

Искусственный интеллект с позиции ментальных схем

В работе поставлена задача «адаптивной навигации». Описан подход к ее решению на частной топологии – квадратной решетке. Решение основано на современном понимании механизмов памяти, мышления. Учтено забывание как убывающая логарифмическая функция времени. Введено понятие ментальной схемы. Описан способ визуализации ментальных схем. Представлены частные примеры ментальных схем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ментальные схемы, модель обучения, принятие решений, адаптивная навигация.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FROM THE POSITION OF MIND SCHEME

The paper touches upon the problem of «adaptive navigation». The article depicts an approach to its solution based on a particular topology – a square lattice. The decision is grounded on the modern comprehension of mechanisms of memory and thinking. Forgetting as a decreasing logarithmic function of time is considered. The concept of the mental scheme is introduced. The method of visualization of mental schemes is described. Particular examples of mind schemes are presented.

Keywords: artificial intelligence, mind scheme, learning model, decision making, adaptive navigation.

Введение. Постановка задачи

Термин «интеллект» сегодня понимается как качество психики, заключающееся в способности к обучению на основе опыта, адаптации к новым ситуациям, пониманию и применению абстрактных понятий и использовании знаний для изменения окружающей среды [1]. Искусственный интеллект представляет собой машину (компьютерную программу), которая обладает перечисленными выше качествами. Она способна адаптироваться к новым ситуациям, обучаться на основе опыта и, конечно же, использует свои знания для решения определенных задач. Кроме того, современный искусственный интеллект – это машина, способная усилить интеллектуальные способности человека в качестве наставника или помощника. Согласно определению, используемому Д.В. Смолиным, «искусственный интеллект – это самообучающийся инструмент, усиливающий деятельность человека по

генерации и принятию решений» [2, с. 17].

Примерами задач, решаемых искусственным интеллектом, могут послужить задачи классификации, распознавания, автоматический перевод и др. Для каждого класса задач используются отдельные модели искусственного интеллекта: нейронные сети, логические, продукционные и фреймовые модели и др. [2]. В реальности люди часто сталкиваются с проблемами, решение которых может быть получено различными способами. Такие ситуации требуют, во-первых, интеллектуальных способностей, во-вторых, оперативного реагирования. Наиболее показательной является задача отыскания наиболее приемлемого маршрута из пункта А в пункт В по разветвленной транспортной развязке города. Способ решения может быть следующим. Представим карту дорог в виде графа, в котором узлы обозначают перекрестки, а ребра – улицы. С каждым ребром графа сопоставлено число – длина улицы. Таким об-

разом, получим взвешенный граф, соответствующий транспортной развязке города. Далее ситуация может быть сведена к задаче поиска кратчайшего пути на графе, решения которой известны. Однако такой подход нельзя назвать интеллектуальным. Математически удобная модель не учитывает индивидуальные особенности водителя: опыт, квалификацию, технические особенности его автомобиля, индивидуальные предпочтения и т.д. Маршрут, являющийся кратчайшим по длине, в действительности может оказаться не самым оптимальным. Приблизив описанную ситуацию к реальной, столкнемся с проблемами, разрешить которые возможно только с помощью искусственного интеллекта.

Сформулируем задачу в следующем, приближенном к реальности, виде: необходимо отыскать маршрут из пункта А в пункт В по разветвленной транспортной развязке города, учитывающий индивидуальные предпочтения водителя. Несмотря на неточную форму-



Евгений Васильевич Асауленко,
аспирант кафедры информатики и ВТ
Тел.: 8 (901) 646-77-71
Эл. почта: evgeniy.asaulenko@mail.ru
Красноярский государственный
педагогический университет
им. В.П. Астафьева
www.kspu.ru

Evgeniy V. Asaulenko,
Post-graduate student, the Department of
informatics and computer science
Tel.: 8 (901) 646-77-71
E-mail: evgeniy.asaulenko@mail.ru
www.kspu.ru

лировку (не раскрывается понятие «предпочтения»), проблема может быть решена с использованием искусственного интеллекта. Назовем ее «задача адаптивной навигации», а интеллектуальную машину, решающую эту задачу, условимся называть «навигатор».

Подобные задачи встречаются в различных областях человеческой деятельности. В частности, в образовательном процессе – при учете индивидуальных особенностей ученика и оценке достижения им запланированных результатов обучения. Элементарным примером здесь может служить обучение решению квадратного уравнения, имеющему несколько эквивалентных, с точки зрения результата, способов: вычисление корней по общей формуле, теорема Виета, выделение полного квадрата и др. В подобном случае для изучения необходимо выбрать наиболее подходящий способ решения, учитывая индивидуальный опыт ученика и образовательные задачи.

