

Знаковые модели обучения при коллективном планировании

Александр Панов

НУЛ процессно-ориентированных систем
НИУ «Высшая школа экономики»

14 декабря – Семинар ПОИС



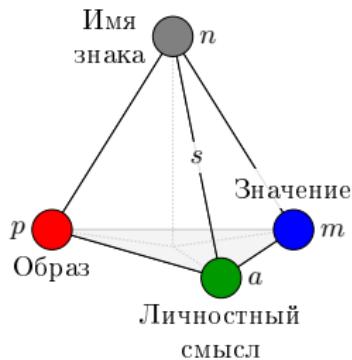
Список публикаций

- Киселев, Г. А. и А. И. Панов. «Знаковый подход к задаче распределения ролей в коалиции когнитивных агентов». *Труды СПИИРАН*.
- Панов, А. И. «Целеполагание и синтез плана поведения когнитивным агентом». *Искусственный интеллект и принятие решений*.
- Ayunts, Edward and Aleksandr I. Panov. "Task Planning in "Block World" with Deep Reinforcement Learning". *Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists*. 2017.
- Filin, Dmitry and Aleksandr I. Panov. "Applying a Neural Network Architecture with Spatio-Temporal Connections to the Maze Exploration". *Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists*. 2017.
- Panov, Aleksandr I. "Behavior Planning of Intelligent Agent with Sign World Model". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2017.
- Киселев, Г. А. и А. И. Панов. «Планирование действий коалицией агентов: коммуникационный аспект». Четвертый Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2017, 22-23 сентября 2017 г., г. Казань, Республика Татарстан, Россия): Труды семинара. 2017.
- Осипов, Г. С. и А. И. Панов. «Отношения и операции в знаковой картине мира субъекта поведения». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2017.
- Панов, А. И. и Р. Е. Суворов. «Автоматическое формирование правил перемещения с использованием обучения с подкреплением». Седьмая Международная конференция "Системный анализ и информационные технологии" САИТ-2017 (13-18 июня 2017 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. 2017.
- Skrynnik, A., A. Petrov, and A. I. Panov. "Hierarchical Temporal Memory Implementation with Explicit States Extraction". *Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists*. 2016.
- Панов, А. И. и К. С. Яковлев. «Взаимодействие стратегического и тактического планирования поведения коалиций агентов в динамической среде». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016.

Результаты

- Была развита модель приобретения знаний, основанная на исследовании процессов восприятия и категоризации в первичных зонах коры головного мозга человека, проведенном в первый год выполнения проекта.
- Представлен новый алгоритм машинного обучения на основе прецедентов планирования и выполнения действий и подкрепления, получаемого от внешней среды, с извлечением причинно-следственной информации и формированием новых правил.
- Были рассмотрены модельные задачи по планированию пути в лабиринте и планированию действий в домене «Мир кубиков».
- В продолжение работ первого года, был развит алгоритм целеполагания и построен новый алгоритм индивидуального планирования - GoalMAP.

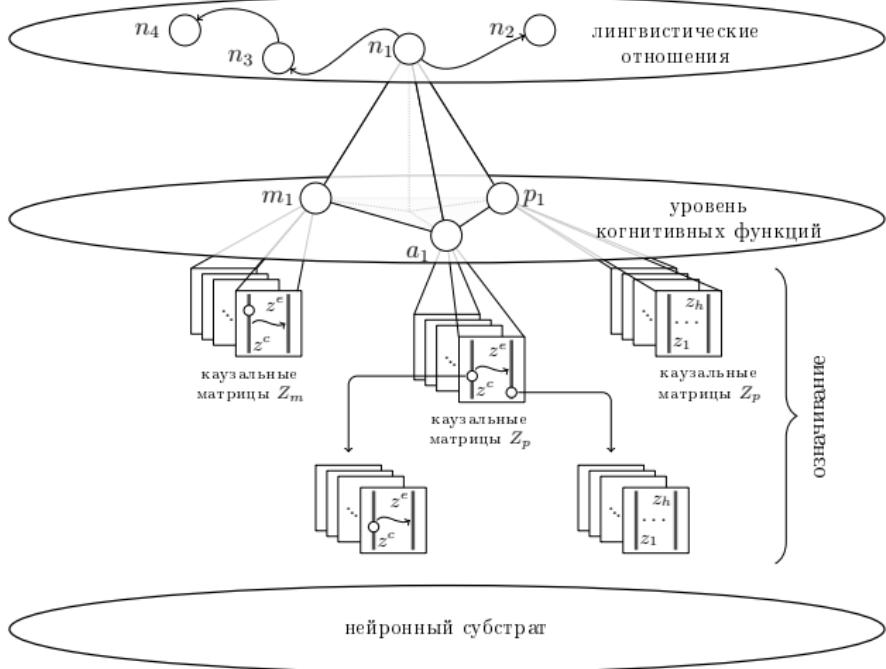
Три образующих элемента картины мира



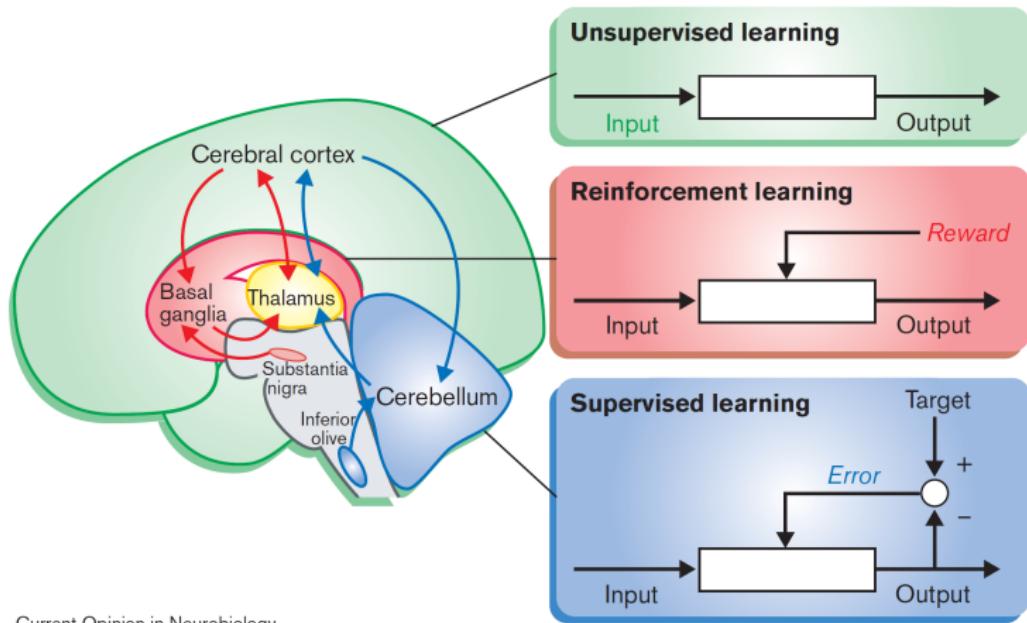
Представляемая сущность описывается тремя причинно-следственными (каузальными) структурами:

- **структура образа** - представление взаимосвязи внешних сигналов и внутренних характеристик субъекта (агента) - сенсо-моторное представление,
- **структура значения** - обобщенное знание о соотношениях во внешнем мире, согласованное в некоторой группе субъектов (агентов),
- **структура личностного смысла** - ситуационная потребностно-мотивационная интерпретация знаний о соотношениях во внешней среде (значение для себя).

Уровни представления



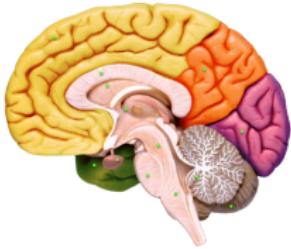
Модели обучения в мозге



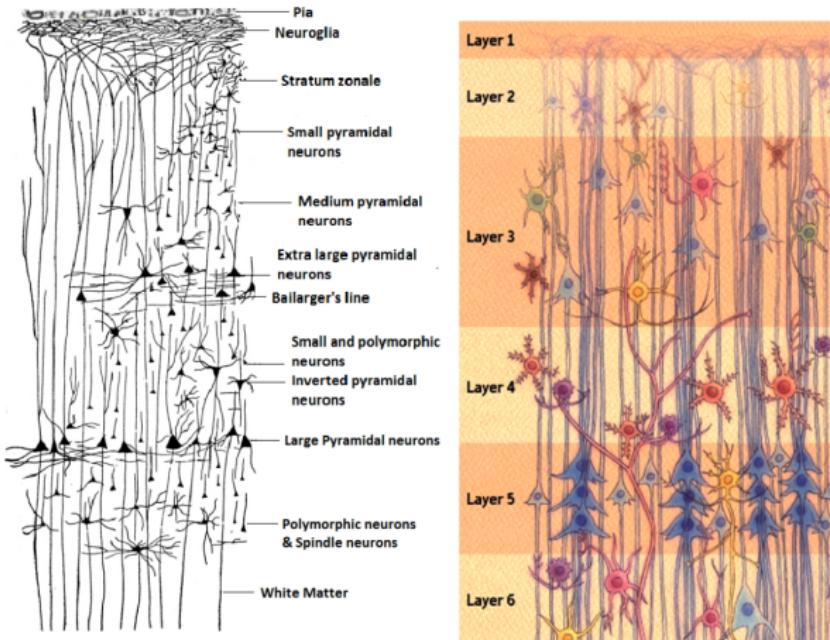
Current Opinion in Neurobiology

Doya, Kenji. "Complementary roles of basal ganglia and cerebellum in learning and motor control". *Current Opinion in Neurobiology*. Dec. 2000.

Нейронный субстрат



Histological Structure of the Cerebral Cortex

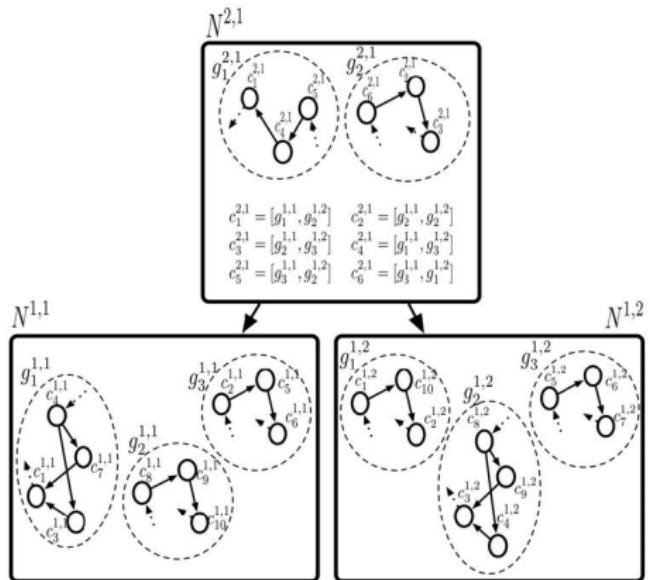


Rockland, Kathleen S. «Five points on columns». *Frontiers in neuroanatomy*. 2010.

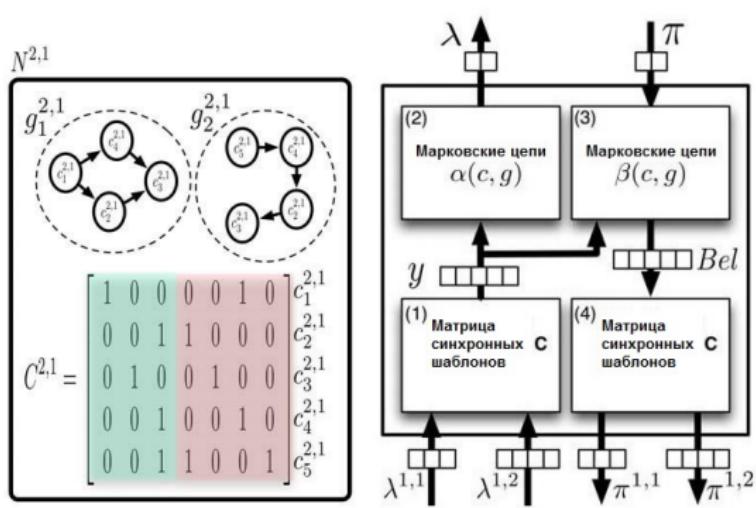
Mountcastle, V. B. *Perceptual Neuroscience. The Cerebral Cortex*. 1998.

