基于 Web3 的去中心化自治组织与运营新框架

李娟娟[1, 2] 秦 蕊[1, 2] 丁文文[3] 王 戈[3] 王 坛[3, 4] 王飞跃[1, 3, 5]

摘 要 Web3 技术催生的去中心化自治组织 (Decentralized autonomous organization, DAO) 正以颠覆性的方式重新定义要素资源、变革生产关系与塑造组织形态. 为了更好地响应 DAO 研究与应用需求, 本文从组织和运营两个角度重新解析 DAO, 认为其应当被更广义而精确地定义为去中心化自治组织与运营 (Decentralized autonomous organization and operation). 在此基础上, 阐述 DAO 的关键原理与基本要求, 探讨社会物理信息系统、平行智能等基础设施以及数字孪生、元宇宙、Web3 等支撑技术, 构建涵盖组织层、协调层以及执行层等的 DAO 五层智能新架构, 提出 DAO 的闭环方程以及功能导向的智能新算法, 分析个体、组织与社会视角下的 DAO 治理机制, 研究面向生物人、机器人与数字人的 DAO 激励机制, 并介绍 DAO 的典型与潜在应用场景. 最后, 总结全文并展望 DAO 未来研究方向.

关键词 去中心化自治组织与运营, Web3, 元宇宙, 区块链, 智能合约, 智能算法, 平行智能

引用格式 李娟娟, 秦蕊, 丁文文, 王戈, 王坛, 王飞跃. 基于 Web3 的去中心化自治组织与运营新框架. 自动化学报, 2023, **49**(5): 985−998

DOI 10.16383/j.aas.c220753

A New Framework for Web3-powered Decentralized Autonomous Organizations and Operations

LI Juan-Juan[1, 2] QIN Rui[1, 2] DING Wen-Wen[3] WANG Ge[3] WANG Tan[3, 4] WANG Fei-Yue[1, 3, 5]

Abstract Decentralized autonomous organization (DAO) powered by Web3 technology is defining resources, transforming production relations and reshaping organizational forms in a subversive way. Aiming to meet the needs of researches and applications, this paper re-analyzes DAO from the perspectives of both organization and operation, arguing that it should be more broadly and precisely defined as decentralized autonomous organization and operation. On this basis, the key principles and basic requirements of DAO are expounded; the infrastructure based on cyber-physical-social systems and parallel intelligence and the supporting technologies such as digital twins, Metaverse, and Web3 are discussed; the five-layer intelligent architecture covering the organization layer, coordination layer, and execution layer is constructed; the closed-loop equations and the function-oriented intelligent algorithms are proposed; the governance mechanisms from the individual, organizational and social perspectives are illustrated, the incentive mechanisms for humans, robots and digital humans are analyzed; and the typical and potential application scenarios are introduced. Towards the end, the paper is concluded and the future research directions of DAO are identified.

Key words Decentralized autonomous organization and operation, Web3, Metaverse, blockchain, smart contract, intelligent algorithm, parallel intelligence

Citation Li Juan-Juan, Qin Rui, Ding Wen-Wen, Wang Ge, Wang Tan, Wang Fei-Yue. A new framework for Web3-powered decentralized autonomous organizations and operations. *Acta Automatica Sinica*, 2023, **49**(5): 985−998

Web3 在近年来的兴起与发展及以去中心化金融为代表的 Web3 应用爆发式增长, 开启了去中心化自治组织 (Decentralized autonomous organization, DAO) 落地应用的热潮. DeepDAO 发布的数据显示, 截止到 2022 年 5 月, DAO 数量已超过 4830

收稿日期 2022-09-21 录用日期 2023-03-03
Manuscript received September 21, 2022; accepted March 3, 2023
国家自然科学基金 (62103411), 澳门特别行政区科学技术发展基金 (0050/2020/A1), 中国科学院国际伙伴计划 (GJHZ202112) 资助
Supported by National Natural Science Foundation of China (62103411), Science and Technology Development Fund of Macau SAR (0050/2020/A1), and International Partnership Program of Chinese Academy of Sciences (GJHZ202112)
本文责任编委 鲁仁全
Recommended by Associate Editor LU Ren-Quan

1. 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 中国 2. 中国科学院自动化研究所多模态人工智能系统全国重点实验室 北京 100190 中国 3. 澳门科技大学澳门系统工程研究所 澳门 999078 中国 4. 中国自动化学会 北京 100190 中国 5. 中国科学院大学 北京 100049 中国

1. The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China 2. State Key Laboratory of Multimodal Artificial Intelligence Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China 3. Macao Institute of Systems Engineering, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China 4. Chinese Association of Automation, Beijing 100190, China 5. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

个, 持有资产规模超过 102 亿美元, 在一年内增长超 10 倍. 2006 年, Daniel Suarez 在科幻小说《Daemon》中提出的 Daemon 运作方式可以看作是当前定义下的 DAO 的最早雏形. 2013 年, EOS 创始人 Daniel Larimer 提出去中心化自治企业 (Decentralized autonomous corporation, DAC) 的概念, 认为去中心化与分布式是 DAC 不同于传统企业最显著的特征. 2014 年, 以太坊联合创始人 Vitalik Buterin 主张 DAO 是以自动化为中心、以人类为边缘的组织, 而 DAC 是 DAO 的一个子集. DAO 的建设与应用离不开 Web3 这个基于区块链的可信安全互联网支撑, 而 DAO 也是 Web3 的核心组成要素和创新组织范式. DAO 的数据权掌握在用户自己手中, 可以很好地保护数据的隐私和安全, 有助于 Web3 可信网络的构建[1]. 基于新型经济体系与价值创造方式, DAO 为 Web3 汇集具有一致价值观和同一目标的群体, 并凭借智能合约驱动的价值自动分配方式为 Web3 的自治、自运营和自演化提供了重要的手段. 因此, DAO 对于构建一个开放共荣的 Web3 互联网具有重要作用.

然而, 目前 DAO 还处于发展期, 针对 DAO 的认知和研究还存在很大的局限性. 1) 已有工作侧重于 DAO 的底层技术、工程实现和应用等方面. 然而, 由于面向 Web3 的 DAO 类型繁多, 它们在运营机制、治理机制等方面存在巨大的差异[2], 目前尚无适用于所有类型 DAO 研究与应用的统一框架. 2) 针对 DAO 模型和算法方面的研究仍未可见, 而它们却是支撑 DAO 实现分布式与去中心化、自动与自治的关键. 3) DAO 的核心是治理机制和激励机制[3−4], 然而目前相关理论研究甚少, 大多从代码层面的智能合约实现这一角度来思考, 而智能合约本身具有局限性, 只能执行简单的确定性规则且极易出现代码漏洞等问题, 无法满足复杂的治理机制和激励机制设计要求. 4) 目前 DAO 的应用仍聚焦于社交、投资、收藏等领域, 尚未在经济社会中进行广泛应用, 这与 DAO 存在的用户基数小、机制不成熟、风险影响大等问题密切相关. 鉴于此, 本文致力于提出一个通用的 DAO 智能新框架, 并在其中探讨新原理以辨析 DAO 特点与要求, 利用新设施应对 DAO 治理复杂性, 利用新架构指导 DAO 生态建设, 利用新主体拓宽 DAO 成员网络, 利用新模型反映 DAO 组织与运营过程, 利用新算法增强 DAO 功能等, 从而提升 DAO 研究的科学性与应用的规模性, 以推动 DAO 可持续发展.

本文结构安排如下: 第 1 节从关键原理、基本要求、基础设施以及支撑技术等方面阐述 DAO 的原理与智能新技术; 第 2 节提出 DAO 的智能新架构, 并着重介绍组织层、协调层以及执行层的内涵要素; 第 3 节构建 DAO 的理论模型并分析功能导向的智能新算法; 第 4 节和第 5 节从基于多元主体的多个视角探讨 DAO 的核心机制: 治理机制及激励机制; 第 6 节介绍 DAO 的应用场景; 第 7 节总结全文并展望未来发展方向.

1 原理与智能新技术

目前, DAO 被普遍认为是编码在区块链上、由智能合约驱动的去中心化自治组织, 将分布式自动运营当成是去中心化自治组织的默认构成或自然结果, 而忽略了二者的区别. 实质上, DAO 包含组织和运营两个维度, 既有去中心化自治组织的含义, 也有分布式自动运营的含义[5−6]. 因此, 从更广义且更精确的角度来考虑, DAO 应当被定义为去中心化自治组织与运营 (Decentralized autonomous organization and operation). 本文的后续研究均是在此定义下展开. 本节将阐述 DAO 的关键原理与基本要求, 并分析它的基础设施及支撑技术.

1.1 关键原理

本节将从分布式 (Distributed) 与去中心化 (Decentralized), 自治性 (Autonomous) 与自动化 (Automated), 组织化 (Organizational) 与运营性 (Operational) 等方面分析 DAO 的关键原理.

“D”之分布式与去中心化: 分布式侧重于从外部协调的角度, 描述一种不依赖第三方中介且不被第三方掌控的状态. 在无需人为干预的智能合约管辖与调配之下, 在无信任的环境中构建激励驱动的协调机制. 去中心化侧重于从内部自治的角度, 描述一种没有层级化结构且没有绝对权力中心的状态. 在异质的所有权分散状态下, 构建基于不服从的协作机制.

