

Исследование образной и процедурной компонент элементов картины мира субъекта деятельности

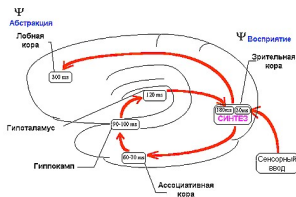
Александр Панов

ИСА РАН

научный руководитель д.ф.-м.н., проф. Г. С. Осипов

10 декабря 2014 г.

Картина мира и нейрофизиология



По нейрофизиологическим данным (В. Маунткэсл, 1981; Дж. Хокинс, 2009), в том числе в теории повторного входа или информационного синтеза (Д. Эдельман, 1981; А. М. Иваницкий, 1996) возникновение ощущения, т. е. активизация некоторого элемента картины мира субъекта, происходит при замыкании контура распространения нервного возбуждения от сенсорного входа. При этом происходит наложение значения сигнала (гиппокамп) и эмоционального отношения к нему (гипоталамус) на поступившую сенсорную информацию.

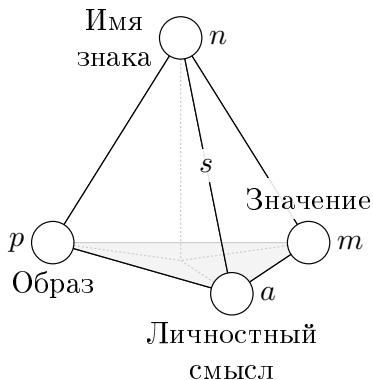
Картина мира и психология

В культурно—историческом подходе (А. Р. Лурия, 1970; Л. Н. Выготский, 1960) вводится понятие знака как основного инструмента познавательной деятельности субъекта. В теории деятельности (А. Н. Леонтьев, 1975) раскрывается структура знака и его роль в формировании не только познавательной, но и любой другой деятельности субъекта.

По Леонтьеву образующими картины мира, т. е. компонентами знака, являются *образ, значение и личностный смысл*. «В значениях представлена преобразованная и свёрнутая в материи языка идеальная форма существования предметного мира ... раскрываемая в совокупной общественной практикой». Личностный смысл является «значением—для—меня».

«Движение, соединяющее абстрактное значение с чувственным миром, представляет собой одно из существеннейших движений сознания» (А. Н. Леонтьев).

Знак — элемент картины мира



Знак имеет следующие компоненты:

- имя,
- образ,
- значение и
- личностный смысл.

Предмет и цель исследования

Предмет исследования — построение моделей картины мира субъекта деятельности и некоторых когнитивных функций.

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов формирования пары образа и значения элемента знаковой картины мира субъекта деятельности.

Таким образом, в настоящей работе рассматриваются алгоритмы формирования двух основных компонент знака: образа и значения. Исследуется сходимость итерационного процесса связывания этих компонент и рассматриваются некоторые функции знаковой картины мира

Формальная постановка задачи

В качестве модели компонент знака в работе строится специальный распознающий автомат, функционирование которого с некоторыми упрощениями соответствует нейрофизиологическим данным о работе указанных участков коры головного мозга человека.

В работе были поставлены следующие задачи:

- исследовать автоматную функцию иерархии распознающих автоматов с заданным множеством состояний, т. е. со сформированными матрицами предсказания после завершения процесса обучения (например, по алгоритму НТМ);
- на основе построенной модели разработать итерационный алгоритм формирования и связывания двух основных компонент знака: образа и значения;
- для построенного итерационного алгоритма исследовать его сходимость под управлением значения, полученного из внешней среды.

Признаки и распознающие автоматы

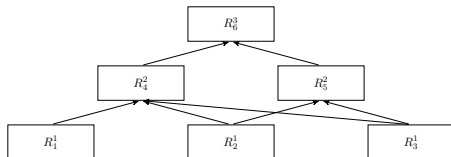
Пусть заданы следующие множества:

- \mathcal{R} — совокупность распознающих автоматов или R -автоматов,
- \mathcal{F} — совокупность допустимых признаков.

Введём бинарное отношение \dashv , определённое на декартовом произведении $\mathcal{F} \times \mathcal{R}$, и будем читать $f_k \dashv R_i^j$ как «признак f_k распознаётся R -автоматом R_i^j ».

Множество всех распознаваемых R -автоматом R_i^j признаков будем обозначать F_i^{*j} , т. е. $\forall f^* \in F_i^{*j} f^* \dashv R_i^j, F_i^{*j} \subseteq \mathcal{F}$.

