

NFT: 基于区块链的非同质化通证及其应用

秦蕊¹, 李娟娟¹, 王晓^{1,2}, 朱静³, 袁勇⁴, 王飞跃^{1,5}

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;

2. 青岛智能产业技术研究院, 山东 青岛 256200;

3. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016;

4. 中国人民大学数学学院, 北京 100872;

5. 澳门科技大学澳门系统工程研究所, 澳门 999078)

摘要: 基于区块链的非同质化通证(NFT)是一种记录在区块链上的数字资产所有权,具有唯一性、不可替代性、不可分割性等特征。作为智能经济中的核心要求,NFT目前已被广泛应用于收藏品、加密艺术品和游戏中。首先介绍NFT的相关概念、特征和发展历程,分析NFT的核心要素和典型应用领域,并指出目前NFT在产权、价值、技术、监管等方面面临的问题与风险;然后介绍NFT的研究现状,并在此基础上提出NFT在价值评估、交易模式与定价机制方面的研究问题;最后对NFT驱动的数字资产化趋势进行展望。

关键词: 非同质化通证; 区块链; 数字资产所有权; 数字资产化

中图分类号: TP301

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-6652.202125

NFT: blockchain-based non-fungible token and applications

QIN Rui¹, LI Juanjuan¹, WANG Xiao^{1,2}, ZHU Jing³, YUAN Yong⁴, WANG Fei-Yue^{1,5}

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

2. Qingdao Academy of Intelligent Industries, Qingdao 256200, China

3. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

4. School of Mathematics, Renmin University of China, Beijing 100872, China

5. Macau Institute of Systems Engineering, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China

Abstract: Non-fungible token (NFT) based on blockchain is a kind of digital asset ownership recorded on blockchain, which is unique, irreplaceable and indivisible. It has been widely used in collectibles, encrypted artworks and games. Firstly, the concepts, characteristics and development processes of NFT were mainly introduced, and its core elements and typical application fields were analyzes. The problems and risks faced by NFT in the aspects of property right, value, technology and supervision were also pointed out. After that, the related literatures on NFT were reviewed, and the research issues of NFT in value evaluation, transaction mode and pricing were proposed. Finally, the trend of NFT driven digital capitalization was prospected.

Key words: non-fungible token, blockchain, digital asset ownership, digital capitalization

收稿日期: 2021-05-07; 修回日期: 2021-06-07

通信作者: 秦蕊, rui.qin@ia.ac.cn

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目(No.2018AAA0101401); 国家自然科学基金资助项目(No.71702182, No.62103411, No.62173329, No.7217010935); 澳门科学技术发展基金资助项目(No.0050/2020/A1); 复杂系统管理与控制国家重点实验室开放课题(No.20210104, No.20210113, No.20210115)

Foundation Items: The National Key Research and Development Program of China (No.2018AAA0101401), The National Natural Science Foundation of China (No.71702182, No.62103411, No.62173329, No.7217010935), The Science and Technology Development Fund, Macau (No.0050/2020/A1), Open Research Fund of The State Key Laboratory for Management and Control of Complex Systems (No.20210104, No.20210113, No.20210115)

1 引言

2017 年，以太坊上一款异常火爆的加密猫 (Crypto Kitties) 游戏使非同质化通证 (non-fungible token, NFT) 进入大众视野，并获得广泛关注。NFT 之所以如此火爆，是因为它的非同质化特性与现实世界中独一无二、不可替代的稀缺性相吻合。

在现实物理世界中，资产通常可以划分为同质化资产和非同质化资产。同质化资产遵循相同的同质化协议，具有可替代性、可交换性、可分割性等特征，如法定货币、投币机中的游戏币、股票、贵金属等，这类资产往往具有固定的价值，在交易过程中只关注它们的数量，而不会关注它们本身的特性。与同质化资产不同，非同质化资产具有独特性、不可替代性等特征，如房屋、楼宇、艺术品、游戏装备、数据资产等，这类资产的价值往往不是固定不变的，并且由于其唯一性和稀缺性，其价值可能会出现较大的浮动。

随着区块链的兴起与快速发展^[1-2]，链上世界的数字资产引发了学术界和产业界的广泛关注^[3]。与现实物理世界中的同质化资产和非同质化资产相对应，链上的数字资产也分为同质化数字资产和非同质化数字资产，其中最常见的是同质化数字资产包括比特币、以太币等“虚拟货币”，而非同质化数字资产包括游戏项目、数字艺术品等非同质化通证。NFT 使得联通现实物理世界和虚拟网络世界成为可能，已成为智能经济核心要素。

本文首先介绍 NFT 的基础知识，包括定义、特征与发展历程，之后分析 NFT 的核心要素与典型应用场景，以及 NFT 面临的问题与风险。在此基础上，阐述 NFT 目前的研究现状，并分析目前 NFT 在评估、交易与定价方面面临的研究问题，最后对 NFT 的未来发展趋势进行展望。

