

Методы стратегического управления робототехнической системы в составе коалиции

Александр Панов

Лаборатория динамических интеллектуальных систем
Институт системного анализа
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук

7 декабря

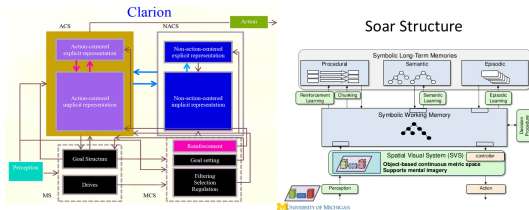
Семинар «Интеллектуальные системы управления роботом»



Федеральный исследовательский центр
**Информатика
и Управление**
Российской академии наук



Когнитивные архитектуры



Недостатки современных когнитивных архитектур:

- Концептуальная нерешенность проблемы привязки символов (symbol grounding problem) - CLARION
- Отсутствие деятельностной модели поведения системы - реализация только некоторых когнитивных аспектов
- Иерархичность представления знаний (4D/RCS)
- Возможность реализации иерархического планирования
- Реализация обучения концептуальным знаниям - Cognitive Mario
- Моделирование рефлексивного поведения

Besold, Tarek R. and Kai Uwe Kuhnberger. "Towards integrated neural-symbolic systems for human-level AI: Two research programs helping to bridge the gaps". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2015.

Sun, Ron. "Autonomous generation of symbolic representations through subsymbolic activities". *Philosophical Psychology*. 2013.

Картина мира субъекта деятельности

Картина мира субъекта деятельности - это представления субъекта о внешней среде, о своих собственных характеристиках, целях, мотивах, о других субъектах и операции (произвольные и произвольные), осуществляемые на основе этих представлений.

Картина мира субъекта деятельности

Картина мира субъекта деятельности - это представления субъекта о внешней среде, о своих собственных характеристиках, целях, мотивах, о других субъектах и операции (произвольные и произвольные), осуществляемые на основе этих представлений.

Элементом картины мира является знак:

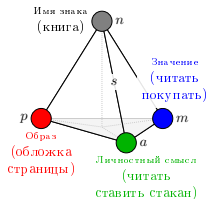
- в смысле культурно-исторического подхода Выготского-Лурии,
- выполняющий функции в соответствии с теорией деятельности Леонтьева.

Картина мира субъекта деятельности

Картина мира субъекта деятельности - это представления субъекта о внешней среде, о своих собственных характеристиках, целях, мотивах, о других субъектах и операции (произвольные и непроизвольные), осуществляемые на основе этих представлений.

Элементом картины мира является знак:

- в смысле культурно-исторического подхода Выготского-Лурии,
- выполняющий функции в соответствии с теорией деятельности Леонтьева.

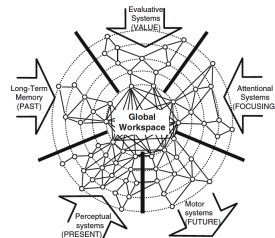
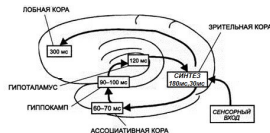
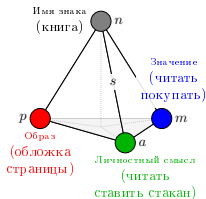


Картина мира субъекта деятельности

Картина мира субъекта деятельности - это представления субъекта о внешней среде, о своих собственных характеристиках, целях, мотивах, о других субъектах и операции (произвольные и непроизвольные), осуществляемые на основе этих представлений.

Элементом картины мира является знак:

- в смысле культурно-исторического подхода Выготского-Лурии,
- выполняющий функции в соответствии с теорией деятельности Леонтьева.



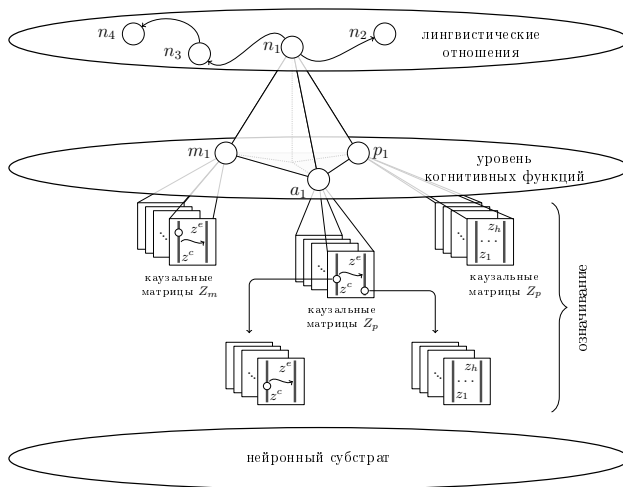
В пользу существования такой структуры свидетельствуют:

- нейрофизиологические данные (Эдельман, Иваницкий, Маунткастл и др.),
- другие психологические теории (например, трехкомпонентная модель Станович).

