

Моделирование когнитивной эволюции – перспективное направление исследований на стыке биологии и математики

Редько В.Г.

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва, Россия
vgredko@gmail.com

Abstract

It is interesting to analyze cognitive evolution, evolution of animal cognitive abilities by means of mathematical/computer modeling. Modeling cognitive evolution is related with foundation of mathematics, cognitive science, investigations of adaptive behavior. Initial models of elementary cognitive features are described. Further steps of modeling cognitive evolution are discussed.

1 Актуальность моделирования когнитивной эволюции

Исследование когнитивной эволюции связано с глубокой гносеологической проблемой: почему человеческое мышление применимо к познанию природы? Рассмотрим, например, физику, одну из фундаментальных естественнонаучных дисциплин. Мощь физики связана с эффективным применением математики. Но математик делает доказательства независимо от внешнего мира, используя свое логическое мышление. Почему же результаты, получаемые математиком, применимы к реальной природе? Или в более общей формулировке: почему логика человеческого мышления применима к познанию природы?

Многие исследователи познавательных процессов задумывались над близкими вопросами. Например, рассматривая познавательные процессы в приближении отдельного взрослого человека и считая их априорными, И. Кант пришел к сомнениям о возможности познания природы [2]:

«...хотя вначале это звучит странно, но тем не менее верно, если я скажу: *рассудок не черпает свои законы (a priori) из природы, а предписывает их ей*».

Возражая Канту, К. Лоренц, один из основателей этологии, подчеркивал, что познавательные способности произошли в процессе эволюции и имеют определенные эмпирические корни [1].

Но как конкретно эти способности возникали?

Как и почему появились способности, позволяющие познавать внешний мир?

Естественный подход к анализу проблемы – построение математических и компьютерных моделей когнитивной эволюции, осмысление с помощью моделей эволюционного происхождения мышления человека.

Для серьезной постановки работ в этом направлении целесообразно: 1) выделить ключевую проблему, 2) указать задел исследований, 3) предложить контуры программы будущих исследований когнитивной эволюции.

Ключевая проблема – проблема происхождения правил логического вывода. Можно ли исследовать, как произошли правила логического вывода, используемые математиком? Да, можно. Одно из элементарных правил, которое использует математик в логических заключениях – правило *modus ponens*: «если имеет место А, и из А следует В, то имеет место В», или $\{A, A \rightarrow B\} \Rightarrow B$. Перейдем от математика к собаке, у которой вырабатывают классический условный рефлекс. В памяти собаки формируется связь «за УС должен последовать БС» (УС – условный стимул, БС – безусловный стимул). Когда после выработки рефлекса собаке предъявляют УС, то она, помня о хранящейся в ее памяти записи $УС \rightarrow БС$, делает элементарный «вывод» $\{УС, УС \rightarrow БС\} \Rightarrow БС$. И собака ожидает БС. Конечно, применение правила *modus ponens* (чисто дедуктивное) математиком и индуктивный вывод, который делает собака, явно различаются. Но можем ли мы думать об эволюционных корнях логических правил, используемых в математике? Да, вполне можем – умозаключение математика и индуктивный вывод собаки аналогичны. При этом результат эволюции – правила логического вывода – известны и достаточно хорошо формализованы [3]. В основе этих выводов – элементарные правила, подобные *modus ponens*.

Направление исследований «Адаптивное поведение» – задел моделирования когнитивной эволюции. Это активно развивающееся направление исследований сформировалось в начале 1990-х годов [4]. Основной подход

направления – конструирование и исследование искусственных (в виде компьютерной программы или робота) «организмов», способных приспосабливаться к внешней среде. Дальняя цель этих работ (пока еще явно нереализованная) – анализ эволюции когнитивных способностей животных и происхождения интеллекта человека.

Контуры программы будущих исследований когнитивной эволюции. Предложим этапы исследований когнитивной эволюции.

– Моделирование адаптивного поведения «организмов» с естественными потребностями: питание, размножение, безопасность.

– Исследование перехода от физического уровня обработки информации в нервной системе животных к уровню обобщенных образов, уровню понятий (аналогов слов).