1. Модель памяти

При конструировании навигатора, решающего поставленную задачу, должны быть приняты во внимание общие закономерности работы человеческого мозга. Только в этом случае возможен учет индивидуальных особенностей. Сегодня механизмы разума объясняются с позиции основных информационных процессов (запоминание, хранение и извлечение информации), протекающих во времени. В работе [3] описана пространственно-временная модель памяти, согласно которой клетки головного мозга – нейроны – обладают дискретными по времени наборами состояний, в которых могут вступать в направленные связи с другими нейронами (синаптические связи). Связи формируются, отражая образ объекта, взаимодействующего с сенсорной системой. Ансамбли связанных нейронов дополняют существующие образы, формируют новые образы или разрушаются, теряя связи (происходит забывание).

При многократных воздействиях одного и того же объекта на

сенсорную систему, синаптические связи, формирующие образ этого объекта в памяти, становятся более устойчивыми. Возникает устойчивый обобщенный образ объекта. Если на нервную систему периодически во времени воздействует объект или группы различных объектов, возникают обобщенные образы событий (процессов). А при выполнении схожих операций над однотипными объектами возникают обобщенные образы действий см. [4].

Таким образом, отражение материального мира может быть представлено как эволюционирующая во времени картина связей между нейронами или группами нейронов. Эта пространственно-временная модель памяти будет положена в основу навигатора, решающего задачу адаптивной навигации.

2. Ментальная схема

В процессе обучения в памяти формируются обобщенные образы объектов, обобщенные образы событий, происходящих с объектами, и обобщенные образы действий с ними. Представив образы объектов в виде узлов, а события и действия, происходящие с ними, в виде связей между узлами, получим графовидную структуру, которую назовем *ментальной схемой*. В работе [5] приведен пример такой структуры, возникающей при решении учебной расчетной задачи по физике. В ней элементы условия задачи, формулы, значения величин и их размерности даны в виде объектов (узлов), а преобразования единиц измерения, алгебраические преобразования формул, операции с размерностями, вычисления и т.п. – в виде связей.

При движении по разветвленной транспортной развязке водитель формирует в памяти соответствующую ментальную схему. Такая ментальная схема состоит из обобщенных образов объектов – перекрестков, обобщенных образов действий – поворотов на перекрестках и перемещений по дорогам между перекрестками, обобщенных образов событий – перемещения по серии перекрестков

и улиц. Эта структура позволяет водителю выбирать маршруты по наиболее предпочтительным (изученным, приятным, удобным) дорогам, относительно которых в памяти сформированы обобщенные образы объектов, событий и действий. Таким образом, мыслительный процесс представляется как поиск приемлемого пути на ментальной схеме. Для успешного решения задачи адаптивной навигации навигатор должен моделировать ментальную схему водителя и использовать эту модель для выбора наиболее подходящего пути, учитывающего опыт, возможности, предпочтения водителя.

3. Квадратная решетка

Схема дорог, пожалуй, любого города достаточно сложна, поэтому для упрощения представим топологию транспортной развязки в виде квадратной решетки $N \times N$ узлов. Такая решетка состоит из квадратных ячеек – клеток. Длину стороны клетки примем одинаковую во всей решетке и равную единице. В данной работе использовалась квадратная решетка размером 10×10 узлов (см. структуру на рис. 1).

При движении по транспортной развязке в виде квадратной решетки в памяти водителя формируется соответствующая ментальная схема, имеющая аналогичную структуру (см. рис. 1). На нем белыми точками

изображены узлы решетки – обобщенные образы объектов (перекрестков), линиями обозначены связи – обобщенные образы действий (перемещений по дорогам).

Каждой связи приведем в соответствие число – вес связи, который изменяется в диапазоне от 0 до 100. Вес связи является обобщенной характеристикой и включает в себя знания, умения, опыт, предпочтения и другие качества (далее в тексте просто «знания») водителя относительно дороги, которую обозначает связь. Значение «0» соответствует полному отсутствию «знаний» о дороге, значение «100» – экспертному «знанию». На рис. 1 буквой А изображен возможный исходный пункт, буквой В – возможный пункт назначения.

