

Философская мысль

Правильная ссылка на статью:

Зеленский А.А., Грибков А.А. — Акторное моделирование когнитивных систем реального времени: онтологическое обоснование и программно-математическая реализация // Философская мысль. – 2024. – № 1. DOI: 10.25136/2409-8728.2024.1.69254 EDN: LVEGUM URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69254

Акторное моделирование когнитивных систем реального времени: онтологическое обоснование и программно-математическая реализация

Зеленский Александр Александрович

ORCID: 0000-0002-3464-538X

кандидат технических наук

ведущий научный сотрудник, НПК "Технологический центр"

124498, Россия, г. Москва, Зеленоград, пл. Шокина, 1, строение 7

✉ zelenskyaa@gmail.com



Грибков Андрей Армович

ORCID: 0000-0002-9734-105X

доктор технических наук

ведущий научный сотрудник, НПК "Технологический центр"

124498, Россия, г. Москва, Зеленоград, площадь Шокина, 1, строение 7

✉ andarmo@yandex.ru



[Статья из рубрики "Философия науки"](#)

DOI:

10.25136/2409-8728.2024.1.69254

EDN:

LVEGUM

Дата направления статьи в редакцию:

07-12-2023

Дата публикации:

09-01-2024

Аннотация: Статья посвящена исследованию проблемы повышения достоверности

моделирования когнитивных систем, к которым авторы относят не только человеческий интеллект, но и системы искусственного интеллекта, а также интеллектуальные системы управления производствами, технологическими процессами и сложным оборудованием. Показано, что использование когнитивных систем для решения задач управления обуславливает для них очень высокие требования по быстродействию. Эти требования в сочетании с необходимостью упрощения методов моделирования по мере усложнения объекта моделирования обуславливают выбор подхода к моделированию когнитивных систем. Модели должны основываться на использовании простейших алгоритмов в виде определения трендов, корреляции, а также (для решения интеллектуальных задач) – на использовании алгоритмов, основанных на применении различных паттернов форм и законов. Кроме того, модели должны быть децентрализованными. Адекватное представление децентрализованных систем, образованных из большого числа автономных элементов, может быть сформировано в рамках агент-ориентированных моделей. Для когнитивных систем наиболее проработанными являются две программно-математические реализации агент-ориентированной модели: акторная и реакторная. Акторные модели когнитивных систем имеют два возможных варианта реализации: в виде инструментальной модели, либо в виде симуляции. Обе реализации имеют право на существование, однако возможности реализации достоверного описания при использовании инструментальной модели выше, поскольку она обеспечивает несоизмеримо более высокое быстродействие, а также предполагает вариативность моделируемой реальности, обусловленной неполнотой предполагаемой модели. Модель акторов может быть реализована средствами большого числа существующих языков программирования, как специальных акторно-ориентированных, функциональных, так и языков общего назначения. Решение задачи создания симулятивных акторных моделей доступно на большинстве языков, работающих с акторами. Реализация инструментальных акторных моделей требует быстродействия, недостижимого при императивном программировании. В этом случае оптимальным решением является использование акторного метапрограммирования. Во многих существующих языках такое программирование реализуемо.

Ключевые слова:

когнитивная система, управление, достоверность, быстродействие, моделирование, тренды, паттерны, децентрализация, актор, метапрограммирование

Введение

Представления о когнитивных системах в последние десятилетия претерпели существенные изменения. Если еще недавно, говоря о когнитивной системе, мы по умолчанию предполагали, что речь идет о системе познания человека, то в настоящее время, в условиях стремительного развития информационных технологий, к когнитивным относят существенно более широкий класс систем. Согласно актуальной в настоящее время интерпретации, когнитивная система (от лат. *cognito* — познание, узнавание, ознакомление) – это многоуровневая система, осуществляющая функции распознавания и запоминания информации, принятия решений, хранения, объяснения, понимания и производства новых знаний [\[1\]](#).

