

АГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Бурий А.С.¹, Цаплина О.С.²

Ключевые слова: информационные технологии, системы поддержки принятия решений, большие языковые модели, мультиагентные технологии, агентное моделирование.

Аннотация

Цель работы: развитие концептуальных основ применения моделей адаптивных агентов для задач поддержки принятия решений на базе интеллектуальных многоагентных систем в формате виртуального помощника.

Методы исследования: системный и структурный анализ, концептуально-логическое моделирование, формально-логическая разработка и обоснование структур построения гибридных систем поддержки принятия решений на основе многоагентного подхода.

Результаты: получена формально-логическая трактовка концептуальной структуры построения междисциплинарной имитационной модели гибридной системы поддержки принятия решений на основе многоагентного представления вычислительного процесса. Дополнительные преимущества рассматриваемого подхода заключаются в возможности применения адаптивных агентов, реализованных на основе больших языковых моделей в развитии направления генеративного искусственного интеллекта, обеспечивающего повышение обоснованности принятия решений в системах информационного управления.

DOI: 10.24412/1994-1404-2025-1-101-109

Введение

Применение моделей искусственного интеллекта (ИИ) в различных системах мониторинга, анализа, оптимизации, оценки и прогнозирования комплексных процессов постоянно растет. Однако решение сложных задач в контурах управления в социально-технических предметных областях (ПрО) часто требует глубоких знаний технологических и информационно-коммуникационных процессов. Эти знания необходимы для получения данных и основанных на моделировании идей, которые обеспечивают обоснованность принятия решений.

Современные системы поддержки принятия решений (СППР) требуют постоянного совершенствования методов интеграции человеческого мышления с новейшими разработками в области методологии информационно-логического представления процессов управления, а также их модельно-алгоритмической реализации в вычислительных и эргатических структурах [16]. Комплексы моделирования и информационно-вычислительной техники [1], обеспечивая решение оптимизационных задач и совершенствование процессов интеллектуальной обработки информации, всё чаще работают в условиях многомерности данных,

роста их объема и адаптивности к процессам [6, 12], необходимости своевременного принятия эффективного для конкретной ситуации решения [2], в условиях ограничений [17] (временных, технических, технологических и др.) на принятие решений.

Инструменты ИИ открывают новую страницу современной эпохи цифровизации, включая:

- расширенный анализ больших данных в реальном масштабе времени [6, 19];
- междисциплинарный подход при решении многих задач управления и принятия решений [8, 9], включая этическую сторону (предвзятость, справедливость, конфиденциальность, прозрачность и др. факторы), что связывают в конечном счете с морализацией технологий [21];
- обеспечение доступными, быстро адаптируемыми, оперативными, целенаправленными, многовариантными методами совместной командной работы [20] на принципах коллективного интеллекта [8];
- имитационные модели на основе ИИ и интеллектуальных агентов [25], включая особенности ПрО проектирования (бортовые системы воздушных

¹ **Бурий Алексей Сергеевич**, доктор технических наук, заместитель начальника отдела Российского института стандартизации, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru

² **Цаплина Ольга Сергеевна**, аспирант Российского института стандартизации, г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: tsaplinaolga@inbox.ru

судов [3], концептуальное представление цифровых двойников [7], системы управления на основе многоагентных технологий [17]);

- СППР на основе интеллектуальных методов и алгоритмов ассистирования лицам, принимающим решения, в задачах визуализации³, экспертного оценивания [14], в составе рекомендательных систем [10, 14], систем проектирования [18], в системах семантического поиска информации на базе онтологии знаний [4].

Перспективным направлением развития интеллектуальных СППР выступает генеративный ИИ [11], реализованный на базе больших языковых моделей (LLM — Large Language Models) [5, 13], которые находят приложения в производственной [13] и научной сфере [5], в задачах поиска и раннего обнаружения киберугроз [15] в системах управления обучением [23]. Однако предполагаемые перспективы использования методов генеративного ИИ, по нашему мнению, еще полностью не раскрыты, и развитие инновационных приложений, включая системы подготовки и принятия решений, является актуальной научной проблемой.

Целью настоящего исследования является развитие концептуальных основ применения моделей адаптивных агентов в системах поддержки принятия решений на базе интеллектуальных многоагентных систем в формате виртуального помощника.

В этом контексте мы исследуем потенциал использования предварительно обученных больших языковых моделей для создания и представления знаний, поддержки операционных исследований.

