

Summary of Digital Copyright Protection Based on Blockchain Technology

Lv Yongfei^{1†,4}, Shen Xiajiong¹, Yang Jinlin³, Zang Wenqian^{2,4}

1. Institute of Data and Knowledge Engineering, Henan University, 475004, Kaifeng, Henan

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, 100094, Beijing

3. Beijing Aerospace Titan Technology Co., Ltd., 100089, Beijing

4. Research Institute of Space Information (Langfang) of China Science, 065000, Langfang, Hebei

†Email: henulv Yongfei@163.com

Abstract

With the rapid development of the Internet, the global transmission of information has become extremely efficient and inexpensive, however, this kind of information transmission has no mechanism to protect valuable information, the cost of random copying, dissemination and even tampering on the Internet is very low. Therefore, digital copyright has been greatly impacted. There are problems such as data leakage and tampering in the digital system. The decentralization and non-tampering of the blockchain as well as the technical characteristics of distributed consensus have brought important changes to digital copyright protection and promoted the development of digital copyright protection. Therefore, this paper focuses on the digital copyright protection based on blockchain technology. By analyzing the definition of blockchain and the common blockchain-based digital copyright algorithm and application, some existing problems in blockchain-based digital copyright are obtained, and puts forward feasible suggestions for these problems.

Keywords: Blockchain; Digital Copyright Protection; Decentralized; Non-tamper; Distributed Consensus

基于区块链技术的数字版权保护综述

吕永飞^{1†,4}, 沈夏炯¹, 杨劲林³, 臧文乾^{2,4}

1. 河南大学数据与知识工程研究所, 河南省 开封市 475004

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京市 朝阳区 100094

3. 北京航天泰坦科技股份有限公司, 北京市 海淀区 100089

4. 中科空间信息(廊坊)研究院, 河北省 廊坊市 065000

摘要: 随着互联网的迅速发展, 信息在全球范围内的传输变得异常高效与廉价, 然而, 这种信息传输并没有对有价值的信息进行保护的机制, 在网上随意复制、传播乃至篡改的成本非常低。因此, 数字版权受到了很大的冲击, 数字化系统中存在数据泄露、易被篡改等问题, 区块链的去中心化和不可篡改以及分布式共识的技术特点, 为数字版权保护带来了重要的变革, 推动了数字版权保护的发展。因此, 本文围绕基于区块链技术的数字版权保护问题开展了研究工作, 通过分析区块链的定义和常见基于区块链的数字版权算法和应用, 得出现有的基于区块链数字版权中存在的问题, 并针对这些问题提出了可行性建议。

关键词: 区块链; 数字版权保护; 去中心化; 不可篡改; 分布式共识

引言

随着数字化和网络化技术的迅猛发展, 网上传播和交易的数字内容的数量呈指数形式增长, 因此数字内容的数字化显得越来越重要^[1-3]。数字化内容的出现, 使得人们获取数字作品的方式越来越便捷, 在几

秒钟内，便可接收到各种各样的数字作品，在最短的时间内获得各地各种各样的详细的信息。但在这种便利的情况下，在网上随意复制、传播乃至篡改的机会也越来越多，数字版权纠纷频频发生，这些都严重阻碍了互联网的发展。传统的版权保护方式已经难以对数字版权进行保护，因此人们提出了数字版权保护技术，国内的研究机构进行了一系列详细的研究，例如吴洁明等人提出了基于 DCI 的数字作品版权保护研究和设计^[5]、肖芸等人提出了基于特征图像的数字版权保护系统^[6]、刘欣亮等人提出了面向开放互联网的多媒体数字版权保护系统^[7]。

但是上面提到的解决方法没有从根本上解决数字版权保护问题。2008 年 10 月 31 日下午 2 点 10 分，在一个普通的密码学邮件列表中，一个化名为“中本聪”的人发表了“Bitcoin : A peer-to-peer electronic cash system”^[4]。其底层的技术就是区块链，区块链技术具有去中心化、不可篡改、安全可信等特点。因此，本文围绕基于区块链技术的数字版权问题，查阅大量的相关文献资料，整理了区块链技术的相关技术内容，大致可以将基于区块链的数字版权保护方法分为时间戳、工作量证明、数字签名、智能合约、分布式共识等。区块链技术具有去中心化、不可篡改、公开透明、可追溯、去信任等特点，使得区块链技术不仅可以在数字加密货币领域成功运用，还可以在经济、社会的其他方面有所应用，蚂蚁金服运用区块链、人工智能等技术协助监管部门工作，平安金融壹账通利用区块链解决信用多级穿透，区块链还可以简化政府电子采购流程，雄安集团使用区块链技术保障建设者权益。

