



УДК 32.81

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОГНИТИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ БУДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.Г. РЕДЬКО*Научно-исследовательский институт системных исследований, Российская академия наук**e-mail: vgreddko@gmail.com*

Обсуждается новое направление исследований – моделирование когнитивной эволюции, т.е. эволюции познавательных способностей биологических организмов, в результате которой произошли логика, мышление, интеллект человека. Характеризуются заделы исследований когнитивной эволюции и предлагаются контуры программы будущих исследований когнитивной эволюции.

Ключевые слова: моделирование когнитивной эволюции, автономные агенты, познавательные способности биологических организмов.

В работе обсуждается новое интересное направление исследований – моделирование когнитивной эволюции, т.е. эволюции познавательных способностей биологических организмов. Аргументируется, что актуальность исследований когнитивной эволюции связана с глубокой гносеологической проблемой: почему формальное логическое человеческое мышление, казалось бы, совсем не связанное с реальным физическим миром, применимо к познанию природы? Показано, что имеются заделы моделирования когнитивной эволюции, развиваемые в целом ряде направлений вычислительных наук. Обсуждаются перспективы моделирования когнитивной эволюции.

1. Гносеологическая проблема

Наиболее серьезные и глубокие когнитивные процессы – это процессы научного познания. Но насколько способен человек познавать внешний мир? Почему формальный логический вывод, сделанный *человеком*, применим к реальным объектам в *природе*? Поясним эти вопросы. Рассмотрим, например, физику, одну из фундаментальных естественнонаучных дисциплин. Мощь физики связана с эффективным применением математики. Но математик делает логические выводы, доказывает теоремы независимо от внешнего мира, используя свое мышление. Почему же эти выводы применимы к реальной физической природе?

Близкие вопросы давно интересовали ученых. В 1781 году появилась знаменитая «Критика чистого разума» И. Канта¹, а два года спустя вышло популярное изложение «Критики...» «Пролегомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться, как наука»². И. Кант провел исследование познавательных процессов в определенном приближении – приближении фиксированного мышления взрослого человека. Он не задавался вопросом, *откуда* берутся познавательные способности, он констатировал факт, что они существуют, и исследовал, *как* они работают. В результате этого анализа И. Кант пришел к выводу, что существует система категорий, концепций, логических правил и методов вывода, которые используются в познании природы. Эта система «чистого разума» имеет априорный характер – она существует в нашем сознании прежде всякого опыта – и является основой научного познания природы.

Приближение фиксированного мышления человека наложило свой отпечаток: И. Кант утверждает – и в рамках данного приближения вполне логично, – что так как «чистый разум» априорен, то наш рассудок в познавательном процессе предписывает свои законы природе²:

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 13-01-00399.

¹ Кант И. Критика чистого разума. Соч. в 6-ти томах. Т.3. – М.: Мысль, 1964. – С. 69-695.

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.



«...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*».

Наверно, во времена И. Канта было разумно ограничиться приближением фиксированного мышления взрослого человека – все сразу не охватишь. Кроме того, не было еще теории происхождения видов Ч. Дарвина. Естественно, что после появления этой теории должна была произойти ревизия концепции априорного «чистого разума». И она произошла. Очень четко ее выразил один из основателей этологии (науки о поведении животных) лауреат Нобелевской премии К. Лоренц в статье «Кантовская концепция a priori в свете современной биологии» (1941 г.)³. Согласно К. Лоренцу кантовские априорные категории и другие формы «чистого разума» произошли в результате естественного отбора. Составляющие «чистого разума» возникали постепенно в процессе эволюции, в результате многочисленных взаимодействий с внешним миром. В эволюционном контексте «чистый разум» совсем *не априорен*, а имеет явные эволюционные *эмпирические* корни.

По существу, И. Кант и К. Лоренц показали, что если не рассматривать эволюционное происхождение методов познания, то нет ответа на вопрос о применимости логического мышления человека к познанию природы.

