


Ордена Ленина и ордена Октябрьской революции
НИЦ «Курчатовский институт»

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Карпов Валерий Эдуардович

Модель мира анимата, способного к планированию поведения

karpov-ve@yandex.com

Робот-партнер

Совместное решение опасных или критически значимых для человека задач (патрулирование, охрана, разведка, …).



Особенности: сложные, недетерминированные, слабоформализуемые среды и задачи.

Требования к роботу-партнеру:

1. Автономность
2. Развитое рефлекторное поведение на эмоционально-потребностном уровне (безопасность, самосохранение).
3. Интеллектуальность (анализ ситуации и принятие решений)
4. **Доверие, в т.ч. - «моральность» поведения (психологические ожидания оператора).**

⇒А. Поведение робота должно быть сродни поведению животного.

⇒Б. Поведение робота направлено на удовлетворение его потребностей.

⇒ Роль оператора – **манипулировать** поведением робота для выполнения прикладных задач (роль вида "свой-чужой", формирование условия среды и т.д.).

- ЛР НИЦ "Курчатовский институт": техническая реализация
- УрФУ: поведение и мораль

Робот должен: Оценить ситуацию, прийти на помощь, невзирая на… Реагировать на состояние «проводника». Проявлять агрессию к чужим и слушаться «своих».

Трёхуровневая архитектура робота-партнёра

Оценочные механизмы или правила в форме заложенного этического учения

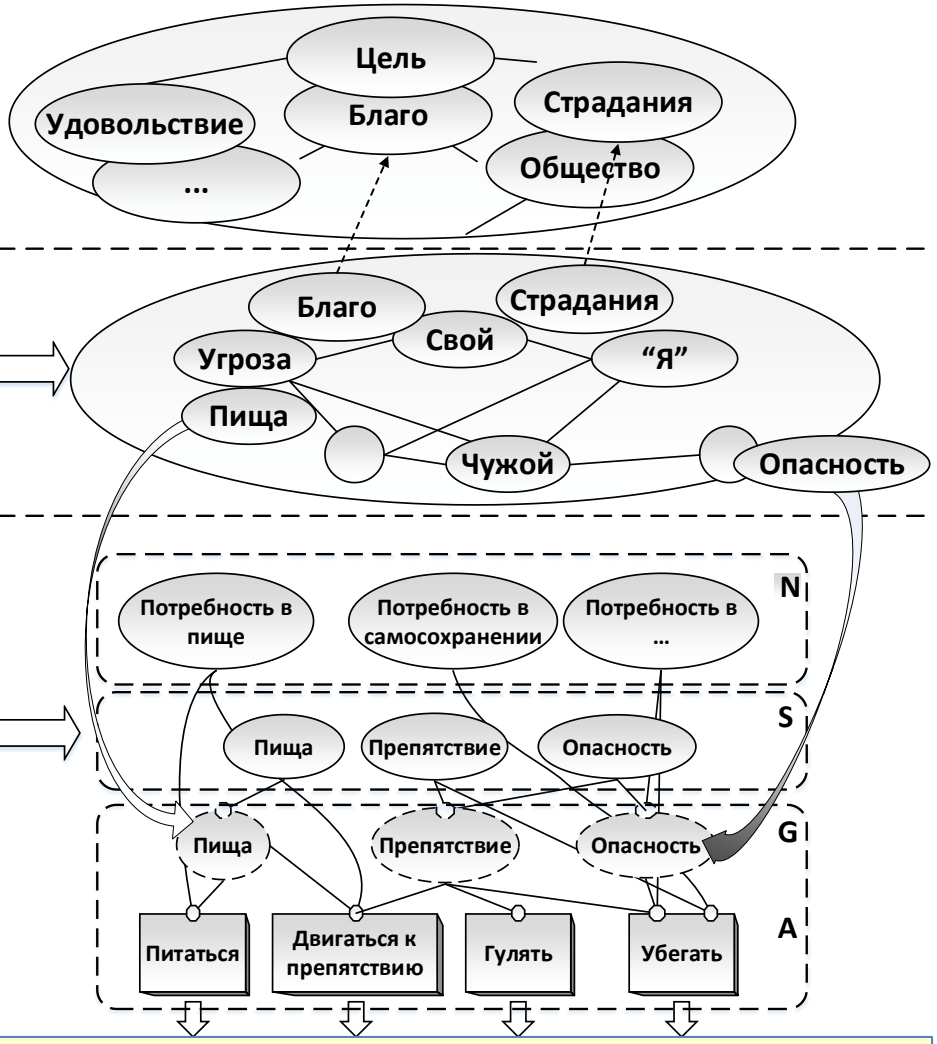
Уровень 3. Моральный (когнитивная карта)

Анализ, планирование, механизмы социального поведения

Уровень 2. Когнитивный (модель мира)

Удовлетворение актуальных потребностей робота как автономной сущности

Уровень 1. Рефлекторный (эмоционально-потребностная архитектура)