Большая часть ключевых трендов мирового экономического и технологического развития, наблюдаемых в настоящее время, связана с использованием искусственных когнитивных систем. Наиболее сложными из них являются когнитивные системы

искусственного интеллекта, менее сложными – когнитивные системы управления сложным технологическим оборудованием, технологическими процессами и производствами. К числу последних, в частности, относятся системы цифрового производства [2].

Специфика когнитивных систем, обусловленная их использованием для управления в реальном времени, определяет необходимость высокого быстродействия в отличие от высокой производительности, присущей современным вычислительным системам. Понятия быстродействия и производительности – достаточно близки, однако между ними имеются принципиальные отличия, порождающие альтернативность подходов к их технологической реализации.

Для систем управления понятия быстродействия и производительности определяются следующим образом [3]:

- быстродействие системы управления – величина, обратная длительности интервала времени (цикла управления), необходимого для выполнения комплекса необходимых операций (обычно сравнительно небольшого) для текущего управления.

- производительность системы управления определяется как число элементарных операций управления за единицу времени и рассчитывается как средняя величина за сравнительно большой интервал времени, за который выполняется большое число операций.

Современные компьютеры, если их использовать в качестве системы управления, обладают высокой производительностью, но низким быстродействием. Именно поэтому их обычно не используют для управления сложными объектами в реальном времени. Недостаточное быстродействие современных компьютеров обусловлено их построением на основе архитектуры фон Неймана, главным недостатком которой является последовательное выполнение операций (как вычислительных, так и операций обращения к памяти).

В настоящее время известен только один способ повышения быстродействия управления – использование параллельности их выполнения, в общем случае – децентрализация управления. Именно таким способом решается проблема быстродействия когнитивных систем в природе: децентрализация управления реализуется как на уровне клеток, органов или обменных процессов отдельного животного или человека, так и на уровне их надсистем (человеческое общество, колония муравьев, пчелиная семья, стая волков, стадо зебр и т.д.).

В данной статье авторы планируют определить подходы к построению моделей объектов управления, которые будут обладать требуемой достоверностью и обеспечивать необходимое быстродействие управления. Также предметом исследования будет определение отношений формируемых моделей к реальности и проблематика их оптимальной программно-математической реализации.

Проблема достоверного моделирования реальности

Фундаментальной проблемой теории познания, науки и техники является принципиальная невозможность онтологического описания реальных объектов, т.е. описания их такими, какие они есть независимо от познания. Теория познания, наука и техника созданы людьми и основываются на обобщенных понятиях, иерархии форм и законов, вероятностном описании. Между тем в реальном мире все конкретно,

реализуется здесь и сейчас и в общем случае иерархические построения объектов не предполагают сокращения числа определяющих их параметров. В результате неизбежны расхождения между бытием и моделями бытия.

Преодоление указанного расхождения и формирование абсолютно достоверных моделей реальных объектов невозможно, однако можно сделать эти модели более адекватными. Возможные подходы к повышению адекватности моделей могут быть определены исходя из вторичных законов объектов, сформулированных в рамках эмпирико-метафизической общей теории систем [4]. Базовыми в контексте рассматриваемой проблематики являются следующие два вторичных закона объектов:

1. Закон устойчивого моделирования объектов [5], согласно которому по мере повышения полноты описания объекта для сохранения устойчивости описания методы моделирования должны упрощаться. Закон устойчивого моделирования является расширением принципа несовместимости [6, с. 10], согласно которому сложность системы и точность, с которой она может анализироваться, находятся в обратной зависимости.
2. Закон достижения устойчивости за счет архитектуры объектов [7], согласно которому достижение устойчивости объекта может обеспечиваться посредством формирования в нем эггессионной связи (в частности путем моноцентризма), либо посредством увеличения числа связей элементов внутри объекта (в частности, путем автономизации и децентрализации).

