УДК 004.81

УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕДЕНИЕМ КАК ФУНКЦИЯ СОЗНАНИЯ. II. СИНТЕЗ ПЛАНА ПОВЕДЕНИЯ *

© 2015 г. Г. С. Осипов, А. И. Панов, Н. В. Чудова

Москва, Институт системного анализа РАН

Рассматриваются модели функций, которые в психологии принято относить к функциям сознания и самосознания. Для знаков, введённых в первой части работы, исследуется итерационного процесса образования пары образ — значение. Строится алгоритм синтеза плана поведения и предлагается новая архитектура интеллектуальных агентов, обладающих, в частности, способностями к распределению ролей в коалициях.

Введение. В первой части настоящей работы [1],рассмотрена модель знака, как основной компоненты картины мира субъекта деятельности. Предложены основные процедуры формирования знака. Исследованы процессы самоорганизации на множестве знаков, благодаря которым оказывается возможным описать различные типы картин мира субъектов деятельности.

В основе рассмотрения лежат идеи культурно-исторического подхода Выготского—Лурии [2, 3], теория деятельности Леонтьева [4] и модель психики Артемьевой [5]. Согласно приведённым теориям высшие когнитивные функции реализуются в рамках мотивированной предметной деятельности, когда объекты и процессы внешней среды опосредованы для субъекта специальными образованиями, называемыми знаками. Благодаря наличию четырёх компонент: образа, значения, личностного смысла и имени — знак участвует в реализации тех или иных когнитивных функций.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №14-11-00692).

Такая четырёхкомпонентная структура элемента индивидуального знания подтверждается и рядом работ нейрофизиологов, в которых предпринимается попытка построить общую теорию работы мозга человека. Так, в теории повторного входа Эделмана [6] и гипотезе информационного синтеза Иваницкого [7, 8] утверждается, что возникновение ощущения или осознанная фиксация входного потока информации происходит только в том случае, когда активированное сенсорным входом возбуждение от гиппокампа, а затем от гипоталамуса, накладывается на сенсорный след в проекционной коре. Такой «круг ощущений» (рис. 1), проходящий за характерное время в 150-300 мс, последовательно активирует три компоненты индивидуального знания: образную (проекционная и сенсорная зоны коры), компоненту значения (гиппокамп) и личностного смысла (гипоталамус). Регистрация сигнала в лобных долях (после возврата его в зоны первичной проекции), по видимому, связана с именованием всех трёх активированных компонент.

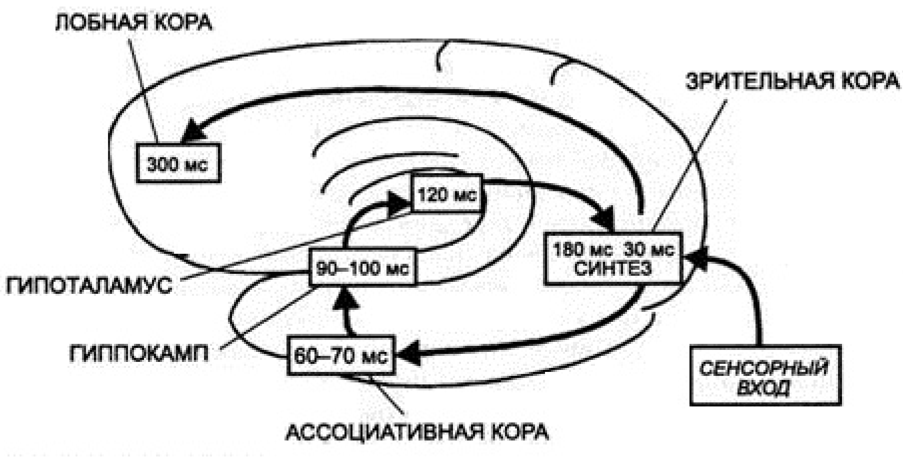

Рис. 1: «Круг ощущений» по Иваницкому [9].

Кроме того, по современным нейрофизиологическим представлениям строение коры головного мозга практически однородно во всём своём объёме, о чём свидетельствует наличие макро- и миниколонок неокортекса [10, 11]. При этом связи между достаточно малыми зонами коры (так называемый коннектом [12]) указывают на иерархичность её строения и на присутствие как восходящих, так и обратных, нисходящих связей. Отсюда следует, что основные компоненты элемента индивидуального знания должны обладать иерархическим однородным строением с восходящими потоками информации и нисходящей обратной связью. Отсюда также следует, что образная компонента должна реализоваться такой функцией распознавания, которая кроме категоризации процессов и статических объектов использует обратную связь для предсказания сигнала в следующий момент времени.

1. Модельный (или семантический) уровень. Для построения моделей компонент знака будем использовать автоматы вида $R =< A, Q, B, \varphi, \eta >$, где A — множество входных сигналов, B — множество выходных сигналов, Q — множество состояний, φ — функция переходов, η — функция выходов. Такие автоматы, функционирующие по специальному нейрофизиологически правдоподобному алгоритму, будем называть распознающими или R-автоматами.

Пусть $\mathcal{F}$ — множество признаков. Входные и выходные сигналы будем задавать с помощью векторов действительных чисел. Каждый элемент такого вектора является весом некоторого признака из $\mathcal{F}$. Для каждого распознающего автомата выделим два подмножества $F \subseteq \mathcal{F}$ и $F* \subseteq \mathcal{F}$, которые будем называть входными и выходными признаками соответственно. В общем виде работа автомата заключается в распознавании выходных признаков из множества F по входному сигналу с помощью функций распознавания. Каждый из признаков $f_k \in F*$ распознаётся своей функцией распознавания $\hat{f}_k : X \to \mathbb{R}$.

Работа функции распознавания $\hat{f}_k$ заключается в сопоставлении каждому признаку f_k из множества F^* действительного числа x_k^*, вычисляемого по вектору $\bar{x}$ входного сигнала. Значение x_k^* определяет оценку успешности построения признака f_k из составляющих его входных признаков, оценки которых во входном сигнале заданы вектором $\bar{x}$. В этом случае будем говорить, что распознающий автомат R распознает признак f_k: $f_k \dashv R$.

В соответствии с результатами нейрофизиологических исследований [13] будем считать, что множество $\mathcal{R}$ распознающих автоматов образует иерархию — связный ориентированный ярусный граф. Некоторые части взвешенных векторов оценок выходных признаков распознающих автоматов $R^j_{i_1}, R^j_{i_2}, \dots, R^j_{i_q}$ путём конкатенации составляют вектор входных признаков для автомата R^{j+1}_k следующего уровня иерархии. Такой R-автомат R^{j+1}_k будем называть родительским по отношению к автоматам $R^j_{i_1}, R^j_{i_2}, \dots, R^j_{i_q}$. Нижний индекс распознающего автомата нумерует автоматы из $\mathcal{R}$, а верхний обозначает номер яруса, которому принадлежит автомат.

Рассмотрим более детально множества входных сигналов A, выходных сигналов B и множества состояний Q.