2 NFT 的定义、特征与发展历程

目前尚无行业公认 NFT 的定义。从狭义上来讲，NFT 一般指基于以太坊标准 ERC-721 发行的通证；从广义上来讲，NFT 是一种基于区块链的具有不可分割、不可替代、不可互换、独一无二、可验证、可流通、可交易等特性的数字资产所有权。NFT 是与同质化通证 (fungible token, FT) 相对应的概念，也被称为非同质化代币、异质代币、不可替换通证、不可互换型代币等。

NFT 的本质是一种特殊的具有稀缺性的链上数字资产，通过智能合约来实现其所有权的转移，并通过区块链来记录所有权转移的整个过程。由于区块链具有公开透明、可追溯、防伪造和难以篡改等特性，任何节点都可以查看一个 NFT 的所有交易记录，这就保证了 NFT 交易过程的透明性、难以篡改性和防复制性。

NFT 的雏形最早可以追溯到 2012 年基于比特币改进的一种 P2P 网络协议，该协议可以实现去中心化的虚拟资产交易。之后，一个点对点的金融平台 Counterparty 在 2014 年诞生，该平台支持卡牌游戏和虚拟资产交易，吸引了众多游戏开发者，Spells of Genesis、Force of Will、Rare Pepes 等大量游戏类项目在 Counterparty 平台上发行。2017 年 3 月，随着以太坊的迅速崛起，Cryptopunks、CryptoKitties 等游戏类项目相继诞生。CryptoKitties 是采用以太坊上非同质化通证标准 ERC-721 的第一个项目，该项目允许玩家在区块链上领养、喂养、交易虚拟猫，并跟踪区块中单个通证的所有权及其转移，CryptoKitties 的出现使 NFT 成为主流。2018—2019 年，NFT 获得了艺术界的广泛关注，NFT 市场交易量在 2020 年达到 2.5 亿美元，而随着 2021 年 3 月 11 日 Beeple 的 NFT 作品“每一天：前 5 000 天 (everydays: the first 5 000 days)”的高价售出，NFT 获得了越来越多的关注，并呈现出前所未有的爆发式增长态势。

3 NFT 的核心要素与典型应用场景

3.1 NFT 的核心要素

NFT 的核心要素如图 1 所示，包含底层标准、区块链平台和交易市场。

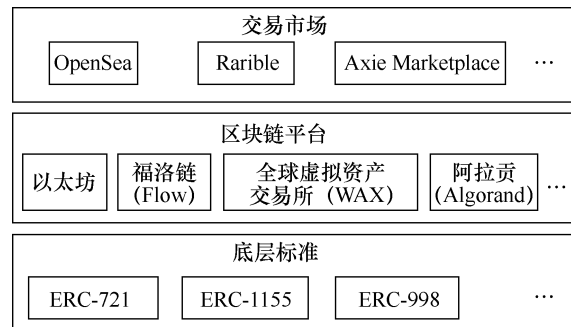


图 1 NFT 的核心要素

3.1.1 底层标准

目前 NFT 主要有 ERC-721、ERC-1155 和 ERC-998 这 3 种底层标准，见表 1。

表 1 NFT 的 3 种主要底层标准

标准	特点	功能
ERC-721	非同质化通证	代表资产所有权，其转移过程可以被完全追踪和验证
ERC-1155	半同质化通证	可同时实现多个 NFT 和 FT 的转移
ERC-998	可组合非同质化通证	可实现多个 NFT 和 FT 的打包交易

(1) ERC-721

ERC-721 是 NFT 的第一个标准，该标准是以太坊在 2017 年提出的，也是目前比较常用的底层标准，其第一个应用是 CryptoKitties 项目。在以太坊 ERC-20 标准里，各代币 (token) 的价值没有区别，符合 ERC-20 标准的 token 可以被任意分割和互换，因此无法追踪每个 token 的交易和流通记录。显然，ERC-20 标准是针对同质化通证的，在该标准下，任意 token 没有差别，无法区分，这就无法满足那些具有独一无二属性的资产的需求。

ERC-721 标准是针对具有独一无二属性的资产的需求提出的，代表了资产的所有权。在该标准下，每个 token 都是独一无二且不可分割的，因此每个 token 都具有不同的价值，并且其完整的流通和交易过程会被记录在区块链上，任何人都可以查看，这就使得该标准下每个 NFT 的所有权转移过程都可以被完全追踪和验证。

(2) ERC-1155

ERC-1155 是半同质化通证。由于在 ERC-721 标准下，每个 NFT 的交易都需要调用一次智能合约，当需要同时交易多个 NFT 时，就需要多次调用智能合约，从而导致交易效率低下、交易周期长、交易费高等问题。ERC-1155 标准的提出可以有效解决该问题。在该标准下，一个智能合约可以同时实现多个 NFT 和 FT 的转移，这就极大地提升了交易效率，并降低了交易费用。

(3) ERC-998

ERC-998 是可组合非同质化通证 (CNFT)，该标准允许将多个 NFT 和 FT 打包成一个 CNFT 进行交易，这就使得可以通过一次交易实现与该 CNFT 相关的所有 NFT 和 FT 的打包交易。

