Исследование образной и процедурной компонент картины мира субъекта деятельности

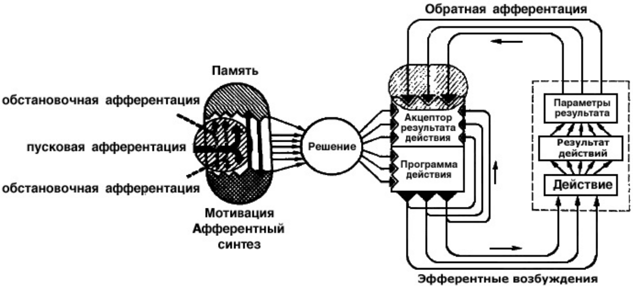
Александр Панов

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

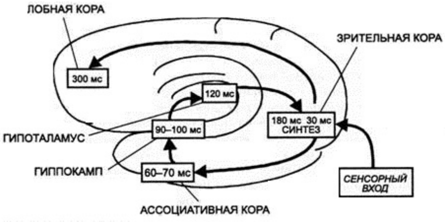
26 февраля 2015 г.

Проблема соотношени мозга и психики

Изучение физиологических основ психической деятельности и поведения человека привело к нахождению нейрофизиологических коррелятов многих низших психических и высших когнитивных функций. Однако единая математическая модель проявления психической функции на основе нейронного субстрата мозга до сих пор не построена.



Картина мира и нейрофизиология



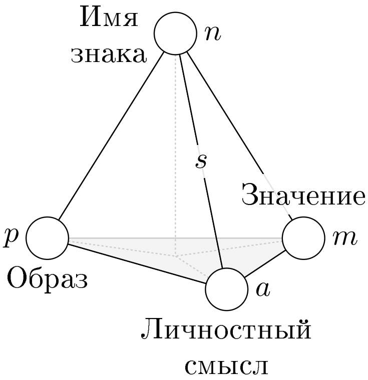
По нейрофизиологическим данным (В. Маунткасл,1981; Дж. Хокинс, 2009; С. Гроссберг, 2014), в том числе в *теории повторного входа* или *информационного синтеза* (Д. Эдельман, 1987; А. М. Иваницкий, 2010) возникновение ощущения, т. е. активизация некоторого элемента картины мира субъекта, происходит при замыкании контура распространения нервного возбуждения от сенсорного входа.

Картина мира и психология

В *культурно—историческом подходе* (А. Р. Лурия, 1970; Л. Н. Выготский, 1982) 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*.

Знак — элемент картины мира



Знак имеет следующие компоненты:

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

Предмет и цель исследования

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

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов формирования 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 процесса связывания этих компонент и рассматриваются некоторые функции знаковой картины мира

Задачи исследования

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

Основные задачи:

- исследовать автоматную функцию иерархии распознающих автоматов с заданным множеством состояний, полученными в результате процесса обучения (например, по алгоритму HTM или HQSOM);
- на основе построенной модели разработать итерационный алгоритм формирования двух основных компонент знака: образа и значения;
- исследовать сходимость построенного алгоритма.

Признаки и распознающие автоматы

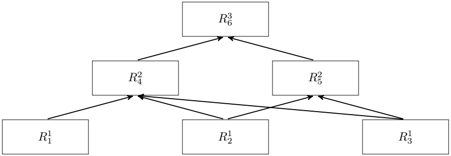
Для уточнения постановки задачи введём следующие объекты:

- $\mathcal{R}$ — 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



Представим иерархию в виде связного ориентированного ярусного 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 $e = (R_i^j, R_k^{j+1}) \in E$ обозначает иерархическую связь между дочерним R-автоматом R_i^j и R-автоматом — родителем R_k^{j+1}.

Входные признаки и функции распознавания

Введём следующие определения.

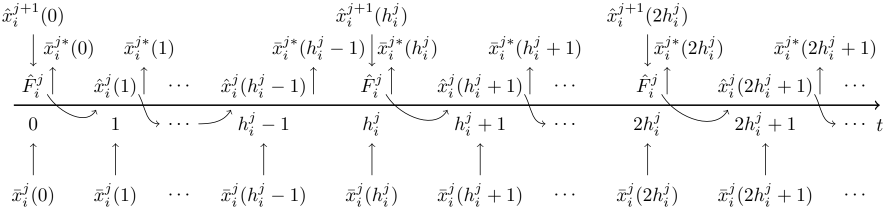
- Признак $f \dashv R_k^{j-1}$ называется входным для R-автомата R_i^j, если R_k^{j-1} является дочерним автоматом по отношению к R_i^j. Всё множество входных признаков для R_i^j будем обозначать F_i^j.
- Для каждого признака $f^* \in F_i^{*j}$ введём *функцию распознавания* $\hat{f}(x_1, \ldots, x_q) = x^*$, 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 $\hat{F}_i^j$.

