

*Гаранин Никита Андреевич, студент-магистр, Калужский филиал ФГБОУ
ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э.*

Баумана (национальный исследовательский университет)»

*Федоров Виктор Олегович, к.т.н., доцент, Калужский филиал ФГБОУ ВО
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»*

*Белов Юрий Сергеевич, научный руководитель, к.ф. -м.н., доцент, Калужский
филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И БЛОКЧЕЙНА

Аннотация: Интеллектуальная система цепочек поставок сельского хозяйства предоставляет оцифрованный сценарий существующих продуктов, используя датчики или преобразователи. Датчики или преобразователи получают физические величины или сигналы из окружающей среды сельского хозяйства и возвращают данные в оцифрованном виде, данные записываются в Блокчейн. Таким образом, потребители будут заранее получать информацию об экономической ценности сельскохозяйственных культур. Кроме того, в этой статье также демонстрируются кластерные фермы на основе Интернета вещей для снижения энергопотребления и стабильности сети и сравниваются его результаты с аналогичным протоколом Low-Energy Adoptive Clustering Hierarchy (LEACH). Результаты моделирования показывают, что стабильность сети предлагаемого протокола на 23% выше по сравнению с LEACH, поскольку первый узел LEACH умирает после 168 раундов, в то время как первый узел сельского хозяйства на основе интернета вещей умирает после 463 раундов. Что

касается производительности системы была протестирована 20 раз, в которых время генерации данных транзакций частной цепочки составляло в среднем 632 мс. Время генерации данных транзакций публичной цепочки составляло в среднем 617 мс.

Ключевые слова: блокчейн, интернет вещей, цепочки поставок, кластеризация.

Abstract: An intelligent agricultural supply chain system provides a digitized scenario of existing products using sensors or converters. Sensors or converters receive physical quantities or signals from the agricultural environment and return the data in digitized form, the data is recorded in the blockchain. Thus, consumers will receive information about the economic value of agricultural crops in advance. In addition, this article also demonstrates cluster farms based on the Internet of Things to reduce energy consumption and network stability and compares its results with a similar Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) protocol. The simulation results show that the network stability of the proposed protocol is 23% higher compared to LEACH, since the first LEACH node dies after 168 rounds, while the first IoT-based agriculture node dies after 463 rounds. As for the performance of the system, it was tested 20 times, in which the generation time of private chain transaction data averaged 632 ms. The time of generating transaction data of the public chain averaged 617 ms.

Keywords: blockchain, Internet of things, supply chains, clustering.

Введение. Рост численности населения приводит к росту в потребности продуктов. Из-за этого фермеры вынуждены производить больше при тех же ресурсах. Сельское хозяйство сталкивается не только со снижением производства, но и с ограничениями в сборе, хранении, обеспечении безопасности и совместном использовании данных, изменением климата, повышением цен на сырье, традиционными системами поставок продовольствия, в которых нет прямой связи между фермером и покупателем, и ограничениями на использование энергии. Существующие системы сельского

хозяйства, основанные на IoT, имеют централизованный формат и работают изолированно, оставляя место для нерешенных проблем и серьезных проблем, включая безопасность данных, манипулирование и единичные точки отказа. В этой статье предлагается интернет вещей с Блокчейн-моделью для решения этих задач.

Цель исследования. Рассмотреть интеллектуальную систему цепочек поставок на основе технологии Блокчейн с применением Интернета вещей.

Блокчейн технология. Клиенту важно знать качество товара, который он приобретает, для этого необходимо регистрировать оборот продуктов и связанные с ними данные по всей цепочке поставок продуктов питания, чтобы отслеживать продукты питания от фермы до потребителя. Традиционная среда цепочки поставок основана на традиционных технологиях баз данных не соответствует цели, поскольку в этих средах отсутствует непрерывный поток информации по всей цепочке [1]. Для этих целей, подойдет функционал Blockchain.