Как же разобраться в происхождении логических форм мышления? Можно ли промоделировать это происхождение? Как такие исследования связаны с основаниями науки, основаниями математики? Есть ли задел работ по моделированию эволюции познавательных способностей животных? Далее обсуждаются перечисленные вопросы. Но, прежде всего, кратко остановимся на вопросе: можно ли вообще в принципе провести такие исследования?

Итак, можно ли проследить эволюционные корни логических правил, используемых в дедуктивных доказательствах? По мнению автора настоящей статьи, да, можно. Приведем следующую аналогию.

Одно из элементарных правил, которое использует математик в логических заключениях, – правило *modus ponens*: «если имеет место *A*, и из *A* следует *B*, то имеет место *B*», или

$$\frac{A, A \rightarrow B}{B} \quad (1)$$

Перейдем от математика к собаке, у которой вырабатывают классический условный рефлекс. При выработке рефлекса в памяти собаки формируется связь «за УС должен последовать БС» (УС – условный стимул, БС – безусловный стимул). И когда после выработки рефлекса собаке предъявляют УС, то она, помня о хранящейся в ее памяти «записи» УС → БС, делает элементарный «вывод»:

$$\frac{УС, УС \rightarrow БС}{БС} \quad (2)$$

И собака ожидает БС.

Конечно, чисто дедуктивное применение формального правила *modus ponens* математиком и основанный на обобщении опыта индуктивный «вывод», который делает собака, явно различаются. Тем не менее, и в первом и во втором случаях речь идет о следственной связи между математическими утверждениями либо событиями: из *A* следует *B*, за УС следует БС. Хотя контексты следственной связи, следственной зависимости в этих двух случаях различны: в первом случае *B* есть формальное логическое следствие *A*; во втором случае в процессе наблюдений формируется и запоминается причинно-следственная связь между событиями УС и БС, следующими одно за другим во времени.

³ Лоренц К. Кантовская концепция a priori в свете современной биологии // Эволюция. Язык. Познание. Под ред. Меркулова И.П. – М.: Языки русской культуры, 2000. – С. 15-41.



Итак, применение правила *modus ponens* при дедуктивном выводе аналогично «выводу» на основе классического условного рефлекса.

Указанная аналогия позволяет задуматься об эволюционных корнях логических правил, используемых в математике. Таким образом, можно анализировать эволюционные корни логического мышления и строить модели эволюционного происхождения логических правил, используемых в научном познании.

При этом результат эволюции – правила логического вывода, используемые при математических доказательствах, – известны и достаточно хорошо формализованы⁴. В основе этих выводов – элементарные правила, такие как *modus ponens*.

Важно подчеркнуть, что были и попытки пересмотра оснований математики в близком к исследованиям когнитивной эволюции контексте. В статье В.Ф. Турчина (1987 г.)⁵ предпринята весьма нетривиальная попытка пересмотра оснований математики и рассмотрена возможность построения предиктивных логических правил в контексте теории множеств и кибернетического подхода к обоснованию математики. В.Ф. Турчиным также была предложена концептуальная теория метасистемных переходов⁶, которая может быть использована при моделировании когнитивной эволюции.

Как же конкретно вести моделирование когнитивной эволюции? Есть ли задел таких исследований? Оказывается, что да, такой задел в той или иной форме существует в нескольких современных направлениях исследований вычислительного интеллекта. Эти направления кратко характеризуются в следующем разделе.

2. Заделы моделирования когнитивной эволюции

Адаптивное поведение. Направление «Адаптивное поведение» развивается с начала 1990-х годов⁷. Основной подход направления – конструирование и исследование искусственных «организмов» (в виде компьютерной программы или робота), способных приспосабливаться 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 анимата⁸. Дальняя цель этих работ – анализ эволюции когнитивных способностей животных и происхождения интеллекта человека. Эта цель близка к задаче моделирования когнитивной эволюции.

Искусственная жизнь. Близким направлением к «Адаптивному поведению» является интересное направление исследований «Искусственная жизнь». Основной мотивацией исследований искусственной жизни служит желание понять и промоделировать формальные принципы организации биологической жизни. Как сказал руководитель первой международной конференции по искусственной жизни К. Лангтон, «основное предположение искусственной жизни состоит в том, что "логическая форма" организма может быть отделена от материальной основы его конструкции».

