

激励策略下数据供应链价值共创演化博弈分析

毕弘宇, 马志强

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年3月12日; 录用日期: 2025年3月27日; 发布日期: 2025年4月24日

摘要

随着数字技术的应用普及, 数据供应链逐步成为学术研究的重点。本研究引入激励策略, 构建数据供应链三方主体行为的演化博弈模型, 分析其演化稳定策略, 进而运用仿真分析来验证模型。研究发现: 不同的期望收益会使得系统演化至不同的均衡点, 数据供应链的价值共创目标需要三方主体的共同努力。超额收益、激励额度、期望损失等因素均会影响演化策略稳定点, 数据服务商应当重视数据产品及服务质量, 主动同供应商进行知识共享, 获得额外收益; 数据供应商应当在约束条件范围内制定合理的激励策略, 积极协调其他主体进行价值共创行为, 提高数据供应链的效率; 用户也需要积极进行数据共享, 供需匹配, 合作共赢。

关键词

数据供应链, 激励策略, 价值共创, 知识共享, 演化博弈

Evolutionary Game Analysis of Value Co-Creation in Data Supply Chains under Incentive Strategies

Hongyu Bi, Zhiqiang Ma

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Mar. 12th, 2025; accepted: Mar. 27th, 2025; published: Apr. 24th, 2025

Abstract

With the widespread adoption of digital technology, the data supply chain has gradually become a focal point of academic research. This study introduced incentive strategies and constructed an evolutionary game model for the behavior of the three main parties within the data supply chain. It analyzed their evolutionary stable strategies and verified the model through simulation analysis.

文章引用: 毕弘宇, 马志强. 激励策略下数据供应链价值共创演化博弈分析[J]. 电子商务评论, 2025, 14(4): 1734-1749.
DOI: 10.12677/ecl.2025.1441066

The research finds that different expected returns can lead the system to evolve towards different equilibrium points, and the goal of value co-creation in the data supply chain requires the joint efforts of the three main parties. Factors such as excess returns, incentive levels, and expected losses all affect the stability points of evolutionary strategies. Data service providers should prioritize the quality of data products and services, actively engage in knowledge sharing with suppliers to obtain additional benefits; data suppliers should formulate reasonable incentive strategies within constraints, actively coordinate with other parties for value co-creation behaviors, and improve the efficiency of the data supply chain; users also need to actively engage in data sharing, match supply and demand, and achieve win-win cooperation.

Keywords

Data Supply Chain, Incentive Strategies, Value Co-Creation, Knowledge Sharing, Evolutionary Game

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大数据时代,数据资源蕴含丰厚的价值已经成为共识,但是由于企业自身的局限,单个企业无法完全挖掘和利用数据潜在的全部价值。随着数字化的发展,企业将数据资源作为一种资产在市场上进行交易[1],数据供应链这一以数据交易为基础的新型商业结构也应运而生,被应用于人们生产生活的各个场景,如旅游订票(携程、飞猪)、娱乐社交(腾讯、微博)、科研情报(中国知网)和地图导航(高德、百度)等。值得注意的是,现阶段数据供应链中的主体只关注自身的利益,而忽视供应链整体的长远发展,大量数据供应链无法形成价值循环与增值,造成极大的资源浪费与恶性竞争。价值共创理论提供了破局新思路,通过资源整合实现数据价值的动态增值与公平分配[2]。

数据供应链中主要存在三方主体[3][4],分别为数据服务商(研发及提供增值后的数据产品及数据服务)、终端用户(个人、企业、政府等数据产品使用者)以及数据供应商(整合处理终端用户原始数据)。数据供应链是一个互联开放的数字化网络,各节点之间的信息交换更加高效便捷,主体之间存在相互作用关系,任何一方的选择都会对另外两个主体的利益造成影响。因此,本研究尝试引入激励机制,运用演化博弈方法来探究数据供应链三方主体协同发展的约束条件,促进三方广泛合作,改善供应链主体利益的帕累托效率,实现价值共创的终极目标。

演化博弈被广泛应用于供应链主体之间的动态复杂关系的研究,但是多数只考虑政府或第三方平台与供应链中某个主体的双方博弈[5][6],鲜有研究探究供应链各主体之间的动态演化机制,本研究运用演化博弈探究数据供应链三方主体之间的行为规律,得到稳定均衡点并进行模拟仿真分析,以期数据供应链的发展提供对策与建议。

2. 文献综述

近年来,学者们对供应链和价值共创理论展开了深入研究。传统产品供应链由下游企业[7]单向创造价值,导致数据流通僵化。周若璇基于价值共创理论,构建企业供应链的集成运营管理模式[8]。戴建平和骆温平研究了制造企业供应链数字化转型的机理和具体路径[9]。王福等探究了福田汽车新零售商业模式价值创造路径[10]。数据供应链中多元主体联系紧密,相互依赖,通过数据共享、技术协同等实现“数

据-服务-共享”闭环,协同创造价值[11][12]。吴群和杜媛媛对平台型电商供应链进行研究[13],丰富了数据供应链价值共创的研究框架。彭良军等将数据公司引入直播供应链,发现大数据投资可以改善供应链成员及整体效益[14]。可见,已有研究针对供应链价值共创取得了丰富的理论框架与实证证据,但也存在一定局限。一方面,大多研究基于传统静态供应链的线性结构特征,难以适配数据供应链高度复杂交互特征;另一方面,主流价值共创模型将主体间决策简化为单次或完全理性博弈,无法反映数据供应链中多方主体不同策略下的交互影响。本研究运用演化博弈理论,构建动态分析框架,量化数据供应链有限理性主体的策略学习过程。

2.1. 数据供应商与数据服务商

数据供应商掌握庞大的终端用户数据信息,能够精准把握客户需求,而数据服务商拥有整合加工数据的核心技术,双方主体间存在知识势差和资源优势互补性[5][15],双方需要进行知识共享以化解“信息孤岛”现状,弥补各自的不足,为终端用户提供智能高效的动态数据服务,以满足其差异化、定制化需求[16]。考虑到知识共享的风险性和有限理性的存在,数据供应商和数据服务商合作动机复杂,双方分别追求自身利益最大化,难以主动实现知识共享,只能通过内在动力驱使及外在激励措施来增强双方知识共享的意愿和动力,实现知识共享目标[3],最终完成新的价值创造。刘琳等[17]也发现合理的利益分配机制能够激励顾客积极参与知识共享。数据供应商始终有动机进行知识共享行为,所以本研究假设数据供应商会对数据服务商存在激励动机,促进双方知识共享合作关系。

2.2. 数据供应商与终端用户

数据的价值具有很强的不确定性,相同的数据产品针对不同的终端用户会产生不同的价值[18],基于此,了解终端用户的需求及偏好尤为重要。终端用户积极进行数据共享既能够帮助数据供应链节约成本,精准匹配市场需求,也能够帮助用户更便捷获取相关数据服务,促进数据供应链整体绩效的提升;然而,数字经济时代,隐私泄露、数据滥用等数据安全问题层出不穷,人们的隐私保护意识在不断增强,数据供应商在收集用户数据的过程中要关注隐私保护[19]。终端用户向数据供应商提供原始数据可能会存在泄露个人隐私信息的风险,提升终端用户的隐私顾虑,进而排斥隐私披露行为,甚至会向互联网平台提供虚假个人信息,造成数据要素市场的扭曲,影响数据的有效利用与数据资源的价值积累[1][20][21],导致价值共毁。但是,大量关于隐私的研究证明了隐私悖论的存在[22],即较高的隐私顾虑并不会显著影响隐私披露行为的现象。同时,顾客的隐私关注会随着推移的进行动态演化[23],其价值感知和收益感知会影响顾客对产品的使用意愿。Beresford 等[24]发现金钱收益将会影响存在隐私顾虑的用户对数据共享风险收益的权衡与判断。因此,数据供应商应该对终端用户提供隐私补贴,如个性化服务推荐、代金券补贴奖励[25]、社交支持[26]等来补偿其隐私损失[27]。故本研究假设数据供应商会对终端用户存在激励动机,鼓励终端用户积极进行数据共享。终端用户存在两种策略,即是否共享自身数据,则终端用户的策略集合为(意向共享,拒绝共享)。