– Исследование процессов формирования причинных связей в памяти животных. Анализ роли прогнозов в адаптивном поведении.

– Моделирование «логических выводов», используемых животными при адаптивном поведении. Сопоставление «логики поведения» животных с логикой человеческого мышления.

Перечисленные пункты очерчивают круг исследований от моделирования простейших форм поведения к логическим правилам, используемым в математике. Далее характеризуются начальные компьютерные модели в рамках этих исследований.

2 Модели простых когнитивных способностей

Формирование обобщающих эвристик.

Моделировалось поведение автономного агента в двумерной клеточной среде. В части клеток двумерного мира имелись порции пищи. Агент обладал ресурсом R , который увеличивался при питании и уменьшался при выполнении агентом действий. Агент выполнял следующие действия: питание, перемещение на одну клетку вперед, поворот направо или налево, отдых.

Выбор действий агента обеспечивался имеющейся у него системой управления. Система управления агента представляла собой набор правил вида: $S \rightarrow A$, где S и A – ситуация и действие, соответствующие этому правилу. Ситуация S определялась наличием/отсутствием пищи в ближайших к агенту клетках. Правила оптимизировались методом обучения с подкреплением.

Сформированный в результате обучения набор правил можно рассматривать как 5 обобщающих эвристик: 1) если порция пищи расположена в той же клетке, в которой находится агент, то нужно выполнить действие «питание»; 2) если пищи нет в той клетке, в которой находится агент, и есть пища в клетке впереди агента, то нужно выполнить действие «перемещение вперед»; 3,4) если в указанных выше клетках пищи нет, а есть пища в клетке справа/слева от агента, то нужно выполнить

действие «поворот направо/налево»; 5) если вообще нет пищи в ближайших клетках, то нужно выполнить поисковое действие «перемещение вперед». Тем самым происходил отбор правил, приводящих к формированию цепочек действий агента, обеспечивающих увеличение ресурса агента.

Агенты с несколькими потребностями.

Исследовалось поведение простых автономных агентов, имеющих несколько естественных потребностей: питание, размножение, безопасность. Система управления агента была основана на правилах того же вида, что и в первой модели. Мир, в котором находились агенты, состоял из двух клеток: одна клетка являлась опасной для агентов, вторая – безопасной. Периодически статус клеток менялся: опасная \leftrightarrow безопасная. Агент, находящийся в опасной клетке, каждый такт времени терял большой ресурс. В мире имела восполняемая пища агентов. Агенты выполняли следующие действия: деление, питание, перемещение в другую (альтернативную из двух) клетку, отдых.

Моделирование продемонстрировало формирование естественного поведения агентов. В частности, агенты своевременно перемещались из опасной клетки в безопасную, а при эволюционной оптимизации популяции агентов важную роль играло размножение.

Взаимодействие обучения и эволюции.

Построена модель агентов, которые подобны биологическим организмам, приспосабливающимся к изменению температуры T в окружающей среде. Система управления агента основана на нейросетевых адаптивных критериях и обеспечивает прогнозирование изменений T и принятие решения о перемещении агента в соответствии с изменениями температуры. Продемонстрировано, что *приобретаемые в процессе индивидуального обучения агента полезные навыки могут генетически ассимилироваться в течение 3-5 поколений дарвиновской эволюции.*

References

- [1] Lorenz K. Kant's doctrine of the a priori in the light of contemporary biology // In H. Plotkin (Ed.). Learning, Development and Culture: Essays in Evolutionary Epistemology. New York: Wiley, 1982. PP. 121-143.
- [2] Кант И. Пролегомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука. Соч. в 6-ти томах. Т. 4, часть 1. М.: Мысль, 1965. С. 67-210.
- [3] Математическая теория логического вывода (под ред. А.В. Идельсона и Г.Е. Минца). М.: Наука, 1967.
- [4] От моделей поведения к искусственному интеллекту. Серия «Науки об искусственном» (под ред. В.Г. Редько). М.: УРСС, 2006.