

УДК 004.8

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-4-28-41

EDN: HNKYYA

Разработка web-сервиса для обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива и мультиагентной системой принятия решений

К. Ч. Бжихатлов¹, И. А. Пшенокова², О. В. Нагоева², Д. Г. Макоева²

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

²Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. В работе описана программная реализация системы обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива и мультиагентной нейрокогнитивной системой принятия решений. Система обмена реализована в виде web-сервиса. Представлены структура сервиса, базы данных и описаны алгоритмы его работы. Подобная реализация позволит упростить процесс обмена сообщениями в рамках выполнения миссии между различными агентами, представленными роботами, программами, системами принятия решений и людьми, задействованными в человеко-машинном коллективе.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, программное обеспечение, web-сервис, клиент-серверная архитектура, диалоговое управление, человеко-машинные коллективы

Поступила 08.04.2024, одобрена после рецензирования 22.07.2024, принята к публикации 26.07.2024

Для цитирования. Бжихатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Нагоева О. В., Макоева Д. Г. Разработка web-сервиса для обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива и мультиагентной системой принятия решений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 4. С. 28–41. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-4-28-41

MSC: 68T42

Original article

Development of a web service for exchanging messages among members of a human-machine team and a multi-agent decision-making system

K.Ch. Bzhikhatlov¹, I.A. Pshenokova², O.V. Nagoeva², D.G. Makoeva²

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

²Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

Abstract. The software implementation of a message exchange system among participants in a human-machine team and a multi-agent neurocognitive decision-making system is presented in the article. The exchange system is implemented as a web service. The work presents the structure of the site, databases and describes the algorithms for its operation. Such an implementation will simplify the process of

exchanging messages within the framework of a mission among various agents represented by robots, programs, decision-making systems and people involved in a human-machine team.

Keywords: intelligent systems, software, web service, client-server architecture, interactive control, human-machine teams

Submitted 08.04.2024,

approved after reviewing 22.07.2024,

accepted for publication 26.07.2024

For citation. Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V., Makoeva D.G. Development of a web service for exchanging messages among members of a human-machine team and a multi-agent decision-making system. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2024. Vol. 26. No. 4. Pp. 28–41. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-4-28-41

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития автономных робототехнических систем позволяет их использовать в довольно широком спектре задач, но при этом остаются сферы деятельности, где необходимо обеспечение согласованного поведения коллектива, состоящего как из людей, так и из программных и робототехнических агентов. Подобный подход актуален при работе в сложных и опасных условиях, например, в условиях пандемии [1]. При этом стоит учитывать ряд сложностей, связанных с организацией взаимодействия между участниками человеко-машинного коллектива, со сложностью взаимодействия [2] и уровнем «недоверия» к роботам со стороны операторов, вызванным возможными кибератаками на их систему управления [3]. Поэтому для создания систем управления человеко-машинными коллективами необходима организация максимально удобного интерфейса взаимодействия между гетерогенными агентами подобной системы. Данная система может быть использована для обеспечения управления человеко-машинными комплексами различного назначения: например, для обеспечения согласованного поведения гетерогенной группы автономных сельскохозяйственных роботов, предназначенных для защиты растений от вредителей и сорных растений [4]. В частности, при работе группы автономных роботов, выполняющих миссию защиты посевов кукурузы, возникают сложности, связанные с необходимостью управлять группой различных роботов, работающих в труднопрогнозируемой среде, а также с достаточно большими расстояниями между оператором и управляемыми роботами. При этом в человеко-машинном коллективе участвуют различные специалисты (агрономы и защитники растений) и роботы (робот для мониторинга посевов, беспилотные дроны для наблюдения за посевами, робот для опрыскивания растений, система заправки и зарядки роботов, транспортные системы), что также увеличивает объем передаваемых между участниками сообщений. В таких условиях использование удобного естественно-языкового интерфейса для постановки задач интеллектуальной системе управления роботами позволит снизить сложность работы участников человеко-машинного коллектива.

Стоит отметить, что конкретная реализация системы взаимодействия зависит от применяемых технологий для аппаратных и программных агентов. В частности, в качестве основы системы принятия решений могут быть использованы различные формализмы искусственного интеллекта, в том числе и подходы, основанные на мультиагентном моделировании нейрокогнитивных процессов, происходящих в головном мозге человека. Мультиагентные модели могут иметь ряд преимуществ перед классическими методами организации управления, связанных с самоорганизацией и снижением уровня сложности задач [5, 6]. Для обеспечения интеллектуального поведения отдельных агентов и всей системы в целом планируется использование формализма, основанного на инварианте ин-

теллектуальной мультиагентной когнитивной архитектуры [7, 8]. В этой модели агент-нейрон, в отличие от сумматора в искусственных нейронных сетях, должен выполнять сложное поведение, направленное на максимизацию показателя своей энергии за счет обмена сообщениями, энергией и заключения контрактов между другими нейронами. При этом за счет выполнения поставленных задач вся система в целом может получать энергию (вознаграждение) из внешней среды, что обеспечивает возможность обучения с подкреплением. Поведение агента регламентируется его функциональной группой, базой знаний и списком контрактов, накопленных в процессе жизни. Согласованное поведение множества агентов-нейронов позволит находить решения сложных задач, что может использоваться для реализации интеллектуального поведения в условиях реальной среды [9]. Структура подобной модели (так называемого «интеллектуального агента») показана на рисунке 1.

