

Коалиционные и колаборативные задачи в робототехнике и методы их решения

Осипов Геннадий Семенович
д.ф.-м.н., зам. директора
Александр Игоревич Панов
к.ф.-м.н., с.н.с.

Отдел «Интеллектуальные динамические системы и когнитивные исследования»
Институт системного анализа
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук

29 мая 2018

Интеллектуальные системы, управление и мехатроника — 2018

- 1 О докладчиках
- 2 Коллективное поведение
- 3 Реактивный уровень
- 4 Тактический уровень
- 5 Стратегический уровень
- 6 Заключение

ФИЦ ИУ РАН



Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук — ведущая организация Российской Федерации, специализирующаяся на научных исследованиях в области компьютерных наук и управления.

Структурные подразделения:

- Институт проблем информатики РАН (большие данные, информационная безопасность).
- Вычислительный центр РАН (машинное обучение, математическое моделирование).
- Институт системного анализа РАН (искусственный интеллект, системный анализ).

Базовые кафедры:

- ФУПМ МФТИ («Системные исследования» и «Интеллектуальные системы»).
- ВМК МГУ («Информационной безопасности»).
- МГТУ, МИРЭА, МАИ.

Отдел «Искусственный интеллект и принятие решений»

Основные направления исследований:

- Искусственный интеллект.
- Информационный поиск и анализ текстов (компьютерная лингвистика, психолингвистика, текстовая аналитика).
- Системы принятия решений (мультиможножества).
- Медицинские экспертные системы.
- Робототехнические системы (управление, обучение, планирование).
- Компьютерное когнитивные моделирование (модели когнитивных функций, многоагентные системы).



Осипов Геннадий Семенович,
зам. дир. ФИЦ ИУ РАН, проф.,
д.ф.-м.н., президент Российской
ассоциации искусственного
интеллекта (РААИ)



45 научных сотрудников и инженеров, 4 доктора наук,
16 кандидатов наук.

Группа управления робототехническими системами

- Осипов Геннадий Семенович,
д.ф.-м.н.,
- Яковлев Константин Сергеевич,
к.ф.-м.н.,
- Макаров Дмитрий Александрович,
к.ф.-м.н.,
- Панов Александр Игоревич,
к.ф.-м.н.,
- Даник Юлия, асп. ИСА РАН,
- Киселев Глеб, асп. ИСА РАН,
- Боковой Андрей, асп. РУДН,
- Скрыник Алексей, асп. ИСА РАН,
- Ковалев Алексей, асп. ВШЭ,
- Андрейчук Антон, асп. ВШЭ,
- студенты SLabAI.

Основные направления исследований:

- Интеллектуальное управление.
- Методы картирования и локализации.
- Планирование траекторий.
- Машинное обучение.
- Моделирование картины мира человека.
- Планирование поведения и целеполагание.
- Групповое и коалиционное поведение, распределение ролей.

Кратко о себе

Панов Александр Игоревич, к. ф.-м. н.

- Выпускник НГУ и МФТИ.
- Старший научный сотрудник отдела «Интеллектуальные динамические системы и когнитивные исследования» ФИЦ ИУ РАН.
- Научный сотрудник и доцент ФКН ВШЭ.
- Доцент кафедры системных исследований Московского физико-технического института (МФТИ).
- Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (РААИ).
- Член Сообщества биологически инспирированных когнитивных архитектур (BICA Society).
- Участие в организации международных школ и конференций по биологически инспирированным когнитивным архитектурам (BICA-2016 — Нью-Йорк, BICA-2017 — Москва, Fierces on BICA), школы молодых ученых по ИИ (ISyT-2017, Санкт-Петербург), национальной конференции по ИИ (КИИ-2018, RCAI-2018).
- Член редколлегии журнала Biologically Inspired Cognitive Architectures.
- Руководитель проектов РФФИ мол_а, мол_а_дк, офи_м.
- Лауреат медали РАН для молодых ученых за 2017 год.
- Ментор студенческой лаборатории по ИИ (SLabAI).

