

面向科技服务数据共享策略的 智能合约激励机制研究^{*}

王倩^{1,2} 徐尚英^{1,2} 陈冬林^{1,2} 唐艺倩^{1,2}

(1. 武汉理工大学经济学院 武汉 430070;

2. 湖北省电子商务大数据工程技术研究中心 武汉 430070)

摘要:[目的/意义] 现有科技服务数据获取难、科技服务机构共享意愿低下,需激励更多的科技服务机构参与到科技服务数据共享中,充分释放科技服务数据的服务价值和经济价值。[方法/过程] 在基于区块链技术的科技服务数据共享平台上,通过演化博弈理论设计出科技服务机构参与数据共享的三种共享策略;根据科技服务数据共享策略构建安全、高效、动态可调整的智能合约激励机制;并针对共享策略影响因素和智能合约激励机制进行仿真分析。[结果/结论] 结果表明,数据集成和数据互补与科技服务机构数据积极共享的选择成正相关;智能合约激励机制面对不同的数据共享策略,对激励参数应采取动态调整,以达到促进科技服务数据积极共享的目的,有利于打造安全高效的科技服务数据资源池。

关键词:数据共享;激励机制;科技服务;演化博弈;区块链

中图分类号:G203

文献标识码:A

文章编号:1002-1965(2021)10-0157-09

引用格式:王倩,徐尚英,陈冬林,等.面向科技服务数据共享策略的智能合约激励机制研究[J].情报杂志,2021,40(10):157-165.

Research on Smart Contract Incentive Mechanism Oriented to Sci-Tech Services Data Sharing Strategy

Wang Qian^{1,2} Xu Shangying^{1,2} Chen Donglin^{1,2} Tang Yiqian^{1,2}

(1. School of Economics, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070;

2. Hubei Provincial Research Center for E-Business Big Data Engineering Technology, Wuhan 430070)

Abstract: [Purpose/Significance] The existing sci-tech services data is difficult to obtain and the sharing willingness of sci-tech services institutions is low. More sci-tech services institutions need to be encouraged to join the sharing of sci-tech services data to fully release the service and economic value of sci-tech services data. [Method/Process] Based on the evolutionary game theory, three sharing strategies are designed for sci-tech services institutions to participate in the sci-tech services data sharing. The paper constructs a safe, efficient, and dynamically adjustable smart contract incentive mechanism for sci-tech services data sharing strategies, and conducts simulation analysis on the influencing factors of sharing strategies and smart contract incentive mechanisms. [Result/Conclusion] The results show that data integration or data complementation is positively correlated with the choice of active sharing of data by sci-tech services institutions. The smart contract incentive mechanism can realize the dynamic adjustment of incentive parameters, so that the sci-tech services data sharing platform and the sci-tech services institutions can benefit together, and it is conducive to creating a safe and efficient science sci-tech services data resource pool.

Key words: data sharing; incentive mechanism; sci-tech services; evolutionary game; blockchain

0 引言

随着大数据时代的到来,科技服务数据呈指数级增长,并与人工智能、云计算、区块链等新一代信息技术相互融合,为科技服务业的发展提供数据支撑和技术支持。面向日益多样化和个性化的科技服务创新需求,科技服务业在数据管理和数据采集方面的能力已经大幅提升,科技服务数据共享平台将不同领域、不同类型的科技服务数据进行了有效整合,提高了数据利用效率,实现了不同数据间的协同能力,促进科技服务数据在更大范围内实现开放共享。然而在科技服务数据共享以及共享激励方面还存在问题,科技服务机构在数据平台上共享数据的意愿不强、动力不足,数据安全得不到保障;科技服务数据共享平台共享激励机制不完善、技术支撑不足。如何有效激励更多的科技服务机构参与到平台的数据共享成为亟待解决的重要问题,科技服务机构相互开放和共享数据,是一个反复博弈的过程,需基于信任和利益驱动,在科技服务数据共享平台的激励下相互学习和模仿,做出是否参与平台数据共享共用的决策。

区块链技术凭借分布式、点对点等特性可以解决科技服务机构间的信任和安全问题,并通过程序化的智能合约自动执行激励过程,保障科技服务数据共享过程中的安全性和有效性,提高科技服务机构对数据共享的意愿,为科技服务数据共享平台提供技术支撑。区块链技术的出现为科技服务数据共享提供了新的解决思路,有利于打造一个安全、可信的科技服务数据资源池。因此,在区块链智能合约技术支持下,本文从演化博弈视角出发,基于微观层面探讨科技服务机构之间的数据共享策略,根据共享策略来构造智能合约激励机制,以此激励更多科技服务机构参与到平台的数据共享,对于促进科技服务数据共享平台发展、加快科技服务数据共享体系建设具有重要理论与现实意义。

1 研究现状

在数字经济的时代背景下,众多学者越来越重视对数据共享的研究,特别是针对数据共享策略和激励机制两方面的研究。a. 针对数据共享策略,国内外研究主要集中在通过博弈论来探讨数据共享的影响因素以及各个行为主体的共享行为。Adler 等^[1]通过演化博弈理论分析了科学数据共享策略的影响因素主要有个人动机、平台因素和行业因素;庄倩等^[2]通过演化博弈理论构建了科研群体参与数据共享的策略演化过程,表明科研人员间的信任和合作有利于科学数据共享的实现;Bataineh 等^[3]为实现对医疗健康数据的收集和共享交易,基于双边市场理论构建了数据货币化

