

基于区块链的音频版权存证模型

刘嘉琪¹ 刘贝丽² 彭韬^{3,4} 段江^{1,3,4} 康立^{1,4} 陈智^{1,4}

1 西南财经大学经济信息工程学院 成都 610054

2 成都体育学院新闻与传播学院 成都 610054

3 成都九宽科技有限公司 成都 610054

4 西南财经大学中国区块链研究中心 成都 610054

(1741493724@qq.com)

摘要 文中提出了一种基于区块链存储的音频版权存证模型,它使得音频作品可以独一无二地存证于不可篡改的区块链上,中间不需要通过额外的版权代理机构。唯一标识一段音频的音频指纹虽然可以部分解决版权存证中盗版等问题,但是如果仍然需要中心化平台的支持才能杜绝盗版的话,那么版权保护仍然存在效率低下、不透明和不可信等问题,因而失去了价值。在此提出“区块链+音频指纹”的解决方案,从版权登记入口预防版权盗用,为建立数字版权交易平台以及解决版权交易信息不透明等问题提供技术基础。该模型基于区块链不可篡改、可溯源的先天优势,将产生的音频指纹压缩拆分、加入时间戳,通过用户私钥签名,构造出基本的作品发布证明,发送给区块链的每个节点,节点进行签名确认、打包进区块,完成存证。

关键词: 音频指纹;区块链;不可篡改;版权存证

中图分类号 TP311

Blockchain Based Audio Copyright Deposit Model

LIU Jia-qi¹, LIU Bei-li², PENG Tao^{3,4}, DUAN Jiang^{1,3,4}, KANG Li^{1,4} and CHEN Zhi^{1,4}

1 School of Economic Information Engineering, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 610054, China

2 School of Journalism and Communication, Chengdu Sport University, Chengdu 610054, China

3 Chengdu 9broad Technology Co., Ltd., Chengdu 610054, China

4 Blockchain Research Center of China, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 610054, China

Abstract This paper proposes an audio copyright certificate model based on blockchain storage, which makes the audio works uniquely and can be stored on the blockchain that cannot be tampered with, without the need for an additional copyright agency. Although the audio fingerprint that uniquely identifies a piece of audio can partially solve problems such as piracy in copyright certificates, the support of a centralized platform is still needed to eliminate piracy, then copyright protection still has problems such as inefficiency, opacity, and untrustworthiness. Here a "audio fingerprint+blockchain" solution is proposed, to prevent copyright theft from the copyright registration portal, to provide a technical basis for the establishment of a digital copyright trading platform and the resolution of opaque copyright information. The model is based on the intangible advantage of the blockchain, which can not be tampered and traceable. The generated audio fingerprint is compressed and split, added with timestamp, and signed by the user's private key to construct a basic work release certificate, which is sent to each node of blockchain. Each node performs signature verification, packages into the block, and completes the deposit.

Keywords Audio fingerprint, Blockchain, Non-tamperable, Copyright deposit

1 引言

在过去的十余年间,区块链技术逐渐成为全球技术发展的前沿阵地。区块链是一种新型的底层的IT技术,用集成算法和技术的信任建立机制,改变了传统的依赖中心节点的信息验证模式。同时,将人类指纹用于识别是一种非常成功的数据缩减方法,仅根据指纹中的几个关键特征就可以确定一个人。类比于人类指纹,音频指纹是一种压缩的数字摘要,是从音频信号确定性生成的指纹^[1],基于一些关键特征来唯一识别音轨。本文通过探索“区块链+”模式,将区块链存储技术与音频指纹识别技术相结合,构建出不可篡改^[2]、侵权追溯的音频指纹存证模型。

到目前为止,关于音频存证模型还有以下几个问题有待解决,如模型的中心化存储方式存在安全隐患、信息不透明等不足;版权固证存证部门流程繁琐、周期长,难以跟上互联网上产生的音乐作品发展速度;2C(To customer)场景往往涉及高频的大规模数据存证操作,区块链模型缺乏有效应对和管理海量数据的方法和技术,难以在大规模2C方向落地应用。

本文提出一个新型的、安全的、快速的基于区块链的音频指纹存证模型(Musichive model, MHM),采用业务链与公链跨链^[3]锚定异构模型,将业务链交互活动和数据在公链(以太坊)进行存证,且自身满足大规模交易的高性能需求。其采用分布式内存数据库技术和高速缓存相结合的可扩展架构。区块链模型支撑的事务处理量(Transaction Per Second, TPS)

