

doi:10.16060/j.cnki.issn2095-8072.2022.01.008

基于随机 Petri 网的区块链舆情存证系统 建模与效能分析^{*}

刘嘉琪¹ 刘 峰^{2,3} 齐佳音^{3,4}

(1. 中国社会科学院新闻与传播研究所, 北京 100021; 2. 华东师范大学计算机科学与技术学院, 上海 200241; 3. 上海对外经贸大学人工智能与管理变革研究院, 上海 201620; 4. 北京邮电大学可信分布式计算与服务教育部重点实验室, 北京 100876)

摘 要: 在重大突发公共危机事件期间, 网络舆情常常面临谣言成本低、证伪不及时、溯源成本高、举证难度大的困局。为了应对这一网络舆情治理困局, 本文从“区块链+网络舆情治理”视角出发, 试图通过构建可信的、有约束力的舆情上链存证机制形成对虚假网络信息的技术震慑。本文引入随机 Petri 网的理论, 构建区块链舆情存证系统模型, 并通过仿真模拟对该模型的平衡状态与效能演变规律进行检验, 从最佳优化环节、最佳增效尺度与系统自适应能力三个方面加深学界与业界对区块链舆情存证系统的理解, 为我国应用区块链技术改善网络舆情治理能力提供参考。

关键词: 随机 Petri 网; 马尔可夫链; 舆情治理; 区块链; 重大突发公共危机事件

中图分类号: C931

文献标识码: A

文章编号: 2095—8072(2022)01—0109—16

一、引言

随着人工智能和网络的普遍应用, 社交媒体和舆情信息海量产生。各类突发公共危机, 往往引发一系列舆论安全风险, 而且个别极端偏差舆情信息频频诱发舆情风暴, 网络舆情有效治理迫在眉睫。如何高效追溯传播源头、保存舆情证据、防止舆情数据被篡改, 实现各部门互信共治, 是网络舆情治理躲不开的问题。区块链被称为最有可能触发下一次产业革命的颠覆性创新技术之一。习近平总书记在主持中共中央政治局第十八次集体学习时强调, 要把区块链作为核心技术自主创新的重要突破口, 发挥区块链在促进数据共享、提升协同效率、建设可信体系等方面的作用。区块链技术的可溯源、难篡改、透明性等特点, 为解决极端偏差网络舆情困境提供了可尝试途径。实际上, 国内外学者围绕“区块链+网络治理”已做了一些探索。但是, 既有研究大多聚焦于电子政务或政府治理的某个方面, 对区块链技术赋能网络舆情治理的研究还比较欠缺, 尚未厘清网络舆情存证的运作机制, 也未对存证系统效能提供量化评估方法。而且, 值得注意的是, 在重大突发公共危机期间, 政府与公众的各种资源都极为稀缺, 尤其是注意力和时间有限, 因而对区块链舆情存证链条中每一个环节的效

^{*}基金项目: 本文受国家社会科学基金青年项目“社交媒体时代重大疫情公众网络舆情卷入特征、机制及引导策略研究”(项目编号: 21CXW019)资助。

能进行评估以确定哪些环节需要优先提升效率,就显得尤为重要。这一评估结果能够帮助决策者直观地掌握系统效率与效果,为及时纠偏、改进系统流程、优化资源分配提供理论证据,继而形成区块链舆情存证系统自我变革的迭代闭环。

因此,为进一步丰富区块链赋能网络舆情治理的研究,本文围绕区块链技术在重大突发公共危机事件中的应用,针对极端偏差网络舆情探索区块链舆情存证系统的业务流程,借助随机Petri网理论构建区块链舆情存证系统的Petri网模型以及其同构的马尔可夫链,运用Matlab软件进行可视化仿真分析,并检验全链条中每个模块环节的效能,以期不断优化舆情信息上链存证机制,推动网络舆情治理应对效果的提升。本文的创新之处体现在四个方面:第一,虽然区块链技术因其自身的特征在多个领域中奠定了坚实的“信任”基础,创造了可靠的“合作”机制,具有广阔的运用前景,但区块链在基于社交的舆论场域,尤其是突发危机期间的价值与作用仍不确定,鲜有学者系统地厘清网络舆情信息上链存证的一般流程。本文聚焦于舆情存证的垂直细分场景,协调民间与体制内各方力量,创新性地构建了科学合理高效的区块链舆情存证流程,并梳理流程中的关键环节,减少不必要的损耗时间,避免存证任务堆积,从而扩展了区块链技术的实践边界。第二,利用随机Petri网的理论知识刻画难以解释的舆情存证系统内部“白箱”,挖掘出区块链与网络舆情治理交叉领域的新视角。第三,运用Matlab软件进行可视化模型仿真分析,通过数值调节令变迁平均实施速率发生变化,根据系统处于各种激发状态的平稳状态概率变动情况,得出对整个系统模型影响较大的关键因素,深化社会各界对最具效能环节、最佳增效尺度与系统自适应能力的理解,进而为逐步优化区块链舆情存证系统提供可操作性的理论证据。第四,考虑到区块链舆情存证系统具有一定的创新性,目前尚未有应用实践,为了加强论证,本文采取了对模型数据进行假设,通过仿真进行推演的研究范式。在未来,要进一步利用从多渠道获取的实际数据对模型参数进行估计,以便于将“黑箱”转化为更加真实的“白箱”。

二、相关文献综述

近年来,区块链技术与不同产业的深度融合正在加速,呈现出爆发式增长态势。但将区块链技术应用于网络舆情治理尚处于早期研究阶段,尤其是“区块链+舆情存证”研究领域还不深入。目前,学界关于区块链技术与网络舆情治理的研究各有侧重,综合看来,主要是从三个层面做了探索。

第一,从技术工具层面。学者们大多以对网络舆情信息安全的考虑为起点,构造新型区块链舆情(情报)管理系统。比如,Arquam等(2018)通过组合信息块创建链,构建了一个安全可信的网络信息传播框架。Ma等(2018)提出了基于区块链的信息风险及信息系统控制框架并开发了系统原型。黄永刚(2016)应用区块链技术解决电子健康档案面临的信息安全和隐私保护问题,实现医疗电子档案建设过程中的去中心化和隐私保护。郭苏琳、黄微和李吉(2020a)基于网络舆情风险管理、弹性

管理理论,建立应用区块链技术的网络舆情风险管理系统,增强网络舆情风险管理可控性。赵蕾等(2019)基于SMARTChain模型和国内外其他风险评估模型的理念,评估出影响区块链项目风险的主要因素。同时,还有一些学者意识到突发公共危机事件应急管理在国家治理体系中占有举足轻重的地位,重点针对重大突发事件情景开展了区块链应用研究。比如,黄茂汉(2021)将区块链技术引入新型冠状病毒疫情防控工作中,采用管理链和多区块链相结合的父子区块链模式,构建了一个全新的疫情防控情报系统模型。