4. Забывание

Известно, что полученные знания через некоторое время утрачиваются, если их не использовать, т.е. происходит забывание. Явления забывания впервые были экспериментально исследованы Г. Эббингаузом в экспериментах с заучиванием бессмысленных числовых рядов [6, с. 224–239]. Согласно этим исследованиям забывание протекает быстро в первые моменты после заучивания. Спустя некоторое время интенсивность забывания значительно уменьшается. Экспериментальные данные, полученные

Эббингаузом, хорошо аппроксимируются убывающей логарифмической функцией вида

$$\kappa = -q \cdot \ln(s \cdot t + 1) + \kappa_0, \quad (1)$$

где κ – объем информации, оставшийся в памяти спустя некоторое время после заучивания;
 q, s – положительные коэффициенты, влияющие на интенсивность забывания;
 t – время после заучивания;
 κ_0 – объем изначально запомненной информации.

Далее в работе коэффициент q назван *скоростью забывания*. Будем считать, что веса связей квадратной решетки изменяются по закону вида (1). Это означает, что со временем водитель утрачивает «знания» относительно дороги, которую обозначает связь, что соответствует действительности. Несомненно, законы забывания осмысленной информации о транспортной развязке города будут отличаться от законов забывания бессмысленных числовых рядов. Очевидно также, что на интенсивность забывания влияет эмоциональная ситуация, в которой были получены знания. Однако для упрощения будем использовать функцию (1) при описании закона изменения веса связи от времени, т.е. значения κ соответствуют объему «знаний». В модели использованы следующие значения параметров в выражении (1):

$$q = 4,5; s = 1,2 \cdot 10^6; \kappa_0 = 100. \quad (2)$$

5. Усвоение

При многократном повторении, использовании полученных знаний интенсивность их забывания уменьшается, происходит усвоение. Учтем это в модели следующим образом. Когда путь навигатора проходит по некоторой дороге, вес соответствующей связи увеличивается до 100. В дальнейшем, если маршруты не проходят через эту связь, ее вес уменьшается по закону (1). Если же через некоторое время маршрут вновь проходит по связи, вес ее вновь возрастает до 100, т.е. происходит повторение в процессе применения знаний. После этого вес связи уменьшается медленнее, т.е. скорость забывания

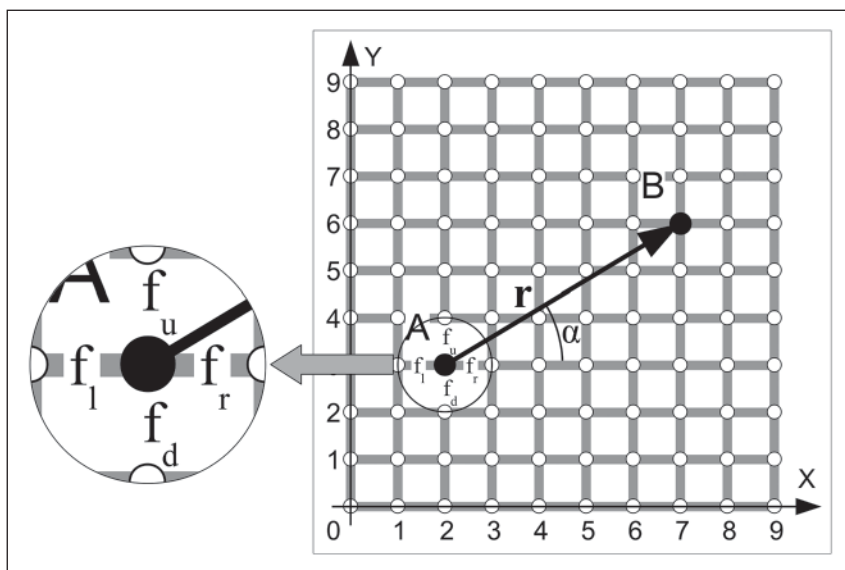


Рис. 1. Частный случай топологии ментальной схемы – квадратная решетка размером 10×10 узлов

(коэффициент q) принимает меньшее значение. При каждом повторении будем уменьшать скорость забывания на несколько процентов. Формула для вычисления нового значения скорости забывания примет следующий вид:

$$q_{\text{new}} = q_{\text{old}} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right), \quad (3)$$

где q_{old} – значение скорости забывания до повторения;
 q_{new} – значение скорости забывания после повторения;
 p – процент, на который уменьшается скорость забывания при каждом повторении.

При отсутствии повторений вес связи с течением времени будет убывать по закону (1) до нуля, а затем оставаться без изменений.

Используя описанные закономерности забывания и усвоения при движении по квадратной решетке, навигатор будет формировать собственную ментальную схему, отражающую ментальную схему водителя, т.е. будет обучаться.