Входом R-автомата R^j_i является множество пар векторов $(\bar{x}, \hat{x}^{j+1})$, где первый вектор пары является вектором размерности q весов входных признаков, а второй — управляющим вектором размерности l со следующего уровня иерархии, который принимает ненулевое значение только в фиксированные для данного автомата R^j_i моменты времени $0, h, 2h, \dots$. Таким образом, множество входных сигналов A является декартовым произведением множеств векторов входных признаков X и управляющих векторов со следующего уровня иерархии $\hat{X}^{j+1}$: $A = X \times \hat{X}^{j+1}$.

Выходом R-автомата также является множество пар $(\bar{x}^*, \hat{x}^j)$, где $\bar{x}^*$ — это вектор весов выходных признаков размерности l, а $\hat{x}^j$ — управляющий вектор размерности q для предшествующего уровня иерархии, который наряду с выходами других автоматов уровня j является входным управляющим вектором для некоторых автоматов уровня $j-1$. Таким образом, выходное множество B также является декартовым произведением множеств взвешенных векторов выходных признаков X^* и управляющих векторов для предшествующего уровня иерархии $\hat{X}^j$: $B = X^* \times \hat{X}^j$.

Будем считать множество состояний конечным, в связи с чем каждой функции распознавания $\hat{f}_k$ из множества $\hat{F}$ поставим в соответствие набор матриц предсказания $Z_k = \{Z^k_1, \dots, Z^k_m\}$ размерности $q \times h$, где h — глубина памяти распознающего автомата, играющая также роль характерного времени. Столбец $\bar{z}^r_u = (z^k_{u1}, \dots, z^k_{uq})$ матрицы Z^k_r есть вектор предсказания присутствия во входном векторе признаков из множества F в моменты времени $\tau+u$, где $\tau = 0, h, 2h, \ldots$. При этом $z^k_{uv} \in \{0,1\}$, т. е. вектор $\bar{z}^r_u$ является булевым вектором. Сама матрица Z^k_r задаёт, таким образом, последовательность событий, наличие которых свидетельствует о присутствии распознаваемого функцией $\hat{f}_k$ признака. Иными словами, множество всех матриц предсказания $\mathcal{Z}$ распознающего автомата хранит в себе информацию о выходных признаках. Множество состояний автомата тогда является булеаном множества матриц предсказания: $Q = 2^{\mathcal{Z}}$.

Алгоритм $\mathcal{A}_{th}$ вычисления функции переходов $\varphi : X \times \hat{X}^{j+1} \to 2^{\mathcal{Z}}$ и выходной функции $\eta : 2^{\mathcal{Z}} \to X^* \times \hat{X}$ по начальному моменту времени τ, управляющему воздействию $\hat{x}^{j+1}(\tau)$ и входному воздействию $\omega : T \to X$ представлен ниже. В алгоритме используется стандартная функция W нормировки значений весов:

$$W(\bar{x}) = \left(\frac{x_1}{\max\limits_i x_i}, \ldots, \frac{x_n}{\max\limits_i x_i} \right), \tag{1}$$

где $\bar{x} = (x_1, \ldots, x_n)$ — вектор с ненормированными компонентами.

Вследствие особенностей алгоритма $\mathcal{A}_{th}$ и того, что множества входных и выходных сигналов являются векторными пространствами, распознающий автомат R является бесконечным автоматом Мили с переменной структурой и конечной памятью (рис. 2):

$$R^j_i =< X \times \hat{X}^{j+1}, 2^{\mathcal{Z}}, X^* \times \hat{X}^j, \varphi^j_i, \eta > . \tag{2}$$

1.1. П р о ц е д у р н ы е и о б ъ е к т н ы е п р и з н а к и. Далее будет дано определение значения знака на семантическом уровне с помощью множества правил, каждое из которых соответствует некоторому действию. Правило будем представлять в виде пары «условие — эффект действия» так, как это понимается в искусственном интеллекте [14]. Для связи правил и распознающих автоматов необходимо ввести ряд вспомогательных определений.

В начале следует отметить, что каждый элемент векторов—столбцов соотносится с признаком из входного множества признаков распознающего автомата, что означает задание

1 Алгоритм $\mathfrak{A}_{th}$ вычисления автоматной функции распознающего автомата R_i^j

Вход: $\tau_s, \hat{x}_i^{j+1}(\tau_s), \omega_i^j$;
Выход: $\varphi_{i\Delta t}^j, \vec{\eta}_{i\Delta t}^j$;

$\hat{F}^* = \varnothing, Z^* = \varnothing, t = 0$; // *активные функции распознавнаия и матрицы предсказания*
$c_1 \in (0,1), c_2 \in (0,1)$; // *пороговые константы*
  // *определение начального состояния*
для всех компонент $\hat{x}_{ik}^{j+1}$ вектора $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s) = (\hat{x}_{i1}^{j+1}, \hat{x}_{i2}^{j+1}, \ldots, \hat{x}_{il}^{j+1})$
  если $\hat{x}_{ik}^{j+1} \geq c_1$ **то**
    $\hat{F}^* := \hat{F}^* \cup \{\hat{f}_k\}$;
$\bar{x}_i^j := \omega_i^j(\tau_s)$;
для всех функций распознавания $\hat{f}_k \in \hat{F}^*$
  для всех $Z_r^k \in \mathcal{Z}_k$, соответствующих функции распознавания $\hat{f}_k$,
    если $\frac{\|\bar{z}_1^r - \bar{x}_i^j\|}{\|\bar{z}_1^r\| + \|\bar{x}_i^j\|} < c_2$ **то**
      $Z^* := Z^* \cup \{Z_r^k\}$;
$\varphi_i^j(\bar{x}_i^j, \hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)) := Z^*$; // *значение функции переходов в начальный момент времени*
$\bar{N} := (|\{Z_r^1 | Z_r^1 \in Z^*\}|, \ldots, |\{Z_r^{l_i^j} | Z_r^{l_i^j} \in Z^*\}|)$;
$\eta(Z^*) = \bar{x}_i^{*j} := W(\bar{N})$; // *значение функции выходов в начальный момент времени*
$\hat{x}_i^j = W(\sum_{\hat{f}_k \in \hat{F}^*} \hat{x}_{ik}^{j+1} \sum_{Z_r^k \in Z^*} \bar{z}_2^r)$;
  // *основной цикл*
$t = 1$;
пока $t \leqslant h_i^j - 1$
  $\bar{x}_i^j := \omega(\tau_s + t)$;
  для всех матриц предсказания Z_r^k из множества Z^*
    если $\frac{\|\bar{z}_{t+1}^r - \bar{x}_i^j\|}{\|\bar{z}_{t+1}^r\| + \|\bar{x}_i^j\|} \geqslant c_2$ **то**
      $Z^* := Z^* \setminus \{Z_r^k\}$;
  $\varphi_i^j(\bar{x}_i^j, \hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)) := Z^*$; // *значение функции переходов в момент времени t*
  $\bar{N} = (|\{Z_r^1 | Z_r^1 \in Z^*\}|, \ldots, |\{Z_r^{l_i^j} | Z_r^{l_i^j} \in Z^*\}|)$;
  $\eta(Z^*) = \bar{x}_i^{*j} := W(\bar{N})$; // *значение функции выходов в момент времени t*
  $t = t + 1$;
  если $t \leqslant h_i^j - 2$ **то**
    $\hat{x}_i^j := W(\sum_{\hat{f}_k \in \hat{F}^*} \hat{x}_{ik}^{j+1} \sum_{Z_r^k \in Z^*} \bar{z}_t^r)$;

индекса для каждого входного признака. Индекс признака $f_k \in F_i^j$ равен q, если ему соответствует q-ый элемент векторов—столбцов матриц предсказания распознающего автомата R_i^j.

