

Исследование образной и процедурной компонент картины мира субъекта деятельности

Александр Панов

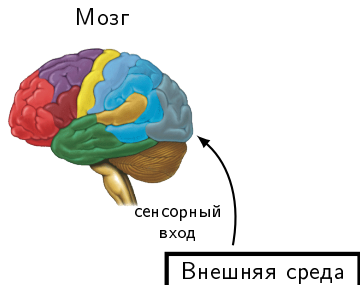
ИСА РАН

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

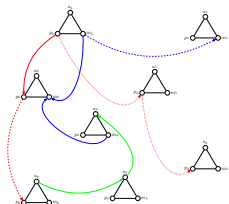
25 марта 2015 г.

Проблема соотношения 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.

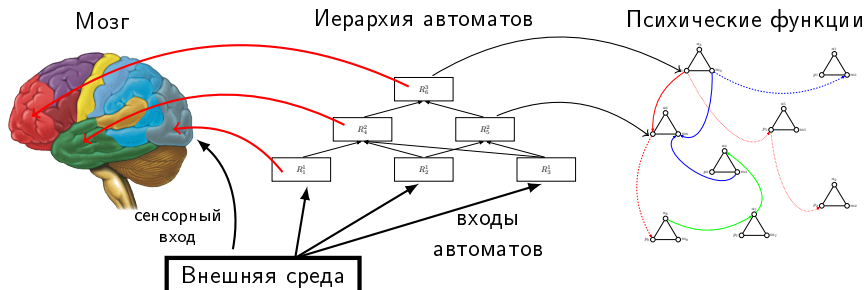


Психические функции

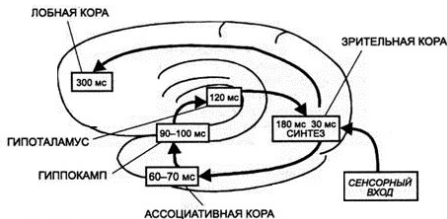


Проблема соотношения мозга и психики

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; Д. Эдельман, 1987; Дж. Хокинс, 2009; А.М. Иваницкий, 2010; С. Гроссберг, 2014)

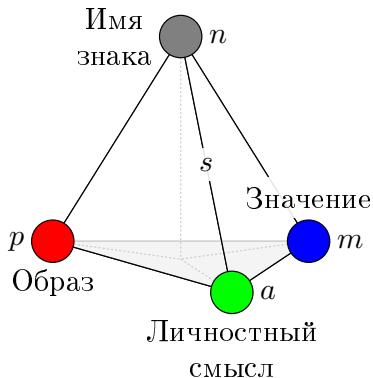
- кора головного мозга состоит из иерархически связанных друг с другом больших групп нейронов (регионы неокортекса),
- возникновение ощущения, т. е. активизация некоторого элемента картины мира субъекта, происходит при замыкании контура распространения нервного возбуждения от сенсорного входа через гиппокамп и гипоталамус.

Картина мира и психология

В *культурно—историческом подходе* (А.Р. Лурия, 1970; Л. Н. Выготский, 1982) и *теории деятельности* (А. Н. Леонтьев, 1975)

- вводится понятие знака как элемента картины мира субъекта,
- раскрывается роль знака в формировании высших когнитивных функций,
- показывается, что образующими картины мира, т. е. компонентами знака, являются *образ, значение и личностный смысл*.

Знак — элемент картины мира



Знак s имеет следующие компоненты:

- имя n ,
- образ p ,
- значение t и
- личностный смысл a .

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 целях формального описания компонент знака в работе строится специальный распознающий автомат. Функционирование автомата 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 НТМ или HQSOM);
- на основе построенной модели разработать алгоритм формирования двух основных компонент знака: образа и значения;
- исследовать сходимость построенного алгоритма.