达到每秒 3000 次左右。

2 研究背景及意义

早期的中心化版权平台并不具备音乐识别、查重检测等功能,盗版现象严重,一首歌即便没有获得版权,换个名字上传到平台也可以继续牟利。同时,常有作品抄袭现象发生,如一首歌的某个片段与另一首歌旋律一致。现有的一些音乐版权平台采用生成大量的音频指纹记录来识别盗版音乐,但是其存储方式的是中心化数据库,数据易被删除和篡改,公信力逐渐丧失,在其基础上构造的音乐版权交易平台也存在交易信息不透明、不可溯源的问题,需要指定数据集和需求的规格格式,提供标准合同^[4],图 1 所示为音频交易的典型过程。另一方面,中心化存储的服务器模型,其目标明显,极易遭到攻击,也无法保证版权数据的安全性。

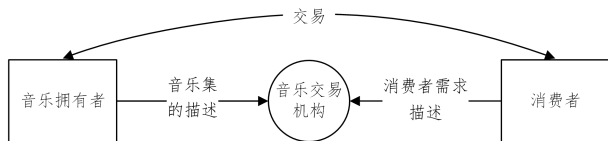


图 1 音频交易的典型过程

Fig. 1 Typical process of audio trading

2.1 音乐版权存证技术国内外现状分析

Spotify 在 2019 年 4 月达成 1 亿付费订阅用户数,在 Spotify 上一百万流量可以获得 7000 美元,与团队、制片人、唱片公司分成之后,作者通常收入约 1200 美元,每天上传的歌曲将近 4 万首,管理这么多内容的版权和收益,是一个艰巨的任务。Pandora 平均收入更低,每百万流量 1650 美元。中心式机构^[5]可以随意改变收益规则,向作者收取任意费用。作品销售情况不透明,同时作品被下载流量也是不透明的,这对于版权所有者是极不公平的。目前,国内网易星球是基于区块链技术的生态价值共享平台,它是应用区块链技术,为平台用户更好更安全地记录行为数据;爱奇艺具有进行视频存证的功能,该功能基于区块链技术和领先的 AI 技术,用于对作品的作者、内容、创作时间等关键版权信息进行电子存证。

文献[6]研究了区块链如何帮助解决困扰音乐授权、版税追踪的问题,升级了许多涉及区块链技术的解决方案,介绍了 UJO 音乐公司为用户颁发不同类别的音乐版权许可证书,例如长期下载、流服务、stem 文件(用于混音)、同步权。文献[13]研究了区块链用于重组音乐行业的版权和使用费模型,主要介绍了 PeerTracks 和 UJO 音乐公司设想区块链用于控制版税和版权管理的商业模式,当播放歌曲时,曲目本身具有智能合约,该合约将立即触发付款,将其分配给版权所有者并直接支付到他们的账户中。

2.2 目前存在的问题

当前,版权管理部门的流程也难以适应现今音乐获取模式的发展和全球消费规模,数字音乐版权存证的维护周期长、成本高、流程繁琐。最根本的问题是缺乏关于音乐版权信息的权威的、可获取的数据来源(包括所有者的权利和许可条款)^[6]。曾有研究者试图建立单一的大型综合数据库例如全球曲目数据库(GRD)、世界知识产权组织的国际音乐注册处(IMR)、国际音乐合资企业(MJV),但是由于资金、管控以及收集和维持中心化数据的复杂性,这些尝试均失败了。自从现代银行发展以来,金融资产交易一直都需要一个可信第三方才可进行,由于数字资产具有可重现性的特征,可以被存

储、复制、转发。在没有可信第三方的情况下,交易一方可以试图同时与多方进行数字交易,这也进一步导致了严重的“双重支付问题”(double-spending problem)^[7]。

3 基于区块链的音频版权存证模型(MHM)

