

УДК 004.89:528.8

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-129-138

EDN: FBKOLC

## Система интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов

М. А. Абазоков<sup>1,2</sup>, К. Ч. Бжихатлов<sup>✉1</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук  
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

<sup>2</sup>Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН  
117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 65

**Аннотация.** В статье представлена система сбора и анализа распределенных геофизических данных с сенсорной сети полиландшафтных полигонов. Приведены архитектура и особенности программной реализации системы сбора и интеллектуального анализа данных с сенсоров с учетом отсутствия стабильного доступа в сеть интернет на территории полигонов. Представлены принципы реализации системы интеллектуального анализа данных с сенсоров, рассчитанной на использование различных подходов к созданию систем искусственного интеллекта. В частности, описан процесс обмена данными с программами для моделирования интеллектуальных систем на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Кроме того, представлена структура веб-сайта и базы данных сервиса, разработанного для сбора и обработки данных.

**Ключевые слова:** распределенная сеть сенсоров, интеллектуальная обработка данных, мультиагентные системы, нейрокогнитивные архитектуры, прогнозирование данных, беспроводные сенсорные сети, полиландшафтные полигоны, геофизические данные

Поступила 21.10.2024, одобрена после рецензирования 08.11.2024, принята к публикации 22.11.2024

**Для цитирования.** Абазоков М. А., Бжихатлов К. Ч. Система интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 129–138. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-129-138

MSC: 68T01; 93C65

Original article

## Intelligent system to analyse distributed geophysical data for a network of test ranges with multiple landscapes

М.А. Abazokov<sup>1,2</sup>, К.Сh. Bzhikhatlov<sup>✉1</sup>

<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

<sup>2</sup>V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS  
117997, Russia, Moscow, 65 Profsoyuznaya street

**Abstract.** The article presents a system for collecting and analysing distributed geophysical data from a sensor network of test ranges with multiple landscapes. The paper presents an architecture and features of a software for collecting data from sensors and for their intelligent analysis, taking into account the lack of stable access to the Internet on the territory of the test ranges. The article shows principles of intelligent system analysis of sensor data designed to use various approaches to create

artificial intelligence systems. Moreover, the process of data exchanging with programs to model intelligent systems based on multi-agent neurocognitive architectures is described. In addition, the structure of a website and database of a service for collecting and processing data are presented.

**Keywords:** distributed sensor network, intelligent data processing, multi-agent systems, neurocognitive architectures, test ranges with multiple landscapes, data forecasting, wireless sensor networks, geophysical data

*Submitted 21.10.2024,*

*approved after reviewing 08.11.2024,*

*accepted for publication 22.11.2024*

**For citation.** Abazokov M.A., Bzhikhatlov K.Ch. Intelligent system to analyse distributed geophysical data for a network of test ranges with multiple landscapes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 129–138. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-129-138

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения отработки сценариев применения различных транспортных средств с электроприводом ИПУ РАН в рамках коллаборации с рядом организаций (КБНЦ РАН, КНЦ РАН и САО РАН) разработана сеть полиландшафтных испытательных полигонов (полигонов, расположенных на территориях с различными климатическими условиями и ландшафтом) [1]. Сеть подобных полигонов позволит оптимизировать процесс тестирования разрабатываемых автономных роботов и транспортных средств, например, оценить применимость автономной транспортной платформы сельскохозяйственного назначения [2] для горного садоводства. Учитывая географический разброс и расположение в сложных условиях, ставится задача сбора и обработки данных о состоянии внешней среды для сети полиландшафтных полигонов.

Современные системы сбора данных чаще всего используют распределенную сеть отдельных сенсоров с системой сбора и обработки данных. Подобный подход, особенно с применением беспроводных систем связи, позволит обеспечить своевременный сбор и анализ данных в широком спектре областей – от медицинских носимых устройств [3] до мониторинга образовательного процесса [4]. Распределенные сенсорные сети на основе беспроводных протоколов передачи данных могут быть использованы и в условиях, где использование классических проводных датчиков или прямого наблюдения крайне затруднено (например, при мониторинге подземных объектов [5]).

