

# 基于区块链的农机跨区域调度模型构建与应用

杨昊天<sup>1</sup>, 王良民<sup>2</sup>, 刘路<sup>3</sup>, 黄龙霞<sup>3</sup>, 丁陈波<sup>3</sup>

(1. 江苏大学农业工程学院, 镇江 212013; 2. 东南大学网络空间安全学院, 南京 211189;  
3. 江苏大学计算机科学与通信工程学院, 镇江 212013)

**摘要:** 由于各区域之间的调度策略与农产品种类存在差异使得相互之间难以管理, 因此农机跨区域调度呈现无中心的管理模式。且由于区域之间距离较远导致个体农户与调度方之间难以建立信任关系, 从而无法充分利用已有的农机资源, 难以有效降低各区域农机的购买成本。针对上述问题, 该研究构建了基于区块链的农机跨区域调度系统。首先, 对农机的调度成本进行分析, 建立以农机数量、农机需求量与机手数量为约束条件的农机跨区域调度模型; 然后以调度成本最小化为目标, 采用基于最短距离的农机跨区域调度匹配方法求解农机调度方案, 并通过区块链智能合约自动执行调度匹配算法; 最后根据江苏省宜兴市与安徽省广德市的农田与农机数据以及随机生成的调度任务进行仿真试验, 并与区域内的调度成本与农机利用率进行对比。结果表明: 区块链的去中心化特点可以满足无中心的跨区域调度需求, 其身份认证机制与高透明度、不可篡改的技术特性可为用户提供技术上的信任保障。在各区域农机总量充足的情况下, 跨区域调度可以减少农机购买成本, 并将农机利用率提升至 90%, 相较于域内调度, 跨区域调度的投入成本随着任务数的增加而下降, 当任务数为 10 时, 成本下降大约 21.3%。研究结果可为农机跨区域调度模式的建立提供科学依据。

**关键词:** 农业机械; 模型; 区块链; 智慧农机; 跨区域调度; 成本

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.11.004

中图分类号: TP311.1; S231

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-11-0031-10

杨昊天, 王良民, 刘路, 等. 基于区块链的农机跨区域调度模型构建与应用[J]. 农业工程学报, 2022, 38(11): 31-40.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.11.004 <http://www.tcsae.org>

Yang Haotian, Wang Liangmin, Liu Lu, et al. Model construction and application of agricultural machinery cross-region scheduling based on blockchain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(11): 31-40. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.11.004 <http://www.tcsae.org>

## 0 引言

中国是农业大国, 农业机械对现代化农业的发展起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。如何通过农机调度降低农机购买成本、提高农机使用率是当前的重要任务。由于农机资源的分布不平衡, 导致部分区域的农机冗余或缺, 仅靠区域内调度并不能平衡农机的供需关系, 并做到合理统筹, 最终无法达到调度目标<sup>[2]</sup>。因此, 农机跨区域调度是农机发展的必然趋势。

目前国内农机整体分布较为零散呈现出无中心的管理模式<sup>[3]</sup>, 在这种模式下, 零散农户与调度方之间难以建立信任关系, 从而使得零散农机无法被利用, 最终造成资源浪费。同时, 由于目前存在的智慧农机平台都是仅针对某一区域的私有平台, 农田、农机数据难以公开获取, 且缺少各区域间的农机调配与统筹, 所需农机的购买数量较多, 造成农机购买成本增加。为解决这些问题, 需要设计出合理的农机跨区域调度系统。区块链作为一种分布式技术, 可以通过去中心化的形式相互不信任的各方提供可信的数据信息, 是解决资源浪费与信任问题

的有效途径<sup>[4-8]</sup>。文献[9]将区块链应用于农业中, 主要用于农机信息、用户信息、农田信息的存证系统, 记录的不可篡改性为农业资产的存证提供了新方法。因此, 区块链技术的出现给农机跨区域调度系统的建立提供了可能。

近年来, 国内外学者在农机调度领域进行了研究。其中, 大多文献都是针对田间与田内的路径规划研究<sup>[10-15]</sup>。文献[1]与文献[16]提出了一种基于改进合同网算法的同种农机机群动态作业任务分配方法, 通过合同网算法建立农机对任务进行投标的代价函数。文献[17]从模型与算法层面进行研究, 提出了区域内半干旱农田的多农机调度优化模型以及使农民净现值最大化的农业生产计划。文献[18-19]从管理层面实现区域内多农机协同作业管理, 建立了基于改进蚁群算法的任务分配过程, 有效降低了路径代价。文献[20-26]研究了区域内多农田间的农机调度算法, 考虑例如天气等多种外部因素安排农机的使用, 提升了农机利用率。上述研究有效提升了调度效率, 优化了匹配结果与路径规划, 但都是针对区域内的中心调度模式。

对于跨区域调度, 文献[27]通过非支配邻域选择和禁忌搜索免疫算法解决了农机动态跨区域合作调度问题。文献[28]研究了基于遗传算法与最近优先级算法的跨区域作业, 减少了调度费用。文献[29]提出了一种农机计划算法, 通过规定农机作业区域与顺序等进行多机顺序任

收稿日期: 2022-03-15 修订日期: 2022-05-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB1005500); 国家自然科学基金项目(62102168); 江苏省自然科学基金项目(BK20200888)

作者简介: 杨昊天, 博士, 研究方向为农机调度与区块链应用。

Email: 342634705@qq.com

务作业。文献[30]研究了农机跨区作业紧急调配模型和算法,建立以最小化调配成本和损失为目标的调配模型。文献[31]提出了改进多父辈遗传算法农机跨区作业规划,优化了调度时间。虽然上述针对跨区域多农机调度算法进行了详细研究,并提供了良好的解决方案,但依然是基于集中式的系统。由于不同区域间的管理与策略均存在差异,跨区域调度难以建立像区域内调度一样的中心调度系统来统筹全局。因此,目前的算法与系统并不适用于无中心的跨区域调度,无法建立各参与方之间的信任关系,并对降低调度成本、提升农机使用率的作用十分有限。本文提出基于区块链的农机跨区域调度模型,通过区块链的技术特性实现农机的跨区域调度,以解决农户与调度方之间的信任关系。同时,许多农机调度问题假设了农机数据集是固定的<sup>[32]</sup>,而在现实场景下农机数据集会随着需求的变化而改变。本文旨在通过构建跨区域调度模型实现调度成本的降低以及农机利用率的提升。

## 1 农机跨区域调度系统设计

农机跨区域调度的目标就是宏观统筹全局的农机调控,解决由于农机资源不平衡导致的农机冗余与稀缺,从而满足不同区域的农机作业需求。同时,调度系统也需适用于当前无中心的跨区域调度,建立参与方之间的信任,提升农机利用率,并减少各区域的农机购买成本。

### 1.1 系统结构

本文提出的农机跨区域调度系统结构如图1所示,主要由用户层、调度层与数据层构成。该系统采用区块链的联盟链框架进行设计,无需中心机构或者借助相关的第三方进行建设与维护。

