

УДК 007+004.8+51-77

# О СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ПЛАТФОРМАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ

**Е.В. Симонова**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева*  
Россия, 443086, Самара, Московское шоссе, 34

**Д.Е. Новичков**

*ООО «Научно-производственная компания «Мультиагентные технологии»*  
Россия, 443013, Самара, Московское шоссе, 4  
*Самарский государственный технический университет*  
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: simonova.elena.v@gmail.com

**Ключевые слова:** агент; мультиагентные системы; мультиагентные платформы; моделирование; искусственный интеллект; управление ресурсами.

**Аннотация:** В статье представлен обзор современных агентных платформ, которые применяются для решения сложных задач в различных областях. Рассмотрены наиболее известные платформы и их основные характеристики. Мультиагентные платформы разделены на платформы общего назначения и специализированные платформы. Выявлены проблемы и тенденции развития мультиагентных платформ. Показана перспективная ниша мультиагентных платформ для управления ресурсами, которые могут быть востребованы для импортозамещения.

## 1. Введение

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к развитию агентных систем, которые применяются в широком диапазоне предметных областей [1]:

- Социальное моделирование: сценарии взаимодействия людей и поведения сообществ; электронное обучение и кооперативное обучение;
- Моделирование мобильности: дорожные ситуации, системы планирования мобильности на основе исследований доступной среды с динамично развивающимся населением; карты пассажиропотоков;
- Физические объекты: роботы и беспилотные транспортные средства (автомобили, дроны), рассматриваемые как агенты;
- Окружающая среда и экосистемы: моделирование в экологии и биологии, климатические модели, взаимодействие человека и природы, эпидемиология;
- Организационное моделирование: планирование и составление графиков, корпоративное и организационное поведение, моделирование рабочих процессов и внедрение команд «человек-агент» в корпоративной среде;
- Экономические исследования: бизнес, маркетинг, экономика;
- Медицинские применения: персонализированное управление в здравоохранении;
- Промышленное моделирование: производство, в т. ч. с использованием холонов;
- Военные приложения: моделирование боевых действий и сценарии противовоздушной обороны и ряд других

Мультиагентная система (МАС) формируется как набор автономных агентов, расположенных в определенном окружении, реагирующих на динамические изменения своего окружения, взаимодействующих с другими агентами и достигающих собственные цели и / или глобальные цели системы. Универсальной характеристикой таких систем является эмерджентность – коллективная способность к восприятию и обработке внешней информации, выходящая за пределы возможностей индивидуальных агентов, что позволяет отнести процессы обработки и использования информации в МАС к проявлениям распределенного интеллекта коллективного агента [2].

Учитывая разнообразие областей применения мультиагентных систем, следует отметить, что различные задачи обычно связаны с разными индивидуальными требованиями к разрабатываемой МАС: включать определенные функции или придерживаться определенного архитектурного подхода.

Эти требования должны удовлетворяться с помощью агентных платформ. Наиболее распространенные из них рассматриваются в настоящем докладе, подготовленном на основе детального обзора статьи [1].

## 2. Современные платформы для разработки МАС

В [1] предлагается классификация агентных платформ по назначению.

**Универсальные платформы (общего назначения).** Не предназначены для какой-либо конкретной области применения, могут использоваться для реализации различных типов агентных систем. Некоторые платформы (JACK) включают в известные языки программирования (Java или Python) концепции, связанные с агентным подходом (агенты, сообщения, поведение). В других реализациях расширяют уже существующие платформы (JADEX, fJage). Платформы с открытым исходным кодом (таблица 1) с технической точки зрения различаются в зависимости от языка программирования или принятого архитектурного решения (дистрибутивные / автономные), а также различных специфичных концепций (парадигма BDI, стандарты спецификации FIPA).

**Таблица 1.** Платформы общего назначения с открытым исходным кодом.

№	Название	Версия	Язык	Описание
1	ActressMas	3.0.0	C#	Платформа, которую можно использовать для обучения работе с мультиагентными системами, включает реализации популярных мультиагентных протоколов и алгоритмов
2	Akka	2.8.2	Scala/Java	Платформа на основе модели акторов, управляемая сообщениями, с иерархической структурой для высококонкурентных распределенных приложений
3	Akka.NET	1.5.7	C#/F#	Порт платформы Akka на .NET, который расширяет Akka возможностями C# и F#
4	ASTRA	1.3.4	Java	Агентно-ориентированный язык программирования для распределенных и параллельных систем
5	BDI4Jade	2.0	Java	Архитектура BDI с циклом рассуждений, реализованная над платформой JADE
6	JaCaMo	1.1	AgentSpeak (Jason)	Платформа на базе BDI, объединяющая Jason, CArtAgO и Moise, используемая при программировании мультиагентных систем
7	JADE	4.6.0	Java	Агентная платформа, соответствующая требованиям FIPA, с графическими инструментами отладки, используемыми при реализации распределенных МАС