Блокчейн - это распределенная база данных, в которой данные могут записываться и совместно использоваться через децентрализованную вычислительную сеть, обеспечивая при этом безопасность и конфиденциальность. Благодаря децентрализованному согласию блокчейны могут обеспечить выполнение транзакции и ее проверку в распределенной системе, которой не доверяют друг другу, без вмешательства доверенной третьей стороны.

На Рисунке 1. показан примерный Blockchain, состоящий из ряда последовательно соединенных блоков. Каждый блок (за исключением первого блока) в Блокчейне указывает на свой непосредственно предыдущий блок (называемый родительским блоком) с помощью встроенной ссылки, которая по сути является значением хэша родительского блока. Например, блок 1 содержит хэш блока 2. Первый блок Blockchain называется блоком генезиса, не имеющим родительского блока. В частности, структура блока (Рисунок 1.7) состоит из следующей информации: 1) версия блока (с указанием правил проверки,

которым следует следовать), 2) хэш родительского блока, 3) Отметка времени, записывающая текущее время в секундах, 4) Одноразовый номер, начинающийся с 0 и увеличивающийся при каждом вычислении хэша, 5) количество транзакций, 6) MerkleRoot (значение хэша корня дерева Merkle с объединением значений хэша всех транзакций в блоке).

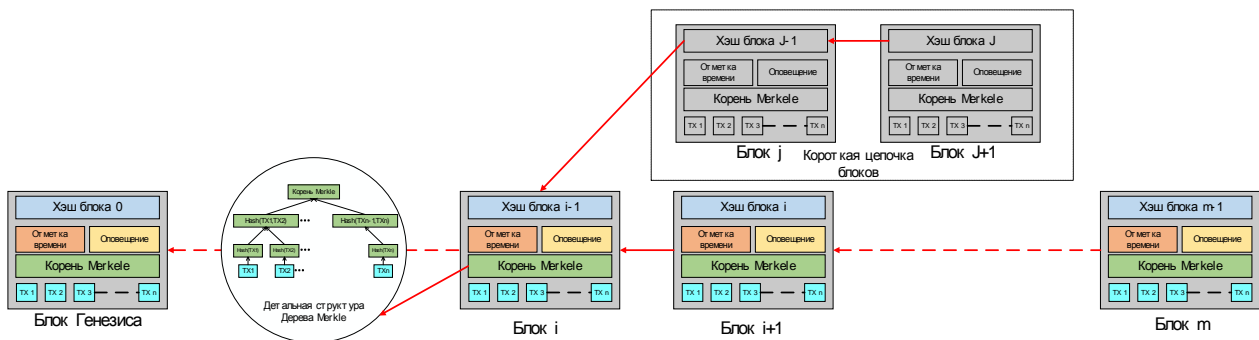


Рисунок 1. Иллюстрация простой блокчейн-цепочки

Блокчейн постоянно растет вместе с транзакциями. Когда создается новый блок, все узлы сети будут участвовать в проверке блока. Проверенный блок будет автоматически добавлен в конце Blockchain с помощью обратной ссылки, указывающей на родительский блок [2]. Таким образом, любые несанкционированные изменения в ранее сгенерированном блоке могут быть легко обнаружены, поскольку значение хэша измененного блока значительно отличается от значения хэша неизменного блока. Более того, поскольку Блокчейн распределен по всей сети, поведение злоумышленников также может быть легко обнаружено другими узлами сети.

Благодаря своим уникальным характеристикам Blockchain может стать следующим эволюционным шагом в цепочке поставок продуктов питания, а также повысить подотчетность системы цепочки поставок путем обмена точными данными между заинтересованными сторонами цепочки поставок [3]. Дополнительная интеграция Интернета вещей с Блокчейном позволит организовать общую видимость продуктов питания по всей цепочке поставок.

