

## 去中心化自治组织：发展现状、分析框架与未来趋势

丁文文<sup>1</sup>, 王帅<sup>2,3</sup>, 李娟娟<sup>2,4</sup>, 袁勇<sup>2,4</sup>, 欧阳丽炜<sup>2,3</sup>, 王飞跃<sup>2,3,4</sup>

(1. 北京金桐网投资有限公司, 北京 100190;

2. 中国科学院自动化研究所 复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 青岛智能产业技术研究院, 山东 青岛 266109)

**摘要:** 分布式自治并非一个新的概念, 自然界中的自组织现象、互联网上的动态网民群体组织以及分布式人工智能等均可视作其早期表现形式。近年来, 区块链技术的快速发展催生了去中心化自治组织(DAO), 它是一种将组织的管理和运营规则以智能合约的形式编码在区块链上, 从而在没有集中控制或第三方干预的情况下自主运行的组织形式。因此, DAO有望成为应对不确定、多样、复杂环境的一种新型有效组织。然而, DAO正处于起步阶段, 理论研究尚处于空白, 且难以实现大规模应用。本文首先对DAO的概念及特征做出清晰界定; 接着首次系统地提出DAO五层分析框架, 并以此为基础对典型的DAO应用案例——Aragon做了详尽分析; 之后讨论DAO目前所面临的问题和下一步可能的研究方向, 以期对未来研究提供有益的参考与借鉴。

**关键词:** 去中心化自治组织; 智能合约; 智能化管理; 平行区块链

中图分类号: TP311

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.201917

## Decentralized autonomous organizations: the state of the art, analysis framework and future trends

DING Wenwen<sup>1</sup>, WANG Shuai<sup>2,3</sup>, LI Juanjuan<sup>2,4</sup>, YUAN Yong<sup>2,4</sup>, OUYANG Liwei<sup>2,3</sup>, WANG Fei-Yue<sup>2,3,4</sup>

1. Beijing Jintong Network Investment Co., Ltd., Beijing 100190, China

2. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

4. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 266109, China

**Abstract:** The decentralized autonomy is not a new concept, the self-organization phenomenon in natural ecosystems, the cyber movement organizations on the Internet, and the distributed artificial intelligence, etc., can all be regarded as its early manifestations. In recent years, the rapid development of block chain technology has spawned the emergence of the so-called decentralized autonomous organization (DAO), which is a new organization form that the management and operational rules are typically encoded on block chain in the form of smart contracts, and can autonomously operate without centralized control or third-party intervention. Therefore, DAO is expected to become a new and effective organization to deal with uncertain, diverse and complex environments. Defining the conception and features is the first priority. Furthermore, the five layer structural model of DAO analyzing frame to analyze typical Aragon model was proposed and the current issues as well as the research direction in future were discussed, hoping to provide significant guidance and reference for following researchers.

**Key words:** decentralized autonomous organizations, smart contracts, intelligent management, parallel blockchain

收稿日期: 2019-05-01; 修回日期: 2019-06-08

通信作者: 丁文文, DingWenwen@gintong.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61533019, No.71702182)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China (No.61533019, No.71702182)

## 1 引言

随着信息技术的发展以及组织自身复杂性的不断增加,传统组织的雇佣关系、管理模式等已经很难适应复杂多变的环境以及新一代个体对组织的要求。去中心化自治组织 (decentralized autonomous organization, DAO) 将去中心化、自主、自治与通证经济激励相结合,将系统内的各个元素作为资产,使得货币资本、人力资本以及其他要素资本充分融合,从而更好地激发组织的效能并实现价值流转,为解决现有的组织管理问题提供了很好的思路。然而,DAO 并非一个全新的概念,自然界中的自组织现象、互联网中的动态网民群体组织 (cyber movement organizations, CMOs) 以及人工智能的重要分支——分布式人工智能 (distributed artificial intelligence, DAI) 等均可认为是 DAO 的雏形,这些都为其出现奠定了理论及现实基础。

自组织现象 (self-organization phenomenon) 是自然界中极为普遍的现象,它是由生物个体之间的协同交互所导致的。在交互的过程中,每个个体都自发地倾向于从无序的运动到由个体之间关联而引起的协调合作的运动<sup>[1]</sup>。例如,蚁群、蜂群、鸟群及菌落等在生物系统中的聚集、迁移、合作觅食等众多涌现行为<sup>[2]</sup>,完全是局部相互作用的结果,不存在集中控制。

自组织现象的充分开放、自主交互、去中心化控制、复杂多样以及涌现等特点,不仅为 DAO 的出现奠定了思想雏形,也推动了各个学科的发展。如 1959 年 Grasse 对蚁群筑巢和觅食行为进行了研究<sup>[3]</sup>,他将这一现象称为“stigmerge”,后来被很多其他的自组织系统所借鉴<sup>[4]</sup>。自组织系统目前被用于解决那些中心化控制难以解决的问题,如普适计算的海量数据处理<sup>[5]</sup>、P2P 网络中的服务欺骗和节点资源滥用问题<sup>[6]</sup>、数据库管理中的数据存储问题<sup>[7]</sup>等。自组织理论群及系统则为后期 DAO 的落地提供了理论基础。从 20 世纪 70 年代开始,布鲁塞尔自由大学的 Prigogine 教授从热力学角度对自组织系统能量的吸收和耗散与组织有序之间的关系进行了研究,创立了耗散结构理论<sup>[8]</sup>,该理论对于理解复杂组织系统的自组织演化具有重要意义。随后人们又从不同的角度对自组织现象进行了研究,形成了以耗散结构论、系统学、超循环论、混沌和分形等为代表的自组织理论群。

在互联网层面,移动互联网和移动智能设备的普及使得网络虚拟世界成为人们日常活动的重要空间,并催生了大规模 CMOs<sup>[9]</sup>。CMOs 是指由事件或目标引导,短期内聚集在一起,参与、讨论并共同实施某些社会行为的在线网民群体<sup>[10]</sup>。人肉搜索<sup>[11-12]</sup>、水军<sup>[13]</sup>、众包<sup>[14]</sup>等都是典型的 CMOs。与自然界中的自组织现象不同,虚拟空间中的 CMOs 不受现实物理世界的空间限制,演化过程由事件或目标驱动,快速形成、传播且高度互动,并伴随着目标的消失而自动解散。例如,众包现象就是由任务驱动,在某一特定时间出现在网络中且具有明显互动的结构及目标引导的局部中心,随着任务的完成,中心消失,取而代之的是其他局部中心和许多结构松散的行动者。CMOs 的演化轨迹与 DAO 的虚拟性、弱中心、自主性等特征极度吻合,为 DAO 的诞生提供了网络参考模型。

CMOs 的理论模型进一步深化了 DAO 的实现基础。2004 年,王飞跃研究员提出了由人工社会 (artificial societies)、计算实验 (computational experiments) 和平行执行 (parallel execution) 组成的 ACP 理论框架,为动态网民群体的计算建模和实验评估提供了系统化的研究思路和解决方案<sup>[15-16]</sup>。CMOs 结合知识自动化<sup>[17]</sup>等手段,可以进行群体涌现行为计算与宏观社会现象预测,进而主动提供基于知识的智能推荐与基于决策的智慧服务,以此实现社会管理全过程的自动化实施<sup>[18]</sup>,这也为 DAO 实现智能化管理提供了很好的借鉴。