Тенденция упрощения методов моделирования при описании сложных объектов или повышении полноты описания наглядно проявляется в практике имитационного моделирования, в том числе основанного на использовании численных методов. Если мы не можем детерминировать взаимосвязь параметров сложной аналитической модели в рамках одного описания, то вместо обобщенного описания мы переходим к локальному, связывающему отдельные параметры в ограниченных диапазонах их значений. Показательным примером является моделирование гравитационного взаимодействия системы, образованной из трех и более космических тел. Как известно, точное аналитическое определение движений (по эллиптическим траекториям) возможно только для двойных систем. Однако, благодаря использованию имитационного моделирования на основе численных методов, траектории космических тел в многокомпонентных системах (например, в Солнечной системе) рассчитываются с высокой точностью.

Методы численного моделирования, в том числе простейший из них метод линейной интерполяции и экстраполяции, в наименьшей степени основываются на знаниях о внутренних законах и взаимосвязях моделируемого объекта, а поэтому обеспечивают наибольшую устойчивость получаемых решений.

В качестве иллюстрации рассмотрим решение задачи интерполяции функциональной зависимости по ее заданным значениям (точкам). Сравним два подхода к решению, соответствующие большей и меньшей сложности методов моделирования: интерполяцию полиномом и линейную интерполяцию. В первом случае решением задачи интерполяции будет функция (полином n -го порядка), проходящая через все n заданных точек. При этом между этими точками расхождение между функцией и ее трендом может быть очень значительным и тем большим, чем больше точек (поскольку увеличение числа точек приводит к усложнению метода моделирования). В случае использования линейной интерполяции получаемая кусочно-линейная функция будет соответствовать тренду несравнимо лучше, а значит ее предсказательные возможности выше. При этом увеличение числа точек приводит не к росту расхождения с трендом, а к снижению,

поскольку метод моделирования не усложняется, а расстояния между точками уменьшаются.

Применительно к моделированию когнитивных систем указанное упрощение методов моделирования предполагает использование при обработке данных простейших алгоритмов в виде определения корреляционных связей, трендов. Именно такие методы используются в современных системах машинного обучения, основанных на использовании технологий больших данных [\[8\]](#), – наименее сложной реализации искусственного интеллекта.

В более сложных когнитивных системах, например, связанных с человеческим сознанием, наряду с корреляционными связями и трендами также задействуются паттерны (шаблоны форм или отношений, реализующихся в разных предметных областях и на разных уровнях мироздания) [\[9\]](#), которые соответствуют несколько более сложным методам моделирования, требующим нейронной сети с большим числом и разнообразием элементов и их связей. Методы, основанные на использовании паттернов, нельзя назвать сложными, тем не менее необходимо констатировать, что общая цель на упрощение методов моделирования в полной мере не может быть достигнута.

Упомянутый ранее закон достижения устойчивости за счет архитектуры объектов указывает на два возможных пути: централизацию, либо увеличение числа связей элементов внутри объекта путем автономизации и децентрализации. Исследования авторов [\[3\]](#), связанные с обеспечением реализуемости управления в реальном времени сложными объектами (в частности, технологическим оборудованием), показали, что централизация системы управления несовместима с высоким быстродействием. Поэтому единственным направлением повышения устойчивости системы управления, удовлетворяющим требованию высокого быстродействия (в том числе, управлению в реальном времени), является ее децентрализация.

Агент-ориентированное моделирование децентрализованных систем

Для адекватного представления децентрализованных систем, образованных из большого числа элементов, взаимодействующих между собой и при этом обладающих автономией, используются специальные имитационные модели, получившие название агент-ориентированных моделей (agent-based model, АВМ) [\[10\]](#). Элементами таких моделей являются агенты – уникальные и автономные сущности, которые локально взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой [\[11, с. 10\]](#).

Агент-ориентированные модели применимы для представления децентрализованных систем любой природы: физических, социальных, экономических, логистических, образовательных, а также информационных. В контексте данного исследования интерес для нас представляют информационные системы, а именно когнитивные системы. Для когнитивных систем, в том числе систем искусственного интеллекта, наиболее проработанными являются две программно-математические реализации агент-ориентированной модели: акторная модель и реакторная модель (модель реляционных акторов). Изначально акторная и реакторная модели служили решению задачи реализации параллельности вычислений, однако в настоящее время их функционал существенно расширился.