第二,从机制剖析层面。一方面,学者们致力于感知区块链社交网络平台中的信息传播机制。赵丹等(2018)以Steemit平台舆情信息为例,采用社会网络分析方法,对区块链舆情信息传播的特征和规律展开研究,并得出区块链环境下网络舆情传播生态更为和谐的研究结论。宾晟等(2019)在赵丹的相关研究基础上,构建了区块链环境下网络舆情传播SEIR模型,检验了区块链舆情网络中激励机制、收益和风险机制对舆情信息传播的影响。贾盼斗和尹春华(2020)基于区块链和信息传播理论,重点探讨了声誉分与用户度间的关系情况。另一方面,学者们试图理解区块链技术对于网络用户信息行为的作用机制。郭苏琳、黄微和李吉(2020b)基于扎根理论研究范式,构建舆情平台区块链技术能力对普通网民信息接受行为意愿的影响模型,结果发现舆情平台区块链技术能力影响普通网民对舆情信息质量的感知,普通网民舆情信息质量感知又对普通网民舆情信息接受行为意愿产生影响。黄心豪和赵博(2019)基于区块链技术展开了网络舆论优化研究,指出区块链技术可以在网络舆情信源追溯、舆情熔断机制、情绪预警机制建设方面实现有效应用。

第三,从制度优化层面。面向常态化网络治理情境,刘海英(2018)指出区块链技术可以应用到所有需要强信任和去中介达成共识的领域,其中网络治理是重要的发展方向之一。周冬(2020)构建了一套基于公民参与的腐败治理体系,实现国有资产可追踪和政府信息公开、助力审计监督、完善惩防机制,进而提出“透明政府”建设的制度应对措施。丁春燕(2020)担心嵌入智能合约的区块链某种情况下会成为恐怖组织、色情集团等发布和传播违法有害信息的新通道,认为区块链平台应进一步从备案登记责任、信息安全责任、配合监管责任、用户管理责任制度方面强化“守门人”功效,以提升网络言论治理的多元共治体系的安全性。韩志明(2020)基于区块链技术的应用情况,形成了关于信息技术影响社会治理的反思性知识,为未来区块链技术持续和深度赋能治理应用提供了洞见和启示。李泰安(2017)认为区块链技术可与版权保护、虚假新闻打击、个人隐私保护、信息脱敏形成合力,以凸显优质舆情信息内容,重构舆论环境。面向紧急状态下网络治理情境,李健等(2020)从主体协同、物资调度与分配、舆论环境三个方面出发,提出区块链应用于突发事件应急管理的建设性建议。

综上可知,近年来学界逐步推进了对区块链技术引发的社会价值、信任机制及哲学影响等议题的系统性思考。垂直网络舆情治理领域,许多学者对区块链技术的融合持积极态度,期待能够产生重要的应用价值,包括杜绝虚假信息的传播、提高信息价

值密度、建立信息生产者—消费者之间的互信、实现信息的回溯与追溯,从而重构网络信息生态环境、提高网络舆情管理效率、加大信息安全和隐私保护力度(黄茂汉, 2020)。刘峰等(2020)进一步从技术层面提出了一套完整的区块链舆情存证技术方案,并对实践中可能面临的数据隐私、技术法理挑战展开了论述。但迄今,学者们尚未从管理决策层面对区块链舆情存证系统实际产生的效能进行全面分析,同时缺乏对各环节增效的内部规律、最优尺度以及制约因素等方面的探讨。Petri网是一种可视化的图形模型,能够直观地描述舆情信息存证流程的行动关系。它拥有强大的数学支撑,借助数学方法既可对流程进行静态的结构分析,又可进行动态的行动效能分析(陈堂发, 2020)。该方法能够从机制层面厘清区块链网络舆情存证流程,分析复杂系统在各种激发状态下的稳态概率,通过改变各个环节变迁的激发速率洞察整体系统的演变情况,挖掘出舆情信息上链存证过程中影响全流程效率的关键环节,从而提供方法论支撑。因此,本文运用随机Petri网的理论对重大突发公共危机事件中区块链舆情存证系统进行建模仿真分析。

三、基于区块链技术的舆情存证系统描述

(一) 区块链嵌入网络舆情存证的突出优势

利用区块链技术解决重大突发公共危机事件中的舆情治理难题,具有以下三大优势。

第一,消解信息不对称困境,实现舆情传播路径追踪溯源,全节点留存共享“优势网络信息证据”。在社交媒体中,匿名性使得人们被消解为“虚拟面具”之下的非在场关系,这种关系具有一定的脆弱性,缺乏监管约束力。这使得造谣成本低,溯源成本高,证伪效率低,举证难度大。在处置这些信息时,舆情信息电子证据保存是重要一环,但极端偏差信息的发布者为了不被识破,往往隐匿身份,采用各种手段掩盖身份痕迹,因此网络信息证据因无法自证未被篡改而难以被法庭采用,这些问题是极端偏差信息的治理痛点,亟待解决。区块链技术的可溯源、不可篡改特性保证了上链证据流转的真实性和公开性,可以防范恶意修改、伪造、数据泄露等行为,也可有效避免政府中心化管理的操作不当和证据丢失风险,以此令舆情举证更具科学性和可信性(容志, 2021)。

第二,建立信任网络,重塑舆论安全建设思维方式。长期以来,传统舆情治理模式具有鲜明的“强国家—弱社会”特征,在舆情处置过程中缺乏社会各主体的共同参与、质询和监督。官方细节真相披露仍存在消息迟滞或不畅、避重就轻等问题,易引发社会信任危机。而且,现有舆情监管流程的不透明也容易使得群众对信息真实性产生疑虑,从而为网络谣言提供了滋生的环境,为舆情治理的复杂化埋下了隐患。区块链算法与舆论安全建设“公共性+信任”的价值追求相契合。基于去中介信任机制,区块链技术适用于多环节、多方协同参与且互不信任的情境,突破了传统舆情治

理体系所形成的主体单一和效率较低的不足,适应网络舆情治理工作实现从单一主体下的管理控制到多元主体下的协同合作及社会公信的转变,是社会治理现代化改革的需要。

第三,强化舆情治理效能,推动舆论安全建设全流程的“帕累托最优”。在“体制内舆论场”中,传统舆情治理主体间合作缺乏全局统筹性,业务协同相对困难,各部门配合应对舆情时极易推诿、拖延和疏漏。而官方信息公开不及时、不一致,政民沟通渠道畅通程度不一致,公众舆情监督和反馈功能有待提高这些现象,容易导致管理危机,产生资源重复配置的问题,从而增加舆情治理成本和风险,阻滞治理效能的提升。区块链非对称加密技术、数字签名技术和智能合约机制,能解决网络信息证据在多元主体之间的授权分发、访问控制、安全流转、快速裁决等问题。将分布式治理模式引入“国家—舆论场—社会”的舆论场框架中,有利于在舆情治理的信息共享、预测预警、及时反应、精准处置、动态分析等方面发挥积极作用。

(二) 基于区块链技术的网络舆情存证系统总体构想

区块链技术的多重特性与国家舆论安全建设精细化、数字化、协同化等发展目标具有高度的一致性。推动区块链舆情存证机制落地是创新网络舆情治理路径的内在要求和策略选择。在此指引下,本文借助区块链技术设计了舆情存证系统架构方案(见图1)。