Сторонники направления «Искусственная жизнь» часто считают, что они исследуют более общие формы жизни, чем те, которые существуют на Земле. Т.е. 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 книге⁹.

Когнитивные архитектуры. Под когнитивными архитектурами понимаются структура и принципы функционирования познающих систем, которые можно использовать в искусственном интеллекте. Пример когнитивной архитектуры – система *Soar* (от

⁴ Математическая теория логического вывода. Под ред. Идельсона А.В. и Минца Г.Е. – М.: Наука, 1967.

⁵ Turchin V.F. A constructive interpretation of the full set theory // *Journal of Symbolic Logic*. 1987. V. 52. No. 1. P. 172–201.

⁶ Турчин В.Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. – М.: Наука, 1993.

⁷ 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.

⁸ Непомнящих В.А. Поиск общих принципов адаптивного поведения живых организмов и аниматов // *Новости искусственного интеллекта*. 2002. № 2. – С. 48–53.

⁹ Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: УРСС, 2005.



англ. State, Operator And Result). Основная цель работ по Soar – создание системы функционирования интеллектуальных агентов, работающих в широкой области: от простейших форм до оперирования в сложных, заранее не предсказуемых условиях. Систему Soar предложили специалисты в области искусственного интеллекта еще в 1980 годах, тогда ее инициировали, как попытку построить унифицированную теорию познания. Обзор исследований по когнитивным архитектурам и Soar содержится в работах^{10,11}. В последние годы большое внимание уделяется биологически инспирированным когнитивным архитектурам¹².

Интеллектуальные автономные агенты. Это близкое к когнитивным архитектурам направление исследований, в котором большое внимание уделяется биологически обоснованным автономным агентам и компьютерным моделям агентов, обладающих когнитивными и некоторыми интеллектуальными свойствами. Обзор исследований по автономным агентам содержится в работе¹³. Необходимо подчеркнуть, что автономные агенты вполне могут рассматриваться как объединяющее понятие для указанных направлений исследований: агенты вполне естественно могут моделировать биологические организмы и искусственные аналоги организмов. Вполне естественно изучать познавательные свойства и знания автономных агентов.

Близкие работы по научным основам искусственного интеллекта. Такие работы включают исследования когнитивных систем роботов¹⁴, изучение нестандартных логик¹⁵, исследование познавательных методов, используемых человеком¹⁶.

Помимо исследований в области вычислительных наук интересные работы по когнитивным способностям живых организмов ведутся биологами. Эти работы также могут способствовать будущим исследованиям когнитивной эволюции.

3. Биологические эксперименты по «элементарному мышлению животных»

В последние годы проведены интересные биологические исследования, показывающие, что элементарные формы мышления присущи не только высшим животным, но и достаточно простым, например, насекомым (пчелам, муравьям), а также врановым птицам, которые способны самостоятельно создавать и целесообразно использовать «орудия труда». В данном разделе кратко характеризуются эти исследования.

Пчелы сообщают другим пчелам, где искать медоносные цветы. Еще в 20-е годы XX века Карл фон Фриш начал исследования способа передачи пчелами информации друг другу. К. фон Фриш обратил внимание на то, что возвращающиеся в улей пчелы-сборщицы совершают танец, привлекающий внимание других пчел. Угол, составленный осью танца и вертикалью, соответствует углу между направлением на пищу и направлением на солнце. Причем этот угол для танцующей пчелы меняется в соответствии с движением солнца. Скорость танца соответствует расстоянию между пищей и ульем. Танцующая пчела также пахнет, ее запах характеризует медоносный цветок. Другие пчелы наблюдают этот танец и затем находят те цветы, с которых прилетела танцующая пчела (на расстоянии до нескольких километров).

Интересно, что в 1990-е годы Б. Андерсен и А. Михельсен создали искусственную пчелу-робота, которая также танцевала и с помощью танца передавала информацию живым пчелам. Живые пчелы летели из улья на поляну, руководствуясь указаниями пчелы-

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

¹¹ Laird L.E. *The Soar Cognitive Architecture*. – Cambridge et al.: The MIT Press, 2012.