单一、分散的价值独创活动已经不能适应社会发展的需要,数据供应商需要整合内外部资源,并且建立有效的数据保护和激励机制,最终实现价值共创[28]。所以,数据供应商在决策时选择是否激励数据服务商和终端用户,则其策略集合为(意向激励,拒绝激励)。

2.3. 数据服务商的质量意识

随着社会的数字化转型,数据服务商提供的服务逐步从单一的数据集升级为复杂综合的数据产品[29],用户提出的时效性、规范性等异质化需求[30][31]又对数据服务商提供的产品质量提出了新的挑战。提高

产品质量能够明显提高消费者的消费意愿,提升供应链的整体收益,这一结论同样适用于数据供应链。现有关于产品质量的研究多数注重对企业产品进行质量监管和控制[32] [33],具有实践价值及参考意义,少有文献从源头上关注企业产品质量意愿的演化机理,但是其极为重要[34]。高质量数据产品的研发需要投入大量的时间以及成本,且收益往往不能与投入相匹配,这会导致数据服务商降低数据产品的质量意识。受企业自身社会资源和认知能力等限制[35],数据服务商在进行质量行为决策时会考虑规避损失和追求利益最大化,最终决策是与数据供应商和终端用户博弈的结果。因此,本研究假设数据服务商在实际生产过程中存在两种策略选择,用重视数据产品质量和不重视数据产品质量分别表示数据服务商的质量意识强和弱,则数据服务商的策略集合为(重视,不重视)。

3. 模型假设与构建

原始数据的高效收集和数据产品的高质量产出是保障数据供应链持续发展的关键。图 1 为展示数据供应链主体之间的逻辑关系。

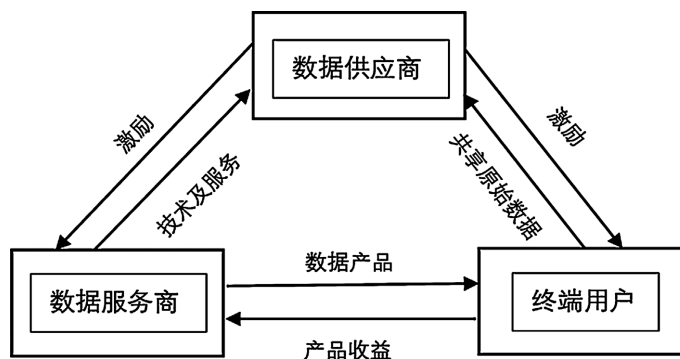


Figure 1. Logical relationship between supply chain entities
图 1. 供应链主体之间的逻辑关系

3.1. 模型假设

为了能够准确分析出各方策略和均衡点的稳定性以及相关要素的复杂影响关系,最终构建出完整的博弈模型,做出如下假设:

假设 1: 数据服务商为局中人 1, 数据供应商为局中人 2, 终端用户为局中人 3。三方博弈主体均为有限理性,随着时间的推移,主体通过模仿和学习,其策略选择将逐步演化稳定于最优策略。

假设 2: 数据服务商的策略空间 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2) = (\text{重视}, \text{不重视})$, 并以 x 的概率选择 α_1 , 以 $(1-x)$ 的概率选择 α_2 , $x \in [0, 1]$; 数据供应商的策略空间为 $\beta = (\beta_1, \beta_2) = (\text{意向激励}, \text{拒绝激励})$, 其选择 β_1 的概率为 y , 以 $(1-y)$ 的概率选择 β_2 , $y \in [0, 1]$; 终端用户的策略空间 $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2) = (\text{意向共享}, \text{拒绝共享})$, 并以 z 的概率选择 γ_1 , 以 $(1-z)$ 的概率选择 γ_2 , $z \in [0, 1]$ 。

假设 3: 数据服务商向终端用户提供数据产品可以获得收益 R_s 。当数据服务商重视数据产品质量时,企业生产高质量数据产品,此时投入的成本为 C_1 ; 当数据供应商意向激励时,能够促进数据服务商进行知识共享的意愿和动机,维持其高质量意识,数据服务商获得来自供应商的激励 A_s , 数据供应商也能够借助服务商的专业技术,吸引更多的终端用户积极参与数据供应链的价值创造,享受知识共享带来的超额收益 R_1 。当数据服务商不重视数据产品质量或者质量意识较弱时,数据产品的质量无法得到保证,生产低质量数据产品的概率为 η , 投入成本为 C_2 , $C_1 > C_2$, 当数据供应商拒绝激励时,数据服务商无法获得知识共享带来的超额收益,不能准确把握市场需求,此时 $t = 1$ 。同时,低质量数据产品流入市场会招

致大量的投诉和差评,降低数据供应链带给终端用户的价值感知,抑制终端用户进行数据共享的意愿,给数据供应商造成损失 Dp ,数据服务商也会面临停业整顿和信誉口碑下降的风险,其损失为 Ds 。当数据服务商质量意识较高时, $t = 0$ 。

假设 4: 当终端用户意向进行数据共享时,能够获得数据供应商为其提供的激励,此时终端用户获得的激励收益为 Au ,数据供应商获得原始数据价值,收益为 Rp ,终端用户隐私泄露的概率为 r ,损失为 Du ;当终端用户拒绝共享个人数据时,将无法获得激励,同时也不会有数据泄露的风险[36]。

假设 5: 在不存在外界因素干扰的情况下,终端用户倾向于使用数据服务商提供的数据产品。高质量数据产品能够满足终端用户的实际需求,使其获得收益 Ru ;当终端用户意向使用低质量数据产品时将不会获得收益 Ru 。

3.2. 模型构建

根据以上假设,构建数据供应链混合策略博弈收益矩阵,如表 1 所示。

Table 1. Data supply chain mixed strategy game income matrix

表 1. 数据供应链混合策略博弈收益矩阵

数据供应商		终端用户		
		意向共享 z	拒绝共享 $1 - z$	
数据服务商	重视 x	意向激励 y	$Rs - C1 + As,$ $R1 + Rp - As - Au,$ $Au + Ru - rDu$	$Rs - C1 + As,$ $R1 - As,$ Ru
		拒绝激励 $1 - y$	$Rs - C1,$ $Rp,$ $Ru - rDu$	$Rs - C1,$ $0,$ Ru
	不重视 $1 - x$	意向激励 y	$Rs - C2 + As - tDs,$ $R1 + Rp - As - Au - tDp,$ $Au + (1 - t)Ru - rDu$	$Rs - C2 + As,$ $R1 - As,$ $(1 - t)Ru$
		拒绝激励 $1 - y$	$Rs - C2 - Ds,$ $Rp - Dp,$ $-rDu$	$Rs - C2,$ $0,$ 0

4. 模型分析

为分析数据供应链中主体之间的动态演化规律,计算每个主体的复制动态方程,根据微分方程稳定性定理判定各主体的策略稳定状态,进而寻找策略均衡点并利用 Lyapunov 第一法进行稳定性分析。

4.1. 数据服务商策略分析

数据服务商重视数据产品质量的期望收益为:

$$E11 = y * z * (Rs - C1 + As) + y * (1 - z) * (Rs - C1 + As) + (1 - y) * z * (Rs - C1) + (1 - y) * (1 - z) * (Rs - C1) \tag{1}$$

数据服务商不重视数据产品质量的期望收益为:

$$E12 = y * z * (Rs - C2 + As - t * Ds) + y * (1 - z) * (Rs - C2 + As) + (1 - y) * z * (Rs - C2 - Ds) + (1 - y) * (1 - z) * (Rs - C2) \tag{2}$$

