

**Расчетно-графическая работа**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Системы искусственного интеллекта и машинное обучение”»**

Факультет: АВТФ Преподаватель: Гаврилов А.В.

Группа: АВТ-918

Студент: Ванин К.Е.

**Когнитивная архитектура для коэволюции**

**Гибридный интеллект⋆**

Кирилл Кринкин

[0000−0001−5949−7830] и Юлия Шичкина [0000−0001−7140−1686]

Санкт-Петербургский электротехнический университет ’ЛЭТИ’, Санкт-Петербург,

Проф. Попова, 5 197022, Россия

kirill@krinkin.com , shichkina@etu.ai

Аннотация. В этой статье ставится под сомнение целесообразность создания сильного (общего)  
искусственного интеллекта (ИИ), ориентированного на данные. Обсуждаются недостатки этого типа интеллекта. В качестве альтернативы предлагается концепция коэволюционного  
гибридного интеллекта. Она основана на когнитивной  
совместимости человека и машины. Дан анализ существующих подходов к  
построению когнитивных архитектур. Рассматривается архитектура, которая  
плавно включает человека в цикл интеллектуального решения проблем. Статья организована следующим образом. Первая часть кон-  
содержит критический анализ интеллектуальных систем, ориентированных на данные. Указаны причины, по которым невозможно создать сильный искусственный интеллект на основе этого типа  
интеллекта. Во второй части кратко представлена концепция  
коэволюционного гибридного интеллекта и показаны его преимущества. В третьей  
части дается обзор и анализ существующих когнитивных архитектур. Делается  
вывод, что многие из них не рассматривают людей как часть  
интеллектуального процесса обработки данных. В следующей части обсуждаются когнитивные  
архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта, обеспечивающая интеграцию  
с людьми. Он заканчивается общими выводами о целесообразности  
разработки интеллектуальных систем с участием людей в цикле решения проблем.

Ключевые слова:Гибридный интеллект·Коэволюция человека и Машины·Винтик-нитивные архитектуры·Системы, ориентированные на интеллект.

**1 Кризис искусственного интеллекта, ориентированного на данные**

Многие реальные объекты и процессы, с которыми имеют дело люди (человеческое тело, биосфера, автономный транспорт, социальные системы, экономика и т.д.), имеют очень высокую сложность. Сложность такова, что человеческих интеллектуальных способностей недостаточно для построения моделей таких объектов.

В начале этого столетия стало возможным собирать и хранить большое  
количество данных. Анализируя данные об объекте, собранные за относительно  
длительный период времени, можно выявить некоторые закономерности поведения и  
построить его ’поведенческую модель’. Методы, основанные на анализе данных, стали

2 К. Кринкин, Ю. Шичкина

Основа современного искусственного интеллекта, ориентированного на данные. В настоящее время основным  
направлением методов искусственного интеллекта, ориентированных на данные, является машинное обучение, основанное на нейронных  
сетях, в частности глубокое обучение. Общая схема создания ИИ  
на основе нейронных сетей выглядит следующим образом: собирается репрезентативный набор данных, который  
помечается автоматическими методами или с вмешательством человека (отмечены и  
описаны важные особенности в данных), другими словами, создается набор данных;  
нейронная сеть обучается на этом наборе данных, она идентифицирует и "запоминает"  
взаимосвязь между объектами в данных; обученная сеть может использовать новые данные  
той же структуры об одном и том же объекте для прогнозирования соответствующих  
характеристик объекта или для моделирования его поведения.