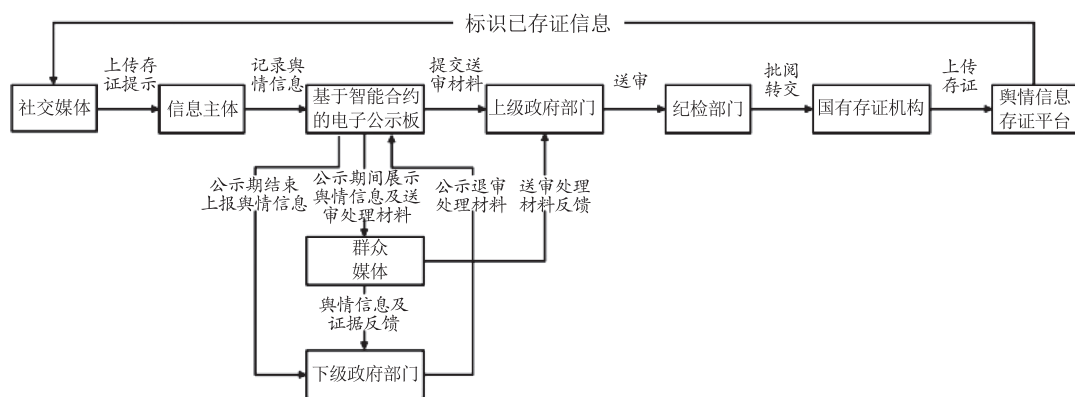


图1 区块链舆情存证系统架构方案

第一,在机制建设方面,以证据为基本点,采用多部门同步存证方式,确保舆情存证准确、及时。舆情证据来源往往是多地源的,若把上级政府部门(如中央网信办等)、各归属地行政执法单位、国有存证机构和社交媒体平台打通,由多方主体共同参与记录、查证和存储信息,极端偏差舆情证据通过分布式传播、记账后存储到网络节点中,由多边跨组织、跨部门集体维护,就可以形成一个可靠的舆情证据库。舆情治理相关人员均可以第一时间介入极端偏差舆情议题,收集证据、固定证据,有效解决极端偏差网络舆情信息诉讼举证难题。

完整的舆情存证系统服务一般包括12个环节,涉及9个参与主体。首先,突发公

共危机事件期间，在用户发布信息时，社交媒体平台会向公众提示“您发布的信息可能会被上链存证”。在公众已知存证机制的情况下，发布的舆情信息会被公示到电子公示板上，并设置合理的舆情信息公示期。在舆情信息公示期间，群众、媒体可查询监督舆情信息，并将相关舆情信息和证据反馈至下级政府部门，由下级政府部门收集齐所有反馈材料。公示期结束之后，将电子公示板上已公示并接受群众、媒体审查的舆情信息上报给下级政府部门。下级政府部门受理舆情信息之后，结合公示期间群众、媒体反馈材料，根据具体情况进行调查处理。下级政府部门调查完毕后，给定处理结果，整理出一系列详细的送审材料，再次公示至电子公示板上，并设置合理的送审材料公示期。在公示期间，群众、媒体仍可以通过电子公示板查询、获悉处理结果，监督送审材料，并将对送审材料的反馈交由上级政府部门处理。在送审材料公示期结束后，上级政府部门接收电子公示板中的送审材料，并结合公示期间群众、媒体反馈材料，根据具体情况进行调查审理。上级政府部门审理完毕后，将所有处理材料打包送审到纪检部门。由纪检部门批阅转交至国有存证机构，然后由国有存证机构上传存储舆情信息到舆情存证信息平台。最终，已被舆情存证信息平台存证的信息主体会在社交媒体平台中被标识“该信息已上链存证”。至此，一个完整的闭环系统完成一次循环。此处基于舆情存证信息决策搭建的业务流程体系已通过系统论证，具备技术层面的信息与隐私安全性、法理层面的合法性以及运行层面的合理性（刘峰等，2020）。

第二，在功能设计方面，以人为中心，引入上链存证提示机制，保障舆情存证信息采集、反馈的合法性。设立舆情存证机制的重要目的在于强化网民“对自己的网络言行负责”的责任意识。可考虑令社交媒体平台在用户发布舆情信息时增加一个额外的决策环节，即提示用户“所发布的信息可能会被上链存证”，这个设计在一定程度上可以延长用户思考的时间，产生心理震慑效应，驱使部分用户回归理性决策，在源头降低极端偏差言论被制造的概率（Pennycook等，2020）。这也有助于平台提高“自净”管理能力，以节省紧张状态下的稀缺资源，集中合力解决社会危机问题本身带来的威胁。

第三，在技术赋能方面，以区块链技术创新引领制度创新，助推新时代舆论安全建设快速变革与升级。合理构建匹配舆情存证系统的可执行代码来保障去中介干预的证据检证与自动化维护工作，有利于信息主体传递舆情信息上链与指定区块链信息进行高质量交互。智能合约协议是实现所有功能的底层基础，智能合约一旦发布上链便是公开透明难以篡改的。基于智能合约的电子公示板向社会赋予了监督的权利，公众可以对舆情信息与相关调查送审材料进行反馈，汇集众智，协助政府部门判定证据质量、识别偏差内容（梁雯和司俊芳，2019）。与此同时，在“公共主链”的基础上引入面向各个舆情存证部门的透明“联盟链”，及时开展跨部门、跨地区系统间的协同治理工作，对社交媒体中发布的信息内容进行溯源与验证，从而避免公众沉溺于虚假信息的麻醉效应。

四、舆情存证系统的随机 Petri 网模型

舆情存证系统的运行过程显然是一个复杂的动态系统, 而由 Carl Adam Petri 提出的 Petri 网恰好是一种非常适合复杂系统仿真建模与分析的图形化工具 (Xing 等, 2007)。它通过关联矩阵、状态方程等描述系统的结构特征, 可以清晰地模拟系统各个动态环节的变化和活动行为所造成的影响。本文采用随机 Petri 网理论既可以恰当地刻画出舆情存证系统, 又可以实现对模型的定量分析, 以便于更好地评估舆情存证的工作流程与效率, 为逐步改进舆情存证系统提出建议。

(一) 随机 Petri 网

随机 Petri 网 (Stochastic Petri Net, SPN) 是 Petri 网在时间上的扩充, 在每个变迁的可激发与激发之间构造了随机延迟时间, 从而增强了模拟能力。随机 Petri 网通常定义为 6 个元素描述的有向图 $SPN = \{P, T, F, W, M, \lambda\}$, 其中:

(1) $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\}$ 为舆情存证流程中各个环节的有限库所集合, 表示在系统动态演化过程中所涉及的关键要素及状态, 也反映舆情存证流程各环节的先后顺序;

(2) T (Token) 是动态系统的变迁集合, 表示在舆情存证流程各个环节运行过程中关键要素从一个状态变化到另一个状态所需要的时间;

(3) F 是代表系统演变方向的流关系的有向弧集合, 揭示了在舆情存证流程各个环节运行过程中变迁如何作用于各个关键要素, 用具有方向的箭头表示;

(4) $W: F \rightarrow N^+$ 为弧函数向量, $N^+ = \{1, 2, 3, \dots\}$, 表示每个系统变迁的容量;