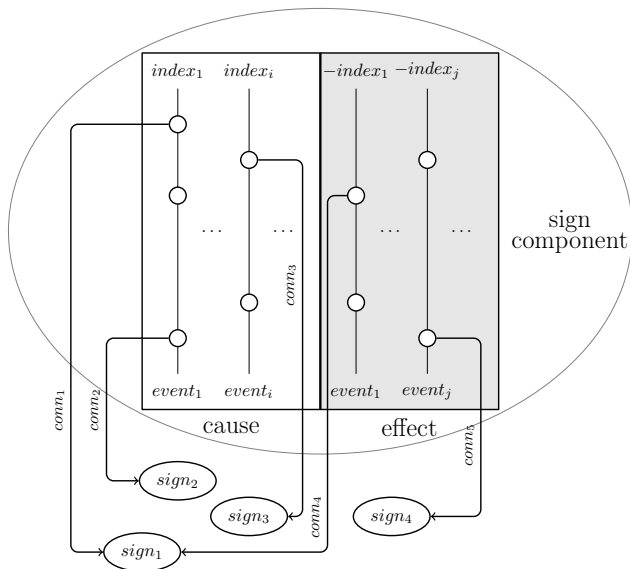
Осипов, Г. С., А. И. Панов и Н. В. Чудова. «Управление поведением как функция сознания. II. Синтез плана поведения». *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2015.

— «Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание». *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2014.

Уровни представления



Каузальная матрица

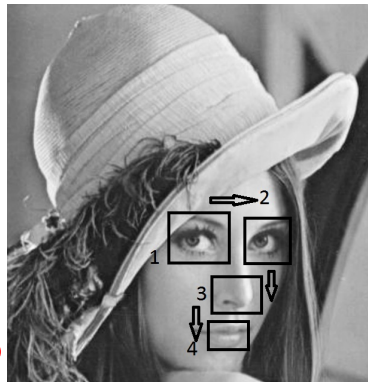
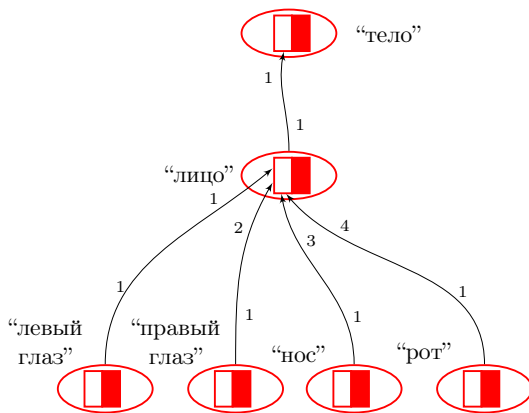


Каузальная сеть на образах

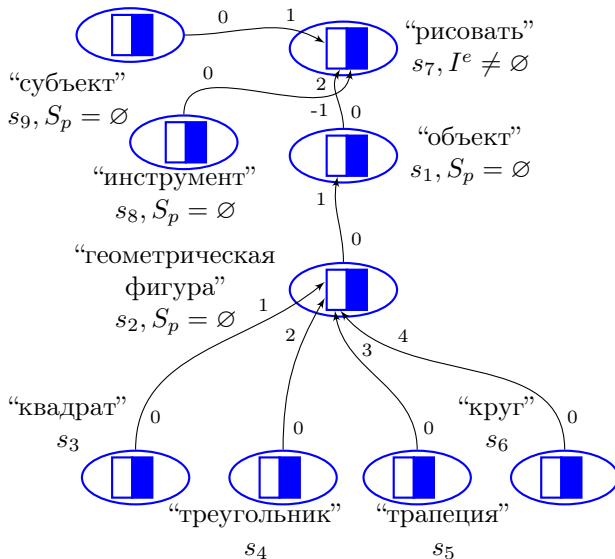
Каузальная сеть на множестве образов знаков $W_p = \langle V_p, E_p \rangle$ - помеченный ориентированный граф, в котором

- каждому узлу $v \in V_p$ ставится в соответствие кортеж казуальных 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*).

