

Simulation Study on the Diffusion Model of Blockchain Technology in Supply Chain Finance—Taking Core Enterprises as an Example

Shujian Ma^{1,2,3} Shuyuan Yang¹ Ying Teng¹ Jiahe Zhang²

1. School of Economics and Management, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu, 211816, China

2. School of Mathematical Sciences, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu, 211816, China

3. Nanjing University of Technology Institute of Blockchain and Complex Systems Research, Nanjing, Jiangsu, 211816, China

Abstract

Blockchain and supply chain finance have good coupling. Core enterprises with strong capabilities have the ability to lead the blockchain industry, so exploring their adoption of blockchain is of great significance for the stable development of the supply chain. The process of core enterprises adopting blockchain is divided into two stages: pre adoption behavior and post adoption behavior. A simulation platform is built using NetLogo software to explore the macro diffusion results of blockchain technology. The results indicate that the initial level of blockchain technology determines the final depth of diffusion; The coefficient of technological progress can improve diffusion speed, but has a relatively small impact on the final diffusion depth; Under the same network structure, the interaction between core enterprise nodes has a certain influence on the diffusion of blockchain technology. In addition, increasing the number of initial adopters can improve the diffusion speed, but cannot change the overall depth of propagation.

Keywords

behavior before and after adoption; blockchain technology; supply chain finance; technology diffusion; Agent modeling

供应链金融中区块链技术的扩散模型仿真研究——以核心企业为例

马树建^{1,2,3} 杨淑媛¹ 滕瑛¹ 张佳贺²

1. 南京工业大学经济与管理学院, 中国·江苏南京 211816

2. 南京工业大学数理科学学院, 中国·江苏南京 211816

3. 南京工业大学区块链与复杂系统研究所, 中国·江苏南京 211816

摘要

区块链与供应链金融具有良好的耦合性。实力强大的核心企业有能力作为区块链的主导者, 因此探究核心企业对区块链的采纳对于供应链的稳定发展有重要的意义。将核心企业采纳区块链的过程分为采纳前行为和采纳后行为两个阶段来进行探究, 通过NetLogo软件搭建仿真平台, 探究最终区块链技术的宏观扩散结果。结果表明, 区块链的初始技术水平决定了最终的扩散深度; 技术进步系数能够提高扩散速度, 但对最终扩散深度的影响较小; 在同一网络结构下, 核心企业节点间的相互作用对区块链技术扩散具有一定的影响力, 另外增加初始采纳者的数量, 会提高扩散速度, 但无法改变传播的总体深度。

关键词

采纳前后行为; 区块链技术; 供应链金融; 技术扩散; Agent建模

1 研究背景

中小企业在市场经济中发挥了不可替代的作用, 创造了大量的就业机会。但中小企业在整个供应链的运行中常常处于被动的地位, 会产生大量的应收账款。供应链金融是通

过金融机构参与到供应链中, 经过核心企业的信用担保, 对链上的其他中小企业提供资金贷款服务, 保证其资金充足, 维护整条供应链的正常顺利运行。但是供应链金融会出现交易信息不透明, 交易背景的真实性审查困难, 贷款企业违约, 流程造假等问题, 这些痛点制约着供应链金融的发展^[1,2]。随着区块链的问世, 诸多学者发现将区块链与供应链金融进行结合, 可以解决以上的负面问题^[3]。区块链技术可以看作是一个分布式共享账本, 它本身具有的去中心化、匿名性、

【作者简介】马树建(1977-), 男, 中国江苏连云港人, 博士, 教授, 从事供应链金融与区块链研究。

公开透明、不可篡改等特性,可以实现信息与价值在供应链间的安全实时流动,解决上述供应链金融的痛点^[4]。

目前,金融机构、核心企业及第三方机构皆可作为建设区块链供应链金融平台而发起方。在论文中,主要研究核心企业作为区块链供应链平台的主导方。核心企业的信用和实力将对该平台的高效运转来说举足轻重,也决定了供应链上的中小企业的发展前景^[5],因此,如果核心企业决定投身到区块链供应链金融平台中来,将会为全球的中小企业提供一条更具竞争力的、更具吸引力的融资途径^[6]。

