

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ MAS

*В статье представлен сравнительный анализ фреймворков для разработки многоагентных систем с акцентом на их возможности моделирования, включая работу с расширенными сетями Петри. Даны рекомендации по выбору фреймворков в зависимости от специфики задач.*

### ВВЕДЕНИЕ

Многоагентные системы (MAS) представляют собой набор автономных программных агентов, взаимодействующих для решения сложных задач в таких областях, как искусственный интеллект, IoT и управление производственными процессами. Выбор подходящего фреймворка для разработки MAS определяет эффективность, масштабируемость и гибкость системы[1].

### I. КРАТКИЙ ОБЗОР ФРЕЙМВОРКОВ

Для анализа выбраны пять фреймворков: JACAMO, JADE, SPADE, AnyLogic, LangGraph.

JACAMO сочетает три технологии: Jason для программирования BDI-агентов (Belief-Desire-Intention), CArtAgO для моделирования среды и Moise для организации взаимодействий. Фреймворк востребован в робототехнике и социальных симуляциях, где требуется координация множества агентов. Но его сложная архитектура требует глубокого изучения компонент.

JADE, реализованный на Java, остается промышленным стандартом благодаря поддержке FIPA-стандартов и распределенной архитектуре. Он подходит для масштабируемых систем, таких как управление логистическими цепочками или телекоммуникационными сетями, но требует знания многопоточного программирования.

SPADE, написанный на Python, выделяется простотой интеграции с веб-сервисами через протокол XMPP. Его асинхронная модель идеальна для быстрого прототипирования решений в IoT и умных городах, где важна скорость разработки.

AnyLogic поддерживает визуальное моделирование сетей Петри и гибридные симуляции, LangGraph фокусируется на графовых моделях для динамических процессов с интеграцией ИИ.

### II. КЛЮЧЕВЫЕ КРИТЕРИИ СРАВНЕНИЯ ФРЕЙМВОРКОВ

При оценке учитывались: язык программирования, соответствие стандартам (FIPA, BDI),

возможности моделирования, интеграция с искусственным интеллектом, простота освоения и активность сообщества. Например, JADE, будучи FIPA-совместимым, обеспечивает надежную совместимость с другими системами.

### III. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

JADE, основанный на Java, предлагает высокую производительность и кроссплатформенность, но менее удобен для исследовательских задач. JACAMO, помимо гибкости BDI-модели, требует изучения специфического синтаксиса AgentSpeak. SPADE, благодаря Python и поддержкой LLM-плагинов, позволяет быстро создавать прототипы, но уступает в поддержке сложных организационных структур.

Для моделирования процессов на сетях Петри наиболее подходит AnyLogic, в нём визуальный редактор и гибридное моделирование (агенты+дискретные события). Примеры включают оптимизацию производственных линий и цепочек поставок. LangGraph служит альтернативой задач, где графы эмулируют структуру сетей Петри, а JADE в сочетании с библиотекой PetriNetAPI подходит для промышленных систем с требованиями формальной верификации.

### IV. ВЫВОДЫ

JACAMO оптимален для проектов с высокой координацией агентов, таких как робототехника. JADE доминирует в промышленных распределенных системах, а SPADE незаменим для быстрого прототипирования в IoT. Для задач, связанных с сетями Петри, ключевыми инструментами становятся AnyLogic и LangGraph, тогда как интеграция MAS с ИИ (например, через Llama Agents) расширяет возможности автономного планирования[2].

1. Multi-Agent Systems / J. Vicente, B. Vicente // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9, № 7. – P. 1–7.
2. Comparison of Multi-Agent Platform Usability for Industrial-Grade Applications / Z. Wrona, M. Ganzha, M. Paprzycki [et al.] // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14, № 22. – P. 1-28.

*Агель Артём Александрович, студент ФИТиУ БГУИР, agel824@gmail.com.*

*Пашковец Матвей Вячеславович, студент ФИТиУ БГУИР, matvey.pashkovez01@gmail.com.*

*Научный руководитель: Хаджинова Наталья Владимировна, старший преподаватель кафедры ИТАС БГУИР, kha.jynova@bsuir.by.*