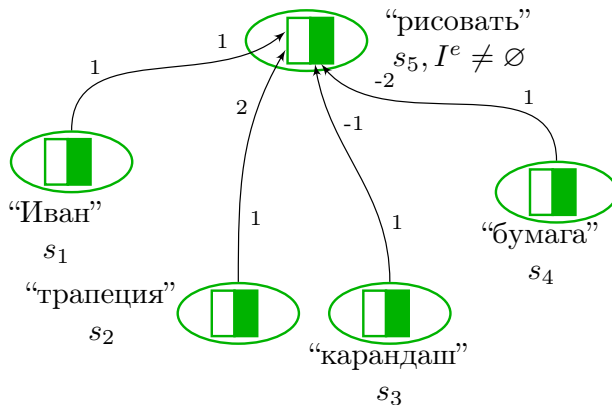
Каузальная сеть на образах: пример



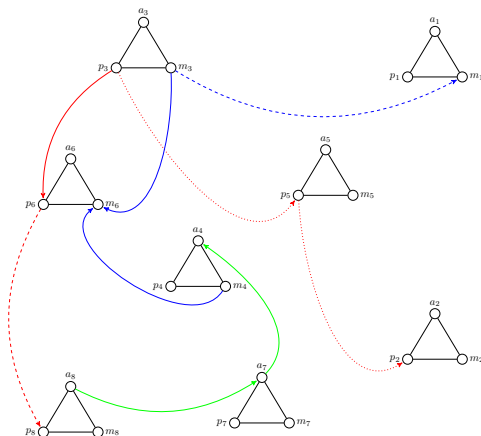
Каузальная сеть на значениях: пример



Каузальная сеть на личностных смыслах: пример



Картина мира субъекта деятельности



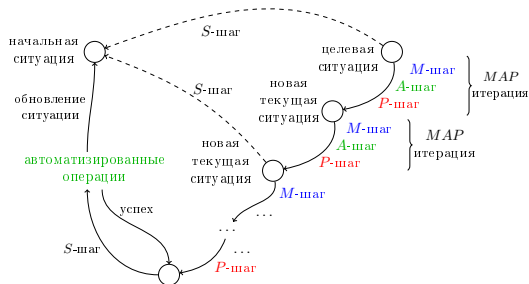
Семиотическая сеть - пятьерка

$\Omega = \langle W_p, W_m, W_a, R_n, \Theta \rangle$, 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.

Алгоритм планирования поведения



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

MAP-итерация:

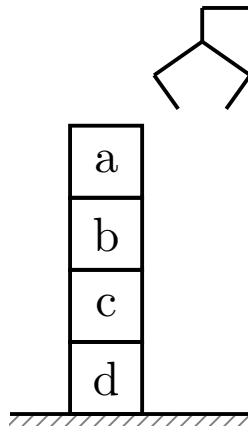
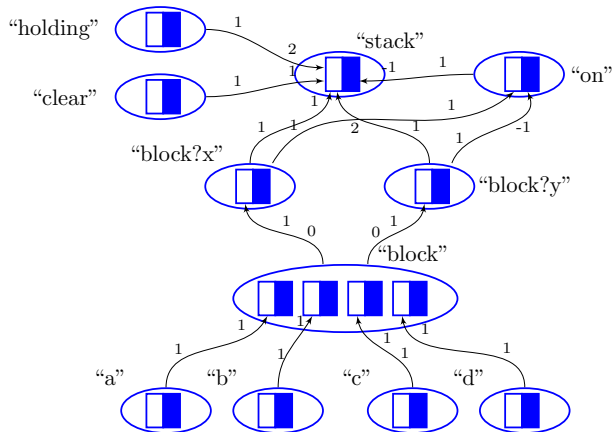
- *S-step* – поиск прецедентов выполнения действия в текущих условиях,
- *M-step* – поиск применимых действий на сети значений,
- *A-step* – генерация личностных смыслов, соответствующих найденным значениям,
- *P-step* – построение новой текущей ситуации по множеству признаков условий найденных действий.

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.

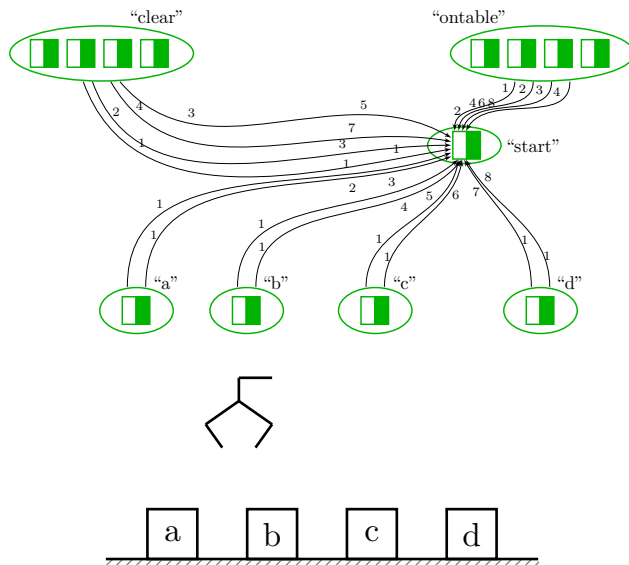
Panov, Aleksandr I. and Konstantin S. Yakovlev. "Psychologically inspired planning method for smart relocation task". *Procedia Computer Science*. 2016.

