

重庆理工大学学报(自然科学)

Journal of Chongqing University of Technology(Natural Science)

ISSN 1674-8425,CN 50-1205/T

《重庆理工大学学报(自然科学)》网络首发论文

题目: 区块链环境下的预制菜溯源研究
作者: 陈春晖, 檀钟盛, 陈学斌, 张雅波
收稿日期: 2023-10-09
网络首发日期: 2023-12-12
引用格式: 陈春晖, 檀钟盛, 陈学斌, 张雅波. 区块链环境下的预制菜溯源研究[J/OL]. 重庆理工大学学报(自然科学).
<https://link.cnki.net/urlid/50.1205.T.20231211.1001.002>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

区块链环境下的预制菜溯源研究

陈春晖, 檀钟盛, 陈学斌, 张雅波

(福建理工大学 互联网经贸学院, 福建 福州 350014)

摘要：近年来，随着民众生活节奏愈发加快，预制菜快捷便利等优势在国内外受到广大消费者的青睐，但当前预制菜存在没有统一标准、认证体系和追溯体系等问题。针对上述问题，提出一种基于以太坊智能合约的预制菜溯源模型。首先，分析当前预制菜存在的痛点问题，例如，食品安全性难以保证、没有统一标准和食品出现问题难溯源的情况；然后，通过区块链去中心化、不可篡改和可溯源等特点实现基于以太坊的预制菜溯源模型。模型规定每个环节负责人均需对自身负责的环节项目进行数字签名，从而确保出现问题时的责任划分。同时，为减少在以太坊的存储开销，设计一种基于 IPFS(inter planetary file system)和默克尔树的存储机制；最后，实验结果表明：模型能够在正常开销范围内实现预制菜全流程，同时，模型在以太坊的存储开销低于直接存储，具备一定优越性。

关键字：区块链;椭圆曲线;预制菜;数字签名;智能合约

中图分类号：TP391

收稿日期：2023-10-09

基金项目：福建省科技创新战略研究项目（2019R0086）；福建省本科高校教育研究项目（FBJG20190174）；福建省教育科学研究课题（2018CG02748）

作者简介：陈春晖，男，博士，副教授，主要从事数据、模型与决策研究，Email: 27561450@qq.com；通信作者 檀钟盛，男，硕士研究生，主要从事区块链技术与零知识证明研究，Email: 2371331494@qq.com。

Research on traceability of prepared dishes in blockchain environment

CHEN Chunhui, TAN Zhongsheng, CHEN Xuebin, ZHANG Yabo

(School of Internet Economics and Business, Fujian University of Technology, Fuzhou 350014, China)

Abstract: In recent years, with the increasingly accelerated pace of life of the public, the advantages of fast and convenient pre-prepared vegetables have been favored by the majority of consumers at home and abroad, but the current pre-prepared vegetables have the problems of no unified standard, certification system and traceability system. Aiming at the above problems, an Ethernet-based smart contract traceability model for prepared vegetables is proposed. First, the current pain point problems of prepared vegetables are analyzed, for example, food safety is difficult to guarantee, there is no uniform standard and food problems are difficult to trace back; then, the Ethernet-based prepared vegetable traceability model is realized through the characteristics of blockchain decentralization, tampering and traceability. The model stipulates that the person in charge of each link needs to digitally sign the link items for which he or she is responsible, thus ensuring the division of responsibility in case of problems. At the same time, in order to reduce the storage overhead in Ethernet, a storage scheme based on IPFS and Merkel Tree is designed; finally, the experimental results show that the model is able to realize the whole process of the prepared vegetables within the range of the normal overhead, and at the same time, the storage overhead of the model in Ethernet is lower than that of the direct storage, which is superior to a certain extent.