数据服务商的平均期望收益为:

$$E1 = Rs - C2 + y^* As - x^* C1 + x^* C2 - z^* Ds + x^* z^* Ds + y^* z^* Ds - y^* z^* t^* Ds - x^* y^* z^* Ds + x^* y^* z^* t^* Ds \quad (3)$$

数据服务商的复制动态方程为:

$$F(x) = x^*(E11 - E1) = -x^*(x-1)^*(C2 - C1 + z^* Ds - y^* z^* Ds + y^* z^* t^* Ds) \quad (4)$$

$$\frac{d(F(x))}{dx} = (2^* x - 1)^*[C1 - C2 - z^* Ds + (1-t)^* y^* z^* Ds] \quad (5)$$

当 $F(x) = 0$ 且 $d(F(x))/dx < 0$ 时, 数据服务商重视数据产品质量的概率趋于稳定。令 $Q(y) = [C1 - C2 - z^* Ds + (1-t)^* y^* z^* Ds]$, 通过求导易得: $Q(y)$ 是关于 y 的增函数, 当 $y = y^* = (C1 - C2 - z^* Ds)/(t-1)zDs$ 时, $d(F(x))/dx = 0$ 恒成立, 此时数据服务商不能确定稳定策略; 当 $y > y^*$ 时, $Q(y) > 0$, 此时 $x = 0$ 满足条件 $d(F(x))/dx < 0$, 因此 $x = 0$ (不重视) 为数据服务商的演化稳定策略(ESS)。同理, $y < y^*$ 时, $x = 1$ (重视) 为数据服务商的 ESS。数据服务商的策略演化相位图如图 2。

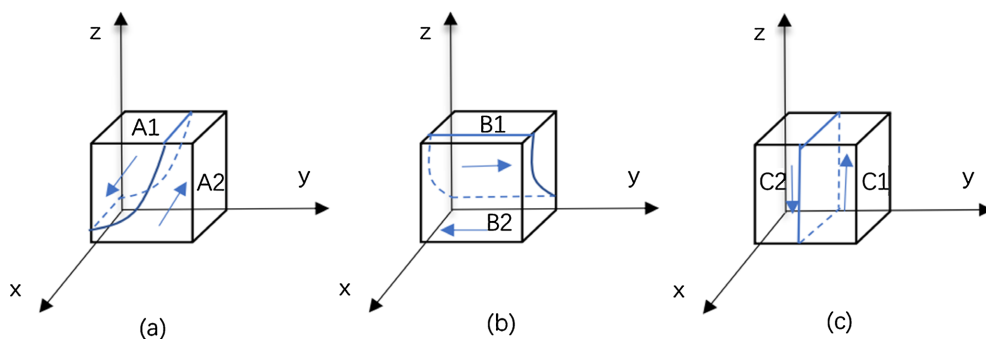


Figure 2. Evolution phase diagram
图 2. 演化相位图

根据图 2(a), 数据服务商选择重视数据产品质量的概率为 A1 的体积, 不重视的概率为 A2 的体积。在一定条件下, 数据服务商选择重视数据产品质量的概率与生产高质量数据产品的成本 $C1$ 负相关, 与生产低质量数据产品的成本 $C2$ 、概率 t 及其对数据服务商造成的损失 Ds 正相关。因此, 数据供应链应当提高对数据产品的要求, 加大监管奖惩力度, 杜绝低质量数据产品流入市场。

4.2. 数据供应商策略分析

数据供应商意向激励的期望收益为:

$$E21 = x^* z^* (R1 + Rp - As - Au) + x^* (1-z)^* (R1 - As) + (1-x)^* z^* (R1 + Rp - As - Au - t^* Dp) + (1-x)^* (1-z)^* (R1 - As) \quad (6)$$

数据供应商拒绝激励的期望收益为:

$$E22 = x^* z^* Rp + (1-x)^* z^* (Rp - Dp) \quad (7)$$

数据供应商的平均期望收益为:

$$E2 = y^*[x^*(As - R1)^*(z-1) + z^*(x-1)^*(As + Au - R1 - Rp + Dp^*t) - (As - R1)^*(x-1)^*(z-1) - x^* z^* (As + Au - R1 - Rp)] - [z^*(Dp - Rp)^*(x-1) + x^* z^* Rp]^*(y-1) \quad (8)$$

数据供应商的复制动态方程为:

$$F(y) = y^*(E21 - E2) \\ = y^*(y-1)^*(As - R1 + z^*Au - z^*Dp + t^*z^*Dp + x^*z^*Dp - t^*x^*z^*Dp) \quad (9)$$

$$\frac{d(F(y))}{dy} = (2^*y-1)^*[As - R1 + z^*Au - z^*Dp + z^*t^*Dp + (1-t)^*x^*z^*Dp] \quad (10)$$

当 $F(y) = 0$ 且 $d(F(y))/dy < 0$ 时, 数据供应商意向激励的概率趋于稳定。令

$G(x) = [As - R1 + z^*Au - z^*Dp + z^*t^*Dp + (1-t)^*x^*z^*Dp]$, 通过求导易得: $G(x)$ 是关于 x 的增函数, 当 $x = x^* = [As - R1 + z^*Au - z^*Dp + z^*t^*Dp] / [(1-t)^*z^*Dp]$ 时, $d(F(y))/dy = 0$ 恒成立, 此时数据供应商不能确定稳定策略; 当 $x > x^*$ 时, $G(x) > 0$, 此时 $y = 0$ 满足条件 $d(F(y))/dy < 0$, 因此 $y = 0$ (拒绝激励) 为数据供应商的演化稳定策略(ESS)。同理, $x < x^*$ 时, $y = 1$ (意向激励) 为数据供应商的 ESS。数据服务商的策略演化相位图如图 2(b)。

根据图 2(b), 数据供应商选择意向激励的概率为 $B1$ 的体积, 拒绝激励的概率为 $B2$ 的体积。在一定条件下, 数据供应商意向激励的概率与激励额度 Au 和 As 负相关, 与知识共享所获得的超额收益 $R1$ 正相关, 与低质量数据产品为其带来损失 Dp 存在较为复杂的关系, 故数据供应商制定激励策略时要综合考虑内外部因素。数据服务商应积极参与知识共享, 实现双赢。

4.3. 终端用户策略分析

终端用户意向共享数据的期望收益为:

$$E31 = x^*y^*(Au + Ru - r^*Du) + x^*(1-y)^*(Ru - r^*Du) \\ + (1-x)^*y^*(Au + (1-t)^*Ru - r^*Du) + (1-x)^*(1-y)^*(-r^*Du) \quad (11)$$

终端用户拒绝共享数据的期望收益为:

$$E32 = x^*y^*Ru + x^*(1-y)^*Ru + (1-x)^*y^*(1-t)^*Ru \quad (12)$$

终端用户的平均期望收益为:

$$E3 = x^*Ru + y^*Ru - r^*z^*Du + y^*z^*Au - t^*y^*Ru - x^*y^*Ru + t^*x^*y^*Ru \quad (13)$$

终端用户的复制动态方程为:

$$F(z) = y^*(E31 - E3) = z^*(Du*r - Au*y)^*(z-1) \quad (14)$$

$$\frac{d(F(z))}{dz} = (2^*z-1)^*(r^*Du - y^*Au) \quad (15)$$

当 $F(z) = 0$ 且 $d(F(z))/dz < 0$ 时, 终端用户意向共享的概率趋于稳定。令 $T(y) = (r^*Du - y^*Au)$, 通过求导易得: $T(y)$ 是关于 y 的减函数, 当 $y = y^* = r^*Du/Au$ 时, $d(F(z))/dz = 0$ 恒成立, 此时终端用户不能确定稳定策略; 当 $y > y^*$ 时, $T(y) < 0$, 此时 $z = 1$ 满足条件 $d(F(z))/dz < 0$, 因此 $z = 1$ (意向共享) 为终端用户的演化稳定策略(ESS)。同理, $y < y^*$ 时, $z = 0$ (拒绝共享) 为终端用户的 ESS。终端用户的策略演化相位图如图 2(c)。