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

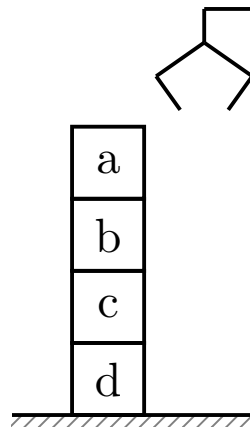
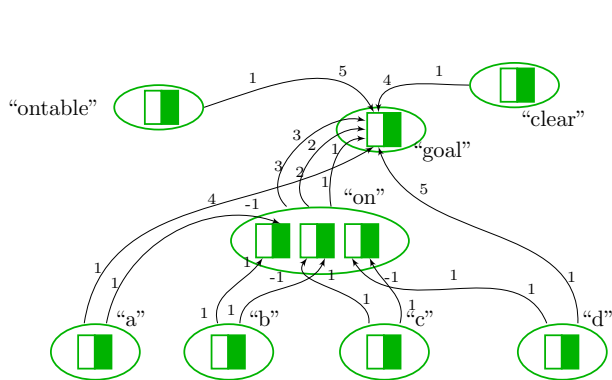
Пример: фрагмент сети на значениях



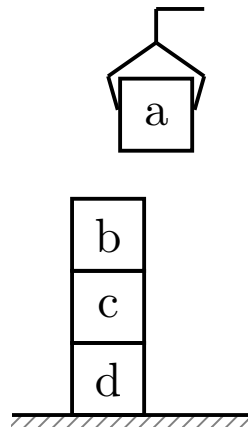
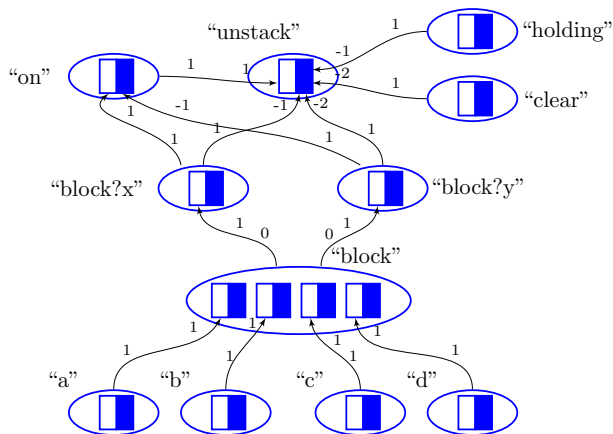
Пример: сеть на смыслах - начальная ситуация



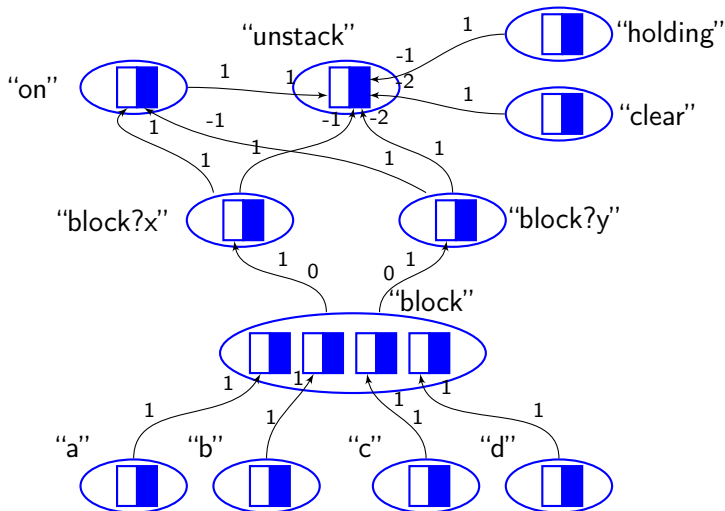
Пример: сеть на смыслах - целевая ситуация