8	JADEX	4.0.267	Java	Платформа архитектуры сервисных компонентов (SCA) с архитектурой BDI, которая расширяет JADE рациональными агентами
9	Janus	3.0.12.0	Java/SARL	Платформа, реализованная в SARL, используемая для разработки, запуска, мониторинга и отображения приложений на основе агентов
10	JS-son	0.0.15	JavaScript	Агентная платформа JavaScript с легкой и расширяемой конструкцией, использующей подход BDI и циклы агентов рассуждений
11	SPADE	3.2.3	Python	Мультиагентная платформа на основе технологии обмена мгновенными сообщениями XMPP/Jabber с поддержкой метаданных FIPA
12	TuCSon	0.2.9	Java	Библиотека Java для координации агентов с использованием программируемого центра кортежей
13	XKlaim 2.4.0	2.4.0	Java	Координационный язык для моделирования и программирования распределенных систем

**Платформы общего назначения с открытым исходным кодом для моделирования** (таблица 2). Оснащены дополнительными инструментами визуализации. Реализуют параллельные вычисления с использованием графических процессоров или кластеров для повышения эффективности работы.

**Таблица 2.** Платформы общего назначения с открытым исходным кодом для моделирования.

№	Название	Версия	Язык	Описание
1	Agents Assembly	0.0.56	AASM	Специализированный для предметной области язык, предназначенный для масштабируемого контейнерного моделирования
2	AgentPy	0.1.5	Python	Платформа для моделирования, основанного на агентах, предназначенная для анализа данных
3	Agents.jl	5.13.0	Julia	Платформа, основанная на грид-средах для 1D, 2D и 3D распределенного моделирования
4	AgentScript	0.10.19	JavaScript	Платформа, основанная на семантике NetLogo с MVC-архитектурой
5	DEVS-Suite Simulator	7.0	Java	Платформа на основе симулятора Parallel DEVS для моделирования с помощью клеточных автоматов
6	EcoLab	5.77	C++	Агентная платформа моделирования с расширенной структурой данных и алгоритмами
7	fjåge	1.10.5	Java, Groovy	Платформа на базе JADE для моделирования дискретных событий в реальном времени
8	FLAME GPU 2	2.0.0	CUDA/C++ Python	Расширенная версия FLAME на базе графического процессора с поддержкой интерфейсов CUDA (C++) и Python
9	GAMA	1.8.1	Java/GAML	Мультиагентная платформа для пространственного моделирования
10	InsightMaker	2.0.0	Modeling with Web UI	Среда моделирования, поддерживающая агентное моделирование в браузере
11	JAS-Mine	4.1.0	Java	Платформа для дискретно-событийного моделирования с использованием агентных и микросимуляционных моделей
12	JSimpleSim	3.0.0	Java	Среда моделирования на основе Java с подходом дискретных событий (DES)
13	MASON	21	Java	Ядро дискретно-событийного агентного моделирования с 2D или 3D визуализацией

14	MASS	1.3.1	C++, Java	Платформа для параллельного мультиагентного и пространственного моделирования
15	Mesa	1.2.0	Python	Платформа агентного моделирования Python, альтернатива NetLogo или Repast
16	MOOSE	2022-06-10	C++	Платформа параллельного мультифизического объектно-ориентированного моделирования
17	NetLogo	6.3.0	Scala, Java	Среда моделирования для естественнонаучного и социального агентного моделирования
18	Repast Suite	2.3.1 2.10.0 1.1.1	C++ Java Python	Дистрибутивная платформа агентного моделирования для вычислительных кластеров, рабочих станций и суперкомпьютеров
19	SIMILAR	1.0.0	Java	Многоуровневая агентная метамодель с моделью реакции на влияние
20	SpaDES	2.0.9	R	Пакет для событийно-ориентированных моделей с пространственно-явными моделями

**Коммерческие платформы** (таблица 3). Включают как платформы общего назначения, так и платформы, ориентированные на моделирование, для которых требуется покупка коммерческой лицензии. Некоторые платформы предлагают специальные скидки для исследовательских и университетских целей.