Keywords: blockchain; elliptic curve; prepared dishes; digital signature; smart contracts

0 引言

由于当今社会生活节奏愈发加快，国民饮食结构正在发生重大变革，从传统烹饪逐渐转变为快捷烹饪。预制菜方便快捷等特点受到广大民众的青睐，但同时民众也对预制

菜存在的诸多问题感到担心。例如，1) 食品安全问题。当前有学校将预制菜推入校园，许多家长担心预制菜原材料是否新鲜等食品安全问题^[1]，对此教育部表示当前预制

菜没有统一标准、认证体系和追溯体系，不宜在校园推广；2)质疑生产过程的安全性。当前消费者主要分为认可派和抵制派，抵制派消费者认为预制菜在制作过程中为保证食品的鲜美过量添加添加剂，其安全性无法保证；3)监管问题。当前预制菜行业正在快速扩张，这必然导致菜品质量参差不齐，黑心商家为了利润，食品安全性难以得到保证，如何对食品安全性进行监管，也是当前预制菜行业的一大痛点问题。

针对上述预制菜痛点问题，本文对预制菜发展现状和研究进展进行分析，并提出基于以太坊智能合约的预制菜溯源模型。

1 相关工作

1.1 区块链与智能合约

2008 年中本聪^[2]发布比特币白皮书《比特币：一种点对点电子现金系统》，该文首次提出区块链这一概念。区块链具备去中心化、不可篡改、公开透明、可溯源等特点^[3-5]。

2013 年 Buterin^[6]发布以太坊白皮书，该论文首次提出将智能合约^[7]与区块链相结合。目前区块链应用与同态加密^[8]、零知识证明^[9]、代理重加密^[10]等技术进行结合以此完善区块链应用。

1.2 研究进展

随着预制菜的迅猛发展，问题也随之浮现，民众关心重点在于原材料是否新鲜、加工流程是否卫生、标识信息是否准确等食品安全问题。文献[11]针对预制菜安全隐患问题，提出对预制菜原料来源、加工过程、流通环节等各项环节进行严格的监管。文献[12]针对预制菜生产各环节可能造成的各类细菌污染，提出利用非热杀菌技术提升预制菜品质。文献[13]针对水产品预制菜的食品安全问题，提出在原材料采购、加工过程和冷链运输环节进行质量监控，从而提高水产品预制菜的安全性。上述方案虽然对预制菜的食品安全问题提出各类解决方法，但并未解决该如何实现预制菜的认证体系和追溯体系。

区块链去中心化、数据不可篡改和可溯源等特点为预制菜的认证体系和追溯体系提供解决之道。文献[14]提出基于区块链智

能合约的食品溯源系统，通过智能合约监管供应链中各利益参与者的所有通信和交易，以此来保护食品安全。文献[15]提出基于区块链和物流网的食物追溯系统，将区块链和模糊逻辑等技术用于食品溯源，为食品供应链决策提供支持。文献[16]提出一种基于区块链的食品溯源系统，系统通过以太坊和链下数据库实现数据半中心化存储。系统虽然实现部分中心化存储，但链下数据库仍是中心化系统，存在数据丢失的问题。

综上所述，提出一种基于以太坊的预制菜溯源模型，本文的主要工作为：

1)针对预制菜存在没有认证体系和没有追溯体系等痛点问题，提出一种基于以太坊的预制菜溯源模型，模型将以太坊和 ECDSA(Elliptic Curve Digital Signature Algorithm)算法相结合，明确当预制菜出现问题时的责任划分，有效解决没有数据难溯源和认证体系的问题。

2)针对链下数据可能被修改和预制菜模型参与节点多导致以太坊存储费用高的问题，提出一种基于 IPFS 和默克尔树的存储机制，经过实验分析发现相较于直接存储数据，该机制能够大幅减少以太坊的存储开销。