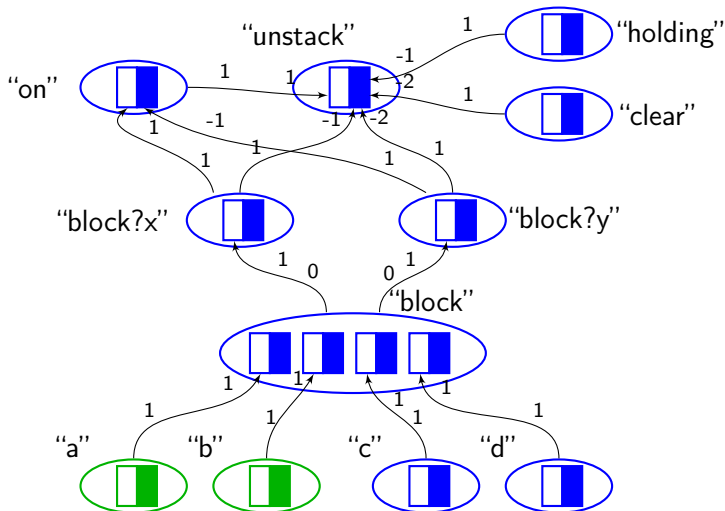
Пример: фрагмент сети на значениях



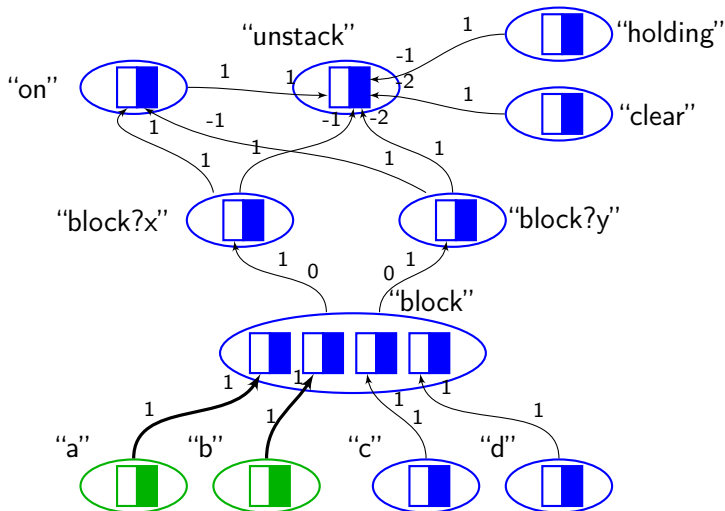
Пример: генерация личностного смысла



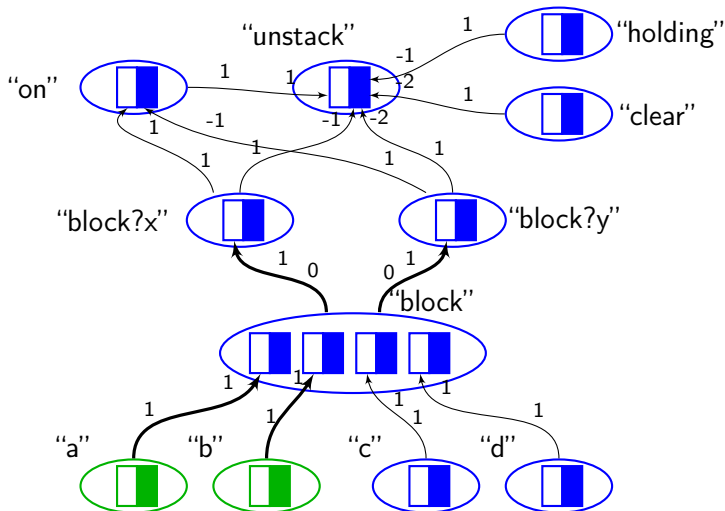
Пример: генерация личностного смысла



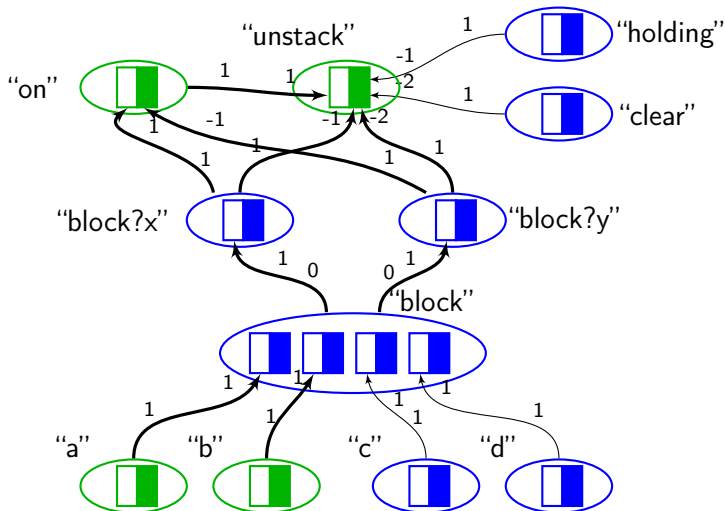
Пример: генерация личностного смысла



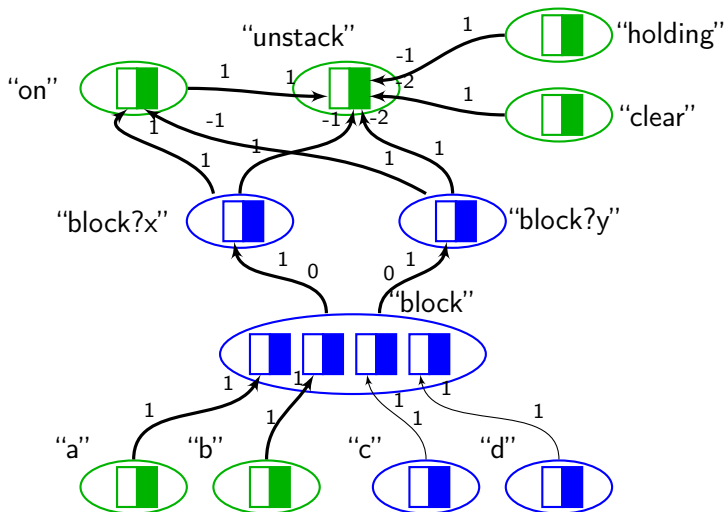
Пример: генерация личностного смысла



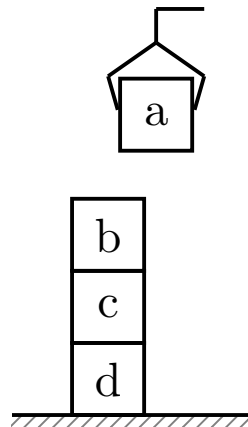