Задача исследования образной компоненты

Таким образом задача состоит в следующем:

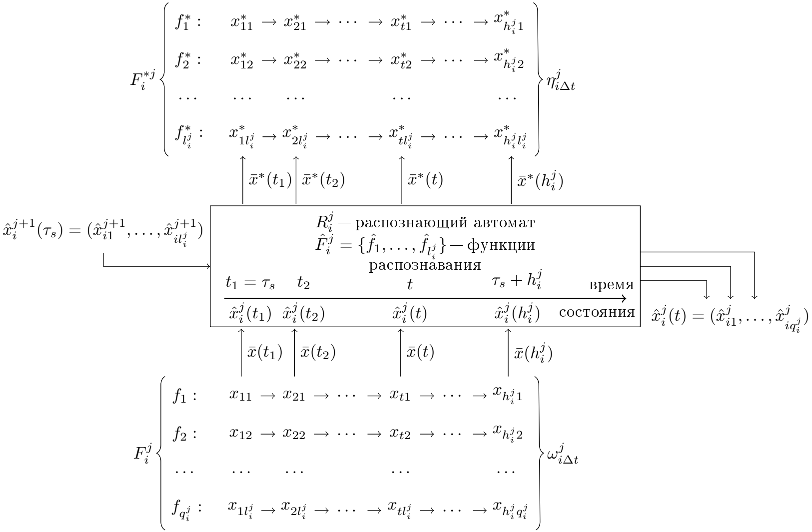
- построить алгоритм вычисления автоматной функции распознающего автомата,
- построить четыре типа операторов распознавания (два статических для начального и промежуточного моментов времени, динамический и иерархический),
- на основе этих операторов исследовать автоматную функцию,
- доказать теоремы о корректности линейных замыканий построенных операторов.

Динамика распознающего автомата



- вектор $\bar{x}_i^j(t)$ длины q_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 l_i^j — 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 $\hat{F}$ в соответствие набор булевых матриц предсказания $Z_k = \{Z_1^k, \dots, Z_m^k\}$ размерности $q \times h$. 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,
- $\mathcal{Z}$ — множество всех матриц предсказания R-автомата R.

Входные и выходные функции

Таким образом, R-автомат R является бесконечным автоматом Мили с переменной структурой и конечной памятью и определяется следующим набором $R =< X \times \hat{X}^{j+1}, 2^{\mathcal{Z}}, X^* \times \hat{X}^j, \varphi, \vec{\eta} >$, где

- X — множество входных сигналов,
- X^* — множество выходных сигналов,
- $\hat{X}^{j+1}$ — множество управляющих сигналов с верхнего уровня иерархии,
- $\hat{X}^j$ — множество управляющих сигналов на нижний уровень иерархии,
- $2^{\mathcal{Z}}$ — множество состояний (множество подмножеств множества матриц предсказания),
- $\varphi : X \times \hat{X}^{j+1} \to 2^{\mathcal{Z}}$ — функция переходов,
- $\vec{\eta} : 2^{\mathcal{Z}} \to X^* \times \hat{X}^j$ — 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 и выходной функции $\vec{\eta}$ по начальному моменту времени τ_s, управляющему воздействию $\hat{x}^{j+1}(\tau_s)$ и входному воздействию ω.

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.

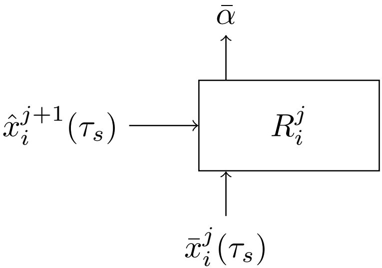
В этом случае, R-автомат R можно рассматривать как статический оператор распознавания $R(\hat{x}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}, \bar{x}(\tau_s)) = R(\hat{x}^{j+1}, \mathcal{Z}, \bar{x}) = \bar{x}^*$.