2 预制菜供应链流程分析

2.1 培育环节

培育方需要对培育的动物或植物进行培育信息的全流程记录上链，具体流程见图 1。

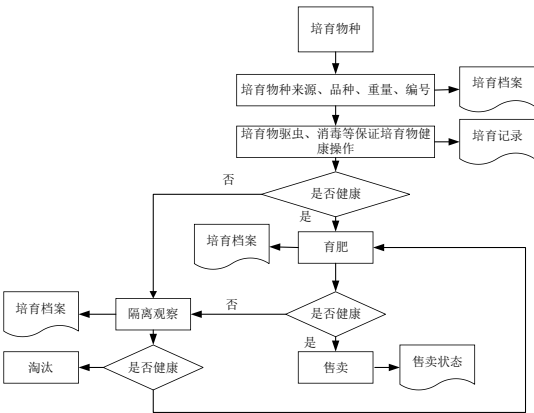


图 1 培育信息时序图

2.2 原材料环节

餐饮企业在购买原材料时需要将原材料的各项数据进行记录上链，其中记录数据包括原材料名称、检疫信息、购买时间和包装信息等数据。利用区块链实现在原材料购买环节操作透明化，不仅提升客户对食材的信任度，也提升原材料的销售额，具体流程见图 2。

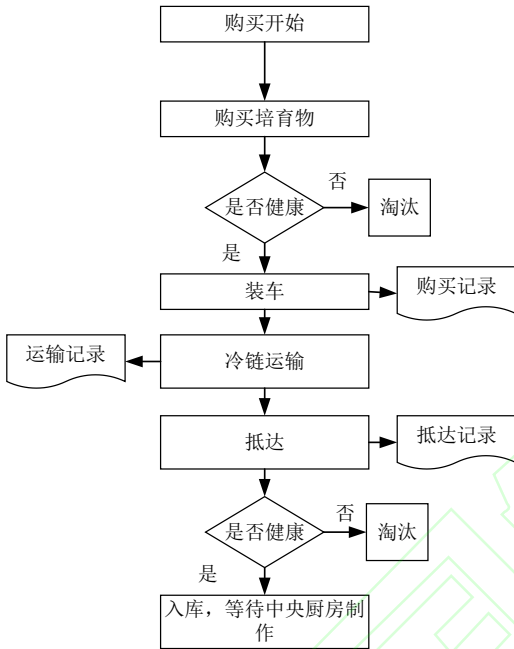


图 2 购买时序图

2.3 加工环节

中央厨房从库存拿出原材料，检查原材料是否腐败变质，若无腐败，则开始食品加工。在制作工程中，按照食谱控制温度、时间长短、调料比例制作出半加工食品。同时，应建立统一的食谱，构建可量化，统一标准的烹饪体系，避免出现亚硝酸盐等有害物质和食品营养被高温破坏的情况。

2.4 运输环节

在中央厨房进行半加工后，冷链派送到各门店是必不可少重要的一环，将半加工食品放置低温环境下运输，从而保证半加工食品的新鲜度。半加工食品在运输时需要对数据进行记录，记录数据包括出库时间、产品类型、产品加工批次和包装方式。同时，在冷链运输和抵达子门店时需要进行数据记录。对冷链运输而言需要记录的数据，包括

运输时间、车辆内部温度、车辆信息和驾驶人员信息。对抵达门店时需要记录的数据，包括目的地信息、运输批次、验收信息、验收人信息等。具体流程见图 3。

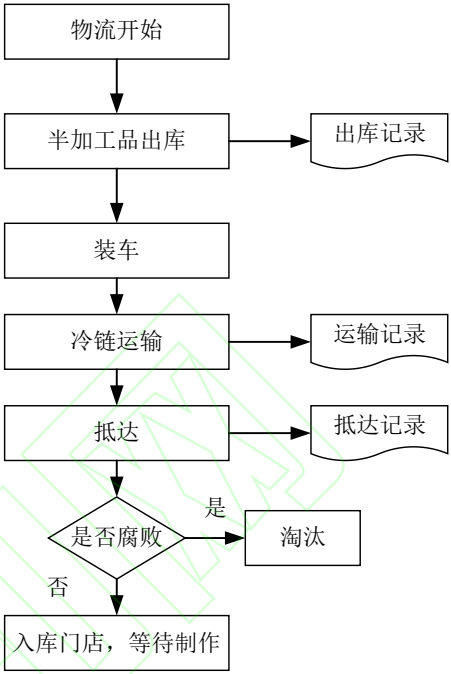


图 3 运输时序图

2.5 售卖环节

售卖环节为预制菜供应链中最后环节。半加工食品从冷链车上卸车后，需要放入冷库，待顾客点餐购买时进行二次烹饪。半加工食品存储对环境有一定的要求，温度过高或存储环境差可能会导致食品变质。因此，对环境温度的监控也是极为重要的。