Признаки и распознающие автоматы

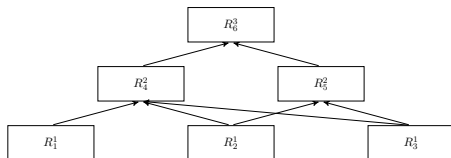
Для уточнения постановки задачи введём следующие объекты:

- \mathcal{R} — совокупность распознающих автоматов или R -автоматов вида $\langle A, Q, B, \varphi, \eta \rangle$ с множествами входов A , выходов B и состояний Q и определёнными в соответствии с нейрофизиологическими данными функциями переходов φ и выходов η ,
- \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 R -автоматов в виде связного ориентированного ярусного графа $G_R = (V, E)$:

- $V = \mathcal{R}$ — 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.

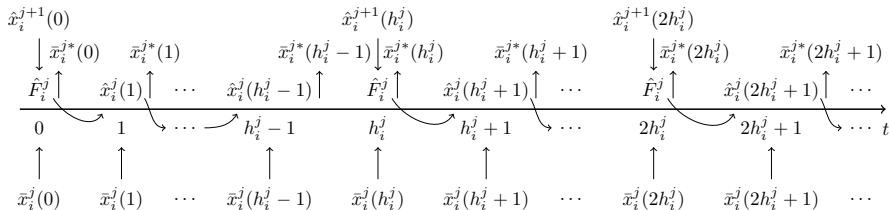
- Признак $f \vdash R_k^{j-1}$ называется входным для R -автомата R_i^j , если R_k^{j-1} является дочерним автоматом по отношению к R_i^j . Всё множество входных признаков для R_i^j будем обозначать F_i^j .
- Для каждого признака $f^* \in F_i^{*j}$ введём функцию распознавания $\hat{f}(x_1, \dots, x_q)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

Задача исследования образной компоненты

Таким образом задача состоит в следующем:

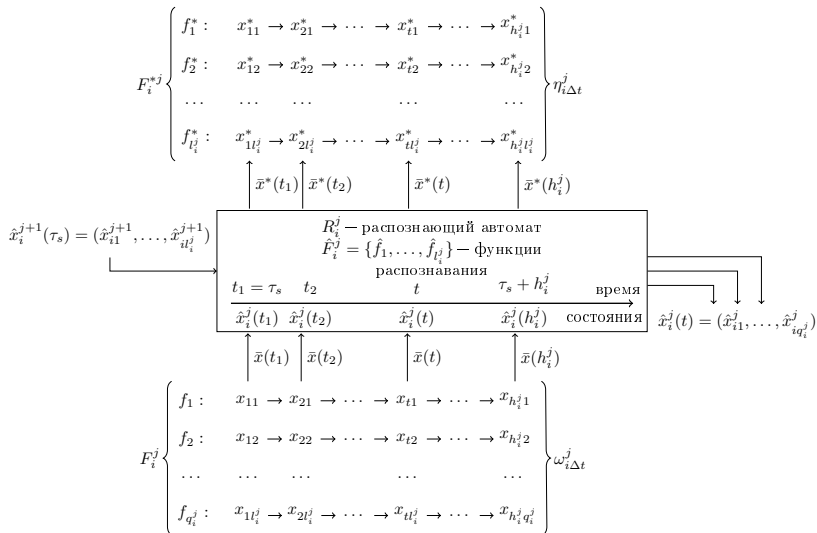
- построить алгоритм вычисления автоматной функции распознающего автомата,
- построить четыре типа операторов распознавания (два статических для начального и промежуточного моментов времени, динамический и иерархический),
- на основе этих операторов исследовать автоматную функцию,
- доказать теоремы 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 $0, h_i^j, 2h_i^j, \dots$,
- 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} 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 .