Особенности постановки задачи

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

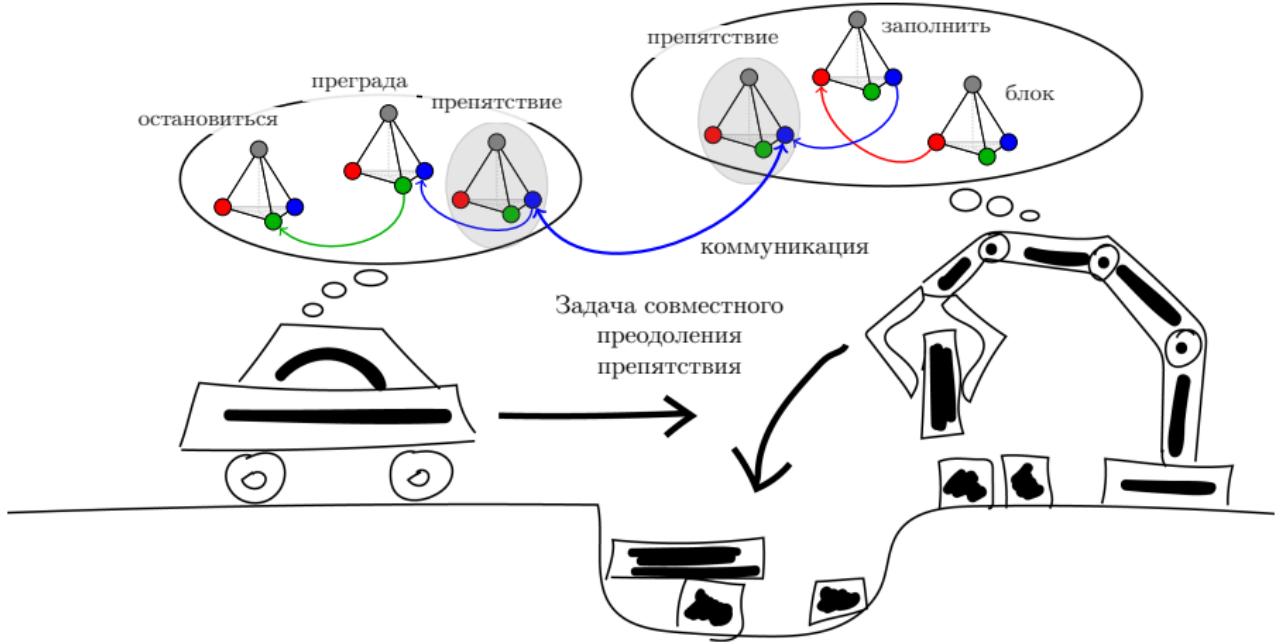
- агенты решают общую задачу (имеют общую цель высшего уровня),
- агенты действуют независимо друг от друга (децентрализованное управление), в т.ч. могут ставить индивидуальные подцели и достигать их,
- агенты обладают различными характеристиками, как техническими, так и когнитивными, т.е. разными стратегиями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

Требования к представлению знаний

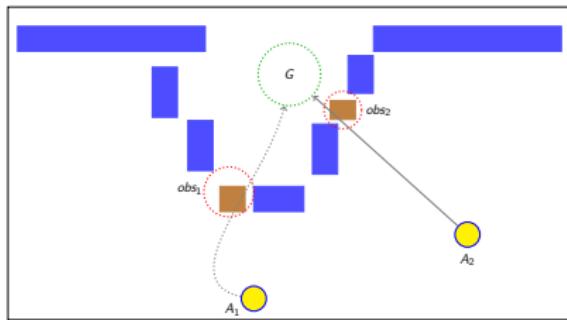
На представление пространственных и временных знаний в задаче согласованного перемещения с такими особенностями налагается ряд ограничений:

- 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 знаний о среде, о себе и о других участниках коалиции (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:

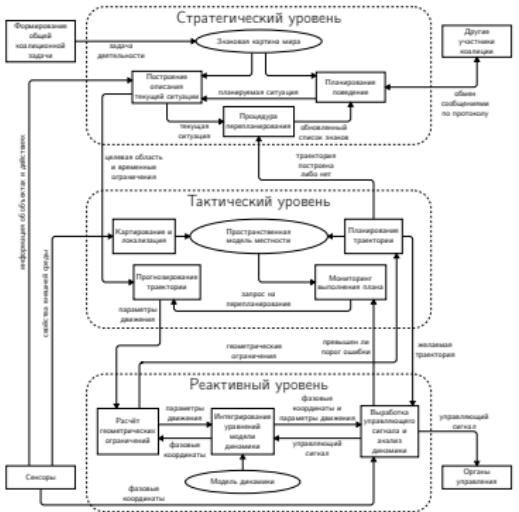
- Меняющаяся внешняя среда.
- Различные типы препятствий (некоторые могут быть разрушены).
- Агенты обладают различной функциональностью.
- Общая пространственная цель (ВСЕ агенты должны достичь определенной области на карте).

Распределение ролей при решении задачи

Декомпозиция задачи

Декомпозиция исходной задачи управления коалицией на ряд взаимосвязанных подзадач, каждая из которых решается с привлечением своих способов представления информации, методов и алгоритмов.

- Приобретение концептуальных знаний и планирование действий.
- Локализация, картирование (построение модели местности) и планирование траектории.
- Выработка управляющего сигнала в виде обратной связи, определение геометрических ограничений на траекторию.

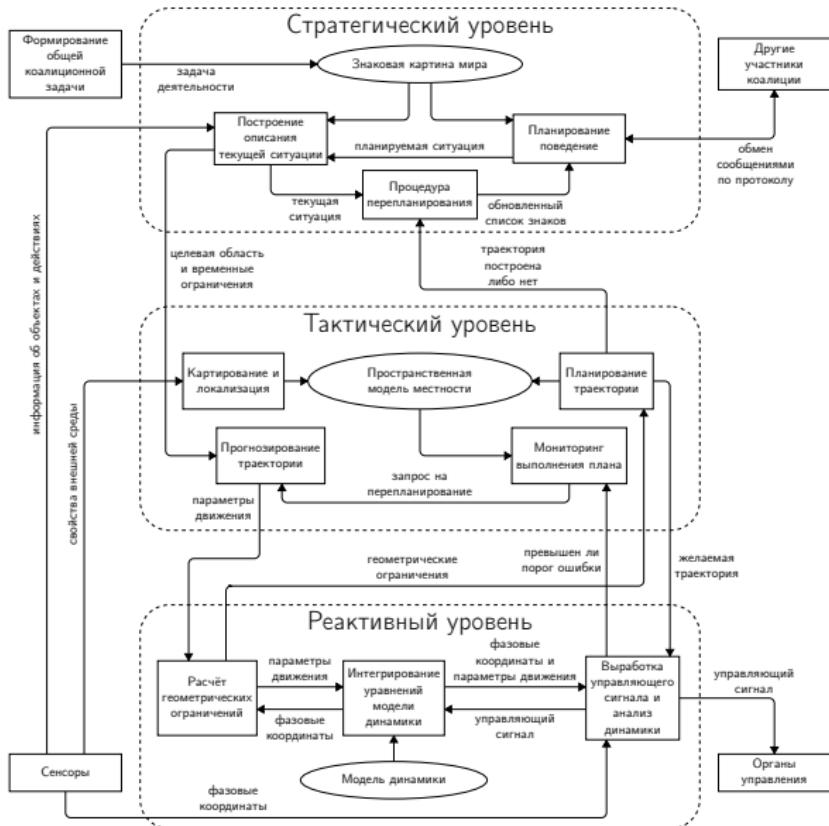


Emel'yanov, S., D. Makarov, A. I. Panov, and K. Yakovlev. "Multilayer cognitive architecture for UAV control". *Cognitive Systems Research*. 2016.

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.