Иерархия распознающих автоматов



Рассмотрим связный ориентированный ярусный граф $G_R = (V, E)$:

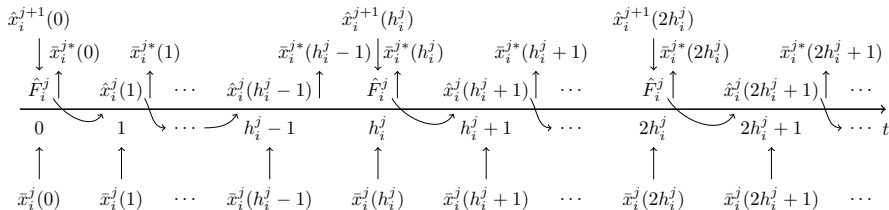
- $V = \mathcal{R}$ — множество вершин,
- $E \subset \mathcal{R} \times \mathcal{R}$ — множество рёбер,
- каждая вершина, принадлежащая j -ому ярусу графа G_R , является R -автоматом R_i^j уровня j ,
- каждое ребро $e = (R_{i_1}^{j_1}, R_{i_2}^{j_2}) \in E$ обозначает иерархическую связь между дочерним R -автоматом $R_{i_1}^{j_1}$ и R -автоматом — родителем $R_{i_2}^{j_2}$.

Входные признаки и функции распознавания

Введём следующие определения.

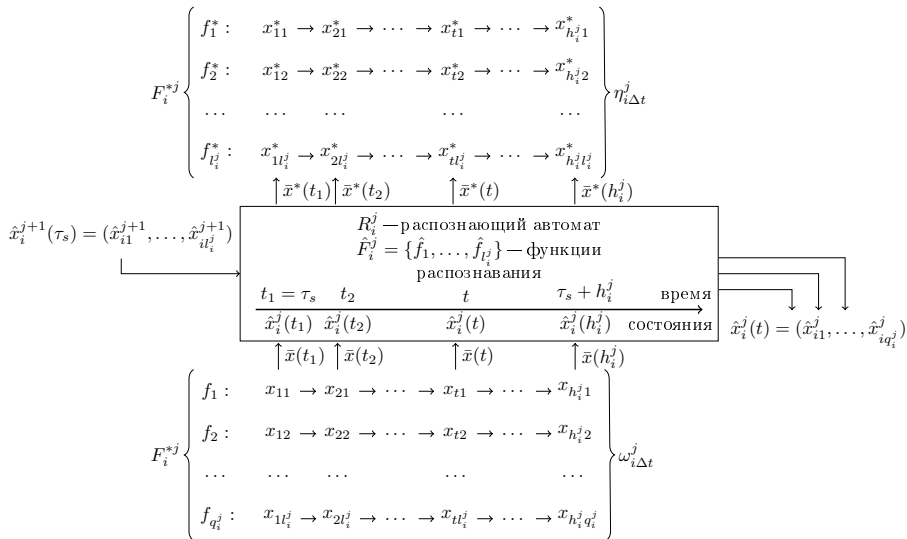
- Признак $f \vdash R_k^{j-1}$ называется входным для R -автомата R_i^j , если R_k^{j-1} является дочерним автоматом по отношению к R_i^j . Всё множество входных признаков для R_i^j будем обозначать F_i^j .
- Для каждого признака $f^* \in F_i^{*j}$ введём функцию распознавания $\hat{f}(x_1, \dots, x_q) = x^*$, где $x^* \in (0, 1)$ — вес распознаваемого признака f^* , а $x_1, \dots, x_q \in (0, 1)$ — веса признаков из множества входных признаков F_i^j . Всю совокупность функций распознавания для R_i^j будем обозначать \hat{F}_i^j .

Динамика распознающего автомата



- вектор $\bar{x}_i^j(t)$ длины l_i^j — входной сигнал (вектор весов входных признаков),
- вектор $\bar{x}_i^{*j}(t)$ длины l_i^j — выходной сигнал (вектор весов распознаваемых признаков),
- вектор $\hat{x}_i^{j+1}(t)$ длины q_i^{j+1} — управляющий вектор, задающий начальное состояние в моменты времени $0, h_i^j, 2h_i^j, \dots$,
- вектор $\hat{x}_i^j(t)$ длины q_i^j — вектор состояния (вектор ожиданий входных признаков в следующий момент времени),
- h_i^j — глубина памяти R -автомата R_i^j .