的共享平台,并得出了数据主体的交易行为会受到自身利益的驱动;郭鑫鑫等^[4]在魏朱六要素理论模型下分析了数据共享者、服务提供者、数据需求者和健康数据共享平台四方利益相关者的共享行为,并以“区动体育”平台为案例对其商业模式进行了总结。b. 针对数据共享激励机制,国内外研究主要集中在激励方法和激励技术的探讨上。Jaimes 等^[5]在 Growdensing 模式下设计了激励数据主体共享个人健康数据的激励机制;Chen 等^[6]引入具有信任约束的奖惩机制来激励跨界联盟成员间的数据共享,并解决了成员间的信任问题;郝世博等^[7]基于区块链技术构建了科学数据共享区块链模型,并对其共识激励机制、智能合约等实现机理进行了分析;石进等^[8]围绕中小企业竞争情报共享提出了信用积分体制的激励机制,保障了参与主体的利益最大化;张旺等^[9]从心理契约和合同契约的视角提出了最优激励合同是科研群体进行数据共享的主要激励机制。

通过文献分析可知,国内外学者对数据资源共享策略和激励机制的研究主要集中在科学数据、医疗健康数据、竞争情报数据等领域,而针对科技服务领域数据的研究非常少见,且多是单一研究数据共享的某一方面,并没有从数据共享的策略出发去探讨相关激励机制的形成。在我国科技服务市场中存在大量以技术交易所和科技成果转化中心为主的科技服务机构^[10],他们各自拥有大量的交易信息和科技成果数据,造成了数据壁垒和数据孤岛的大量存在。李白杨等^[11]结合现有案例研究发现在新场景下开展科技服务的基本路径之一是数据资源的集成与共享,但并未给出科技服务数据资源是如何集成与共享的。张玉强等^[12]认为影响科技服务机构共享策略的主要因素是科技服务平台的数据共享激励机制的不完善,并且由于各机构间硬件设施、存储方式等基础设施的限制,异质科技服务机构也很难在缺乏信任和安全性的科技服务平台上形成数据共享共用的动态合作机制^[13]。由此可看出科技服务数据共享还存在以下问题:a. 科技服务机构共享数据的意愿不强、动力不足,数据安全得不到保障;b. 科技服务数据共享平台共享激励机制不完善、技术支撑不足。科技服务业的行业特性以及数据资源的复杂性决定了其主体数据共享策略的不同,目前在其他领域较成熟的数据共享方面的研究并不完全适用于科技服务领域。因此,本文拟在基于区块链技术的科技服务数据共享平台上,采用演化博弈理论分析各个科技服务机构数据共享的策略,根据具体的共享策略提出智能合约激励机制,以解决上述问题。

参与数据共享的科技服务机构之间既有利益差别,同时又相互依存,不断地根据历史经验和学习程度

来决定未来是否要参与数据共享,各个机构间的合作与竞争表现为一定形式的博弈过程。因此,通过演化博弈理论^[14-15]来分析科技服务不同主体间参与数据共享的策略是很有必要的。区块链技术凭借其公开透明、去中心化的特点^[16],在物联网、金融、医疗、物流等行业已经得到广泛应用^[17-19],在数据信息资源开发共享领域潜力也是巨大的。区块链技术本质上是一个多中心的分布式数据库,通过链式结构存储区块中的数据、非对称加密等密码学保证数据安全、智能合约操作和读取区块中的数据。区块网络中的所有节点构成 P2P 分布式网络,任何互不信任的科技服务机构都可以通过加密算法、智能合约等方式达成共识^[20]。智能合约是可以在区块链上自动执行的特殊程序,其程序代码及数据均存储于链上,具有防篡改性强、去中心化程度高等特点。智能合约封装了数据操作的所有数据和方法,类似于编程语言中的“类”,需要满足可确定性和可终止性的条件^[21]。用户在区块链平台上调用的交易通常是智能合约的方法或方法集合,所有节点必须按照智能合约预置的触发条件和响应规则进行运算。为使科技服务数据共享平台有效激励科技服务机构参与数据共享,可引入区块链技术构造一个安全、可信、防篡改的数据共享环境,通过部署在区块链上的智能合约正好为科技服务数据共享激励机制的实现提供可信、安全的保障。

基于此,本文基于区块链技术和演化博弈理论对科技服务机构参与数据共享的策略进行了分析,并以此为依据构建了面向科技服务数据共享策略的智能合约激励机制,一方面可激励更多的科技服务机构参与到科技服务数据共享平台的数据共享,使科技服务机构和科技服务数据共享平台同时获益,保证平台的长久运行;另一方面则有利于释放科技服务数据的服务价值和经济价值,促进科技服务市场的信息壁垒和数据孤岛的破除,实现“1+1>2”的融合扩大效应。

2 研究框架

数据共享的核心是从数据的流通和交换中获利^[22],科技服务机构在以区块链技术为支撑的科技服务数据共享平台中共享数据的实质就是衡量在数据共享中所获得的共享收益、共享成本和激励成本的理性过程。参考现有研究^[11]将参与到科技服务数据共享平台上的机构分为科技服务综合机构和科技服务专业机构。综合机构和专业机构在科

技服务数据的类型、质量、规模上都有所区别,综合机构的数据类型更多、规模更大,专业机构拥有的数据专业化程度则更高。因此,综合机构和专业机构参与科技服务数据共享平台中的数据共享所获得的收益和损失是不同的^[23],在数据共享策略的选择上会受到自身数据集成^[24]和数据互补^[25]的影响。

在本文中,数据集成是指科技服务机构拥有的数据资源存量,是衡量科技服务机构拥有的数据规模、质量和类型的综合指标,属于科技服务机构对科技服务数据的提前投资;数据互补是指科技服务机构向数据共享平台提供的数据共享量,是衡量数据异质性的量化指标,属于科技服务机构在共享过程中所能获得的收益。

因此,基于区块链的科技服务数据共享激励框架如图 1 所示。在区块链网络中的综合机构和专业机构都拥有各自的专有数据库,并对其进行分布式管理和存储;综合机构和专业机构通过区块链网络,在科技服务数据共享平台上不断进行数据共享的演化博弈,调整其参与数据共享的共享策略;身份管理合约 (Identity Manage Contract, IMC) 通过预置的响应规则来确认和管理科技服务机构的身份,数据共享激励合约 (Data Sharing Incentive Contract, DSIC) 根据选择不同共享策略的机构初始比例来动态调整激励参数,根据预置触发条件和响应规则进行迭代,以此激励更多的科技服务机构参与到平台的数据共享,打造出数量大、质量高的科技服务数据资源池。

