

Карпов В.Э.

Социальное поведение роботов. Промежуточные итоги исследований

НИЦ «Курчатовский институт». Отделение нейрокогнитивных наук
и интеллектуальных систем, Лаборатория робототехники

karpov-ve@yandex.ru

Предыстория. Поспеловские чтения, 2009 г.

Доклад «Интеллектуальные роботы»

...

Нерешенные задачи и перспективы

Нерешенные задачи

- Единая (интегральная) теория построения ИР
- Технические проблемы:
 - Питание
 - Мышцы
 - ОС для роботов
 - Модельные задачи

Некоторые перспективные направления интеллектуализации роботов

- **Социальная робототехника.** Развитие моделей коллективного поведения, формирование законов социального поведения роботов.
- **Межмашинное общение.** Создание условий, при которых может возникнуть коммуникативные функции в коллективе роботов.
- **Реализация механизма эмоций** (эмоции, как усилитель мотивации).

Авторский коллектив

Организации:

- НИЦ Курчатовский институт
- МИЭМ НИУ ВШЭ
- Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
- Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
- МГТУ им. Н.Э.Баумана

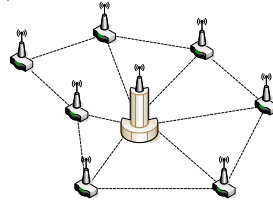
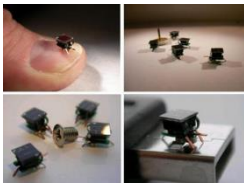
Воробьев В.В., Карпова И.П., Кулинич А.А., Мигалев А.С., Московский А.Д., Овсянникова Е.Е., Павловский В.Е., Ровбо М.А., Тарасов В.Б.

Официальный старт – 2014 г.

Основная цель доклада – дать общую картину, сложившуюся в этой области исследований.

Групповая робототехника. Основная идея

Создание сложной системы, состоящей из множества сравнительно простых устройств: **надежность, гибкость, развитие,...**



«swarm robot» более 900 000 ссылок
«robot ant» – более 2 млн. ссылок.

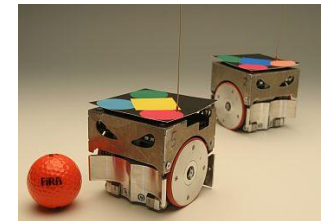
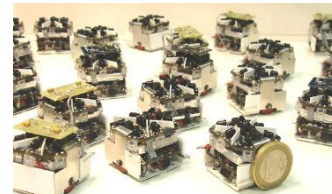
- **Проект DARPA-2003.** Отряд из 120 роботов.
- **Проект Centibots** (2004, Университет Вашингтона).
- **I-SWARM.** Германия, Университет Карлсруэ 2010 г. До 100 особей, размер – порядка 1 см² (MAC)
- "Умная" пыль.
- **Открытый проект SwarmRobot** (swarmrobot.org)
- **Эволюционирующие роботы** (Laboratory of Intelligent Systems, Политехническая школа, Лозанна, Швейцария).
- ...

Роевая, групповая, коллективная робототехника, роевой интеллект...

Идеологическая основа – эффект эмерджентности поведения (как у социальных насекомых).

Ключевой момент – взаимодействие между членами группы

Целевая функция – разумность поведения не индивидуума, а всего роя.

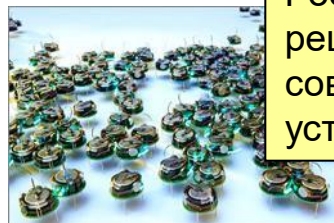


Проблемы

- **Фрагментарный** характер исследований.
- Явный перенос центра тяжести исследований именно в **роевую робототехнику** (более простой, базовый уровень моделей).
- Отсутствие практически значимых **результатов**
- **Подавляющее число работ и исследований ограничивается «базовыми механизмами».**

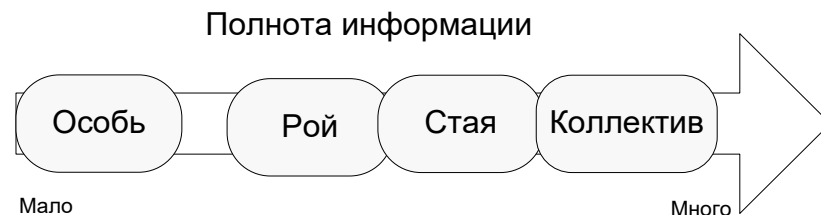
Причины

- Слабая проработка целого ряда важных теоретических задач из области самоорганизации.
- Отсутствие единой, целостной парадигмы



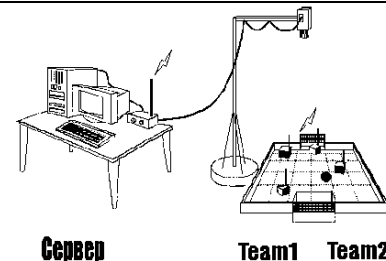
Роевая робототехника - способ решения сложных задач совокупностью простых технических устройств

Самая конструктивная парадигма



Лучше всего работают системы с централизованным управлением

Если локальное взаимодействие, то в лучшем случае – согласованное движение

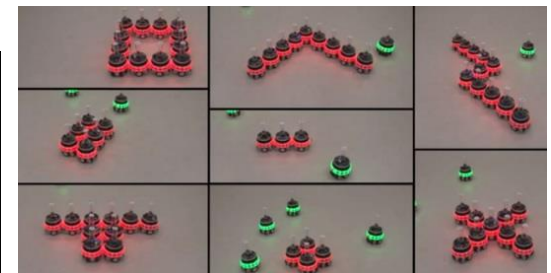


Проблемы. Типовые задачи ГР

1. Агрегация (Aggregation)
2. Распределение (Dispersion)
3. Создание форм (Pattern Formation)
4. Согласованное движение (Collective Movement)
5. Распределение задач (Task Allocation) (Опционально!)
6. Поиск источника (Source Search)
7. Коллективное фуражирование или транспортировка объектов (Collective Transport of Objects)
8. Коллективное картографирование (Collective Mapping)

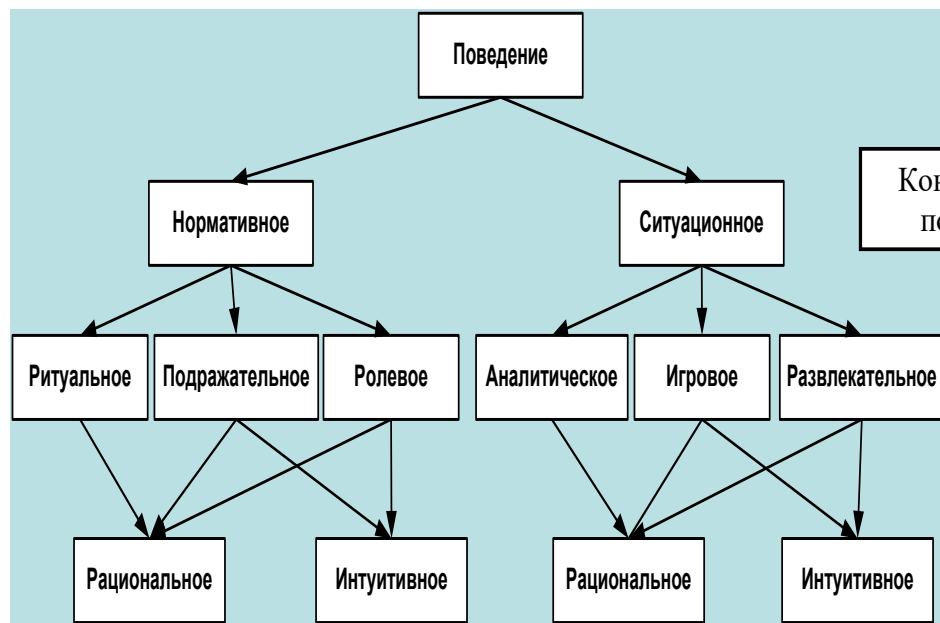


Значительная часть РА посвящена реализации моделей стайного/роевого поведения, и прежде всего – групповому **движению**.

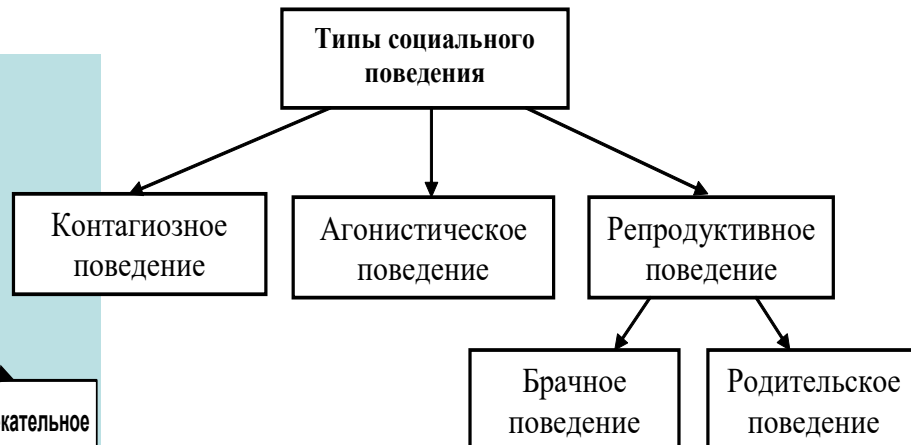


Гипотеза: требуется изучение моделей социального поведения

Типы поведения по
Д.А.Поспелову и М.Г.Гаазе-
Рапопорту

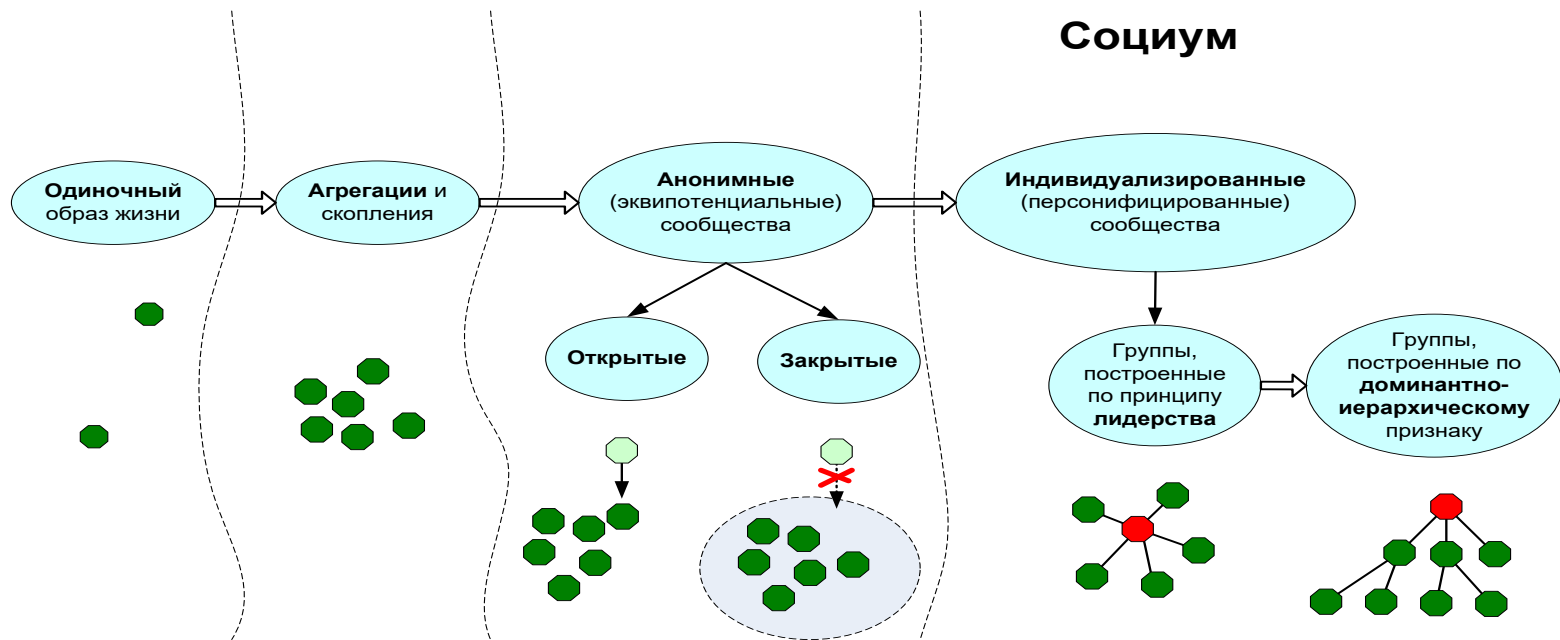


Важнейшие типы социального
поведения (этология):



- Создание непротиворечивой типологии социальных моделей – сложная задача.
- Слишком много субъективизма и плохо описанных механизмов.