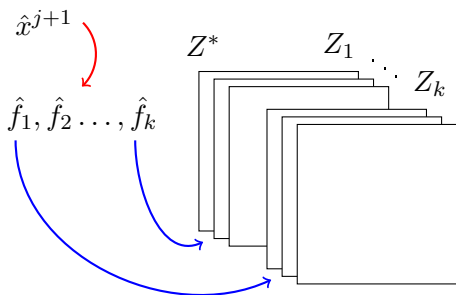
Алгоритм вычисления автоматной функции

$$\hat{f}_1, \hat{f}_2 \dots, \hat{f}_k$$

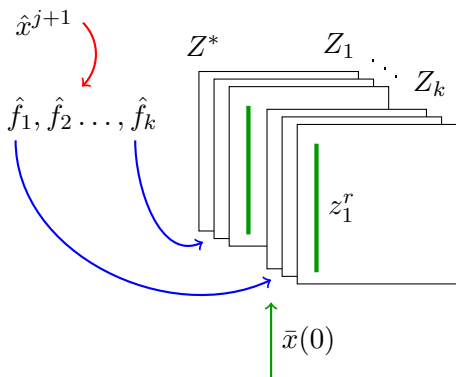
Алгоритм вычисления автоматной функции

$$\hat{x}^{j+1}$$

$$\hat{f}_1, \hat{f}_2, \dots, \hat{f}_k$$

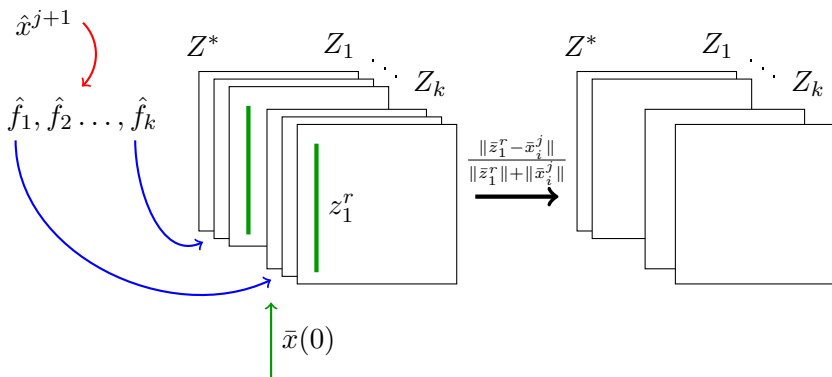
Алгоритм вычисления автоматной функции



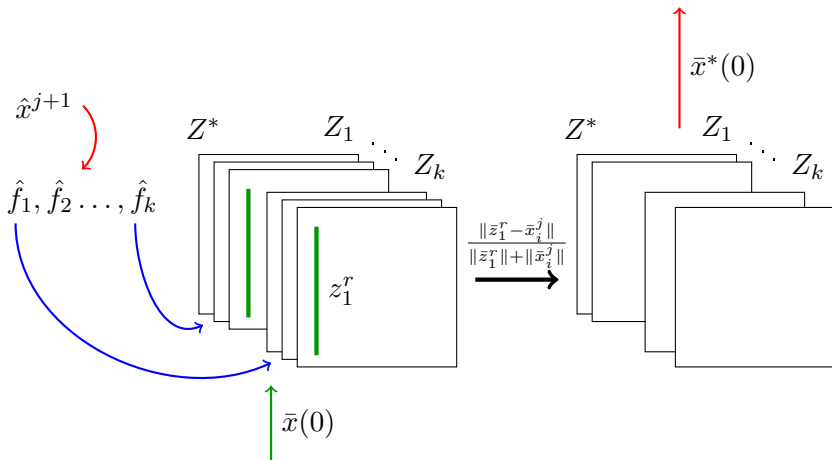
Алгоритм вычисления автоматной функции



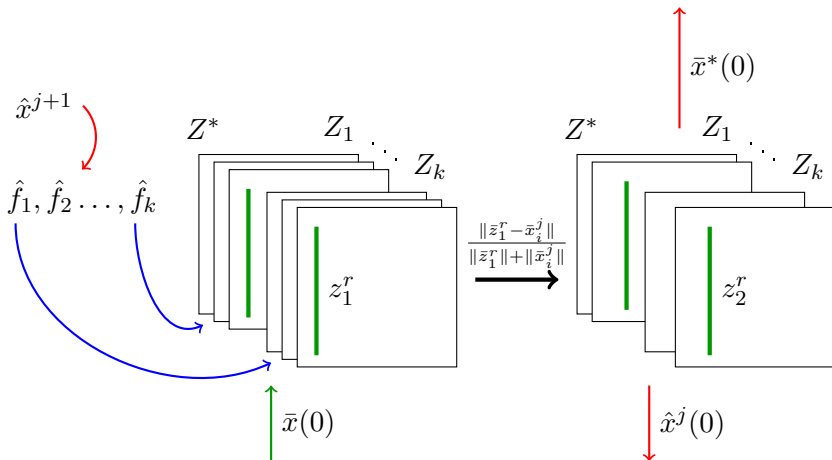
Алгоритм вычисления автоматной функции



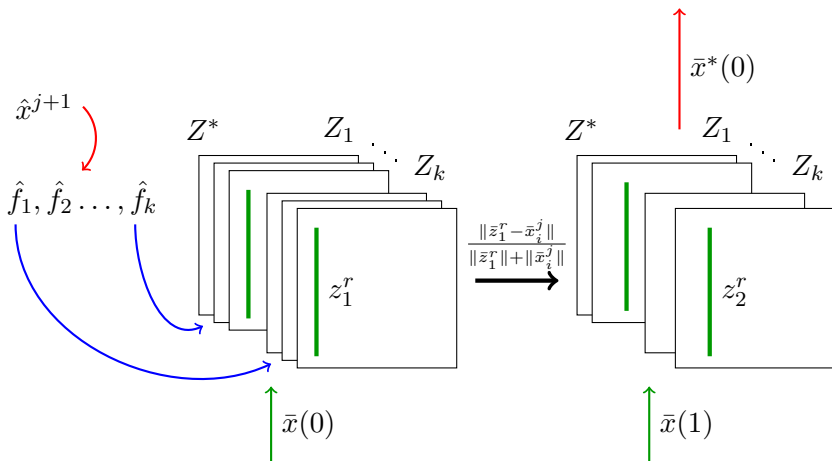
Алгоритм вычисления автоматной функции



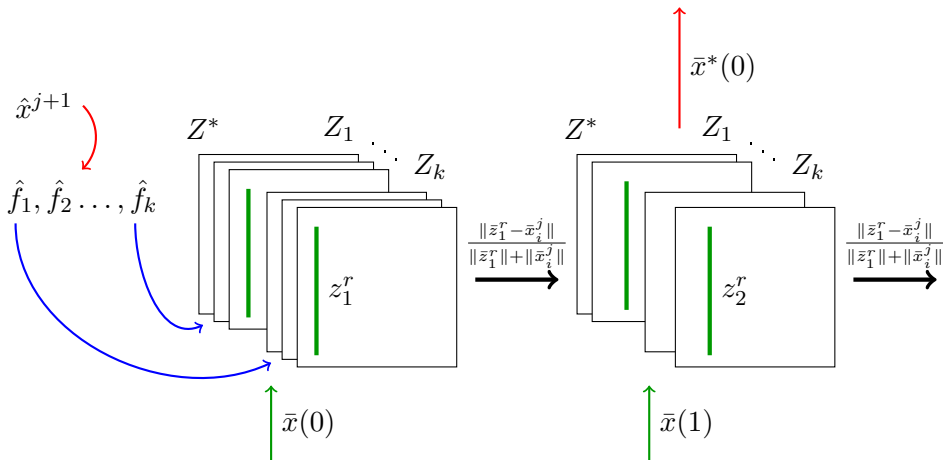
Алгоритм вычисления автоматной функции



Алгоритм вычисления автоматной функции



Алгоритм вычисления автоматной функции



Входные и выходные функции

Таким образом, R -автомат R является бесконечным автоматом Мили с переменной структурой и конечной памятью и определяется следующим набором $R = \langle X \times \hat{X}^{j+1}, 2^Z, X^* \times \hat{X}^j, \varphi, \vec{\eta} \rangle$, 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^Z — множество состояний (множество подмножеств множества матриц предсказания),
- $\varphi : X \times \hat{X}^{j+1} \rightarrow 2^Z$ — функция переходов,
- $\vec{\eta} : 2^Z \rightarrow X^* \times \hat{X}^j$ — 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 \mathcal{A}_{th} — задание начального состояния R -автомата.

