation of blockchain in the extended warranty service supply chain under the condition of technical and economic value objectives, and finally analyze the results. Studies have shown that in the absence of blockchain implementation, the weakening factor of extended warranty services will negatively affect the equilibrium solution of the supply chain. When the fixed cost of implementing a blockchain is greater than a certain limit, the manufacturer's profit after implementing the blockchain is

基金项目: 2020 年国家自然科学基金地区科学基金项目 (72062019); 2019 年江西省博士后科研择优资助项目 (2019KY13);
2020 年度湖北省教育厅哲学社会科学研究一般项目 (20Y080);
2022 年中国物流学会、中国物流与采购联合会面上研究课题计划 (2022CSLKT3-133).

*通信作者: 周兴建, wuliuwtu@163.com

收稿日期: 2022-09-19; 接受日期: 2022-10-11; 在线出版日期: 2023-02-16

<http://www.wjmst.net>

less than the profit before the implementation of the blockchain. When considering trust utility, supply chain members are more relaxed in implementing blockchain than when utility is not considered, and retailers are the most relaxed in implementing blockchain. There is an optimal poor level of consumer trust, making the fullest conditions for manufacturers to invest in blockchain technology under the goal of technical value.

Keywords: Blockchain; Extended Warranty Services; Supply Chain; Trust; Decision-Making

1 引言

随着社会经济的快速发展，汽车、空调等耐用消费品逐渐普及，产品质保期限与使用寿命之间的差距进一步扩大，因此，越来越多的企业开始为消费者提供延保服务，以实现对消费者的服务升级，延保服务也成为企业新的利润增长点[1, 2]。制造商由于熟悉产品的生产及组装程序，同时与原材料生产者长期的合作可以得到价格优势，因此绝大多数供应链是由制造商提供延保服务[3]，制造商也因此获得巨大利润。延保从雏形到诞生再到发展都是在欧美国家完成的，该服务最早于 1960 年开始于美国汽车行业，在欧美等国已有 60 年的发展史。研究数据显示，美国的延保服务的渗透率达到 35% 左右，成为仅次于消费信贷业务（渗透率 65%）的汽车金融保险业务。欧洲法律规定二手车交易时必须购买 6--12 个月的质保期，所以欧洲部分国家二手车市场延保渗透率可达到 70% 以上。日本汲取美国和欧洲的经验，发展更为成熟，二手车延保率已经达到 90% 以上的水平[4]。然而，国内延保市场由于消费者不信任，市场需求尚未打开仍处于起步阶段，因此，急需一种可靠的方式来验证延保服务的品质，以解决消费者不信任问题。解决消费者不信任问题的一个潜在方案是使用区块链技术，它是工业 4.0 所支持的一种新的数字技术方法，用以确保数据的真实性和完整性，防止篡改和单点故障。区块链技术所具有的集分布式、全网记录、成本低、效率高和安全性好等特点于一身，能够提高信息记录的可信度，这使得该技术在促进延保服务供应链信息透明化管理方面极具吸引力，为实现延保服务供应链的可追溯性、透明度和安全性提供了创新的解决方案。因此，运用区块链技术的公开透明性，可以有效提升消费者对延保服务的信任度，打开企业延保服务市场。在实践层面，区块链应于供应链管理已得到业界认可。沃尔玛与 IBM 和 Dole 合作，利用区块链加强食品供应链安全控制，促使食品质量和安全可信。天猫国际、eBay、

京东等跨境电商平台均采用区块链进行产品溯源，建立客户信任和改善电商平台产品质量形象。然而，实施区块链在提升消费者信任度、获得信任效用的同时，也将产生大量的区块链应用成本，这已成为供应链实施区块链的重要考量因素之一。基于此，供应链该不该实施区块链？实施区块链的充分条件是什么？本文从延保服务立场出发，以信任为切入点，探究延保服务供应链在何时适宜采用区块链技术。

以汽车、家电为例，延保服务在汽车、家电等行业中的盛行，使它逐渐成为学术界关注的焦点。Lutz 等人[5]首次提出延保作为产品质量和销售激励的信号。寇军等人[6]研究了不同故障率预期的顾客对延保服务的选择性购买问题。Zhang 等人[7]比较分析了供应链中的三种延保服务策略，发现由生产商提供延保服务对消费者最有利，由零售商提供延保服务时供应链的整体利润更高。林强等人[8]针对消费者不完全信任绿色产品及供应链高交易成本问题探寻绿色供应链实施区块链的充分条件。刘震等人[9]针对先后订货和同时订货两种情形，刻画了不同入侵成本下制造商的最优入侵、促销、定价以及销售策略。但斌等人[10]分析了产品与延保服务单独销售或捆绑销售策略对供应链成员及整体利润的影响，发现当捆绑销售策略对制。Qin 等人[11]构建了三级竞争线上购物供应链模型，探讨两个零部件供应商之间的价格竞争对延保服务决策和供应链绩效的影响。Huysentruyt 等人[12]发现产品故障的可能性和成本可能被高估时，消费者仍热衷于购买延保服务。赵晓敏等人[13]以一个制造商和一个零售商组成的两级供应链为研究对象，探讨了网购环境下企业之间的最优决策和利益协调机制。唐华等人[14]研究了同质与异质零售商销售的产品及其衍生延保服务都存在竞争的供应链协调问题。Huang 等人[15]研究了外包或不外包给第三方服务提供商两种保修服务提供策略。Cao 等人[16]考虑了免费更换延长

保修和传统延长保修两种延保模式, 探究最佳延长保修选择策略。Zhu 等人[17]研究当制造商负责在不同渠道电源结构下回收和提供延长保修服务时, 消费者产品价格敏感性和延长保修服务价格敏感性对闭环供应链决策的影响。Liu 等人[18]研究了闭环供应链中延长保修期的最优定价策略。Cachon 等人[19]证明了当存在多个竞争零售商时, 收益共享合同可以实现供应链协调, 但收益共享合同的效率会低于仅存在单个零售商的情况。张永芬和魏航[20]探讨了产品质量属性对延保供应链决策的影响, 发现当零售商提供延保服务时供应链的产品质量、产品需求量和延保服务需求量比制造商提供延保服务时更高。

