

Изучение процессов предсказания у рыб

Редько В.Г.⁽¹⁾, Непомнящих В.А.⁽²⁾, Осипова Е.А.⁽²⁾, Шарипова Т.И.⁽¹⁾, Бесхлебнова Г.А.⁽¹⁾

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН⁽¹⁾, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН⁽²⁾
vcredko@gmail.com

Abstract

Predictive abilities of fish moving in a maze are studied by means of biological experiments and computer simulation. The results of computer simulation are in qualitative agreement with biological observations.

1 Введение

В настоящей работе представлен начальный этап изучения познавательных способностей рыб, изучающих простые лабиринты. Строится компьютерная модель предсказательных способностей рыб, и сопоставляются результаты компьютерного моделирования с данными биологического эксперимента. При моделировании учитывается то, что в поведении животных постоянно присутствуют две противоположные тенденции. Одна из них – поиск новой, непредсказуемой стимуляции, а другая – стремление предсказывать результаты своего поведения [1]. Взаимодействие этих двух тенденций приводит к тому, что животное постоянно исследует последствия своих действий и незнакомые объекты во внешней среде, даже если они не связаны с удовлетворением физиологических потребностей организма. Важно подчеркнуть, что накопление знаний при таком поисковом поведении животных является предшественником развития знаний человека при его творческой поисковой активности.

2 Биологический эксперимент

Изучалось поведение рыб данио рерио, перемещающихся в простом крестообразном лабиринте (рис. 1).

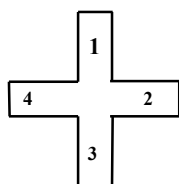


Рис. 1. Крестообразный лабиринт

Характерная длина рыб составляла 25 мм и была примерно равна ширине коридоров. Используемая далее нумерация коридоров показана на рис. 1. Значительная часть перемещений рыб между коридорами подчинялась простым правилам. Такие перемещения мы будем называть мотивами:

1) Самый заметный мотив – повторяющиеся челночные переходы между смежными коридорами, например, 12121212 или 141414...

2) Менее частый – повторяющиеся челночные переходы между противоположными коридорами: 131313 и 24242424.

3) Изредка наблюдались последовательные переходы из одного коридора в другой смежный, по часовой стрелке (1234) или в противоположном направлении (3214).

Кроме мотивов, у рыб наблюдаются и такие последовательности посещений коридоров, которые не подчиняются каким-либо правилам, случайные, например 231421. Характерный пример последовательности посещаемых рыбой каналов: 212121212123232342223232323132323232321323123134
12341234123423232323231321431412141212123412121
21212123132121212341234324242424131313124242431
21324121412312. Подчеркнуты цепочки, соответствующие указанным мотивам.

3 Компьютерная модель

Была построена компьютерная модель, в которой рассчитывалась уверенность агентов (модельных рыб) в предсказаниях будущих ситуаций. Уверенность характеризовалась величиной, меняющейся от 0 до 1. Время в модели дискретно: $t = 0, 1, 2, \dots$. Модель предполагала, что имеются исходные ситуации S_t (канал, в котором агент находится, число различных ситуаций равно 4). В каждой ситуации агент может выполнять три действия A_t : при выходе из канала, агент может 1) повернуть в правый канал, 2) пройти в противоположный канал, 3) повернуть в левый канал. При выполнении действия агент предсказывает, в какой ситуации S_{t+1} он дальше окажется (таких новых ситуаций 4). В некоторой степени это предсказание подобно формированию простого акцептора результата действия в теории функциональных систем П.К. Анохина.

Далее агент определяет, сбылось ли его предсказание. Если предсказание сбылось, то уверенность в данном предсказании увеличивается, если предсказание не сбылось, то такая уверенность уменьшается. Таким образом, формируются уверенности в предсказании конечного элемента цепочки $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$. Конечно, в данном простом лабиринте рыбе почти нечего предсказывать, тем не менее, она не уверена до конца, что в том лабиринте, в котором она уже несколько раз побывала, не появилось ли там чего-либо нового. Поэтому компьютерная

модель содержит естественную динамику уверенностей предсказания.

В модели была введена следующая эвристика. Предполагалось, что когда уверенность агента в текущем предсказании мала (меньше определенного порога), то агент стремится повторить только что пройденный маршрут, т.е. агент из того канала, в котором он в данный момент времени t находится, возвращается в тот канал, в котором он был в предыдущий момент $t-1$. А если уверенность агента в текущем предсказании больше порога, то агент совершает случайное действие, для которого уверенность агента в предсказываемом результате, как правило, невелика. Матрица уверенностей для всех возможных цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$ запоминалась агентом. Кроме того, считалось, что уверенности в предсказании ожидаемого результата для всех цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$ все время немного уменьшаются.