“A”之自治性与自动化: 自治性是源于 DAO 价值分配模式的改变, 在规模化协作过程中汇集拥有共同目标的群体, 他们自主协作并获得与贡献相对等的价值, 实现共有、共治和共建的社区自治. 自动化是源于智能合约在 DAO 中的使用, 以代码化和程序化的方式按照条件触发的规则来自动运营, 无需人为干预和信任基础.

“O”之组织化与运营性: 组织化是指 DAO 变革所有权, 将传统的少数人拥有的决策权分配给所有成员, 使得他们都凭此来对组织管理建言献策, 进而服务于总体目标的实现. 运营性是指 DAO 利用智能技术创新传统的决策生成与实施方式, 增强 DAO 运营的自动化与智能化, 使得群体共识能够快速地达成、传播与实施.

1.2 基本要求

现有的研究和实践中将分布式与去中心化 (D) 以及自治性与自动化 (A) 当作 DAO 的自然结果, 是不准确的. 真正的 DAO 应当在组织和运营角度分别满足不同的 D&A 要求. 其中, 组织角度主要在组织形式与权责分配方面满足 D&A 要求, 而运营角度主要在决策与执行方式方面满足 D&A 要求.

1) 组织角度

D 要求: DAO 采用分布式与去中心化的形式, 其结构是松散耦合的, 节点的加入和退出不会影响组织形式和结构. 组织中没有中心节点, 节点之间没有统属关系, 他们既是相互独立的个体, 又是分布式协作的整体. 每个节点可自愿参与组织事务, 同时节点的角色动态设定, 随着组织事务的变化而变化. 值得指出的是, DAO 的去中心化并非完全且绝对的去中心化, 初始阶段大多是以一种中心化的方式来启动, 并且各个 DAO 的去中心化程度也并不相同. 实际上, 去中心化是相对于中心化来说的, 甚至我们可以认为只要不是完全中心化, 就可以看成是一种去中心化.

A 要求: DAO 在组织层面的 A 要求更多体现在自治性方面. DAO 采用分布式治理方式, 组织具有很强的稳定性以及风险抵御能力. 同时, 组织中的事务需要经由具有投票权的成员集体决定, 而投票过程通过智能合约自动执行. DAO 的所有权属于 DAO 成员, 而所有持有治理通证的成员都具有决策权, 但可自愿选择是否参与提案和投票. 通过通证流转保持组织中的经济平衡, 形成一个可以良性循环、稳定发展的无需外部干预的自主自治组织.

2) 运营角度

D 要求: DAO 的运营并不依赖于单个节点, 而是依赖于节点群体的共同决策, 无论是哪个层面的制度变更与实施都需要依靠多个分布式节点的一致性共识来决定. 单个节点的决策权力和影响力有限, 其试图通过贿赂、作弊等方式控制组织所需付出的代价非常巨大, 而且少数节点的共谋也无法左右和支配 DAO 的决策结果.

A 要求: DAO 在运营角度的 A 要求更多体现在自动化方面, 除了初始治理框架可以在链下产生外, DAO 的一切链上行动都应当是通过不受人为干预的智能合约自动执行的. DAO 决策的产生与执行过程都离不开智能合约, 而对智能合约的升级与补充需由智能合约管理智能合约的方式来实现, 而很少采用其他非自动或半自动的方式. 同时, DAO 的所有运营数据是不可篡改的, 以保证决策过程的可追溯性.

以被应用于构建超过 750 个 DAO 的 Moloch DAO 框架为例, 阐述 DAO 的基本要求. Moloch DAO 采取申请–批准进入机制和一定条件下的怒退机制来保证一个相对有序、透明且公平的治理网络. 在组织角度, 成员的治理权既包含投票权又包含经济权, 其中经济权表示成员能对自身在国库中所占股份进行全部退出或者部分退出; 网络规模具备一定的可扩展性, 成员由最初的 22 名发展至 2022 年 4 月份的 70 名, 使得各项权力的分散程度不断提高; 采用提案加投票的集体决策方式, 任何人都可以提案, 但只能由成员投票, 结果不对总投票数作要求, 只要赞成票多于反对票则提案通过, 且允许反对票成员在宽限期内怒退, 这就使得决策的一致性更高, 结果更能代表集体利益. 在运营角度, Moloch DAO 的多数票机制使得单个成员的影响力有限, 即便少数成员共谋通过恶意提案, 其他成员的利益也由怒退机制保护, 使得操纵决策结果的成本较高; 采用智能合约自动运营, 同时又可以在不修改底层智能合约的情况下改变原有规则, 使得其运营灵活高效.

1.3 基础设施

DAO 可被视为基于分布式共识和链式数据结构的多智能体系统, 兼具社会复杂性与工程复杂性. 一方面, DAO 共识反映为分布式网络中的大规模群体协调与协作过程, 存在着高度不确定性 (Uncertainty) 的心理与行为、高度多样化 (Diversity) 的共识机制与策略、以及高度复杂化 (Complexity) 的竞争与合作博弈. 这是由人的参与为 DAO 带来的社会复杂性. 另一方面, DAO 的加密链式数据结构集成了多种技术, 如: 时间戳、哈希运算、密码学算法、P2P 网络等, 以实现可靠、可信、自主、有序等特性. 这是 DAO 运转在区块链和智能合约之上而产生的工程复杂性. 作为一个基于代码、自主运行和人在回路的系统, DAO 在很大程度上依赖于其社区成员共同设计和维护的底层协议. 由于逻辑和代码不完整、机制和策略失灵而导致的不可预测的风险, 可能会给整个组织带来毁灭性的破坏. 然而, 通过经验数据分析、数学推导或模拟仿真, 难以对 DAO 复杂系统进行管理、控制和监督[7]. 因此, 迫切需要一种新的 DAO 治理方法.

传统的基于控制论的管理促使组织以自动力的 (Auto-dynamical) 方式来运营, 利用信息和知识来代替权力和金钱, 以实现对复杂性管理的引导

(Steer) 、控制和调节[8]. 然而, 这种管理本质上是当前状态下的最优控制手段, 更强调路径规划, 并不能从容应对由人产生的不确定性和社会复杂性. 因此, 面对 DAO 的复杂管理, 自主学习式引导更为重要, 其能指导 DAO 实现从当前状态向理想状态的跨越. 为此, 需要构建社会物理信息系统 (Cyber-physical-social systems, CPSS) 和平行智能基础设施来支撑 DAO. 基于 ACP (Artificial systems + Computational experiments + Parallel execution) 方法的平行智能, 以 CPSS 为基础设施, 通过虚实平行互动, 最终实现从知识表示、决策推理到场景自适应的闭环反馈[9], 为 DAO 治理提供了新的研究框架与实践方法.

在基于 CPSS 和平行智能的平行 DAO 中, 人工系统 (A) 用于建立与现实世界 DAO 对应的一个或多个人工 DAO, 让软件定义的机器人、算法运营的数字人像生物人一样“入住”DAO 并完成各种操作及服务功能. 在其中设计和进行多样化的计算实验 (C), 以评估和验证 DAO 中涉及的特定行为、机制和策略. 平行执行 (P) 用于实现 DAO 治理的决策优化和平行调优. 平行 DAO 的核心优势在于其能够有效实现 DAO 的学习与培训、实验与评估、以及管理与控制. 除此之外, DAO 也为平行智能的实现提供了新的思路: 利用区块链的结构和信用技术提高群体的智能水平, 进而降低对单体智能水平的要求[10−12].

1.4 支撑技术

近年来, 大量不同类型和结构的 DAO 不断涌现. 但是, 目前 DAO 还只面向特定事项, 以由生物人控制的链上虚拟身份为主, 实现较为单一的目标与较为简单的功能. 未来, DAO 将进一步向其高级形态以及最终理想形态发展. 其中, 高级形态的 DAO 面向特定组织, 引入机器人与数字人等辅助生物人, 实现多元目标与复杂功能; 最终理想形态的 DAO 面向社会, 以数字人引导生物人, 以机器人替代生物人完成部分工作. DAO 的这一发展进程离不开数字孪生、元宇宙、Web3 等技术的支撑, 而这些技术成熟情况决定了 DAO 所处的发展阶段.

数字孪生是 DAO 的工程技术. 数字孪生通过在虚拟空间中复现组织和系统, 实现物理系统向信息空间数字化模型映射, 而数字化模型能够与物理模型实时交互. 数字孪生实时处理超大规模多源数据, 基于机器学习、深度学习等算法挖掘复杂的规律与知识, 进而生成超越人类局部次优决策的全局最优策略. 因此, 数字孪生从“由实生虚”的工程角度, 服务于 DAO 的数字建模过程.

基于物理模型、传感器更新、运行历史等数据, 数字孪生技术利用标识技术、智能传感技术、数字建模方法、仿真技术等, 在虚拟世界按照现实原型创造数字分身, 记录它们的特性并同步更新它们的变化, 因此可用于实现与物理组织精确对应的虚拟 DAO 的建模与生成. 同时, 数字孪生与人工智能技术结合, 能够为构建 DAO 成员群体, 尤其是虚拟生物人以及机器人, 在形态、行为和知识等方面提供技术支撑. 然而, 基于数字孪生创建的 DAO 本质上是物理系统的镜像式反映, 是不具独立性的监测式描述系统, 且甚少考虑 CPSS 系统中由人类行为和关系构建的社会网络, 而 DAO 必然包含社会关系但不一定存在与之完全一致的现实系统. 因此, DAO 还必须有场景技术支撑.

