

# Исследование методов, разработка моделей и алгоритмов формирования элементов знаковой картины мира субъекта деятельности

Александр Панов

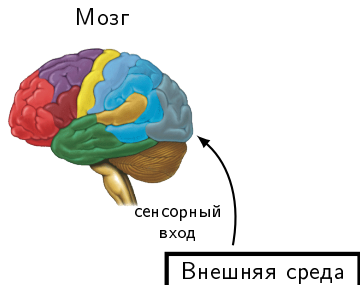
ИСА РАН

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

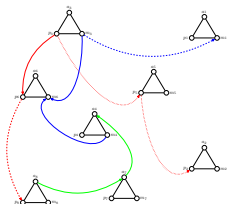
21 мая 2015 г.

# 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.

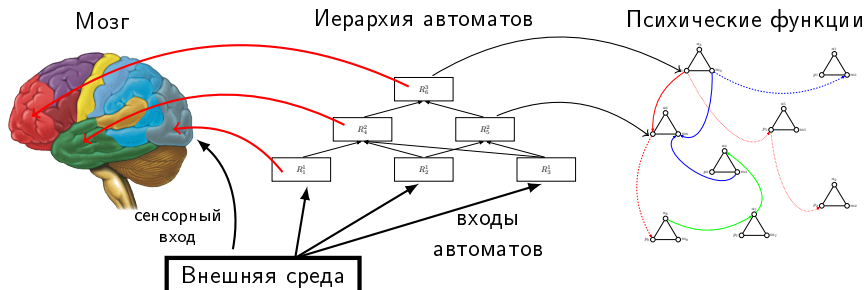


Психические функции

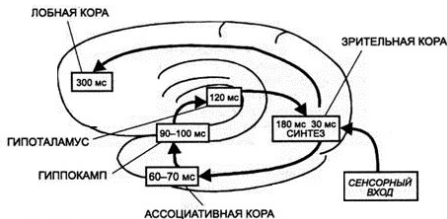


# Проблема соотношения мозга и психики

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)

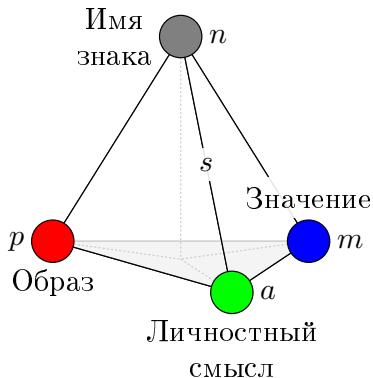
- кора головного мозга состоит из иерархически связанных друг с другом больших групп нейронов (регионы неокортекса),
- возникновение ощущения, т. е. активизация некоторого элемента картины мира субъекта, происходит при замыкании контура распространения нервного возбуждения от сенсорного входа через гиппокамп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

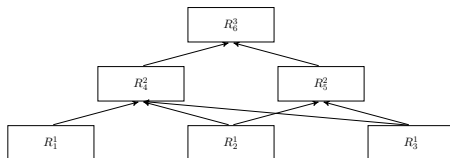
Для уточнения постановки задачи введём следующие объекты:

- $\mathcal{R}$  — 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  $\varphi$  и выходов  $\eta$ ,
- $\mathcal{F}$  — 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.

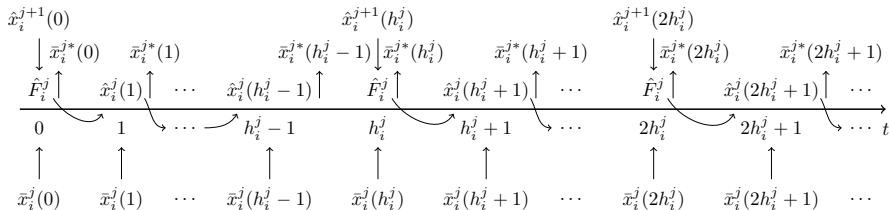
- Признак  $f \vdash R_k^{j-1}$  называется входным для  $R$ -автомата  $R_i^j$ , если  $R_k^{j-1}$  является дочерним автоматом по отношению к  $R_i^j$ . Всё множество входных признаков для  $R_i^j$  будем обозначать  $F_i^j$ .
- Для каждого признака  $f^* \in F_i^{*j}$  введём функцию распознавания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