Гетерархическая модель

Разработана расширенная реализация иерархической временной памяти (hierarchical temporal memory - HTM) - гетерархическая каузальная сеть (heterarchical causal network - HCN).



Гетерархическая модель



Skrynnik, A., A. Petrov, and A. I. Panov. "Hierarchical Temporal Memory Implementation with Explicit States Extraction".

Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists. 2016.

Панов, А. И. «Алгебраические свойства операторов распознавания в моделях зрительного восприятия».

Машинное обучение и анализ данных. 2014.

Velichkovsky, B. M. "Heterarchy of cognition: The depths and the highs of a framework for memory research". *Memory.* 2002.

Модель процесса обучения

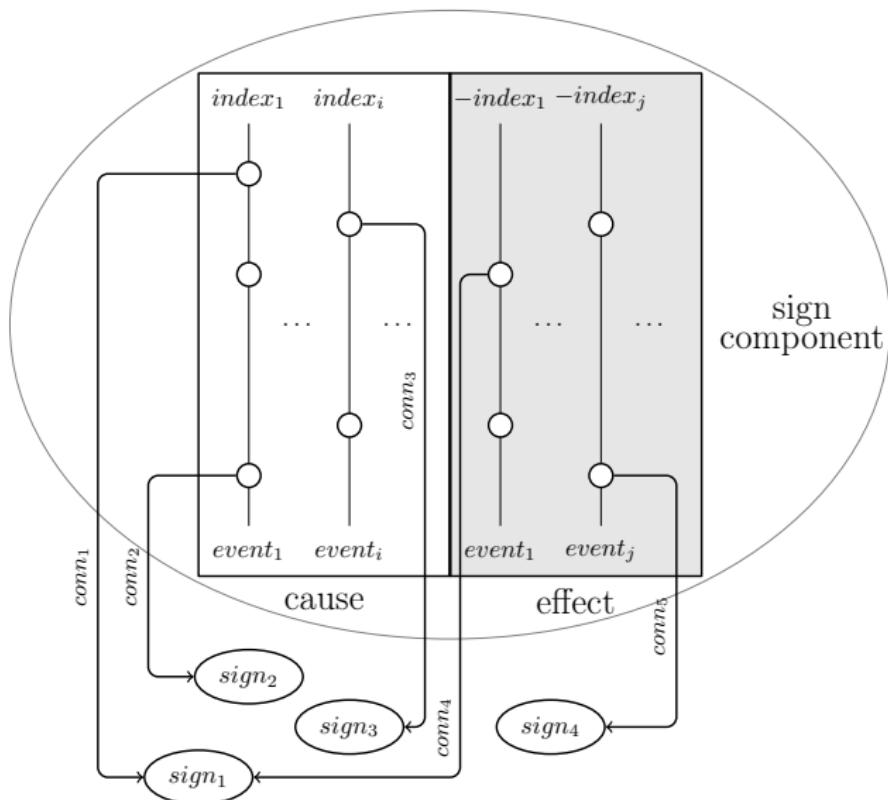
К основным принципам работы механизма обучения относятся:

- использование иерархии вычислительных узлов с восходящими и нисходящими связями,
- использование Хэббовских правил обучения,
- разделение пространственного и временного группировщиков,
- подавление второстепенной активации для формирования разреженного представления.

В результате работы механизма обучения по прецедентам (без учителя) формируются так называемые **каузальные матрицы**.

Панов, А. И. и А. В. Петров. «Иерархическая времененная память как модель восприятия и её автоматное представление». *Шестая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (15-20 июня 2015 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. В 2-х т. 2015.*

Каузальная матрица



Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака

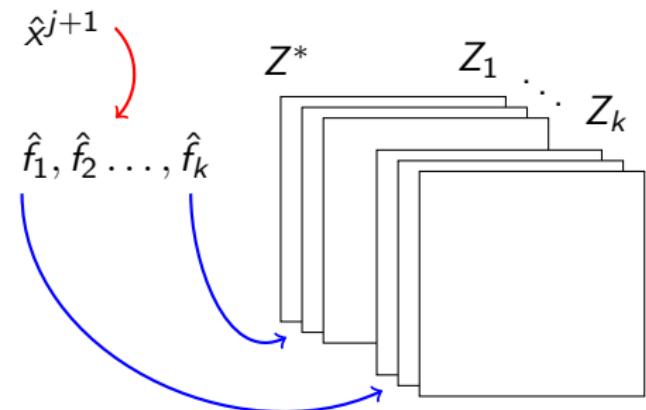
$\hat{f}_1, \hat{f}_2 \dots, \hat{f}_k$

Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака

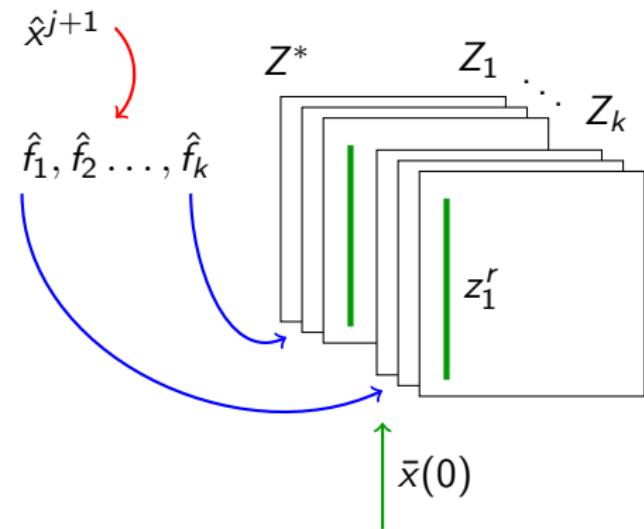
$$\hat{x}^{j+1}$$

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

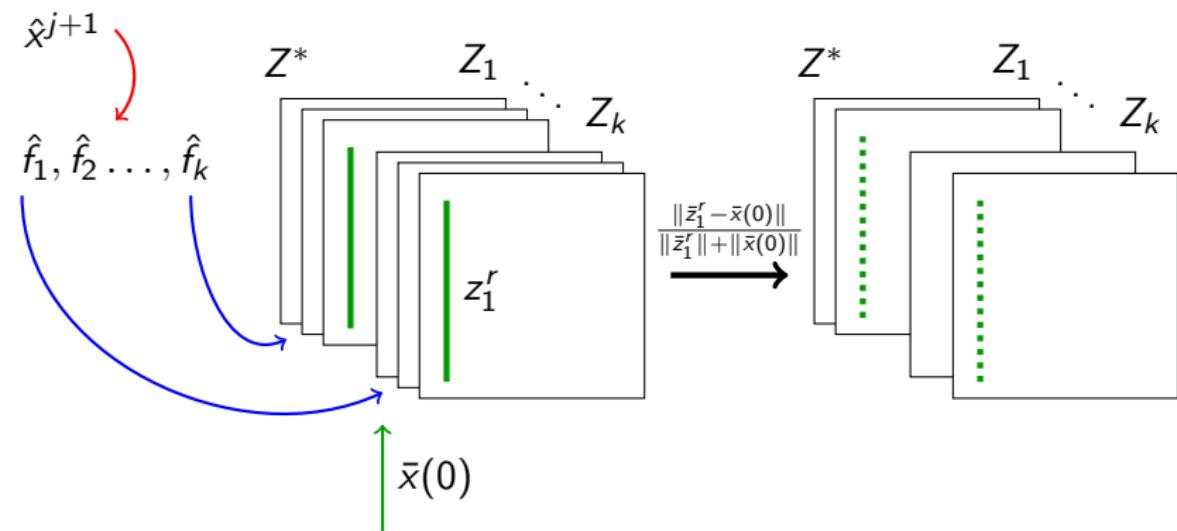
Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака



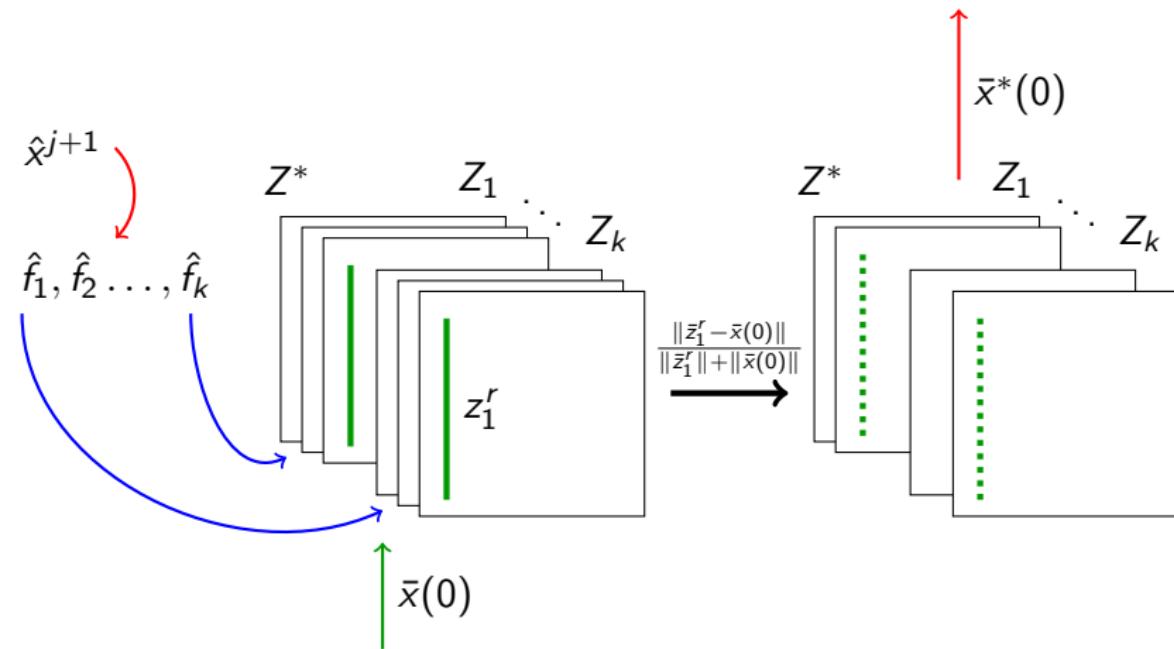
Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака



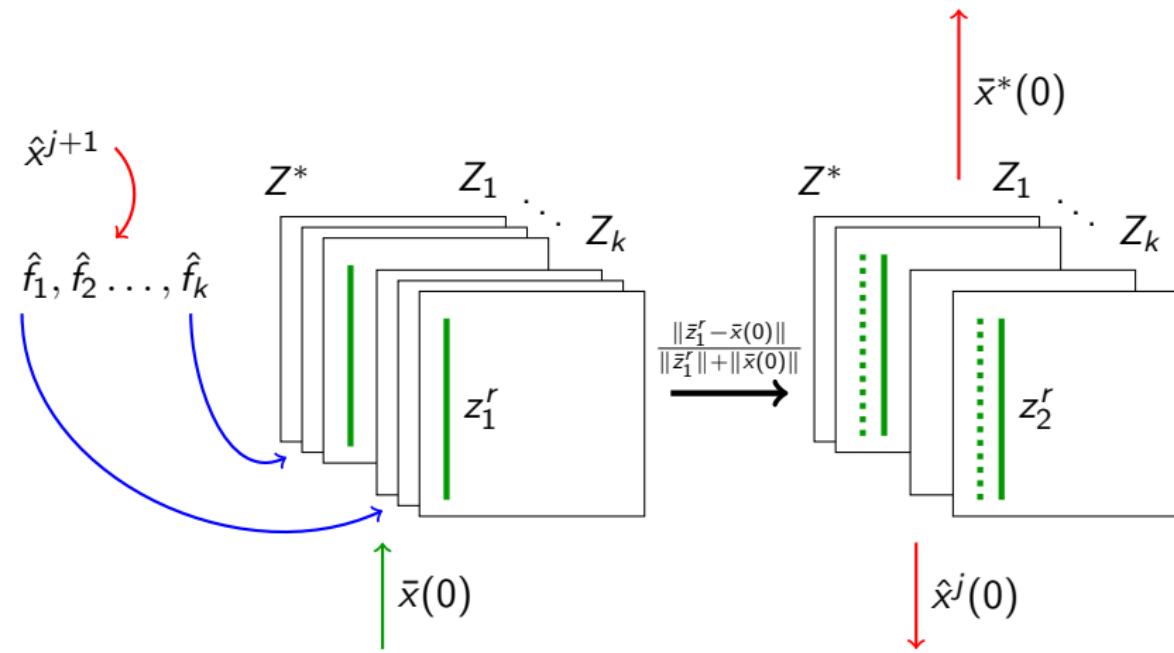
Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака



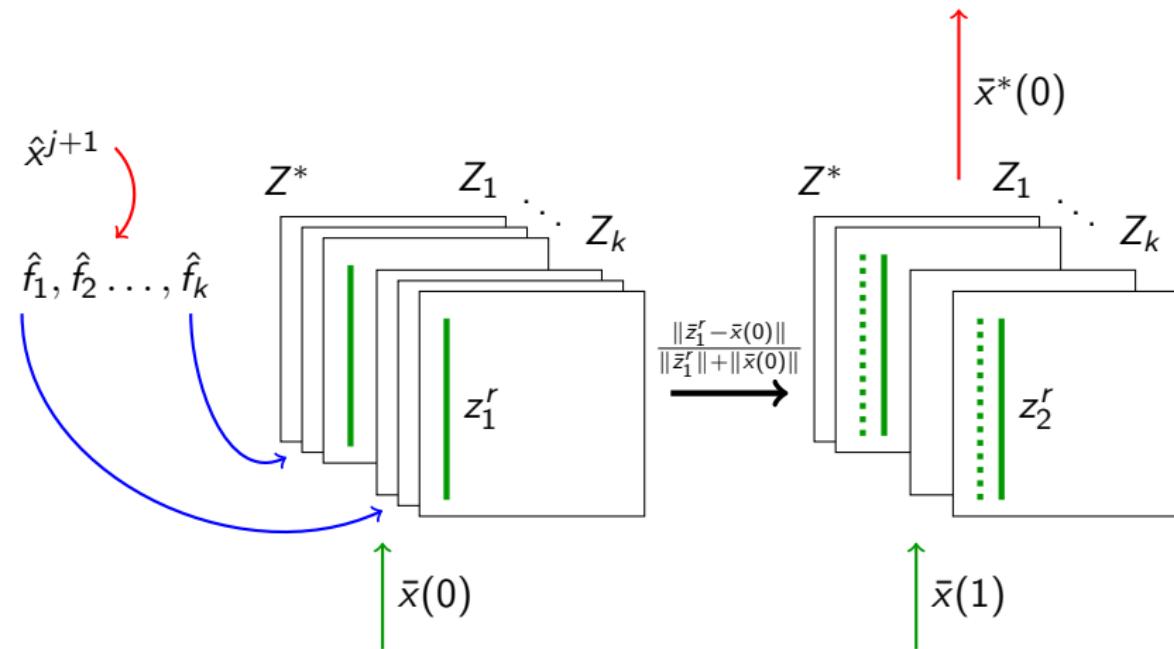
Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака



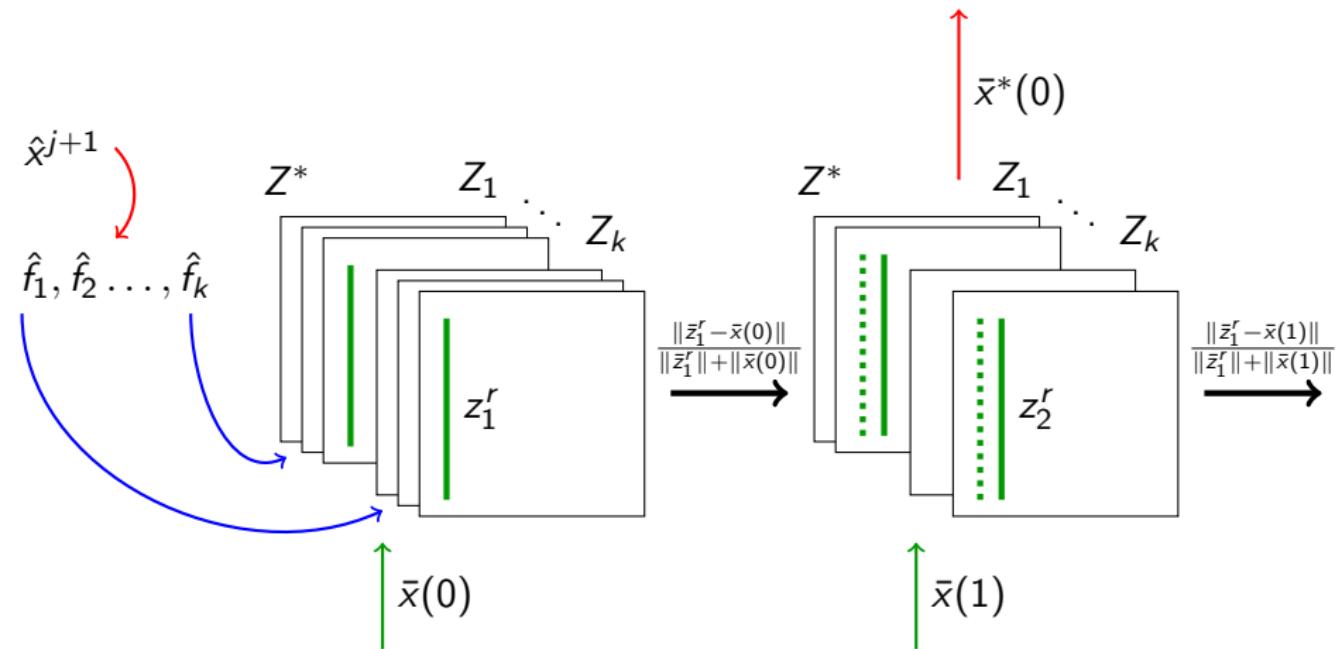
Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака



Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака



Алгоритм \mathfrak{A}_{th} актуализации знака

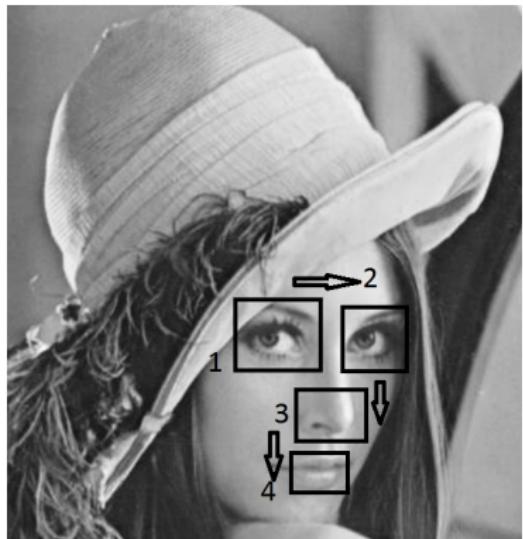
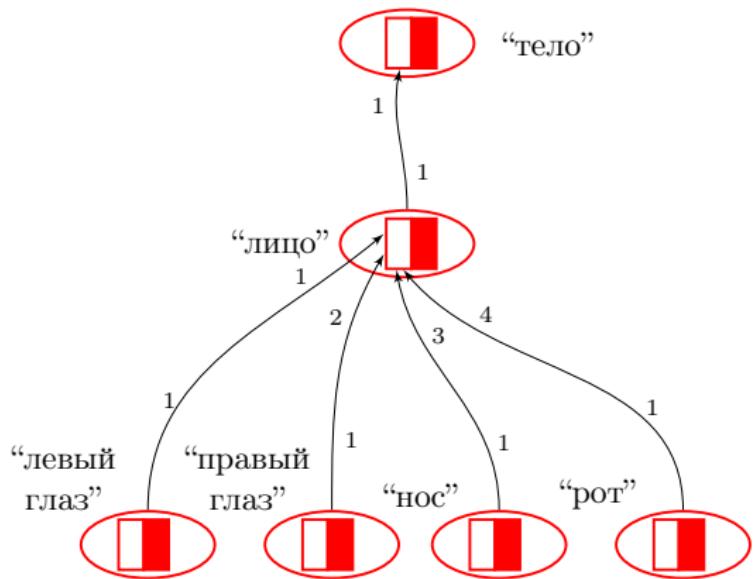


Каузальная сеть на образах

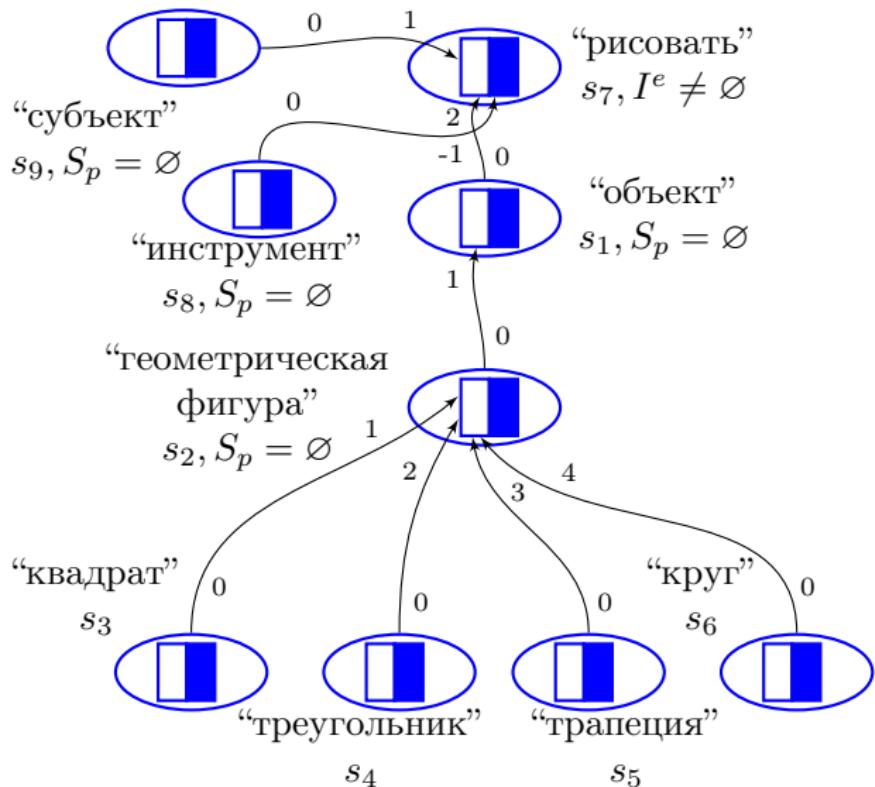
Каузальная сеть на множестве образов знаков $W_p = \langle V_p, E_p \rangle$ - помеченный ориентированный граф, в котором

- каждому узлу $v \in V_p$ ставится в соответствие кортеж каузальных матриц $Z^p(s)$ образа некоторого знака s ($v \rightarrow Z^p(s)$);
- ребро $e = (v_1, v_2)$ принадлежит множеству ребер графа E , если $v_1 \rightarrow Z^p(s_1)$, $v_2 \rightarrow Z^p(s_2)$ и $s_1 \in S_p(s_2)$;
- каждому ребру графа $e = (v_1, v_2)$, $v_1 \rightarrow Z^p(s_1)$, $v_2 \rightarrow Z^p(s_2)$ ставится в соответствие метка $\epsilon = (\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3)$ - кортеж трех натуральных чисел:
 - ϵ_1 - индекс исходной матрицы в кортеже $Z^p(s_1)$, может принимать специальное значение 0, если исходными могут служить любые матрицы из кортежа;
 - ϵ_2 - индекс целевой матрицы в кортеже $Z^p(s_2)$, строка которой ставится в соответствие признаку s_1 ;
 - ϵ_3 - индекс столбца в целевой матрице, в которой в соответствующей признаку s_1 строке стоит 1, может принимать положительные значения (*столбцы условий*) и отрицательные (*столбцы эффектов*).

