

УДК 65.01

Технологические решения для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности

Утепбергенов Ирбулат Туремуратович — докт. техн. наук, профессор, профессор-исследователь кафедры «Автоматизация и управление». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, моделирование надежности. E-mail: i.utepbergenov@aes.kz

Сейдазимов Сырым Байболулы — магистр, старший преподаватель кафедры «IT-инженерия и искусственный интеллект». Область научных интересов: информационные системы, интеллектуальные системы управления, многоагентные системы, искусственный интеллект. E-mail: s.seidazimov@aes.kz

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, 050013, Алматы, ул. А. Байтурсынова, 126

Для цитирования: Утепбергенов И. Т., Сейдазимов С. Б. Технологические решения для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 13–23. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-13-23

Аннотация. В условиях стремительного развития науки и технологий традиционные методы перестают быть эффективными, что требует более интеллектуальных и адаптивных решений для управления и обработки информации. В статье исследуются и анализируются многоагентные системы (МАС), их роль и значимость в сфере инновационной деятельности. **Цель:** систематизация технологических решений, применяемых при разработке многоагентных систем в инновационной деятельности, а также оценка их воздействия на эффективность инновационных процессов. **Результат и новизна:** проведен анализ архитектурных и алгоритмических подходов к разработке МАС, изучены современные программные и аппаратные решения, включая интернет вещей (IoT) и облачные платформы. Освещаются новаторские аспекты в интеграции МАС с физическими устройствами, что расширяет их функциональные возможности. **Практическая значимость:** рассмотренные технологические решения поддерживают практическое применение МАС в различных областях — от управления проектами до оптимизации научно-исследовательских процессов. Реализация МАС способствует улучшению координации и распределению ресурсов, что особенно актуально в условиях высокой динамики и неопределенности инновационной среды. **Обсуждение:** подчеркивается, что разработка МАС сталкивается с проблемами сложной архитектуры и вычислительных затрат. Выделяется важность выбора подходящей платформы разработки (например, JADE, SPADE, NetLogo) в зависимости от нужд проекта. Акцентируется роль облачных технологий и IoT в будущем развитии многоагентных систем.

Ключевые слова: многоагентные системы, распределенные системы, интеллектуальные агенты, облачные технологии, интернет вещей, машинное обучение, визуализация, автоматизация, искусственный интеллект

1.2.1 — искусственный интеллект и машинное обучение (технические науки); **2.3.5** — математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки)

Введение

Современные вызовы в области науки, технологий и инноваций требуют новых подходов к организации и управлению процессами. В условиях постоянного роста объема данных, увеличения сложности задач и ускорения технологических изменений традиционные методы перестают быть эффективными. Необходимы решения, которые обеспечивают автоматизацию, адаптивность и интеллектуальность в обработке информации и выполнении сложных задач. Одной из таких перспективных технологий являются многоагентные системы (МАС).

Многоагентные системы представляют собой архитектуру, состоящую из множества автономных программных компонентов, называемых агентами, которые взаимодействуют между собой для достижения общей цели. Каждый агент обладает определенной степенью автономии, способен к обучению, адаптации и принятию решений. Такие системы находят широкое применение в задачах моделирования, автоматизации процессов, управления ресурсами и решения сложных проблем, где требуется координация множества независимых элементов [1].

В сфере инновационной деятельности, характеризующейся высокой динамикой и неопределенностью, особенно выгодно использовать потенциал многоагентных систем. Например, МАС могут применяться для управления исследовательскими проектами, распределения ресурсов, оптимизации научных экспериментов и прогнозирования результатов инноваций. Использование таких систем позволяет значительно повысить эффективность работы, снизить риски и ускорить реализацию проектов [2].

Основой создания многоагентных систем служат современные технологические решения, такие как алгоритмы искусственного интеллекта, распределенные вычисления, технологии интернета вещей (Internet of Things, IoT), облачные платформы и базы данных. Эти инструменты обеспечивают разработку систем, способных функционировать в реальном времени, обрабатывать большие объемы данных, интегрировать разнородные ис-

точники информации и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Целью данной статьи является анализ существующих технологических решений, применяемых для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности. Будут рассмотрены ключевые аспекты разработки таких систем, включая архитектурные подходы, алгоритмическое обеспечение, используемые инструменты и платформы. Проведена оценка влияния МАС на эффективность информационного обеспечения инновационных процессов и перспективы их дальнейшего развития.

Определение многоагентных систем

Многоагентные системы представляют собой программные или аппаратные системы, состоящие из множества взаимодействующих автономных агентов, которые совместно решают задачи в динамичных и распределенных средах.