Конструктивная схема. Типы сообществ

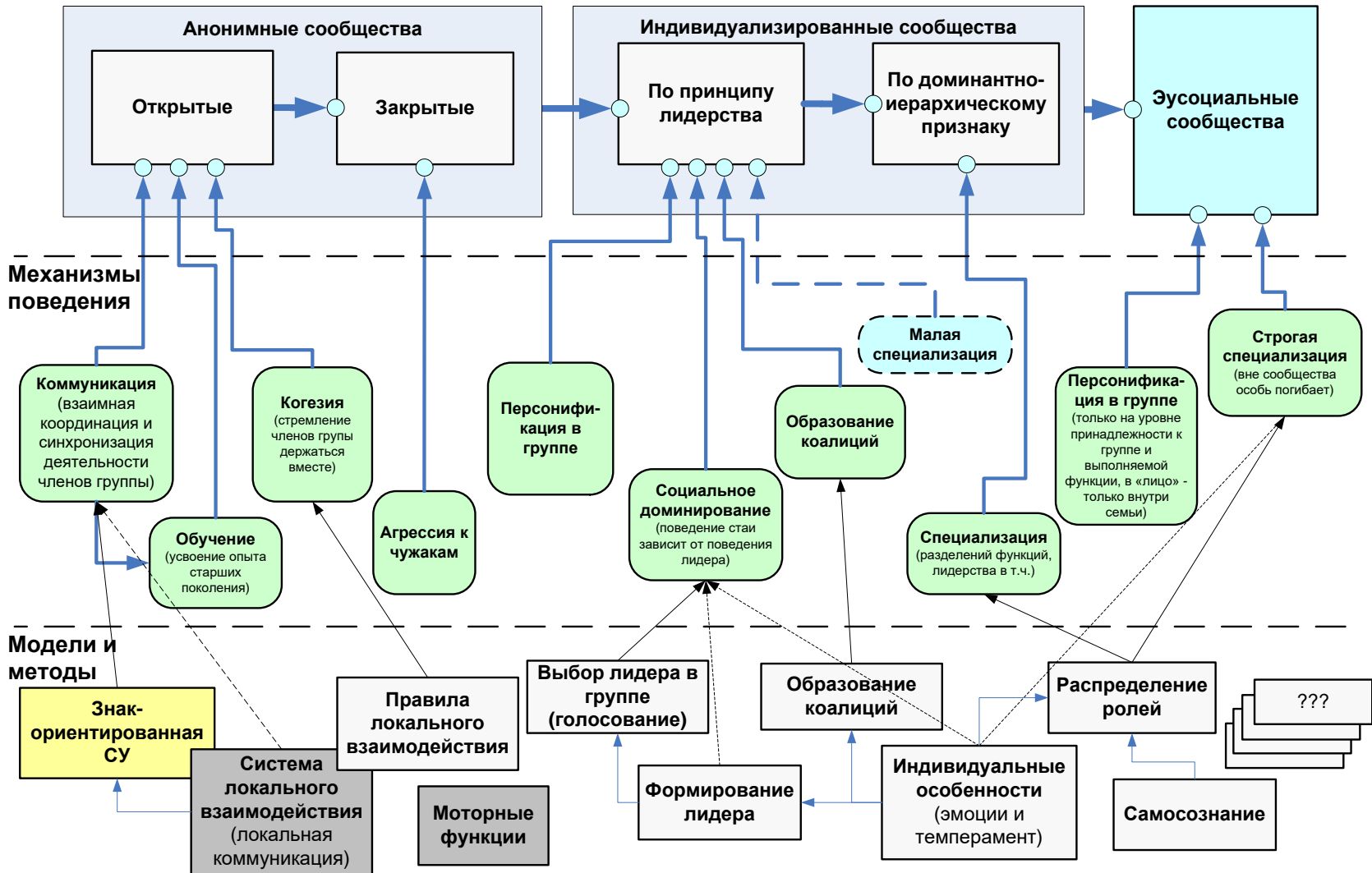


Соответствие базовых механизмов поведения основным типам социального поведения

Типы поведения		Механизмы поведения
Контагиозное поведение		<ol style="list-style-type: none"> 1. Коммуникативные сигналы 2. Симпатическая индукция 3. Подражательное поведение
Агонистическое поведение		<ol style="list-style-type: none"> 1. Агрессия 2. Драки (конфликты) 3. Ритуалы и демонстрации 4. Социальное доминирование
Репродуктивное поведение	Брачное	<ol style="list-style-type: none"> 1. Драки 2. Ритуалы и демонстрации
	Родительское	<ol style="list-style-type: none"> 3. Разделение труда 4. Усвоение опыта предыдущих поколений

Декомпозиция моделей социального поведения

Типы сообщества



Объект для подражания. Муравьи

130 млн. лет эволюции, 8000 видов.

«Тактико-технические характеристики»

- **Гнездо.** Множество секций, камер, служебных и спальных помещений.
- **Муравьиные тропы.** Ухожены, протяженность – до сотен метров, ширина – до метра. Действуют иногда десятки лет.
- **Ориентация и память.** Могут ориентироваться по солнцу и запоминать окружающий ландшафт.
- **ЦНС.** Надглоточный ганглий ("мозг"), в котором образуются *временные* связи. Всего – **1 млн.** нейронов.

Деятельность муравьев

- **Разведение тлей.** Защита от вредителей, выгул и выпас.
- **Собирательство.** Семена. Сбор и хранение.
- **Охота и агрокультура.** Строительство ловушек и селекция.
- **Выращивание грибов.** Грибные плантации.
- **Охрана** своих плантации от вредителей и паразитов. Антибиотики.

Внутрисемейное взаимодействие.

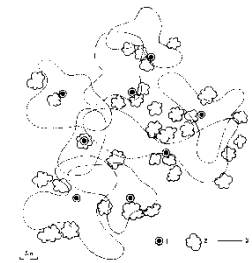
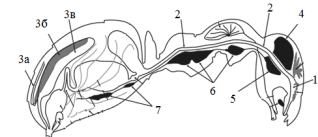
- Основные каналы взаимодействия – пищевой и сигнальный.
- **Профессии и психологические склонности.** Основа для специализации – физиологическое состояние и психические наклонности.
 - **Обучение (оптимизация уже имеющихся навыков) и профессиональный рост.**

Социальное поведение

- **Обмены.**
- **Колонны.** Обособленные подгруппы муравьев.
- **Поликалия.** Обитание одной семьи в нескольких взаимосвязанных гнездах.
- **Колонии.** Материнский и один или нескольких дочерних муравейников.
- **Федерации.** Задача федерации – ограничение общей численности муравьев в системе.



Рыжий лесной муравья из рода *Formica*.

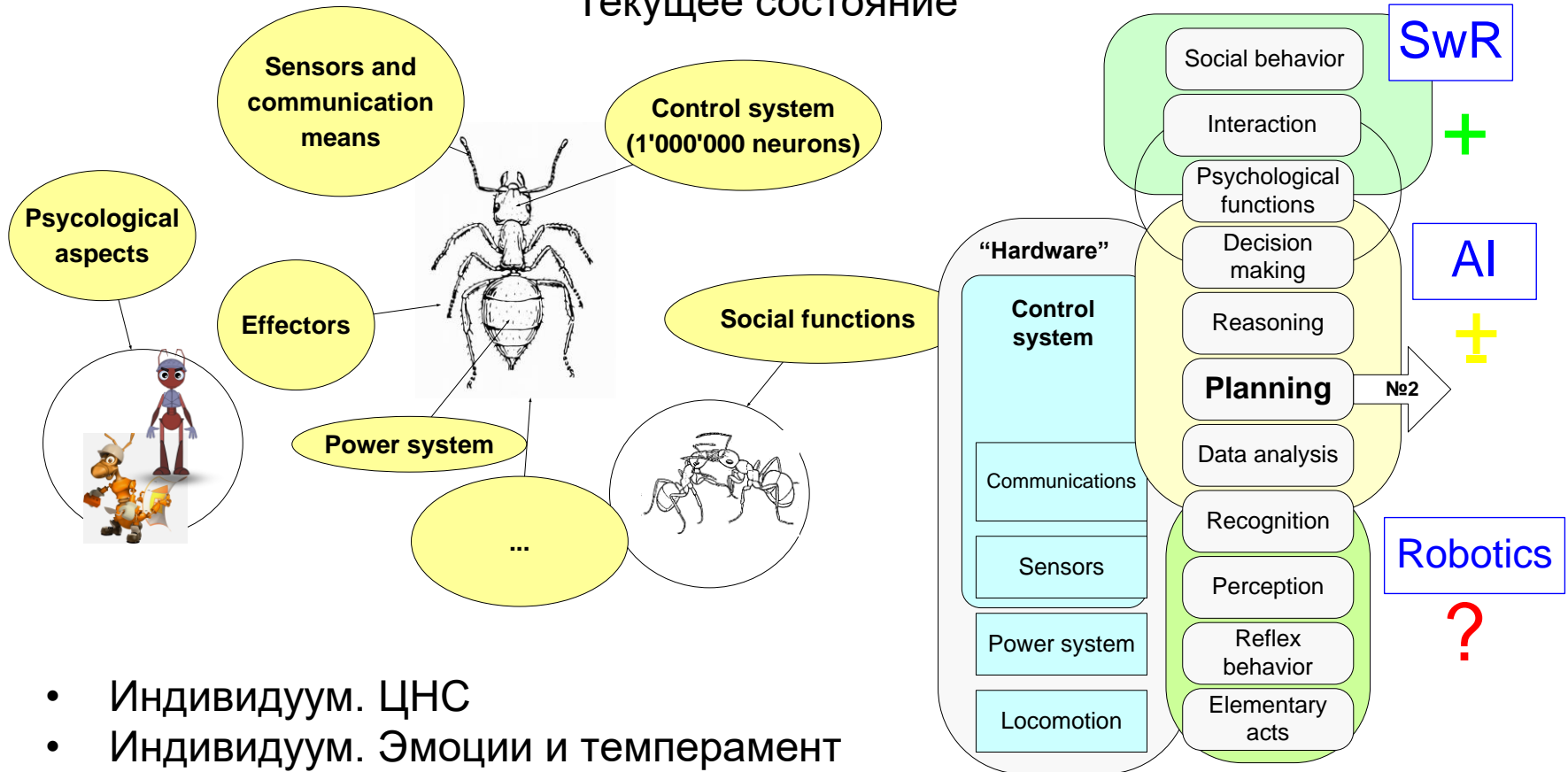


Обоснование выбора

1. Муравьи – эусоциальные животные
2. Их можно «конструировать» из готовых блоков. 130 млн. лет эволюции позволяют им не учиться, т.е. не приобретать новых навыков.
3. «Готовые блоки» – суть технология использования центральных моторных программ (ФКД)

Индивидум. План создания муравья

Текущее состояние



- Индивидуум. ЦНС
- Индивидуум. Эмоции и темперамент
- Индивидуум+прочие. Самосознание. Субъективное "Я". Лидерство
- Группа. Модели взаимодействия => коллектив

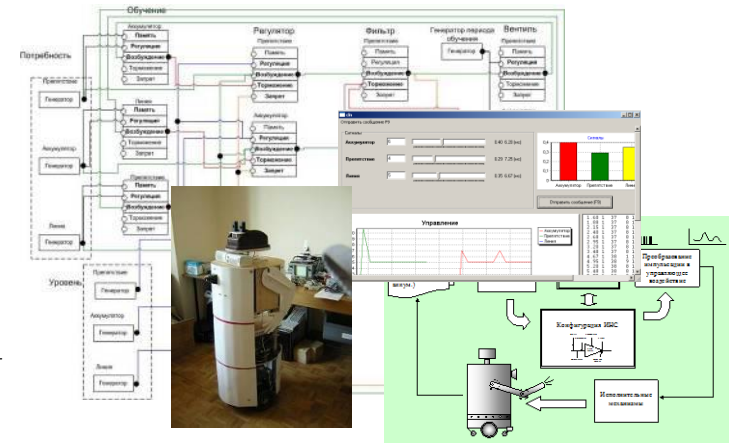
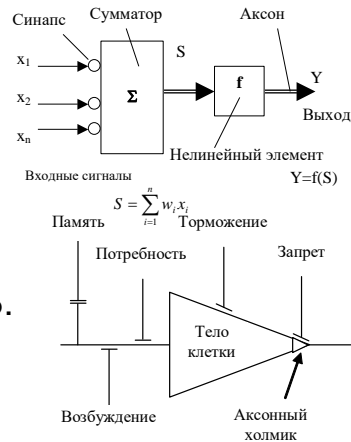
Особь. Мозг. Центральные моторные программы. ФКД

Искусственные нейронные сети

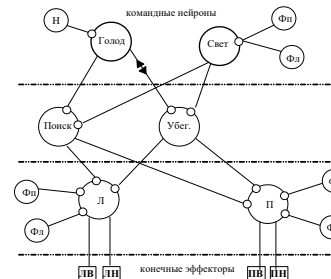
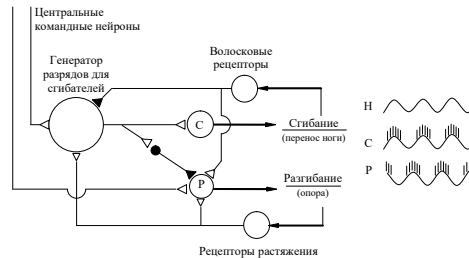
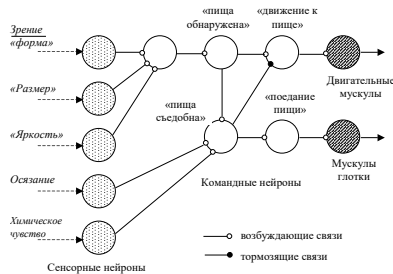
- 1943 г., У.Мак-Каллок и У.Питс, формальная модель нейрона

Спинной мозг и решение интеллектуальных задач

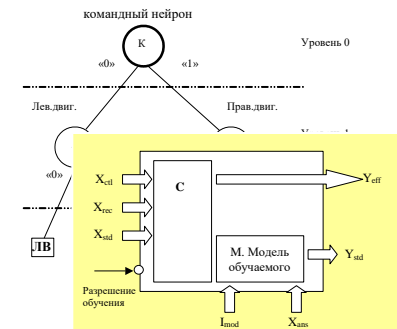
- **Большой пирамидный нейрон** («интеллектуальный нейрон», В.Б. Вальцев)



Вместо моделирования ансамбля из 1 млн. нейронов - реализация ограниченного количества функциональных блоков (распознавание, ориентация, коммуникация, обучение, моторика и т.п.). **Многоуровневое иерархическое управление** (Н.А. Бернштейн - *пирамидная двигательная система*, 30-40-е гг. XX в).