从上述文献综述不难看出, 学者关于延保服务研究的较为透彻, 但是, 他们关注的重点是延保政策、模式选择以及供应链协调, 并未涉足影响延保服务发展的信任问题。而在实践中, 消费者往往很难完全信任企业的延保服务质量, 因此, 不同于已有研究, 本文主要研究当消费者不完全信任企业对的延保服务水平时, 延保服务供应链的均衡决策。

在建立信任, 消除信息不对称的影响方面, Fu 等人[21]构建由零售商、制造商和供应商组成三级生鲜供应链系统, 分析了新鲜食品供应链最优 RFID 投资问题, 在此基础上确定订货策略和 RFID 投资的最佳联合决策, 并讨论投资成本分摊问题。利用 RFID 技术来构建供应链的溯源系统, 实现产品信息溯源, RFID 标签一度被认为是一种可靠的供应链信息溯源技术。然而, Toyoda 等人[22]提出了该技术的不可靠性, 因为 RFID 标签在进行供应链信息溯源的过程中容易被篡改, 因此使用 RFID 使供应链信息透明并不可靠。这是由于传统的的产品信息追溯性系统都是集中式的, 具有垄断性、不对称性和不透明性, 可能导致信任问题, 如欺诈、腐败、篡改和伪造信息等, 而且集中式的系统可能会由于单点故障而导致整个系统崩溃。此外, 传统的信息追溯模式由于缺乏透明度和可视化, 尤其是在多层供应链中, 这使得供应链参与者之间的信任往往较低, 极大的影响消费者的购买意愿。与传统的方式不同, 区块链技术记录的所有交易数据在所有网络成员之间进行分配, 每个成员都可以访问交易记录和活动记录, 任何参与方都可以实时检查产品的进度和位置, 并且可以在系统中共享相同的信息。此外, 通过区块链技术可以提高供应链的透明度, 建立信任和声誉, 这一方面可以增强消费者对供应商和零售商的信心, 进而提高企业的声誉, 增强产品的品牌效应。De Giovanni 等人[23]从降低交易成本、

消除制造商交付风险和产品售后服务风险角度探讨了供应链成员参与区块链平台运作的条件。谭春桥等人[24]引入基于区块链的疫苗溯源防伪平台, 构建传统疫苗销售模式和基于区块链技术的疫苗销售模式, 研究疫苗区块链溯源防伪平台的价值。Longo 等人[25]研究当合作伙伴不能完全信任, 即参与供应链的公司不太愿意共享数据时, 探索在供应链中部署区块链的潜力, 研究表明区块链技术是克服供应链中的协作和信任问题的便捷工具。汪传雷等人[26]结合区块链特点提出了基于区块链的供应链物流信息生态圈模型。孙传恒等人[27]指出多链和跨链技术将成为发展趋势。Xu 等人[28]研究了市场模式和转售模式两种平台模式, 分析了区块链技术对供应链协调以及制造商和平台利润的影响。孙中苗等人[29]考虑区块链技术对辨识产品真伪的时间成本和验证效果等, 研究区块链技术驱动下的供应链最优定价问题。Kshetri 等人[30]从交易管理方面探讨了区块链技术在供应链上的应用。

不难发现, 长期以来众多学者致力于建立信任消除信息不对称等问题, 然而, 具体来说从区块链技术的视角下, 分析延保服务供应链溯源信息共享的文献寥寥无几。综上所述, 以上文献仅考虑经济价值目标探讨供应链企业实施区块链的条件, 未考虑供应链的技术价值目标。其次, 绝大部分文献均针对的是普通产品供应链, 鲜有文献研究服务供应链实施区块链的充分条件。最后, 上述文献均考虑企业完全理性时的决策, 未考虑企业实施区块链而获得的效用。

采用区块链技术进行供应链体系的信息溯源会带来额外成本的投入, 这是限制区块链技术大规模应用的重要因素之一。本文着重探索利用区块链技术提高消费者对企业延保服务的信任度, 获得信任效用, 寻求不同决策情形下, 区块链技术的最优成本投资阈值, 对企业是否实施区块链的管理决策具有一定的指导意义。本文的研究特色, 一是引入实施区块链的信任效用函数, 刻画了基于区块链的延保服务供应链决策模型, 二是分析了不同价值目标下延保服务供应链实施区块链的充分条件。研究为延保服务供应链企业实施区块链提供理论支持。

2 模型描述与假设

建立由一个占据主导地位的制造商和一个处于跟随地位的零售商构成的二级延保服务供应链, 其中零售商销售延保服务, 制造商提供产品延保服。在延保

服务水平信息不对称条件下，消费者不完全信任制造商的延保服务水平，导致延保市场难以打开。为了解决这一问题，本文引入区块链技术，它所具有的非中心化、开放性、自治性、信息不可篡改性和匿名性等特性，使得该技术在促进供应链信息溯源和透明化管理方面极具吸引力。当制造商和零售商均实施区块链时，延保服务供应链能够实现提升信任度以及获得信任效用的作用，同时也会新增区块链应用成本以及信任成本（实施区块链的变动成本被看作企业提升消费者信任度的努力）。因此，延保服务供应链中的制造商和零售商首先要权衡利弊，并决定是否实施区块链。

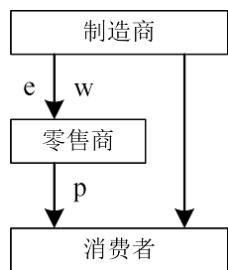


图 1 制造商提供延保服务模式图

为了方便建模分析，本文需要做以下假设：

假设 1 制造商的决策变量是延保服务批发价格 w 和延保服务水平 e ，零售商的决策变量是延保服务价格 p 。当企业实施区块链时，会提升消费者信任度 c ，设实施区块链前后消费者对延保服务信任度差为 Δc 。