Введём семейство бинарных отношений $\{\sqsubset, \sqsubset^1, \sqsubset^2, \ldots\}$, определённых на декартовом произведении $\mathcal{F} \times \mathcal{F}$. Будем считать, что «признак f_1 поглощается признаком f_2» $f_1 \sqsubset f_2$ в том случае, если $f_1 \dashv R_i^j, f_2 \dashv R_q^{j+1}$, R_q^{j+1} — родительский автомат по отношению к R_i^j и в множестве матриц предсказания $\mathcal{Z}_2$ признака f_2 существует хотя бы одна матрица Z_r^2,

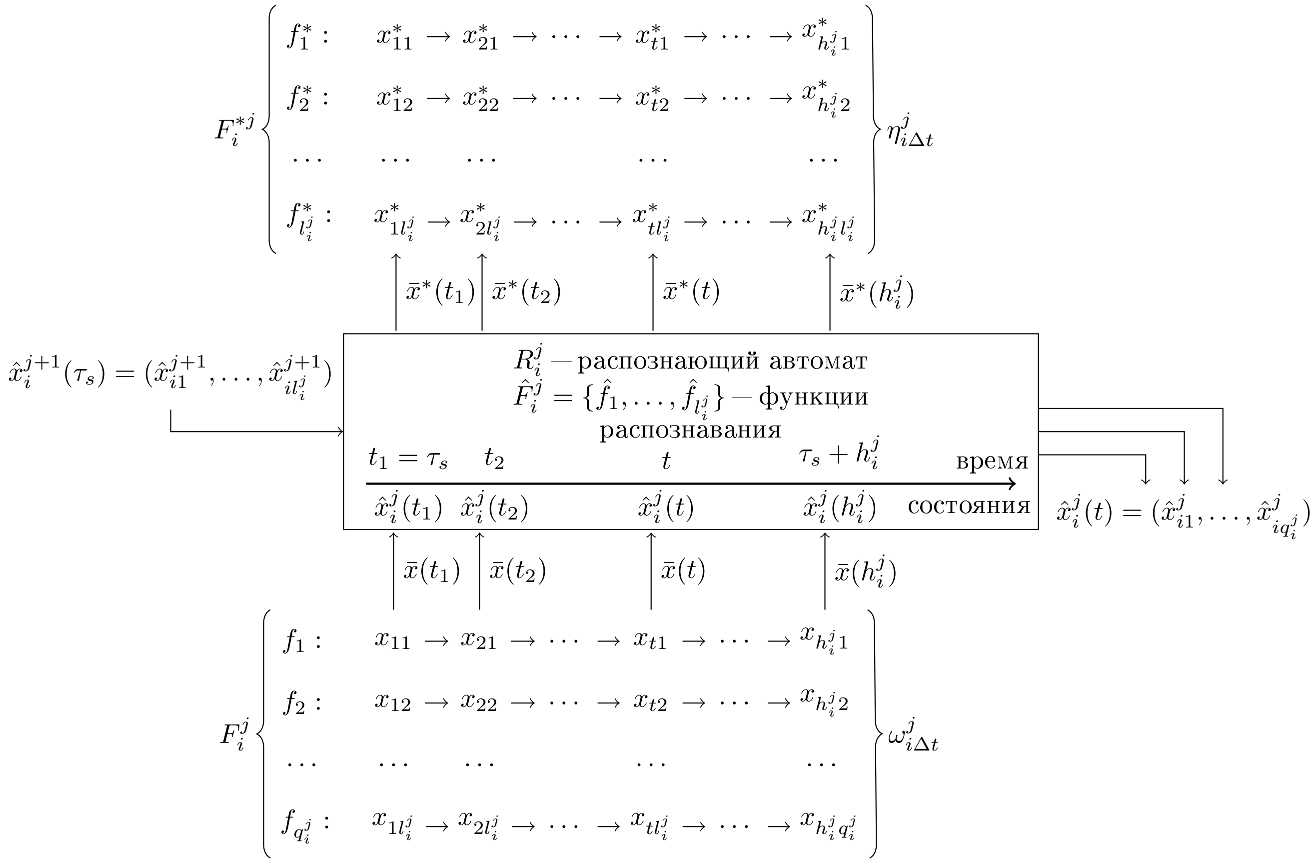

Рис. 2: Вход и выход распознающего автомата R_i^j.

содержащая некоторый столбец $\bar{z}_u^r$ с элементом $z_{uv}^r = 1$, где $f_q^{j+1}(v) = f_1$ (см. рис. 3).

Пара признаков (f_1, f_2) принадлежат отношению $\sqsubset^t$, т. е. $f_1 \sqsubset^t f_2$, где $t \in \{1, 2, \dots\}$, в том случае, если $f_1 \dashv R_i^j, f_2 \dashv R_q^{j+1}$, R_q^{j+1} — родительский автомат по отношению к R_i^j и в множестве матриц предсказания Z_2 признака f_2 существует хотя бы одна матрица Z_r^2, содержащая t–ый столбец $\bar{z}_t^r$ с элементом $z_{tv}^r = 1$, где $f_q^{j+1}(v) = f_1$.

Введём операцию Λ, которая по множеству матриц распознавания $\mathcal{Z}_k$ признака f_k определяет два набора индексов столбцов матриц из Z_k. Первый набор $I_c = \{i_1^c, i_2^c, \dots\}$, $\forall k\ 0 \leqslant i_k^c < h$, составляют индексы *столбцов условий*, в которых ненулевые элементы определяют условия проявления признака f_k. Второй набор $I_e = \{i_1^e, i_2^e, \dots\}$, $\forall k\ 0 \leqslant i_k^e < h$, состоит из индексов *столбцов эффектов*, в которых ненулевые элементы определяют эффекты проявления признака f_k. Примером реализации процедуры Λ может служить алгоритм Норриса

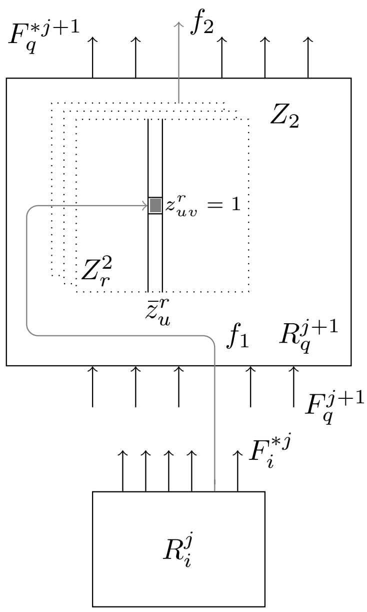

Рис. 3: Схема определения отношения поглощения признаков f_1 и f_2: $f_1 \sqsubset f_2$.