元宇宙是 DAO 的场景技术. 元宇宙构建了与实际世界平行的虚拟世界, 实现对现实世界的虚拟化、数字化扩展, 本质上是平行系统的复杂实现之一[13−14]. 元宇宙基于数字孪生、扩展现实、增强现实、区块链等技术, 通过信任构建、数字身份及虚实融合应用将虚拟世界与现实世界紧密联系, 重塑信任体系和组织方式[15]. 因此, 元宇宙从“无实生虚”的场景角度, 服务于 DAO 的功能实验过程.

DAO 是元宇宙生态的组织载体, 而元宇宙则为 DAO 构建了组织群体智慧与大规模生产力的场景. 元宇宙利用边缘计算等技术安全聚合数据, 利用区块链技术构建新的身份系统, 利用虚拟货币和数字钱包构建新的价值系统, 利用扩展现实、增强现实等实现沉浸式体验, 以改变传统生产方式及价值形成逻辑, 进而形成全新的开放社会生态与经济生态. 元宇宙构建超越现实的虚拟场景, 反映新型的生产力与生产关系, 支撑 DAO 的社会功能实验, 但是缺乏将所有资源与关系链接的大规模参与式网络, 使得 DAO 只能局限于其系统本身. 因此, DAO 还必须有生态性网络技术.

Web3 是 DAO 的网络技术. Web3 是区块链、智能合约等技术推动下的新一代去中心化互联网, 本质上是技术与模式的综合创新. 其中, 技术创新体现在集区块链、人工智能、大数据等技术之大成, 而模式创新体现在稀缺性创造、通证经济以及共有价值网络等方面. Web3 变革互联网所有权, 建立更公平的生产关系和实现更均衡的价值分配, 以更好地汇集拥有共同目标的群体. 因此, Web3 从“虚实相生”的生态角度, 服务于 DAO 的协作过程.

不同的目标、特征和工作方式会导致不同形式和结构的 DAO 出现, 而它们需要共同的网络底层

架构以及与之相适的安全性和开放性. Web3 技术为 DAO 提供了一种全新的去中心化架构, 支持 DAO 构建公平、透明、高效的分布式协作网络及治理体系. 同时, Web3 技术为 DAO 提供了一个全新的内生安全基础, 使得 DAO 可以进行全流程全要素安全的自治决策. 此外, Web3 技术为 DAO 提供了一个全新的开放平台, 帮助 DAO 突破地域和技术的限制, 更好地支持其创建与发展. 同时, DAO 作为 Web3 的核心, 也弥合了 Web3 个体与群体的目标鸿沟, 帮助其更好地汇集拥有共同目标的群体.

2　智能新架构

目前, 在 DAO 架构方面的工作还较少. 在实践应用中, 人们关注如何利用一套标准化的工具来组合建立适用于特定应用场景的 DAO 应用系统及其功能模块. 在理论研究中, 最具代表性的 DAO 架构是 Wang 等在 2019 年提出的五层架构参考模型, 包含基础技术层、治理运作层、激励机制层、组织形态层和表现形式层[1]. 该架构更多是从 DAO 的技术发展角度提出的, 着重于阐述构成一个完整的 DAO 所需的各项技术性要素. 目前还未有工作从生态性管理角度将 DAO 当成一种覆盖组织、协调和执行的智能决策系统, 更未考虑结构、机制、技术、方法等构成要素在决策层面上的区分与关联. 本文将基于 Web3 的 DAO 视为一种生态决策系统[16−17], 关注其如何将集体的共同目标转化为个体的具体行动, 以及如何在行动时协调去中心化网络中的分布式节点, 并在此基础上提出 DAO 新架构. 具体来说, 受智能体协调控制中的组织−协调−执行 (Organizational, coordinational and executional, OCE) 技术理论[18−21] 启发, 将 DAO 从宏观、中观和微观角度分别对应至组织层、协调层和执行层, 同时融合现代组织管理中关于组织结构、协调机制等的理论来明确这三个层次的范畴与内容, 进一步在信息系统设计理论的框架下纳入构建 DAO 所必需的技术要素, 提出涵盖基建层、执行层、协调层、组织层以及应用层的 DAO 智能新框架 (如图 1 所示).

在 DAO 智能新框架下, 基建层主要包括基础设施和支撑技术, 组织层主要包括组织形态和治理机制, 协调层主要包括决策方法和协调机制, 执行层主要包括智能合约和智能算法, 应用层主要包括应用系统和应用场景等. 基于统一的基础设施和支撑技术, 可以构建适应不同场景的 DAO, 而它们还有与之相配的组织、协调和执行技术. 特别地, DAO 组织层规定了劳动分工及权责, 协调层定义了管理任务的分布式协作关系, 执行层约定了具体问题的

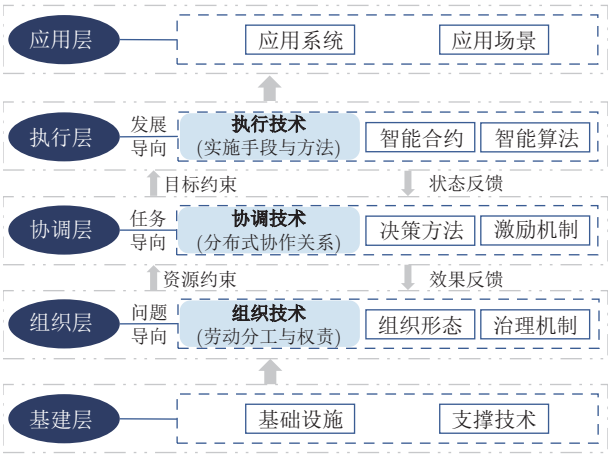

图 1　DAO 的新架构

Fig. 1　The new architecture for DAO

实施手段与方法. 作为组织层和执行层之间的桥梁, 协调层通过生成与总体目标相对应的子任务, 来将组织的目标、信息等转化为具体的工作并发送给执行主体、设备等, 使得发展导向的 DAO 战略性目标与原则细化为问题导向的 DAO 实际工作与方法. 一方面, 组织层会对协调层形成资源约束, 而协调层会对执行层形成目标约束; 另一方面, 执行层的问题解决反馈影响协调层的效果与效益, 而协调层的任务达成进一步反馈影响组织层的发展状态.

1) 组织层

组织层强调组织技术, 关注宏观层面的组织发展, 是发展导向的, 旨在构建适应发展战略的组织结构. 组织结构是组织的基本框架, 本质是为实现组织战略目标而采取的一种协作体系, 人员就是其中的固有要素. Mintzberg 认为, 组织管理的基本问题之一便是人员分工, 即把人员劳动分配至不同的任务[22]. DAO 以分布式去中心化方式来组织劳动分工、权责明确及资源分配, 构建社区共有所有权的组织架构. DAO 的组织层主要涉及组织形态与治理机制.

组织形态: 根据去中心化和分散程度的不同, DAO 的组织形态可分为分布式多中心, 分布式全中心和不对等中心等. 分布式多中心就是将传统组织中心节点的权利分散到多个小中心节点, 形成多个小中心共存的均衡状态, 每一个节点在其所处的小中心中具有一定的影响力, 多个小中心之间则以竞争和合作的方式提升其实力, 从而可以有效提升组织活力和创新力. 分布式全中心就是将传统组织中心节点的权利平均分配到组织中的每一个节点, 使得全体节点均为中心节点, 拥有同等的权利并共同参与组织的决策. 不对等中心则是将传统组织中

心节点的权利通过不对等的方式分散到组织中的每一个节点, 每个节点所拥有的组织权利并不相同, 其中拥有更高组织权利的节点则拥有更多的决策话语权.

治理机制: DAO 通常采用链下提案、链上提案、链下提案+链上提案等方式. 链下提案是在 DAO 设置的论坛中进行提案并对提案进行链下投票; 链上提案是在链上进行提案, 并通过链上投票的方式对提案进行投票; 链下提案+链上提案相结合的方式则是首先在论坛中进行提案, 并从中筛选出对 DAO 发展具有重要影响的提案, 然后由 DAO 的决策委员会发布至链上, 并由 DAO 成员通过链上投票的方式对提案进行投票.

2) 协调层

协调层强调协调技术, 关注中观层面的任务管理, 是任务导向的, 旨在完成特定任务目标. Simon 指出管理的精髓在于设计, 而设计的目标之一便是规范与调整特定分工下的协调机制[23−24]. DAO 采用项目制任务分工协调, 由激励驱动动态自治协调机制的构建, 在去信任的环境中以集体决策的方式完成对组织决策过程的管理与控制. DAO 的协调层主要关注决策方法与激励机制.

决策方法: 与 DAO 发展相关的重要决策如协议升级、参数调整、资金控制、战略规划等, 需要通过全体成员共同参与的链上投票来完成, 而 DAO 的日常事务管理和运营可由其成员选举的委员会负责, 以避免不必要的无休止投票. 当 DAO 成员在去中心化应用 (Decentralized applications, DApps) 、协议或基础架构方面产生分歧、争端与冲突时, 通常采用去中心化法庭、怒退机制等方式来解决. 以去中心化法庭 Kleros 为例, 争议双方需在提交仲裁时质押一定数量的通证, 并在规定时间内提交证据, 之后去中心化法庭则会从拥有治理权力的成员中随机选出一定数量的成员作为陪审员, 并以经济激励的方式鼓励陪审员在规定时间内进行投票.

