

Научная статья
УДК 625.72.003.1
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-2(87)-92-100

Л.В. ЕРЕМИНА, А.Ю. МАМОЙКО, Г.Б. МЕДВЕДЕВА

ИНТЕГРАЦИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

***Аннотация.** Сместив фокус с области распределенных и децентрализованных технологий в управлении интеллектуальными транспортными системами (ИТС), мы рассмотрим конкретное применение децентрализованных распределенных технологий в управлении транспортом. В статье рассматривается использование технологии блокчейн в управлении транспортными системами с помощью мультиагентных систем. Подчеркивается важность эффективного использования больших массивов данных и определяется Интернет транспортных средств (IoV) как важнейшая область интеграции существующих технологий IoT для решения задач интеллектуального дорожного движения в рамках многоагентных систем.*

***Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, блокчейн, мультиагентные системы, Интернет транспортных средств, Интернет вещей*

Введение

Традиционные централизованные системы управления движением (ЦСУД) на протяжении десятилетий были основой управления дорожным движением. Однако по мере того, как транспортные сети становятся все более сложными, а требования к мобильности развиваются, ограничения ЦСУД становятся все более очевидными. Эти ограничения можно разделить на основные области: масштабируемость, узкие места в сети, единая точка отказа, ограниченная гибкость, безопасность и конфиденциальность. Помимо указанных недостатков, существует ряд дополнительных аспектов, а именно: высокие эксплуатационные расходы, ограниченная интеграция.

Эти ограничения в совокупности свидетельствуют о необходимости смены парадигмы в сторону более гибких, масштабируемых и устойчивых решений по управлению дорожным движением. Децентрализованные распределенные технологии (ДРТ) предлагают многообещающую альтернативу, обеспечивая обмен данными в режиме реального времени, принятие решений на местном уровне и улучшенную адаптивность для устранения недостатков традиционных ЦСУД.

Материал и методы

Децентрализованные автономные транспортные системы воплощают в себе основные элементы блокчейна. P2P-сети, которые опираются на консенсус распределенной координации и экономические стимулы, являются естественным способом моделирования сложной транспортной системы. В этой системе каждый вычислительный узел, например IoT-устройства, транспортные средства или другие объекты с вычислительной мощностью, может выступать в качестве автономного агента [1].

Децентрализованные распределенные технологии предлагают новаторский альтернативный подход к преодолению ограничений и прокладывают путь к созданию более эффективной и адаптируемой системы управления дорожным движением. Распределяя принятие решений и обработку данных между отдельными устройствами в сети, ДРТ дают значительные преимущества: улучшенная масштабируемость, повышенная устойчивость, улучшенная адаптивность, конфиденциальность данных. Используя эти преимущества, ДРТ способны изменить управление дорожным движением по нескольким направлениям:

– сокращение количества заторов: ДРТ могут анализировать данные о дорожном движении в режиме реального времени и оптимизировать временные параметры сигналов,

разумно направляя транспортные средства для уменьшения заторов и улучшения транспортного потока;

- повышение безопасности: Данные в реальном времени позволяют ДРТ оперативно выявлять и реагировать на дорожно-транспортные происшествия и другие чрезвычайные ситуации, сводя к минимуму потенциальные риски и обеспечивая безопасность пассажиров и пешеходов;

- сокращение выбросов: Оптимизация транспортного потока и динамическое планирование маршрута приводят к уменьшению количества остановок и заторов, снижая расход топлива и выбросы вредных веществ;

- улучшенный пользовательский опыт: Информация о дорожной обстановке в реальном времени, предоставляемая ДРТ, позволяет водителям принимать взвешенные решения, эффективно корректировать маршруты и ориентироваться в дорожных ситуациях.

Теория

Признавая перспективность децентрализованных распределенных технологий в устранении ограничений традиционных систем управления дорожным движением, проводим анализ на основе данных, чтобы выявить их сравнительные преимущества. На следующих графиках мы рассмотрим ключевые области, в которых ДРТ предлагают значительные улучшения по сравнению с их централизованными аналогами. Эти графики наглядно иллюстрируют существенные недостатки традиционных централизованных систем управления движением (ЦСУД) по сравнению с децентрализованными распределенными технологиями (ДРТ) в различных аспектах.