В основе акторной модели лежит программно-математическое представление системы в виде акторов – универсальных примитивов исполнения, наделенных заданными свойствами и взаимодействующих посредством обмена сообщениями с другими акторами,

обеспечивая совместно с ними функционирование системы [12,13]. Актеры могут представлять собой виртуальные сущности, либо иметь физическую реализацию в виде процессора или иного устройства.

Обобщенное математическое описание акторов в составе акторной модели можно представить в следующем виде:

$$A_{i|m} = A_i(p_{i1|m}, p_{i2|m}, p_{i3|m}, \dots, p_{ik|m}) = A_i\left(\bigcup_{j=1}^k p_{ij|m}\right), \quad (1)$$

где $p_{ij|m}$ – m -ное (текущее) значение параметра j -го параметра i -го актора.

Согласно приведенному в формуле (1) представлению, состояние актора является функцией от значений, определяющих его параметров.

Значение параметра $p_{ij|m}$, в свою очередь, определяется исходя из предыдущих состояний всех акторов, входящих в акторную модель:

$$p_{ij|m} = p_{ij}(A_{1|m-1}, A_{2|m-1}, A_{3|m-1}, \dots, A_{n|m-1}) = p_{ij}\left(\bigcup_{j=1}^k p_{ij|m-1}\right). \quad (2)$$

Одним из значимых свойств акторов является их способность порождать новые акторы. Это свойство реализуется посредством снятия ограничения с n – максимального значения i . В процессе реализации акторной модели число n акторов может как увеличиваться вследствие рождения новых акторов (задаваемым имеющимися акторами-родителями), так и уменьшаться (самоуничтожаться или уничтожаться другими акторами, «умирать от старости» после отработки заданного количества циклов активности).

В модели реляционных акторов [14,15] управление осуществляется не за счет обмена сообщениями, как в акторной модели, а за счет реакции на события. Каждый реляционный актор может реагировать на события множества разных акторов в любое время. Для реляционных акторов, как и для «обычных», возможны рождение и смерть.

Вариантом модели реляционных акторов является континуальная модель [16]. В основе континуальной модели лежит представление функционирования системы через взаимодействие элементов (акторов) не между собой, а с некоторым интегральным объектом (континуумом), отражающим значимые для функционирования системы свойства всех элементов (акторов), в том числе происходящие с ними события. Каждый актор взаимодействует только с континуумом, а континуум взаимодействует со всеми акторами.

Математическое описание актора в составе континуальной модели также, как в случае акторной модели, определяется значениями составляющих его параметров (см. (1)).

Описание состояния континуума основывается на данных о состояниях всех акторов, входящих в континуальную модель:

$$C_m = C(A_{1|m}, A_{2|m}, A_{3|m}, \dots, A_{n|m}) = C\left(\bigcup_{i=1}^n A_{i|m}\right) = C\left(\bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^k p_{ij|m}\right). \quad (3)$$

Значение параметра $p_{ij|m}$, в свою очередь, определяется исходя из предыдущих

состояний актора, к описанию которого этот параметр относится, и континуума:

$$P_{y|m} = P_y(A_{1|m-1}, C_{m-1}) = P_y \left(\bigcup_{j=1}^k P_{y|m-1}, \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^k P_{y|m-1} \right). \quad (4)$$

Анализ выражений (2) и (4) указывает на неизбежную задержку в представлении состояния системы (как минимум, на один шаг или цикл управления). Это означает, что значимым требованием к агент-ориентированным моделям (и в целом, к имитационным моделям динамических систем) является высокое быстродействие их практической реализации. Однако, как будет показано, это требование актуально не во всех случаях.

Информационная среда выполнения агент-ориентированной модели

Как мы уже отмечали, для представления когнитивных систем используют акторные модели. Специфика акторных моделей, являющихся частным случаем агент-ориентированных моделей, заключается в том, что они являются исключительно информационными, реализуются программными средствами, а также обеспечивают параллельность выполнения операций (вычислительных и других).