根据图 2(c), 终端用户意向共享数据的概率为 $C1$ 的体积, 拒绝共享的概率为 $C2$ 的体积。

终端用户意向共享数据的概率与 Au 正相关, 与数据泄露的期望损失 rDu 负相关。数据供应商应当

在合理的范围内加大对终端用户的激励水平, 并提高自身数据保护能力, 降低终端用户的损失概率, 持续提高终端用户的数据共享意愿。

4.4. 三方演化博弈系统均衡点及其稳定性分析

由 $F(x) = 0$, $F(y) = 0$, $F(z) = 0$ 可以得到 12 个系统均衡点, 分别为: $E_1(0, 0, 0)$, $E_2(1, 0, 0)$, $E_3(0, 1, 0)$, $E_4(0, 0, 1)$, $E_5(1, 1, 0)$, $E_6(1, 0, 1)$, $E_7(0, 1, 1)$, $E_8(1, 1, 1)$, $E_9(0, (rDu)/Au, 0)$, $E_{10}(0, (rDu)/Au, 1)$, $E_{11}(1, (rDu)/Au, 0)$, $E_{12}(1, (rDu)/Au, 1)$ 。由于 $x, y, z \in [0, 1]$, 在满足条件(1): $rDu < Au$, 即终端用户隐私泄露的期望损失小于获得的激励时, E_9 、 E_{10} 、 E_{11} 和 E_{12} 才有意义。后续的判别均在满足条件(1)的基础上进行。

根据复制动态方程求得演化博弈系统的雅可比(Jacobian)矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$= \begin{bmatrix} J_{11} & -x^* z^* Ds^*(t-1)^*(x-1) & -x^* Ds^*(x-1)^*(t^* y - y + 1) \\ -y^* z^* Dp^*(t-1)^*(y-1) & J_{22} & J_{23} \\ 0 & -z^*(z-1)^* Au & (2^* z - 1)^*(r^* Du - y^* Au) \end{bmatrix}$$

其中,

$$J_{11} = -(2^* x - 1)^*(C2 - C1 + z^* Ds - y^* z^* Ds + t^* y^* z^* Ds)$$

$$J_{22} = (2^* y - 1)^*(As - R1 + z^* Au - z^* Dp + t^* z^* Dp + x^* z^* Dp - t^* x^* z^* Dp)$$

$$J_{23} = y^*(y-1)^*(Au - Dp + t^* Dp + x^* Dp - t^* x^* Dp)$$

根据 Lyapunov 第一法来判断 12 个均衡点的稳定性, 如表 2 所示: 当雅可比矩阵的所有特征值实部均为负时, 则此时对应的均衡点为一个渐近稳定点; 当特征值中存在正实部时, 该均衡点为不稳定点; 当特征值中存在实部为 0, 其余特征值实部均为负时, 不能用特征值来判断该均衡点的稳定性。

Table 2. Stability analysis of equilibrium points

表 2. 均衡点稳定性分析

均衡点	特征值	
	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	实部符号
$E_1(0, 0, 0)$	$C2 - C1, R1 - As, -rDu$	$(-, -, -)$
$E_2(1, 0, 0)$	$C1 - C2, R1 - As, -rDu$	$(+, -, -)$
$E_3(0, 1, 0)$	$C2 - C1, As - R1, Au - rDu$	$(-, +, +)$
$E_4(0, 0, 1)$	$rDu, C2 - C1 + Ds, Dp - Au - As + R1 - tDp$	$(+, +, +)$
$E_5(1, 1, 0)$	$C1 - C2, As - R1, Au - rDu$	$(+, +, +)$
$E_6(1, 0, 1)$	$rDu, C1 - C2 - Ds, R1 - Au - As$	$(+, +, +)$
$E_7(0, 1, 1)$	$rDu - Au, C2 - C1 + tDs, As + Au - Dp - R1 + tDp$	$(-, +, +)$
$E_8(1, 1, 1)$	$rDu - Au, C1 - C2 - tDs, As + Au - R1$	$(-, +, +)$

续表

$E_9 (0, (rDu)/Au, 0)$	$0, C2 - C1, (AsAu - AuR1 - 2rAsDu + 2rDuR1)/Au$	$(0, -, \times)$
$E_{10} (0, (rDu)/Au, 1)$	$0, \lambda a, \lambda b$	$(0, \times, \times)$
$E_{11} (1, (rDu)/Au, 0)$	$0, C1 - C2, -(AsAu - AuR1 - 2rAsDu + 2rDuR1)/Au$	$(0, +, \times)$
$E_{12} (1, (rDu)/Au, 1)$	$0, \lambda c, \lambda d$	$(0, \times, \times)$

注：以上判别均满足条件 $rDu < Au$ ，“ $\times$ ”表示不能确定实部正负号。

$$\lambda a = (AuC2 - AuC1 + AuDs - rDsDu + rtDsDu)/Au,$$

$$\lambda b = -(Au^2 + AsAu - AuDp - AuR1 - 2rAsDu - 2rAuDu + tAuDp + 2rDpDu + 2rDuR1 - 2rtDpDu)/Au,$$

$$\lambda c = -(AuC2 - AuC1 + AuDs - rDsDu + rtDsDu)/Au, \quad \lambda d = -(Au^2 + AsAu - AuR1 - 2AsDur - 2AuDur + 2DuR1r)/Au.$$

E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 和 E_6 特征值中存在的正实部， E_9 、 E_{10} 、 E_{11} 和 E_{12} 的特征值中存在 0，故 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6 、 E_9 、 E_{10} 、 E_{11} 和 E_{12} 无法满足 ESS 条件。需要分类讨论剩余三个均衡点的稳定情况，提出以下推论，表 3 为不同情况下均衡点稳定性的判别：

推论 1：当 $R1 < As$ 时， $E_1 (0, 0, 0)$ 为 ESS。

推论 1 表明当数据供应商从知识共享中获得的超额收益小于其对数据服务商激励成本时，策略组合稳定于(不重视，拒绝激励，拒绝共享)稳定点。出于对核心技术的保护，数据供应商与数据服务商可能不会主动进行深入的知识共享行为，此时知识共享带来的超额收益较低，致使数据供应商不愿投入激励成本而选择拒绝激励以获得更高收益，而高质量数据产品的高成本会使得数据服务商的质量意识趋于不重视，最终生产低质量数据产品，导致终端用户体验感知下降，最终选择拒绝共享数据，进入恶性循环。因此，该稳定策略并不利于数据供应链可持续性发展。

推论 2：当 $C2 + tDs < C1$ ， $As + Au + tDp < R1 + Dp$ 时，则 $E_7 (0, 1, 1)$ 为 ESS。

推论 2 表明当数据服务商重视数据产品质量时投入的成本大于质量意识较低时投入的成本与低质量数据产品为数据服务商带来的期望损失之和，并且数据供应商从知识共享中获得的超额收益与低质量数据产品为其带来的损失之和大于其对数据服务商和终端用户激励的总成本与期望损失之和，策略组合将稳定于(不重视，意向激励，意向共享)稳定点。此时，数据服务商重视数据产品的成本过高，低质量数据产品流入市场风险增大，因此数据供应商应当加大对数据服务商的激励力度，提升知识共享效益，提高数据服务商的质量意识。可见，数据供应商合理设计激励政策能够影响稳定策略组合，促进数据供应链持续高效发展。