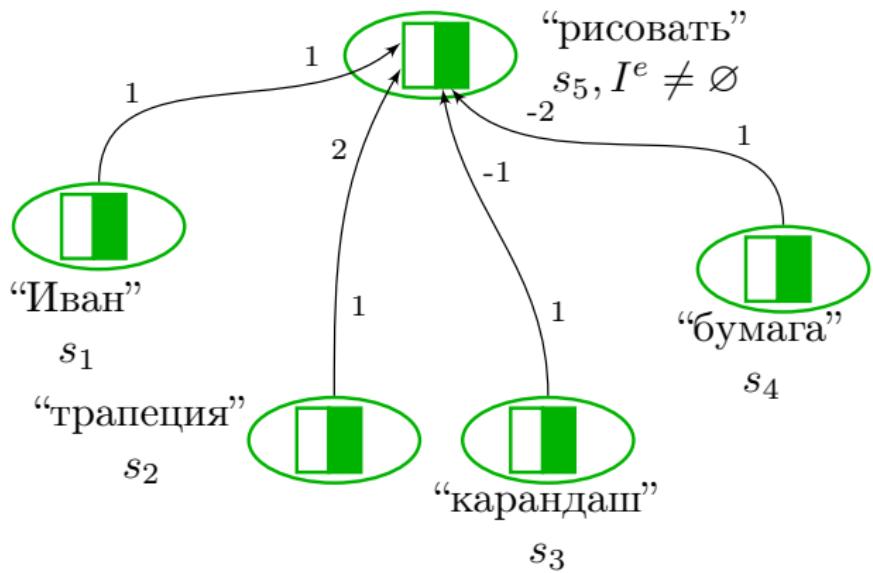
Каузальная сеть на образах: пример



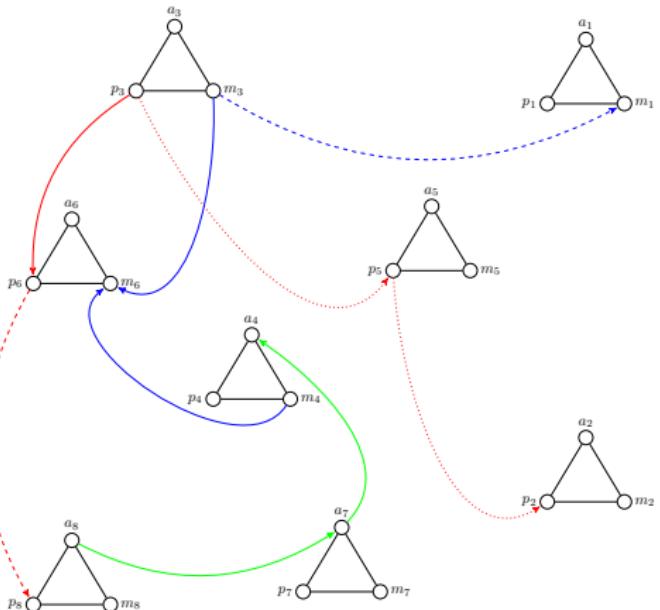
Каузальная сеть на значениях: пример



Каузальная сеть на личностных смыслах: пример



Картина мира субъекта деятельности

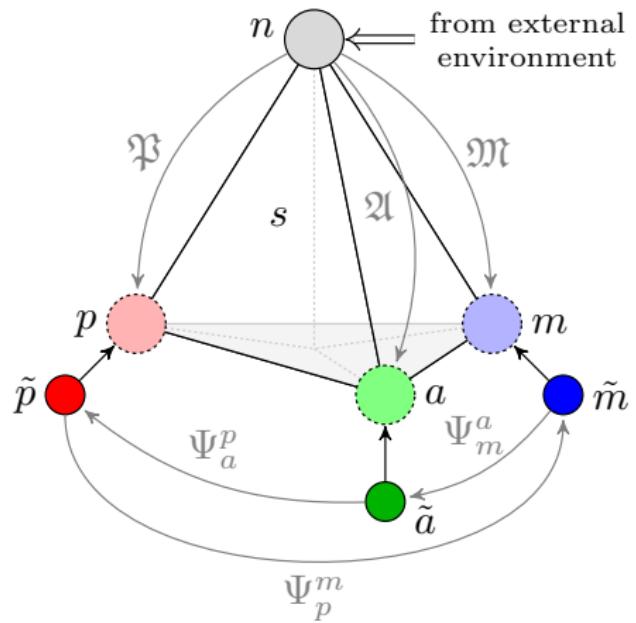


Семиотическая сеть - пятерка
 $\Omega = \langle W_p, W_m, W_a, R_n, \Theta \rangle$, где

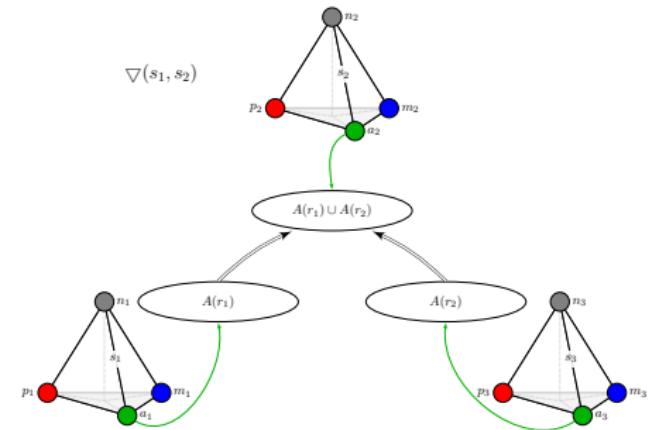
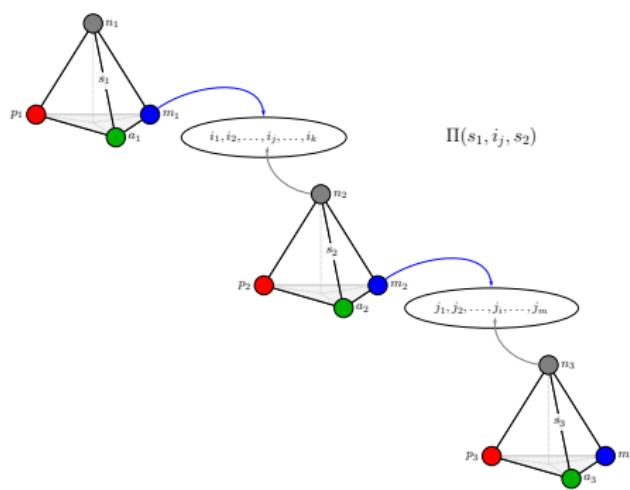
- W_p, W_m, W_a - соответственно каузальные сети на множестве образов, значений и личностных смыслах,
- R_n - семейство отношений на множестве знаков, сгенерированных на основе трех каузальных сетей, т.е.
 $R_n = \{R_p, R_m, R_a\}$,
- Θ - семейство операций на множестве знаков.

Osipov, Gennady S. "Signs-Based vs. Symbolic Models". *Advances in Artificial Intelligence and Soft Computing*. 2015.

Образование нового знака



Операции на множестве компонент знака

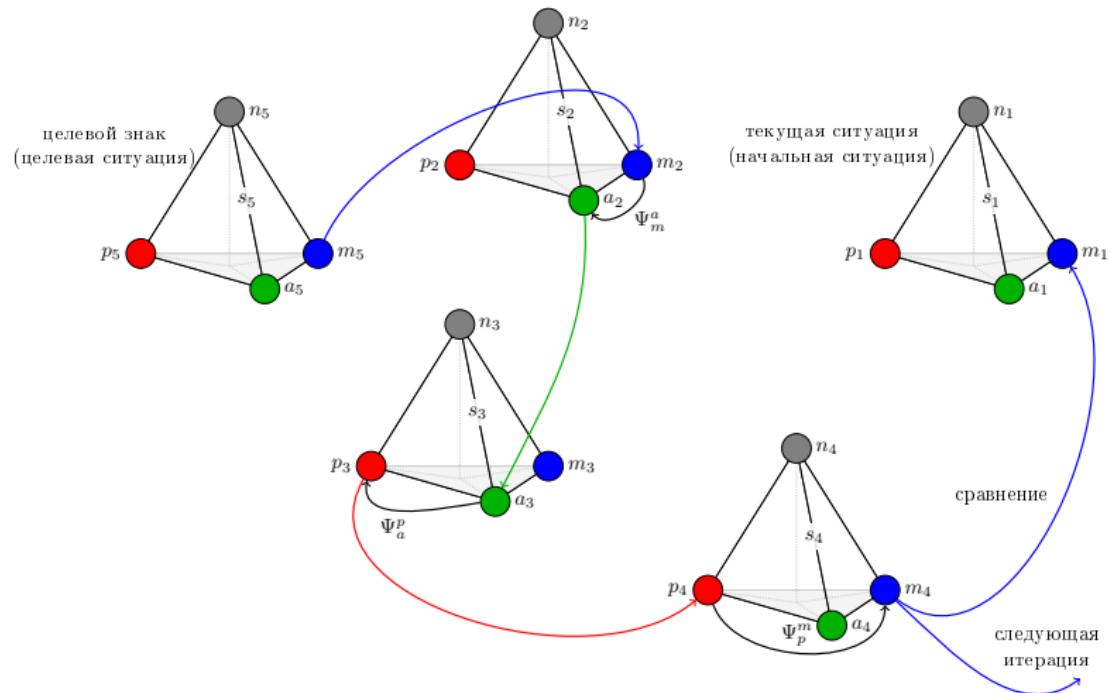


Замыкание по значениям

Агглютинация личностных смыслов

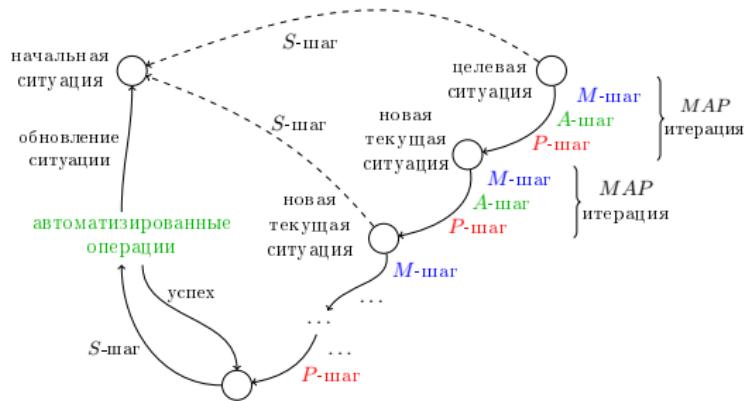
Osipov, G. S. "Sign-based representation and word model of actor". *2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS)*. 2016.

Модель функции планирование поведения



Osipov, Gennady S. "Signs-Based vs. Symbolic Models". *Advances in Artificial Intelligence and Soft Computing*. 2015.

Алгоритм планирования поведения



Иерархический процесс планирования начинается с конченой ситуации и стремится достичь начальной ситуации.