Исследование предпосылок моделирования

Агентно-ориентированный подход уже нашел применение в таких областях, как распределенное решение сложных задач, реинжиниринг предприятий, телекоммуникации, электронный бизнес, проектирование и т. п. Важной областью применения мультиагентных технологий является моделирование. В этой области основоположник ИИ в нашей стране Д.А. Поспелов⁴ выделяет два класса задач:

1) задачи распределенного управления и задачи планирования достижения целей, где усилия разных агентов направлены на решение общей проблемы и необходимое обеспечение эффективного способа кооперации их деятельности;

2) задачи, где агенты самостоятельно решают свои локальные задачи, используя общие, как правило, ограниченные ресурсы.

Термин «агент» происходит от латинского глагола *agere*, что означает «действовать», «двигать», «править»,

«управлять». Понятие *агент* соответствует аппаратно или программно реализованной сущности, которая способна действовать в интересах достижения целей. Обобщая, под агентами будем понимать метаобъекты или некоторые интеллектуальные сущности, способные манипулировать другими информационными объектами, формировать собственные программы действий в рамках установленных целей, автономии и уровня доступности данных [9].

Введем понятия «событие» и «действие» как ключевые в моделях агентов. Под простейшим *событием* (e^t) понимается момент времени, в который произошло изменение значения какого-либо атрибута модели [2]:

$$e^t = \langle t, atr, z_1^{atr}, z_2^{atr} \rangle; z_1^{atr} \neq z_2^{atr}, \quad (1)$$

где t — момент времени; atr — атрибут; z_1^{atr} — значение атрибута до события e^t ; z_2^{atr} — значение атрибута после события.

Под *действием* (Act) будем понимать изменение состояний объекта или модели, происходящее за конечный промежуток времени. Действие характеризуется событием и функцией действия, приводящей к изменению значения атрибута объектов:

$$Act = \langle e, F^{Act}, \{atr\} \rangle, \quad (2)$$

где e — событие; F^{Act} — функция действия; $\{atr\}$ — множество изменяемых атрибутов.

В формате агентного представления взаимодействия агентов формализуем в виде следующего кортежа [9]:

$$Int = \langle \mathcal{A}, T, Pr \rangle, \quad (3)$$

где Int — взаимодействие⁵ агентов из множества агентов $\mathcal{A}$; T — множество типов агентов; Pr — множество программ (стандартов, сценариев) взаимодействия между агентами.

Агенты могут выполнять следующие (типовые, а также уникальные) действия [2]:

- анализировать окружение (текущую ситуацию);
- диагностировать ситуацию, обращаться к базе данных и знаний; в случае определения некоторой исключительной ситуации агент обеспечивает поиск решения (сценарий действий) в базе знаний или запрашивает дополнительные ресурсы;
- вырабатывать (принимать) решение;
- определять (переопределять) цели;
- контролировать достижение целей;
- делегировать цели другим объектам процесса преобразования ресурсов, а также другим агентам;
- обмениваться сообщениями.

На рис. 1 представлены категории агентов, основное предназначение которых может быть описано, основываясь на (1), (2), отображением вида:

$$\mathcal{A}: \{e\} \xrightarrow{\varphi} \{Act\}, \quad (4)$$

³ Интеллектуальные системы поддержки принятия решений — краткий обзор. URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/359188> (дата обращения: 25.01.2025).

⁴ Поспелов Д.А. Многоагентные системы — настоящее и будущее // Информационные технологии и вычислительные системы. 1998. № 1. С. 14—21.

⁵ Сокр. от англ. *interaction* — взаимодействие.

связывающего пространство состояний $\{e\}$ с областью принятых действий — множество $\{Act\}$, причем суть отображения φ и определяет категорию агента.

Для реактивного агента (РА) (рис. 1а) это обычная система правил действий вида (2), для совещательных агентов (рис. 1б) решаемые задачи усложняются.