推论 3：当 $C2 + tDs > C1$ ， $As + Au < R1$ 时，则 $E_8 (1, 1, 1)$ 为 ESS。

推论 3 表明当数据服务商重视数据产品质量时投入的成本小于质量意识较低时投入的成本与低质量数据产品为数据服务商带来的期望损失之和，并且数据供应商从知识共享中获得的超额收益大于其对数据服务商和终端用户激励的总成本时，策略组合稳定于(重视，意向激励，意向共享)。此时，过高的损失会刺激数据服务商提高质量意识，知识共享获得的超额利润也会驱动数据供应商的激励意愿，高质量数据产品持续提高终端用户的满意度，进而促使用户积极共享原始数据，三方共赢，数据供应链整体获得较高收益，整条数据供应链上形成良好的闭环，各节点之间主动紧密协作，实现新的价值共创。

推论 4：当 $rDu > Au$ ， $As > R1$ 时， $E_3 (0, 1, 0)$ 为 ESS。

推论 4 表明当终端用户隐私泄露的期望损失小于获得的激励，数据供应商获得超额收益少于其对数据服务商提供的激励额时，策略组合将稳定于(不重视，意向激励，拒绝共享)。尽管数据供应商选择继续维持激励行为，但因超额收益的减少，其激励额度也会相应发生下降。当数据服务商不能获得满意的期望收益时会选择生产低质量产品，进而使得终端用户收益受损而拒绝共享数据。数据供应商应当加强其

数据保护能力,降低用户数据泄露的风险,关注对终端用户的激励行为,使用户能够获得较高的激励收益,保证数据供应链的持续发展。

Table 3. Stability discrimination of equilibrium points under different circumstances

表 3. 不同情况下均衡点稳定性判别

情况	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	ESS	
1		$R1 < As$			E_1	推论 1
2				$As + Au - Dp - R1 + tDp < 0$	E_7	推论 2
3	$rDu < Au$		$C1 > C2 + tDs$	$As + Au - Dp - R1 + tDp > 0$		
4		$R1 > As$		$As + Au < R1$	E_8	推论 3
5			$C1 < C2 + tDs$	$As + Au > R1$		
6	$rDu > Au$	$R1 < As$			E_3	推论 4
7		$R1 > As$				

5. 仿真分析

结合现实情况将模型赋值,使用 Matlab R2022b 进行数值仿真以验证演化稳定性分析的有效性。推论 3 能够实现数据供应链的价值共创目标,优化价值创造过程,故本研究着重对该推论进行仿真分析。

数组 1: $As = 20$, $Au = 10$, $Rs = 60$, $Rp = 80$, $Ru = 30$, $R1 = 40$, $C1 = 40$, $C2 = 30$, $Dp = 40$, $Ds = 20$, $Du = 20$, $t = 0.7$, $r = 0.4$, 满足推论 1 中的各项条件,在数组 1 的基础上,分析 $R1$ 、 Au 、 As 、 Ds 、 t 对演化博弈过程和结果的影响。

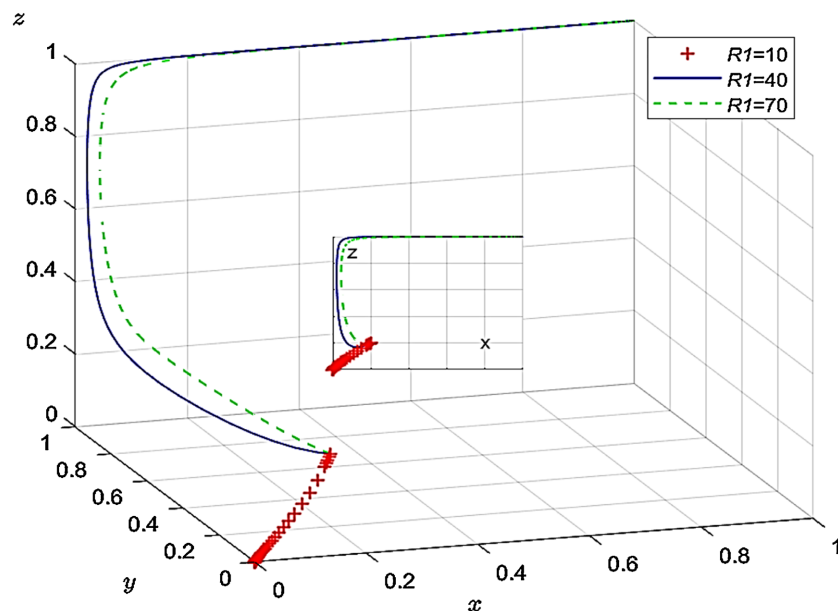


Figure 3. The impact of excess returns $R1$ by data providers through knowledge sharing

图 3. 数据供应商通过知识共享获得的超额收益 $R1$ 的影响

将 $R1$ 分别赋值 10, 40, 70, 复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真模拟如图 3 所示; 将 As 分别赋值 5, 20, 35, 复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真模拟如图 4 所示; 将 Au 分别赋值 10, 15, 20,

复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真模拟如图 5 所示; 将 Ds 分别赋值 10, 20, 30, 复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真模拟如图 6 所示; 将 t 分别赋值 0.6, 0.7, 0.8, 复制动态方程组随时间演化 50 次的仿真模拟如图 7 所示。