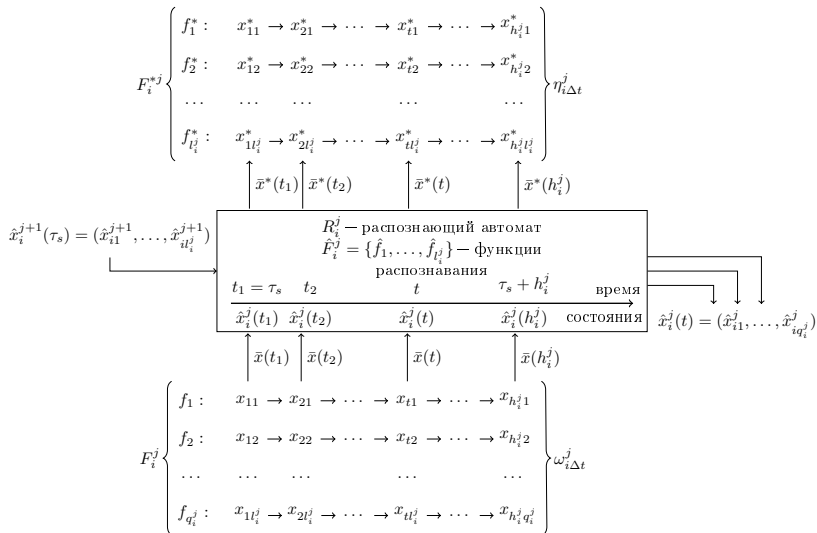
- построить алгоритм вычисления автоматной функции распознающего автомата,
- построить четыре типа операторов распознавания (два статических для начального и промежуточного моментов времени, динамический и иерархический),
- на основе этих операторов исследовать автоматную функцию,
- доказать теоремы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

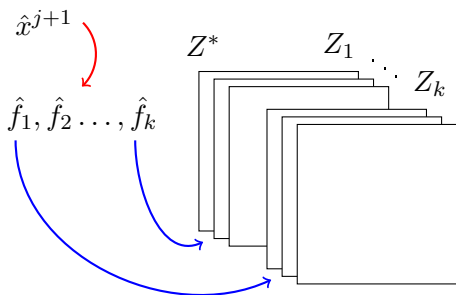
$$\hat{f}_1, \hat{f}_2 \dots, \hat{f}_k$$



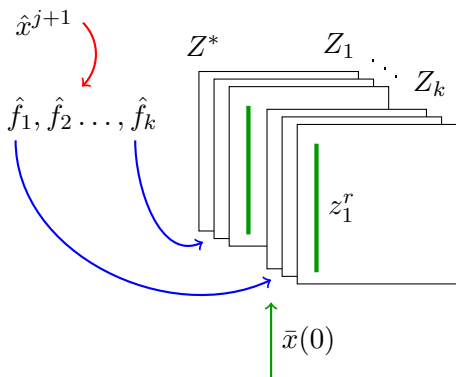
# Алгоритм вычисления автоматной функции

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

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

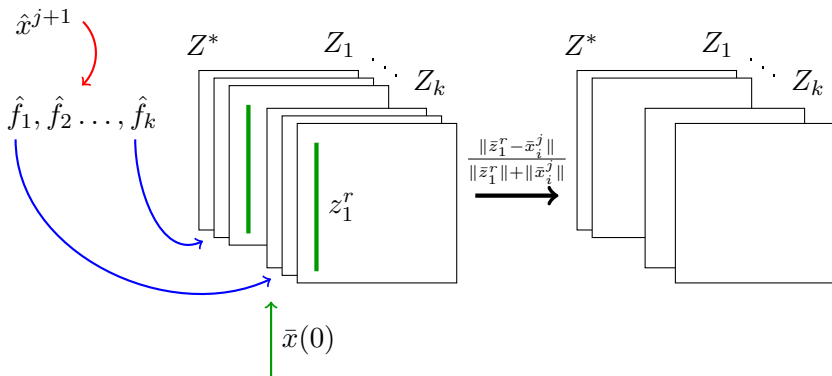
# Алгоритм вычисления автоматной функции



