

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.140>

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ИСКУССТВЕННЫХ КОГНИТИВНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ:
ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Научная статья

Зеленский А.А.¹, Грибков А.А.^{2,*}

¹ ORCID : 0000-0002-3464-538X;

² ORCID : 0000-0002-9734-105X;

^{1,2} Технологический центр, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (andarmo[at]yandex.ru)

Аннотация

Искусственные когнитивные системы реального времени – ключевой фактор развития современного высокотехнологичного производства. Построение таких систем зависит от решения двух фундаментальных задач: обеспечения работы с большим объемом данных в реальном времени и интеллектуализации – придания когнитивной системе способности к решению интеллектуальных задач. Основой решения первой из указанных задач является параллельность выполнения операций обработки данных: на уровне процессоров, ядер или логических элементов. Задача интеллектуализации искусственной когнитивной системы решается за счет использования искусственных нейронных сетей, которые могут быть программно-реализуемыми или аппаратно-реализуемыми. Каждый из вариантов реализации имеет свои достоинства и недостатки. В частности, аппаратная реализация потенциально обеспечивает большие быстродействие и надежность, а программная реализация в обозримой перспективе будет оставаться более эффективной для решения наиболее сложных интеллектуальных задач.

Ключевые слова: управление, искусственная когнитивная система, интеллектуализация, параллельность, аппаратная и программная реализация, логический элемент, ядро, процессор, паттерн, вторичные законы и свойства, нейронные схемы.

**INTELLECTUALIZATION OF REAL-TIME ARTIFICIAL COGNITIVE SYSTEMS: IMPLEMENTATION
OPTIONS AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Research article

Zelenskii A.A.¹, Gribkov A.A.^{2,*}

¹ ORCID : 0000-0002-3464-538X;

² ORCID : 0000-0002-9734-105X;

^{1,2} Technological Center, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (andarmo[at]yandex.ru)

Abstract

Real-time artificial cognitive systems are a key factor in the development of modern high-tech production. The construction of such systems depends on the solution of two fundamental tasks: to ensure work with a large amount of data in real time and intellectualization – giving the cognitive system the ability to solve intellectual tasks. The basis for solving the first of these tasks is the parallelism of data processing operations: at the level of processors, cores or logical elements. The task of intellectualization of an artificial cognitive system is solved by using artificial neural networks, which can be software- or hardware-implementable. Each of the options of implementation has its own merits and drawbacks. In particular, hardware implementation potentially provides greater speed and reliability, while software implementation in the foreseeable future will remain more effective for solving the most complex intellectual tasks.

Keywords: control, artificial cognitive system, intellectualization, parallelism, hardware and software implementation, logic element, core, processor, pattern, secondary laws and properties, neural schemes.

Введение

Ключевым фактором роста, определяющим развитие современной технической цивилизации, являются системы управления: технологическим оборудованием, технологическими процессами и производствами, отдельными финансовыми инструментами и рынками, экономикой в целом. Реализующееся в настоящее время технологическое развитие в области цифровых технологий определяет новый этап в сокращении сферы деятельности человека: если раньше человек освобождался от тяжелого и монотонного физического труда, затем (с открытием и все более широким использованием вычислительных машин) – от сложных и объёмных вычислительных работ, то теперь наступило время замещения человека в решении интеллектуальных задач. Средством реализации такого замещения становятся искусственные когнитивные системы – многоуровневые системы, осуществляющие функции распознавания и запоминания информации, принятия решений, хранения, объяснения, понимания и производства новых знаний [1].

Традиционно когнитивные системы отождествлялись с системами, связанными с человеком, однако развитие информационных технологий в последние десятилетия открыло возможности построения искусственных (технических) когнитивных систем. Под искусственными когнитивными системами (cognitive artificial systems) или системами «когнитивный вычислений» (cognitive computing) в настоящее время подразумевают системы искусственного интеллекта, которые имитируют человеческое мышление для расширения возможностей

человеческого познания, т.е. «объясняющий искусственный интеллект» [2]. Современные исследования искусственных когнитивных систем направлены на определение возможностей их использования для отдельных специфических задач: содействия обучению в рамках образовательных и реабилитационных программ (в том числе на базе нейропсихологической стимуляции), повышения адаптивности человеко-машинного интерфейса [3], создания цифровых двойников [4] и др. При этом проблемы практической реализации искусственных когнитивных систем самостоятельно не рассматриваются: предполагается, что они не обладают выраженной спецификой по сравнению с другими системами искусственного интеллекта.

По мнению авторов, требование для искусственной когнитивной системы имитации человеческого интеллекта не является обязательным. Это обусловлено отсутствием определенности в вопросе об отличии человеческого интеллекта от искусственного. Если речь идет о способности решать интеллектуальные задачи, то потенциально различия искусственного интеллекта от естественного преодолимы. Если же речь идет о фундаментальных различиях, связанных с субъектностью [5], то такие различия нерелевантны при рассмотрении «объяснительных» способностей интеллекта.

В действительности не искусственные когнитивные системы являются частным случаем систем искусственного интеллекта, а наоборот, системы искусственного интеллекта являются частным случаем искусственных когнитивных систем. При этом когнитивными системами являются не все системы искусственного интеллекта, а только осуществляющие управление, т.е. (согласно приведенному нами в начале статьи определению) принимающие решения. В этом заключается сходство искусственных когнитивных систем с человеческим интеллектом.