MAP-итерация:

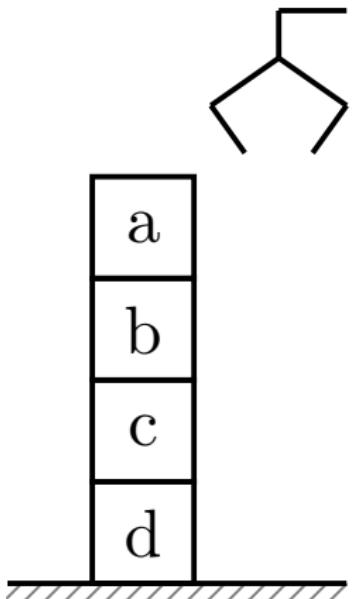
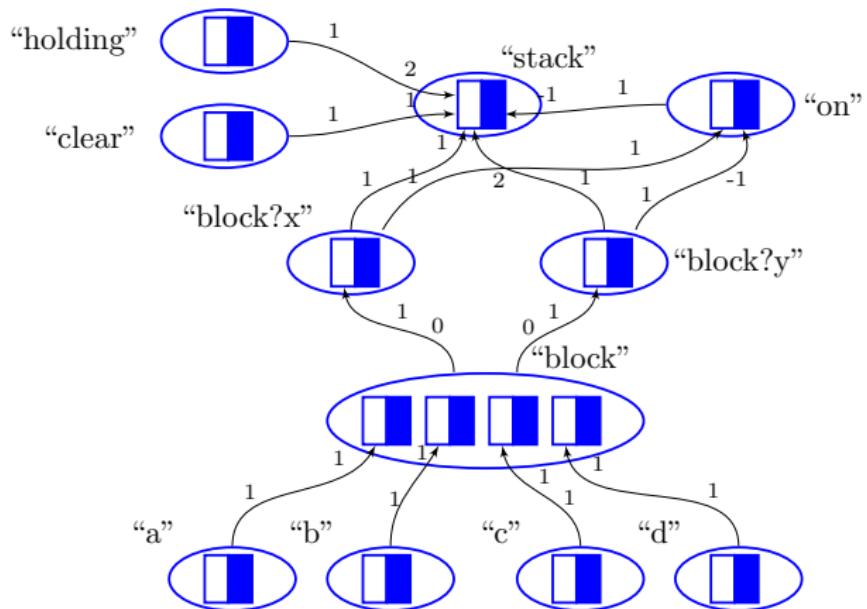
- **S-step** – поиск прецедентов выполнения действия в текущих условиях,
- **M-step** – поиск применимых действий на сети значений,
- **A-step** – генерация личностных смыслов, соответствующих найденным значениям,
- **P-step** – построение новой текущей ситуации по множеству признаков условий найденных действий.

Panov, A. I. and K. S. Yakovlev. "Behavior and path planning for the coalition of cognitive robots in smart relocation tasks". *Robot Intelligence Technology and Applications 4*. 2016.

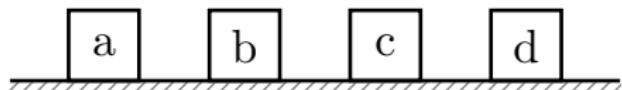
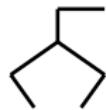
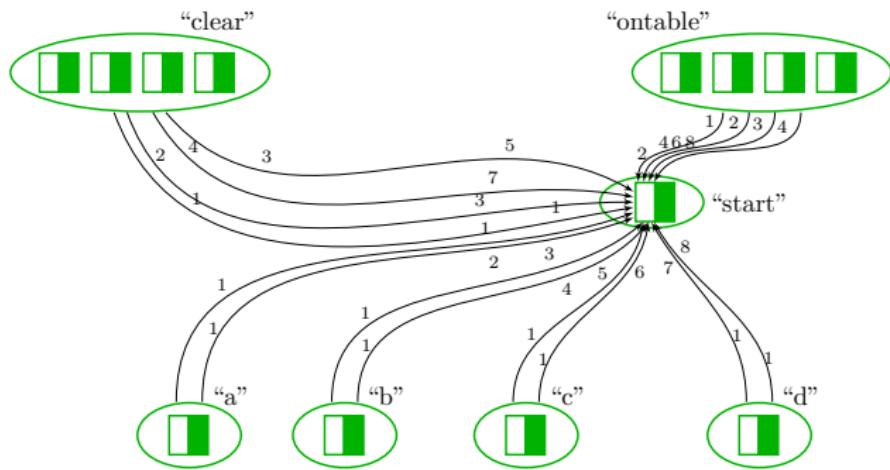
Panov, Aleksandr I. and Konstantin S. Yakovlev. "Psychologically inspired planning method for smart relocation task". *Procedia Computer Science*. 2016.

Panov, Aleksandr I. "Behavior Planning of Intelligent Agent with Sign World Model". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2017.

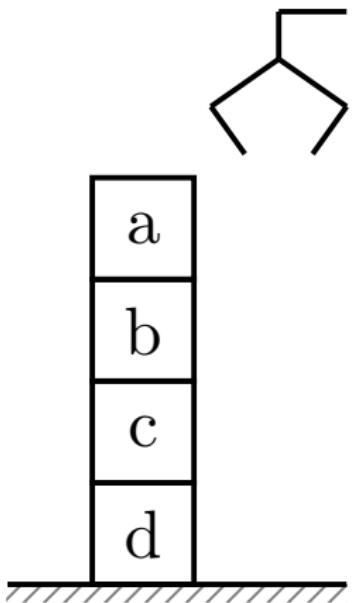
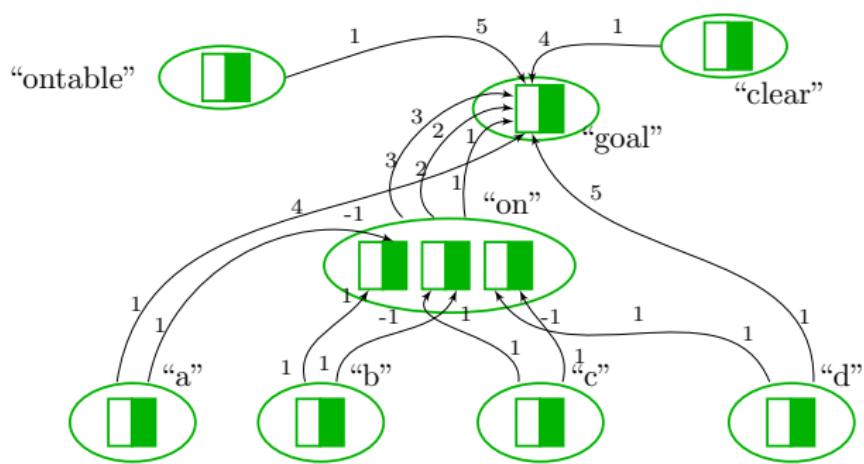
Пример: фрагмент сети на значениях



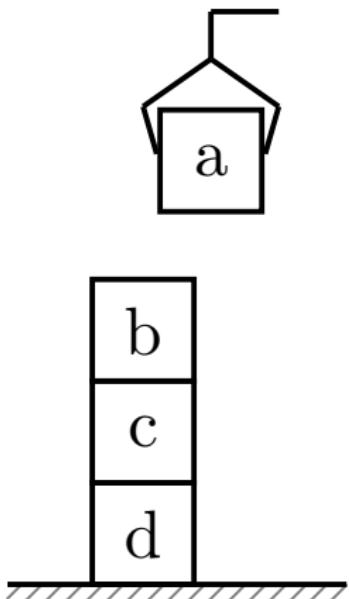
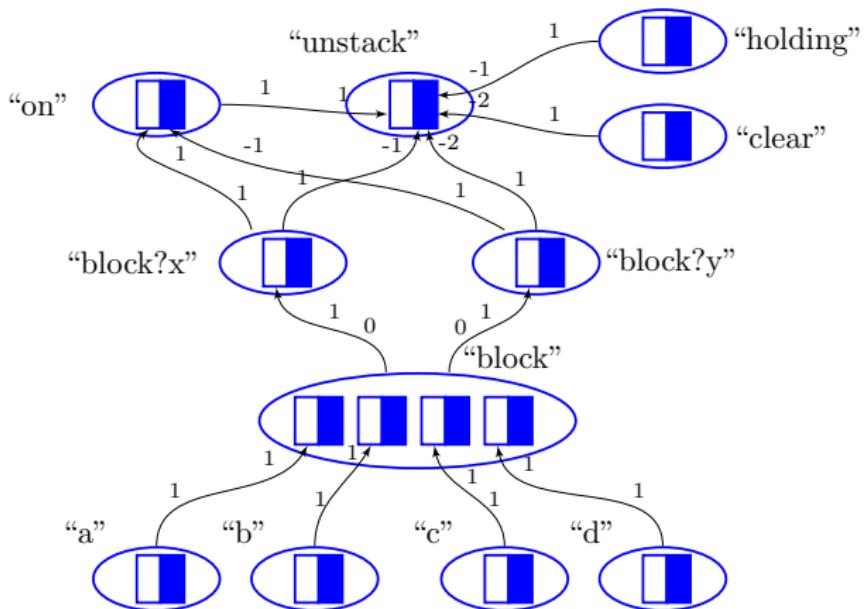
Пример: сеть на смыслах - начальная ситуация



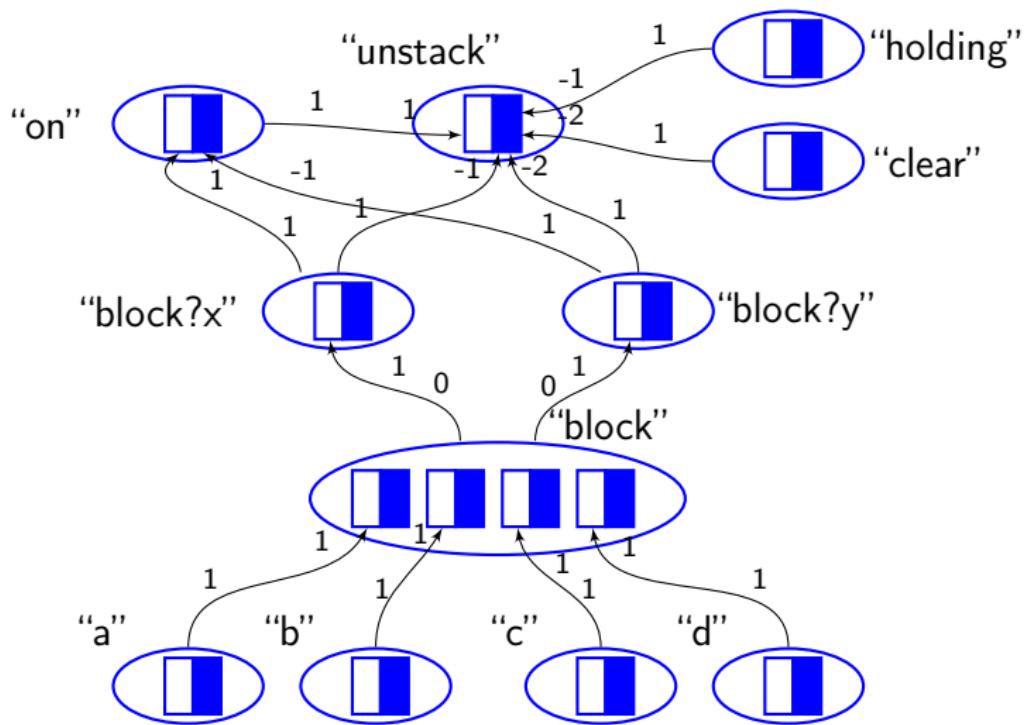
Пример: сеть на смыслах - целевая ситуация