激励机制: 为了充分鼓励 DAO 成员积极参与 DAO 治理, 以提升 DAO 决策的安全性与可靠性, 多种激励机制设计被提出, 主要包括通证、信誉、治理权力等不同激励的产生与分配. 通过组合不同的激励手段及采用不同的激励机制设计, 能更好地满足 DAO 成员的外在和内在需求, 进而激励他们更好地分工协作以实现组织目标.

3) 执行层

执行层强调执行技术, 关注微观层面的问题解决, 是问题导向的, 旨在解决组织管理与运营过程中面临的实际问题. 执行技术用于支撑决策的产生与执行, 其强烈依赖可信的组织生态环境. DAO 利用智能合约的自动执行能力与智能算法的学习与优化能力, 在无需人为干扰的情况下实时可靠地产生并实施面向特定问题的决策. DAO 的执行层主要包括智能合约与智能算法.

智能合约: DAO 的组织、协调、执行等共识规则被写入代码化的智能合约中, 经验证后被部署在区块链上. 当达到智能合约触发条件时自动执行, 无需人为干预且不可被篡改, 具备安全性、透明性、公开性和公平性, 从而能够在无需信任的环境中降低 DAO 治理与协调的成本并提高效率.

智能算法: 由于智能合约仅为“If-Then”式的情景应对式规则, 并不具有学习、推理和决策能力, 无法满足 DAO 治理的智能性要求. 智能算法具有强大的数据解析、模型学习和决策推理能力, 可与智能合约产生有利互补. 因此, 利用智能算法对 DAO 的功能与需求进行深度解析, 并将所形成的面向特定场景的领域知识封装到智能合约中, 可以有效增强 DAO 的智能性.

3 模型与智能新算法

尽管 DAO 应用发展如火如荼, DAO 的理论模型至今仍未被提出. 作为技术、模式与价值创新共同支撑的新范式, DAO 的可持续发展离不开理论模型指导与支撑, 尤其是在 Web3 网络中. 此外, 尽管智能算法在 DAO 生态中发挥重要作用, 却并未得到真正的重视, 并且现有研究中也鲜见相关讨论. 为此, 本节在 DAO 智能新架构下, 讨论 DAO 核心目标并结合前文分析的基本要求, 构建 DAO 的理论模型, 提出面向 DAO 功能的智能算法.

3.1 理论模型

鉴于 DAO 从组织和运营层面均有 D&A 要求, 在其理论模型构建中需首先分别对 D&A 要求进行量化, 构建如下向量:

$$D = \begin{bmatrix} D^{Org} \\ D^{Ope} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} A^{Org} \\ A^{Ope} \end{bmatrix}$$

其中, D^{Org}、D^{Ope} 分别表示组织和运营层面的 D 要求对应的指标向量, 由一系列具体指标组成, 即:

$$D^{Org} = (D_1^{Org}, \cdots, D_k^{Org}, \cdots, D_n^{Org})$$

$$D^{Ope} = (D_1^{Ope}, \cdots, D_k^{Ope}, \cdots, D_n^{Ope})$$

类似地, A^{Org}、A^{Ope} 分别表示组织和运营层面的 A 要求对应的指标向量, 也各自包含一系列具体指标, 即:

$$A^{Org}=(A_1^{Org},\cdots,A_k^{Org},\cdots,A_m^{Org})$$

$$A^{Ope}=(A_1^{Ope},\cdots,A_k^{Ope},\cdots,A_m^{Ope})$$

通过对具体量化指标的分析和界定, 可以给出 D^{Org}、D^{Ope}、A^{Org} 和 A^{Ope} 的具体形式, 它们将构成 DAO 理论模型的约束条件. 在 D 要求方面, 从技术去中心化、经济去中心化以及法律去中心化三个角度考虑[25], 组织层面的主要衡量维度包括基于区块链的价值网络构建, 利益相关者获取治理权力的途径和代价, 所有权的分布情况等; 运营层面的主要衡量维度包括 DAO 社区的投票控制情况, 个人或少数人操纵提案结果的难度与代价, 交易、服务和激励分配是否去除中心化控制等, 具体的量化指标可采用基尼系数、香农熵、中本系数、洛伦兹曲线等[26−28]. 在 A 要求方面, 主要从自主、自治和自动角度考虑, 组织层面的主要衡量维度包括对外部干预的对抗程度, 贡献与收益的匹配, 内部个人和集体的平衡情况等; 运营层面的主要衡量维度包括合约自动化、算法自动化以及决策自动化等[29−30], 具体的量化指标可以是治理权分布、博弈均衡、智能合约执行等.

为了能更清晰地说明具体计算过程, 选取所有权 (记为 r) 的分布作为组织层面衡量 D_1^{Org} 的指标, 并以基尼系数为例, 说明具体的计算过程. 记 DAO 中所有权占比 $r\in[0,\,1]$ 随节点占比 $l\in[0,\,1]$ 变化的函数为

$$r=z(l)$$

则 $z(\cdot)$ 是非凹函数, 并且将图中下半部分的面积划分为两部分, 其面积分别记为 S_1 和 S_2, 且 $S_1+S_2=0.5$, 如图 2 所示. 则根据基尼系数可定义 D_1^{Org} 为

$$D_1^{Org}=\frac{S_2}{S_1+S_2}\in[0,\,1]$$

当 $S_2=0$ 时, 函数 $z(\cdot)$ 与 x 轴重合, 此时 $D_1^{Org}=0$, 表示完全中心化. 当 $S_1=0$ 时, $r=l$, 此时 $D_1^{Org}=1$, 表示完全去中心化. 当 $0<S_1,\,S_2<0.5$ 时, $D_1^{Org}\in(0,\,1)$.

DAO 利用面向复杂性智能的新技术与新范式来保证以正确的方式做正确的事情, 以实现 TRUE 的目标, 即可信 (Trustable)、可靠 (Reliable)、可用 (Usable)、高效 (Effective and efficient). 其中 T 是指 DAO 的组织与运营要达到过程、内容以及结果等的公开透明与可追溯, 从而使得管理决策结果是可信的; R 是指 DAO 的构建技术与机制设计能提供足够可靠的安全性与稳健性; U 是指 DAO在具体应用过程中要易于构建、维护、修改以及扩展等; E 是指 DAO 在复杂系统智能决策支持方面能同时兼具效率性和有效性. 面向不同目标及类型的 DAO, 所需的技术、机制及方法等均有所不同, 这就使得 TRUE 的衡量指标也随之变化. 鉴于此, 本文在 DAO 的理论模型中不会列出详细的 T、R、U、E 指标.

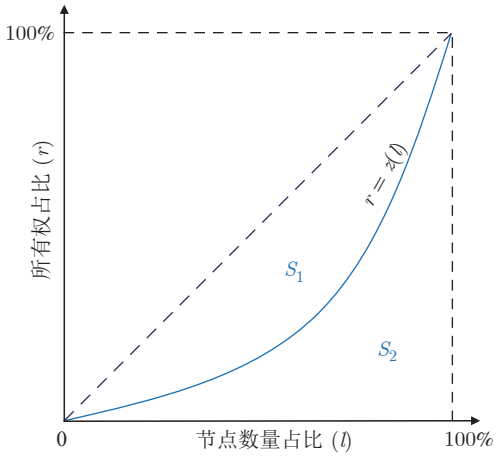

图 2　$r=z(l)$ 的变化趋势图

Fig. 2　The function $r=z(l)$

$$TRUE=(T,\,R,\,U,\,E)$$

在保证 D&A 要求的前提下, 优化 DAO 的 TRUE 目标; 同时也需要在特定的 TRUE 目标下来衡量 D&A 要求的实现程度. 由于 D、A、TRUE 具有相互影响、相互纠缠的关系, 因此建立以下 DAO 的闭环方程:

$$\dot{TRUE}=f(TRUE,\,D,\,A)$$
$$\dot{D}=g(D,\,A,\,TRUE)$$
$$\dot{A}=h(A,\,D,\,TRUE)$$

其中函数 $f(\cdot)$、$g(\cdot)$、$h(\cdot)$ 分别表示 $TRUE$、D、A 的变化方程, 它们不仅会受其他两个因素的影响, 也会受自身的影响. 此外, 该闭环方程并不是静态的, 而是随着 DAO 所处的发展阶段动态变化.

3.2　智能算法

一般地, 完备的 DAO 生态应具备数据、协作、决策、实验、发展及服务等功能, 而每一项功能都需由与之对应的智能算法来支撑. 本节将从基于 Web3 的 DAO 功能实现角度出发, 探讨 DAO 实现 TRUE 目标和满足 D&A 基本要求应具备的智能算法 (如图 3 所示).

