

自动化与智能化技术

区块链在产品溯源和包装防伪上的应用进展

陈思源, 崔子杰, 刘丹飞, 刘磊, 蒲玉梅, 钟云飞

(湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: **目的** 探究区块链技术在产品溯源和包装防伪上的应用现状, 以期为区块链防伪溯源体系的研究和建立提供参考。**方法** 整理国内外文献, 系统分析区块链技术的来源和发展, 概述区块链技术在实现防伪溯源上的机理; 然后总结在食品包装、电子存证和处方药溯源的相关应用研究。**结果** 相比传统的防伪和溯源手段, 区块链技术解决了防伪标签不可靠和溯源信息不完整等问题, 其赋能于食品供应链溯源, 不仅依靠分布式存储机制保存电子证据, 还将处方药溯源和电子病历相结合, 实现全生命周期溯源。**结论** 区块链技术有效解决消费者对食品安全的信任问题, 实现可靠且高效的电子存证, 为未来医药一体化打下坚实基础。

关键词: 区块链; 追踪溯源; 包装防伪; 共识机制; 分布式

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)01-0091-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.01.011

Application Progress of Blockchain in Product Traceability and Packaging Anti-counterfeiting

CHEN Si-yuan, CUI Zi-jie, LIU Dan-fei, LIU Lei, PU Yu-mei, ZHONG Yun-fei

(School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Hunan Zhuzhou 412007, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the application status of blockchain technology in product traceability and packaging anti-counterfeiting, in order to provide reference for the research and establishment of blockchain anti-counterfeiting traceability system. Domestic and foreign documents were collated to systematically analyze the source and development of blockchain technology, and outline the mechanism of blockchain technology in realizing anti-counterfeiting traceability. Then, the relevant application research of blockchain technology in food packaging, electronic certificate storage and prescription drug traceability was summarized. Compared with traditional means of anti-counterfeiting and traceability, blockchain technology solved the problems of unreliable anti-counterfeiting labels and incomplete traceability information. It enabled traceability in the food supply chain and not only relied on the distributed storage mechanism to save electronic evidence, but also combined prescription drug traceability with electronic medical records to achieve the traceability throughout the whole life cycle. Blockchain technology can solve the problem of consumers' trust in food safety and achieve reliable and efficient electronic certificate storage, laying a solid foundation for future pharmaceutical integration.

KEY WORDS: blockchain; traceability; packaging anti-counterfeiting; consensus mechanism; distributed

收稿日期: 2022-07-21

基金项目: 湖南省自然科学基金项目 (2021JJ30218); 湖南省高等学校产业化培育项目 (15CY003); 湖南省高等学校产学研示范基地 (2014-117)

作者简介: 陈思源 (1997—), 男, 硕士生, 主攻智能图像处理与包装防伪。

通信作者: 钟云飞 (1975—), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为先进印刷包装材料与技术及计算机应用。

当今全球贸易市场上流通着上万亿美元的假货产品,早在 2015 年假货市场经济比重占到了世界 GDP 的 2%^[1]。这些假货品牌不仅带坏社会风气,还损害正品厂商利益,更糟糕的是假货的产品质量问题,导致消费者售后缺失保障。

针对以上乱象,行业前辈开发出数字水印、全息图案作为应对策略^[2],其主要利用稀缺材料^[3]或是特殊的防伪图案^[4]作为防伪标签。随着线上电商交易平台的兴起,购物方式的改变致使一些传统防伪方式已经无法生效。

以上这些都在预兆传统防伪技术已经慢慢无法适应当今社会。这些防伪手段普遍存在着以下 4 个缺点:需要专门的设备进行检测;防伪标记容易批量生产;防伪标记被识别时确认流程过于复杂;信息单一化^[5]。

目前,溯源技术经过三代的发展,出现了物流跟踪定位技术、射频识别技术和生物信息技术^[6-7]。可仍然有着信息易丢失、用户对于溯源方信任缺失、企业在溯源中主体责任淡薄、多部门和机构重叠沟通矛盾等问题^[8]。

区块链凭借共识机制和分布式数据库可以有效保留网络上的交易数据样本,达到数据难以篡改和伪造的目标;同时被赋予时间戳的每一笔记录存储在区块链上,真正确保溯源的可靠性,其为消费者和企业提供一个追踪溯源和防伪的新手段^[9]。以上手段使防伪溯源数据库系统提升了安全性和便捷度。

1 区块链概述

区块链技术最早可追溯于 2008 年的《比特币:一种点对点电子现金系统》这篇论文^[10]。该文章构思的区块链是一个由多数人维护的分布式数据库,用哈希算法形成一种链状结构数据(结构见图 1)。其综合共识机制、分布式数据库、链式结构和密码学技术,最终实现信息的保密性、完整性、真实性、可靠性、可用性以及不可抵赖性^[11]。

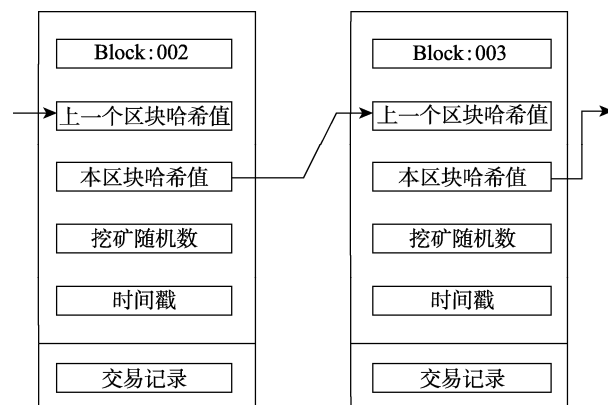


图 1 “区块头”+“区块体”链式数据结构

Fig.1 "Block header" + "block body" linked data structure

区块链可按准入机制分为公有链、私有链和联盟链(见表 1)^[12]。

1.1 区块链技术原理

以下介绍区块链的 4 大技术原理,以及如何支持防伪溯源的实现。

1) 共识机制。共识机制指在系统预设的规则内,各节点对重要信息达成一致的过程。当下共识机制一般是工作量证明机制(POW),通过计算数学题来竞争系统公布的交易记账权^[13]。各节点相互竞争的关系使得合谋欺骗的概率降低,从内部保证产品的交易数据公正、公开,且商品信息可以得到轻易验证,使得不法分子无法伪造或是篡改正品信息。