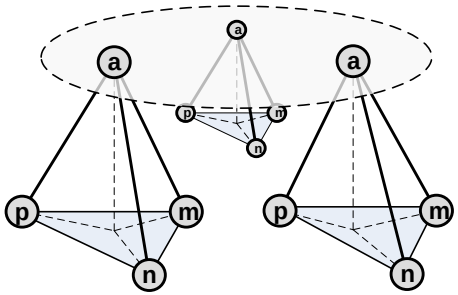


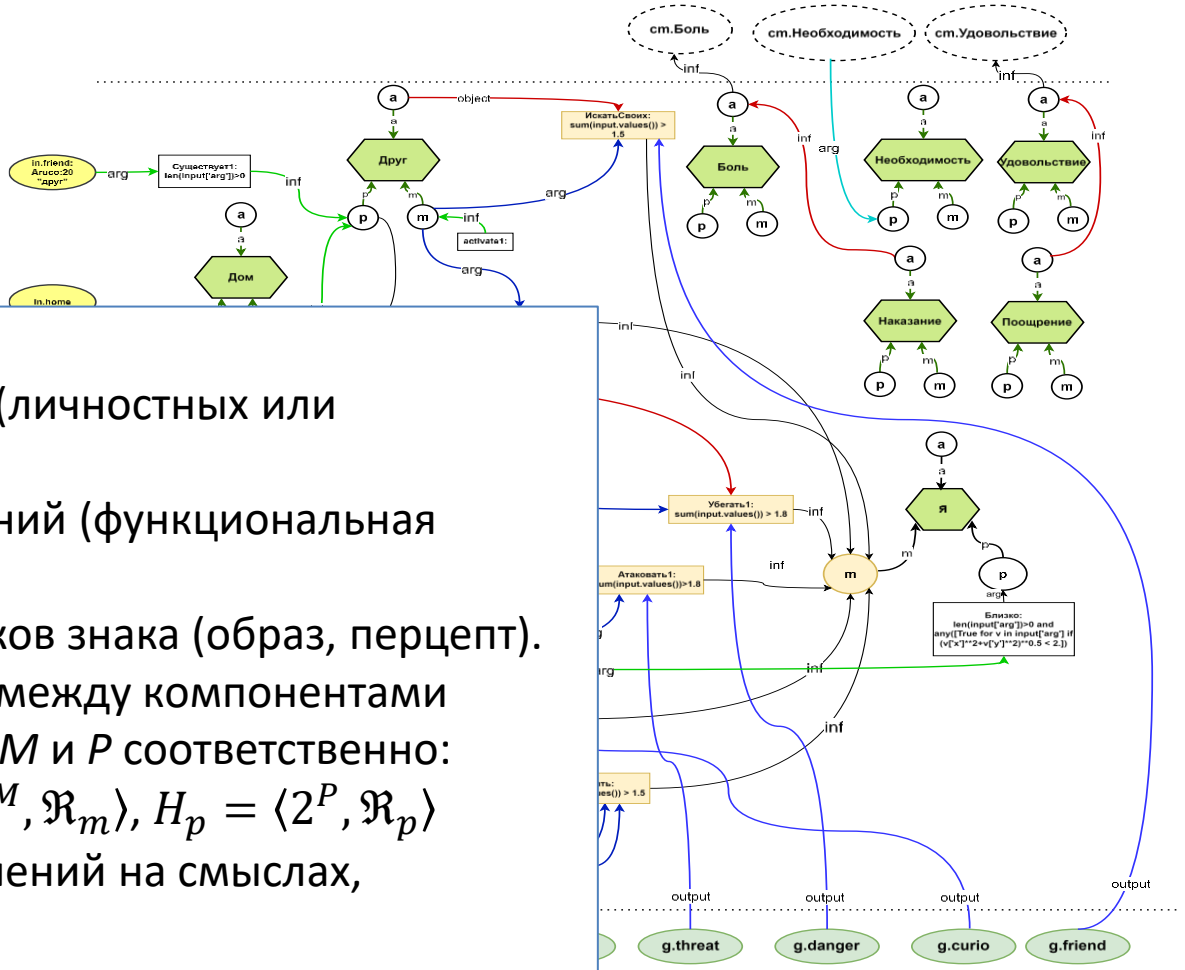
Поведенческие процедуры

Имя	Описание действий
SLEEP	Сон
ESCAPE	Убегание от опасности
ATTACK	Преследование и атака
PROMENADE	Случайное блуждание
SURVEY	Агент изучение целевого объекта
FOLLOW	Следование за оператором

1. ЭПС самодостаточна.
2. ЭПС отвечает за действия
3. «Органы управления»: шлюзовые элементы

Когнитивный уровень СУ агента. Семиотическая модель мира





Знак **s=<a,m,p>**,

$a \subseteq A$ подмножество смыслов (личностных или биологических),

$m \subseteq M$ – подмножество значений (функциональная часть),

$p \subseteq P$ – подмножество признаков знака (образ, перцепт).

(1) Семантические отношения между компонентами знаков. Сети на множествах *A*, *M* и *P* соответственно:

$$H_a = \langle 2^A, \Re_a \rangle,\ H_m = \langle 2^M, \Re_m \rangle,\ H_p = \langle 2^P, \Re_p \rangle$$

$\Re_a, \Re_m, \Re_p$ – семейства отношений на смыслах, значениях и образах.

(2) Тройка сетей $\langle H_a, H_m, H_p \rangle$ образует семиотическую сеть.

ММ отвечает за интеллектуализацию поведения.

Основная задача – анализ ситуации.

Анализ → Опасная ситуация → Сигнал ЭПС → Запуск процедуры бегства

Мораль

1) М. - механизм адаптации, направленный на разрешение конфликтов внутри группы.

2) Базовый регулятив отношений – "золотое правило" морали (практика взаимности: "ты – мне, я – тебе" или "непричинение вреда другим") => «Свой-чужой»

3) М. оценивает поведение в плане «правильно/неправильно», определяя соответствие поведения набору правил.

4) Правила формализуются в виде онтологий.

5) По онтологиям строятся когнитивные карты.

Следствия

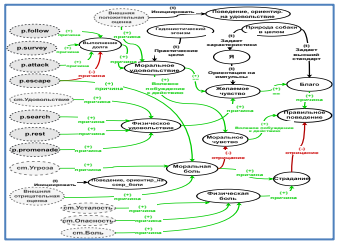
1. Множество проявлений свойств морального агента определяется наличием :

- ММ, в которой имеется компонент “Я”;
- механизма сопоставления конспецифика с “Я”;
- эмоционально-потребностной архитектуры СУ нижнего уровня.

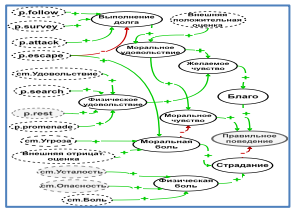
2. «Удобство» морали:

- М. гибка, зависит от контекста, варьируется в широких пределах на протяжении жизненного цикла индивида (животного, робота).
- грубое вмешательство в структуру и параметры СУ чревато потерей функциональности системы. М. «безопасна».