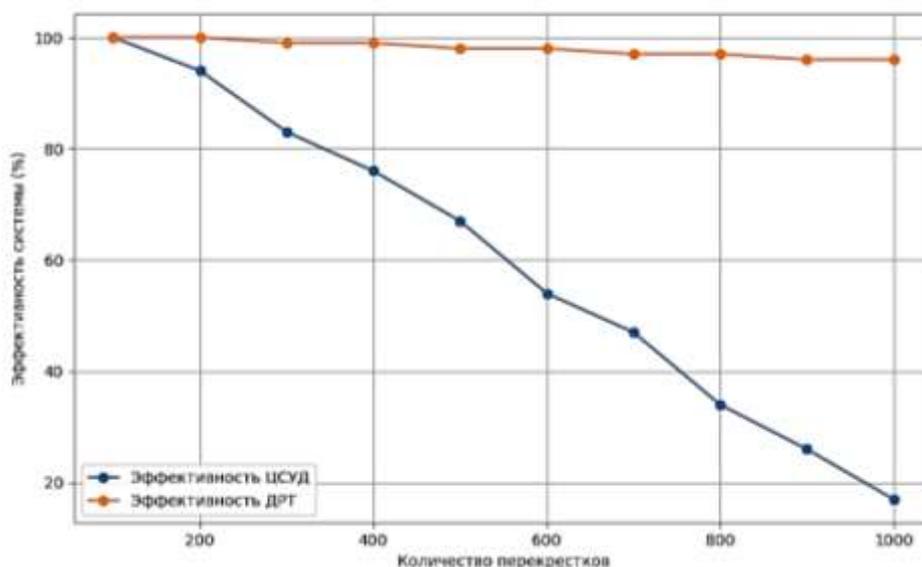


Рисунок 1 - Сравнение масштабируемости: ЦСУД и ДРТ

На рисунке 1 показано снижение эффективности ЦСУД с увеличением количества перекрестков. В то время как ЦСУД сохраняют 100 % эффективность для сетей до 200 перекрестков, их эффективность резко падает до 15 % при 1000 перекрестках. Напротив, ДРТ сохраняют практически 100% эффективность при любом размере сети, демонстрируя превосходную масштабируемость для больших и сложных сетей. При построении этого графика были использованы данные исследований Национального исследовательского совета КНР, который установил, что эффективность ЦСУД может снижаться на 25 %, когда количество перекрестков превышает 500 [2].

Гистограмма, представленная на рисунке 2, подчеркивает высокую уязвимость ЦСУД к сбоям в одной точке. При 95-процентном проценте отказов по сравнению с 5-процентным показателем для ДРТ, системы ЦСУД значительно больше подвержены сбоям в работе всей системы, вызванным неполадками в центральном блоке. Эта гистограмма построена на основе данных исследования Министерства транспорта КНР [3], которое показало, что примерно 95 % перебоев в работе ЦСУД вызваны неисправностями центрального блока.

Негативные последствия использования в ЦСУД заранее запрограммированного времени работы сигналов, показывает график представленный на рисунке 3. По сравнению со стратегиями определения времени в реальном времени, используемыми в ДРТ, заранее установленное время может привести к увеличению заторов на 15 %, что негативно сказывается на транспортном потоке и эффективности движения. Этот график основан на исследовании Института инженеров транспорта [4], которое показало, что синхронизация сигналов в реальном времени может сократить заторы на 15-20 % по сравнению с заранее запрограммированными стратегиями.