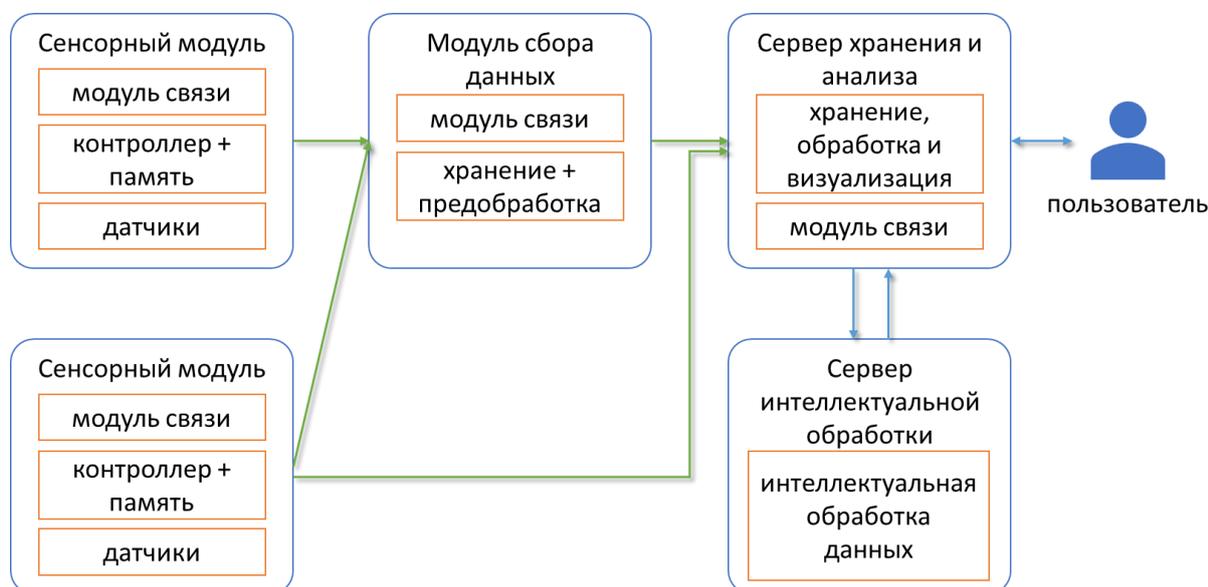
Разработка подобных систем связана с вопросами балансировки вычислительной нагрузки и объемом сетевого трафика. Для этого можно использовать систему отслеживания триггерных событий, направленную на фиксацию и передачу только важных изменений в потоке данных [6]. В работе [7] предложен вариант оптимизации сетевого трафика для систем интернета вещей, расположенных в областях с ограниченным доступом к сети интернет, за счет использования интеллектуальной обработки данных. Авторы отмечают, что предложенная методика позволяет достичь значительного снижения сетевого трафика при сохранении достаточной точности. Кроме того, в условиях ограниченного доступа к глобальной сети применимы автономные мобильные системы сбора данных, например, беспилотные летательные аппараты с бортовой системой связи [8]. Стоит отметить, что кроме данных, в сенсорных сетях используются подходы для беспроводной передачи энергии, необходимой для обеспечения работоспособности сенсоров [9]. В подобной системе необходима реализация накопления и компрессии передаваемых данных для минимизации расходов энергии БПЛА. Подобные подходы интересны для полигонов, расположенных в условиях Крайнего Севера или в высокогорных районах (например, полигон у подножия горы Эльбрус).

Как отмечалось выше, одним из подходов к оптимизации сенсорной сети является использование узлов для интеллектуальной обработки данных. Например, в работе [10] авторы предлагают парадигму AIoT (Artificial intelligence Internet of things – интернет вещей с искусственным интеллектом), основанную на интеграции интернета вещей и современных решений в области искусственного интеллекта. В этом случае обработка и предварительный анализ большого объема собранных данных ложится на искусственные нейронные сети, что позволит автоматизировать анализ данных и принятие решений в реальном времени. Большинство рассмотренных систем интеллектуальной обработки данных с сенсорных сетей используют искусственные нейронные сети или методы анализа больших данных [3, 4, 7, 10] и не предполагают реализацию набора независимых систем анализа данных.