(5) $M: P \rightarrow N$ 为库所的状态标识向量, $N = \{1, 2, 3, \dots\}$, 其通过定义每个库所中的变迁数量, 来表示舆情存证系统在动态运行过程中可能出现的状态;

(6) $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n\}$ 是舆情存证系统动态运行关键要素的变迁平均实施速率的集合, 即关键要素单位时间内从一个状态变化到另一个状态的平均实施速率。

(二) 舆情存证系统的随机 Petri 网模型构建

根据前文基于极端偏差舆情存证信息区块链业务流程环节的结构化描述, 具体的随机 Petri 网模型构建步骤如下:

(1) 分析图 1 所示的舆情存证系统架构图的纵横结构, 明确该动态系统中的库所、变迁和有向弧所对应的对象。在此基础上进行随机 Petri 网模型的构建, 并将时延与相应的变迁关联; (2) 产生可达图。把图中的所有弧给定该弧所对应的变迁的激发率, 从而得到马尔可夫链。并将所有标识或状态记为 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ (n 为状态总数); (3) 分析马尔可夫链。求解由马尔可夫链平稳分布的相关定理和切普曼—柯尔莫哥洛夫方程得到的方程; (4) 系统性能定量分析。在求得稳定概率后, 确定 SPN 所描述的区块链舆情存证系统的性能, 并对其进行评估和改进。

根据随机 Petri 网的建模步骤, 对存证过程进行拆分、合并以简化模型, 减少冗余信

息，最终构建相应的舆情存证系统的随机Petri网模型（王治莹等，2020），如图2所示。

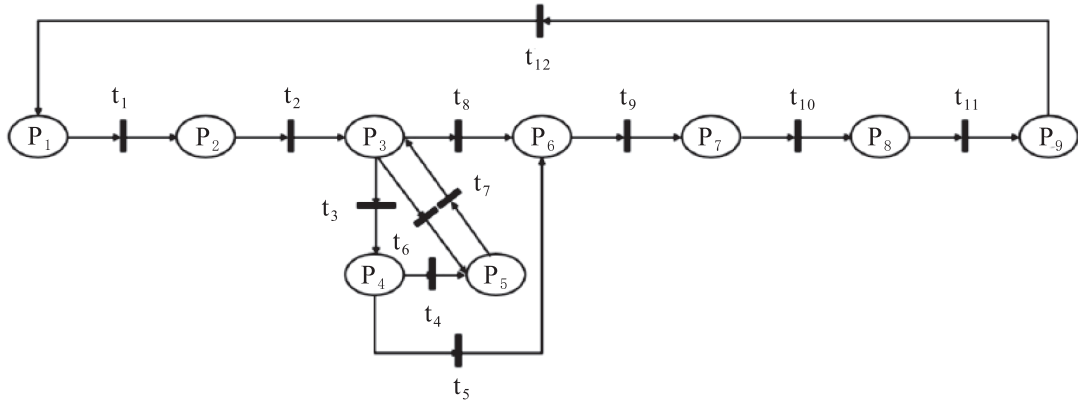


图 2 区块链舆情存证系统随机 Petri 网模型

该随机Petri网模型共包含9个库所和12个变迁，其具体含义如表1所示。

表 1 舆情存证系统的库所与变迁

库所	库所含义	变迁	变迁含义
P_1	社交媒体	t_1	上链存证提示
P_2	信息主体	t_2	记录舆情信息
P_3	基于智能合约的电子公示板	t_3	公示期间展示舆情信息及送审处理材料
P_4	群众媒体	t_4	舆情信息及证据反馈
P_5	下级政府部门	t_5	送审处理材料反馈
P_6	上级政府部门	t_6	公示期结束上报舆情信息
P_7	纪检部门	t_7	公示送审处理材料
P_8	国有存证机构	t_8	提交送审材料
P_9	舆情信息存证平台	t_9	送审
		t_{10}	批阅转交
		t_{11}	上传存证
		t_{12}	标识已存证信息

通过定义随机Petri网模型有向图中的每一条弧的变迁激发率，得到如下变迁激发率矩阵。

$$\begin{aligned}
 M_1 &= (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); & M_2 &= (0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); \\
 M_3 &= (0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0); & M_4 &= (0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0); \\
 M_5 &= (0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0); & M_6 &= (0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0); \\
 M_7 &= (0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0); & M_8 &= (0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0); \\
 M_9 &= (0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0); & M_{10} &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0); \\
 M_{11} &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0); & M_{12} &= (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1)
 \end{aligned}$$

由于连续时间的SPN等价同构于连续时间的齐次马尔可夫链，即SPN的一个标识同构于马尔可夫链的一个状态，SPN的可达图同构于马尔可夫链的状态空间（王循庆，2014）。其中库所间转换的激发时间为服从指数分布的随机变量，变迁 $t_1, t_2, \dots, t_{12}$ 的平均激发速率分别为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{12}$ 。因此，若以有向弧表示不同标识或状态间的动态转换，则可得与上述SPN模型等价同构的马尔可夫链，如图3所示。

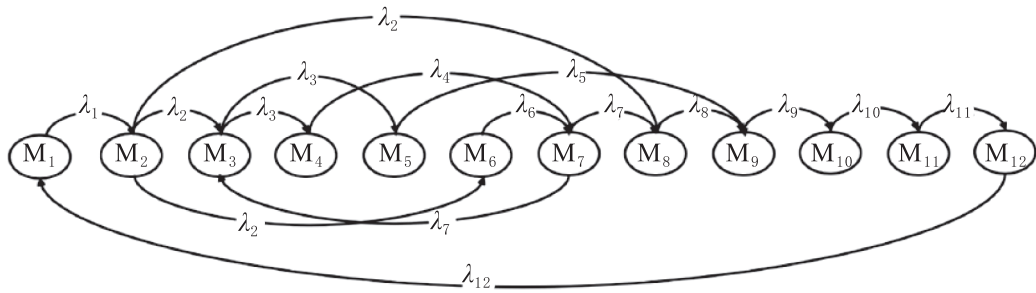


图 3 区块链舆情存证系统马尔可夫链

接下来，在构建了同构的马尔可夫链之后，便可基于马尔可夫链平稳分布的相关定理和切普曼—柯尔莫哥洛夫方程思想来开展系统的动态仿真和效能分析工作（林闯，2000），即采用关联矩阵分析法求解 P 不变量，根据状态方程确定舆情存证系统 Petri 网模型效能。在舆情存证系统模型关联矩阵分析方法中， P 不变量主要是指部分库所中 Token 数量的加权守恒性，当舆情存证系统中信息主体上链存证任务被执行时， P 不变量能构成一个执行信息上链存证任务的路径。

利用构建的 Petri 网模型来求解 P 不变量，需假设：用 $P(M_i)(i=1,2,\cdots,11)$ 表示舆情存证系统在网络空间演化模型的马尔可夫链平稳状态下的各个变迁状态发生的概率，用矩阵 $\Gamma=(\lambda_{ij})_{(n*n)}$ 表示该随机 Petri 网模型各个变迁被激发的概率，其中 $i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,n$ 。

$$\begin{cases} P\Gamma = 0 \\ \sum_{i=1}^n P(M_i) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

