

Формализация мысленного планирования новокаледонскими воронами

Редько В.Г.

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

Аннотация. Проведена формализация мысленного составления воронами плана действий, направленных на добывание пищи. В [1] был проведен интересный биологический эксперимент, в котором новокаледонским воронам необходимо было продумывать план решения новой задачи, мысленно связывая в плане ранее освоенный опыт. В настоящей работе проведена формализация мысленного составления плана действий воронами. Путем компьютерного моделирования показано, что результаты формализации качественно согласуются с экспериментальными биологическими данными.

1. Биологические эксперименты с новокаледонскими воронами

В последние годы были проведены интересные биологические эксперименты, демонстрирующие элементарное мышление животных. Нетривиальное поведение наблюдалось у новокаледонских ворон [1,2]. Обычно в природе новокаледонские вороны могут обкусывать веточки так, что получают 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, жившими долгое время в неволе [2]. 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, а 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 несколько раз попыталась подцепить ручку ведра прямым куском проволоки (что было безуспешно), а после быстро научилась делать из прямой проволоки крючок, зажимая один конец проволоки в щели экспериментальной установки и загибая проволоку. А затем с помощью изготовленного ей крючка доставала ведро с пищей. В дальнейшем, если крючок убирали, а оставляли прямую проволоку, самка 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, этот эксперимент показал, что ворона сама, без какого-либо обучения, без каких-либо инструкций, изобрела способ изготовления орудия труда. Подробнее см. [2] и сайт исследователей новокаледонских ворон университета Оксфорда

Формализация мысленного планирования новокаледонскими воронами

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

Еще одно интересное исследование с новокаледонскими воронами провели исследователи из Новой Зеландии [1]. Задание для ворон состояло из 3-х 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. То есть 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 научились с ним справляться.

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

В настоящей работе формализуется мысленное составление воронами плана цепочки действий, направленных на добывание пищи.

2. Формализация мысленного составления плана цепочки действий

2.1. Детали биологического эксперимента

Опишем эксперимент с новокаледонскими воронами [1] подробнее. Эксперимент проводился с 7-ю воронами, которые разбивались на две группы: 1) более тренированную (3 вороны) и 2) менее тренированную (4 вороны).

Более тренированной группе давались 6 следующих элементарных обучающих заданий:

1) имеется длинная палочка (длиной 18 см), достать кусок мяса из длинного горизонтального контейнера, глубина контейнера равна 15 см;

2) достать длинную палочку (длиной 18 см) из другого зарешеченного контейнера, при этом конец длинной палочки был между решетками снаружи контейнера, так что вороны могли достать палочку клювом;

3) используя короткую палочку (длиной 5 см), попытаться достать мясо из длинного горизонтального контейнера, длиной 15 см;

4) с помощью шнура длиной 40 см поднять кусок мяса, висящий на шнуре;

5) вытащить длинную палочку (длиной 18 см) из зарешеченного контейнера, используя короткую палочку (длиной 5 см);

Редько В.Г.

б) с помощью шнура длиной 40 см поднять длинную палочку (длиной 18 см), висящую на шнуре.

Обучающие задания более тренированной группы проводились два раза в следующей серии заданий (1), (2), (3), (4), (5), (6), (1), (2), (3), (4), (5), (6), общей длительностью 10 минут.

Менее тренированной группе давались те же задания, за исключением 5-го и 6-го. Т.е. серия заданий была такова (1), (2), (3), (4), (1), (2), (3), (4) элементарных обучающих заданий.

Серии элементарных заданий повторялись до тех пор, пока вороны не выполняли по крайней мере 80 % из этих заданий.

После элементарных обучающих заданий проводилось тестирование решения воронами упомянутого выше полного задания, состоящего из трех частей: 1) подтянуть шнуром и освободить маленькую палочку, 2) маленькой палочкой достать длинную из зарешеченного контейнера, 3) длинной палочкой достать кусок мяса из длинного горизонтального контейнера.

Результаты тестирования на полном задании оказались следующими. С каждой из ворон проводилось 10 тестов.

Все 3 вороны из более тренированной группы при первом же тесте решали полное задание после краткого обследования всей экспериментальной установки (контейнеры, палочки, пища), причем делали это достаточно быстро (примерно за 30 секунд).