3.1.2 区块链平台

目前，以太坊是最大的 NFT 区块链，其中 NFT 的 ERC-721 标准就是基于以太坊创建的。在以太坊上，可以拥有、获取、出售、交易、展示及创造 NFT。

福洛链 (Flow) 是 2020 年 10 月由加密猫的开

发团队 Dapper Labs 发起的 NFT 公链项目，主要针对去中心化游戏、去中心化娱乐和 NFT 领域，其目标是成为新一代的游戏、应用以及数字资产的运行平台。Flow 采用流水线设计来提升网络性能，将节点分为收集节点、执行节点、验证节点和共识节点 4 类，其中收集节点用于收集节点信息并上报给共识节点，共识节点确定交易执行顺序，并交由执行节点来运算，最后由验证节点进行验证后封装入块。这种流水线设计可以有效提升网络性能、速度、吞吐量，并降低成本，从而解决网络瘫痪、拥堵等极端情况。

全球虚拟资产交易所 (WAX) 是基于 EOSIO 技术建立的 NFT 虚拟交易平台，允许用户创建、购买、出售和交易虚拟物品。在该平台上，用户可以收集、购买和销售游戏中的数字物品。WAX 采用 EOS 中的 DPoS 激励机制来激励社区。WAX 在 NFT 领域占据大约三分之二以上的市场，并且具有较高的商誉和号召力，因此被称为“NFT 之王”。

阿拉贡 (Algorand) 公链是由图灵奖得主、麻省理工学院的西尔维奥·米卡利教授创立的，其可以安全、无摩擦、规模化地铸造和交易 NFT。Algorand 专注于构建加速去中心化和与传统模式融合的技术，从而能够简单地创建下一代产品、服务以及强大的价值交换方式。Algorand 可以非常方便地创建 NFT，并且交易费低、快速安全。Algorand 提出的金融未来 (future of finance, FutureFi) 理念将传统模型和去中心化模型融合为包容、无摩擦和安全的统一系统。

3.1.3 交易市场

在以太坊平台上排名前三的 NFT 交易市场包括 OpenSea、Rarible 和 Axie Marketplace。OpenSea 是以太坊区块链上的第一个 NFT 交易市场，主要针对加密收藏品，用户可以通过点对点方式购买、出售和拍卖 NFT。Rarible 是 2020 年年初建立的 NFT 开源市场，用户可以在该应用市场铸造、出售和购买收藏品。Axie Marketplace 是游戏 Axie Infinity 的内部交易市场，游戏玩家可以在该市场对游戏资产 NFT 进行购买、出售或拍卖。

3.2 NFT 的典型应用场景

NFT 目前的应用领域主要集中在收藏品、游戏等，但由于 NFT 本身的特性，其在艺术品拍卖、版权保护、IoT 中的身份认证与授权等领域具有广阔的应用前景。

3.2.1 艺术品拍卖

NFT 的稀缺性与艺术品的天然属性不谋而合。NFT 具有可追溯性，可以很好地应用于艺术品拍卖。在传统的艺术品拍卖中，信息的不透明性和供需的不平衡性导致艺术品的伪造问题日益突出。此外，传统的艺术品的交易记录通常是纸质的，这就很容易出现被篡改或遗失的风险。而基于 NFT 的艺术品拍卖可以将艺术品的所有权及其流转都记录在区块链上，难以篡改，所有人都可以查看，这就使得艺术品拍卖流转的整个过程都是公开透明的，当出现伪造问题时，可以很容易地通过加密签名和时间戳追溯出现问题的环节。

3.2.2 版权保护

互联网的开放和共享特性给互联网时代的版权保护带来了巨大的挑战，而新兴的 NFT 技术有望为版权保护提供有效的解决方案。目前，NFT 技术已被艺术家和音乐出版商广泛采用，利用区块链技术的去中心化、时间戳、加密算法、难以篡改、可追溯等特征，将创作的作品 NFT 化之后存储于区块链，并生成与该作品对应的唯一的数字所有权证书，从而达到版权保护的目的。2021 年 6 月 14 日，NFT 技术被美联国际教育集团（METX.US）应用于课件版权保护中。

3.2.3 IoT 中的身份认证与授权

随着 IoT 技术的应用与普及，其身份认证和授权机制得到越来越多的关注。由于物联网设备的多样性，实现多个设备之间的自主认证和授权成为物联网应用面临的重要挑战。NFT 实际上代表了物品所有权和身份真实性，可用于存储、管理每个人的独特属性和身份信息。利用这些独一无二的数字化信息可以实现 IoT 中的身份认证与授权。

4 NFT 面临的问题与风险

目前，NFT 生态还不够完善，在产权、价值、技术、监管等方面均面临一定的问题与风险。

4.1 产权风险

与传统的艺术品、收藏品交易一样，NFT 也面临着“作品真正的创作者是谁”的问题。NFT 只能证明“token provenance”，即交易存在并有源头可循，不能证明作品本身的出处，即“artwork provenance”。许多艺术家的作品被他人铸造到 NFT 中，并在他们不知情或未同意的情况下出售。例如，有人冒充著名漫画家德里克·劳夫曼（Derek Lauf-

man），以作者身份将他的作品在 Rarible 上以 NFT 的形式进行出售。另外，一些加密行业知名人士的推文也被他人利用并以 NFT 的形式拍卖，其中包括加密资产管理公司 CoinShares 的首席战略官 Meltem Demirors。