数据功能: DAO 极度依赖数据来构建网络、组织活动、运营智能合约等. 这些数据一方面来源于保存在区块链上的公开透明且可溯源的 DAO 活动数据, 另一方面来源于外部可信数据源. 如何在 DAO 生态视角下, 从数据应用需求出发, 在数据主

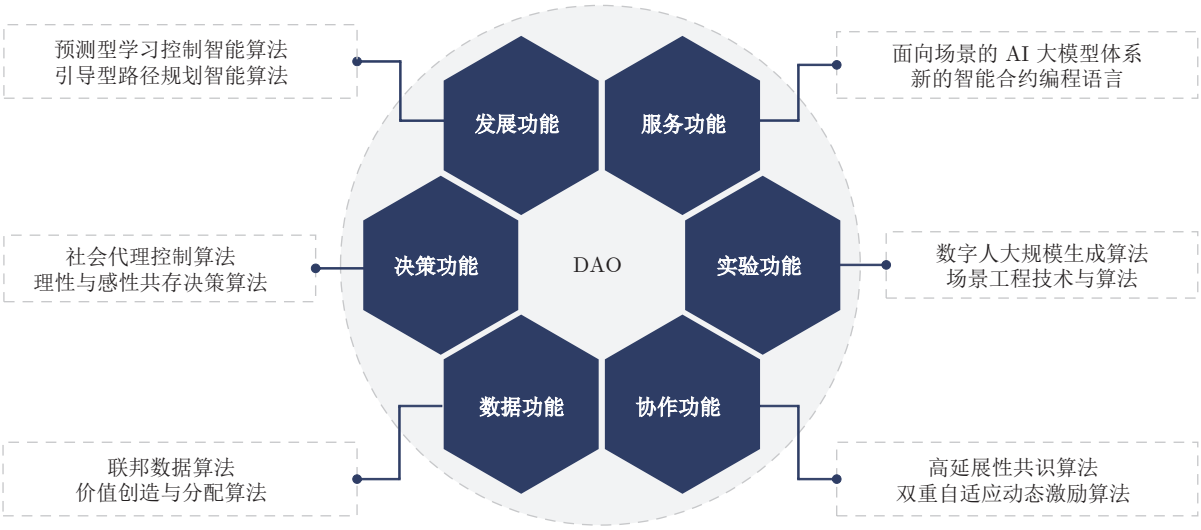

图 3 DAO 的核心功能及其智能算法

Fig. 3 Function-oriented intelligent algorithms for DAO

权保护、隐私安全、价值适配等前提下实现数据的高效联通、安全管理以及可持续应用, 是数据功能的核心目标. 为此, 需要能够平衡安全性、激励性、效率性等多维目标的联邦数据算法及数据价值创造与分配算法等.

协作功能: DAO 协作功能的核心是解决分布式网络中的一致性问题. 一致性从系统工程角度指所有节点对处理结果达成“某种程度”的认同, 以保证系统对外呈现的状态一致, 这强烈依赖区块链共识算法的设计[31]. 为此, 可证明安全、高延展性、高效率的支持动态网络的共识算法是必要的. 一致性从组织管理角度指个体的行为与组织目标保持一致, 这依赖激励机制的设计. 为此, 需要在个体行为、性格、情感等分析的基础上, 融合面向群体的知识图谱、技能图谱以及社交图谱分析算法等, 并辅以通证化、信誉化、知识化的精准个性激励, 以形成个体与群体双重自适应的动态激励算法.

决策功能: 尽管智能算法代理的 DAO 因消除人类的偏见和错误而获得效益提升, 但完全的机器化与无人化会导致 DAO 管理丧失一定的可控性与可持续发展性. 因此, 未来 DAO 会不可避免地向无人系统的有人化管理模式发展, 而这一趋势的起点便是将数字人引入 DAO 的管理决策过程, 将 DAO 的无人参与的自主代理功能扩展为有人参与的社会代理功能. 其中, 数字人应具有完全意识、自我性格及个人情感, 能够快速准确地识别与注意有用信息, 并据此做出超越人类理性限制但同时带有人类感性需求的决策与判断. 为此, 需要引入社会代理控制算法、理性与感性共存的智能决策算法等.

实验功能: DAO 支持对稀缺资源进行所有权结构相关的实验. 在当前的实验中人们更关注激励模型以及民主治理形式设计, 却忽略了最根本的实验场景设计问题. 任何管理决策的产生和实施都应当是针对特定场景的, 而基于 Web3 的 DAO 需要数字化、计算化的场景设计与构建技术来推动实验的设计、实施与评估, 以辅助 DAO 的能力提升与服务发展. 为此, 需要引入数字人认知构建算法及大规模生成算法、场景工程技术与算法[32−33] 等.

发展功能: DAO 是为了实现共同目标而在无信任环境中聚集与协作的组织类型, 由集体思维而非个体思维来指导和驱动选择. 以权力下放为代价是 DAO 构建社区和聚集成员的重要方式, DAO 一旦运营便可以自行发展, 而不依赖于其创建者. 当 DAO 在发展过程中出现问题时, 不应依赖外部的“硬”措施, 而应凭借自身“软”实力解决问题. 这就导致 DAO 的发展不仅需要适应环境的友好型自主学习能力, 还需要改造环境的强健路径规划与调整能力, 并在此基础上形成自我引导能力与对他领导能力. 因此, 需要将目前的描述型智能算法升级为预测型学习控制算法、引导型路径规划算法等.

服务功能: DAO 是独立自主的开放价值网络, 其可应用于社交、艺术、金融、管理等领域, 提供项目资助、社交互动、人才聚集、内容创作、资产管理等服务. 为此, 需要由类似 ChatGPT 的通用大模型以及场景大模型、业务大模型等共同构建的大模型体系, 作为智能服务场景的底层基础设施. 同时, DAO 网络的人员构成对服务功能的实现至关重要. 可动态转换的多重身份有助于服务功能的丰富与完善, 但受制于虚拟身份可操控性带来的潜在风险, 其并不能在当前的 DAO 中实现. 如果 DAO主要由

具有独立人格的数字人来构建价值网络, 那么就可能突破这一困境. 为此, 需要面向数字人的智能合约编程语言、自动生成算法与自我验证技术.

4 治理机制

DAO 构建于区块链与智能合约之上, 以民主决策和链上链下执行的方式组织和运营, 打破了中心化结构的管理与控制模式, 将所有权与经营权相统一并归还于 DAO 成员. 然而, 目前 DAO 的成员网络主要由生物人的虚拟身份组成, 使得 DAO 的组织与运营实质上是由生物人控制的. 为了让基于 Web3 的 DAO 具备更强大的智能决策能力, 则需要引入机器人及数字人. 它们都是生物人的智能代理或智能分身, 辅助甚至代替生物人完成特定的任务. 据此, 我们将 DAO 成员划分为三种类型: 生物人、机器人以及数字人. 其中, 生物人借助虚拟身份活跃于 DAO 中; 机器人是智能机器, 承担体力工作; 数字人是智能程序和信息机器, 其起源于生物人但不是生物人的简单复刻[16−17].

在上述 DAO 参与主体分析的基础上, 本节从组织发展的需求出发, 以事项与目的、协作范式、决策技术等为测量维度, 从个体、组织、社会等视角重新梳理 DAO 的治理机制设计, 以期为 DAO 治理提供有益帮助.

个体治理: DAO 是典型的人在回路的复杂系统, 涉及多角色的协作与治理. 三种不同的 DAO 成员通过专业分工、人机分工以及虚实分工, 在无信任环境中协作完成组织任务. 目前, 个体参与 DAO 的治理, 主要由生物人和机器人通过链上链下民主投票的方式进行. 其中, 生物人基于经验和知识, 以民主投票的方式形成共识、参与组织治理; 机器人自动执行生物人制定的规则和制度. 常用的投票治理机制包括: 直接投票、间接投票、二次方投票、信念投票以及 Futarchy 机制等. 其中, 直接投票是 DAO 治理中最常用的投票方式, 包括基于权益的 1 币 1 票 (1 Token 1 Vote) 、最低门槛的 1 人 1 票 (1 Person 1 Vote) 以及基于声誉的混合投票. 间接投票最典型的便是代议制[34], 是为了解决直接投票中存在的参与度低且不能赋予具有更多专业知识的人更多的权重等问题而被提出, 主要包括委托投票和流民主. 二次方投票是一种相对较新的治理工具, 允许参与者获得额外的选票来表达他们的偏好[35], 能够明显削弱 1 人 1 票机制中拥有更多筹码的资本家的投票权重, 进而有效地增加垄断式投票的成本[36]. 信念投票和 Futarchy 机制与前三种基于影响力的投票机制不同, 是根据价值进行投票[37]. 未来, 机器人和数字人必将在 DAO 治理中发挥越来越重要的作用, 随之而来的挑战便是以何种方式为他们分配何种形式的投票和决策权力以及他们的个体治理权力如何与生物人既有区分又能交互.

组织治理: 组织结构和内部协调是 DAO 实现其治理目标的主要途径[38]. DAO 形成和发展于技术去中心化推动的经济去中心化和法律去中心化背景之下, 是由大规模节点通过社会网络连接组成的复杂系统. 一般地, DAO 的组织结构可以分为完全去中心化治理结构和渐进式去中心化治理结构. 完全去中心化治理结构是指 DAO 的底层基础设施即智能合约和区块链、客户端采用去中心化结构, 同时激励和治理机制制定及基金会管理全部由 DAO 运营. 渐进式去中心化治理结构是大多数 DAO 的必然选择, 其底层基础设施仍采用去中心化结构, 但激励和治理机制制定及基金会管理则是渐近式去中心化. DAO 的去中心化治理结构促使成员角色及权力关系动态变化, 使得利益相关者的权力分配模型由低限度转变为同等地位并保持动态演变. 另外, 去中心化治理结构也促使 DAO 内部控制模式设计从遵从严格的职责划分、授权、命令等转变为依靠一整套民主治理流程: 即包含提案、评估、投票、执行、争议、仲裁等流程的完全去中心化治理或混合去中心化治理. 内部控制机制实现方式从通过一系列不完备的自然语言合同转变为由显性的智能合约和平行 DAO 保证组织的运行与治理[39].