Искусственный интеллект, основанный на данных, не является интеллектом в обычном смысле этого слова.  
Ван [25] поднял горячую дискуссию о пересмотре определения искусственного интеллекта. Он предложил рассматривать интеллект как способность адаптироваться, когда не хватает знаний и ресурсов. Важно отметить, что его попытка определить искусственный интеллект не различает искусственную природу интеллекта. На самом деле, Ванга определяет интеллект в целом. В этой статье, следуя когнитивным наукам,  
интеллект конструктивно определяется как функционирующая система когнитивных  
функций. Действие этой системы позволяет извлекать новые знания и строить новые  
модели, которые обеспечивают способность адаптироваться в условиях нехватки знаний и  
ресурсов. Примерами когнитивных функций являются восприятие, внимание, память,  
язык или планирование [1]. Очевидно, что одной из важнейших когнитивных  
способностей является абстрактное мышление. Она основана на способности заменять объекты и процессы реального мира символами и оперировать этими символами вместо  
того, чтобы оперировать реальностью. В настоящее время автоматическое построение интерпретируемых символических моделей невозможно. До сих пор не существует успешных моделей, позволяющих  
вводить символы и придавать им смысл. Учитывая вышесказанное, можно  
сказать, что ориентированный на данные узкий интеллект не является интеллектом, а скорее может рассматриваться как одна из когнитивных функций (в зависимости от предметной области это может быть поиск, классификация, перевод и т.д.). Другими словами, интеллект, ориентированный на данные, представляет собой усовершенствованную стохастическую машину. При всех преимуществах он имеет ряд  
существенных недостатков.

– Для обучения нейронной сети, описывающей сложный объект, не всегда возможно  
собрать и пометить достаточное количество данных;

– Обучение нейронной сети занимает много времени и большие вычислительные  
ресурсы;

– Для небольших изменений входных данных (особенно структур данных) требуется полный  
цикл переподготовки;

– Результаты, полученные с помощью нейронной сети, почти никогда не могут быть интерпретированы. Можно  
получить результат, но не иметь объяснения, почему этот результат правильный  
и каким образом он был получен. Нейронные сети всегда дают не точный, а  
вероятностный ответ, без пояснительной составляющей они не могут быть  
использованы, например, в таких областях, как медицина;

– узкая область применения решений на основе искусственных нейронных сетей.  
Они не способны решать простые когнитивные задачи (неспособны продемонстрировать  
интегральный когнитивный эффект), переносить результаты обучения в другую  
область.

3 Когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта

Вместо ИИ, ориентированного на данные, мы фокусируемся на классе интеллектуальных систем, которые обеспечивают плавную интеграцию человеческого и машинного интеллекта. Этот тип интеллекта способен к коэволюционному когнитивному развитию человеческих и машинных агентов. В следующем разделе описаны основные возможности таких систем.

**2 Коэволюционный гибридный интеллект**

Идея гибридизации человеческого и машинного интеллекта не нова.  
Наиболее значительное влияние на развитие взглядов на гибридизацию интеллекта оказал Энгельбарт [2]. В своей концепции дополненного интеллекта он определил возможности и базовые интерфейсы для взаимодействия человека и машины в когнитивных задачах.

Впоследствии З. Аката и другие [3] определили концепцию гибридного интеллекта как комбинацию человеческого и машинного интеллекта, дополняющих друг друга. Этот тип симбиоза позволяет достигать целей, недостижимых ни для людей, ни для машин по отдельности.

Упомянутые работы не подразумевают общих принципов технологизации создания гибридных интеллектуальных систем. Можно сделать вывод, что, по мнению упомянутых авторов, гибридная система создается для конкретной задачи. Следовательно, способ интеграции также выбирается специальным образом.

Определение коэволюционного гибридного интеллекта дано в [4]. Авторы указывают на недостаточность гибридизации человека и машины на уровне операций, данных и онтологий. Ключевой механизм перехода к сильным интеллектуальным системам определяется как способность наращивать когнитивные способности в процессе коэволюционного развития. Таким образом, коэволюционный гибридный интеллект (CHI) представляет собой симбиоз искусственного и естественного интеллектов, взаимно развивающихся, обучающихся и дополняющих друг друга в процессе коэволюции. В данном случае коэволюция относится к способности системы изменяться по мере ее функционирования на основе знаний, извлеченных из предметной области.

Основной возможностью для такого рода совместной эволюции между человеком и машиной является совместимость на уровне когнитивных функций. Другими словами, если разные когнитивные способности могут быть реализованы людьми и машинами, то можно создать интерфейс, обеспечивающий их взаимозаменяемость (интероперабельность).

С прагматической точки зрения такие функции, как поиск, классификация, идентификация признаков в данных, перевод и другие, могут выполняться людьми  
и машинами. В зависимости от объема данных, уровня формализации проблемы и других аспектов человек или машина будут более эффективными. Если возможно заменить один тип агента (человека) на другой тип агента(машину) и наоборот, можно создавать гибридные системы.