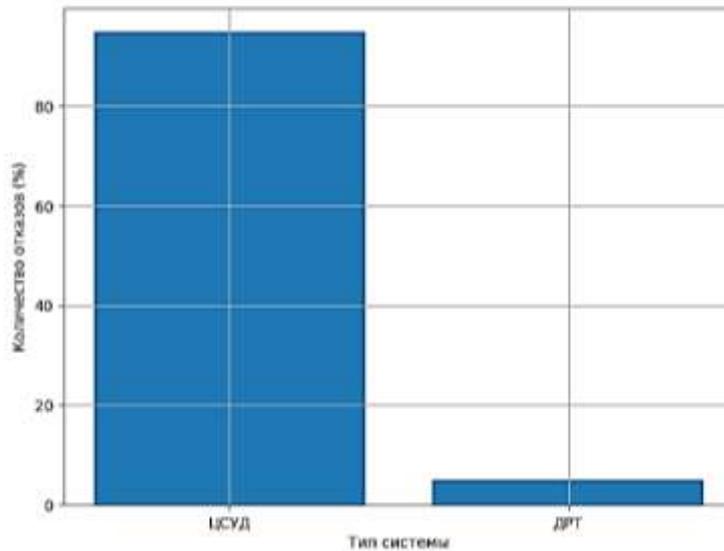


Рисунок 2 - Сравнение единичных точек отказа: ЦСУД и ДРТ

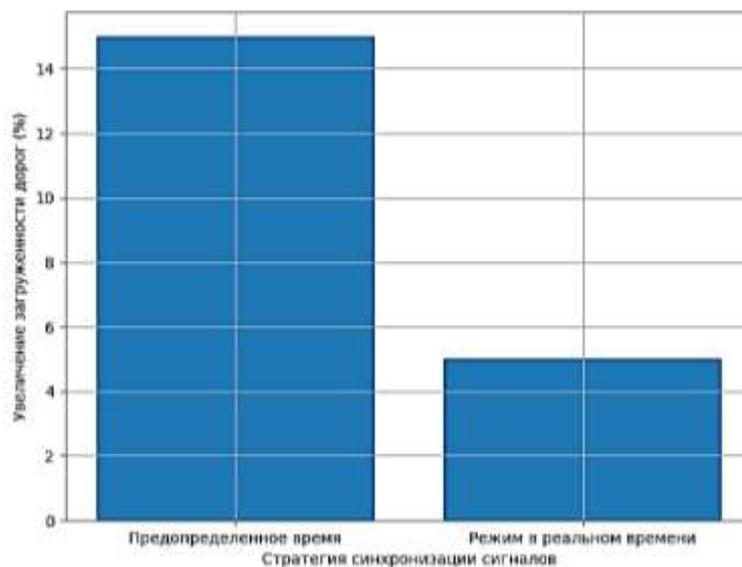


Рисунок 3 - Сравнение загруженности дорог при различных способах синхронизации сигналов

По данным из отчета Ponemon Institute [5], в котором средняя стоимость утечки данных в США оценивается в 4,24 миллиона долларов в 2023 году. График построенный по эти данным, подчеркивает значительные финансовые риски, связанные с централизованным хранением данных (рис. 4).

Представленный анализ, убедительно доказывают необходимость перехода от традиционных ЦСУД к более современным и устойчивым решениям управления трафиком, таким как ДРТ. Благодаря превосходной масштабируемости, отказоустойчивости, адаптивности и возможностям обеспечения конфиденциальности данных, ДРТ способны произвести революцию в системах управления дорожным движением, что приведет к оптимизации транс-

портных потоков, снижению выбросов, повышению общественной безопасности и улучшению качества обслуживания пользователей.

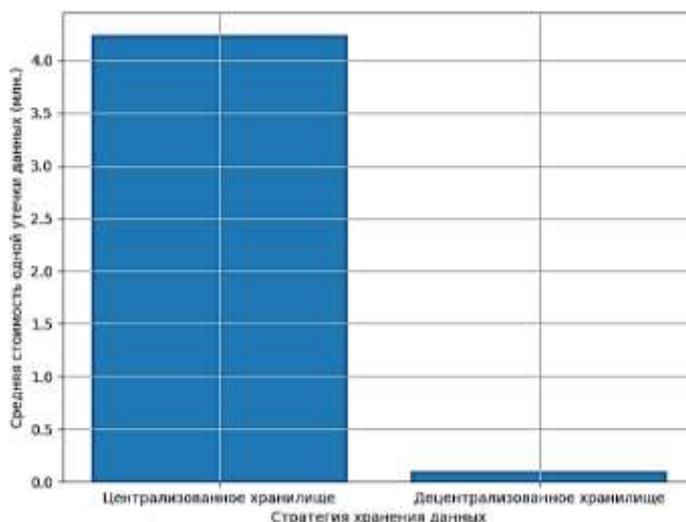


Рисунок 4 - Сравнение конфиденциальности данных: Централизованное и децентрализованное хранение данных

В настоящее время изучается несколько перспективных ДРТ для управления дорожным движением [6]:

Интернет вещей (IoT): Датчики, встроенные в транспортные средства и инфраструктуру, собирают данные о дорожной обстановке в режиме реального времени, предоставляя ценные сведения для принятия решений.

Распределенный реестр: Технология распределенного реестра обеспечивает безопасный и прозрачный обмен данными между транспортными средствами и инфраструктурой, способствуя доверию и сотрудничеству.

Пограничные вычисления: Децентрализованная обработка данных на границе сети позволяет анализировать их в режиме реального времени, ближе к источнику, что ускоряет и повышает эффективность принятия решений.

Машинное обучение: Алгоритмы могут анализировать исторические данные и данные реального времени, чтобы предсказывать будущие схемы движения и проактивно управлять транспортными потоками.

Интернет транспортных средств (IoV) является ключевым направлением интеграции существующих технологий IoT для решения проблемы интеллектуального дорожного движения. Предотвращение дорожных происшествий имеет решающее значение, а нормативные акты более эффективны, чем быстрая реакция. ИТС косвенно повышают безопасность движения и снижают аварийность [1]. Несмотря на то, что в создание ИТС вложено немало усилий, необходимо решать вопросы безопасности. Технология блокчейн может решить потенциальные проблемы безопасности, связанные с традиционными централизованными системами безопасности [7].

Внедрение новой парадигмы под названием Internet of Vehicles (IoV) в интеллектуальные транспортные системы (ИТС) осуществляется с использованием умных автомобилей, Интернета вещей (IoT), децентрализованных распределенных технологий и искусственного интеллекта [6]. В рамках этой парадигмы транспортные средства взаимодействуют между собой, с людьми и инфраструктурой через коммуникационные технологии, обеспечивая безопасное и разумное передвижение автомобилей благодаря наблюдению и восприятию окружающей среды.