2) 分布式存储机制。传统数据库一般是中心式的服务器管理模式,中心节点带宽和运算能力远超其余节点,易受到黑客入侵。分布式存储机制要求每个节点保留完整的链式数据,并且各节点没有主次之分,黑客无法锁定攻击目标,安全性高^[14]。黑客无法同时篡改所有节点上的商品交易数据,在商品溯源时,保证链上交易数据的真实性。

表 1 3 种不同的区块链特点对照分析

Tab.1 Comparative analysis of the characteristics of three different blockchains

特性	公有链	联盟链	私有链
准入机制	任何人都可自由参加和退出	加入和退出需要多方授权	加入和退出需要个人或组织授权
读取/写入权限	任何人	联盟成员	成员仅有读取权限,写入需要另外授权
所有者	无	多方实体	单一实体
应用领域	数字货币, 数字钱包	供应链管理, 医疗行业	数据库管理, 企业内部审计
优点	完全去中心化, 信息公开透明	速度较快, 有一定的隐私性, 半公开化	中心化、效率高、隐私性极好
缺点	消耗算力巨大, 低效	易受到恶意成员攻击	不具备去中心化

3) 非对称加密算法。非对称加密算法产生一对公钥和私钥, 实现信息加解密 (非对称加密机制见图 2)^[15]。相较于对称加密算法, 非对称加密机制加解密难度提升了许多, 不仅可以对数据本身进行加解密, 还可以对所有权进行验证, 构建商品数字认证服务, 验明商品的真伪。

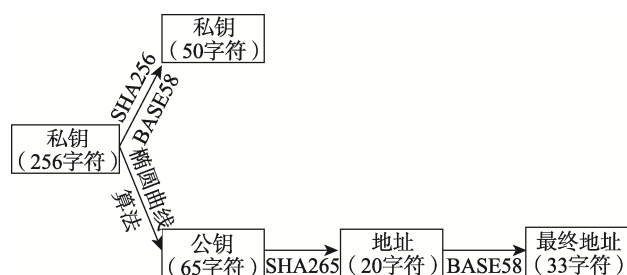


图 2 比特币交易系统中非对称加密机制
Fig.2 Asymmetric encryption mechanism in bitcoin trading system

4) 智能合约。概念最早由 Szabo^[16]于 90 年代提出, 用数字形式的承诺取代法律条文内容, 合约自动生成并运行, 在缺失第三方情况下, 能实现双方的可信交易。智能合约的出现打破各方信任孤岛, 成功地将供应链一体化, 令溯源信息反馈更加及时和准确。

总而言之, 共识机制保障交易数据的可靠性; 分布式存储机制改善数据可抵赖的现状, 同时减少存储空间开销; 而加密机制加强数据的安全性, 丰富消费者辨别产品真伪的手段; 智能合约令多方构成合作, 使得信息一体化, 溯源信息反馈更加及时。

1.2 区块链技术的发展历程

区块链技术发展可以分成 3 个不同的时代。自比特币诞生以来, 区块链技术便作为数字加密货币的核心支撑技术, 重塑了货币与信任体系, 未来更有可能改变人类生活方式, 实现人类认知上的价值转变。

早在区块链 1.0 时代, 区块链作为可编程数字货币体系的关键部分, 最主要的功能是帮助互不信任的双方实现可信交易。区块链技术虽源于比特币, 但是其他数字货币也同样运用该技术, 同类产品有以太币、狗狗币等多种数字货币。早期的野蛮生长也反映出技术的一些痛点, 单一链上价值转移和流通问题, 同时计算效率和操作的复杂程度制约它的发展。

区块链 2.0 时代, 区块链逐步进入可编程金融阶段。上海证券交易所^[17]尝试将区块链应用于股票、私募股权等其他金融领域, 从而降低投资者的投资门槛, 延长与之相关数字货币的交易时间, 减少人力成本。区块链 2.0 时代最主要特征之一便是引入智能合约, 因为在区块链 1.0 时代, 区块链基础架构存在对于应用对象过于复杂和扩展性较低问题, 无法胜任连续且循环重复的工作, 而且随时有可能面临拒绝式服务攻击。直到提出新的区块链架构, 增加了合约层,

封装了各类脚本、算法和智能合约, 智能合约以自动脚本的方式嵌入交易系统, 这才令区块链运行得更加高效和经济, 对交易双方保留着强大的约束力^[18]。同时数字货币发展成数字货币平台, 区块链技术开始被引入工业、制造业等领域。

区块链 3.0 时代, 最重要的变化是技术辐射到社会治理领域, 例如应用区块链匿名性特点的选举投票, 能够有效降低人工计票的资源开销, 同时匿名投票保证安全和隐私。最终改变商业运行模式, 丰富信息的价值内涵, 提供高效可靠的价值交换, 真正实现可信、公平、透明的社会。

2 区块链在包装防伪和产品溯源上应用

根据中国信息通信研究院统计表示, 2009—2019 年全球区块链产业累计投融资金额达到 103.69 亿美元^[19]。当区块链技术与不同垂直领域相碰撞时, 它的可审计、匿名性、不可篡改的特性为食品行业、电子存证、药品包装重新赋能^[20]。

2.1 食品行业存在的问题

食品行业产业链信息不透明, 加工过程中存在隐瞒消费者的问题。例如 2005 年“苏丹红事件”事件, 2008 年三鹿集团奶粉添加三聚氰胺, 2011 年“地沟油”的曝光, 无疑为消费者敲响警钟。当消费者进行追责后, 各个公司相互推诿, 难以维权^[21]。

食品中残留的有毒物质, 在现代化的生产条件下, 一方面大量农场使用农药, 导致种植物中含有有毒化学残留; 另一方面, 水源以及土壤中包含的重金属和霉菌毒素可能被牲畜所吸收。

生鲜产品的物流包装破损导致食品状态产生变化。当线上购物成为主流购物方式后, 物流运输显得尤为重要, 特别是新鲜的海产需要冷链运输, 一旦运输环境改变, 商品质量就得不到保证。