¹² *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society* (A. Chella, R. Pirrone, R. Sorbello, K.R. Johansdottir, Eds). – Heidelberg et al.: Springer, 2012.

¹³ 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*. 2007. V. 11. No. 2. P. 151-180.

¹⁴ Станкевич Л.А. Искусственные когнитивные системы // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2010»: Лекции по нейроинформатике. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – С. 106-160.

¹⁵ Финн В.К. О машинно-ориентированной формализации правдоподобных рассуждений в стиле Ф. Бэкона – Д.С. Милля // *Семиотика и информатика*. 1983. – М.: ВИНТИ. Вып. 20. – С. 35-101.

¹⁶ Anshakov O., Gergely T. *Cognitive Reasoning: A Formal Approach*. – Heidelberg et al.: Springer, 2010.



робота. Подробнее об этой передаче символической информации см. обзор Ж.И. Резниковой¹⁷.

Муравьи могут передавать информацию со скоростью около 1 бита в минуту и запоминать небольшие целые числа. В семье рыжих лесных муравьев можно выделить рабочие группы, состоящие из одного разведчика и 3-8 фуражиров. Каждый разведчик, найдя пищу, вступает в контакт со своей группой и передает информацию фуражирам, где нужно искать пищу. В экспериментах и расчетах Ж.И. Резниковой и Б.Я. Рябко исследовалось поведение муравьев с помощью специально изготовленных ветвящихся лабиринтов небольшой глубины: каждый путь разветвлялся на два, было до 5-6-ти развилок в лабиринте. Было установлено, что муравьи-разведчики могли запомнить путь к кормушке, а затем путем контактов с фуражирами передавать им информацию о том, в каком месте лабиринта находится пища^{17,18}. Зная глубину лабиринта и время контакта, Ж.И. Резникова и Б.Я. Рябко определяли количество информации, передаваемой разведчиками фуражирам, и скорость передачи этой информации. В результате оказалось, что скорость передачи информации составляла около 1 бита в минуту.

Причем, если путь был достаточно простой, например, в каждой развилке лабиринта надо было поворачиваться в левую ветку, то разведчики могли использовать «сжатую» информацию и передавать ее фуражирам с большей скоростью. Образно говоря, муравьи «освоили» как информацию по Шеннону, так и информацию по Колмогорову (подробнее см. работы¹⁷⁻¹⁹).

Кроме этого, исследовалась передача информации между муравьями-разведчиками и фуражирами для более простых лабиринтов-ребенок, состоящих из одного основного канала, от которого ответвляются в одну сторону одинаковые каналы (до 40 веток)^{18,19}. Пища находилась в одном из ответвлений. Муравьи оказались способными запоминать и передавать друг другу сведения о номере ветки, т.е. они умели определенным образом считать.

Новокаледонские вороны могут изобретать способ изготовления орудий труда. Обычно в природе новокаледонские вороны могут обкусывать веточки так, что получаются простые орудия (заостренные палочки или крючки). На заостренную палочку ворона может насаживать личинки насекомых, а крючком вытаскивать личинок из-под коры.

В университете Оксфорда проводили исследования с воронами, находившимися долгое время в неволе²⁰. Двум воронам (молодой самке и самцу постарше) предлагали добывать ведро с пищей со дна прозрачного вертикального цилиндра. Рядом с цилиндром были прямая проволока и проволока, согнутая крючком. Ведро можно было вытащить крючком, но не прямой проволокой. Раньше с проволокой вороны дела не имели. Тем не менее, они сразу поняли, что ведро можно вытащить с помощью крючка.

Неожиданность произошла, когда самец утащил крючок. Тогда самка сначала попыталась подцепить ручку ведра прямым куском проволоки (что было безуспешно), а потом быстро научилась делать из прямой проволоки крючок, зажимая один конец проволоки в одной из щелей экспериментальной установки и загибая проволоку. А затем с помощью изготовленного ей крючка доставала ведро с пищей. В дальнейшем, если крючок убирала, а оставляли прямую проволоку, ворона сразу делала крючок и доставала пищу. Отметим, что самец не перенял опыт самки, он наблюдал за ней и иногда отнимал у нее пищу.