Задача классификации в статическом случае

Пусть

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

Задача $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha}) \in \mathcal{Q}$ 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 A называется корректным для задачи Q, если выполнено равенство

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

Алгоритм 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 Ю. И. Журавлёва о введении пространства оценок)

Каждый алгоритм $A \in \mathcal{A}$ *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 $\bar{\alpha}$ — произвольный информационный вектор входного вектора $\bar{x}$.

В множестве операторов $\mathcal{R}$ введём операции умножения на скаляр, сложения и умножения. Пусть r' — скаляр, $R', R'' \in \mathcal{R}$. 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 $L(\mathcal{R})$ *множества* $\mathcal{R}$ *относительно операций* (1) *и* (2) *является векторным пространством.*

Утверждение 3

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

Определение 3

Множества $L(\mathcal{A})$ *и* $\mathfrak{U}(\mathcal{A})$ *алгоритмов* $A = R \cdot C^*$ *таких, что* $R \in L(\mathcal{R})$ *и* $R \in \mathfrak{U}(\mathcal{R})$, *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 $\{R(\hat{x}, \bar{x}) | R \in \mathcal{R}\}$ 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

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

Теорема корректности в статическом случае

Будем рассматривать только такие задачи $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha})$, для которых удовлетворяется следующее условие: $\bar{x}$ не является нулевым вектором.

В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 1

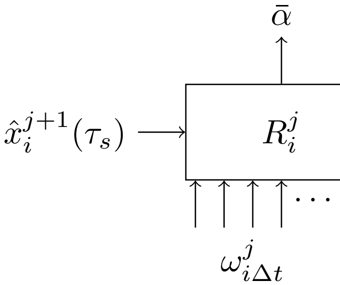
Линейное замыкание $L(\mathcal{A})$ семейства алгоритмов $\mathcal{A} = \{R \cdot C^* | R \in \mathcal{R}\}$ с произвольным корректным решающим правилом C^* и операторами распознавания $\mathcal{R}$, определёнными алгоритмом $\mathfrak{A}_{th}$, является корректным на $\mathcal{Q}$.

Операторы распознавания R^t

Пусть $\tau_s < t < \tau_s + h$, тогда операторы распознавания примут вид $R(\hat{x}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}, \omega^j_{i\Delta t})$, $\Delta t = [\tau_s, t)$, 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 $L(\{R^t \cdot C^* | R^t \in \mathcal{R}^t\})$ доказывается аналогично.

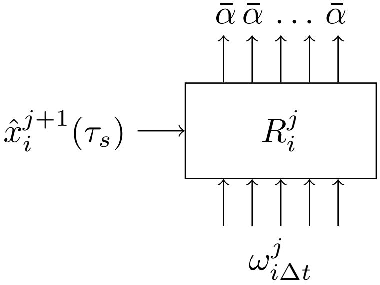


Динамические операторы распознавания

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

В этом случае R-автомат R можно рассматривать как *динамический оператор распознавания* $\hat{R}(\hat{x}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}, \omega_{\Delta t}) = \gamma_{\Delta t}$

- принимающий функцию входного воздействия ω и
- выдающий функцию выходной величины γ.



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 $\omega_{\Delta t}$ информационный вектор $\bar{\alpha}$.

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: $\lim_{t \to \tau_s + h} \bar{x}^*(t) = \bar{\alpha}$.

Представление динамического оператора

Т. к. из всех столбцов выходной матрицы $\gamma_{\Delta t}$ равенство информационному вектору требуется только для последнего столбца, а на остальные накладывается некоторое ограничение, то эквивалентным по действию оператору $\hat{R}$ будет являться статический оператор R^{h-1} со следующим ограничением на выходные вектора в моменты времени $0 \leqslant t < h$:

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

Будем обозначать такие операторы как $\hat{R}'$, а их множество соответственно $\hat{\mathcal{R}}'$.

Разложимость алгоритма в динамическом случае

Утверждение 5

Каждый алгоритм $\hat{A} \in \hat{\mathcal{A}}$ *представим как последовательность выполнения алгоритмов* $\hat{R}'$ *и* $\hat{C}$, *где* $\hat{R}'(\hat{x}, \mathcal{Z}, \omega_{\Delta t}) = \bar{x}^*(\tau_s + h - 1)$, $\bar{x}^*(\tau_s + h - 1)$ *— вектор действительных чисел,* $\hat{C}(\bar{x}^*(\tau_s + h - 1)) = \bar{\beta}$, $\bar{\beta}$ *— вектор значений* $\beta_i \in \{0, 1, \Delta\}$.