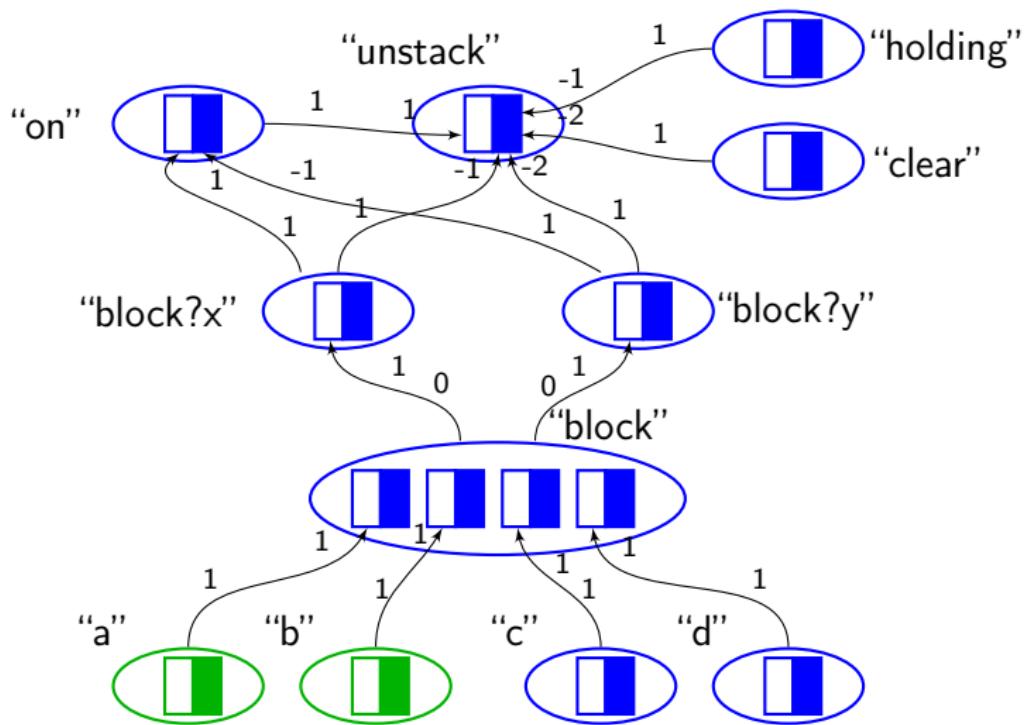
Пример: фрагмент сети на значениях



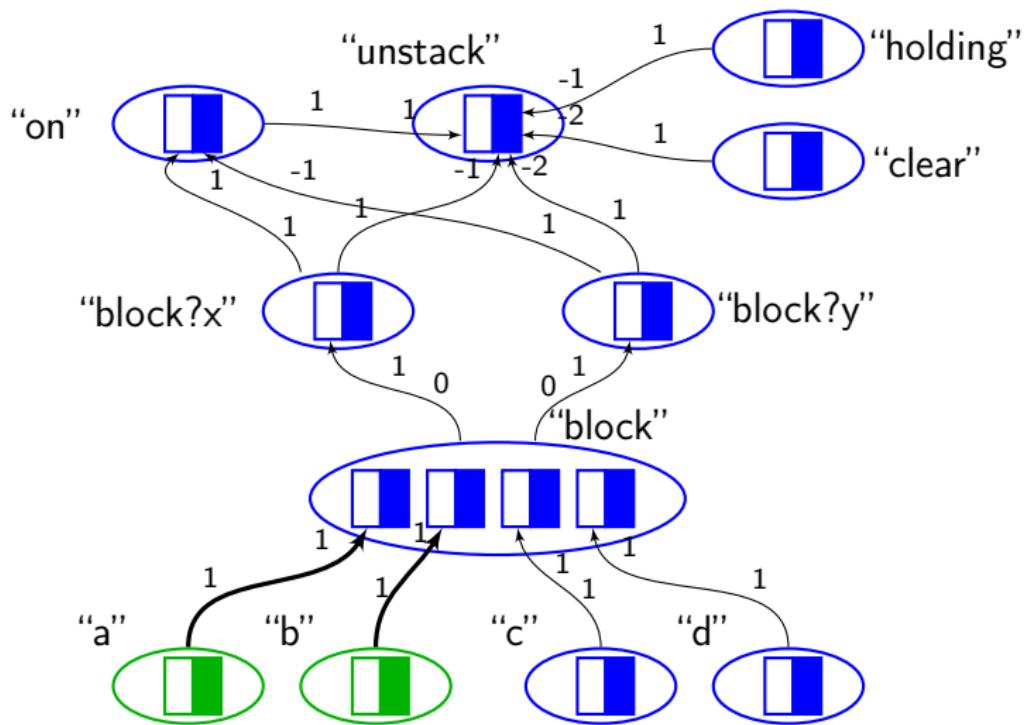
Пример: генерация личностного смысла



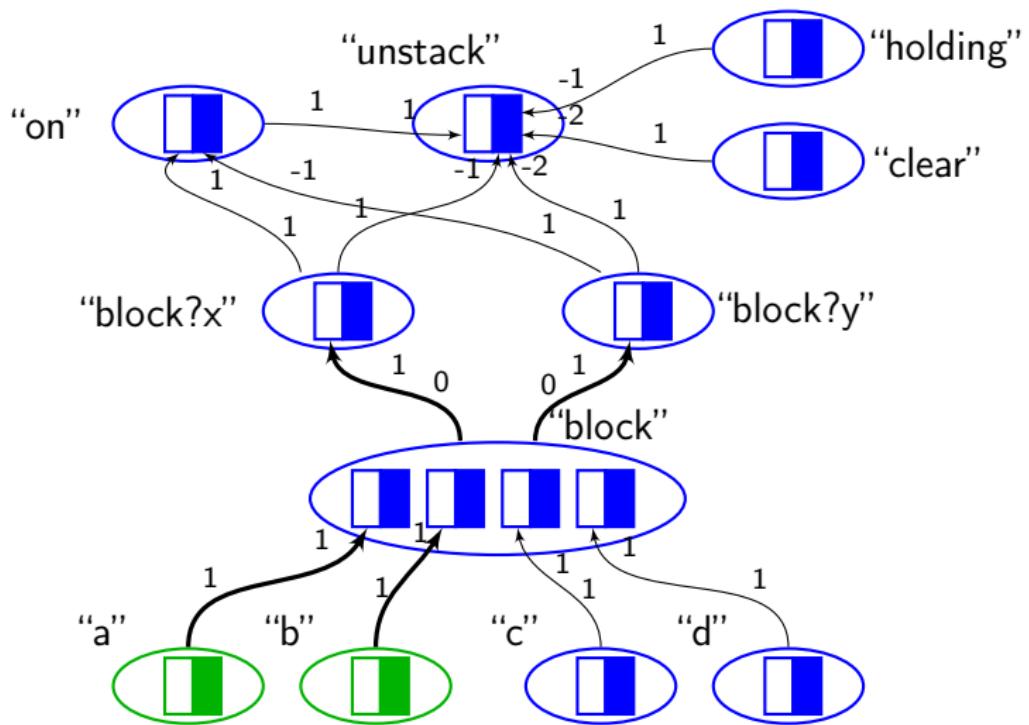
Пример: генерация личностного смысла



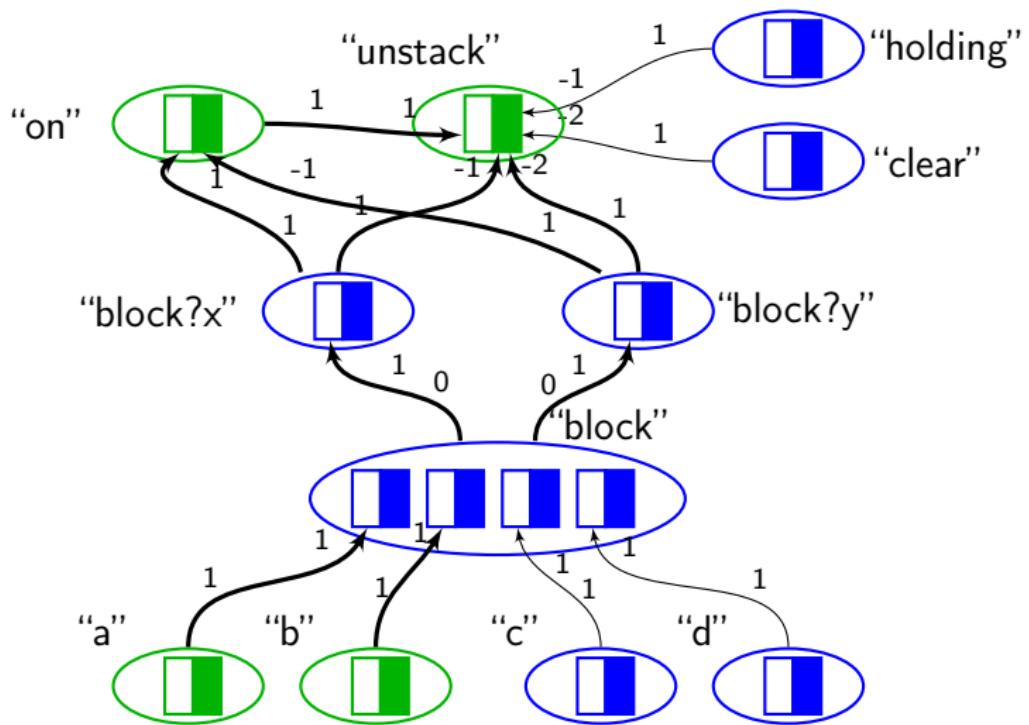
Пример: генерация личностного смысла



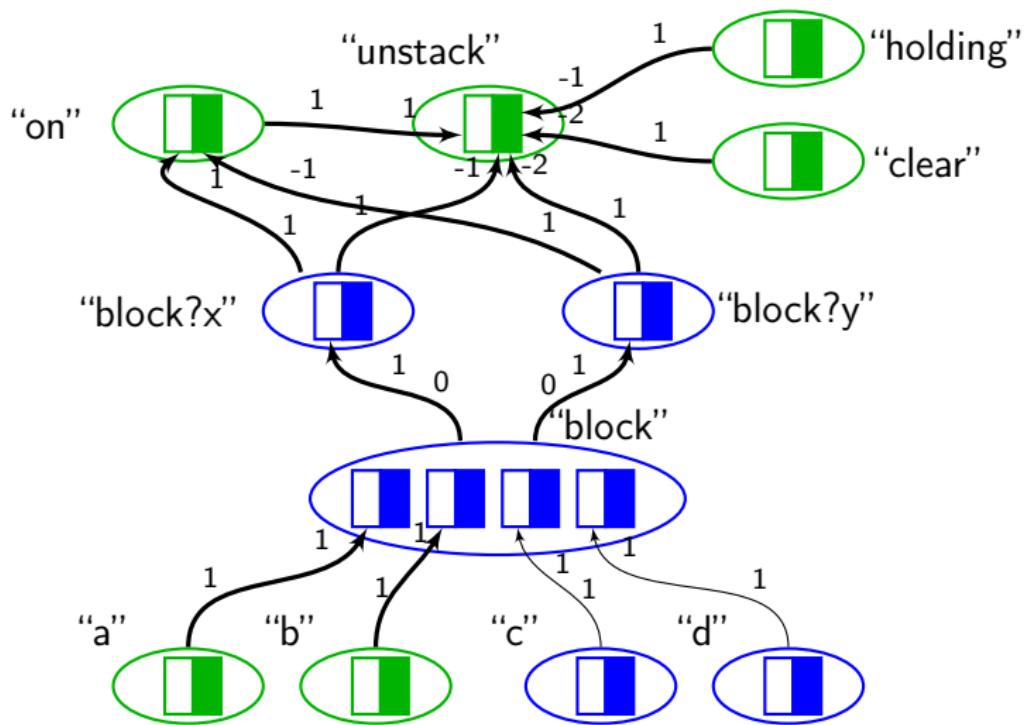
Пример: генерация личностного смысла



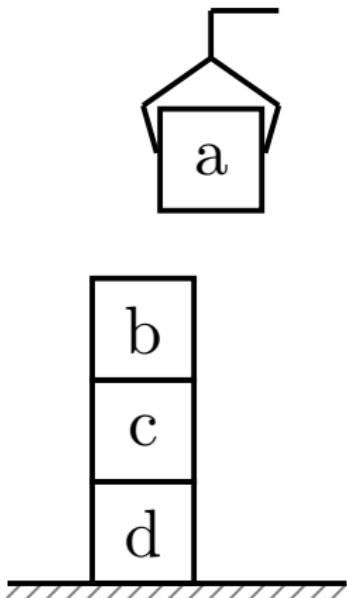
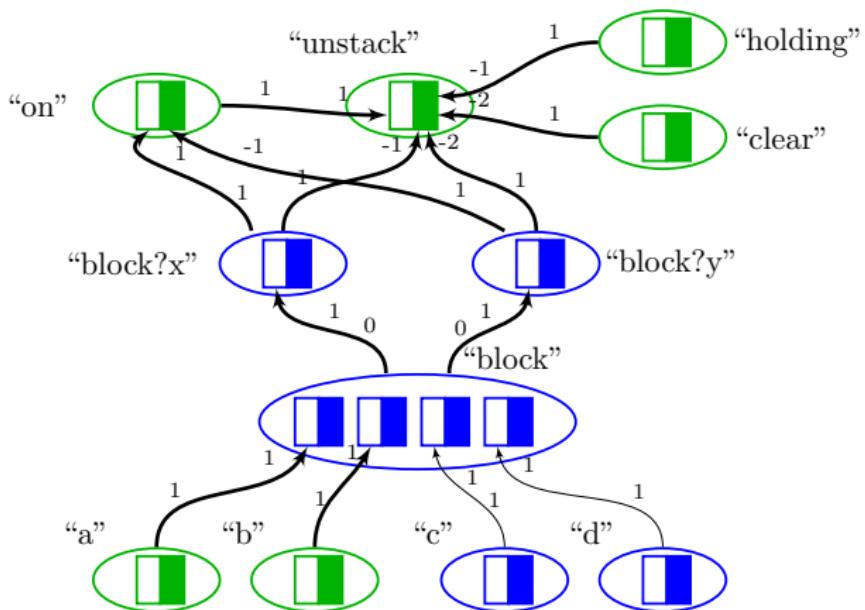
Пример: генерация личностного смысла



Пример: генерация личностного смысла

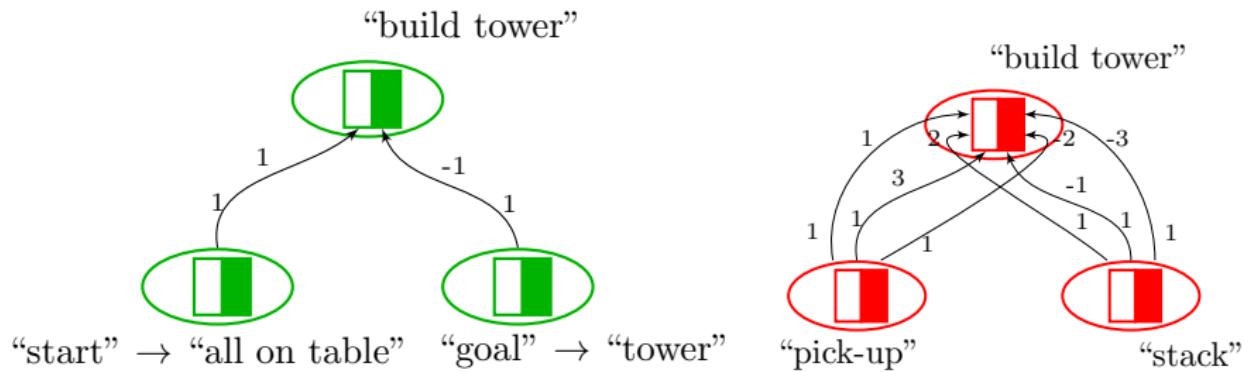


Пример: текущая ситуация

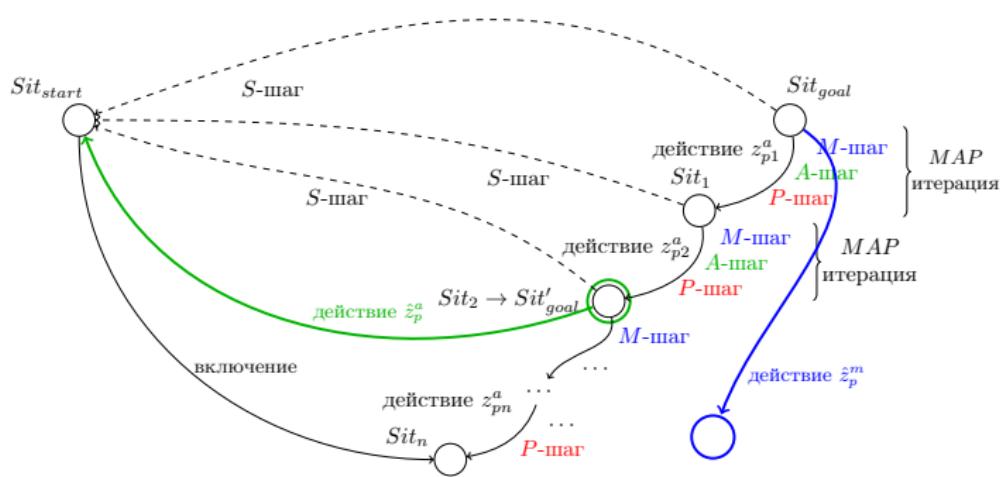


Обучение в процессе планирования

Образование нового правила и сохранение ситуаций - образование новых каузальных матриц



Этап целеполагания



Roberts, Mark et al. "Iterative Goal Refinement for Robotics". *Working Notes of the Planning and Robotics Workshop at ICAPS*. 2014.

Samsonovich, Alexei V. "Goal reasoning as a general form of metacognition in BICA". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2014.

Два типа целеполагания

- Эмпирическое целеполагание является дополнением к Р-этапу MAP алгоритма планирования и позволяет сократить процесс построения текущего плана, поставить новую цель (в данном случае, подцель) и перейти к построению нового плана по достижения уже новой цели.
- Сценарное целеполагание происходит еще до запуска основного алгоритма планирования MAP: в некоторых случаях генерация личностных смыслов для определения применимого действия не обязательна и возможно построение новой текущей ситуации по сети значений, т.е. с использованием схемы действия вместо самого действия.