U-модуль



Генератор локомоторного ритма у таракана

Импринтинг

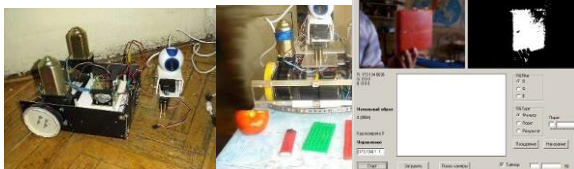


Схема управления пищевым поведением виноградной улитки

Схема поведения робота («свет-голд»)

-Обучение сверху-вниз

- Все узлы (U-модули) содержат заданные априори модели поведения (ЦМП)

Теория функциональных систем П.К. Анохина (модель структуры поведения)

Особь. Эмоции в робототехнике

Основная задача - создание эффективного человеко-машинного **интерфейса**, удобной, **комфортной** среды общения.

1. **Внешняя** имитация эмоций и некоторых психических процессов.
2. Распознавание эмоций человека.

Примеры «внешнего очеловечения»

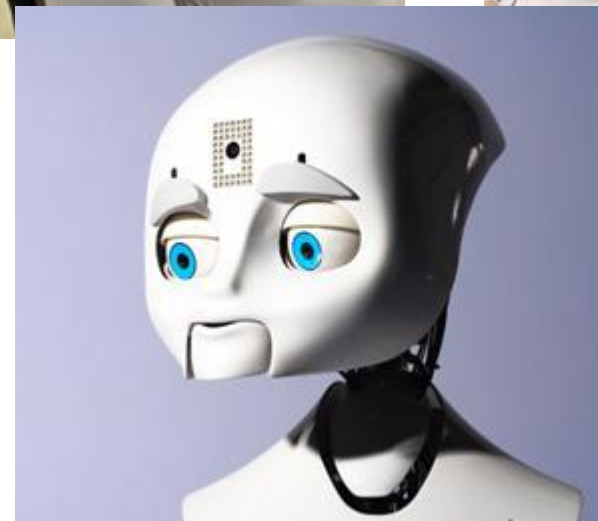
- **Проект CB2** (Япония, Osaka University).

Вес - 33 кг., высота - 1,3 м. 51 пневматическим привод, микрофоны, видеокамеры, 200 тактильных датчиков.

- **Проект Nexi** (Массачусетский технологический институт, США)

Задачи:

- Комфортный интерфейс
- Обучение



Особь. Эмоции и темперамент

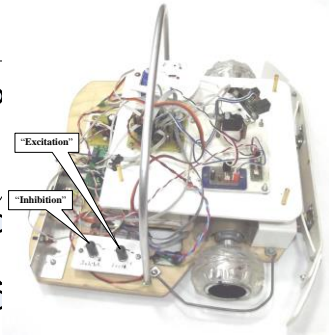
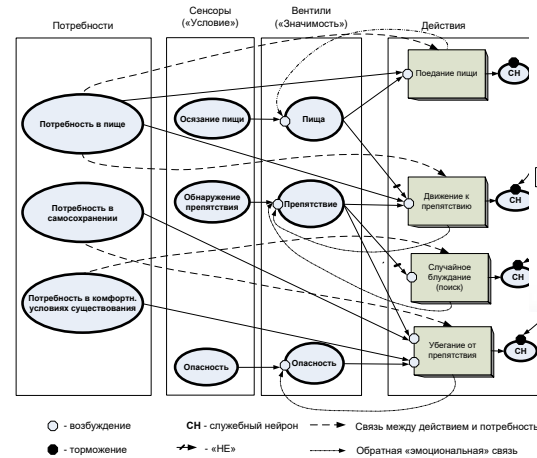
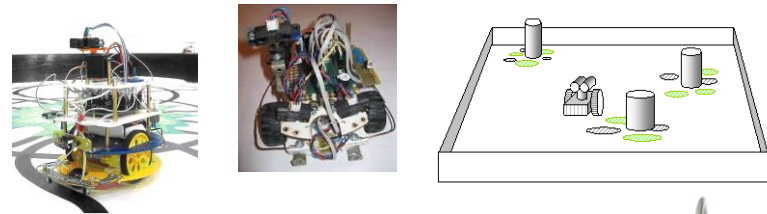
Потребностно-информационная теория эмоций П.В. Симонова (1964)

$$\mathcal{E} = f(\Pi, p(\text{Ин}, \text{Ис}))$$

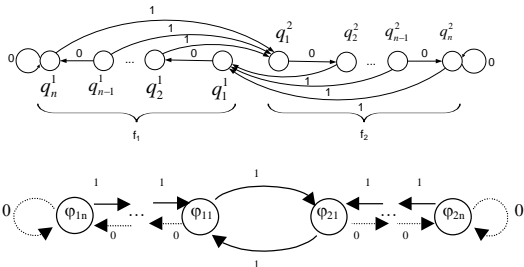
- Э. определяют критерии обучения.
- Э. контрастируют сенсорное восприятие и стабилизируют поведение.
- Э. в условиях неполноты информации.

Темперамент робота

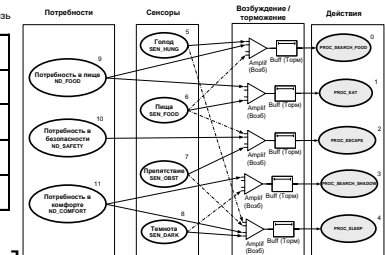
- Робот- Меланхолик, Холерик, Сангвиник и Флегматик
- 2 параметра: возбуждение и торможение.



Автоматная модель темперамента



	Возбуждение	Торможение
Меланхолик	Низкий	Низкий
Холерик	Высокий	Низкий
Сангвиник	Высокий	Высокий
Флегматик	Низкий	Высокий



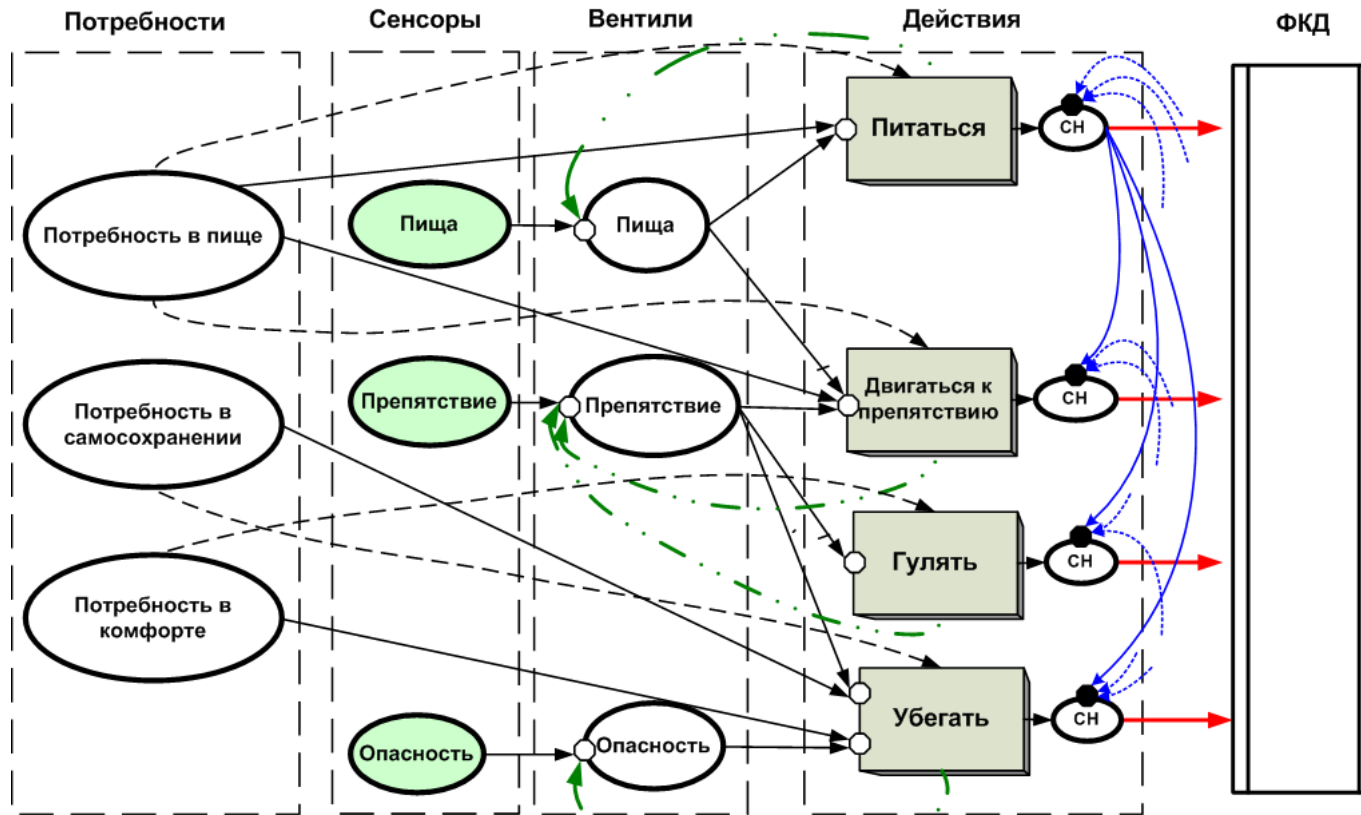
$$\text{ЕСЛИ } (s_{\text{food}}^{\text{need}} \& s_{\text{food}}^{\text{sens}}), \text{ TO } C_{\text{eat}}^{\text{proc}} [f(\text{PROC}_{\text{EAT}})]$$

$$K(C^{(1)}, \dots, C^{(V)}, \Delta) \quad C^{(i)} = C(a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i)$$

Теория функциональных систем П.К.Анохина. Ситуативные и ведущие эмоции, связанные с удовлетворением или неудовлетворением потребности

Архитектура эмоционального робота

1. Набор поведенческих правил $P_n = Cond_1 \& \dots \& Cond_i (a_n)$
 ЕСЛИ "Потребность в пище" (N_{food}) & "Вижу пищу" (S_{food}) ТО "Питаться" (a_{eat})
2. Множество поведенческих процедур (5-6: защитная реакция, поиск, поедание...)