Практическая реализация искусственных когнитивных систем, понимаемых таким образом, обладает выраженной спецификой и зависит от решения комплекса задач, связанных с организацией и элементами таких систем. Целью данной статьи является определение подходов к практической реализации искусственных когнитивных систем, в том числе определение и решения необходимого комплекса задач.

Некоторые из этих задач являются логическим продолжением проблемы обеспечения быстродействия выполнения операций обработки информации и сводятся к определению оптимальной реализации параллельности и других механизмов децентрализации. Другие задачи напрямую связаны с разработкой алгоритмов, позволяющих решать интеллектуальные (творческие) задачи на основе методов, аналогичных используемым в человеческом мышлении.

При формировании когнитивной системы необходимо решить две фундаментальные задачи:

– Обеспечить работу системы с большим объемом данных в режиме реального времени. Приоритетным направлением решения этой задачи является параллельное выполнение операций обработки информации.

– Обеспечить интеллектуализацию системы, то есть придать ей способность решать интеллектуальные (творческие) задачи. Под интеллектуальной понимают слабо формализованную задачу, т.е. задачу, «для которой не существует общепризнанного (классического) решения, поэтому, чтобы решить такую задачу, необходимо придумать способ решения» [6].

Для решения указанных задач мы сосредоточим наше внимание на нескольких ключевых вопросах: существующих и перспективных вариантах технической реализации систем параллельного вычисления, элементах и организации искусственных нейронных сетей, возможной реализации децентрализованных когнитивных систем, соотношении логики построения искусственных когнитивных систем и человеческого сознания.

Основные результаты

2.1. Реализация систем параллельного вычисления

Технологическое разнообразие реализации информационно-вычислительных систем с параллельной обработкой данных обуславливается различием уровней, на которых осуществляется параллельность: на уровне процессоров, на уровне физических ядер процессора, на уровне логических элементов процессора.

Распространенным является вариант реализации параллельности вычислений с использованием мультипроцессорных и многопроцессорных систем, в которых параллельность обеспечивается на уровне процессоров. В мультипроцессорных системах используются одновременно несколько процессоров, на каждом из которых выполняется своя последовательность вычислительных операций (поток исполнения). Обмен данными между потоками в мультипроцессорных системах происходит через общую память и требует внешнего управления для синхронизации (например, посредством семафоров) доступа разных процессоров к общей памяти (во избежание образования очередей). Многопроцессорная система представляет собой объединение автономных вычислительных систем, которые обмениваются между собой данными (незначительного объема, несопоставимого с объемом данных, задействованных в работе каждого процессора) в виде сообщений: адресных (другой системе-процессору) или в виде объявлений (доступных всем системам-процессорам). Адресные сообщения могут передаваться по каналам связи между системами-процессорами, объявления – через общую память минимального объема.

Другим эффективным техническим решением проблемы параллельности является использование многоядерных процессоров. В этом случае параллельность реализуется на уровне физических ядер процессора – кристаллов микропроцессора (чипов). Число физических ядер может быть достаточно большим. Например, у графического процессора (GPU), используемого в качестве сопроцессора для графического рендеринга и других задач с большим объемом однотипных вычислений, число физических ядер может составлять до нескольких тысяч. Различные производители графических процессоров по-разному называют физические ядра: у AMD – потоковые процессоры, у Intel – шейдерные ядра, а у NVIDIA – CUDA-ядра. Многоядерная архитектура, предполагающая использование большого числа логических ядер (определяется как произведение числа физических ядер на число потоков в каждом ядре), дает возможность строить векторные процессоры, в котором операндами команд могут выступать упорядоченные одномерные массивы данных – векторы.

Параллельность на уровне элементов процессора имеет место при формировании процессора из очень большого числа логических элементов, используемых параллельно. Логические элементы строятся на основе активных или пассивных электронных компонентов.

Эффективность реализации параллельности на уровне логических элементов может быть существенно повышена при использовании систем с избыточной логикой (дублированием логических элементов и/или блоков логических элементов, связанных с типовыми задачами), изначально рассчитанной на возможность выбора незагруженного вычислительного канала или альтернативность вычислительных последовательностей (решение одной и той же задачи на основе разных алгоритмов). Данный подход также коррелирует с решением задачи интеллектуализации когнитивных систем.

В настоящее время методологической основой для практической (программной) реализации параллельности выполнения операций (в виде многопоточности) для вычислений с общей памятью являются подходы, сформированы в рамках параллельной логики разделения, используемой для императивного программирования. Между тем, действительная параллельность выполнения операций предполагает использование декларативного программирования (при котором описывается ожидаемый результат, а не способ его получения), либо метапрограммирования (при котором генерируется несколько программ, автономных, но обменивающихся данными между собой).

В случае реализации параллельности на уровне процессоров или физических ядер процессора избыточность элементов (несколько одинаковых процессоров или физических ядер) – общепринятая практика. Аналогично, при реализации параллельности на уровне логических элементов также необходима их избыточность. При этом гетерогенность системы может быть существенно более высокой за счет вариативности свойств логических элементов и возможности их различного сочетания для различных задач.

В наиболее общем виде алгоритм функционирования системы с параллельным выполнением операций выглядит следующим образом. Имеется множество потоков исполнения:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}, \quad (1)$$

где n – количество потоков исполнения.

Каждому потоку исполнения соответствует линейная последовательность операторов – вектор, представленный набором m элементов:

$$A_i = \text{vector}\{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{im}\}, \quad (2)$$

где a_{ij} – элемент (оператор), соответствующий одному из множества p реализуемых в системе операторов;

$$a_{ij} \in p = p_1, p_2, \dots, p_s, \dots, p_k, \quad (3)$$

где k – количество реализуемых в системе (типов) операторов.