Две вороны из менее тренированной группы тоже решали полное задание при первом же тесте, хотя медленнее, и после обследования всей экспериментальной установки и как бы обдумывания задания (за примерно две минуты или несколько дольше). Причем одна из этих ворон только обследовала установку и сразу решила полное задание, а вторая сначала обследовала установку, попробовала подтянуть шнур, еще раз обследовала установку, подтянула и освободила короткую палочку, подлетела с короткой палочкой к длинному горизонтальному контейнеру, еще раз «подумала» и после этого решила полное задание. Еще две вороны из менее тренированной группы тоже решали полное задание, но не сразу, а на третьем или четвертом тесте. При этом существенная задержка в решении задания была в доставании и освобождении маленькой палочки и использовании ее для доставания большой палочки из зарешеченного контейнера.

После того, как было один раз найдено решение полного задания, при дальнейших тестах все вороны решали задание успешно (иногда с небольшими поисковыми вариациями).

Теперь попытаемся представить, как же думают вороны.

После того, как вороны научились выполнять полное задание, они думают примерно так же, как мы, люди:

- 1) раз мясо достается длинной палочкой, значит надо добыть длинную палочку,
- 2) длинную палочку можно добыть короткой, значит надо добыть короткую палочку,
- 3) короткую палочку можно добыть, подтянув шнур и высвободив ее из шнура.

Следовательно, нужно выполнить три последовательных действия: 1) подтянуть шнур и высвободить короткую палочку, 2) вытащить короткой палочкой длинную, 3) длинной палочкой достать мясо.

Формализация мысленного планирования новокаледонскими воронами

Далее будем называть этот мысленный план цепочки действий результирующей схемой мышления.

Но как формируется эта результирующая схема? Согласно биологическому эксперименту основная разница между более и менее тренированными группами в режиме тренировки (т.е. при выполнении элементарных обучающих заданий) состояла в том, что более тренированные вороны обучались доставать длинную палочку с помощью короткой, а менее тренированные этому не обучались – до этого им надо было догадаться. Также более тренированные вороны обучались доставать длинную палочку с помощью шнура, а менее тренированные этому не обучались, хотя это последнее не очень важно, но оно также могло способствовать тому, что более тренированные вороны уже освоили, что какую-то палочку с помощью шнура можно достать. В результате более тренированные вороны имели более полные знания о компонентах, которые можно использовать при выполнении полного задания. В силу этого вероятность решения полного задания для более тренированной группы выше, чем для менее тренированной группы.

2.2. Простая формальная модель, результаты моделирования

Введем две переменные: 1) вероятность нахождения нужной цепочки действий в течение одного экспериментального теста, P_{cf} и 2) уверенность в том, что найденная цепочка правильная, A_s .

Первая переменная – вероятность того, что ворона догадается, представит мысленно план нужной цепочки действий в течение одного теста. Ясно, что для более тренированной группы исходная (до тестов) величина P_{cf} выше, чем для менее тренированной группы

Подчеркнем важность второй переменной A_s . Считаем, что когда ворона угадала нужный план, то она уже помнит об этом плане и при следующих тестах использует его. В соответствии с этим полагаем, что A_s принимает только два значения: $A_s = 0$, если ворона не нашла нужную цепочку действий, т.е. еще не решила полное задание, и $A_s = 1$, если ворона нашла нужную цепочку действий, т.е. решила полное задание и уверена в том, что найденное решение правильное. Также считаем, что исходная величина $P_{cf} < 1$, а после нахождения плана нужной цепочки действий $P_{cf} = 1$. Такие предположения соответствуют биологическому эксперименту, в котором во всех случаях после первого нахождения плана в дальнейшем ворона всегда использовала этот план. При моделировании не будем учитывать малые поисковые вариации, возникающие изредка после нахождения плана.

Можно говорить, что когда ворона первый раз решила полное задание и получила кусок мяса, то в ее сознании происходит как бы «фазовый переход», она понимает, что ей было дано задание и она решила это задание правильно. Далее она решает задание уже найденным способом. По-видимому, это можно интерпретировать, как формирование функциональной системы (П.К. Анохин [3]), направленной на решение задания. Записывание в память нужного решения может осуществляться путем помещения процесса решения в поле внимания (М.М. Бонгард и др. [4], М.Н. Вайнцвайг, М.П. Полякова [5]) и многократного

Редько В.Г.