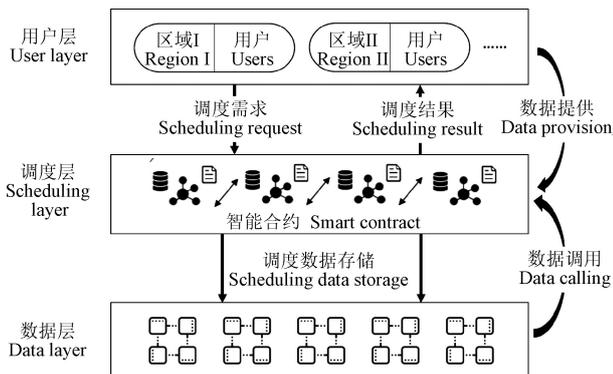


图1 农机跨区域调度系统主体结构

Fig.1 Cross-region scheduling system architecture of agricultural machinery

各区域的农机服务组织、社会中的零散农户等用户通过身份认证授权后（必要时需要在国家授权中心获取授权），在用户层中共同维护调度系统的运行,无需中心机构协调,可直接进行可信任的点对点通信与调度服务。拥有闲置农机资源的用户可以提交自身农机数据至系统中,需要农机的用户则在系统中提交调度请求。

调度层为任务匹配与执行的部分,由智能合约构成。

智能合约是一个分布式应用程序,可以在每个网络用户节点上编程和部署。调度模型与算法以代码形式写进智能合约中并自动执行,根据相关数据生成调配结果并在系统中达成共识后为用户提供调配方案。

最终产生的调度结果与各类调度数据、各区域农田、农机等信息存储在数据层中,由于区块链的技术特性,存储的数据无法被篡改、删除。

因此,区块链主要用于农机调度过程中的去中心调度匹配,自动执行可信任的调度策略,并实现农机需求方与服务提供方的双向选择。同时系统中不可篡改的调度数据信息使用户可以查阅以往的交易记录,了解相关信息。其中农机信息、用户信息、农田信息属于输入信息。调度层在执行调度匹配时,智能合约会根据这些外部输入信息进行调度计算。

### 1.2 调度匹配流程

本文提出的基于区块链的农机跨区域调度匹配过程由区块链智能合约自动执行。数据存储时会在系统用户节点中选取一个记账节点,由该节点负责特定时段的调度数据处理与记录。具体调度匹配流程如图2所示。

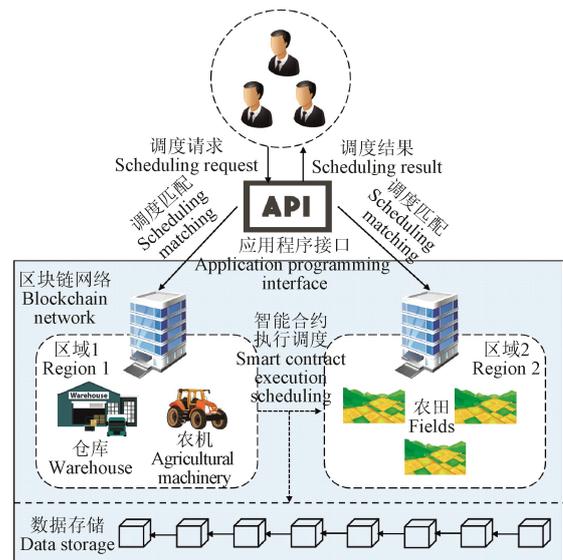


图2 农机跨区域调度匹配流程

Fig.2 Cross-region scheduling matching process of agricultural machinery

用户在有调度需求时,通过区块链应用程序接口(Application Programming Interface, API)在系统中发布需求,然后系统中用户节点调用区块链中所部署的相关智能合约,智能合约会根据用户提供的农田参数以及各区域农机的位置、作业状态以及机况等相关参数自动执行调度算法,进行最优的调度匹配,主节点在获取调配结果后系统中会进行共识,共识方式采用区块链系统中的Raft共识算法<sup>[33]</sup>。达成共识后完成该调度匹配过程,系统将调配任务发送给相关参与方用户,通知调度方进行调度任务以及向需求方发布调度结果。

最后,匹配结果由智能合约自动发布至区块链中进行存储,调度过程中的实时数据记录在区块链账本中,

作为存证供用户查询与追溯。

## 2 农机跨域调度模型与算法

### 2.1 问题描述

本文所定义的“区域”指的是县级或区级行政区域，“农机跨区域调度”指的是某一农机跨越自身所在县级行政区域，被调配至其他行政区域中进行作业。本文旨在通过合理的跨区域调配平衡各区域农机的供需关系，解决域内调度中依赖购置农机满足需求所导致的购买成本过高的问题，以及提升农机利用率。因此，跨域调度需要整合各地区的农田与农机信息，并对零散农户以及农机服务组织机构进行统筹。区块链技术不仅可将各区域农机的作业能力、油耗、行驶速度等信息进行存储，同时也可将农机的实时位置、当前作业信息及时上链存储，并透明公开，同时防止信息被篡改，向农户、机手、农机服务机构等提供可信数据。农机调度过程中，各区域可以及时查询到相关信息，从而为农机的精准调度提供真实可靠的数据技术支持。

在农机跨域调度中，调度成本问题可类比成 OPC (Optimization Production Cost, 优化生产成本) 进行分析，在保证调度与作业效率的前提下，考虑一个区域内的农机购买成本、跨区域农机调度的路径成本以及作业成本所构成的跨区域调度成本。对于多农机调度问题，往往情况十分复杂<sup>[34]</sup>，因此，为突出调度成本，需要给出一些合理假设：

- 1) 各农机的调度是从仓库出发，完成所有作业任务后返回原仓库。
- 2) 农机之间的作业相互独立。
- 3) 调度中仅考虑同一种农机机群，且各农机单位路径代价相同。
- 4) 调度成本以距离为参考进行计算，不考虑农机作业代价。
- 5) 区域内调度仅考虑农机购买成本，不考虑调度代价成本。

### 2.2 调度数学模型

本文提出的跨域农机调度成本模型从系统全局管理层面出发，以寻求调度成本的最小化，即域内购买农机成本、跨域调度的路径成本与作业成本之和最小。首先考虑区域内为满足调度需求所需的农机购买成本，并且由于跨域调度路程较远，模型也考虑了跨域调度过程中的路径成本与作业成本。相较于这三类成本，由于所定义的区域范围较小，区域内调度中的路径成本相差不大，且远低于农机购买成本，因此忽略该成本。同时一个区域内所需的农机数量并不是固定不变的，随着需求的变化以及相关农田、农机的信息变更，所需农机数量也会随之改变，因此农机购买成本也在不断变化。数学模型的表示如下：