社会治理: 基于 Web3 的 DAO 最突出的优势便是解决了传统组织和社会治理结构面临的委托代理关系及其导致的信任困境问题, 并将难以商品化的信任与注意力等变成新的生产要素以开辟新的经济空间. 在 DAO 内部, DAO 成员首先要对某个共同目标达成共识, 而这个目标往往代表了 DAO 社区的集体利益. 尽管有集体利益的牵引, 各个成员本身还会考虑自身的个体利益. 在 DAO 外部, 生产要素的流通促进了 DAO 与 DAO 之间的信息共享、专业协作与开放互助等, 进而将社会化协作模式从竞争博弈的零和游戏转变为正和游戏[40]. 同时, DAO 是构成社会的基本单元, DAO 与由多个 DAO 共同构成的去中心化自治社会 (Decentralized autonomous society, DAS) 密不可分. 由此, DAO 的社会治理应当包含三个层面: 1) DAO 内部的集体利益与个体利益的统一; 2) DAO 与 DAO 之间的利益协调; 3) DAS 的社会利益实现. 当前, 针对 DAO 社会治理的工作仍然集中在第一层面, 依赖治理与激励机制的协同设计来实现单个 DAO 的治理目标.

5 激励机制

与传统组织不同, DAO 没有层级化结构下的中心权力支配体系, 不使用强制力和硬性规则来限制成员行为, 而是完全依赖激励机制在区块链的无信任环境中驱动利益共享的 DAO 成员, 促使他们根据自己的信息、资源、风险偏好、行为准则等, 围绕共同的目标进行有效的交互与协作. 因此, 激励机制被广泛认为是 DAO 的核心动力.

DAO 激励机制设计与研究应有针对性地考虑 Web3 的去中心化可信互联网特征以及不同类型成员的需求. 从博弈分析的角度, 生物人面临外生环境不确定性和内生行为不确定性, 信息处理能力和决策寻优能力受到限制, 是有限理性的. 机器人按照程序和规则行事, 不掺杂个人情感也不受人为干扰, 是近乎完全理性的. 数字人不仅具备机器人的感知、计算、推理和学习能力, 还同时具备生物人的性格特征、情感属性与思维方式, 此外他们还有独有的语言体系和交互方式. 数字人的理性不是一成不变的, 而是随着 DAO 的内外环境变化不断进化与发展出来的与之相匹配的计算理性[16], 这种理性可以从博弈角度理解为生态理性[41]. 三种不同理性的 DAO 成员通过专业分工、人机分工以及虚实分工, 构建关系和谐的 DAO 生态网络, 以实现 DAO 的功能与目标, 促使 DAO 的安全健康发展.

DAO 中的激励一般划分为可转移 (Transferable) 激励和不可转移 (Non-transferable) 激励这两种类型. 可转移激励一般以经济性激励为主, 包括奖励、利润、薪酬、赏金等, DAO 激励机制主要约定它们的产生、分配和转移[42]. 这类激励往往是以同质化通证 (Fungible token, FT) 或非同质化通证 (Non-fungible token, NFT) 的形式存在, 其价值来源于两方面: 一方面, 可作为商品在市场上交易和流通, 并为所有者带来经济收益, 而通证价格上涨将有助于其激励作用的发挥; 另一方面, 它们可作为参与社区决策提案和投票的凭证, 代表了 DAO 的治理权力, 使得所有者能够在 DAO 决策中维护自身利益. 然而, 并不是所有 DAO 成员都能获得代表治理权力的通证, 而且也并不是所有通证都会附有治理权力. 不可转移激励一般以非经济性激励为主, 包括声誉、信念、知识等[43], DAO 激励机制主要约定它们的获取和使用. 它们往往以证书或证明形式存在, 没有直接的市场化价值, 但可为所有者带来精神上的满足感, 并且能作为可转移激励获取和分配的影响因子.

针对不同类型的 DAO 成员, 需要有不同的激励机制. 但是, 无论对哪种成员而言均可采用上述两种激励, 主要区别则在于如何针对他们的个体需求以及组织的总体目标进行适应性的机制设计.

有限理性的生物人参与 DAO 的集体协作并为共同目标而做出贡献, 其决策和行为都是自利的, 期望从中获取更高的个人回报. 激励机制的效果取决于生物人的自利需求和优化目标, 而他们具有很大的个体差异性, 这就使得可衡量性和可实施性在 DAO 激励机制设计中尤为重要. 因此, 针对生物人可采用可转移激励为主、不可转移激励为辅的混合激励方式, 量化生物人对 DAO 的贡献, 并赋予其相应的声誉、证明、通证及权力等.

完全理性的机器人并没有情感需求与社会化活动, 使得不可转移激励几乎没有存在的必要. 但是, 机器人是具有学习和升级需求的, 而这离不开数据、模型和知识等原料的持续供给. 因此, 针对机器人可使用可转移激励, 允许其获得通证激励, 并以程序化的方式自动兑换为能力提升所需的原料.

生态理性的数字人可以按照自我性格和思维方式参与 DAO 的任务, 但无论在何种情形下均不能偏离辅助、服务和引导生物人的使命, 这就意味着它们必须在不牺牲生物人利益的前提下谋求自我利益. 因此, 针对数字人可采用不可转移激励为主、可转移激励为辅的混合激励方式, 为其分配与贡献相匹配的声誉、知识等, 并在一定程度上赋予其相应的 DAO 治理权力.

6 应用场景

随着以太坊等智能合约平台的完善及去中心化治理工具的成熟, DAO 的应用越来越多元化并呈现出与非加密世界融合的趋势. 本节将分析现有的 DAO 典型应用场景, 并讨论潜在应用场景.

6.1 典型应用场景

金融与资助: DAO 最主要的应用场景之一. 去中心化金融 (Decentralized finance, DeFi) 也被称为开放式金融, 而所有基于分布式账本技术、分布式网络产生的金融形式或者金融活动均可属于 DeFi[44]. 它的应用场景包括融资征信、支付清算、财务管理、数字资产交易等, 例如: 去中心化交易所 Uniswap、稳定币 MakerDAO、预言机 ChainLink、借贷平台 Compound、合成资产协议 Synthetix 等. DeFi 系统相对于中心化金融系统, 具有资产管理平台去中心化、风控环节独立化及第三方评估机构独立化等特点. 在去中心化资助中, 风投型 DAO (Venture DAO) 是一类由社区管理的团体, 旨在投资社区的联合资本, 其组织结构开放透明, 依赖社

区的投票和共识进行治理, 例如: The LAO、Flamingo DAO 等. 资助型 DAO (Grant DAO) 则是去中心化资助生态中最广泛的用例, 其治理是借助不可流通的权益实现, 这意味着参与此类 DAO 的动力主要来自社会资本的积累, 即通过贡献来得到社区认可, 而非以金融回报 (如: 代币升值) 获利, 资助机制非常多样, 例如: Moloch DAO、Aave Grants、Dora Ventures 等. 其中, Dora Ventures 采用无限基金的模式, 对前沿研究进行资助, 将资助从有限游戏转变为无限游戏.

社交网络: DAO 出现最早、但增长速度及规模化最为缓慢的应用场景, 主要包括社区 DAO、社交 DAO 和媒体 DAO. 社区 DAO 和社交 DAO 通常是围绕共同目标和理想形成的去中心化组织. 这类 DAO 多被视为社会实验, 因一个目标或事件聚集, 使命完成后解散或者自治运营. 动态网民群体组织 (Cyber movement organizations, CMOs) 可以视为它们的前身. 社交 DAO 和社区 DAO 更加注重社会资本和社区贡献, 而非金融资本和效率, 这也使得此类 DAO 较易快速形成但难以持续规模化或者持续增长, 例如: 众筹美国宪法副本的 ConstitutionDAO 等. 媒体 DAO 由去中心化媒体代表社区意志并由社区治理和消费内容, 常见的机制包括自由策展、贡献激励、内容质量排名投票等模式, 例如: Rekt、Bankless DAO、DAOrayaki 等.

文化娱乐: DAO 用户规模最大、发展最快的应用场景, 包括收藏 DAO、金融游戏化 (GameFi) 等. 收藏 DAO 是用于管理和构建 NFT 的去中心化自治组织. 它改变了艺术行业通常不允许分享或共同拥有一件艺术品的局面, 为数字艺术品创造了一个安全、透明的共同所有权环境[45], 例如: 共同收集高价值 NFT 的 Pleasr DAO、NFT 集合 Jenny DAO、投资和管理 NFT 游戏资产的 YGG 等. GameFi 是 DeFi 和边玩边赚 (Play-to-earn, P2E) 区块链游戏的交融创新, 通过将资产所有权转移给玩家并激励游戏社区以更高的忠诚度、参与度积极治理的生态系统, 其核心构成元素包括 NFT、游戏公会、P2E 等. 一般地, 玩家通过游戏中的行为赚取最有价值的 NFT, 然后出售这些 NFT 以换取现实货币. 这一创新打破了游戏资产的专有权、托管所有权, 同时保留了安全性和所有权证明. GameFi 促使权力从游戏工作室向玩家转移, 使得游戏模式经历了从付费游戏 (Pay-to-play, P2P) 到免费游戏 (Free-to-play, F2P) 再到 P2E 的演变, 例如: Axie Infinity、RedFOX Labs、Enjin、The Sandbox 等.