Основываясь на разработках представленных в [8], используем децентрализованные распределенные технологии консорциума для создания безопасной и распределенной системы управления данными в автомобильных пограничных вычислительных сетях. В этой системе смарт-контракты используются для обеспечения безопасного обмена и хранения дан-

ных, как на транспортных средствах, так и на серверах автомобильных вычислительных сетей, таких как Roadside Units (RSU) (рис. 5). Кроме того, смарт-контракт гарантирует, что данные не могут быть переданы без авторизации.

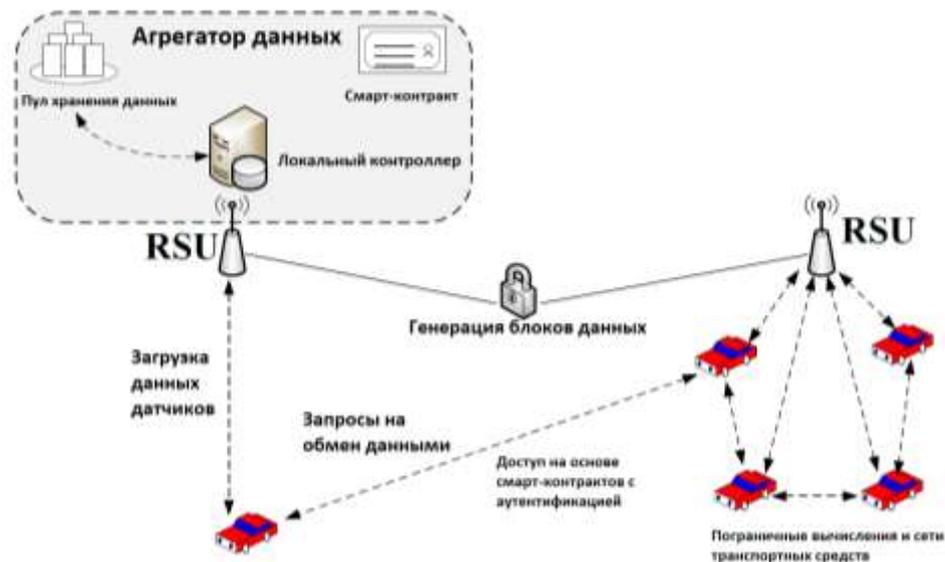


Рисунок 5 - Схема обмена данными с помощью децентрализованных распределенных технологий, для автомобильных пограничных вычислительных сетей [8]

В предлагаемой системе разработана схема обмена данными на основе репутации, позволяющая транспортным средствам выбирать оптимальный и более надежный источник данных. Для управления репутацией транспортных средств используется субъективная логическая модель с тремя весами, учитывающая частоту взаимодействия, своевременность событий и схожесть траекторий. Эта репутационная схема повышает скорость обнаружения вредоносных и аномальных транспортных средств по сравнению с традиционными репутационными схемами.

Децентрализованные распределенные технологии, также возможно успешно применять для обеспечения безопасного обмена данными в интеллектуальных транспортных системах. В работе [9] представлен подход к обмену мультимедийными данными, основанный на децентрализованных распределенных технологиях и криптографических методах, который может быть реализован в социальных сетях транспортных средств. Этот метод использует децентрализованные распределенные технологии для обеспечения неизменности данных и решения проблем, связанных с потенциальной фальсификацией общедоступных мультимедийных данных. Кроме того, децентрализованные распределенные технологии используются для отслеживания данных с целью выявления поддельных отправителей. Криптографические методы в данном подходе защищают конфиденциальные данные пользователей, транспортных средств и устройств RSU от потенциальных злоумышленников во время обмена информацией. Конфиденциальные данные охватывают идентификацию субъектов и их привычки в обмене информацией. Разработанная, на основе этого подхода, системная модель представлена на рисунке 6.

Децентрализованные распределенные технологии также применяется для совместного использования ресурсов автомобилей. В работе [10] представлена децентрализованная система, использующая распределенный реестр в качестве основы для взаимодействия вычислительными ресурсами. Основной целью этого подхода является решение проблем, связанных с взаимодействием ресурсами в системах, построенных на пограничных облачных вычислениях, таких как обеспечение честных предложений и активное участие доноров и реципиентов в взаимодействии. Для поддержки взаимодействия вводится понятие брокер, который решает задачу распределения ресурсов, определяет объем ресурсов для обмена и моделирует правила вознаграждения, поощряя трейдеров представлять честные предложения. Механизм итеративного двустороннего аукциона используется для эффективного решения

этих задач, обеспечивая максимальное социальное благосостояние, индивидуальную рациональность и сбалансированный бюджет. Предлагаемый процесс взаимодействия вычислительными ресурсами на основе децентрализованных распределенных технологий представлен в деталях на рисунке 7 [11].