从人工智能的发展脉络来看,分布式人工智能不仅代表着未来的发展方向<sup>[19]</sup>,同时也进一步为 DAO 的智能化管理提供了实现基础。分布式人工智能主要研究在逻辑或物理上分散的智能系统如何并行、相互协作地求解问题,在一个分布式系统中,既没有全局控制,也没有全局的数据存储,系统中的各路径和节点既能并发地完成信息处理,又能并行地求解问题,因此分布式人工智能系统比集中式系统更具开放性和灵活性<sup>[20]</sup>。此外,分布式人工智能系统并非一个封闭的系统,其可以与互联网、区块链等相连接,实现系统规模的指数级扩大。这样不仅提高了系统的灵活性、降低了问题的求解代价,同时也为智能化管理提供了实现手段。面向未来,DAO 必然与人工智能相结合,从自动化走向智能化。未来 DAO 中的每个个体都将是具备感知、推理、决策功能的智能代理 (agent),能够部分或全部替代人类个体参与组织

的运营、管理和决策,从而解决传统的委托—代理问题(principal-agent problem)<sup>[21]</sup>。

DAO 理念的真正落地得益于区块链技术的出现<sup>[22]</sup>。区块链集成了分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等技术,具有去中心化、去信任、不可篡改、集体维护等特点,可安全、高效地实现信息传输和价值转移<sup>[23-24]</sup>。此外,开源的有智能合约功能的公共区块链开发平台(例如以太坊(Ethereum)),使得个体和组织可以借助区块链技术任意构建去中心化应用(decentralized application, DApp),组织的管理和运作规则便可能以智能合约的形式编码在区块链上,从而在没有第三方干预的情况下,依照预先设定的业务规则自主运营,实现分布式、自动化、自治型治理。2016年,首个DAO——The DAO被开发出来,成为当时世界上最大的众筹项目。从此之后,一系列的DAO被相继推出,如Polkadot、Aragon DAO、DashDAO等。然而,DAO在实际落地的过程中仍面临一些问题,如安全性问题、法律问题、技术不成熟及智能化治理难题等。

DAO有望成为国家、市场、公司之外的第4种组织形态,最大化地实现组织的效能及价值流转,形成新的商业变革。然而,纵观学术界,以“分布式自治组织、分布式自治公司、去中心化自治组织”为主题词在谷歌学术及知网进行搜索,剔除不相关的文献后,与DAO相关的研究却寥寥无几。鉴于目前DAO领域已呈现出明显的技术和产业创新驱动的发展态势,行业内却缺乏统一的界定和分析框架,本文致力于对其进行系统的分析与探讨。首先,对DAO的概念及特征做出界定;接着首次系统地提出DAO五层分析框架,并对每一层的构成要素进行详细介绍。在此基础上,对典型的DAO应用案例——Aragon进行详尽剖析,之后概述DAO目前所面临的问题与挑战,并对其未来发展趋势进行展望,以期为未来的研究提供有益的启发与借鉴。

## 2 DAO的概念界定

### 2.1 DAO的概念

关于DAO的界定,目前尚无统一的标准。DAO作为加密技术革命的理想结果,最初源自Ori Brafman在*The Starfish and the Spider*中提到的关于去中心化组织的主题<sup>[25]</sup>及Yochai Benkler在*The Wealth of Networks*提出的“同行生产”(peer production)<sup>[26]</sup>。随着加密数字货币的到来,2013

年,Daniel Larimer首次提出类似DAO的概念——去中心化自组织企业(decentralized autonomous corporation, DAC),DAC与传统企业的区别在于去中心化和分布式<sup>[22]</sup>。2014年Daniel Larimer再次补充了DAC的概念。随后,Vitalik阐述了对DAC的认识<sup>[27]</sup>,并经由Daniel Suarez的*Daemon*一书启发,提出了区块链语境下的DAO。而DAO概念首次正式提出则是在2015年以太坊区块链上的一份名为DAO的智能合约中。此时的DAO是智能合约,即技术框架、工具,常被理解为类似非盈利性组织的自组织。随着区块链技术的发展和应用,DAO的定义更加多元化:数字货币、系统/机构,商业模式甚至是无人汽车平台都可称为DAO。

目前比较有代表性的概念是维基百科指出的:DAO是一个以公开透明的计算机代码来体现的组织,它的金融交易记录和程序规则均保存在区块链上<sup>[28]</sup>。龚鸣指出,DAO是一个完全自动运行的公司,任何人都可以随意地加入和退出,而股权(代币)成为系统中运行的唯一货币,让收入、利润等概念完全消失,随着组织生态的发展壮大,通过代币(股权)升值的方式让参与者获利<sup>[29]</sup>。

本文关于DAO提出以下界定:DAO是将组织不断迭代的管理和运作规则(共识)以智能合约的形式逐步编码在区块链上,从而在没有第三方干预的情况下,通过智能化管理手段和通证经济激励,使得组织按照预先设定的规则实现自运转、自治理、自演化,进而实现组织的最大效能和价值流转的组织形态。

### 2.2 DAO的特征

(1) 分布式与去中心化(distributed and decentralized)

DAO中不存在中心节点以及层级化的管理架构<sup>[30]</sup>,它通过自下而上的网络节点之间的交互、竞争与协作来实现组织目标。因此,DAO中节点与节点之间、节点与组织之间的业务往来不再由行政隶属关系所决定,而是遵循平等、自愿、互惠、互利的原则,由彼此的资源禀赋、互补优势和利益共赢所驱动。每个组织节点都将根据自己的资源优势和才能资质,在通证的激励机制的作用下有效协作,从而产生强大的协同效应。

(2) 自主性与自动化(autonomous and automated)

在一个理想状态的DAO中,管理是代码化、程序化且自动化的。“代码即法律”(code is law),组织



不再是金字塔式而是分布式，权力不再是中心化而是去中心化，管理不再是科层制而是社区自治，组织运行不再需要公司而是由高度自治的社区所替代。此外，由于 DAO 运行在由利益相关者共同确定的运行标准和协作模式下，组织内部的共识和信任更易达成，可以最大限度地降低组织的信任成本、沟通成本和交易成本。

### (3) 组织化与有序性 (organized and ordered)

依赖于智能合约，DAO 中的运转规则、参与者的职责权利以及奖惩机制等均公开透明。此外，通过一系列高效的自治原则，相关参与者的权益得到精准分化与降维，即给那些付出劳动、做出贡献、承担责任的个体匹配相应的权利和收益，以促进产业分工以及权利、责任、利益均等，使得组织运转更加协调、有序。

### (4) 智能化与通证化 (intelligence and tokenization)

DAO 底层以封装了支持 DAO 及其衍生应用的所有基础设施——互联网基础协议、区块链技术、人工智能、大数据、物联网等为技术支撑，以数字化、智能化、链上链下协同治理为治理手段，改变了传统的科层制以及人为式管理方式，实现了组织的智能化管理。通证 (token) 作为 DAO 治理过程中的重要激励手段，将组织中的各个元素 (例如人、组织、知识、事件、产品等) 比特化、通证化，从而使得货币资本、人力资本以及其他要素资本充分融合，更好地激发组织的效能和实现价值流转。