○ – возбуждение, СН – сервисный нейрон, - - -> связь между действием и потребностью,
 ● – торможение, ↗ – «НЕ», - - -> эмоциональная обратная связь

Темперамент

- Экспериментально определенная зависимость между эмоциями робота и параметрами возбуждения/ торможения

Значение возбуждения (1..10)	Значение торможения (1..10)	Эмоции (-100..+100)	Тип
10 (высокое)	1 (низкое)	-60	Холерик
5 (высокое)	10 (высокое)	-24	Сангвиник
1 (низкое)	10 (высокое)	+20	Флегматик

- Соответствие конструкции автомата и темперамента

Уровень возбуждения	Уровень торможение	Темперамент	Автомат
Низкий	Низкий	Меланхолик	Автомат с линейной тактикой
Высокий	Низкий	Холерик	«Неврастеничный» автомат
Высокий	Высокий	Сангвиник	«Доверчивый» автомат
Низкий	Высокий	Флегматик	«Недоверчивый» автомат или «Пессимистический» автомат

Формализм

Продукции $P=R(N, S)$

N - множество актуальных потребностей,

S - сенсоры

$$P=R(N, S, G)$$

G - “значимость” для данного правила в текущий момент времени, влияние эмоционального состояния агента на выполняемое действие

$$G=V(E, N, S)$$

- Эмоция E - разность между тем, какие действия робот мог совершить в зависимости от текущей ситуации (исходя из имеющихся N и S) и вектором фактического выхода Y

$$E = k_{em}(Y - P)$$

$Y_i=1, i=a, 0$ – иначе

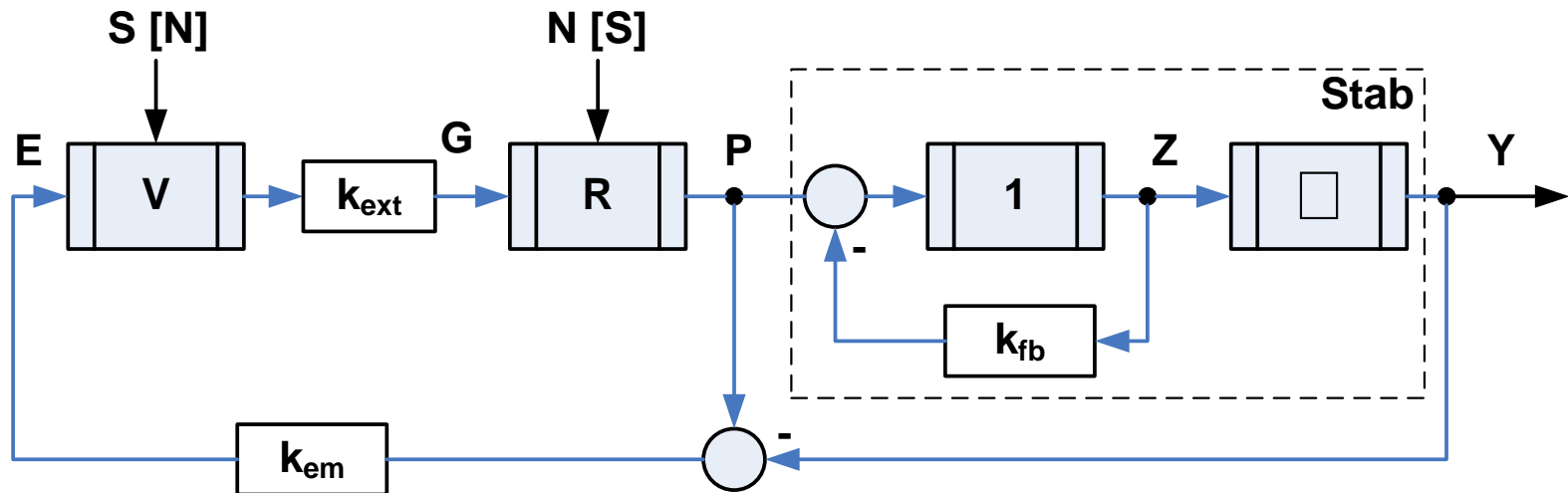
a – номер актуального действия

$a: Z_a = \max Z, Z(t) = P - k_{fb} \sum Z(t - 1)$

Итоговое выражение:

$$P=R(k_{ext}, N, S, G)$$

Структурная схема



Смысл введенного формализма:

Эмоции и темперамент (коэфф. k_{ext} и k_{inh}) – не метафора, а способ описания состояния системы, характера его поведения и способов управления.

Задачи управляемости и наблюдаемости

Биологически инспирированные архитектуры, модели и методы

Два аспекта заимствования из биологии:

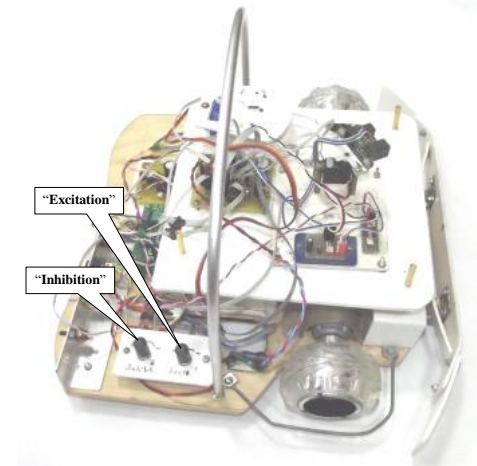
1. «Черпание вдохновения», попытки создания тех или иных аналогов биологических объектов
2. Проверка общности уже разработанных моделей и методов, попытка применить их для более широкого круга задач, т.е., верификация.

К чему приводит наличие эмоций и темперамента у роботов, а также реализация поведения в виде ФКД

- Информационно-потребностная теория П.В.Симонова.

$$E=f(N, p(I_{need}, I_{has}))$$

- Создание **психологического** уровня управления поведением робота – **темперамента**.
- Поведение **зомбированного паразитами индивида** и **шизофрения** (раздвоение личности).



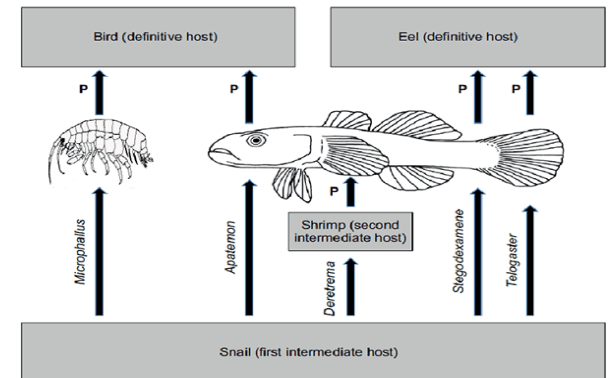
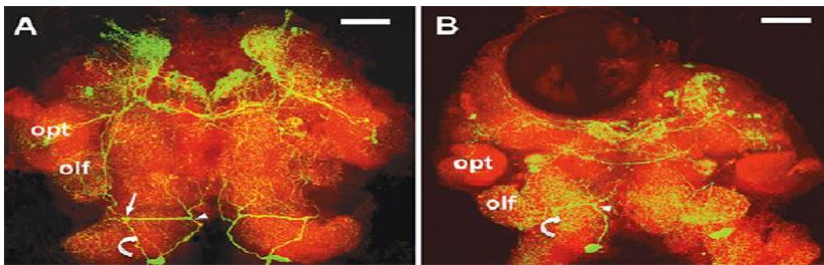
Паразитическое манипулирование (зомбирование)

Стратегии изменения поведения организма-хозяина.

1. Изменение временных последовательностей поведенческих ответов хозяина
2. Изменение направления реакции
3. Расщепление целостного поведения и синтез новых последовательностей действий

Механизмы:

1. Атака иммунной системы хозяина => «болезненное поведение» хозяина: защитная реакция этой системы - выработка нейромодуляторов => перехват управления нейромодуляторами.
2. Поражение генов, ответственных за работу нервной системы.
3. Прямое управление различными участками мозга



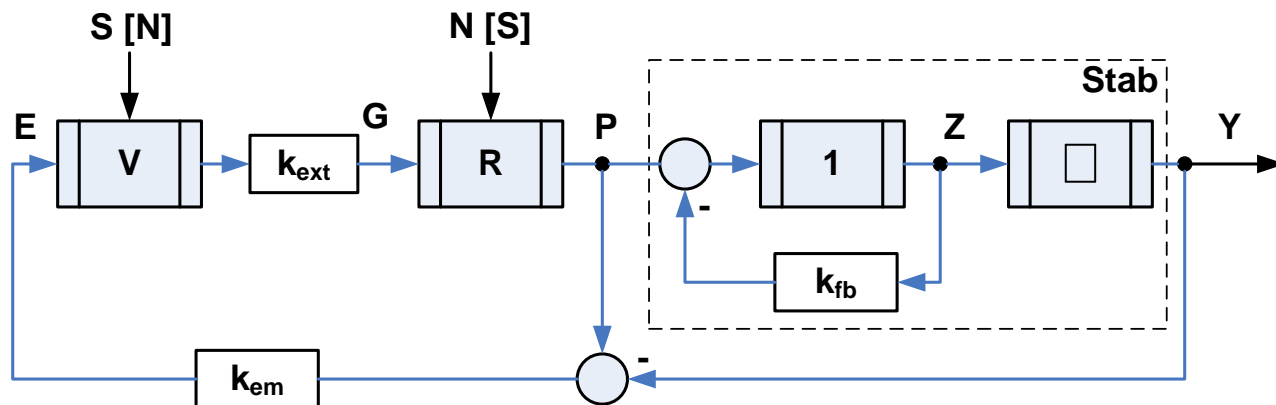
- Споровик *Toxoplasma gondii*. Кошка->мышь (пром.хозяин)->кошка. Агрессия мышей и влечение к кошкам.
- Черви скребни. Вынуждают бокоплава (пром.хозяин) не избегать света, не спасаться бегством при обнаружении хищника, не искать партнера для спаривания и т. д. Задача – быть съеденным уткой.

Особенность эмоциональной СУ

- Наличие контуров положительной обратной связи.
- Чувствительность к слабым воздействиям.
- Использование поведенческих подпрограмм - ФКД

Паразит - *простой* объектом с весьма ограниченным спектром возможностей.

Изменение поведение агента, воздействуя на потребностные и оценочные каналы СУ (аналог нейромодуляционного манипулирования), а также влияя на параметры контура обратной связи (непосредственное управление участками мозга).

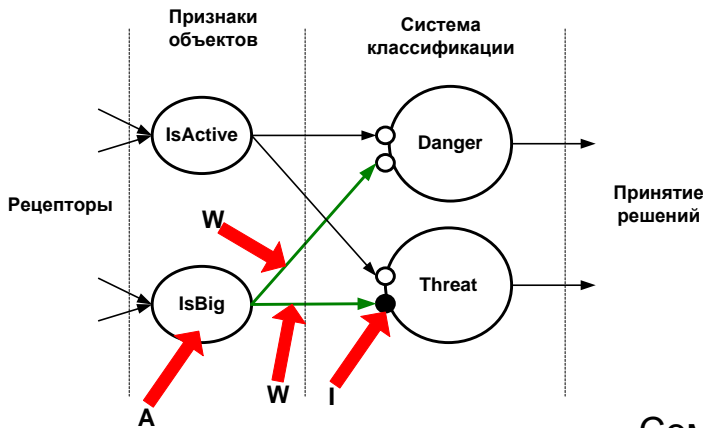
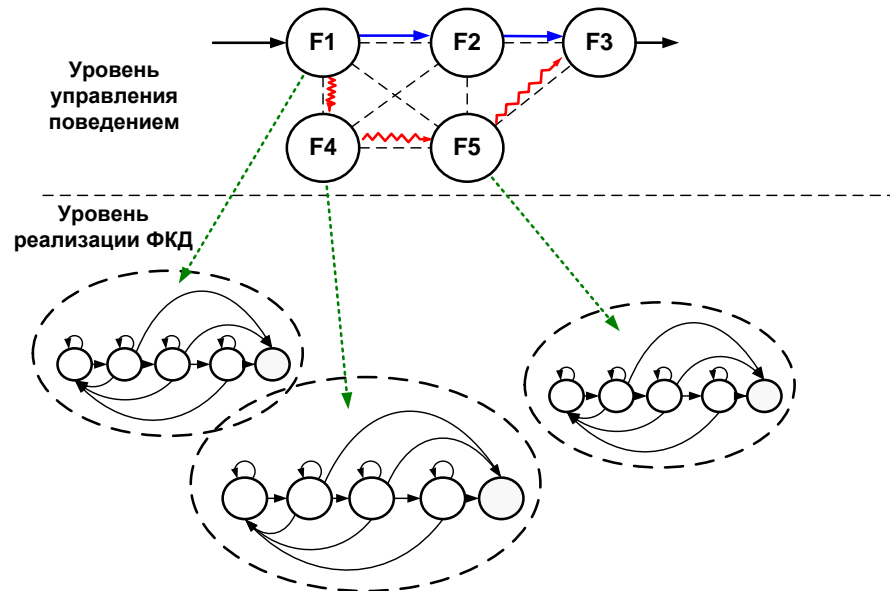
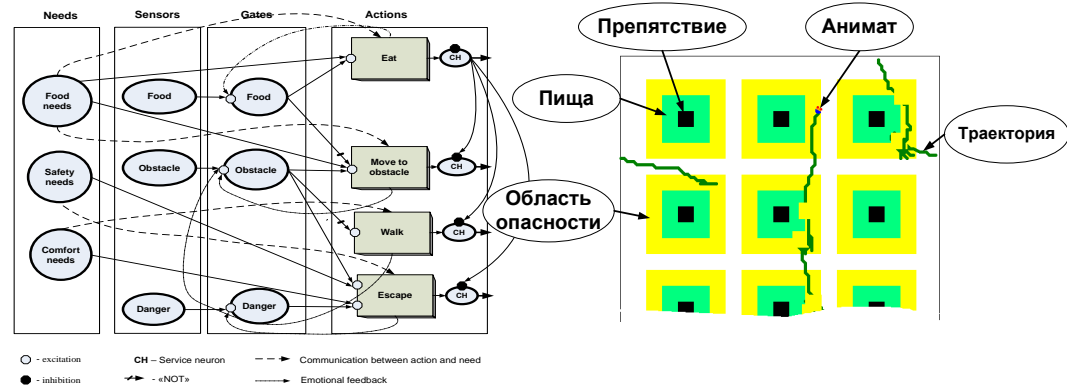