В случае избыточности элементов каждый тип оператора имеет несколько вариантов средств реализации. Эти варианты могут быть как тождественными (например, дублирующие логические элементы одного или нескольких ядер), так и альтернативными, позволяющими выполнять те же преобразования на другой аппаратной базе (например, с использованием других логических элементов) или по другому алгоритму.

Средства реализации оператора определяются множеством из h вариантов:

$$r_s = \{r_{s1}, r_{s2}, \dots, r_{sd}, \dots, r_{sh}\}. \quad (4)$$

Для каждого варианта r_{sd} в условиях многопоточной системы устанавливается дополнительный атрибут занятости $b_{sd} \in \{0,1\}$, изменяющий свое значение при задействовании выбранного варианта или завершении его использования. Выбор варианта осуществляется до первого варианта, для которого $b_{sd} = 0$ (не занят).

2.2. Интеллектуализация когнитивных систем

Практическое решение задачи интеллектуализации определяется последовательным ответом на несколько основных вопросов.

Первым из указанных вопросов является: «Каков онтологический генезис творчества?». Исследования, проведенные авторами, показали [7], что ответ на данный вопрос зависит от того, является ли мир детерминированным, в котором все события связаны причинно-следственными связями, все явления (теоретически) могут быть объяснены (по крайней мере качественно). Если мир детерминирован, то в основе творчества лежит использование изоморфизма его форм и законов, на практике реализуемое в виде применения аналогий, принципа подобия или традуктивных умозаключений. Изоморфизм мироздания может быть формализован в виде коллекций паттернов – логических конструкций, представляющих собой шаблоны широко распространенных форм и отношений систем [8]. Дополнением паттернов в познании являются вторичные свойства и законы объектов [9], [10], определяемые из практики познания и описывающие поведение недетерминированных объектов познания.

Однако, даже вложив в искусственную когнитивную систему паттерны, вторичные свойства и законы, невозможно получить систему, способную решать интеллектуальные задачи. Паттерны, вторичные свойства и законы, наряду с методами обработки исходных данных, вычислительными и логическими алгоритмами, алгоритмами нечеткой логики и т.д., являются лишь инструкциями по решению задач. Для их использования необходим соответствующий инструмент. Для естественных когнитивных систем таким инструментом является человеческий мозг.

В связи с этим возникает следующий вопрос: «Как используются паттерны, вторичные свойства и законы для решения интеллектуальных задач?». Ранее авторы предложили интерпретацию информационной концепции сознания [5], согласно которой опосредование информационных объектов в сознании осуществляется с помощью нейронных схем – нейрофизиологических механизмов, которые можно представить в виде схем, элементами которых являются

нейроны, связанные каналами (маршрутами передачи сигналов) в составе нейронной сети. Совокупности нейронных схем и режимов их функционирования являются основой для формирования нейрофизических паттернов – физических носителей инструкций, в том числе паттернов форм и отношений (а также вторичных свойств и законов), используемых при решении интеллектуальных задач. Аналогичные нейрофизические паттерны могут формироваться в искусственных когнитивных системах.

Определение возможных вариантов технической реализации нейрофизических паттернов – следующий вопрос, ответ на который необходим для решения задачи интеллектуализации когнитивных систем. Исходной системой, от строения и механизмов функционирования необходимо отталкиваться при решении любых проблем создания любых когнитивных систем – это человеческое сознание. Нейронные схемы, необходимые для формирования информационных объектов в человеческом сознании, физически реализуются на уровне клеток мозга – нейронов (и других вспомогательных клеток).

Отличительными особенностями нейронных схем, по мнению авторов, являются:

– вариативность, т.е. возможность включения в нейронную схему различных нейронов в зависимости от решаемой задачи или создаваемого информационного объекта в сознании;

– гетерогенность, т.е. разнородность используемых в нейронных схемах элементов (нейронов), различающихся по размеру, функциям, каналам связи, степени автономности;

– фиксация, т.е. формирование постоянных и неизменяемых комплексов нейронов, выполняющих часто повторяющиеся (типовые) задачи. Фиксация может реализовываться на уровне выполнения инструкции (согласно которой определенные нейроны всегда включены в алгоритмы для конкретной нейронной схемы), либо на уровне физического носителя (за счет физического соединения нейронов). Примером фиксации на уровне физического носителя является, образование сложных клеток зрительной коры головного мозга, выполняющих эффективное распознавание образов [11].

Для совокупности реализуемых нейронных схем как функциональной характеристики мозга или иного физического носителя сознания (например, в виде нейронной сети) значимым свойством также является избыточность: количество элементов (нейронов), намного превышает потребное для решения отдельной задачи. Это дает возможность одновременного построения множества нейронных схем для решения одной и той же или разных задач, реализуя как один и тот же, так и различные алгоритмы.

Свойства вариативности, гетерогенности, фиксации и избыточности, присущие естественным когнитивным системам, также могут быть приданы искусственным когнитивным системам. Только в этом случае можно ожидать от искусственной когнитивной системы сопоставимых с естественной когнитивной системой интеллектуальных возможностей. При этом некоторые корректировки подходов, вероятно, возможны. Естественные когнитивные системы формировались в связи с существованием человека в природной и социальной среде, что делало приоритетным обеспечение выживаемости. Отличительные особенности естественных когнитивных систем соответствуют достижению выживаемости, в частности в условиях частичного поражения (разрушения) когнитивной системы, многозадачности и необходимости функционировать в режиме реального времени. Являются ли исходные требования для искусственных когнитивных систем тождественными? Вероятно, нет, однако (в большинстве случаев) они достаточно близки. Это означает, что для когнитивных систем указанные особенности не являются обязательными во всех случаях, но определение средств и методов их обеспечения в тех случаях, когда это требуется, должно быть реализовано.