Акторы в виде информационных объектов существуют и функционируют в информационной среде. Такое представление вписывает акторные модели в контекст разрабатываемой авторами концепции о сознании, рассматриваемом вне связи с его наиболее изученной реализацией в виде человеческого интеллекта. Согласно этой концепции, сознание – это информационная среда, в которой реализуется расширенная модель реальности, сформированная из информационных объектов [17]. В результате, акторная модель максимально соответствует задаче описания когнитивных систем, в том числе искусственного интеллекта.

Акторные модели когнитивных систем, как и другие имитационные модели, имеют два возможных варианта реализации как информационной модели: в виде инструментальной модели, либо в виде симулятивной (виртуальной) модели.

Инструментальная акторная модель когнитивной системы определяет организацию передачи информации между акторами, каждый из которых является отображением в информационной среде свойств определенного реального объекта. Примерами таких реальных объектов являются функциональные модули системы управления: ядро, вычислительные модули, регуляторы исполнительных устройств, модули осязания, нейронная сеть (которая может отражаться как одним актором, так и сложной системой с вложенной акторной моделью), датчиков и т.д. [18].

Функцией симулятивной (виртуальной) акторной модели когнитивной системы является не управление этой системой (в том числе, в режиме реального времени), а ее исследование. При формировании симулятивной модели когнитивной системы не решается задача повышения ее быстродействия. Недостаточное быстродействие всегда может быть нивелировано на этапе анализа результатов моделирования (например, за счет временного масштабирования). В результате даже достаточно сложная симулятивная модель может быть реализована на компьютере или другой вычислительной системе с архитектурой фон Неймана (с последовательным выполнением операций).

Акторы в симулятивной акторной модели, безусловно, являются информационными объектами, но при этом существенно отличаются от акторов в инструментальной модели. Это отличие заключается в том, что, как мы уже говорили, акторы в инструментальной

модели – это отображения свойств реальных объектов, между тем как акторы в симулятивной модели – это идеальные носители параметров, заданных исследователем при симуляции. При этом симулятивную модель нельзя считать полностью детерминированной. При использовании для ее реализации искусственных нейронных сетей, в ней появляется вариативность исходов моделирования (в частности, расчетов). Однако эта вариативность связана с интерпретацией данных, их обработкой, а не с вариативностью самих данных, т.е. вариативностью моделируемой реальности, обусловленной существованием большого числа связей и зависимостей, неучтенных в модели.

Можно ли использовать симулятивные акторные модели для когнитивных систем, функционирующих в реальном времени? Несмотря на неизбежное снижение достоверности результатов работы когнитивной системы такое использование при определенных условиях может быть оправдано. Условий всего два: должна быть обеспечена достаточная (для цели моделирования) полнота данных, а также скорость их обработки должна быть достаточно высокой. Оценка достаточности данных для моделирования решается в каждом отдельном случае и верифицируется при практическом использовании. Что касается скорости обработки данных, то для построения симулятивных когнитивных систем (когнитивных систем, использующих симулятивные акторные модели), способных управлять сложными системами (цифровое производство, сложные многокоординатные станки, промышленные роботы и т.д.), требуются технологии, которые в настоящее время находятся в процессе становления. К числу таких технологий, в частности, относятся квантовые вычисления [\[19\]](#) — решение задач с помощью манипуляции квантовыми объектами: атомами, молекулами, фотонами, электронами и специально созданными макроструктурами.

Акторное метапрограммирование

Модель акторов исторически формировалась как математическая модель параллельных вычислений, реализуемых программными средствами. Специально для программирования акторных моделей были созданы акторно-ориентированные языки ABCL (Actor-Based Concurrent Language), ActorScript, AmbientTalk и др. В некоторые функциональные языки [\[20\]](#) (Erlang, Scala, Elixir и др.) встроена возможность использования акторов. При использовании специальных библиотек расширения с акторами могут работать многие объектно-ориентированные императивные языки общего назначения: C++, C#, Java, Python, Ruby и др.