по поиску максимального прямоугольного подмножества в бинарном отношении [15].

Признаки, для матриц предсказания которых процедура Λ выдаёт не пустые множества индексов I_c и I_e, будем называть процедурными признаками, остальные — объектными признаками. Это означает, что всё множество признаков делится на два подмножества: $\mathcal{F} = \mathcal{F}^{proc} \cup \mathcal{F}^{obj}$ и $\mathcal{F}^{proc} \cap \mathcal{F}^{obj} = \varnothing$.

Для любого процедурного признака выполняются следующие естественные условия:

- условие всегда предшествует эффекту,
- условие всегда влечёт за собой эффект и
- все условия всегда отделены от своих эффектов.

Иными словами, если f_1 — процедурный признак, то если столбец $\bar{z}_u^r$ матрицы предсказания Z_r^1 является столбцом условий, т. е. $u \in I_c$, этот столбец не может одновременно являться столбцом эффектов, т. е. $u \notin I_e$, и существует такое $t > 0$, что столбец $\bar{z}_{u+t}^r$ является столбцом эффектов, т. е. $u + t \in I_e$.

Пополним семейство отношений $\{\sqsubset, \sqsubset^1, \sqsubset^2, \dots\}$ двумя отношениями: $\sqsubset^c$ и $\sqsubset^e$, принадлежность к которым пары признаков (f_1, f_2) свидетельствует о том, что признак f_1 присутствует соответственно в столбце условий и эффектов как минимум в одной матрице предсказания процедурного признака f_2.

1.2. Определение компонент знака. Пусть S — множество знаков. Будем считать, что будущему знаку $s \in S$ *соответствует* некоторый признак $f(s) \in \mathcal{F}$, обладающий перцептом $\tilde{p}$, функциональным значением $\tilde{m}$ и биологическим смыслом $\tilde{a}$, которые после завершения процесса формирования знака s становятся, соответственно, образом p, значением m и личностным смыслом a.

Определение 1. *Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1, то подмножество $\tilde{p}(f_1) \subseteq \mathcal{F}$ таких признаков, что $\forall f_i \in \tilde{p}(f_1) f_i \sqsubset f_1$, будем называть перцептом признака f_1.*

На множестве всех перцептов $\tilde{P}$ введём метрику $\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2))$, вычисляемую по следующему правилу:

- если f_1 и f_2 распознаются разными R-автоматами, т. е. $f_1 \dashv R_i^j$, $f_2 \dashv R_q^k$, то $\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2)) = \infty$,
- если f_1 и f_2 распознаются одним и тем же R-автоматом R_i^j со множеством входных признаков F_i^j мощности q и характерным временем h, то

$$\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2)) = \min_{\substack{Z_r^1 \in Z_1 \\ Z_s^2 \in Z_2}} \frac{1}{q \cdot h} \sum_{u=1}^{h} \|\bar{z}_u^r - \bar{z}_u^s\|. \tag{3}$$

Определение 2. *Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1, f_2 — процедурный признак, $f_1 \sqsubset^c f_2$, то будем называть f_2 элементом функционального значения признака f_1. Множество всех элементов функционального значения признака f_1 будем обозначать $\tilde{m}(f_1)$.*

На множестве всех функциональных значений $\tilde{M}$ введём метрику $\rho_m(\tilde{m}(f_1), \tilde{m}(f_2))$, вычисляемую по следующему правилу:

$$\rho_m(\tilde{m}_1(f_1), \tilde{m}_2(f_2)) = \min_{\substack{f_i \in \tilde{m}(f_1) \\ f_j \in \tilde{m}(f_2)}} \rho_p(\tilde{p}(f_i), \tilde{p}(f_j)). \tag{4}$$

Самосознание субъекта деятельности включает в себя выделенный знак s_I, являющийся представлением субъекта о самом себе. То множество признаков которое составляет образ знака s_I будем называть личностными признаками и выделять в специальное подмножество $F_I \subset \mathcal{F}$.

Определение 3. *Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1, f_2 — процедурный признак, $f_1 \sqsubset^c f_2$, такой, что $F_C(f_1) \cap F_I \neq \varnothing$, то будем называть f_2 элементом биологического смысла признака f_1. Множество всех элементов биологического смысла признака f_1 будем обозначать $\tilde{a}(f_1)$.*

1.3. Семантический уровень обобщения. На основе описанной модели компонент знака становится возможным описать процедуры обобщения (см. первую часть работы) на модельном, семантическом уровне. Для этого будем считать, что матрицы предсказания распознающих автоматов были сформированы в процессе обучения (например, с использованием алгоритма HTM [16] или THSOM [17]). При рассмотрении множества матриц предсказания $\mathcal{Z}$ некоторого распознающего автомата возникают следующие три основных случая:

- *Внутреннее обобщение.* Будем называть схожими, такие матрицы из подмножества $Z'_k = \{Z^k_1, Z^k_2 \ldots, Z^k_m\}$ множества матриц предсказания Z_k некоторого признака f_k, для которых при $\forall i, j, l$ таких, что $Z_i, Z_j \in Z'_k, l \in \{0, \ldots, h\}$ выполняется $card(z^i_l \wedge z^j_l) < c_3$, где c_3 — некоторая константа. Обобщение в этом случае заключается в замене подмножества схожих матриц Z'_k одной обобщённой $Z^* = (\bigwedge_{Z_q \in Z'_k} \bar{z}^q_1, \bigwedge_{Z_q \in Z'_k} \bar{z}^q_2, \ldots, \bigwedge_{Z_q \in Z'_k} \bar{z}^q_h)$. Таким образом, осуществляется кластеризация множества матриц предсказания признака f_k, контролируемая одним параметром близости c_3.

- *Конкретизация.* В тех случаях, когда получаемые с использованием описанной выше меры близости кластеры матриц предсказания признака f_k расходятся достаточно сильно, образуются новые конкретизированные признаки для каждого кластера и соответственно расширяется множество выходных признаков F^* распознающего автомата.

- *Внешнее обобщение.* В том случае когда во всех матрицах предсказания R-автоматов, являющихся родительскими по отношению к распознающему автомату R, i-ые и j-ые компоненты всех столбцов матриц принимают одинаковые значения, выходные признаки $f_i, f_j \in F^*$, соответствующие этим компонентам, обобщаются в один признак с объединённым множеством матриц предсказания. При этом возможно и дальнейшее внутреннее обобщение.

Отдельно необходимо рассмотреть случай *абстрагирования*, когда несколько выходных признаков одного или нескольких распознающих автоматов в результате работы процедуры обобщения на синтаксическом уровне (см. первую часть работы) формируют новый признак f^* в некотором R-автомате R^*, лежащем на следующем уровне иерархии. В этом случае матрица предсказания будет состоять из единственного столбца с ненулевыми элементами, которые соответствуют признакам, составляющим данную категорию.