假设 2 消费者通常对企业延保服务不完全信任，延保服务供应链企业为了获得消费者的信任，提高消费者信任度 c ，往往投入大量成本，例如广告宣传成本、销售讲解成本、建设企业形象成本等等，本文将实施区块链的变动成本纳入企业提升消费者信任水平的努力，设信任成本为 $c_c = \frac{1}{2} k_1 c^2$ ， k_1 为制造商信任成本系数。

假设 3 在实施区块链的情形下，制造商和零售商二者同时产生区块链应用成本，因为变动成本已纳入企业信任成本里，这里只讨论应用区块链的固定成本部分，均为 c_{BF} 。

假设 4 假设制造商都存在相同的生产成本，零售商都存在相同的零售成本。为简化，可将这两类成本视为零。

假设 5 制造商提供延保服务的努力成本随延保服务水平的增加而增加。设延保服务努力成本为

$c_e = \frac{1}{2} k_2 e^2$ ，其中 e 为延保服务水平， k_2 为延保服务努力成本系数。

假设 6 在未实施区块链情形下，由于企业与消费者之间的信息不对称，消费者无法准确、全面掌握延保服务的真实属性，严重制约着消费者对延保服务的购买意愿。消费者对延保服务水平不信任将削弱延保服务的潜在市场规模。因此，假设未实施区块链时延保服务的市场需求为 $D^N = (a + e)(1 - \alpha) - bp$ 。其中， a 为延保服务的潜在市场规模， $0 < \alpha < 1$ 为消费者不信任对延保服务的削弱因子。实施区块链时，假设消费者完全信任企业的延保服务水平。另外，增长的消费者信任度会为企业带来额外的市场需求，故延保服务的市场需求转化为 $D^B = a + e + \Delta c - bp$ 。

假设 7 实施区块链为延保服务供应链企业带来额外的信任效用，设实施区块链为制造商带来的信任效用函数为 $u_m^B = \Pi_m^B + \Delta c(\Pi_m^B - \Pi_m^N)$ ，实施区块链为零售商带来的信任效用函数为 $u_r^B = \Pi_r^B + \Delta c(\Pi_r^B - \Pi_r^N)$ ，未实施区块链时制造商和零售商的信任效用为各自的利润函数。

本文模型涉及的符号及说明如表 1。

表 1 符号及说明

符号	说明
w	制造商延保服务的单位批发价格
e	制造商的延保服务水平
p	零售商延保服务的单位零售价格
c_{BF}	实施区块链的固定成本
Δt	实施区块链后消费者的信任度差
u_m^B / u_r^B	实施区块链制造商或零售商的信任效用
α	未实施区块链情形下延保服务潜在市场规模削弱因子
a	实施区块链情形下延保服务的潜在市场规模
b	延保服务的价格弹性系数
k_2	制造商的延保服务努力成本系数
k_1	制造商延保服务信任成本系数
c	消费者对延保服务的信任度
c_c	延保服务供应链企业付出的单位信任成本
c_e	制造商的延保服务努力成本
D	延保服务市场需求函数
π_i ($i = m, r, t$)	分别表示制造商、零售商和供应链的延保服务利润函数
上标 N, B	分别表示未实施区块链模型、实施区块链模型

3 未实施区块链情形下的延保服务供应链决策

制造商是延保服务供应链主导者, 零售商是跟随者。制造商先制定延保服务批发价格确定自身延保服务水平, 零售商后确定延保服务零售价格。未实施区块链情形下, 消费者对企业的延保服务水平不完全信任, 削弱延保服务市场需求。此时, 制造商的延保服务利润函数为:

$$\Pi_m^N = D^N(w - c_c) - c_e \quad (1)$$

零售商的延保服务利润函数为:

$$\Pi_r^N = D^N(p - w - c_c) \quad (2)$$

制造商和零售商的利润函数关于各自决策变量的二阶导数均为负, 可判定决策目标函数存在唯一最优解。根据逆向求解法, 求得制造商和零售的最优决策结果如表 2 所示。

表 2 未实施区块链时零售商与制造商最优决策

决策变量	均衡解
w^N*	$(4ak_2 - c^2k_1(1-\alpha))(1-\alpha)/(8bk_2 - 2(1-\alpha)^2)$
e^N*	$(a(1-\alpha) - bc^2k_1)(1-\alpha)/(4bk_2 - (1-\alpha)^2)$
p^N*	$(c^2k_1(bk_2 - (1-\alpha)^2) + 3ak_2(1-\alpha))/(4bk_2 - (1-\alpha)^2)$
D^N*	$bk_2(a(1-\alpha) - bc^2k_1)/(4bk_2 - (1-\alpha)^2)$
Π_m^N*	$k_2(bc^2k_1 + a(\alpha-1))^2 / (8bk_2 - 2(1-\alpha)^2)$
Π_r^N*	$bk_2^2(bc^2k_1 + a(\alpha-1))^2 / (4bk_2 - (1-\alpha)^2)^2$

命题 1 在未实施区块链情形下, 当 $k_2 > \frac{c^2k_1(1-\alpha)}{2}$ 且 $a > \frac{bc^2k_1}{1-\alpha}$ 时, 博弈均衡结果与延保服务削弱因子 α 之间的关系如下所示:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w^*}{\partial \alpha} &< 0, \quad \frac{\partial e^*}{\partial \alpha} < 0, \quad \frac{\partial p^*}{\partial \alpha} < 0, \\ \frac{\partial D^N*}{\partial \alpha} &< 0, \quad \frac{\partial \Pi_m^N*}{\partial \alpha} < 0, \quad \frac{\partial \Pi_r^N*}{\partial \alpha} < 0. \end{aligned}$$