近年来,越来越多的学者利用理性行为、技术接受、TOE、创新扩散等理论分析了企业采纳区块链技术的影响因素。但综合来看,现阶段对于区块链技术采纳行为的研究多偏向于采纳前的行为研究,缺乏关注采纳完成后的用户体验。技术的价值取决于长期应用,而不是首次的采纳。首次采纳的技术并不等同于永久性的应用,所以当企业首次尝试某种技术时,他们往往需要考虑是否再次尝试,出现对于新技术的二次采纳的决策,如果没有一定的满意度,企业很可能在初次采纳之后选择放弃新技术,那么最初接受的技术就无法为企业带来所期望的管理价值^[7]。论文基于 Netlogo 软件,设计仿真流程,并提出了初次采纳过程中的感知有用性以及二次采纳过程中的使用后有感知和满意度的数学模型,从微观层面的因素改变进而研究对扩散宏观层面的影响,有效模拟区块链技术在核心企业间扩散过程,推断出区块链技术的扩散趋势。

2 理论模型

2.1 采纳前核心企业对区块链的技术接受模型

1989年,Davis在研究影响用户接受计算机的决定因素过程中提出了技术接受模型(TAM)^[8],技术接受理论认为影响个体采纳行为的两大因素是感知有用性和感知易用性。其中,感知有用性通常指在采纳一项新技术之前,会考虑这个技术对原本工作绩效的提升程度,感知易用性是指对这项新技术投入使用的难易度上的感知^[9]。Bass扩散模型以其在描述现实世界创新扩散模式方面的良好性能而闻名,其将一大群潜在的技术采用者视为一个动态系统,其演化本质上是由信息的外部影响(广告和大众媒体等)和内部影响(学习、模仿和社会压力等)驱动的^[10]。

论文在融合技术接受模型和Bass模型的基础上,提出初次采纳阶段的理论模型。在核心企业采纳区块链技术前,核心企业通过大众传媒等外部来源获取区块链信息,接着核心企业自身会产生对于区块链技术的技术评价,这属于对区块链技术效用感知的一部分,而另一部分来自其他邻居核心企业的采纳行为的影响力,由于大型企业之间的学习模仿与竞争的原因,邻居企业采纳区块链技术就会对此核心企业产生一定的压力影响。因此,在采纳前阶段,核心企业从以上两个方面得出对区块链技术的效用感知,包括感知有用性和

感知易用性等因素,从而影响核心企业决策者的行为,进而影响最初采纳的结果。

2.2 采纳后核心企业期望确认理论模型

期望确认理论(ECT)由Oliver于1980年首次提出,它是应用于消费者满意度和重复购买意愿研究的重要理论^[11]。在本研究中,核心企业在初次采纳中做出采纳行为之后,进入了正式实施使用区块链阶段。在使用前,根据期望确认理论可知,核心企业会对技术产生一定的期望值,其对后期的满意度具有较大的影响。在正式使用阶段,此时核心企业对区块链技术的效用感知则完全来自区块链技术本身,称为区块链技术的使用后有感知。经过一段时间的使用后,核心企业会将使用后的有用感知和最初的期望值进行比较,从而衡量区块链的使用满意度,最终影响二次采纳的决策行为。

3 研究方法及模型

论文将区块链技术在核心企业间的扩散分成初次阶段和二次阶段,将核心企业视作复杂网络节点,将核心企业之间的社会关系视作复杂网络连边,并利用NetLogo软件仿真,建立了核心企业节点间技术扩散复杂网络。论文基于随机网络结构和企业个体异质性的基础上,分析区块链技术在核心企业间的扩散规律,探究了社交网络、初始采纳者以及区块链技术水平对于最终扩散的影响。