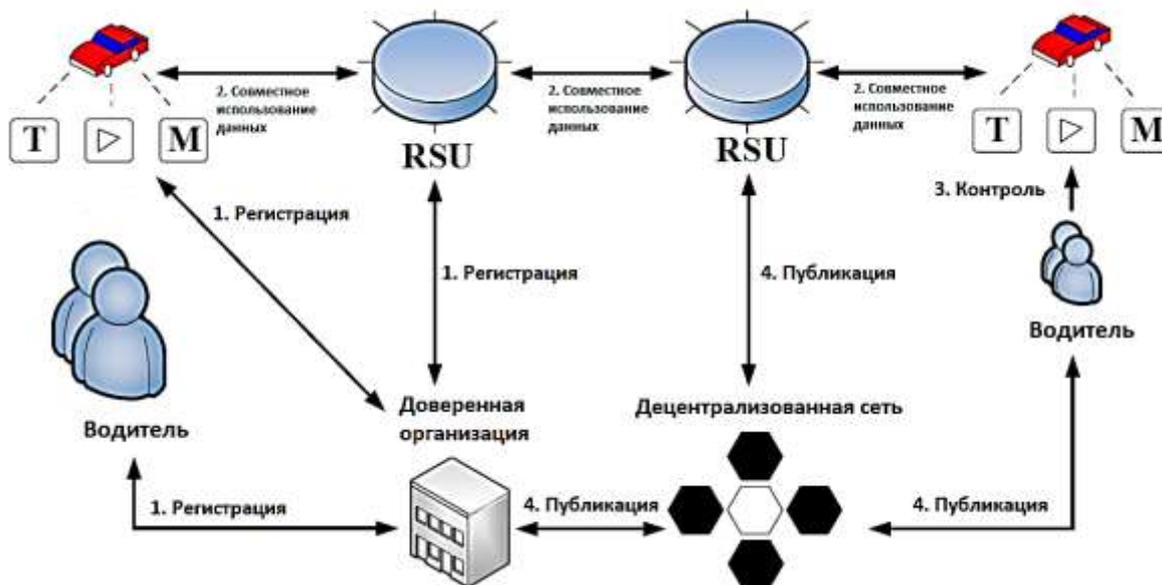


Рисунок 6 - Системная модель безопасности и сохранения конфиденциальности мультимедийных данных на основе ДРТ [9]

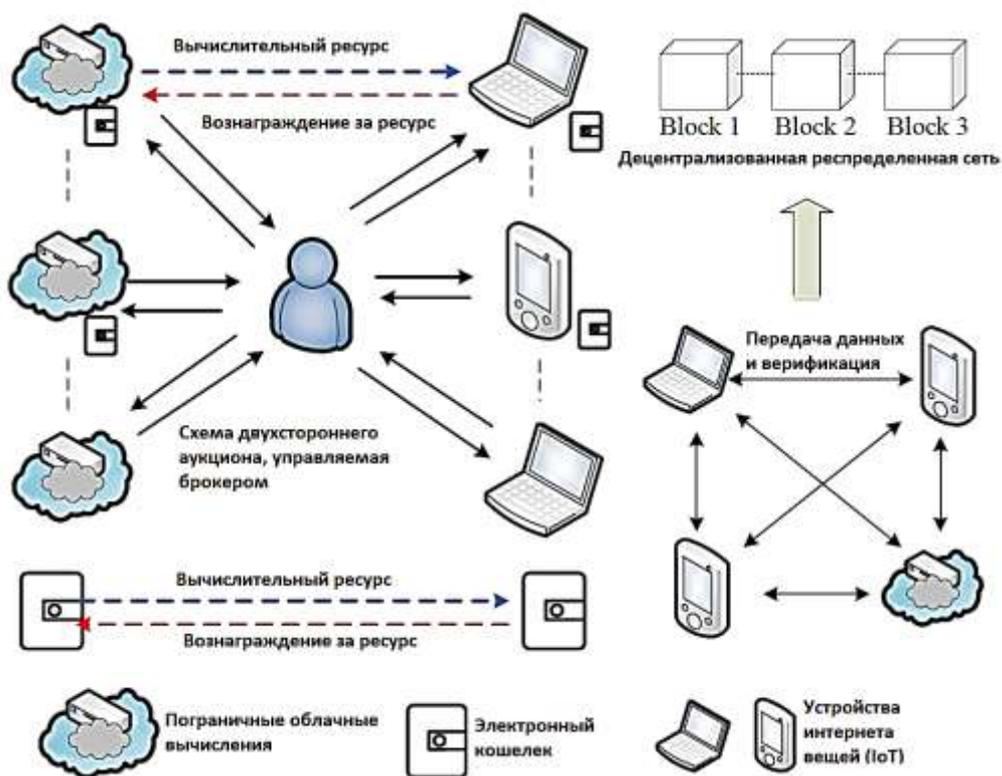


Рисунок 7 - Порядок работы предлагаемой платформы для взаимодействия вычислительными ресурсами на основе децентрализованной распределенной сети [11]

Результаты и обсуждение

IoV открывает перспективы разработки платформы коллективного использования ресурсов как для стационарных, так и для передвижающихся транспортных средств, что позволяет обмениваться свободными вычислительными ресурсами с близлежащими объектами.