NFT 的价值在很大程度上依赖于开发者与运营者提供的中心化服务。在这个前提下，即便区块链网络是高度安全的，并且 NFT 是不可伪造的，但是 NFT 与艺术品本身是可分割的，这就使得 NFT 有可能被人为地更改和破坏，造成 NFT 产权所有者的利益受损。例如：一位名为“Neitherconfirm”的加密艺术家在 OpenSea 市场上出售 26 个 NFT，每个 NFT 原先对应的图片都是由电脑生成的，即便其中有部分已经售出或者正在拍卖，但是他依然能够将所有 NFT 对应的图片都改成真实的地毯照片。

NFT 带有记录在区块链上的唯一数字所有权证书，以确保 NFT 产权所有者的权益。同时，一些规模较大的 NFT 交易平台已经开始合作，为每个 NFT 标示唯一的识别码，使得一个 NFT 从一个平台转移到另一平台时，其唯一性不会受到影响。但是这些都不能阻止 NFT 的盗版行为。例如：Binance 区块链用户在网络上托管“流氓 token”，他们直接模仿了现有以太坊上的 NFT 作品，比如“Binance Punks”模仿了“Crypto Punks”，“Bashmasks”模仿了“Hashmasks”，甚至作品名称都十分相似。

4.2 价值风险

NFT 是基于区块链的虚拟资产，在价值评估方面需要同时考虑链下与链上的供需关系。在链下，NFT 对标数字艺术品市场，其涉及的产品具有种类丰富、鉴别手段复杂、价值评判标准不固定等特点，这在无形中提高了购买者的认知门槛。在链上，区块链、智能合约等技术应用又会在一定程度上影响 NFT 的价值。同时，还需要考虑实体收藏品与 NFT 虚拟收藏品的对应关系。NFT 标的物的价值由相关市场因素综合决定，而区块链赋予的安全性、存在性、丰富性等特征也会影响其价值。

随着 NFT 概念的普及，各类 NFT 资产不断涌现，目前大部分 NFT 通过交易市场使用拍卖的方式进行交易。投机性资本的介入导致 NFT 市场规模井喷式发展，在一定程度上造成了 NFT 的市场泡沫。同时，在缺乏鉴别与监管的情况下盲目地将 NFT 进行上链交易也会带来一定的欺诈风险。随着 NFT

生态的完善与市场热度的消退,有些项目必然会被市场淘汰,这将导致部分 NFT 的价值由于无法继续托管、维护而有所折损。

4.3 技术风险

现阶段 NFT 的底层基础设施和生态还不够完善,缺乏安全易用的 NFT 钱包,交易手续费高昂,适用场景集中在数字艺术品、游戏、收藏品等领域,在应用场景扩展方面具有明显的局限性。

此外, NFT 依赖于区块链和智能合约技术,因此区块链和智能合约的安全性对 NFT 的安全性具有重要的影响^[4]。首先,目前区块链系统面临多种安全攻击,缺乏有效的系统级安全评估手段、网络预警技术、决策支持能力以及灾后修复技术。随着量子计算的发展,区块链底层依赖的哈希函数、公钥加密算法、数字签名、零知识证明等技术的安全性也将受到影响^[5]。完全去中心的匿名区块链系统缺乏有效的监管手段,当攻击者对系统安全性造成威胁、非法用户利用区块链实施违法行为时,系统无法对攻击者和非法用户进行追责,一旦攻击成功,由于区块链的难以篡改性,非法交易无法撤回,这将给用户造成不可逆转的经济损失^[1]。其次,目前的智能合约是由代码定义的简单的“IF-THEN”规则,当合约通过 P2P 网络扩散并存入区块链之后,将在相应的条件被触发后自动执行,但实际上,智能合约无论在合约生成还是在合约执行方面都没有实现真正的自动化,因此既不智能也不合约,并且存在严重的安全漏洞,具有缺乏可信数据源、隐私问题、性能问题和法律问题^[6]。区块链和智能合约的这些安全问题也会为 NFT 带来严峻的安全风险。

4.4 监管风险

目前,国家主管机关禁止发行和交易“虚拟货币”,以防止“虚拟货币”冲击现有金融秩序。然而,目前还没有任何针对 NFT 的监管机构,这就导致 NFT 交易存在交易双方的权利和义务无法明确、得不到保障的窘境。现在大多数 NFT 是在区块链上进行创作的数字资产,但随着 NFT 市场的发展,出现了更多的链下实物资产的映射,监管机构或将推出相应的政策进行管理。根据 NFT 可对标实物价值的特性,可能会出现利用 NFT 进行洗钱犯罪、非法集资、违禁品暗网交易等犯罪行为,以及利用新技术、新应用从事违法犯罪活动等风险,这给政府对 NFT 的监管带来了巨大的困难。