Онтология этического учения

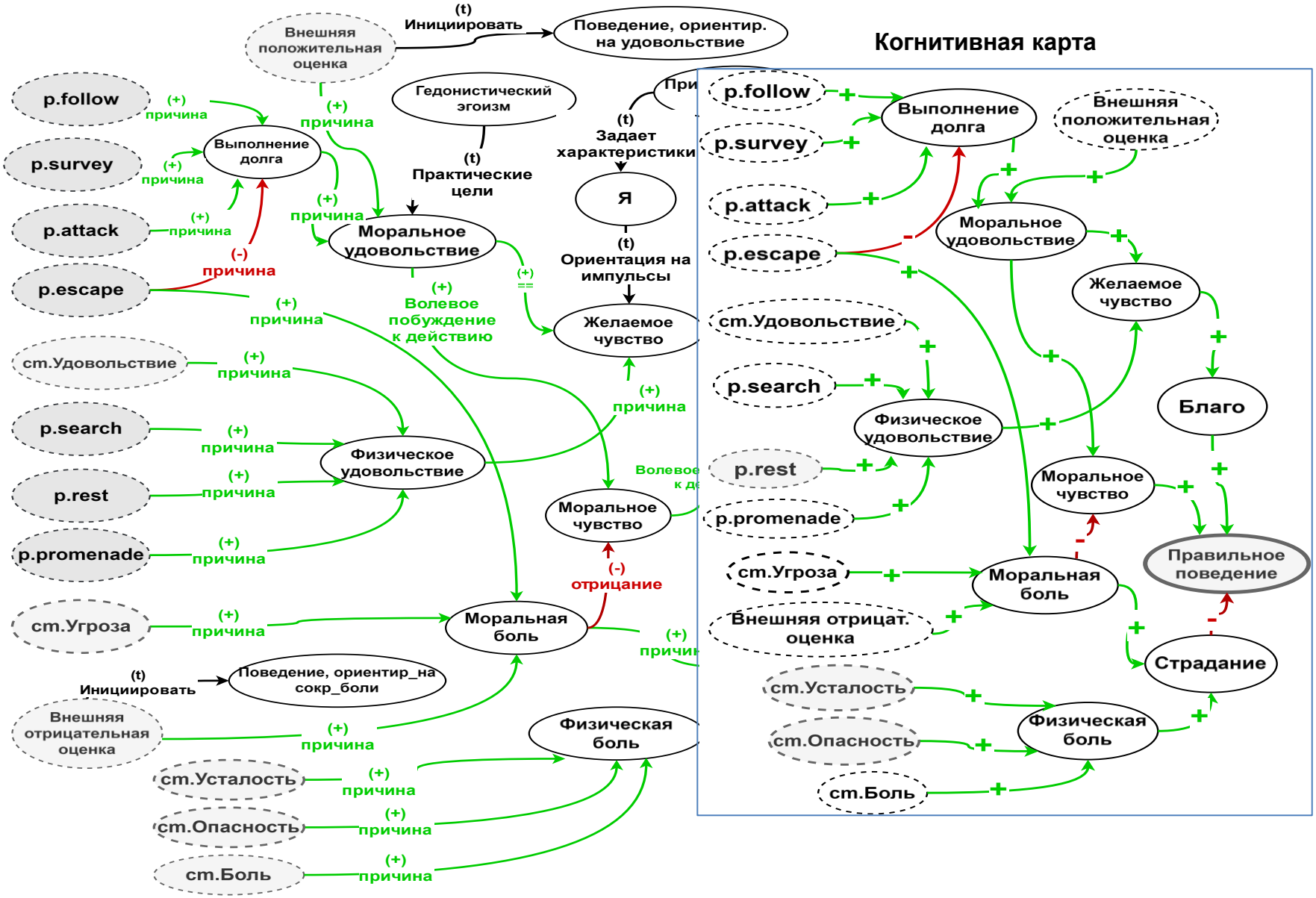


Когнитивная карта



3. Моральный агент – это агент, который должен всегда уметь найти **оправдание** своему поведению (соответствие правилам морали).

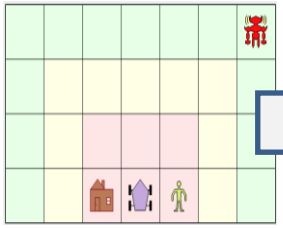
Количественный эгоистический гедонизм Г. Сиджвика

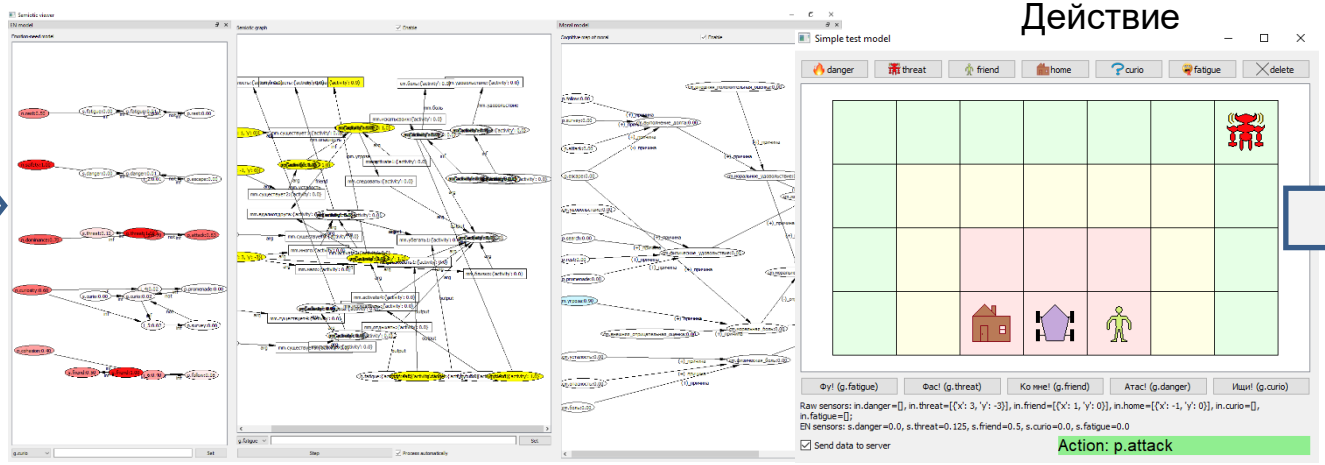


Обработка сценариев. Робот-партнер по образу собаки

Моделирование

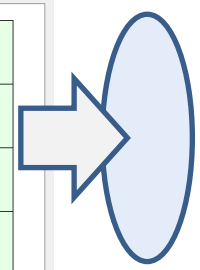
Задание ситуации





Действие

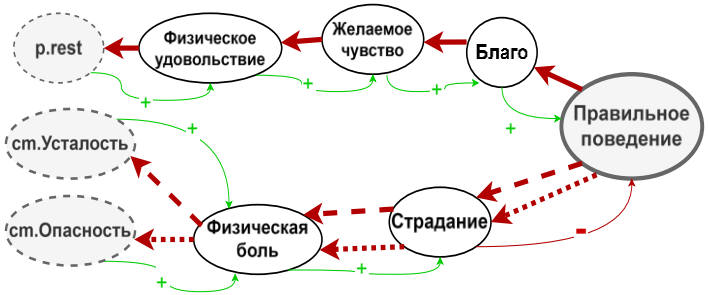
Оценка



Когнитивная карта

1) Логический анализ
2) Прямое моделирование

X["правильное_поведение"]=-0.9



- Есть только моральная оценка действия (моральный агент – это агент, который может найти оправдание своему поведению)
- Планирования нет
- Целеполагания нет

Логический вывод

Путь 1: ("правильное_поведение" → страдание → физич_боль → усталость), знак = -1.

Путь 2: ("правильное_поведение" → страдание → физич_боль → опасность), знак = -1.

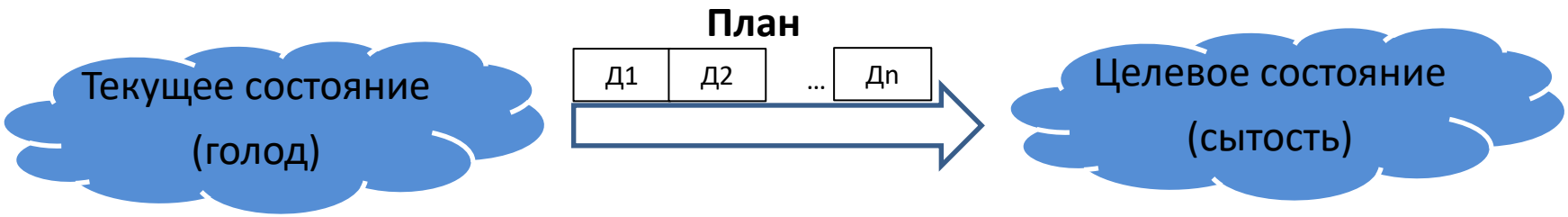
Путь 3: ("правильное_поведение" → благо → желаемое_чувство → физич_удовольствие → → rest), знак = +1

Карпов В. Э., Томильцева Д. А., Сорокоумов П. С. Робот-партнер: по образу и подобию собаки // Искусственные общества. 2026. Т. 21. № 1. С. 32.

Планирование и аниматы

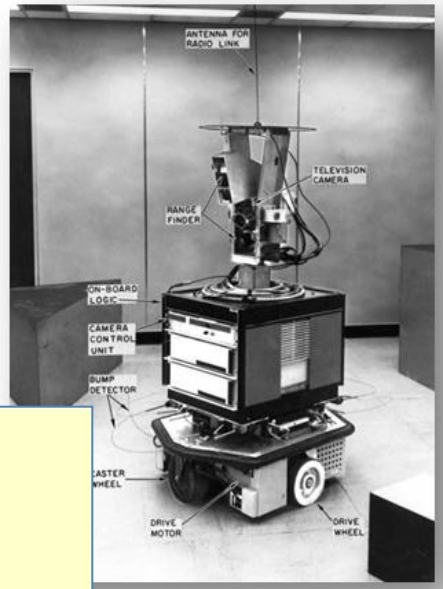
1. Целенаправленное поведение, связанное с планированием – один из признаков интеллектуальности автономного агента.
2. Анимат - нечто, моделирующее или представляющее животное => биологическая специфика.
3. В понятие "интеллект животных" включены способности особи (а) планировать при возникновении задачи и (б) предвидеть результаты собственных действий.
4. В биологии это разные формы **перспективного** поведения:
   - целенаправленное поведение соответствует текущему мотивационному состоянию
   - планирование будущего относится к действиям, предпринимаемым для удовлетворения будущих потребностей.