调度函数：

$$F_1 = \min \left( \sum_{M=1}^M (C_{in} + C_{out}) + \sum_{M=1}^M \sum_{T=1}^T C_T \right) \quad (1)$$

$$F_2 = \min \left( \sum_{j=1}^n L(M, T_j) \beta + \sum_{j=1}^n L(M, T_j) \eta + \right. \quad (2)$$

$$\left. \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n L(M, T_j T_k) \theta \right)$$

$$C_T = A_T \cdot a \quad (3)$$

$$C_{out} = F_2 \cdot q \quad (4)$$

$$\beta = \begin{cases} 0, & (T_j \neq T_1) \\ 1, & (T_j = T_1) \end{cases} \quad (5)$$

$$\eta = \begin{cases} 0, & (T_j \neq T_n) \\ 1, & (T_j = T_n) \end{cases} \quad (6)$$

$$\theta = \begin{cases} 0, & (k - j \neq 1) \\ 1, & (k - j = 1) \end{cases} \quad (7)$$

约束条件：

$$\forall p \text{ in } 1 \dots P, \left( \sum_{M=1}^M Q_{mp} \cdot \text{in}_m \right) \leq \text{CAPA}_p \quad (8)$$

$$\forall m \text{ in } 1 \dots M, \text{in}_m + \text{out}_m \geq D_m \quad (9)$$

$$\forall m \text{ in } 1 \dots M, \text{in}_m \geq 0, \text{out}_m \geq 0 \quad (10)$$

$$L(M, T) = R \sqrt{(\text{LA}_M - \text{LA}_T)^2 + \cos\left[\frac{(\text{LA}_M + \text{LA}_T)}{2}\right](\text{LN}_M - \text{LN}_T)^2} \quad (11)$$

式(1)中  $F_1$  表示调度成本函数的最小化，包括农机购买成本、跨区域调度成本和作业成本，其中  $C_{in}$  表示实际调度中区域内单个农机的购买成本，元， $C_{out}$  表示跨区域农机调度的路径成本，元， $C_T$  表示农机  $M$  在作业田块  $T$  内的作业成本；式(2)中  $F_2$  表示跨区域调度路程函数的最小化，其中  $L(M, T_1)$  为农机  $M$  从起始仓库到跨域调度第一个任务  $T_1$  的路程，km； $L(M, T_j T_k)$  为从任务  $T_j$  到  $T_k$  的距离，km，其中  $j, k \in \{1, \dots, n\}$ ， $L(M, T_n)$  为从其最后一个任务  $T_n$  回到终止仓库的路程，km；式(3)的  $A_T$  表示田块的面积， $a$  为单位面积的作业成本，元；式(4)的  $q$  为农机调度单位路程的平均成本，元；式(5)表示  $T_j$  为第一个作业任务时  $\beta$  取值为 1，否则为 0；式(6)表示  $T_j$  为最后一个任务时  $\eta$  取值为 1，否则为 0；式(7)表示任务  $T_j$  为任务  $T_k$  前一个任务时， $\theta$  取值为 1，否则为 0；约束条件式(8)中  $Q_{mp}$  表示农机调度需求数， $\text{CAPA}_p$  为域内机手数量最大值，其中  $p$  为机手数量， $p$  是 1 至  $P$  的索引；式(1)、式(9)~(10)中的  $M$  为农机数量， $m$  为 1 至  $M$  的索引，其中  $\text{in}_m$  表示区域内调度的农机， $\text{out}_m$  为进行跨区域调度的农机， $D_m$  为农机需求数；式(10)表示域内农机与域外农机数均为正数；式(11)中  $L(M, T)$  表示农机  $M$  调度至作业任务农田  $T$  的距离， $m$ ，其中  $R$  为地球半径， $\text{LA}_M$  与  $\text{LN}_M$  为农机的经纬度， $\text{LA}_T$  与  $\text{LN}_T$  为农田的经纬度。

### 2.3 调度算法

本文所设计的调度系统目标是为了通过跨区域调度减少各区域的农机购买成本，同时考虑跨区域调度中的路程成本。

目前方法在调度过程中只考虑同种类型农机，假定

各农机单位油耗以及行驶速度与作业效率相似，即各农机调度路程代价一致。同时，调度模型考虑了作业需求需要及时进行以免错过最佳作业时期，甚至由于晚收造成谷物破碎和倒伏，因此假设了各区域农机数量总数不少于某一时段内的总需求量，从而使得该时段内的可用农机数量足以满足当前时段各区域所有田块的作业任务，即农田作业任务可以即时获取农机进行调度。基于上述分析，参考文献[30]，本文采用基于最短距离优先的农机跨区域调度匹配方法，并设计了相关分布式算法，可以在区块链上的智能合约来实现。其中，由于采用的调度算法是寻求最近的农机资源，因此跨区域调度中经纬度差异较小，因此本文对于距离的计算采用计算效率较高的 Flat Earth 方法。

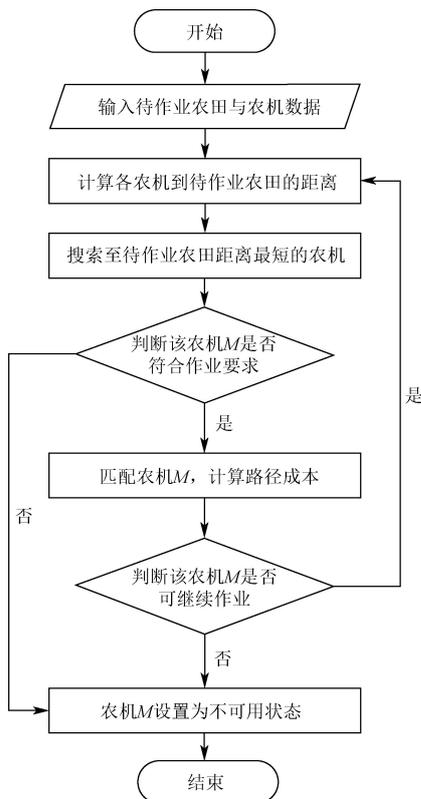


图3 基于最短距离的农机跨区域调度算法流程

Fig.3 Flow chart of cross-region scheduling algorithm of agricultural machinery based on shortest-distance

根据上述调度模型与分析，本文所采用的基于最短距离的农机跨区域调度分布式算法流程如图3所示，为了既能充分利用闲置农机又能节省调度成本，用户节点将相关的农田与农机信息输入至系统调度层中所部署的智能合约，智能合约调度算法通过输入信息搜索距离待作业田块最近的农机进行优先分配，并计算调度路径成本。若当前田块的作业任务结束后，被调配的农机机况（油量、设备状态以及安全性等）依然可以继续作业，则存储层的区块中将其记录为“可用”状态，并继续在智能合约中进行计算与调配；若农机正处于作业状态，或是作业结束后机况不允许其继续作业，则在存储层中记录农机状态为不可用。当所有田块作业均结束，或者所有农机均被利用，算法结束。调度算法完成后，通过