И, наконец, ещё один случай обобщения на семантическом уровне заключается в образовании ролевой структуры процедурных признаков. Рассмотрим случай, когда столбцы условий или эффектов некоторых матриц предсказания процедурного признака f_p различаются только в двух компонентах, т. .е. i-ая компонента в некоторых столбцах равна 1, а в других — 0, а j-ая компонента наоборот — в первых равна 0, а во вторых — 1. Если соответствующие этим компонентам признаки в результате абстрагирования попали в некоторую общую категорию f_{cat}, то к множеству матриц предсказания признака f_p добавляется матрица с новой компонентой, соответствующей признаку f_{cat} и обнулёнными компонентами i и j. Данная процедура легко распространяется на случай, когда количество элементов категории

f_{cat} в матрицах предсказания признака f_p больше двух. Таким образом, для процедурного признака f_p появляется обобщённая, ролевая матрица предсказания.

2. Связывание образа и значения. В целях дальнейшего изложения рассмотрим подробнее строение матрицы предсказания процедурного признака. Матрицу предсказания Z_r^p процедурного признака f_p всегда можно представить в следующем виде:

$$Z_r^p = (\bar{z}_1^{r,c}, \ldots, \bar{z}_{j_1}^{r,c}, \bar{z}_{j_{1+1}}^{r,e}, \ldots, \bar{z}_{i_1}^{r,e}, \ldots, \ldots, \bar{z}_{i_{k-1}+1}^{r,c}, \ldots, \bar{z}_{j_k}^{r,c}, \bar{z}_{j_k+1}^{r,e}, \ldots, \bar{z}_{i_k}^{r,e}), \tag{5}$$

где $\bar{z}_j^{r,c}$ — столбцы причин, $\bar{z}_i^{r,e}$ — столбцы следствий.

Величину k будем называть *сложностью* процедурного признака. В дальнейшем будем рассматривать простые матрицы предсказаний k-сложного процедурного признака:

$$Z_r^p = (\bar{z}_1^{r,c}, \bar{z}_2^{r,e}, \ldots, \ldots, \bar{z}_{2\cdot k-1}^{r,c}, \bar{z}_{2\cdot k}^{r,e}). \tag{6}$$

Краткая форма k-сложного процедурного признака f_p имеет матрицу предсказания, в которой оставлены только первый столбец условий и последний столбец эффектов.

Любой односложный, или элементарный, процедурный признак f_p, распознаваемый автоматом R_i^j, можно представить в виде правила $r_p = (F_C(f_p), F_A(f_p), F_D(f_p))$, в котором:

- $F_C(f_p) \subseteq F_i^j$ — множество признаков — условий правила: $\forall f \in F_C(f_p)\ f \sqsubset^c f_p$;
- $F_A(f_p) \subseteq F_i^j$ — множество добавляемых правилом признаков: $\forall f \in F_A(f_p)\ f \sqsubset^e f_p, f \not\sqsubset^c f_p$;
- $F_D(f_p) \subseteq F_i^j$ — множество удаляемых правилом признаков: $\forall f \in F_D(f_p)\ f \not\sqsubset^e f_p, f \sqsubset^c f_p$.

Очевидно, выполняются следующие соотношения: $F_A(f_p) \cap F_D(f_p) = \varnothing, F_A(f_p) \cap F_C(f_p) = \varnothing, F_D(f_p) \subseteq F_C(f_p)$.

Определение 4. *Процедурный признак $f_p^1 \dashv R_i^j$ с матрицей предсказания $Z = (\bar{z}_1^c, \bar{z}_2^e)$ выполняется на векторе $\bar{z}$ длины q, где q — длина входного вектора R-автомата R_i^j, если $\bar{z} \cdot \bar{z}_1^c = \bar{z}_1^c$.*

Здесь под операцией «$\cdot$» подразумевается покомпонентное умножение битовых векторов. Если в качестве вектора $\bar{z}$ в определении (4) взять столбец условий некоторого признака f_p^2, то будем говорить, что процедурный признак f_p^1 выполним в условиях процедурного признака f_p^2, если

- оба признака распознаются одним и тем же распознающим автоматом R_i^j и признак f_p^1 выполняется на столбце условий матрицы предсказания признака f_p^2,
- $f_p^1 \dashv R_i^{j_1}, f_p^2 \dashv R_k^{j_2}$, $i \neq k$, $F_C(f_p^1) \subseteq F_C(f_p^2)$ и признак f_p^1 выполняется на столбце условий матрицы предсказания признака f_p^2.

Определение 5. *Будем говорить, что два процедурных признака f_p^1 и f_p^2 конфликтуют, если выполнено как минимум одно из следующих условий:*

- $F_D(f_p^1) \cap F_A(f_p^2) \neq \varnothing$,
- $F_D(f_p^2) \cap F_A(f_p^1) \neq \varnothing$,
- $F_D(f_p^1) \cap F_C(f_p^2) \neq \varnothing$,
- $F_D(f_p^2) \cap F_C(f_p^1) \neq \varnothing$.

Определение 6. *Результатом операции приведения вектор—столбца $\bar{z}$ матрицы распознавания R-автомата $R_{i_1}^{j_1}$ к R-автомату $R_{i_2}^{j_2}$ будем называть такой вектор $\bar{z}'$ длины $q_{i_2}^{j_2}$, k-ый элемент которого $z'_k = 1$, если признак $f \in F_{i_1}^{j_1}$ с индексом k равен признаку $f' \in F_{i_2}^{j_2}$ с тем же индексом и $z_k = 1$, иначе $z'_k = 0$, и обозначать его $(\bar{z} \to R_{i_2}^{j_2}) = \bar{z}'$.*

Определение 7. *Результатом операции приведения вектор—столбца $\bar{z}$ матрицы распознавания R-автомата $R_{i_1}^{j_1}$ к R-автомату $R_{i_2}^{j_2}$ по столбцу $\bar{z}'$ матрицы распознавания из множества $\mathcal{Z}_{i_2}^{j_2}$ будем называть такой вектор $\bar{z}''$ длины $q_{i_2}^{j_2}$, элемент которого $z''_k = 1$, если признак $f \in F_{i_1}^{j_1}$ с индексом k равен признаку $f' \in F_{i_2}^{j_2}$ с тем же индексом, $z'_k = 1$ и $z_k = 1$, иначе $z''_k = 0$, и обозначать $(\bar{z} \xrightarrow{\bar{z}'} R_{i_2}^{j_2}) = \bar{z}''$.*

2.1. Итерационный алгоритм связывания. Будем считать, что у субъекта имеется опыт наблюдения, который выражается в виде функции Ψ_p^m. $\Psi_p^m(\tilde{p}) = \tilde{m}$, в том случае, если $\tilde{p} \in \tilde{P}$ является перцептом некоторого признака f, а $\tilde{m} \in \tilde{M}$ — функциональным значением того же признака f.

Ниже представлен алгоритм доопределения функции Ψ_p^m, который и отражает собой суть итерационного процесса во время образования знака согласно алгоритму из первой части работы. Доопределение проводится на новую пару $(\tilde{p}, \tilde{m})$, где функциональное значение $\tilde{m}$ строится в сравнении с эталоном $\tilde{m}^0$, а перцепт $\tilde{p}$ формируется на основе области определения $\hat{F}$ функции Ψ_p^m. Доопределение функции Ψ_p^m означает формирование нового признака f^*, т. е. его первой матрицы предсказания Z^* в рамках распознающего автомата R^*.