命题 1 表明, 在未实施区块链情形下, 延保服务削弱因子 α 将负面影响制造商延保服务批发价格、制造商延保服务水平、延保服务零售价格、延保服务市场需求、决策主体利润以及供应链总利润。这一结论与文献[8]的

结论是一致的, 同时将文献[8]的结论从普通产品供应链扩展到服务产品供应链领域。消费者对延保服务水平越不信任, 延保服务削弱因子 α 则越大, 其对供应链成员的博弈均衡解的负向影响则越强。消费者对延保服务的不信任(或不完全信任)将降低对延保服务水平的期望, 进而削弱延保服务的市场需求。同时, 这种信任不充分也将降低制造商对延保服务水平投入, 即降低延保服务水平, 进一步削弱延保服务的市场需求。为了平衡这一影响, 延保服务供应链主体选择较低的批发价格和零售价格, 进一步削弱供应链成员的收益。因此消费者不信任严重制约延保服务的发展。

采用区块链技术构建去中心化的产品信息溯源系统, 将产品的零部件信息、故障责任信息透明化, 将延保标准在整条延保服务链中公开透明, 最大程度提升供应链成员对延保服务的信任。有利于拓宽企业新的利润点, 打开我国延保服务市场需求, 提高我国延保服务渗透率, 降低消费者对企业延保服务的顾虑, 推动我国延保服务行业的发展。

4 实施区块链情形下的延保服务供应链决策

实施区块链情形下, 延保服务供应链的信息透明度得到最大程度的优化, 延保服务过程中的信息, 能够完整、准确的记录并保存于区块链技术支持的信息系统之中, 延保服务供应链三方彼此完全信任。同时实施区块链会带来相应的区块链应用成本, 因此在这种情形下, 制造商的利润函数为:

$$\Pi_m^B = D^B(w - c_c) - c_e - c_{BF} \quad (3)$$

零售商的利润函数为:

$$\Pi_r^B = D^B(p - w - c_c) - c_{BF} \quad (4)$$

可判定决策目标函数存在唯一最优解。根据逆向求解法, 求得制造商和零售的最优决策结果如表 3 所示。为简化表达, 下文中:

$$A = 1 + 2\Delta c$$

$$B = 1 + \alpha\Delta c$$

$$C = a - bc^2k_1 + \Delta c + \Delta c^2 + a\alpha\Delta c$$

$$D = a(1 - \alpha) - bc^2k_1$$

表 3 实施区块链时零售商与制造商最优决策

决策变量	均衡解
$w^B *$	$(4k_2(a + \Delta t) - c^2 k_1)/(8bk_2 - 2)$
$e^B *$	$(a + \Delta t - bc^2 k_1)/(4bk_2 - 1)$
$p^B *$	$(3k_2(a + \Delta t) + c^2(bk_2 - 1)k_1)/(4bk_2 - 1)$
$D^B *$	$bk_2(a + \Delta c - bc^2 k_1)/(4bk_2 - 1)$
$\Pi_m^B *$	$k_2(a - bc^2 k_1 + \Delta c)^2 / (8bk_2 - 2) - c_{BF}$
$\Pi_r^B *$	$bk_2^2(a + \Delta t - bc^2 k_1)^2 / (4bk_2 - 1)^2 - c_{BF}$

命题 2 在实施区块链的情形下, 当 $4k_1k_2A > B^2$ 时, 博弈均衡结果与消费者信任度 c 之间的关系如下:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w_u^*}{\partial c} < 0, \quad \frac{\partial e_u^*}{\partial c} < 0, \quad \frac{\partial p_u^*}{\partial c} > 0, \\ \frac{\partial u_m^*}{\partial c} < 0, \quad \frac{\partial u_r^*}{\partial c} < 0. \end{aligned}$$

命题 2 表明, 实施区块链, 消费者对延保服务的信任度增加, 将负向影响制造商延保服务水平、决策主体利润, 但对于零售商的零售价格有正向的影响作用。消费者对延保服务信任度越高, 意味着制造商以及零售商付出的信任成本越高, 即实施区块链的变动成本越高, 因此这必然会削弱制造商和零售商的利润。制造商在实施区块链的情形下, 为平衡较高的信任成本投入会减少对保服务水平的投入, 即降低延保服务水平, 同时也会降低一定的批发价格鼓励零售商销售延保服务。零售商在实施区块链的情况下, 为平衡其付出的信任成本, 零售商会选择提高延保服务的零售价格以获得更多的利润。

命题 3 在实施区块链的情况下, 当 $c_{BF} > c_{BF1}$ 时, $\Pi_m^B * < \Pi_m^N *$ 、 $\Pi_r^B * < \Pi_r^N *$, 其中

$$c_{BF1} = \frac{k_2(a - bc^2 k_1 + \Delta c)^2}{8bk_2 - 2} - \frac{k_2 D^2}{8bk_2 - 2(1-\alpha)^2}, \text{ 且投资区}$$

块链技术的固定成本临界值 c_{BF1} 是关于消费者信任度的减函数, 关于消费者信任度差的增函数。

命题 3 表明, 当实施区块链的固定成本大于一定限度时, 制造商实施区块链后的利润小于实施区块链前的利润, 即此时完全理性的延保服务供应链成员将会拒绝实施区块链。消费者信任度越高, 投资区块链的固定成本临界值越小, 实施区块链的条件越苛刻。企业花费大量的信任成本提升消费者信任度, 此时实施区块链的固定成本过高显然不利于供应链成员实施区块链。实施区块链前后消费者信任度差越大, 投资区块链的固定成本临界值则越大, 实施区块链的条件越宽松。实施区块链前后的信任度差越大表明企业实施区块链的效果越好, 此时实施区块链的固定成本临界值较大, 企业有动力实施区块链。

