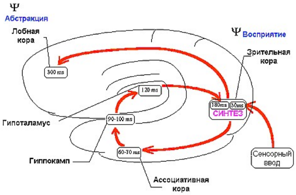
Исследование образной и процедурной компонент элементов картины мира субъекта деятельности

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. Маунткасл,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.

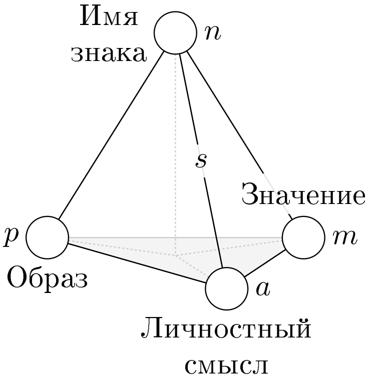
Картина мира и психология

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 HTM);
- 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

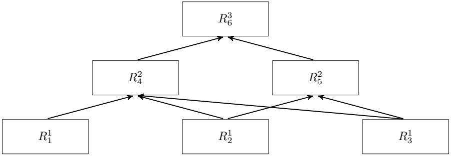
Пусть заданы следующие множества:

- $\mathcal{R}$ — 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 $G_R = (V, E)$:

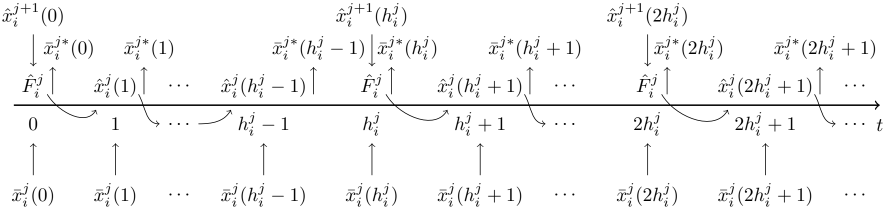
- $V = \mathcal{R}$ — множество вершин,
- $E \subset \mathcal{R} \times \mathcal{R}$ — множество рёбер,
- каждая вершина, принадлежащая j-ому ярусу графа G_R, является R-автоматом R_i^j уровня j,
- каждое ребро $e = (R_{i_1}^{j_1}, R_{i_2}^{j_2}) \in E$ обозначает иерархическую связь между дочерним R-автоматом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

Входные признаки и функции распознавания

Введём следующие определения.

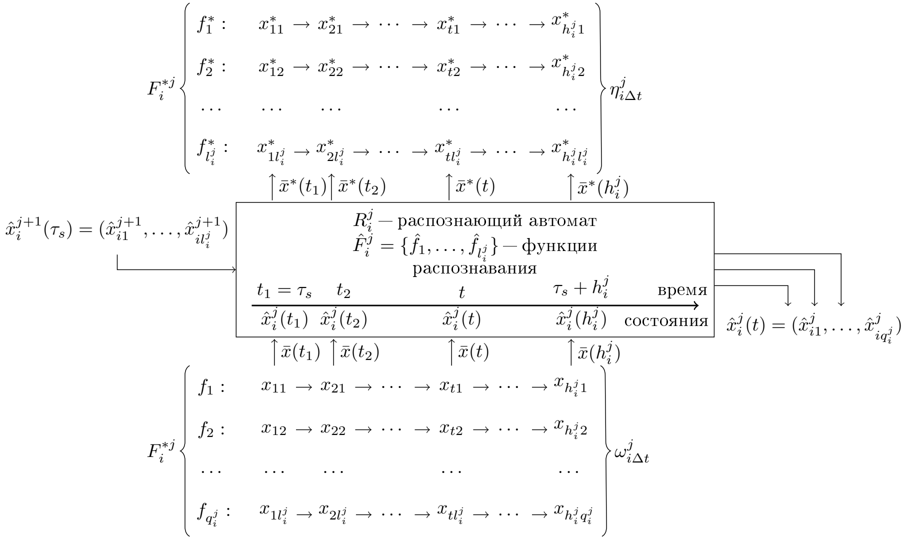
- Признак $f \dashv R_k^{j-1}$ называется входным для R-автомата R_i^j, если R_k^{j-1} является дочерним автоматом по отношению к R_i^j. Всё множество входных признаков для R_i^j будем обозначать F_i^j.
- Для каждого признака $f^* \in F_i^{*j}$ введём *функцию распознавания* $\hat{f}(x_1, \ldots, x_q) = x^*$, где $x^* \in (0, 1)$ — вес распознаваемого признака f^*, а $x_1, \ldots, x_q \in (0, 1)$ — 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 $0, h_i^j, 2h_i^j, \ldots,$
- 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 $Z_k = \{Z_1^k, \ldots, Z_m^k\}$ размерности $q_i^j \times h_i^j$. Тогда