Таким образом, ворона сама, без какого-либо обучения, без каких-либо инструкций, изобрела способ изготовления орудия труда. Подробнее см. работу²⁰ и сайт исследо-

¹⁷ Резникова Ж.И. Современные подходы к изучению языкового поведения животных // Разумное поведение и язык. Коммуникативные системы животных и язык человека. – М.: «Языки славянских культур», 2008. – С. 293 – 337.

¹⁸ Резникова Ж. И., Рябко Б. Я. Теоретико-информационный анализ «языка» муравьев // Журнал общей биологии. 1990. Т. 51. № 5. – С. 601-609.

¹⁹ Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Передача информации о количественных характеристиках объекта у муравьев // Журнал высшей нервной деятельности, 1995. Т. 45. № 3. – С. 500-509.

²⁰ Weir A.A.S., Chappell J., Kacelnik A. Shaping of hooks in New Caledonian crows // Science. 2002. V. 297. No. 5583. P. 981-983.



вателей новокаледонских ворон университета Оксфорда
[<http://users.ox.ac.uk/~kgroup/index.html>,
<http://users.ox.ac.uk/~kgroup/tools/introduction.shtml>].

Новокаледонские вороны могут мысленно составлять планы цепочек целенаправленных действий. Еще одно интересное исследование с новокаледонскими воронами провели исследователи из Новой Зеландии²¹. Задание для ворон состояло из 3 следующих частей. 1) Сначала надо было подтянуть к себе шнуром и освободить от шнура маленькую палочку, которая висела на шнуре. 2) Затем с помощью маленькой палочки достать из одного зарешеченного контейнера длинную палочку. 3) Наконец, с помощью длинной палочки надо было достать пищу из второго контейнера. Причем, без короткой палочки нельзя было достать длинную, а короткой палочкой нельзя было дотянуться до пищи во втором контейнере. Т.е. весь процесс добывания пищи должен был состоять из трех последовательных шагов, на которых надо было использовать три «инструмента»: шнур, маленькую палочку, длинную палочку.

Предварительно вороны тренировались в более простых условиях: они могли использовать часть или все эти инструменты по отдельности. Когда им нужно было выполнить полное задание из трех шагов, то те вороны, которые имели опыт использования всех трех инструментов по отдельности, выполняли задание с первого раза, а те, которые предварительно освоили инструменты частично, выполняли задание не всегда с первого раза, но, тем не менее, тоже быстро научились с ним справляться.

Таким образом, вороны научились продумывать план решения новой задачи, мысленно связывая в плане ранее освоенный опыт.

4. Контуры программы будущих исследований когнитивной эволюции

Как же использовать очерченные заделы и знания при моделировании происхождения мышления. Каковы эволюционные уровни, на которых стоит остановиться? Как от простых форм адаптивного поведения идти к логическим формам, используемым в научном познании? Предложим контуры программы будущих исследований, нацеленных на моделирование когнитивной эволюции. При этом постараемся выделить наиболее существенные этапы, ведущие к логическому мышлению.

А. Моделирование адаптивного поведения автономных агентов 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 производимые животными, но реально используемые ими. Использование понятий приводит к существенному сокращению и требуемой памяти, и времени обработки информации, поэтому оно должно быть эволюционно выгодным.

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. Такая связь формируется, например, при выработке условного рефлекса: животное запоминает связь между условным стимулом (УС) и следующим за ним безусловным стимулом (БС), что позволяет ему предвидеть события в окружающем мире и адекватно использовать это предвидение.

Естественный следующий шаг – переход от отдельных причинных связей к логическим выводам на основе уже сформировавшихся знаний.

²¹ Taylor A.H., Elliffe D., Hunt G.R., Gray R.D. Complex cognition and behavioural innovation in New Caledonian crows // Proc. R. Soc. B. 2010. V. 277. No. 1694. P. 2637–2643.