Архитектура STRL



Реактивный уровень: постановка

Конструируются регуляторы для слабо нелинейных систем на основе техники SDRE, т.е. предварительно системы представляются в псевдолинейной форме и регуляторы строятся по алгоритму Калмана-Летова

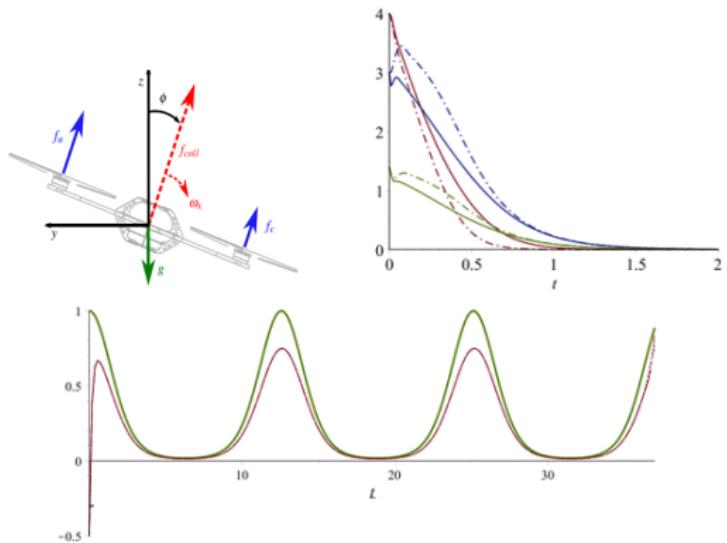
$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= A(x, \varepsilon)x + B(x, \varepsilon)u = (A_0 + \varepsilon A_1(x))x + (B_0 + \varepsilon B_1(x))u, \\ x(0) &= x^0 \\ I(u) &= \frac{1}{2} \int_0^\infty (x^T Q(x, \varepsilon)x + u^T R u) dt \rightarrow \min_u, \\ u(x) &= -R^{-1} B^T(x, \varepsilon) P(x, \varepsilon) x, \\ PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q &= 0. \end{aligned}$$

Dmitriev, M. G. and D. A. Makarov. "The stabilizing composite control in a weakly nonlinear singularly perturbed control system". *21st International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC 2017)*. 2017.

Емельянов, С. В., Ю. Э. Даник, М. Г. Дмитриев и Д. А. Макаров. «Стабилизация нелинейных дискретных динамических систем с параметром и с коэффициентами, зависящими от состояния». *Доклады Академии наук*. 2016.

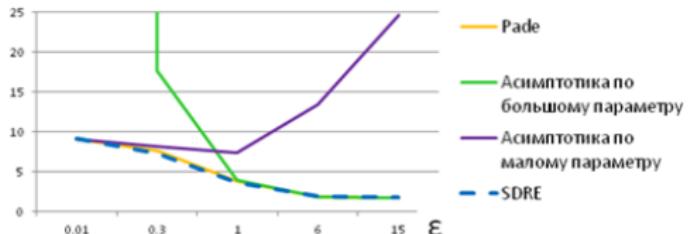
Реактивный уровень: задачи

Стабилизация
квадрокоптера



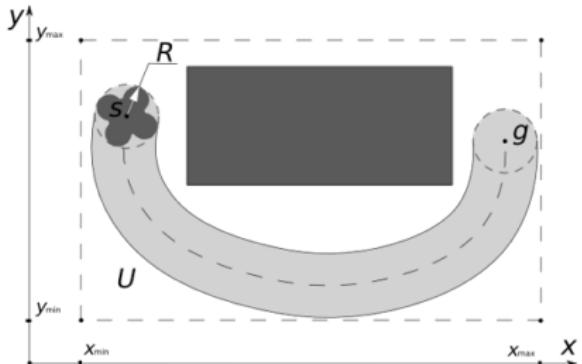
Задача слежения для
квадрокоптера

Паде-регулятор



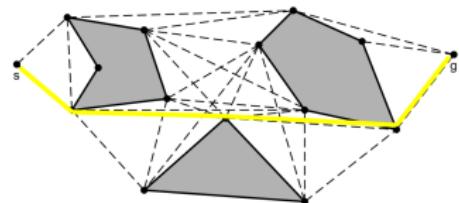
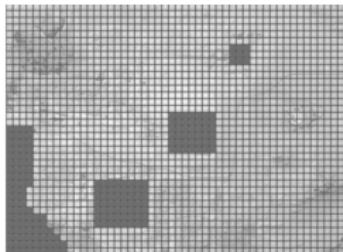
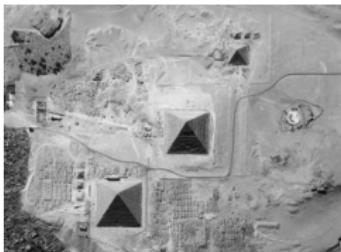
Тактический уровень: планирование траекторий