- столбец $\bar{z}_u^r = (z_{u1}^k, \ldots, z_{uq}^k)$ 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 Миля с переменной структурой и конечной памятью и определяется следующим набором $R_i^j =< X_i^j \times \hat{X}_i^{j+1}, 2^{\mathcal{Z}_i^j}, X_i^{*j} \times \hat{X}_i^j, \varphi_i^j, \vec{\eta}_i^j, >$, 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),
- $\varphi_i^j : X_i^j \times \hat{X}_i^{j+1} \to 2^{\mathcal{Z}_i^j}$ — функция переходов,
- $\vec{\eta}_i^j : 2^{\mathcal{Z}_i^j} \to X_i^{*j} \times \hat{X}_i^j$ — 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 $\mathfrak{A}_{th}$ — 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 $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \ldots, \alpha_l), \alpha_i \in \{0, 1\}$ присутствия признаков $f_1^*, \ldots, f_l^*$.

$$
\begin{array}{ccc}
 & \bar{\alpha} & \\
 & \uparrow & \\
\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s) \longrightarrow & \boxed{\quad R_i^j \quad} & \\
 & \uparrow & \\
 & \bar{x}_i^j(\tau_s) &
\end{array}
$$

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:

$$r'{\cdot}R' = (r'{\cdot}x_1^{*\prime}, \ldots, r'{\cdot}x_l^{*\prime}), \tag{1}$$

$$R' + R'' = (x_1^{*\prime} + x_1^{*\prime\prime}, \ldots, x_1^{*\prime} + x_l^{*\prime\prime}), \tag{2}$$

$$R'{\cdot}R'' = (x_1^{*\prime}{\cdot}x_1^{*\prime\prime}, \ldots, x_1^{*\prime}{\cdot}x_l^{*\prime\prime}). \tag{3}$$

Замыкание множества алгоритмов

Утверждение 2

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

Утверждение 3

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

Определение 3

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

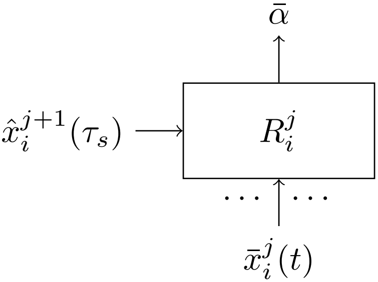
Линейное замыкание $L\{\mathcal{A}\}$ семейства алгоритмов $\{\mathcal{A}\} = \{R{\cdot}C^*\}$ с произвольным корректным решающим правилом C^* и операторами распознавания R, определёнными алгоритмом $\mathfrak{A}_{th}$, является корректным на $\{Q\}$.

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.

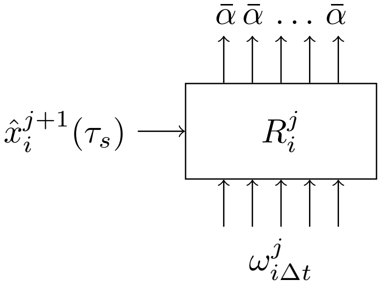


Динамические операторы распознавания

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 ω_i^j и
- выдающий функцию выходной величины γ_i^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 $\hat{\mathcal{A}}$, 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: $\lim_{t \to \tau_s + h} \bar{x}^*(t) = \bar{\alpha}$.

Свойство корректности алгоритма в динамическом случае

Определение 5

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

$$\|\bar{\beta}_1 - \bar{\alpha}\| \geqslant \|\bar{\beta}_2 - \bar{\alpha}\| \geqslant \cdots \geqslant \|\bar{\beta}_h - \bar{\alpha}\|,$$

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* $\hat{\mathcal{A}}$, *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 $(C_1^*, \ldots, C_h^*)$ таких, что

$$\|C_1^*(\bar{x}^*(\tau_s)) - \bar{\alpha}\| \geqslant \|C_2^*(\bar{x}^*(\tau_s + 1)) - \bar{\alpha}\| \geqslant \cdots \geqslant$$

$$\geqslant \|C_h^*(\bar{x}^*(\tau_s + h - 1)) - \bar{\alpha}\|,$$

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 $\mathfrak{U}\{\hat{R}\}$ 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.

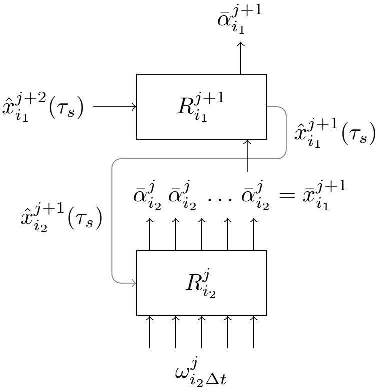
В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 2

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

Иерархический оператор распознавания

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



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

Задача классификации в случае двухуровневой иерархии

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

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

Те 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 разнымиR-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

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

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:

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

Процедурный признак как правило

Любой элементарный процедурный признак f_p, распознаваемый R-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: $\forall f \in F_A(f_p)\ f \sqsubset^e f_p, f \notin F_C$;
- $F_D(f_p) \subseteq F_i^j$ — 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:

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

Опыт наблюдения

У субъекта имеется опыт наблюдения, который выражается в виде отношения Ψ_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 основной для образования нового знака.

Теорема корректности алгоритма $\mathfrak{A}_{pm}$

Имеет место следующее утверждение.

Теорема 4

Алгоритм $\mathfrak{A}_{pm}$ *корректен, т. е. последовательность значений* $\langle \tilde{m}^{*(0)}, \tilde{m}^{*(1)}, \dots \rangle$, *которая строится с помощью алгоритма* $\mathfrak{A}_{pm}$ *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