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, и за условным стимулом следует безусловный, то нужно ожидать появления безусловного стимула». В определенной степени такие выводы подобны выводам математика, доказывающего теоремы (см. выше, раздел 1). И целесообразно разобратся 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 характеризуется в следующем разделе.

5. Начальные шаги моделирования когнитивной эволюции

Компьютерная модель автономных агентов, имеющих естественные потребности. В работе²² была построена и исследована компьютерная модель автономных адаптивных агентов, обладающих естественными для живых организмов потребностями: питания, безопасности и размножения. Предполагалось, что агент имеет определенный ресурс R , который уменьшался при выполнении действий и увеличивался при питании. Кроме того, ресурс агента существенно уменьшался, когда на агента нападал активный хищник. 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. 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) покой, 2) поиск пищи, 3) питание, 4) подготовка к размножению, 5) размножение, 6) оборона. Каждое правило имело свой вес W_k , веса правил настраивались методом обучения с подкреплением²³. Подкрепления определялись изменением фактора ведущей потребности. Агент выполнял действия, соответствующие правилам с большими весами.

Моделирование показало, что в результате обучения 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 в процессе обучения агентов при поиске агентами пищи в двумерной клеточной среде было продемонстрировано в модели²⁴. Модель предполагала, что в части клеток были порции пищи. При съедании пищи ресурс агента пополнялся. Система управления агента также была основана на правилах вида $S \rightarrow A$, веса правил оптимизировались методом обучения с подкреплением.

Компьютерное моделирование показало, что в результате обучения агент формировал следующие обобщающие эвристики. Если имеется пища в той же клетке, в которой находится агент, то нужно съесть пищу. Если в клетке агента нет пищи, но есть пища в

²² 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).

²³ Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. – М.: Бинум, 2011.

²⁴ Бесхлебнова Г.А., Редько В.Г. Модель формирования обобщенных понятий автономными агентами // Четвертая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: В 2-х томах. Т. 1. – Томск: ТГУ, 2010. – С. 174-175.



одной из ближайших клеток, то нужно выполнить действие или цепочку действий, направленных на движение в клетку с пищей.

Кроме этого, в компьютерную модель вводилась процедура усреднения, в результате которой агент формировал внутренние понятия «имеется пища в моей клетке», «имеется пища в клетке впереди меня», «имеется пища в клетке справа/слева от меня». Именно эти понятия использовались в обобщающих эвристиках агента.

Таким образом, построены первые модели, соответствующие предложенной программе (раздел 4), хотя пока эти модели целесообразно рассматривать только как начальный этап более полноценных исследований.

6. Междисциплинарные связи исследований когнитивной эволюции

Укажем потенциальные междисциплинарные связи будущих исследований когнитивной эволюции и тем самым подчеркнем актуальность этих исследований.

– Эти исследования связаны с основаниями науки, с основаниями математики, с серьезной проблемой: почему логические выводы, математические доказательства применимы к реальной природе.

– Данные исследования интересны с философской, эпистемологической точки зрения – они нацелены на прояснение причин применимости человеческого мышления в познании природы.

– В ряде направлений исследований вычислительного интеллекта развивается задел по математическому и компьютерному моделированию когнитивной эволюции.

– Эти исследования интересны с точки зрения развития когнитивных наук, так как они связаны с наиболее важными когнитивными процессами – процессами научного познания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, намечены подходы к моделированию когнитивной эволюции. Имеется ряд заделов этого моделирования в направлениях «Адаптивное поведение», «Искусственная жизнь», «Когнитивные архитектуры». Еще одно близкое направление работ – биологические исследования, направленные на изучение «элементарного мышления животных». Хотя работ на стыке биологии и вычислительного интеллекта, направленных на моделирование «интеллектуального» поведения животных, пока еще явно недостаточно.

Выше наиболее четко очерчен подход к исследованию эволюционного происхождения логического мышления, используемого в математических доказательствах (раздел 1). Существенное достоинство этого подхода – ясен конечный результат эволюции: правила логического вывода, используемые при математических доказательствах, известны и достаточно хорошо формализованы.