Здесь – вопрос планировании поведения как о построении последовательности действий (будущих), которые должны привести анимата в целевое состояние.



Символьное (классическое, интеллектуальное) планирование

- 1969 г. Стэнфордский(*) (SRI) интегральный робот Шейки (Shakey)
- Планирование - это **поиск последовательности действий**, ведущих к намеченной цели.
- Модель мира: набор моделей *объектов* мира и *отношений* между ними.



Ричард Файкс, Нильс Нилсон

STRIPS: Stanford **R**esearch **I**nstitute **P**roblem **S**olver, 1971

Действие: <**Name**, **Con**, **Effect**>

Name — имя действия

Con — условия выполнимости действия

Effect =(Add, Del) — эффект, т.е. изменения, которое производит действие

-- Add – список добавления (факты)

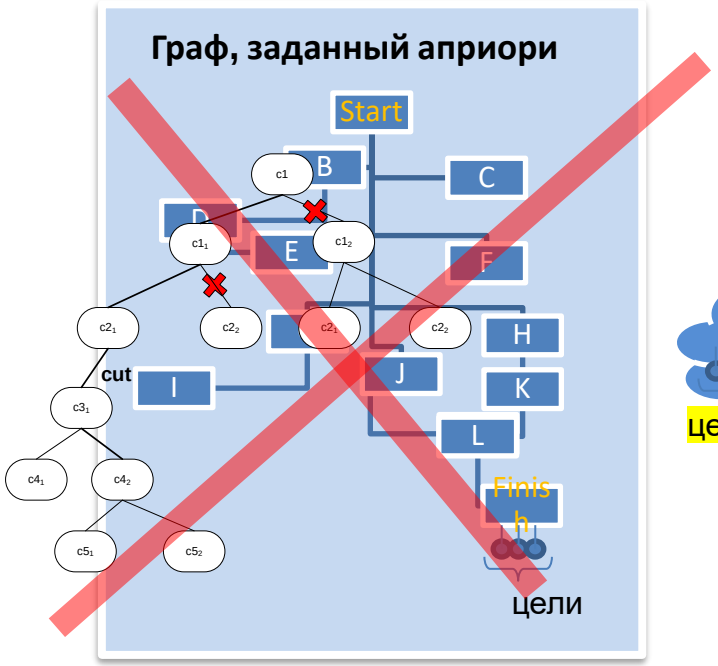
-- Del – список удаления (факты)



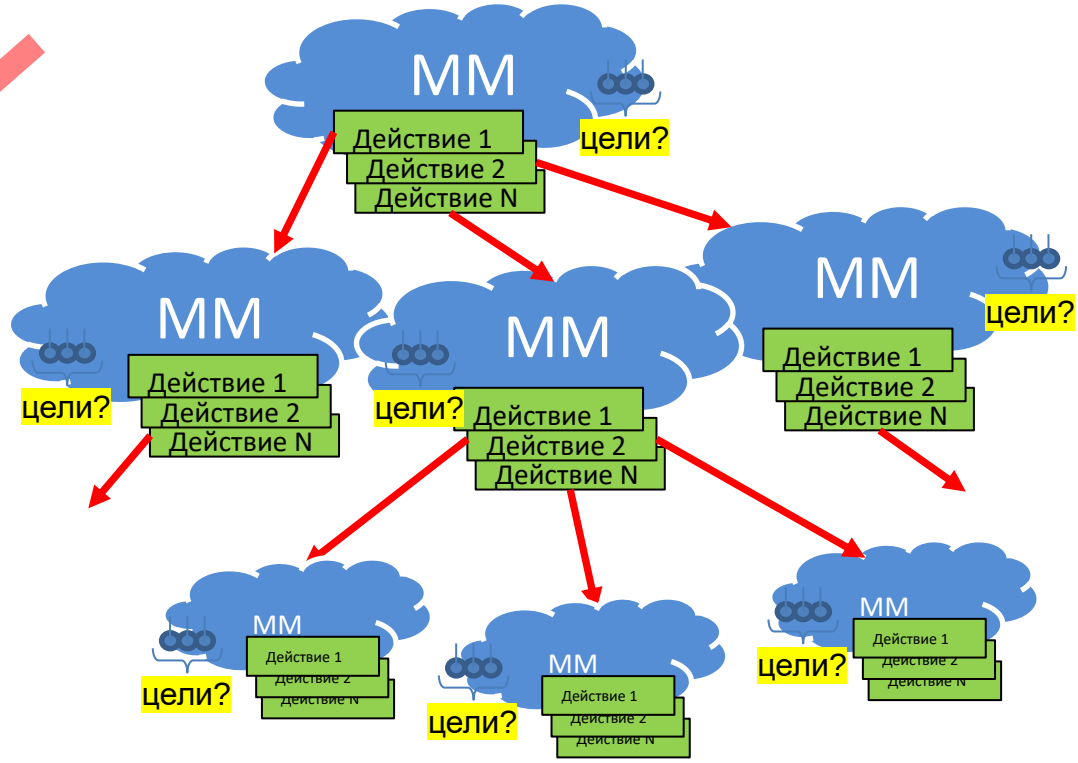
(*) Стэнфордский университет признан нежелательной организацией в апреле 2026 г.

Планирование – это поиск

1. Планирование – тяжелая задача.
2. Нет известного графа поиска.
3. Каждое действие создает новую ММ.



Динамически выстраиваемый граф

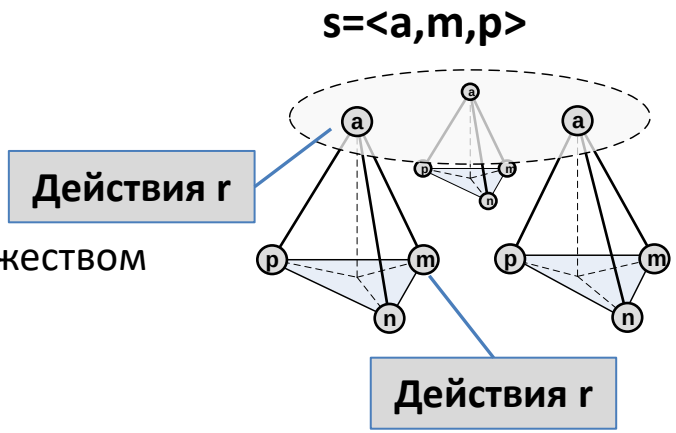


Основная задача – согласование модели формального вывода для процедуры планирования и представления знаний о мире и о себе самом агента-анимата.

Немного формализма

1. STRIPS-правило: *r=<Con, Add, Del>*

Con – условие правила, *Add* и *Del* – множества добавляемых и удаляемых фактов.



2. Множества значений *M* и смыслов *A* интерпретируются множеством **действий** в виде STRIPS-правил (*).