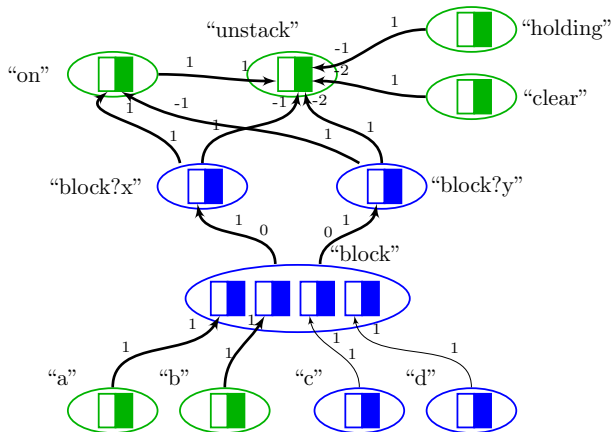
Пример: генерация личностного смысла



Пример: генерация личностного смысла

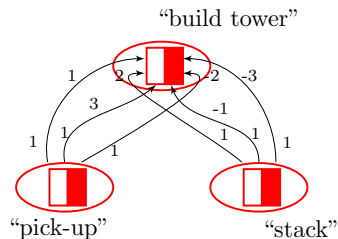
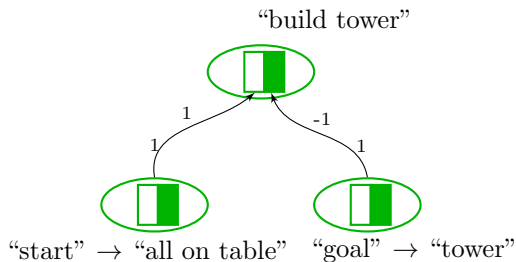


Пример: текущая ситуация



Обучение в процессе планирования

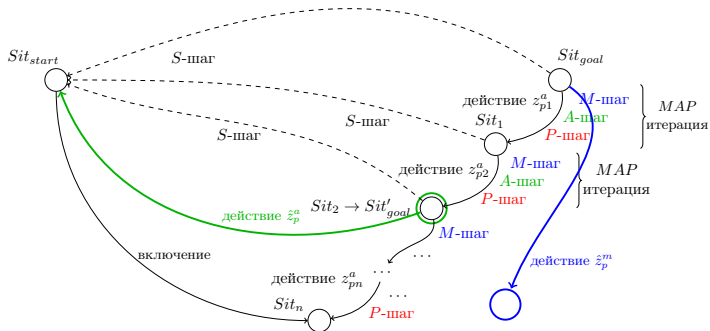
Образование нового правила и сохранение ситуаций - образование новых каузальных матриц



Реализация на реальном роботе



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.