2.1.1 食品安全问题背后的原因

产业不透明导致食品安全问题, 是因为企业追求更高的产品利润, 不计代价降低产品成本, 违规或违法生产不合格的产品。

传统食品供应链管理缺乏对于食品状态的监测^[22]。在生鲜产品的供应链中, 传统方式缺少对应的实时监测手段, 难以感知生鲜产品在运输途中产生的变化, 无法保证货物到买家手中的品质。

供应链管理的效率比较低, 无法做到快速溯源和及时响应。一方面因为物流的流向是从供应商流向最终消费者, 而资金流与之相反, 而且数量逐步减少^[23]。另一方面供应链管理中的信息流由于缺乏有效的共享且处于分散和割裂的状态, 大大影响了供应链管理的效率和水平, 导致出现问题不能及时响应^[24]。

2.1.2 解决方案

基于区块链的食品供应链溯源技术是解决当下问题的新思路^[25]。传统物流过程中存在信息不对称问题,区块链凭借在溯源技术上的天然优势,改变这一现状,建立了高效的信息处理机制,在商品价值和信息流转之间起到重要作用。

京东联合雀巢、惠氏、五粮液、双汇等多家知名品牌,推出“京东区块链防伪追溯平台”BaaS,该平台将商品原料的生产、加工、物流运输、零售交易等数据添加到联盟链中。同时京东搭建了基于区块链技术的跑步鸡项目,项目把实时采集到的家禽生活数据和加工信息上传至区块链保存^[26]。运输过程中利用传感器监测商品状况,有效避免损坏和丢失^[27]。用户能通过唯一的ID做到快速溯源,加大了市场的假冒伪劣产品制造难度^[28]。“区块链防伪追溯平台”着重于为高端产品赋能,对食品的品质提供信任背书,提升品牌公信力,避免食品安全问题的发生,但是对运输过程中发生的食品安全问题无法预测和统计。

Tsang等^[29]提出了将区块链技术和机器学习相结合应用于易腐蚀品的包装供应链策略,不仅可以带来上述的防伪溯源效果,还可为企业解决溯源过程中出现的食物蒸发问题和运输时间问题,他们提出基于区块链的机器学习的食品可追溯系统(BIFTS),此系统(见图3)可利用机器学习在供应链中预测食品保质期来提高运输的安全和可靠性。创新性地提出动态食品质量评估模块,评估模块基于机器学习进行搭建,将影响食品保质期的因素作为自变量,预测受影响后的食品的保质期。相较于传统溯源方案,此方案可一定程度解决运输过程中食品保质期变化问题,有

效控制运输中食品产生的变化,但溯源时间仍然较长,无法做到快速溯源并公布情报。

区块链技术在为食品安全行业带来革新的同时,在食品供应链中也有效提升了溯源效率,大大节省了企业成本。刘宗妹^[30]设计了“区块链”+“RFID”技术两位一体食品溯源平台(见图4),追溯时间从以前的20 h缩短到10 s,溯源效果提升明显。为了减少单个节点所消耗的存储资源,Lin等^[31]设计了一个基于区块链和EPCIS网络的分散系统,使链上和链外数据的协同管理,查询次数可提升至1 000次/s,并成功减少了节点的存储开销。围绕食品溯源的速度竞争,各个平台都实现了快速溯源,可是都缺乏对普通消费者的移动端APP的开发,影响了消费者鉴别真伪和溯源商品的体验。

区块链技术应用高附加值的商品案例越来越多,贵州茅台酒厂的杨云勇等^[32]采用安全RFID产品和认证节点的联盟链模式,将标签嵌入每一瓶酒的芯片中,记录产品原料、批次、酒瓶ID信息等,同时加入验伪APP,用户可以使用NFC手机鉴别真伪和查看商品各个环节的数据信息。未来针对普通消费者的移动端应用的开发将得到市场的重视,移动端APP将成为用户查询商品真伪和溯源的主要手段。

由此可看出,依托区块链技术建立的食品溯源系统主要解决的是供应链管理问题。先是利用链式数据构建特殊的数据结构,接着利用哈希值防止商品信息遭受篡改。为了进一步缩短溯源时间,分布式存储方式大幅提升了效率。紧接着大幅增长的存储开销不得不使用云端数据库或是构建子链减少存储开销,然后逐步结合人工智能或食品智能指示器来预测或监督食品品质,最终依托手机APP承载这一系统。