Особенности постановки задачи

Рассматривается случай группового взаимодействия автономных технических объектов (агентов), в котором:

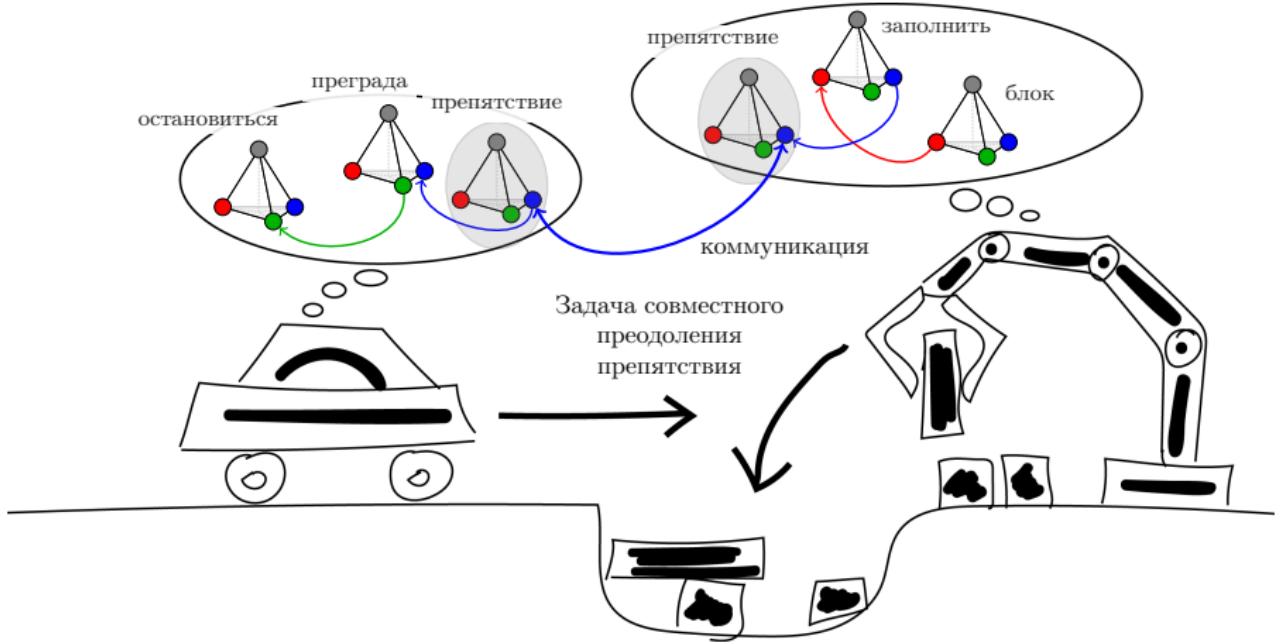
- агенты решают общую задачу (имеют общую цель высшего уровня),
- агенты действуют независимо друг от друга (децентрализованное управление), в т.ч. могут ставить индивидуальные подцели и достигать их,
- агенты обладают различными характеристиками, как техническими, так и когнитивными, т.е. разными стратегиями поведения,
- агенты обладают различными картинами мира,
- агенты действуют в меняющейся среде.

Требования к представлению знаний

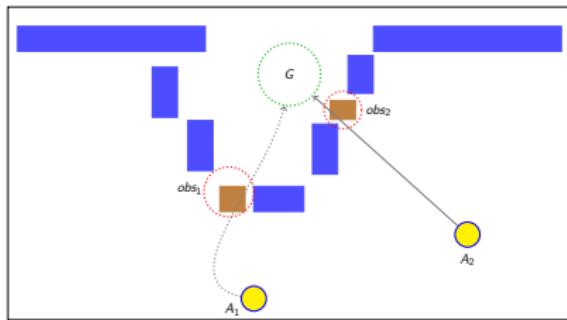
На представление пространственных и временных знаний в задаче согласованного перемещения с такими особенностями налагается ряд ограничений:

- необходимость поддержки некоторого протокола коммуникации, разделение знаний на коммуницируемые и некоммуницируемые (личные),
- необходимость выделения компоненты знания, не зависящей от индивидуальных (личных) характеристик агента,
- требование к наличию механизма связывания реальных объектов внешней среды и процедур их распознавания с символным коммуницируемым представлением (*symbol grounding problem*),
- поддержка механизмов пополнения картины мира (обучение и абстрагирование).

Практические задачи



Задача интеллектуального перемещения



Задача

Целевая область не достижима некоторым агентом самостоятельно (с использованием только методов планирования траектории).