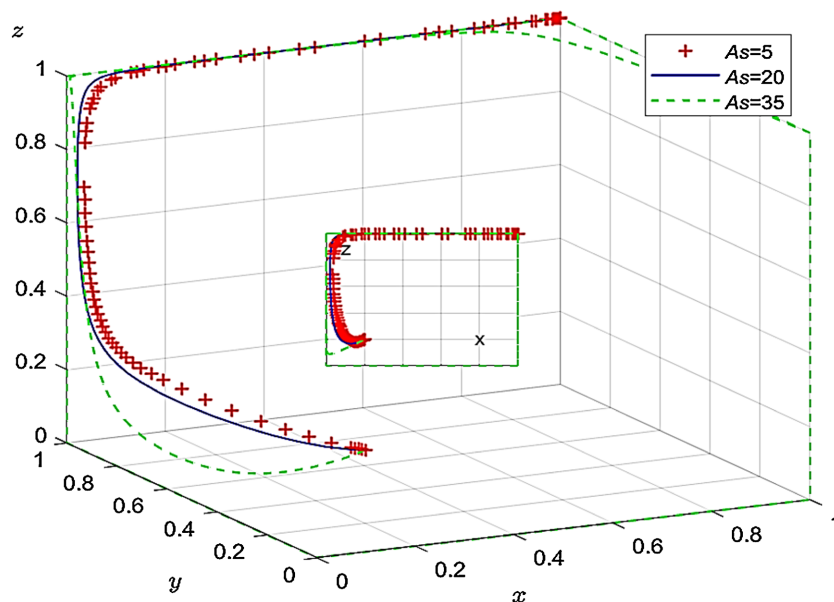


Figure 4. The impact of data providers on data service providers' incentive As

图 4. 数据供应商对数据服务商激励 As 的影响

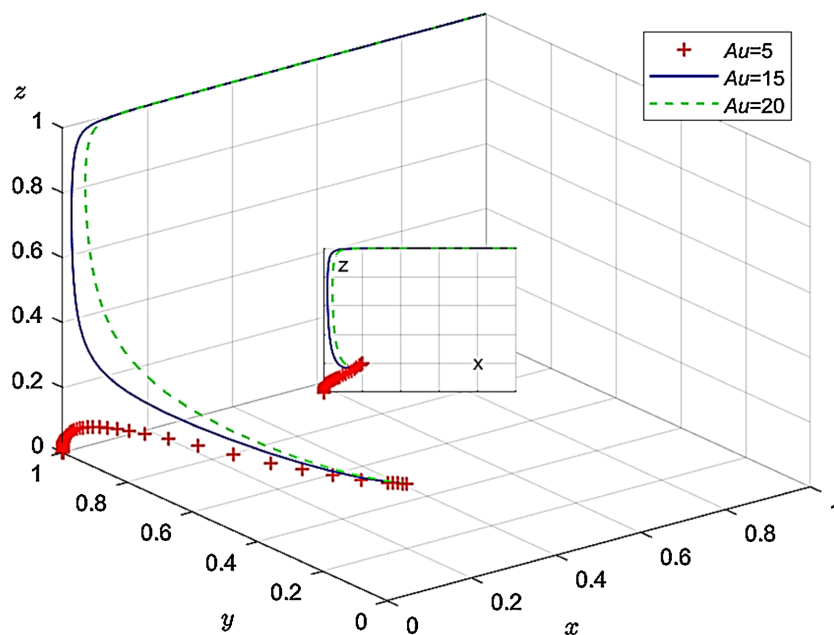


Figure 5. The impact of data providers on end-user incentive Au

图 5. 数据供应商对终端用户激励 Au 的影响

从图 3 中可以看出, 数据供应商通过知识共享获得的超额收益 $R1$ 的改变能够影响三方博弈系统演化稳定结果, 达到均衡点 E_8 (重视, 意向激励, 意向共享), 验证了推论 3 的准确性; 当 $R1 = 10$ 时, 此时

不满足推论 1 的条件, 系统将演化稳定于均衡点 E_1 (不重视, 拒绝激励, 拒绝共享), 证实了推论 1。因此, 数据服务商应当加强与数据供应商之间的知识共享行为, 以确保数据供应商能够获得期望的超额收益, 自身也能借助数据供应商的资源优势精准把控市场; 终端用户也应该积极配合数据供应商的数据采集诉求, 为数据供应商提供高质量数据资源, 提高数据供应商的收益, 同时也能够享受到数据供应链提供的高质量产品和服务。此时, 数据供应链实现三方共赢。

图 4 和图 5 再次验证了推论 3, 数据供应商对数据服务商和终端用户的激励行为能够影响最终的博弈稳定点。数据供应商对数据服务商和终端用户进行激励的目的是为了鼓励数据服务商研发高质量数据产品以及鼓励用户积极共享高质量原始数据, 但是其激励程度不能盲目, 要在一定的范围科学合理的制定激励方案, 以达到激励效果最优。图 4 中, 当数据供应商对数据服务商激励 $As = 35$ 时, 激励额度过高, 系统将无法演化收敛到某一均衡点。图 5 表明, 对终端用户激励额度的变动会对博弈系统演化稳定的速率产生影响, 因此数据供应商可以选择适当调整对终端用户的激励额度, 并尽可能提高数据隐私保护能力, 避免终端用户的价值感知水平的下降, 提升用户的归属感; 此外, 数据供应商还应进一步刺激数据服务商的知识共享意愿, 提高数据产品质量, 促进整条供应链协同发展。

图 6 表明, 当低质量数据产品流入市场为数据服务商带来的损失较少时, 博弈系统将会演化稳定于 E_7 (不重视, 意向激励, 意向共享), 符合推论 2 的论断。此外, 从图 7 中可以看出随着损失 Ds 和生产低质量产品概率 t 的增加, 演化速率也会提升。因此, 负面损失以及生产低质量产品概率的增加均会影响演化博弈的结果。数据供应商应当发挥其数据供应链关键主体作用, 提高对数据服务商的监督和处罚力度, 以确保系统演化稳定于 E_8 (重视, 意向激励, 意向共享), 终端用户也要积极维护自身合法权益, 抵制低质量数据产品的泛滥, 推动数据供应链协同高质量发展。

另外, 数组 1 满足推论 3, 提出数组 2 和数组 3, 分别满足推论 1 和推论 2 的各项条件。数组 2: $As = 30$, $Au = 15$, $Rs = 60$, $Rp = 80$, $Ru = 30$, $R1 = 50$, $C1 = 40$, $C2 = 30$, $Dp = 40$, $Ds = 20$, $Du = 20$, $t = 0.7$, $r = 0.4$; 数组 3: $As = 20$, $Au = 15$, $Rs = 60$, $Rp = 80$, $Ru = 30$, $R1 = 40$, $C1 = 40$, $C2 = 30$, Dp

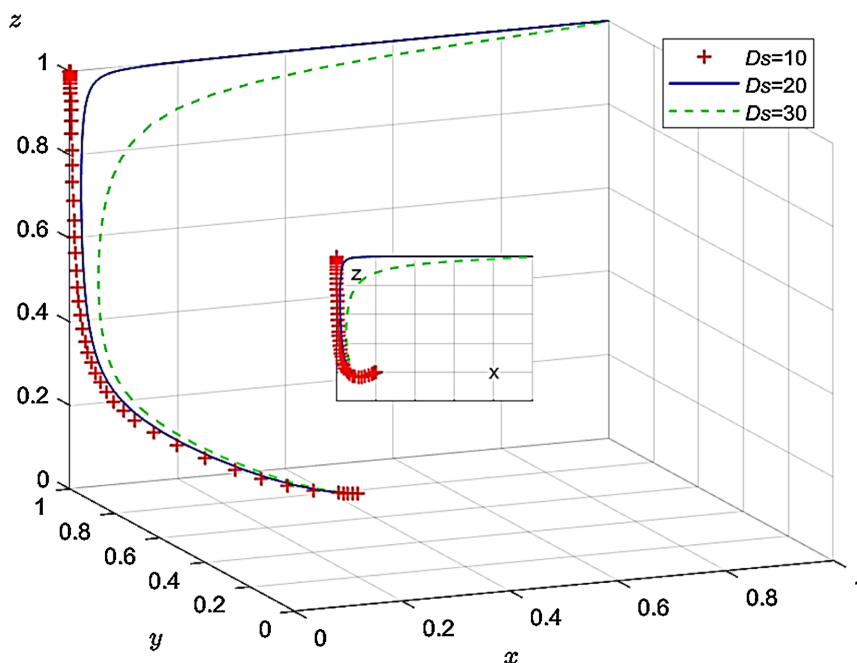


Figure 6. The impact of loss Ds by low quality data products
图 6. 低质量数据产品带来损失 Ds 的影响

$= 40$, $Ds = 10$, $Du = 20$, $t = 0.7$, $r = 0.4$ 。将三组数据从不同初始策略组合出发进行 50 次演化, 结果如图 8~10 所示。

图 8~10 进一步验证了推论 1~3, 在满足各自条件的情况下, 博弈系统将分别演化至不同的唯一均衡点。因此, 数据供应链价值实现需要三方主体的协同共创。数据供应商付出的激励总额不能高于其获得的超额收益, 且监管部门要严厉惩罚产出低质量数据产品的数据服务商, 在此基础上, 数据供应链才能

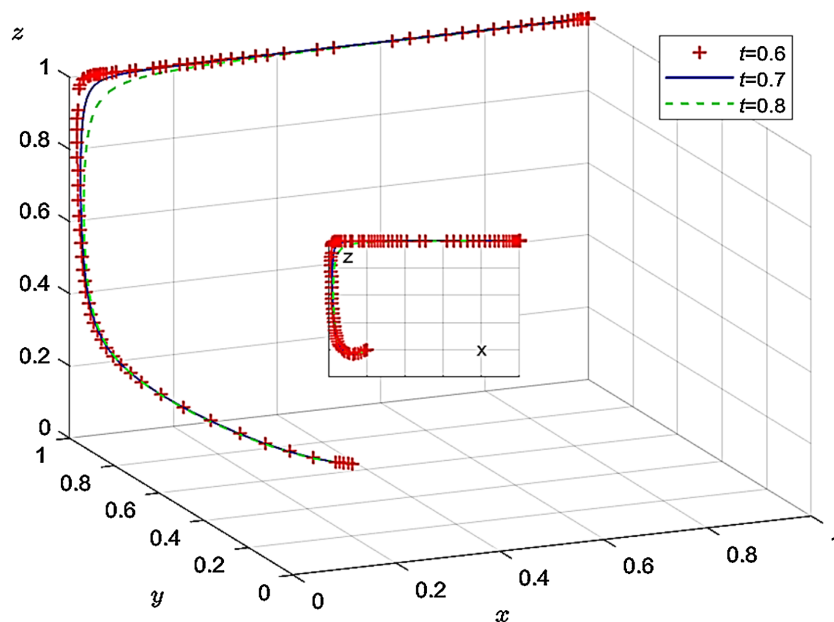


Figure 7. The impact of probability t of data service providers producing low quality data products
图 7. 数据服务商生产低质量数据产品概率 t 的影响