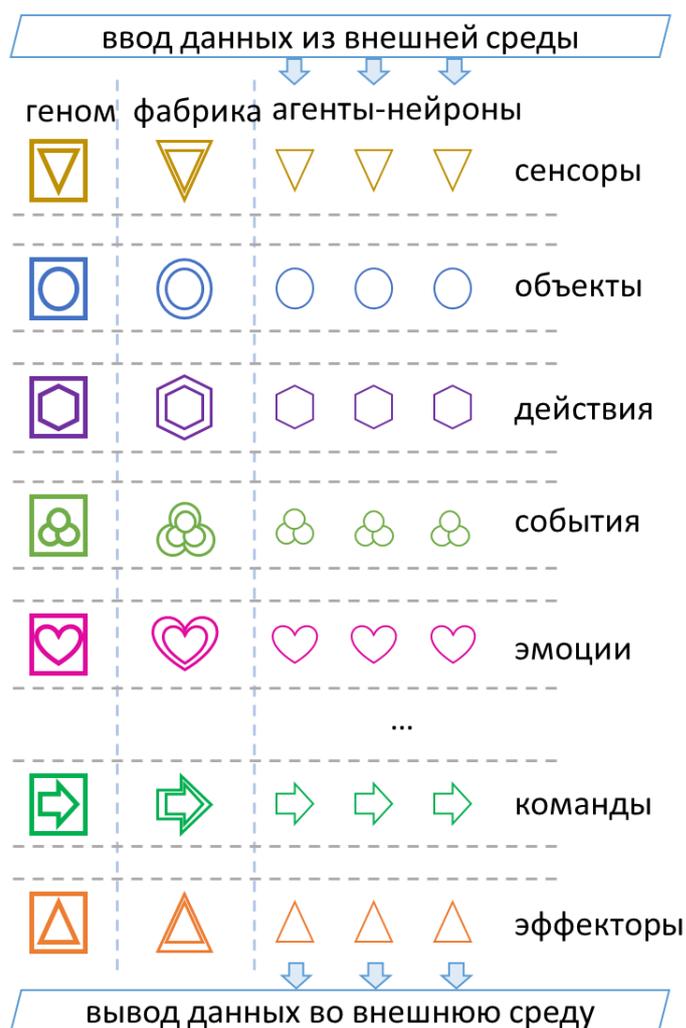


Рис. 1. Пример мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры принятия решений

Fig. 1. An example of a multi-agent neurocognitive decision-making architecture

Каждый слой состоит из функциональной группы агентов-нейронов, созданных соответствующей фабрикой нейронов. Фабрика нейронов представляет собой специального агента, который может создавать новые нейроны при получении определенного набора сообщений. Также на каждом слое находятся геномы для данной группы нейронов, отве-

чающие за базовый набор правил поведения созданного нейрона. Между слоями находится слой для обмена сообщениями и энергией. При этом данные из внешней среды попадают на соответствующие агенты-сенсоры, а управляющие воздействия считываются с агентов-эффекторов.

Для обеспечения взаимодействия системы принятия решений, роботов и людей необходимо разработать сервис для обмена сообщениями, который позволит максимально просто обмениваться информацией между участниками человеко-машинного коллектива. В работе поставлена цель: разработать программную реализацию подобной системы обмена сообщениями.

В качестве системы принятия решений могут выступать любые интеллектуальные автономные системы, использующие различные формализмы искусственного интеллекта (в том числе и искусственные нейронные сети) для прогнозирования развития ситуации и управления автономными роботами. В качестве примера при разработке web-сервиса обмена сообщениями использовались мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры, применяемые для моделирования процесса рассуждений в головном мозге [7]. При этом стоит отметить, что реализация самой системы управления на основе мультиагентных архитектур выходит за рамки данной работы и подробнее описана в работах [7–9].

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО КОЛЛЕКТИВА

Чтобы эффективно выполнять сложные миссии, необходима реализация удобного естественно-языкового интерфейса между участниками человеко-машинного коллектива и интеллектуальными системами принятия решений. Для работы коллективов, взаимодействующих с системой принятия решений, основанной на мультиагентных нейрокогнитивных алгоритмах, была разработана архитектура сервиса обмена сообщениями (рис. 2). Сервис реализован в виде клиент-серверного приложения, где в качестве клиентов могут выступать не только люди, но и автономные робототехнические комплексы и программные агенты. Для работы с человеком предполагается использование веб-интерфейса, позволяющего взаимодействовать с системой обмена сообщениями с помощью любого вычислительного устройства с браузером. Данное взаимодействие упрощает процесс разработки и оптимизации интерфейса под различные устройства и позволяет пользователю работать как с помощью смартфонов, так и на ПК с различными операционными системами. Кроме пользователя, к системе обмена сообщениями имеют доступ автономные агенты (роботы или программы), использующие для взаимодействия с сервером отдельный программный интерфейс (API) на основе HTTP-запросов. При этом на бортовом ЭВМ робота размещаются программа для приема и передачи сообщений на сервер, а также все необходимое программное обеспечение для управления роботом, в том числе отдельная локальная система принятия решений на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры (интеллектуальный агент робота) и программы для сбора данных с сенсоров и отправки команд на эффекторы робота.