**Таблица 3.** Коммерческие платформы общего назначения и платформы для моделирования.

№	Название	Версия	Язык	Описание
1	AnyLogic	8.8.2	Java	Универсальное программное обеспечение для коммерческого моделирования с многомодетным моделированием
2	ExtendSim	10.0.9	C++	Программные инструменты, использующие методологию агентного моделирования для целей бизнеса
3	FlexSim	23.1.0	C++	Дискретно-событийное 3D-моделирование и программное обеспечение для анализа
4	FlexSim Hc	23.1.0	C++	Среда 3D-моделирования для анализа работы медицинского учреждения
5	GoldSim	14.0.R2	C++	Платформа для динамического моделирования и визуализации сложных систем в науке и бизнесе
6	JACK	5.6 (jack56d)	Java	Среда для мультиагентных систем коммерческого уровня, использующая архитектуру BDI
7	Simio	15.240	GUI-based programming	Агентное программное обеспечение, поддерживающее непрерывные процессы и системы дискретных событий, используемое для проведения анализа рисков в режиме реального времени
8	Simudyne	2.5	Java	Инструментарий агентного моделирования для моделирования универсальных концепций, объединяющих макро- и микромоделирование
9	Simul8	2023	GUI-based programming	Визуальная платформа, основанная на многомодетных имитационных моделях, поддерживающих агентные, дискретно-событийные и непрерывные методы как по отдельности, так и в комбинациях

**Платформы специального назначения.** Специализированные агентные платформы предназначены для моделирования сложных явлений в здравоохранении, транспорте, экономике и экологии, в которых сильно влияние поведения и взаимодействия людей. Индивидуумы представляются агентами, демонстрирующими автономное поведение, что позволяет более реалистично и детально представить динамику системы. Специализированные платформы предоставляют инструменты, связанные со средой определенного типа.

**Платформы для моделирования социальных и когнитивных явлений.** Используются для моделирования поведения людей, поэтому содержат элементы когнитивной теории и подхода BDI, а также функции для моделирования индивидуального или коллективного поведения в сообществах (ACT-R, Comas, JASON).

**Платформы для обучения агентов.** Предназначены для исследований в области искусственного интеллекта (ИИ), для моделирования обучения агентов, управляемых ИИ. Эти агентные платформы применяются для разработки игр и в робототехнике (Bras).

**Платформы для моделирования окружающей среды и экосистем.** Используются для моделирования экосистем, биологического моделирования, моделирования использования природных ресурсов. Агентные платформы из этой категории ориентированы на крупномасштабное пространственное моделирование (BioDynaMo).

**Платформы для моделирования транспортных систем.** Агенты используются для представления отдельных транспортных средств или пешеходов, характеризующихся собственными процессами принятия решений. Специализированные агентные платформы предоставляют базовые программные модели инфраструктуры и инструменты визуализации (AGADE Traffic, MATSim, Carla).

### 3. Заключение

На основе обзора современных MAC платформ можно сделать следующие выводы:

- 1) Хотя основные области применения агентных систем относятся к информатике и связаны с ИИ, агенты все чаще используются в науках о жизни, экологических и социальных науках, а также в специализированных приложениях, связанных с конкретными отраслями, например, в энергетике (lemlab).
- 2) Одной из проблем является отсутствие платформ промышленного уровня (кроме JADE и JACK), поддерживаемых компаниями, имеющими доступ к финансовым и технологическим ресурсам для развития платформ.
- 3) Выявлен недостаток интеграции агентных платформ в облачные сервисы, что связано со сложностью реализации соответствующих технологий.
- 4) Несмотря на то, что некоторые платформы поддерживают масштабируемые вычисления, по-прежнему сохраняется потребность в легкодоступных и масштабируемых платформах, не требующих специализированного оборудования (например, кластеров) или передовых технических знаний.
- 5) Известны лишь несколько платформ (например, JADE), которые придерживаются стандартов, таких как протоколы FIPA, и обеспечивают взаимодействие между агентами, находящимися в разных средах.

Один из выводов может также состоять в том, что в настоящее время отсутствуют мультиагентные платформы, которые давали бы возможность создания промышленных приложений для решения задач управления ресурсами в реальном времени в машиностроении, транспорте и других применениях.

Решение перечисленных выше проблем может дать новые перспективные направления развития агентных платформ, которые помогут упростить создание и внедрение промышленных мультиагентных систем и расширить спектр их применений.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования по соглашению 075-03-2021-651/4.

## Список литературы

1. Wrona Z., Buchwald W., Ganzha M., et al. Overview of Software Agent Platforms Available in 2023 // Information. 2023. Vol. 14. P. 348.
2. Словохотов Ю.Л., Новиков Д.А. Распределенный интеллект мультиагентных систем. Ч. 1. Основные характеристики и простейшие формы // Проблемы управления. 2023. № 5. С. 3-22.