## 3 DAO 分析框架

鉴于业界对 DAO 仍缺乏统一的界定和分析框

架，本节提出 DAO 的五层架构参考模型，即基础技术层、治理运作层、激励机制层、组织形态层和表现形式层，如图 1 所示。

### 3.1 以基础技术为底层基础设施层

基础技术层封装了支持 DAO 及其衍生应用的所有基础设施，包括互联网基础协议、区块链技术、人工智能、大数据、物联网等。

#### (1) 互联网基础协议

DAO 一般建立在对等式网络 (peer-to-peer network, P2P) 之上，以组织散布在全球的节点共同参与，因此互联网基础协议是 DAO 最底层的基础设施。

#### (2) 区块链技术

DAO 最显著的特点是去中心化与开放自治<sup>[31]</sup>，区块链是 DAO 实现其功能技术的核心技术。区块链的共识机制使得决策权高度分散的去中心化系统中的各节点有效地就组织治理达成共识，从而解决传统科层制和金字塔式管理架构中存在的信息不对称、逆向选择等问题<sup>[32]</sup>。智能合约则将 DAO 的运营与管理规则以计算机代码的形式记录在区块链上，各方按照合约完成工作并依据贡献度进行利益分配，最终实现“代码即法律”式的智能化管理<sup>[33]</sup>。非对称加密、时间戳等技术用于保障 DAO 运行过程中的安全性需求和所有权验证。

#### (3) 人工智能

随着以深度学习、强化学习、生成式对抗网络 (generative adversarial networks, GAN) 为代表的人工智能技术的快速发展，DAO 中的每个个体节点都将成为自主和自治的智能体 (软件代理或软件机器

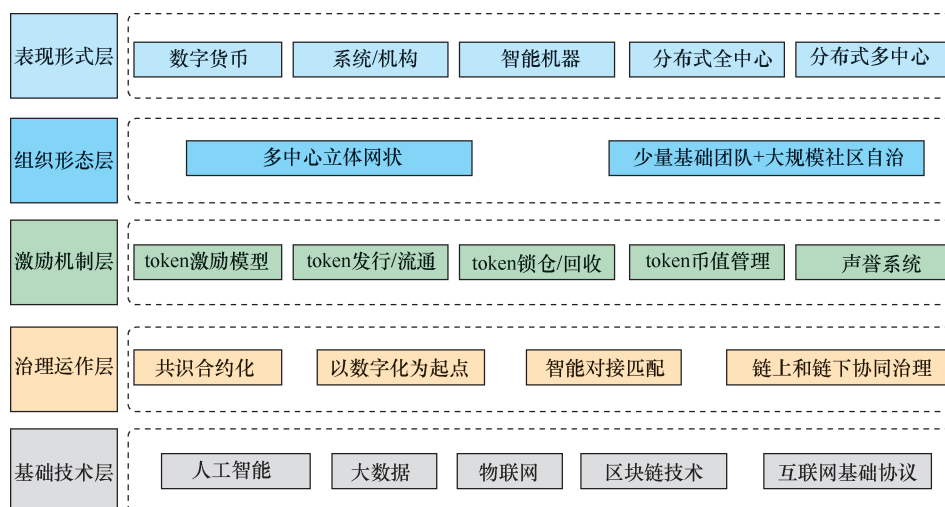


图 1 DAO 的五层架构参考模型

人), 有望部分甚至全部取代人类实现推理、决策、协作等功能<sup>[34]</sup>。此外, 智能合约也不再局限于按照预定义的“*If-Then*”式语句自动执行, 还将具备未知场景下“*What-If*”式智能推演、计算实验以及自主决策等功能, 使 DAO 真正成为集描述、预测、引导于一体的分布式自治组织。

#### (4) 大数据

基于大数据及开源情报解析方法, 可以实时采集运行在区块链系统中的 DAO 节点的状态数据、链内交易数据和系统运行数据, 从而掌握并预测 DAO 的演变规律与发展趋势。此外, 区块链本身也是大数据安全、脱敏、合法、正确的保证。

#### (5) 物联网

区块链可以与物联网技术相结合形成物联网(*blockchain of things*), 从而对链下物理空间中的智能设备、实体资产等进行数字化改造并集成到区块链<sup>[35]</sup>中。作为可信物联网服务平台框架, DAO 将以安全可信的方式监控智能设备的全生命周期, 实现设备间的自主协作和交易, 并利用智能合约实现智能化互操作。

### 3.2 以智能化管理为主要治理手段

DAO 的治理是一种智能化自治, 根据组织的性质和目标, 将系列公开公正且获得共识的制度通过智能合约代码化, 以数字化为起点、人工智能技术为保障、链上链下协同为治理手段, 以及无边界的群体价值创造, 实现组织的自治理和自演化。

#### (1) 共识合约化

公司往往是在取得共识的契约的基础上获得业务或者实现良好的运转。建立合同的目的是依靠法律的约束力量对组织、个人的利益机制乃至社会的良性运转加以保障, 但由于合同的履行不仅与当事人有关, 还受外界环境的影响, 因此合同履行本身有很大的不确定性。例如, 合同效力难以判断、变更解除难以实现、违约难以追究, 从而导致组织与组织、组织与个人之间信任程度下降, 沟通成本增加。

DAO 以建立在区块链技术上的智能合约信任基础。广义上的智能合约是一个无须中介、自我验证、自动执行合约条款的计算机交易协议<sup>[36]</sup>, 本质是将人、组织取得共识的法律协议以及网络之间的复杂关系程序化, 利用协议和用户接口完成从协商到履行的所有步骤。DAO 通过多种属性的节点——代表性节点、专业人士以及技术人员等合约制定参与方之间的协商, 明确各方的权利、责任、利益,

确定共识性的标准合约文本, 并将文本程序化和加以验证, 从而获得标准合约代码, 然后对代码化的合约进行分发、验证和自动执行。DAO 具备自动和强制执行合约条款的能力。

DAO 将共识/契约前置、信任锁定、法律嵌入, 解决了传统经济学中的“科斯定理—合约理论—产权理论—交易成本理论”的契约问题, 极大地降低了记账(交易)成本, 解决了信息不对称的问题, 使得组织在治理及业务开展过程中从负和、零和博弈走向正和博弈。

#### (2) 以数字化为起点

智能合约为 DAO 治理提供信任保障, 而 DAO 治理的燃料剂在于数字化。DAO 治理以数字化为起点, 贯穿始终。IT 分为 3 个阶段, 即老 IT (工业技术)、旧 IT (信息技术)、新 IT (智能技术)。在传统的信息化时代, IT 重心停留在任务流、工作流、信息流模式, 将人的工作环境和工作流程通过办公系统连接起来, 实现业务和工作的协同。这个阶段一方面仍停留在典型的自上而下的科层管理体制上; 另一方面, 信息的加工处理仍依靠个人的专业知识进行, 并未达到智能化。

数字化的本质是收集数据、分析数据, 并将数据应用于商业模式创新、商业生态重构、改善用户体验等, 而数字化的基础是建立在信息技术、大数据技术以及互联网技术之上的。信息技术及大数据技术构成了数字化技术, 具体包含数据收集、存取、建库、处理、分析、挖掘、模型预测和数据表达等环节。互联网技术作为桥梁, 将人与机联合起来, 不断“喂养”组织的数字化建设。

数字化不是目的, 目的是通过数字化进行描述、预测、指导, 为 DAO 打破边界及层级提供基础, 同时为智能匹配、管理及决策提供参照物。另外, 由数字化向“数字四胞胎”<sup>[37]</sup>发展是推动 DAO 智能化的基础。