Особенностью людей является то, что их работоспособность сильно зависит от  
степени усталости, вызванной когнитивной перегрузкой. Кроме того, важны индивидуальные способности к выполнению когнитивной работы. Таким образом, если в гибридной системе человек выполняет определенную операцию заметно лучше, чем машина, то по прошествии длительного периода времени производительность может стать хуже, чем у машинной версии реализации.

4 К. Кринкин, Ю. Шичкина

 Этот факт влечет за собой необходимость мониторинга когнитивных способностей человека  
во время работы гибридной системы.

В более широком смысле можно рассмотреть несколько классов функциональной совместимости. Взаимодействие между разработчиком и создаваемой интеллектуальной системой определяет возможность работы в единой онтологии знаний разработчика (программиста, инженера по обработке данных и т.д.) с экспертом в предметной области (например, врачом или социальным инженером). Взаимодействие между машинными и человеческими интеллектуальными агентами в рамках гибридной системы обеспечивает возможность совместного извлечения новых знаний (например, программные методы анализа данных способны находить статистически значимые закономерности, но не способны их интерпретировать; с другой стороны, люди способны к интерпретации, вводя новый символ в онтологию, но слабы в анализе данных). Интероперабельность между интеллектуальными системами обеспечивает возможность сотрудничества между системами, созданными независимо (такая ситуация ожидается в ближайшем будущем при создании умных городов, насыщенных независимыми устройствами и сервисами, которые вынуждены работать в общей среде).

Технологизация разработки гибридных коэволюционных интеллектуальных систем-

tems полагается на следующее:

–формализация когнитивных функций, позволяющих собирать "интеллект", реализуемый агентами различной природы;

–расширение возможностей человеко-машинных интерфейсов для  
передачи знаний от человека к машине и наоборот;

–создание индивидуализированной модели человека как части гибридной  
системы, контроль его/ее состояния и когнитивных способностей (при необходимости, перепоручение задач другим агентам)

–минимизация разрыва между "пользователем" и "разработчиком" гибридной  
системы.

В дополнение к вышеперечисленным пунктам важна разработка методов биологической  
обратной связи. Эти методы хорошо зарекомендовали себя в медицине [5-7]. Их  
применение позволяет использовать невербальные механизмы саморегуляции и  
контроля состояния человеческих агентов.

**3 Когнитивные архитектуры: современное состояние**

Главным сторонником идеи формулирования теории, которая охватывала бы все  
аспекты познания, был Аллен Ньюэлл, который определил средства для достижения этой цели: архитектуры познания [10]. Первые идеи по созданию таких архитектур можно  
проследить из статьи Тьюринга об интеллектуальном компьютере [11]. Тьюринг считал  
, что скорость и объем памяти были основными препятствиями на пути к достижению  
машинного интеллекта компьютерами того времени. Однако история показала, что  
каждый прогресс в области искусственного интеллекта только прояснял, насколько тайна  
человеческого интеллекта, творчества и изобретательности является трудностью [12].

5 Когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта

Существуют различные подходы к определению понятия "когнитивная архитектура". Так, в [13] авторы предполагают, что когнитивная архитектура - это дизайн вычислительной системы для моделирования некоторых аспектов человеческого познания. Авторы [14] полагают, что когнитивные архитектуры являются, с одной стороны, частью первоначальной цели создания интеллектуальной машины, которая в точности воспроизводит человеческий интеллект, и, с другой стороны, попытками теоретического объединения в области когнитивной психологии. По мнению авторов [15], экспертные системы и когнитивные архитектуры близки, но когнитивные архитектуры предлагают описание интеллектуального поведения агента на уровне систем, а не на уровне компонентных методов, разработанных для специализированных задач.

В [15] приводится более подробное понятие когнитивной архитектуры. Когнитивная архитектура, как базовая часть интеллектуальной системы, по мнению авторов, включает в себя те аспекты когнитивного агента, которые остаются неизменными с течением времени и в различных областях применения. К ним обычно относятся: краткосрочная и долгосрочная память, в которой хранятся цели и знания агента; представление элементов, содержащихся в памяти, и их более крупные ментальные структуры; и процессы, которые воздействуют на эти структуры, включая механизмы обучения, которые их модифицируют. Основными свойствами когнитивной архитектуры являются: представление знаний, организация знаний, использование знаний, приобретение знаний и распространение знаний.