Серверная часть системы диалогового управления участниками человеко-машинного коллектива состоит из нескольких модулей. Веб-сервер отвечает за работу с получением HTTP-запросов и генерацией ответов на них, в том числе html-страниц и JSON-файлов.

Для хранения списка пользователей, роботов, миссий и сообщений используется база данных. На этом же сервере развернута программа моделирования мультиагентной нейрокognитивной архитектуры, отвечающей за взаимодействие членов человеко-машинного коллектива в рамках миссии. Структура и база знаний данного интеллектуального агента хранятся в отдельной базе данных.

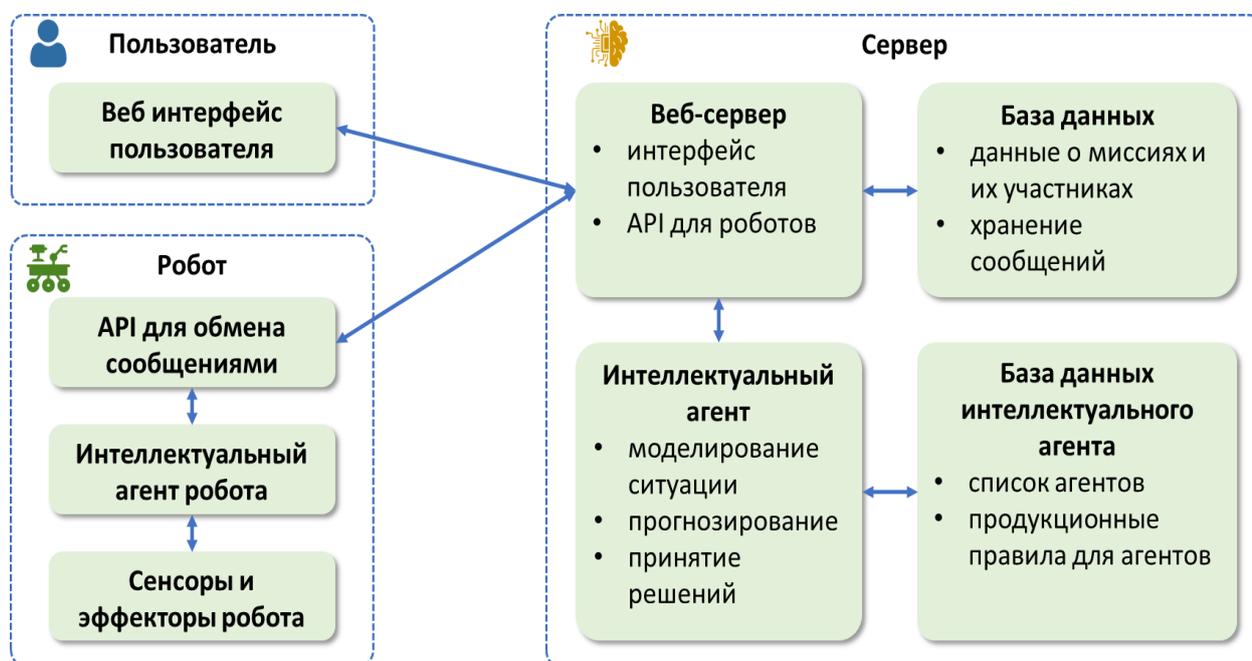


Рис. 2. Архитектура системы диалогового управления участниками человеко-машинного коллектива (стрелками указаны направления обмена данными)

Fig. 2. Architecture of the system of dialog control of participants of the human-machine team (arrows indicate the directions of data exchange)

Интерфейс сервиса обмена сообщениями реализован в виде web-сервиса, состоящего из набора связанных страниц. При входе пользователь попадает на страницу входа, где реализованы формы для авторизации и регистрации. После успешного входа пользователь попадает на страницу «мои миссии», где получает доступ к списку миссий пользователя, форме добавления новой миссии и списку доступных роботов. Здесь же расположены ссылки на просмотр, редактирование и удаление текущей миссии. Непосредственно обмен сообщениями между участниками коллектива осуществляется на странице с конкретной миссией. Там же пользователь может просмотреть информацию о контексте миссии, список поставленных задач, а также добавить исполнителей (роботов и людей). Структура web-сервиса показана на рисунке 3.

Кроме блока взаимодействия с людьми, в рамках сервиса реализован API для работы с автономными роботами и программами, в том числе и внешними системами принятия решений. В этом блоке реализованы функции передачи сообщения в сервис, получения сообщения из сервиса и передачи данных о состоянии робота или программы.