3.1 核心企业 Agent

核心企业Agent具有异质性,论文将核心企业分成两种类型,一种是创新型企业,即在区块链进入市场时,便会先于其他企业主动采纳区块链技术,创新型核心企业同时会通过自身的采纳行为对周围其他潜在采纳者产生一定的影响作用,他们是推动区块链扩散的初始重要动力。跟随型企业的采纳行为受到邻居决策结果的影响,他们通过深入了解区块链技术的各项属性来做出最佳的选择,这些群体的选择将直接影响区块链技术的传播,因此论文将重点关注这类企业的采纳行为。

在复杂网络中,若两个节点之间存在连线,则说明两个节点会对彼此产生相互作用,我们在实验中对网络结构的更改,就会对节点间的相互作用进行量化分析。论文中核心企业Agent在对区块链技术做出采纳决策行为时,采纳的行为会受到周围邻居的采纳结果影响的大小与邻居节点的度值大小相关,度值越大说明该节点的邻居较多,获得的信息更多,具有较大的影响力。论文主要研究核心企业与其他核心企业间的相互作用关系,供应链上的其他中小企业对于扩散的影响做忽略计算。从以往研究得知供应链金融中核心企业作为区块链平台的主要参与主体时,区块链技术对供应链金融中各个参与方都可以获得一定的经济利益^[12],因此当此链上的核心企业决定投入建设区块链平台后,链条上的其他中小企业和金融企业也会默认加入区块链平台。

3.2 核心企业 Agent 的决策过程

3.2.1 采纳前阶段

在复杂社会网络中，核心企业之间的关系密切而又相互依存，它们各自拥有独特的偏好和信念，根据自身的企业文化和知识结构，对其他企业的行为做出预测，并以此为基础，权衡各自的利弊，最终采取最佳的行动。每个人的决定都会受到周围环境的影响，这种影响可以被称为社会影响。

随着时间的推移，市场中潜在的核心公司 Agent i 可能会被来自各种渠道的信息认识到区块链技术，以及周围的公司 Agent j 的反馈等，而这些公司可能最终意识到了区块链的重要性。核心企业对于区块链技术的感知有用性主要由企业对区块链技术评价价值和核心企业所处社交网络中邻居的采纳行为压力值两个方面影响，因此初次采纳中感知有用性为：

$$U_{i,t} = \alpha_i I_i + (1 - \bar{\alpha}) P_{i,t-1}$$

3.2.2 采纳后阶段

在初次采纳区块链之后，核心企业在短期内使用区块链技术，会通过满意度来衡量使用感受。根据期望证实理论，满意度受到使用后的有用感知和期望值两个因素的影响。在核心企业在开始准备投入使用区块链时，会对该技术产生一个初始期望值，每个企业的期望值是不同的，此期望将影响企业对区块链技术的使用感受和是否选择持续使用倾向。论文中，使用后的有用感知公式为：

$$Q_{i,t} = b + a \times \frac{Y_t}{N} - (E_{i,t} - b)$$

该式反映了区块链技术的使用感知会受到技术成熟度和期望值的影响，随着采纳人数的增加，区块链技术也会相应的越来越成熟，使用感受也会逐渐优化。但是企业对于区块链技术的初始期望值大小也会影响使用感受，通常情况下，技术期望值高出技术初始水平越多，使用感知会更低。论文中，核心企业满意度公式为：

$$S_{i,t} = \frac{Q_{i,t}}{E_{i,t}} = \frac{2b + a \times \frac{Y_t}{N} - 1}{E_{i,t} - 1}$$

当满意度为使用后的有用感知 / 区块链技术的期望值，当满意度大于 1，则说明在 t 时刻核心企业 Agent i 的使用后的有用感知达到的企业对于区块链技术的期望值，那么核心企业在二次采纳中选择继续使用区块链的可能性就越大。企业在做出决策时，通常会将期望效用与实际评估效用进行比较，以此来衡量核心企业愿意投入的最大资源，从而确保区块链技术的应用。