Основные характеристики МАС включают:

- автономность агентов, что позволяет им принимать собственные решения;
- взаимодействие, обеспечивающее координацию действий;
- адаптивность, позволяющую реагировать на изменения среды;
- обучаемость, благодаря которой агенты совершенствуют свои действия на основе накопленного опыта [3].

Архитектуры МАС варьируются от иерархических, где агенты подчиняются центральному узлу, до распределенных, где отсутствует единый центр управления, а взаимодействие происходит по горизонтальной схеме. Для разработки таких систем используются платформы и языки программирования, такие как JADE, Python и NetLogo, которые предоставляют инструменты для управления агентами, симуляции их взаимодействий и визуализации работы системы [4].

Облачные технологии играют важную роль, предоставляя масштабируемую инфраструктуру для обработки данных и координации агентов, а интернет вещей и распределенные вычисления

расширяют возможности МАС, обеспечивая их интеграцию с физическими устройствами и удаленными ресурсами. В инновационной деятельности МАС используются для автоматизации управления проектами, оптимизации научных экспериментов, распределения ресурсов, моделирования инновационных процессов и прогнозирования. Например, платформы вроде CoLab и Simulink применяются для координации научных исследований и моделирования сложных систем, тогда как умные энергосети и системы управления проектами в R&D-отделах демонстрируют их практическую пользу. Таким образом, МАС стали ключевым инструментом в решении сложных задач, требующих координации, распределения ресурсов и анализа данных, что делает их неотъемлемой частью современной инновационной деятельности [5].

Многоагентные системы обладают ключевыми характеристиками, такими как автономность, взаимодействие, адаптивность и обучаемость, что делает их эффективным инструментом для решения сложных задач в условиях неопределенности и динамики. Агенты в МАС могут действовать независимо, обмениваться данными и адаптироваться к изменениям, используя машинное обучение для повышения эффективности. Преимущества МАС включают гибкость, масштабируемость, децентрализованность и способность решать сложные задачи, но они также сталкиваются с ограничениями, такими как высокая сложность разработки, конфликты интересов и вычислительные затраты. Выбор архитектуры системы, будь то иерархическая, гомогенная, гетерогенная, централизованная или распределенная, зависит от требований и среды работы, обеспечивая баланс между производительностью и сложностью реализации [6].

Современные инструменты разработки МАС включают платформы JADE, NetLogo и языки программирования, такие как Python, с использованием облачных технологий, интернета вещей и распределенных вычислений. Эти технологии обеспечивают масштабируемость, доступность и интеграцию агентов с физическими устройствами и другими системами. Например, JADE предлагает стандартизированное взаимодействие аген-

тов, Python поддерживает машинное обучение, а облачные платформы, такие как AWS (Amazon Web Services), Google Cloud и Microsoft Azure, предоставляют ресурсы для масштабируемых решений. IoT и распределенные вычисления усиливают возможности МАС, расширяя их применение в умных домах, производственных процессах и системах анализа данных [7].

Применение МАС в инновационной деятельности охватывает автоматизацию управления проектами, оптимизацию научных экспериментов и моделирование процессов. Такие системы, как CoLab и Simulink Agent-Based Modeling, помогают распределять задачи, координировать участников и прогнозировать результаты. В энергетике МАС используются для управления интеллектуальными сетями, а в инновационных проектах — для автоматизации взаимодействия стартапов, инвесторов и менторов. Эти примеры демонстрируют, как МАС ускоряют разработку технологий, повышают эффективность и улучшают принятие решений в научной и бизнес-среде [8].

Сравнительный анализ платформ и технологий для разработки многоагентных систем

Разработка многоагентных систем требует использования специализированных инструментов и технологий, которые обеспечивают гибкость, производительность и возможность масштабирования. Рассмотрим наиболее популярные платформы для разработки МАС — JADE, SPADE, и NetLogo, а также их сравнительные преимущества, недостатки и применимость в различных сценариях.

JADE (Java Agent Development Framework) — одна из наиболее зрелых платформ для разработки многоагентных систем, построенная на языке Java и соответствующая стандартам FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), что обеспечивает совместимость с другими агентными системами и поддержку стандартных протоколов коммуникации (рис. 1). Платформа отличается масштабируемостью, позволяя создавать крупные распределенные системы с высокой нагрузкой, а также