Паразитическое манипулирование

1. Изменение характера поведения (психологический уровень)

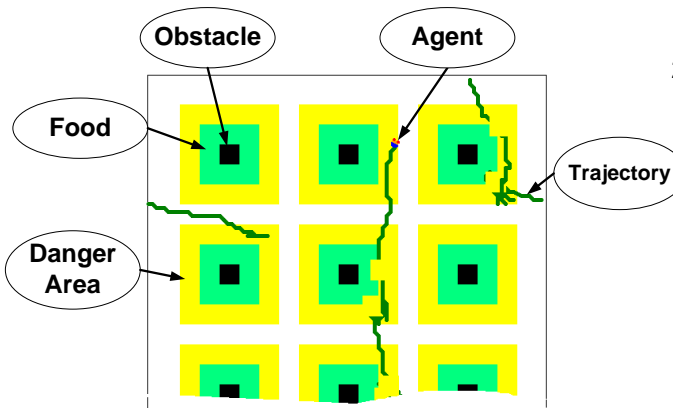
2. Прямое выстраивание реакций. Регуляция ФКД

3. Переориентация реакций

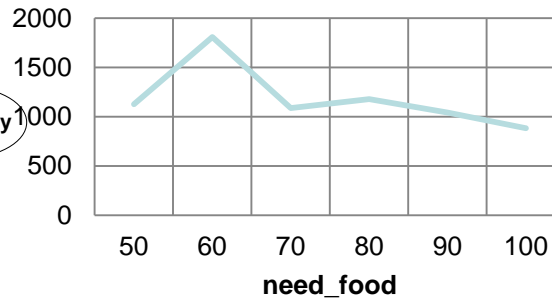


Эксперименты

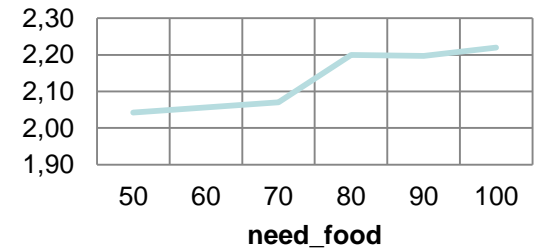
- Задача паразита – заставить агента находится в освещенной области



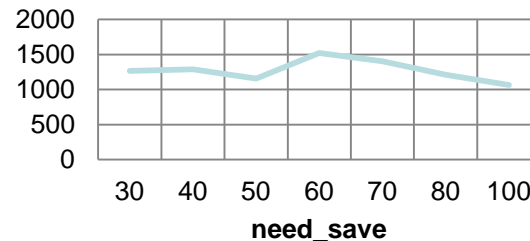
avr(Danger)



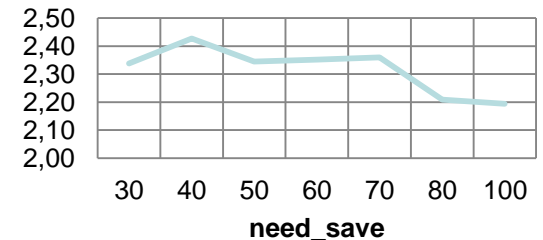
var(Proc)



avr(Danger)

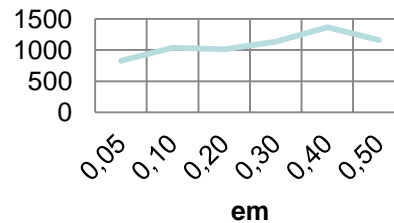


var(Proc)

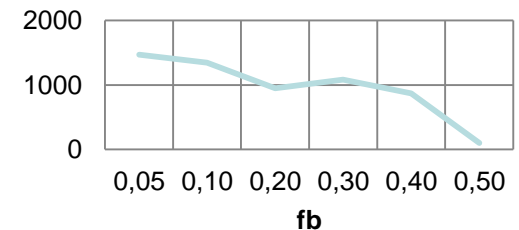


Максимальный эффект – при изменении эмоц. коэффициента k_{em} и коэффициента о.с. в контуре стабилизации k_{fb}

avr(Danger)



avr(Danger)

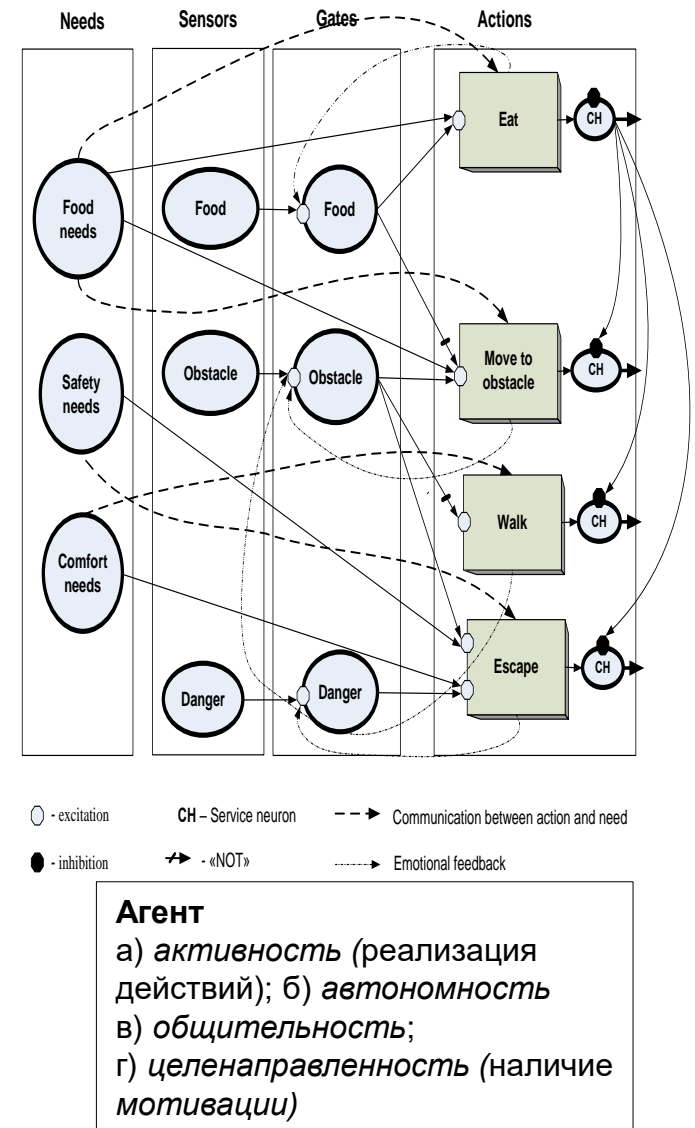


Из перспективного. Шизофрения

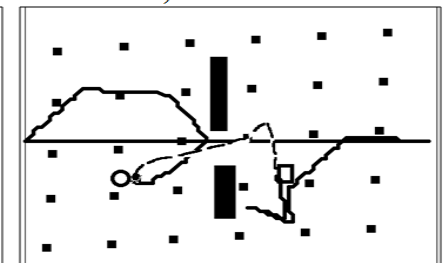
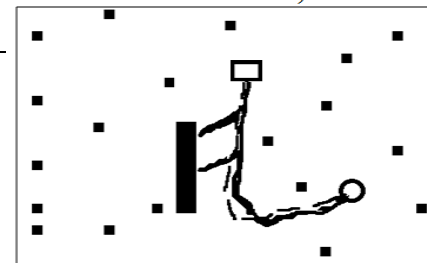
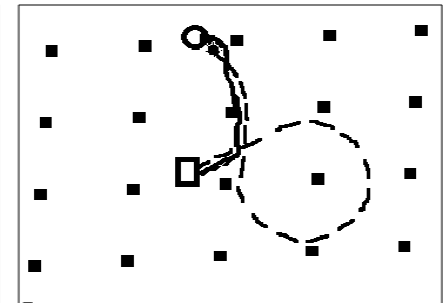
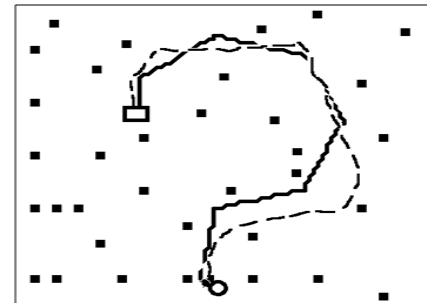
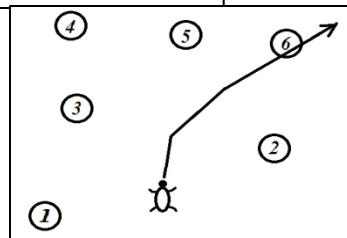
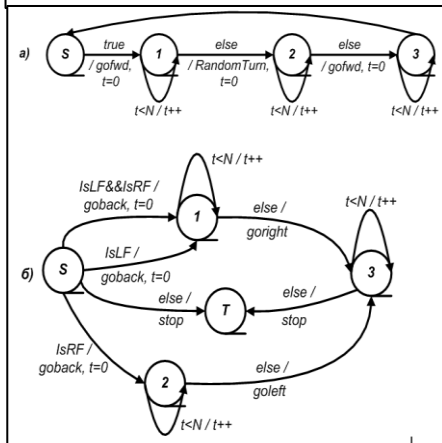
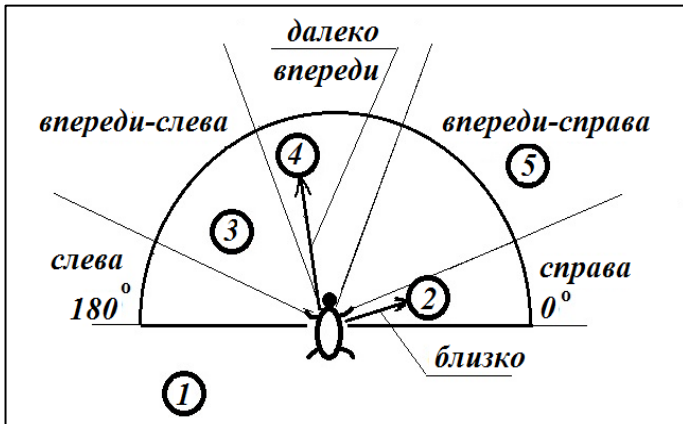
Строгое понимание Ш. связано с неадекватностью **эмоциональных** реакций => *если робот обладает эмоциональной компонентой, то он вполне может быть подвержен и шизофрении.*

Феномен раздвоения сознания.

- Архитектура эмоциональной СУ отражает наличие потребностей и способов их удовлетворения (моторных программ).
- СУ - совокупность агентов (G), обладающих своим целеполаганием, потребностями и способами их удовлетворения.
- => Наличие **конфликтов** между агентами, а эмоциональные обратные связи служат средством **согласования** работы подсистем, стабилизации поведения системы в целом.
- Дисбаланс, наличие автоколебаний в системе (фантомные сигналы, несуществующие потребности и проч.) можно рассматривать с точки зрения психических расстройств.



Представление маршрута мобильного робота на основе визуальных ориентиров



Обозначения:

■ - ориентир

■ - препятствие

□ - "дом"

○ - искомый объект

— - маршрут робота-разведчика

- - - маршрут робота-последователя

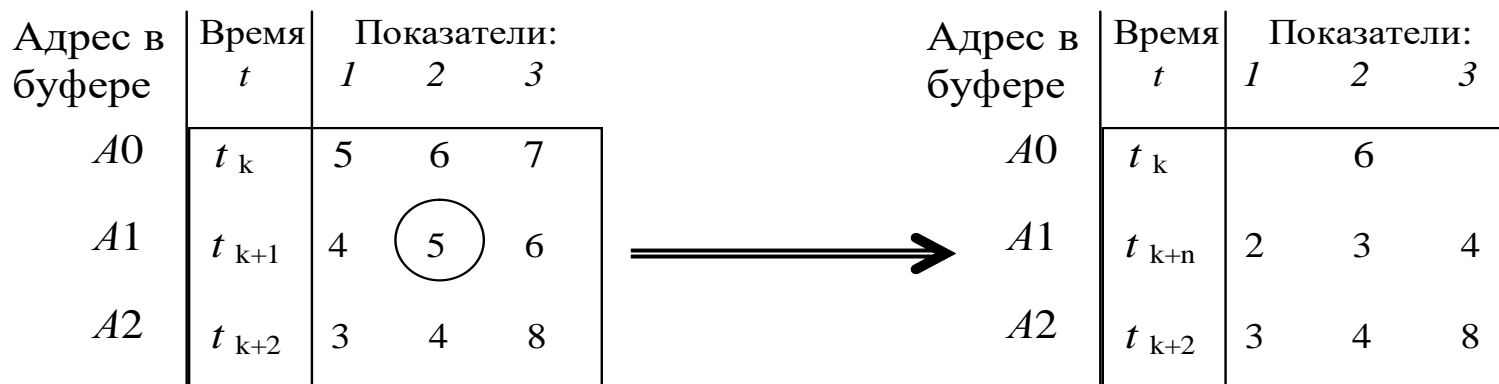
[2, впереди-слева, желтый, 3, слева],
 [1, впереди-справа, зеленый, 7, справа],
 [5, впереди-слева, красный, 8, слева],
 [7, впереди, синий, 9, впереди]...