调配结果得到多农机跨区域调度在相关区域中的所需农机数量，并计算区域内农机的购买成本，结合路径成本与作业成本，得到跨区域调度成本的最优解。

## 2.4 调度匹配共识算法

与传统集中式调度系统将调度任务的分配过程交由中心服务器进行计算不同，基于区块链的调度系统将该计算过程交由系统中各个分布式节点完成，系统为每个节点设置信誉值参数用以激励用户。

用户在发起跨区域调度请求后，系统中各分布式节点通过智能合约进行调配计算，最先完成计算的节点会将计算结果发送给系统中的各个节点。节点收到后开始对调配结果进行验证。其中，发送调配验证的节点被称为主节点（Primary node），验证计算结果的节点成为验证节点（Validation node）。验证节点完成验证后将结果在所有节点中公开，只有达到超过一半节点数目“验证通过”的消息后，该调配结果匹配完成。该过程在区块链系统中称为“共识”。

共识验证中，各调度节点首先对计算结果进行检查，对其主节点的身份信息进行核实并计算其调配结果是否一致，同时检查时间戳是否准确以及用户信息是否无误。若均验证正确，标注该计算结果为有效（valid），反之为无效（invalid），并将验证结果发送给当前主节点。主节点收集所有的回复消息，查验验证结果，若系统中该匹配结果的有效数超过了所有节点数的一半，主节点将验证结果在系统中公开，其他节点同步更新调配结果与区块链状态，调度匹配共识完成。

共识执行完成后，匹配到的农机开始进行调度与作业。由于调度算法添加了信誉值，匹配概率会随着信誉值增高而增加。

## 2.5 激励机制

由于公有区块链平台存在计算效率慢、隐私泄露以及账本记录难以监管的问题，本文设计的农机调度系统采用 Hyperledger Fabric 联盟链平台，有需求（提供农机或者使用农机）的用户共同维护系统运行。与租用其他企业搭建的公有链平台不同，系统不会给其他企业和用户提供 gas 费以激励用户。为了能够使更多用户加入调度系统，且积极处理调度数据，本文设计了基于代币（Token）与信誉（Reputation）的激励机制，提供和 gas 费用相似的好处。

首先，系统会为用户节点提供代币。当一笔调度交易完成并记入区块链账本后，系统会为参与此过程的用户节点发放一定数量的代币。此代币以用户的可变参数体现，在系统中无法直接使用，可以兑换一定数额人民币。同时，调度交易成功后，根据交易信息（利润等）收取用户一定的代币。

其次，系统对记录良好的节点提供信誉值。每个用户节点  $i$  在系统中存在信誉值参数  $V_i$ ，当节点在一定时间间隔  $T$  内积极参与计算或是积极更新与维护区块链账本，该信誉值参数按式（12）进行增加。

$$V_i(r) = (1 + \alpha)V_i(r+1) \quad (12)$$

其中  $r$  表示一个阶段，过了时间间隔  $t$  后会进入下一个阶段， $\alpha$  为设计的参数，其值决定信誉值增长的幅度， $0 < \alpha \leq 0.03$ 。系统在调度匹配算法的过程中，会调取参与用户的信誉值参数，在计算农机与待作业农田距离的同时，根据相关用户的信誉值择优选择。因此，系统会对信誉值高的节点提供折扣和更好的调度机会。

### 3 应用试验与分析

#### 3.1 试验数据

本文以江苏省宜兴市（以区域 1 表示）与安徽省广德市（以区域 2 表示）的田块与农机为研究对象，2 个区域的田块与农机的位置等信息数据来源于智慧农业管理平台（www.ujsiot.top）。农机机况信息从智能传感器中获取。通过 Hyperledger Fabric 建立两市间的农机跨区域调度区块链系统，操作系统为 Ubuntu 18.04.6 LTS，区块链搭建平台为 Hyperledger Fabric V2.2，容器为 Docker-compose Version 1.27.2，Docker Version 20.10.12，内存 4GB，编程语言为 Go 语言。2 个区域的田块经营模式是家庭联产承包责任制，由农民自我管理和生产、分配以及经营。之前两个区域均采用区域内调度模式，同区域内相近的农户间自行凭经验进行农机的购买与调配。

表 1 为待作业农田的基本信息，包括各田块面积以及各田块的经纬度信息。其中  $f_1$  至  $f_4$  属于区域 1 内，而  $f_5$  与  $f_6$  同属于区域 2。表 2 为农机基本信息，包括各农机的单位路径成本与地理位置。其中农机  $m_1 \sim m_6$  在区域 1，农机  $m_7 \sim m_{10}$  属于区域 2。

表 1 跨区域田块基本信息

Table 1 Basic information of cross-regional fields

区域 Region	田块 Field	田块面积 Field area/m <sup>2</sup>	经度 Longitude/(°)	纬度 Latitude/(°)	所需农机 数量 Number of demand machinery/ 台
宜兴 Yixing	$f_1$	134 881	119.634 206	31.555 196	1
	$f_2$	430 977	119.655 087	31.458 953	2
	$f_3$	309 677	119.578 327	31.473 887	2
	$f_4$	2 138 260	119.521 829	31.206 627	3
广德 Guangde	$f_5$	284 523	119.322 638	30.970 299	1
	$f_6$	186 478	119.341 568	30.855 817	1

表 2 农机基本信息

Table 2 Basic information of agricultural machineries

区域 Region	农机 Machinery	单位路径成本 Unit path cost/(元·km <sup>-1</sup> )	经度 Longitude/(°)	纬度 Latitude/(°)
宜兴 Yixing	$m_1$	80	119.658 798	31.558 954
	$m_2$	80	119.572 019	31.106 733
	$m_3$	80	119.532 158	31.459 614
	$m_4$	80	119.556 424	31.169 237
	$m_5$	80	119.596 511	31.395 489
	$m_6$	80	119.521 548	31.228 654
广德 Guangde	$m_7$	80	119.395 215	30.956 325
	$m_8$	80	119.381 254	30.955 736
	$m_9$	80	119.397 974	30.895 827
	$m_{10}$	80	119.400 213	30.865 412

2 个区域的农机数量可以满足田块作业的阈值，符合本文所假设的各区域农机总数满足调度作业需求的约束条件。试验设定农机购买单价为 10 万元，作业与调配需求随机生成，调配方案基于 2.3 节的调配算法在智能合约中自动生成。

#### 3.2 测试结果

为验证本文所提出的调度系统通过跨区域调度对于部分区域所需农机购买数量与成本的降低作用，根据在系统中随机生成的田块作业任务，首先测试采用跨区域调度模式后区域 1 为满足农机作业需求所需购买农机的成本并与采用区域内调度模式时的结果进行比较，结果见表 3。