повторного прокручивания процесса решения в нервной системе животного (А.М. Иваницкий, Дж. Эдельман, см. [6,7]).

Была создана компьютерная программа, моделирующая формирование плана нужных цепочек действий воронами, основанная на использовании изложенной выше динамики переменных P_{cf} и A_s . Полагалось, что для более тренированной группы исходная вероятность P_{cf} близка к единице, а для менее тренированной группы исходная вероятность P_{cf} полагалась равной $P_{cf} = 0.5$. Определялся номер теста, при котором вороны находили успешный план действий. Результаты моделирования были близки к экспериментальным. Например, в типичном расчете для 4-х ворон в менее тренированной группе было получено, что две вороны из этой группы находят нужный план при первом тесте, одна ворона – при втором тесте, а одна – при пятом тесте.

3. Обсуждение и заключение

Изложенная модель очень проста, тем не менее, она обеспечивает понимание того, как формируется результирующее решение. Еще раз подчеркнем важность того, что после нахождения нужного решения появляется уверенность в найденном методе решения. В какой-то степени то, как новокаледонские вороны находят решение полного задания, подобно тому, как старшеклассник, решающий достаточно сложную математическую задачу, находит решение задачи. При этом так же, как и для ворон, чем больше тренирован старшеклассник, чем лучше он знает методы, приемы решения математических задач, тем быстрее он решит задачу. И после однократного решения определенной задачи, он какое-то время помнит, как решать данную задачу. То есть решение задания воронами в определенной степени аналогично решению задач людьми.

В принципе, при моделировании можно было бы разбить процесс решения полного задания новокаледонскими воронами на несколько этапов и промоделировать каждый этап отдельно, однако, не очень понятно, как для рассмотренного биологического эксперимента это можно было бы сделать четко. Поэтому в модели мы ограничились просто заданием вероятности того, что ворона догадается до нужного решения P_{cf} . Были бы интересны другие биологические эксперименты, для которых моделирование нахождения решения в несколько этапов было бы эффективно.

Также интересно было бы экспериментально определить: сколько времени вороны тратят на повторное решение задания, после того как один раз решение полного задания было уже найдено. Понятно, что при повторном решении не требуется ни обследования установки, ни время на то, чтобы догадаться до плана решения задания. Время повторного решения задания должно быть меньше времени первого решения.

Итак, предложена модель формирования плана цепочки действий новокаледонскими воронами. Модель очень проста, тем не менее, она обеспечивает понимание того, как формируется решения задания воронами и позволяет проводить аналогию с решениями задач людьми.

Формализация мысленного планирования новокаледонскими воронами

Литература

1. 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.
2. Weir A.A.S., Chappell J., Kacelnik A., Shaping of hooks in New Caledonian Crows // Science. 2002. V. 297. № 5583. P. 981-983.
3. Анохин П. К. 1979. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука.
Anokhin, P.K. 1974. Biology and Neurophysiology of the Conditioned Reflex and Its Role in Adaptive Behavior. Pergamon, Oxford.
4. Бонгард М.М., Лосев И.С., Смирнов М.С. Проект модели организации поведения – «Животное» // От моделей поведения к искусственному интеллекту (под ред. В.Г. Редько). М.: Изд-во УРСС (Серия «Науки об искусственном»), 2006. С. 61-81. См. также: <http://www.keldysh.ru/pages/mrbur-web/misc/bongard.htm>
5. Вайнцвайг М.Н., Полякова М.П. О моделировании мышления // От моделей поведения к искусственному интеллекту (под ред. В.Г. Редько). М.: Изд-во УРСС (Серия «Науки об искусственном»), 2006. С. 280-286.
См. также: <http://www.niisi.ru/iont/ni/N111/WS/VainPol.pdf>
6. А.М. Иваницкий. Проблема «сознание и мозг» и искусственный интеллект. Лекция на конференции Нейроинформатика-2006. Лекция есть на сайте: <http://www.niisi.ru/iont/ni/Library/School-2006/Ivanitsky-2006.pdf>
7. Edelman G.M. Group selection and phasic reentrant signaling: A theory of higher brain function // The Mindful Brain, Cambridge: MIT Press, 1978. PP.51-100.

Статья поступила 28 апреля 2011 г.