Целью данной работы является разработка системы анализа распределенных геофизических данных на основе распределенной сети сенсоров и использования системы обработки данных на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры, которая в перспективе позволит обеспечить интеллектуальную обработку получаемых данных. В качестве примера источника данных рассматривается метеостанция на высокогорном полигоне.

#### АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ СЕТИ ПОЛИЛАНДШАФТНЫХ ПОЛИГОНОВ

Основной задачей разрабатываемой системы сбора и анализа распределенных геофизических данных является агрегирование данных с набора разномодальных датчиков, расположенных в разных точках на исследуемой территории. В частности, для обеспечения работы полиландшафтных полигонов стоит задача сбора и обработки метеоданных на разных участках, расположенных в предгорной и горной зонах Кабардино-Балкарской Республики (в г. Нальчике и у подножия горы Эльбрус). Схема архитектуры подобной системы показана на рис. 1.



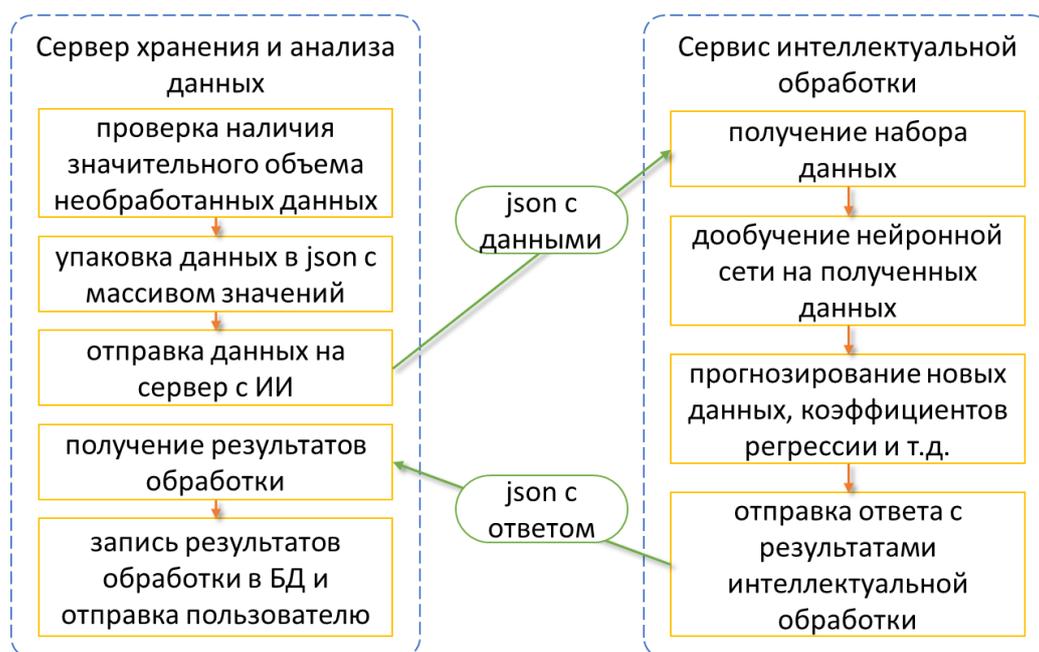
**Рис. 1.** Архитектура системы интеллектуального анализа распределенных данных

**Fig. 1.** Architecture of the intelligent system to analyse distributed data

Основным источником данных в подобной системе является сенсорный модуль, состоящий из микроконтроллера, модуля связи и расширяемого набора датчиков, причем состав и количество датчиков на модуле не ограничены, что позволяет достаточно просто масштабировать сенсорную систему. Все сенсорные модули занимаются сбором данных,