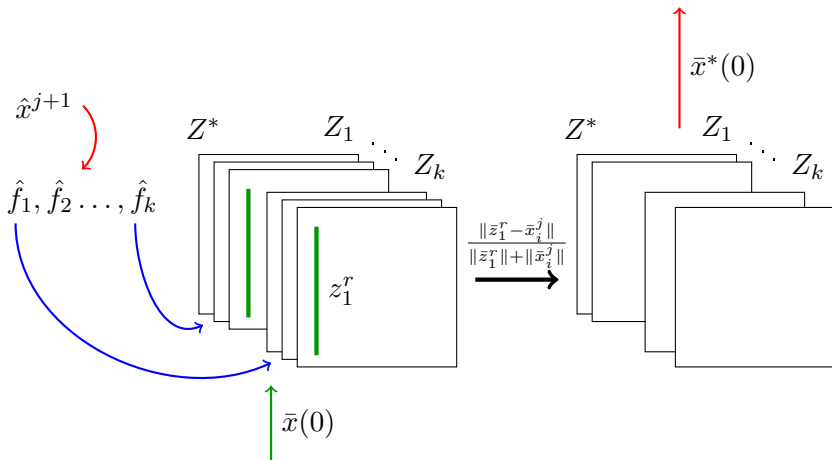
# Алгоритм вычисления автоматной функции



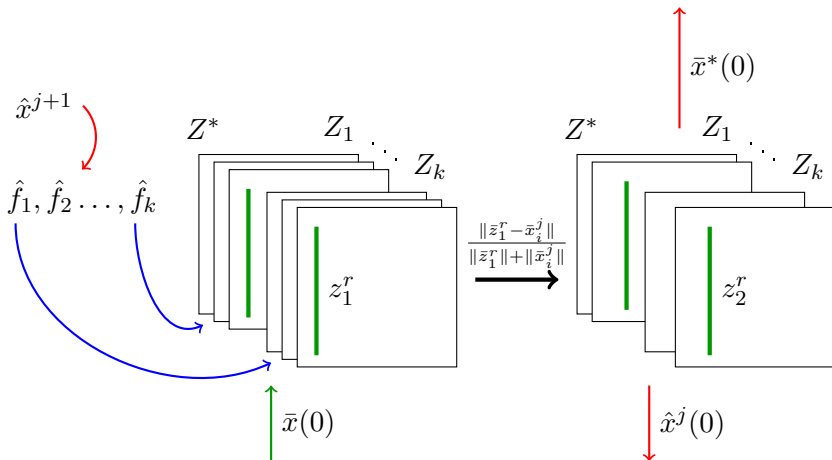
# Алгоритм вычисления автоматной функции



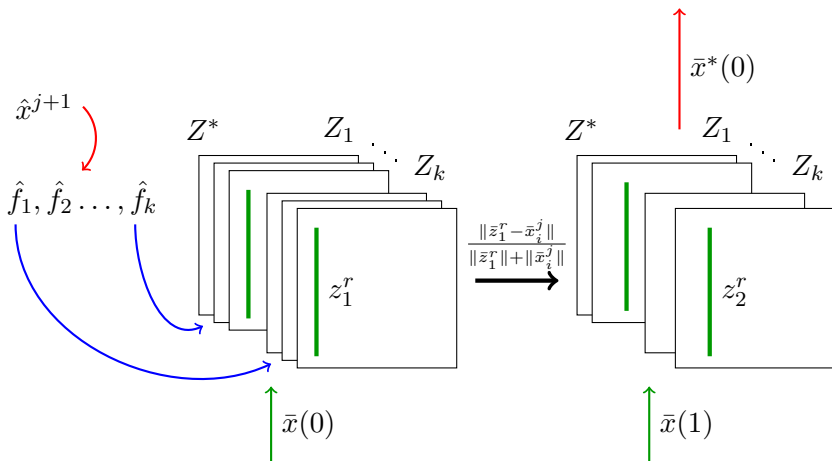
# Алгоритм вычисления автоматной функции