Когнитивная архитектура интеллектуальной роботизированной системы, по мнению авторов [16], должна поддерживать быстрое восприятие, контроль и выполнение задач на низком уровне, а также распознавание и интерпретацию сложных контекстов, внутреннее планирование задач и поведенческое обучение, которые обычно обрабатываются на более высоких уровнях.

Некоторые исследователи сосредотачиваются на усилении индивидуальных свойств систем искусственного интеллекта. Например, авторы [17] утверждают, что автономность является ключевым свойством для любой системы, которую можно считать общим интеллектом. Однако сегодня не существует системы, которая сочетала бы в себе широкий спектр возможностей или представляла бы собой общее решение для автономного приобретения большого набора навыков. Причинами этого являются ограниченные доступные методы машинного обучения и адаптации, а также внутренняя сложность интеграции множества когнитивных и обучающих возможностей в целостную архитектуру. Авторы рассматривают когнитивные архитектуры с точки зрения эффективной реализации автономных свойств.

Авторы [18] подчеркивают важность модуля ситуационной осведомленности в когнитивной архитектуре, которая включает в себя широкий набор информационных и аналитических требований. Чтобы использовать его должным образом, система должна быть способна определять соответствующий уровень направленности для ввода информации на глобальном или системном уровне, а также на местном уровне, объединяя их в единую картину ситуации. Это требует, как целенаправленной обработки, так и обработки, основанной на данных. В первый направлен на изучение окружающей среды в соответствии с текущими нерешенными целями, в то время как второй получает сигналы от окружающей среды и решает, нужны ли новые активные цели для надлежащего согласования с намерениями. Динамическое переключение между двумя моделями обработки информации, по мнению авторов, важно для успешной работы во многих средах.

В [19] авторы представляют свое видение подхода к созданию гибридной интеллектуальной информационной системы на основе когнитивной архитектуры. Авторы понимают "гибридные интеллектуальные системы" как системы с гибридизацией различных методов мягких вычислений, экспертных систем, нейро-нечетких систем, нечеткие экспертные системы, использующие эволюционные методы построения нейронных сетей и другие методы. В своей статье авторы рассматривают простой пример цикла восприятия-действия для когнитивной архитектуры, основанной на геоинформационной системе.

6 К. Кринкин, Ю. Шичкина

Сравнительный анализ когнитивных архитектур Cyc, Soar,  
Society of Mind и нейрокогнитивных сетей приведен в [13], ACT-R, Epic, Soar  
в [12], ACT-R, ICARUS, PRODIGY в [15], ACT-R, Soar, LIDA, SiMA, NEF  
(SPAUN), iCub, SEMLINCS, Резюме в [20]; ACT-R, Soar, NARS, OSCAR,  
AKIRA, CLARION, LIDA и Ikon Flux в [17]; Soar, ACT-R, EPIC, Clarion  
в [14], SOAR, ACT-R, CLARION и Vector-ЛИДА в [21].

Анализ приведенных выше литературных источников показал, что понятие "когнитивная архитектура" существует с середины 20 столетия. Этот термин, несмотря на разницу в компонентах архитектуры, до настоящего момента понимается следующим образом: это система, которая в большей или меньшей степени аналогична когнитивным функциям человека. Очень редко прямо говорится, что эта архитектура взаимодействует с людьми. В остальном, как и искусственный интеллект, когнитивная система существует сама по себе.

Основным и очень сильным отличием когнитивной архитектуры, представленной в этой статье, от существующих является бесшовная интеграция человека, направленная на совместное развитие людей и ИИ.

**4 Когнитивная архитектура коэволюционного гибридного интеллекта**

В этом разделе рассматривается когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта с точки зрения разработчика программного обеспечения. В отличие от многих программных фреймворков, эта архитектура должна полностью включать людей (рис. 1). Люди рассматриваются одновременно и как субъект, и как объект. Как субъект, человек действует как действующее лицо в системе и влияет на то, как работает система. Как субъект, человек рассматривается как компонент системы со своими собственными динамическими характеристиками, которые меняются в процессе функционирования. В частности, периодически возникают состояния снижения производительности, увеличения ошибок из-за усталости и стресса. С медицинской точки зрения –люди испытывают когнитивный дефицит [8], который влияет на общую когнитивную способность системы.