Особенности постановки задачи

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

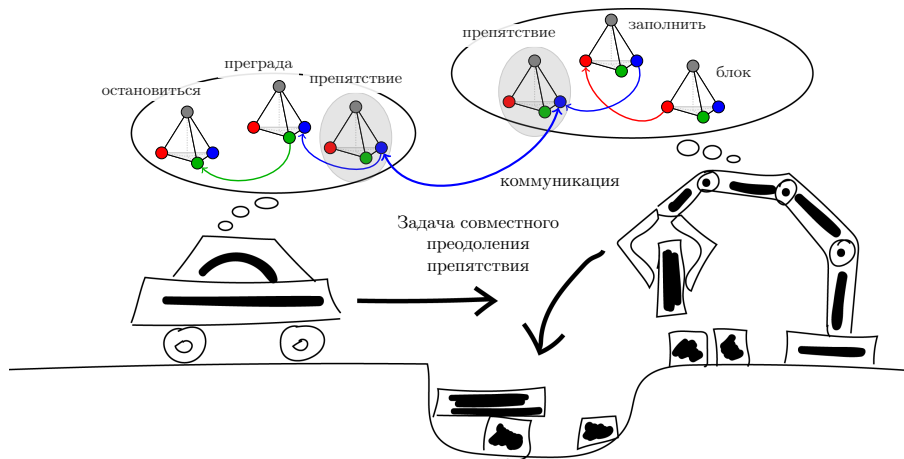
- агенты решают общую задачу (имеют общую цель высшего уровня),
- агенты действуют независимо друг от друга (децентрализованное управление), в т.ч. могут ставить индивидуальные подцели и достигать их,
- агенты обладают различными характеристиками, как техническими, так и когнитивными, т.е. разными стратегиями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

Требования к представлению знаний

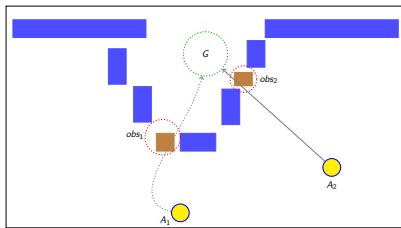
На представление пространственных и временных знаний в задаче согласованного перемещения с такими особенностями налагается ряд ограничений:

- 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 символьным коммуницируемым представлением (symbol grounding problem),
- поддержка механизмов пополнения картины мира (обучение и абстрагирование).

Практические задачи



Задача интеллектуального перемещения



Задача

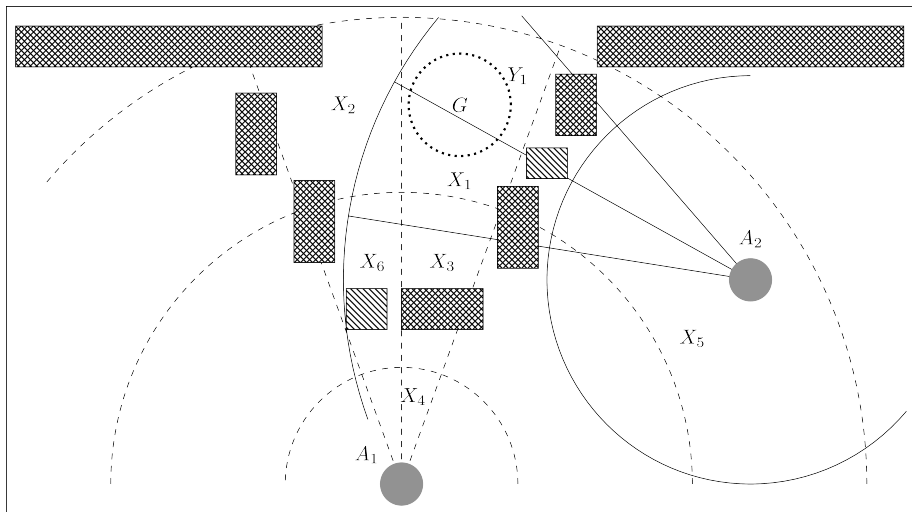
Целевая область не достижима некоторым агентом самостоятельно (с использованием только методов планирования траектории).

Решение

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

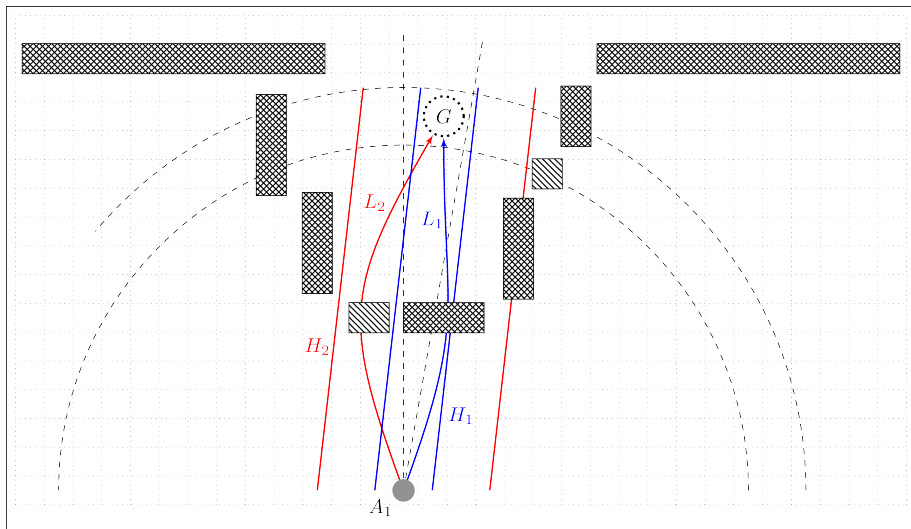
Особенности:

- 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).



