

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ НА ОСНОВАНИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ РЫБ

***Шарипова Т.И.<sup>(1)</sup>, Редько В.Г.<sup>(1)</sup>, Непомнящих В.А.<sup>(2)</sup>, Осипова Е.А.<sup>(2)</sup>***

*Научно-исследовательский институт системных исследований РАН<sup>(1)</sup>,  
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН<sup>(2)</sup>*

*E-mail: sharipovatamara@gmail.com*

**Аннотация.** Моделируется способность рыб делать предсказания при их движении в лабиринте. Результаты компьютерного моделирования качественно согласуются с биологическими наблюдениями.

**Ключевые слова:** когнитивные карты, адаптивное поведение, автономные агенты.

УДК 004.85

## MODELING AGENT BEHAVIOR BASED ON PREDICTIVE FISH ABILITIES

***Sharipova T.I.<sup>(1)</sup>, Red'ko V.G.<sup>(1)</sup>, Nepomnyashchikh V.A.<sup>(2)</sup>, Osipova E.A.<sup>(2)</sup>***

*Scientific Research Institute for System Analysis <sup>(1)</sup>, I.D. Papanin Institute for  
Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences <sup>(2)</sup>*

**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.

**keywords:** cognitive maps, adaptive behavior, autonomous agents.

### 1. Введение

В настоящей работе изучается поведение рыб в простых лабиринтах. На основании биологических экспериментов строятся компьютерные модели. Учитывается, что в поведении животных постоянно присутствуют две противоположные тенденции. Одна из них – поиск новой, непредсказуемой стимуляции, а другая – стремление предсказывать результаты своего поведения [1]. При взаимодействии данных тенденций рыба постепенно изучает лабиринт, периодически «закрепляя» свои знания. 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).

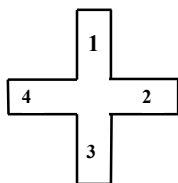


Рис. 1. Крестообразный лабиринт

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).

Были и случайные перемещения рыб. Характерный пример последовательности посещаемых рыбой каналов:

2121212121232323422323232313232323232132312313412341234123423232  
32323132143141214121212341212121212313212121234123432424242413  
131312424243121324121412312.

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).

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 обра-

зом, 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 ранее 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:

3431313132324242414141412121212124242324231313242421212424241414  
3132323242121212123121232324212121232343424141414212121212343124  
242424212324.

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 уверенности 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 и действий равно  $4 \cdot 3 = 12$ . 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.

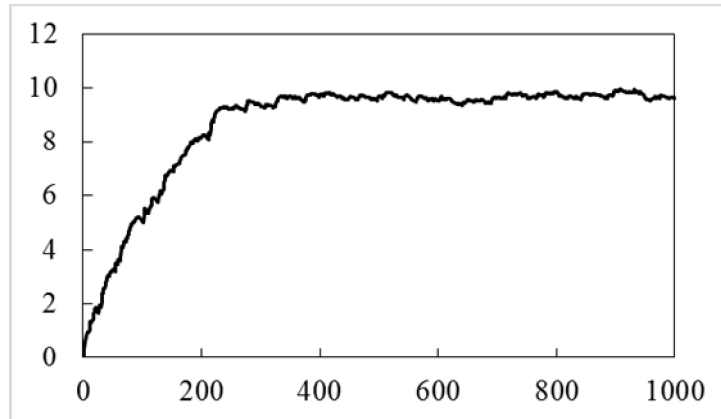


Рис. 2. Зависимость суммарной уверенности агента в предсказаниях от времени

Таким образом, результаты компьютерного моделирования качественно согласуются с экспериментальными биологическими данными.

## 5. Заключение

Проведенный анализ выполнен для очень простых случаев 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 [2,3].

## 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.Ф. Турчин. *Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции*. М.: Наука, 1993.