1 区块链技术简介

区块链是一种去中心化的新型数据结构，不依赖第三方机构的参与，由网络中的节点共同管理和监督，不存在任何特殊的节点，通过共识机制来产生和修改数据，利用密码学技术来保证数据的传安全传输，智能合约定义范式，区块链技术被认为是计算机范式的第五次颠覆式创新，是人类信用进化史上的第四次里程碑^[8]。可以说，区块链创造了一个数字化的、可以点对点传输价值的信用系统。

1.1 区块链的起源

比特币诞生于 2008 年美国次贷金融危机的末期，在 2008 年中本聪的论文《Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System》中，还没有“区块链”这个名词，只有“区块”和“链”。直到 2015 年 10 月，《经济学人》发布封面文章：制造信任的机器——比特币背后的技术将如何改变世界。区块链是作为比特币底层技术与基础架构而诞生的，比特币是一个可以点对点进行支付、不依赖任何的第三方的电子现金系统。这个时候大家才意识到比特币背后的技术——区块链的价值很大，至此，区块链真正出现在大家的视野面前，并开始积极投入到区块链的研究中。

1.2 区块链的定义

区块链本质上是一个点对点的对等网络的分布式数据账本。区块链技术通过建立一个共同维护且不可篡改的数据库来记录过去的所有交易记录和历史数据，所有的数据都是分布式存储且都公开透明的。一个完整的区块链系统包含了很多的技术，时间戳、数字签名、非对称的密码学原理、P2P 网络、共识算法，以及挖矿和工作量证明机制等。区块链本身其实就是一串由密码学哈希算法对区块头进行哈希运算产生的哈希值所链接的数据区块，每一个数据区块中都记录了一组采用哈希算法组成的树状交易状态信息以及前一区块的哈希值，区块链的数据结构如图 1：

1.3 区块链的结构

比特币网络中每个节点都是基于已经存在的最新区块生成下一个区块，同时将网络中未确认的合法交易包含进去，在完成工作量证明之后，将新的区块广播到全网，待全网中的节点验证核对之后，将新的区块链接到最长的链上并打上时间戳，同时获得区块奖励。实际上，区块链就是一系列区块按照时间戳顺序

