

ИСКУССТВЕННЫЕ КОГНИТИВНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ И ОБУЧАЕМЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В.А. Филиппов,
Генеральный директор ООО «ТАСО»,
vadim@taso.pro

В основе всех существующих компьютеров лежит архитектура с разделенным процессингом и памятью. Ее принципиальным ограничением является неспособность к самостоятельному ассоциированию и синтезу нового знания. Сегодня, в результате прогресса нейронаук, роста производительности суперкомпьютеров и появления обучаемых наноматериалов начался переход к новой архитектурной парадигме – ассоциативным искусственным когнитивным системам, способным к самообучению и синтезу нового знания путем ассоциативной рекомбинации полученной информации. Под *«искусственными когнитивными системами» (ИКС)* здесь понимаются технические системы, способные к познанию и поведению для решения существующих проблем в условиях реального мира, включая распознавание образов, понимание смысла и контекстуального значения информации, мышление, самостоятельное усвоение знаний из различных источников, обучение, а в необходимых случаях – субъективную оценку информации. Базовой технологией реализации ИКС являются *нейроморфные (подобные организации живой нервной системы), кортикоморфные (подобные организации коры головного мозга) искусственные нейронные сети и генноморфные (подобные генетическим и эпигенетическим механизмам организмов)* алгоритмы управления развитием и размножением таких систем. ИКС будут созданы на всех видах платформ: в виде специализированных систем на базе суперкомпьютеров, в виде распределенных систем в глобальных и корпоративных компьютерных сетях, в виде автономных технических устройств и роботов, в виде систем управления крупными технологическими комплексами и соединениями, в виде микросистем и наноконструкций, а также в виде киберорганических систем. Для всех этих платформ существуют два основных способа реализации ИКС – в виде программ на базе суперкомпьютеров и в виде электронных устройств и роботов на основе обучаемых наноматериалов.

Программная реализация искусственных когнитивных систем на базе суперкомпьютерных вычислительных систем. Решающее значение для успеха создания ИКС имеет построение в параллельной программной среде моделей кортикальных колонок и коры мозга,

успешно выполняющих когнитивные операции и функции. *Кортикальная колонка – типовой повторяющийся модуль коры мозга, расположенный перпендикулярно к ее поверхности и связанный с другими кортикальными колонками и отделами мозга, регулирующими активность коры.* К настоящему времени на базе суперкомпьютеров созданы программные модели кортикальной колонки, обеспечивающие ассоциативную обработку различных комбинаций входящих сигналов, относящихся к ранее усвоенным знаниям системы. Модели кортикальной колонки выстраиваются в иерархическую последовательность искусственной коры, которая обеспечивает конвергенцию (ассоциативные поля) и дивергенцию (моторные поля) сигналов. Основными зарубежными проектами программной реализации ИКС являются европейский проект моделирования мозга человека «Human Brain Project» (основанный на результатах проекта моделирования кортикальной колонки «Blue Brain Project»), американская президентская инициатива BRAIN, проект разработки вопросно-ответной системы контентной аналитики DeepQA «Watson» корпорации IBM, проекты создания облачного программного ассистента «Siri» корпорации Apple и нейросетевого искусственного интеллекта компании Google, японские проекты под патронажем JST, канадский проект «Sprain» и др. Созданию ИКС, в т.ч. в форме программной реализации, были посвящены 42 из 218 программ Агентства передовых оборонных исследовательских проектов (DARPA) и 21 из 29 программ Агентства передовых исследовательских проектов разведки (IARPA) США, реализовавшихся в 2012 г. В июле 2013 г. IARPA опубликован запрос на технологии создания программных моделей коннэктома и функций кортикальной колонки как первичного модуля коры.

В России работы по программной реализации ИКС ведут Институт программных систем РАН имени А.К. Айламазяна, НИЦ «Курчатовский институт», Российский НИИ искусственного интеллекта, Вычислительный центр РАН им. А. А. Дородницына, Институт проблем информатики РАН, Институт вычислительной математики РАН, Институт систем обработки изображений РАН, Институт проблем передачи информации РАН им. А. А. Харкевича, Институт системного анализа РАН, НИИ системных исследований РАН и др.