- 1 Агент(ы) моделируется открытым диском радиуса r .
- 2 Агент(ы) перемещается с учетом кинематических ограничений на возможные направления движения.
- 3 Агент(ы) движется с постоянной скоростью v , может мгновенно останавливаться и набирать эту скорость (инерционные эффекты не учитываются).
- 4 Окружающая среда полностью наблюдаема, содержит статические препятствия, динамическими препятствиями являются другие агенты и их траектории известны.
- 5 Рабочая область (workspace) U - прямоугольник, состоящий из Free Space (проходимого пространства) и Obstacles (статических препятствий).
- 6 Состояние – точка на плоскости: $pos = (x, y)$, начальное и целевое состояние, s и g , фиксированы.
- 7 Задана функция $los : U \times U \rightarrow \{true, false\}$, определяющая допустимость перехода агента из одного состояния в другое. $los(pos_i, pos_j) = true$ iff $seg(pos_i, pos_j) \cap Obstacles = \emptyset$, где $seg(pos_1, pos_2)$ - отрезок прямой соединяющий pos_1 и pos_2 .



- 1 Пусть $\pi(s, g) = (pos_1, pos_2, \dots, pos_m) : los(pos_i, pos_{i+1}) = true \forall i \in [1, m - 1], pos_1 = s, pos_m = g$.
- 2 Траектория $tr(s, g) = [\pi(s, g), wait(m)]$, где $wait(s, g) = [wait_1, wait_2, \dots, wait_m]$ - множество временных задержек, $wait_1 \geq 0$.
- 3 Задача
 Дано: $U, los, tr_1, \dots, tr_k, s, g$.
 Найти: $tr(s, g)$ такую, что при движении вдоль этой траектории агент избегает столкновений со статическими и динамическими препятствиями.
 Критерий качества: время следования по траектории.

Тактический уровень: графовая модель



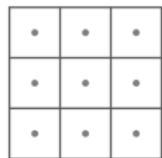
Планирование как поиск пути на графике особого вида

- Вершины → положения агента в пространстве.
- Ребра → элементарные траектории (отрезки).
- Веса ребер → длины соответствующих элементов траекторий.
- Путь на графике → траектория.

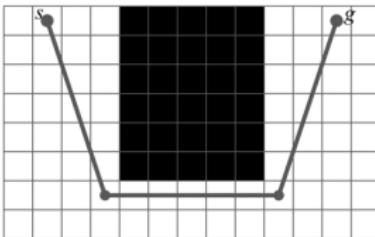
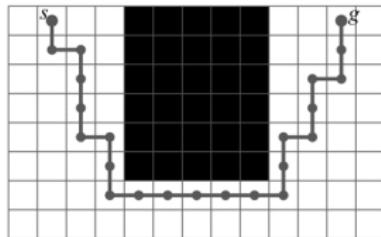
Необходимо

- Построить график.
- Найти путь и рассчитать необходимые задержки при следовании по этому пути.

- Агент(ы): открытый диск радиусом r .
- Размер клетки: $2r$.
- Положения агента(ов) - центры клеток.



Тактический уровень: алгоритм SIPP+Wait



Традиционный подход:

Агент может перемещаться только в 4 (или 8) смежные вершины.

Рассматриваемый подход:

Агент может двигаться вдоль отрезка, который соединяет центры любых двух вершин (не обязательно смежных).

Идея:

- Построить путь, т.е. пространственную компоненту траектории.
- Используя понятие безопасного интервала, определить необходимые задержки в каждой узловой точке.