依次连接起来的链式结构。区块链上的每一个区块都包含一下内容，区块头、区块大小、随机数 Nonce、交易数据、交易详情。区块的数据结构如表 1 所示。

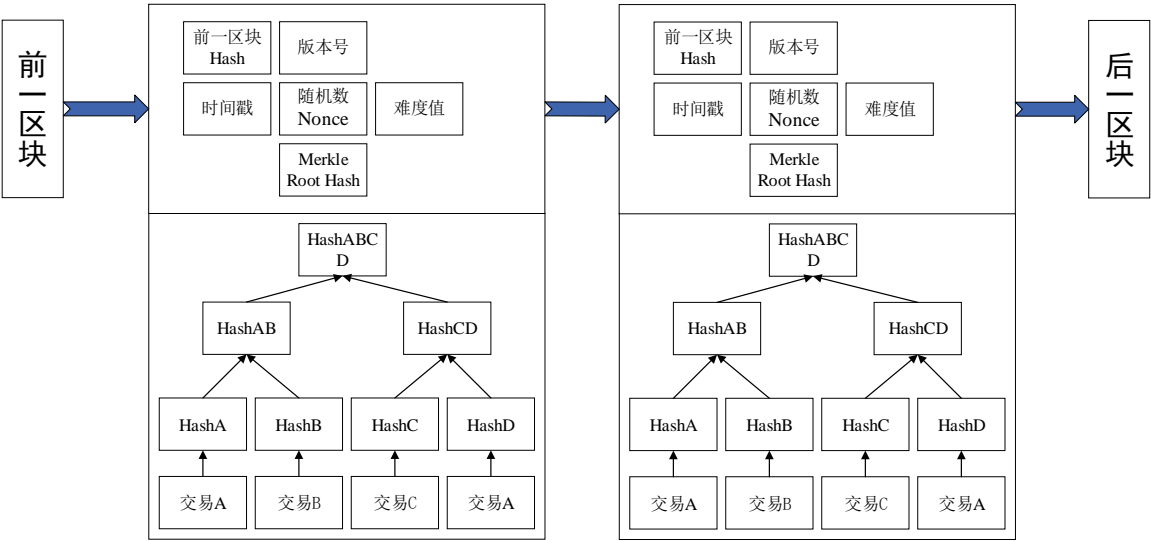


图 1 区块链数据结构图

表 1 区块数据结构表

数据结构名称	大小	描述信息
区块头部信息	80 字节	记录当前区块的头部信息
区块大小	1-9	字节记录当前数据区块的大小
神奇数	4 字节	神奇数总等于 0xD9B4BEF9
交易数据	1-9 字节	记录当前数据区块的所有交易
交易详情	不确定	记录当前数据区块的所有交易细节

1.4 密码学技术

密码学是研究编译密码和破译密码的技术。它可以分为古典密码学、现代密码学和公钥密码学三大阶段。古典密码学的算法主要分为置换和代换，把明文中的字符重新排列，字符本身不变，只是位置发生变化，叫做置换；将明文中的字符替换成其他字符叫做代换。现代密码学主要是对称加密，基于密钥进行信息的加解密，通过密钥加密明文并以二进制形式传输。公钥密码学则可以不用传递密钥，它的原理主要是有一对密钥：公钥和私钥，公钥加密，私钥解密；私钥加密，公钥解密。

1.4.1 哈希算法

区块链技术是由很多技术组成的，哈希算法是很重要的一个，哈希算法将任意长度的二进制值压缩成较短的固定长度的二进制串，这个小的二进制串就叫哈希值，也称之为散列值。如果散列的时段明文，那么只要更改其中的一个字符就会产生不同的哈希值，要找到同一个散列值的两个不同输入，基本上是不可能的，所以哈希值是可以检验数据的真实性，常用于实现数据完整性和实体认证，同时也构成多种密码体制和协议的安全保障。哈希函数的主要特征是：

- 1.输入 X 可以是任意长度的二进制串。
- 2.输出的结果 H(X)的长度是固定的。

3.计算 $H(X)$ 的过程是高效的并且易于计算。

1.4.2 Merkle Tree

区块中包含的所有交易首先会通过 Merkle Tree 算法生成 Merkle Root Hash 并存储至区块头的数据结构里。Merkle Tree 是一类基于哈希值的二叉树或多叉树，叶子节点上的值通常为数据块的哈希值，Merkle Tree 具有以下特点：

1. 它是一个树，可以是二叉树，也可以是多叉树。
2. Merkle Tree 的叶子节点的值是数据集合的单元数据或单元数据的哈希值。
3. Merkle Tree 的非叶子节点的值是所有叶子节点的哈希值。