4 仿真实验

实验一：区块链技术初始水平对技术扩散的影响。

在采纳后阶段，对于采纳者使用感受影响最大的应是区块链技术水平，当 $t=0$ 时，区块链技术为初始水平 b ，在

此实验中，我们选择五个初始技术水平来分析初始水平对于最终扩散的影响。观察发现区块链技术的扩散程度与其初始水平呈正相关，如果技术初期不够成熟，企业初步投入使用后的感受会较差，满意度降低，出现退出区块链的概率就会大大增加，从宏观上来看，非采纳者就会增加，网络连接中邻居的社会压力降低，严重影响扩散的速度和深度。但是随着 b 取值增大，我们发现扩散速度和深度都不断增加，由此可知，适当提高区块链技术的初始水平可以加快扩散速度和深度，较低的初始成熟度会严重影响扩散进程，扩散深度即网络中已采纳区块链技术的人数比例。

实验二：技术进步系数对区块链技术扩散的影响。

当区块链技术开始投入使用后，由上述的使用后有用感知公式可以发现，另一个技术相关因素是区块链进步系数，数值越大说明每增加一个采纳者对于区块链技术的提升程度就越大，区块链技术可以更快的成熟。论文设置了五个进步系数来运行，结果如下：前期区块链技术的扩散速度随着进步系数的增加而增大，当 $a=5$ 的时候，扩散速度最慢， $a=30$ 时，扩散速度最快，但是整体速度相差较小。从扩散深度来看，进步系数对于扩散深度的影响较小，扩散深度较为集中。因此，可以看出在区块链技术相关影响因素中，初始技术水平是影响区块链最终扩散深度的决定性因素。

实验三：网络平均度对区块链技术扩散的影响。

通过调整网络平均度，我们可以更好地了解复杂网络结构的特征，从而更好地评估各节点之间的联系，以及核心企业之间的合作情况和沟通能力。在论文的模型中，当 K 的值增大时，各个核心企业节点之间的连接增强，那么在初次采纳的判断过程中，已采纳区块链技术的邻居的压力影响值增大，提高了核心企业在初次采纳判断中对于区块链技术的感知有用性，更可能会选择采纳。从结果可以看出：随着平均度的提高，区块链技术扩散速度和深度都在增加，但当平均度 K 达到 6 时，扩散趋势发生了变化，此时再增加平均度却不会改变最终的扩散深度了，这与六度分隔理论相符^[13]。然而，当 K 值较低时，核心企业与邻居的交流受到限制，相关决策信息量也较少。当 K 值超过 6 时，区块链技术的传播潜力达到了最大值，传播速度和深度的增长速度会逐渐减缓，从而使尾端的扩散曲线接近重合。这说明企业所处的社会网络环境对区块链技术的传播具有重要的影响，在一定范围内，增强核心企业之间的交流互动，将有助于区块链技术的普及。

实验四：初始采纳者比例对区块链技术扩散的影响。

初始采纳者是指在区块链出现的初期，受到大众传媒等影响，最初的一批创新先驱者，他们对于后期的技术扩散具有重要的影响作用。初始采纳者对于其邻居潜在采纳者会形成一种口碑压力影响，初始采纳者越多，在前期扩散阶段，核心企业节点受到的口碑压力就越大。在实验中，选取了不同初始采纳者比例，来分析初始采纳者的数量对于区块链技

术扩散影响。研究发现,随着初始用户数量的增加,图中的前期曲线变得愈加陡峭,这表明区块链技术“起飞”的传播速度会随着初始用户的增加而加快。在传播的早期阶段,初始用户的比例越高,就越有利于区块链技术的扩散,从而缩短了传播的时间。初始采纳者的数量对于区块链技术的传播速度有着重要的影响,但是,仅仅增加初始采纳者的数量并不足以有效地推动区块链技术的普及和深入应用。

5 结语

在论文中,我们将区块链技术的传播过程划分为初始采纳阶段和二次采纳阶段,并使用数学建模和仿真的方法来确定这些因素对传播的影响。研究结果和启示如下:

①区块链技术方面的相关因素必然是影响区块链技术扩散的一个举足轻重的因素,因此论文通过区块链的初始水平和技术进步系数两个变量来探索技术因素对于区块链扩散的影响情况。区块链技术的供应商在推出区块链产品时,应该保证一定的成熟度,提高采纳者的使用感受,区块链的初始水平越高,那么第一批的创新采纳者的满意度自然也就越高,退出采纳的概率会大大降低。随着越来越多的企业开始投入使用区块链技术,区块链技术供应商的收益也会随之增加。为了更好地推广和应用这项技术,区供应商必须加强对它的研发,不断改进和提升它的性能。