表 3 宜兴市所需农机购买成本

Table 3 Purchase cost of demand machinery in Yixing

调度模式 Scheduling mode	所需农机数量 Number of demand machinery/台	购买成本 Purchase cost/ 万元	下降率 Falling rate/%
区域内调度 Intra-region scheduling	8	80	25.0
跨区域调度 Cross-region scheduling	6	60	

从试验结果中看出，根据目前已有的农机数量，区域 1 在区域内调度模式下需要购置 8 台农机，而采用跨区域调度模式后，可以将区域 2 的农机利用起来，无需再额外购置农机，因此所需农机数减少了 2 台，成本相较于域内调度降低了 25.0%。

同时，为了验证跨区域调度不仅可以减少农机购买成本，还可以利用社会中的闲置农机，提升农机整体使用率，试验也测试了 2 个区域的农机使用情况。其中，无论是区域内调度或是跨区域调度的测试，试验对象均为 2 个区域内现有的农田。调度结果见表 4。

从表 4 可以看出，对于 2 个区域来说，在现有相同的农田中，相较于区域内调度模式，跨区域调度模式可将农机使用率从约 60%提升至约 90%。

表 4 农机使用情况

Table 4 Utilization of agricultural machinery

调度模式 Scheduling mode	农机数量 Number of machinery	平均工作农机数 Average number of working machinery/台	平均使用率 Average utilization rate/%
区域内调度 Intra-region scheduling	10	6	60
跨区域调度 Cross-region scheduling	10	9	90

根据现有数据，将算法部署在各分布式节点中的智能合约中完成。试验中对比了文献[28, 30]所研究的集中式系统与本文设计的分布式系统的运行时间，试验过程在 Hyperledger Fabric 平台中完成，结果见图 4。其中算法运行时间为 10 笔调度交易的平均计算时间。结果表明随着系统节点数的增加，本文算法与集中式调度算法的运行时间相近。相较于集中式调度算法，本文算法在 2、4 以及 8 个节点时平均运行时间分别为 2.1、2.2 与 2.4 s，

均低于集中式调度算法运行时间。而在用户节点数为 12 以及 16 时, 本文算法的运行时间也仅仅比集中式算法高出了 0.1 s。

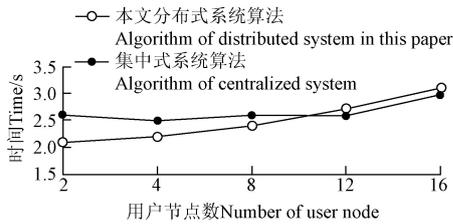


图 4 算法运行时间对比

Fig.4 Algorithm running time comparison

当任务总数为 10 时, 区块链调度系统匹配结果见表 5 与图 5。可以看出, 在试验场景中同一区域内的调度路程一般为 2~8 km, 因此所需要的路程代价是极低的, 而在试验场景中的跨区域的路程一般为 12~40 km, 路径代价远高于区域内调度, 且若涉及区域越多, 跨区域调度的路程也会相应的变多。

表 5 跨区域调度匹配结果

Table 5 Matching result of cross-region scheduling

农田 (Field)	农机 (Machinery)	调度距离 (Scheduling distance/km)
$f_1$	$m_1$	2.4
$f_2$	$m_5$	9.0
	$m_7$	37.9
$f_3$	$m_3$	4.7
	$m_8$	37.6
$f_4$	$m_2$	12.1
	$m_4$	5.3
	$m_6$	2.4
$f_5$	$m_9$	6.8
$f_6$	$m_{10}$	5.7

同时, 根据上述试验, 为验证该基于区块链的调度系统对于整体调度中所需投入的成本的影响, 试验测试了其算法在智能合约中的运行时间。并在一段时间内的调度需求能够及时处理, 即及时有可以提供农机进行调配作业的前提下, 与区域内调度方案的调度作业的平均时长以及平均投入成本进行对比, 并与 2 个区域内的农机信息同时作为输入信息得到的跨区域调度模式与区域内调度模式下各自的投入成本进行比较, 结果见表 6, 由于田块数与农机数较少, 试验仅测试了农机从仓库到任

表 6 跨区域与区域内调度对比结果

Table 6 Comparison results of cross-region and intra-region scheduling

任务数量 (Number of task)	算法平均运行时间 (Average time of algorithm running/s)	跨区域调度 (Cross-region scheduling)		区域内调度 (Intra-region scheduling)		下降率 (Falling rate/%)
		平均持续时长 (Average duration of scheduling/h)	平均总成本 (Average total cost/元)	平均持续时长 (Average duration of scheduling/h)	平均总成本 (Average total cost/元)	
6	2.344	22.82	1 035 856	22.38	1 084 372	4.5
8	2.503	24.50	1 045 264	22.72	1 242 936	15.9
10	2.655	24.52	1 070 834	23.46	1 360 130	21.3

同时, 本文所提系统的性能也进行了测试, 如图 6 所示。图 6a 体现的是系统中的用户节点与吞吐量之间的关系。试验结果表明, 初始吞吐量约为每秒 285。然后通

务再回到仓库的过程。其中, 平均时长指农机从起始仓库开始进行调度到完成作业回到终止仓库的用时。试验假定农机作业时长均为 22 h, 田块单位面积的作业成本为 85 元/hm<sup>2</sup>, 总投入成本参照式 (1) 计算, 成本下降比率  $Ration_C$  的定义如式 (13)。Cost<sub>In</sub> 与 Cost<sub>Cro</sub> 分别表示区域内与跨区域的路径平均总成本。