Merkle Tree 算法原理图如图 2：

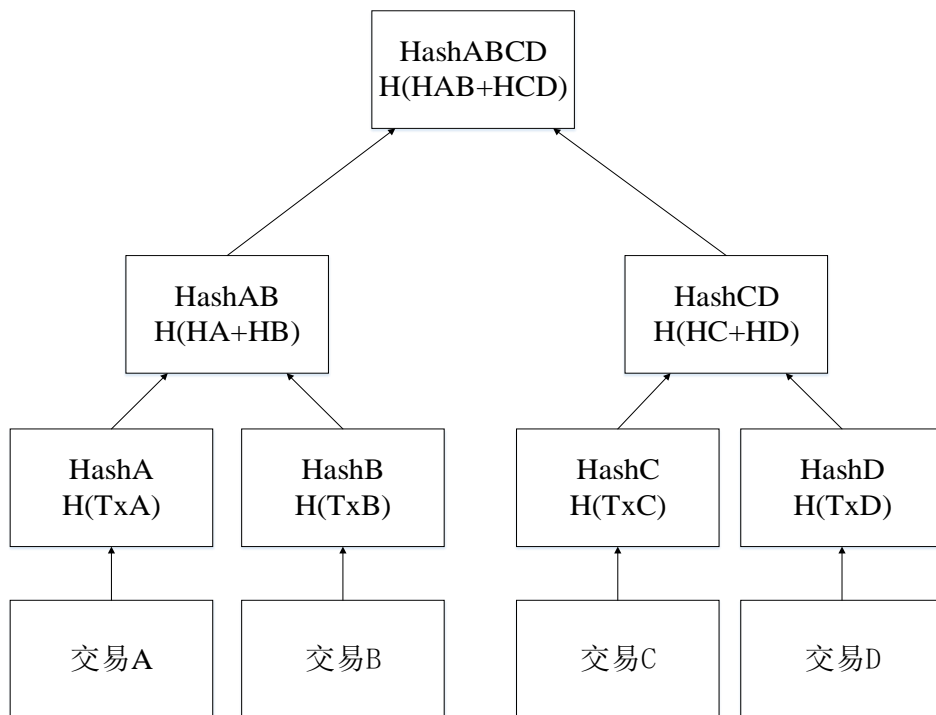


图 2 Merkle Tree 算法原理图

1.5 共识算法

区块链结构采用的是去中心化的分布式账本，那么需要解决的是如何保证这些账本上的账本数据的一致性和正确性或者是如何对系统中某一个节点或者多个节点提出的提议达成一致，这就需要借助共识算法，确定网络中选择记账节点的机制，以及如何保障账本数据在全网中形成正确、一致的共识。袁勇、王飞跃对区块链中的共识算法进行了梳理，提出了共识算法的基础模型和分类的方法，并总结了现有共识算法的若干性能指标^[9]。

1.5.1 Paxos 算法

在 Paxos 算法中，共分为 4 种角色，分别是议题提议者（Proposers）、决策者（Acceptors）、产生议题者（Client）、最终决策学习者（Learners），其中议题提议者和最终决策者是最重要的，Paxos 算法大致流程如下：