Все указанные языки программирования, обеспечивающие реализацию акторных моделей, в большей или меньшей степени релевантны решению задач симуляции когнитивных систем, однако для императивного программного представления инструментальных акторных моделей когнитивных систем они в большинстве случаев оказываются непригодными в силу недостаточного быстродействия построенных на их основе программ (при современном уровне электронной компонентной базы), а также перегруженности каналов передачи данных, особенно в случае императивного программирования.

Оптимальный, по мнению авторов, подход к программной реализации инструментальных акторных моделей когнитивных систем должен быть основан на использовании метапрограммирования [\[21\]](#). При метапрограммировании в качестве актора выступает не примитив (как в акторно-ориентированных языках) или класс (как при объектно-ориентированном программировании), а экземпляры отдельных программ, которые

эмулируются программой-диспетчером или ранее эмулированными экземплярами программ [\[22,23\]](#). Метапрограммирование реализуемо средствами многих существующих языков: C++, C#, Java, Python, Ruby и др.

Специфика акторного метапрограммирования, определяющая его эффективность для инструментальных моделей когнитивных систем, заключается в том, что каждый актор (в виде отдельной программы) является отражением в среде выполнения (информационной среде) свойств отдельного реального объекта – элемента когнитивной системы, который может функционировать автономно, в том числе, обладать собственной памятью, что радикально сокращает объем передачи данных по каналам связи, ликвидирует очереди и повышает быстродействие когнитивной системы. Акторное метапрограммирование, таким образом, естественным образом согласуется с реализацией память-центрической архитектуры когнитивной системы [\[24\]](#).

Выводы

Резюмируя собранные в данной статье размышления можно сформулировать следующие ключевые выводы:

1. Представление о когнитивных системах претерпевает изменения. В настоящее время они не обязательно связываются с интеллектуальной деятельностью человека, а могут быть отнесены к различным техническим системам, в том числе системам искусственного интеллекта, а также системам автоматического управления технологическими процессами, производствами, сложным технологическим оборудованием.
2. Когнитивные системы широко используются для решения задач управления в реальном времени. Это обуславливает необходимость повышения, наряду с производительностью, также их быстродействия. Эта задача решается на основе параллельности выполнения операций, в общем случае – за счет децентрализации управления.
3. Ключевыми направлениями повышения достоверности моделирования реальности, в том числе реализуемого средствами когнитивных систем, является снижение сложности методов моделирования по мере повышения сложности описания (сложности объекта или полноты его представления), а также совершенствование архитектуры этой модели. Исследования авторов, проведенные ранее, показали, что с требованием быстродействия сочетается архитектура, предполагающая увеличение числа связей элементов, соответствующая децентрализации.
4. Применительно к моделированию когнитивных систем повышение достоверности моделирования реальности достигается за счет использования простейших алгоритмов в виде определения корреляционных связей, трендов, реализуемых искусственными нейронными сетями уже в настоящее время, а также несколько более сложных алгоритмов, основанных на использовании паттернов. Архитектура когнитивных систем реального времени при этом должна быть децентрализованной.
5. Адекватное представление децентрализованных систем, образованных из большого числа автономных элементов, может быть сформировано в рамках агент-ориентированных моделей. Для когнитивных систем наиболее проработанными являются две программно-математические реализации агент-ориентированной модели: акторная и реакторная. Вариантом реализации реакторной модели является континуальная модель, в основе которой лежит представление функционирования системы через взаимодействие акторов не между собой, а с континуумом – некоторым интегральным

объектом, отражающим значимые для системы свойства всех акторов, например, происходящие с ними события.

6. Акторные модели когнитивных систем имеют два возможных варианта реализации: в виде инструментальной модели, либо в виде симуляции (виртуальной модели). Обе реализации имеют право на существование, однако возможности реализации достоверного описания при использовании инструментальной модели выше, поскольку она обеспечивает (при текущем уровне технологий) несоизмеримо более высокое быстродействие, а также предполагает вариативность моделируемой реальности, обусловленной неполнотой предполагаемой модели.