Основная теорема корректности в динамическом случае

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

Будем рассматривать только такие задачи $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$, для которых в матрице $\omega_{\Delta t}$ нет нулевых столбцов.

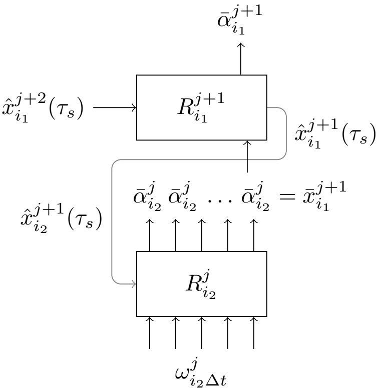
В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 2

Линейное замыкание $L(\hat{\mathcal{A}})$ семейства алгоритмов $\hat{\mathcal{A}} = \{\hat{R}' \cdot C^* | \hat{R} \in \hat{\mathcal{R}}\}$ с произвольным корректным решающим правилом C^* и операторами распознавания $\hat{\mathcal{R}}'$, 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 схему 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 $\hat{A}_e$, 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 $\omega_{i_2\Delta t}^{j}$ нет нулевых столбцов, то можно сформулировать следующую теорему.

В работе доказано следующее утверждение.

Теорема 3

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

Формирование пары «образ — значение»

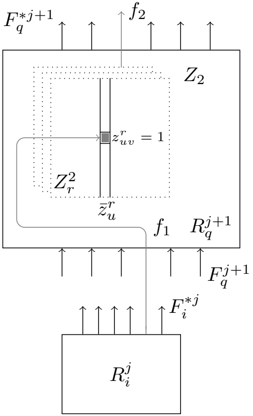
Применим введённые понятия для решения задачи формирования пары «образ — значение» элемента картины мира субъекта.

Уточним постановку задачи.

Отношение поглощения признаков

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

Признак f_1 поглощается признаком f_2:
$f_1 \sqsubset f_2$, в том случае, если
$f_1 \dashv R_i^j, f_2 \dashv R_k^{j+1}$, R_k^{j+1} — родительский R-автомат по отношению к R_i^j и в множестве матриц предсказания 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}.



Процедрные и объектные признаки

Значение знака 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 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.

Процедрные и объектные признаки

Определение 5

Признаки, для матриц предсказания которых процедура Λ выдаёт непустые множества индексов I_c и I_e, будем называть процедурными признаками, остальные — объектными признаками.

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

Пусть S — множество знаков. Будем считать, что между множествами S и $\mathcal{F}$ установлено некоторое взаимно-однозначное соответствие.

Определение 6

Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1, то подмножество $\tilde{p}(f_1) \subset \mathcal{F}$ 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 $\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2))$, $f_1 \dashv R_i^j, f_2 \dashv R_u^s$, вычисляемую по следующему правилу:

$$\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2)) = \begin{cases} \infty, & \text{если } R_i^j \neq R_u^s, \\ \min\limits_{\substack{Z_r^1 \in Z_1 \\ Z_s^2 \in Z_2}} \frac{1}{q \cdot h} \sum\limits_{u=1}^{h} \|\bar{z}_u^r - \bar{z}_u^s\|, & \text{если } R_i^j = R_u^s. \end{cases}$$

Значение знака

Определение 7

Если f_1 — признак, соответствующий знаку s_1, f_2 — процедурный признак и $f_1 \sqsubset^c f_2$, то будем называть f_2 элементом значения знака s_1 (признака f_1). Множество всех элементов значения 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:

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

Процедурный признак как правило

Любой элементарный процедурный признак f_p, распознаваемый R-автоматом R, 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: $\forall f \in F_D(f_p)\ f \notin F_A, f \in F_C$.

Опыт наблюдения

Пусть опыт наблюдения субъекта записывается в виде функции Ψ_p^m. $\Psi_p^m(\tilde{p}) = \tilde{m}$, 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.

В работе 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 знака сходится к заданному значению $\tilde{m}^0 = \{f_p\}$.

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 оператора, динамический и иерархический операторы) в терминах алгебраической теории для образной компоненты знака.
3. Доказаны теоремы корректности линейных замыканий множеств построенных в работе операторов распознавания (статических, динамического и иерархического).
4. Построен итерационный алгоритм формирования и связывания двух компонент знака: образа и значения.
5. Исследована сходимость итерационного алгоритма формирования и связывания двух компонент знака.

Спасибо за внимание!

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