3.1 相关区块链原理概述

互联网技术已经颠覆了音乐产业,音乐行业作品已经在互联网生存,内容以数字形式在互联网上首发;音乐的传播和音乐产品的孵化完全在互联网上进行;用户都主动参与传播。而最近十年来发展出的区块链技术,则使得互联网信息进一步从内容数据化转向内容信任化,达到人与人(节点与节点)之间的“信任互联”^[8]。为了解决中心化模型带来的问题,使用去中心化^[9]的区块链进行版权存证可以简化版税支付过程,去掉昂贵的中间商,为音乐创作者建立新的高效的版权登记绿色通道,区块链技术也为音乐作品建立起更加公平透明的制作、管理、销售、购买、收听、下载的机制^[10]。区块链即服务^[11],基于区块链建立的版权交易平台,通过智能合约自动触发交易支付过程,省去人工流程并保障交易安全,实现直接面向粉丝的模式^[12]。

区块链通过加密技术将数据区块形式的子记录集与上一个区块链接起来,来维持交易记录随意的顺序^[13]。区块链可以降低基础架构和人工成本,尤其是它的不变性和透明性有助于减少人为错误,以及由于数据冲突而导致的手动干预,可以消除数据治理中的重复工作,从而有助于简化业务流程^[14]。其不可篡改特性依靠于哈希算法^[15],它被广泛使用在构建区块和确认交易的完整性上。并且哈希函数具有单向性,即从哈希输出无法倒推输入的原始值,以及抗碰撞性,即出现两个能够产生碰撞的不同原始值在计算上的概率是非常低的。

相较于中心式存储方式,区块链较难达到半数以上的算力进行 51% 攻击,而且还要对散列块进行反向工程,对其中包含的交易数据进行更改,将新块插入到每个节点,这将需要目前仅在理论上存在的量子计算能力水平。假设 q 为攻击者制造出下一个节点的概率, p 为诚实节点制造出下一个节点的概率,攻击者在已经添加了 z 块后发生攻击成功追赶上诚实链条,即攻击成功的概率为 $P(A)$, B_k 设为攻击者取得 k 个区块的事件,假设 $P(B_k) = \frac{1}{k!} \lambda k e^{-\lambda}$,则 $P(A)$ 有两种情况:

$$(1) P(A) = 1, \text{ 如果攻击者已经追上 } (k \geq z);$$

$$(2) P(A) = \left(\frac{q}{p}\right)^{z-k}, \text{ 如果尚未追上,且差距 } z-k \text{ 个区块,则:}$$

$$P(A) = \sum_k P(A|B_k) P(B_k) = \begin{cases} \sum_k \left(\frac{q}{p}\right)^{z-k}, & k < z \\ \sum_k 1, & k > z \end{cases} \quad (1)$$

令 $P(A) < 0.1\%$, 可得当攻击者制造出下一个节点概率 q 为 10%、攻击者落后 5 个区块时,攻击成功的概率小于 0.1%; q 为 45% 时, z 为 340 时, $P(A) < 0.1\%$ 。所以应用区块链作为存储结构的模型可以使存证更加可信化。

区块链存储技术依靠图 2 所示的 Merkle Tree 数据结构实现可追溯性^[16],Merkle Tree 可以快速找出错误的区块,仅重下载一个数据块即可。要对两个文件被篡改或丢失的地方溯源,只需先比较 merkle root 根节点,如果不一致则检索

其子节点 node01 和 node23, 假设 node01 不同, 再继续向下检测, 以此类推, 找到错误的数据块^[17]。

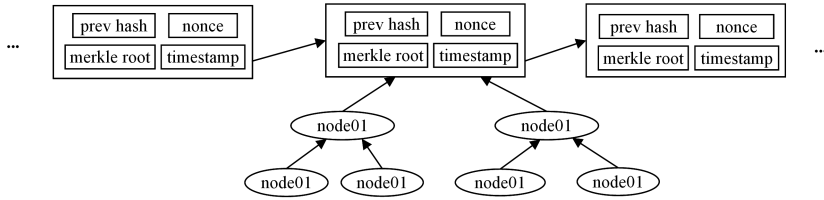


图 2 区块链原理图

Fig. 2 Blockchain schematic figure

3.2 MHM 存证模型模块

MHM 区块链存证模型通过上述的区块链不可篡改特性, 能够有效解决现有存证技术的存储方式易被删改、易被攻击、信息不透明的不足。由于区块链本身是分布式模型, 只要节点将区块打包上链, 此区块经过各节点确认, 即存证完成, 周期缩短, 成本较低, 流程简单, 同时相当于发布一份作品信息的权威认证证明。所有已认证的作品均可在链上获取。可以认为, 此区块链存证模型为可信的音乐版权第三方。模型模块架构由共识层、应用层、接口层组成。