3 预制菜溯源模型设计与实现

3.1 模型角色

在介绍物流模型前，首先介绍模型包含的角色。模型包括以下角色：消费者、培育方、物流企业、监管部门、中央厨房和子门店。

3.2 存储机制设计

由于预制菜参与节点过多，各个环节数据量庞大，若直接把数据保存以太坊，不仅上传速度缓慢更会造成庞大的存储开销，故，本文设计一种基于 IPFS 和默克尔树的存储机制。以培育环节初始阶段为例，培育环节初始阶段需要保存培育物种来源、品

种、重量和编号。首先，通过哈希算法对每个数据进行计算得到哈希值，将得到的哈希值作为叶子节点构建默克尔树，具体生成流程见图 4；然后，将数据保存 IPFS，IPFS 地址和默克尔树根保存以太坊。该机制大幅降低以太坊所需的存储费用，同时，又通过默克尔树保证链下数据的真实性。

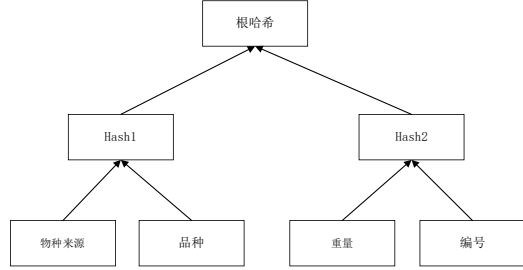


图 4 默克尔树生成图

3.3 数字签名机制

由于预制菜溯源模型参与节点众多，中间环节产生的产品和数据众多，难免会出现纰漏，这时保证数据真实性和责任划分尤为重要。

针对上述问题，本文将以太坊和 ECDSA 算法相结合，通过以太坊进行第一次身份认证，通过 ECDSA 算法进行第二次身份认证，从而实现双重身份认证，具体流程见图 5。

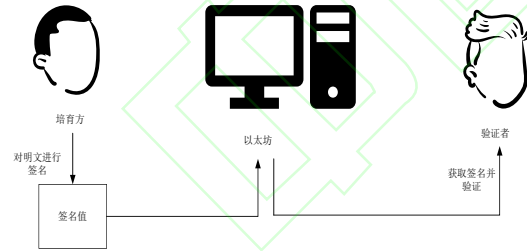


图 5 数字签名流程图

ECDSA 是一种基于椭圆曲线的数字签名算法，使用私钥签名，公钥验证的方式确保数据完整性，即，保证数据在传输过程中没有遭到篡改或丢失。同时，数字签名还可以确保发送者的身份合法性。以培育初始阶段为例，ECDSA 数字签名的流程如下：