因此，结合舆情存证系统随机 Petri 网模型及同构的马尔可夫链的特征，带入到上述的方程组中，可得到马尔可夫链平稳状态下的各变迁状态间的概率关系式，如式 2 所示。

$$\begin{cases} \lambda_1 P(M_1) = \lambda_{12} P(M_{12}) \\ 3\lambda_2 P(M_2) = \lambda_1 P(M_1) \\ 2\lambda_3 P(M_3) = \lambda_2 P(M_2) + \lambda_7 P(M_7) \\ \lambda_4 P(M_4) = \lambda_3 P(M_3) \\ \lambda_5 P(M_5) = \lambda_3 P(M_3) \\ \lambda_6 P(M_6) = \lambda_2 P(M_2) \\ 2\lambda_7 P(M_7) = \lambda_4 P(M_4) + \lambda_6 P(M_6) \\ \lambda_8 P(M_8) = \lambda_2 P(M_2) + \lambda_7 P(M_7) \\ \lambda_9 P(M_9) = \lambda_5 P(M_5) + \lambda_8 P(M_8) \\ \lambda_{10} P(M_{10}) = \lambda_9 P(M_9) \\ \lambda_{11} P(M_{11}) = \lambda_{10} P(M_{10}) \\ \lambda_{12} P(M_{12}) = \lambda_{11} P(M_{11}) \\ \sum_{i=1}^{12} P(M_i) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

五、舆情存证系统的随机 Petri 网模型效能分析

在对舆情存证系统随机 Petri 网模型效能进行检验时，可通过式（2）中各个变迁的平均激发速率来计算得到每个环节在变迁过程中达到平稳状态的概率 $P(M_i)$

($i=1,2,\cdots,11$), 从而评估该环节的效能。并且, 在现实世界中, λ_i 和 $P(M_i)$ 均具有实际意义, 如表2所示。

表 2 舆情存证系统的激发概率与稳态概率

激发概率	激发概率含义	稳态概率	稳态概率含义
λ_1	在被提示有上链存证的可能性后, 社交媒体中出现舆情信息的效率	$P(M_1)$	社交媒体上链存证提示概率
λ_2	舆情信息在区块链存证系统中被记录、公示、审批处理的效率	$P(M_2)$	舆论场中待判定的舆情信息概率
λ_3	舆情信息公示期间, 电子公示板向群众和媒体展示待判定的舆情信息和送审材料后, 群众和媒体向下级政府/上级政府反馈证据和诉求的效率	$P(M_3)$	需利用电子公示板展示给群众和媒体监督反馈的概率
λ_4	接收到群众、媒体反馈后, 下级政府处理并公示送审材料的效率	$P(M_4)$	群众和媒体向下级政府进行舆情信息反馈的概率
λ_5	接收到群众、媒体反馈后, 上级政府处理并送审材料至纪检部门的效率	$P(M_5)$	群众和媒体向上级政府进行送审材料反馈的概率
λ_6	舆情信息公示期结束, 电子公示板向下级政府部门上报舆情信息后, 下级政府部门处理并公示送审处理材料的效率	$P(M_6)$	公示期结束, 电子公示板向下级政府上报舆情信息的概率
λ_7	公示期结束后, 下级政府公示送审处理情况至电子公示板后, 电子公示板送审至上级政府处理的效率	$P(M_7)$	需利用电子公示板展示送审处理材料的概率
λ_8	在基于智能合约的电子公示板对送审处理材料的公示结束后, 上级政府部门对接收到的送审处理材料进行审批并提交至纪检部门的效率	$P(M_8)$	电子公示板需要向上级政府部门送审材料的概率
λ_9	纪检部门收到送审材料后, 批阅转交给国有存证机构的效率	$P(M_9)$	上级政府部门向纪检部门送审的概率
λ_{10}	国有存证机构收到送审材料后, 将舆情信息上传存证的效率	$P(M_{10})$	纪检部门向国有存证机构批阅转交的概率
λ_{11}	舆情信息存证平台将信息存证后, 向社交媒体反馈已存证信息的效率	$P(M_{11})$	国有存证机构上传存证的概率
λ_{12}	社交媒体标识已存证信息后, 向公众提示上链存证可能性的效率	$P(M_{12})$	电子存证系统对舆情信息进行标识反馈的概率

(一) 因素调节与仿真结果

为了更准确地识别出各环节效率调整对整个舆情存证系统效能改变的影响, 本文设定 $t_1, t_2, \cdots, t_{12}$ 的平均激发速率 $\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_{12}$ 均为1, 通过单独变动某个参数 λ_i 对舆情存证系统进行仿真验证, 从而分析舆情存证链条中各环节的时间效率和运作效率, 以期能够为政府相关部门优化舆情存证系统效能提出有益建议。依据调节 $\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_{12}$ 的仿真结果, 本文按照运作效率提升程度来评估各调节环节的效能强度, 并划分为三个层次。

1. 强效能: $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$

模型假定其他参数不变, 分别将 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ 从2变动到20, 则有 $P(M_2)$ 、

$P(M_3)$ 、 $P(M_4)$ 、 $P(M_5)$ 、 $P(M_6)$ 、 $P(M_7)$ 随之显著下降,如图4所示。当 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 分别提升为初始值的2000%时, $P(M_2)$ 、 $P(M_3)$ 、 $P(M_4)$ 、 $P(M_5)$ 、 $P(M_6)$ 、 $P(M_7)$ 均减少94.71%,这是工作量降低最多且最快的情况。并且,当调节因素的效率提升至初始值的200%之前,本环节积压工作量减少的速度最快, $P(M_2)$ 、 $P(M_3)$ 、 $P(M_4)$ 、 $P(M_5)$ 、 $P(M_6)$ 、 $P(M_7)$ 每单位边际降低的幅度大于1%,这说明对于 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、 λ_5 、 λ_6 、 λ_7 的调节,200%是一个比较恰当的阈值。