5 NFT 相关研究

作为新兴的风口,关于 NFT 的文献研究比较有限,但呈现增多趋势。当前关于 NFT 的研究主要分为 3 个方面:概念介绍及价值探讨^[7-10]、模型结构及系统组件^[11-13]、应用案例及其实现^[14-23]。参考文献[7]分析了“虚拟货币”和区块链的技术基础,认为 NFT 及加密收藏品可能给艺术市场和整个创意产业带来变化。参考文献[8]探讨数字孪生在确保特定代币所代表的物理资产不被篡改中的应用,并以中小企业矩阵结构制造系统为例进行了研究。参考文献[9]研究分散化金融市场和常规金融市场之间的差异,并初步确定了 NFT 作为金融工具的必要性。参考文献[10]针对 NFT 进行了研究,认为 NFT 可被视为一种低相关性资产类别。

更进一步,在关于 NFT 的模型结构与通证架构研究中,参考文献[11]使用 Hyperledger Fabric 区块链网络架构开发了一个综合系统,即 NFTracer 平台,以执行分散的 NFT 跟踪。该平台通过艺术品拍卖和房地产拍卖等案例展示以分散方式跟踪实体及其修改的优势。参考文献[12]提出了一种可提供 ERC-721 标准和基于 ERC-721 标准的应用程序常见扩展和功能完整实现的以太坊区块链智能合约组件,为 NFT 框架实现提供了规范化语言,从而实现简单而有效的替代手动智能合约套件定制的方法。参考文献[13]提出了一种可扩展的 NFT 模型,用于在 Hyperledger Fabric 中支持 NFT。根据 Hyperledger Fabric 中代币的定义,该模型采用一个数据结构来管理代币。通过为 ERC-721 标准添加属性,该模型也可以支持 ERC-721 标准。

此外,更多的研究关注 NFT 在物联网、定价、票务市场、拍卖、资产交易系统中的应用及具体实现。参考文献[14]指出 NFT 在虚拟房地产定价中是有效的,虽然目前效率不高,但其价值在稳步上升。参考文献[15]针对建筑物和建筑资产提出了一种由分散账本上的拓扑图组成的 NFT 架构层,并举例说明非流程拓扑图产生 ERC-721 通证的所有权可以在区块链智能合约上进行转移。参考文献[16-17]研究了虚拟土地和虚拟游戏中的 NFT 应用,从隐私、延迟、垄断等角度说明了 NFT 在虚拟产品交易中的价值。参考文献[18]论证了 NFT 在赛事票务领域的有效性,设计、构建并全面评估了一个基于 NFT 的活动票务系统原型,为其他研究人员提供了可以

借鉴的 NFT 设计原则。参考文献[19]提出了一个用于消费者、电动汽车、电力公司和存储供应商之间进行交易的能源资产交易系统,并在 Hyperledger 结构上实现,其中封装标识符或唯一信息以及价值的资产被建模为 NFT,而仅代表价值的资产被建模为 FT。参考文献[20-21]关注 NFT 在物联网领域的应用。参考文献[20]构建了基于 ERC-721 标准并基于能力的通证框架,引入一个分布式的身份验证(authentication)、授权(authorization)和计费(accounting)框架(即 AAA 框架)来解决物联网分布式架构问题。参考文献[21]提出了一种采用 ERC-721 标准的安全管理 IoT 设备的 NFT 解决方案,以保证 IoT 设备本身能够签署交易。参考文献[22]用智能 NFT 表示物联网设备,用于设备生命周期内的安全追踪,并采用基于 ESP32 的物联网设备和以太坊区块链开发方案进行整体演示。参考文献[23]探讨数据工程师需要应对将隐私法、法律要求编码为智能合同的挑战,作者认为 NFT 可编程隐私可为提高基因组数据市场的透明度和数据所有者主权保障提供助力。

6 NFT 交易与定价

NFT 交易与定价是 NFT 面临的核心研究问题,然而目前文献中尚无相关研究。本节主要从价值评估、交易模式与定价机制等方面对 NFT 交易与定价中面临的研究问题进行探讨。

6.1 NFT 价值评估

NFT 本质上是具有价值的异质化资产。NFT 的标的物是任何可以以数字文件形式表述的东西,包括收藏品、游戏资产、虚拟世界、加密艺术品、文化代币等,一般具有不可分割、不可替代、独一无二的特性。同时,基于区块链的标准化发行又另外赋予了其可追溯、可交易、可访问、通用的特性。这两个维度的特性共同构成了 NFT 的价值评估基础。尽管链上流动性、代币唯一性等限制使得用于传统金融资产评估的现金流模型、市盈率模型等难以对 NFT 展开合理的价值评估,并且目前也并没有专门的 NFT 价值评估模型,但是研究者仍然可以从不同维度对 NFT 的价值展开初步分析。

从 NFT 标的物维度来看,价值由其创造成本、质量、应用等自身属性及潜在需求、流动性、稀缺性等市场因素综合决定,可采用传统的产品定价模型或资产估值模型。从 NFT 技术实现维度来看,

价值受到区块链赋予的安全性、存在性、丰富性等因素影响。基于以上考虑,笔者在著名开放金融电子杂志 Bankless 的 Metaversal 专栏首席撰稿人 William M. Peaster 提出的 7 种价值影响因素的基础上,提出从质量、供给、安全、时间 4 个维度评估 NFT 价值。