以上分析了完全理性的延保服务供应链成员实施区块链的充分条件, 但现实中的企业往往不是完全理性的。与[8, 30, 31]等文献不同, 本文在分析实施区块链前后企业的利润之外, 进一步考虑企业实施区块链的信任效用, 实施区块链为企业带来信任效用的大小是企业是否实施区块链的决定性因素, 设实施区块链时制造商的信任效用函数为:

$$u_m^B = \Pi_m^B + \Delta c(\Pi_m^B - \Pi_m^N) \quad (5)$$

零售商的信任效用函数为:

$$u_r^B = \Pi_r^B + \Delta c(\Pi_r^B - \Pi_r^N) \quad (6)$$

可判定制造商和零售商的信任效用函数存在唯一最优解。同样根据逆向求解法, 求得制造商和零售的最优决策结果如表 4 所示。

表 4 考虑信任效用时实施区块链供应链成员最优决策

决策变量	均衡解
w_u^*	$(4k_2\Delta c(1+3\Delta c+2\Delta c^2)+4ak_2AB-ck_1B^2)/(8bk_2A-2B^2)$
e_u^*	$B(aB+\Delta c+\Delta c^2-bc^2 k_1)/(4bk_2A-B^2)$
p_u^*	$(3k_2\Delta c(1+3\Delta c+2\Delta c^2)+3ak_2AB+c^2 k_1(bk_2A-B^2))/(4bk_2A-B^2)$
u_m^*	$k_2A(aB+\Delta c+\Delta c^2-bc^2 k_1)^2/(8bk_2A-2B^2)-c_{BF}(1+\Delta c)$
u_r^*	$bk_2^2A^2(aB+\Delta c+\Delta c^2-bc^2 k_1)^2/(B^2-4bk_2A)^2-c_{BF}(1+\Delta c)$

命题 4 在实施区块链的情形下, 博弈均衡结果与

消费者信任度差 Δc 之间的关系如下:

$$\frac{\partial w_u^*}{\partial \Delta c} > 0, \quad \frac{\partial e_u^*}{\partial \Delta c} > 0, \quad \frac{\partial p_u^*}{\partial \Delta c} > 0,$$

$$\frac{\partial u_m^*}{\partial \Delta c} > 0, \quad \frac{\partial u_r^*}{\partial \Delta c} > 0.$$

命题 4 表明, 消费者对延保服务的信任度差会正向影响制造商延保服务批发价格、制造商延保服务水平、零售商的零售价格和决策主体的信任效用。消费者实施区块链前后的信任度差越大, 延保服务供应链企业实施区块链的信任效用越大, 企业获得的满足感越大。对延保服务制造商而言, 实施区块链后, 消费者的信任度差越大, 说明区块链的实施效果越好, 企业越拥有较高的产品定价权, 越容易定高价, 同时制造商也更愿意提升延保服务水平, 因为消费者现已完全信任制造商的延保服务水平, 进而制造商将提高自己的利润。对零售商而言, 由于制造商提高了批发价格, 为保证自己利益零售商也会相应提升自己的延保服务零售价格, 由于消费者充分信任, 零售商也会响应获得更高的利润。

5 延保服务供应链实施区块链的条件分析

虽然延保服务供应链实施区块链能够提升消费者信任度、获得信任效用, 但同时也将付出额外的区块链应用成本。延保服务供应链是否有意愿实施区块链, 最终依赖于延保服务供应链企业所追求的价值目标, 包括技术价值目标(延保服务水平得到提升)和经济价值目标(感知利润得到提升)。通过比较实施区块链前后产品的延保服务水平或制造商和零售商销售延保服务的感知利润, 可分析延保服务供应链实施区块链的充分条件。下文先分别考察技术价值和经济价值目标下延保服务供应链实施区块链的充分条件, 然后考察技术价值和经济价值目标同时实现的充分条件。

5.1 技术价值目标下的充分条件分析

推论 1 当 $bk_2 > \frac{BC(1-\alpha)-DB^2(1-\alpha)}{4(BC-DA(1-\alpha))}$ 时, 有

$$c_{BF2} = k_2 AC^2 / (8bk_2 A - 2B^2)(1 + \Delta c) - k_2 D^2 / [8bk_2 - 2(1 - \alpha)^2](1 + \Delta c)$$

推论 3 当 $c_{BF} < c_{BF3}$ 时, 有 $u_r^* > u_r^{N*} = \Pi_r^N$, 且 $c_{BF3} > c_{BF2}$, 此时, 延保服务供应链中的零售商愿意实

$e_u^* > e_u^{N*} = e^{N*}$, 即延保服务供应链实施区块链情形下的延保服务感知水平大于未实施情形, 此时延保服务供应链愿意实施区块链。且当 $\Delta c < \frac{2-4\alpha}{\alpha^2}$ 时, 技术价值目标下投资区块链技术的临界值是关于消费者信任度的减函数; 当 $\Delta c > \frac{2-4\alpha}{\alpha^2}$ 时, 技术价值目标下投资区块链技术的临界值是关于消费者信任度的增函数。

推论 1 给出了技术价值目标下延保服务供应链实施区块链的充分条件, 当消费者对于延保服务的价格敏感性较高、制造商的延保服务努力成本系数较大时, 技术价值目标下延保服务供应链制造商愿意实施区块链技术。当实施区块链前后消费者信任度差较小时, 实施区块链的临界值随着消费者信任度的增加而减少, 消费者信任度越大, 实施区块链的临界值越低; 当实施区块链前后消费者信任度差较大时, 实施区块链的临界值随着消费者信任度的增加而增加, 消费者信任度越大, 实施区块链的临界值越高。这意味着, 存在一个最优的消费者信任度差 Δc , 使制造商在技术价值目标下投资区块链技术的充分条件最宽松。[32-34]等文献仅考虑企业实施区块链的经济价值目标, 即实施区块链成本条件, 本文补充考虑了企业实施区块链的技术价值目标, 即使在目前的成本条件下, 延保服务供应链企业无法全面实施区块链, 也可在局部业务运作或部分功能提升上进行尝试。