Проблема: *"механическое" размещение STRIPS-правил внутри процедур нарушает единообразие описания модели.*

=>

3. Расширение понятия семиотической сети

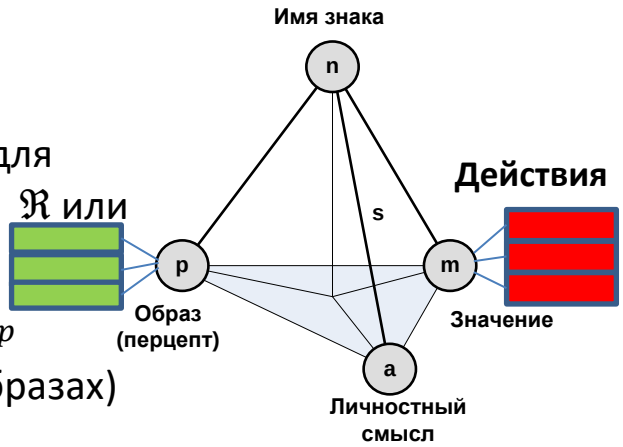
С компонентами знака *a*, *m* и *p* связано множество **слотов**:

$$s_A \subseteq S, s_M \subseteq S, s_P \subseteq S$$

Вводятся отношения *D* между множествами $\{A \cup M \cup P\}$, *S* и $\Re$ для определения аргументов слотов-правил $D \subseteq \{A \cup M \cup P\} \times S \times \Re$ или отношений для отдельных компонентов знака:

$$D_A \subseteq A \times s_A \times \Re_A, D_M \subseteq M \times s_M \times \Re_M, D_P \subseteq P \times s_P \times \Re_p$$

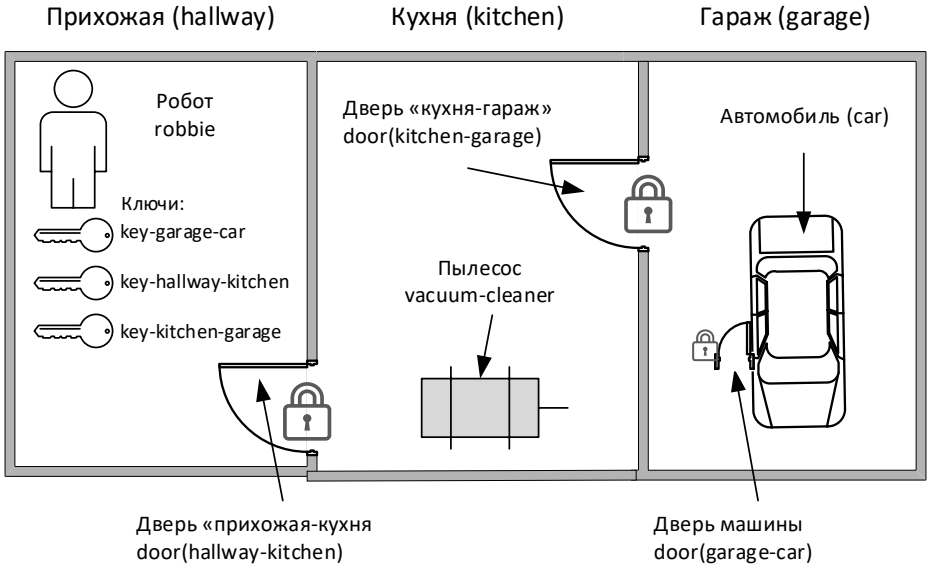
($\Re_a, \Re_m, \Re_p$ – семейства отношений на смыслах, значениях и образах)



(*) Осипов Г.С., Панов А.И., Чудова Н.В., Кузнецова Ю.М. Знаковая картина мира субъекта поведения. М.:Физматлит, 2018.

Слоты определяют характеристики знака и отвечают за представление правил.

Пример задачи планирования (*)




```
1.  pickup(key-hallway-kitchen,hallway)
2.  unlock(door-hallway-kitchen,key-hallway-kitchen)
3.  put_away(key-hallway-kitchen,hallway)
...
30. lock(door-kitchen-garage,key-kitchen-garage)
31. goto_with(hallway,key-kitchen-garage)
32. put_away(key-kitchen-garage,hallway)
```

- Сложность составления плана при условии закрывания дверей по окончании уборки и размещения всех вещей в их начальное положение.
- Немонотонность планирования.

```
% Описание предикатов целевого состояния
goal(door(door-kitchen-garage, locked)).
goal(holding(robbie, nothing)).
goal(clean(car, true)).
...
 % Описание предикатов начального состояния
fluent(location(robbie, hallway)).
fluent(location(key-garage-car, hallway)).
fluent(door(door-garage-car, locked)).
fluent(holding(robbie, nothing)).
fluent(clean(car, false)).
fluent(is_thing(vacuum-cleaner)).
...
 % STRIPS-правила
strips_rule(pickup(Item, RLoc),
    [location(Item,RLoc),is_thing(Item),…,holding(robbie,nothing)],
    [holding(robbie, Item)],
    [holding(robbie, nothing)]).
strips_rule(clean_car(),
    [holding(robbie, vacuum-cleaner),location(robbie, car)],
    [clean(car, true)],
    [clean(car, false)]).
...
```

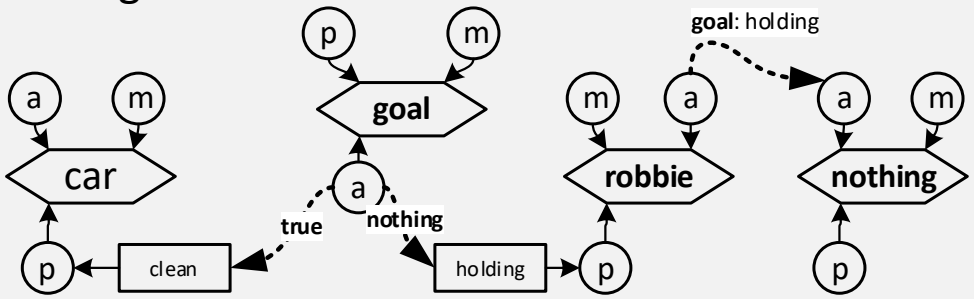
(*) Brown P. A* Planning [Электронный ресурс]. URL: https://swish.swi-prolog.org/p/A* Planning.swinb.

Этапы реализации

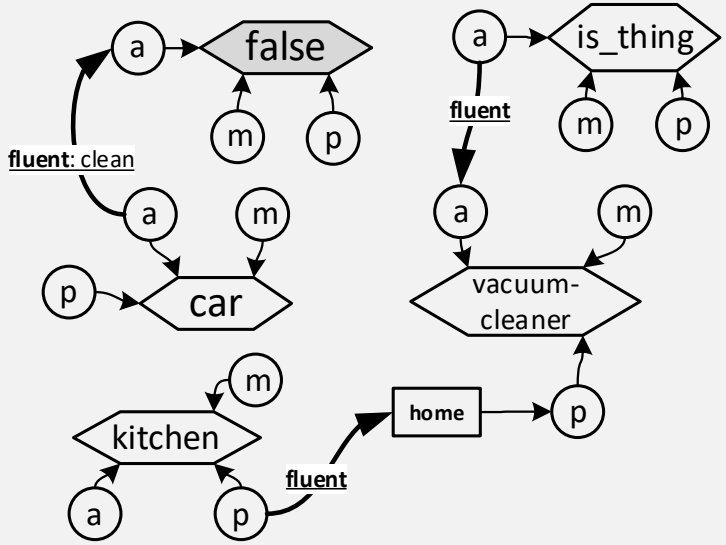
1. Формирование множества знаков. Это множество определяет все сущности задачи: собственно робот, ключи, двери и т.п.