#### (3) 智能对接匹配

运行在去中心化处理和存储载体上的 DAO 利用相关的 AI 技术, 将人、组织、知识、事件、产品或服务元素任意组合进行匹配和对接, 是 DAO 降低沟通成本、提高效率以及实现规模化的核心。

例如, 对人/角色的智能匹配: 通过数字化个体和组织的信息与行为数据, 根据贡献及能力匹配个体 DAO 所处的位置或承担的角色。对事件的智能匹配: 通过节点画像, 自动实现任务识别、推荐、

匹配和对接，从而解决信息孤岛问题，快速调动组织人力和知识资本。对知识的匹配：根据节点信息及行为数据（如点击、搜索、浏览）进行匹配、推荐，知识推荐是目前较为成熟的一种技术。智能评价/考核：对个体完成任务的过程、结果进行多维度评价，评价结果代表该个体在 DAO 荣誉体系中所属的层级，不同层级享有不同的权益。

另外，AI 效力建立在有效数据模型的基础之上，即“喂”大量数据训练其智能，但数据孤岛及隐私安全问题严重制约了 AI 的发展。DAO 本质上鼓励共享，尤其是在没有单一实体的控制下，能打破中心化数据孤岛，为 AI 精准推荐、匹配提供数据。

#### （4）链上和链下协同治理

与传统组织管理模式不同的是，DAO 通过链上和链下协同治理的方式改变了以往少数控股股东利益或债权人利益至上的中心化管理模式。

链上治理是将共识机制以智能合约的方式加以确定、更新和维护，本质是在互不信任的环境中创建一个可信的系统，保证利益相关者的权益。共识机制是互不信任的节点通过遵循预设机制最终达到数据的一致性，即由多方参与寻求相对平衡的利益共享机制，改变以往的公司治理模式。共识机制主要包括实用拜占庭容错（PBFT）、授权拜占庭容错（DBFT）、工作量证明（POW）、权益证明（POS）、股份授权证明（DPOS）以及其他混合共识算法<sup>[38]</sup>。链下治理是为了保证共识机制的确立、认可、扩散以及更新所采取的一系列治理手段的协同治理方式。与其他非盈利性组织的治理结构类似，大多数采用“基金会+受委托公司+表现形式”的治理结构。

由于当前技术的限制，DAO 治理更多地采用“小部分链上治理+主要的链下治理”的模式，随着技术的成熟，正逐步向链上治理转移。另外，分叉是解决 DAO 治理僵局的有效手段，分叉包括软分叉和硬分叉（如果分叉后新生成的区块可以被原先的矿工所接纳，则称为软分叉；否则为硬分叉）。分叉相比传统上市公司的治理分歧造成的市场冲击较低，也体现了基于共识机制的利益相关者治理模式的优势。

### 3.3 以基于区块链的通证经济为主要激励手段

通证是一种可流通的数字资产和权益证明<sup>[39-40]</sup>，现实世界中的股票、债券、期权、积分等均可以通过通证的形式实现数字化。一般认为，通证至少集股权属性（可增值、具有长期收益）、物权属性（代表

使用权、商品或服务）和货币属性（在一定范围内可流通）于一体。

DAO 的发起者、开发者以及其他利益相关者等以共享形式拥有系统产权，而其他参与主体的主要经济激励则为基于区块链的通证。由通证创造的全新经济模型称为通证经济<sup>[41]</sup>，具体是指借助通证这一加密数字资产的金融属性，对商品及服务进行通证化映射，让其在区块链上实现低成本甚至零成本的交易和切割。目前常见的通证类型包括支付型通证、功能型通证以及资产型通证。通证经济是行为管理和激励工具的系统方法，区块链与通证的结合可以实现不同价值系统间的“价值转换”与“价值转移”<sup>[42]</sup>。

每个 DAO 都可以发行通证，并且通常可以根据项目属性，对通证的发行量、流通量、锁仓期、分配方式等通证模型的相关要素进行设置<sup>[43]</sup>。通证模型设计本质上是机制设计问题，目标是促进参与主体的激励相容，实现共赢。良好的通证模型一方面能将货币资本、人力资本以及其他要素资本融合起来，改变人与组织的关联关系，降低组织运行成本，同时服务于项目早期的资金需求；另一方面，由于通证锚定的是项目本身，优质项目使得通证的市场价值不断提升，并能够更好地对参与主体形成激励。

### 3.4 以混序立体为主要的组织形态

组织形态作为历史的产物，与所处时代的经济、文化、环境有很大的关系。随着技术的发展和经济社会的进步，组织在演进的过程中摒弃了传统的单线竞争和线性思维，不再局限于内部以及科层的管理体制，并打破了价值活动分离的机械模式。

基于价值网络的 DAO 是一个混序、扁平、平行（虚拟与现实）、人机合一的多中心的生态立体网状组织结构，它打破了基于分工的功能式组织结构，实现了从垂直协同到平行协同、从井然有序到混序、从追求稳固和固化到追求相对稳定和动态平衡、从相对单一的形态到多样化的形态的转变，具体表现如下。

① 扁平：打破组织上下层级。人和人之间、人和组织之间的关系被重新定义，既能充分发挥独立个体的灵活性，又能实现透明垂直管理的高效性。

② 开放：打破组织内外边界。DAO 根据特定项目、需求和任务随时调整，又可随着任务的完成而自行裂变、解散、消亡。

③ 平行：在现实中的人和组织之外建立一个与之平行的虚拟人和组织，通过两者的虚实交互、闭环反馈以及链上链下协同治理，实现组织治理的

决策寻优与平行调谐<sup>[44]</sup>。

④ 人机合一：随着技术的进步，未来的 DAO 将进一步演变为人机合一。DAO 中的智能代理/软件机器人将会在得到授权后替代人类开展业务活动并在彼此间开展竞争博弈和协调合作。

### 3.5 多样化的表现形式

DAO 的表现形式多样，根据所提供的服务，它既可以是数字货币，也可以是一种系统或者机构（如应用平台以太坊），甚至可以是互联的智能机器（如无人驾驶）。根据组织的控制力，DAO 既可以是分布式全中心化（如公链形态），也可以是多中心（如联盟链形态）。每个 DAO 都有其特有的共识和协议，每个节点都有权查看所拥有的代币，并获得相应的股息，但 DAO 仍需依靠现有的法律框架展开业务活动。因此，在法律结构实体上通常借鉴“非盈利性基金会+受委托公司+表现”的形式（如开源社区），具体为“由基金会作为通证发行主体进行资金的募集、分配、管理以及监督等，同时委托部分公司进行技术开发、市场推广和运营、基金投资和管理以及其他法律服务”。然后，以开源社区或其他组织的模式呈现，推动 DAO 展开链上、链下的协同治理。除此之外，部分组织还会使用离岸实体控股基金会。DAO 法律结构实体如图 2 所示。