科学: 去中心化科学 (Decentralized science, DeSci) 是 DAO 的最新应用场景. 新一代智能技术使科学系统正在经历前所未有的变化, 使得知识的创造、传播和应用在一个更加集成的环境中完成. 海量的个体可以在短期内聚集在一起, 参与、讨论并共同实施某些科学行为; 而科学系统所面临的环境和问题比以往更加不确定、多样和复杂, 多学科、交叉学科以及跨学科已成为必然. 目前的科学系统基于集权式的组织结构和制度构建, 已严重滞后于技术的发展且无法满足现实要求, 并且变得越来越低效和偏离科学的本质. DeSci 是随着 Web3、DAO 的基础设施不断完善而出现的一种新的科学发展范式[46−48], 致力于解决中心化科学 (Centralized science, CeSci) 系统中的研究痛点、信息孤岛、发展瓶颈等问题[49]. DeSci 不同于开放科学运动, 能够从根本上解决目前 CeSci 所面临的问题. DeSci 的主要应用场景包括科学系统本身如资助、激励、权限、同行评审、科学发展以及科学系统具体应用场景, 例如: 生物科技、气候、期刊、会议等. DeSci 仍然处于非常早期的阶段, 其较成熟的应用场景则是通过去中心化资助的方式改善生物技术和生物制药领域, 例如: VitaDAO 等. 同时, 协议 DAO、服务 DAO、资助 DAO、DeFi、收藏 DAO 等应用场景已经有很多较为成熟的探索, 可以为 DeSci 发展提供有益的参考.

6.2　潜在应用场景

除了上述典型应用场景外, DAO 的优良特性将使其能在组织管理、应急指挥、网络治理等潜在领域发挥巨大的应用价值.

组织管理: DAO 的去中心化特性使其适合于变革现有中心化层级结构的组织管理模式. 在中心化层级式的组织管理中, 管理与决策权通常只掌握在少数高层管理者手中, 其管理决策的下达往往经过多个层级的逐层传递才能完成, 这就导致决策传输效率低. 而且在传递过程中, 由于每个人对决策理解能力的偏差, 易出现信息失真或关键信息缺失, 从而导致最终的执行者不能获得决策的完全信息, 致使其行动偏离最初目标. 此外, 掌握决策制定权力的高层管理者往往无法细致地了解具体行动执行者的全部情况. 企业重要决策的成功制定往往需要综合考虑企业的整体情况, 这种对情况了解的缺失与偏颇极易导致管理决策停留在理想情况而不符合现实需求. DAO 赋予组织管理全新的去中心化管理模式, 通过全体组织成员共同参与的分布式决策, 充分发挥组织成员的群体智慧, 全面地考虑企业实际情况, 从而提高决策的效率和效果.

应急指挥: DAO 的分布式特性使其适用于应

急管理中的指挥决策制定. 应急管理具有情况紧急、状况突发、不确定因素众多等特点, 往往需要在信息掌握不完全的情况下, 依据应急指挥者以往的经验与主观判断进行紧急决策. 然而, 应急事件不同于其他事件, 指挥决策稍有偏差就有可能导致无法估量和挽回的严重后果, 这无疑给应急决策制定带来巨大的挑战和考验. 在应急指挥中, 对应急事件相关信息的快速搜集与汇聚能力、对整体与局部的分析与关联能力以及对整体发展态势的预测与判断能力等都将影响应急指挥决策方案的制定. 基于 DAO 的应急指挥可以利用分布式方法汇聚应急事件的海量多维信息, 提升应急事件预警能力, 极大地削弱紧急事件的不确定性, 在事前为应急指挥者提供预警信息, 在事中提供实时精准的应急事件发展动态, 从而提升应急事件的预警、监测与实时处置能力.

网络治理: 在互联网信息大爆炸的时代, 随着大数据、人工智能等技术的发展, 未经同意擅自收集用户信息、过度索权或超限收集用户信息、非法出售用户信息等行为与手段日益增多. 在隐私暴露与过度信息搜集的基础上, 进一步利用算法进行用户画像并实施个性化推荐、精准营销[50]、定向推送等已成为常态. 由于这些算法能够精确地根据用户的历史行为数据和喜好进行信息推送, 并且已经渗透到生活的各个方面, 导致它们在用户信息获取过程中逐渐占据主导地位, 使得用户的信息获取越来越被动. 然而, 这些算法在为用户节省信息筛选时间的同时, 也过滤掉了用户不感兴趣、不喜欢甚至观点相左的信息, 由此产生了过滤气泡 (Filter bubble) 问题, 降低了用户对信息的选择权, 从而造成认知的隔绝状态. 基于 DAO 的网络治理使得用户完全掌控自己的数据, 并主动决定以何种方式共享和利用, 可以有效避免算法过度使用所导致的过滤气泡问题.

7 结束语

随着新一代互联网技术 Web3 渐行渐近, 生产力与生产关系将在紧密联通和高度重叠的现实世界与虚拟世界同时进行前所未有的变革, 而 DAO 作为一种全新的组织与运营方式正是这场 Web3 变革的核心之一. 与近年来发展迅猛的 DAO 产业应用相比, DAO 的基础理论研究并未同期跟进, 很多源头性、本质性的深层科学问题甚至应用问题都亟待探索. 为了更全面深入地从科学研究的角度理解和丰富 DAO, 本文辨析了 DAO 的原理与智能新技术, 构建了 DAO 的智能新框架, 提出了 DAO 的理论模型与智能新算法, 分析了 DAO 的治理机制与激励机制, 并讨论了 DAO 的应用场景, 以期为 DAO 研究与应用提供有益的参考与支持.

DAO 的下一步发展还面临着诸多问题与挑战, 而它们也将启发 DAO 的未来研究方向. 目前, 关于 DAO 的研究和应用主要从硬治理的角度展开, 利用机制与策略设计等优化 DAO 治理. 实际上, DAO 治理还包含与人的价值情绪、心理因素等相关的软治理, 而软治理恰恰是形成社区共识的内在基础. 软治理和硬治理如何被恰当融合及共同作用是值得关注和探索的方向. 同时, DAO 从链上走到链下, 从虚拟走向现实, 是未来之必然. 那么, 平行智能支撑的 DAO 系统内的虚实双闭环与双反馈将演化为 DAO 与其所处生态环境的内外虚实双闭环双反馈, 形成生态和谐的智能“社会农场”. 此外, 技术发展现状将 DAO 的决策限制在描述性智能和预测性智能阶段, 而引导性智能是 DAO 智能发展所趋. 为此, 需要有新的突破性技术来构建想象智能或思维智能以指导 DAO 组织和运营.

References

1 Wang S, Ding W W, Li J J, Yuan Y, Ouyang L W, Wang F Y. Decentralized autonomous organizations: Concept, model, and applications. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2019, **6**(5): 870−878

2 Faqir-Rhazoui Y, Arroyo J, Hassan S. A comparative analysis of the platforms for decentralized autonomous organizations in the Ethereum blockchain. *Journal of Internet Services and Applications*, 2021, **12**(1): Article No. 9

3 Rikken O, Janssen M, Kwee Z. Governance challenges of blockchain and decentralized autonomous organizations. *Information Polity*, 2019, **24**(4): 397−417

4 Braun A, Hausle N, Karpischek S. Incentivization in decentralized autonomous organizations [Online], available: https://www.semanticscholar.org/paper/Incentivization-in-Decentralized-Autonomous-Braun-H%C3%A4usle/5e3b5ceb2dda03b340f970162d39cff388fa5dbe, April 22, 2022

5 Wang F Y. Parallel intelligence in Metaverses: Welcome to Hanoi! *IEEE Intelligent Systems*, 2022, **37**(1): 16−20

6 Qin R, Ding W W, Li J J, Guan S T, Wang G, Ren Y H, et al. Web3-based decentralized autonomous organizations and operations: Architectures, models, and mechanisms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2023, **53**(4): 2073−2082

7 Ding W W, Liang X L, Hou J C, Wang G, Yuan Y, Li J Q, et al. Parallel governance for decentralized autonomous organizations enabled by blockchain and smart contracts. In: Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence. Beijing, China: IEEE, 2021. 1−4

8 Malik F. *Corporate Policy and Governance: How Organizations Self-Organize*. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 2012.

9 Wang F Y, Wang X, Li L X, Li L. Steps toward parallel intelligence. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2016, **3**(4): 345−348

10 Wang Fei-Yue. Parallel philosophy and intelligent science: From Leibniz′s Monad to blockchain′s DAO. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2020, **33**(12): 1055−1065
(王飞跃. 平行哲学与智能科学: 从莱布尼茨的 Monad 到区块链之 DAO. 模式识别与人工智能, 2020, **33**(12): 1055−1065)

11 Wang F Y. The DAO to MetaControl for MetaSystems in Metaverses: The system of parallel control systems for knowledge automation and control intelligence in CPSS. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022, **9**(11): 1899−1908

12 Wang F Y, Ding W W, Qin R, Hu B. Parallel philosophy for MetaOrganizations with MetaOperations: From Leibniz′s monad to HanoiDAO. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2022, **9**(3): 658−666

13 Shen Y, Liu Y H, Tian Y L, Na X X. Parallel sensing in Metaverses: Virtual-real interactive smart systems for "6S" sensing. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022, **9**(12): 2047−2054

14 Wang F Y, Qin R, Wang X, Hu B. MetaSocieties in Metaverse: MetaEconomics and MetaManagement for MetaEnterprises and MetaCities. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2022, **9**(1): 2−7

15 Wang Y T, Tian Y L, Wang J G, Cao Y S, Li S X, Tian B. Integrated inspection of QoM, QoP, and QoS for AOI industries in Metaverses. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022, **9**(12): 2071−2078