Традиционно мы можем видеть условное разделение на различные этапы преобразования внешних сигналов в распознавание ситуации, планирование и осуществление действий: восприятие, познание, приобретение знаний и синтез модели, намерение и действие. Весь этот конвейер также имеет обязательный процесс самооценки (или рефлексии). Математические методы построения отражательных процессов подробно описаны В. Лефевром [9].

Функции основных блоков архитектуры перечислены ниже.

–Источники данных. Различные первичные источники данных (датчики), которые получают информацию об объекте управления и о параметрах человека, являющегося частью гибридной интеллектуальной системы.

7 Когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта

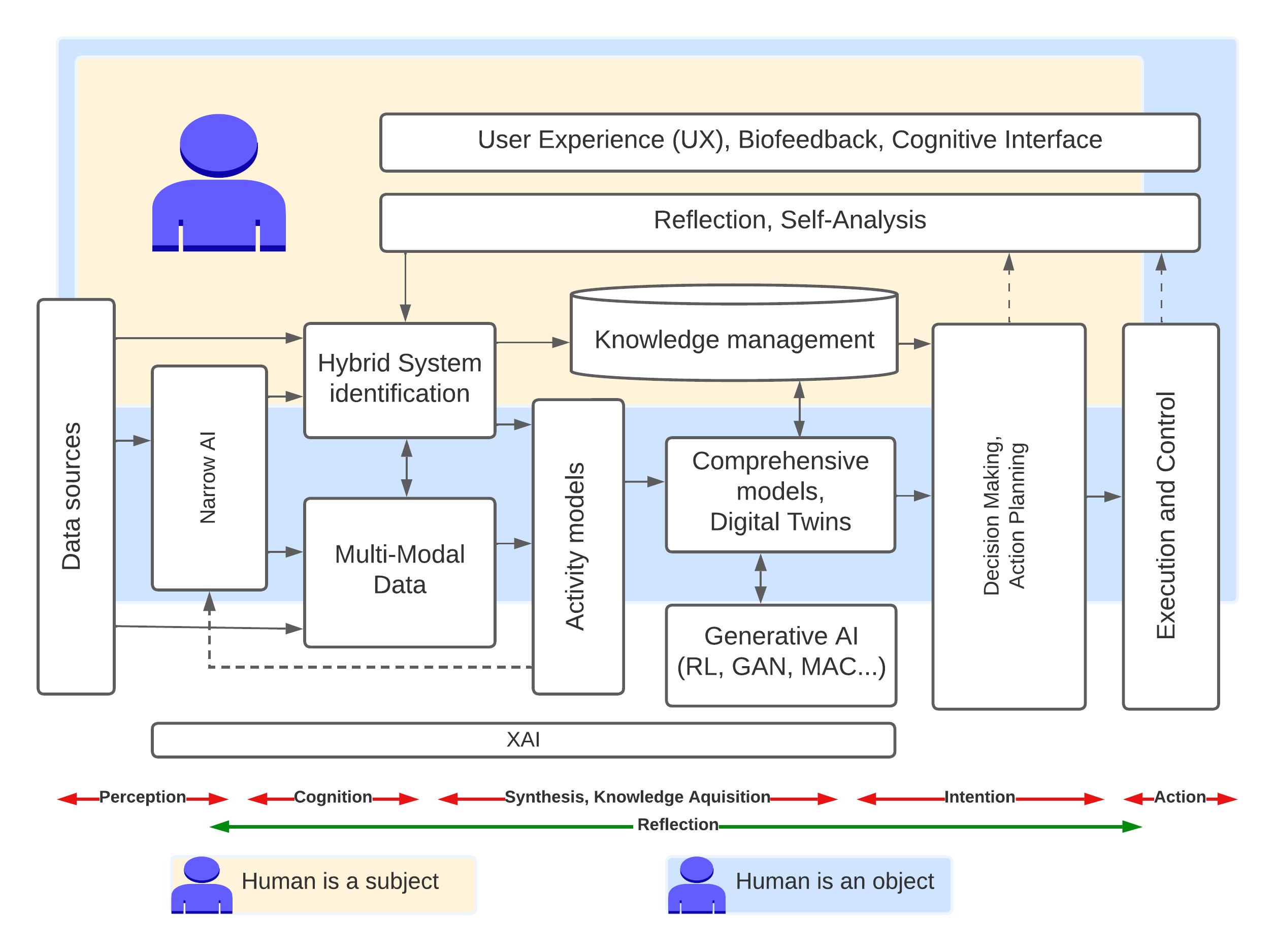


Рис. 1. Когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта

– Узкий ИИ. Методы обработки данных, включая очистку сигнала, первоначальное  
распознавание образов, классификацию и аппроксимацию. Этот блок содержит  
простые модели наблюдаемых сигналов.

– Мультимодальные данные. Обобщенная модель данных, содержащая сигналы от

независимых источников, сведенная к единому времени (и пространству, где это имеет смысл).

–Идентификация гибридной системы. Один из ключевых строительных блоков, определяющих модель гибридной системы как таковой. Для оптимизации интеллектуальной системы необходимо иметь ее модель. Этот блок отвечает за накопление данных и прогнозирование ’поведения’ гибридной системы.

–Модели деятельности. Человек, профессионально работающий в какой-либо предметной области, использует два типа знаний и навыков: вербализуемые и невербализуемые. Вербализуемые знания воспринимаются человеком и могут быть записаны в виде данных или правил. Невербализуемые знания и невербализуемый опыт могут быть извлечены только путем наблюдения за действиями человека в течение длительного периода времени при выполнении одной и той же процедуры (например: профессиональный игрок в гольф не может описать схему удара клюшкой; профессиональный игрок в гольфдиагност не может точно описать последовательность обработки рентгеновских снимков для проверки гипотезы диагноза). Этот модуль предназначен для наблюдения за поведением человека, включенным в цикл принятия решений, с целью извлечения неявных знаний. Эти знания, полученные от большого количества профессионалов, решающих аналогичную задачу, могут стать основой для построения системы обучения новичков в предметной области.