И.П. Карпова

Организация распределенных запросов в МАС

Особенности:

1. Неполнота, избыточность, противоречивость
2. Отсутствие информации о расположении данных
3. Ограниченность локальных ресурсов носителей данных (узлов СР)



$N = 6, t = 34$

Показатели:

1 4 6

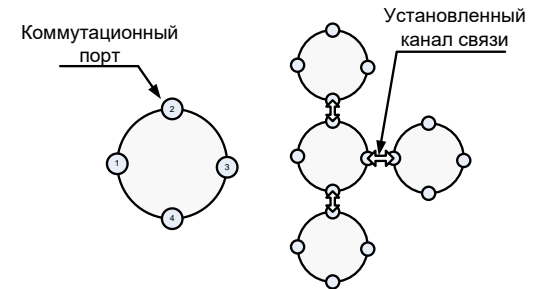
000...100010	10010100 00000000	01100000 00000000
--------------	-------------------	-------------------	-----	-----	-----

время (4 байта)
1-я битовая строка
2-я битовая строка

И.П. Карпова

Статический рой (основа формализма группы)

- СР – это модель, описывающая организацию множества локально взаимодействующих агентов (гомогенная стая).
- СР характеризуется отсутствием заданного управляющего центра и представляет собой некую **фиксированную** в данный момент времени сеть – совокупность агентов.

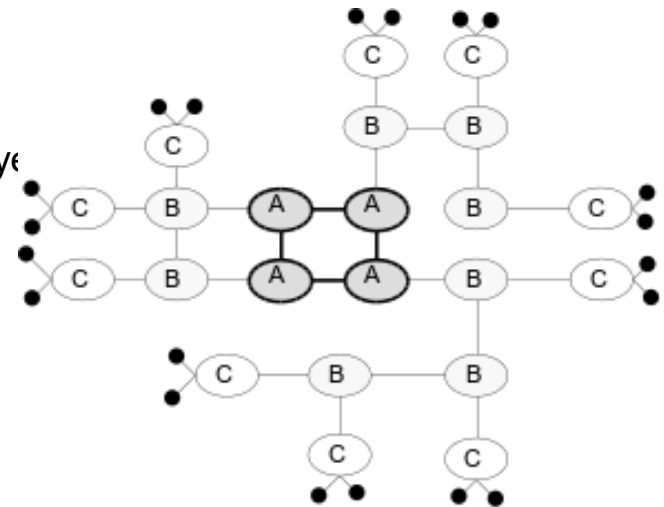


1. Организация БД

Все узлы сети хранят отдельные фрагменты общей БД – накопленный опыт, наблюдаемые факты и т.п.

2. Функциональная дифференциация узлов

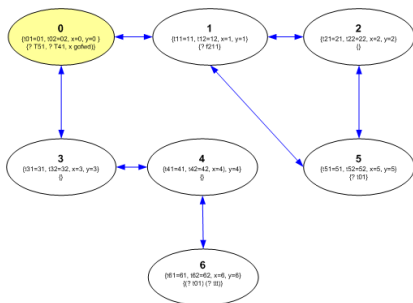
Дифференциация функций – сугубо **динамическая**, т.е. образует исходя из текущей топологии группы (сенсорные, вычислительные, управляющие узлы).



3. Логический вывод

4. Согласованные решения

5. Распределение вычислительных задач между узлами



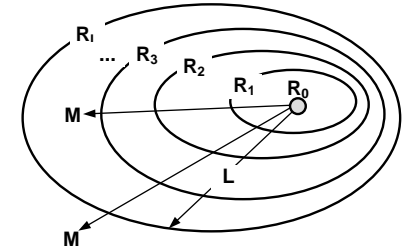
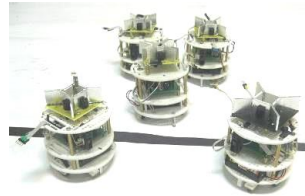
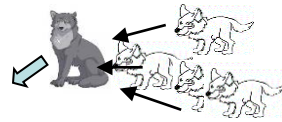
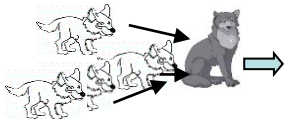
```

0 -----
(0): (1 3) D: {t01=1, t02=2, x=0, y=0} G: {f: t51, t: t41, [x gofwd] }
[1: (0 2 5) D: {t11=11, t12=12, x=1, y=1} [x gofwd] :0,0 )
[2]: (1 5) D: {t21=21, t22=22, x=2, y=2}
[3]: (0 4) D: {t31=31, t32=32, x=3, y=3}
[4]: (3 6) D: {t41=41, t42=42, x=4, y=4}
[5]: (1 2) D: {t51=51, t52=52, x=5, y=5}
[6]: (4) D: {t61=61, t62=62, x=6, y=6}
-----
3 -----
(0): (1 3) D: {t01=1, t02=2, x=6, y=6} G: {f: t51, t: t41, [x gofwd] }
[1]: (0 2 5) D: {t11=11, t12=12, x=7} [x gofwd] :1,5 [t41=41, t51=51, t61=61, t62=62]
[2]: (1 5) D: {t21=21, t22=22, x=8, y=8} [x gofwd] :2,6 [t51=51, t61=61, t62=62]
[3]: (0 4) D: {t31=31, t32=32, x=9, y=9} [x gofwd] :5,6 [t41=41, t51=51]
[4]: (3 6) D: {t41=41, t42=42, x=10, y=10} [x gofwd] :4,7 [t51=51, t61=61]
[5]: (1 2) D: {t51=51, t52=52, x=11, y=11} [x gofwd] :6,8 [t61=61, t62=62]
[6]: (4) D: {t61=61, t62=62, x=12, y=12} G: {f: t01}
    
```

Элементы логического вывода в СР

В.В. Воробьев

Лидерство. Задача голосования. Роли

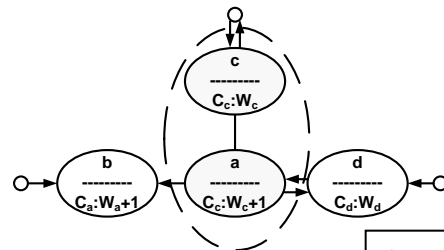
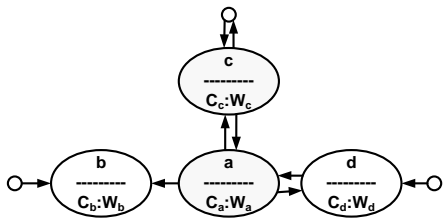


Дано: Множество агентов, способных лишь к непосредственному локальному взаимодействию между соседями

Задача: выбрать **единственного** лидера путем голосования.

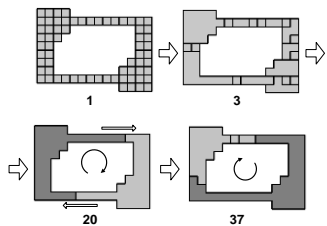
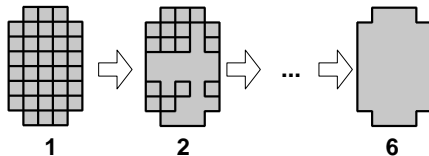
Процедура голосования

- каждый агент определяет, за кого голосуют его соседи.
- в зависимости от веса кандидата, за которого голосует сосед, агент может **поменять** свое мнение и проголосовать за того же кандидата, что и его сосед.



Распределение задач

- Для более сложных задач, решаемых группой роботов, требуется дифференциация функций - распределение задач между роботами.



$$p_{ij} = \frac{W_i}{W_i + W_j}$$

- Распределение ролей в СР определяется текущей топологией системы.
- Процедура распространения волны управления.
- Инициатор - **лидер** (роль R_0). Роль i -го робота определяется ролями его окружения:

$$R_i = \max_{k \in Z} R_k + 1$$

Определение лидера с учетом топологии

В.В. Воробьев

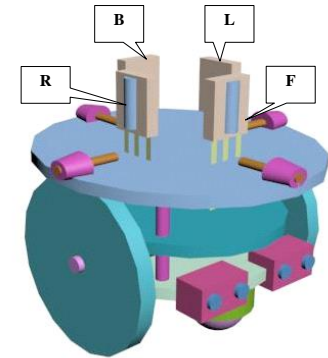
Сенсорика, самосознание и субъективное «Я»

С.Я. с точки зрения сенсорной системы.

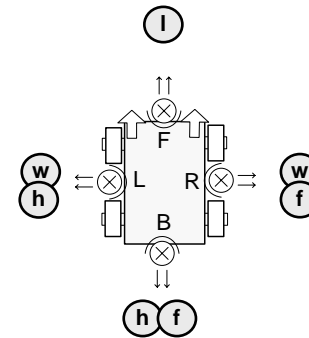
- "Я", как элемент модели мира для прогнозирования ситуации. Это прогнозирование сводится к моделированию развития ситуации.

Описание ММ. ММ - это способ отображения в памяти ИС знаний о внешней среде. Описание отношений между объектами мира, в котором живет робот:

1. Всякое действие робота должно быть отображено в ММ.
2. Действие изменяет отношения между объектами.
3. Одним из объектов является сам робот (**С.Я.**)



$$R_{r+f} = M_f^T (M_r^T \cdot R)$$



$$R = \begin{matrix} & w & l & h & f \\ F & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ L & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ R & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$M_r = \begin{matrix} & F & B & L & R \\ F & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ L & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ R & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Все происходящее в окружающем мире описывается отношениями между датчиками и наблюдаемыми объектами.

- Матрица R – наблюдаемая роботом картина мира.
- Совершение действия \Rightarrow изменение картины мира, т.е. изменяются отношения между датчиками робота и объектами.
- Описание изменений не с точки зрения "объект-датчик", а с точки зрения лишь датчиков, т.е. **с точки зрения робота.**

$$M_f = \begin{matrix} & F & B & L & R \\ F & \begin{bmatrix} 1.5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B & \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ L & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ R & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Сложное действие "поворот направо" + "шаг вперед":

Сенсорика. Восприятие мира. Распознавание сцен. Объекты, как сцены

Язык роботов. Коммуникации

Общие характеристики: локальность, малая скорость, избыточность и неточность

Акустический канал. Язык роботов задается формальной схемой:

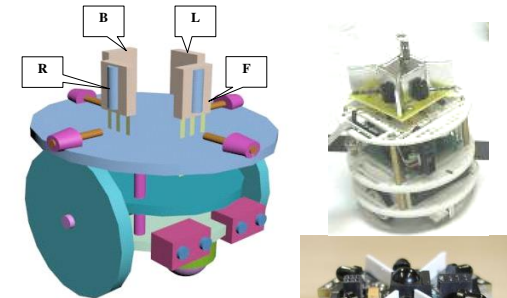
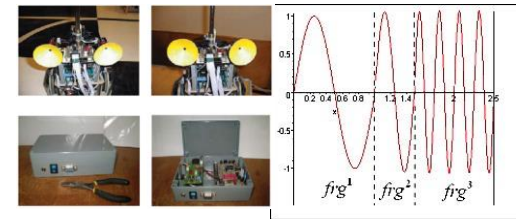
фонема -> звук -> буква -> фраза

В этой схеме удастся построить корректный распознаватель букв исходного языка

Язык роботов - набор алфавита **B**, множества фонем **F**, соответствия между ними **R** и пробела.