Входы и выходы распознающего автомата



Матрица предсказаний

Для определения состояния R -автомата и его автоматной функции, поставим каждой функции распознавания \hat{f}_k из множества \hat{F}_i^j в соответствие набор булевых матриц предсказания $Z_k = \{Z_1^k, \dots, Z_m^k\}$ размерности $q_i^j \times h_i^j$. Тогда

- столбец $\bar{z}_u^r = (z_{u1}^k, \dots, z_{uq}^k)$ матрицы Z_r^k — это вектор предсказания входных признаков из множества F_i^j в момент времени $\tau_s + u$, $z_{uv}^k \in \{0, 1\}$,
- матрица Z_r^k задаёт последовательность битовых векторов, наличие бита в котором свидетельствует о присутствии распознаваемого функцией \hat{f}_k признака,
- \mathcal{Z}_i^j — множество всех матриц предсказания R -автомата R_i^j .

Входные и выходные функции

Таким образом, R -автомат R_i^j является бесконечным автоматом Милля с переменной структурой и конечной памятью и определяется следующим набором $R_i^j = \langle X_i^j \times \hat{X}_i^{j+1}, 2^{\mathcal{Z}_i^j}, X_i^{*j} \times \hat{X}_i^j, \varphi_i^j, \vec{\eta}_i^j \rangle$, где

- X_i^j — множество входных сигналов,
- X_i^{*j} — множество выходных сигналов,
- \hat{X}_i^{j+1} — множество управляющих сигналов с верхнего уровня иерархии,
- \hat{X}_i^j — множество управляющих сигналов на нижний уровень иерархии,
- $2^{\mathcal{Z}_i^j}$ — множество состояний (множество подмножеств множества матриц предсказания),
- $\varphi_i^j : X_i^j \times \hat{X}_i^{j+1} \rightarrow 2^{\mathcal{Z}_i^j}$ — функция переходов,
- $\vec{\eta}_i^j : 2^{\mathcal{Z}_i^j} \rightarrow X_i^{*j} \times \hat{X}_i^j$ — вектор—функция выходов.

Алгоритм \mathfrak{A}_{th} функционирования R -автомата

В работе построен пороговый алгоритм $\mathfrak{A}_{th}(c_1, c_2)$ вычисления функции переходов φ_i^j и выходной функции $\vec{\eta}_i^j$ по начальному моменту времени τ_s , управляющему воздействию $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)$ и входному воздействию ω_i^j .

Для исследования автоматной функции на основании разработанного алгоритма ниже будут построены 4 типа операторов распознавания, сформулированы задачи классификации и доказаны теоремы корректности линейных замыканий множеств этих операторов.

Статический оператор распознавания

Зафиксируем момент времени t , равный началу некоторого s -го вычислительного цикла τ_s , т. е. рассмотрим первый этап алгоритма \mathcal{A}_{th} — задание начального состояния R -автомата.

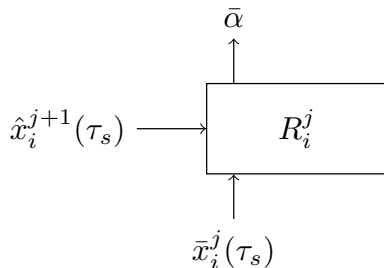
В этом случае, R -автомат R_i^j можно рассматривать как статический оператор распознавания $R_i^j(\hat{x}_i^{j+1}, \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j) = \bar{x}_i^{*j}$.

Задача классификации в статическом случае

Пусть

- $\{Q\}$ — совокупность задач классификации,
- $\{\mathcal{A}\}$ — множество алгоритмов, переводящих пары (\hat{x}, \bar{x}) в вектора $\bar{\beta}$, составленные из элементов 0, 1, $\Delta : \mathcal{A}(\hat{x}, \bar{x}) = \bar{\beta}$.

Задача $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha}) \in \{Q\}$ состоит в построении алгоритма, вычисляющего по поступившему вектору ожиданий \hat{x} и входному вектору \bar{x} значения информационного вектора $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_l), \alpha_i \in \{0, 1\}$ присутствия признаков f_1^*, \dots, f_l^* .



Свойство корректности алгоритма

Определение 1

Алгоритм \mathcal{A} называется корректным для задачи Q , если выполнено равенство

$$\mathcal{A}(\hat{x}, \bar{x}) = \bar{\alpha}.$$

Алгоритм \mathcal{A} , не являющийся корректным для Q , называется некорректным.