2.3. Программная и аппаратная реализация когнитивной системы

Практическая реализация когнитивной системы, способной к решению сложных интеллектуальных задач, может быть обеспечена только при использовании нейронных сетей. В случае искусственных когнитивных систем необходимо использовать искусственные нейронные сети, реализация которых имеет два основных варианта: программную реализацию и аппаратную реализацию.

Подавляющее большинство современных искусственных нейронных сетей составляют решения, основанные на программной реализации. Более того, современное определение искусственной нейронной сети квалифицирует ее в первую очередь как математическую модель. Эта модель имеет программную реализацию, которая, в свою очередь, основана на соответствующей аппаратной реализации информационной системы. На технические средства аппаратной реализации не накладывается никаких структурных или архитектурных ограничений – архитектура нейронной сети формируется в виде совокупности информационных объектов, не привязанных к конкретному физическому носителю.

Программная реализация нейронной сети имеет очевидное преимущество: возможность построения на основе сравнительно несложных логических элементов (соответствующих обычному процессору компьютера); применение нейроморфных или квантовых чипов не является обязательным. Недостатком программной реализации (примером которой является симулятивная акторная модель для когнитивной системы [12]) является заведомо меньшее быстродействие и достоверность результатов. Особенно сильно быстродействие снижается при использовании в качестве основы для искусственной нейронной сети вычислительных машин с архитектурой фон Неймана, реализующих последовательное выполнение операций.

Программно-реализуемые искусственные нейронные сети находят свое применение для решения широкого круга задач управления и прогнозирования. Более того, для выполнения сложных алгоритмов прогнозирования (например, основанных на использовании ряда Вольтерра [13]), в настоящее время может использоваться только искусственная нейронная сеть с программной реализацией.

Аппаратная реализация искусственной нейронной сети имеет в настоящее время несколько основных вариантов [14]: на базе сигнального, нейросигнального, систолического процессора, процессора с каскадной архитектурой, на базе аналоговых СБИС (сверхбольших интегральных схем) и на базе программируемых пользователем вентильных

матриц (ПЛИС) [15]. Искусственные нейронные сети на базе ПЛИС, в частности, могут использоваться в системах машинного зрения [16].

Аппаратная реализация искусственной нейронной сети в целом характеризуется более высоким быстродействием и надежностью работы по сравнению с программной реализацией. При этом (за исключением решения на базе ПЛИС) аппаратная реализация больших искусственных нейронных сетей связана с существенными сложностями.

Для сигнальных процессоров характерна плохая масштабируемость, для нейросигнальных – существенные задержки сигнала, в систолических – нехватка памяти, что снижает производительность, для процессоров с каскадной архитектурой требуется много периферийных модулей [17]. Существенная часть указанных проблем может быть решена при использовании мемристорной электронной компонентной базы. В настоящее время имеются решения в области построения высокопроизводительных вычислений на базе мемристорной ЭКБ [18], ведутся работы по созданию искусственных нейронных сетей на основе мемристоров [19], [20].

Нейросети, построенные на базе аналоговых СБИС, потенциально имеют наиболее высокое быстродействие, ограниченное только частотными характеристиками усилителей. К числу основных недостатков архитектуры на базе аналоговых СБИС относятся усложнение алгоритмов обучения, высокие требования к постоянству температуры и напряжения.

Конечной целью функционирования когнитивной системы является формирование сознания – информационной среды, в которой реализуется расширенная модель реальности. В свою очередь, информационная среда – это система, образованная из информационных объектов, представляющих собой отражения (фиксированные или обновляемые) свойств реальных объектов [5].

В рамках данной информационной концепции сознания различие между программно-реализуемой и аппаратно-реализуемой нейронными сетями заключается в том, насколько однозначным (определенным) является соответствие между элементами физического носителя сознания (человеческого мозга или искусственной нейронной сети) и информационными объектами в сознании.

В случае аппаратной реализации такое соответствие является четко выраженным: элементы аппаратной реализации соотносятся с определенными нейронными схемами, а через них с информационными объектами в сознании. В качестве элементов аппаратной реализации могут выступать ядра (микропроцессоры) или логические элементы. Процессор (например, центральный процессор компьютера) не может рассматриваться в качестве элемента аппаратной реализации, поскольку представляет собой сложное и многофункциональное устройство по обработке информации, которое в общем случае не может быть сведено к какой-либо одной нейронной схеме.

В случае программной реализации носитель сознания непосредственно генерирует информационную среду – виртуальную реальность, в которой существуют информационные объекты. При этом генерация информационной среды может осуществляться неоптимально, в том числе на основе последовательного выполнения логических операций и операций обращения к памяти.

2.4. Определение подходов к созданию когнитивных систем

Анализ существующих подходов к решению задач обеспечения параллельности выполнения операций и интеллектуализации искусственных когнитивных систем показывает значительные перспективы аппаратной реализации искусственной нейронной сети с обеспечением параллельности на уровне логических элементов. При этом отсутствуют какие-либо ограничения для использования (при очень больших объемах вычислений) параллельности, помимо уровня логических элементов, также и на уровне ядер или процессора. Прямым аналогом для данной ситуации является подключение к работе над какой-либо проблемой вместо одного человека коллектива исполнителей. Аналогом человека при этом выступает аппаратно-реализованная искусственная нейронная сеть с параллельностью выполнения операций на уровне логических элементов.