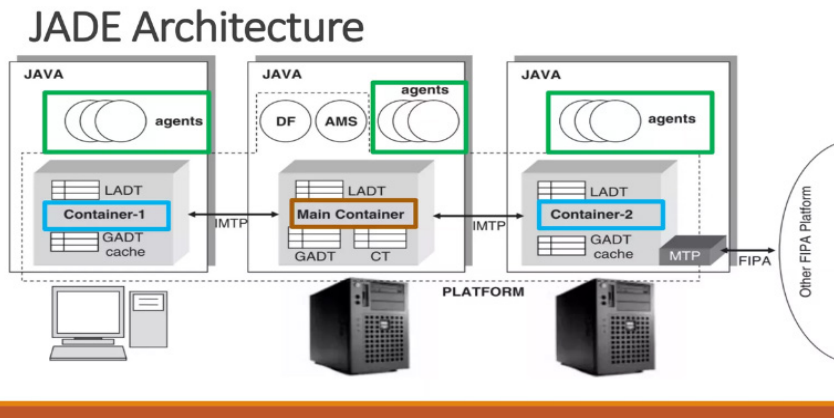


Рис. 1. Архитектура JADE. Источник: Java Agent Development Framework: Why Does Your SaaS Product Need it? 26 June 2024. URL: <http://www.azilen.com/blog/java-agent-development-framework> (дата обращения: 24.11.2024)

интеграцией с Java-экосистемой, включая базы данных и веб-сервисы, что делает ее надежной для коммерческих проектов и научных исследований. Однако ее использование требует глубоких знаний Java, что усложняет работу для новичков, а процесс прототипирования сравнительно медленнее, чем у Python-ориентированных платформ. JADE активно применяется для управления транспортными системами в реальном времени, автоматизации бизнес-процессов и симуляции сложных сценариев взаимодействия агентов [9, 10].

SPADE (Smart Python Agent Development Environment) — платформа для разработки многоагентных систем на языке Python, известном своей простотой и широким сообществом разработчиков, что ускоряет процесс прототипирования и делает разработку интуитивно понятной (рис. 2).

Платформа поддерживает интеграцию с популярными библиотеками машинного обучения, такими как TensorFlow и PyTorch, что позволяет создавать интеллектуальных агентов, а также обеспечивает кросс-платформенность, работая на различных операционных системах. Однако производительность Python уступает Java, что может быть критичным для систем с высокой нагрузкой, а документация SPADE менее обширна по сравнению с JADE. Платформа используется для разработки интеллектуальных ассистентов, систем мониторинга и анализа данных в реальном времени, а также для моделирования поведения агентов в социально-экономических системах [10–12].

NetLogo — высокоуровневая среда для моделирования многоагентных систем, ориентированная на визуализацию и простоту использования, что

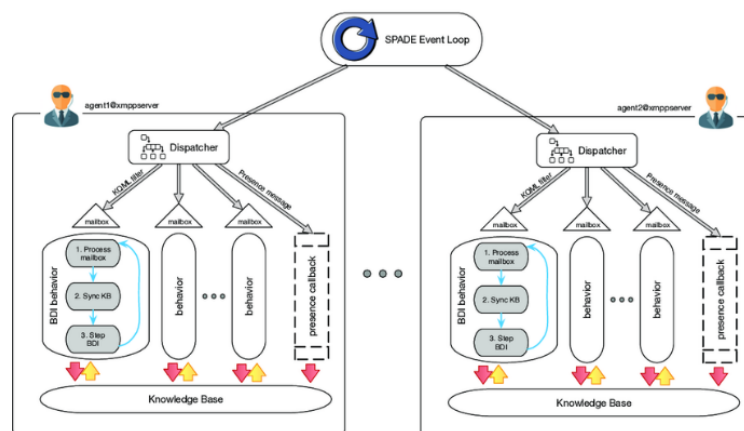


Рис. 2. Гибкая архитектура агентов в SPADE. Источник: Palanca J., et al. Flexible Agent Architecture: Mixing Reactive and Deliberative Behaviors in SPADE // Electronics. 2023. Vol. 12, Is. 3. Art. No. 659. 18 p. DOI: 10.3390/electronics12030659