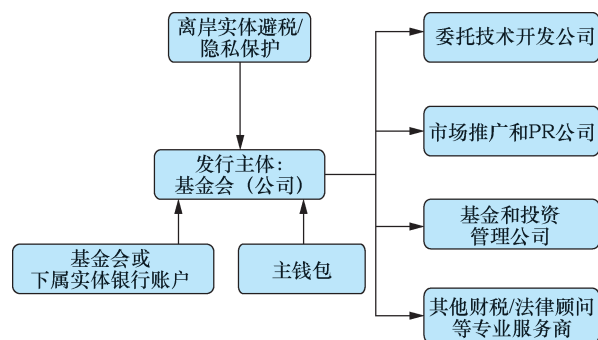


图 2 DAO 法律结构实体

## 4 典型应用

目前业界关于 DAO 的应用较多，但具代表性的案例较少，典型的如 The DAO、Steemit、Digix DAO、Aragon 等。下面以第 3 节提出的五层架构模型为基础，选取 Aragon 案例进行详细分析。

### 4.1 Aragon

Aragon 是一个方便用户创建和管理各类 DAO（公司、非盈利性组织、开源项目）的 DApp，使用

户可以跨越国界自由地创建无等级制度、依赖彼此协作自运行的组织。每个 DAO 基于系列智能合约存在，智能合约规定了组织的股东构成及相应的权利、义务。建立在 Aragon 上的智能合约系统被称为 AragonOS。AragonOS 保证只有授权的账户及合约（统一被称为实体，entities）拥有实施特定行为的权利。每个 Aragon DAO 拥有若干个 App，基本的 App 包括通证管理、投票以及金融。除此之外，任意一个个体都可以开发自己的 App 并将其添加至他们所在的 DAO 中，这些 App 拓展了组织的功能，具体如图 3 所示。

### 4.2 Aragon DAO 框架分析

根据第 3 节提出的 DAO 五层架构模型，对 Aragon 的相关要素分析如下。

#### （1）基础技术

首先，Aragon 基于以太坊建立，以太坊是一个永不宕机的全球公有区块链平台。其次，通过 Aragon Core 进行搭建，Aragon Core 是由 Solidity 语言的 DAO 和 DApp 组成的。Aragon 目前实现了股东名册、代币转账、投票、职位任命、融资、会计等组织机构的基础功能。Aragon 链上组织的行为可以通过修改章程来自定义。最后，Aragon 组织可通过连接智能合约的第三方模块进行扩展。

#### （2）治理运作

Aragon 是流动的、民主的，通过 Aragon 网络治理。Aragon 网络是该平台中的第一个 DAO，其目标是充当数字司法权。它首先从一个经投票通过的简单的宪法启动，当需要补充新的治理机制时，经提案和投票审核通过部署在链上。这个机制使得 Aragon 可通过提案来升级治理机制，具体过程如下。

首先，Aragon 拥有 Aragon 治理提案（Aragon governance proposal, AGP），每个 AGP 都详细描述了对 Aragon 网络共享资源进行管理、分配以及使用所要做出的改变。所有的 AGP 必须与社区的目标和价值相一致。AGP 的目的是对 Aragon 网络共享资源的改变提供一个结构化的决策流程。对于共享资源的调整，需要 DAO 参与者共同决定同意/拒绝访问，或者批准/拒绝有关提案。

其次，Aragon DAO 可以指定哪些地址可以代表组织实施特定的行为，这是通过一个访问控制清单（access control list, ACL）来实现的。清单上的地址可以是外部账户，也可以是合约账户。通过将多个智能合约集合在一起，可以定义限制组织内部相关

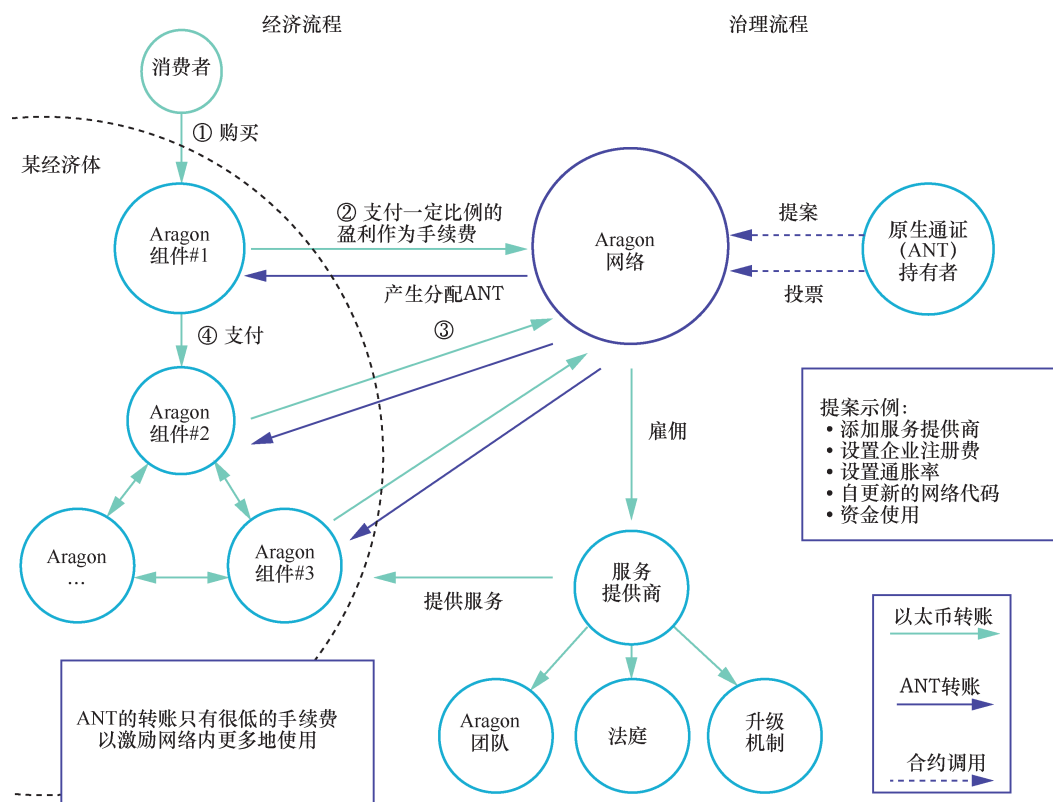


图3 Aragon 流程

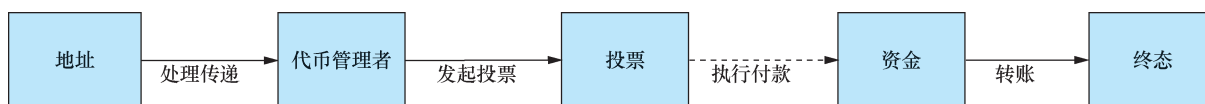


图4 Aragon DAO 决策流程

行为的复杂准则。例如，如果一个DAO想调动一笔资金，则必须满足：① 由组织内部的一位成员所提议；② 被绝大多数的成员所批准；③ 在一个预算范围之内。如图4所示。

最后，当有争端发生时，Aragon 具备一个法庭协议（court protocol）来提供争端解决服务。具体来说，当一起争端发生时，一个陪审团被组建出来（组织成员可以通过预存一笔押金的方式成为一名陪审员，并在争端解决后获得一笔酬金），陪审员们需要就有关争议在一定的期限内提交一份裁决，最终的裁决结果依据绝大多数陪审员的意见而定。如图5所示。

### （3）激励机制

Aragon 网络上的原生通证被称为 Aragon network token（简称为 ANT）。ANT 代表用户在其所在 DAO 中的通证份额大小。DAO 中的成员可以就组织的规则和治理发起提案，之后其他成员根据自身所持有的通证份额大小进行投票，以决定是否接纳该提案。需要指出的是，提案的发起者也需要预存一定