Далее будем считать, что множество $\{\mathcal{A}\}$ является совокупностью, вообще говоря, некорректных алгоритмов.

Разложение алгоритма классификации

Утверждение 1 (аналог теоремы Журавлёва о введении пространства оценок)

Каждый алгоритм $\mathcal{A} \in \{\mathcal{A}\}$ представим как последовательность выполнения алгоритмов R и C , где $R(\hat{x}, \bar{x}) = \bar{x}^$, \bar{x}^* — вектор действительных чисел, $C(\bar{x}^*) = \bar{\beta}$, $\beta_i \in \{0, 1, \Delta\}$.*

- R — оператор распознавания,
- C — решающее правило.

Решающее правило и операции над алгоритмами

Определение 2

Решающее правило C^ называется корректным на множестве входных векторов X , если для всякого вектора \bar{x} из X существует хотя бы один числовой вектор \bar{x}^* такой, что $C^*(\bar{x}^*) = \bar{\alpha}$, где $\bar{\alpha}$ — информационный вектор входного вектора \bar{x} .*

В множестве операторов $\{R\}$ введём операции умножения на скаляр, сложения и умножения. Пусть r' — скаляр, $R', R'' \in \{R\}$. Определим операторы $r' \cdot R'$, $R' + R''$ и $R' \cdot R''$ следующим образом:

$$r' \cdot R' = (r' \cdot x_1^{*'}, \dots, r' \cdot x_l^{*'}), \quad (1)$$

$$R' + R'' = (x_1^{*'} + x_1^{*''}, \dots, x_l^{*'} + x_l^{*''}), \quad (2)$$

$$R' \cdot R'' = (x_1^{*'} \cdot x_1^{*''}, \dots, x_l^{*'} \cdot x_l^{*''}). \quad (3)$$

Замыкание множества алгоритмов

Утверждение 2

Замыкание $L\{R\}$ множества $\{R\}$ относительно операций (1) и (2) является векторным пространством.

Утверждение 3

Замыкание $\mathcal{U}\{R\}$ множества $\{R\}$ относительно операций (1), (2) и (3) является ассоциативной линейной алгеброй с коммутативным умножением.

Определение 3

Множества $L\{A\}$ и $\mathcal{U}\{A\}$ алгоритмов $\mathcal{A} = R \cdot C^$ таких, что $R \in L\{R\}$ и $R \in \mathcal{U}\{R\}$, называются линейными и алгебраическими замыканиями множества $\{A\}$ соответственно.*

Свойство полноты задачи

Зафиксируем пару (\hat{x}, \bar{x}) управляющего вектора и входного вектора. Будем рассматривать задачи $Q(\hat{x}, \bar{x})$, обладающие следующим свойством относительно множества операторов распознавания \mathcal{R} .

Определение 4

Если множество векторов $\{R(\hat{x}, \bar{x})\}$, где R пробегает некоторое множество операторов распознавания \mathcal{R} , содержит базис в пространстве числовых векторов длины l , то задача $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha})$ называется полной относительно \mathcal{R} .

Связь свойств полноты и корректности

Имеет место следующее утверждение.

Утверждение 4 (аналог теоремы Журавлёва о корректности линейного замыкания)

Если множество задач $\{Q\}$ состоит лишь из задач, полных относительно \mathfrak{R} , то линейное замыкание $L\{R \cdot C^\}$ (C^* — произвольное фиксированное корректное решающее правило, R пробегает множество \mathcal{R}) является корректным относительно $\{Q\}$.*

Теорема корректности в статическом случае

Будем рассматривать только такие задачи $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha})$, для которых удовлетворяется следующее условие: $\exists k$ такое, что x_k является k -ым элементом вектора \bar{x} и $x_k > 1/2$.

В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 1

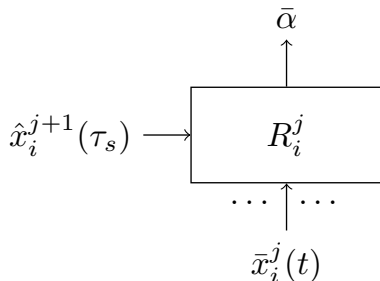
Линейное замыкание $L\{\mathcal{A}\}$ семейства алгоритмов $\{\mathcal{A}\} = \{R \cdot C^\}$ с произвольным корректным решающим правилом C^* и операторами распознавания R , определёнными алгоритмом \mathfrak{A}_{th} , является корректным на $\{Q\}$.*

Операторы распознавания R^t

Пусть $\tau_s < t < \tau_s + h_i^j$, тогда операторы распознавания примут вид $R_i^j(\hat{x}_i^j(t), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(t))$, кратко R^t .

