

# ОТ ИССЛЕДОВАНИЙ АДАПТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ К МОДЕЛИРОВАНИЮ КОГНИТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ

В.Г. Редько

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН  
vcredko@gmail.com

*Abstract. The new direction of investigation, namely, modeling of cognitive evolution is proposed. Modeling of cognitive evolution is a study of evolution of animal cognitive features. Backgrounds of modeling of cognitive evolution, which are developed in the area of researches "Adaptive behavior" and in similar directions of investigation, are characterized.*

## Введение

В докладе предлагается новое направление исследований – моделирование когнитивной эволюции, т.е. эволюции познавательных способностей биологических организмов, в процессе которой возникли способности научного познания природы.

Существует глубокая проблема: почему формальный логический вывод, сделанный человеком, применим к реальным объектам в природе? Для того чтобы разобраться в проблеме, целесообразно исследовать эволюцию познавательных способностей биологических организмов и с помощью моделирования проанализировать, как в процессе эволюции возникали способности, обеспечивающие познание закономерностей внешнего мира, и как развитие этих способностей привело к научному познанию природы.

Задел исследований когнитивной эволюции существует в ряде современных научных направлений, в частности, в рамках направления исследований «Адаптивное поведение».

## 2. Направление исследований «Адаптивное поведение»

Направление исследований «Адаптивное поведение» развивается с начала 1990-х годов [1]. Основной подход направления – конструирование и исследование искусственных (в виде

компьютерной программы или робота) «организмов», способных приспособиваться к внешней среде. Эти организмы часто называются «аниматами» (от англ. animal и robot: animal + robot = animat), агентами, автономными агентами. Исследователи адаптивного поведения разрабатывают такие модели, которые применимы к описанию поведения как реального животного, так и искусственного анимата. Дальняя цель этих работ – анализ эволюции когнитивных способностей животных и происхождения интеллекта человека. Эта цель близка к задаче моделирования когнитивной эволюции.

В современных исследованиях адаптивного поведения используется ряд нетривиальных компьютерных методов: обучение с подкреплением [2], нейронные сети, генетический алгоритм и другие методы эволюционной оптимизации. Исследования адаптивного поведения часто рассматриваются как бионический подход к разработкам искусственного интеллекта.

Приведем два примера характерных моделей адаптивного поведения.

**Нейробиологическая модель адаптивного поведения, разработанная в Институте нейронаук, руководимом Дж. Эдельманом.** В цикле работ данного института анализировалось адаптивное поведение искусственного организма – роботоподобного устройства NOMAD (Neurally Organized Mobile Adaptive Device).

В [3] поведение NOMAD'а моделировало поведение мыши в лабиринте Морриса, которая в бассейне с непрозрачной жидкостью ищет скрытую от зрения платформу, ориентируясь по рисункам на бортах бассейна. NOMAD представлял собой подвижное роботоподобное устройство на колесах, система управления которого представляла

собой большую структурированную нейронную сеть. NOMAD самостоятельно обучался находить скрытую от зрения платформу, ориентируясь по разноцветным полосам на стенах комнаты.

Было продемонстрировано, что NOMAD адекватно имитирует нетривиальное адаптивное поведение мыши.

**Бионическая модель поискового адаптивного поведения.** В [4] промоделировано поисковое поведение личинок ручейников, обитающих на дне водоемов. Личинки носят на себе защитный чехол-домик – трубку из песчинок и других частиц, собираемых со дна водоемов. Компьютерная модель поискового поведения личинок ручейников, строящих чехол-домик из частиц разного размера и ведущих поиск скоплений подходящих частиц, использовала понятие мотивации  $M$  к прикреплению частиц к домику. Динамика регулирующей поведение мотивации  $M$  учитывала инерцию переключения между тактиками поведения, случайные вариации и направленное изменение мотивации. Если мотивация  $M$  была достаточно велика, то происходил сбор и прикрепление частиц к домику, если  $M$  была мала, то модельная личинка искала новое место с подходящими размерами частиц. Важно, что в модели использовались знания личинки о размерах последних протестированных и прикрепленных частиц.

Модель [4] качественно согласуется с биологическими экспериментальными данными, в частности, как в эксперименте, так и в модели к чехлу-домику преимущественно прикрепляются крупные частицы.