Основное предполагаемое преимущество

Высокая скорость работы

Основной предполагаемый недостаток

Недостаточное высокое качество решения

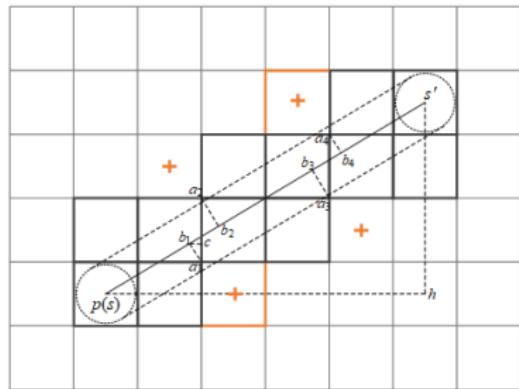
Тактический уровень: детали алгоритма

- Для проверки допустимости движения, необходимо найти все клетки, задеваемые агентом в процессе движения, и проверить их на проходимость.
- Если хотя бы одна из клеток непроходима - движение недопустимо.
- Конфликт между агентом и динамическим препятствием существует, если:

$$|(pos + vt) - (pos' + v't)| = r_{rob} + r_{obs},$$

т.е. существует момент времени, когда расстояние между агентом и динамическим препятствием меньше, чем сумма их радиусов.

- Определив существование конфликта, добавляем задержку и повторяем проверку.



Алгоритм By

+

Дополнительные проверки

=

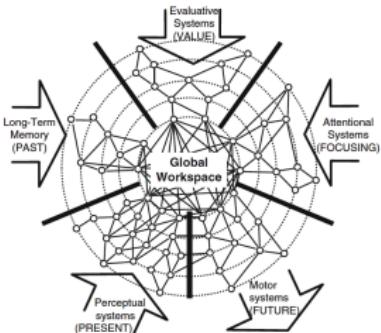
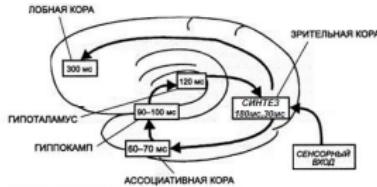
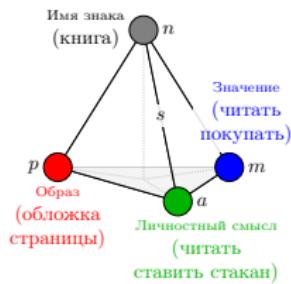
Алгоритм By+, который определяет все клетки, которые задевает агент.

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.



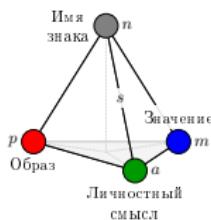
В пользу существования такой структуры свидетельствуют:

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

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.

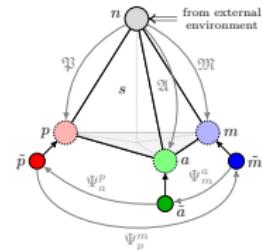
— . «Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание». *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2014.

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).

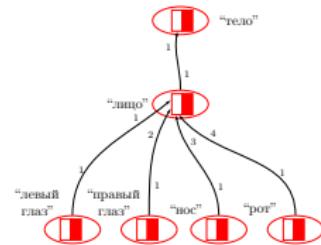
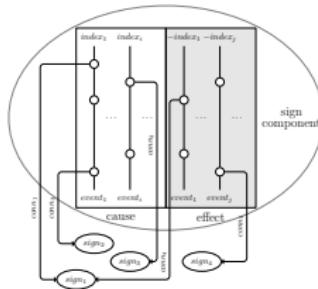


Процесс обучения — образование новых знаков как неподвижной точки операторов замыкания

$$\Psi_p^m \Psi_m^a \Psi_a^p.$$

Реализация когнитивных функций — **актуализация** (активация) имеющихся знаков и формирование новых «сituационных» знаков — «протознаков» без конвенционального имени.