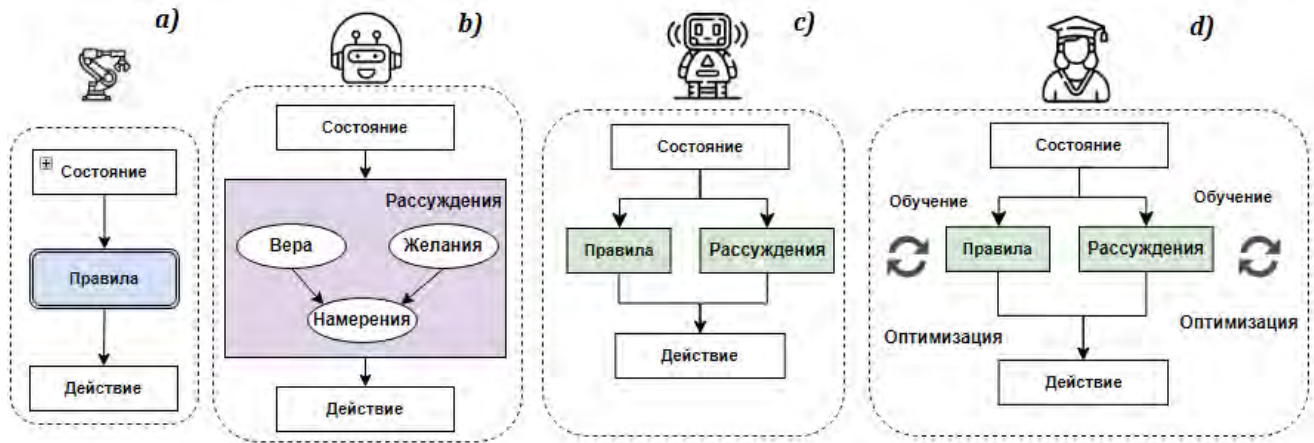


Рис. 1. Основные категории агентов:

а) — реактивный агент, б) — совещательный агент, в) — гибридный агент, г) — адаптивный агент

Совещательный агент (СА) обладает способностью описывать окружающую среду и логически рассуждать. Его поведение является результатом таких этапов переработки данных, как оценивание, моделирование и планирование [24]. Структура СА согласуется со структурой BDI-агентов: Убеждения (*Beliefs*) — Желания (*Desires*) — Намерения (*Intentions*), предложенной в работе A.S. Rao и M.P. Georgeff⁶. Иногда "*Beliefs*" переводится и как «представление», «убеждение», т. е. это восприятие агентом окружающей среды и своего собственного внутреннего состояния. Желание обозначает конкретную цель агента, а намерение символизирует пары «поведение — план», которым агент должен следовать и принять.

Выбор окончательных действий агентов осуществляется в соответствии с процедурой⁷ по аналогии с выражением (4):

$$select: Bel \times 2^G \xrightarrow{\varphi_{BDI}} \{Act\}, \quad (5)$$

где сформированные на основе представлений и намерений оперативные цели вида

$$(2^G): Bel \times Inten \rightarrow 2^G,$$

определяющие множество возможных действий агентов данной категории, где G — идентифицирует целевую принадлежность (от англ. *Goals*).

Гибридные агенты (ГА) (рис. 1в) применимы в многофункциональных подсистемах с вариативностью конфигураций (в том числе и в иерархических структу-

рах) [24]. ГА может справляться с реактивным поведением и поведением при долгосрочном планировании по отдельности, но плохо справляется со комплексными задачами и не может своевременно обновлять (менять) механизм принятия решений.

Адаптивный агент (АА) (рис. 1г) — доминирующая структура, используемая в настоящее время для моделирования виртуального общества в вычислительных экспериментах. Внутренний поток управления информацией связывает четыре модуля (восприятие, обучение, рассуждение и оптимизация) в единое целое. АА может собирать информацию из окружающей среды для выработки соответствующих планов, а затем корректировать свое поведение. После выполнения ряда действий АА может оптимизировать механизм принятия решений на основе результатов обратной связи.

ГА аккумулирует задачи вида (4) и (5). Для АА способен проводить некоторую диагностику ситуации: оценивать свои возможности (ресурсы), предлагать и осуществлять сценарии действий для достижения группы целей (в ходе, например, выполняемой стратегии).

Для многошаговых задач поиска оптимального решения с учетом моделируемых информационных объектов (ИО) — источников информации, преобразователей данных, процедур обработки и др. — на каждом шаге оценивают степень близости полученного результата к цели в виде [2]:

$$\Delta_{min} = \min(\Delta(IO_j^{i+1,i}) | IO_j^{i+1,i} \in MS), \quad (6)$$

где IO — модели ИО, j — номер модели ИО; i и $i+1$ — соседние шаги моделирования; MS — множество моделей ИО, используемых в моделирующем комплексе.

Таким образом, перебрав все решения, выбираем единственное. Решению должен соответствовать на-

⁶ Rao A.S., Georgeff M.P. BDI for agents: from theory to practice // In: Icmas. 1995. Vol. 95, pp. 312—319.

⁷ Бугайченко Д.Ю., Соловьев И.П. Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы её реализации // Системное программирование. 2005. Т. 1. № 1. С. 36—67.

бор действий как самого агента, так и элементов (процессов) информационного взаимодействия. Степень близости вида (б) может служить оценкой качества принимаемого решения.

Адаптивные агенты на основе искусственного интеллекта

В ходе анализа возможностей систем моделирования на основе инструментов ИИ ключевыми вопросами выступают: *автоматизация*, т. е. сокращение человеческого взаимодействия в операциях [25]; *когнитивность*, т. е. способность к обучению, рассуждению, извлечению знания из данных, имитация мыслительной деятельности человека; *интеллектуальные вычисления*, т. е. методы, направленные на усиление и поддержку естественного интеллекта (поддержку принятия решений экспертами)⁸.