В частности, высокотехнологичным предприятием ТАСО построены модели кортикальной колонки и состоящей из них искусственной коры - *кортикоморфные нейросети ТАСО*. Вся сеть построена как ламинарная структура, состоящая из вертикально ориентированных колонок с четкими функциональными ролями слоев в них. В рамках каждой колонки обеспечивается запоминание семантических объектов, их припоминание с учетом введенного ассоциативного основания (логика),

самостоятельное продолжающееся ассоциирование системы после завершения ввода извне, ветвление ассоциаций, торможение неправильного, забывание несущественного, различные виды системной реконсолидации памяти, синтез знания как ассоциативная рекомбинация и другие когнитивные функции. Основным смыслом создаваемых нами моделей кортикальных колонок – их способность обрабатывать все существующие типы ассоциативных оснований – последовательностей сигналов, поступающих на вход нейросети и соотносимых с ранее введенными в систему последовательностями, т.е. отношение внешнего ввода к ранее усвоенным знаниям системы. Важным элементом кортикальной колонки являются кодирующие различные семантические объекты афферентно-инвариантные нейроны (АИН, «нейроны бабушки»), способные откликаться на определенную структуру своего рецептивного поля (т.е. на инвариантную афферентацию). Прототипом таких нейронов в живом мозге являются большие и малые пирамидальные нейроны. По мере углубления обработки данных АИН могут образовывать самые различные миксированные семантические и моторно-семантические аттракторы. Иерархия последовательно и параллельно соединенных ассоциативных и моторных колонок образует разные функциональные поля и регионы искусственной коры (кортикоморфную нейросетевую архитектуру). С кортикальными колонками связаны «подкорковые ядра» управления и синхронизации, включая нейроны новизны, нейроны пермиттеры, маркеры, регистраторы, организаторы, пейсмекеры, процедурные нейроны и мн. др. типов специализированных нейронов. Построенные кортикоморфные искусственные нейросети способны обеспечивать:

- Распознавание и понимание (прямое и контекстуальное ассоциирование с дефинициями) различных фрагментов текста (слов, морфем, слов, предложений, групп предложений) или иных последовательностей сигналов.
- Обучение в ходе диалога с пользователем или самостоятельного чтения сигналов путем консолидации, активации и реконсолидации следа памяти.
- Способность принимать во внимание всю структуру введенной информации (ассоциативного основания) для обеспечения логики рассуждений.
- Обработка всех существующих типов ассоциативных оснований (отношений внешних запросов к ранее усвоенным знаниям системы).
- Корректное ветвление возникающих ассоциаций.
- Самостоятельное продолжающееся ассоциирование на основе введенного текста и прогнозирование.

- Синтез нового знания путем ассоциативной рекомбинации известного.
- Недопущение ошибочных суждений через реализацию обучаемого торможения.
- Фильтрация существенного, способность к образованию вторичных производных смыслов и самостоятельному синтезу новых семантических комбинаций (в т.ч. к словотворчеству).
- Корректный вывод ассоциативной реакции на запрос пользователя или внешний сигнал.
- Возможность усваивать большой объем знаний [1].

Созданные нейросети ТАСО базируются на биоморфных моделях нейронов с многофазным формированием памяти – от моделирования электрохимических процессов для структурных перестроек искусственной клетки [2]. Кроме того, в кортикоморфных нейросетях используются разработанные ТАСО технологии кибергеномики - регулирования развития кибернетических и других искусственных систем посредством моделирования генетического кода, генетической экспрессии и эпигенетики живых организмов [3].