8 К. Кринкин, Ю. Шичкина

– Цифровые Близнецы. Полная информация о работе гибридной системы в течение

ее жизненного цикла и набор методов для автоматического определения тенденций и

прогнозирования состояний.

– Генеративный ИИ. Алгоритмы и методы генерации решений и направленного поиска вариантов по набору параметров гибридной системы.

– Принятие решений и планирование действий. Сценарное планирование для управления

на краткосрочном и долгосрочном горизонтах планирования.

– Исполнение и контроль. Выполнение сценариев действий.

Отдельно стоит отметить наличие компонентов включения человека в гибридную систему. Эти компоненты направлены на создание возможности беспрепятственного взаимодействия между машиной и человеком на разных уровнях: нейронные интерфейсы, биологическая обратная связь, дополненная реальность, взаимодействие на уровне когнитивных функций. Кроме того, человек является частью рефлексивного цикла осознания возможностей гибридной системы, частью которой он является.

Отношение к людям как к неотъемлемой части системы имеет веские причины.

Сложность технических процессов в производстве растет экспоненциальными темпами. С одной стороны, это предоставляет людям больше возможностей для достижения различных целей, повышения уровня жизни, освобождения от физически сложных производственных операций, освобождения от рутинных операций или операций, требующих вычислительных и других возможностей, неподвластных человеку из-за физиологических ограничений человеческого организма. С другой стороны, все более сложная автоматизация производственных процессов, роботизация и компьютеризация приводят к увеличению нагрузки на когнитивную сферу человека. Иными словами, все современные технологии, снижая физическую нагрузку на организм человека, приводят к увеличению психофизиологической нагрузки на человека, заставляя его работать на пределе своих психофизиологических возможностей, в экстремальных ситуациях.

Недостаточно, чтобы интеллектуальная система была только инструментом. Чтобы избежать серьезных последствий от неправильных действий, развитие когнитивных

способностей человека и систем искусственного интеллекта не могут быть независимыми друг от друга. Требуется их скоординированное развитие. Такое развитие требует

взаимной обратной связи между искусственными и человеческими проявлениями интеллекта. Взаимная оценка агентов при анализе ситуации и выборе наилучшего действия необходима для достижения поставленных целей.