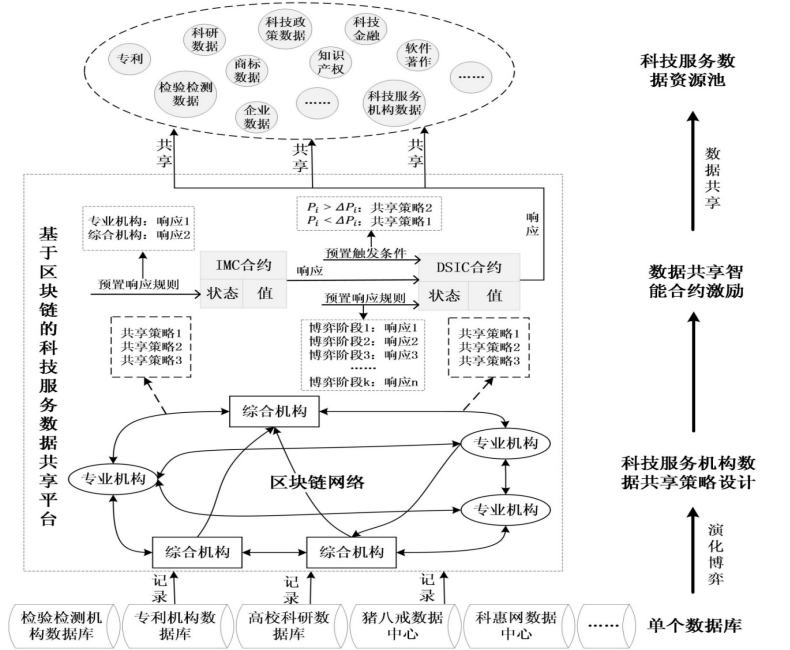


图 1 基于区块链的科技服务数据共享激励框架

3 科技服务数据共享策略

3.1 模型构建 科技服务机构参与平台数据共享

的过程均是由有限理性者支配,且共享的实现过程也是一个长期动态的发展过程,需通过不断地学习和模仿来获得^[26]。为构建科技服务机构参与演化博弈的模型和简化计算过程,特作如下假设:

假设1:参与人为具有异质性的科技服务综合机构和科技服务专业机构,本文将科技服务综合机构设为A,将科技服务专业机构设为B,都具有相同的策略集合 $Y = (Y_1, Y_2) = (\text{积极共享}, \text{消极共享})$ ^[27]。

假设2: $P(t)$ 为 t 时刻科技服务机构用户群的混合策略。 $P(t) = (P, 1 - P)$, $0 \leq P(t) \leq 1$,其中 P 表示科技服务机构用户群中选择 Y_1 的机构比例, $1 - P$ 表示科技服务机构用户群中选择 Y_2 的机构比例。

假设3:数据集成 R_i 属于科技服务机构对科技服务数据的提前投资,由此带来的收益为投资收益 $\ln(1 + R_i)$ ($i = A, B; \ln(1 + R_i) > 0$)。科技服务机构拥有的数据互补量 β_{ij} 越高,为其他机构带来的互补收益 $\gamma\beta_{ij}$ 也会更高。其中, β_{ij} ($i, j = A, B; \beta_{ij} > 0$),为共享过程中 i 为 j 带来的数据互补量; γ ($0 \leq \gamma \leq 1$),为互补系数。

根据以上假设可构建科技服务机构用户群中综合机构与专业机构博弈的得益矩阵,如表1所示。

表1 科技服务机构博弈得益矩阵

A	B	
	Y_1	Y_2
Y_1	$k[\ln(1 + R_A) + \gamma\beta_{BA}] - \omega - \theta$, $k[\ln(1 + R_B) + \gamma\beta_{AB}] - \omega - \theta$	$\ln(1 + R_A) - \omega - \theta$, $\ln(1 + R_B)$
Y_2	$\ln(1 + R_A)$, $\ln(1 + R_B) - \omega - \theta$	$\ln(1 + R_A)$, $\ln(1 + R_B)$

对得益矩阵中的各种情形进行如下分析讨论。

a. 双方都选择消极共享 Y_2 。此时,科技服务数据共享平台上的机构都不共享数据,每一个机构能获得的收益仅取决于自身数据集成,则所能获得的共享收益只有投资收益,即 $\ln(1 + R_i)$ ($i = A, B; \ln(1 + R_i) > 0$)。因此,当A和B都选择 Y_2 时,A的收益为 $\ln(1 + R_A)$,B的收益为 $\ln(1 + R_B)$ 。

b. 双方都选择积极共享 Y_1 。此时,科技服务数据共享平台上的机构都会共享数据,不仅可以从数据集成中获益,还可以从数据互补中获益,则此时的共享收益为投资收益和互补收益之和,即 $k[\ln(1 + R_i) + \gamma\beta_{ji}]$,其中 k 为常数,表示为共享收益系数。此外,在积极共享数据时每个机构还需要承担一定的共享损失 $\omega > 0$;科技服务数据共享平台也会为所有机构提供共享激励,表示为激励参数 θ 。因此,当A和B都选择 Y_1 时,A的收益为 $k[\ln(1 + R_A) + \gamma\beta_{BA}] - \omega - \theta$,B的收益为 $k[\ln(1 + R_B) + \gamma\beta_{AB}] - \omega - \theta$ 。

c. 一方选择积极共享 Y_1 ,另一方选择消极共享

Y_2 。此时便存在数据共享的风险,选择 Y_1 的机构在科技服务数据共享平台上共享自己的数据,但无法从其他机构获取想要的的数据,无法产生互补收益,但会产生额外的共享损失;选择 Y_2 的一方不会共享数据,也不能从科技服务数据共享平台中获取有价值的的数据,既不会产生共享数据的损失,也不会获得额外的互补收益。因此,当A选择 Y_1 而B选择 Y_2 时,A的收益是 $\ln(1 + R_A) - \omega - \theta$,B的收益是 $\ln(1 + R_B)$;当B选择 Y_1 而A选择 Y_2 时,A的收益是 $\ln(1 + R_A)$,B的收益是 $\ln(1 + R_B) - \omega - \theta$ 。