Эта платформа способствует реализации сервисов с минимальной задержкой, а также обеспечивает поддержку приложений искусственного интеллекта. Тем не менее, несмотря на очевидные преимущества, существуют две основные проблемы.

Во-первых, создание и поддержание такой платформы представляет собой сложную задачу, поскольку транспортные средства могут не доверять друг другу. С использованием децентрализованных распределенных технологий можно обеспечить надежность при коллективном использовании ресурсов транспортными средствами.

Во-вторых, необходимо разработать эффективные механизмы, интегрированные с экономическими стимулами, для поощрения транспортных средств к участию в коллективном использовании ресурсов.

В частности, распределенный реестр способен поддерживать децентрализованную платформу, позволяющую транспортным средствам обмениваться ресурсами с целью повышения эффективности и возможностей. Децентрализованные распределенные технологии решают проблемы коллективного использования ресурсов, такие как установление доверия и обеспечение безопасности и конфиденциальности субъектов. Одной из таких схем, представленной в [12], является механизм консенсуса на основе репутации, который легче внедрить.

Репутационные баллы используются для оценки доверия транспортных средств. Для управления доверием процедура обмена и механизм консенсуса интегрируются с репутационными баллами транспортных средств. Механизм ценообразования на ресурсы на основе смарт-контракта использует метод глубокого обучения с подкреплением для учета особенностей высокой мобильности и местоположения транспортных средств, облегчая согласование спроса и предложения при коллективном использовании ресурсов. Предложенная схема ценообразования превосходит современные унифицированные схемы ценообразования на 30% или более. В рамках этой схемы транспортные средства, участвующие в коллективном использовании ресурсов, и валидаторы блоков разделены для сохранения конфиденциальности и уменьшения задержек связи при публикации новых блоков. Рисунок 8 показан процесс коллективного использования ресурсов в рамках IoV.

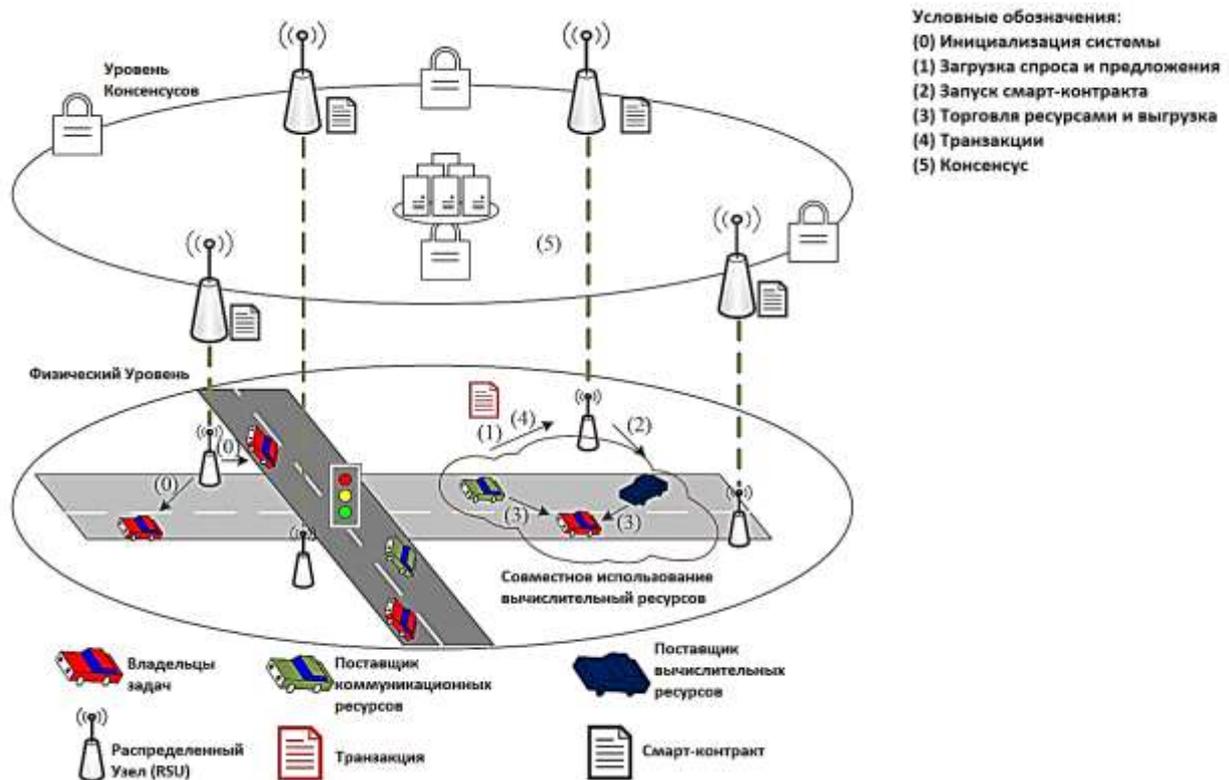


Рисунок 8 - Компоненты системы и основной рабочий процесс схемы совместного использования ресурсов для IoV [13]