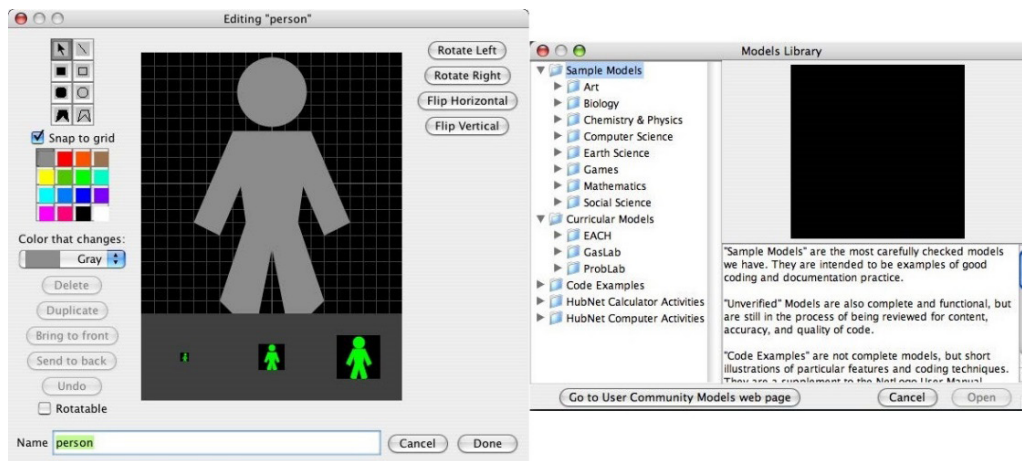


Рис. 3. NetLogo: проектирование и реализация многоагентной среды моделирования. Источник: Tisue S., Wilensky, U. NetLogo: Design and Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment // Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence (Chicago, IL, USA, 07–09 October 2004). Updated 2013. 20 p.

делает ее популярной в образовательных и научных целях для изучения сложных систем (рис. 3). Она особенно подходит для пользователей без глубоких технических знаний благодаря интуитивному интерфейсу и встроенным инструментам для создания наглядных симуляций поведения агентов. Платформа активно используется в академической среде для обучения основам работы с MAC. Однако ее возможности ограничены, что делает ее неподходящей для разработки сложных распределенных систем, а низкая производительность препятствует применению в высоконагруженных сценариях. NetLogo находит применение в моделировании экологических систем, изучении поведения животных или групп людей, а также в анализе социальных взаимодействий и их последствий [7].

Современные многоагентные системы активно используют облачные технологии и интернет ве-

щей для повышения эффективности и масштабируемости. Облачные платформы, такие как AWS, Google Cloud, Microsoft Azure и Яндекс.Облако, предоставляют мощные инструменты для развертывания распределенных систем, выполнения сложных вычислений, обработки больших данных и интеграции с аналитическими инструментами и машинным обучением (табл. 1). Взаимодействие с устройствами IoT открывает возможности для управления физическими объектами, такими как умные дома и транспортные системы, позволяя моделировать сложные сценарии и автоматизировать процессы [11].

Выбор платформы зависит от конкретных задач и ограничений проекта. Для создания масштабируемых систем лучше использовать JADE. Если требуется быстрый прототип или интеграция с искусственным интеллектом, предпочтение стоит отдать SPADE. Для образовательных и научных

Таблица 1

Сравнительный обзор технологий

Платформа	Преимущества	Недостатки	Применение
JADE	Надежность, масштабируемость, поддержка стандартов	Сложность разработки, зависимость от Java	Крупные коммерческие проекты
SPADE	Простота, интеграция с AI, кроссплатформенность	Низкая производительность, ограниченная документация	Научные и аналитические системы
NetLogo	Простота, визуализация, образовательная направленность	Ограниченные возможности, низкая производительность	Образование и исследования

симуляций лучшим выбором будет NetLogo. Дополнительно использование облачных технологий и IoT позволяет значительно расширить возможности каждой из платформ, обеспечивая гибкость, масштабируемость и надежность.

При создании следующего прототипа был использован язык программирования C#, однако для разработки мультиагентных систем может быть выбран любой язык, соответствующий требованиям проекта и поддерживающий эту концепцию.

Многоагентные системы удобны при работе над задачей, не выполнимой для одного агента или интерактивного ПО.

Агент — комплексная программа, имеющая «собственное видение» окружающей среды, определенное границами его дозволенности. Интерактивное ПО — программное обеспечение, созданное с целью выполнения спектра задач, при наличии пользователя. Основным отличием агентов от интерактивного ПО является возможность первых «самостоятельно принимать решение», без непосредственного руководства.

Разработанная в данной работе многоагентная система состоит из менеджера и четырех различных агентов:

1. Менеджер агентов регулирует работу прочих агентов, предоставляет информацию об окружающей среде, открывает доступ к ней, а также позволяет дополнить ее пользовательскими данными (рис. 4).

2. Агент-Исследователь предоставляет информацию о себе, которая включает список опре-

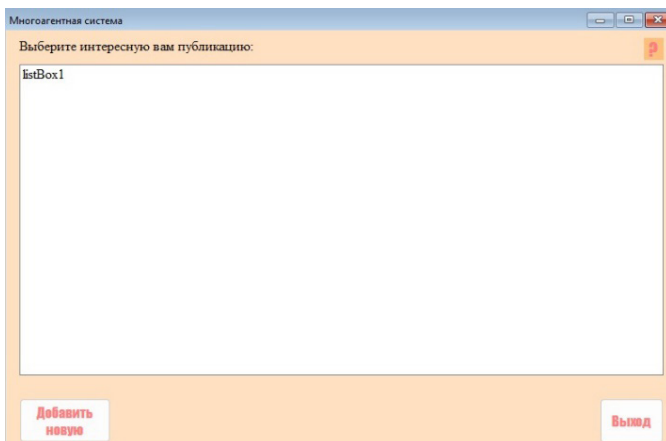


Рис. 4. Менеджер агентов и Агент-Исследователь

деленных публикаций, теги данных публикаций и позволяет выбрать одну из них для дальнейшей работы прочих агентов.