### 3. Модели автономных агентов

Исследования, близкие к моделированию когнитивной эволюции, ведутся в нескольких научных направлениях, таких как «Искусственная жизнь», «Когнитивные архитектуры», научные основы искусственного интеллекта. В основном это работы по основанным на биологических аналогиях

моделям автономных агентов с когнитивными свойствами. Кратко охарактеризуем эти направления.

**Искусственная жизнь.** Близким к «Адаптивному поведению» является направление исследований «Искусственная жизнь». Основной мотивацией этих исследований служит желание понять и промоделировать формальные принципы организации биологической жизни. Изучается жизнь, какой она могла бы в принципе быть (“life-as-it-could-be”), а не обязательно та жизнь, какой мы ее знаем (“life-as-we-know-it”). Обзор ранних работ по искусственной жизни содержится в [5].

Под **когнитивными архитектурами** понимаются структуры и принципы функционирования познающих систем, которые можно использовать в искусственном интеллекте [6]. В последние годы большое внимание уделяется биологически инспирированным когнитивным архитектурам [7].

В исследованиях **автономных интеллектуальных или когнитивных агентов** часто изучаются компьютерные модели основанных на биологических аналогиях агентов. Обзор исследований в этой области содержится в [8].

Анализ работ в указанных направлениях показывает, что работы по когнитивным моделям адаптивного поведения разных эволюционных уровней ведутся. Хотя пока это скорее накопление материала, а не последовательное изучение когнитивной эволюции. Каковы же эволюционные уровни, на которых стоит остановиться? Как от простых форм адаптивного поведения идти к логическим формам, используемым в научном познании? Далее сделана попытка выделить наиболее существенные этапы исследования когнитивной эволюции.

### 4. Этапы будущих исследований когнитивной эволюции

*А. Моделирование адаптивного поведения аниматов с несколькими естественными потребностями: питания, размножения, безопасности.* Это могло бы быть моделирование достаточно

естественного и полноценного поведения простых модельных организмов. Моделирование в этом направлении уже начато, см. ниже.

*Б. Исследование перехода от физического уровня обработки информации в нервной системе животных к уровню обобщенных образов.* Такой переход можно рассматривать, как появление в «сознании» животного свойства «понятие». Обобщенные образы можно представить как мысленные аналоги наших слов, не произносимые животными, но реально используемые ими.

*В. Исследование процессов формирования причинных связей в памяти животных.* По-видимому, запоминание причинно-следственных связей между событиями во внешней среде и адекватное использование этих связей в поведении – одно из ключевых свойств активного познания животным закономерностей внешнего мира. Естественный следующий шаг – переход от отдельных причинных связей к логическим выводам на основе уже сформировавшихся знаний.

*Г. Исследование процессов формирования логических выводов в «сознании» животных.* Фактически, уже на базе классического условного рефлекса животные способны делать «логический вывод» вида:  $\{УС, УС \rightarrow БС\} \Rightarrow БС$  или «Если имеет место условный стимул (УС), и за условным стимулом следует безусловный, то нужно ожидать появление безусловного стимула (БС)». В определенной степени такие выводы подобны выводам математика, доказывающего теоремы. И целесообразно разобраться в системах подобных выводов, понять, насколько адаптивна логика поведения животных и насколько она подобна нашей, человеческой логике.

Перечисленные пункты очерчивают круг исследований от моделирования простейших форм поведения к логическим правилам, используемым в математике. Опираясь на эти пункты, мы начали соответствующее моделирование, которое кратко характеризуется в следующем разделе.

## 5. Начальные шаги моделирования когнитивной эволюции

**Компьютерная модель автономных агентов, имеющих естественные потребности.** В [9, 10] построена и исследована компьютерная модель автономных адаптивных агентов, обладающих естественными для живых организмов потребностями: питания, безопасности и размножения (этап *A* выше). Предполагалось, что каждый агент имеет определенный ресурс  $R(t)$ , где  $t$  – номер такта времени. Ресурс агента  $R(t)$  уменьшался при выполнении действий и увеличивался при питании. Рядом с агентом имелся хищник, активность которого периодически менялась: активный хищник отнимал ресурс у агента, неактивный хищник был нейтральным.

Потребностям агента соответствовали три фактора: фактор питания  $F_F$ , фактор безопасности  $F_S$ , фактор размножения  $F_R$ . Для каждого фактора имелся порог ( $T_F$ ,  $T_S$  и  $T_R$ ), при превышении фактором которого удовлетворялась соответствующая потребность.