Основные характеристики коэволюционных интеллектуальных систем как единогоработающий организм - это:–взаимное обучение, когда искусственные и человеческие интеллектуальные агенты дополняют друг друга в тех областях, где их когнитивные способности ограничены по различным причинам.;–персонификация, т.е. настройка систем искусственного интеллекта на определенного человека (или людей, если мы имеем дело с системой с группой человеческих агентов), с которыми они образуют единый организм, систему, для достижения определенных целей;–мониторинг состояния интеллектуальных агентов.

Для реализации последних двух пунктов необходимо внедрить в когнитивную архитектуру модули по мониторингу и оценке психофизиологического состояния человека.

9 Когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта

Следуя классификации Бартлетта [22, 24], можно выделить две основные группы показателей функциональных состояний человека в цикле производства: физиологические и психологические. В качестве возможных показателей динамики физического состояния рассматриваются различные виды биоэлектрических показателей:

ЭЭС, ЭКГ, температура, давление и другие. Существует огромное количество приборов, позволяющих измерять эти показатели. Группа показателей психологического динамика состояния включает в себя критерии выполнения различных психометрических тестов и

анализ субъективной симптоматики конкретных типов функциональных состояний. В большинстве случаев во время производственных процессов отсутствует возможность инвазивного измерения физических показателей или прохождения тестов для оценки психологических критериев.

**5 Заключение**

На протяжении всей истории искусственного интеллекта его часто рассматривали в основном как независимый инструмент. Этот инструмент может быть обучен (или сам может быть обучен) для автономного выполнения определенных задач. С позиции когнитивных наук интеллект - это система когнитивных функций, способная, помимо прочего, создавать символические модели и оперировать с ними. Создание символических систем для абстрактных рассуждений является основой для переноса опыта из одной области в другую и для обобщений. В настоящее время нет примеров программного обеспечения или математических систем, способных создавать значимые символьные системы без вмешательства человека. В то же время во многих узких областях применения искусственные методы гораздо эффективнее, чем человеческие, в некоторых областях. При разработке интеллектуальных систем имеет смысл рассматривать человека как носителя некоторых уникальных когнитивных способностей, которые в сочетании с машинными методами обладают интеллектуальной мощью, превосходящей человека и машину по отдельности. Рассматриваемый разработанная когнитивная архитектура для совместно развивающегося гибридного интеллекта позволяет учитывать особенности человека как интеллектуального агента. Гибридные эволюционирующие системы могут стать основой для создания интеллекта, превосходящего человеческие возможности.

Также стоит отметить, что у нас есть много знаний, которые мы не можем навязать интеллектуальным системам. Поэтому взаимное обучение между людьми и машинами - очень деликатная тема. Очевидно, что философские и этические исследования нельзя игнорировать, эти темы должны стать одной из основных будущих дискуссий. Важной проблемой для этических исследований может стать возможность того, что процесс взаимодействия человека и машины выйдет из-под контроля и станет неконтролируемым, когда роль и важность интеллектуальной системы в двустороннем процесс может стать асимметрично усиленным и приобрести свойства «определяющей доминанты». Другими словами, передавая на аутсорсинг машине функции, которые в математическом и алгоритмическом измерении люди не способны выполнять, существует риск постепенной потери контроля не только над конкретным системным решением, но и над стратегическими целями, системой контрольных точек ("табу") и определением основных координат движения, которые всегда были в руках человека при взаимодействии с механизмами [4].

10 К. Кринкин, Ю. Шичкина

**Список литературы**

1. Colom, R., Karama, S., Jung, R. E., Haier, R. J.:. Human intelligence and brain networks. Journal Dialogues in clinical neuroscience 12(4), 489 – 501 (2010)

2. Engelbart, D.: Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework, 1962 – https://www.dougengelbart.org/content/view/138/000/ (accessed on May 10, 2022)

3. Z. Akata, et al.: A Research Agenda for Hybrid Intelligence: Augmenting Human Intellect With Collaborative, Adaptive, Responsible, and Explainable Artificial Intelligence. Computer. 2020, 53, pp. 18-28.

4. K. Krinkin, Y. Shichkina, A. Ignatyev: Co-evolutionary hybrid intelligence, 2021 5th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA), 2021, pp. 112-115, doi: 10.1109/DCNA53427.2021.9587002.