3. Агент-Анализатор является «мозгом» многоагентной системы. Включает в себя рабочую нейросеть, главной функцией которой является расчет приоритета одних публикаций над другими, в качестве критерия используется количество подходящих тегов.

Нейронная сеть, вызываемая посредством создания топологии, где есть входные нейроны, скрытые нейроны и выходной нейрон, получает информацию о сходимости статей. Она обучается на их данных и определяет выходные приоритетности каждой статьи (рис. 5).

Поиск наиболее подходящих по запросу источников (или на основе последней просмотренной статьи) осуществляется с помощью тегово-преференсной системы. Преференс (англ. preference — предпочтение) — целочисленный параметр, определяющий степень схожести статей. Изначально приоритет равен нулю, но после вызова метода поиска значения с помощью нейросети значения преференса меняются в зависимости от количества совпадающих тегов. Чем больше значение преференса, тем ближе статья по смыслу к текущей. Далее осуществляется сортировка по преференсу, от большего к меньшему. Выводятся две статьи по убыванию преференса.

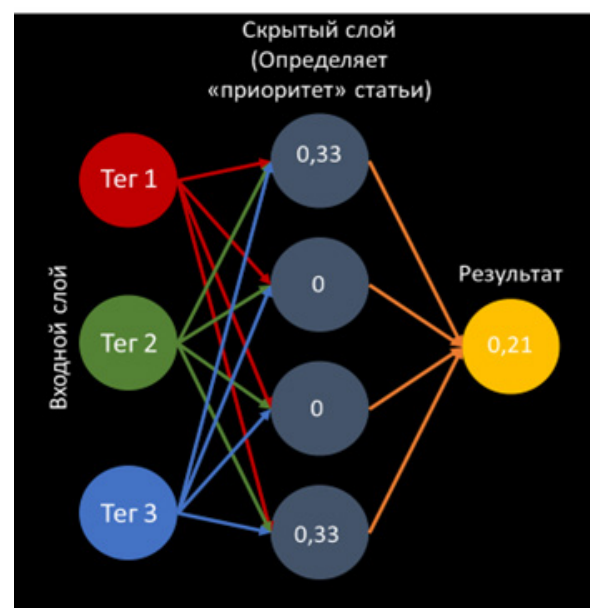


Рис. 5. Схема нейронной сети

После рабочего цикла Агент-Анализатор выдает название двух статей и передает их Агенту-Рекомендателю (рис. 6).

4. Агент-Рекомендатель создает рекомендации на основе информации, полученной от Агента-Анализатора. Позволяет перевыбрать рекомендации в том случае, если пользователь не удовлетворен текущими.

5. Агент-Уведомитель отображает две рекомендации, отобранные Агентом-Рекомендателем. Также отображает выбранную пользователем публикацию, как и каждую впоследствии.

Данная агентная система рассчитана для поддержки исследовательской деятельности, а именно поиска рекомендаций на основе выбранной публикации. При этом содержание, тематика и направленность данных публикаций могут быть разнообразными.

Входные данные

Во время работы программа требует от пользователя выбрать доступные публикации, а также выбрать одну (рис. 7, 8).

Выходные данные

Результаты работы Менеджера агентов и Агента-Исследователя изображены на рис. 9.

Эффективность внедрения многоагентной системы в сфере информационного обеспечения инновационной деятельности может значительно варьироваться в зависимости от структуры базы данных, используемого программного обеспечения. Тем не менее на основе предыдущих исследований и реализованных проектов приведем ориентировочные числовые значения ожидаемых улучшений. В табл. 2 приведены численные значения улучшений,