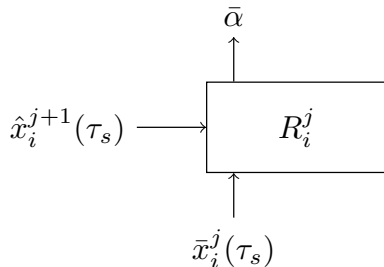
В этом случае, R -автомат R можно рассматривать как статический оператор распознавания $R(\hat{x}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}, \bar{x}(\tau_s)) = R(\hat{x}^{j+1}, \mathcal{Z}, \bar{x}) = \bar{x}^*$.

Задача классификации в статическом случае

Пусть

- \mathcal{Q} — совокупность задач классификации,
- \mathcal{A} — множество алгоритмов, переводящих пары (\hat{x}, \bar{x}) в векторы $\bar{\beta}$, 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:

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

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

Замыкание множества алгоритмов

Утверждение 2

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

Определение 3

Множество $L(\mathcal{A})$ алгоритмов $A = R \cdot C^$ таких, что $R \in L(\mathcal{R})$, называются линейным замыканием множества \mathcal{A} .*

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 3

Если множество задач \mathcal{Q} состоит лишь из задач, полных относительно \mathcal{R} , то линейное замыкание $L(\{R \cdot C^ \mid R \in \mathcal{R}\})$ (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

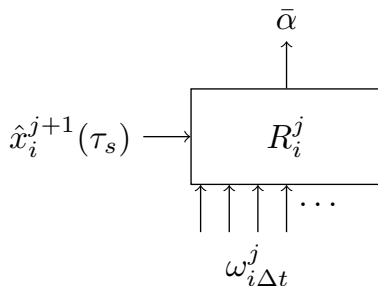
Линейное замыкание $L(\mathcal{A})$ семейства алгоритмов $\mathcal{A} = \{R \cdot C^ | R \in \mathcal{R}\}$ с произвольным корректным решающим правилом C^* и операторами распознавания \mathcal{R} , определёнными алгоритмом \mathfrak{A}_{th} , является корректным на \mathcal{Q} .*

Операторы распознавания R^t

Пусть $\tau_s < t < \tau_s + h$, тогда операторы распознавания примут вид $R(\hat{x}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}, \omega_{i\Delta t}^j)$, $\Delta t = [\tau_s, t)$, 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.



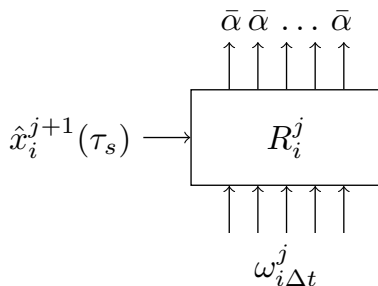
Динамические операторы распознавания

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*

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

- 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) за $\tau_s + h$ шагов к информационному вектору $\bar{\alpha}$.

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 векторы в моменты времени $0 \leq t < h$:

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

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

Разложимость алгоритма в динамическом случае

Утверждение 4

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.

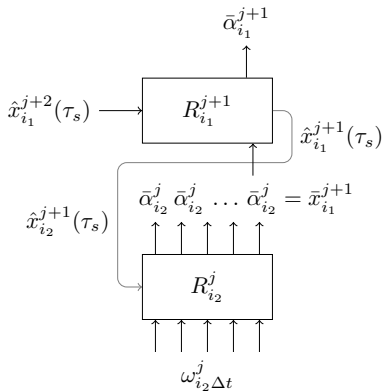
В работе доказано следующее утверждение.