的 ANT 作为抵押，以促使提案者发起有益提案。

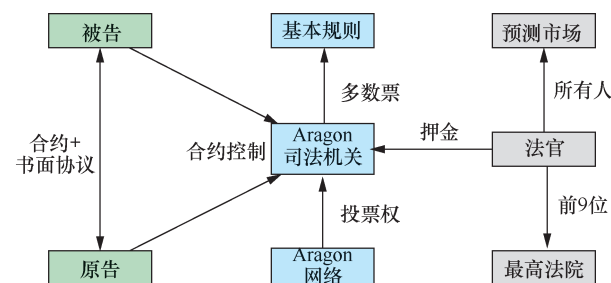


图5 Aragon DAO 仲裁流程

ANT 最初以公开代币出售的方式进行创造和分发，早期共有价值为 275 000 个以太币的 ANT 出售。如果加上预售时卖出的 ANT、赠予 Aragon 基金会/协会的 ANT，以及赠予 Aragon 创建者和早期贡献者的 ANT，ANT 的初始总供给量为 39 609 523.809 523 809 54 个以太币。分配比例见表 1。

另外，Aragon DAO 采用声誉系统，所有的业务合作都可以互相评分，如组织可以评判承包商，



同时承包商也可以评判该公司。所有评判关系的审计痕迹可以被追溯其真实性,进一步激励 Aragon DAOs。声誉值在 Aragon 网络中非常有价值。

表 1 ANT 分配比

	ANT 的总量 (个以太币)	展出时总供给量的比例
公开出售+预售	27 726 666.666 666 666 678	70%
赠予 Aragon 基金会/协会	5 941 428.571 428 571 431	15%
赠予 Aragon 早期贡献者和创建者	5 941 428.571 428 571 431	15%

#### (4) 组织形态

Aragon 网络为用户创造和管理 DAO 提供基础设施和服务 (例如 AragonOS)。Aragon 去中心化程度比较高,一方面 Aragon 创始人并没有保留董事会的职位,而是由 Aragon One 负责技术开发, Aragon Black 负责运营, Aragon Forum 负责讨论和监督, Aragon 协会负责整个项目的财政,并由社区代表就任;另一方面,用户可以自定义所创建的 DAO 的目的、类型、激励措施。DAO 去中心化的程度由创建者自己决定。截至 2019 年 7 月 9 日, Aragon 平台所创建的 DAO 的数量为 604 个。随着技术的成熟, Aragon 亦会逐步将项目的控制权移交给用户,从而实现自身治理的去中心化。Aragon 网络的最终目标是自身也发展成为自治组织,由希望社区繁荣的成员来共同维护。因此,就目前而言, Aragon 处于“少量基础团队+大规模社区自治”的阶段。

#### (5) 表现形式

目前 Aragon 表现为公共开发平台,它使任何人都能创建和管理任意组织 (公司、开源项目、非政府组织、基金会、对冲基金等) 的 DApp。

### 4.3 小结

五层架构模型并不代表每个 DAO 系统都要包含所有的元素,而是具备五层架构。Aragon DAO 是业界典型的 DAO 应用平台,旨在解决 DAO 中以人为本的治理问题。对 Aragon DAO 进行分析可知,底层基础架构以开源的具有智能合约功能的公共区块链平台以太坊为基础,通过 Aragon Core 和模块化模块自由组合 DAO。在治理运作层, Aragon 属于典型的链上治理,投票、提案、启动宪法、仲裁等行为均在 Aragon 网络上完成。不过 Aragon 的链上治理普遍面临选民投票率不足的问题,而且在一些关键决策上社区易产生分歧 (例如 AGP42 提案

——是否应该专注于以太坊/以太坊与 Polkadot 的选择)。就激励层而言, ANT 是 Aragon 的唯一代币, Aragon 网络上节点的所有行为 (如提案、投票、仲裁、交易等) 均以 ANT 为交换媒介,将人力资本、货币资本和其他资本要素很好地结合起来;而 ANT 的分配由社区决定,极大地调动了社会节点的共建积极性。组织形态上, Aragon 采用了典型的“少量基础团队+大规模社区自治”的模式,比如 Aragon 由平台的一个子系统 (或称为 DApp) 维持系统的基础运转。表现形式上, Aragon 表现为一个公共开放平台, Aragon DAOs 可以呈现为任意形式。

## 5 问题和进一步研究

DAO 现在尚处于起步阶段,在对以往的组织形态、商业模式、管理方式进行迭代升级的同时,也面临诸多挑战。现阶段,从理论研究和现实应用的角度来看, DAO 还存在一些问题,距离大规模的应用还有较长的路程。

### 5.1 理论研究

DAO 理论研究尚处于起步阶段。虽然自组织理论群、ACP 理论框架、多中心治理 (polycentric governance) 理论以及自治治理理论 (self-governance theory) [45] 等研究为 DAO 的落地提供了理论指导,但与 DAO 直接相关的研究寥寥无几。DAO 是对建立在传统组织架构基础之上的组织的再次升级和变革,对组织的技术支撑、治理机制、激励模式提出了新的要求。人们期望能够在组织系统的设计中更多地采用自治思想,但真正面向 DAO 系统设计的理论基础和模型验证等方面的研究非常少。基础理论的研究对于 DAO 的设计非常重要,将为 DAO 的实践以及工具的研究提供理论基础。

### 5.2 现实应用

#### (1) 安全问题

DAO 建立在区块链、智能合约、人工智能等基础技术之上,由于这些技术本身不成熟以及存在安全隐患, DAO 目前也面临着较为严重的安全性问题。以智能合约为例,2016 年,当时世界上最大的众筹项目、同时也是第一个建立在以太坊区块链上的 DAO——The DAO 上链不久便遭到黑客攻击,黑客利用智能合约代码中的可重入性漏洞 (reentrancy vulnerability) 发动了攻击,造成了超过 5000 万美元的以太币被盗,最后社区不得不以硬分叉的方式追回了资金。但此举违背了“代码即法律”的准则,引发

了巨大争议。其他已知的智能合约安全性问题还包括交易顺序依赖（transaction ordering dependence, TOD）、时间戳依赖（timestamp dependence）、处理异常（mishandled exceptions）等<sup>[46-47]</sup>，它们极大地制约了 DAO 的发展，亟待解决。

### （2）技术局限性

DAO 虽向往“代码即法律”式的代码化治理，但在实际操作中却很难实现。这是因为传统纸质合约中的法律条款（也称湿代码，wet code）和 DAO 智能合约中写入的规则（也称干代码，dry code）之间存在巨大的语义鸿沟：前者为实现更高的通用性，通常使用简约、包容、灵活的自然语言在高度抽象层次上起草；而后者作为语义明确的代码，须使用严格且形式化的语言对规则进行精确描述。翻译过程中难免会引入误差<sup>[48]</sup>，而且很多情况（比如某些边缘案例）是很难甚至无法编程的，这在一定程度上制约了 DAO 的应用和普及。

### （3）法律问题

由于 DAO 具有去中心化、跨国界、成员匿名化等特征，一旦实际运营过程中出现法律问题，将会导致难以追责以及缺乏事后救济等问题。此外，当前 DAO 在法律层面尚未有明确的界定，有观点认为 DAO 是单纯的伙伴关系或合资企业，也有观点认为 DAO 更像是投资合约或证券的翻版。因此，未来《中华人民共和国公司法》《中华人民共和国合同法》《中华人民共和国证券法》《民商法》等法律条文需对 DAO 做出界定，以便明确使用法律的范围，使 DAO 承担相应的责任并履行相关的义务。