(1) 质量

NFT 的质量在很大程度上由创作者的表达形式、创作水平、知名程度、艺术价值等决定,表达形式越丰富、创作水平越高、知名程度越高、艺术价值越高,则 NFT 的质量越高;而高质量的 NFT 能够获取更高的价值。质量维度衡量的是 NFT 标的物本身,与其技术现实无关。

(2) 供给

供给总量与生成速度共同决定了 NFT 的稀缺程度。NFT 在流通中产生价值,但其并不是生活必需品,供给增加会降低需求群体的边际效益,由此导致 NFT 价值降低。研究者需要考虑 NFT 的静态供给状态,但也不能忽视由生成速度决定的动态供给变化。一般地,生成速度越快,NFT 的供给总量越高,其价值会越低。

(3) 安全

区块链可为 NFT 提供基础设施与托管平台,长期存在的安全稳定的区块链系统是 NFT 价值实现的重要保障。例如:以太坊本身的去中心化程度和安全性高,因此依托以太坊平台铸造的 NFT 比其他地方铸造的 NFT 具有更高的价值。同时,托管在主链上的 NFT 显然比托管在侧链、外部链甚至链下的 NFT 风险性更低且预期存在时间更长,因而具备更高的价值。

(4) 时间

NFT 的标的物通常是文化艺术产品,它们本身就具备价值随创作时间变化的特性。区块链技术、智能合约协议和加密经济机制也使得 NFT 的价值获取需要考虑时间维度。尽管目前 NFT 还处于快速发展时期,但更早之前铸造的 NFT 已经显现出数字文物的特性,而市场对它们的估值也不断提高。

6.2 NFT 交易模式与定价机制

直接出售 NFT 是比较常见的交易模式,这是因为 NFT 本质上是具备市场需求与交易属性的商品。在此交易模式下,研究者关注采用何种定价机制可以最大化特定供求关系下的 NFT 价值。目前

主要有固定价格机制、拍卖机制、拼单机制以及议价机制。

(1) 固定价格机制

通过基于固定价格的公开销售机制实现 NFT 定价的基础是具备一定的市场流动性。如果很少甚至没有客户认可并愿意以供给方制定的固定价格进行购买,则无法达成有效交易,无法实现 NFT 定价。

(2) 拍卖机制

无论从供给侧还是需求侧考虑,拍卖机制是目前接受程度较高的定价机制。NFT 作为异质化商品的价值具备一定的主观性,随购买对象与用途的不同而有很大区别。在这类定价机制下,还需基于市场效率、交易目标以及应用场景等选择或设计合理的拍卖方式。

(3) 拼单机制

将 NFT 分割成 ERC-20 标准的代币在去中心化或者中心化交易平台进行交易是较新的 NFT 定价机制。通过多个用户购买任意数量的代币这样的拼单方式形成 NFT 的整体定价。

(4) 议价机制

议价机制比较适合具有稀缺性高、可替代性低、艺术价值大于使用价值等特点的 NFT。但是在实践中,针对特定 NFT 进行议价交易的方式目前还非常少见。

在 NFT 销售过程中还涉及交易费用的问题,其对 NFT 的交易与定价均有一定影响。因为, NFT 开发者可以从每一笔交易中按比例或者按固定数额收取一定的交易费用。如果交易费用设定过高,会使得用户放弃开发者市场,转而采用一对一的私下交易,这将在一定程度上削弱 NFT 开发交易的流动性,进而为 NFT 定价带来不确定性风险。

将 NFT 金融产品化是随着去中心化金融 (decentralized finance, DeFi) 发展而产生的新型交易模式。NFT 本质上是具有价值的异质化资产,属于一种全新的金融资产类别,在交易过程中存在可访问性、流动性与效用性等方面的问题。NFT 的艺术性带来的价值判别门槛以及稀缺性导致的高价格,使得 NFT 交易市场进入壁垒,在一定程度上限制了可访问性,而 DeFi 协议可以减少用户参与 NFT 交易的资金和知识需求,降低了零售用户进入和退出 NFT 市场的门槛。同时,DeFi 协议将凭借其丰富而强大的效用为 NFT 吸引更多的受众,提高 NFT 的交易速度,增强 NFT 的流动性。由 DeFi 协议支撑的金

融产品化 NFT 的交易模式主要包括抵押品模式、众筹模式、合作社模式以及租赁模式等。

(1) 抵押品模式

与传统艺术品类似,NFT 具备动态变化的价值,可以将其作为抵押物以形成双向借贷市场。在抵押品模式下,NFT 的价格可以通过网络众包评估的方式来确定。

(2) 众筹模式

众筹模式指基于可拆分的 NFT 初始所有权发行代币,以众筹的方式售卖 NFT 的部分所有权。当 NFT 正式生成并交易后,再按代币持有比例进行利润分成。

(3) 合作社模式

合作社模式指由个人开发者合作形成有机团体,共同开发、购买和出售 NFT,并根据 DeFi 协议进行投资分成。

(4) 租赁模式

租赁模式指通过存入与 NFT 市场价值相等或超额的代币或抵押品来租赁 NFT,并且需要为其支付一定金额的租金。该模式比较适用于游戏 NFT,用户期望通过租赁的 NFT 获得更高的游戏收益。