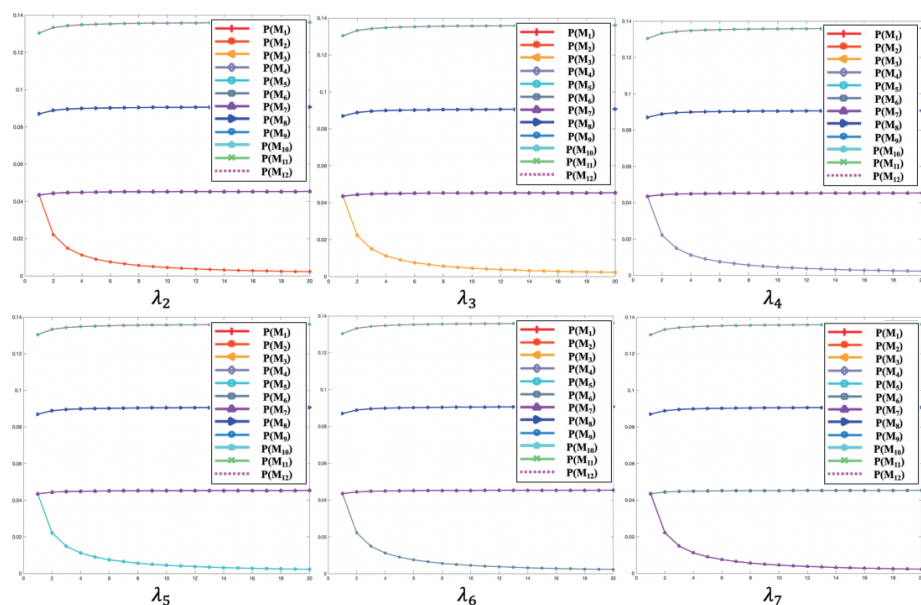


图4 $\lambda_2 \sim \lambda_7$ 变动下区块链舆情存证系统的稳态概率

与此同时, $P(M_1)$ 、 $P(M_9)$ 、 $P(M_{10})$ 、 $P(M_{11})$ 、 $P(M_{12})$ 明显上升。当调节效率提升达到初始值的2000%时,需要各相关主体配合工作的概率提升0.57%,即工作量增大0.57%。且当调节效率提升达到初始值的300%之前,各主体工作量增加速度最快,随调节因素的变化率每单位均大于0.1%。一旦调节效率超过300%,各部门边际工作量增速变缓,意味着整个舆情存证系统中的上下游环节运行主体已经开始逐渐适应高效率的工作流程。

2. 中效能: λ_8

模型假定其他参数不变,将 λ_8 从2变动到20,则有 $P(M_8)$ 随之显著下降,结果如图5所示。 λ_8 增大会显著地令 $P(M_8)$ 迅速下降,当 λ_8 提升为初始值的2000%时,电子公示板需要向上级政府部门提交送审材料的工作量减少了94.60%。而且当

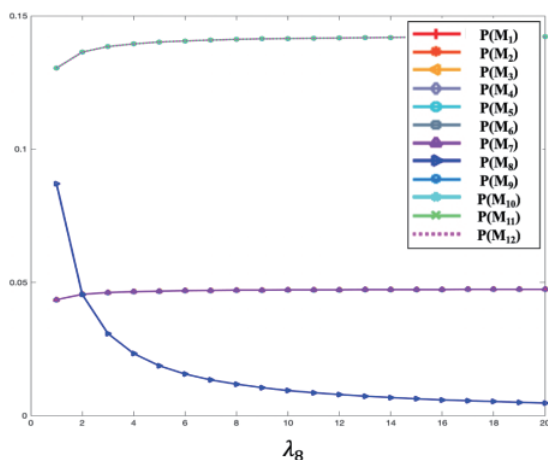


图5 λ_8 变动下区块链舆情存证系统的稳态概率

上级政府部门效率提升达到初始值的300%之前,电子公示板积压工作量减少的速度最快, $P(M_8)$ 随调节因素的变化率每单位均大于1%。这说明对于 λ_8 的调节,300%是一个比较恰当的阈值。

并且, $P(M_1)$ 、 $P(M_9)$ 、 $P(M_{10})$ 、 $P(M_{11})$ 、 $P(M_{12})$ 明显上升。当 λ_8 提升为初始值的2000%时,需要各相关主体工作的概率提升1.18%,即工作量提升1.18%,且当上级政府部门效率提升达到初始值的400%之前,各部门主体工作量增加速度最快,随调节因素的变化率每单位均大于0.1%。一旦上级政府部门效率超过400%,各部门主体边际工作量增速开始变缓,意味着逐渐适应高效率的工作流程。

3. 弱效能: $\lambda_1, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}$

模型假定其他参数不变,分别将 $\lambda_1, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}$ 从2变动到20,则有 $P(M_1)$ 、 $P(M_9)$ 、 $P(M_{10})$ 、 $P(M_{11})$ 、 $P(M_{12})$ 随之显著下降,结果如图6所示。当 $\lambda_1, \lambda_9, \lambda_{10}, \lambda_{11}, \lambda_{12}$ 分别提升为初始值的2000%时, $P(M_1)$ 、 $P(M_9)$ 、 $P(M_{10})$ 、 $P(M_{11})$ 、 $P(M_{12})$ 减少了94.33%。并且,当调节因素的效率提升至初始值的400%之前,本环节的积压工作量减少的速度最快, $P(M_1)$ 、 $P(M_9)$ 、 $P(M_{10})$ 、 $P(M_{11})$ 、 $P(M_{12})$ 随调节因素的变化率每单位均大于1%。

与此同时,本模块中其他环节的概率明显上升,当调节效率提升至初始值的2000%时,需要模块中其他各部门主体工作概率提升1.85%,即工作量提升1.85%。且当调节效率提升达到初始值的500%之前,各部门主体

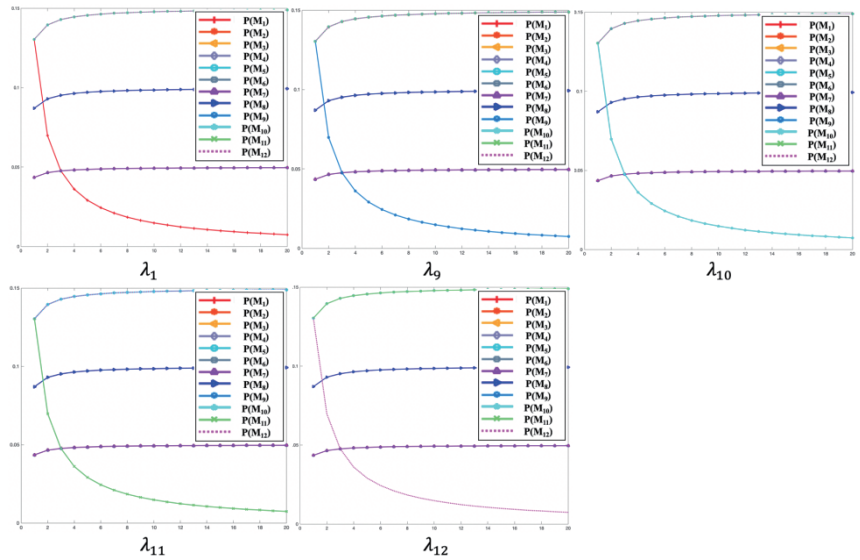


图6 $\lambda_1, \lambda_9 \sim \lambda_{12}$ 变动下区块链舆情存证系统的稳态概率

工作量增加速度最快,随调节因素的变化率每单位均大于0.1%。一旦调节效率超过500%,各部门主体边际工作量增速变缓,意味着逐渐适应高效率的工作流程。

(二) 分析与讨论

依据效能强度,本文将所有被调节的环节聚类为三个模块。首先,在效能较强的层次中,主要以“民间舆论场”中的舆论信息、群众媒体、电子公示板和与社会公众密切接触的政府部门(下级政府部门、上级政府部门)为重点调节因素。如果将舆情

