

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.