- （1）由 Proposer 提出议题
- （2）Acceptor 初步接受或者是不接受

(3) 如果上一步 Acceptor 初步接受则 Proposer 再次向 Acceptor 确认是否最终接受

(4) Acceptor 最终接受或者 Acceptor 最终不接受

如果有多数个 Acceptor 最终接受了某个提议，就能得到相应的结果。如图 3：

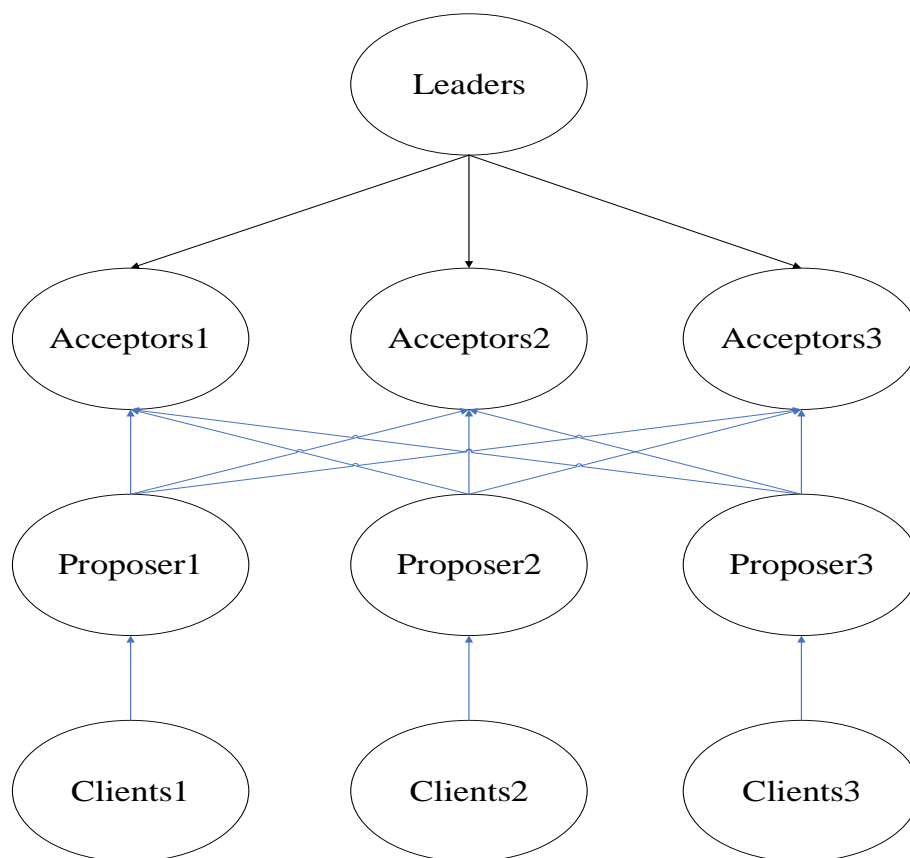


图 3 Paxos 算法流程图

1.5.2 Raft 算法

由于 Paxos 算法难以理解，将 Paxos 算法逐步演化成 Raft 算法，目的是便于理解且易于实现。Raft 算法是 Diego Ongaro、John Ousterhout 两人于 2013 年在斯坦福大学提出的，Paxos 算法和 Raft 算法都是问了达成一致性的目标，但是二者的区别是参选的过程不一致。在 Raft 算法中，任何一个服务端都可以扮演下面的任何角色：

(1) Leader：处理所有的客户端发来的请求、日志复制等，通常情况下，一次只有一个 Leader

(2) Follower：和参选的选民相似，是被动的

(3) Candidate 候选人：和 Proposer 相似，有成为被选举为新领导人的权力

1.5.3 工作量证明算法（PoW）

区块链其实是一个去中心化的分布式账本，从去中心化账本系统的角度看，每个加入区块链系统的节点都要保存一份完整的数据账本，如果同时去记账的话，就会导致账本的不一致，造成混乱。因此，需要有共识算法来达成记账的一致性，比特币区块链系统就是通过竞争记账的方式解决去中心化的记账系统的一致性问题。比特币系统利用每个节点的计算能力即“算力”来获得竞争的记账权，大约每 10 分钟进行一次算力竞赛，获胜者获得一次记账的权力，并向其他节点广播新生成的账本信息。这个算力竞争的结果就是 PoW 完成的，PoW 就是节点完成一定难度工作量的证明。它的主要特点是计算的不对称性，参与竞争的节点需要做一定难度的工作量并得到一个结果，而验证方却很容易验证这个结果的有效性。

1.5.4 实用拜占庭容错算法 (PBFT)

PBFT 是一种状态机复制算法, 每个状态机的副本都保存了服务的状态, 同时也实现了服务的相关操作, 该算法降低了原始拜占庭算法的复杂度, 并且在保证安全性和活性的前提下, 提供失效节点不超过 $n-1/3$ 的容错保证。在 PBFT 算法中, 共分配有 3 种角色, 它们分别是客户端、主节点、备份节点。客户端是发送请求的一方, 主节点主要负责接收客户端的请求, 并将信息向全网广播, 备份节点又称为从节点, 接收主节点的消息, 验证成功之后执行相应的操作, 并将执行结果返回给客户端。PBFT 的算法流程大致为:

- (1) 客户端发送请求, 调用服务端的相应操作
- (2) 主节点接收到请求后, 执行预准备阶段、准备阶段、确认阶段的协议并向全网广播该请求
- (3) 副本节点执行相应的请求, 并进行验证
- (4) 客户端等待来自不同节点的相应, 若有 $x+1$ 个响应是相同的, 则该响应即是请求的最后结果。

2 区块链技术的应用

目前国内主要研究区块链技术的作者主要将区块链技术应用在金融服务行业、食品安全、版权保护等领域, 特别是在征信方面, 区块链技术有着特殊的优势, 杨玉宛等人利用区块链技术的去中心化和去信任的特点展开了对数字版权保护方面的研究^[10], 刘丹枫对区块链技术的发展态势和应用前景做了详细的分析, 在区块链技术的优势特点带来极致的同时, 还要对它的缺点加以完善, 让区块链有更好的发展和应用^[11]。林延昌基于区块链技术对食品安全溯源。赵赫、李晓风、占礼葵等人的将区块链技术应用在采样机器人系统中, 保证采样机器人的数据不受篡改^[12], 基于以上内容, 基于区块链的技术主要应用在金融服务、食品安全、版权保护等方面。