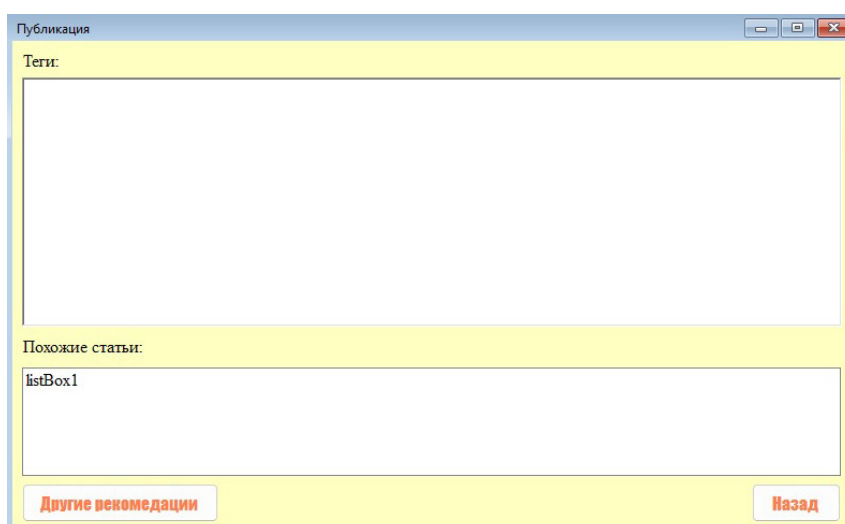


Рис. 6. Агент-Уведомитель и Агент-Рекомендатель

Таблица 2

Значения улучшений в сфере поиска релевантных запросу источников

№	Показатель	Улучшение (%)
1	Предоставление информации об окружающей среде (предметной области)	10–15
2	Возможности получения полного списка публикаций	20–25
3	Повышение точности поиска	20–25
4	Снижение затрат времени	20–30
5	Возможности автоматизации добавления новых источников	30–40

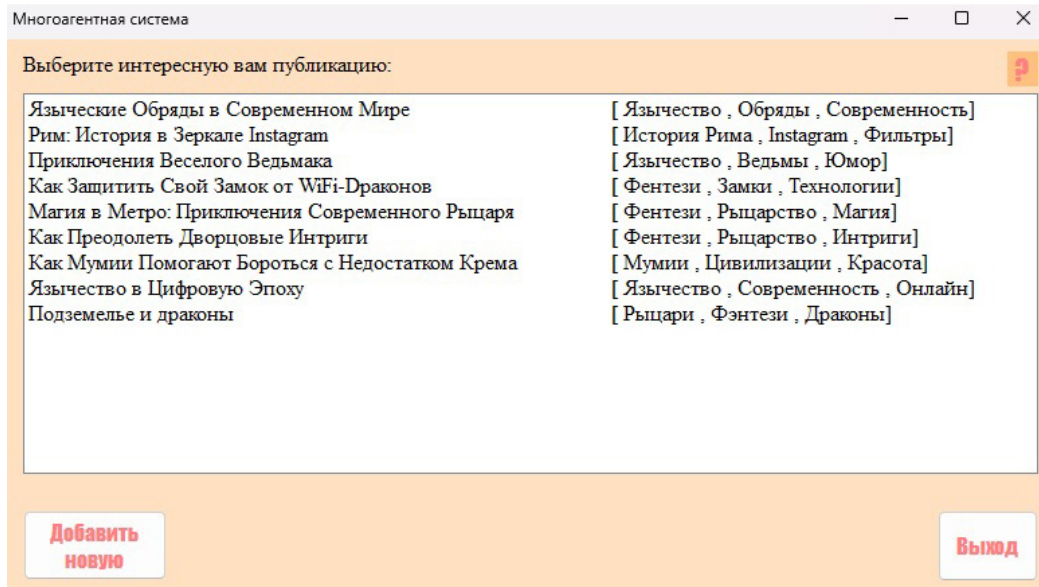


Рис. 7. Главная форма со всем спектром доступных публикаций



Рис. 8. Форма создания новых пользовательских публикаций

достигнутые на основе внедрения многоагентных систем в управление энергосетями.

Эти данные предоставляют общий ориентир относительно выигрыша от применения MAC в подобных задачах.

Заключение

Многоагентные системы представляют собой перспективное направление в развитии информационных технологий, находя применение в различных областях — от автоматизации биз-

нес-процессов до моделирования сложных социальных и экологических систем. Рассмотренные платформы, такие как JADE, SPADE и NetLogo, демонстрируют разнообразие подходов к разработке MAC, от высокопроизводительных решений для крупных распределенных систем до простых инструментов для образовательных целей и визуализации.