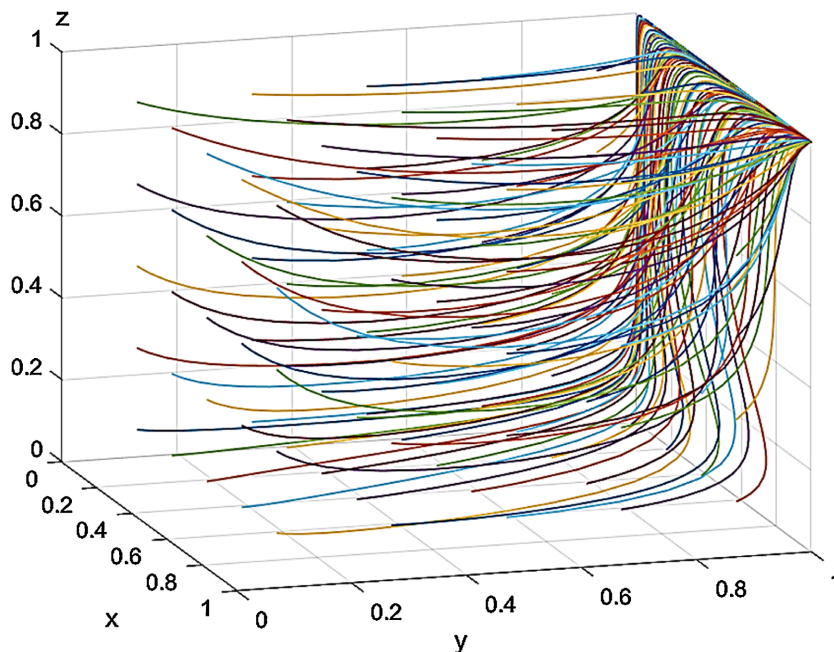


Figure 8. 50 evolutions of array 1
图 8. 数组 1 演化 50 次结果

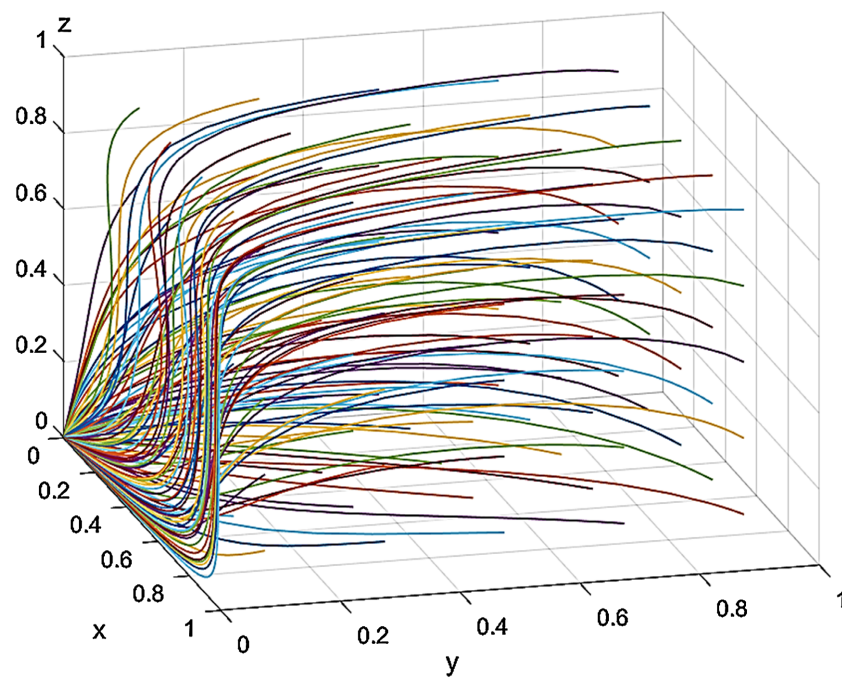


Figure 9. 50 evolutions of array 2
图 9. 数组 2 演化 50 次结果

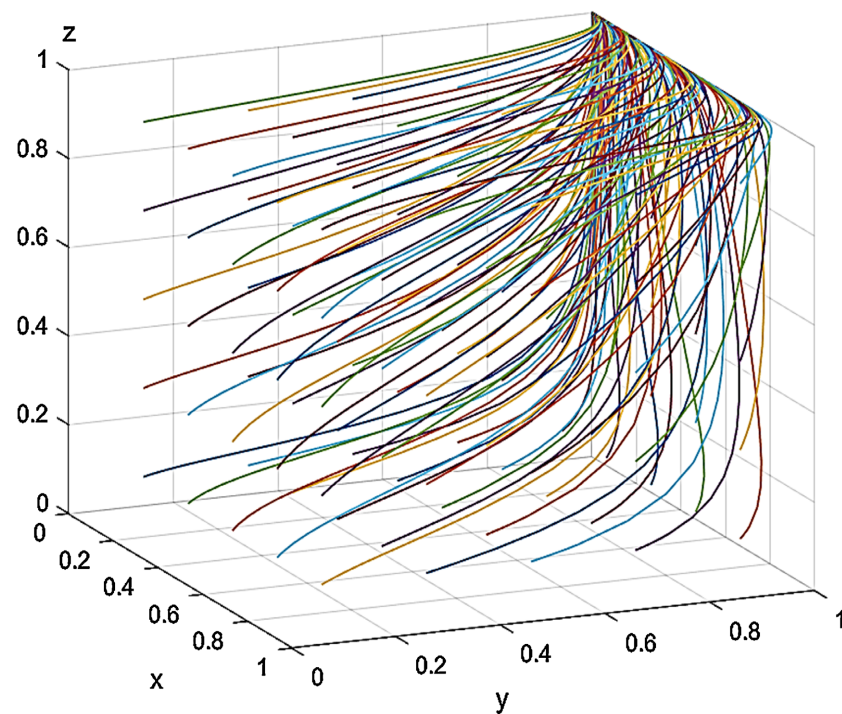


Figure 10. 50 evolutions of array 3
图 10. 数组 3 演化 50 次结果

持续健康发展, 真正实现价值共创。仿真结果与模型推导结论一致, 说明本研究对数据供应链三方主体协同发展具有一定现实意义。

6. 结论

文章通过引入激励机制, 构建数据服务商、终端用户和数据供应商三方主体间的演化博弈模型, 分析了各方系统均衡策略组合的稳定性和部分要素的影响关系, 并通过仿真模拟验证了相关结论的有效性。主要结论有: (1) 不同主体间的期望收益差异往往导致系统演化至不同的均衡点。具体而言, 当各方主体对收益的预期存在差异时, 其决策行为将直接影响数据流动、资源共享及价值分配等环节, 进而形成不同的系统均衡状态, 数据供应链的价值共创目标需要三方主体的共同努力。(2) 对于数据服务商而言, 过分保护企业核心资源而拒绝进行知识共享行为会导致整个数据供应链的价值共毁, 这并不可取。数据服务商应当发挥自身技术优势, 利用好数据供应商提供的外部资源, 同时注重与终端用户的沟通合作, 在数据供应链价值创造的同时积极汲取养分, 谋求更好的发展。(3) 对于数据供应商而言, 单个企业收益最大化并不利于数据供应链的协同发展, 数据供应商要发挥好自身的核心作用, 制定合理的激励策略, 对数据服务商的激励水平不能高于超额收益, 对终端用户的激励水平不能低于其期望损失。(4) 对于终端用户而言, 应当积极向数据供应商共享高质量原始数据, 让整个数据供应链“赢在起跑线上”, 同时还要强化维权意识, 当自身隐私或权益受到侵犯时, 要坚决维护, 提高数据服务商的质量意识和数据供应商的数据保护意识, 为整个数据供应链营造一个公平、透明、安全的运营环境。