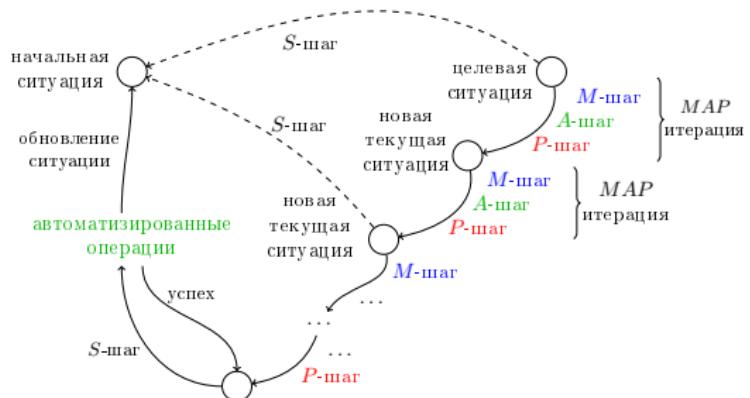
Каузальные матрицы и сети



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).

Планирование поведения



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.

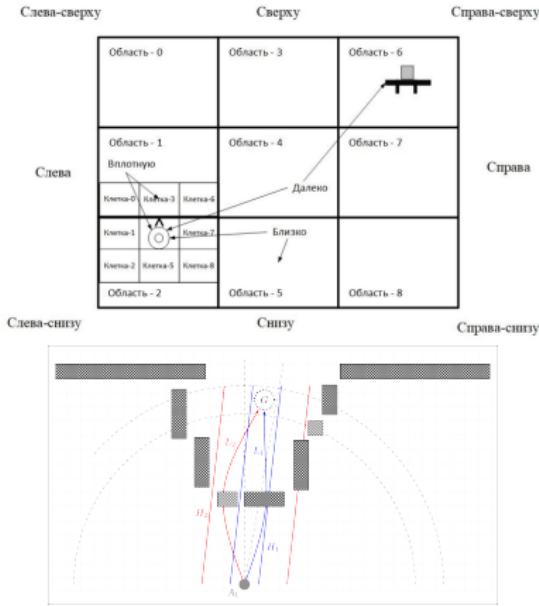
Panov, Aleksandr I. "Behavior Planning of Intelligent Agent with Sign World Model". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2017.

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.

Представление пространственных знаний



- Пространственная ситуация планирования описывается с использованием знакового представления (знаки областей, фокуса внимания, расстояний и направлений).
- Для задания пространственных отношений используется псевдофизическая пространственная логика Поспелова.
- Шаги планирования могут быть дополнены этапами рассуждений для пополнения текущей ситуации планирования.
- Элементарными операциями при выполнении плана являются функции планирования траектории.

Киселев, Г. А. и А. И. Панов. «Знаковый подход к задаче распределения ролей в коалиции когнитивных агентов». *Труды СПИИРАН*. 2018.

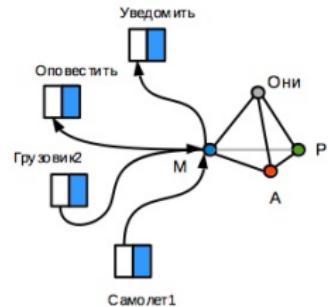
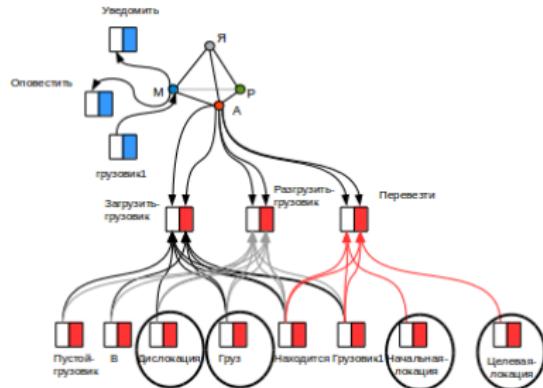
Панов, А. И. и К. С. Яковлев. «Взаимодействие стратегического и тактического планирования поведения коалиций агентов в динамической среде». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016.