(1) 共识层

基于 21 个证人的信任渗透共识机制, 其中一个证人随机生成。证人由投票选举出, 一旦证人失职, 投票人可以取消投票。半数以上的合谋行为可能性很小, 而且即便合谋, 很快也会被其他节点纠正, 进行分叉。虽然节点数量远比不上比特币和以太坊, 但这种机制更易实现, 并且业务链的存证周期性永久固化至以太坊上, 业务链同样具备以太坊的公信力。

(2) 应用层

用户上传一段音频后, 即可生成对应的独一无二的音频指纹, 并获得作品存证证书, 如果用户发现疑似有人抄袭的作品, 同样可以上传侵权作品, 模型会提供指纹对比, 以便后续维权的有力证据。正如工业和信息化部信息中心发布的《2018 年中国区块链产业白皮书》, “区块链因其本身具备不可篡改、可追溯特征, 极适合与电子存证相结合”。

(3) 接口层

调用接口, 用户可以查询账户历史、存证证书、证人信息、区块链数据。例如通过 curl 工具请求 web 服务器调用 info 接口:

1. curl -X POST --data
{“jsonrpc”:“2.0”, “method”:“info”, “params”:[], “id”:67}
- http://49.4.54.159:8093
2. {“id”:67,
3. “result”: {“id”:“2.0.0”,
4. “head_block_number”:210,
5. “head_block_id”:“000000d2f59fe359fc9f54b19cb13c68ca3a47d6”,
6. “time”:“2018-04-24T03:46:09”,
7. “current_witness”:“initminer”,
8. “current_supply”:“60351.480 PIX”,
9. “total_vesting_shares”:“59931.480000 VESTS”,
10. “average_block_size”:22,
11. “maximum_block_size”:131072,
12. “participation_count”:128,
13. “last_irreversible_block_num”:210,
14. “max_virtual_bandwidth”:“290665267200000000”,
15. “current_reserve_ratio”:11,
16. “vote_regeneration_per_day”:40,
17. “head_block_age”:“2 seconds old”,

18. “account_creation_fee”:“0.001 PIX”}

3.3 MHM 存证模型设计

存证模型流程如图 3 所示。

(1) 用户将作品数据上传, 模型自动生成作品的音频指纹 d 和用户私钥 sk , 一首正版歌曲约 4 min 左右, 产生指纹数据十万条, 大概 450 kB 大小。

(2) 对指纹索引地址 ad 、对称加密密钥 sek 加密, $AdGen(d) \rightarrow ad_1, Enc(ad_1, sek) \rightarrow ad_{en}$ 。

(3) 模型将指纹数据压缩并拆分, 将拆分后的所有指纹 dc 加入时间戳^[20], 通过用户的私钥签名 sk , 构造出基本的作品发布证明,

(4) 该证明被包装成区块链“发布交易”的形式发送给区块链网络的每个节点, 出块节点(区块链矿工)接收到之后, 通过用户之前提供的公钥对交易进行签名确认, 将所有数据打包进区块, 完成存证, 即 $ad_{en}, dc \rightarrow blockchain$ 。

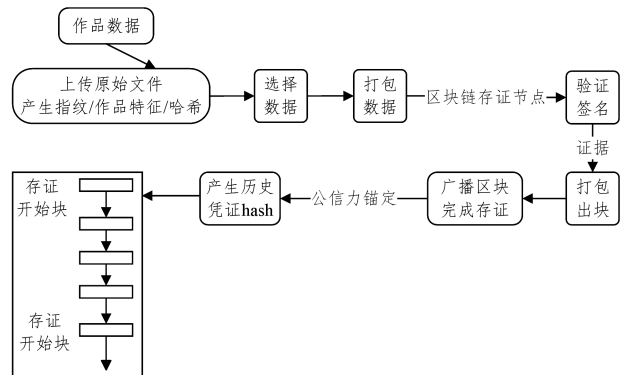


图 3 存证模型流程图

Fig. 3 Flow chart of certificate deposit model

只有唯一对应时间和指纹数据的组合, 才能匹配用户用私钥签名后的数据, 由于整个区块链模型具有不可篡改的记录时间信息和指纹数据的特性, 因此一旦音乐作品登记在该模型上, 就相当于该音乐的原创版权证据被永久固化在该模型上。区块链无法同时达到可扩展性、去中心化、安全性, 所以为了得到既满足较高 TPS(峰值大于 3000), 又具备相当公信力的去中心化(21 个节点)的区块链模型, 令存证操作数据定时向公链锚定, 侧链的数据可以接受用户的查询和监督。