Тем самым данная эвристика соответствует отмеченным выше двум противоположным тенденциям: 1) стремлению предсказывать результаты своего поведения (при этом уверенности при правильном предсказании усиливаются), и 2) поиску новой, непредсказуемой ситуации (что соответствует выполнению случайного действия при достижении высокой текущей уверенности).

Основные параметры расчета в компьютерной модели были таковы: типичное увеличение/уменьшение уверенности при правильном/неправильном предсказании составляло 0.3, характерное время уменьшения всех уверенностей составляло 100 тактов времени.

Характерный пример последовательности посещаемых агентом каналов таков: 3431313232424241414141212121212424232423131324242121242424141431323232421212123121232324212121232343424141414212121212343124242424212324.

Как и для рыб, подчеркнуты цепочки, соответствующие отмеченным выше мотивам. Видно, что последовательности посещаемых каналов для агентов и для рыб аналогичны друг другу. Для агентов не встречаются только редкие для рыб цепочки движения «по кругу», такие как 1234. По-видимому, этот редко встречающийся мотив можно учесть и для агентов, вводя дополнительную эвристику, специфичную для ряда животных: преимущественное перемещение вдоль выбранной стенки.

В компьютерной модели несложно проследить динамику суммарной уверенности агента A_S в предсказании для всего лабиринта, суммируя уверенность для всех возможных цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$. Зависимость от времени t суммарной уверенности в предсказаниях для всего лабиринта показана на рис. 2. В начале расчета уверенность для всех возможных предсказаний агента была равна 0. В дальнейшем уверенность растет. Максимально возможное значение суммарной уверенности для всего лабиринта, т.е. для всех возможных цепочек $\{S_t, A_t\} \rightarrow S_{t+1}$ с учетом числа каналов, действий и возможных будущих ситуаций равно $4 \cdot 3 \cdot 4 = 48$. Это максимально возможное значение суммарной уверенности в предсказаниях не достигается из-за того, что все уверенности постоянно немного уменьшаются.

После достижения определенного уровня суммарная

уверенность выходит на насыщение и случайно колеблется.

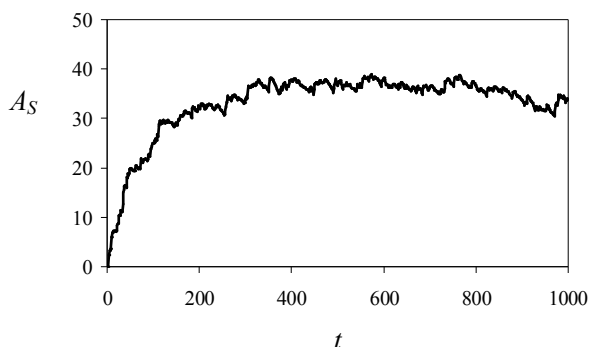


Рис. 2. Зависимость суммарной уверенности агента в предсказаниях от времени

Таким образом, результаты компьютерной модели качественно согласуются с экспериментальными биологическими данными.

4 Заключение

Проведенный анализ выполнен для очень простого случая поведения рыб в лабиринте. Тем не менее, это поведение характеризуется такими важными понятиями, как модель и предсказание. Рыбы формируют модель лабиринта и делают предсказания. Подчеркнем, что в научном познании также формируются модели внешнего мира и делаются предсказания на основе этих моделей [2,4]. Конечно, уверенность рыб основана на простом индуктивном обобщении опыта, а уверенность ученого в предсказаниях при построении модели (например, модели всей механики на основе трех законов И. Ньютона) формируется на базе сопоставления многих фактов, концепций и теорий. И необходим дальнейший анализ эволюции когнитивных способностей животных, эволюции, приведшей к способности познания природы [3].

Литература

- [1] В.А. Непомнящих. Адаптация и автономия в поведении животных // *XV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2013»: Лекции по нейроинформатике*. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. С. 106-123.
- [2] В.Г. Редько. *Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики*. М.: КомКнига, 2005.
- [3] В.Г. Редько. Моделирование когнитивной эволюции – перспективное направление исследований на стыке биологии и математики // *Математическая биология и биоинформатика*. Т. 5. № 2. С. 215-229. 2010.
[http://www.matbio.org/downloads/Redko2010\(5_215\).pdf](http://www.matbio.org/downloads/Redko2010(5_215).pdf)
- [4] В.Ф. Турчин. *Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции*. М.: Наука, 1993.