Для этих операторов постановка задачи распознавания выглядит таким же образом как и для операторов R , формулировки определений полноты и корректности идентичны.

Теорема о корректности линейного замыкания $L\{R^t \cdot C^*\}$ доказывается аналогично.



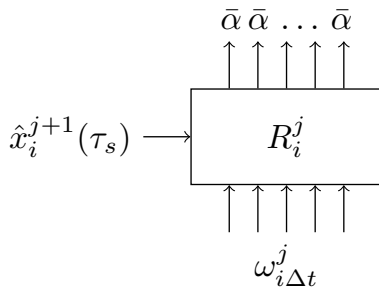
Динамические операторы распознавания

Будем фиксировать не конкретный момент времени t , а полуинтервал $\Delta t = [\tau_s, \tau_s + h_i^j)$.

В этом случае R -автомат R_i^j можно рассматривать как динамический оператор распознавания

$$\hat{R}_i^j(\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}_i^j, \omega_{i\Delta t}^j) = \gamma_{i\Delta t}^j$$

- принимающий функцию входного воздействия $\omega_{i\Delta t}^j$ и
- выдающий функцию выходной величины $\gamma_{i\Delta t}^j$.



Динамические операторы распознавания

Действие динамического оператора \hat{R}_i^j можно заменить последовательным действием статических операторов

$$R(\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(\tau_s)), R^1(\hat{x}_i^j(\tau_s + 1), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(\tau_s + 1)), \dots, \\ R^{h_i^j-1}(\hat{x}_i^j(\tau_s + h_i^j - 1), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(\tau_s + h_i^j - 1)),$$

выдающих последовательность

$$\{\bar{x}_i^{*j}(t)\} = \{\bar{x}_i^{*j}(\tau_s), \bar{x}_i^{*j}(\tau_s + 1), \dots, \bar{x}_i^{*j}(\tau_s + h_i^j - 1)\}.$$

Так как параметр h_i^j фиксирован, то конечные последовательности векторов $\omega_{i\Delta t}^j$ и $\gamma_{i\Delta t}^j$ можно считать матрицами размерности $l_i^j \times h_i^j$. Далее будем опускать индексы i и j .

Задача классификации в динамическом случае

Задача $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$ состоит в построении алгоритма \hat{A} , вычисляющего по поступившему начальному (управляющему) вектору ожиданий \hat{x} и матрице входных воздействий $\omega_{\Delta t}$ последовательность векторов $\beta_{\Delta t}$, монотонно сходящуюся к информационному вектору $\bar{\alpha}$.

Искомый оператор распознавания \hat{R} должен выдавать весовую матрицу распознаваемых признаков $\gamma_{\Delta t}$, столбцы которой должны сходиться (с учётом корректного решающего правила) к информационному вектору: $\lim_{t \rightarrow \tau_s + h} \bar{x}^*(t) = \bar{\alpha}$.

Свойство корректности алгоритма в динамическом случае

Определение 5

Алгоритм $\hat{A}(\hat{x}, \bar{x}) = \beta_{\Delta t} = (\bar{\beta}_1, \dots, \bar{\beta}_h)$ называется корректным для задачи \hat{Q} , если выполнено условие

$$\|\bar{\beta}_1 - \bar{\alpha}\| \geq \|\bar{\beta}_2 - \bar{\alpha}\| \geq \dots \geq \|\bar{\beta}_h - \bar{\alpha}\|,$$

причём $\|\bar{\beta}_h - \bar{\alpha}\| = 0$. $\|\bar{\beta}_i - \bar{\alpha}\| = \sum_j (\beta_{ij} - \alpha_j)$, где $\beta_{ij} - \alpha_j = 0$, если $\beta_{ij} = \alpha_j$, $\beta_{ij} - \alpha_j = \frac{1}{2}$, если $\beta_{ij} = \Delta$, и $\beta_{ij} - \alpha_j = 0$ иначе. Алгоритм \hat{A} , не являющийся корректным для \hat{Q} , называется некорректным.