存证系统运行的本质理解为从“民间舆论场”中提取无序的舆情信息，并将其实时、有序、分布式地存档于“体制内舆论场”之中，那么在整个链条中，可以将这些效能较强的环节打包归纳为服务于“民间舆论场”的前端模块。其次，在中等效能的层次中，重点调节了上级政府部门对接收到的送审处理材料进行审批并提交至纪检部门的效率。上级政府部门在整个舆情存证链条中位于前端模块与后端模块的联接处，既能够接触“民间舆论场”中的电子公示板与群众媒体，又能够接触“体制内舆论场”中的纪检部门，起到关键的桥梁纽带作用，因而，可以将此环节理解为以上级政府部门为核心的中端环节。最后，在效能较弱的层次中，主要以围绕“体制内舆论场”开展工作的关键后端主体部门为重点调节因素，包括纪检部门、国有存证机构、舆情信息存证平台，以及为“体制内舆论场”舆情信息监控与存证赋能的企业社交媒体平台，因而，可以将这些环节组成的模块总结为嵌入于“体制内舆论场”的后端模块。各模块及其效能强弱关系如图7所示。

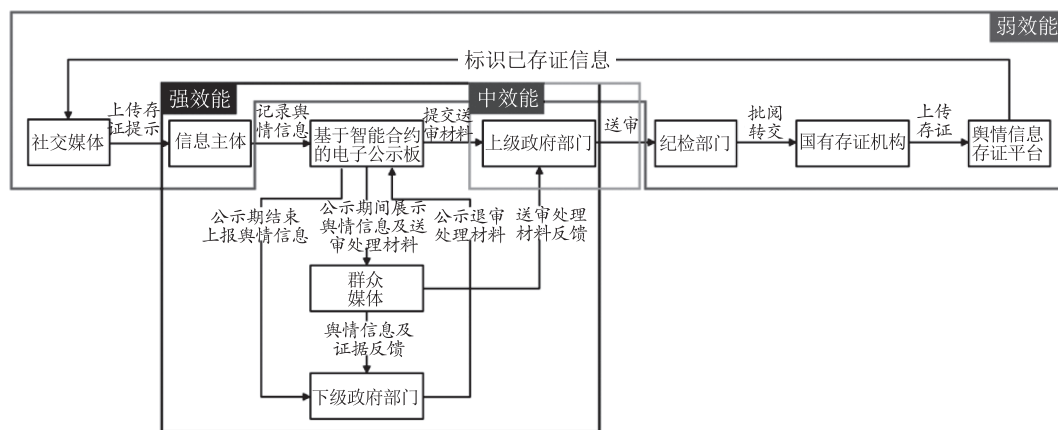


图7 区块链舆情存证系统中各模块效能强度示意图

在突发公共危机事件爆发的大环境中，各方资源都极为短缺，一味增强所有模块环节的工作效率是不现实的，因此在开展应急处置工作时利用最精简的资源实现最大化收益显得至关重要。在效率成本诉求的引领下，仿真结果从以下三个切面加深了各界对于区块链舆情存证系统的理解，有助于决策者（管理者）有的放矢地分配核心资源，缓解网络空间社会张力，防止社会温度持续升温至再次燃烧，从而推动智慧决策的实现。一是明确最佳优化环节。面对“民间舆论场”中各类舆情信息的大量堆积问题，仿真结果提示决策者（管理者）可考虑优先集中现有资源迅速提升服务于“民间舆论场”前端模块中各环节的效率，以便于从整体上最大程度地快速降低被调节环节的待工作体量。二是把握最佳增效尺度。针对不同的模块，存在不同的效率最优调节阈值。其中，当服务于“民间舆论场”的前端模块效率提升至初始值的200%、以上级政府部门为核心的中端环节效率提升至初始值的300%、嵌入于“体制内舆论场”的后端模块效率提升至初始值的400%时，效能输出性价比最高。一旦超过阈值，边际效能输出增长率会渐渐下降，增效能力趋于稳定。三是感知系统自适应能力。去中

心化的区块链舆情存证体系取代了前舆情治理时代的零和博弈,“民间舆论场”与“体制内舆论场”中各主体不再是此消彼长的竞争关系,而是在合作中走向共赢。当某一环节突然提升效率时,其他上下游环节会相应地增大单位时间内须处理的工作量。在这个动态配合的过程中,仿真结果表明其他环节会产生自适应反应,在一定程度上应急地随之提升效率。而且,自适应过程中同样存在一个特定的阈值。当服务于“民间舆论场”的前端模块效率提升至初始值的300%、以上级政府部门为核心的中端环节效率提升至初始值的400%、嵌入于“体制内舆论场”的后端模块效率提升至初始值的500%时,其他环节的边际工作量增速变缓,意味着整个舆情存证系统中的上下游环节运行主体已经开始逐渐适应高效率的工作流程。

六、结论与建议

为解决重大突发公共危机事件中的网络舆情治理难题,本文提出面向极端偏差网络舆情的区块链存证管理机制。依据随机Petri网模型仿真结果发现,在整个区块链舆情存证系统中,服务于“民间舆论场”的前端模块环节的运行效能最强,其次是以上级政府部门为核心的中端环节,再次是嵌入于“体制内舆论场”的后端模块。在合理阈值范围内,提升前端模块中任一环节的效率,均会令本环节待处理的工作量快速下降,且下降量大于调节中端环节、后端环节效率而减少的积压工作量。同时,研究结果也提示了区块链舆情存证流程中各环节的最佳增效尺度和自适应能力值,让管理者对于区块链赋能网络舆情治理有了更加直观的决策依据。

在实践层面,本文从以下三方面为我国网络舆情治理提供新思路。

其一,针对极端偏差网络舆情,应用舆情信息上链存证机制,可反向推动网络舆情生态向良性方向转变。“区块链+舆情存证”模式引领管理者跳出传统网络舆情治理只针对信息本身进行封锁阻断的“治标”思维,在提升“民间舆论场”舆情溯源、举证效率,强化“体制内舆论场”多主体协同共治的同时,也会反过来引发以社交媒体平台为代表的网络舆情发源与传播渠道的本源性变革,产生“治本”的效果。合理发挥区块链技术优势,高质量完成对网络信息的性质判断和谣言甄别,并且在呈现舆情信息时同步显示上链存证状态,将有助于社交媒体平台提高自身抵抗网络不良信息的执行能力。因此,在应对重大突发公共危机事件时,可考虑鼓励网络舆情信息聚集平台引入区块链存证技术,对特定情况的极端偏差网络舆情进行必要的技术震慑,确保特定情况下的网络信息生态健康有序。

其二,提高“民间舆论场”受众的话语权,推动以人为本、政民协同的网络舆情治理格局。仿真结果显示,紧密围绕“民间舆论场”受众运行的存证环节是提升整个系统效能的关键,其次是直接对接的上级政府部门。这意味着区块链去中心化的信息传输在一定程度上加强了“民间舆论场”的话语权威。因而,让政府能够聆听到更多的社会呼声,让普通公众发出更多的声音并主动提升辩证思考能力参与舆情共治,是未来网络舆情治理与舆情存证效率提升的重要途径。