5.2 经济价值目标下的充分条件分析

经济价值目标下, 为了保证延保服务供应链中的制造商和零售商均有积极性实施区块链, 分别考察制造商和零售商感知利润增加的充分条件。

推论 2 当 $c_{BF} < c_{BF2}$ 时, 有 $u_m^* > u_m^{N*} = \Pi_m^N$, 且 $c_{BF2} > c_{BF1}$, 此时, 延保服务供应链中的制造商愿意实施区块链。且投资区块链技术的固定成本临界值 c_{BF2} 是关于消费者信任度差的增函数, 其中:

施区块链。且投资区块链技术的固定成本临界值 c_{BF3} 是

关于消费者信任度差的增函数，其中： $c_{BF_3} = \frac{bk_2}{\sqrt{2}} c_{BF_2}$ ，

推论 2、3 表明，（1）考虑信任效用时，制造商经济价值目标下实施区块链的条件相比未考虑信任效用时条件宽松，即相对于完全的理性人，现实情况下的企业更愿意实施区块链。（2）实施区块链前后消费者的信任度差越大，投资区块链技术的固定成本临界值 c_{BF_2} 和 c_{BF_3} 则越大，即实施区块链的效果越好，制造商和零售商实施区块链的条件越宽松。（3）考虑信任效用时，对于经济价值目标来讲，零售商实施区块链的条件最宽松，即只要制造商实施区块链有利可图零售商定有利可图。（4）当 $c_{BF} < \min\{c_{BF_2}, c_{BF_3}\}$ 且

$$bk_2 > \frac{BC(1-\alpha) - DB^2(1-\alpha)}{4(BC - DA(1-\alpha))} \text{ 时，有 } e^{B^*} > e^{N^*} \text{ 、}$$

$\Pi_r^{B^*} > \Pi_r^{N^*}$ 、 $\Pi_m^{B^*} > \Pi_m^{N^*}$ 。即延保服务供应链实施区块链情形下的企业延保服务水平、制造商利润和零售商利润均大于未实施情形。此时，不论是技术价值角度还是经济价值角度，延保服务供应链都拥有足够的动力实施区块链。

6 数值算例分析

前文从理论上分析了延保服务潜在市场削弱因子、消费者对延保服务的信任度、以及实施区块链前后消费者信任度差对延保服务供应链决策的影响，并基于技术和经济价值目标推导了延保服务供应链实施区块链的充分条件。本节将通过数值算例进一步分析，（1）延保服务供应链实施区块链的充分条件；（2）在实现经济价值目标下，延保服务供应链实施区块链后定价策略及市场需求的变化情况。不失一般性，模型参数赋值为： $a=300$ 、 $c_{BF}=1000$ 、 $b=2$ 、 $k_1=2$ 、 $k_2=2$ 、 $c=1$ 、 $\alpha=0.5$ 。

6.1 延保服务供应链实施区块链的充分条件

c_{BF_i} ($i=1,2,3$) 是不同价值目标下，延保服务供应链制造商和零售商实施区块链的条件的临界值。 c_{BF_i} ($i=1,2,3$) 越小说明延保服务供应链实施区块链对实施区块链的成本要求越高。图 2 表明，在 $0 < \Delta c < 1$ 范围内，恒有 $c_{BF_3} > c_{BF_2} > c_{BF_1}$ 。 $c_{BF} > c_{BF_1}$ 以

上的部分被 c_{BF_2} 和 c_{BF_3} 分成三块。根据命题 2、推论 1 和推论 2 可知，当 $c_{BF} > c_{BF_1}$ 时，有 $\Pi_m^{B^*} < \Pi_m^{N^*}$ 、 $\Pi_r^{B^*} < \Pi_r^{N^*}$ ，这就意味着当制造商和零售商完全理性时，实施区块链的条件最苛刻。考虑信任效用时，当 $c_{BF} < c_{BF_2}$ 时，有 $u_m^{N^*} > u_m^{B^*} = \Pi_m^{N^*}$ ；当 $c_{BF} < c_{BF_3}$ 时，有 $u_r^{N^*} > u_r^{B^*} = \Pi_r^{N^*}$ 。验证推论 1-3。

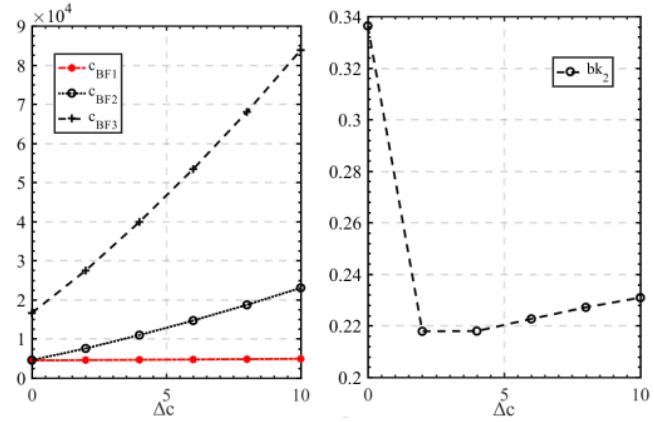


图 2 实施区块链条件的临界值

图 2（左）表明，（1）实施区块链固定成本临界值 c_{BF_1} 、 c_{BF_2} 、 c_{BF_3} 随消费者信任度差的增加而增加，即实施区块链对消费者信任度提高的效果越好，越有利于企业投资区块链技术。（2）考虑信任效用时，制造商经济价值目标下实施区块链的条件相比未考虑信任效用时条件宽松，即相对于完全的理性人，现实情况下的企业更愿意实施区块链。（3）对于经济价值目标来讲，零售商实施区块链的条件最宽松，即只要制造商实施区块链有利可图零售商定有利可图。图 2（右）表明，且当实施区块链前后消费者信任度差较小时，实施区块链的临界值随着消费者信任度的增加而减少；当实施区块链前后消费者信任度差较大时，实施区块链的临界值随着消费者信任度的增加而增加。这意味着，存在一个最优的消费者信任度差，使制造商在技术价值目标下投资区块链技术的充分条件最宽松。