Разложимость алгоритма в динамическом случае

Утверждение 5

Каждый алгоритм $\hat{A} \in \{\hat{A}\}$ представим как последовательность выполнения алгоритмов \hat{R} и \hat{C} , где $\hat{R}(\hat{x}, \mathcal{Z}, \omega_{\Delta t}) = \gamma_{\Delta t}$, $\gamma_{\Delta t}$ — матрица действительных чисел, $\hat{C}(\gamma_{\Delta t}) = \beta_{\Delta t}$, $\beta_{\Delta t}$ — матрица значений $\beta_{ij} \in \{0, 1, \Delta\}$.

Корректное решающее правило

Корректное решающее правило \hat{C}^* для матрицы $\gamma_{\Delta t}$ определяется через набор корректных правил для векторов (C_1^*, \dots, C_h^*) таких, что

$$\begin{aligned} \|C_1^*(\bar{x}^*(\tau_s)) - \bar{\alpha}\| &\geq \|C_2^*(\bar{x}^*(\tau_s + 1)) - \bar{\alpha}\| \geq \dots \geq \\ &\geq \|C_h^*(\bar{x}^*(\tau_s + h - 1)) - \bar{\alpha}\|, \end{aligned}$$

причём последняя норма равна нулю. В простейшем случае $\forall i$
 $C_i^*(\bar{x}^*(\tau_s + i)) = \bar{\alpha}$.

Аналогично статическому случаю вводятся определения линейного $L\{\hat{R}\}$ и алгебраического $\mathcal{U}\{\hat{R}\}$ замыкания над множеством $\{\hat{R}\}$.

Основная теорема корректности в динамическом случае

Зафиксируем начальный вектор ожиданий \hat{x} и последовательность входных векторов $\omega_{\Delta t}$.

Если, как и в статическом случае, будем рассматривать только такие задачи $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$, для которых в матрице $\omega_{\Delta t}$ в каждом столбце с номером $s \exists k$ такое, что x_{sk} является k -ым элементом вектора $\bar{x}(\tau_s + s)$ и $x_{sk} > 1/2$, то можно сформулировать следующую теорему.

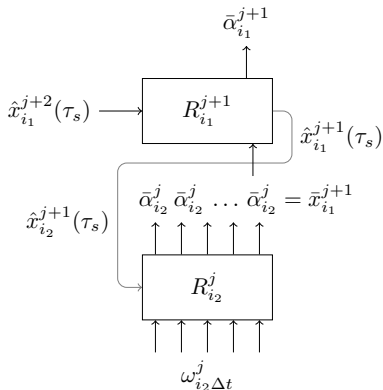
В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 2

Линейное замыкание $L\{\hat{\mathcal{A}}\}$ семейства алгоритмов $\{\hat{\mathcal{A}}\} = \{\hat{R} \cdot \hat{C}^\}$ с произвольным корректным решающим правилом \hat{C}^* и операторами распознавания \hat{R} , определёнными алгоритмом \mathcal{A}_{th} , является корректным на $\{\hat{Q}\}$.*

Иерархический оператор распознавания

Рассмотрим пример из двухуровневой иерархии, на каждом уровне которой находится по одному оператору: статический $R_{i_1}^{j+1}(\hat{x}_{i_1}^{j+2}, \bar{x}_{i_1}^{j+1}(\tau_s), \bar{\alpha}_{i_1}^{j+1})$ на верхнем уровне и динамический $\hat{R}_{i_2}^j(\hat{x}_{i_2}^{j+1}, \omega_{i_2\Delta t}^j, \bar{\alpha}_{i_2}^j)$ — на нижнем.



Эту иерархию можно рассматривать как *иерархический оператор распознавания* $\hat{R}_{e,j}^2(\hat{x}_{i_1}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}_{i_1}^{j+1}, \mathcal{Z}_{i_2}^j, \omega_{i_2\Delta t}^j) = \bar{x}_{i_1}^{*j+1}$.

Задача классификации в случае двухуровневой иерархии

Задача $\hat{Q}_{e,j}^2(\hat{x}_{i_1}^{j+2}, \omega_{i_2\Delta t}^j, \bar{\alpha}_{i_1}^{j+1})$ состоит в построении алгоритма $\hat{\mathcal{A}}_e$, вычисляющего по поступившему начальному вектору ожиданий $\hat{x}_{i_1}^{j+2}$ и матрице входных воздействий $\omega_{i_2\Delta t}^j$ значения информационного вектора $\bar{\alpha}_{i_1}^{j+1}$.