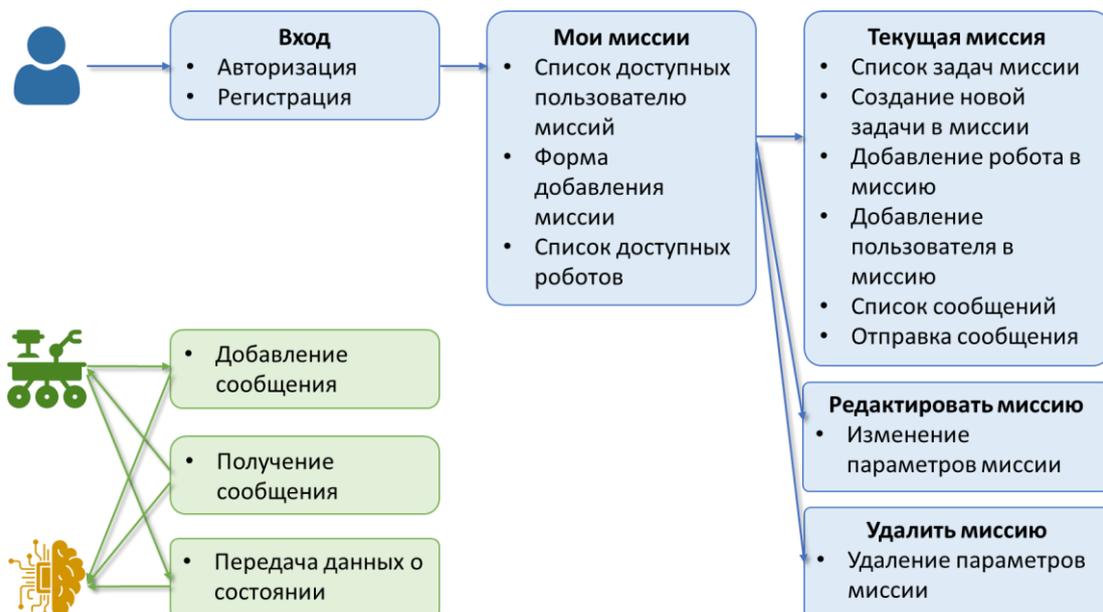


Рис. 3. Структура web-сервиса системы обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива (синие блоки – страницы web-сервиса, зеленые – функции API)

Fig. 3. Structure of the web service of the messaging system among participants of the human-machine team (blue blocks are web service pages, green blocks are API functions)

На рисунке 4 приведена структура базы данных, отвечающей за сервис обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива. База данных содержит ряд таблиц, отвечающих за репрезентацию миссий, участников их выполнения и сообщений между ними.

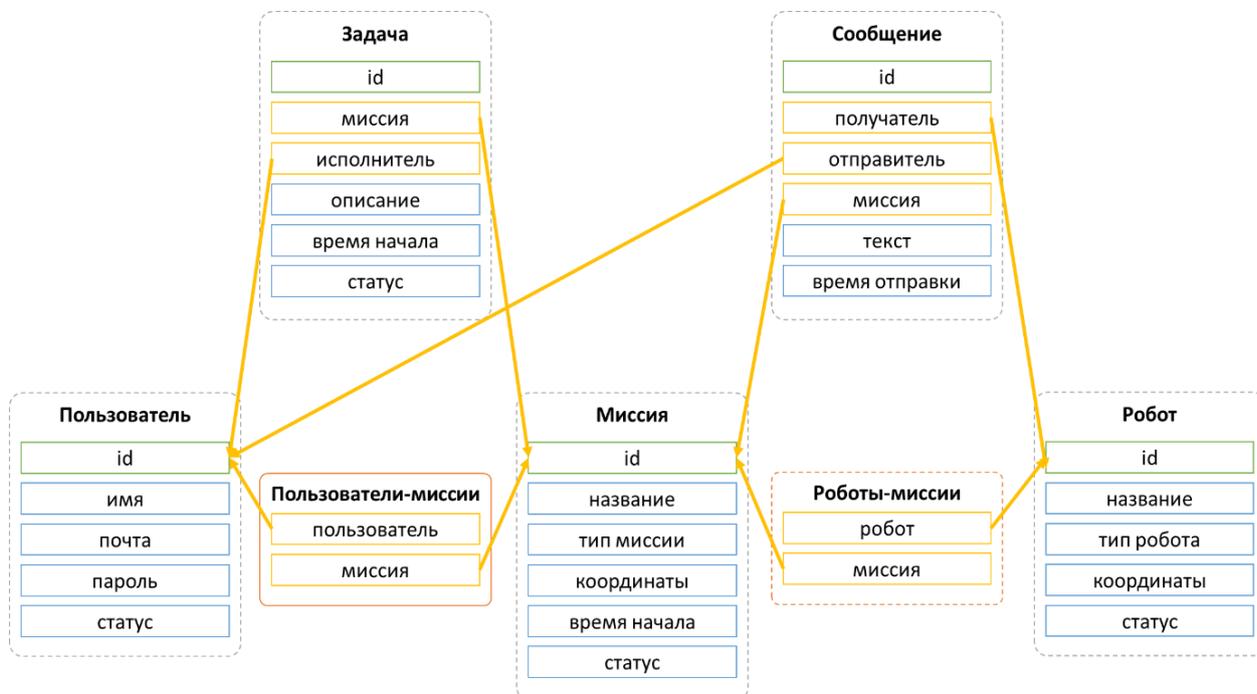


Рис. 4. Структура базы данных системы обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива (стрелками указаны связи между полями таблиц)