由于我们使用的是音频指纹而不是简单的哈希, 即便在文件被修改(翻唱等)的情况下, 此音频指纹均能够有效识别作品是否与模型中现有版权作品相同。真正做到了版权存证的同时, 提供了盗版识别的功能。同时一旦出现盗版行为, 可有效溯源, 真正维护作者权益。

存证部分核心函数算法如算法 1 所示, 分别实现音乐文件预处理、验证签名和打包出块操作。

算法 1 DepositFlow

1. function data_process(musicfile)

```

2. fps[]←compute_fp(musicfile)
3. piece_fps_zip[]←zip&.split(fps)
4. for piece_data in piece_fps_zip:
5.     piece←getTimestamp(piece_data,block.timestamp)
6.     upload(piece,private_key)
7. end function
8. function sig_verify(piece_fps_zip,private_key)
9.     while(piece_fps_zip):
10.        if crypt(piece,private_key)==public_key
11.            package_block(piece,private_key)
12.        else
13.            piece_fps_zip++
14. broadcast(piece_fps_zip,private_key)
    
```

3.4 MHM 中的音频指纹识别技术

伴随着数字音乐发展,基于音频特征的音频识别算法被越来越多地应用在音频搜索、版权登记和盗版识别等提出的领域。例如 Shazam 等提出的音频搜索算法使用快速索引星座图法(a fast way of indexing constellation maps)^[21]将两个时频点组合在一起构成一个指纹哈希,包括两个频率分量和点之间的时间差。相比之下,传统的数字音频比较方法有各种缺陷,例如波形比较方法效率不高;数据文件 MD5 或 CRC 散列的比较方法很脆弱,单个位翻转就使得哈希完全改变。音频指纹^[22]具有很高的可复现性,独一无二,无论压缩^[23]、调幅程度和噪声干扰^[24]如何,都能够准确识别样本,且效率较高^[25]。其具有将未标记的音频片段链接到对应的元数据(艺术家、歌曲名称、曲风类别等)的功能,同时可用于识别^[26]音频样本、版权存证及许可。当识别^[27]样本后,与数据库中类似项目作比对,从而可以在登记版权之前进行查重并作出盗版检测,在发生版权纠纷时能够有效保护版权。

音频指纹的获取过程如图 4 所示。将频谱图视为图像,使用图像处理工具包和 scipy 技术,结合高通滤波器和 scipy 局部最大值结构来找到峰值^[29]。指纹哈希根据某个密度标准,在频谱图中选择目标区域某一峰值作为锚点,每个锚点顺序地与其目标区域内的峰值点配对,每对哈希为第一个峰值的频率 f_1 (8 位)、第二个与第一个峰值间频率差异 f_2-f_1 (6 位)、两个峰值之间的时间帧计数 Δ (6 位)。

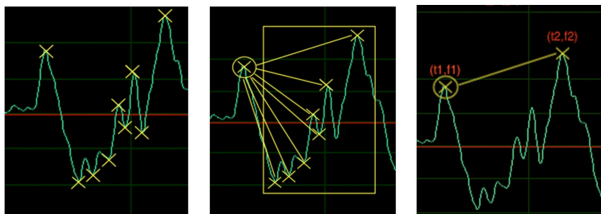


图 4 音频指纹原理图

Fig. 4 Audio fingerprint schematic figure

基于音频指纹构建的音频数据库中,每一个指纹都伴随有一个 20 位哈希(hash)、一个从文件开头到该锚点的时间差(offset)以及音频 ID(song_id)。音频表将 song_id 与音频名称匹配起来,当指纹数据拆分上链后依据此表关系可以找到该音频所有指纹。指纹哈希需要 1M 个不同的哈希空间,假设每个哈希容器都有空间来记录 n 个不同的片段,即使哈希空间被用尽,也可以通过随机删除条目来保存有效的指纹数据,同时也不会影响匹配精度。如果定义 R 为音频指纹所需数