Основная теорема корректности в иерархическом случае

Зафиксируем начальный вектор ожиданий $\hat{x}_{i_1}^{j+2}$ и последовательность входных векторов $\omega_{i_2 \Delta t}^j$. Если рассматривать только такие задачи $\hat{Q}_{e,j}^2(\hat{x}_{i_1}^{j+2}, \omega_{i_2 \Delta t}^j, \bar{\alpha}_{i_1}^{j+1})$, для которых в матрице $\omega_{i_2 \Delta t}^j$ в каждом столбце с номером $s \exists k$ такое, что x_{sk} является k -ым элементом вектора $\bar{x}_{i_2}^j(\tau_s + s)$ и $x_{sk} > 1/2$, то можно сформулировать следующую теорему.

В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 3

Линейное замыкание $L\{\hat{\mathcal{A}}_e\}$ семейства алгоритмов $\{\hat{\mathcal{A}}_e\} = \{\hat{R}_{e,j}^2 \cdot \hat{C}_e^*\}$ с произвольным корректным решающим правилом \hat{C}_e^* и операторами распознавания $\hat{R}_{e,j}^2$, определёнными алгоритмом \mathfrak{A}_{th} , является корректным на множестве задач $\{\hat{Q}_{e,j}^2\}$.

Формирование пары «образ — значение»

Рассмотрим формирование пары «образ — значение предмета» элемента картины мира субъекта под управлением эталонного значения, полученного из внешней среды.

Отношения иерархичности признаков

Введём семейство бинарных отношений $\{\sqsubset, \sqsubset^1, \sqsubset^2, \dots\}$, определённых на декартовом произведении $\mathcal{F} \times \mathcal{F}$.

Признак f_1 является дочерним по отношению к признаку f_2 : $(f_1, f_2) \in \sqsubset$ или $f_1 \sqsubset f_2$, в том случае, если $f_1 \dashv R_1^j, f_2 \dashv R_2^{j+1}$, R_2^{j+1} — родительский R -автомат по отношению к R_1^j и в множестве матриц предсказания \mathcal{Z}_2 признака f_2 существует как минимум одна матрица Z_r^2 , содержащая некоторый столбец \bar{z}_u^r с элементом $z_{uv}^r \neq 0$, где v — индекс признака f_1 во входном векторе для R -автомата R_2^{j+1} .

Отношения иерархичности признаков

Пара признаков $(f_1, f_2) \in \sqsubset^t$ или $f_1 \sqsubset^t f_2$, где $t \in \{1, 2, \dots\}$, если $f_1 \dashv R_1^j, f_2 \dashv R_2^{j+1}$, R_2^{j+1} — родительский R -автомат по отношению к R_1^j и в множестве матриц предсказания \mathcal{Z}_2 признака f_2 существует хотя бы одна матрица Z_r^2 , содержащая t -ый столбец \bar{z}_t^r с элементом $z_{tv}^r \neq 0$, где v — индекс признака f_1 во входном векторе для R -автомата R_2^{j+1} .

Каждый элемент вектора—столбца соответствует определённому признаку из входного множества признаков R -автомата, что означает задание типа для каждого элемента вектора-столбца. Будем обозначать тип k -го элемента вектора-столбца R -автомата R_i^j как $f_i^j(k) \in F_i^j$, $k \in (1, q_i^j)$.

Признаки «условие» и «эффект»

Значение будем рассматривать как множество правил, каждое из которых соответствует некоторому действию. Правило для простоты будем представлять в виде пары «условия — эффект действия» так, как это принято в искусственном интеллекте.

Введём два выделенных признака: f_c является меткой условия, а f_e — меткой эффекта. Пусть некоторый R -автомат, например R_0^1 , распознает оба этих признака.

Определение 6

Признаки, которые распознаются R -автоматами, выступающими родительскими по отношению к R -автомату R_0^1 , будем называть процедурными признаками, остальные — объектными признаками.

Столбцы условий и эффектов

Определение 7

Столбцы матрицы предсказания Z , в которых соответствующий признаку f_e элемент вектора не нулевой, будем называть столбцами эффектов, а те столбцы матрицы предсказания Z , в которых не равен нулю элемент вектора, соответствующий признаку f_c – столбцами условий.

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 .

Образ знака

Определение 8

Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1 , то подмножество $\tilde{p}(f_1)$ множества \mathcal{F} таких признаков, что $\forall f_i \in \tilde{p}(f_1) f_i \sqsubset f_1$, будем называть образом знака s_1 (признака f_1).