2. Представление фактов. Способы задания:
(1) определение отношений на множестве смыслов $\mathfrak{R}_A$
(2) введение соответствующих слотов и отношений D_P.

3. Представление целей. Можно задать подцели, вводя (1) отношение goal, (2) вводя знак goal



1) Отношение *goal* между смыслами знаков *robbie* и *nothing* (подцель *goal(holding(robbie, nothing)*).
2) Введение знака "Цель“ (goal)



Задание фактов

1) *fluent(clean(car, false))* и *fluent(is_thing(vacuum-cleaner))* на множестве смыслов ***A***
2) *fluent(home(vacuum-cleaner, kitchen))* на отношении между слотом *home* и перцептом.

Этапы реализации. Действия

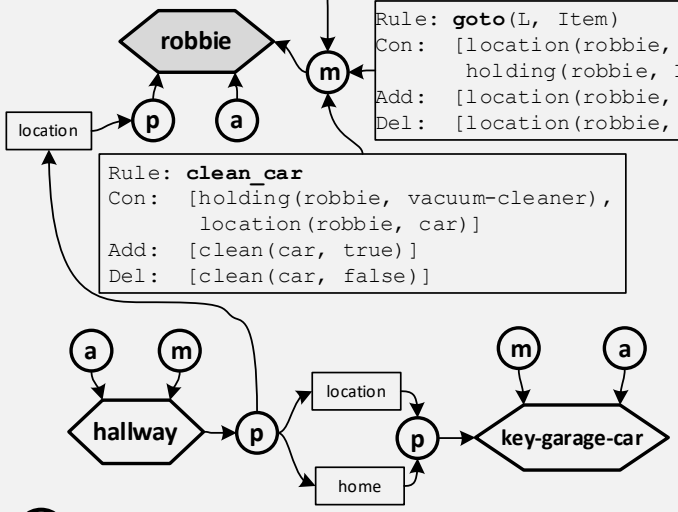
4. Описание действий

А) Действия (правила) связаны с компонентами значений знаков (*m*). Слоты содержат тела STRIPS-правил. Это плохо.

```
Rule: put_away(Item, RLoc)
Con:  [home(Item, RLoc),location(robbie, RLoc),
       holding(robbie, Item)]
Add:  [holding(robbie, nothing)]
Del:  [holding(robbie, Item)]
```

```
Rule: goto(L, Item)
Con:  [location(robbie, RLoc),is_not_thing(Item),
       holding(robbie, Item),door(DoorName, unlocked)]
Add:  [location(robbie, L)]
Del:  [location(robbie, RLoc)])
```

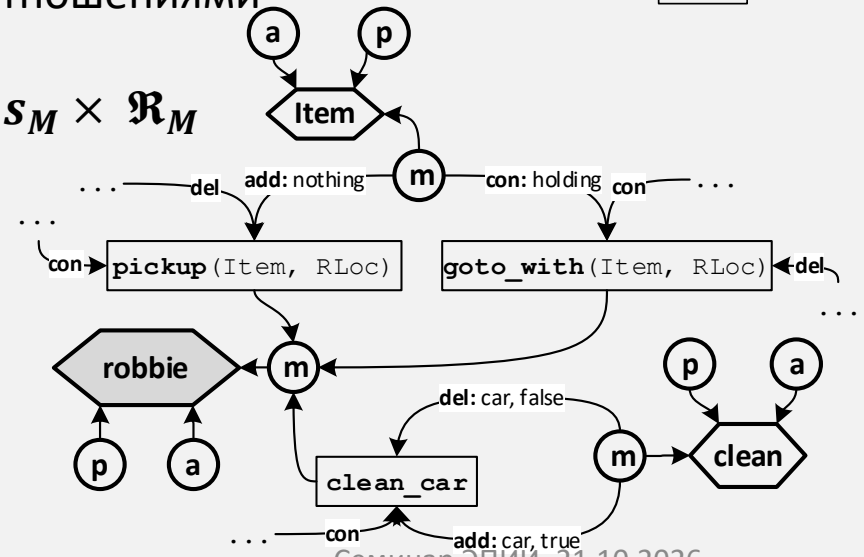
```
Rule: clean_car
Con:  [holding(robbie, vacuum-cleaner),
       location(robbie, car)]
Add:  [clean(car, true)]
Del:  [clean(car, false)]
```



Б) Слоты содержат только имена процедур.

Списки Con, Add и Del определяются отношениями из D_M

$$D_M \subseteq M \times s_M \times \Re_M$$



Con: holding(robbie, Item)
Add: holding(robbie, nothing)
Del: clean(car, false)
Add: clean(car, true)
…