Современные технологии, включая облачные вычисления и интернет вещей, усиливают возможности MAC, обеспечивая их интеграцию

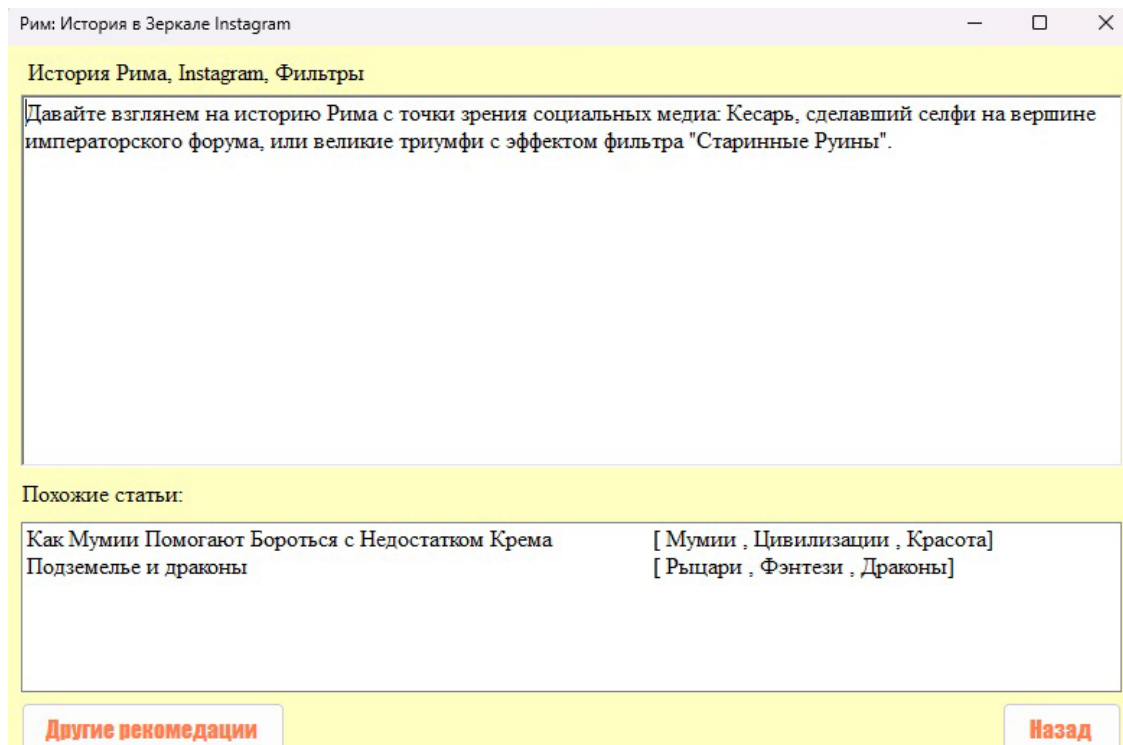


Рис. 9. Агент-Уведомитель с рекомендациями

с физическими устройствами, обработку больших данных и поддержку интеллектуальных алгоритмов. Однако выбор конкретной платформы или технологии зависит от задач проекта, уровня подготовки разработчиков и требований к производительности системы.

Таким образом, развитие МАС и их интеграция с передовыми технологиями открывают новые горизонты для научных исследований и прикладных решений, способствуя созданию интеллектуальных систем, способных адаптироваться к сложным и динамичным условиям современного мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
2. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Hoboken (NJ): Pearson, 2020. 1136 p.
3. Wooldridge M. J. An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2009. 488 p.
4. Bordini R. H., Hübner J. F., Wooldridge M. Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak Using Jason. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
5. Абрамов В. И., Евдокимов Д. С. Разработка комплекса агент-ориентированных моделей системы государственных закупок стран Евразийского континента // Проблемы теории и практики управления. 2019. № 1. С. 15–23.

6. Диагностика неустойчивых когнитивных состояний активных агентов / П. П. Дьячук [и др.] // Нейроинформатика-2016: сборник трудов XVIII Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 25–29 апреля 2016 г.): в 3 ч. Ч. 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. С. 259–270.

7. Компьютерное ситуационное моделирование в управлении экономикой / В. Л. Макаров [и др.] // Государственный аудит. Право. Экономика. 2017. № 3–4. С. 31–40.

8. R&D Subsidization Effect and Network Centralization: Evidence from an Agent-Based Micro-Policy Simulation / P. Angelini [et al.] // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20, iss. 4. Art. No. 4. 22 p. DOI: 10.18564/jasss.3494

9. Гладков Л. А., Гладкова Н. В. Возможности управления знаниями на основе гибридных интеллектуальных методов // Открытое образование. 2013. № 6(101). С. 60–64.

10. The Peer Review Game: An Agent-Based Model of Scientists Facing Resource Constraints and Institutional Pressures / F. Bianchi [et al.]. 2018. Vol. 116, iss. 3. P. 1401–1420. DOI: 10.1007/s11192-018-2825-4

11. Использование мультиагентных технологий для прогнозирования и идентификации процесса обучения / Е. А. Назойкин [и др.] // Пищевая промышленность. 2015. № 6. С. 36–39.