На множестве всех образов \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. $f_1 \dashv R_1^j, f_2 \dashv R_2^i$, 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_1^j со множеством входных признаков F_1^j мощности q и характерным временем h , то

$$\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2)) = \min_{\substack{Z_r^1 \in Z_1 \\ Z_s^2 \in Z_2}} \frac{1}{q \cdot h} \sum_{u=1}^h \|\bar{z}_u^r - \bar{z}_u^s\|. \quad (4)$$

Значение знака

Определение 9

Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1 , f_2 — процедурный признак и $f_1 \sqsubset^c f_2$, то будем называть f_2 значением знака s_1 (признака f_1). Множество всех значений признака f_1 будем обозначать $\tilde{m}(f_1)$.

На множестве всех значений \tilde{M} введём метрику $\rho_m(\tilde{m}(f_1), \tilde{m}(f_2))$ следующим образом:

$$\rho_m(\tilde{m}_1(f_1), \tilde{m}_2(f_2)) = \min_{\substack{f_i \in \tilde{m}(f_1) \\ f_j \in \tilde{m}(f_2)}} \rho_p(\tilde{p}(f_i), \tilde{p}(f_j)). \quad (5)$$

Процедурный признак как правило

Любой элементарный процедурный признак f_p , распознаваемый R -автоматом R_i^j , можно представить в виде правила $r_p = \langle F_C(f_p), F_A(f_p), F_D(f_p) \rangle$, 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:
 $\forall f \in F_A(f_p) \ f \sqsubset^e f_p, f \notin F_C$;
- $F_D(f_p) \subseteq F_i^j$ — множество удаляемых правилом признаков:
 $\forall f \in F_D(f_p) \ f \notin F_A, f \in F_C$.

Свойство выполнимости

Определение 10

Процедурный признак f_p^1 с матрицей предсказания $Z = (\bar{z}_1^c, \bar{z}_2^e)$ выполняется на векторе z длины q , если $z \cdot \bar{z}_1^c = \bar{z}_1^c$.

Будем говорить, что процедурный признак f_p^1 выполним в условиях процедурного признака f_p^2 , если

- оба признака распознаются одним и тем же R -автоматом R_i^j и признак f_p^1 выполняется на столбце условий матрицы предсказания признака f_p^2 ,
- $f_p^1 \dashv R_1^{j_1}, f_p^2 \dashv R_2^{j_2}$, множества $F_C(f_p^1)$ и $F_C(f_p^2)$ состоят из одних и тех же признаков, образуемый вектор \tilde{z} (той же мощности, что и множество $F_1^{j_1}$) элементы которого, соответствующие признакам из $F_C(f_p^2)$ принимаются равными 1, остальные — 0, и признак f_p^1 выполним на векторе \tilde{z} .

Свойство конфликтности

Определение 11

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

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

Опыт наблюдения

У субъекта имеется опыт наблюдения, который выражается в виде отношения $\Psi_p^m: \tilde{p}\Psi_p^m\tilde{m}$, или $\Psi_p^m(\tilde{p}) = \tilde{m}$, в том случае, если $\tilde{p} \in \tilde{P}$ является образом некоторого знака s , а $\tilde{m} \in \tilde{M}$ – значением того же знака s .

Построен итерационный алгоритм \mathfrak{A}_{pm} доопределения функции Ψ_p^m , который обеспечивает формирование такого образа из множества признаков \hat{F} , при котором формируемое значение сходится к значению $\tilde{m}^0 = \{f_p\}$, полученному из внешней среды. Полученные образ и значение служат основой для образования нового знака.

Теорема корректности алгоритма \mathcal{A}_{pt}

Имеет место следующее утверждение.

Теорема 4

Алгоритм \mathcal{A}_{pt} корректен, т. е. последовательность значений $\langle \tilde{m}^{(0)}, \tilde{m}^{*(1)}, \dots \rangle$, которая строится с помощью алгоритма \mathcal{A}_{pt} для значения \tilde{m}^0 , полученного из внешней среды, сходится к \tilde{m}^0 .*

Результаты

- 1 Построена модель компонент знака — элемента картины мира субъекта деятельности.
- 2 Построены четыре типа операторов распознавания (два статических случая, динамический и иерархический случаи) в терминах алгебраической теории для образной компоненты знака.
- 3 Доказаны теоремы корректности линейных замыканий множеств построенных в работе операторов распознавания.
- 4 Построен алгоритм итерационного процесса формирования и связывания двух компонент знака.
- 5 Исследована сходимость итерационного процесса формирования и связывания двух компонент знака.

Спасибо за внимание!

ИСА РАН, лаб. «Динамические интеллектуальные системы»,
pan@isa.ru