2 Алгоритм $\mathfrak{A}_{pm}$ (часть I)

Вход: $\tilde{m}^0 = \{f_p^0\}, \Psi_p^m, \hat{F} = dom\ \Psi_p^m \subseteq \mathcal{F}$;

$Z_p^0 := \{\bar{z}_1^{c0}, \bar{z}_2^{e0}\}$ — матрица предсказания признака f_p^0;
$\tilde{p}^{(0)} := \varnothing$, $\tilde{m}^{(0)} := \varnothing$;
$R_0 \notin \mathcal{R}$ — фиктивный распознающий блок, для которого $F_0^* = \{f_p^0\}$;
$Z^{(0)} := \varnothing$, $Z_p^{(0)} := \{\bar{0}, \bar{0}\}$;
$q^{(0)} := 0$, $t := 0$;
пока $Z_p^{(t)} \neq Z_p$ или $t < |\hat{F}|$
  $f \in \hat{F}$ — первый не рассмотренный ранее признак;
  $Z = \{\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_q\}$ — его матрица предсказания;
  если $\exists \tilde{m} = \{f_p\} \in \tilde{M}$ такое, что $(\tilde{p}(f), \tilde{m}) \in \Psi_p^m$, f_p выполним в условиях признака f_p^0 и $\nexists f'$ такого, что $f' \in \tilde{p}^{(t)}$,$\tilde{m}' = \{f_p'\} \in \tilde{M}$, $(\tilde{p}(f'), \tilde{m}') \in \Psi_p^m$, f_p' конфликтует с f_p **то**
    $\tilde{p}^{(t+1)} = \tilde{p}^{(t)} \cup \{f\}$;
    $Z_p = \{\bar{z}_1^c, \bar{z}_2^e\}$ — матрица предсказания признака f_p;
    если $\exists R_i^j$ такой, что $\tilde{p}^{(t+1)} \subseteq F_i^j$ **то**
      $R_i^{j(t+1)} := R_i^j$;
    иначе
      $R_i^{j(t+1)} := \arg\max\limits_{\mathcal{R}}(F_i^j \cap \tilde{p}^{(t+1)})$;
      $F_i^{j(t+1)} := F_i^{j(t)} \cup \tilde{p}^{(t+1)}$;

Теорема 1 (о корректности алгоритма $\mathfrak{A}_{pm}$). *Алгоритм $\mathfrak{A}_{pm}$ корректен, т. е. элементы последовательности функциональных значений $\langle \tilde{m}^{(0)}, \tilde{m}^{(1)}, \dots, \tilde{m}^{(t)} \rangle$, которая строится с помощью алгоритма $\mathfrak{A}_{pm}$ для функционального значения $\tilde{m}^0$, приближаются к $\tilde{m}^0$ в смысле метрики (4).*

3 Алгоритм $\mathfrak{A}_{pm}$ (часть II)

17: $q^{(t+1)} = \max\{q^{(t)}, q\}$;

18: $Z^{(t+1)} := \{\bar{z}_1^{(t+1)}, \bar{z}_2^{(t+1)}, \dots \bar{z}_{q^{(t+1)}}^{(t+1)}\}$, где $\bar{z}_i^{(t+1)} = \bar{z}_i^{(t)} \vee \bar{z}_i$, если $i \leqslant q$ и $i \leqslant q^{(t)}$, $\bar{z}_i^{(t+1)} = \bar{z}_i^{(t)}$, если $i > q$ и $\bar{z}_i^{(t+1)} = \bar{z}_i$, если $i > q^{(t)}$;

19: $Z_p^{(t+1)} := \{\bar{z}_1^{c(t+1)}, \bar{z}_2^{e(t+1)}\}$, где $\bar{z}_1^{c(t+1)} = \bar{z}_1^{c(t)} \vee (\bar{z}_1^c \to R_0)$, $\bar{z}_2^{e(t+1)} = \bar{z}_2^{e(t)} \vee (\bar{z}_2^e \xrightarrow{\bar{z}_2^{e0}} R_0)$;

20: $f_p^{(t+1)}$ — признак с матрицей предсказания $Z_p^{(t+1)}$;

21: $\tilde{m}^{(t+1)} = \{f_p^{(t+1)}\}$;

22: $t = t + 1$;

23: $R^* = R_i^{j(t)}$;

24: $Z^* = Z^{(t)}$;

25: $\mathcal{Z}^* = \mathcal{Z}_i^{j(t)} \cup \{Z^*\}$;

вернуть Ψ_p^m, доопределённую на паре $(\tilde{p}, \tilde{m})$, где $\tilde{p} = \tilde{p}^{(t)}$, $\tilde{m} = \tilde{m}^{(t)}$.

Доказательство. Рассмотрим два элемента последовательности $\tilde{m}^{(t)} = \{f_p^{(t)}\}$ и $\tilde{m}^{(t+1)} = \{f_p^{(t+1)}\}$. Соответствующие матрицы предсказания будут иметь следующий вид:

$$Z_p^{(t)} = \{\bar{z}_1^{c(t)}, \bar{z}_2^{e(t)}\}, \; Z_p^{(t+1)} = \{\bar{z}_1^{c(t+1)}, \bar{z}_2^{e(t+1)}\}. \tag{7}$$

Если на шаге 9 алгоритма $\mathfrak{A}_{pm}$ на $(t+1)$-й итерации не был найден подходящий признак, то матрицы $Z_p^{(t)}$ и $Z_p^{(t+1)}$ равны. Рассмотрим случай, когда был найден подходящий признак f' с функциональным значением $\tilde{m}' = \{f'_p\}$ с соответствующей матрицей предсказания $Z' = (\bar{z}_1'^c, \bar{z}_2'^e)$.

В том случае, если на шаге 9 был найден признак f'_p то матрицы $Z_p^{(t)}$ и $Z_p^{(t+1)}$ будут отличать в своих двух столбцах:

$$\bar{z}_1^{c(t+1)} = \bar{z}_1^{c(t)} \vee (\bar{z}_1'^c \to R_0), \; \bar{z}_2^{e(t+1)} = \bar{z}_2^{e(t)} \vee (\bar{z}_2'^e \xrightarrow{\bar{z}_2^{e0}} R_0). \tag{8}$$

По определению расстояние между функциональными значениями $\tilde{m}^{(t)}$ и $\tilde{m}^0$ примет следующее значение:

$$\rho_m(\tilde{m}^{(t)}, \tilde{m}^0) = \min_{\substack{f_i \in \tilde{m}^{(t)} \\ f_j \in \tilde{m}^0}} \rho_p(\tilde{p}(f_i), \tilde{p}(f_j)) = \rho_p(\tilde{p}(f'_p), \tilde{p}(f_p)) =$$
$$= \frac{1}{q \cdot h} \sum_{\substack{\bar{z}_u^{1(t)} \in Z_p^{(t)} \\ \bar{z}_u^2 \in Z_p^0}} \|\bar{z}_u^{1(t)} - \bar{z}_u^2\|. \tag{9}$$