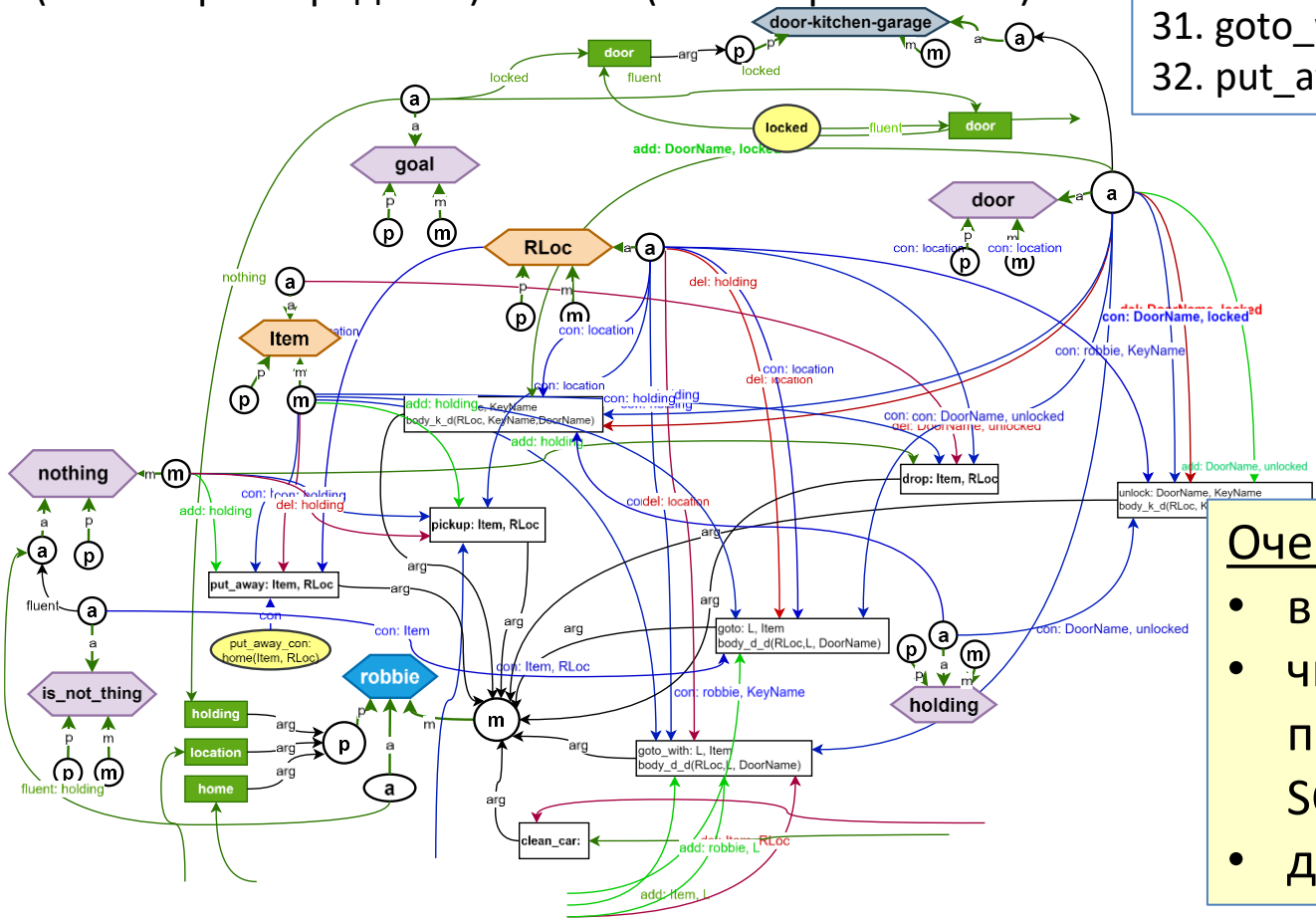
Итоговая схема ММ

- 25 слотов-процедур
- 24 знака, включая знаки абстрактных понятий типа *goal*, *true*, *false*,
- знаки, представляющие переменные: *Item* ("некоторый предмет") и *RLock* ("некоторое место").

1. pickup(key-hallway-kitchen)
2. unlock(door-hallway-kitchen)
3. put_away(key-hallway-kitchen)

...

30. lock(door-kitchen-garage)
31. goto_with(hallway)
32. put_away(key-kitchen-garage)



Очень ресурсоемко:

- время TS≈42 с
- число шагов поэтапного поиска SC ≈ 7‘500.
- длина плана PL=32

Поэтапное планирование

Аналог гибкого (anytime) алгоритма: прерваться, а потом продолжить

1. Определить интервал времени решения задачи Ts.
2. По истечении Ts, если целевое состояние не достигнуто, сохранить полученную последовательность действий P и состояние системы S_{res}.
3. Полный перезапуск процедуры планирования ($S_0(t) := S_{res}(t-1)$).

Замечания:

1. Если агент выполняет действия, полученные на промежуточном этапе решения, то перезапуск планирования обязателен. Никакого "доуточнения".
2. Действия должны быть **обратимы** (например, агент не может потерять ключ).

Этап	N0, кол-во возможных действий	PL, кол-во шагов плана	TS, время, с.	SC, кол-во шагов поиска	D, нач. расстояние до целевого состояния
1	3	21	5	2'550	1
2	3	12	5	2'486	6
3	1	16	5	2'610	7
4	3	16	5	2'737	5
5	4	15	5	2'529	5
6	2	14	0.6	716	4
Итого:		**94**	**25.6**	13'628	

Немонотонность. Сначала было все хорошо, все на местах, только машина не убрана

D = |GoalSit – CurrSit|

Было:
TS ≈ 42 с,
SC ≈ 7‘500,
PL=32

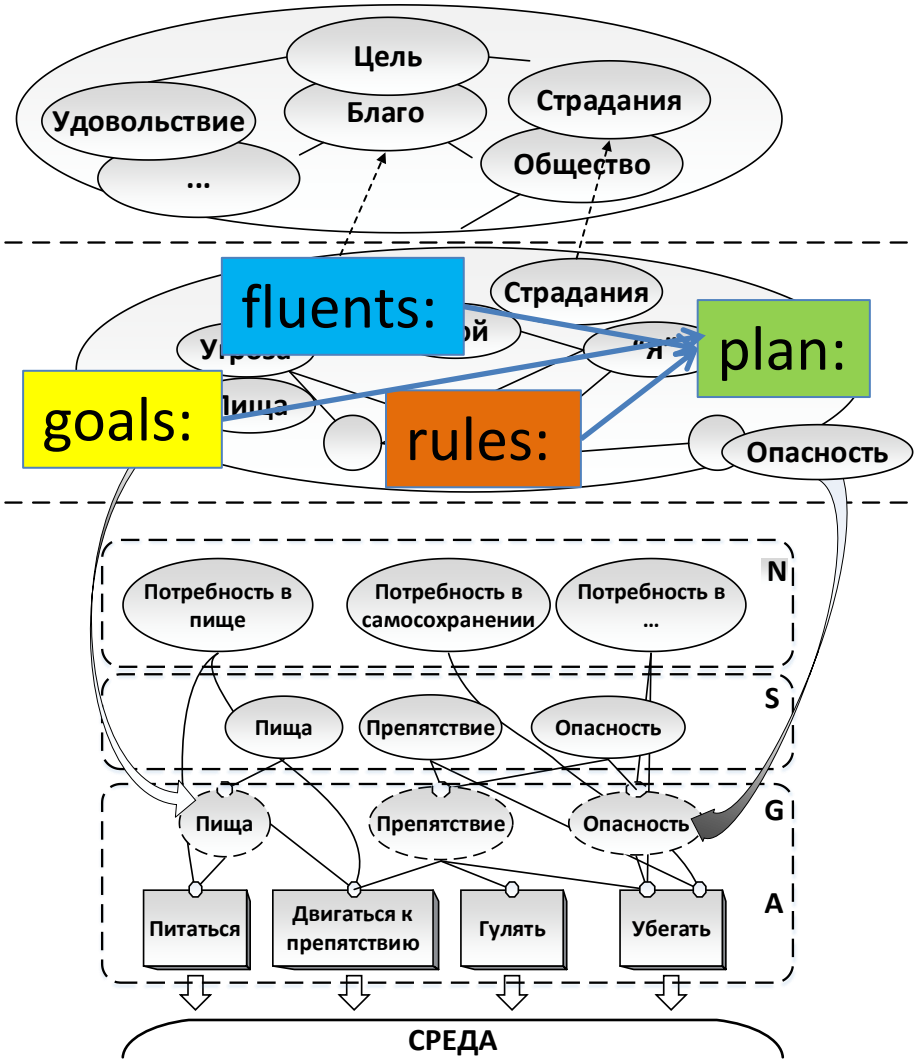
Задача еще не решена

Что на самом деле было сделано:

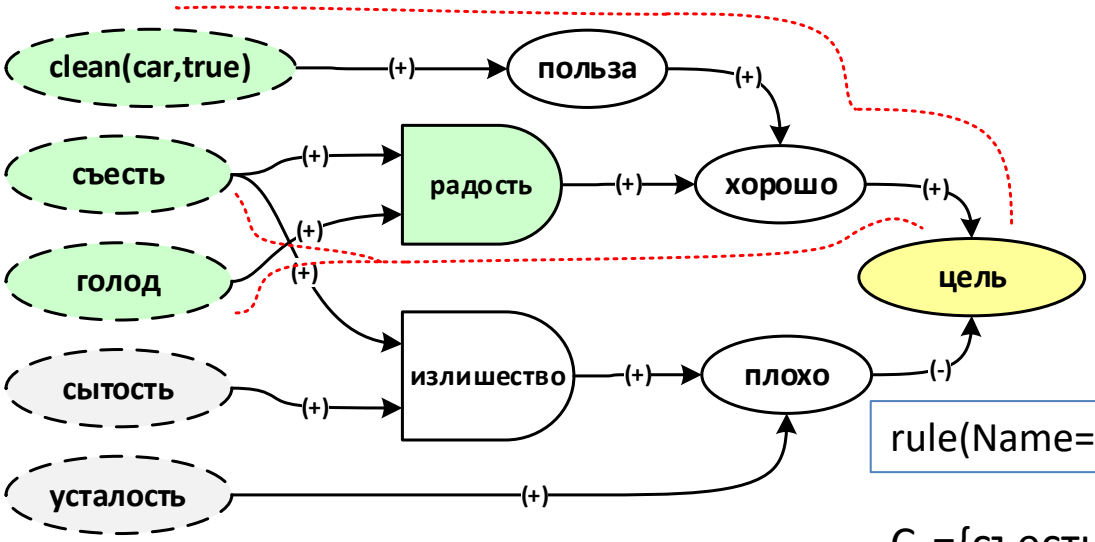
1. Технология альтернативного задания компонентов STRIPS-правил.
2. Игры в трансляцию и получение эквивалентного описания задачи.

Реальные проблемы остались:

1. Целеполагание должно задаваться не ММ, а моральным уровнем.
2. ММ не отвечает за реализацию поведения, его задача – влиять на состояние ЭП-уровня (потребности и сенсорика).
3. ЭП-уровень требует иной интерпретации STRIPS-правил.



Целеполагание



Условия положительной достижимости целевой вершины

C_3={clean(car,true)}

C_4={съесть, голод}

rule(Name=съесть, Con=[f1, f2], Add=[…], Del=[…]).

C_4={съесть, голод}={f1, f2, голод}.

Итоговый список целей:

Goal= $C_3 \cup C_4$={clean(car,true), f1, f2, голод}

(-) P_1=[[цель],[плохо],[излишество],[сытость, съесть]]

(-) P_2=[[цель], [плохо],[усталость]]

(+) P_3=[[цель], [хорошо],[польза],[clean(car,true)]]

(+) P_4=[[цель], [хорошо],[радость],[съесть, голод]]

Стратегия «Всё и сразу»: все планируемые действия должны быть направлены на достижение цели.

```
goal(clean(car,true)).
goal(f1).
goal(f2).
goal(голод).
```

Пример

1. goal(clean(car,true)).
2. goal(door(door-garage-car, locked)).
3. goal(door(door-kitchen-garage, locked)).
4. goal(holding(robbie,nothing)).
5. goal(location(robbie, RLoc)).
6. goal(is_not_thing(Item)).
7. goal(holding(robbie, Item)).
8. goal(door(DoorName, unlocked)).

- Ts ≈ 20c.
- SC ≈ 5000
- PL=27

1. robbie_pickup(key-hallway-kitchen, hallway)
2. robbie_unlock(door-hallway-kitchen, key-hallway-kitchen)
3. robbie_put_away(key-hallway-kitchen, hallway)

...

18. robbie_clean_car()

...

26. robbie_lock(door-kitchen-garage, key-kitchen-garage)
27. robbie_drop(key-kitchen-garage, kitchen)



Заключение

Решенные вопросы:

1. Планирование реализуемо, а его компоненты могут быть описаны в естественной для ММ форме.
2. Существуют механизмы определения целеполагания КК морального уровня.

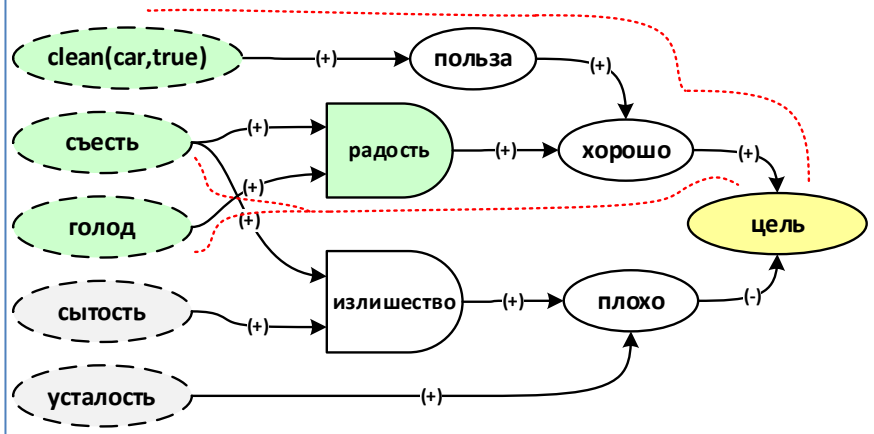
Нерешенные вопросы:

1. Реализация плана на исполнительном уровне. Как влияет план на эмоционально-потребностную систему?
2. Неясны стратегии целеполагания. А именно:

2.1. Нужно ли учитывать текущий контекст (значение или наличие факторов-источников)?

2.2. Если существует множество путей достижимости целевой вершины, то какой выбирать? Или все сразу?

2.3. Что делать с отрицательными путями? Надо ли ставить целью преобразование их в положительные?



К счастью, эти вопросы не робототехникам, а к философам.

Источники

Апресян Р. Г. Генезис золотого правила // Вопросы философии. 2013. № 10. С. 39–49.

Гусейнов А. А., Апресян Р. Г. Этика. М.: Гардарики, 2000. 472 с.

Вааль де Ф. Истоки морали: В поисках человеческого у приматов. М.: Альпина нон-фикшн, 2019. Вып. 5. 376 с.

Осипов Г. С. и др. Знаковая картина мира субъекта поведения. М.: Физматлит, 2018. 264 с.

Brown P. A* Planning [Электронный ресурс]. URL: https://swish.swi-prolog.org/p/A* Planning.swinb.

Fikes R. E., Nilsson N. J. STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving // Artif. Intell. 1972. Т. 2. № 10. С. 189–208.

Dickinson A. Goal-Directed Behavior and Future Planning in Animals // Animal Thinking: Contemporary Issues in Comparative Cognition / под ред. R. Menzel, J. Fischer. : The MIT Press, 2011.

Wilson S. W. Knowledge Growth in an Artificial Animal // Adaptive and Learning Systems: Theory and Applications / под ред. K. S. Narendra. Boston, MA: Springer US, 1986. С. 255–264.

Зорина З. А., Полетаева И. И. Элементарное мышление животных. М.: Аспект Пресс, 2002. 320 с.

Непомнящих В. А. Адаптация и автономия в поведении животных. Лекции по нейроинформатике // XV Всероссийская научно-техническая конференция «Нейронифоматика – 2013». М.: НИЯУ МИФИ, 2013. С. 106–123.

Резникова Ж. И. Когнитивное поведение животных, его адаптационная функция и закономерности формирования // Вестник НГУ. Серия Психология. 2009. Т. 3. № 2. С. 53–68.

Федорович Е. Ю. Изучение поведения животных в ситуациях новизны // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2011. № 1. С. 112–123.

Карпов В. Э., Томильцева Д. А., Сорокоумов П. С. Робот-партнер: по образу и подобию собаки // Искусственные общества. 2026. Т. 21. № 1. С. 32.