Использование современных интеллектуальных технологий позволяет принимать более разумные и быстрые решения относительно бизнес-процессов, в итоге увеличивая производительность и эффективность всей операции, где ИИ выступает как ведущая технология в заданной ПрО.

Очевидно, что ИИ является чрезвычайно востребованной технологией для делового мира. Выделим следующие свойства ИИ, которые привлекают к нему как исследователей, так и потенциальных пользователей [22] (см. рис. 2):

- обучение: система ИИ обучается на данных для прогнозирования, анализа и принятия решений;
- восприятие: способность ИИ понимать и интерпретировать мир, имитируя человеческие чувства; эта способность включает в себя компьютерное зрение, обработку голоса и обработку естественного языка;
- предсказание: способность ИИ прогнозировать будущие результаты на основе прошлых данных и закономерностей, что выходит за рамки просто числовых или категориальных данных и включает в себя процедуры анализа разнотипных данных (текст, видео, аудио и др.) и регрессию, классификацию, прогнозирование временных рядов и обнаружение аномалий;

- взаимодействие: ИИ взаимодействует с окружающей средой и принимает решения, в том числе взаимодействуя с людьми;
- адаптивность: способность ИИ адаптироваться и совершенствоваться с течением времени на основе новых данных и меняющихся условий;
- рассуждение: способность ИИ рассуждать, планировать и принимать решения, которые имеют решающее значение для сложных задач. Эта способность включает в себя символическое мышление, планирование и принятие решений;
- креативность: способность генеративного ИИ влиять на человеческое творчество, предоставляя инструменты, расширяющие творческие возможности и оптимизирующие связанные рабочие процессы⁹.

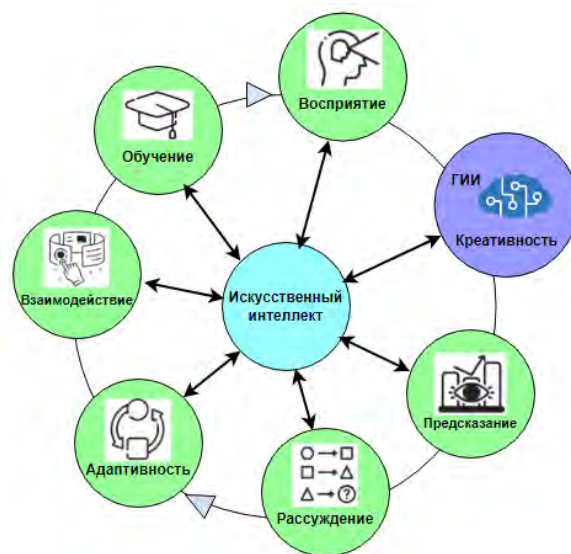


Рис. 2. Основные возможности систем искусственного интеллекта

Сравнение АА, реализующих интеллектуальные возможности LLM-моделей и обычных систем моделирования на основе агентов (ABM) представлено в таблице [24].

Таблица

Сравнение ABM и адаптивных агентов на основе LLM

Функции	ABM	АА на основе LLM
Гетерогенность	Большие данные расширяют функционал ABM, позволяя идентифицировать характеристики личности, реализовывать поведенческие модели и т. д., но это существенно усложняет модели агентов.	LLM позволяют разработать идеальные ролевые подсказки в соответствии с потребностями сценария и предоставить эти подсказки агенту на основе LLM, существенно расширяя возможности имитационных комплексов.

⁸ Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. С. 135—140.

⁹ Как генеративный ИИ меняет творческую работу. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/> (дата обращения 29.01.2025).

Функции	АВМ	АА на основе LLM
Ограниченная рациональность	Встроенные психологические модели позволяют ограниченно реализовывать рациональность людей. Однако обобщенное моделирование весьма ограничено.	Избыточный для РА объем знаний грозит снизить доверие к модели. АА, управляемый подсказками, может выражать знания, которые не соответствуют объекту моделирования, вызывая галлюцинации в модели. Обычным решением является сбор актуальных событий {e}, связанных с персонажем, для формирования набора данных и точной настройки LLM, чтобы агент на основе LLM мог предсказывать способности персонажа.
Автономное принятие решений	Алгоритмы машинного обучения позволяют реализовывать агентами механизмы принятия решений на основе существующих данных, однако объем решаемых задач существенно ограничен.	Функционал СА, расширенный LLM, обеспечивает ИИ, подобным человеческому. Для агента, работающего на базе LLM, рассуждения являются ключом к достижению автономного принятия решений. Способность рассуждать является основой интеллекта и важна для принятия решений и критического анализа.
Обучение	Алгоритмы машинного обучения способны оптимизировать механизмы принятия решений на основе анализируемых данных во время работы агентов, но для этого обычно требуются четкие целевые функции и механизмы ее реализации.	LLM предоставляет агентам возможность автономного обучения во взаимодействии с оптимизацией механизмов принятия решений для адаптации к различным задачам и условиям. АА на базе LLM может принимать решения, обучаясь на аналогиях, а также реализуя непрерывное обучение.
Взаимодействие	Социальные сети помогают агентам определять взаимосвязь между различными объектами, но конкретные взаимодействия могут быть реализованы только путем передачи векторов состояний.	АА на базе LLM обладает способностью понимать язык и использовать естественный язык для взаимодействия и выполнения целевых задач. АА на базе LLM может использовать внешние инструменты (поиск, математические вычисления, перевод и т. д.) для значительного расширения своих функций.