Аналогично для $\tilde{m}^{(t+1)}$:

$$\rho_m(\tilde{m}^{(t+1)}, \tilde{m}^0) = \frac{1}{q \cdot h} \sum_{\substack{\bar{z}_u^{1(t+1)} \in Z_p^{(t+1)} \\ \bar{z}_u^2 \in Z_p^0}} \|\bar{z}_u^{1(t+1)} - \bar{z}_u^2\|. \tag{10}$$

Рассмотрим разность

$$\begin{aligned} \rho_m(\tilde{m}^{(t)}, \tilde{m}^0) - \rho_m(\tilde{m}^{(t+1)}, \tilde{m}^0) = \frac{1}{q \cdot h}(\|\bar{z}_1^{c(t)} - \bar{z}_1^{c0}\| + \|\bar{z}_2^{e(t)} - \bar{z}_2^{e0}\| - \\ -\|\bar{z}_1^{c(t+1)} - \bar{z}_1^{c0}\| - \|\bar{z}_2^{e(t+1)} - \bar{z}_2^{e0}\|) = \frac{1}{q \cdot h}(\|\bar{z}_1^{c(t)} - \bar{z}_1^{c0}\| + \\ +\|\bar{z}_2^{e(t)} - \bar{z}_2^{e0}\| - \|\bar{z}_1^{c(t)} \vee (\bar{z}_1'^c \to R_0) - \bar{z}_1^{c0}\| - \\ -\|\bar{z}_2^{e(t)} \vee (\bar{z}_2'^e \xrightarrow{\bar{z}_2^{e0}} R_0) - \bar{z}_2^{e0}\|), \end{aligned} \tag{11}$$

где $\bar{z}_1^{c0}$, $\bar{z}_2^{e0}$ — столбцы матрицы предсказания процедурного признака f_p^0, соответствующего функциональному значению $\tilde{m}^0$.

Так как f_p' выполним на первом столбце матрицы предсказания признака f_p^0, то после применении операции приведения $\bar{z}_1'^c \to R_0$ в результирующем векторе единицы появляются только на тех же местах что и в векторе $\bar{z}_1^{c0}$. Это означает, что в векторе $\bar{z}_1^{c(t)} \vee (\bar{z}_1'^c \to R_0) - \bar{z}_1^{c0}$ по сравнению с вектором $\bar{z}_1^{c(t)}$ единицы находятся только в тех же местах, что и в векторе $\bar{z}_1^{c0}$, а новых нулей не появляется. В следствие чего разность $\|\bar{z}_1^{c(t)} - \bar{z}_1^{c0}\| - \|\bar{z}_1^{c(t)} \vee (\bar{z}_1'^c \to R_0) - \bar{z}_1^{c0}\|$ всегда больше либо равна нулю.

Так как для столбцов эффектов применяется операция приведения по столбцу, то единицы в результирующем векторе остаются только на тех местах, на которых одновременно находятся единицы в приводимом векторе и векторе, по которому осуществляется приведение. В связи с этим разность $\|\bar{z}_2^{e(t)} - \bar{z}_2^{e0}\| - \|\bar{z}_2^{e(t)} \vee (\bar{z}_2'^e \xrightarrow{\bar{z}_2^{e0}} R_0) - \bar{z}_2^{e0}\|$ также больше либо равна нулю.

Так как обе разности в скобках выражения для $\rho_m(\tilde{m}^{(t)}, \tilde{m}^0) - \rho_m(\tilde{m}^{(t+1)}, \tilde{m}^0)$ больше либо равны нулю, то отсюда следует, что функциональное значение $\tilde{m}^{(t+1)}$ ближе или по крайней мере находится на том расстоянии от $\tilde{m}^0$, чем к $\tilde{m}^t$. В виду произвольности выбора итерации

t, это приводит к тому, что элементы всей последовательности $\langle \tilde{m}^{(0)}, \tilde{m}^{(1)}, \dots \rangle$ приближаются к $\tilde{m}^0$ в смысле использованной метрики (4).

■

3. Планирование и типы картин мира. Рассмотрим планирование, реализуемое в рамках трёх описанных в [18] картин мира, возникающих благодаря существованию у знака той структуры, которая была описана в [1].

Начнём с наиболее привычной каждому житейской КМ. Представление о желаемом связано здесь с некоторой социальной ситуацией взаимодействия, задающейся существующими в данном социуме объективными обстоятельствами (собеседование при принятии на работу может быть по-разному устроено в разных сферах деятельности, а сама ситуация возникла в относительно недавнем прошлом; свадьба существует во всех обществах, но её организация имела большое число вариаций в истории человечества). Поэтому планирование начинается с поиска на сети значений и выбора конкретного значения, за которым стоит определённый сценарий разворачивания ситуации. Сценарий же, который некто собирается разыграть, требует уточнения персонажей и объектов, участвующих в нём. Исследование, направленное на выяснение потребных свойств исполнителей ролей и предметов, которые должны быть задействованы в будущей ситуации, инициирует поиск уже на сети образов. Возможные параметры объектов и исполнителей ролей должны быть рассмотрены с точки зрения их приемлемости и удобства для самого субъекта — ведь в каком костюме идти на собеседование или кого позвать в свидетели на свою свадьбу каждому приходится решать в соответствии со своей уникальной жизненной ситуацией. Это означает, что обнаруженные в ходе исследования параметры объектов должны быть взвешены в ходе работы на сети смыслов — в данном случае это будут так называемые операциональные смыслы [19], выявляющие способность тех или иных предметов и людей сыграть нужные субъекту роли. Только после этого планирование возвращается на сеть значений, где люди и вещи уже рассматриваются под определённым углом зрения — а именно как способные сыграть определённую роль и как удовлетворяющие запросы субъекта планирования.

В рациональной КМ планирование осуществляется в отношении возможностей изучения заинтересовавшего объекта. Значение выбранного на сети образов объекта уточняется в ходе рассмотрения тех ситуаций, в которых он мог бы встречается. Так, археолог планирует поездку в тот регион, в котором происходили интересующие его как историка события, а психолог определяет те ситуации жизнедеятельности испытуемого, в которых действие интересующего его психологического механизма проявляется. Далее, на сети смыслов взвешиваются и отбираются с точки зрения полезности для изучения объекта те конкретные ситуации, где он в принципе мог бы проявить себя. Например, психолог отбирает все методики, в которых интересующее его качество, например, агрессивность, могло бы проявиться — не только те методики, описание которых содержит указание «направлена на изучение агрессивности», но и все методики, в которых это качество могло бы проявится как сопутствующее или выступающее под другим именем — например, как категоричность суждений или отсутствие эмпатии. Значение различных действий с объектами наполняется, таким образом, предметным смыслом. Уточнённое, операционализированное, представление об объект превращает его в предмет исследования и далее на сети образов могут быть исследованы уже конкретные эмпирические процедуры, реализация которых позволит провести изучение предмета.