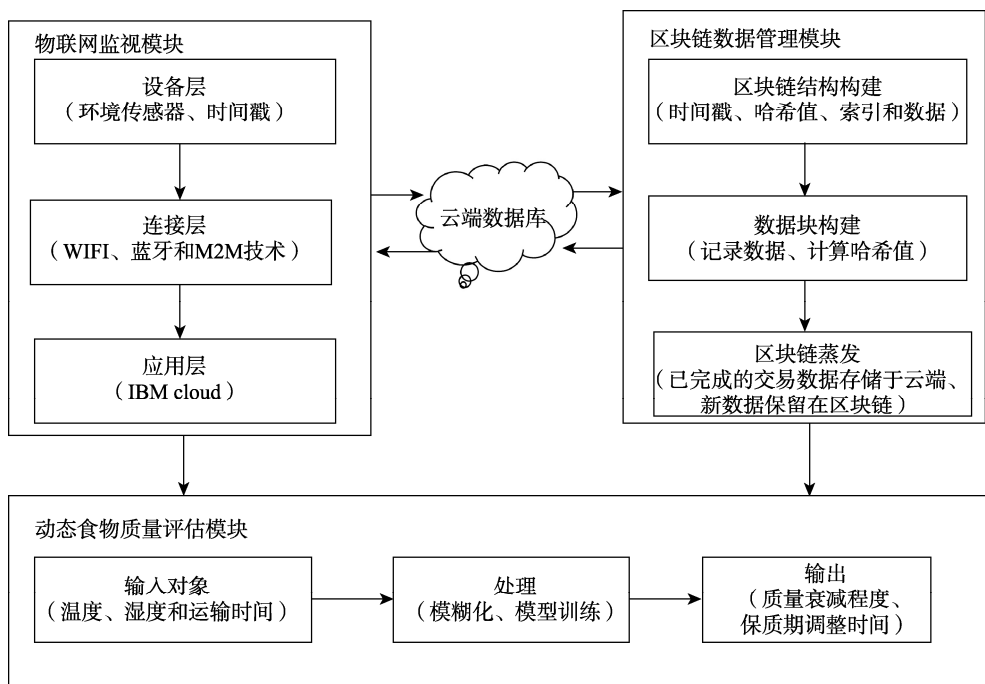


图3 BIFTS的模块化框架结构
Fig.3 Modular frame work of BIFTS

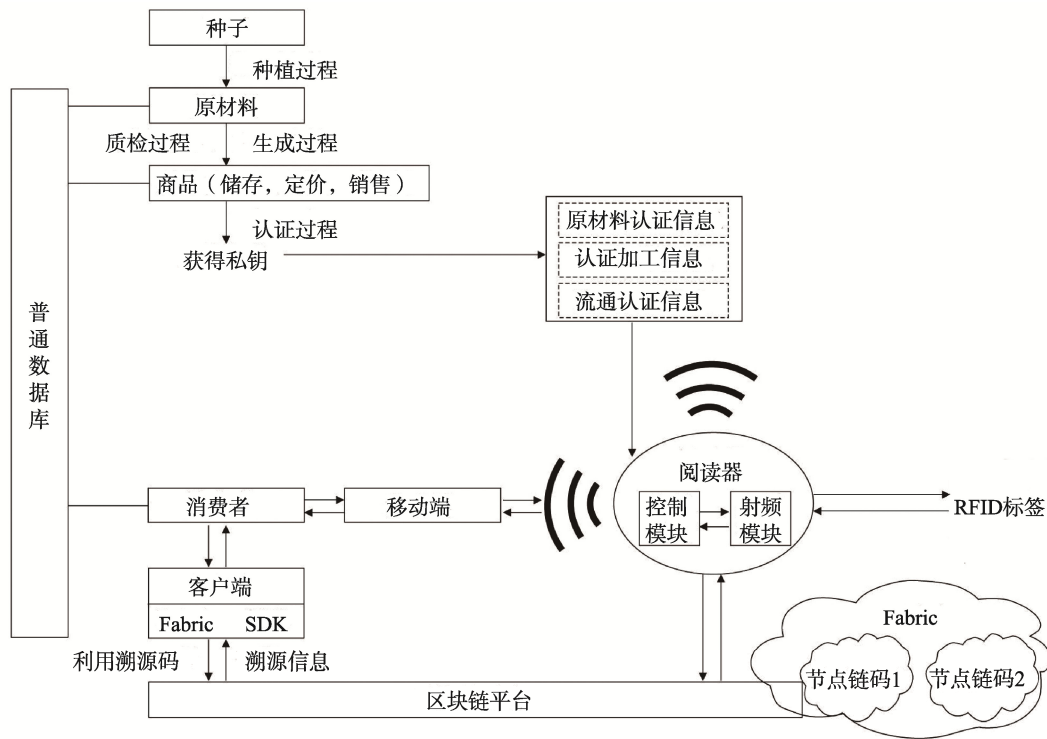


图 4 “区块链+RFID”系统流程
Fig.4 Flow chart of "blockchain + RFID" system

2.2 区块链在电子存证的应用

电子存证是指以数字化形式存储,能够证明事件真实性的可信证据。传统电子存证方式一般是中央控制型,其方式虽解决了“存”与“证”的难题,但是有着不可忽略的安全隐患,一旦中心遭到攻击,信息就有可能被修改^[33]。

电子存证面临的另一个问题就是证据管理。证据在调查方使用时将暂时拥有其所有权,如何确保在调查期间的可靠性是一大难点。由于数字证据伪造难度低,电子存证签发机构复杂,司法采信标准不一,原始信息认定难度大,法院很少认同数字证据^[34]。

如今新的电子存证方式继承区块链技术多备份、防篡改等特点^[35]。基于区块链的电子存证为司法存证、知识产权、电子合同管理等业务注入新的活力^[36],使得电子证据再一次焕发新的活力^[37]。

电子存证一般由专门的司法机关单位执行,但司法机关不能长久有效地留存证据,且多机构和部门需要对此花费大量时间。腾讯开创的“至信链”不仅提供全流程版权保护服务,还保留电子证据留存方案。此项技术开创性地将区块链技术融入电子存证,令第三方成为保存电子证据的机构。相较以往的传统存证方式,“至信链”大幅提升了效率,但是受限于安全性和其性能,针对本地存储介质的攻击开始流行,以及内部人员泄露和伪造逐渐成为该技术的痛点。

如今多数区块链方案将司法事务数据与电子证据混合存储在同一条链上,且电子证据在司法程序的

不同阶段易被篡改。为了打破数据管理混淆且冗杂的局面,王健等^[38]结合区块链技术,提出一种面向司法审判场景的电子数据安全存储链式结构。该结构分为司法联盟链 JudChain 和证据存储链 EviChain 两部分,实现对司法流程数据和电子证据的高效管理和安全存储,且具有完整的节点认证及区块生成流程。此项方案成功地将事务从区块链系统中分割出来,杜绝内部人员从访问事务的角度对电子证据进行修改,这种分割操作使得 EviChain 上的真实性得到保证。Haider 等^[39]将物联网设备作为数字证人,利用其收集到的数据作为相关可靠电子证据,并利用区块链的智能合约技术,减少人为操作以防止篡改发生。

可是电子证据管理时可能会面临安全和隐私问题,关键证人和陪审团成员的信息泄露会对他们的人身安全造成威胁。Li 等^[40]提出了基于区块链的合法证据管理方案 LEChain (图 5),一方面利用随机化加密签名匿名验证证人身份;另一方面使用 ElGamal 算法对陪审员个人信息和投票结果进行加密,并分发至警察局、法院和监狱 3 个独立机构。对不同级别的人员划分访问权限,以及在开庭做证时,使用远程会议和变声器改变其个人特征,在给证人提供长期保护时,也会考虑更换家庭住址和身份证,有效保障了证人和陪审团的隐私和安全。电子存证技术发展至今,不仅需要保护证据不被篡改、抹除,还需要考虑证人的安全和相关隐私问题,如何保护证人不会受到被告方的报复是未来需要考虑的问题。