2.1 在金融领域的应用

王硕详细地分析了区块链技术在金融领域的研究现状及创新趋势分析, 分析了区块链支付模式与传统支付模式的区别^[13], 金融机构之间的清算、结算和转账等支付业务需要很多复杂的流程, 需要的成本很高, 特别是在跨境支付中, 手续费用昂贵和时间周期漫长一直是金融行业的痛点, 运用区块链技术, 交易的双方不再依赖一个中心化的中央系统来完成清算、结算与转账业务, 而是一个去中心化的共识机制来完成支付功能, 这将大大的简化了许多流程, 需要的成本也降低了很多, 提高了效率, 因此, 基于区块链技术可以改变传统的跨境支付费用高、时间周期漫长的劣势。在审计方面, 区块链是一个去中心化的分布式账本, 可以保障数据的真实性和完整性, 不容易被非法分子篡改数据, 因为在区块链系统中, 要想篡改数据, 至少需要 51% 的算力攻击, 需要的代价很高。因此, 可以保障数据的完整性。

2.2 食品安全领域的应用

食品安全一直是国家关注的重点问题, 它关系着国家的民生问题, 近年来, 国内出现了许多食品安全问题, 导致很多人吃了这些不安全的食品之后中毒甚至是死亡。所以, 应该我们采取有效的措施解决这个问题。林延昌基于区块链技术对食品安全进行溯源, 他从技术层面对食品安全溯源系统的可行性进行了分析, 之后探讨了将区块链应用于食品追溯系统的数据存储、信息传递及验证模式, 区块链技术的对数据的不可篡改、去中心化、分布式的特点保障数据的完整性, 从技术层面解决了食品安全问题^[14]。

2.3 数字版权领域的应用

随着互联网和数字化技术的快速发展, 数字化内容爆炸式增长, 相对应的数字版权侵权问题越来越严重, 数字内容与传统的其他产品内容不同, 数字内容复制和传播的成本几乎为零, 这样的话, 就没有用户再为数字内容付费使用, 在网络上随意就可以获取到, 这严重阻碍了数字内容产业的发展。因此, 针对此问题, 我们应该如何从技术手段来保护数字内容不受非法复制、传播等。吴洁明、王帅提出基于 DCI 的数

字作品著作权保护研究和设计，肖芸、肖明波提出了基于特征图像的数字版权保护系统。李良旭基于区块链技术研究了在数字版权中的应用，他针对区块链技术存在的共识问题进行研究，基于拜占庭容错算法，提出了改进的实用拜占庭容错算法（APBFT），改进了公式速度慢、吞吐量低的问题。然后又提出了一种基于区块链技术的数字版权登记数据交互与存储模型，采用 APBFT 算法，改善了吞吐量低与资源浪费的问题，并根据提出的改进算法和模型，设计并实现了基于区块链技术的数字版权登记系统，从技术上是实现了对数字版权的保护^[15]。

3 基于区块链技术的版权保护

区块链创造性地使用技术的方式为交易双方建立信用，而无需第三方机构的参与，从而极大程度的降低了交易成本。区块链的分布式共识、时间戳等技术特点的优势，为数字版权提供了保障。区块链技术在安全性和可靠性上有着突破性的进步，在数字货币方面已经得到了有效性的验证。不止于此，区块链在其他方面的应用也有明显的优势。

3.1 数字版权遇到的困境

随着互联网的迅速发展，信息传播的简洁性和快捷性使得人们获取信息越来越方便，由网络带来的侵权现象越来越严重，网络侵权和传统的盗版不同，它是借助于网络、社交分享和云平台具有上传下载方便，易于传播的特点，难以控制。楼文高等人分析了数字版权的现状及其发展趋势^[16]，数字版权已经发展了很多年，国内外也都已经有了一些研究成果，但是他们没有从根本上解决数字版权保护问题，只是通过一定的手段防止数字内容被非法拷贝。中心化的数字版权系统很容易受到攻击，一旦中心节点被篡改，将会导致整个系统瘫痪。面对数字版权问题，我们应该积极保护知识产权，维护相关知识产权的利益，同时保护数字版权还需要借助法律，将法律和技术相结合共同保护数字版权。