Интернет вещей в сельском хозяйстве. В области интеллектуального сельского хозяйства IoT предоставляет широкий спектр приложений, таких как

отслеживание почвы и растений, наблюдение за ростом и селекцией сельскохозяйственных культур, помощь в оценке орошения и мониторинг окружающей среды в сельском хозяйстве. В цепочке поставок технология Интернета вещей применяется для диагностики и управления. Для оптимизации внедрение IoT на местах повысило производительность и эффективность [4]. Также Интернета вещей может быть использован для тестирования и мониторинга переменных, включая температуру, влажность почвы и болезни сельскохозяйственных культур. Приложения IoT поддерживают фермеров во время посадки сельскохозяйственных культур, орошения, обработки урожая, сбора урожая и послеуборочного периода, хранения и транспортировки урожая и многих других преимуществ сельскохозяйственных систем Интернета вещей [5]. В сценариях IoT датчики могут быть установлены в самых разных местах, включая теплицы, банки семян, холодильные камеры, сельскохозяйственную технику, транспортные системы и домашний скот, а собранные данные могут обрабатываться в облаке для мониторинга и управления.

Для внедрения IoT, необходимо определить функционал, который он будет решать. Функции для приложений Интернета вещей:

- Децентрализация. Приложения Интернета вещей требуют децентрализации, когда нет надежной централизованной системы.

- P2P-обмены. В IoT большинство коммуникаций идет от узлов к шлюзам, которые направляют данные на удаленный сервер или облако. Коммуникации между одноранговыми узлами на уровне узла на самом деле не очень распространены, за исключением специфических применений, таких как в интеллектуальных роях или в вычислительных системах mist [6]. Существуют также другие парадигмы, которые способствуют взаимодействию между узлами на том же уровне, как это происходит в туманных вычислениях с локальными шлюзами.

- Публичное последовательное протоколирование транзакций. Многие сети Интернета вещей собирают данные, которые необходимо пометить по времени и хранить последовательно. Тем не менее, такие потребности могут

быть легко удовлетворены с помощью традиционных баз данных, особенно в случаях, когда безопасность гарантирована или когда атаки редки.

- Надежная распределенная система. Распределенные системы также могут быть построены поверх облаков, серверных ферм или любой формы традиционных распределенных вычислительных систем.

- Сбор микротранзакций. Некоторым приложениям Интернета вещей может потребоваться вести учет каждой транзакции для поддержания прослеживаемости, в целях аудита или потому, что методы больших данных будут применены позже. При дистанционном мониторинге сельского хозяйства, где связь является дорогостоящей, обычно используются узлы IoT, которые просыпаются каждый час для получения данных об окружающей среде от датчиков. В таких случаях локальная система может собирать и хранить данные, и один раз в день она передает обработанную информацию.

Узлы Интернета вещей идеально подходят для кластерных ферм, поскольку они потребляют мало энергии и могут быть дополнительно сокращены с помощью эффективного протокола кластеризации [7]. Поэтому был выбран новый протокол кластеризации сельского хозяйства на основе Интернета вещей, как показано на Рисунке 2, основанный на протоколе LEACH, для снижения энергопотребления и продления срока службы сети.