Fig. 4. Structure of the database of the messaging system among participants of the human-machine team (arrows indicate the links between table fields)

В таблице с данными пользователя содержатся идентификатор и данные пользователя (имя, пароль, статус). Таблица с миссиями содержит название, тип миссии, место ее выполнения и прочие данные, отвечающие за контекст выполняемого задания. Структура таблицы с роботами схожа с данными для пользователя (только в отличие от пользователя робот передает данные о своем местоположении и других параметрах сенсорной сети). Учитывая, что в выполнении одной миссии могут быть задействованы множество роботов и людей и при этом один человек может участвовать в нескольких миссиях, эти таблицы должны быть связаны отношением «многие-ко-многим», для чего используются промежуточные таблицы «миссии-пользователи» и «миссии-роботы». Кроме миссий, в базе данных выделены отдельные задания (со ссылкой на id миссии и id робота), отвечающие за конкретную задачу и хранящие описание задания, время постановки и его статус. Это позволит отслеживать все пункты, выполнение которых требуется для завершения миссии. Таблица с сообщениями имеет ссылки на миссию, к которой они относятся, а также на отправителя и получателя. Стоит отметить, что кроме пользователей, отправителем могут выступать роботы или интеллектуальные агенты. В сообщении также хранятся сам текст и время его отправки. Подобная архитектура данных обеспечивает возможность обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива с возможностью отслеживания контекста миссии, к которой они привязаны.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБМЕНА СООБЩЕНИЯМИ МЕЖДУ УЧАСТНИКАМИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО КОЛЛЕКТИВА

Разрабатываемый web-сервис является интерфейсом, обеспечивающим взаимодействие между автономными роботами, интеллектуальной системой принятия решений (на основе нейрокогнитивных мультиагентных архитектур) и операторами. При его разработке рассматривались различные библиотеки организации серверной части интернет-сервиса. Под указанную задачу за счет своей гибкости и простоты развертывания больше всего подошел веб-фреймворк Flask [10, 11] для языка программирования python. На базе данного фреймворка построена программа для получения запросов от пользователей и роботов. Для работы с данными используется достаточно легковесная и эффективная СУБД SQLite [12, 13], работа с которой обеспечивается библиотекой SQLAlchemy [14, 15]. Для работы с программой моделирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур использовался протокол WebSocket и соответствующая библиотека websocket-client [16, 17]. Сами веб-страницы написаны на языке разметки html с использованием стилей CSS и скриптов на JavaScript.

После авторизации пользователь попадает на страницу «my_missions», внешний вид которой показан на рисунке 5. В верхней части всех страниц расположено меню web-сервиса, позволяющее быстро перейти на главную страницу, переключиться на другую миссию или отправить команду на подключенного интеллектуального агента. Там же расположена ссылка для выхода из учетной записи. Ниже приведена таблица с данными по каждой миссии, в которых задействован текущий пользователь. Для каждой миссии выведены ссылки на просмотр миссии, редактирование описания и ее удаление. Здесь же расположена форма создания новой миссии, при заполнении которой на сервер отправляется POST-запрос с данными новой миссии. Ниже приведена таблица с информацией о доступных роботах, где также можно изменить параметры или удалить их.

Миссии Создать агентов в ИИ Выход Кантемир

Мои миссии (2)

Название	Тип	Параметры	Действия		
Мониторинг	save	lat = 43.0; lng = 43.0; area = 100.0	перейти	редактировать	удалить
Опрыскивание	agro	lat = 43.14; lng = 43.478; area = 1500.0	перейти	редактировать	удалить

Добавить миссию

Название

Тип

Широта

Долгота

Площадь

Доступные роботы (3)

Название	Тип	Координаты	Действия	
робот1	agro	lat = 43.0; lng = 43.0	редактировать	удалить
AgroBot 01	agro	lat = 43.14; lng = 43.478	редактировать	удалить
AgroDrone 01	agro	lat = 43.14; lng = 43.478	редактировать	удалить

Рис. 5. Скриншот страницы со списком миссий конкретного пользователя

Fig. 5. Screenshot of the page with the list of missions of a specific user

Переход на миссию происходит по ссылке на страницу «current_mission» с указанием id выбранной миссии. В результате сервер возвращает html-страницу с данными по выбранной миссии (рис. 6). На ней указаны параметры миссии (тип, координаты и площадь рабочей зоны), таблица со списком поставленных в рамках миссии задач и форма добавления задачи. Ниже находятся формы для добавления существующего пользователя или робота к списку исполнителей данной миссии.