6.2 实施区块链前后决策变量变化特征分析

图 3（左）表明，在延保服务潜在市场规模削弱因子 $0 < \alpha < 1$ 的取值范围内，未实施区块链时制造商

延保服务批发价格、零售价格、延保服务水平随着延保服务潜在市场规模削弱因子 α 的增加而降低, 即在未实施区块链时, 消费者不信任对延保服务供应链成员的决策变量有负面影响。图3(右)表明, 在延保服务潜在市场规模削弱因子 $0 < \alpha < 1$ 的取值范围内, 未实施区块链时制造商和零售商的利润随延保服务潜在市场规模削弱因子 α 的增加而降低。

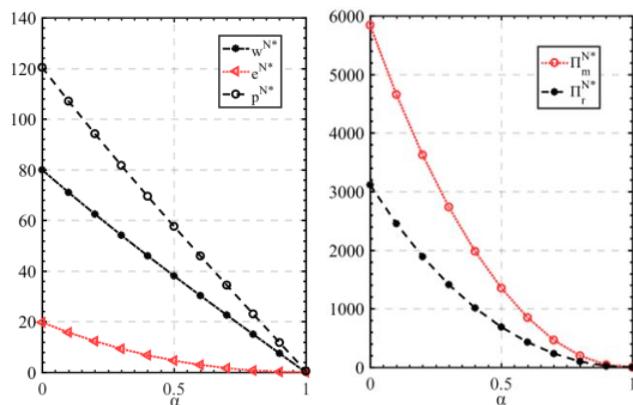


图3 未实施区块链情况下决策变量的变化

消费者对延保服务水平越不信任, 延保服务削弱因子则越大, 其对供应链成员的博弈均衡解的负向影响则越强。消费者对延保服务的不信任(或不完全信任)将降低对延保服务水平的期望, 进而削弱延保服务的市场需求。同时, 这种信任不充分也将降低制造商对服务水平投入, 即降低延保服务水平, 进一步削弱延保服务的市场需求。为了平衡这一影响, 延保服务供应链主体选择较低的批发价格和零售价格, 进一步削弱供应链成员的收益。因此消费者不信任严重制约延保服务的发展。

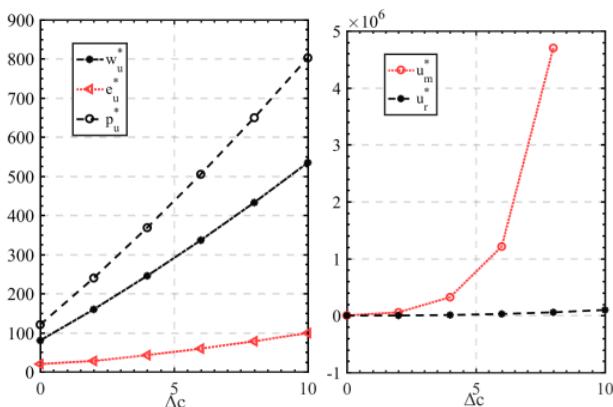


图4 实施区块链情况下决策变量的变化

图4(左)表明, 实施区块链后消费者的信任度

差在 $0 < \Delta_c < 10$ 的取值范围时, 制造商延保服务批发价格、零售价格、延保服务水平随着消费者的信任度差的增加而增加。图4(右)表明, 实施区块链后消费者的信任度差在 $0 < \Delta_c < 10$ 的取值范围时, 实施区块链后制造商和零售商的利润随消费者的信任度差的增加而增加。

消费者对延保服务的信任度差正向影响制造商延保服务批发价格、制造商延保服务水平、零售商的零售价格和决策主体的信任效用。对延保服务制造商而言, 实施区块链后, 消费者的信任度差越大, 企业越拥有较高的产品定价权, 另外, 因为消费者现已完全信任制造商的延保服务水平, 所以制造商有余力也有动力提升延保服务水平, 因此制造商将提高自己的利润。对零售商而言, 由于制造商提高了批发价格, 为保证自己利益零售商也会相应提升自己的延保服务零售价格, 由于消费者充分信任, 延保服务市场需求得以保证, 因此零售商也会相应获得更高的利润。

7 结论

延保服务供应链通过实施区块链解决企业之间、企业与消费者之间的信息不对称问题, 进而提升消费者对延保服务水平的信任度, 进而扩大产品延保服务的市场需求。基于此, 本文从建立信任和获得信任效用视角构建延保服务供应链博弈模型, 对比分析延保服务供应链未实施与实施区块链两种情形下决策结果的差异性, 探寻技术和经济价值目标条件下延保服务供应链实施区块链的充分条件。主要结论如下: 在未实施区块链的情形下, 延保服务削弱因子将负向影响供应链均衡解。当实施区块链的固定成本大于一定限度时, 制造商实施区块链后的利润小于实施区块链前的利润。当考虑信任效用时, 供应链成员实施区块链的条件相比未考虑效用时更为宽松, 且零售商实施区块链的条件最为宽松。存在一个最优的消费者信任度差, 使制造商在技术价值目标下投资区块链技术的充分条件最宽松。

本文以信任为切入点, 分析了延保服务供应链技术和经济价值目标条件下实施区块链的充分条件。但本文在刻画实施区块链所带来的信任效用时, 考虑的是静态效用, 而区块链技术运用允许供应链企业随着时间的推移积累知识, 从而产生动态价值。因此, 未来的研究可以从动态信任效用角度探索供应链企业实施区块链的条件及其对应决策。