Ранее нами были статифицированы отличительные особенности, которыми должны обладать нейронные схемы: вариативность, гетерогенность, фиксация и избыточность. Все эти свойства могут быть наилучшим образом обеспечены при аппаратной реализации параллельности выполнения операций на уровне логических элементов.

В долгосрочной перспективе данный вариант реализации когнитивных систем, вероятно, не имеет достойной альтернативы. Также данный вариант является оптимальным для большинства когнитивных систем, используемых в настоящее время для управления технологическим оборудованием, технологическими процессами, производством, транспортом и др. системами, не относящимися к числу наиболее сложных.

Некоторая неопределенность имеется только в отношении сравнительно узкого сегмента систем, служащих для решения наиболее сложных интеллектуальных задач. Такие задачи связаны с формированием многопараметрических динамических информационных систем, для которых в настоящее время сложно определить элементарные алгоритмы преобразования данных. Алгоритмы выполнения операций преобразования данных в процессе решения интеллектуальных задач в значительной степени обобщены и опираются на иерархию определяющих их алгоритмов более низкого уровня, которые известны, но в полном объеме (с определением всех элементов и связей) не могут быть детерминированы. В результате для решения наиболее сложных интеллектуальных задач целесообразно использовать программную реализацию искусственных нейронных сетей, которые имеют меньшее быстродействие, но обладают существенно большими функциональными возможностями (по крайней мере при текущем уровне развития).

В процессе решения сложных интеллектуальных задач естественной нейронной сетью (человеческим мозгом) реализация процесса мышления происходит несколько иначе, чем при использовании искусственной нейронной сети. Внешне человеческое мышление выглядит так, как будто в процессе мышления человек оперирует обобщенными понятиями, известными зависимостями и т.д., то есть имеет место опора в мышлении на инструменты теории познания. В действительности это не так. Образы и представления, которые возникают в человеческом сознании, – лишь отражения процессов, которые осуществляются на физическом уровне в мозге. Постоянные, часто повторяющиеся или спонтанные каналы связи между нейронами человеческого мозга, активируемые (внутренними

процессами в организме и внешними раздражителями) нейронные схемы и т.д. порождают активность мозга, которая отображается в сознании в виде мышления.

Между механизмами формирования естественных и искусственных когнитивных систем имеется фундаментальное различие. Это различие заключается в том, что естественные когнитивные системы образуются в результате процесса самоорганизации материи, которую в рамках теории познания мы описываем как эволюцию. Однако самоорганизацию материи мы можем лишь описывать (причем, упуская существенную часть деталей). При этом порядок самоорганизации не может быть регламентирован теорией познания (и связанной с ней наукой). В результате, для естественных когнитивных систем вопрос о соотношении информационных объектов в сознании, с одной стороны, и реальных физических процессов (в мозге), с другой стороны, не возникает. Информационные объекты нереальны и являются результатом осмысления реальности (то есть продуктом теории познания) и никак не могут на нее влиять, в частности определять формирование реальных физических процессов в мозге. В случае естественной когнитивной системы мы имеем дело с констатацией складывающейся ситуации: какие-то физические процессы порождают информационные объекты и отображаются в сознании в виде процесса мышления. При этом, за исключением простейших случаев, мы не можем определить каким образом это происходит.

Искусственные когнитивные системы, напротив, – продукт теории познания и науки. Они формируются на основе обобщенных понятий, знаний, построенных по иерархическому принципу (когда одни понятия объясняются через другие). Другими словами, при создании искусственных когнитивных систем решается обратная задача синтеза – задача определения реальных физических процессов, которые обеспечат возникновение требуемых информационных объектов. Как известно, в общем случае обратные задачи синтеза, когда параметры модели определяются исходя из наблюдаемых данных, не имеют однозначного решения [21].

Указанная дилемма имеет два возможных решения. Первое решение основывается на построении когнитивной системы в виде модели реальности (например, физически реализованной нейронной сети), которая детерминирована, но существенно ограничена комплексом задаваемых в ней параметров элементов и их связей. Ограниченность модели неизбежно приводит к сокращению функциональных возможностей, в частности, неспособности искусственной когнитивной системы к решению наиболее сложных интеллектуальных задач.

Второе решение (соответствующее программной реализации когнитивных систем) основывается на построении когнитивной системы в виде программной модели, элементами которой являются информационные объекты. Когнитивная система, построенная из информационных объектов с изменяющимися параметрами, обладает несоизмеримо большей вариативностью и позволяет для ее синтеза вместо решения обратной задачи решать прямую задачу. Для этого строится симулякр – двух- или более уровневая модель, состояние которой является результатом взаимодействий составляющих ее информационных объектов.

По мере углубления имеющихся знаний о взаимосвязи объектов реального мира, познанию которых служат когнитивные системы, эффективность первого из предложенных решений будет повышаться. В результате станут возможными определения нейронных схем, задействование которых через воспроизводимые ими паттерны и законы порождает сложные информационные объекты. В какой степени возможно замещение второго решения для различных задач познания – вопрос, не имеющий достоверного ответа. Вероятно, что на обозримую перспективу оба варианта решения будут сохранять свою актуальность.

