

И.В. Шадрин

Взаиморегулирование структуры системы действий в информационной системе «Обучающийся – Пазловая проблемная среда»

Рассмотрены алгоритмы функционирования пазловой проблемной среды и обучающегося, выполняющего поиск решения задачи по конструированию пространственного объекта. Описана связь между структурой системы действий обучающегося, ее эволюцией и изменением параметров проблемной среды, осуществляющей управление учебной деятельностью.

The algorithms of functioning a puzzle problem environment and a learned person who is searching for solving a problem of constructing a spatial object are considered. The link between a structure of the system of activity of a learned person, its evolution and the change of parameters of the problem environment which controls the learning activity is considered.

Розглянуто алгоритми функціонування пазлового проблемного середовища та учня, який здійснює пошук розв'язання задачі з конструювання просторового об'єкту. Описано зв'язок між структурою системи дій учня, її еволюцією та зміною параметрів проблемного середовища, що здійснює керування навчальною діяльністю.

Введение. Диагностика процесса решения задач – актуальная междисциплинарная проблема. Особый интерес вызывает деятельность по конструированию пространственных объектов, успешность которой зависит от уровня развития функции воображения и зрительного синтеза, предоставляющей человеку возможность строить новые объекты в сознании. Техническая составляющая данной проблемы состоит в «...измерении изменений выполнения заданий, или по-другому, научения ...» [1]. Компьютерные системы позволяют находить решение этой проблемы на основе программных средств, реализующих алгоритмы управления деятельностью обучающихся в процессе научения решению задач.

Алгоритм функционирования системы «Обучающийся – Пазловая проблемная среда»

Для обучающегося как активного элемента организационной системы [2], была создана система управления учебной деятельностью по конструированию пространственных объектов, реализованная в пазловой проблемной среде [3, 4].

Деятельность Φ по решению задачи в пазловой проблемной среде представляет собой поиск пути на графе Θ пространства состояний из начального состояния (постановка задачи) в конечное (получение решения). Состояние решения задачи конструирования пространственного объекта из N фрагментов в каждый мо-

мент времени (в каждой вершине графа) описывается кортежем:

$$\Theta_i = \{x_1, x_2, \dots, x_N, x_{Pj}, I\},$$

где x_1, \dots, x_N – состояние ячеек рабочего поля программы $x_i = \{\langle 0 \rangle\}$ – ячейка пуста, $\langle 1 \dots N \rangle$ – номер фрагмента, установленного в ячейке}; x_{Pj} – содержание окна просмотра $x_{Pj} = \{\langle 0 \rangle\}$ – окно пусто, $\langle 1 \rangle$ – окно содержит первый фрагмент конструируемого объекта, $\langle 2 \rangle$ – окно содержит второй фрагмент конструируемого объекта, $\dots, \langle N \rangle$ – окно содержит N -й фрагмент конструируемого объекта}; I – информация о расстоянии до цели $I = \{\langle 0 \rangle\}$ – расстояние до цели недоступно, $\langle 1 \dots 2N \rangle$ – расстояние до цели}. Дуги, соединяющие вершины графа, заданы операторами Φ_i – действиями обучающегося, изменяющими значения x_1, \dots, x_N, x_{Pj} .

Например, начальное состояние задачи конструирования пространственного объекта из девяти фрагментов ($N=9$) можно представить в виде

$$\Theta_0 = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, x_{P1}, I\}$$

Множество действий Φ_i , составляющих деятельность по конструированию пространственных объектов, состоит из четырех подмножеств. Отношения между элементами этих подмножеств определяют структуру системы действий S , которую удобно представить в виде графа (рис. 1), отражающего четыре состояния деятельности (классификация по типу совершаемых действий): установка фрагментов S_1 (устанавливает значение $x_i := x_{Pj}$), отмена уста-

новки фрагмента S_2 (обнуляет значение $x_i := 0$), просмотр фрагментов S_3 (изменяет значение $x_{pj} : j := j + 1$ или $j := j - 1$), завершение деятельности по решению задачи S_4 (поглощающее состояние, завершающее выполнение задания).