Между потребностями вводилась следующая иерархия: 1) пищевая потребность (наиболее приоритетна), 2) потребность безопасности, 3) потребность размножения (наименее приоритетна). Потребность считалась ведущей, если она была наиболее приоритетной из всех потребностей, для которых фактор меньше своего порога, т.е.  $F_N < T_N$ .

Система управления агента была основана на наборе правил вида:  $S_k \rightarrow A_k$ , где  $S_k$  – ситуация,  $A_k$  – действие. Веса правил  $W_k$  настраивались методом обучения с подкреплением [2]. Ситуация  $S_k$  определялась активностью хищника рядом с агентом, предыдущим действием агента и ведущей потребностью. Агент мог выполнять одно из следующих действий  $A_k$ : 1) поиск пищи, 2) питание, 3) подготовка к размножению, 4) размножение, 5) оборона, 6) покой. Преимущественно выполнялись действия, соответствующие правилам с большими весами  $W_k$ .

Факторы  $F_F$ ,  $F_S$ ,  $F_R$  увеличивались при выполнении действий, направленных на удовлетворение ведущих потребностей. Веса правил возрастали при росте факторов, соответствующих ведущим потребностям.

Путем компьютерного моделирования было показано, что происходит формирование циклов поведения, в которых последовательно удовлетворяются потребности питания, безопасности и размножения.

**Модель формирования обобщенных эвристик и простых обобщенных образов.** Формирование обобщенных эвристик и простых обобщенных образов (этап *B* выше) в процессе обучения агентов при поиске агентами пищи в двумерной клеточной среде было продемонстрировано в модели [11], хотя пока эту модель целесообразно рассматривать как определенный начальный этап более полноценных исследований.

### Заключение

Сопоставляя этапы будущих исследований когнитивной эволюции с известными работами, можно заключить, что имеются отдельные небольшие элементы, соответствующие каждому из этапов. Образно говоря, у нас уже есть некоторые небольшие фрагменты картины, но мы еще не видим всей картины. Четкой последовательности серьезных, канонических моделей, которые показывали бы общую картину происхождения логического мышления, пока еще нет.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-01-00129.

### Список литературы

1. From Animals to Animats. Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Eds. Meyer J.-A., Wilson S.W. Cambridge: MIT Press, 1991.
2. Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. М.: Бином, 2011.
3. Krichmar J.L., Seth A.K., Nitz D.A., Fleischer J.G., Edelman G.M. Spatial navigation and causal analysis in a brain-based device modeling cortical-hippocampal

interactions // Neuroinformatics. 2005. V. 3. No. 3. PP. 197-221.

4. Непомнящих В.А., Попов Е.Е., Редько В.Г. Бионическая модель адаптивного поискового поведения // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 1. С. 85-93.

5. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. М.: УРСС, 2005.

6. Langley P., Laird J.E., Rogers S. Cognitive architectures: Research issues and challenges // Cognitive Systems Research. 2009. V. 10. No. 2. PP. 141-160.

7. Proceedings of Second Annual Meeting of the BICA Society. Eds. Samsonovich A.V., Johannsdottir K.R. Amsterdam et al.: IOS Press, 2011.

8. Vernon D., Metta G., Sandini G. A survey of artificial cognitive systems: Implications for the autonomous development of mental capabilities in computational agents // IEEE Transactions on Evolutionary Computation (special issue on Autonomous Mental Development). 2007. V. 11. No. 2. PP. 151-180.

9. Коваль А.Г. Введение в систему управления аниматов естественных потребностей и мотиваций // XIV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2012». Сборник научных трудов. В 3-х частях. Часть 2. М.: МИФИ, 2012. С. 125-133.

10. Коваль А.Г. Редько В.Г. Поведение модельных организмов, обладающих естественными потребностями и мотивациями // Математическая биология и биоинформатика (электронный журнал). 2012. Т. 7. № 1. С. 266-273. URL: [http://www.matbio.org/2012/Koval2012\(7\\_266\).pdf](http://www.matbio.org/2012/Koval2012(7_266).pdf)

11. Бесхлебнова Г.А., Редько В.Г. Модель формирования обобщенных понятий автономными агентами // Четвертая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: В 2-х томах. Томск: ТГУ, 2010. Т. 1. С. 174-175.