1) 培育方工作人员生成椭圆曲线，椭圆曲线公式为：

$$y^2 = x^3 + ax + b(\text{mod} p) \quad (1)$$

a 、 b 为椭圆曲线参数， p 为大质数，同时，公式要求 $4a^3 + 27b^2 \neq 0$ 。

2) 培育方工作人员选取一个随机数 k 为私钥 sk_A ，随后将基点 g 和 k 进行计算得到公钥 pk_A ，其中 pk_A 生成公式如下：

$$pk_A = k * g \quad (2)$$

3) 培育方工作人员对需要上链的明文数据进行以下计算得到数字签名：

a) 对上链明文进行哈希计算 $h = \text{Hash}(\text{message})$ 。

b) 选取一个随机数 $v (0 < v < n)$ ，其中 n 为椭圆曲线的阶。

c) 计算椭圆曲线点对，计算公式如下：

$$p = v * g = (x_p, y_p) \quad (3)$$

d) 计算签名的 r 和 s 值，计算公式如下：

$$r = x_p \text{ mod } n \quad (4)$$

$$s = (v^{-1} * (h + k * r)) \text{ mod } n \quad (5)$$

4) 溯源方收到数字签名后需要对其的正确性进行验证，验证过程如下：

a) 对明文进行哈希计算 $h = \text{Hash}(\text{message})$ 。

b) 将 s 、 h 、 r 进行计算得到 u_1 和 u_2 ，计算公式如下：

$$u_1 = h * s^{-1} \text{ mod } n \quad (6)$$

$$u_2 = r * s^{-1} \text{ mod } n \quad (7)$$

c) 计算曲线点 (x_1, y_1) ，计算公式如下：
 $(x_1, y_1) = u_1 * g + u_2 * pk_A$

d) 若 $r \equiv x_1 \text{ mod } n$ 则说明签名正确。

3.4 预制菜溯源模型设计

经过上述预制菜供应链流程分析、存储机制和数字签名后，设计预制菜溯源模型，模型流程见图 6。

模型由培育阶段、原材料采购阶段、加工阶段、运输阶段、售卖阶段和投诉阶段所组成。模型流程为：

1) 培育阶段。首先，培育方购买培育品，检查培育品状态后，对其数据进行签名，将培育品数据保存 IPFS，IPFS 地址、数字签名和默克尔树根等信息上链；然后，工作人

员记录培育品的成长状态，并将其保存以太坊和 IPFS；最后，当培育品售卖时，培育方将培育品售卖数据进行数字签名，将数据

IPFS 地址、数字签名和默克尔树等数据上链。

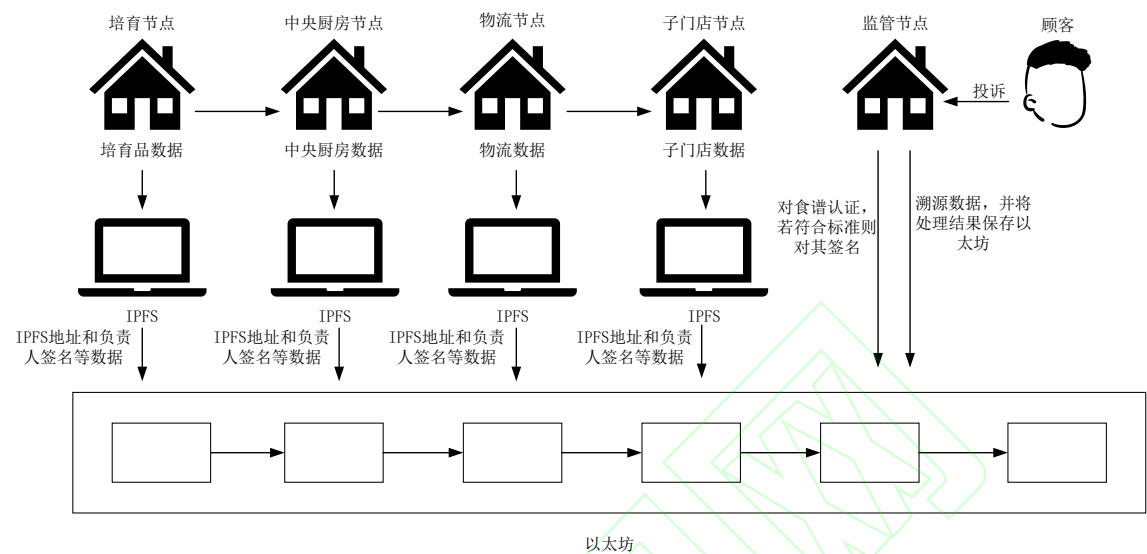


图6 模型流程图

2)原材料采购环节。首先，餐饮企业购买培育品时餐饮工作人员对培育品的各项数据进行记录，确认无误后进行数字签名，并将签名等数据保存以太坊；然后，物流企业将培育品专车发往指定地点；最后，货物抵达后，餐饮企业的收货人员同样对货物进行检查，检查无误后对其数据进行数字签名，签名等数据保存以太坊和 IPFS。