Третий тип планирования — планирование, порождённое поиском смысла. Оно начинается со встречи с аффектогенным событием, смысл которого тем не менее человеку не удаётся сразу определить. На сети имён возникает имя с реализованными в образе значением (ситуация с конкретными действующими лицами и объектами), но ни операциональные смыслы отдельных объектов и персонажей, ни предметные смыслы совершаемых субъектом в связи с этой ситуацией действий, не оказываются достаточными, чтобы исчерпать, снять возникшее у человека эмоциональное напряжение. Тогда на сети образов ищутся такие объекты, которые вместе с образом данного события могли бы быть проявлениями некой обобщённой ситуации. Обобщение осуществляется именно на образах, поэтому значение, к которому они восходят, не совпадает с исходным, предложенным извне, значением события. Переобозначение исходного события таким образом, чтобы оно приобрело смысл, т. е. интерпретация события, осуществляется, соответственно, в три шага. Вначале на сети образов запускается исследование связей образов, входящих в событие, с другими образами, т. е. ищутся ассоциации с образами, построенные на общем эмоциональном отклике на них. Далее, на сети значений осуществляется рассмотрение тех ситуаций человеческой жизни, в которых данные объекты (образы) встречаются. Ситуации здесь оказываются максимально обобщёнными, охватывающими всю жизнь человека, т. е. архетипическими, выраженными в мифах и прецедентных текстах культуры субъекта планирования. Наконец, на сети смыслов осуществляется взвешивание и отбор полученных новых ролей для исходных объектов и персонажей путём создания нарратива, повествования о событии, в котором его личностный смысл для субъекта как целое определял бы круг задействованных объектов, последовательность действий персонажей и подводил бы к завершающей сцене как итогу, содержащему мораль всей истории.

4. Алгоритм планирования. С формальной точки зрения планом $Plan$ будем называть такую последовательность личностных смыслов, в которой процедурный признак, которому соответствует очередной личностный смысл, не конфликтует с процедурным признаком, которому соответствует предыдущий личностный смысл.

Определение 8. *Последовательность* $\{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$ *будем называть планом* $Plan$*, если* $\forall 1 < k \leqslant n$ α_k *не конфликтует с* α_{k-1}.

Целевая ситуация представляет из себя целевой знак, который был определён с помощью процедуры целеполагания (см. первую часть работы).

На странице 20 представлен алгоритм планирования поведения.

4 Алгоритм $\mathfrak{A}_{bp}$ синтеза плана поведения

Вход: начальная ситуация S_{st}, знак мотива s_{goal} и связанный с ним личностный смысл a_{goal}, функция оценки Φ_a;

Выход: план $Plan$;

$F_{st} = \bigcup\limits_{s \in S_{st}} \{f(s)\};$ *// множество признаков начальной ситуации*

$Plan = \textsc{Planning}(\varnothing, \{f(s_{goal})\}, \{a_{goal}\});$

процедура $\textsc{Planning}(Plan,\ F_{cur},\ A_{forw})$

  $\tilde{A}_{forw} = \Phi_a(A_{forw}, s_{goal});$ *// выбор предпочитаемых действий*

  $F_{cond} = \bigcup\limits_{a \in \tilde{A}_{forw}} F_C(a);$

  $F_{next} = F_{cur} \cup F_{cond} \setminus \bigcup\limits_{a \in \tilde{A}_{forw}} F_A(a);$ *// следующая ситуация планирования*

  если $F_{next} \subseteq F_{st}$ **то**

    вернуть $Plan \cup \tilde{A}_{forw};$ *// возвращаем обновленный план*

  иначе

    если $F_{next} = F_{cur}$ **то**

      вернуть невозможно построить план;

    иначе

      $\Delta = F_{next} \setminus F_{st};$ *// текущая невязка состояний*

      $M_{next} = \{\mu_i | \mu_i \in m(f), f \in F_{next}, F_D(\mu) \cap \Delta = \varnothing\};$

      $M_{forw} \subseteq M_{next}$ такое, что $\begin{cases} \left| \bigcup\limits_{\mu \in M_{forw}} (F_A(\mu) \setminus \Delta) \right| \to \max, \\ \left| \bigcap\limits_{\mu \in M_{forw}} (F_A(\mu) \setminus \Delta) \right| \to \min; \end{cases}$ *// решение minmax задачи*

      $A_{next} = \bigcup\limits_{\mu \in M_{forw}} \{\textsc{Interior}(\mu)\};$ *// текущее множестов личностных смыслов*

      для всех $\alpha_j \in A_{next}$

        если $\exists \alpha_k \in A_{next}$ такой, что $\alpha_k \neq \alpha_i$ и α_k конфликтует с α_j **то**

          $\alpha_{del} = \arg\min\limits_{\alpha \in \{\alpha_k, \alpha_j\}} |F_A(\alpha) \setminus \Delta|;$

          $A_{next} = A_{next} \setminus \{\alpha_{del}\};$ *// удаляем конфликтующие признаки*

      вернуть $\textsc{Planning}(Plan, F_{next}, A_{next});$

Заключение. Подведение общих итогов. Про архитектуру агентов и распределение ролей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В. Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2014. — № 4. — С. 83–96.

2. Лурия А. Р. Мозг и психические процессы. Т. 2. — М. : Педагогика, 1970.

3. Выготский Л. С. Психология развития человека. — М. : Издательство Смысл, 2005. — С. 1136.

4. Леонтьев А. Н. Деятельность. Сознание. Личность. — М. : Политиздат, 1975.

5. Артемьева Е. Ю. Психология субъективной семантики. — М. : Издательство МГУ, 1980.

6. Эделмен Дж., Маунткасл В. Разумный мозг. — М. : Мир, 1981.

7. Иваницкий А. М. Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза // Журнал высшей нервной деятельности. — 1996. — Т. 46, № 2. — С. 241–282.

8. Иваницкий А. М. Наука о мозге на пути к решению проблемы сознания // Вестник РАН. — 2010. — Т. 80, № 5-6. — С. 447–455.

9. Психофизиология / Под ред. Ю. И. Александров. — 3-е изд. — Питер, 2007. — С. 464.

10. Mountcastle V. B. Perceptual Neuroscience. The Cerebral Cortex. — Cambridge : Harvard University Press, 1998. — P. 512.

11. Rockland K. S. Five points on columns. // Frontiers in neuroanatomy. — 2010. — Vol. 4. — P. 22.

12. Sequencing the connectome / A. M. Zador, J. Dubnau, H. K. Oyibo et al. // PLoS biology. — 2012. — Vol. 10, no. 10.

13. Felleman D. J., van Essen D. C. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex // Cerebral Cortex. — 1991. — Vol. 1, no. 1. — P. 1–47.

14. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. — М. : Радио и связь, 1985. — С. 376.

15. Norris Eugene M. Maximal Rectangular Relations // Fundamentals of Computation Theory / Ed. by Marek Karpinski. — Berlin : Springer, 1977. — P. 476–481.

16. George D., Hawkins J. Towards a Mathematical Theory of Cortical Micro-circuits // PLoS Computational Biology. — 2009. — Vol. 5, no. 10. — P. 1–26.

17. Koutnik J., Snorek M. Temporal Hebbian Self-Organizing Map for Sequences // Artificial Neural Networks - ICANN 2008. — Berlin : Springer, 2008. — P. 632–641.

18. Чудова Н. В. Концептуальное описание картины мира для задачи моделирования поведения, основанного на сознании // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2012. — № 2. — С. 51–62.

19. Тихомиров О. К. Психология мышления. — М. : Издательство МГУ, 2002. — С. 288.