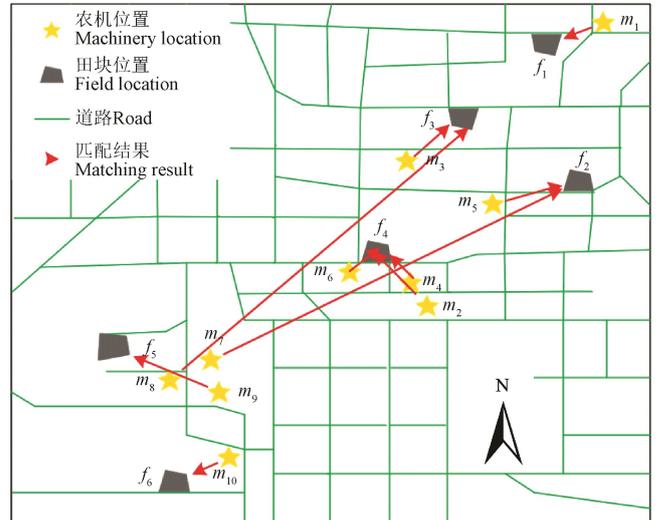


图 5 农机跨区域调度匹配结果

Fig.5 Cross-region scheduling matching results of agricultural machinery

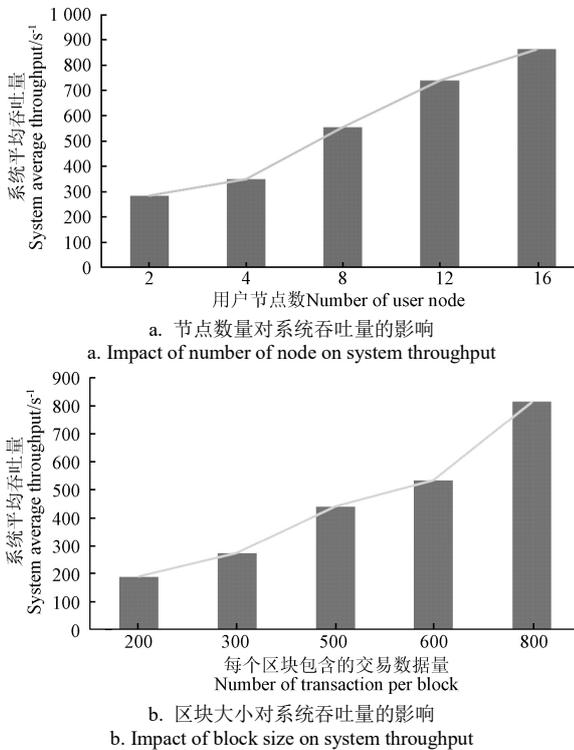
$$Ration_C = \frac{Cost_{In} - Cost_{Cro}}{Cost_{In}} \times 100\% \quad (13)$$

首先对区域内调度成本进行计算。由于区域内调度所涉及的范围较小, 单台农机的调度路程一般在 10 km 内, 因此各农机的路径成本相差不多, 各农机的区域内调度成本总和不超过 1 000 元, 与农机的购买成本相差较远, 因此在模型建立与试验中都对其进行了忽略。区域 1 与区域 2 之间的跨区域调度的成本测试结果表明。随着调度需求的增加, 跨域调度路径代价与作业成本均会达到上万元。

从试验结果可以看出, 在调度与作业的持续时间相近的情况下, 跨区域调度的投入成本更低, 且下降率会随着任务数的增加而增加。在仅有 6 个任务时, 成本下降 4.5%, 而当该时段的任务数达到 10 个时, 成本下降了 21.3%。

过部署 4 至 16 个节点, 测试系统在有用户节点加入后的性能。其中节点加入的间隔为 1 min。结果显示, 系统性能随着用户节点的增多而提高, 在达到 16 个用户节点时,

每秒可以处理约 865 个交易。图 6b 表示的是区块大小(即每个区块中包含的交易数据量)对系统吞吐量的影响。默认情况下, Hyperledger Fabric 网络将区块大小限制为 10 个交易。为了评估系统的潜力, 试验增加了区块大小(200~800), 试验间隔依然是 1min, 从图中可以看出, 系统性能随着区块大小的增加而提高, 当每个区块中可以包含 800 笔交易时, 吞吐量达到每秒 815。



注: TPS is transaction per second.

图 6 节点数量和区块大小对系统吞吐量的影响

Fig.6 Impacts of number of node and block size on system throughput

### 3.3 安全性分析

本文所设计的农机跨区域调度系统在 Hyperledger Fabric 区块链平台实现, 其中含有身份认证机制, 系统中的调度用户均需要在调度服务平台例如国家授权中心进行注册, 并且各用户的身份和资质等会被查验核实, 若查验合格, 则向调度用户颁发用于调度服务的密码学假名, 并将真实身份与假名向国家授权中心或其委托的下级授权中心进行备案(同时为防止身份泄露, 假名会被定期更新), 一方面可以保护调度用户隐私, 另一方面可以对交易异常进行事后追溯。

同时, 在该调度系统中, 调度数据(农机、农田信息、交易数据等)存储在区块中, 每个区块相连形成一条区块链, 并由用户共同进行维护与存储。在进行数据存储时, 造假数据会被及时验证, 无法上链。并且每个区块都附有前一个区块中各数据的加密“指纹”, 即哈希值, 一旦任何一个区块中的数据被篡改, 之后的所有区块数据“指纹”都会改变, 所有调度用户都可发现数据被篡改, 并且都不认可篡改数据, 这就保证了区块链中调度数据的不可伪造与篡改。

## 4 讨论

### 4.1 意外情况讨论

由于在实际农机调度中会遇到突发或意外情况, 导致无法按照原调度策略继续进行作业, 最终需要重新规划调配路径。本文所设计的基于区块链的农机跨区域调度系统在该情况下会以“交易撤销”的形式进行处理。交易撤销不同于记录撤销, 交易撤销是针对交易行为, 不是区块链的记录, 而这个被撤销的交易记录和撤销的行为都会留在账本上。因为区块链是不断更新的数据账本, 在重新进行调度规划时, 系统调度层中的智能合约会自动进行新的匹配, 新产生的调配结果会记录在新的区块账本中, 机手、调度用户等可查询到新的调度方案, 并不会与先前数据产生冲突, 这与链上数据维护与区块链的不可篡改性并不冲突。

交易撤销过程中, 首先系统会格式化, 然后通过键值对读取系统中待撤销交易, 如“tx1”的信息参数。若该交易数据状态为有效, 则重新运行调度算法生成新的调配结果“tx2”, 并将“tx1”的状态参数设为无效。若“tx1”的状态为无效或无该交易记录, 则会返回错误。最后, 将撤销行为与新调配结果写入新区块中进行记录。

同时, 农机信息、用户信息、农田信息变动较大且频繁, 基于区块链的农机跨区域调度系统可以记录相关的变更过程。因为区块链的不可篡改性针对的是已记录的相关数据信息, 而最新的数据读写操作以及调度中农机等相关信息的变动会随着新区块的产生进行不断更新。换句话说, 调度有关的所有数据的变动与更新操作会写入新的区块中。因此, 区块链的不可篡改性并不会影响信息的更新与变动, 且不可篡改的特性还可有效记录调度中的各个行为, 用户可以查阅以往的交易记录, 了解农田和农机所有者的信誉, 为调度交易计算的智能合约提供输入信息。

### 4.2 试验结果讨论

从基于区块链的跨域调度系统与模型算法的试验结果看, 通过跨区域调度可以解决一些区域中为满足调度需求而额外购置农机的问題, 即“有活没机干”的问题, 从而降低农机购买成本。同时, 跨区域调度也可以解决“有机没活干”的问题, 也就是缓解一些区域农机冗余造成的资源浪费现象。本文所设计的跨域调度系统在调度匹配中考虑了农机购买成本、跨区域调度路径成本以及作业成本, 试验结果表明, 相较于区域内调度可以大幅降低调度成本。

本文试验是基于 2 个距离较近的区域进行的, 因此场景设计较为有限, 涉及到的农田、农机数量较少, 田块作业为紧急任务, 需及时处理以避免错过最佳作业时间。虽然模型中涉及到农机多农田作业, 但试验仅测试了农机从仓库到任务并回到仓库的过程。在更加复杂的现实场景中, 对于跨区域调度来说涉及区域众多, 其中的农机、农田与用户数量也是庞大的, 在整体的调度决策中, 一台农机不会仅在一块农田中作业, 这与本文的模型假设有一定差距。