Выводы

Благодаря децентрализованным распределенным технологиям, даже неподвижные транспортные средства могут безопасно и эффективно обмениваться своими неиспользуемыми вычислительными и сетевыми ресурсами во время стоянки. В работе [13] представлена разрешенная цепочка для автомобильной сети, которая включает усовершенствованный механизм консенсуса с использованием многозначной субъективной логики для точного вычисления репутации автомобилей. Автомобили с высокой репутацией участвуют в согласовании и проверке транзакций. Система поощрений, основанная на теории контрактов, внедряется для стимулирования автомобилей [14]. Вместе с тем безопасный подход и схема поощрения направлены на мотивацию транспортных средств делиться своими неиспользуемыми ресурсами в автомобильной сети.

С ростом числа подключенных и автономных транспортных средств будут генерироваться и обмениваться огромные объемы данных, что создаст проблемы для традиционных централизованных систем. Децентрализованные платформы лучше справляются с ожидаемым расширением таких сетей, как Интернет транспортных средств, обеспечивая связь между транспортными средствами и всем остальным, что очень важно для интеллектуальных транспортных систем [15]. Таким образом, децентрализованные решения, такие как распределенный реестр, преобразуют саму основу интеллектуальных транспортных систем для работы с транспортными средствами, данными и сложностью завтрашнего дня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Luba Eremina, Anton Mamoiko, Li Bingzhang, Use of blockchain technology in planning and management of transport systems // KTTI-2019. E3S Web of Conferences 157(4):04014, DOI:10.1051/e3sconf/202015704014.
2. Ассоциация интеллектуальных транспортных систем КНР [Электронный ресурс]. URL: <https://www.shine.cn/news/in-focus/2112310313/>.
3. Министерство транспорта Китайской Народной Республики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mot.gov.cn/>.
4. Международная дорожная федерация [Электронный ресурс]. URL: <https://irfnet.ch/>.
5. Ponemon Institute [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ponemon.org/news-updates/news-press-releases/>.
6. Eremina L, Mamoiko A, Aohua G. P The use of distributed and decentralized technologies in the management of intelligent transportation systems [Электронный ресурс]. *Intell Robot* 2023; 3:xx. URL: <https://doi.org/10.20517/ir.2023.09>.
7. F.-Y. Wang, Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 11 (2010). 630-638, DOI:10.1109/TITS.2010.2060218.
8. Y. Chen, X. Hao, W. Ren, and Y. Ren Traceable and authenticated key negotiations via blockchain for vehicular communications // *Mobile Information Systems*. 2019. P. 1-10.
9. Z. Li, Z. Yang, S. Xie. Computing resource trading for edgecloud-assisted internet of things // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. Vol. 15. №6. 2019. P. 3661-3669.
10. S. Wang, X. Huang, R. Yu, Y. Zhang, E. Hossain. Permissioned blockchain for efficient and secure resource sharing in vehicular edge computing // *arXiv preprint arXiv:1906.06319*. 2019.
11. M.B. Mollah, Jun Zhao, D. Niyato, Y. Guan, C. Yuen, Sumei Sun, Kwok-Yan Lam, L. Koh. Blockchain for the Internet of Vehicles Towards Intelligent Transportation Systems: A Survey // *IEEE Internet of Things. 2020. Engineering, Computer Science, Environmental Science*. DOI:10.1109/IJOT.2020.3028368.
12. T. Xiao, T. Qiu, N. Lv, Q. Pei et al. Smart-contract based economical platooning in blockchain enabled urban internet of vehicles // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019.
13. Shivers R.M. Toward a secure and decentralized blockchain-based ride-hailing platform for autonomous vehicles // Ph.D. dissertation, Tennessee Technological University, 2019.
14. J. Noh, S. Jeon, S. Cho. Distributed blockchain-based message authentication scheme for connected vehicles // *Electronics*. Vol. 9. №1. P. 74. 2020.
15. J. Noh, S. Jeon, S. Cho. Distributed blockchain-based message authentication scheme for connected vehicles // *Electronics*. 2020. Vol. 9. №1. P. 74.