Интеграция в многоагентных структурах

Представим концепцию многоагентных коллаборативных структур¹⁰ на основе LLM как развитие адаптивных агентов.

В обобщенном виде для многоагентной системы совместной работы раскроем множество агентов вида (4):

$$\mathcal{A} = \{a_i\}_{i=1}^n,$$

где n — количество агентов, которое предварительно определяется или динамически корректируется в зависимости от текущих требований системы; типы (T) агентов также могут учитываться, как $\sum_{k=1}^{|T|} n_k = n$, где $|T|$ — мощность множества типов агентов.

Будем описывать работу агента следующим кортежем [26]:

$$a_i = \langle m_i, o_i, \varepsilon_i, x_i, y_i \rangle, \quad (7)$$

где $m_i = \{St_i, zd_i, mem_i\}$ — модель i -го агента, состоящая из описания его структуры — St_i (для АА на LLM структуры представляют собой варианты язы-

ковых моделей), решаемых задач (zd_i) и реализованной в нем ситуативной памяти (mem_i), обеспечивающей необходимую коммутацию в зависимости от сложившейся ситуации; o_i — внутрисистемная цель i -го агента, например, типовые «ответ-вопрос» цифровых помощников [11], или минимизация перекрестной энтропии между сгенерированным ответом и истинным его значением (из базы данных) [26]; ε_i — среда или контекст, охватывающая состояние или условия (1), (2), в которых действует агент; x_i — входные данные агента, а atc_i — действие или выход, определяемый функцией

$$atc_i = \bar{m}(x_i, o_i, \varepsilon_i); atc_i \in \{Act\}. \quad (8)$$

Междисциплинарное пространство как совокупность в общем случае нескольких Про характеризуется:

- множеством целей $O = \{o_i\}$, формируемое за счет целевых задач отдельных агентов a_i вида (7), обеспечивая соответствие общей цели системы;
- общей информационной средой взаимодействия $E = \{\varepsilon_i\}$, из которой агенты получают контекстуальные данные; для интеллектуальных многоагентных систем среда может принимать различные формы, такие как базы данных, общие интерфейсы обмена сообщениями, среда принятия решений и др.;

¹⁰ Коллаборативные структуры — это формы совместной созидательной деятельности проектного характера в информационной среде, на междисциплинарной основе и особых нормах взаимодействия.

- множеством $\{Int\}$ интерфейсов (информационных каналов) вида (3) совместной работы, которые облегчают взаимодействие между агентами, позволяя обмениваться информацией на основе поставленных целей, окружающей среды и исходных данных, в качестве которых могут выступать результаты действия моделей ИО коллаборативных структур.

Агенты на основе LLM могут адаптивно взаимодействовать, способны реагировать на изменение требований задач, проходят предварительное обучение на различных наборах данных, чтобы обеспечить надежную базу знаний.

В ходе предварительного обучения каждый отдельный агент приобретает необходимые навыки и умения, гарантируя, что он сможет внести значимый вклад в среду совместной работы. Более того, каждый агент также может быть оснащен внешними инструментами, уникальными для его собственного типа.

Таким образом, междисциплинарная интегрированная модель может быть представлена кортежем следующего вида:

$$\overline{MS}: \langle \mathcal{A}; \{Int\}; O; E \rangle, \quad (9)$$

объединяющим множество разнотипных агентов, множество каналов взаимодействия, целевое множество (группы задействованных в проекте разнотипных агентов), множество состояний интегрированной информационной среды соответственно.

Процесс концептуальной реализации модели (9) включает следующие этапы:

- подготовительный этап, в ходе которого формируются все исходные множества в соответствии с выражениями (1) — (4);
- этап частных (однозадачных) экспериментов с агентами вида РА, СА, ГА, АА с оценкой эффективности принимаемых решений на примере выражения (6), а также в условиях вариативности

реализуемых сценариев управления принятием решений;

- этап интеллектуальной поддержки принятия решений на основе интеграции адаптивных агентов с привлечением возможностей генеративного ИИ в виде агентов на основе LLM для расширения области знаний лица, принимающего решение, в сложных условиях при анализе критических ситуаций, характеризующихся большей неопределенностью и временными ограничениями.