7. Модель акторов может быть реализована средствами большого числа существующих языков программирования, как специальных акторно-ориентированных, функциональных, так и языков общего назначения. Решение задачи создания симулятивных акторных моделей доступно на большинстве языков, работающих с акторами. Реализация инструментальных акторных моделей требует быстродействия, недостижимого при императивном программировании. В этом случае оптимальным решением является использование акторного метапрограммирования. Во многих существующих языках (C++, C#, Java, Python, Ruby и др.) такое программирование реализуемо.

Библиография

1. Философия: Энциклопедический словарь / Под ред. А.А. Ивина. М.: Гардарики, 2004. 1072 с.
2. Микрюков А.А. Когнитивные технологии в системах поддержки принятия решений в цифровой экономике // Инновации и инвестиции, 2018, №6, с. 127-131.
3. Зеленский А.А., Грибков А.А. Онтологические аспекты проблемы реализуемости управления сложными системами // Философская мысль, 2023, №12, с. 21-31.
4. Грибков А.А. Эмпирико-метафизический подход к построению общей теории систем // Общество: философия, история, культура, 2023, №4, с. 14-21.
5. Грибков А.А. Определение вторичных законов и свойств объектов в общей теории систем. Часть 1. Методологический подход на основе классификации объектов // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке, 2023, том 12, №5-6А, с. 17-30.
6. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: «Мир», 1976. 165 с.
7. Грибков А.А. Определение вторичных законов и свойств объектов в общей теории систем. Часть 2. Методологический подход на основе классификации паттернов // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке, 2023, том 12, №9А, с. 5-15.
8. Малявкина Л.И., Думчина О.А., Саввина Е.В. Методы и техники анализа больших данных (Big Data) // Инфраструктура цифрового развития образования и бизнеса: Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции, Орел, 01-30 апреля 2021 года. Орёл: Орловский государственный университет экономики и торговли, 2021, с. 34-39.
9. Duin R.P.W. The Origin of Patterns // Frontiers in Computer Science, November 2021, vol. 3, article 747195
10. Бурилина М.А., Ахмадеев Б.А. Анализ многообразия архитектур и методов моделирования децентрализованных систем на основе агент-ориентированного подхода // Креативная экономика, 2016, т. 10, №7, с. 829-848.

11. Railsback S.F., Grimm V. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction, Second Edition. Princeton University Press, 2019. 360 p.
12. Burgin M. Systems, Actors and Agents: Operation in a multicomponent environment. 2017, 28 p. URL: arXiv:1711.08319
13. Rinaldi L., Torquati M., Mencagli G., Danelutto M., Menga T. Accelerating Actor-based Applications with Parallel Patterns // 27th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing. 2019, pp. 140-147.
14. Shah V., Vaz Salles M.A. Reactors: A case for predictable, virtualized actor database systems // International Conference on Management of Data. 2018, pp. 259-274.
15. Lohstroh M., Menard C., Bateni S., Lee E. Toward a Lingua Franca for Deterministic Concurrent Systems // ACM Transactions on Embedded Computing Systems. 2021. Vol. 20. No. 4, pp. 1-27.
16. Хорошевский В.Г. Распределённые вычислительные системы с программируемой структурой // Вестник СибГУТИ, 2010, №2, с. 3-41.
17. Грибков А.А., Зеленский А.А. Определение сознания, самосознания и субъектности в рамках информационной концепции // Философия и культура, 2023, №12, с. 1-14.
18. Зеленский А.А., Илюхин Ю.В., Грибков А.А. Память-центрические модели систем управления движением промышленных роботов // Вестник Московского авиационного института, 2021, т. 28, №4, с. 245-256.
19. Федоров А. Квантовые вычисления: от науки к приложениям // Открытые системы. СУБД, 2019, №3, с. 14.
20. Batko P., Kuta M. Actor model of Anemone functional language // The Journal of Supercomputing. 2018, Vol. 74, pp. 1485-1496.
21. Скрипкин С.К., Ворожцова Т.Н. Современные методы метапрограммирования и их распределенные системы технологии разработки перспективы // Вестник ИрГТУ, 2006, №2 (26), с. 90-97.
22. Neuendorffer S. Actor-Oriented Metaprogramming. PhD Thesis, University of California, Berkeley, December 21, 2004. URL: <https://ptolemy.berkeley.edu/publications/papers/04/StevesThesis/>
23. Зеленский А.А., Ивановский С.П., Илюхин Ю.В., Грибков А.А. Программирование доверенной память-центрической системы управления движением робототехнических и мехатронных систем // Вестник Московского авиационного института, 2022, т. 29, № 4, с. 197-210.
24. Каляев И., Заборовский В. Искусственный интеллект: от метафоры к техническим решениям // Control Engineering Россия, 2019, №5 (83), с. 26-31.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Рецензируемая статья представляет собой профессиональное исследование проблем использования искусственных когнитивных систем для повышения эффективности управления различными технологическими процессами в реальном времени. Авторы обращают внимание на различие «производительности» и «быстродействия» как характеристик когнитивных систем, обусловленное различной организацией выполнения операций, – «последовательной» или «параллельной». Только в случае введения параллельного выполнения операций удаётся осуществить «децентрализацию»