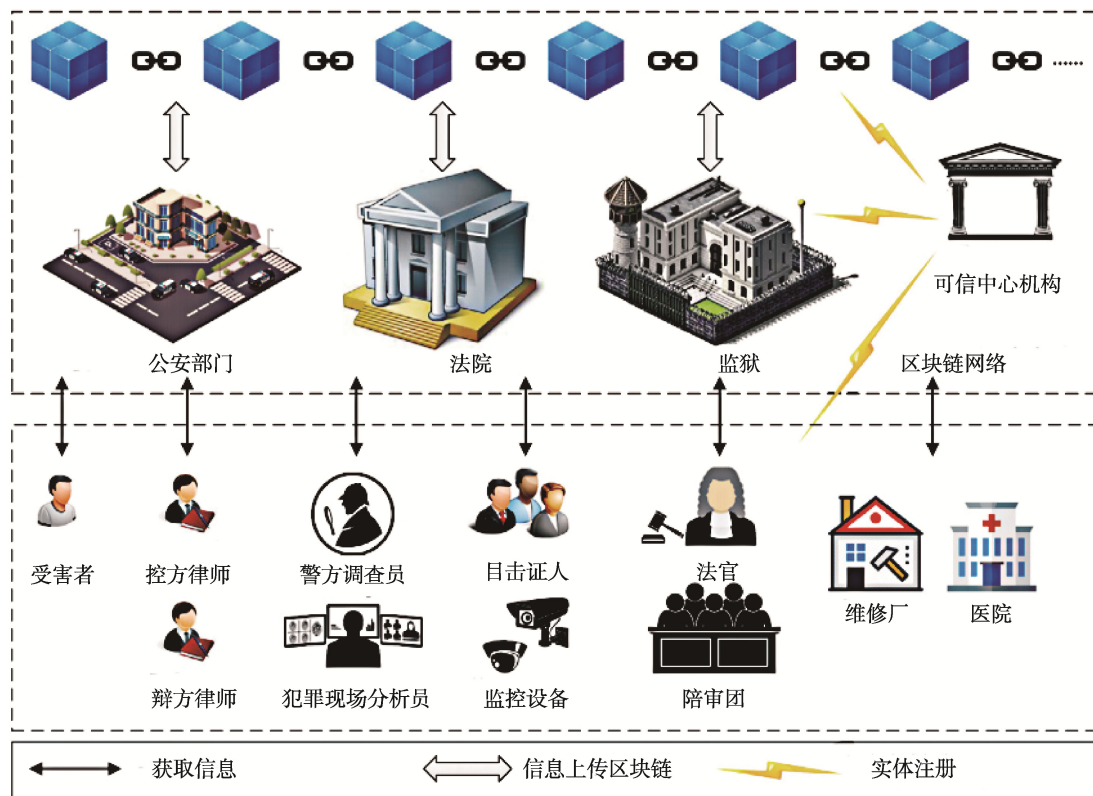


图 5 LEChain 系统的模型
Fig.5 Model of LEchain system

总之，区块链技术在电子存证上主要保障了电子证据的可靠性、真实性。区块链技术注重从时间维度对电子证据进行保护。为了在取证阶段保证证据的可靠性，把物联网设备的操作信息作为可信的电子证据。取证结束后，存证阶段起初可依托第三方可信机构构建存证中心，但是受限于安全性，转而开发出对抗性节点策略用来预防节点的欺骗与共谋，或者将数据保存在多方设备以此加大数据篡改难度。当司法事务发生时，可分离司法事务数据和电子证据以保障电子证据的完整性。

2.3 区块链在药品包装的应用

处方药的使用则关系到千万家庭健康和幸福^[41-43]。目前市面上药品管理系统主流的解决方案是物联网技术，采用集中式 C/S 结构的 RFID 技术^[44-45]，但是这种药物管理方式存在一些严重缺陷：集中管理方便了黑客入侵，容易造成麻醉药和处方药泛滥；交于第三方机构管理容易导致隐私泄露问题；如果处方遭到滥用，那么医患纠纷难以解决^[46]。

基于区块链技术打造的药品信息管理系统的出现有效解决了上述问题。在 11 个计算机节点组成的分散网络下，Prateek 等^[47]模拟测试不同网络配置下的吞吐量，其结果表明，提交事务的时间随着参与节点的数量增加而延长，而当计算量逐步增大时，药物交易信息的真实性才越可靠。节点数的增长必

然会遇到存储瓶颈问题，Huang 等^[48]提出药物区块链系统应该具有个性化设置，并且能为其他厂商开放对应的 API 接口，他们设计了一种药品追溯和可监控的系统——Drugledger，并创新性提出区块链可根据场景进行存储修剪，以此解决容量问题，但是药品在运输过程中状态信息难以记录。在仓储和物流环节，王娇等^[49]提出联合监控和 GPS 定位实现药品的可靠监管。自动采集药品的全生命周期信息，并在药物包装上设计唯一的标签识别码，从而实现处方药的追溯（药品智能追溯体系可见图 6）及防伪。

药品溯源最终服务的对象是患者，但患者比起药品更加关注自身的病情和治疗方案，将药品溯源和电子病历结合是实现医药一体化的创新之举。Roman-belmonte 等^[50]认为区块链技术可以用于设计电子病历，以病人为中心，将病人的检测报告、诊断书和治疗用药情况上链，并按照私密等级将其设置不同的查看权限，这些数据对于临床医疗同样有着非同凡响的意义。电子病历帮助医生更加全面地了解病历，显著提升医生的诊断效率。

综上所述，对处方药溯源的最终落脚点在实现医药一体化，将病人、药品、病历和医院联系在一起。最初药品溯源信息的真实性依靠节点数的增长，接着逐步使用监控和 GPS 等各类手段对药品进行监管和追踪，最终为实现医药一体化，提升医生诊断效率，可建立以病人为核心的医药区块链。