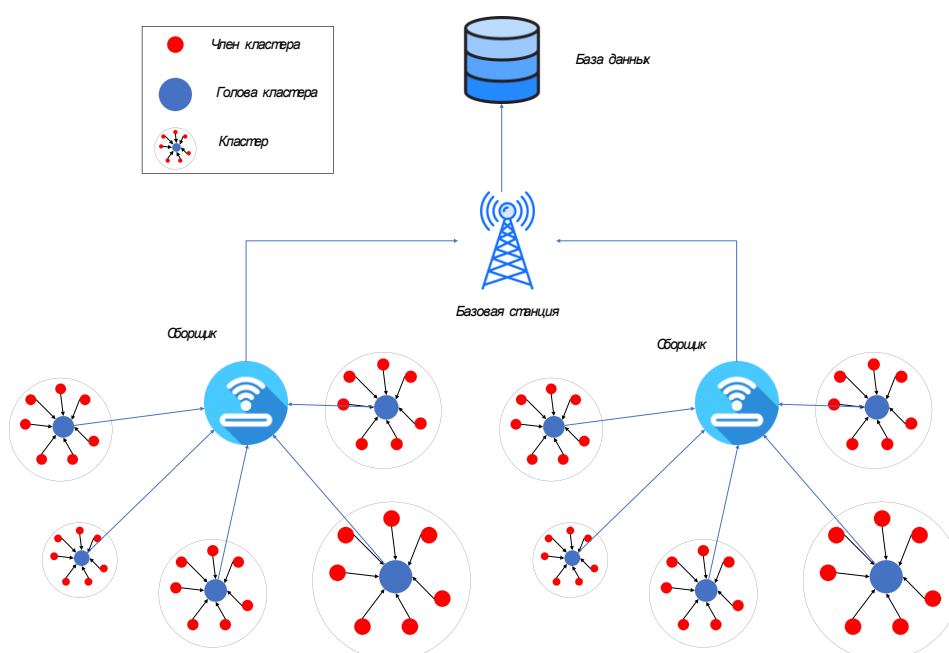


Рисунок 2. Кластеризация сельского хозяйства на основе IoT

Моделирование:

- Узлы интернета вещей устанавливаются на кластерной ферме случайным образом.

- Узлы интернета вещей отправляют приветственные сообщения на базовую станцию с локальной информацией.

- Начальное количество кластеров вычисляется путем принятия оптимальных значений, которые изменяются в зависимости от плотности узлов до истечения срока службы узла, и меньшее количество кластеров становятся более крупными кластерами [8].

- Базовая станция и приемник установлены вне кластерной фермы, как показана на Рисунок 3.

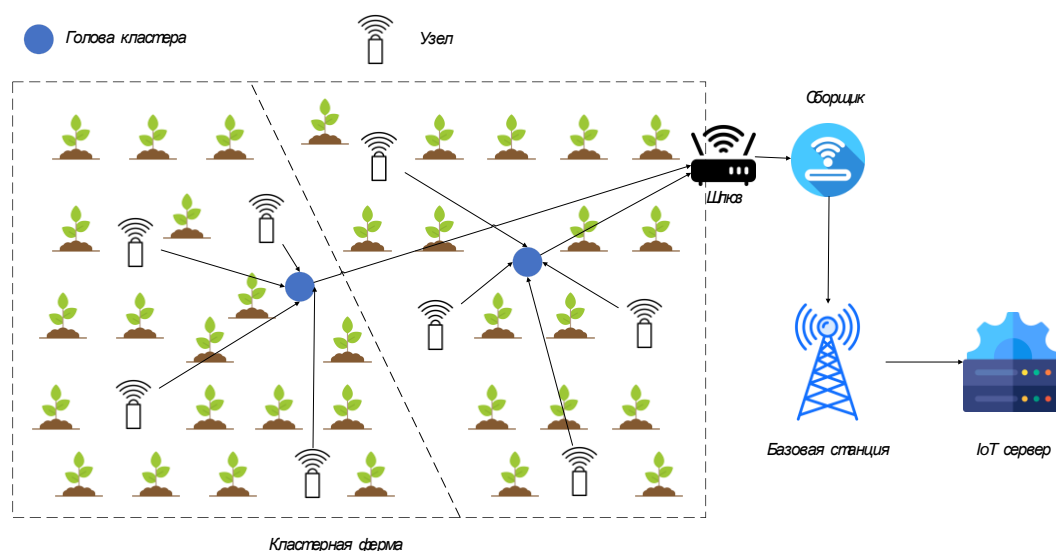


Рисунок 3. Сельскохозяйственная кластерная ферма на основе IoT

Оценка интеллектуальной сети

Чтобы проверить эффективность предлагаемой архитектуры ведения сельского хозяйства на основе Интернета вещей. Узлы Интернета вещей были установлены случайным образом в каждой моделируемой технике при моделировании 5000 раундов. В ферме размером 500×500 м² все активные узлы передают данные своим соответствующим кластерам, а главы кластера передают данные на базовую станцию через узел приемника. Сравнение проводилось с протоколом LEACH, одним из популярных на данный момент.