3.2 时间戳与版权保护

区块链本身就是以密码学哈希算法所产生的哈希值作为链接指针的一连串数据区块，时间戳这个特点可以版权的追溯，数字作品所有者可以将版权信息和版权交易的信息记录在区块链上。任何交易都可以被追溯和查询。在区块链系统中，经过了工作量证明的矿工获得打包新区块的权利，这个矿工在打包新区块的同时，会在区块链的头部加盖时间戳，增加了时间维度，用于记录新区块的产生时间，使得通过区块数据和时间戳重现历史成为了可能。加上时间戳还可以解决双重支付问题，中本聪在其白皮书中曾提到：只要诚实的节点所控制的计算能力的总和，大于有合作关系的攻击者的计算能力的总和，就是安全的。并且区块体中的哈希树将每一笔交易进行数字签名之后加盖时间戳储存在区块头中，利用它可以追溯区块链中的任意交易和记录。

3.3 工作量证明机制与版权保护

区块链系统中的工作量证明机制是指为达到某种目标而设置的一种验证方法，让系统中的每一个节点都参与每一笔交易，这些都是由算法自动完成的，无需进行人工干预，区块链运用工作量证明机制的最核心思想就是运用分布式节点的算力竞争来保证交易数据的一致性和安全性。工作量这个证明的步骤如下：

（1）将版权信息生成一个 coinbase 交易，并与其它所有准备打包进区块的所有交易组成交易列表，通过 Merkle Tree 算法生成 Merkle Root Hash。

（2）把 Merkle Root Hash 及时间戳、著作人、著作时间等相关字段组装成区块头，将区块头的 80 字节数据作为工作量证明的输入。

(3) 不停地变换区块头中的随机数（即 **Nonce** 的数值），并对每次变更后的区块头做双重 **SHA-256** 运算，将结果值哈希反转并与当前网络中的目标值对应的十进制字符串做对比，如果小于目标值，则解题成功，则工作量证明完成。



图 5 工作量证明步骤示意图

3.4 智能合约与版权保护

智能合约具有确定性、实时性、可验证、去中心化等特点。智能合约可以指定哪些数据可以被人共享或者不可以共享，智能合约是尼克萨博提出的理念。尼克萨博对智能合约做出如下描述：“智能合约是一个由计算机处理的、可执行合约条款的交易协议。其总体目标是能够满足普通的合约条件，例如支付、抵押、保密甚至强制执行，并最小化恶意或意外事件发生的可能性，以及最小化对信任中介的需求。智能合约所达到的相关经济目标包括降低合约欺诈所造成的损失，降低仲裁和强制执行所产生的成本以及其他交易成本等。”，区块链可以为智能合约提供可靠的执行环境，以太坊实现了区块链和智能合约的完美契合，以太坊是内置有图灵完备编程语言的区块链，只要设定好所有权规则，交易方式和转换函数，就可以在系统中自动执行，只有满足某些条件才能修改里面的内容，相对较安全。但是智能合约还存在一些问题，贺海武基于智能合约存在的问题，从效率、隐私、安全、标准不统一 4 个方面探讨和分析了区块链智能合约技术发展中需要解决的问题^[17]。

3.5 数字签名与版权保护

数字签名就是在要发送的信息的后面加上另外一段内容，作为发送者的证明并且保证信息没有被篡改过。发送方首先将需要发送的消息用哈希算法进行一次哈希运算得到一个哈希值，然后用私钥对该哈希值进行加密，得到一个数字签名，然后再将要发送的信息和数字签名捆绑在一起发送给接收方，接收方接收到消息后，利用发送方的公钥对签名进行解密，将加密前的哈希值还原出来，再通过哈希算法将还原出来的哈希值和验证出来的哈希值比较是否一致，从而能够验证信息是否来自发送方或者是否被篡改过，比特币的交易是通过转账的形式，为了提高效率，交易可以有多个输入和输出，即发送方的一笔交易可以转账给多个接收方。交易的双方都会拥有一对公钥和私钥，例如用户 X 给用户 Y 发送一条交易，用户 X 利用私钥加密并签署数字签名，附加到交易中并形成交易广播至全网，这样所有的节点都将此信息加入到区块中，矿工通过工作量证明获得记帐权，经过全网认证之后，在最长的链条上加上新的区块，由于交易记录公开透明、不可篡改，能够对版权起到很好的保护作用。