их временным хранением (при отсутствии связи) и отправкой на ближайший доступный модуль сбора данных. Эти модули в свою очередь также могут собирать данные, проводить базовую предобработку и пересылать их к основному серверу. Сервер хранения и анализа данных представляет собой классический веб-сервер, где все полученные данные обрабатываются и хранятся в базе данных. При этом для обеспечения интеллектуальной обработки данных на сервере реализована возможность отправки полученных данных на отдельные системы интеллектуальной обработки (как в рамках локальной сети, так и по сети интернет) за счет набора соответствующих программных протоколов. То есть после сбора определенного набора данных с сенсорной сети сервер принимает решение о необходимости их обработки (например, прогнозирования следующих значений) и отправляет запрос на отдельный сервис, а полученный ответ также записывает в свою базу данных. Кроме того, сервер отвечает за визуализацию данных и взаимодействие с пользователями и администраторами системы.

Использование набора программных протоколов (API) позволяет использовать различные подходы в интеллектуальной обработке многомодальных данных, включая как классические нейронные сети, сверточные нейронные сети, большие языковые модели, так и более специфические формализмы обработки данных. Например, для прогнозирования новых показаний датчиков предполагается использование сервиса, в рамках которого реализована полносвязанная нейронная сеть с возможностью дообучения и прогнозирования по запросу в виде json-сообщения. Схема подобного взаимодействия показана на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема взаимодействия сервера хранения и сервиса обработки с помощью искусственных нейронных сетей

**Fig. 2.** Interaction scheme of the storage server and the processing service by artificial neural networks

В этом случае основной сервер отслеживает получаемые данные и при наличии значительного массива принимает решение о дообучении нейронной сети, используемой для прогнозирования показаний датчиков. В этом случае все необработанные данные собираются в виде единого json-сообщения и отправляются на сервер интеллектуальной обработки. На нем в свою очередь этот запрос запускает процесс дообучения нейронной сети

(на полученных данных). Затем нейронная сеть используется для прогнозирования будущих показаний датчиков (в том числе прогнозирования коэффициентов линейной или полиномиальной регрессии, текстовые ответы от большой языковой модели и т.д.). Результаты работы отправляются обработано на сервер (в виде json сообщения с указанием номера запроса). Результаты записываются в базу данных и используются для дальнейшей оценки состояния внешней среды на полигоне. При этом запрос на сервис интеллектуальной обработки может быть инициирован не только наличием новых данных, но и проступением определенного промежутка времени без новых прогнозов.

Схожим образом реализована работа с другими формализмами искусственного интеллекта. В частности, основным подходом, который предполагается использовать для анализа данных с распределенной сенсорной сети, является моделирование процесса принятия решений на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур [11]. Данный формализм предполагает моделирование головного мозга человека с помощью мультиагентной модели, где каждый агент-нейрон обеспечивает свое проактивное поведение за счет собственной продукционной базы знаний и целевой функции максимизации внутренней энергии. Совместная работа группы подобных агентов-нейронов (интеллектуального агента) позволит обеспечить интеллектуальное поведение системы в целом. Программная реализация системы моделирования подобных архитектур описана в [12]. Работа с программой моделирования мультиагентных нейрокогнитивных систем осуществляется по протоколу WebSocket. Схема взаимодействия сервера хранения и анализа данных с интеллектуальным агентом показана на рис. 3.



**Рис. 3.** Схема взаимодействия сервера хранения и анализа данных и интеллектуального агента для их обработки

**Fig. 3.** Interaction scheme of the data storage and analysis server, and the intelligent agent to process them

В этом случае сервер отслеживает появление новых модулей в системе и для каждого из них определяет набор входящих в него сенсоров, после чего отправляет соответствующее сообщение в мультиагентную нейрокогнитивную архитектуру. В результате в данной архитектуре должны быть созданы новые агенты, отвечающие за репрезентацию реальных сенсоров, установленных в модуле. Кроме этого, интеллектуальному агенту от-

правляется информация о месте расположения и условиях работы модуля. Затем все полученные с реальных сенсоров данные и запросы от пользователей пересылаются в виде сообщений соответствующим агентам-сенсорам. А результат работы мультиагентной архитектуры в виде сообщений агентам-эффекторам отправляется обратно на сервер, где они также записываются в базу данных и отправляются пользователям. При этом стоит отметить, что, кроме данных с сенсоров, интеллектуальному агенту отправляются данные о времени и месте фиксации, параметрах сенсоров (точность, скорость измерения показаний и др.), а также информация об условиях в месте расположения сенсорного модуля (координаты, расстояние до ближайшего модуля сбора данных, высота над уровнем моря, климатическая зона и т.д.). Это позволит составить более полную картину условий на полигоне.

#### АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СБОРА, ХРАНЕНИЯ, ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Для тестирования описанной системы была разработана программа для сбора и обработки данных с распределенной сети полиландшафтных полигонов. Программа реализована в виде веб-сервера, отвечающего за сбор данных с различных модулей сбора и сенсорных модулей. В этой же программе реализован протокол для обмена информацией с различными системами интеллектуального анализа данных, а также пользовательский интерфейс (в виде веб-сайта). Структура веб-сайта системы интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов приведена на рис. 4.



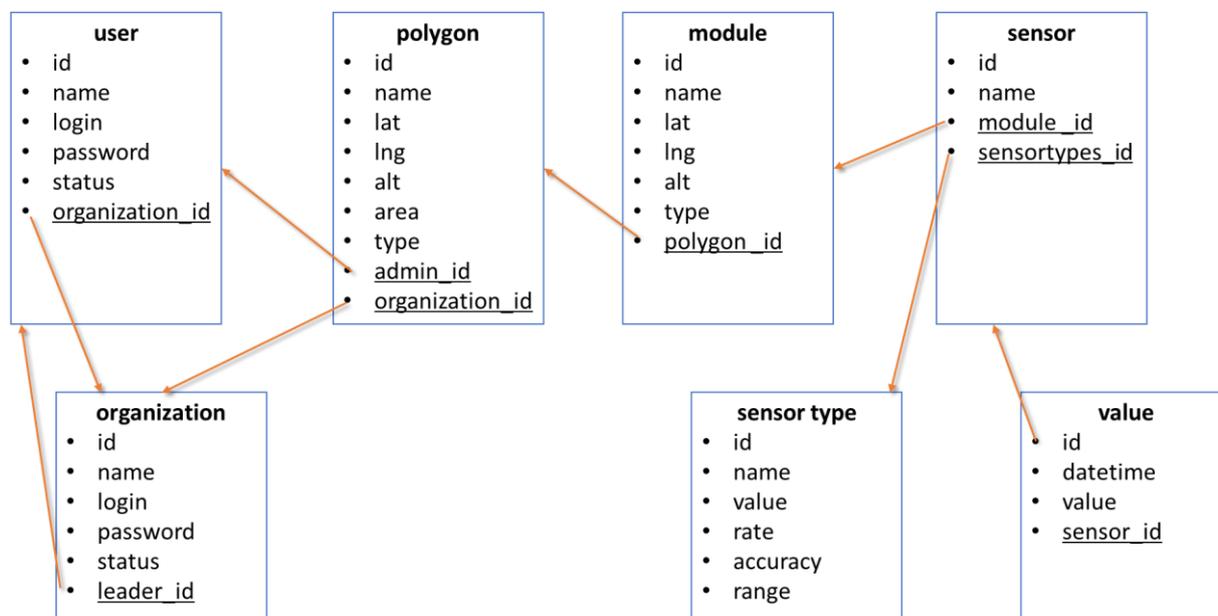
**Рис. 4.** Структура веб-сайта системы интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов

**Fig. 4.** The website structure of the intelligent system to analyse distributed geophysical data for a network of test ranges with multiple landscapes

При входе пользователь попадает на страницу авторизации (login), где можно войти в свою учетную запись или создать новую. Стоит отметить также наличие перехода на страницу администратора (admin), который имеет возможность управлять списком пользователей и организаций, зарегистрированных на сервере. После входа пользователи пе-