6. Функция поведения

После обучения навигатор должен предлагать маршруты, которые предпочел бы человек, причем делать это значительно быстрее человека, тем самым ускоряя процесс принятия решений. Для решения этой задачи введем *функцию поведения* F , руководствуясь значением которой, навигатор будет принимать решение о направлении движения на каждом перекрестке. Эта функция будет вычисляться для каждого узла решетки, для каждого возможного направления, т.е. будет четырехзначной. Таким образом будет моделироваться поведение водителя при выборе направления движения на перекрестке.

Функция поведения должна зависеть, во-первых, от расстояния по прямой до конечной цели (расстояния между узлами A и B , см. рис. 1), во-вторых, от направления, в котором находится цель, в-третьих, от весов связей, окружающих данный узел квадратной решетки. Чем ближе цель, тем более вероятно должен делаться шаг в направлении к цели. Чем больше вес бли-

жайшей связи, тем более вероятно должен делаться шаг по ней. Учитывая вышеперечисленные требования к функции поведения, определим ее следующим образом:

$$F = \begin{cases} f_u = B \cdot \kappa_u + A \cdot m(r) \cdot \sin(\alpha) \\ f_r = B \cdot \kappa_r + A \cdot m(r) \cdot \cos(\alpha) \\ f_d = B \cdot \kappa_d - A \cdot m(r) \cdot \sin(\alpha) \\ f_l = B \cdot \kappa_l - A \cdot m(r) \cdot \cos(\alpha) \end{cases} \quad (4)$$

где f_u, f_r, f_d, f_l – значения функции поведения в направлениях вверх, вправо, вниз и влево соответственно, от текущего узла решетки, см. рис. 1;

$\kappa_u, \kappa_r, \kappa_d, \kappa_l$ – значения текущих весов связей в направлениях вверх, вправо, вниз и влево соответственно;

A, B – нормировочные коэффициенты;

α – угол между осью Ox и вектором r , соединяющим текущее положение (пункт A) с конечным положением (пункт B), см. рис. 1.

Множитель $m(r)$ в выражении (4) является функцией расстояния до пункта назначения (т.е. модуля вектора r , см. рис. 1) и изменяется при приближении точки A к точке B от 0 до 1. Значение $m(r)$ определяется выражением

$$m(r) = \frac{D-r}{D}, \quad (5)$$

где D – диагональ квадратной решетки, равная

$$D = \sqrt{2}(N-1). \quad (6)$$

Функция поведения используется для построения траектории следующим образом. На каждом узле решетки навигатор делает шаг в направлении, в котором значение функции поведения наибольшее. На границах решетки функция поведения в направлениях, в которых сделать шаг невозможно, принимает большое отрицательное значение, чтобы шаг за границу решетки был невозможен.

7. Процесс обучения

Для решения задачи адаптивной навигации навигатор необходимо обучить, т.е. сформировать мен-

тальную схему, которая будет являться моделью ментальной схемы водителя. Навигатор должен «следить» за водителем и отображать маршруты, выбранные водителем на своей ментальной схеме, тем самым накапливать информацию о том, что мы назвали «индивидуальные особенности» водителя, т.е. о его опыте, предпочтениях, технических особенностях автомобиля (косвенно) и т.п. Спустя некоторое время начать оперативно предлагать водителю наиболее благоприятные маршруты.

В данной работе в качестве теста выбран алгоритм самообучения навигатора *на случайных целях*, заключающийся в следующем. Изначально все веса связей квадратной решетки равны нулю. Исходная точка маршрута – узел A и конечная точка – B выбираются случайно. После этого навигатор строит траекторию, на каждом шаге руководствуясь наибольшим значением функции поведения. Время в модели полагаем дискретным, с шагом дискретизации, равным единице, причем за один временной такт строится одна траектория. Веса связей, по которым навигатор проходит достаточно часто, будут уменьшаться медленно, поскольку при каждом повторном прохождении по связи скорость забывания уменьшается согласно формуле (3). Напротив, веса тех связей, по которым навигатор проходит редко, уменьшаются быстро (т.е. связи разрушаются, происходит забывание) и навигатор реже использует их для перемещения. Поскольку начальная и конечная точки распределены по квадратной решетке равномерно, чаще всего маршруты должны пролегать через центр решетки. Веса связей, расположенных в центре, будут наибольшими, а периферийные связи будут иметь наименьшие веса.