尽管存在一定的局限性,但本文通过采用区块链技术为跨域调度系统的建立进行了可行性、适用性以及系统的可追溯性与不可篡改性分析,为跨区域调度系统的研究提供了技术参考。同时,模型与算法的验证测试表明,所建立的跨区域调度对成本控制以及农机利用率的提升是有益的,当农机进行多农田顺序作业时,调配决策可能与本文有所差异,但无论调度决策如何改变,农机的作业如何执行,其调度目标依然是一致的。因此,本文跨区域调度系统的建立与模型算法的设计具有研究意义与社会效益。

## 5 结 论

根据农机跨区域调度需求,本文设计了基于区块链的农机跨区域调度系统。通过区块链分布式去中心化、存储数据的不可篡改、高透明度等技术特性,为跨域农机调度用户之间提供信任支持。通过构建调度模型与算法,进行了农机跨域调度随机试验,结果表明,跨区域调度模式可以减少各区域所需农机的购买成本,且随着涉及区域越多其成本下降幅度越大。同时,跨域调度可以提升农机使用率,做到对农机利用的合理统筹。考虑跨区域调度投入成本的最小化,本文采用基于最短距离的调度匹配算法,通过区块链智能合约自动执行算法流程,结果表明:通过跨区域调度,本文试验的区域1中,所需农机的购买成本降低25.0%,2个区域的农机利用率从60%提升至90%。相较于区域内调度,跨区域调度的总投入随着任务数的增加而降低。当任务数为6时,成本下降约4.6%,而当任务数为10时,成本下降约21.9%。

后续研究中,会在现实复杂的场景下获取更多数据信息,在范围大、农机农田数目多的场景下进行试验,同时考虑基于区块链的跨域调度中个体收益的最大化,农机使用率的最大化以及调度总路径的最小化中的多目标博弈算法。此外,随着用户与数据量的增加,基于区块链的系统会存在性能瓶颈,研究还应与区块链可扩展研究结合,逐步实现高性能、高安全性的农机跨区域智能化调度。

### [参 考 文 献]

- [1] 王猛, 赵博, 刘阳春, 等. 同种农机机群动态作业任务分配方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(9): 199-210.  
Wang Meng, Zhao Bo, Liu Yangchun, et al. Dynamic task allocation method for the same type agricultural machinery group[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(9): 199-210. (in Chinese with English abstract)
- [2] 黄炎忠, 罗小锋. 跨区作业如何影响农机服务获取? [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2020, 148(4): 89-97.  
Huang Yanzhong, Luo Xiaofeng. How does cross-regional operation affect agricultural machinery service acquisition?[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2020, 148(4): 89-97. (in Chinese with English abstract)
- [3] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 2019[Z]. 北京: 中国农业年鉴社, 2020.
- [4] Dinh T T A, Liu R, Zhang M, et al. Untangling blockchain: A data processing view of blockchain systems[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2018, 30(7): 1366-1385.
- [5] Aitzhan Z A, Svetinovic D. Security and privacy in decentralized energy trading through multi-signatures, blockchain and anonymous messaging streams[J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2016, 15(5): 840-852.
- [6] Li X, Jiang P, Chen T, et al. A survey on the security of blockchain systems[J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 107: 841-853.
- [7] Dai H N, Zheng Z, Zhang Y. Blockchain for internet of things: A survey[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(5): 8076-8094.
- [8] Liu Y, Ma X, Shu L, et al. From industry 4.0 to agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2021, 17(6): 4322-4334.
- [9] Yang H, Xiong S, Frimpong S A, et al. A consortium blockchain-based agricultural machinery scheduling system[J]. Sensors, 2020, 20(9): 2643.
- [10] 姚竟发, 滕桂法, 霍利民, 等. 联合收割机多机协同作业路径优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(17): 12-18.  
Yao Jingfa, Teng Guifa, Huo Limin, et al. Optimization of cooperative operation path for multiple combine harvesters without conflict[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(17): 12-18. (in Chinese with English abstract)
- [11] 孟志军, 刘卉, 王华, 等. 农田作业机械路径优化方法[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 147-152.  
Meng Zhijun, Liu Hui, Wang Hua, et al. Optimal path planning for agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 147-152. (in Chinese with English abstract)
- [12] Jensen M A F, Bochtis D, Sorensen C G, et al. In-field and inter-field path planning for agricultural transport units[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 63(4): 1054-1061.
- [13] Burgard W, Brock O, Stachniss C. Sliding mode formation tracking control of a tractor and trailer-Car system[C]// Robotics: Science and Systems III. MIT Press, Zurich, 2008: 113-120.
- [14] 张华强, 王国栋, 吕云飞, 等. 基于改进纯追踪模型的农机路径跟踪算法研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(9): 18-25.  
Zhang Huaqiang, Wang Guodong, Lv Yunfei, et al. Agricultural machinery automatic navigation control system based on improved pure tracking model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(9): 18-25. (in Chinese with English abstract)