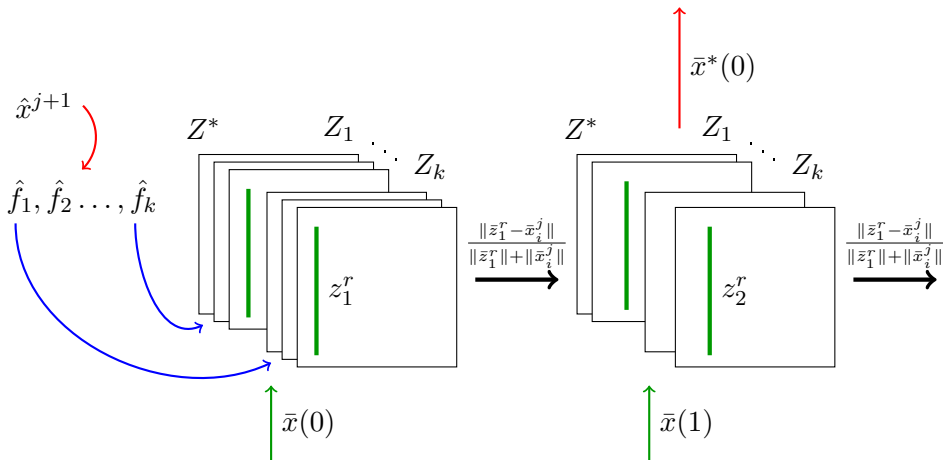
# Алгоритм вычисления автоматной функции



# 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  $\varphi$  и выходной функции  $\vec{\eta}$  по начальному моменту времени  $\tau_s$ , управляющему воздействию  $\hat{x}^{j+1}(\tau_s)$  и входному воздействию  $\omega$ .

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  $\tau_s$ , т. е. рассмотрим первый этап алгоритма  $\mathcal{A}_{th}$  — задание начального состояния  $R$ -автомата.

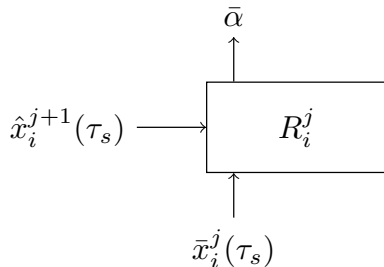
В этом случае,  $R$ -автомат  $R$  можно рассматривать как статический оператор распознавания  $R(\hat{x}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}, \bar{x}(\tau_s)) = R(\hat{x}^{j+1}, \mathcal{Z}, \bar{x}) = \bar{x}^*$ .

# 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

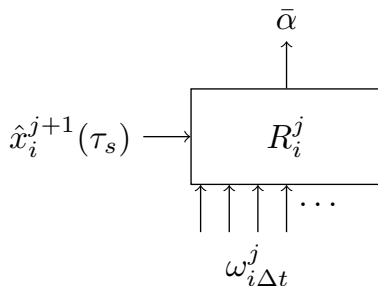
*Линейное замыкание  $L(\mathcal{A})$  семейства алгоритмов  $\mathcal{A} = \{R \cdot C^* | R \in \mathcal{R}\}$  с произвольным корректным решающим правилом  $C^*$  и операторами распознавания  $\mathcal{R}$ , определёнными алгоритмом  $\mathfrak{A}_{th}$ , является корректным на  $\mathcal{Q}$ .*

# 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.



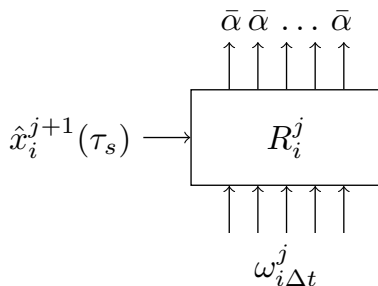
# Динамические операторы распознавания

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  $\omega$  и
- выдающий функцию выходной величины  $\gamma$ .



# 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.

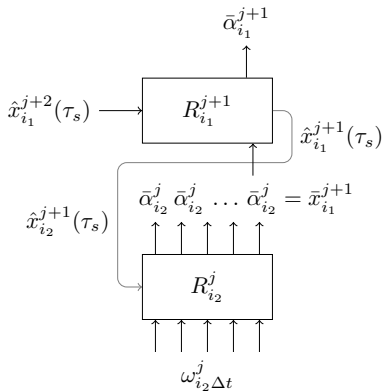
В работе доказано следующее утверждение.