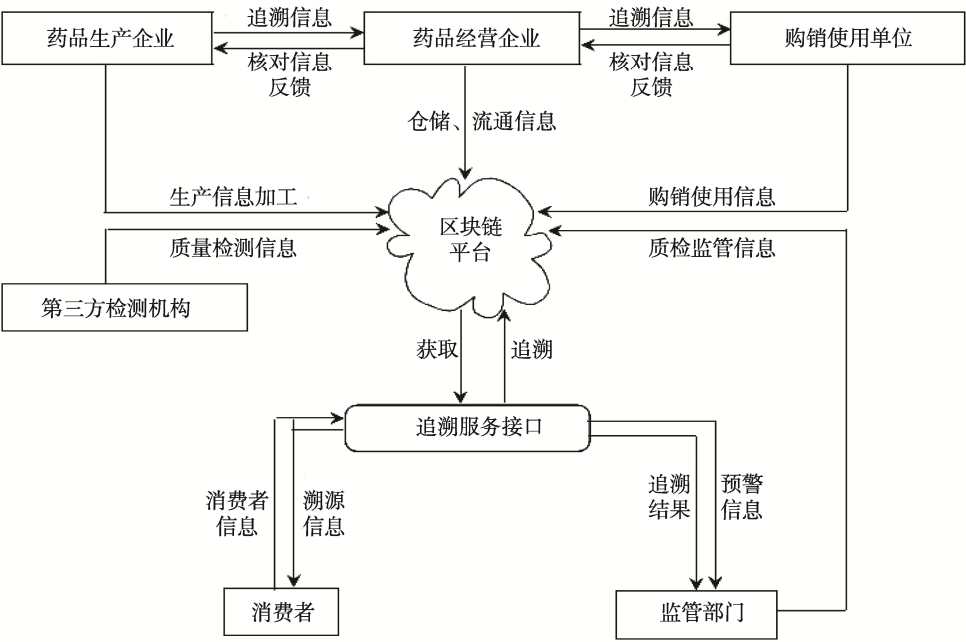


图 6 基于区块链的药品智能追溯体系运作流程
Fig.6 Operation process of drug intelligent traceability system based on blockchain

3 未来研究方向

随着区块链技术的发展,人们不断发掘出区块链技术在防伪溯源领域的内在潜力。目前可应用于食品包装、电子存证和药品管理等方面,但仍然受限于区块链系统性能,尚且无法处理高并发和存储大规模数据^[51],因此,目前防伪溯源的应用面临着以下挑战。

区块链技术面临存储空间和系统吞吐量问题。区块链上数据的增长会导致需要不断扩展新的存储空间,更多节点的加入意味着区块链需要更高的吞吐量。未来依靠深度学习技术有助于解决数据冗余和效率问题,依靠深度学习能预测网络中的流量变化,区块链分片最优选择策略能提升区块链处理事务的吞吐量和扩展性。

区块链技术中的联盟链使得集体造假问题频繁出现^[52]。从另一角度看,单个节点对整个组织的风评影响同样巨大,当联盟中有成员犯下严重错误,联盟的集体利益首当其冲,这势必牵扯链上无辜的成员。目前看来,增强国家层面的监管也许是解决问题的唯一办法。

针对相关领域,区块链技术缺乏对应的适应性框架的匹配机制^[53]。如今区块链技术发展至今,无论是共识机制、智能合约还是数据存储模式都出现了许多变化,针对某个领域进行探索时,必须考虑如何组建最优解。未来区块链技术会更加注重与物联网结合,会开发出需要传感器的复杂框架,或者设计不需要进行大量计算的新共识机制。

未来区块链在医药领域需要更加注重传染病溯源^[54]。近年来,伴随全球新型冠状病毒的盛行,区块链在溯源领域渐渐崭露头角,依靠区块链技术建立的传染病溯源体系得以大显身手。区块链技术因其去中心化的特点,各医院和相关医疗机构可以自主上报确诊和新增病例的相关信息,避免向当地政府的层层申报,使得数据的实时性得到拓展。同时利用区块链技术将疑似病例数据上链,提高排查效率,有利于进一步统筹管理。

4 结语

文中系统地阐述了近几年来区块链在产品溯源和包装防伪上的应用进展,研究共识机制、分布式存储机制、非对称加密算法和智能合约技术在实现防伪溯源上的机理。整理区块链在食品包装、电子存证和药品溯源 3 个不同领域的应用模式,得出其发展的关键:在食品包装领域,重点在于供应链管理和食品实时监测;在电子存证领域,重点在于提升司法机关对电子证据的可信度;在处方药管理领域,关键在于实现医药一体化,将病人、药品、病历和医院联系在一起,无论是药品溯源还是病情溯源都将是以为病人为核心。只有做到以上几点,才能保障其防伪和溯源的效果。

区块链技术目前还无法处理高并发和存储大规模数据,缺乏对某一课题的区块链框架最优解的探索,因此未来在包装溯源领域,笔者认为可以从以下几个方面开展进一步研究。

1) 结合深度学习开展研究,特别是区块链吞吐量问题,依靠神经网络建立的动态分片技术将是未来的研究重点。另外依靠深度学习进行节点冗余数据的清除,未来在数据压缩方面也是研究的重点,这有利于基于区块链防伪溯源应用在移动端的发展。

2) 探索针对某一任务的区块链框架的最优解也是重要的研究内容。不同的问题关注的需求大相径庭,区块链技术已发展出多种不同的技术,如何选择最佳的技术组合来解决问题是未来研究重点。

3) 未来溯源更加注重与物联网、5G 技术的结合,以此提升溯源的响应速度。特别是在物联网中传感器的应用将有助于检测状态和实时反馈。

参考文献:

- [1] KEMPEN A. Counterfeit Goods & Second-Hand Goods Distinguishing the Good from the Bad and the Ugly[J]. Servamus Community-Based Safety and Security Magazine, 2019, 112(6): 50-52.
- [2] 钟云飞, 刘爱平, 陈龙. 网印 RFID 标签包装防伪技术[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 60-63.
ZHONG Yun-fei, LIU Ai-ping, CHEN Long. RFID Tag Anti-Counterfeit of Packaging by Screen Printing[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 60-63.
- [3] LIU Dan-fei, YANG Ling, SHANG Mi, et al. Research Progress of Packaging Indicating Materials for Real Time Monitoring of Food Quality[J]. Materials Express, 2019, 9(5): 377-396.
- [4] 钟云飞, 游诗英. 数字印前包装防伪技术[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 82-84.
ZHONG Yun-fei, YOU Shi-ying. Anti-Counterfeit of Packaging in Digital Preprinting Process[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 82-84.
- [5] 王继鹏. 防伪印刷技术的现状及发展趋势[J]. 工业设计, 2017(9): 125-126.
WANG Ji-kun. Current Situation and Development Trend of anti-Counterfeit Printing Technology[J]. Industrial Design, 2017(9): 125-126.
- [6] VALLETTA M, RAGUCCI S, LANDI N, et al. Mass Spectrometry-Based Protein and Peptide Profiling for Food Frauds, Traceability and Authenticity Assessment[J]. Food Chemistry, 2021, 365: 130456.
- [7] SAMANTHA I, CULLEN J M, LOUISE M. Visualising Food Traceability Systems: A Novel System Architecture for Mapping Material and Information Flow[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 112: 708-719.
- [8] 祝烈煌, 高峰, 沈蒙, 等. 区块链隐私保护研究综述[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(10): 2170-2186.
- ZHU Lie-huang, GAO Feng, SHEN Meng, et al. Survey on Privacy Preserving Techniques for Blockchain Technology[J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(10): 2170-2186.
- [9] 何蒲, 于戈, 张岩峰, 等. 区块链技术及应用前瞻综述[J]. 计算机科学, 2017, 44(4): 1-7.
HE Pu, YU Ge, ZHANG Yan-feng, et al. Survey on Blockchain Technology and Its Application Prospect[J]. Computer Science, 2017, 44(4): 1-7.
- [10] NAKAMOTO S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System[J]. Decentralized Business Review, 2008: 21260.
- [11] SAURABH S, SUBHASIS T, SHAHID H, et al. Identification and Authentication in Healthcare Internet-of-Things Using Integrated Fog Computing Based Blockchain Model[J]. Internet of Things, 2021, 15: 100422.
- [12] PATELLI N, MANDRIOLI M. Blockchain Technology and Traceability in the Agrifood Industry[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(11): 3670-3678.
- [13] 曾诗钦, 霍如, 黄韬, 等. 区块链技术研究综述: 原理、进展与应用[J]. 通信学报, 2020, 41(1): 134-151.
ZENG Shi-qin, HUO Ru, HUANG Tao, et al. Survey of Blockchain: Principle, Progress and Application[J]. Journal on Communications, 2020, 41(1): 134-151.
- [14] 刘敖迪, 杜学绘, 王娜, 等. 区块链技术及其在信息安全领域的研究进展[J]. 软件学报, 2018, 29(7): 2092-2115.
LIU Ao-di, DU Xue-hui, WANG Na, et al. Research Progress of Blockchain Technology and Its Application in Information Security[J]. Journal of Software, 2018, 29(7): 2092-2115.
- [15] 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 Yong, WANG Fei-yue. Blockchain: The State of the Art and Future Trends[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481-494.
- [16] SZABO N. Smart Contracts: Building Blocks for Digital Markets[J]. Extropy: The Journal of Transhumanist Thought, 1996, 18(2): 28.
- [17] 上海证券交易所课题组, 徐广斌. 区块链在我国资本市场领域核心场景应用研究[J]. 证券市场导报, 2021(3): 2-12.
Research Team of Shanghai Stock Exchange, XU Guang-bin. The Application Research of Blockchain in the Core Scenarios of China's Capital Market[J]. Securities Market Herald, 2021(3): 2-12.
- [18] CHRISTIDIS K, DEVETSIKIOTIS M. Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things[J]. IEEE