ренаправляются на страницу со списком доступных полигонов (my\_polygons), где пользователь может создавать, редактировать и удалять полигоны или перейти на страницу конкретного полигона (polygon). Здесь пользователь уже работает со списком сенсорных модулей, установленных на полигоне. В частности, можно добавить или удалить модуль, а также перейти на страницу управления модулем (module) или на страницу просмотра данных с датчиков полигона (data). На странице просмотра данных сервер выводит графики всех сенсоров, используемых в полигоне, карту распределения показаний, а также результаты взаимодействия с интеллектуальными системами обработки данных – прогнозируемые значения показаний и рекомендации по реагированию на условия на полигоне. Редактирование модуля позволяет изменять список сенсоров, менять протоколы обмена данными и корректировать параметры используемых датчиков.

Все данные системы хранятся в реляционной базе данных (в проекте используется SQLite). Структура базы данных показана на рис. 5.



*Рис. 5. Структура базы данных системы интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов*

*Fig. 5. Database structure of the intelligent system to analyse distributed geophysical data for a network of test ranges with multiple landscapes*

В базе данных используются таблицы с данными пользователей (user), организаций (organization), полигонов (polygon), модулей (module), сенсоров (sensor), типов сенсоров (sensor type) и таблица с данными датчиков (value). В таблице полигона и модуля указываются координаты и высота над уровнем моря, а уже в таблице с данными – время, когда был произведен замер. Измеряемая величина, единица измерения, точность и допустимый диапазон хранятся в таблице sensor type.

Наличие данных о координатах позволяет построить карту распределения параметров, причем и на территории одного полигона. Для этого положение датчиков пересчитывается в расстояние от центра полигона по двум осям по формулам:

$$d_x = (lat_p - lat_s) \cdot \frac{\pi \cdot R_z}{180},$$

$$d_y = (lng_p - lng_s) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot lat}{180}\right) \cdot \frac{\pi \cdot R_z}{180},$$

а расстояние между точками рассчитывается с учетом перепада по высоте:

$$r = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + (alt_c - alt_i)^2}.$$

Это позволяет строить трехмерные карты распределения измеряемых параметров, что может быть актуально при проведении испытаний летательных аппаратов на полиландшафтном полигоне. Стоит отметить, что все полученные и рассчитанные данные отправляются в системы принятия решений за счет использования HTTP-запросов или соединений через web socket в виде json-сообщений. На данный момент реализовано взаимодействие с программой моделирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур, куда отправляются запросы двух типов: на создание агентов (Add agent) и отправку сообщений на них (New message). Полученные ответы также сохраняются в виде полей в таблице value.

На данном этапе ведется доработка программного и аппаратного обеспечения разрабатываемой системы интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены архитектура и программная реализация системы интеллектуального анализа распределенных геофизических данных для сети полиландшафтных полигонов. Представленная система основана на наборе сенсорных модулей, работающих с многомодальным набором датчиков, распределенной системе сбора данных и наборе сервисов для их хранения и интеллектуальной обработки. В отличие от представленных в открытом доступе систем обработки данных с сенсорных сетей предполагается использование набора интеллектуальных систем анализа, использующих различные формализмы искусственного интеллекта. В частности, для обеспечения анализа собранных на полигоне данных используется разработанная программа для моделирования процесса принятия решений на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Подобная реализация позволит отслеживать все необходимые данные об условиях на каждом полигоне и строить карты распределения параметров на территории полигона. При этом архитектура передачи данных учитывает сложность обеспечения постоянного доступа в сеть интернет. Дальнейшая работа предполагает изготовление набора сенсорных модулей и тестирование системы сбора данных совместно с мультиагентной системой принятия решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Коргин Н. А., Мещеряков Р. В. Концепция проекта по созданию распределенной сети полигонов для отработки сценариев применения гетерогенных групп транспортных средств с электрическим приводом в сложных климатических и ландшафтных условиях: текущее состояние и перспективы развития // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления. 2024. С. 1247–1251. URL: <https://vspu2024.ipu.ru/node/17868>