← → ↻ 127.0.0.1/current_mission?id=8be2f356-62ed-4705-9a6a-75a16c... ☆ 🔍 🌐 🗑️ 📄 📄 📄

Миссии Создать агентов в ИИ Выход Кантемир

Текущая миссия

Миссия1, save; lat = 43.0; lng = 43.0; area = 100.0

[редактировать](#) [удалить](#)

Задачи (1)

Время	Тип	Описание	Статус
2024-05-15 12:03:27.001991	агро	задача1	1

Добавить задачу

Текст задачи

Тип

Исполнитель

Добавить робота

Текст задачи

Тип

Добавить участника

Рис. 6. Скриншот страницы с выбранной миссией

Fig. 6. Screenshot of the page with the selected mission

Большую часть окна миссии занимает чат между участниками миссии (рис. 7). Чат представляет собой таблицу, где для каждого сообщения указаны отправитель, получатель, время отправки и само сообщение. Ниже находится поле для выбора получателя и отправки сообщения. Работа чата на стороне браузера реализована за счет скриптов на JavaScript, которые отвечают за постоянный опрос сервера (по таймеру) на наличие новых сообщений и добавление сообщения в таблицу в html-документа, а также за формирование POST-запроса с JSON-файлом, в котором упаковано содержание нового сообщения от пользователя.

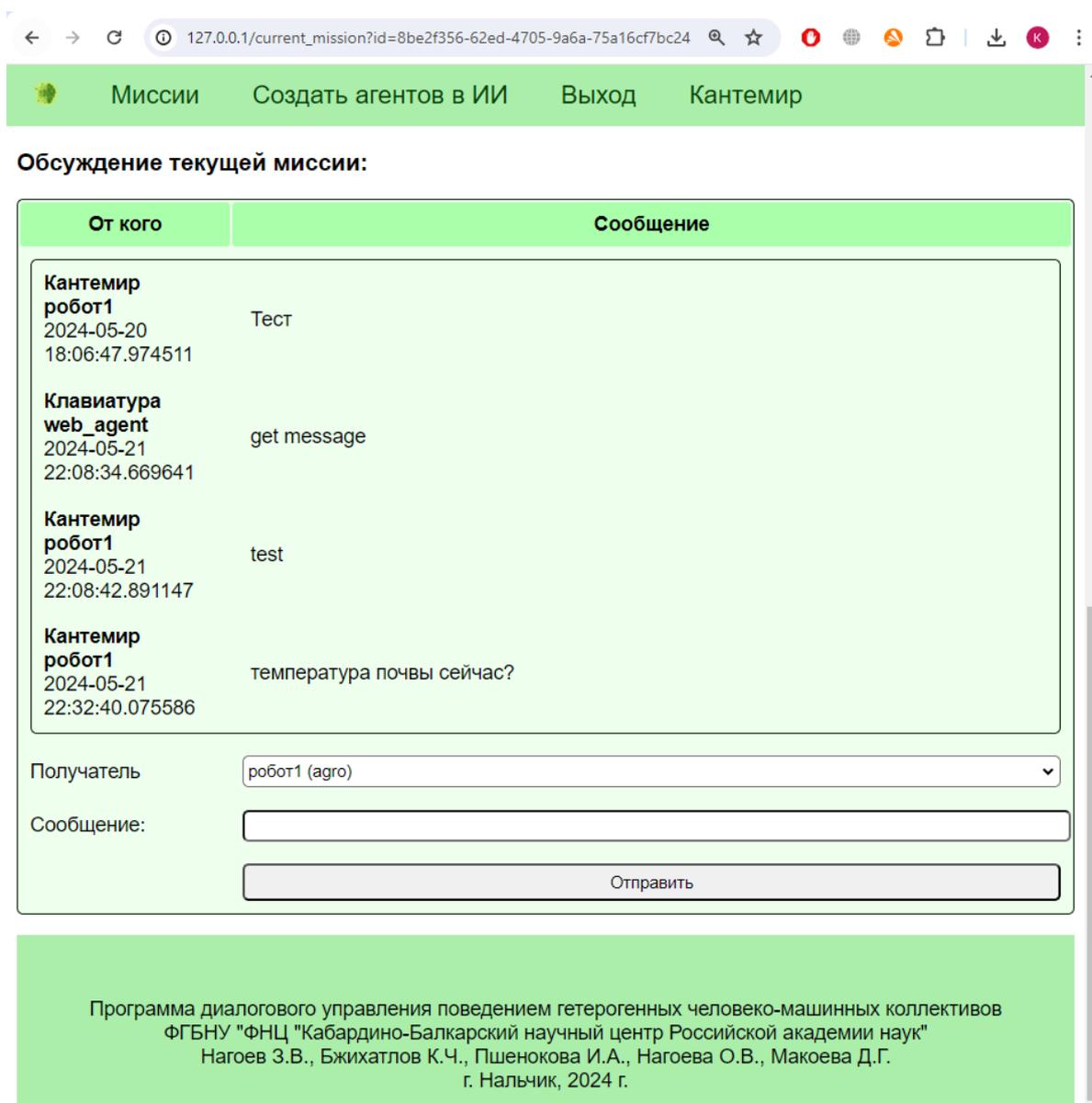


Рис. 7. Скриншот процесса обмена сообщениями (модуль чата)

Fig. 7. Screenshot of the messaging process (chat module)

Данное окно, реализованное как обычный чат, позволяет достаточно оперативно обмениваться сообщениями между всеми участниками человеко-машинного коллектива (в том числе роботами и системами принятия решений), выполняющими выбранную миссию. Все сообщения, отправленные роботу, передаются на него в виде JSON-документа, отправленного POST-запросом. Кроме того, все содержимое чата дублируется на программу моделирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан web-сервис для обеспечения обмена сообщениями между участниками человеко-машинного коллектива и мультиагентной системой принятия решений [18]. Архитектура системы диалогового управления участниками человеко-машинного коллектива предполагает клиент-серверную реализацию обмена данными между операторами, робо-