7 结束语

NFT 是 DeFi 落地应用的典型示例,是运行在区块链网络上的“价值机器”,能够促成一切可数字化的资产的链上流通。目前 NFT 还是以艺术收藏品、游戏道具等资产的链上数字化为主,而以股票、股权、信托等为代表的金融资产的 NFT 化也是必然趋势,甚至在长期内传统实物资产都可以转化为相应的 NFT 并依托区块链实现交易流通。NFT 通过创造稀缺性的加密资产、加速数字资产化的趋势对数字经济产生革命性影响,并与区块链、人工智能以及大数据等新基建技术共同加速数字社会的到来。

在 NFT 驱动的数字资产化过程中,必须要解决流动性不足、市场泡沫、生态不完善等问题。随着 NFT 综合性交易市场、二手交易市场以及 DeFi 驱动的衍生品市场等的发展,由 NFT 不可分割以及受众群体限制带来的流通性不足问题能够在一定程度上得以缓解。但是,为了实现更加高效和可靠的 NFT 价值存储与转移,还需要从流通逻辑及技术手段等方面展开更深入的研究探索。由于 NFT 缺乏可靠的价值评估标准与定价机制,投机性资本的介入

导致 NFT 市场规模井喷式发展,在一定程度上造成了 NFT 的市场泡沫,这在长期来看是不利于 NFT 发展的。为了解决这个问题,需要在 NFT 的交易共识机制及价值评估机制方面进行创新性研究。相比于 DeFi 生态,现阶段的 NFT 生态十分不完善,造成这一现状的很大原因在于 NFT 的异质化导致各类 NFT 的业务逻辑与交易逻辑存在较大差异。为此,需要在 NFT 基础设施、分类体系、应用场景以及价值识别等方面加强研究,以推动形成通用且稳定的 NFT 生态。

参考文献:

- [1] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.
YUAN Y, WANG F Y. Blockchain: the state of the art and future trends[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481-494.
- [2] 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.
- [3] 赵明, 董大治. 基于区块链技术的数据资产管理机制研究[J]. 大数据, 2021, 7(4): 49-60.
ZHAO M, DONG D Z. Study on data asset management mechanism based on blockchain technology[J]. Big Data Research, 2021, 7(4): 49-60.
- [4] 刘彦松, 夏琦, 李柱, 等. 基于区块链的链上数据安全共享体系研究[J]. 大数据, 2020, 6(5): 92-105.
LIU Y S, XIA Q, LI Z, et al. Research on secure data sharing system based on blockchain[J]. Big Data Research, 2020, 6(5): 92-105.
- [5] 张俊, 袁勇, 王晓, 等. 量子区块链: 融合量子信息技术的区块链能否抵御量子霸权?[J]. 智能科学与技术学报, 2019, 1(4): 409-414.
ZHANG J, YUAN Y, WANG X, et al. Quantum blockchain: can blockchain integrated with quantum information technology resist quantum supremacy?[J]. Chinese Journal of Intelligent Science and Technology, 2019, 1(4): 409-414.
- [6] 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.
- [7] CHEVET S. Blockchain technology and non-fungible tokens: reshaping value chains in creative industries[J]. SSRN Electronic Journal, 2018: 73.
- [8] NIELSEN C P, DA SILVA E R, YU F. Digital twins and blockchain-proof of concept[J]. Procedia CIRP, 2020, 93: 251-255.
- [9] MUSAN D I, WILLIAM J, GERVAIS A. NFT. finance leveraging non-fungible tokens[Z]. 2020.
- [10] DOWLING M. Is non-fungible token pricing driven by cryptocurrencies?[J]. Finance Research Letters, 2021: 102097.
- [11] BAL M, NER C. NFTTracer: a non-fungible token tracking proof-of-concept using Hyperledger Fabric[J]. arXiv preprint, 2019, arXiv: 1905.04795.
- [12] CHIRTOACA D, ELLUL J, AZZOPARDI G. A framework for creating deployable smart contracts for non-fungible tokens on the ethereum blockchain[C]//Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures. Piscataway: IEEE Press, 2020: 100-105.
- [13] HONG S, NOH Y, PARK C. Design of extensible non-fungible token model in Hyperledger Fabric[C]//Proceedings of the 3rd Workshop on Scalable and Resilient Infrastructures for Distributed Ledgers. New York: ACM Press, 2019: 1-2.
- [14] DOWLING M. Fertile LAND: pricing non-fungible tokens[J]. Finance Research Letters, 2021: 102096.
- [15] DOUNAS T, JABI W, LOMBARDI D. Topology generated non-fungible tokens: blockchain as infrastructure for architectural design[C]//Proceedings of the 26th Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia International Conference 2021. [S.l.:s.n.], 2021.
- [16] GOANTA C. Selling LAND in decentraland: the regime of non-fungible tokens on the ethereum blockchain under the digital content directive[M]//Disruptive Technology, Legal Innovation, and the Future of Real Estate. Cham: Springer, 2020.
- [17] MUTHE K B, SHARMA K, SRI K E N. A blockchain based decentralized computing and NFT infrastructure for game networks[C]//Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Blockchain Computing and Applications. Piscataway: IEEE Press, 2020: 73-77.
- [18] REGNER F, URBACH N, SCHWEIZER A. NFTs in practice-non-fungible tokens as core component of a blockchain-based event ticketing application[C]//Proceedings of the 40th International Conference on Information Systems. [S.l.:s.n.], 2019.
- [19] KARANDIKAR N, CHAKRAVORTY A, RONG C M. Blockchain based transaction system with fungible and non-fungible tokens for a community-based energy infrastructure[J]. Sensors, 2021, 21(11): 3822.
- [20] SGHAIER OMAR A, BASIR O. Capability-based non-fungible tokens approach for a decentralized AAA framework in IoT[M]//Blockchain Cybersecurity, Trust and Privacy. Cham: Springer, 2020.
- [21] ARCENEGUI J, ARJONA R, BATURONE I. Secure management of IoT devices based on blockchain non-fungible tokens and physical unclonable functions[C]//Proceedings of the International Conference on Applied Cryptography and Network Security. Cham: Springer, 2020: 24-40.
- [22] ARCENEGUI J, ARJONA R, ROMÁN R, et al. Secure combination of IoT and blockchain by physically binding IoT devices to smart non-fungible tokens using PUFs[J]. Sensors, 2021, 21(9): 3119.
- [23] URIBE D. Privacy laws, non-fungible tokens, and genomics[J]. The Journal of the British Blockchain Association, 2020, 3(2): 1-10.