Заключение

Разработчики агентного моделирования часто предполагают, что их модели отражают некоторые общие закономерности и структуры, хотя они будут созданы с определенными параметрами для представления некоторых конкретных случаев.

Агенты — это особый тип ограниченного рационального программного агента, наделенного определенными ментальными установками (убеждениями, желаниями и намерениями), когда убеждения включают правила вывода, позволяющие строить цепочку к новым убеждениям.

Представленный подход к структурированию Про исследования для дальнейшей разработки имитационно-моделирующих комплексов позволяет с системных позиций рассмотреть состав элементов будущей системы, возможную ее структуру, а также выявить закономерности влияния изменения состава решаемых задач на требования к структуре, моделям, информационным объектам и в целом к информационной среде.

Предлагаемая структура характеризует сотрудничество по пяти ключевым параметрам: агентам, их типам, структурам, стратегиям и механизмам координации, обеспечивая систематический подход к анализу и разработке совместных взаимодействий в рамках многоагентного подхода с опорой на генеративный ИИ.

Литература

1. Агеева А.Ф. Обзор современных систем поддержки принятия решений, созданных при помощи агентного подхода // Электронные информационные системы. 2018. № 4 (19). С. 29—46.
2. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Гибридное моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов: монография. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2019. 222 с.
3. Бельский А.Б., Чобан В.М., Дибичев А.К. Общие подходы и методы для внедрения технологий и элементов искусственного интеллекта в комплексы бортового оборудования вертолетной техники // Труды Академии наук авиации и воздухоплавания. 2024. № 2. С. 3—14.
4. Беляков С.Л., Боженюк А.В., Голова Н.А. [и др.] Интеллектуальная рекомендательная система для пространственного анализа // Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 3 (227). С. 14—26. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-3-14-26.
5. Брагин А.В., Бахтизин А.Р., Макаров В.Л. Большие языковые модели четвертого поколения как новый инструмент в научной работе // Искусственные общества. 2023. Т. 18. № 1. DOI: 10.18254/S207751800025046-9.
6. Бурый А.С. Облачные вычисления в цифровой трансформации информационных технологий // Правовая информатика. 2021. № 2. С. 4—14. DOI: 10.21681/1994-1404-2021-2-04-14.
7. Бурый А.С. Цифровые двойники как основа парадигмы развития прикладных информационных систем // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6 (70). С. 24—32.

8. Бурый А.С., Костылева К.В. Экспертное обоснование вариантов построения интеллектуальных систем на основе интеграции веб-технологий // Правовая информатика. 2024. № 4. С. 4—12. DOI: 10.24412/1994-1404-2024-4-4-12 .
9. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15—26. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-4-15-26 .
10. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Архитектура экспертных рекомендательных систем принятия решений в формате умного города // Правовая информатика. 2023. № 3. С. 41—53.
11. Бурый А.С., Цаплина О.С. Генеративный искусственный интеллект цифрового университета // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 5 (80). С. 85—91.
12. Варламов О.О., Коценко А.А., Аладин Д.В. [и др.]. Миварные системы принятия решений роботов. РобоРазум : монография. М. : ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2024. 549 с. ISBN: 978-5-16-020037-8.
13. Добренко Н.В., Добренко Д.А., Улизько М.В. Интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений в mes-системах с использованием больших языковых моделей // Экономика. Право. Инновации. 2024. № 3. С. 47—59.
14. Калимуллина О.В., Ярцева К.А., Литун К.В. Роль экспертных и рекомендательных систем для интеллектуализации бизнеса: отраслевой анализ рынка // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 3. С. 1613—1636. DOI: 10.18334/vinec.12.3.114969 .
15. Котенко И.В., Абраменко Г.Т. Использование больших языковых моделей для поиска угроз кибербезопасности на основе методов глубокого обучения: анализ современных исследований // Правовая информатика. 2024. № 3. С. 32—42. DOI: 10.24682/1994-1404-2024-3-32-42 .
16. Ловцов Д.А. Алгоритмизация в крупномасштабных иерархических эргасистемах // Правовая информатика. 2022. № 1. С. 4—14. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-1-04-14 .
17. Маслобоев А.В. Принципы разработки прикладных мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2024. Т. 74. № 2. С. 62—81. DOI: 10.14357/20790279240208 .
18. Стешина Л.А., Петухов И.В. Концепция человеко-ориентированного проектирования сложных технических систем // Современные наукоемкие технологии. 2023. № 7. С. 92—96. DOI: 10.17513/snt.39700 .
19. Тимохин М.Ю., Шаранин В.Ю. Искусственный интеллект и теория принятия решений: современные тенденции // Инженерный вестник Дона. 2023. № 10 (106). С. 1—11.
20. Цаплина О.С. Думай и предпринимай. М. : Эксмо, 2024. 208 с. ISBN 978-5-9908890-1-9.
21. Шляпников В.В. Некоторые проблемы этики искусственного интеллекта // Идеи и идеалы. 2023. Т. 15. № 2-2. С. 365—376. DOI: 10.17212/2075-0862-2023-15.2.2-365-376 .
22. Jackson I., Ivanov D., Dolgui A., Namdar J. Generative artificial intelligence in supply chain and operations management: a capability-based framework for analysis and implementation. International Journal of Production Research. 2024. № 62 (17). С. 6120—6145. DOI: 10.1080/00207543.2024.2309309 .
23. Laeeq K., Memon Z.A. Scavenge: An intelligent multi-agent based voice-enabled virtual assistant for LMS. Interactive Learning Environments. 2021. Т. 29. № 6. С. 954—972.
24. Ma Q., Xue X., Zhou D., et al. Computational experiments meet large language model based agents: A survey and perspective. arXiv preprint, arXiv: 2402.00262, 2024.
25. Sarker I.H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. SN Computer Science. 2022. № 3 (2). С. 158.
26. Tran K.T., Dao D., Nguyen M.D., et al. Multi-Agent Collaboration Mechanisms: A Survey of LLMs. arXiv preprint, arXiv: 2501.06322, 2025.