Заключение

Проведенный в статье анализ проблематики когнитивных систем позволяет сделать следующие выводы:

1. Ключевым фактором построения высокотехнологичного производства в настоящее время является использование искусственных когнитивных систем реального времени.
2. Для формирования искусственных когнитивных систем должны быть решены две фундаментальные задачи: обеспечение работы с большими объемами данных в реальном времени; интеллектуализация когнитивных систем, т.е. наделение их способностью решать интеллектуальные (творческие) задачи.
3. Приоритетным направлением решения задачи обеспечения работы с большими объемами данных в реальном времени является параллельное выполнение операций обработки информации.
4. Реализация информационно-вычислительных систем с параллельной обработкой данных может основываться на реализации параллельности на различных уровнях: на уровне процессоров, физических ядер или логических элементов. Значимым фактором при реализации параллельности, также влияющим на достижение интеллектуализации когнитивной системы, является обеспечение избыточности элементов.
5. Если исходить из предположения о детерминированности мира, то практическое достижение интеллектуализации искусственной когнитивной системы требует использования паттернов форм и законов, а также выявленных (в процессе познания объектов) вторичных законов и свойств. Инструментом, позволяющим использовать паттерны, вторичные законы и свойства является искусственная когнитивная система в виде искусственной нейронной сети, в которой формируются нейронные схемы и нейрофизические паттерны.
6. Отличительными особенностями нейронных схем, необходимыми для реализации сложной интеллектуальной деятельности, являются вариативность, гетерогенность, фиксация, а также избыточности (для совокупности реализуемых нейронных схем как функциональной характеристики физического носителя сознания).
7. Практическая реализация искусственной когнитивной системы базируется на использовании искусственных нейронных сетей, которые, в свою очередь, имеют два варианта реализации. Они могут быть аппаратно-реализуемыми или программно-реализуемыми. Каждый из вариантов имеет свои достоинства и недостатки. Аппаратная реализация в целом имеет более высокую надежность и быстродействие, однако для наиболее сложных интеллектуальных задач, решаемых с использованием сложных иерархических нейронных схем, практическое использование аппаратной реализации на обозримую перспективу недостижимо.

8. Определение уровня реализации параллельности выполнения операций с данными – задача, решение которой не связано с существенными сложностями. Приоритетным является использование параллельности на уровне логических элементов. При этом (при необходимости, например, при очень больших объемах вычислений) дополнительно параллельность может использоваться на уровне ядер и процессоров.

Таким образом, можно констатировать, что поставленная цель определения подходов к созданию искусственных когнитивных систем, основанная на решении задач обеспечения работы системы с большим объемом данных в режиме реального времени и интеллектуализации системы, является достижимой при современном уровне технологий.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Артамонов В.А., Международная академия информационных технологий (МНОО "МАИТ"), Минск, Беларусь
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.140.1>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Артамонов V.A., International Academy of information technologies, Minsk, Belarus
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.140.1>

Список литературы / References

1. Философия: Энциклопедический словарь / Под ред. А.А. Ивина. — М.: Гардарики, 2004. — 1072 с.
2. Nirenburg S. Cognitive Systems as Explanatory Artificial Intelligence / S. Nirenburg // Language Production, Cognition, and the Lexicon. Text, Speech and Language Technology / Ed. by N. Gala, R. Rapp, G. Bel-Enguix. — 2015. — Vol 48. — P. 37-49.
3. Robledo-Castro C. Artificial Cognitive Systems Applied in Executive Function Stimulation and Rehabilitation Programs: A Systematic Review / C. Robledo-Castro, L.F. Castillo-Ossa, J.M. Corchado // Arabian Journal for Science and Engineering. — 2013. — Vol 48. — P. 2399-2427.
4. Jones D. Artificial Cognitive Systems: the Next Generation of the Digital Twin. An opinion / D. Jones // Digital Twin. — 2021. — F1000.
5. Грибков А.А. Определение сознания, самосознания и субъектности в рамках информационной концепции / А.А. Грибков, А.А. Зеленский // Философия и культура. — 2023. — №12. — С. 1-14
6. Пруцков А.В. Современные проблемы систем искусственного интеллекта / А.В. Пруцков // Cloud of Science. — 2020. — Т. 7. — №4. — С. 897-904
7. Грибков А.А. Общая теория систем и креативный искусственный интеллект / А.А. Грибков, А.А. Зеленский // Философия и культура. — 2023. — №11. — С. 32-44
8. Грибков А.А. Паттерны и примитивы эмпирико-метафизической общей теории систем / А.А. Грибков // Общество: философия, история, культура. — 2023. — №5. — С. 15-22
9. Грибков А.А. Определение вторичных законов и свойств объектов в общей теории систем. Часть 1. Методологический подход на основе классификации объектов / А.А. Грибков // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. — 2023. — Т. 12. — №5-6А. — С. 17-30
10. Грибков А.А. Определение вторичных законов и свойств объектов в общей теории систем. Часть 2. Методологический подход на основе классификации паттернов / А.А. Грибков // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. — 2023. — Т. 12. — №9А. — С. 5-15
11. De Vries S.E.J. A Large-scale Standardized Physiological Survey Reveals Functional Organization of the Mouse Visual Cortex / S.E.J. de Vries, J.A. Lecoq, M.A. Buice [et al.] // Nature Neuroscience. — 2020. — Vol. 23. — P. 138-151
12. Зеленский А.А. Акторное моделирование когнитивных систем реального времени: онтологическое обоснование и программно-математическая реализация / А.А. Зеленский, А.А. Грибков // Философская мысль. — 2024. — №1. — С. 1-12.
13. Пучков Е.В. Программная реализация искусственной нейронной сети на основе ряда Вольтерра / Е.В. Пучков, В.А. Алексеев // Программные продукты, системы и алгоритмы. — 2016. — №4. — С. 1-7
14. Грибачев В. Элементная база аппаратных реализаций нейронных сетей / В. Грибачев // Компоненты и Технологии. — 2006. — №61. — С. 100-103
15. Деменкова Т.А. Аппаратная реализация нейронных сетей / Т.А. Деменкова, Е.В. Шпиева // Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем: сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции, г. Москва, 13-17 ноября 2017 года. — М.: МИРЭА, 2017. — С. 499-505
16. Крышнев Ю.В. Аппаратная реализация искусственной нейронной сети на FPGA для распознавания написанных от руки цифр / Ю.В. Крышнев, В.И. Соболев // Современные проблемы машиноведения: материалы XIII Международной научно-технической конференции. — Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2020. — С. 165-167
17. Сазонов С.Н. Аппаратная реализация искусственной нейронной сети / С.Н. Сазонов, А.И. Шурупова // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 54-й научно-технической конференции. В 3 ч., Ульяновск, 27 января 2020 года. — Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2020. — С. 152-155