[作者简介]



秦蕊（1983-），女，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。



朱静（1988-）女，博士，南京航空航天大学自动化学院讲师，主要研究方向为时滞系统、多智能体、故障诊断与容错等。



李娟娟（1986-），女，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助理研究员，主要研究方向为区块链、数字货币、计算经济学。



袁勇（1980-），男，博士，中国人民大学数学学院教授，主要研究方向为区块链、商务智能、计算广告学。



王晓（1988-），女，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，主要研究方向为社会交通、动态网群组织、人工智能和社交网络分析。



王飞跃（1961-），男，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，主要研究方向为智能系统和复杂系统的建模、分析与控制。

Chinese Journal of Intelligent Science and Technology

Vol.3 No.2 June 2021

Contents

Review Intelligence

Parallel museums: intelligent management and control of museum operations in the new era
.....*WANG Chunfa, WANG Fei-Yue, LU Yue, LI Huabiao, GUO Chao* (125)

Special Topic: Intelligent Transportation Systems and Applications

Information security of the industrial control system for rail: analysis and prospect
.....*LI Yidong, ZHANG Zikai, DONG Hairong, ZHANG Honglei, CHEN Haoyu, HAN Yushan* (139)

A review of prediction methods for moving target trajectories.....*LIU Wen, HU Kunlin, LI Yan, LIU Zhao* (149)

A survey of research on demand responsive transit and its route optimization.....*FENG Shuai, LIU Xiaoming* (161)

A deep learning short-term traffic flow prediction method considering spatial-temporal association.....
.....*ZHANG Yang, HU Yue, XIN Dongrong* (172)

Algorithm for automatically generating a large number of speed curves of subway trains based on AlphaZero.....
.....*LU Yuqi, CHEN Dewang, ZHAO Zhaolin* (179)

Special Topic: Industrial Internet of Minds

Key technologies and applications of intelligent guiding robots for epidemic prevention
.....*WANG Teng, PAN Jing, DONG Lu, SUN Changyin* (187)

Fault discovery based on text information extraction for on-board equipment of CTCS
.....*CHEN Xi, LI Runmei, WANG Jian, DONG Shuyun* (195)

Power policy quantification based on PMC index model and its application in load forecasting.....
.....*LIU Tianbin, ZHAO Hang, WANG Chen, YUAN Hongxia, ZHANG Yinya, HU Chenxi, LI Jinxing, GAO Tianlu, ZHANG Jun* (202)

Planning and practice of the Yangtze River smart city platform.....*WU Jun, ZHANG Jun* (211)

Parallel port: new formation and system architecture of port industry Internet of minds in smart and green era
.....*WU Yuzhen, ZHANG Jun, GAO Tianlu, SUN Yujian, LIU Jinxu* (218)

Papers and Reports

Research on key technologies of social computing for urban complex system
.....*JIA Xiaofeng, GAO Song, JIANG Xi, QI Hongwei, WANG Xiao, ZHANG Jun, QIN Rui, OUYANG Liwei* (228)

NFT: blockchain-based non-fungible token and applications.....
.....*QIN Rui, LI Juanjuan, WANG Xiao, ZHU Jing, YUAN Yong, WANG Fei-Yue* (234)

收录声明

本刊对发表的文章, 拥有出版电子版、网络版版权, 并拥有和其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬中已经包含上述费用。

Chinese Journal of Intelligent Science and Technology has the copyright to publish electronic edition, online edition of the published articles, and has the right to exchange information with other sites. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的论文是作者独立取得的原创性研究成果, 无一稿多投; 论文内容不涉及国家机密; 未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过; 论文内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题, 论文作者将承担全部责任。

The authors of *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Chinese Journal of Intelligent Science and Technology*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.