

Секция «1.6 Бизнес-информатика 5.0: от цифровой оптимизации к интеллектуальному администрированию»

Оркестрация бизнес-процессов предприятия на основе многоагентных систем с большими языковыми моделями: концепция процессной согласованности

Научный руководитель – Болсуновская Марина Владимировна

Исаев Шарип Магомедович

Студент (магистр)

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт информационных технологий и управления, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: isaev.list@list.ru

Цифровая трансформация предприятий обуславливает острую потребность в интеллектуальных инструментах управления бизнес-процессами [1], способных адаптироваться к условиям высокой неопределённости. Классические многоагентные системы (МАС) с жёсткими правилами и функциями полезности обеспечивают формальную верифицируемость, однако не способны к семантическому пониманию неструктурированных данных и адаптации к контексту, не предусмотренному при проектировании [2]. МАС на основе больших языковых моделей (LLM-МАС) устраняют данный недостаток: они генерируют цепочки рассуждений, интерпретируют естественно-языковые описания задач и адаптируются к нестандартным ситуациям без явной формализации. Вместе с тем существующие инженерные фреймворки — AutoGen, CrewAI, LangGraph — разработаны без формальной интеграции с управленческими онтологиями и нотацией BPMN 2.0, что исключает автоматическую верификацию поведения агентов относительно инвариантов бизнес-процессов [3]. Устранение данного разрыва составляет проблему настоящего исследования.

Цель работы — разработка архитектурной модели LLM-МАС, формально совместимой с BPMN 2.0, и обоснование критерия оценки качества поведения агентов в задачах оркестрации.

Предлагаемая трёхуровневая архитектура (рис. 1) включает: 1) уровень восприятия — агенты-сенсоры, извлекающие события из систем класса ERP/CRM посредством event-стриминга; 2) уровень рассуждения — оркестрирующий LLM-агент, формирующий план выполнения в виде ориентированного ациклического графа задач (DAG) с опорой на RAG-извлечение из хранилища BPMN-моделей; 3) уровень исполнения — специализированные агенты-исполнители с ограниченными полномочиями (sandboxed tool-use), обеспечивающие полную аудируемость действий системы.

Формальная совместимость с BPMN 2.0 достигается через систематическое отображение конструкций DAG на элементы нотации: узлы задач — на Activities, рёбра — на Sequence Flows, узлы ветвления — на Exclusive Gateway, параллельные ветви — на Parallel Gateway.

Ключевым теоретическим вкладом является введение понятия «процессной согласованности агента» (Process Alignment, PA) — метрики, формализующей степень соответствия генерируемых планов инвариантам целевого бизнес-процесса. В отличие от синтаксической корректности (в задачах прямой генерации BPMN-XML LLM достигают её лишь в 22–28% случаев без промежуточных представлений [3, 4]), PA ориентирована на поведенческую семантику: соответствие трасс агента допустимым трассам эталонной BPMN-модели.

Метрика PA определяется следующим образом:

$$PA(T, P) = \frac{|\{inv \in Inv(P) : T \models inv\}|}{|Inv(P)|}$$

где T — траектория агента, P — BPMN-модель процесса, $Inv(P)$ — множество её инвариантов, $T \models inv$ означает выполнение инварианта inv на траектории T .

Для практической вычислимости PA операционализируется через гибридную метрику, объединяющую три компонента с весами $\alpha + \beta + \gamma = 1$: (1) нормализованное редакционное расстояние между трассами (структурный компонент, вес α); (2) семантическую близость наименований активностей на основе Sentence-BERT (семантический компонент, вес β); (3) долю выполненных временных ограничений (темпоральный компонент, вес γ). Весовые коэффициенты оптимизируются по корреляции с экспертными оценками в рамках кросс-валидации на размеченном наборе процессных логов.

Практическая применимость архитектуры рассматривается на двух пилотных сценариях [5]. Сценарий 1: обработка клиентских обращений — высокая частота событий, чёткие SLA; метрика PA позволяет детектировать отклонения от регламентированного порядка эскалации обращений. Сценарий 2: управление закупками — строгая регламентация, многоуровневое согласование; PA фиксирует нарушения обязательных шагов авторизации и верификации поставщиков.