### （4）智能化治理难题

DAO 的自运转很大程度上取决于组织内外所达成的共识程度及智能化管理手段。共识的确立、稳固、扩大、迭代以及协作流程的模块化、流程化等都是需要在前期构建的，而此阶段 DAO 相对于中心化组织效率较低，支持 DAO 及其衍生应用的基础设施不成熟，使得组织前期很可能处于一种低效、混序的状态。另外，由于不同 DAO 治理模式的差异化，现有的记账工具并不能满足 DAO 的个性化需求，大多数小型的 DAO 前期记账只能采取手工的方式进行。但利益的明确划分意识较为薄弱，以至于 DAO 在快速发展的过程中，由于前期核心建设者的利益未取得共识造成去中心化自治组织治理难的也不在少数。

为解决以上问题以及为 DAO 大规模应用打下基

础，未来应从以下几个方面对 DAO 做进一步的研究。

① 加强理论研究。首先，对 DAO 组织的概念及特点进行界定，对 DAO 的清晰界定有助于对 DAO 的理论研究。其次，理论基础可以借鉴经济学、生物学、人类社会、公共管理等从宏观和微观两方面对 DAO 的性质和机制进行研究，为 DAO 的设计和验证打下基础。

② 在安全问题方面，智能合约的正式验证<sup>[49]</sup>和多方安全审计，智能合约条款转换标准的制定和监管沙盒是提高 DAO 安全和隐私保护的有效途径。在法律问题方面，针对目前缺乏相应的法律、法规<sup>[50]</sup>的现状，加强对法律层面 DAO 的责任以及法律适用中的问题和管辖权的立法，从而确认 DAO 的权利、义务和责任。

③ DAO 与平行区块链结合，解决智能化治理难题。DAO 可视为一个由大规模智能体节点通过社会网络连接组成的社会系统，具有不确定性（uncertainty）、多样性（diversity）和复杂性（complexity）（即 UDC）。为了实现对 DAO 的有效管理与控制，可以采用平行区块链的方法<sup>[51]</sup>。平行区块链是 ACP<sup>[52]</sup>方法与区块链技术的有机结合。平行区块链将促使 DAO 从 UDC 系统转化为一个针对具体场景和任务的，兼具灵捷（agility）、聚焦（focus）和收敛（convergence）（即 AFC）特征的智能社会系统。DAO 还可借鉴 ACP 在平行装卸系统中的描述智能、预测智能和引导智能功能<sup>[53]</sup>，推动 DAO 的平行智能<sup>[54]</sup>。此外，还要考虑将既有的公司制与 DAO 的优势相结合，不仅仅是为了去中心化而去中心化，而是从更多的维度出发，在多变的环境中实现更好的协作，从而实现组织效用的最大化，并在此基础上最终实现去中心化自治社会（decentralized autonomous society, DAS）。

## 6 结束语

本文在系统梳理 DAO 发展脉络及研究现状的基础之上，对 DAO 的概念和特点进行了清晰界定，进而提出了一个 DAO 分析框架（即五层架构模型）。之后选取一个典型的 DAO 平台——Aragon 进行了案例分析，并进一步讨论了 DAO 目前所面临的问题和下一步可能的研究方向。随着信息技术的快速发展及环境的复杂多变，工业文明背景下组织结构的弊端愈加明显，DAO 为应对组织失灵的问题提供了有益的参考。然而，从基础理论和现实环境来看，DAO 还有很多不足之处，尚无法支持大规模的

应用。但随着理论研究的进一步深入以及各种技术手段的进步, 这些问题将会逐步得到解决, DAO 亦将会得到更多的实际应用。

## 参考文献:

- [1] HAKEN H. An introduction nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics[J]. Chemistry, and Biology, 1983: 206-216.
- [2] 李劲, 肖人彬. 涌现计算综述[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2015, 12(4): 1-13.  
LI J, XIAO R B. Emergent computation: an overview[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2015, 12(4): 1-13.
- [3] GRASSE P P. Reconstruction of the nest and coordination between individuals in terms. *Bellicositermes natalensis* and *cubitermes* sp. the theory of stigmergy: Test interpretation of termite constructions[J]. Soc Insect, 1959, 6: 41-80.
- [4] 郭毅, 毛新军, 董孟高, 等. 复杂自组织系统的研究综述[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(2): 159-167.  
GUO Y, MAO X J, DONG M G, et al. A survey of the research on complex self-organized systems [J]. Computer Engineering & Science, 2012, 34(2): 159-167.
- [5] BICOCCI N, MAMEI M, ZAMBONELLI F. Mechanisms of self-organization in pervasive computing[C]//WOA. 2006.
- [6] 胡建理, 吴泉源, 周斌. P2P 环境下基于信誉的信任模型研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(9): 1-6.  
HU J L, WU Q Y, ZHOU B. Research on reputation based trust model for P2P environment[J]. Computer Science, 2009, 36(9): 1-6.
- [7] WEIKUM G, MOENKEBERG A, HASSE C, et al. Self-tuning database technology and information services: from wishful thinking to viable engineering[C]//VLDB'02: Proceedings of the 28th International Conference on Very Large Databases. 2002: 20-31.
- [8] PRIGOGINE I. Time, structure, and fluctuations[J]. Science, 1978, 201(4358): 777-785.
- [9] ARAGÓN P, VOLKOVICH Y, LANIADO D, et al. When a movement becomes a party: computational assessment of new forms of political organization in social media[C]//Tenth International AAAI Conference on Web and Social Media. 2016.
- [10] 王晓. 动态网群组织 CMOs 建模分析与研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.  
WANG X. Analysis of cyber movement organizations using artificial communities and computational experiments[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2016.
- [11] WANG F Y, ZENG D, HENDLER J A, et al. A study of the human flesh search engine: crowd-powered expansion of online knowledge[J]. 2010.
- [12] WANG F Y, ZENG D, ZHANG Q, et al. The Chinese "Human Flesh" Web: the first decade and beyond[J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(26): 3352-3361.
- [13] ZENG K, WANG X, ZHANG Q, et al. Behavior modeling of internet water army in online forums[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2014, 47(3): 9858-9863.
- [14] HOWE J. The rise of crowdsourcing[J]. Wired Magazine, 2006, 14(6): 1-4.
- [15] 王飞跃. 人工社会, 计算实验, 平行系统——关于复杂社会经济系统计算研究的讨论[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(4): 25-35.  
WANG F Y. Artificial societies, computational experiments, and parallel systems: a discussion on computational theory of complex social-economic systems[J]. Complex Systems and Complexity Science, 2004, 1(4): 25-35.
- [16] WANG F Y. Back to the future: surrogates, mirror worlds, and parallel universes[J]. IEEE Intelligent Systems, 2011, 26(1): 2-4.
- [17] 王飞跃, 王晓, 袁勇, 等. 社会计算与计算社会: 智慧社会的基础与必然[J]. 科学通报, 2015.  
WANG F Y, WANG X, YUAN Y, et al. Social computing and computational societies: the foundation and consequence of smart societies [J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60: 460-469.
- [18] FISH A N. Knowledge automation: how to implement decision management in business processes[M]. John Wiley & Sons, 2012.
- [19] FERBER J, WEISS G. Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence[M]. Reading: Addison-Wesley, 1999.
- [20] GEORGEFF M, PELL B, POLLACK M, et al. The belief-desire-intention model of agency[C]//International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages. 1998: 1-10.
- [21] 欧阳丽炜, 王帅, 袁勇, 等. 智能合约: 架构及进展[J]. 自动化学报, 2019, 45(3): 445-457.  
OUYANG L W, WANG S, YUAN Y, et al. Smart contracts: architecture and research progresses[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(3): 445-457.
- [22] LARIMER D. Overpaying for security[J]. Letstalkbitcoin, 2013.
- [23] IANSITI M, LAKHANI K R. The truth about blockchain[J]. Harvard Business Review, 2017, 95(1): 118-127.
- [24] XU X, WEBER I, STAPLES M, et al. A taxonomy of blockchain-based systems for architecture design[C]//2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA). 2017: 243-252.
- [25] BRAFMAN O, BECKSTROM R A. The starfish and the spider: the unstoppable power of leaderless organizations[M]. Penguin Press, 2006.
- [26] BENKLER Y. The wealth of networks: how social production transforms markets and freedom[M]. New Haven: Yale University Press, 2006.
- [27] BUTERIN V. DAOs, DACs, DAS and more: an incomplete terminal ogy guide[J]. Ethereum Blog, 2014, 6: 2014.
- [28] The decentralized autonomous organization and governance issues regulation of financial institutions journal: social science research network (SSRN)[R]. 2017.
- [29] 龚鸣. 区块链社会[M]. 北京: 中信出版社, 2016.  
GONG M. Blockchain society[M]. Beijing: CITIC Press Corporation, 2016.
- [30] CHOHAN U W. The decentralized autonomous organization and governance issues[J]. 2017.
- [31] WANG F Y, YUAN Y, ZHANG J, et al. Blockchainized Internet of minds: a new opportunity for cyber-physical-social systems[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(4): 897-906.
- [32] YUAN Y, WANG F Y. Blockchain and cryptocurrencies: model, tech-niques, and applications[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018, 48(9): 1421-1428.
- [33] WANG S, OUYANG L W, YUAN Y, et al. Blockchain-enabled smart contracts: architecture, applications, and future trends[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2019.
- [34] YE P, WANG S, WANG F Y. A general cognitive architecture for agent-based modeling in artificial societies[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2017, 5(1): 176-185.
- [35] DORRI A, KANHERE S S, JURDAK R. Towards an optimized blockchain for IoT[C]//Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation. 2017: 173-178.
- [36] BASHIR I. Mastering blockchain: distributed ledger technology, decentralization, and smart contracts explained[M]. Packt Publishing Ltd, 2018.
- [37] 刘腾, 王晓, 邢阳, 等. 基于数字四胞胎的平行驾驶系统及应用[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 40-51.