3)加工环节。首先，中央厨房的工作人员将每道预制菜的食谱保存IPFS 和以太坊。监管部门对其食谱进行认证，若食谱符合预制菜制作标准，则对其数字签名进行认证，确保预制菜制作标准；然后，中央厨房工作人员从冷库中取出原材料并对其检查，检查无误后，开始按照食谱制作预制菜。制作完成后，中央厨房的工作人员对自身生产的预制菜进行数字签名，将数字签名和编号等数据保存以太坊和 IPFS；最后，将生产的预制菜发往各个子门店。

4)运输环节。首先，物流企业工作人员对预制菜的出库时间、产品类型、产品加工批次、包装方式、车厢号码等一系列数据进行确认；然后，确认无误后使用数字签名进行签名，将运输数据保存 IPFS，数字签名和

IPFS 地址等数据保存以太坊；最后，物流企业将预制菜派送到各子门店，子门店的工作人员对抵达货物进行检查，检查无误对货物进行数字签名，签名和货物编号等数据保存以太坊和 IPFS。

5)售卖环节。消费者来到各门店进行消费,各子门店对预制菜进行加热等加工方式制作，将制作完成的预制菜售卖给消费者。

6)投诉阶段。消费者食用时若发现预制菜出现问题则可以向监管部门进行举报，监管部门则会通过以太坊进行调查。调查结果保存以太坊，实现处理结果的公开透明。

4 实验设计与实现

4.1 实验环境

实验使用的操作系统为 Window10 64 位，处理器为 Intel i7 -7700HQ,16GB 内存，智能合约编程语言为 solidity，智能合约框架为 hardhat，模型部署在以太坊私链，同时，为了在链下实现数字签名和默克尔树还需安装 python。

4.2 模型部署

模型部署在以太坊私链，在部署智能合约之前需要生成模型角色，模型角色分为培

育节点、中央厨房节点、物流节点、子门店节点、监管节点和顾客节点。模型输入 `npx hardhat node` 命令生成 6 个私链节点，具体见图 7。

```
Account #1: 0x70997970C51812dc3A010C7d01b50e0d17dc79C8 (10000 ETH)
Private Key: 0x59c6995e998f97a5a0044966f0945389dc9e86dae88c7a8412f4603b6b78690d

Account #2: 0x3C44CdD86a900fa2b585dd299e03d12FA42938C (10000 ETH)
Private Key: 0x5de4111afa1a4b94908f83103eb1f1706367c2e68ca870fc3fb9a804cdab365a

Account #3: 0x90f79bf6EB2c4f80365E785982E1f101E93b906 (10000 ETH)
Private Key: 0x7c852118294e51e653712a81e05800f419141751be58f05c371e15141b007a6

Account #4: 0x15d34AAf54267D70c367839AAf71A00a2C6A65 (10000 ETH)
Private Key: 0x47e179ec197488593b187f80a00eb0da91f1b9d0b13f8733639f19c30a34926a

Account #5: 0x9965507D1a55bc2695C58ba16FB37d819B0A4dc (10000 ETH)
Private Key: 0x8b3a50cf5c34c9194ca85829a2df0ec3153be0318b5e2d3348e872092edffba

Account #6: 0x976EA74026E72654dB657F54763abd0C3a0aa9 (10000 ETH)
Private Key: 0x92db14e403b3df3f233f83dfa3a0d7096f21ca9b0d6d688b2b4ec1564e
```

图 7 以太坊节点生成图

节点生成后，将培育合约、物流合约、预制菜合约和售卖合约部署到以太坊私链，合约部署地址见图 8。

```
Test Contract
function
培育合约地址: 0x5f5DB2315678afecb367f032d93f642f64180aa3
售卖合约地址: 0xe7f1725E7734CE288F8367e1Bb143E90bb3F0512
物流合约地址: 0x9fE46736679d2D9a65F0992F2272de9f3c7fa6e0
预制菜合约地址: 0xCf7Ed3AccA5a467e9e704C703E8D87F634f80Fc9
```