②区块链技术的进步系数可以显著地推动它的传播,特别是在早期阶段,它可以加快传播的速度,缩短传播的时间。因此,当区块链技术刚刚开始发展时,可以通过提高区块链技术的进步系数,增加每个技术使用者的技术进步值,从而加快它的发展,促进它的传播。但是进步系数对于区块链的扩散只能起到一定的辅助效果,对扩散速度和深度的提升效果不是很明显,而在技术方面真正对区块链技术扩散的深度和速度产生决定性影响的是技术初始水平。

③在网络环境方面,分析了初始采纳者和网络平均度两个变量来测量区块链技术扩散的影响因素。随着初始采纳者比例的提高,区块链技术的扩散速度会加快,说明如果在扩散初期已经有足够的创新型企业率先采纳了,那么扩散的进程就会被缩短,但是不管初始采纳者的比例为多少,最终的扩散深度都趋近于一致,因此增加初始采纳者数量也无法提高区块链技术最终的扩散深度。另外,通过提高网络的平均度来加强企业之间的沟通联系能够显著提高区块链技术扩散速度和深度。因此,区块链技术供应商在区块链进入市场初期,可以邀请龙头企业作为区块链技术体验者,可以产生较强的口碑影响压力值,从而提高区块链产品的影响力。为了提升供应链金融的效率和质量,政府应该积极搭建核心

企业之间沟通交流的桥梁,并鼓励大型企业参与区块链应用试点项目,以发挥其在行业中的潜在影响力,并为区块链技术应用树立榜样。

参考文献

- [1] Xaifeng C, Chenyu W, Shuting L. The impact of supply chain finance on corporate social responsibility and creating shared value: a case from the emerging economy[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*,2023,28(2):234-236.
- [2] 储雪俭,高博.区块链驱动下的供应链金融创新研究[J].*金融发展研究*,2018(8):68-71.
- [3] Wong L W, Tan G W H, Lee V H, et al. Unearthing the determinants of Blockchain adoption in supply chain management[J]. *International Journal of Production Research*,2020,58(7):2100-2123.
- [4] Chen C-P, Huang K-W, Kuo Y-C. Conditional Token: A New Model to Supply Chain Finance by Using Smart Contract in Public Blockchain[J]. *FinTech*.2023,2(1):170-204.
- [5] Wamba S F, Queiroz M M, Trinchera L. Dynamics between blockchain adoption determinants and supply chain performance: An empirical investigation[J]. *International Journal of Production Economics*,2020(229).
- [6] Kim S H. A study on blockchain technology adoption and intention of logistics firms in Korea[J]. *Journal of the Korea Society of Computer and Information*,2020,25(2):231-239.
- [7] 王玮,宋宝香,王怡.企业信息系统采纳后使用行为研究[J].*现代管理科学*,2010(1):100-102.
- [8] F. D. Davis. Perceived usefulness,perceived ease of use,and user acceptance of information technology[J]. *MIS Quarterly*,1989(13):319-340.
- [9] Gupta S, Abbas AF, Srivastava R. Technology Acceptance Model (TAM): A Bibliometric Analysis from Inception[J]. *Journal of Telecommunications & the Digital Economy*, 2022,10(3):77-106.
- [10] Bass F M. A New Product Growth for Model Consumer Durables[J]. *Management Science*, 2004,50(12):1825-1832.
- [11] Oliver R L. A Cognitive Model of the Antecedents and Consequences of Satisfaction Decisions[J]. *Journal of Marketing Research*, 1980,17(4):460-469.
- [12] 王俊生,何清素,聂二保,等.基于区块链的修正KMV模型在互联网金融征信中的应用——以弱信用群体为例[J].*征信*,2017, 35(9):35-39.
- [13] WANG L, ZHENG J. Research on low-carbon diffusion considering the game among enterprises in the complex network context[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019(210):1-11.