- LIU T, WANG X, XING Y, et al. Research on digital quadruplets in cyber-physical-social space-based parallel driving[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 40-51.
- [38] ZHENG Z, XIE S, DAI H, et al. An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends[C]//2017 IEEE International Congress on Big Data (Big Data Congress). 2017: 557-564.
- [39] LI J, YUAN Y, WANG S, et al. Transaction queuing game in bitcoin blockchain[C]//2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). 2018: 114-119.
- [40] QIN R, YUAN Y, WANG F Y. A novel hybrid share reporting strategy for blockchain miners in PPLNS pools[J]. Decision Support Systems, 2019, 118: 91-101.
- [41] WANG F Y, ZHANG J J, QIN R, et al. Social energy: emerging token economy for energy production and consumption[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2019, 6(3): 388-393.
- [42] 陈思远, 白昱阳, 张俊, 等. 基于区块链和通证经济的跨国跨洲电力市场机制设计[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 96-105.
- CHEN S Y, BAI Y Y, ZHANG J, et al. Design of transnational and intercontinental electricity market with blockchain and token economics[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 96-105.
- [43] SAITO K, HATTA S, HANADA T. Digital currency design for sustainable active debris removal in space[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2019, 6(1): 127-134.
- [44] 王飞跃. 平行控制: 数据驱动的计算控制方法[J]. 自动化学报, 2013, 39(4): 293-302.
- WANG F Y. Parallel control: a method for data-driven and computational control[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(4): 293-302.
- [45] OSTROM E. Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems[J]. American economic review, 2010, 100(3): 641-672.
- [46] DIKA A. Ethereum smart contracts: Security vulnerabilities and security tools[D]. Trondheim: NTNU, 2017.
- [47] DELMOLINO K, ARNETT M, KOSBA A, et al. Step by step towards creating a safe smart contract: lessons and insights from a cryptocurrency lab[C]//International Conference on Financial Cryptography and Data Security. 2016: 79-94.
- [48] DE FILIPPI P, HASSAN S. Blockchain technology as a regulatory technology: from code is law to law is code[J]. arXiv preprint ar-Xiv:1801.02507, 2018.
- [49] BHARGAVAN K, DELIGNAT-LAVAUD A, FOURNET C, et al. Formal verification of smart contracts: short paper[C]//Proceedings of the 2016 ACM Workshop on Programming Languages and Analysis for Security. 2016: 91-96.
- [50] QU Y, YU S, GAO L, et al. A hybrid privacy protection scheme in cyber-physical social networks[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(3): 773-784.
- [51] WANG F Y, YUAN Y, RONG C, et al. Parallel blockchain: An architecture for CPSS-based smart societies[J]. IEEE Transactions on Computational Social Systems, 2018, 5(2): 303-310.
- [52] WANG X, LI L, YUAN Y, et al. ACP-based social computing and parallel intelligence: Societies 5.0 and beyond[J]. CAAI Transactions on Intelligence Technology, 2016, 1(4): 377-393.
- [53] 沈大勇, 王晓, 刘胜. 平行装卸: 迈向智慧物流的智能技术[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 34-39.
- SHEN D Y, WANG X, LIU S. Parallel loading and unloading: smart technology toward intelligent logistics[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 34-39.
- [54] 张俊, 王飞跃, 方舟. 社会能源: 从社会中获取能源[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(1): 7-20.
- ZHANG J, WANG F Y, FANG Z. Social energy: mining energy from

the society[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(1): 7-20.

#### [作者简介]



**丁文文** (1990- ), 女, 河南濮阳人, 现就职于北京金桐网投资有限公司, 主要研究方向为去中心化自治组织、平行管理、区块链、知识图谱。



**王帅** (1988- ), 男, 山东邹城人, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室博士生, 主要研究方向为区块链、智能合约、社会计算与平行系统。



**李娟娟** (1986- ), 女, 江苏南通人, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室工程师, 主要研究方向为区块链智能、计算广告、电子商务、经济计算等。



**袁勇** (1980- ), 男, 山东淄博人, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室副研究员, 主要研究方向为区块链、商务智能、计算广告学。



**欧阳丽炜** (1996- ), 女, 湖北武汉人, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室硕士生, 主要研究方向为社会计算与区块链。



**王飞跃** (1961- ), 男, 浙江东阳人, 博士, 中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室研究员, 国防科技大学军事计算实验与平行系统技术中心教授, 中国科学院大学中国经济与社会安全研究中心主任, 主要研究方向为智能系统和复杂系统的建模、分析与控制。