## 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»

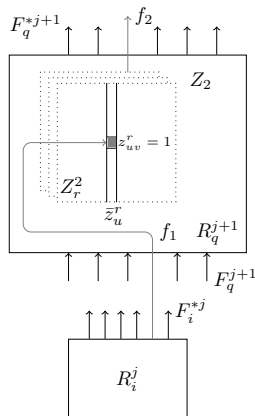
Применим введённые понятия для решения задачи формирования пары «образ — значение» элемента картины мира субъекта.

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  $\Lambda$ , 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  $\Lambda$  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  $\Psi_p^m$ .  
 $\Psi_p^m(\tilde{p}) = \tilde{m}$ , 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  $\Psi_p^m$ , 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 $\mathcal{A}_{pt}$

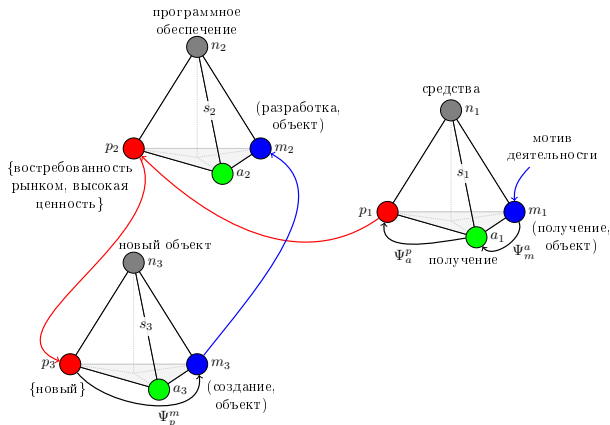
Имеет место следующее утверждение.

## 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.

# Основные публикации по теме диссертации

- 1 Моделирование поведения, управляемого сознанием / Ю. М. Кузнецова, Г. С. Осипов, А. И. Панов и др. // Системный анализ и информационные технологии: тр. Четвертой Междунар. конф. (Абзаково, Россия, 17–23 авг. 2011 г.): в 2т. — Т. 1.— Челябинск : Изд-во Челяб. Гос. ун-та, 2011.— С. 6–13.
- 2 Панов А. И. Семейства отношений в знаковой картине мира // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16–20 октября 2012г., г. Белгород, Россия): Труды конференции.— Белгород : Издательство БГТУ, 2012.— С. 301–309.
- 3 Петров А. В., Панов А. И. Моделирование поведения автономного мобильного робота // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П. А. Соловьева.— 2012.— №2.— С. 179–185.
- 4 Петров А. В., Панов А. И., Березовский Р. Г. Когнитивные архитектуры и проекты систем управления автономных мобильных роботов // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П. А. Соловьева.— 2013.— №1.— С. 111–113.
- 5 Принципы построения многоуровневых архитектур систем управления беспилотными летательными аппаратами / Д. В. Зубарев, Д. А. Макаров, А. И. Панов, К. С. Яковлев // Авиакосмическое приборостроение.— 2013.— №4.— С. 10–28.
- 6 Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В. Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // Известия РАН. Теория и системы управления.— 2014.— №4.— С. 83–96.
- 7 Панов А. И. Алгебраические свойства операторов распознавания в моделях зрительного восприятия // Машинное обучение и анализ данных.— 2014.— №7.— С. 863–874.
- 8 Панов А. И., Петров А. В. Аналитическое и целостное представление образов интеллектуальным агентом со знаковой картиной мира // Шестая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: Калининград, 23–27 июня 2014 г.— Калининград : Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований (МАКИ), 2014.— С. 466–468.
- 9 Osipov G., Panov A., Chudova N. Semiotic foundations of consciousness functions // Book of Abstracts. The First Conference of the International Association for Cognitive Semiotics (IACS-2014). September 25–27, 2014.— Lund : Lund University, 2014.— P. 211.



# Спасибо за внимание!

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