$L = \{B, F, R, S^*\}$

В.Е. Павловский



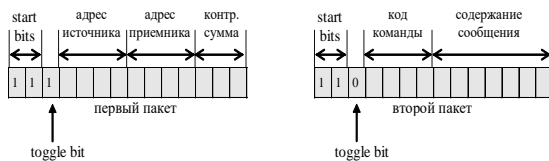
Псевдоаналоговая коммуникация в группе роботов

ИК-канал

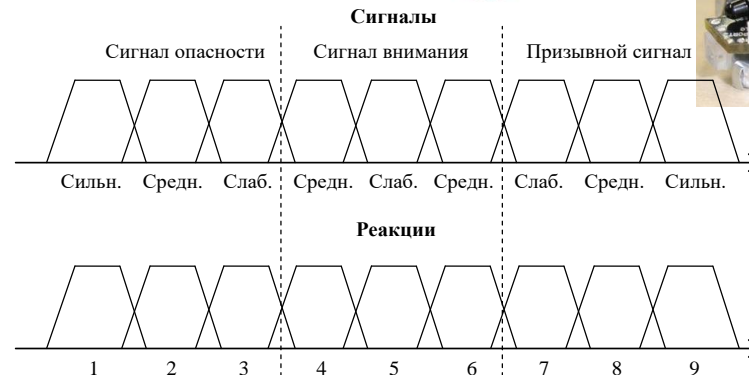
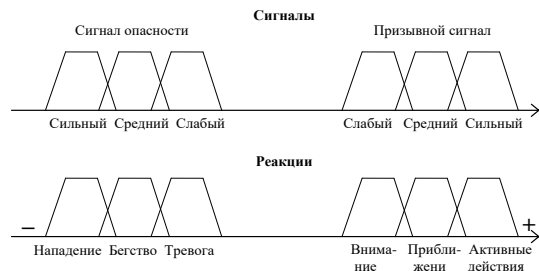
Скорость соизмерима с акустическим каналом

Направленность

Локальность



И.П. Карпова



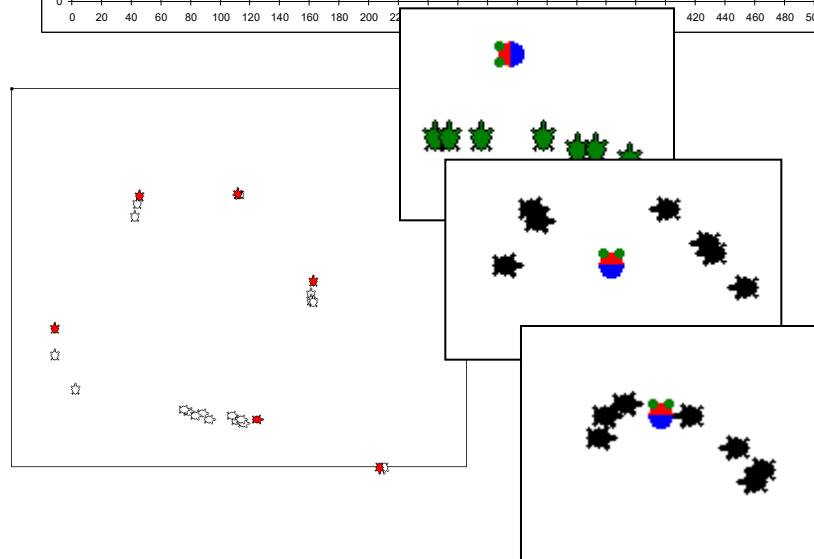
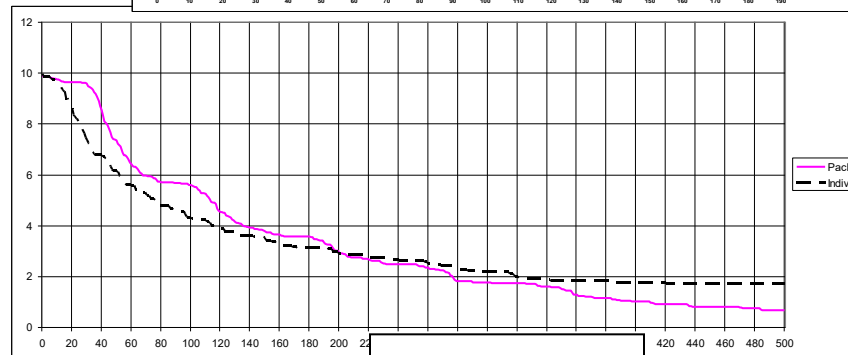
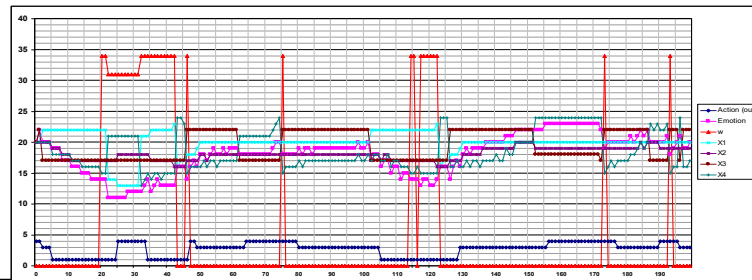
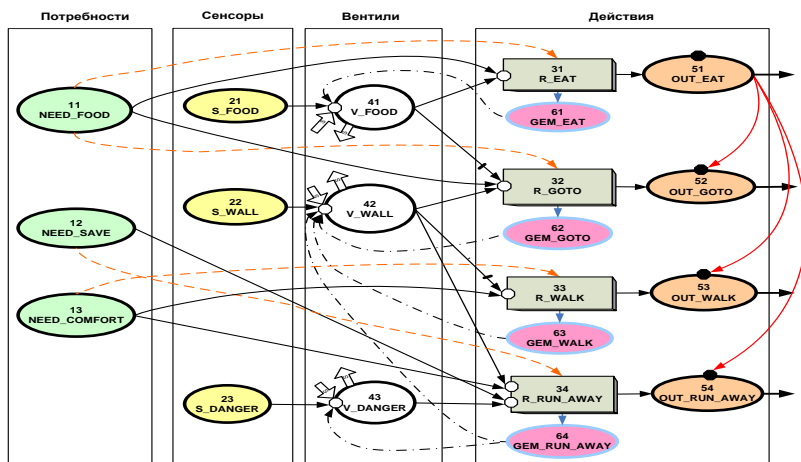
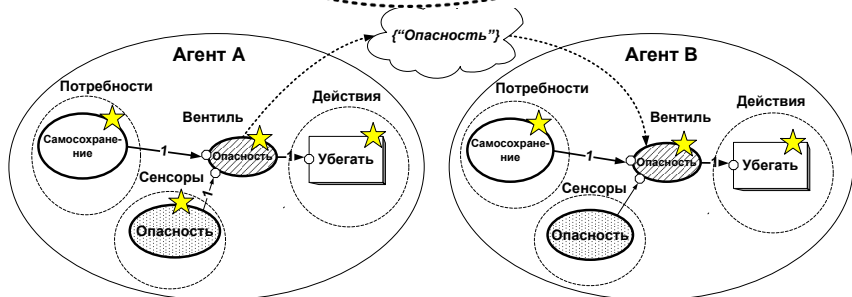
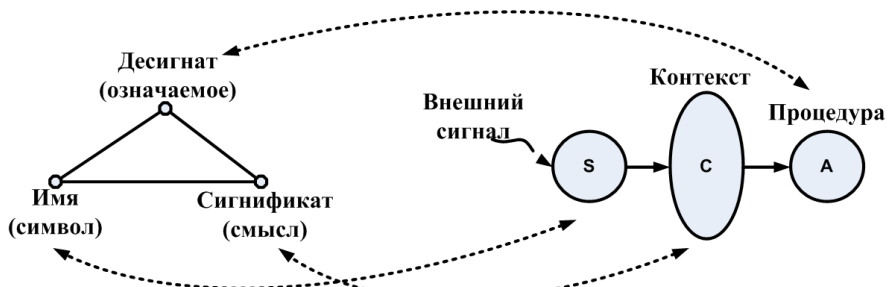
Обозначения реакций:

- 1 – нападать или затаиться (в зависимости от внутреннего состояния);
- 2 – бежать (удаляться от источника сигнала);
- 3 – прекратить текущие действия, увеличить радиус восприятия сигналов за счет дополнительных энергозатрат;
- 4 – продолжить текущие действия, увеличить радиус восприятия сигналов за счет дополнительных энергозатрат;
- 5 – игнорировать сигнал;
- 6 – продолжить текущие действия, увеличить радиус восприятия сигналов за счет дополнительных энергозатрат;
- 7 – прекратить текущие действия, увеличить радиус восприятия сигналов за счет дополнительных энергозатрат;
- 8 – сближаться с источником сигнала;
- 9 – выполнять активные действия (совместно кормиться, ухаживать и т.п.)

Акустический канал. Нейросетевая основа
А.С. Мигалёв

Язык роботов

Архитектура знак-ориентированной системы управления



Эмоции, как инициатор общения

Семинар Проблемы ИИ, 22.03.2017

Не только теория. Группировка роботов в НИЦ КИ

Отделение нейрокогнитивных наук и интеллектуальных систем,

- Лаборатория робототехники

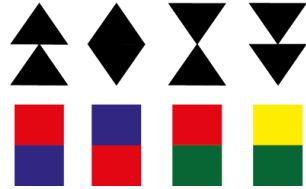
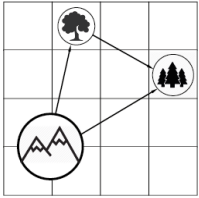


Роботы DrRobot, YARP-x

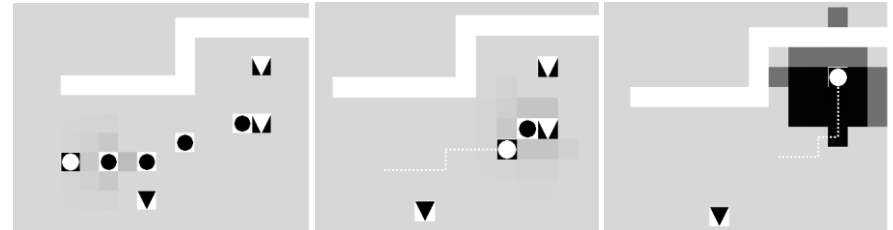


Задача патрулирования

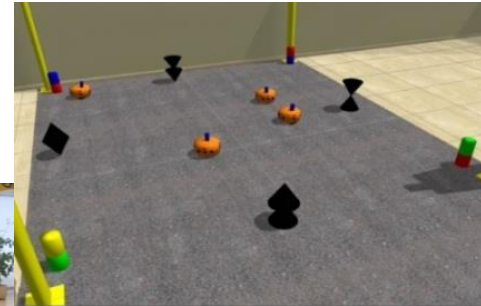
- Ориентация в пространстве



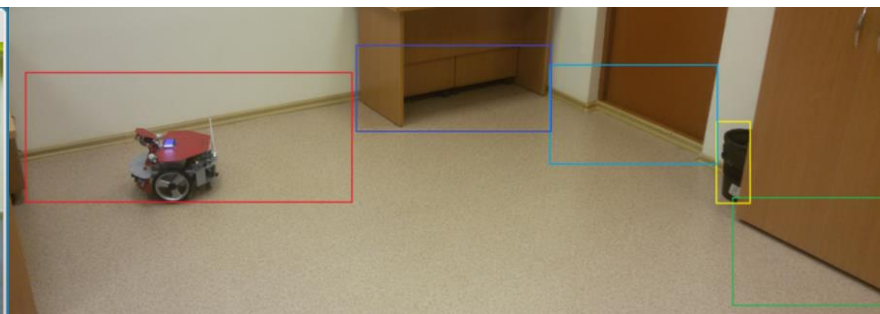
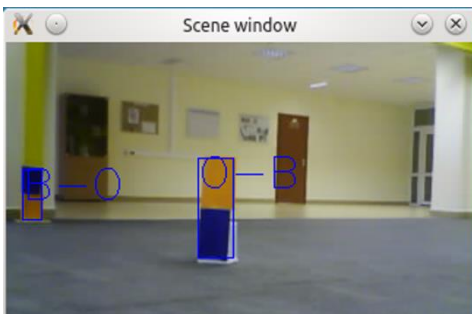
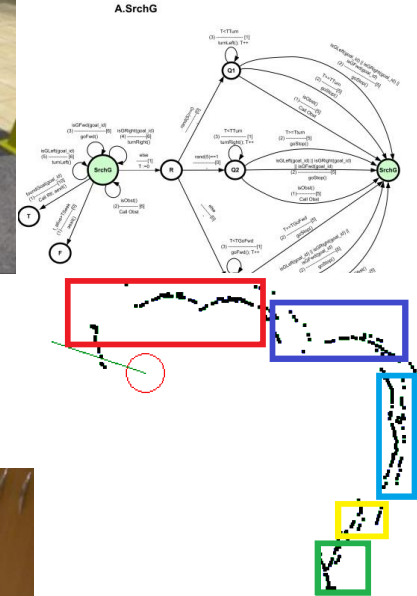
- Метод потенциальных полей



Моделирование и реальный полигон



Gazebo



Фундаментальные модели макроуровня

МОДЕЛИ ГРАНУЛЯЦИИ ИНФОРМАЦИИ И НЕЧЕТКИХ РАССУЖДЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АГЕНТОВ (РОБОТОВ)

- Грануляция информации как фундаментальное свойство когнитивного агента
- Основы теории грануляции информации и гранулярных вычислений для когнитивных роботов
- От мереологического к мереотопологическому подходу к построению гранул когнитивным роботом
- Псевдофизические логики в рассуждениях когнитивных роботов

МОДЕЛИ РАССУЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА БАЗЕ ОБОБЩЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ КОГНИТИВНЫХ РОБОТОВ