3.2 模型分析 具有有限理性的科技服务综合机构和专业机构,在以区块链技术为支撑的安全可信的科技服务数据共享平台中独立的参与重复博弈。参见演化博弈理论^[28]中的复制动态方程^[29],可描述不同群体在 t 时刻策略选择的动态演化过程,可得出A和B在 t 时刻的复制动态方程,计算结果如下。

A在 t 时刻选择 Y_1 的期望收益为:

$$U_A(Y_1) = P\{k[\ln(1 + R_A) + \gamma\beta_{BA}] - \omega - \theta\} + (1 - P)[\ln(1 + R_A) - \omega - \theta] \quad (1)$$

A在 t 时刻选择 Y_2 的期望收益为:

$$U_A(Y_2) = P\ln(1 + R_A) + (1 - P)\ln(1 + R_A) = \ln(1 + R_A) \quad (2)$$

A的平均收益为:

$$\bar{U}_A = P U_A(Y_1) + (1 - P) U_A(Y_2) \quad (3)$$

根据(1)(2)(3)式可得A的复制动态方程为:

$$F_A(P) = \frac{dP(t)}{dt} = P[U_A(Y_1) - \bar{U}_A] = P(1 - P)\{U_A(Y_1) - U_A(Y_2)\} = P(1 - P)\{P[(k - 1)\ln(1 + R_A) + k\gamma\beta_{BA}] - \omega - \theta\} \quad (4)$$

同理,可以计算出B的复制动态方程为:

$$F_B(P) = P(1 - P)\{P[(k - 1)\ln(1 + R_B) + k\gamma\beta_{AB}] - \omega - \theta\} \quad (5)$$

因此,某一科技服务机构的复制动态方程可归纳为:

$$F_i(P) = P(1 - P)\{P[(k - 1)\ln(1 + R_i) + k\gamma\beta_{ji}] - \omega - \theta\} \quad (6)$$

方程(4)(5)分别表示科技服务机构用户群中综合机构和专业机构选择数据共享策略的动态调整过程,方程(6)则表示为某一科技服务机构选择数据共享策略的动态调整过程。当 $F_i(p) = 0$ 时,可得到科技服务机构在策略演化过程中的稳定状态,则方程(6)最多有3个稳定状态,即有

$$P_1^* = 0 \quad (7)$$

$$P_2^* = 1 \quad (8)$$

$$P_3^* = \frac{\omega + \theta}{(k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}} \quad (9)$$

假设公式(7)(8)(9)都是科技服务机构在数据共享演化过程中的稳定状态,则其必须满足 $F_i'(P) < 0$, 根据分析可得出以下科技服务数据共享策略。

共享策略 1: 当 $\theta < 0$ 且 $\omega + \theta < 0$ 时, 只有 $P_2^* = 1$ 是科技服务机构参与科技服务数据共享博弈的演化稳定状态。此时, 无论科技服务机构用户群中选择 Y_1 的初始比例 P_i 是多少, 科技服务机构在科技服务数据共享平台上都会选择 Y_1 , 如图 2(a) 所示。在此策略下参与数据共享的共享成本 $\omega + \theta$ 为负, 且激励参数 θ 也为负, 表示科技服务数据共享平台会对参与数据共享的机构不断地给予奖励, 促使越来越多的机构随着时间的推移都选择积极共享。

共享策略 2: 当 $0 < \theta < (k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}$ 且 $\omega + \theta < (k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}$ 时, $P_1^* = 0$ 和 $P_2^* = 1$ 均是科技服务机构参与科技服务数据共享博弈的演化稳定状态。因此, 当 $0 \leq P_i < \frac{\omega + \theta}{(k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}}$ 时, 科技服务机构在科技

服务数据共享平台上会趋向于选择 Y_2 ; 当 $\frac{\omega + \theta}{(k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}} < P_i \leq 1$ 时, 科技服务机构在科技服务数据共享平台上会趋向于选择 Y_1 , 如图 2(b) 所示。科技服务机构实现某一特定的演化稳定状态主要取决于科技服务机构用户群中选择 Y_1 的机构初始比例 P_i 。如果选择 Y_1 的机构初始比例 P_i 大于临界点 $\Delta P_i = \frac{\omega + \theta}{(k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}}$, 则科技服务机构将随着博弈次数的增加逐渐参与到科技服务数据共享平台的数据积极共享中。

共享策略 3: 当 $\theta > 0$ 且 $\omega + \theta > (k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}$ 时, 只有 $P_1^* = 0$ 是科技服务机构参与科技服务数据共享博弈的演化稳定状态。因此, 无论科技服务机构用户群中选择 Y_1 的初始比例 P_i 如何, 科技服务机构都不会选择 Y_1 , 如图 2(c) 所示。此时参与数据共享的共享成本 $\omega + \theta$ 已经超过了共享收益 $(k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji}$, 选择 Y_1 的机构也会被其他选择 Y_2 的机构所影响而改变初始选择, 故在仿真分析中不对此共享策略作特别分析。