Еремина Любовь Валериевна

УО «Брестский государственный технический университет»
Адрес: 224017, Республика Беларусь, Брест, ул. Московская, 267
К.э.н., доцент кафедры экономической теории и логистики
E-mail: runa666.6@mail.ru

Мамойко Антон Юрьевич

ООО «БугТрансКонтиненталь»
Адрес: Республика Беларусь, г. Брест, ул. Лейтенанта Рябцева, д. 29А, оф. 13
Менеджер по информационным технологиям
E-mail: ericozz@yandex.ru

Медведева Гульнара Борангалиевна

УО «Брестский государственный технический университет»

Адрес: 224017, Республика Беларусь, Брест, ул. Московская, 267

К.э.н., зав.кафедрой экономической теории и логистики

E-mail: medgb@mail.ru

L.V. EREMINA, A.Y. MAMOYKO, G.B. MEDVEDEVA

INTEGRATION OF DECENTRALISED DISTRIBUTED TECHNOLOGIES INTO INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

Abstract. *Shifting the focus from the field of distributed and decentralised technologies in the management of intelligent transport systems (ITS), we will consider the specific application of decentralised distributed technologies in transport management. The paper discusses the use of blockchain technology in the management of transport systems through multi-agent systems. The importance of efficient use of big data sets is emphasised and the Internet of Vehicles (IoV) is identified as a crucial area of integration of existing IoT technologies to solve intelligent traffic problems within multi-agent systems.*

Keywords: *intelligent transport system, blockchain, multi-agent systems, Internet of Vehicles, Internet of Things*

BIBLIOGRAPHY

1. Luba Eremina, Anton Mamoiko, Li Bingzhang, Use of blockchain technology in planning and management of transport systems // KTTI-2019. E3S Web of Conferences 157(4):04014, DOI:10.1051/e3sconf/202015704014.
2. Assotsiatsiya intelektual'nykh transportnykh sistem KNR [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.shine.cn/news/in-focus/2112310313/>.
3. Ministerstvo transporta Kitayskoy Narodnoy Respubliki [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.mot.gov.cn/>.
4. Mezhdunarodnaya dorozhnaya federatsiya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://irfnet.ch/>.
5. Ponemon Institute [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.ponemon.org/news-updates/news-press-releases/>.
6. Eremina L, Mamoiko A, Aohua G. P The use of distributed and decentralized technologies in the management of intelligent transportation systems [Elektronnyy resurs]. Intell Robot 2023; 3:xx. URL: <https://doi.org/10.20517/ir.2023.09>.
7. F.-Y. Wang, Parallel control and management for intelligent transportation systems: concepts, architectures, and applications // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 11 (2010). 630-638, DOI:10.1109/TITS.2010.2060218.
8. Y. Chen, X. Hao, W. Ren, and Y. Ren Traceable and authenticated key negotiations via blockchain for vehicular communications // Mobile Information Systems. 2019. R. 1-10.
9. Z. Li, Z. Yang, S. Xie. Computing resource trading for edgecloud-assisted internet of things // IEEE Transactions on Industrial Informatics. Vol. 15. №6. 2019. R. 3661-3669.
10. S. Wang, X. Huang, R. Yu, Y. Zhang, E. Hossain. Permissioned blockchain for efficient and secure resource sharing in vehicular edge computing // arXiv preprint arXiv:1906.06319. 2019.
11. M.B. Mollah, Jun Zhao, D. Niyato, Y. Guan, C. Yuen, Sumei Sun, Kwok-Yan Lam, L. Koh. Blockchain for the Internet of Vehicles Towards Intelligent Transportation Systems: A Survey // IEEE Internet of Things. 2020. Engineering, Computer Science, Environmental Science. DOI:10.1109/IJOT.2020.3028368.
12. T. Xiao, T. Qiu, N. Lv, Q. Pei et al. Smart-contract based economical platooning in blockchain enabled urban internet of vehicles // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2019.
13. Shivers R.M. Toward a secure and decentralized blockchain-based ride-hailing platform for autonomous vehicles // Ph.D. dissertation, Tennessee Technological University, 2019.
14. J. Noh, S. Jeon, S. Cho. Distributed blockchain-based message authentication scheme for connected vehicles // Electronics. Vol. 9. №1. R. 74. 2020.
15. J. Noh, S. Jeon, S. Cho. Distributed blockchain-based message authentication scheme for connected vehicles // Electronics. 2020. Vol. 9. №1. R. 74.

Lyubov Valerievna Eremina

Brest State Technical University

Address: 224017, Republic of Belarus, Brest

Candidate of Economic Sciences

E-mail: runa666.6@mail.ru

Medvedeva Gulnara Borangalievna

Brest State Technical University

Address: 224017, Republic of Belarus, Brest

Candidate of Economic Sciences

E-mail: medgb@mail.ru

Anton Yuryevich Mamoyko

BugTransContinental Ltd

Address: Republic of Belarus, Brest

Information Technology Manager

E-mail: ericozz@yandex.ru