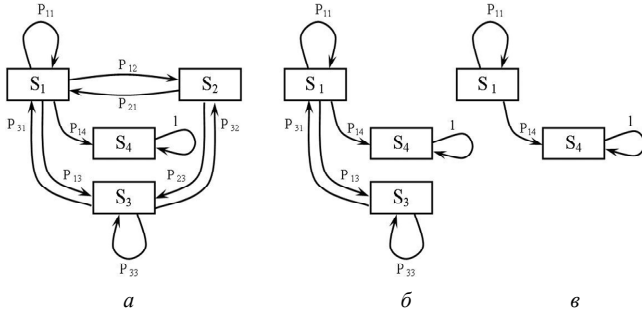


Рис. 1. Структура S системы действий обучающегося, конструирующего пространственный объект (S_1 – состояние установки фрагментов; S_2 – состояние отмены установки фрагмента; S_3 – состояние просмотра фрагментов; P_{ij} – вероятности перехода обучающегося из i -го в j -е состояние): a – поиск решения; b – безошибочная деятельность; v – идеальная деятельность

Для определения параметра структуры системы действий $H(S)$ разделим все действия обучающегося на правильные и неправильные, вероятность совершения которых определяет энтропию структуры системы действий обучающегося. Принимая во внимание, что энтропия убывает и в том случае, когда убывает доля правильных действий, функция, определяющая уровень деятельности (или параметр структуры системы действий обучающегося) $H(S)$, принимает вид

$$H(S) = \begin{cases} I, & \text{при } P_k < 0,5; \\ H, & \text{при } P_k \geq 0,5, \end{cases}$$

где P_k – доля правильных действий при выполнении k -го задания, $H = -p_k \log_2 p_k - (1 - p_k) \times \log_2(1 - p_k)$ – энтропия структуры системы действий обучающегося в нулевом приближении.

Функция $H(S)$ – целевая для активной функциональной системы [5] «Обучающийся – Пазловая проблемная среда», а уменьшение ее значения до нуля – общая цель взаимодействия обучающегося и проблемной среды.

На основании значения целевой функции определяется уровень деятельности обучающегося:

$$L_{k+1} = 1 + INT(9 \cdot (1 - H(S))),$$

который представлен в интерфейсе проблемной среды системой из десяти дискретных датчиков (в нашем случае введено 10 уровней).

В общем виде операторная схема алгоритма функционирования системы «Обучающийся – Пазловая проблемная среда» имеет вид

$$A_0 = \downarrow^1 F_1 F_2 \Phi A_1 V_1 \uparrow^1 K_1,$$

где F_1 – определение параметров проблемной среды; F_2 – формирование новой задачной ситуации; Φ – деятельность обучающегося при решении поставленной задачи; A_1 – определение параметра структуры системы действий обучающегося ($H(S)$); V_1 – проверка логического утверждения «Структура системы действий обучающегося отлична от целевого состояния»: $S \ll S^*$; K_1 – завершение обучения в случае, когда на выходе V_1 значение – «ЛОЖЬ».

Формирование каждой новой задачной ситуации рандомизировано. Оно осуществляется оператором F_2 итеративно до тех пор, пока структура системы действий обучающегося не будет соответствовать целевой. Процесс формирования задачи можно представить алгоритмом A_2 :

$$A_2 = A_3 C_1 \downarrow^1 A_4 C_2 V_2 \uparrow^1 C_3 \downarrow^2 \downarrow^3 A_5 V_3 \uparrow^2 A_6 C_4 V_4 \uparrow^3 K_2,$$

где A_3 – определение количества элементов конструируемого объекта N (в приведенном выше примере $N := 9$); C_1 – установка значения счетчика элементов: $i := 1$; A_4 – сброс значений содержимого ячеек рабочего поля и множества исходных фрагментов: $x_i := 0, x_{pi} := 0$; C_2 – изменение значения счетчика элементов: $i := i + 1$; V_2 – проверка логического утверждения «Перебрали не все элементы»: $i \leq N$; C_3 – установка значения счетчика заданных элементов: $i := 1$; A_5 – определение номера элемента j в множестве исходных фрагментов для задания положения i -го фрагмента с помощью генератора случайных чисел: $j := 1 + INT(RND(N - 1))$; V_3 – проверка логического утверждения « j -й элемент множества исходных фрагментов опреде-