图 8 部署合约

4.3 实验结果

本小节将对数字签名时间开销、功能所需用时、智能合约存储开销进行测试分析。

首先，实验对预制菜各方使用的 ECDSA 数字签名所需开销进行测试分析。

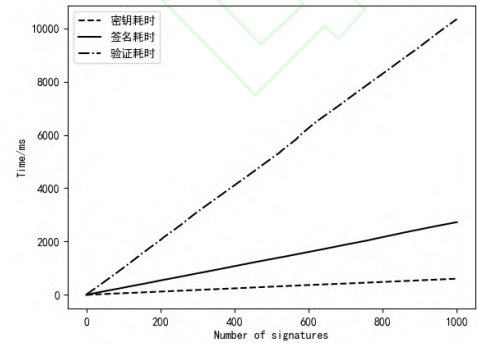


图 9 数字签名性能分析

从图 9 可知，当测试次数为 1000 次时，密钥开销为 607 ms，签名时间开销为 2726 ms，验证时间开销为 10344 ms。由此可见，

数字签名中验证时间开销占比较大，密钥生成和签名开销占比较少。总体而言，算法所耗时间均在正常时间范围。

然后，实验对主要功能所需时间进行测试分析。

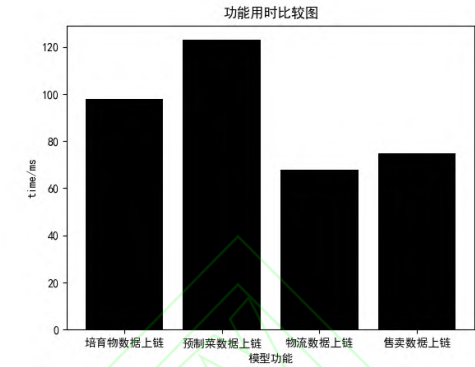


图 10 模型功能耗时

如图 10 所示，培育物上链需要 98 ms、预制菜数据上链需要 123 ms、物流数据上链需要 68 ms、售卖数据上链需要 75 ms。上述数据证明模型所需时间均在可接受范围。

最后，实验对智能合约所需存储开销进行测试分析。模型节点在以太坊中发送、储存、数据计算等一系列操作都需要消耗 gas。gas 指的是智能合约在以太坊执行所需的计算资源。通常而言，gas 区间幅度在几万到两百万，本文模型主要功能所需消耗 gas 费用见表 1。

| 表 1 智能合约开销 | | |
|------------|------------|--------|
| 智能合约 | 合约功能 | 消耗 gas |
| 培育合约 | 培育物数据上链 | 319332 |
| | 日常消毒育肥数据上链 | 203712 |
| | 设置培育物状态 | 22018 |
| | 设置售卖状态 | 43919 |
| 预制菜合约 | 原材料购买数据上链 | 319331 |
| | 加工数据上链 | 319354 |
| | 食谱上链 | 205472 |
| 物流合约 | 预制菜数据更新 | 319397 |
| | 物流运输数据上链 | 319309 |
| | 物流抵达数据上链 | 341482 |
| 售卖合约 | 设置物流数据 | 44215 |
| | 售卖数据上链 | 319112 |

由表 1 可知，模型消耗均在正常范围。

接着,实验将对存储性能分析,由图 11 可知,本文模型提出的存储机制相较于直接存储,具备一定优越性。

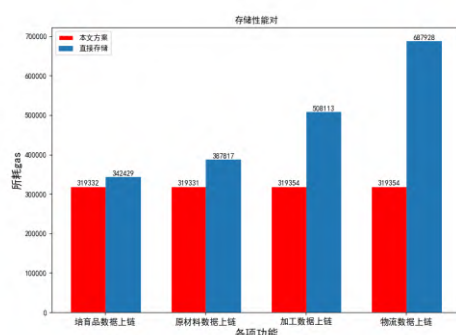


图 11 存储性能分析

5 结论

针对当前预制菜存在缺少监管和数据溯源难等问题,提出一种区块链环境下的预制菜溯源模型。模型具备以下特点:

1)通过区块链去中心化、操作公开透明和数据不可篡改等特点有效解决预制菜操作不透明、中心化和数据难溯源等问题。

2) 合约层引入监管节点。监管节点对各方数据和交易进行监管,当接到投诉意见时,通过区块链进行溯源追踪,并将最终处理结果保存以太坊,确保监管的公平性和透明性。

3) 设置一种基于 IPFS 和默克尔树的存储机制。实验表明该机制大幅减少预制菜模型在以太坊所需的存储开销。

未来,随着区块链种类的不断增多,跨链交互问题必然受到严峻考验,下一步,本文将深入预制菜跨链问题,对数据如何安全跨链交互做进一步深入研究。

参考文献

- [1]安俊文,方梓莹,高希西,等.我国预制菜产业的发展现状、影响因素及发展趋势[J/OL].食品与发酵工业:1-8[2023-09-30].DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034935.
- [2] NAKAMOTO S. Bitcoin:a peer-to-peer electronic cash system[EB/ OL]. [2023 -07 -24]. [http:// www. bitcoin. org / bitcoin. pdf](http://www.bitcoin.org/bitcoin.pdf).
- [3] NOFER M, GOMBER P, HINZ O, et al. Blockchain[J]. Business & Information Systems

Engineering, 2017, 59: 183-187.

[4] XU G, ZHANG J, CLIFF U G O, et al. An efficient blockchain-based privacy-preserving scheme with attribute and homomorphic encryption[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2022, 37(12): 10715-10750.

[5] 檀钟盛,陈春晖.基于区块链技术的疫情健康码方案[J].计算机技术与发展,2023,33(7):215-220.

[6] BUTERIN V. A next-generation smart contract and decentralized application platform[EB/ OL]. [2023-10-24]. https://finpedia.vn/wp-content/uploads/2022/02/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf.

[7] ZOU W, LO D, KOCHHAR P S, et al. Smart contract development: Challenges and opportunities[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2019, 47(10): 2084-2106.

[8] MIERS I, GARMAN C, GREEN M, et al. Zerocoin: anonymous distributed E-cash from bitcoin [C] // SP 2013: Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on Security and Privacy. Piscataway: IEEE, 2013: 397-411.

[9] ZYSKIND G, NATHAN O. Decentralizing privacy: using blockchain to protect personal data[C] // SPW 2017: Proceedings of the 2017 IEEE Security & Privacy Workshops. Piscataway: IEEE, 2015: 180-184.

[10]檀钟盛,陈春晖,刘书信,等.区块链环境下的零售物流隐私保护模型[J/OL].重庆理工大学学报:1-10[2023-09-30].<https://kns.cnki-net.webvpn.fjut.edu.cn/kcms/detail/50.1205.T.20230911.1607.004.html>.

[11] 金柯男,朱广潮,程代,等.肉类预制菜的安全与控制研究进展[J].现代食品科技,2023,39(2):110-118.DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.1635.

[12]单迪,杨欢,谢利,等.杀菌技术在提升预制菜质量安全中的应用研究[J].包装工程,2023,44(9):18-27.DOI:10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.003.

[13]黄卉,陈胜军,赵永强,等.水产品预制菜加工与质量安全控制技术研究进展[J].南方水产科学,2022,18(6):152-160.

[14] PRASHAR D, JHAN N, JHA S, et al. Blockchain-based traceability and visibility for agricultural products: a decentralized way of ensuring food safety in india[J]. Sustainability, 2020, 12 (8): 3497.

[15] 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 (1): 129000-129017.

[16] 陈飞, 叶春明, 陈涛. 基于区块链的食品溯源系统设计[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57(2): 60-69.