SECTION:

INFORMATION AND AUTOMATED SYSTEMS AND NETWORKS

AGENT-BASED MODELS FOR DECISION-MAKING USING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Aleksei Buryi, Dr.Sc. (Technology), Deputy Head of Division of the Russian Standardisation Institute, Leading Researcher at the Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation.
E-mail: a.s.burij@gostinfo.ru

Ol'ga Tsaplina, Ph.D. Student at the Russian Standardisation Institute, Moscow, Russian Federation.
E-mail: tsaplinaolga@inbox.ru

Keywords: *information technologies, decision support systems, large language models, multi-agent technologies, agent-based modelling.*

Abstract

Purpose of the paper: is to develop the conceptual foundations of the application of adaptive agent models for decision support tasks based on intelligent multi-agent systems in the digital assistant format.

Methods used in the study: system and structural analysis, conceptual and logical modeling, formal and logical development and improvement of structures for building hybrid decision support systems based on a multi-agent approach.

Study findings: a formal and logical interpretation of the conceptual structure of building an interdisciplinary simulation model of a hybrid decision support system based on a multi-agent representation of the computational process is obtained. Additional advantages of the considered approach are the possibility of using adaptive agents implemented on the basis of large language models in the development of the field of generative artificial intelligence, which provides increased validity of decision-making in information management systems.