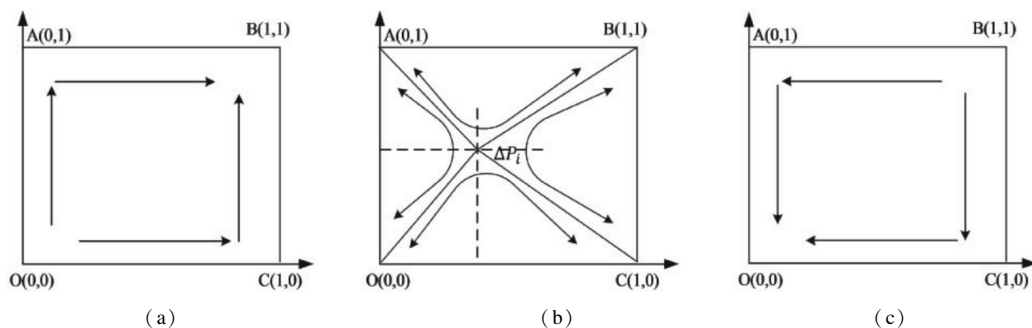


图 2 科技服务机构数据共享的演化相位图

根据以上分析可知, 科技服务机构参与科技服务数据共享博弈的演化稳定状态会在博弈过程中随着实际情形而发生变化。共享策略 1、共享策略 2 和共享策略 3 概括了科技服务机构参与科技服务数据共享演化博弈的动态过程, 可作为科技服务数据共享平台激励科技服务机构参与数据共享的触发条件。因此, 影响科技服务机构参与数据共享演化博弈动态过程的因素有激励参数 θ 和科技服务机构用户群选择 Y_1 的初始比例 P_i , 不同机构参与数据共享所获得的共享收益也会随着数据集成和数据互补的不同而变化。

4 数据共享智能合约激励机制

4.1 机制设计 如果科技服务数据共享平台对 θ 的设置是固定的, 那么过高的 θ 会导致数据共享的共享成本过高, 则科技服务机构便不会选择 Y_1 ; 过低的 θ 会导致科技服务数据共享平台的激励成本过高, 不符合平台利益最大化的要求。因此, 本文为基于区块链

的科技服务数据共享平台建立了面向科技服务数据共享策略的智能合约激励机制, 可使科技服务数据共享平台合理地管理选择积极共享的机构, 也有助于科技服务机构充分利用平台中共享的数据。

通过部署在区块链中的智能合约可实现动态的科技服务数据共享激励过程, 以促进更多的科技服务机构选择 Y_1 , 面向科技服务数据共享策略的激励机制中的智能合约如图 3 所示。

科技服务机构参与科技服务数据共享平台需进行身份认证和确定激励参数。调用身份管理合约 IMC, 根据科技服务领域将机构分为综合机构 comUser 和专业机构 proUser, 并管理其身份证书; 调用数据共享激励合约 DSIC, 根据选择 Y_1 的机构初始比例 P_i 来动态调整激励参数。身份管理合约 IMC 记录内容有用用户名 userID, 用户属性集 role 以及与其相关联的 DSIC 合约。数据共享激励合约 DSIC 中部署着共享收益 S 、共享成本 C 和全局变量 $variable[]$ 。 S 包括

investIncome 和 *compIncome* , 分别对应上文的数据集成和数据互补所带来的收益; *C* 包括 *sharingCost* 和 *cost[i]* ($0 \leq i \leq n$), 对应上文的共享损失 ω 和激励参数 θ ; *variable[]* 是需要进行动态维护的变量, 主要包括注册机构数量 *num*、当前博弈阶段 *k*、当前博弈阶段选择 Y_1 的机构数量 *participants*。

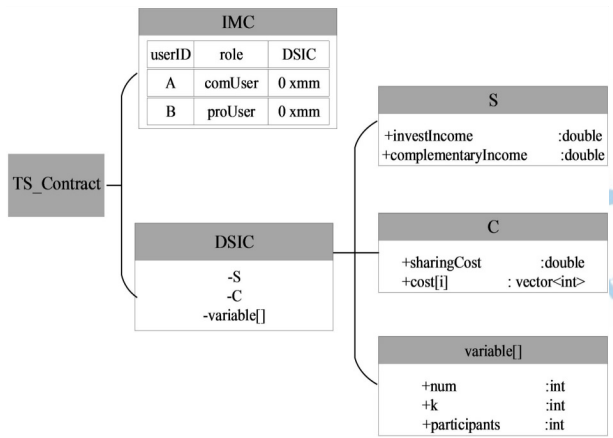


图 3 科技服务数据共享激励的智能合约

4.2 机制实现 在博弈的开始阶段,科技服务数据共享平台上选择 Y_1 的机构初始比例 P_i 非常小,根据共享策略 1,科技服务数据共享平台将会给予选择 Y_1 的机构一定的奖励 $cost[i]$, 使 $cost[i] < 0$ 且 $(sharingCost + cost[i]) < 0$, 以激励更多的机构选择 Y_1 。当选择 Y_1 的机构比例 P_i 逐渐大于临界点 ΔP_i , 根据共享策略 2,科技服务数据共享平台给予选择 Y_1 的机构的奖励也会逐渐减少,并加收一定的激励费用 $cost[i]$, 此时 $0 < cost[i] < (investIncome + compIncome)$, 且 $(sharingCost + cost[i]) < (investIncome + compIncome)$, 不需要科技服务数据共享平台的激励,仍可以保证选择 Y_1 的机构数量维持在正常水平,且科技服务数据共享平台通过收取激励费用也会获得一定的收益。激励过程如图 4 所示,不断迭代此过程调整 $cost[i]$, 直到达到博弈的最大阶段为止,科技服务数据共享平台便达到了激励更多的科技服务机构选择 Y_1 的目的,也能通过 $cost[i]$ 获取一定的收益维持平台的正常运转;科技服务机构也能从平台上共享的数据获得经济价值,从数据的积极共享中获得奖励。