18. Михайлов А.Н. На пути к реализации высокопроизводительных вычислений в памяти на основе мемристорной электронной компонентной базы / А.Н. Михайлов, Е.Г. Грязнов, В.И. Лукоянов [и др.] // Физмат. — 2023. — Т. 1. — №1. — С. 42-64
19. Щаников С. Искусственная нейронная сеть на основе мемристивных устройств для двунаправленного адаптивного нейронинтерфейса / С. Щаников, А. Зуев, И. Борданов [и др.] // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. — 2020. — №9 (00200). — С. 86-95
20. Semenishchev E. Preprocessing and Classification of Objects Based on Neural Network Models Built Using Memristors' Elements / E. Semenishchev, S. Zhukov, V. Voronin [et al.] // Proceedings of SPIE. — Beijing: The International Society for Optical Engineering, 2023. — P. 127691
21. Макаров А.Д. Алгоритм решения прямой и обратной задачи в контексте методов сравнительного анализа и синтеза / А.Д. Макаров, О.В. Шайдаров // Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-западного федерального округа России. — 2021. — № 1(52). — С. 61-75

Список литературы на английском языке / References in English

1. Filosofija: Jenciklopedicheski slovar' [Philosophy: Encyclopaedic Dictionary] / Ed. by A.A. Ivin. — M.: Gardariki, 2004. — 1072 p. [in Russian]
2. Nirenburg S. Cognitive Systems as Explanatory Artificial Intelligence / S. Nirenburg // Language Production, Cognition, and the Lexicon. Text, Speech and Language Technology / Ed. by N. Gala, R. Rapp, G. Bel-Enguix. — 2015. — Vol 48. — P. 37-49.
3. Robledo-Castro C. Artificial Cognitive Systems Applied in Executive Function Stimulation and Rehabilitation Programs: A Systematic Review / C. Robledo-Castro, L.F. Castillo-Ossa, J.M. Corchado // Arabian Journal for Science and Engineering. — 2013. — Vol 48. — P. 2399-2427.
4. Jones D. Artificial Cognitive Systems: the Next Generation of the Digital Twin. An opinion / D. Jones // Digital Twin. — 2021. — F1000.
5. Gribkov A.A. Opredelenie soznaniya, samosoznaniya i sub'ektnosti v ramkah informacionnoj koncepcii [Definition of Consciousness, Self-consciousness and Subjectivity within the Information Concept] / A.A. Gribkov, A.A. Zelenskij // Filosofija i kul'tura [Philosophy and Culture]. — 2023. — №12. — P. 1-14 [in Russian]
6. Pruckov A.V. Sovremennye problemy sistem iskusstvennogo intellekta [Modern Problems of Artificial Intelligence Systems] / A.V. Pruckov // Cloud of Science. — 2020. — Vol. 7. — №4. — P. 897-904 [in Russian]
7. Gribkov A.A. Obshhaja teorija sistem i kreativnyj iskusstvennyj intellekt [General Systems Theory and Creative Artificial Intelligence] / A.A. Gribkov, A.A. Zelenskij // Filosofija i kul'tura [Philosophy and Culture]. — 2023. — №11. — P. 32-44 [in Russian]
8. Gribkov A.A. Patterny i primitivy jempiriko-metafizicheskoj obshhej teorii sistem [Patterns and Primitives of Empirical and Metaphysical General Theory of Systems] / A.A. Gribkov // Obshhestvo: filosofija, istorija, kul'tura [Society: Philosophy, History, Culture]. — 2023. — №5. — P. 15-22 [in Russian]
9. Gribkov A.A. Opredelenie vtorichnyh zakonov i svojstv ob'ektov v obshhej teorii sistem. Chast' 1. Metodologicheskij podhod na osnove klassifikacii ob'ektov [Definition of Secondary Laws and Properties of Objects in General Systems Theory. Part 1. Methodological approach on the basis of object classification] / A.A. Gribkov // Kontekst i refleksija: filosofija o mire i cheloveke [Context and Reflexion: Philosophy about the World and Man]. — 2023. — Vol. 12. — №5-6A. — P. 17-30 [in Russian]
10. Gribkov A.A. Opredelenie vtorichnyh zakonov i svojstv ob'ektov v obshhej teorii sistem. Chast' 2. Metodologicheskij podhod na osnove klassifikacii patternov [Definition of Secondary Laws and Properties of Objects in General Systems Theory. Part 2. Methodological Approach Based on the Classification of Patterns] / A.A. Gribkov // Kontekst i refleksija: filosofija o mire i cheloveke [Context and Reflexion: Philosophy about the World and Man]. — 2023. — Vol. 12. — №9A. — P. 5-15 [in Russian]
11. De Vries S.E.J. A Large-scale Standardized Physiological Survey Reveals Functional Organization of the Mouse Visual Cortex / S.E.J. de Vries, J.A. Lecoq, M.A. Buice [et al.] // Nature Neuroscience. — 2020. — Vol. 23. — P. 138-151
12. Zelenskij A.A. Aktornoe modelirovanie kognitivnyh sistem real'nogo vremeni: ontologicheskoe obosnovanie i programmno-matematicheskaja realizacija [Actor Modelling of Real-Time Cognitive Systems: Ontological Justification and Mathematical and Software Implementation] / A.A. Zelenskij, A.A. Gribkov // Filosofskaja mysl' [Philosophical Thought]. — 2024. — №1. — P. 1-12. [in Russian]
13. Puchkov E.V. Programmnaja realizacija iskusstvennoj nejronnoj seti na osnove rjada Vol'terra [Software Implementation of Artificial Neural Network based on Volterra Series] / E.V. Puchkov, V.A. Alekseev // Programmnye produkty, sistemy i algoritmy [Software Products, Systems and Algorithms]. — 2016. — №4. — P. 1-7 [in Russian]
14. Gribachev V. Jelementnaja baza apparatnyh realizacij nejronnyh setej [Element Base of Hardware Implementations of Neural Networks] / V. Gribachev // Komponenty i Tehnologii [Components and Technologies]. — 2006. — №61. — P. 100-103 [in Russian]
15. Demenkova T.A. Apparatnaja realizacija nejronnyh setej [Hardware Implementation of Neural Networks] / T.A. Demenkova, E.V. Shpieva // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya radiotekhnicheskikh i infokommunikacionnyh sistem: sbornik nauchnyh trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Moskva, 13-17 nojabrja 2017 goda [Current Problems and Prospects of Development of Radio Engineering and Info-communication Systems: a collection of scientific papers of the III International Scientific and Practical Conference, Moscow, 13-17 November 2017]. — M.: MIRJeA, 2017. — P. 499-505 [in Russian]
16. Kryshnev Ju.V., Sobolev V.I. Apparatnaja realizacija iskusstvennoj nejronnoj seti na FPGA dlja raspoznavaniya napisannyh ot ruki cifr [Hardware Implementation of Artificial Neural Network on FPGA for Recognition of Handwritten