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.

Представление действий по перемещению

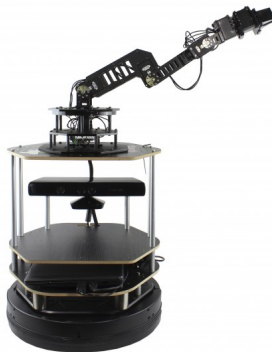
Действия по перемещению — знаки s_t (признаки f_t , t — тип перемещения), которым соответствуют каузальные матрицы типа Z_t , состоящие из трёх столбцов

$$z_1 = (l_x, l), z_2 = (l_y, d_u, E), z_3 = (l_y, l, t_v),$$

где

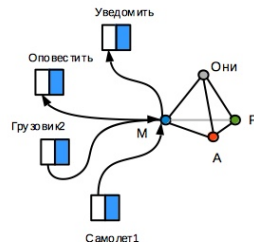
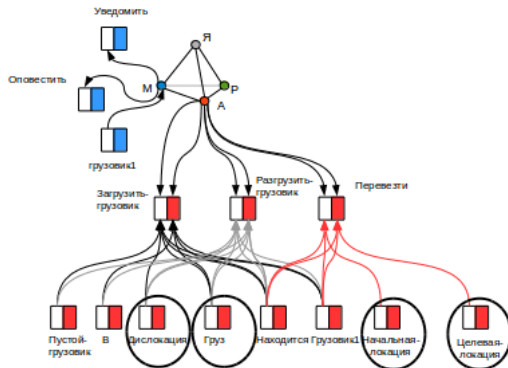
- l_x, l_y — признаки, соответствующие категории расстояния в пространственной логике (например, вплотную, близко, далеко и др.),
- d_u — признак, соответствующий категории направления в пространственной логике (например, впереди, слева и др.),
- t_v — признак, соответствующий категории времени во временной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

Реализация в симуляционной среде



Распределение ролей при решении задачи

Знаки Я и Они в алгоритме планирования MAP



Составление плана вида $P(A_k) = \langle a_1(A_{i1}), a_2(A_{i2}), \dots \rangle$.

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.

Коллективное планирование

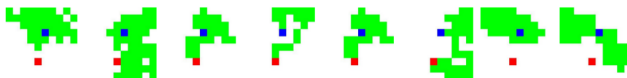
Особенности алгоритма коллективного планирования:

- этап означивания,
- этап индивидуального планирования,
- этап согласования планов и
- этап сохранения опыта.

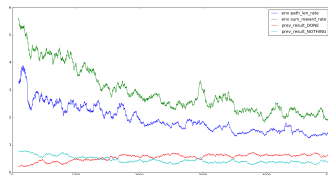
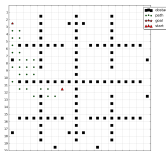
Экспериментальное исследование:

- три агента планирования, каждый из которых может взаимодействовать с двумя видами блоков, всего используется три вида блоков, в количестве двух блоков каждого вида;
- использование опыта построения планов агентами из эксперимента 1 при повторном решении задачи эксперимента 1;
- задача эксперимента 1 расширяется с помощью добавления двух больших блоков в вершину башни;
- задача перемещения двумя грузовиками разной грузоподъемности четырёх различных грузов в аэропорт.

Формирование элементов картины мира



- Формирование новых каузальных матриц по данным с сенсоров - модель обучения с подкреплением (агент - среда).
- 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.



Список публикаций

- Panov, Aleksandr I. "Behavior Planning of Intelligent Agent with Sign World Model". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2017.
- Emel'yanov, S., D. Makarov, A. I. Panov, and K. Yakovlev. "Multilayer cognitive architecture for UAV control". *Cognitive Systems Research*. 2016.
- Osipov, G. S. "Sign-based representation and word model of actor". *2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS)*. 2016.
- 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.
- 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.
- Osipov, Gennady S. "Signs-Based vs. Symbolic Models". *Advances in Artificial Intelligence and Soft Computing*. 2015.
- Макаров, Д. А., А. И. Панов и К. С. Яковлев. «Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2015.
- Осипов, Г. С., А. И. Панов и Н. В. Чудова. «Управление поведением как функция сознания. II. Синтез плана поведения». *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2015.
- Панов, А. И. «Представление знаний автономных агентов, планирующих согласованные перемещения». *Робототехника и техническая кибернетика*. 2015.
- Осипов, Г. С., А. И. Панов и Н. В. Чудова. «Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание». *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2014.
- Панов, А. И. «Алгебраические свойства операторов распознавания в моделях зрительного восприятия». *Машинное обучение и анализ данных*. 2014.

Спасибо за внимание!

pan@isa.ru

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