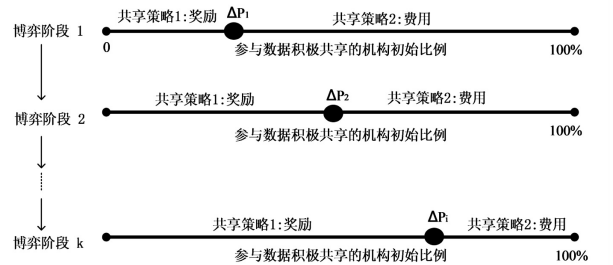


图 4 科技服务数据共享激励过程

当机构加入科技服务数据共享平台时调用 IMC 合约和 DSIC 合约,其算法如下所示。

```
算法 1
输入:无
输出:cost[i]
function
role = getUserType()
P_i = participants/num // 计算当前阶段选择 Y_1 的机构比例
while(P_i < maxDeltaP)
{
k = getCurState() // 确定当前科技服务机构所处的博弈阶段
DeltaP_i = (sharingCost + cost[i]) / (investIncome + compIncome)
// 计算当前阶段的临界点
if(P_i > DeltaP_i)
cost[i] = getRand(0, S - sharingCost)
k = k + 1 // 进入下一个博弈阶段
else
cost[i] = getRand(INT_MIN, - sharingCost)
P_i = getCurp()
}
cost[n] // 返回最大阶段的激励参数
Endfunction
```

根据当前机构比例 P_i 与最大阶段临界点 $\max \Delta P$ 的对比促使科技服务机构不断参与博弈,调整激励参数 $cost[i]$, 达到激励科技服务机构参与科技服务数据共享平台数据共享的目的。

5 仿真实验

由于数据集成和数据互补的不同会导致各机构参与到科技服务数据共享平台获得的共享收益不同,通过数值仿真来验证数据集成和数据互补对科技服务机构参与平台数据共享的影响程度以及智能合约激励机制的激励作用。

5.1 仿真设计

5.1.1 数据集成与数据互补 根据上文的研究设置参数的初始值,如表 2 所示。根据共享策略 1, $\theta < 0$ 且 $\omega + \theta < 0$ 时,科技服务机构会倾向于选择 Y_1 , 因此设置固定初始值 $\omega = 3$ 、 $\theta = -5$ 和 $P = 0.2$ 来验证数据集成和数据互补对数据共享的影响。

表 2 参数设置

参数	初始值	参数	初始值
R_i	1	ω	3
β_{ji}	0.3	θ	-5
k	2	P	0.1
γ	0.5		

5.1.2 智能合约激励机制 科技服务机构选择 Y_1 的初始比例 P_i 会随着激励参数 θ 的变化而变化,合理利用共享策略 1 和共享策略 2 可以激励科技服务机

构选择 Y_1 , 由于共享策略 3 不会使科技服务机构倾向于选择 Y_1 , 故只对共享策略 1 和共享策略 2 作数值仿真验证。共享策略 1 和共享策略 2 的固定参数如表 3 所示, 测试集分别如表 4 和表 5 所示。在共享策略 1 中, $\theta < -\omega < 0$, 则 $\theta < -0.4$; 在共享策略 2 中, $0 < \theta < ((k-1)\ln(1+R_i) + k\gamma\beta_{ji} - \omega)$, 则 $0 < \theta < 0.99$ 。

表 3 共享策略 1 和共享策略 2 的固定参数表

固定参数	共享策略 1	共享策略 2
R_i	1	1
β_{ji}	0.6	0.6
k	3	2
γ	0.5	0.5
ω	0.4	0.3

表 4 共享策略 1 的激励机制测试集

测试集	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	测试 6
θ	-0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-1
P_i	0.1	0.4	0.7	0.1	0.4	0.7

表 5 共享策略 2 的激励机制测试集

测试集	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	测试 5	测试 6	测试 7	测试 8
θ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4
P_i	0.2	0.4	0.6	0.8	0.2	0.4	0.6	0.8

5.2 仿真分析

5.2.1 数据集成和数据互补 大数据时代, 科技服务数据的融合共享就是让海量数据在有限的空间和行业内流动起来, 形成巨大的科技服务数据资源池。图 5(a) 为科技服务机构数据集成的仿真图, 可发现随着博弈次数的增加, R_i 取值越大, 演化曲线趋向于 1 的速度就越快, 科技服务机构选择 Y_1 的比例就会越大。

科技服务机构的服务领域不同, 数据形式也多种多样, 异质机构间数据差异较大, 只有科技服务数据共享平台上的数据价值更高, 才会吸引更多的科技服务机构参与数据积极共享。图 5(b) 为科技服务机构数据互补的仿真图, 同样随着博弈次数的增加, 演化曲线趋于 1 的速度也会随着 β_{ji} 取值的增大而增大, 科技服务机构选择 Y_1 的比例就会越大。

故可得出, 数据集成和数据互补与科技服务机构数据积极共享的选择成正相关, 即数据集成或数据互补越大, 越有利于促进科技服务机构相互间的数据共享。

5.2.2 智能合约激励机制 图 6(a) 满足共享策略 1, 可看出只要 θ 满足共享策略 1 的条件, 无论科技

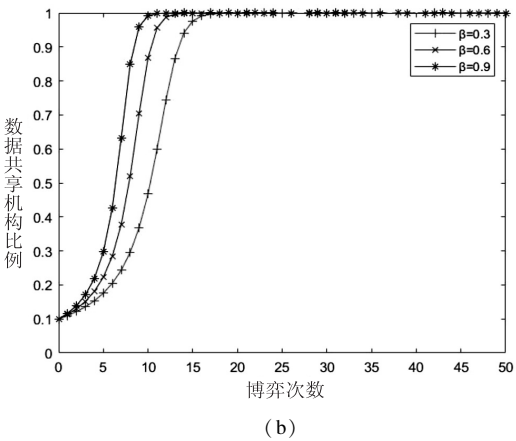
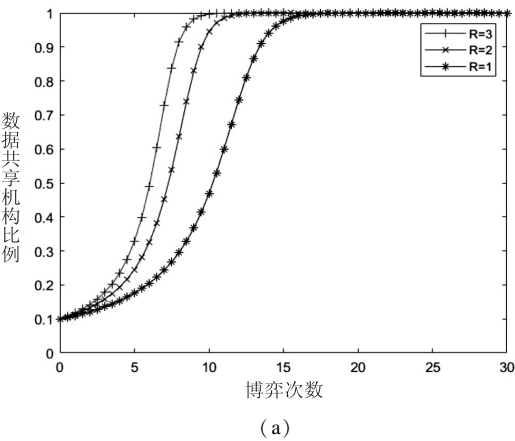