Digits] / Ju.V. Kryshnev, V.I. Sobolev // *Sovremennye problemy mashinovedenija: materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* [Modern Problems of Machine Learning: Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference]. — Gomel: GSTU named after P.O. Suhoy, 2020. — P. 165-167 [in Russian]

17. Sazonov S.N. Apparatnaja realizacija iskusstvennoj neyronnoj seti [Hardware Implementation of Artificial Neural Network] / S.N. Sazonov, A.I. Shurupova // *Vuzovskaja nauka v sovremennyh uslovijah: sbornik materialov 54-j nauchno-tehnicheskoy konferencii. V 3 ch., Ul'janovsk, 27 janvarja 2020 goda* [University Science in Modern Conditions: Proceedings of the 54th Scientific and Technical Conference. In 3 parts, Ulyanovsk, 27 January 2020]. — Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2020. — P. 152-155 [in Russian]

18. Mihajlov A.N. Na puti k realizacii vysokoproizvoditel'nyh vychislenij v pamjati na osnove memristornoj jelektronnoj komponentnoj bazy [On the Way to the Realization of High-Performance Computations in Memory on the Basis of Memristor Electronic Component Base] / A.N. Mihajlov, E.G. Grjaznov, V.I. Lukojanov [et al.] // *Fizmat [Physmat]*. — 2023. — Vol. 1. — №1. — P. 42-64 [in Russian]

19. Shhanikov S. Iskusstvennaja neyronnaja set' na osnove memristivnyh ustrojstv dlja dvunapravlennogo adaptivnogo nejrointerfejsa [Artificial Neural Network based on Memristive Devices for Bidirectional Adaptive Neurointerface] / S. Shhanikov, A. Zuev, I. Bordanov [et al.] // *Jelektronika: Nauka, Tehnologija, Biznes [Electronics: Science, Technology, Business]*. — 2020. — №9 (00200). — P. 86-95 [in Russian]

20. Semenishchev E. Preprocessing and Classification of Objects Based on Neural Network Models Built Using Memristors' Elements / E. Semenishchev, S. Zhukov, V. Voronin [et al.] // *Proceedings of SPIE*. — Beijing: The International Society for Optical Engineering, 2023. — P. 127691

21. Makarov A.D. Algoritm reshenija prjamoj i obratnoj zadachi v kontekste metodov sravnitel'nogo analiza i sinteza [An Algorithm for Solving Direct and Inverse Problem in the Context of Comparative Analysis and Synthesis Methods] / A.D. Makarov, O.V. Shajdarov // *Regional'nye aspekty upravlenija, jekonomiki i prava Severo-zapadnogo federal'nogo okruga Rossii* [Regional Aspects of Management, Economics and Law of the North-West Federal District of Russia]. — 2021. — № 1(52). — P. 61-75 [in Russian]