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

Панов (ФИЦ ИУ РАН)

Коалиционные задачи

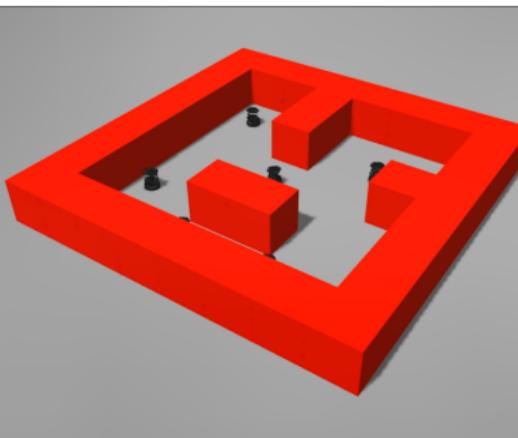
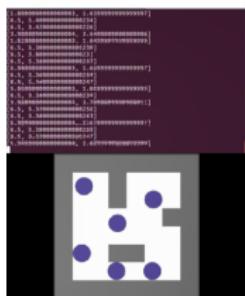
Знаки Я и Они в алгоритме планирования МАР



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.

Реализация на реальных роботах и моделях

6 turtle_bots
8x8m workspace
Any-angle moves allowed
Multi-agent pathfinding with
AA-SIPP(m)



Список публикаций

- Panov, Aleksandr I. "Behavior Planning of Intelligent Agent with Sign World Model". *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2017.
- Осипов, Г. С. и А. И. Панов. «Отношения и операции в знаковой картине мира субъекта поведения». *Искусственный интеллект и принятие решений*. 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.
- 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.

Направления исследований и будущие работы

- Реализация элементов логического вывода в знаковой картине мира.
- Развитие кортикоморфных алгоритмов обучения.
- Разработка иерархических методов обучения с подкреплением и интеграция их в алгоритмы семейства MAP.
- Моделирование рефлексивного поведения, например, добавление этапа выбора эвристики при планирования поведения (reflectiveMAP).
- Интеграция этапа выполнения в общий цикл планирования и уточнение этапа перепланирования.
- Подробная разработка алгоритмов коммуникации и согласования знаний.

Приглашаем студентов и аспирантов для участия в научной работе по направлениям работы отдела:

- курсовая и проектная работа в базовой кафедре МФТИ,
- аспирантура в ФИЦ ИУ РАН,
- стажировки (в т.ч. и оплачиваемые) в SLabAI.

Анонсы

- XVI Национальная конференция по искусственному интеллекту (КИИ-2018) — крупнейшее академическое мероприятие в области ИИ в России (24-27 сентября, подача - 14 апреля).



 КИИ-2018

НАЦИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ

[ГЛАВНАЯ](#)

[ОРГАНIZATORЫ](#)

[ПОДАЧА СТАТЕЙ](#)

[МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ](#)

[ФЕН](#)

[Q](#)

- Пятая всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием «Информатика, Управление и Системный Анализ» (ИУСА-2018) (6-8 июня).



 ИУСА-2018

ИНФОРМАТИКА, УПРАВЛЕНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Панов (ФИЦ ИУ РАН)

[О КОНФЕРЕНЦИИ](#)

[ОРГАНIZATORЫ](#)

[ЛЕКТОРЫ](#)

[ПОДАЧА СТАТЕЙ](#)

[ОСНОВНЫЕ ДАТЫ](#)

[ФЕН](#)

[Q](#)

Коалиционные задачи

29 мая — ИСУМ-2018

29

Спасибо за внимание!

Дополнительно лекции на Постнауке
(<https://postnauka.ru/author/panov>):

Когнитивная робототехника — <https://postnauka.ru/video/77709>

Компьютерное когнитивное моделирование — <https://postnauka.ru/video/79133>

Идеи нейрофизиологии в ИИ — <https://postnauka.ru/video/81699>

pan@isa.ru

Репозиторий — <https://github.com/cog-isa>

Канал Youtube —

<https://www.youtube.com/channel/UChkz6VVLv9KJJg9XTcROCLQ>