图 5 科技服务机构数据集成和数据互补变化的仿真图

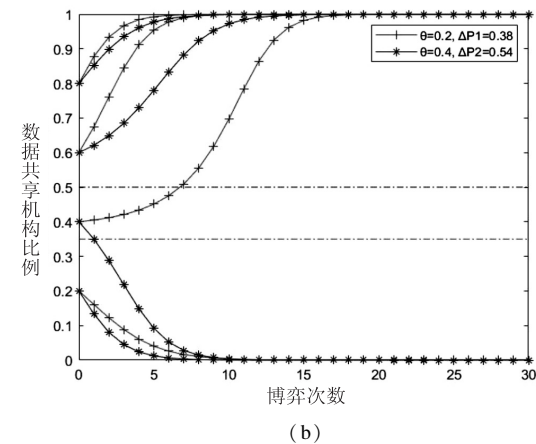
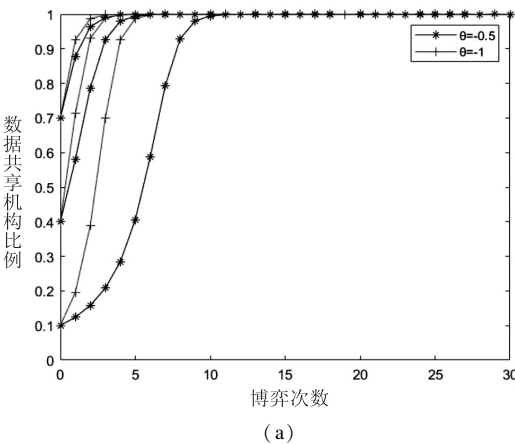


图 6 共享策略 1 和共享策略 2 下的智能合约激励机制的仿真图

服务机构选择 Y_1 的初始比例是多少,最终数据共享演化曲线都会趋向于1,科技服务机构都会选择 Y_1 。因此,在博弈阶段的开始,科技服务数据共享平台只需提供合理的激励参数 θ 以奖励科技服务机构即可。

根据共享策略2可知,不同的 θ 会产生不同的数据共享机构比例的临界点 ΔP_i 。图6(b)满足共享策略2,当 $\theta = 0.2$ 时, $\Delta P \approx 0.38$; 当 $\theta = 0.4$ 时, $\Delta P \approx 0.54$ 。机构初始比例 P_i 大于对应临界点 ΔP_i 的演化曲线会趋于1,小于对应临界点 ΔP_i 的演化曲线会趋于0。此时不同的激励参数 θ 和数据共享初始比例 P_i 都会影响科技服务机构数据共享的选择。对比图6(b)中的不同初始比例,可看出初始比例 P_i 越大,曲线趋于1的速度越快。因此,当博弈过程中的数据共享初始比例大于其临界点时,便可逐渐增加激励成本使科技服务数据共享平台获得更大的利益以及激励更多的科技服务机构参与数据的共享。

故可得出,智能合约激励机制根据科技服务数据共享策略对激励参数进行动态调整,可激励更多的科技服务机构从消极共享转向积极共享,并使科技服务数据共享平台和科技服务机构从数据共享中获益。

6 总结

6.1 研究结论 为促进科技服务数据的开放共享,提升科技服务机构的数据共享意愿,本文在基于区块链的科技服务数据共享平台上,通过演化博弈理论分析了科技服务机构参与数据共享的三种共享策略;面向科技服务数据共享策略构建了可动态调整的科技服务数据共享智能合约激励机制,有利于促进科技服务机构的数据共享以及高价值科技服务数据资源池的形成。

研究发现:数据集成和数据互补与科技服务机构数据积极共享的选择成正相关。数据共享智能合约激励机制根据数据共享策略对激励参数进行动态调整。在科技服务机构参与数据共享演化博弈的每个阶段,都存在一个数据共享机构比例的临界点 ΔP_i 。

a. 当初始比例 P_i 小于临界点 ΔP_i 时,智能合约激励机制将对参与数据共享的科技服务机构提供奖励,以激励更多的机构参与科技服务数据共享。

b. 随着数据积极共享比例增加到临界点 ΔP_i 时,对机构的奖励逐渐变成对机构收取的费用,仍能促使机构继续参与科技服务数据共享。

c. 直到参与数据共享比例达到饱和,便进入下一个博弈阶段,不断循环直到达到博弈的最大阶段为止。

因此,在区块链智能合约技术的支持下,科技服务数据共享平台便达到了激励更多的科技服务机构参与数据积极共享的目的,也能通过 θ 获取一定的收益维

持数据平台的正常运转;科技服务机构也能从数据平台上共享的数据获得经济价值,从积极的数据共享中获得收益。

6.2 理论贡献 本研究基于微观层面探讨科技服务机构之间的数据共享策略,通过区块链智能合约技术激励更多科技服务机构参与到平台的数据共享中,对于促进科技服务数据共享平台发展、加快科技服务数据共享体系建设具有重要理论与现实意义,理论贡献主要体现在三个方面:

第一,智能合约激励机制的构建回答了区块链技术如何激励科技服务数据共享,突破了传统科技服务数据共享的激励方式,可促进不同领域、不同类型的科技服务数据资源的有效整合。

第二,在一定程度上深化了演化博弈论在数据共享方面的应用,解释了影响科技服务机构参与数据共享的策略因素,有利于科技服务市场信息壁垒和数据孤岛破除,扩展了演化博弈理论的适用范围。