В результате самообучения на случайных целях связи ментальной схемы навигатора принимают некоторые значения. Изобразим квадратную решетку с ребрами разной яркости. Если ребро решетки имеет максимальный вес, равный 100, отобразим его черным цветом, если вес ребра равен 0 – белым. Все

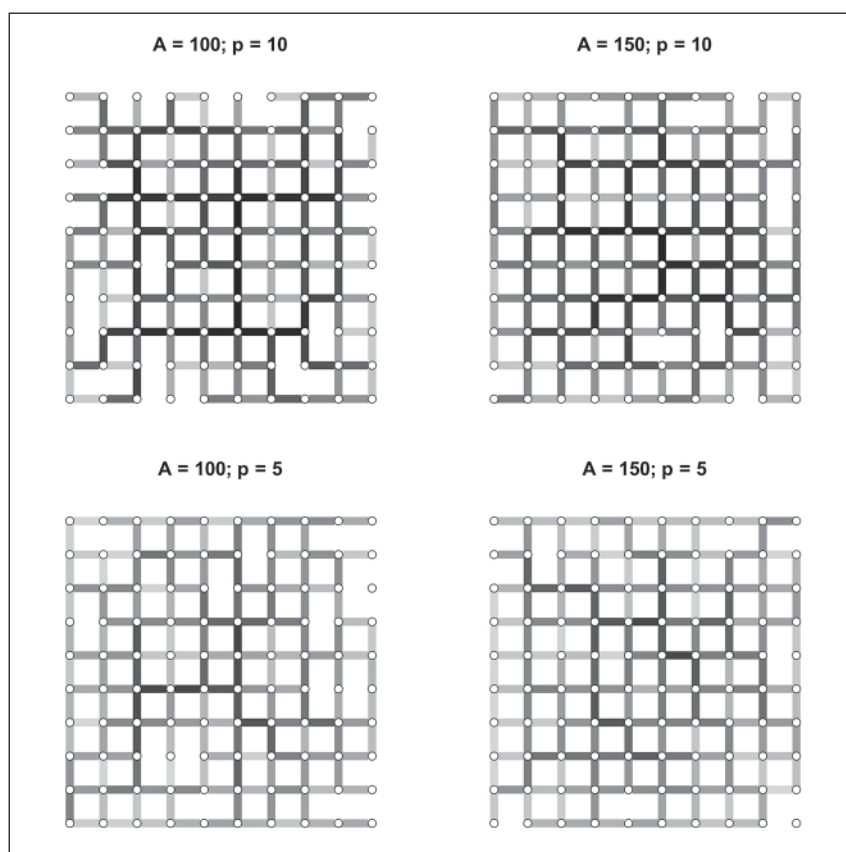


Рис. 2. Примеры машинных ментальных схем

промежуточные значения отображим градиентом серого цвета, по принципу – чем больше вес, тем темнее связь. На рис. 2 приведены примеры ментальных схем при различных значениях параметров мо-

дели (коэффициент В в выражении (4) равен 1).

Каждая из этих ментальных схем была получена при 200 тактах обучения, после которых было сделано еще 200 тактов без обучения,

в которых происходило только забывание (по закону (1)), чтобы выявить действительно устойчивые связи и отметить неустойчивые.

В центрах, изображенных на рис. 2, преобладают более темные линии, что подтверждает предположение сделанное выше. Это означает, что центр транспортной развязки наиболее изучен и маршруты через него представляются теперь наиболее удобными для навигатора. Периферийные же, менее яркие, связи соответствуют дорогам, по которым перемещения происходили редко, и можно сказать, что навигатор их не знает.

Заключение

Поставленная задача «адаптивной навигации» решена в частном случае топологии – квадратной решетке. Для реализации этого подхода описана интеллектуальная машина «навигатор», призванная ускорить и усилить процесс принятия решения человеком, способная обучаться, адаптироваться к изменяющимся условиям, решать поставленные задачи навигации. Принцип работы навигатора основан на моделировании ментальной схемы человека. Таким образом, описан пример решения задачи оригинальным методом искусственного интеллекта – моделированием ментальных схем.

Литература

1. Encyclopaedia Britannica (онлайн-версия энциклопедии) [Electronic resource]. – URL: <http://global.britannica.com/EVchecked/topic/289766/human-intelligence> (date access: 12.04.2014).
2. Смолин Д.В. Введение в искусственный интеллект: конспект лекций. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 208 с.
3. Пак Н.И. Обучение разума как информационный процесс // Российско-корейская научная конференция: тезисы конференции. – Звенигород, 2011. – С. 81–83.
4. Пак Н.И., Хегай Л.Б. Разработка трехмерных материалов на основе гипертекстовой технологии // Инновации в непрерывном образовании. – 2012. – № 4. – С. 78–84.
5. Асауленко Е.В. Тестирование знаний учащихся на основе машинного анализа ментальных карт // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева. – 2013. – № 4. – С. 239–243.
6. Гиппенрейтер Ю.Б., Романов В.Я. Психология памяти. – М.: АСТ: Астрель, 2008. – 656 с.