5. Goessl, V., Curtiss, J., Hofmann, S. (2017). The effect of heart rate variability biofeedback training on stress and anxiety: A meta-analysis. Psychological Medicine,47(15), 2578-2586. doi:10.1017/S0033291717001003.

6. Dessy, E., Van Puyvelde, M., Mairesse, O. et al. Cognitive Performance Enhancement: Do Biofeedback and Neurofeedback Work?. J Cogn Enhanc 2, 12–42 (2018). https://doi.org/10.1007/s41465-017-0039-y 7. Sutarto, Auditya Purwandini, Wahab, Muhammad Nubli Abdul, and Zin, Nora Mat. ‘Effect of Biofeedback Training on Operator’s Cognitive Performance’. 1 Jan. 2013 : 231 – 243.

8. P. Deligkaris, E. Panagopoulou, A.J. Montgomery, E. Masoura Job burnout and cognitive functioning: A systematic review, Work and Stress: An International Journal of Work, Health and Organisations, (2014) 28:2, 107-123

9. Lefebvre V.A. Conflict Structures. // Leaf and Oaks Publishers; First Edition (April 5, 2015) Pp 144.

10. Newell, A. Unified theories of cognition. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990, p.544

11. Turing, A. M. Computing machinery and intelligence. Mind, 1950, pp. 433–460

12. Taatgen, N., Anderson, J., The Past, Present, and Future of Cognitive Architectures. Topics in Cognitive Science, 2009, pp. 693-704

13. Sowa, J.F., Cognitive Architectures for Conceptual Structures. In: Andrews, S., Polovina, S., Hill, R., Akhgar, B. (eds) Conceptual Structures for Discovering Knowledge. ICCS 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6828. Springer, Berlin, Heidelberg.

14. Taatgen, N.A., Anderson, J.R., Constraints in Cognitive Architectures, In R. Sun (ed.), Handbook of Computational Psychology, 2008, pp. 170-185)

15. Langley, P., Laird, J., Rogers, S., Cognitive Architectures: Research Issues and Challenges. Cognitive Systems Research., 2009, pp. 141-160.

16. Burghart, C., Mikut, R., Stiefelhagen, R., Asfour, T., Holzapfel, H., Steinhaus, P., Dillmann, R., A cognitive architecture for a humanoid robot: A first approach, 2005, pp. 357 - 362

17. Thorisson K.R., Helgasson H.P., Cognitive Architectures and Autonomy: A Comparative Review, Journal of Artificial General Intelligence 3(2), 1-30, 2012

18. Howard, Newton, Cognitive Architecture: Integrating Situation Awareness and Intention Awareness. Brain Sciences Journal. 2012, pp. 62-84

19. Chernenkiy, V., Gapanyuk, Y., Terekhov, V., Revunkov, G., Kaganov, Y., The hybrid intelligent information system approach as the basis for cognitive architecture. Procedia Computer Science, 2018, pp. 143-152.

11 Когнитивная архитектура для коэволюционного гибридного интеллекта

20. Jimenez, J.P., Martin, L., Dounce, I.A. et al. Methodological aspects for cognitive architectures construction: a study and proposal. Artif Intell Rev, 2021, 54, pp.2133–2192

21. Lieto A., Lebiere C., Oltramari A., The knowledge level in cognitive architectures: Current limitations and possible developments, Cognitive Systems Research, Volume 48, 2018, pp. 39-55.

22. Bartlett F. C. Psychological criteria of fatigue. — In: Simposeum of fatigue (eds. Floyed W. F., Welford A. T.) / F. C. Bartlett L. — 1953.

23. Voronin, V. M. Ergonomics of the big systems: textbook / V. M. Voronin, Ekaterinburg : UrGUPS, in Rissian, 2017, p. 385.

24. Bartlett, F.C.: The Mind at Work and Play, London: George Allen and Unwin. American edition: Boston, Beacon Press – 1951.

25. Wang P. On Defining Artificial Intelligence. Journal of Artificial General Intelligence, Vol.10 (Issue 2), pp. 1-37. – 2019.

**Библиографическая ссылка на статью-оригинал**

Cognitive Architecture for Co-Evolutionary Hybrid Intelligence [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/2209.12623.pdf>