3.6 分布式共识与版权保护

分布式共识区块链系统最大的特点就是去中心化,在整个系统中没有一个中心节点,每个节点地位均等且以扁平式拓扑结构相互连接,并且每个节点都保存一份完整的数据,供用户进行查询。以比特币的一个交易为例,当有交易产生的时候,新交易会经过洪水算法广播到全网,通常在一两秒内,交易或者区块的信息就可以传遍全网,同时各个节点会验证数据的真实性和区块的有效性,并将结果返回给每一个节点,所以,每一个参与节点都平等的、公开透明的保存数据,并受到各个参与节点的共同监督,任何一点想要修改数据,必须得经过 51% 以上的节点同意,代价很大。因此,实现了数字版权内容的防篡改,对于数字版权的保护起到了很大的作用。

4 结语

本文详细的介绍了目前国内基于区块链的数字版权保护的发展现状,并详细介绍了区块链的相关理论知识和算法,区块链并不是一项新技术,而是新的技术的组合,包括 P2P 动态组网、基于密码学的共享账本、共识机制、智能合约等关键技术。也是互联网之后又一新的技术变革,互联网很好的实现了信息的传递,而区块链巧妙的实现了价值的传递,两者相辅相成,区块链为数字版权保护提供了关键的技术支持,使得更多的数字作品创造者有了很大的空间,能够对他们创造出来的数字作品进行保护,鼓励广大作者创作,具有很大的意义。智能合约被设计的越来越自动化,分布式共识又是区块链的关键特点,将这些技术相结合,区块链有长远的发展前景,未来区块链还可以应用在医疗卫生、信息安全、云计算、物联网、人工智能等领域。

参考文献

- [1] Peter kumik. Digital Rights Management[J]. Legal Information Management, 2001, 1(2):21-23.
- [2] Park H, Yoon H, Hwang J, Prospect of the next-generation digital content industry: Three perspective approach to the user acceptance of the Realistic content technology[C]. 2016 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2016: 675-680.
- [3] Zhaofeng M. Digital rights management: Model, technology and application[J].
- [4] Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system [Online]. 2008.
- [5] 吴洁明, 王帅. 基于 DCI 的数字作品版权保护研究和设计[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(8):1486-1491.
- [6] 肖芸, 肖明波. 基于特征图像的数字版权保护系统[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50 (11):105-109.
- [7] 刘欣亮, 黄涛, 张志勇. 面向开放互联网的多媒体数字版权保护系统[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36 (2):363-368.
- [8] Nguyen Q K. Blockchain - A Financial Technology for Future Sustainable Development[C]. 2016 3rd International Conference on Software Engineering and Service (ICSESS), 2016: 51-54.
- [9] 袁勇, 王飞跃, 倪晓晓, 曾帅. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4):481-494.
- [10] 杨玉宛. 基于区块链技术的版权保护问题研究[J]. 科技传播. 2018: 165-168.
- [11] 刘玉枫. 区块链技术发展态势及应用前景研究[C]. 2018 年北京科学技术情报学会学术年会—智慧科技发展情报服务先行, 北京, 2018.
- [12] 赵赫, 李晓风, 占礼葵, 等. 基于区块链技术的采样机器人数据保护方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(S1): 216-219.
- [13] 王硕. 区块链技术在金融领域的研究现状及创新趋势分析[J]. 上海金融. 2016: 26-29.
- [14] 林延昌. 基于区块链的食品安全追溯技术研究与应用. 广西大学. 2017:14-22.
- [15] 李良旭. 区块链技术在数字版权中的研究与应用[D]. 北京:北方工业大学, 2018.
- [16] 楼文高, 孟祥辉. 数字版权保护技术的现状及其发展趋势[J]. 出版与印刷, 2007(4):7-10.
- [17] 贺海武, 延安, 陈泽华. 基于区块链的智能合约技术与应用综述[J]. 计算机研究与发展. 2018.

【作者简介】



†吕永飞（1992-），男，汉，在读研究生，研究方向：区块链、图像处理。

Email: henulvyongfei@163.com