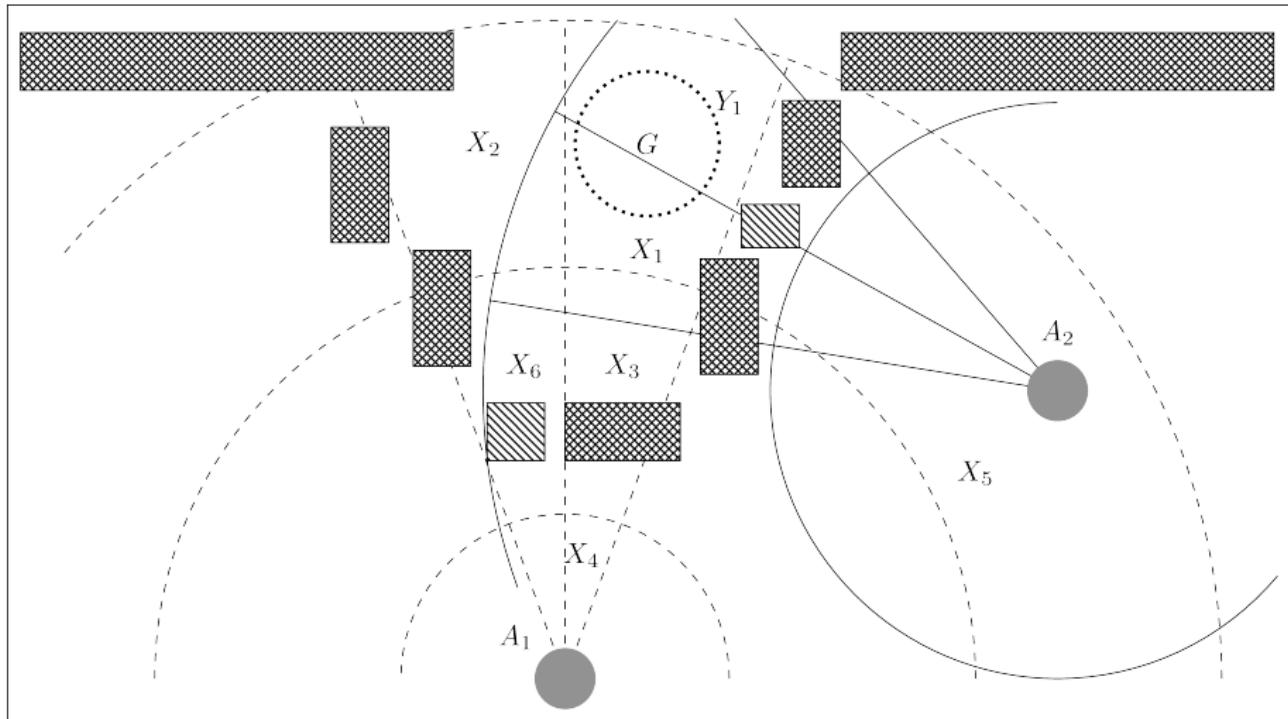
Решение

Агенты должны поддерживать коммуникацию и модифицировать свои собственные планы с учетом коалиционных подзадач.

Особенности:

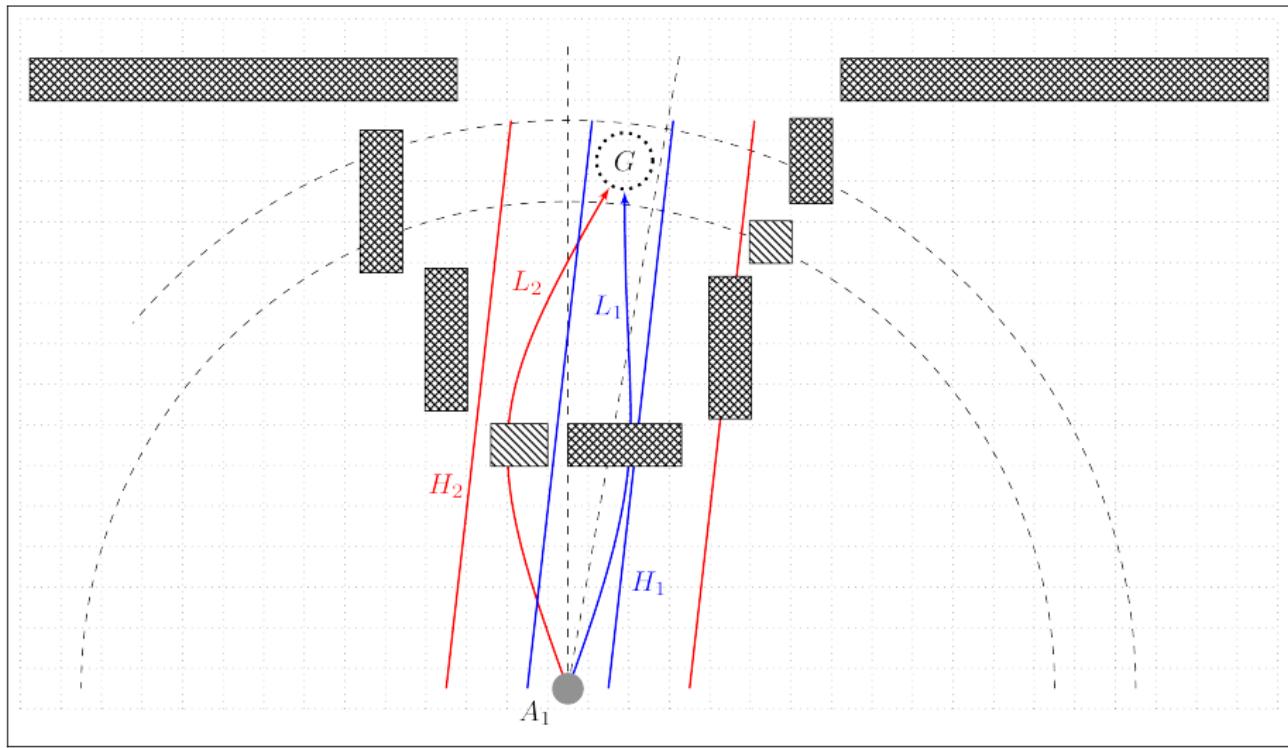
- Меняющаяся внешняя среда.
- Различные типы препятствий (некоторые могут быть разрушены).
- Агенты обладают различной функциональностью.
- Общая пространственная цель (ВСЕ агенты должны достичь определенной области на карте).

Представление пространственных знаний



Панов, А. И. «Представление знаний автономных агентов, планирующих согласованные перемещения». Робототехника и техническая кибернетика. 2015.

Представление пространственных знаний



Панов, А. И. и К. С. Яковлев. «Взаимодействие стратегического и тактического планирования поведения коалиций агентов в динамической среде». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016.

Панов (ВШЭ)

Обучение в коллективе

14 декабря – Семинар ПОИС

36

Представление действий по перемещению

Действия по перемещению — знаки s_t (признаки f_t , t — тип перемещения), которым соответствуют каузальные матрицы типа Z_t , состоящие из трёх столбцов

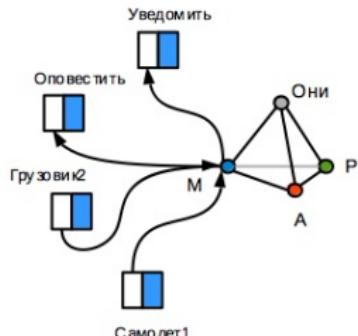
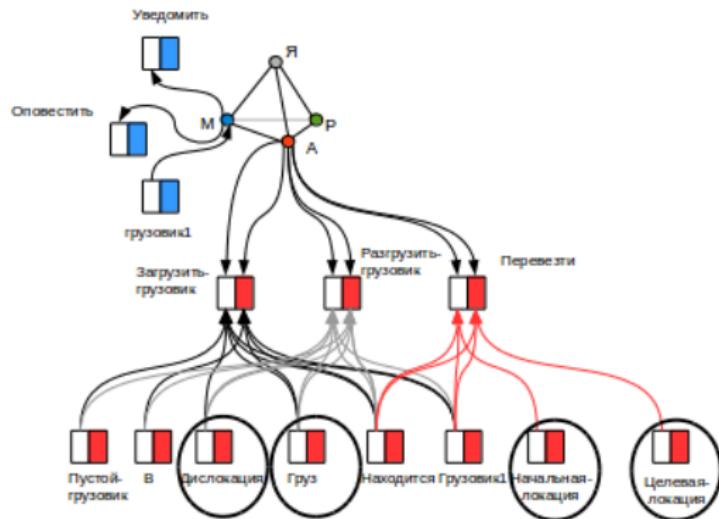
$$z_1 = (I_x, I), z_2 = (I_y, d_u, E), z_3 = (I_y, I, t_v),$$

где

- I_x , I_y — признаки, соответствующие категории расстояния в пространственной логике (например, вплотную, близко, далеко и др.),
- d_u — признак, соответствующий категории направления в пространственной логике (например, впереди, слева и др.),
- t_v — признак, соответствующий категории времени во временной логике (например, скоро, в будущем и др.),
- I — признак присутствия самого агента,
- E — признак отсутствия препятствия.

Распределение ролей при решении задачи

Знаки Я и Они в алгоритме планирования МАР

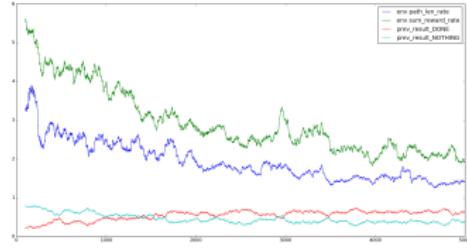
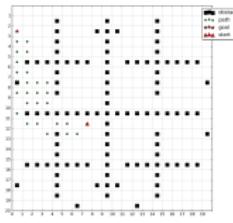


Kiselev, Gleb A. and Aleksandr I. Panov. "Synthesis of the Behavior Plan for Group of Robots with Sign Based World Model".
Interactive Collaborative Robotics. 2017.

Эксперименты по обучению с подкреплением

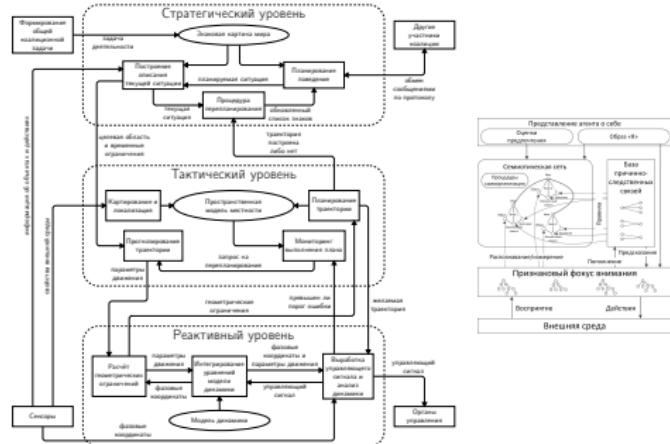


- Начальное и конечное положения агента фиксированы. Между агентом и конечным положением расположена преграда.
- За каждое действие агент получает награду, если он идет кратчайшим путем к конечному положению, то он получит большую награду.
- HCN на простой карте: ~ 700 итераций (1 клетка в колонке), 1800 итераций (с двумя клетками).
- Нейронная сеть (2 сверточных слоя и 5 полносвязных) на большой карте: только демонстрирует сходимость процесса обучения.



Применение для решения интеллектуальных задач

- Моделирование внимания.
- Образование нового знания (концепта).
- Планирование поведения.
- Построение картины мира субъекта на основе текстов.
- Генерация сообщений на основе картин мира определенного типа (виртуальные ассистенты).
- Построение многоуровневых архитектур управления.



Emel'yanov, S., D. Makarov, A. I. Panov, and K. Yakovlev. "Multilayer cognitive architecture for UAV control". *Cognitive Systems Research*. 2016.

Макаров, Д. А., А. И. Панов и К. С. Яковлев. «Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2015.

Зубарев, Д. В., Д. А. Макаров, А. И. Панов и К. С. Яковлев. «Принципы построения многоуровневых архитектур систем управления беспилотными летательными аппаратами». *Авиакосмическое приборостроение*. 2013.

План работ на 2018 г.

- Исследование процессов оценки и контроля действий в семиотической базе знаний, разработка методов и алгоритмов интеграции извлеченных причинно-следственных связей во внутреннюю процедурную компоненту знака для использования в алгоритмах планирования поведения в коалиции.
- Обобщение результатов исследования, разработка программной реализации предложенных алгоритмов, проведение модельных экспериментов.

Спасибо за внимание!

aapanov@hse.ru

<https://github.com/cog-isa/map-planner.git>