Научная новизна работы состоит в: (a) формализации сопряжения LLM-MAC с BPMN 2.0 через DAG-отображение на уровне конструкций нотации; (b) введении метрики PA как поведенческого критерия качества агентной оркестрации, операционализованного через верифицируемую гибридную формулу.

Дальнейшее исследование предполагает имитационное моделирование на синтетических процессных логах и экспериментальную валидацию критерия PA на наборе из не менее 25 разнотипных BPMN-процессов в соответствии с принципами теории управления организационными системами [1].

Источники и литература

- 1) Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ. 2005.
- 2) Cimino A., Filice A.C., Longo F. et al. Evolution of BPMN and Simulation Integration: Trends, Challenges, and Future Directions // *Procedia Computer Science*. 2025. Vol. 253. P. 3235–3246. DOI: 10.1016/j.procs.2025.02.048
- 3) Kourani H., Berti A., Schuster D., van der Aalst W.M.P. Evaluating Large Language Models on Business Process Modeling: Framework, Benchmark, and Self-Improvement Analysis // *Software and Systems Modeling*. 2025. DOI: 10.1007/s10270-025-01318-w
- 4) Licardo J.T., Dricevski N., Lukacevik T. BPMN Assistant: An LLM-Based Approach to Business Process Modeling // *arXiv:2509.24592*. 2025.
- 5) Wang L., Ma C., Feng X. et al. A survey on large language model based autonomous agents // *Frontiers of Computer Science*. 2024. Vol. 18. Article 186345. DOI: 10.1007/s11704-024-40231-1

Иллюстрации

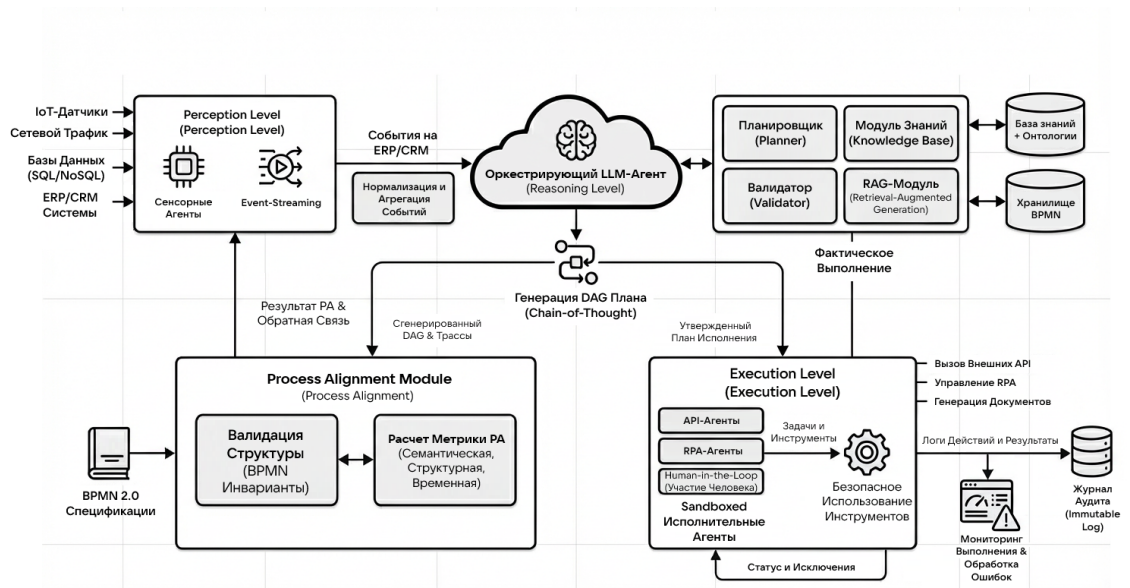


Рис. : Трёхуровневая архитектура LLM-MAC для оркестрации бизнес-процессов с метрикой процессной согласованности (авторская разработка)