лен»: $x_{pj} < > 0$; A_6 – задание j -го элемента множества исходных фрагментов i -м фрагментом конструируемого объекта: $x_{pj} := i$; C_4 – изменение значения счетчика заданных элементов: $i := i + 1$; V_4 – проверка логического утверждения «Заданы не все элементы множества исходных фрагментов»: $i \leq N$; K_2 – завершение формирования задания в случае, когда заданы все элементы множества исходных фрагментов (на выходе V_4 значение – «ЛОЖЬ»).

Управление деятельностью обучающегося

Итеративный характер процесса научения решению задач позволяет представить его в виде последовательности однородных конечных цепей Маркова, каждая из которых соответствует сложившейся структуре системы действий, определяемой матрицей переходных вероятностей, которая в общем случае (например, для рис. 1,а) имеет вид:

$$\|P_{ij}^{(k)}\| = \begin{pmatrix} P_{11}^{(k)} & P_{12}^{(k)} & P_{13}^{(k)} & P_{14}^{(k)} \\ P_{21}^{(k)} & P_{22}^{(k)} & P_{23}^{(k)} & 0 \\ P_{31}^{(k)} & P_{32}^{(k)} & P_{33}^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где k – номер выполненного задания.

Распределение вероятности состояний деятельности обучающегося задается вектором

$$P = (P(S_1), P(S_2), P(S_3), P(S_4)),$$

компоненты которого удовлетворяют условию $\sum_{i=1}^4 P(S_i) = 1$.

Организация такой структуры системы действий обучающегося в проблемной среде и реализация алгоритма A_0 составляют институциональное управление U_A деятельностью обучающегося.

В каждый момент времени можно определить кратчайший путь (расстояние до цели) на графе Θ , который содержит минимальное количество дуг для достижения состояния, являющегося решением задачи. Для примера с $N = 9$, описанного выше, решение принимает вид:

$$\Theta_T = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0, I\}.$$

Когда рабочее поле пусто, расстояние до цели определяется количеством фрагментов N ,

которые необходимо установить – совершить действия Φ_i , соединяющие вершины графа пространства состояний Θ . Каждый установленный правильно фрагмент *сокращает* расстояние до цели, а ошибочно установленный – *увеличивает*. В общем виде алгоритм A_7 вычисления расстояния до цели имеет вид

$$A_7 = C_5 C_6 \overset{4}{\downarrow} V_5 \overset{1}{\uparrow} V_6 \overset{2}{\uparrow} C_7 \overset{3}{\uparrow} \downarrow C_8 \overset{2}{\downarrow} \overset{3}{\downarrow} C_9 V_7 \overset{4}{\uparrow} K_3,$$

где C_5 – установка значения счетчика ячеек рабочего поля: $i := 1$; C_6 – установка значения счетчика расстояния до цели: $D_i := 0$; V_5 – проверка логического утверждения « i -я ячейка рабочего поля пуста»: $x_i = 0$; V_6 – проверка логического утверждения « i -я ячейка рабочего поля заполнена необходимым фрагментом»: $x_i = i$; C_7 – изменение значения счетчика расстояния до цели: $D_i := D_i + 2$; C_8 – изменение значения счетчика расстояния до цели: $D_i := D_i + 1$; C_9 – изменение значения счетчика ячеек рабочего поля: $i := i + 1$; V_7 – проверка логического утверждения «Не все ячейки рабочего поля проверены»: $i \leq N$; K_3 – завершение определения расстояния до цели.