16 Wang Fei-Yue. Parallel management: The DAO to smart ecological technology for complexity management intelligence. *Acta Automatica Sinica*, 2022, **48**(11): 2655−2669
(王飞跃. 平行管理: 复杂性管理智能的生态科技与智慧管理之 DAO. 自动化学报, 2022, **48**(11): 2655−2669)

17 Li J J, Qin R, Wang F Y. The future of management: DAO to smart organizations and intelligent operations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, DOI: 10.1109/TSMC.2022.3226748

18 Wang F Y. An Organizational Framework and Its Decision Processes for Hierarchical Intelligent Control Systems Using Category and Entropy, Technical Report RAL#12-03-86, Robot Automation Laboratory, USA, 1986

19 Wang F, Saridis G N. A model for coordination of intelligent machines using petri nets. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control. Arlington, USA: IEEE, 1988. 28−33

20 Wang F Y, Saridis G N. A coordination theory for intelligent machines. *Automatica*, 1990, **26**(5): 833−844

21 Wang F Y, Saridis G N. Coordination structures for specification of integration in intelligent machines. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Sacramento, USA: IEEE, 1991. 2690−2695

22 Mintzberg H. *The Nature of Managerial Work*. New York: Harper & Row, 1973.

23 Simon H A. *The New Science of Management Decision*. New York: Harper & Row, 1960.

24 Simon H A. The science of design: Creating the artificial. *Design Issues*, 1988, **4**(1−2): 67−82

25 Jenning M. Principles & models of Web3 decentralization [Online], available: https://a16z.com/wp-content/uploads/2022/04/principles-and-models-of-decentralization_miles-jennings_a16z-crypto.pdf, August 8, 2022

26 Srinivasan B, Lee L. Quantifying decentralization [Online], available: https://news.earn.com/quantifying-decentralization-e39db233c28e, May 27, 2022

27 Garcia J, Leung J. Data points to measure blockchain network centralization [Online], available: https://ketsal.com/wp-content/uploads/2020/10/Ketsal-Open-Standards-Measures-of-Blockchain-Network-Centralization-October-19-2020.pdf, January 10, 2022

28 Lin Q W, Li C, Zhao X F, Chen X H. Measuring decentralization in Bitcoin and Ethereum using multiple metrics and granularities. In: Proceedings of the IEEE 37th International Conference on Data Engineering Workshops. Chania, Greece: IEEE, 2021. 80−87

29 Buterin V. DAOs, DACs, DAs and more: An incomplete terminology guide [Online], available: https://blog.ethereum.org/2014/05/06/daos-dacs-das-and-more-an-incomplete-terminology-guide, October 15, 2022

30 Nabben K. DAO vulnerabilities: A multi-scale DAO ecosystem mapping tool towards computer-aided governance [Online], available: https://www.are.na/block/15130185, December 15, 2022

31 Li Q, Gao D W, Zhang H G, Wu Z P, Wang F Y. Consensus-based distributed economic dispatch control method in power systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2019, **10**(1): 941−954

32 Li X, Ye P J, Li J J, Liu Z M, Cao L B, Wang F Y. From features engineering to scenarios engineering for trustworthy AI: I&I, C&C, and V&V. *IEEE Intelligent Systems*, 2022, **37**(4): 21−29

33 Lu J W, Wang X X, Cheng X, Yang J, Kwan O, Wang X. Parallel factories for smart industrial operations: From big AI models to field foundational models and scenarios engineering. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022, **9**(12): 2079−2086

34 Panisi F, Buckley R P, Arner D. Blockchain and public companies: A revolution in share ownership transparency, proxy voting and corporate governance? *Stanford Journal of Blockchain Law & Policy*, 2019, **2**(2): 189−220

35 Posner E A, Weyl E G. Quadratic voting as efficient corporate governance. *The University of Chicago Law Review*, 2014, **81**(1): 251−272

36 Wright Jr D C. Quadratic voting and blockchain governance. *University of Missouri Kansas City Law Review*, 2019, **88**(2): Article No. 475

37 Hanson R. Shall we vote on values, but bet on beliefs? *Journal of Political Philosophy*, 2013, **21**(2): 151−178

38 Sarens G, Christopher J. The association between corporate governance guidelines and risk management and Internal control practices: Evidence from a comparative study. *Managerial Auditing Journal*, 2010, **25**(4): 288−308

39 Morrison R, Mazey N C H L, Wingreen S C. The DAO controversy: The case for a new species of corporate governance? *Frontiers in Blockchain*, 2023, **3**: Article No. 25

40 Wang Fei-Yue, Yuan Yong, Wang Shuai, Li Juan-Juan, Qin Rui. Military blockchain: From asymmetric warfare to symmetric peace. *Journal of Command and Control*, 2018, **4**(3): 175−182
(王飞跃, 袁勇, 王帅, 李娟娟, 秦蕊. 军事区块链: 从不对称的战争到对称的和平. 指挥与控制学报, 2018, **4**(3): 175−182)

41 Gigerenzer G. *Adaptive Thinking: Rationality in the Real World*. New York: Oxford University Press, 2002.

42 Li Juan-Juan, Yuan Yong, Wang Fei-Yue. Blockchain-based digital currency: The state of the art and future trends. *Acta Automatica Sinica*, 2021, **47**(4): 715−729
(李娟娟, 袁勇, 王飞跃. 基于区块链的数字货币发展现状与展望. 自动化学报, 2021, **47**(4): 715−729)

43 Li Juan-Juan, Wang Ge, Wang Xiao, Li Jun-Qing, Yuan Yong, Wang Fei-Yue. Crypto management: A novel organizational management model based on blockchain. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2022, **4**(2): 145−156
(李娟娟, 王戈, 王晓, 李俊青, 袁勇, 王飞跃. 加密管理: 一种基于区块链的新型组织管理模式. 智能科学与技术学报, 2022, **4**(2): 145−156)

44 Zetzsche D A, Arner D W, Buckley R P. Decentralized finance. *Journal of Financial Regulation*, 2020, **6**(2): 172−203

45 Qin Rui, Li Juan-Juan, Wang Xiao, Zhu Jing, Yuan Yong, Wang Fei-Yue. NFT: Blockchain-based non-fungible token and applications. *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*, 2021, **3**(2): 234−242
(秦蕊, 李娟娟, 王晓, 朱静, 袁勇, 王飞跃. NFT: 基于区块链的非同质化通证及其应用. 智能科学与技术学报, 2021, **3**(2): 234−242)

46 Wang F Y, Ding W W, Wang X, Garibaldi J, Teng S Y, Imre R, et al. The DAO to DeSci: AI for free, fair, and responsibility sensitive sciences. *IEEE Intelligent Systems*, 2022, **37**(2): 16−22

47 Ding W W, Hou J C, Li J J, Guo C, Qin J R, Kozma R, et al. DeSci based on Web3 and DAO: A comprehensive overview and reference model. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2022, **9**(5): 1563−1573

48 Wang F Y. The Metaverse of mind: Perspectives on DeSci for DeEco and DeSoc. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022, **9**(12): 2043−2046

49 Hamburg S. Call to join the decentralized science movement. *Nature*, 2021, **600**(7888): Article No. 221

50 Yuan Y, Wang F Y, Li J J, Qin R. A survey on real time bidding advertising. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics. Qingdao, China: IEEE, 2014. 418−423

李娟娟 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, DAO 与平行管理.
E-mail: juanjuan.li@ia.ac.cn
(**LI Juan-Juan** Associate professor at the State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. Her research interest covers blockchain, DAO, and parallel management.)

秦 蕊 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, 平行管理与计算经济学.
E-mail: rui.qin@ia.ac.cn
(**QIN Rui** Associate professor at the State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. Her research interest covers blockchain, parallel management, and computational economics.)

丁文文 澳门科技大学澳门系统工程研究所博士研究生, 研究助理. 主要研究方向为 DAO, 平行智能与平行管理.
E-mail: savanna.wen@gmail.com
(**DING Wen-Wen** Ph.D. candidate and research assistant at Macao Institute of Systems Engineering, Macau University of Science and Technology, China. Her research interest covers DAO, parallel intelligence, and parallel management.)

王 戈 澳门科技大学澳门系统工程研究所博士研究生. 主要研究方向为平行管理与平行智能.
(**WANG Ge** Ph.D. candidate at Macao Institute of Systems Engineering, Macau University of Science and Technology, China. His research interest covers parallel management and parallel intelligence.)

王 坛 澳门科技大学澳门系统工程研究所博士研究生, 中国自动化学会副秘书长. 主要研究方向为社会计算和智能系统.
E-mail: tan.wang@ia.ac.cn
(**WANG Tan** Ph.D. candidate at Macao Institute of Systems Engineering, Macau University of Science and Technology, China, and deputy secretary at Chinese Association of Automation. Her research interest covers social computing and intelligent systems.)

王飞跃 中国科学院自动化研究所研究员, 复杂系统管理与控制国家重点实验室主任, 中国科学院大学中国经济与社会安全研究中心主任, 澳门科技大学特聘教授. 主要研究方向为社会计算, 平行智能与知识自动化. 本文通信作者.
E-mail: feiyue.wang@ia.ac.cn
(**WANG Fei-Yue** Professor at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, director of the State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems, director of China Economic and Social Security Research Center at University of Chinese Academy of Sciences, distinguished professor at Macau University of Science and Technology. His research interest covers social computing, parallel intelligence, and knowledge automation. Corresponding author of this paper.)