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{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 $\hat{R}_{i_2}^j(\hat{x}_{i_2}^{j+1}, \omega_{i_2}^j \Delta t, \bar{\alpha}_{i_2}^j)$ — на нижнем.



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

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{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 $\omega_{i_2\Delta t}^j$ нет нулевых столбцов, то можно сформулировать следующую теорему:

Теорема 3

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

Формирование пары «образ — значение»

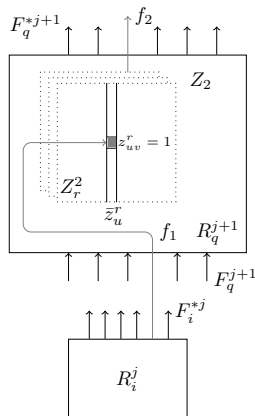
Применим введённые понятия для решения задачи формирования пары «образ — значение» элемента картины мира субъекта.

Уточним постановку задачи.

Отношение поглощения признаков

Введём семейство бинарных отношений $\{\sqsubset, \sqsubset^1, \sqsubset^2, \dots\}$, 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 $f_1 \vdash R_i^j, f_2 \vdash R_k^{j+1}$, 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} .



Процедурные 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 Z_k признака f_k определяет два набора индексов столбцов матриц из Z_k . Первый набор $I_c = \{i_1^c, i_2^c, \dots\}$, $\forall k \ 0 \leq i_k^c < h$, составляют индексы *столбцов условий*, в которых ненулевые элементы определяют условия проявления признака f_k . Вторым набор $I_e = \{i_1^e, i_2^e, \dots\}$, $\forall k \ 0 \leq i_k^e < h$, состоит из индексов *столбцов эффектов*, в которых ненулевые элементы определяют эффекты проявления признака f_k .

Процедурные 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:

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

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:

$$\rho_m(\tilde{m}_1(f_1), \tilde{m}_2(f_2)) = \min_{\substack{f_i \in \tilde{m}(f_1) \\ f_j \in \tilde{m}(f_2)}} \rho_p(\tilde{p}(f_i), \tilde{p}(f_j)). \quad (3)$$

Процедурный признак как правило

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

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 алгоритм \mathfrak{A}_{pt} доопределения функции Ψ_p^m , который обеспечивает формирование такого образа из множества признаков \hat{F} , при котором формируемое значение знака сходится к заданному значению $\tilde{m}^0 = \{f_p^0\}$.

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

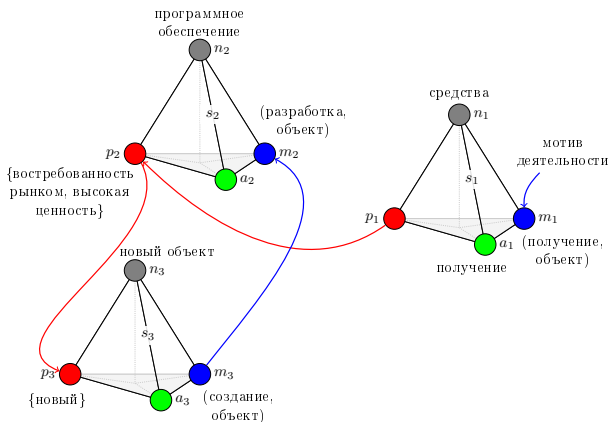
Имеет место следующее утверждение.

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, стремится к \tilde{m}^0 .*

Применение построенной модели

С помощью введённого формализма удаётся построить ряд алгоритмов (например, целеполагания), которые не могут быть разработаны в рамках классического искусственного интеллекта.



Результаты

- 1 Построена модель компонент знака — элемента картины мира субъекта деятельности в рамках современных представлений о функционировании мозга и психики человека.
- 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 алгоритм формирования и связывания двух компонент знака: образа и значения.
- 5 Исследована сходимость алгоритма формирования и связывания двух компонент знака.

Спасибо за внимание!

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