- [15] 魏爽, 李世超, 张漫, 等. 基于 GNSS 的农机自动导航路径搜索及转向控制[J]. 农业工程学报, 2017, 33(增刊 1): 70-77.  
Wei Shuang, Li Shichao, Zhang Man, et al. Automatic navigation path search and turning control of agricultural machinery based on GNSS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(Supp.1): 70-77. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王猛. 农机多机协同作业任务分配关键技术研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2021.  
Wang Meng. Research on Key Technologies on Farm Task Allocation for Muti-machine Cooperative Operation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2021. (in Chinese with English abstract)
- [17] Daniel A, Zuniga V, Neng F, et al. Optimal production planning and machinery scheduling for semi-arid farms[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 187: 106288.
- [18] 曹如月, 李世超, 季宇寒, 等. 基于蚁群算法的多机协同作业任务规划[J]. 农业机械学报, 2019, 50(SI): 34-39.  
Cao Ruyue, Li Shichao, Ji Yuhan, et al. Multi-machine cooperation task planning based on ant colony algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(SI): 34-39. (in Chinese with English abstract)
- [19] Cao R, Li S, Ji Y, et al. Task assignment of multiple agricultural machinery cooperation based on improved ant colony algorithm, Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 182: 105993.
- [20] Jiang Y, Hao K, Cai X, et al. Optimal schedule for agricultural machinery in sequential tasks using a multi-population co-evolutionary non-dominant neighbor immune algorithm[C]//2018 37th Chinese Control Conference (CCC). Wuhan: IEEE, 2018: 2259-2264.
- [21] 王猛, 赵博, 刘阳春, 等. 基于多变异分组遗传算法的多机协同作业静态任务分配[J]. 农业机械学报, 2021, 52(7): 19-28.  
Wang Meng, Zhao Bo, Liu Yangchun, et al. Static task allocation for multi-machine cooperation based on multi-variation group genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(7): 19-28. (in Chinese with English abstract)
- [22] 张璠, 滕桂法, 马建斌, 等. 基于启发式优先级规则的农机调配算法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 78-85.  
Zhang Fan, Teng Guifa, Ma Jianbin, et al. Farm machinery scheduling and allocating based on heuristic priority rules[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 78-85. (in Chinese with English abstract)
- [23] Luo X W, Zhang L Y. The Optimal scheduling model for agriculture machinery resources with time-window constraints[J]. International Journal of Simulation Modelling, 2016, 15(4): 721-731.
- [24] 王文权. 带时间窗农机调度问题模型及算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.  
Wang Wenquan. Research on Models and Algorithms for Agricultural Machinery Scheduling Problem with Time Window[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019. (in Chinese with English abstract)
- [25] 吴才聪, 蔡亚平, 罗梦佳, 等. 基于时间窗的农机资源时空调度模型[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 237-241, 231.  
Wu Caicong, Cai Yaping, Luo Mengjia, et al. Time-windows based temporal and spatial scheduling model for agricultural machinery resources[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 237-241, 231. (in Chinese with English abstract)
- [26] 黄凰, 陈燕燕, 朱明, 等. 基于模糊隶属度的多站点多机协同即时响应调度系统[J]. 农业工程学报, 2021, 37(21): 71-79.  
Huang Huang, Chen Yanyan, Zhu Ming, et al. Multi-site and multi-machine cooperative instant response scheduling system based on fuzzy membership[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(21): 71-79. (in Chinese with English abstract)
- [27] Liu X, Zhu X, Hao K. Dynamic immune cooperative scheduling of agricultural machineries[J]. Complex and Intelligent Systems, 2021, 7(1): 2871-2884.
- [28] 王雪阳, 苑侗侗, 苑迎春, 等. 带时间窗的农机调度方法研究[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39(6): 117-123.  
Wang Xueyang, Yuan Dongdong, Yuan Yingchun, et al. A study on the method of agricultural scheduling with time-window[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2016, 39(6): 117-123. (in Chinese with English abstract)
- [29] Orfanou A, Busato P, Bochtis D D, et al. Scheduling for machinery fleets in biomass multiple-field operations[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 94: 12-19.
- [30] 张璠, 滕桂法, 苑迎春, 等. 农机跨区作业紧急调配算法适宜性选择[J]. 农业工程学报, 2018, 34(5): 47-53.  
Zhang Fan, Teng Guifa, Yuan Yingchun, et al. Suitability selection of emergency scheduling and allocating algorithm of agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(5): 47-53. (in Chinese with English abstract)
- [31] 张帆, 罗锡文, 张智刚, 等. 基于改进多父辈遗传算法的农机调度优化方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(9): 192-198.  
Zhang Fan, Luo Xiwen, Zhang Zhigang, et al. Agricultural machinery scheduling optimization method based on improved multi-parents genetic algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering

- (Transactions of the CSAE), 2021, 37(9): 192-198. (in Chinese with English abstract)
- [32] Imreh C, Noga J. Scheduling with Machine Cost[C]// Randomization, Approximation, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques, 1999: 168-176.
- [33] Huang D, Ma X, Zhang S. Performance analysis of the raft consensus algorithm for private blockchains[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2019, 50(1):172-181.
- [34] 董胜, 袁朝辉, 谷超, 等. 基于多学科技术融合的智能农机控制平台研究综述[J]. 农业工程学报, 2017, 33(8): 1-11.
- Dong Sheng, Yuan Zhaohui, Gu Chao, et al. Research on intelligent agricultural machinery control platform based on multi-discipline technology integration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(8): 1-11. (in Chinese with English abstract)

## Model construction and application of agricultural machinery cross-region scheduling based on blockchain

Yang Haotian<sup>1</sup>, Wang Liangmin<sup>2</sup>, Liu Lu<sup>3</sup>, Huang Longxia<sup>3</sup>, Ding Chenbo<sup>3</sup>

(1. School of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. School of Cyber Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China;

3. School of Computer Science and Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** An optimal cross-region scheduling of agricultural machinery can greatly contribute to minimizing the harvesting period in modern agriculture. However, the current management mode without a center cannot fully meet the flexible vehicle scheduling and highly efficient system, due to the different scheduling strategies and agricultural products among operating regions. Moreover, it is still lacking in the trust relationship between individual farmers and the cross-region dispatcher, due to the long distance between regions. It is a high demand to fully utilize the existing agricultural machinery resources, and effectively reduce the cost of purchasing agricultural machinery in each region. In this research, an intelligent scheduling system of agricultural machinery was constructed in cross-regional work using blockchain. A cross-region scheduling model of agricultural machinery was firstly established to evaluate the input cost under the number and demand of agricultural machinery, as well as the number of machinery operators. Then, the cross-region scheduling matching of agricultural machinery using the shortest distance was used to reduce the cross-region scheduling path cost, where the minimization of input cost was taken as the objective. The scheduling matching was automatically executed through the blockchain smart contract. A scheduling system was implemented in the form of decentralization to combine with the consensus algorithm of the blockchain system. The blockchain scheduling system was used to transfer the calculation process of the scheduling algorithm into each distributed user node in the system, where the main consensus was gained among all nodes. The scheduling matching results were then stored in the new block in real time as data storage after the consensus, together with the agricultural machinery and farmland information during the scheduling process. The reputation value was then rewarded for the user nodes that actively participated in the implementation. The nodes with the high reputation value were matched first in the future scheduling for the practical benefits. Finally, the field experiment was performed on the intelligent agriculture management platform, as well as the randomly generated scheduling tasks in the scheduling system. The cost and utilization of the scheduling within the region were compared using the farmland and agricultural machinery data of Yixing City, Jiangsu Province, and Guange City, Anhui Province, China. The results show that the decentralized characteristics of blockchain fully met the needs of cross-region scheduling scenarios without a center. The trust was provided for the scheduling users using identity authentication, high transparency, and tamper-proof technical features of blockchain. The agricultural information was updated to deal with unexpected situations by transaction cancellation using reschedule matching and synchronized block. Once the total number of agricultural machinery was sufficient in each region, the cross-region scheduling reduced the purchase cost of agricultural machinery for resource utilization to 90%. Therefore, the input cost of cross-region scheduling decreased with the increase in the number of tasks, compared with the intra-region scheduling. Specifically, the input cost was reduced by about 21.3% when the number of tasks was 10. A better performance was achieved for the blockchain-based scheduling system. More than 800 scheduling transactions per second can be expected to process in the system when the number of user nodes and transactions in each block reached 16 and 800, respectively. The finding can provide a strong reference for the cross-region scheduling mode of agricultural machinery.

**Keywords:** agricultural machinery; model; blockchain; intelligent agricultural machinery; cross-region scheduling; cost