第三,从“单个数据库-共享策略-激励机制-科技服务数据资源池”的构建逻辑,说明了区块链智能合约技术能支撑科技服务数据平台有效管理科技服务机构,有利于科技服务数据资源池的形成。

6.3 局限性与未来展望 本文的研究还存在一定的不足:一方面,科技服务数据集成与数据互补程度尚无统一的量化指标,现无法获取客观数据进行实证分析,只能采用数值仿真的方式验证模型,因此未来研究可获取客观数据进行实证分析,加强研究结论的科学性;另一方面,本研究对区块链智能合约技术的实现过程研究不充分,未检验其性能和兼容性,后续研究可强化技术层面的操作。

参考文献

- [1] Adler, Melissa A. Social scientists' data sharing behaviors: Investigating the roles of individual motivations, institutional pressures, and data repositories[J]. International Journal of Information Management, 2015, 35(4): 408-418.
- [2] 庄倩,何琳. 科学数据共享中科研人员共享行为的演化博弈分析[J]. 情报杂志, 2015, 34(8): 152-157, 168.
- [3] Bataineh A, Mizouni R, Barachi M, et al. Monetizing personal data: A two-sided market approach[J]. Procedia Computer Science, 2016, 83: 472-479.
- [4] 郭鑫鑫,王海燕. 大数据背景下基于数据众包的健康数据共享平台商业模式构建[J]. 管理评论, 2019, 31(7): 56-64.
- [5] Jaimes L, Steele R. Incentivization for health crowdsensing [C]// The IEEE 15th Intl Confon Dependable, Autonomic and Secure Computing, 2017.
- [6] Chen Y, Sun L. Trust strategy simulation of corporation cross alliance using evolutionary game theory[J]. Kybernetes, 2017, 46(3): 450-465.

- [7] 郝世博,徐文哲,唐正韵. 科学数据共享区块链模型及实现机理研究[J]. 情报理论与实践,2018,41(11):57-63.
- [8] 石进,邵波,苗杰. 基于区块链的中小企业竞争情报共享平台研究[J]. 图书情报工作,2019,63(20):112-120.
- [9] 张旺,程慧平. 科学数据开放共享策略机制及优化路径研究[J]. 情报杂志,2020,39(5):154-161.
- [10] 王晶,谭清美,黄西川. 科技服务业系统功能分析[J]. 科学学与科学技术管理,2006(6):39-42.
- [11] 李白杨,李纲,王施运,等. 场景的延伸:从科技情报到科技服务[J]. 图书情报工作,2020,64(1):64-69.
- [12] 张玉强,宁凌. 科技服务业激励政策的多元分析框架[J]. 科技进步与对策,2011,28(12):106-111.
- [13] Li J, Deng Q, Sorensen O J. Building national innovation platform in China: Theoretical exploration and empirical study[J]. Journal of Science and Technology Policy in China, 2011,2(1):58-78.
- [14] Taylor P D, Jonker L B. Evolutionary stable strategies and game dynamics[J]. Mathematical Biosciences, 1978, 40(1):145-156.
- [15] 李玥,张雨婷,李佳. 演化视角下区域科技资源共享平台集成服务模式研究[J]. 中国科技论坛,2017(2):51-57.
- [16] 邵奇峰,金澈清,张召,等. 区块链技术:架构及进展[J]. 计算机学报,2018(5):969-986.
- [17] 范忠宝,王小燕,阮坚. 区块链技术的发展趋势和战略应用——基于文献视角与实践层面的研究[J]. 管理世界,2018(12):177-178.
- [18] Kang J, Yu R, Huang X, et al. Blockchain for secure and efficient data sharing in vehicular edge computing and networks[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019,6(3):4660-4670.
- [19] Desai H, Liu K, Kantarcioglu M, et al. Adjudicating violations in data sharing agreements using smart contracts[C]//IEEE international conference on internet of things (iThings) and IEEE green computing and communications (GreenCom) and IEEE cyber, physical and social computing (CPSCom) and IEEE smart data (SmartData), 2018.
- [20] Wang X, Li K, Li H, et al. Consortium DNS: A distributed domain name service based on consortium chain[C]//IEEE 3rd international conference on data science and systems, 2017.
- [21] Liao S, Chang E, Liu C, et al. DeepLinQ: Distributed multi-layer ledgers for privacy-preserving data sharing[C]//IEEE international conference on artificial intelligence and virtual reality (AIVR), 2018.
- [22] 邢海龙,高长元,翟丽丽. 大数据联盟成员间数据资源共享动态演化博弈模型研究——基于共享积极性视角[J]. 管理评论,2020,32(8):155-165.
- [23] Zhu J M, Ruth M. The development of regional collaboration for resource efficiency: A network perspective on industrial symbiosis[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2014,44:37-46.
- [24] 张鹏,梁咏琪,杨艳君. 中国科技服务业发展水平评估及区域布局研究[J]. 科学学研究,2019,37(5):833-844.
- [25] 王婧,吴贵生,汪涛. 所有制视角下服务资源、动态能力和竞争优势:基于中国科技服务业的实证研究[J]. 科研管理,2018,39(2):38-45.
- [26] 常永华,李春玲. 基于演化博弈的电子政务信息服务模型分析研究[J]. 情报学报,2013,32(7):733-741.
- [27] Erwin A, Alex P. On the stability of evolutionary dynamics in games with in complete information[J]. Mathematical Social Sciences,2009,58(3):310-321.
- [28] 王先甲,何奇龙,全吉. 基于复制动态的消费者众筹策略演化动态[J]. 系统工程理论与实践,2017,37(11):2812-2820.
- [29] Zhang K, Cheng H. Co-evolution of payoff strategy and interaction strategy in prisoner's dilemma game[J]. Statistical Mechanics and Its Applications,2016, 461(11):439-445.

(责编/校对:王育英)