参考文献

- [1] 喻海飞, 黄晋婷. 基于闭环数据供应链的数据产品定价策略研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(1): 136-146.
- [2] Prahalad, C.K. and Ramaswamy, V. (2004) Co-Creation Experiences: The Next Practice in Value Creation. *Journal of Interactive Marketing*, 18, 5-14. <https://doi.org/10.1002/dir.20015>
- [3] Niyato, D., Alsheikh, M.A., Wang, P., Kim, D.I. and Han, Z. (2016) Market Model and Optimal Pricing Scheme of Big Data and Internet of Things (IoT). 2016 *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kuala Lumpur, 22-27 May 2016, 1-6. <https://doi.org/10.1109/icc.2016.7510922>
- [4] Cavanillas, J.M., Curry, E. and Wahlster, W. (2016) New Horizons for a Data-Driven Economy: A Roadmap for Usage and Exploitation of Big Data in Europe. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21569-3>
- [5] 和征, 张志钊, 杨小红. 云制造创新生态系统知识共享激励的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2022, 30(7): 77-87.
- [6] 邹小红, 陈金龙. 共享供应链平台价值共创行为演化博弈研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2021(5): 96-111.
- [7] 范建昌, 陈威, 付红, 等. 产品责任视角下零售商主导供应链质量激励策略研究[J]. 管理工程学报, 2023, 37(1): 187-199.
- [8] 周若璇. 基于价值共创的供应链集成运营模式研究[J]. 全国流通经济, 2023(18): 103-106.
- [9] 戴建平, 骆温平. 制造企业供应链数字化转型的机理与路径——基于工业互联网平台多边价值共创视角[J]. 财会月刊, 2023, 44(17): 137-144.
- [10] 王福, 刘俊华, 长青, 等. 场景链如何基于供应链赋能新零售商业模式价值共创?——福田汽车案例研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(7): 135-155.
- [11] Yuan, Y. and Hu, G. (2016) A Critical Review on Value Co-Creation: Connotations, Evolution and Mechanisms. *Service Science and Management*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.12677/ssm.2016.51001>
- [12] Jiao, Y., Wang, P., Niyato, D., Abu Alsheikh, M. and Feng, S. (2017) Profit Maximization Auction and Data Management in Big Data Markets. 2017 *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, San Francisco, 19-22 March 2017, 1-6. <https://doi.org/10.1109/wcnc.2017.7925760>
- [13] 吴群, 杜媛媛. 平台型电商企业生态圈价值共创的实现机制研究[J]. 管理学刊, 2024, 37(5): 48-64.
- [14] 彭良军, 吕刚, 宋慧玲, 等. 随机需求下直播供应链大数据投资鲁棒优化决策与协调[J/OL]. 运筹与管理, 1-8. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1133.G3.20250123.1726.002.html>, 2025-01-16.
- [15] 肖昊宇, 郭鹏. 考虑知识势差的跨组织项目合作知识共享演化博弈研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(9): 132-151.

- [16] 王京, 陈伟, 高长元, 等. 云制造联盟创新生态系统形成、模型构建及演化研究[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(19): 53-58.
- [17] 刘琳, 王玖河. 基于知识结构的顾客知识共享激励机制研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(8): 241-248.
- [18] Li, X., Wang, H., Wen, L. and and Nie, Y. (2018) Price Coordination in Closed-Loop Data Supply Chain. *International Journal of Applied Decision Sciences*, **12**, 20-36.
- [19] Jones, C.I. and Tonetti, C. (2020) Nonrivalry and the Economics of Data. *American Economic Review*, **110**, 2819-2858. <https://doi.org/10.1257/aer.20191330>
- [20] 续继, 王于鹤. 数字经济中的隐私保护和数据共享——基于隐私顾虑与个人信息虚构的视角[J]. 统计研究, 2022, 39(2): 48-63.
- [21] 朱光, 李风景, 颜赓. 悖论消解作用下的移动医疗隐私披露行为研究[J]. 情报理论与实践, 2022, 45(8): 104-114.
- [22] Zhu, Y., Kanjanamekanant, K. and Chiu, Y. (2023) Reconciling the Personalization-Privacy Paradox: Exploring Privacy Boundaries in Online Personalized Advertising. *Journal of the Association for Information Systems*, **24**, 294-316. <https://doi.org/10.17705/1jais.00775>
- [23] 朱光, 李风景, 卞淑莹. 隐私关注驱动的智慧医疗使用意愿研究[J]. 图书馆论坛, 2022, 42(6): 127-140.
- [24] Beresford, A.R., Kübler, D. and Preibusch, S. (2012) Unwillingness to Pay for Privacy: A Field Experiment. *Economics Letters*, **117**, 25-27. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.077>
- [25] 王瑜超. 在线医疗社区用户健康隐私信息披露意愿的影响因素研究[J]. 信息资源管理学报, 2018, 8(1): 93-103.
- [26] Zigron, S. and Bronstein, J. (2018) “help Is Where You Find It”: The Role of Weak Ties Networks as Sources of Information and Support in Virtual Health Communities. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, **70**, 130-139. <https://doi.org/10.1002/asi.24106>
- [27] Islam, M.T. and Huda, N. (2018) Reverse Logistics and Closed-Loop Supply Chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-Waste: A Comprehensive Literature Review. *Resources, Conservation and Recycling*, **137**, 48-75. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.026>
- [28] 简兆权, 谭艳霞, 刘念. 数字化驱动下智慧医疗服务平台价值共创的演化过程——基于服务生态系统和知识整合视角的案例研究[J]. 管理评论, 2022, 34(12): 322-339.
- [29] 黄倩倩, 赵正, 刘钊因. 数据流通交易场景下数据质量综合管理体系与技术框架研究[J]. 数据分析与知识发现, 2022, 6(1): 22-34.
- [30] 程春明, 何庆光. 基于数据供应链的统计数据质量控制体系构建[J]. 统计与决策, 2013, 29(1): 41-43.
- [31] 宋敏, 覃正. 国外数据质量管理研究综述[J]. 情报杂志, 2007, 26(2): 7-9.
- [32] Chen, X.-L. and Feng, J.-W. (2007) Research on Agricultural Food Supply Chain Prediction and Control Based on Microbial Forecast. *Canadian Social Science*, **3**, 42-50.
- [33] Rajesh, R., Ravi, V. and Venkata Rao, R. (2014) Selection of Risk Mitigation Strategy in Electronic Supply Chains Using Grey Theory and Digraph-Matrix Approaches. *International Journal of Production Research*, **53**, 238-257. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.948579>
- [34] 徐静, 姚冠新, 戴盼倩, 等. 生鲜电子供应链参与主体质量决策行为研究——基于信息可追溯视角[J]. 华东经济管理, 2016, 30(3): 155-160.
- [35] 赵哲耘, 刘玉敏, 刘莉. 基于前景理论的药品质量安全监管演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2022, 31(10): 75-81.
- [36] 韩普, 顾亮, 张嘉明. 隐私保护视角下医疗数据共享意愿研究——基于三方演化博弈分析[J]. 现代情报, 2021, 41(3): 148-158.