Время, необходимое для выхода из строя первого узла, известно как период стабильности сети. На Рисунке 4. показан период стабильности сети сельского хозяйства на основе Интернета вещей. Стандартный протокол имеет более короткий период стабильности, чем предлагаемый протокол [9]. Причина улучшения заключается в том, что данные передаются в предлагаемом протоколе только тогда, когда есть разница между ранее принятыми данными и текущими данными. Результаты показывают, что первый узел умирает после 168 раундов, в то время как первый узел предлагаемого протокола умирает после 463 раундов, что указывает на то, что протокол сельского хозяйства на основе Интернета вещей на 23% эффективнее с точки зрения стабильности сети.

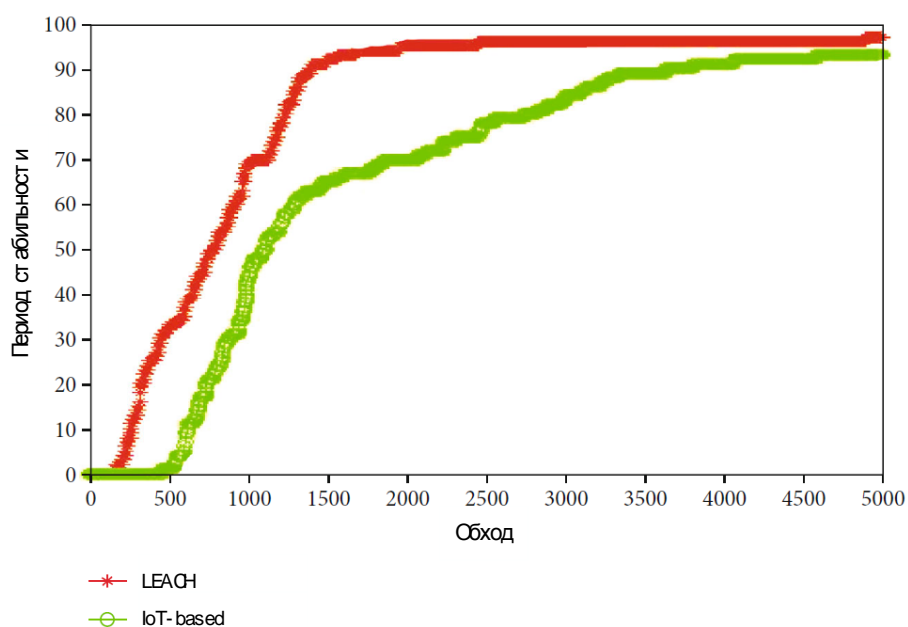


Рисунок 4. Период стабильности сети

Что касается производительности системы, то время работы системы отслеживания продукции, в основном тратится на сбор, передачу и аудит данных отслеживания. В процессе генерации данных отслеживания датчик может передавать точные данные в режиме реального времени и потреблять меньше времени. Кроме того, информация, генерируемая каждым отделом, зависит в основном от сетевых факторов [10]. Как показано на Рисунке 5., в обычных сетевых условиях система, была протестирована 20 раз, в которых время генерации данных транзакций частной цепочки составляло от 524 до 890 мс, в

среднем 632 мс. Время генерации данных транзакций публичной цепочки составляло от 513 до 73 мс, в среднем 617 мс.