Доступность информации о расстоянии до цели в режиме реального времени позволяет обучающемуся ориентироваться в пространстве состояний Θ и находить решение задачи. Благодаря наличию институционального управления U_A алгоритм поиска обучающимся решения задачи можно представить в виде

$$A = \overset{6}{\downarrow} V_8 \overset{1}{\uparrow} \downarrow \downarrow \downarrow V_9 \overset{2}{\uparrow} \Phi_3 \overset{3}{\uparrow} \downarrow V_{10} \overset{4}{\uparrow} \Phi_2 \overset{5}{\uparrow} \downarrow \Phi_1 V_{11} \overset{6}{\uparrow} \Phi_2 \overset{7}{\uparrow} \downarrow K_4.$$

Если результат проверки логического утверждения V_8 «Задача решена» ($\Theta_t = \Theta_T$) – истина, то никаких действий от обучающегося не требуется и алгоритм заканчивается оператором K_4 . В обратном случае обучающийся идентифицирует фрагмент в окне просмотра. Значение «ЛОЖЬ», полученное при проверке логического утверждения V_9 «Ячейка рабочего поля для установки выбранного фрагмента определена», влечет изменение обучающимся содержимого окна просмотра – оператор Φ_3 и новую идентификацию V_9 . Если обучающийся определил ячейку рабочего поля для выбран-

ного фрагмента (на выходе V_9 – значение «ИСТИНА»), следует проверка логического утверждения V_{10} «Определенная для выбранного фрагмента ячейка рабочего поля пуста». Невыполнение условия V_{10} требует отмены – оператор Φ_2 – установленного ранее в выбранную ячейку фрагмента с возвратом на этап идентификации (оператор V_9). Если выбранная ячейка свободна, то обучающийся устанавливает фрагмент на рабочем поле – оператор Φ_1 – и определяет изменение расстояния до цели. Значение «ИСТИНА», полученное при проверке логического утверждения V_{11} «Расстояние до цели сократилось», возвращает обучающегося к проверке утверждения V_8 . Увеличение расстояния до цели требует отмены установленного фрагмента Φ_2 и перехода обучающегося на этап идентификации V_9 .

Оператор Φ_2 (отмена) предполагает наличие ошибочных действий обучающегося: если фрагмент был установлен правильно, то его отмена увеличивает расстояние до цели, а если Φ_2 сокращает расстояние до цели – ошибка совершена ранее, при установке отменяемого фрагмента.

Рассматривая увеличение расстояния до цели как наказание за совершение неправильного действия, а уменьшение расстояния – как поощрение за правильное, можно говорить о канале мотивационного управления U_V (мотивация процесса поиска решения задачи). Такое управление угнетает неправильные действия и изменяет структуру системы действий обучающегося S (эволюция графа структуры системы действий, см. рис. 1). Второй компонент мотивационного управления U_V (мотивация результата процесса научения) информирует обучающегося об уровне деятельности L_k – формальном числовом выражении соответствия его структуры системы действий при решении k –1-й задачи структуре, позволяющей безошибочно находить решение. Такую структуру можно представить матрицей переходных вероятностей

$$\|P_{ij}^{(k)}\| = \begin{vmatrix} P_{11}^{(k)} & 0 & P_{13}^{(k)} & P_{14}^{(k)} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{31}^{(k)} & 0 & P_{33}^{(k)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

(для рис. 1,б) или матрицей, описывающей идеальную деятельность (см. рис. 1,в), например, для задачи, где $N = 9$:

$$\|P_{ij}^{(k)}\| = \begin{vmatrix} 0,9 & 0 & 0 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

При этом наказанием можно считать понижение уровня за большее количество неправильных действий, а за меньшее их количество следует поощрять определением более высокого уровня.

За определение параметра структуры системы действий обучающегося и соответствующего ему уровня деятельности в алгоритме функционирования системы «Обучающийся – Пазловая проблемная среда» A_0 отвечает оператор A_1 .

Нельзя обойти вниманием информацию, на основе которой обучающийся принимает решение о совершении действия. Эта информация может предоставляться проблемной средой в виде датчика «Расстояние до цели», помогающего достичь решения задачи в начале обучения. По мере накопления опыта решения задач необходимость во внешней помощи сокращается и проблемная среда ограничивает доступ к этому датчику.