Список литературы

1. Кант И. Критика чистого разума. Соч. в 6-ти томах. Т.3. – М.: Мысль, 1964. – С. 69-695.
2. Кант И. Прелегомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука. Соч. в 6-ти томах. Т.4, часть 1. – М.: Мысль, 1965. – С. 67-210.
3. Лоренц К. Кантовская концепция а priori в свете современной биологии // Эволюция. Язык. Познание. Под ред. Меркулова И.П. – М.: Языки русской культуры, 2000. – С. 15-41.
4. Математическая теория логического вывода. Под ред. Идельсона А.В. и Минца Г.Е. – М.: Наука, 1967.
5. Turchin V.F. A constructive interpretation of the full set theory // Journal of Symbolic Logic. 1987. V. 52. No. 1. P. 172 -201.
6. Турчин В.Ф. Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. – М.: Наука, 1993.
7. 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.
8. Непомнящих В.А. Поиск общих принципов адаптивного поведения живых организмов и аниматов // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 2. С. 48-53.



9. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: УРСС, 2005.
10. Langley P., Laird J.E., Rogers S. Cognitive architectures: Research issues and challenges // *Cognitive Systems Research*. 2009. V.10. No. 2. P. 141-160.
11. Laird L.E. *The Soar Cognitive Architecture*. – Cambridge et al.: The MIT Press, 2012.
12. *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012*. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society (A. Chella, R. Pirrone, R. Sorbello, K.R. Johannsdottir, Eds). – Heidelberg et al.: Springer, 2012.
13. 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*. 2007. V. 11. No. 2. P. 151-180.
14. Станкевич Л.А. Искусственные когнитивные системы // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2010»: Лекции по нейроинформатике. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – С. 106-160.
15. Финн В.К. О машинно-ориентированной формализации правдоподобных рассуждений в стиле Ф. Бэкона – Д.С. Милля // *Семиотика и информатика*. 1983. М.: ВИНТИ. Вып. 20. С. 35-101.
16. Anshakov O., Gergely T. *Cognitive Reasoning: A Formal Approach*. – Heidelberg et al. Springer, 2010.
17. Резникова Ж.И. Современные подходы к изучению языкового поведения животных // *Разумное поведение и язык. Коммуникативные системы животных и язык человека* – М.: «Языки славянских культур», 2008. – С. 293 – 337.
18. Резникова Ж. И., Рябко Б. Я. Теоретико-информационный анализ «языка» муравьев // *Журнал общей биологии*. 1990. Т. 51. № 5. С. 601-609.
19. Резникова Ж.И., Рябко Б.Я. Передача информации о количественных характеристиках объекта у муравьев // *Журнал высшей нервной деятельности*, 1995. Т. 45. № 3. С. 500-509.
20. Weir A.A.S., Chappell J., Kacelnik A. Shaping of hooks in New Caledonian crows // *Science*. 2002. V. 297. No. 5583. P. 981-983.
21. Taylor A.H., Elliffe D., Hunt G.R., Gray R.D. Complex cognition and behavioural innovation in New Caledonian crows // *Proc. R. Soc. B*. 2010. V. 277. No. 1694. P. 2637-2643.
22. 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).
23. Саттон Р.С., Барто Э.Г. *Обучение с подкреплением*. – М.: Бином, 2011.
24. Бесхлебнова Г.А., Редько В.Г. Модель формирования обобщенных понятий автономными агентами // Четвертая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: В 2-х томах. Т. 1. – Томск: ТГУ, 2010. – С. 174-175.

MODELING OF COGNITIVE EVOLUTION: PERSPECTIVE DIRECTION OF FUTURE RESEARCH

V.G. RED'KO

*Scientific Research Institute
for System Analysis, Russian
Academy of Science*

e-mail: vgreedko@gmail.com

A new area of research, namely, modeling of cognitive evolution is discussed. Modeling of cognitive evolution is a study of the evolution of cognitive abilities of biological organisms. Origin of human intelligence is a result of this evolution. Backgrounds of investigations of cognitive evolution are characterized. The sketch program of future studies of cognitive evolution is proposed.

Key words: modeling of cognitive evolution, autonomous agents, cognitive abilities of biological organisms.