Korgin N.A., Meshcheryakov R.V. Concept of the project for the creation of a distributed network of testing grounds for testing scenarios for the use of heterogeneous groups of electric vehicles in difficult climatic and landscape conditions: current condition and development prospects. *XIV Vserossiyskoye soveshchaniye po problemam upravleniya* [XIV Russian Conference on Management Problems]. 2024. Pp. 1247–1251. URL: <https://vspu2024.ipu.ru/node/17868>. (In Russian)

2. Ксолов А. М., Бжухатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Заммоев А. У. Разработка транспортной подсистемы автономного робота для системы активной защиты растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2(106). С. 31–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-31-40

Ksalov A.M., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Zammoev A.U. Development of a transport subsystem for autonomous robots for plant protection system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 2(106). Pp. 31–40. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-31-40. (In Russian)

3. Tu J. Application of wireless sensor network model based on big data ecosystem in intelligent health monitoring system. *Journal of Function Spaces*. 2022. Vol. 2022. Pp. 1–10. DOI: 10.1155/2022/3179915

4. Zhang Y., Huang W. Design of intelligent diagnosis system for teaching quality based on wireless sensor network and data mining. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. 2021. Vol. 2021. No. 1. DOI: 10.1186/s13638-021-01902-w

5. LI F., Valero M., Cheng Y. et al. Distributed sensor networks based shallow subsurface imaging and infrastructure monitoring. *IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks*. 2020. Vol. 6. Pp. 241–250. DOI: 10.1109/tsipn.2020.2975349

6. Ge X., Han Q., Zhang X. et al. Distributed event-triggered estimation over sensor networks: A survey. *IEEE Transactions on Cybernetics*. 2020. Vol. 50. No. 3. Pp. 1306–1320. DOI: 10.1109/tcyb.2019.2917179

7. Hou C., Zhao Q., Basar T. Optimization of web service-based data-collection system with smart sensor nodes for balance between network traffic and sensing accuracy. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2021. Vol. 18. No. 4. Pp. 2022–2034. DOI: 10.1109/tase.2020.3030835

8. Lin C., Han G., Qi X. et al. Energy-optimal data collection for unmanned aerial vehicle-aided industrial wireless sensor network-based agricultural monitoring system: A clustering compressed sampling approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. Vol. 17. No. 6. Pp. 4411–4420. DOI: 10.1109/tii.2020.3027840

9. Ijamaru G.K., Ang L., Seng K.P. Wireless power transfer and energy harvesting in distributed sensor networks: Survey, opportunities, and challenges. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2022. Vol. 18. No. 3. P. 155014772110677. DOI: 10.1177/15501477211067740

10. Seng K.P., Ang L., Ngharamike E. Artificial intelligence internet of things: A new paradigm of distributed sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2022. Vol. 18. No. 3. P. 155014772110628. DOI: 10.1177/15501477211062835

11. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Sundukov Z.A. Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

12. Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Unagasov A.A. Algorithms and software for simulation of intelligent systems of autonomous robots based on multi-agent neurocognitive architectures. *Interactive Collaborative Robotics. Lecture Notes in Computer Science*. 2024. Vol. 14898. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-71360-6\_29

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

**Финансирование.** Исследование проведено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 23-29-00681, <https://rscf.ru/project/23-29-00681/?CODE=23-29-00681>).

**Financing.** The study was conducted with financial support from the Russian Science Foundation (RSF grant No. 23-29-00681, <https://rscf.ru/project/23-29-00681/?CODE=23-29-00681>).

**Информация об авторах**

**Абазоков Мухамед Адмирович**, мл. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

гл. науч. сотр. лаборатории 57, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН;

117997, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65;

abazokov1997@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8710-1562>, SPIN-код: 5167-5962

**Бжихатлов Кантемир Чамалович**, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>, SPIN-код: 9551-5494

**Information about authors**

**Mukhamed A. Abazokov**, Junior Researcher, Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

Chief Researcher of Laboratory 57, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences;

117997, Russia, Moscow, 65 Profsoyuznaya street;

abazokov1997@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8710-1562>, SPIN-code: 5167-5962

**Kantemir Ch. Bzhikhatlov**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>, SPIN-code: 9551-5494