参考文献

- [1] Lam Y, Lam P K W. An extended warranty policy with options open to consumers [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131 (3): 514-529.
- [2] Albaum G, Wiley J. Consumer perceptions of extended warranties and service providers [J]. Journal of Consumer Marketing, 2010, 27 (6): 516-523.
- [3] 孙晋怡. 信息不对称情形下考虑延保服务努力的供应链网络均衡研究 [D]. 青岛大学, 2021.
- [4] 立木网. 中国汽车延保市场预测与投资战略报告 (2020 版) [EB / OL]. (2019-12-10) [2020-04-05]. <http://www.lmcmr.com/qitahangye/qitahangye/2018-06-19/12627.html>. lmcmr.com. China automobile extended warranty market forecast and investment strategy report (2020 version) [EB / OL]. (201912-10) [2020-04-05]. <http://www.lmcmr.com/qita-hangye/qitahangye/2018-06-19/12627.html>.
- [5] Lutz N A, Padmanabhan V. Warranties, extended warranties, and product quality [J]. International Journal of Industrial Organization, 1998, 16 (4): 463-493.
- [6] 寇军, 张旭梅, 周茂森, 等. 产品服务供应链中产品与延保服务的联合定价与协调 [J]. 系统管理学报, 2020, 29 (3): 601.
- [7] Zhang L, Guan L, Long D Z, et al. Who is better off by selling extended warranties in the supply chain: the manufacturer, the retailer, or both? [J]. Annals of Operations Research, 2020: 1-27.
- [8] 林强, 刘名武, 王晓斐. 嵌入区块链信息传递功能的绿色供应链决策 [J/OL]. 计算机集成制造系统, 2022, 1-23.
- [9] 刘震, 经有国, 申诗遥. 基于促销和延保的渠道入侵与订货时序策略 [J]. 运筹与管理, 2022, 31 (2): 70.
- [10] 但斌, 高艳, 掌曙光. 产品服务供应链中延保服务销售策略研究 [J]. 管理评论, 2020, 32 (4): 171.
- [11] Qin X, Su Q, Huang S H. Extended warranty strategies for online shopping supply chain with competing suppliers considering component reliability [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2017, 26 (6): 753-773.
- [12] Huysentruyt M, Read D. How do people value extended warranties? Evidence from two field surveys [J]. Journal of risk and uncertainty, 2010, 40 (3): 197-218.
- [13] 赵晓敏, 胡淑慧. B2C 供应链最优决策及协调机制研究 [J]. 管理学报, 2019, 16 (2): 306.
- [14] 唐华, 艾兴政, 钟丽. 基于产品与延保服务竞争的供应链协调机制研究 [J]. 管理学报, 2021, 18 (6): 929.
- [15] Huang H, Liu F, Zhang P. To outsource or not to outsource? Warranty service provision strategies considering competition, costs and reliability [J]. International Journal of Production Economics, 2021, 242: 108298.
- [16] Cao K, Su Y, Xu Y, et al. "Free replacement extended warranty" or "traditional extended warranty": Optimal extended warranty selection strategy [J]. Managerial and Decision Economics, 2022, 56 (3) 1149-1166.
- [17] Zhu X, Ding L, Guo Y, et al. Decision and coordination analysis of extended warranty service in a remanufacturing closed-loop supply chain with dual price sensitivity under different channel power structures [J]. RAIRO-Operations Research, 2022, 56 (3): 1149-1166.
- [18] Liu Z, Chen J, Diallo C, et al. Optimal extended warranty pricing and retailing strategies in a closed-loop supply chain [J]. International Journal of Production Research, 2022: 1-24.
- [19] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations [J]. Management science, 2005, 51 (1): 30-44.
- [20] 张永芬, 魏航. 基于产品质量的供应链延保服务模式研究 [J]. 管理评论, 2021, 33 (2): 278.
- [21] Fu N, Cheng T C E, Tian Z. RFID investment strategy for fresh food supply chains [J]. Journal of the Operational Research Society, 2019, 70 (9): 1475-1489.
- [22] Toyoda K, Mathiopoulos P T, Sasase I, et al. A novel blockchain-based product ownership management system (POMS) for anti-counterfeits in the post supply chain [J]. IEEE access, 2017, 5: 17465-17477.
- [23] De Giovanni P. Blockchain and smart contracts in supply chain management: A game theoretic model[J]. International Journal of Production Economics, 2020, 228: 107855.
- [24] 谭春桥, 刘瑞环, 赵程伟. 基于区块链技术的疫苗供应链定价策略研究[J/OL]. 管理工程学报, 2022, 1-16.
- [25] Longo F, Nicoletti L, Padovano A, et al. Blockchain-enabled supply chain: An experimental study [J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 136: 57-69.
- [26] 汪传雷, 万一荻, 秦琴, 等. 基于区块链的供应链物流信息生态圈模型 [J]. 情报理论与实践, 2017, 40 (7): 115-121.
- [27] 孙传恒, 于华竟, 徐大明, 等. 农产品供应链区块链追溯技术研究进展与展望 [J]. 农业机械学报, 2021, 52 (1): 1-13.
- [28] Xu X, Zhang M, Dou G, et al. Coordination of a supply chain with an online platform considering green technology in the blockchain era [J]. International Journal of Production Research, 2021: 1-18.

- [29] 孙中苗, 徐琪, 史保莉. 区块链技术驱动下不同消费者类型的供应链最优定价决策 [J]. 管理学报, 2021, 18 (9): 1382.
- [30] Kshetri N. Blockchain and sustainable supply chain management in developing countries [J]. International Journal of Information Management, 2021, 60: 102376.
- [31] Choi T M, Feng L, Li R. Information disclosure structure in supply chains with rental service platforms in the blockchain technology era [J]. International Journal of Production Economics, 2020, 221: 107473.
- [32] 刘畅. 应用区块链的双渠道生鲜农产品供应链最优决策研究 [D]. 哈尔滨商业大学, 2022.
- [33] 刘亮, 李斧头. 考虑零售商风险规避的生鲜供应链区块链技术投资决策及协调 [J]. 管理工程学报, 2021, 36 (01): 159–171.
- [34] 梁喜, 肖金凤. 基于区块链和消费者敏感的双渠道供应链定价与渠道选择 [J]. 中国管理科学, 2021: 12.