управления и достичь высокой степени быстродействия, необходимого для эффективного использования искусственных когнитивных систем. Думается, однако, что термин «децентрализация» (который, судя по рецензируемой статье, является принципиально важным для данной области исследований) является не вполне удачным, поскольку он вызывает негативные коннотации. В качестве более приемлемого может использоваться любое произвольное выражение, введённое в научный оборот вместе с (по возможности, точным) определением (классический пример – введение в научный оборот термина «кварк»). Речь идёт о том, что совсем не обязательно передавать сигнал управления «по вертикали», если самоорганизация системы может осуществляться «на горизонтальном уровне». Авторы говорят при этом о необходимости «снижения сложности методов моделирования по мере повышения сложности описания (сложности объекта или полноты его представления), а также совершенствования архитектуры этой модели». Повторим, что «сомнительное» «децентрализация» не является обязательным для передачи этого смысла. Далее авторы рассматривают два способа реализации «агент-ориентированной модели» – «акторный» и «реакторный»: «Вариантом реализации реакторной модели является континуальная модель, в основе которой лежит представление функционирования системы через взаимодействие акторов не между собой, а с континуумом – некоторым интегральным объектом, отражающим значимые для системы свойства всех акторов». В свою очередь, акторные модели когнитивных систем могут реализовываться в виде инструментальной либо виртуальной (симуляционной) модели. По мнению авторов, возможности «достоверного описания при использовании инструментальной модели выше, поскольку она обеспечивает ... более высокое быстродействие, а также предполагает вариативность моделируемой реальности, обусловленной неполнотой предполагаемой модели». И использование имеющихся уже сегодня методов программирования, согласно утверждению авторов, позволяет осуществить решение этих задач. Знакомство со статьей позволяет констатировать, что она может быть опубликована в научном журнале, однако, вызывает некоторые сомнения целесообразность публикации её именно в философском журнале. Думается, авторы могли бы в рабочем порядке внести в текст дополнения, демонстрирующие актуальность полученных ими результатов и для других, например, социальных систем, в которых препятствием для повышения эффективности управления также может выступать недостаточно высокий уровень быстродействия (в «авторитарно» организованных системах, в которых принятие всех решений осуществляется единственным субъектом или требует его легализации). Собственно, указанное предложение «находится на поверхности», возможно, авторы могли бы проиллюстрировать значимость своей работы в смежных областях и на других примерах. Необходимо также исправить некоторые пунктуационные погрешности («резюмируя собранные в данной статье размышления можно...», и т.п.), а также опечатки («представление функционирование («функционирования, – рецензент) системы», и т.п.). Однако высказанные замечания вторичны в сравнении с достоинствами рецензируемой статьи, рекомендую принять её к печати.