В общем случае вероятность включения датчика расстояния до цели (событие D) определяется следующими уравнениями:

$$P(D) = 1, \quad \text{если } 1 + INT(9q) \geq L ;$$

$$P(D) = 0, \quad \text{если } 1 + INT(9q) < L ,$$

где q – случайное число, генерируемое системой управления в интервале $(0, 1)$, $L = 1, 2, 3, \dots, 10$ – достигнутый уровень деятельности. Очевидно, что при $L = 1$ датчик доступен всегда. Возрастание уровня L ведет к уменьшению частоты включения датчика. На десятом уровне эта информация недоступна.

Если недостаток обратной связи, реализованной через датчик расстояния до цели, приводит к увеличению значения целевой функции $H(S)$, проблемная среда определяет более низ-

кий уровень деятельности L_k , характеризующийся более высокой вероятностью предоставления ориентира. Такое целенаправленное влияние на информацию I (определяющее параметры проблемной среды), используемую обучающимися при принятии решений, представляет собой информационное управление U_I учебной деятельностью обучающегося и реализуется оператором F_1 алгоритма функционирования A_0 активной функциональной системы «Обучающийся – Пазловая проблемная среда».

Заключение. Таким образом, приведенный алгоритм функционирования системы «Обучающийся – Пазловая проблемная среда» построен на основе кибернетического принципа, указанного Винером: «Кибернетическим является устройство, для которого одним из входов служит некоторая функция его выхода в предыдущие моменты времени» [6]. В рассматриваемом случае на вход обучающегося подается функция его выхода при решении предыдущих задач. При этом и обучающийся, и пазловая проблемная среда выполняют свои функции, определенные общей целью – сформировать требуемую структуру системы действий при решении задач по конструированию пространственных объектов. Это позволяет говорить, что система «Обучающийся – Пазловая проблемная среда» – функциональна.

Отметим, что система управления деятельностью обучающегося, реализованная в пазловой проблемной среде, формирует свои управ-

ляющие воздействия на основе поступающей информации о совершаемых обучающимся действиях. Обучающийся, в свою очередь, осуществляя деятельность, руководствуется информацией, предоставляемой проблемной средой.

Итак, сеанс деятельности обучающегося конструированию пространственных объектов в Пазловой проблемной среде следует рассматривать как процесс достижения цели функциональной информационной системой «Обучающийся – Пазловая проблемная среда».

1. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. Сер. «Мастера психологии». – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
2. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
3. Шадрин И.В. Инструментальный метод исследования деятельности обучающихся конструированию пространственных объектов // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.2(32). – С. 308–311.
4. Шадрин И.В. Компьютерные обучающие и диагностирующие игры на примере программы «Динамические пазлы» // Материалы II межрег. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Открытое образование: опыт, проблемы, перспективы». – Красноярск, 2006. – С. 148–151.
5. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.
6. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Сов. радио, 1968. – 314 с.

E-mail: ivsha@km.ru
© И.В. Шадрин, 2010

Окончание статьи В.Е. Бахрушина и др.

1. Аванесов В.С. Научные основы тестового контроля знаний. – М.: Исследовательский центр, 1994. – 135 с.
2. Бахрушин В.Е., Игнахина М.А., Шумада Р.Я. Эмпирические функции распределения результатов тестирования // 36. пр. III Міжнар. конф. «Нові інформаційні технології в освіті для всіх: система електронної освіти». – К.: МННЦ ІТС, 2008. – С. 79–84.
3. Орлов А.И. Прикладная статистика. – М.: Экзамен, 2006. – 671 с.
4. Лемуткина М. Единый государственный обмен. – http://www.gazeta.ru/education/2006/01/30_a_528596.shtml

5. Петрів В.Ф., Рикалюк Р.Є. Візуалізація критеріїв якості тестових завдань // 36. наук. пр. XVI Всеукр. наук. конф. «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики». – Львів: ЛНУ, 2009. – С. 166 – 169.
6. Бахрушин В.Є. Аналіз даних. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2006. – 128 с.

E-mail: Vladimir.Bakhrushin@zhu.edu.ua
© В.Е. Бахрушин, С.В. Журавель, М.А. Игнахина, 2010