тами и интеллектуальной системой управления. Использование подобной архитектуры позволяет распределить нагрузку между вычислительными устройствами, а организация программы в виде web-сервиса максимально упрощает взаимодействия между различными клиентами и исключает необходимость адаптации программного обеспечения под разные операционные системы. При этом программа позволяет обмениваться сообщениями в рамках выполнения миссии между различными агентами, представленными роботами, программами, системами принятия решений и людьми, задействованными в человеко-машинном коллективе. Реализация системы обмена сообщениями в виде чата должна позволить минимизировать время, необходимое на освоение представленной системы операторами. Кроме того, программная реализация предусматривает создание программного интерфейса (API), который позволит интегрировать разработанный сервис с различными реализациями интеллектуальных систем принятия решений и с роботами, использующими различные протоколы обмена данными.

В рамках испытания работоспособности web-сервиса проведено функциональное тестирование, которое включало проверку функциональных возможностей (авторизация, создание миссии, загрузка списка миссий, загрузка страницы с описанием миссии, отправка и получение сообщений) на основных браузерах, используемых на ПК (Chrome, Edge, Firefox, Opera) [19]. Тестирование подтвердило работоспособность сервиса на всех использованных браузерах. Кроме того, проводилась оценка времени отправки и получения сообщения между пользователем и интеллектуальной системой принятия решений. Среднее время отправки составило 117 мс, а получения – 124 мс. Такая задержка в первую очередь связана с временем работы основного цикла программы для моделирования мультиагентных нейрокогнитивных архитектур, которое составляет 100 мс, и не является критичной для рассматриваемого режима управления человеко-машинным коллективом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valeriani D., O'Flynn L. C., Worthley A. et al. Multimodal collaborative brain-computer interfaces aid human-machine team decision-making in a pandemic scenario // *Journal of Neural Engineering*. 2022. Vol. 19. No. 5. P. 56036. DOI: 10.1088/1741-2552/ac96a5
2. Demir M., Canan M., Cohen M.C. Modeling team interaction and interactive decision-making in agile human-machine teams // *2021 IEEE 2nd International Conference on Human-Machine Systems*. 2021. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICHMS53169.2021.9582449
3. Gay C., Horowitz B., Elshaw J.J. et al. Operator suspicion and human-machine team performance under mission scenarios of unmanned ground vehicle operation // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Pp. 36371–36379. DOI: 10.1109/access.2019.2901258
4. Бжухатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Макоев А. Р. Концепция создания системы управления мультиагентной робототехнической системой сельскохозяйственного назначения на базе нейрокогнитивных алгоритмов // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2024. № 3. С. 6–18. DOI: 10.18522/2311-3103-2024-3-6-18
5. Булгаков С. В. Применение мультиагентных систем в информационных системах // *Перспективы науки и образования*. 2015. № 5(17). С. 136–140.
6. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Самоорганизация в мультиагентных системах // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2010. № 3. С. 14–20.
7. Нагоев З. В. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: КБНЦ РАН, 2013. 211 с. ISBN: 978-5-904743-37-6
8. Бжухатлов К. Ч., Пшенокова И. А., Нагоева О. В. Кооперативное взаимодействие участников гетерогенного коллектива автономных агентов с использованием нейрокогнитивных

моделей согласованного поведения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 132–141. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-132-141

9. Pshenokova I., Bzhikhatlov K.C., Kankulov S. et al. Simulation model of the neurocognitive system controlling an intellectual agent displaying exploratory behavior in the real world // Studies in Computational Intelligence. 2024. Pp. 706–715. DOI: 10.1007/978-3-031-50381-8_76

10. Flask project website / URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>

11. Liang Zu., Liang Zo., Zheng Y. et al. Data analysis and visualization platform design for batteries using flask-based Python Web Service // World Electric Vehicle Journal. 2021. Vol. 12. No. 4. P. 187. DOI: 10.3390/wevj12040187

12. SQLite Home Page / URL: <https://www.sqlite.org/>

13. Chen D., Han X., Wang W. Use of SQLite on embedded system // 2010 International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics. Kuala Lumpur, Malaysia. 2010. Pp. 210–213. DOI: 10.1109/ICICCI.2010.79

14. SQLAlchemy – The database toolkit for Python / URL: <https://www.sqlalchemy.org/>

15. Bayer M. SQLAlchemy. In book: The architecture of open-source applications. Eds: Brown A., Wilson G. 2012. Vol. 2. Chapter 20.

16. Websocket-client documentation / URL: <https://websocket-client.readthedocs.io/en/latest/index.html>

17. Sharma N., Agarwal R. HTTP, webSocket, and signalR: A comparison of real-time online communication protocols. In: Mining intelligence and knowledge exploration. Eds.: Kadry S., Prasath R. 2023. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 13924. DOI: 10.1007/978-3-031-44084-7_13

18. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024664671 от 24.06.2024. Программа для диалогового управления согласованным поведением гетерогенных человеко-машинных коллективов. Авторы: Нагоев З. В., Бжихатлов К. Ч., Пшенокова И. А. и др. Правообладатель: КБНЦ РАН.