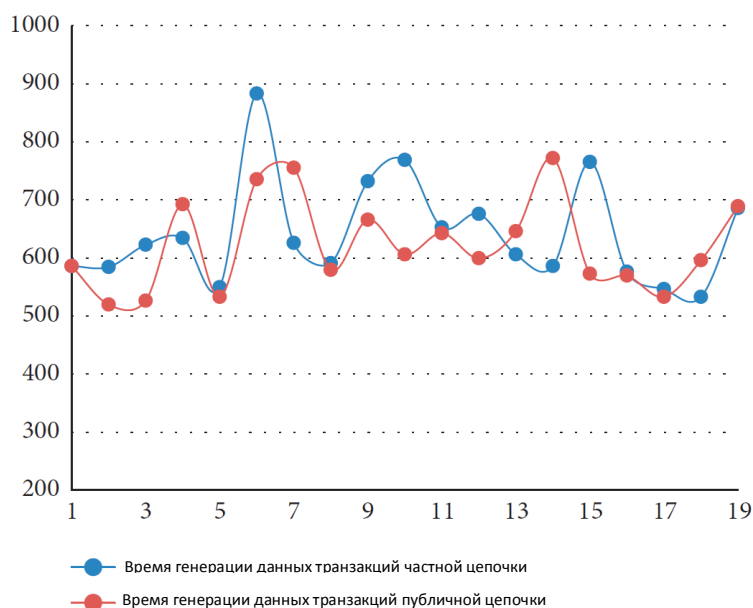


Рисунок 5. Время генерации цепочки данных

Заключение. Использование Блокчейна в цепочке поставок продуктов питания дает различные преимущества, в том числе потенциал для расширения и перехода к распределенной сети, а также возможность создать среду, не требующую доверия, для всех процессов. В настоящее время системы цепочки поставок продуктов питания на основе Blockchain сосредоточены исключительно на цепочке поставок, не имея возможности отслеживать продукты питания до их источника для обеспечения качества продукции, в то время как существующие сельскохозяйственные системы на основе IoT часто изолированы, их функции ограничены мониторингом окружающей среды в сельском хозяйстве, а фермеры не могут напрямую общаться с покупателями на рынке. В этой статье, представлено комплексное решение для агропромышленного комплекса и цепочки поставок продуктов питания путем интеграции Интернета вещей с Блокчейном.

Библиографический список:

1. Гаранин Н.А. Белов Ю.С. Защита устройств интернета вещей (IoT) с помощью блокчейн-фреймворка Hyperledger fabric // В сборнике: Научное обозрение. Технические науки. 2021. С. 17-21.
2. Ahmed S. M., Kovala B., and Gunjan V. K., IoT based auto- matic plant watering system through soil moisture sensing— a technique to support farmers cultivation in Rural India // Advances in Cybernetics, Cognition, and Machine Learning for Communication Technologies. 2020. pp. 259–268.
3. Iwendi C., Maddikunta P. K., Lakshmana K., Bashir A. K., and Piran M. J., A metaheuristic optimization approach for energy efficiency in the IoT networks // Software: Practice and Experience. 2021. vol. 51. no. 12. pp. 2558–2571.
4. Alfandi O., Otoum S., and Jararweh Y., Blockchain solution for iot-based critical infrastructures: byzantine fault tolerance // Proceedings of the NOMS 2020-2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. 2020. pp. 1–4.
5. Chen C. L., Lim Z. Y., Liao H. C., Deng Y. Y., and Chen P., A traceable and verifiable tobacco products logistics system with GPS and RFID technologies // Applied Sciences. 2021. vol. 11. no. 11. p. 4939.
6. Longo F., Nicoletti L., and Padovano A., Estimating the impact of blockchain adoption in the food processing industry and supply chain // International Journal of Food Engineering. 2020. vol. 16. no. 5-6.
7. Prashar D., Jha N., Jha S., Lee Y., and Joshi G. P., Blockchain- based traceability and visibility for agricultural products: a decentralized way of ensuring food safety in India // Sustainability. 2020. vol. 12. no. 8. p. 3497.
8. Torroglosa-Garcia E. M., Calero J. M. A., Bernabe J. B., and Skarmeta A., Enabling roaming across heterogeneous IoT wireless networks: LoRaWAN MEETS 5G // IEEE Access. 2020. vol. 8. pp. 103164–103180.
9. Mahalakshmi J., Kuppusamy K., Kaleeswari C., and Maheswari P., IoT sensor-based smart agricultural system // Emerging Technologies for Agriculture and Environment. 2020. pp. 39–52.
10. Zhu H., Guo Y., and Zhang L., An improved convolution Merkle tree-based blockchain electronic medical record secure storage scheme // Journal of Information Security and Applications. 2021. vol. 61. Article ID 102952.