References

1. Ageeva A.F. Obzor sovremennykh sistem podderzhki priniatiia reshenii, sozdannykh pri pomoshchi agentnogo podkhoda. Elektronnye informatsionnye sistemy. 2018. No. 4 (19). Pp. 29–46.
2. Aksenov K.A., Goncharova N.V. Gibridnoe modelirovanie mul'tiagentnykh protsessov preobrazovaniia resursov: monografiia. M. : Izdatel'skii dom Akademii Estestvoznaniia, 2019. 222 pp.
3. Bel'skii A.B., Choban V.M., Dibizhev A.K. Obshchie podkhody i metody dlia vnedreniia tekhnologii i elementov iskusstvennogo intellekta v kompleksty bortovogo oborudovaniia vertoletnoi tekhniki. Trudy Akademii nauk aviatsii i vozdukhoplavaniia. 2024. No. 2. Pp. 3–14.
4. Beliaikov S.L., Bozheniuk A.V., Golova N.A. [i dr.] Intellektual'naia rekomendatel'naia sistema dlia prostranstvennogo analiza. Izvestiia luFU. Tekhnicheskie nauki. 2022. No. 3 (227). Pp. 14–26. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-3-14-26 .
5. Bragin A.V., Bakhtizin A.R., Makarov V.L. Bol'shie iazykovye modeli chetvertogo pokoleniia kak novyi instrument v nauchnoi rabote. Iskusstvennye obshchestva. 2023. T. 18. No. 1. DOI: 10.18254/S207751800025046-9 .
6. Buryi A.S. Oblachnye vychisleniia v tsifrovoi transformatsii informatsionnykh tekhnologii. Pravovaia informatika. 2021. No. 2. Pp. 4–14. DOI: 10.21681/1994-1404-2021-2-04-14.
7. Buryi A.S. Tsifrovye dvoyniki kak osnova paradigmy razvitiia prikladnykh informatsionnykh sistem. Informatsionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniia. 2022. No. 6 (70). Pp. 24–32.
8. Buryi A.S., Kostyleva K.V. Ekspertnoe obosnovanie variantov postroeniia intellektual'nykh sistem na osnove integratsii veb-tekhnologii. Pravovaia informatika. 2024. No. 4. Pp. 4–12. DOI: 10.24412/1994-1404-2024-4-4-12 .
9. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informatsionnye struktury umnogo goroda na osnove kiberfizicheskikh sistem. Pravovaia informatika. 2022. No. 4. Pp. 15–26. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-4-15-26 .
10. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Arkhitektura ekspertnykh rekomendatel'nykh sistem priniatiia reshenii v formate umnogo goroda. Pravovaia informatika. 2023. No. 3. Pp. 41–53.
11. Buryi A.S., Tsaplina O.S. Generativnyi iskusstvennyi intellekt tsifrovogo universiteta. Informatsionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniia. 2024. No. 5 (80). Pp. 85–91.
12. Varlamov O.O., Kotsenko A.A., Aladin D.V. [i dr.]. Mivarnye sistemy priniatiia reshenii robotov. RoboRazum : monografiia. M. : OOO "Nauchno-izdatel'skii tsentr INFRA-M", 2024. 549 pp. ISBN: 978-5-16-020037-8.
13. Dobrenko N.V., Dobrenko D.A., Uliz'ko M.V. Intellektual'naia podderzhka priniatiia upravlencheskikh reshenii v mes-sistemakh s ispol'zovaniem bol'shikh iazykovykh modelei. Ekonomika. Pravo. Innovatsii. 2024. No. 3. Pp. 47–59.
14. Kalimullina O.V., Iartseva K.A., Litun K.V. Rol' ekspertnykh i rekomendatel'nykh sistem dlia intellektualizatsii biznesa: otraslevoi analiz rynka. Voprosy innovatsionnoi ekonomiki. 2022. T. 12. No. 3. Pp. 1613–1636. DOI: 10.18334/vinec.12.3.114969 .
15. Kotenko I.V., Abramenko G.T. Ispol'zovanie bol'shikh iazykovykh modelei dlia poiska ugroz kiberbezopasnosti na osnove metodov glubokogo obucheniia: analiz sovremennykh issledovani. Pravovaia informatika. 2024. No. 3. Pp. 32–42. DOI: 10.24682/1994-1404-2024-3-32-42 .
16. Lovtsov D.A. Algoritmizatsiia v krupnomasshtabnykh ierarkhicheskikh ergasistemakh. Pravovaia informatika. 2022. No. 1. Pp. 4–14. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-1-04-14 .
17. Masloboev A.V. Printsipy razrabotki prikladnykh mul'tiagentnykh sistem upravleniia zhiznesposobnost'iu kriticheskikh infrastruktur. Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiiskoi akademii nauk. 2024. T. 74. No. 2. Pp. 62–81. DOI: 10.14357/20790279240208 .
18. Steshina L.A., Petukhov I.V. Kontseptsiiia cheloveko-orientirovannogo proektirovaniia slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2023. No. 7. Pp. 92–96. DOI: 10.17513/snt.39700 .
19. Timokhin M.Iu., Sharanin V.Iu. Iskusstvennyi intellekt i teoriia priniatiia reshenii: sovremennye tendentsii. Inzhenernyi vestnik Dona. 2023. No. 10 (106). Pp. 1–11.
20. Tsaplina O.S. Dumai i predprinimai. M. : Eksmo, 2024. 208 pp. ISBN 978-5-9908890-1-9.

21. Shliapnikov V.V. Nekotorye problemy etiki iskusstvennogo intellekta. Idei i idealy. 2023. T. 15. No. 2-2. Pp. 365–376. DOI: 10.17212/2075-0862-2023-15.2.2-365-376 .
22. Jackson I., Ivanov D., Dolgui A., Namdar J. Generative artificial intelligence in supply chain and operations management: a capability-based framework for analysis and implementation. International Journal of Production Research. 2024. No. 62 (17). Pp. 6120–6145. DOI: 10.1080/00207543.2024.2309309 .
23. Laeeq K., Memon Z.A. Scavenge: An intelligent multi-agent based voice-enabled virtual assistant for LMS. Interactive Learning Environments. 2021. T. 29. No. 6. Pp. 954–972.
24. Ma Q., Xue X., Zhou D., et al. Computational experiments meet large language model based agents: A survey and perspective. arXiv preprint, arXiv: 2402.00262, 2024.
25. Sarker I.H. AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. SN Computer Science. 2022. No. 3 (2). P. 158.
26. Tran K.T., Dao D., Nguyen M.D., et al. Multi-Agent Collaboration Mechanisms: A Survey of LLMs. arXiv preprint, arXiv: 2501.06322, 2025.