12. Neves F., Campos P., Silva S. Innovation and Employment: An Agent-Based Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. Vol. 22, iss. 1. Art. No. 8. 32 p. DOI: 10.18564/jasss.3933

Дата поступления: 03.12.2024

Решение о публикации: 19.12.2024

Technological Solutions for Creating Multi-Agent Systems in the Field of Innovation

Irbulat T. Utepbergenov — Grand PhD in Engineering Sciences, Professor, Research-Professor, Automation and Control Department. Research interests: information systems, big data processing, reliability modelling. E-mail: i.utepbergenov@aues.kz

Syrym B. Seidazimov — Master of Engineering Science, Senior lecturer of the IT-Engineering and Artificial Intelligence Department. Research interests: information systems, intelligent control systems, multi-agent systems, artificial intelligence. E-mail: s.seidazimov@aues.kz

Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named Gumarbek Daukeev, 126, A. Baitursynov str., Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

For citation: Utepbergenov I.T., Seidazimov S.B. Technological Solutions for Creating Multi-Agent Systems in the Field of Innovation // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 13–23. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-13-23. (In Russian)

Abstract. *In the context of the rapid development of science and technology, traditional methods are no longer effective, which requires more intelligent and adaptive solutions for information management and processing. The article explores and analyzes multi-agent systems (MAS), their role and importance in the field of innovation. **Objective:** systematization of technological solutions used in the development of multi-agent systems in innovation activities, as well as assessment of their impact on the effectiveness of innovation processes. **Result and novelty:** an analysis of architectural and algorithmic approaches to MAC development was carried out, modern software and hardware solutions, including the Internet of Things (IoT) and cloud platforms, were*

studied. Innovative aspects in the integration of MAC with physical devices are highlighted, which expands their functionality. **Practical significance:** the considered technological solutions support the practical application of MAC in various fields: from project management to optimization of research processes. The implementation of the IAU contributes to improved coordination and allocation of resources, which is especially important in conditions of high dynamics and uncertainty of the innovation environment. **Discussion:** It is emphasized that MAC development faces the challenges of complex architecture and computational costs. The importance of choosing a suitable development platform (for example, JADE, SPADE, NetLogo) is highlighted, depending on the needs of the project. The role of cloud technologies and IoT in the future development of multi-agent systems is emphasized.

Keywords: multi-agent systems, distributed systems, intelligent agents, cloud technologies, Internet of Things, machine learning, visualization, automation, artificial intelligence

REFERENCES

1. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
2. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Hoboken (NJ): Pearson, 2020. 1136 p.
3. Wooldridge M. J. An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2009. 488 p.
4. Bordini R. H., Hübner J. F., Wooldridge M. Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak Using Jason. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
5. Abramov V. I., Evdokimov D. S. Razrabotka kompleksa agent-orientirovannykh modelej sistemy gosudarstvennykh zakupok stran Evrazijskogo kontinenta // Problemy teorii i praktiki upravleniya. 2019. No. 1. S. 15–23. (In Russian)
6. Diagnostika neustojchivyyh kognitivnykh sostoyanij aktivnykh agentov / P. P. D'yachuk [i dr.] // Nejroinformatika-2016: sbornik trudov XVIII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (Moskva, 25–29 aprelya 2016 g.): v 3 ch. Ch. 1. M.: NIYAU MIFI, 2016. S. 259–270. (In Russian)
7. Komp'yuternoe situacionnoe modelirovanie v upravlenii ekonomikoj / V. L. Makarov [i dr.] // Gosudarstvennyj audit. Pravo. Ekonomika. 2017. No. 3–4. S. 31–40. (In Russian)
8. R&D Subsidization Effect and Network Centralization: Evidence from an Agent-Based Micro-Policy Simulation / P. Angelini [et al.] // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20, iss. 4. Art. No. 4. 22 p. DOI: 10.18564/jasss.3494
9. Gladkov L. A., Gladkova N. V. Vozmozhnosti upravleniya znaniyami na osnove gibridnyh intellektual'nykh metodov // Otkrytoe obrazovanie. 2013. No. 6(101). C. 60–64. (In Russian)
10. The Peer Review Game: An Agent-Based Model of Scientists Facing Resource Constraints and Institutional Pressures / F. Bianchi [et al.]. 2018. Vol. 116, iss. 3. P. 1401–1420. DOI: 10.1007/s11192-018-2825-4
11. Ispol'zovanie mul'tiagentnykh tekhnologij dlya prognozirovaniya i identifikacii processa obucheniya / E. A. Nazojkin [i dr.] // Pishchevaya promyshlennost'. 2015. No. 6. S. 36–39. (In Russian)
12. Neves F., Campos P., Silva S. Innovation and Employment: An Agent-Based Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. Vol. 22, iss. 1. Art. No. 8. 32 p. DOI: 10.18564/jasss.3933

Received: 03.12.2024

Accepted: 19.12.2024