据量(RAM 消耗)的上限,则其计算方法为: $R=220$ 个容器 * n 个条目/容器 * 4 bytes/条目 = $4n$ MB^[30]。

4 分析与测试

本文所使用的数据集包括 556 条音频数据(2.55 GB),对应指纹数据共 4.09 GB 大小。选取其中 37 条数据进行分析,如图 5 和图 6 所示,为匹配时间与音频时长、匹配置信度呈现正相关的态势,音频时长越长,匹配置信度越高,匹配所需时间越长。

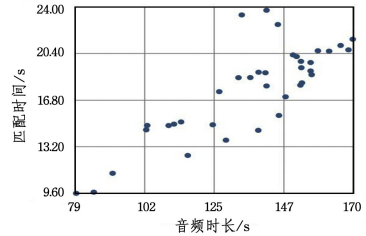


图 5 音频时长与匹配时间的关系

Fig. 5 Relationship between audio duration and matching time

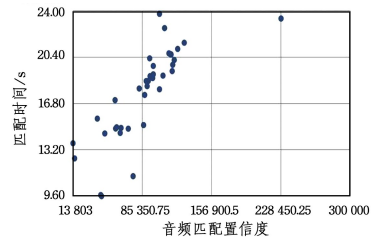


图 6 音频匹配置信度与匹配时间的关系

Fig. 6 Relationship between audio matching confidence and matching time

表 1 将代表性的区块链技术与本模型对比,从共识机制、业务逻辑、参与模型 3 个方面进行比较^[18]。

表 1 代表性的区块链技术对比

Table 1 Comparison of representative blockchain technologies

| 区块链技术 | 分布式共识机制 | 业务逻辑支持 | 参与模型 |
|--------------------------|-------------------------------------|------------|--------------|
| bitcoin | proof of work mechanism | 非常有限的脚本 | 无限制,任何人都可加入 |
| ethereum ^[19] | proof of work mechanism | 完全程序化的智能合约 | 无限制,任何人都可加入 |
| hyperledger fabric | byzantine fault tolerance mechanism | 完全程序化的智能合约 | 限制,只有被授权方能加入 |
| Musichive model | proof of value contribution | 完全程序化的智能合约 | 无限制,任何人都可加入 |

结束语 目前,本文提出的音频版权存证技术正在实际的商业产品¹⁾中进行应用,该产品是一个基于区块链的版权存证和激励型社交应用。

本文提出了一种基于区块链存储的音频版权存证模型,它使得音频作品可以唯一地存证于不可篡改的区块链上。通过区块链技术构建出的音频指纹大数据^[31],我们实现了一个支持盗版检测的数字音乐版权登记与存证的平台。

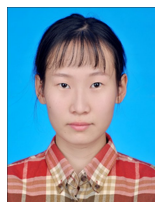
有了版权,自然就会有版权的交易。在区块链数字音乐版权登记与存证的平台之上,未来可进一步实现基于区块链技术的数字作品版权交易功能,即构建区块链版本的数字版

¹⁾ 产品“像素蜜蜂”,由西南财经大学中国区块链研究中心与成都九宽科技有限公司合作研发

权交易平台。将音乐应用拓展到其他数字作品或者数字资产,可使该平台成为一个更加公正透明的数字资产交易平台,在很大程度上解决现有资产平台销售不透明等中心化问题,促进知识产权保护机制^[32]的发展和文化产业的繁荣。