Для поддержки разработки и функционирования создаваемых нейросетей ООО «ТАСО» создан программный комплекс интегрированной интегрированной среды разработки (IDE) нейрогенетических сетей, динамических моделей сложных объектов и искусственных когнитивных систем. Программный комплекс реализован в параллельной версии на основе клиент-серверной архитектуры для суперкомпьютерных кластерных архитектур и обеспечивает:

- создание и поддержку функционирования искусственных биоморфных нейросетей с числом элементов (сом, дендритов, аксонов) в более чем 200 млн. единиц на один эталонный 8-ядерный узел на базе процессоров типа Intel Xeon E5450 (Harpertown) 3.0 ГГц или им подобных.
- скорость обработки данных нейросетью в 5 млн. искусственных синапсов в секунду на 1 ГГц тактовой частоты доступных процессоров.
- отказоустойчивую полностью параллельную среду разработки нейросетей и сложных систем с реализацией распределенной многопроцессорной системы на кластере типа T-Blade на основе MPI и гибридной системы, интегрирующей технологии MPI и OpenMP.
- возможность масштабирования программных мощностей за счет увеличения числа вычислительных узлов кластера [4].

Следует отметить, что программная реализация ИКС на базе суперкомпьютеров с облачным доступом представляется нам той первой формой, в которой и будут созданы сильные искусственные интеллектуальные системы. В целом можно согласиться с выводами с подготовленным по заказу Агентства военной разведки США (DIA) докладом «Перспективные когнитивные нейронауки и связанные с ними технологии» (2008 г.) Национального исследовательского совета (NRC), о том, что по-настоящему интеллектуальные искусственные когнитивные системы, способные к самостоятельному обучению и познанию, могут быть созданы в любой из развитых стран Америки, Европы или Азии в ближайшие 10 лет. При этом ключ прорыва в сфере разработки искусственных когнитивных систем – это создание программных моделей живых нейросистем на базе суперкомпьютеров. Данный подход, по мнению NRC, не только займет меньше всего времени, но и имеет относительно низкую стоимость. Так как высокопроизводительные вычисления стали менее дорогими и более доступными, любая развитая страна сегодня может стать мировым лидером в области когнитивных нейронаук посредством постоянных инвестиций в подготовку талантливых специалистов и развитие необходимой инфраструктуры. Помешать проявить себя в этой нише развитой стране может только скромное финансирование разработок и непонимание значения искусственных когнитивных систем в наступившем веке [5].

Аппаратная реализация искусственных когнитивных систем на базе обучаемых наноматериалов. Она стала возможной после создания *мемристоров - обучаемых наноматериалов, обеспечивающих изменение эффективности ассоциативной связи в результате изменения сопротивления базовой электрической цепи в зависимости от проходящего через него тока.* В настоящее время известно два класса таких материалов: (1) твердотельные неорганические полупроводниковые мемристоры на основе оксидов металлов и кремния, изменение эффективности связи в которых происходит за счет дрейфа легирующих примесей в электрическом поле, и (2) мемристоры на основе органических материалов, изменение эффективности связи в которых обеспечивается в результате окислительно-восстановительных реакций. Мемристоры являются первым неживым аналогом живых межнейронных соединений – синапсов. В России неорганические мемристоры получены на установках НТ-МДТ «Нанофаб-100» в Тюменском государственном университете (диоксид титана, апрель 2012 г.), в НИЦ «Курчатовский институт» и в НИИ Физических проблем им. Ф.В. Лукина. Органические полимерные и композитные мемристоры разрабатываются в Институте элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН и в НИУ «МИЭТ». За рубежом работы по созданию мемристорной элементной

базы ведутся по программе DARPA «Системы нейроморфной электроники со свойствами пластичности» («SyNAPSE»), реализуемой корпорациями Hewlett-Packard, IBM и Hughes Research, а также в рамках проекта IBM «Создание когнитивного компьютера на базе синаптроники и суперкомпьютеров» («C2S2»), в результате которого по планам IBM должны появиться новый класс технологий (ИКС), новая вычислительная архитектура и новые отрасли промышленности. В августе 2013 г. запрос на технологии кортикального процессора опубликовало DARPA.