- Access, 2016, 4: 2292-2303.
- [19] 工信部.《2018 年中国区块链产业白皮书》[J]. 创业天下, 2018(6): 7.
The Ministry of Industry and Information Technology Released the White Paper on Blockchain Industry in China in 2018[J]. Chuang Ye Tian Xia, 2018(6): 7.
- [20] RADZIWIŁŁ N. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World[J]. Quality Management Journal, 2018, 25(1): 64-65.
- [21] KAMATH R. Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM[J]. The Journal of the British Blockchain Association, 2018, 1(1): 47-53.
- [22] KSHETRI N. Blockchain and the Economics of Food Safety[J]. IT Professional Magazine, 2019, 21(3): 63-66.
- [23] YIANNAS F. A New Era of Food Transparency Powered by Blockchain[J]. Innovations: Technology, Governance, Globalization, 2018, 12(1/2): 46-56.
- [24] ZHANG T, HAN B J, YU J, et al. Enhancement of Dielectric Constant of Polyimide by Doping with Modified Silicon Dioxide@titanium Carbide Nanoparticles[J]. RSC Advances, 2018, 8(30): 16696-16702.
- [25] BARGE P, BIGLIA A, COMBA L, et al. Radio Frequency Identification for Meat Supply-Chain Digitalisation[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2020, 20(17): 4957.
- [26] LIU A, LIU T, MOU J, et al. A Supplier Evaluation Model Based on Customer Demand in Blockchain Tracing Anti-Counterfeiting Platform Project Management[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2020, 5(3): 172-194.
- [27] AKASH T, ARUN S, RICHA K, et al. Blockchain-Based Efficient Communication for Food Supply Chain Industry: Transparency and Traceability Analysis for Sustainable Business[J]. International Journal of Communication Systems, 2020, 34(4): 4696.
- [28] SANJAY P R, ASHOK S S, SHEKHAR S. Food Subsidy Distribution System through Blockchain Technology: A Value Focused Thinking Approach for Prototype Development[J]. Information Technology for Development, 2021, 27(3): 470-498.
- [29] TSANG Y P, CHOY K L, WU C H, et al. Blockchain-Driven IoT for Food Traceability with an Integrated Consensus Mechanism[J]. IEEE Access, 2019, 7: 129000-129017.
- [30] 刘宗妹. “区块链+射频识别技术”赋能食品溯源平台研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 102-107.
LIU Zong-mei. Research On "Blockchain+RFID" Enabling Food Traceability Platform[J]. Food and Machinery, 2020, 36(9): 102-107.
- [31] LIN Q, WANG H, PEI X, et al. Food Safety Traceability System Based on Blockchain and EPCIS[J]. IEEE Access, 2019, 7: 20698-20707.
- [32] 杨云勇, 马纪丰, 胡川. 安全RFID和区块链技术在瓶装酒防伪溯源中的应用研究[J]. 集成电路应用, 2018, 35(3): 66-69.
YANG Yun-yong, MA Ji-feng, HU Chuan. Study on the Application of Safe RFID and Block Chain Technology in the Anti-counterfeiting and Traceability of Bottled Wine[J]. Application of IC, 2018, 35(3): 66-69.
- [33] HAIDER A K, GREGORY E, HERBERT D. Blockchain and Clinical Trial[M]. Switzerland: Springer, Cham, 2019: 149-168.
- [34] LIU Z Y, LI Z P. A Blockchain-Based Framework of Cross-Border E-Commerce Supply Chain[J]. International Journal of Information Management, 2020, 52: 102059.
- [35] AMNA Q, DAVID M J. Blockchain-Based Multimedia Content Protection: Review and Open Challenges[J]. Applied Sciences, 2020, 11(1): 1.
- [36] DONGHYO K, SUNYOUNG I, YUNSIK S. Two-Level Blockchain System for Digital Crime Evidence Management[J]. Sensors, 2021, 21(9): 3051.
- [37] JEYARAJ A, ZADEH A H. Evolution of Information Systems Research: Insights from Topic Modeling[J]. Information & Management, 2020, 57(4): 103207.
- [38] 王健, 张蕴嘉, 刘吉强,等. 基于区块链的司法数据管理及电子证据存储机制[J]. 信息网络安全, 2022(2): 21-31.
WANG Jian, ZHANG Yun-jia, LIU Ji-qiang, et al. Blockchain-Based Mechanism for Judicial Data Management and Electronic Evidence Storage[J]. Netinfo Security, 2022(2): 21-31.
- [39] STOYKOVA R. The Presumption of Innocence as a Source for Universal Rules on Digital Evidence—the Guiding Principle for Digital Forensics in Producing Digital Evidence for Criminal Investigations[J]. Computer Law Review International, 2021, 22(3): 74-82.
- [40] LI M, LAL C, CONTI M, et al. LEChain: A Blockchain-Based Lawful Evidence Management Scheme for Digital Forensics[J]. Future Generation Computer Systems, 2021, 115: 406-420.
- [41] RADANOVIĆ I, LIKIĆ R. Opportunities for Use of Blockchain Technology in Medicine[J]. Applied Health Economics and Health Policy, 2018, 16(5): 583-590.
- [42] HICKMAN C F L, ALSHUBBAR H, CHAMBOST J, et

- al. Data Sharing: Using Blockchain and Decentralized Data Technologies to Unlock the Potential of Artificial Intelligence: What can Assisted Reproduction Learn from other Areas of Medicine? [J]. *Fertility and Sterility*, 2020, 114(5): 927-933.
- [43] IVANTEEV A, ILIN I, ILIASHENKO V. Possibilities of Blockchain Technology Application for the Health Care System[C]// *Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service*, Petersburg, 2020, 940(1): 012008.
- [44] LE H T, QUOC K L, NGUYEN T A, et al. Medical-waste Chain: A Medical Waste Collection, Classification and Treatment Management by Blockchain Technology[J]. *Computers*, 2022, 11(7): 113.
- [45] MCGHIN T, CHOO K K R, LIU C Z, et al. Blockchain in Healthcare Applications: Research Challenges and Opportunities[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2019, 135: 62-75.
- [46] KRITTANAWONG C, ROGERS A J, AYDAR M, et al. Integrating Blockchain Technology with Artificial Intelligence for Cardiovascular Medicine[J]. *Nature Reviews Cardiology*, 2020, 17(1): 1-3.
- [47] PANDEY P, LITORIYA R. Securing E-Health Networks from Counterfeit Medicine Penetration Using Blockchain[J]. *Wireless Personal Communications*, 2020, 117: 1-19.
- [48] HUANG Y, WU J, LONG C. Drugledger: A practical Blockchain System for Drug Traceability and Regulation[C]// *2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, Halifax, 2018: 1137-1144.
- [49] 王娇, 张立涛, 李芳. 基于区块链的药品智能追溯体系构建及协同运作机制研究[J]. *卫生经济研究*, 2020, 37(11): 38-41.
- WANG Jiao, ZHANG Li-tao, LI Fang. Research on the Construction and Cooperative Operation Mechanism of Drug Intelligent Traceability System Based on Blockchain[J]. *Health Economics Research*, 2020, 37(11): 38-41.
- [50] ROMAN-BELMONTE J M, DE L H, RODRIGUEZ-MERCHAN E C. How Blockchain Technology can Change Medicine[J]. *Postgraduate Medicine*, 2018, 130(4): 420-427.
- [51] BELCHIOR R, VASCONCELOS A, GUERREIRO S, et al. A Survey on Blockchain Interoperability: Past, Present, and Future Trends[J]. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2021, 54(8): 1-41.
- [52] CENTOBELLI P, CERCHIONE R, ESPOSITO E, et al. Surfing Blockchain Wave, or Drowning? Shaping the Future of Distributed Ledgers and Decentralized Technologies[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 165: 120463.
- [53] YAQOOB I, SALAH K, JAYARAMAN R, et al. Blockchain for Healthcare Data Management: Opportunities, Challenges, and Future Recommendations[J]. *Neural Computing and Applications*, 2022, 34(14): 11475-11490.
- [54] SAURABH S, SANWAR H A S M, BYUNGUNY. Blockchain Security Attacks, Challenges, and Solutions for the Future Distributed IoTNetwork[J]. *Ieee Access*, 2021, 9: 13938-13959.

责任编辑: 曾钰婵