19. Li Y., Li M., Yu J. Web services testing, the methodology, and the implementation of the automation-testing tool // Lecture Notes in Computer Science. 2004. Pp. 940–947. DOI: 10.1007/978-3-540-24679-4_156

REFERENCES

1. Valeriani D., O'Flynn L.C., Worthley A. et al. Multimodal collaborative brain-computer interfaces aid human-machine team decision-making in a pandemic scenario. *Journal of Neural Engineering*. 2022. Vol. 19. No. 5. P. 56036. DOI: 10.1088/1741-2552/ac96a5

2. Demir M., Canan M., Cohen M.C. Modeling team interaction and interactive decision-making in agile human-machine teams. *2021 IEEE 2nd International Conference on Human-Machine Systems*. 2021. Pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICHMS53169.2021.9582449

3. Gay C., Horowitz B., Elshaw J.J. et al. Operator suspicion and human-machine team performance under mission scenarios of unmanned ground vehicle operation. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Pp. 36371–36379. DOI: 10.1109/access.2019.2901258

4. Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Makoev A.R. The concept of creating a control system for a multi-agent robotic system for agricultural purposes based on neurocognitive algorithms. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [Izvestia SFU. Technical science]. 2024. No. 3. Pp. 6–18. DOI: 10.18522/2311-3103-2024-3-6-18. (In Russian)

5. Bulgakov S.V. Application of multi-agent systems in information systems. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* [Perspectives of science and education]. 2015. No. 5(17). Pp. 136–140. (In Russian)

6. Kalyaev I.A., Gaiduk A.R., Kapustyan S.G. Self-organization in multi-agent systems. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [News of the Southern Federal University. Technical science]. 2010. No. 3. Pp. 14–20. (In Russian)
7. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshlenie v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or thinking in natural and artificial systems]. Nal'chik: KBNTS RAN. 2013. 211 p. ISBN: 978-5-904743-37-6. (In Russian)
8. Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. Cooperative interaction of participants in a heterogeneous team of autonomous agents using neurocognitive models of coordinated behavior. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2023. No. 6(116). Pp. 132–141. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-132-141. (In Russian)
9. Pshenokova I., Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S. et al. Simulation model of the neurocognitive system controlling an intellectual agent displaying exploratory behavior in the real world. *Studies in Computational Intelligence*. 2024. Pp. 706–715. DOI: 10.1007/978-3-031-50381-8_76
10. Flask project website / URL: <https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>
11. Liang Zu., Liang Zo., Zheng Y. et al. Data analysis and visualization platform design for batteries using flask-based Python web service. *World Electric Vehicle Journal*. 2021. Vol. 12. No. 4. P. 187. DOI: 10.3390/wevj12040187
12. SQLite Home Page / URL: <https://www.sqlite.org/>
13. Chen D., Han X., Wang W. Use of SQLite on Embedded System. 2010 International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics. Kuala Lumpur, Malaysia. 2010. Pp. 210–213. DOI: 10.1109/ICICCI.2010.79
14. SQLAlchemy – The Database Toolkit for Python / URL: <https://www.sqlalchemy.org/>.
15. Bayer M. SQLAlchemy. In book: *The architecture of open-source applications*. Eds: Brown A., Wilson G. 2012. Vol. 2. Chapter 20.
16. Websocket-client documentation / URL: <https://websocket-client.readthedocs.io/en/latest/index.html>.
17. Sharma N., Agarwal R. HTTP, WebSocket, and signalR: A comparison of real-time online communication protocols. In: *Mining intelligence and knowledge exploration*. Eds.: Kadry S., Prasath R. 2023. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 13924. DOI: 10.1007/978-3-031-44084-7_13
18. Certificate of registration of a computer program No. 2024664671 06.24.2024. *Programma dlya vneshnego upravleniya soglasovannym povedeniyem geterogennykh cheloveko-mashinnykh kollektivov* [Program for external control of coordinated behavior of heterogeneous human-machine teams]. Authors: Nagoev Z.V., Bzhikhatlov K.Ch., Pshenokova I.A. et al. (In Russian)
19. Li Y., Li M., Yu J. Web services testing, the methodology, and the implementation of the automation-testing tool. *Lecture Notes in Computer Science*. 2004. Pp. 940–947. DOI: 10.1007/978-3-540-24679-4_156

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

Author contributions: all authors made an equivalent contribution to the publication. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-19-00787.

Funding. This work was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-19-00787.

Информация об авторах

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>

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Макоева Дана Гисовна, канд. филол. наук, зав. лабораторией «Компьютерная лингвистика», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

makoevadana@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5955-2262>

Information about the authors

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory “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>

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory “Intelligent Living Environments”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Olga V. Nagoeva, Researcher of the Department “Multiagent Systems”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Dana G. Makoeva, Candidate of Philological Sciences, Head of the Laboratory of Computational Linguistics, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

makoevadana@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5955-2262>