其三,突出舆情内容中的价值观引领,发挥各级政府部门的舆情引导和匡正作用。在很多产业,应用区块链只需要解决技术层面问题即可,但是在舆情领域,除了技术导向,还要关注内容本身的价值导向。在为政府治理极端偏差网络舆情提供便利工具的同时,各界势必要意识到区块链技术本身的局限性,一味去中心化背后的潜在风险不容忽视,如公众恶意留言无法删除篡改、甚至出现意识形态方向错误等现实问题。政府作为协同共治的主体之一,扮演着把关价值取向的重要角色。聚焦政府内部,上级政府部门作为“民间舆论场”舆情存证模块与“体制内舆论场”舆情存证模块的中介环节,与“民间舆论场”的距离相对较近,且根据随机Petri网模型仿真结果,其效能显著地高于其他嵌入于“体制内舆论场”的后端模块。因此,上级政府部门更应该率先承担起弘扬正确价值理性、引领与规范工具理性的责任,积极强化公众在行为公约、自我约束等方面的主流意识,推动以价值创造、价值存储与价值循环为中心的社会关系转型。

参考文献

- [1] 宾晨,孙更新,周双.基于区块链技术的社交网络中舆情传播模型[J].应用科学学报,2019(2):191-202.
- [2] 常丹,桂昊宇,樊睿.超大城市社会安全类突发事件情景演化及仿真研究——以北京市为例[J].北京交通大学学报(社会科学版),2020(1):86-97.
- [3] 陈堂发.突发危机事件中谣言追责的理性问题——基于区块链技术支撑的讨论[J].人民论坛·学术前沿,2020(5):15-21.
- [4] 丁春燕.区块链上网络言论治理的技术驱动模式[J].法学杂志,2020(7):132-140.
- [5] 郭苏琳,黄微,李吉.区块链技术在网络舆情风险管理体系的应用研究[J].图书情报工作,2020a(9):19-26.
- [6] 郭苏琳,黄微,李吉.区块链技术对舆情用户信息接受行为意愿的影响研究[J].情报杂志,2020b(10):130-136.
- [7] 韩志明.从“互联网+”到“区块链+”:技术驱动社会治理的信息逻辑[J].行政论坛,2020(4):68-75.
- [8] 黄茂汉.基于区块链技术的疫情防控情报系统模型研究[J].情报科学,2021(6):1-8.
- [9] 黄心豪,赵博.基于区块链技术的网络舆论优化研究[J].中国传媒科技,2019(1):50-53.
- [10] 黄永刚.基于区块链技术的电子健康档案安全建设[J].中华医学图书情报杂志,2016(10):38-40,46.
- [11] 贾盼斗,尹春华.区块链社交网络信息传播特征及规律研究[J].情报科学,2021(1):35-40+47.
- [12] 李健,宋昱光,张文.区块链在突发事件应急管理中的应用研究[J].经济与管理评论,2020(4):5-16.
- [13] 李泰安.新时代政务舆情监管与有效应对探析[J].中国广播电视学刊,2017(12):42-44.
- [14] 梁雯,司俊芳.基于共享经济的“区块链+物流”创新耦合发展研究[J].上海对外经贸大学学报,2019(1):60-69.
- [15] 林闯.随机Petri网和系统性能评价[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [16] 刘峰,杨杰,李志斌,齐佳音.区块链舆情存证方案设计及应用挑战[J].中国科学基金,2020(6):786-793.
- [17] 刘海英.“大数据+区块链”共享经济发展研究[J].技术经济与管理研究,2018(1):91-95.
- [18] 齐佳音,方滨兴.重大突发事件中网络舆情引导及治理研究——以新型冠状病毒肺炎疫情为例[J].上海对外经贸大学学报,2020(3):5-13.
- [19] 容志.基于区块链技术的公共服务供给侧改革:运用与前瞻[J].上海对外经贸大学学报,2021(1):88-102.
- [20] 王循庆,李勇建,孙华丽.基于随机Petri网的群体性突发事件情景演变模型[J].管理评论,2014(8):53-62,116.
- [21] 王治莹,李勇建,王伟康.基于随机Petri网的突发事件信息演化模型[J].中国管理科学,2020(3):113-121.
- [22] 赵丹,王晰巍,韩洁平等.区块链环境下的网络舆情信息传播特征及规律研究[J].情报杂志,2018(9):127-133,105.

- [23] 赵蕾, 陈晓静, 戴敏怡. 区块链技术风险监管实证研究[J]. 上海对外经贸大学学报, 2019(3):89-98+108.
- [24] 周冬. 公民参与腐败治理: 基于区块链技术的实现方式[J]. 北京航空航天大学学报, 2020(4):62-68.
- [25] Arquam, M., A. Singh, R. A. Sharma, "Blockchain Based Secure and Trusted Framework for Information Propagation on Online Social Networks", *Computer Science*, 2018,62(4):1157-1164.
- [26] Ma, S., W. Hao, H. Dai, "A Blockchain-based Risk and Information System Control Framework", 2018 IEEE 16th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, New York: IEEE, 2018:106-113.
- [27] Pennycook, G., J. Mcphetres, Y. Zhang, "Fighting COVID-19 Misinformation on Social Media: Experimental Evidence for a Scalable Accuracy-Nudge Intervention", *Psychological Science*, 2020, 31(7):770-780.
- [28] Xing, K., F. Tian, X. Yang, "Optimal Deadlock Avoidance Petri Net Supervisors for Automated Manufacturing Systems", *Journal of Control Theory and Applications*, 2007, 5(2): 152-158.

【作者简介】刘嘉琪: 中国社会科学院新闻与传播研究所传媒调查中心副主任, 助理研究员, 工学博士。研究方向: 前沿技术与网络舆情治理。

刘 峰: 华东师范大学计算机科学与技术学院, 博士研究生; 上海对外经贸大学人工智能与管理变革研究院区块链技术与应用研究中心主任, 中国计算机学会高级会员。研究方向: 区块链技术与人工智能技术。

齐佳音: 上海对外经贸大学人工智能与变革管理研究院院长, 教授, 博士生导师。研究方向: 前沿技术与管理创新、网络空间安全。

Modeling and Efficiency Analysis of Blockchain Public Opinion Deposit System Based on Stochastic Petri Net

LIU Jia-qi¹, LIU Feng^{2,3} & QI Jia-yin^{3,4}

(1. Institute of Journalism and Communication, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100021, China; 2. School of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 3. Institute of Artificial Intelligence and Management Reform, Shanghai University of International Business and Economics, Shanghai 201620, China; 4. Key Laboratory of Trustworthy Distributed Computing and Service, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: During the period of major emergency crisis, the public opinion often falls into the dilemma of low cost of rumor, untimely falsification, high cost of tracing to the source, and great difficulty in proof. In order to solve the disorder of online public opinion, this paper puts forward the perspective of "blockchain + network public opinion governance", trying to form a technical deterrent to false network information by building a credible and binding deposit mechanism of public opinion. The theoretical knowledge of Stochastic Petri Net is introduced to construct the model of public opinion deposit system of blockchain, and the equilibrium state and efficiency evolution law of each sector of the whole chain are tested through simulation. This paper deepens the academic and industry's understanding of the blockchain public opinion deposit system from three aspects: the best optimization sector, the best efficiency scale and the system adaptive ability, so as to provide important decision support for China's application of blockchain technology to improve the network public opinion governance ability.

Keywords: Stochastic Petri Net; Markov Chain; social public opinion governance; blockchain technology; major public emergency crisis

(责任编辑: 吴素梅)