参考文献

- [1] LIU J W, LI X L, YE L, et al. BPSD: A Blockchain Based Privacy-Preserving Data Sharing for Electronic Medical Records[J]. arXiv:1811.03223.
- [2] CHEN J C, XUE Y Z. Bootstrapping a Blockchain Based Eco-model for Big Data Exchange[C]// BigData Congress. 2017:460-463.
- [3] BACK A, CORALLO M, DASHJR L. Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains[OL]. <https://copyrightandtechnology.com/2017/04/04/new-white-paper-watermarking-technology-and-blockchains-in-the-music-industry/>.
- [4] MENG Q X, LI J. Research on the Change of Music Copyright Protection Path from the Perspective of Blockchain[J]. Technology and Law, 2018(6):17-24.
- [5] HAN X, YUAN Y, WANG F Y. Blockchain Security Issues: Research Status and Prospects[J]. Journal of Automation, 2019, 45(1):206-225.
- [6] PAN D Y, LI F L. Blockchain and Cultural Industry—New Practice Trend of Digital Economy[J]. Cultural Industry Research, 2019(1):2-13.
- [7] ELLIS D, WHITMAN B, JEHAN T, et al. The Echo Nest Musical Fingerprint[OL]. <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=18580a809f2d0eh0185d06t0n4435389>.
- [8] MENG Z X, TETSUYA M, SUMIKO M, et al. Design Scheme of Copyright Management model Based on Digital Watermarking and Blockchain[OL]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8377886>.
- [9] CHEN H, ZHANG L J. FBaaS: Functional Blockchain as a Service[OL]. <https://dblp.uni-trier.de/rec/conf/icbc/ChenZ18.html>.
- [10] ADAM B, MATT C, LUKE D. Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains[OL]. <https://blog.acolyer.org/2014/10/28/enabling-blockchain-innovations-with-pegged-sidechains/>.
- [11] WANG W. A Survey on Consensus Mechanisms and Mining Strategy Management in Blockchain Networks[C]// IEEE Access. 2019:22328-22370.
- [12] LV Y H, CHEN Y. A Preliminary Exploration and Prospect of the Application of “Blockchain” Technology in the Copyright of Digital Music Industry[J]. Voice of the Yellow River, 2019(2):134-135, 137.
- [13] SI X M, XU M X, YUAN C. Review of Blockchain Security Research [J]. Journal of Cryptography, 2018, 5(5):458-469.
- [14] 斯雪明, 徐蜜雪, 苑超. 区块链安全研究综述[J]. 密码学报, 2018, 5(5):458-469.
- [15] NAKAMOTO S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash model [OL]. <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper>.
- [16] DINH T, WANG J, CHEN G, et al. BLOCKBENCH: A Framework for Analyzing Private Blockchains[OL]. <https://github.com/ooibc88/blockbench>.
- [17] SHEN C. Blockchain for Cities - A modelatic Literature Review [C]// IEEE Access. 2018:1-1.
- [18] LIU Y D, LI W, LI X Q, et al. A robust compressed-domain music fingerprinting technique based on MDCT spectral entropy [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38:1172-1176.
- [19] WOOD G. ETHEREUM: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger[OL]. <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=2ef61b38dc02b8fde0cfd5d0a496a c73>.
- [20] CHEN N. Blockchain-based digital music resource copyright management mechanism [J]. Art Education, 2019(1):54-55.
- [21] Acoustic fingerprint [OL]. https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_fingerprint.
- [22] ELLIS D, WHITMAN B, JEHAN T, et al. The Echo Nest Musical Fingerprint[OL]. <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=18580a809f2d0eh0185d06t0n4435389>.
- [23] LIU Y D, LI W, LI X Q, et al. A robust compressed-domain music fingerprinting technique based on MDCT spectral entropy [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38:1172-1176.
- [24] SHAO X. A non-parametric estimation approach for spectrum entropy computation in music-fingerprinting model[C]// 2010 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP 2010). 2010.
- [25] WANG A. An Industrial-Strength Audio Search Algorithm [C]// Proc. 2003 ISMIR International Symposium on Music Information Retrieval. Baltimore, MD, 2003.
- [26] DANIEL E, BRIAN W, TRISTAN J, et al. The Echo Nest Musical Fingerprint[OL]. <https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=18580a809f2d0eh0185d06t0n4435389>.
- [27] RIYANARTO S, DEDY W, MUHAMMAD M. Music fingerprinting based on bhattacharya distance for song and cover song recognition[C]// International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2019:1036-1044.
- [28] BACK A, CORALLO M, Dashjr L. Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains[OL]. <https://blog.acolyer.org/2014/10/28/enabling-blockchain-innovations-with-pegged-sidechains/>.
- [29] PEDRO C, ELOI B, TON K, et al. A Review of Algorithms for Audio Fingerprinting[OL]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1203274>.
- [30] YAN K, DEREK H, SUKTHANKAR R. Computer vision for music identification[C]// 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). IEEE, 2005(1):597-604.
- [31] LIU Y D, LI W, LI X Q, et al. A robust compressed-domain music fingerprinting technique based on MDCT spectral entropy [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38:1172-1176.
- [32] MATTIA B, ADRIANO B, BARBARA D F. Towards a Topological Fingerprint of Music. 2016.



LIU Jia-qi, born in 1995, M. S. Her research interest is blockchain.



DUAN Jiang, born in 1979, Ph.D, professor. His main research interests include blockchain and computer vision.