Дорожная карта работ по созданию ИКС. Создание ИКС требует проектного подхода, увязывающего усилия многих организаций по следующим основным направлениям.

(1) Развитие параллельных программных средств разработки и функционирования ИКС в форме программных моделей на базе суперкомпьютеров. Предстоит обеспечить поддержку программным обеспечением для разработки нейросетей перспективных вычислительных устройств (NVIDIA Fermi, Intel Xeon Phi и др.), обработку сенсорной информации, управление робототехническими шасси и реализацию в полном объеме технологий кибергеномики.

(2) Создание программных моделей базовых нейросетевых архитектур ИКС. Разрабатываются и интегрируются нейросетевые модели кортикальной колонки и универсальной искусственной коры для обработки всех существующих типов ассоциативных оснований; модели сенсорных систем; модель гиппокампа и пространственно-временной навигации ИКС; модель внимания; модель субъективной оценки и синтетических эмоций.

(3) Создание аппаратно реализованных ИКС может идти по двум направлениям: (3.1) Разработка электронных устройств на базе твердотельных неорганических мемристоров: набора мемристоров с разными характеристиками; микросхем на их основе – кортикального процессора; ассоциативного сопроцессора на системной плате для подключения к традиционным компьютерам с реализацией модели кортикального кругооборота; гибридных ассоциативно-вычислительных систем. (3.2.) Создание ассоциативных устройств на базе органических полимеров и композитных матриц с молекулярными каналами проводимости.

(4) Реализация прикладных ИКС различного назначения на базе глобальных компьютерных сетей, технических комплексов и роботов (включая создание автономных универсальных робототехнических платформ).

Выводы. Анализ текущих работ и уже полученных результатов в сфере разработки ИКС позволяет не сомневаться в успешности создания

в ближайшее десятилетие нового класса стратегических информационных технологий – искусственных когнитивных систем, способных к сенсорному восприятию, самообучению, мышлению, синтезу нового знания, реализации субъективности и автономному поведению. ИКС являются ключевым фактором наступающего шестого технологического уклада. Появление ИКС будет иметь большее значение для экономики, повышения производительности труда и социального развития, чем даже появление компьютеров в двадцатом веке. Создание таких систем за рубежом приведет к уходу за горизонт современных технологий и к появлению экономических, военных, технологических, социальных, семантических и политических угроз для Российской Федерации. Кроме того, в результате появления ИКС человечество может оказаться в ситуации сосуществования с системами, обладающими субъективностью и более высоким качеством и скоростью мышления, чем человек. Необходима реализация в России целевой программы или комплекса мероприятий по созданию ИКС, в т.ч. в рамках усилий по развитию российского суперкомпьютинга.

Ссылки.

1. Филиппов В.А. Кортикоморфная нейросетевая архитектура, моделирование консолидации следа памяти и кибергеномика – перспективные технологии разработки искусственных когнитивных систем // Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2010. Материалы избранных научных трудов по теме: «Актуальные вопросы нейробиологии, нейроинформатики и когнитивных исследований». М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – С. 111-144.
2. Филиппов В.А. Нейросетевые решения на основе модели нейрона с многофазной памятью // Материалы XV Международной конференции по нейрокибернетике. Т. 2. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 202-205.
3. Александров Ю.И., Анохин К.В., Безденежных Б.Н., Гарина Н.С., Греченко Т.Н., Латанов А.В., Палихова Т.А., Савельев С.В., Соколов Е.Н., Тушмалова Н.А., Филиппов В.А., Черноризов А.М. Нейрон. Обработка сигналов. Пластичность. Моделирование. Под ред. Е.Н. Соколова, В.А. Филиппова, А.М. Черноризова. – Тюмень: Издательство ТюмГУ, 2008. – С. 512-534.
4. <http://www.taso.pro>
5. Emerging Cognitive Neuroscience and Related Technologies. Washington, DC: The National Academies Press, 2008. - P.97.