- Обобщенные ограничения и их использование в робототехнике
- Пространственные отношения в рассуждениях когнитивных роботов
- Схемы рассуждений когнитивных роботов на основе распространения обобщенных ограничений

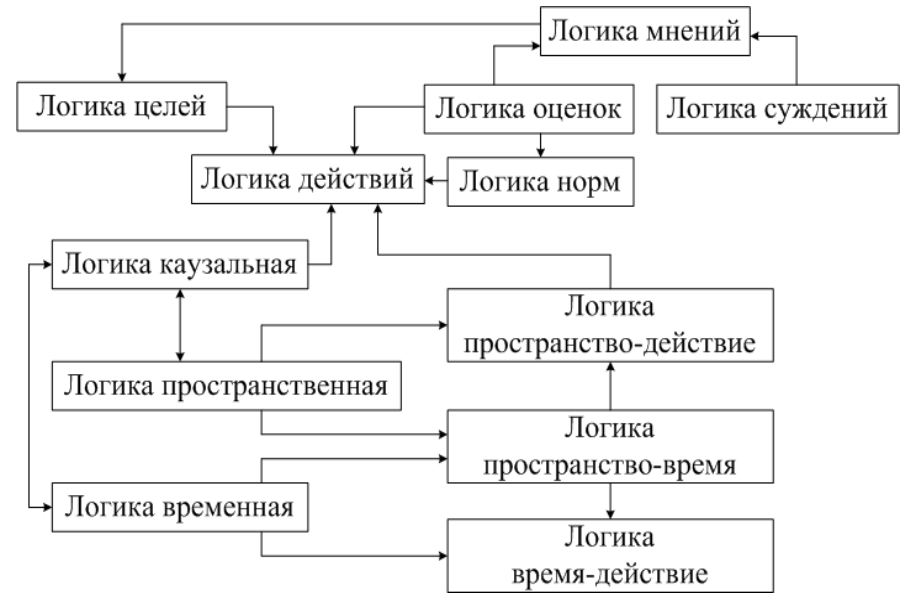
АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭУСОЦИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА РОБОТОВ НА ОСНОВЕ ПОДХОДОВ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ И ИСКУССТВЕННОЙ ЖИЗНИ

- Эусоциальное сообщество как многоагентная система
- Построение схем рассуждений роботов в искусственном рое на основе распространения обобщенных ограничений
- Статическая пространственная логика на плоскости

ПРОЦЕССЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЗНАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ В ИСКУССТВЕННОМ ЭУСОЦИАЛЬНОМ СООБЩЕСТВЕ

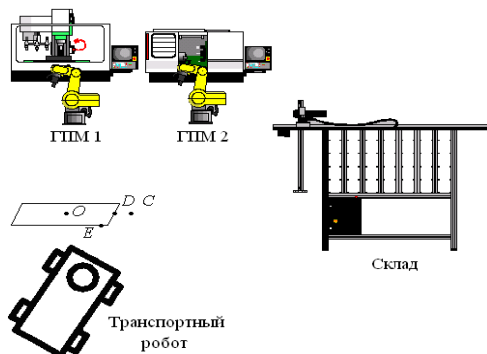
- Модель взаимодействия в эусоциальном сообществе на базе ресурсно-целевых сетей
- Онтология ресурсов муравьиной колонии

Иллюстрации



Иерархическая схема информационного взаимодействия мобильного когнитивного робота со средой

Система псевдофизических логик для когнитивного робота



Вывод как распространение ограничений в динамической пространственной логике

В.Б. Тарасов

Объезд препятствия

Семинар Проблемы ИИ, 22.03.2017

Фундаментальные модели макроуровня. Коалиции

ОБРАЗОВАНИЕ КОАЛИЦИЙ В НЕОДНОРОДНОЙ ГРУППЕ РОБОТОВ

- Знаковая среда функционирования агентов
- Концептуальный каркас среды функционирования
- Знаковая BDI архитектура агентов
- Поведение агента в знаковой среде функционирования
- Условия кооперации агентов
- Классический стайный алгоритм
- Итерационный стайный алгоритм
- Стайный алгоритм на основе критериев возможности достижения цели и взаимной полезности агентов
- Стайный алгоритм «ленивых» агентов
- Стайный алгоритм «эгоистичных» агентов

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ С АРХИТЕКТУРОЙ BDI

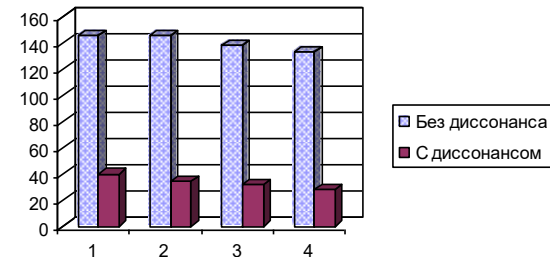
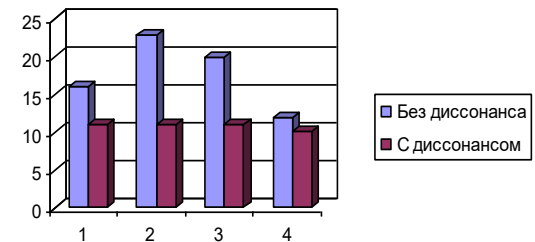
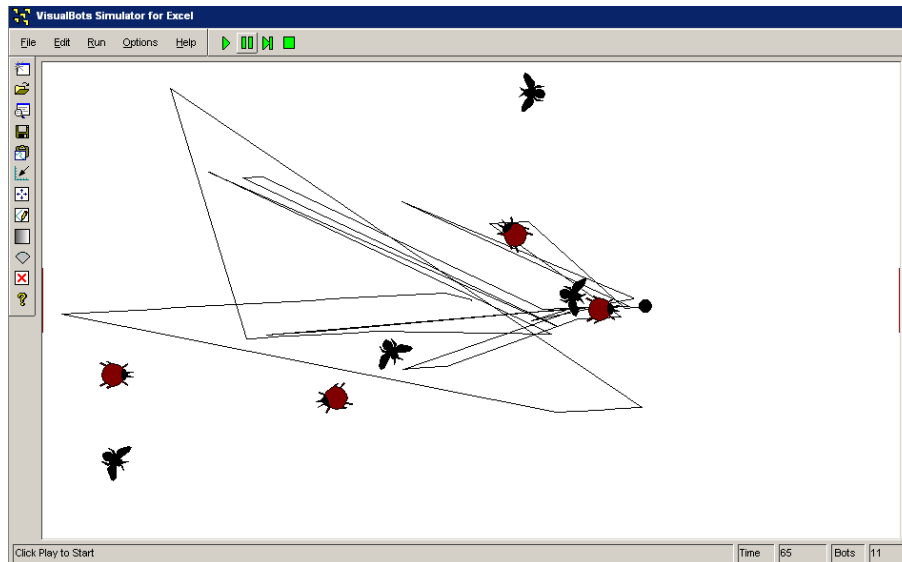
- Алгоритм создания и согласования между агентами их знаний о качественной знаковой среде их функционирования
- Алгоритм построения роботами концептуального каркаса предметной области
- Протоколы общения агентов для организации совместных действий по достижению целей

А.А. Кулинич

Коалиции в группе роботов

- Модели кооперации агентов (роботов) на основе критериев взаимной полезности и когнитивного диссонанса
- Сторонники - множество агентов с близкими целями, т.е. $K \subseteq A$, $\rho(g_i, g_q) \leq \varepsilon, \forall i, q \in K, \varepsilon$ – критерий близости целей.
- Остальные агенты $A \setminus K$ - противники коалиции.
- Дисбаланс во взаимной полезности агентов в коалиции создает у них ощущения **несправедливости**, которые увеличивают их мотивации выхода из коалиции, угрожающих ее устойчивости.

А.А. Кулинич



Макро- или микроуровень? Локальное взаимодействие и движение

MARS (Multiple Autonomous Robots), США,
Пенсильванский университет, 2000

- Отработка методов ориентации с использованием *правил ближайшего соседства*.
- Роботы определяют свои действия по действиям своих соседей (если в группе есть ведущий, то все остальные роботы повторяют его движения).



Робот EPORO (Nissan, 2009).

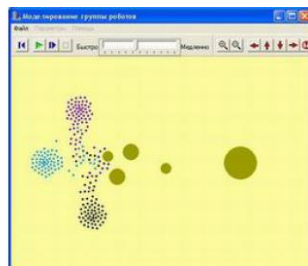
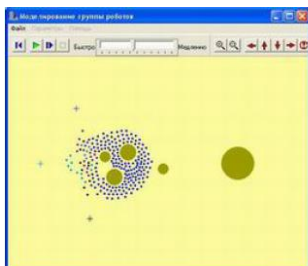
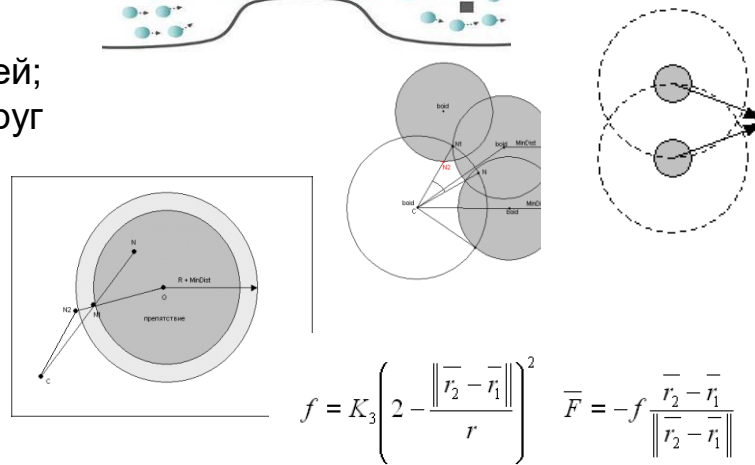
Имитация поведенческой модели стаи рыб
Лазерный дальномер - "боковая линия").

"3 правила поведения рыб".



Базовые алгоритмы движения:

- движение в направлении цели;
- движение в направлении центра масс своих соседей;
- поддержка минимально допустимого расстояния друг между другом и препятствиями;
- алгоритмы обхода препятствий и уклонения от столкновений; алгоритмы, учитывающие "отталкивание" и "притяжение" особей в стае и т.п.

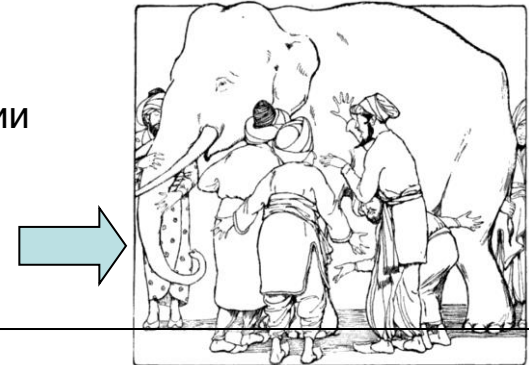


Стандартное заключение

1. Систем роевой, групповой, стайной, коллективной робототехники за более, чем **25 лет**, создано много.
2. Реальные успехи весьма скромны. Общие декларируемые принципы ГР так и остались не реализованными.
3. В качестве общей парадигмы предлагается обратиться к моделям социального поведения (т.к. иных путеводных нитей не видно).

Модели социального поведения

- Основной вопрос в правомерности представления сложного объекта в виде совокупности функциональных блоков.
- Насколько независимым могут быть эти механизмы? В биологии «носителем» всей этой совокупности является единая ЦНС.
- Быть может, все попытки декомпозиции представляют собой вычленение отдельных сторон, свойств единого и неделимого целого? Такая декомпозиция представляется целесообразной прежде всего с **технической точки зрения**.



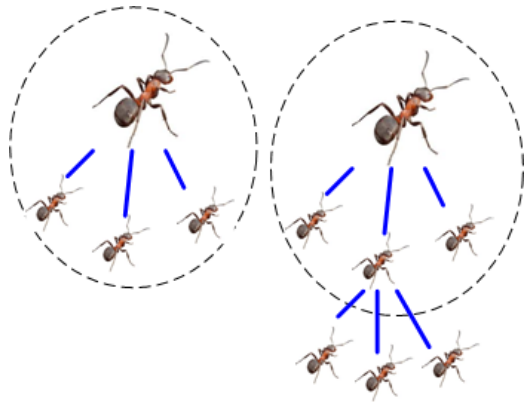
Перечень задач, которые мы умеем решать:

- Элементный базис.
- Согласованное движение на основе локального взаимодействия (когезия, распределение и т.п.).
- Психофизиологические особенности особи (эмоции, темперамент)
- Хранение и поиск информации в статических роях на основе локального взаимодействия
- Механизмы определения лидера.
- Распределение задач (дифференциация функций).
- Поведенческие механизмы (имитация ряда отдельных феноменов).
- Механизмы образования коалиций в коллективе роботов.
- Система (язык) коммуникаций – канал передачи данных, синтез и распознавание сообщений.

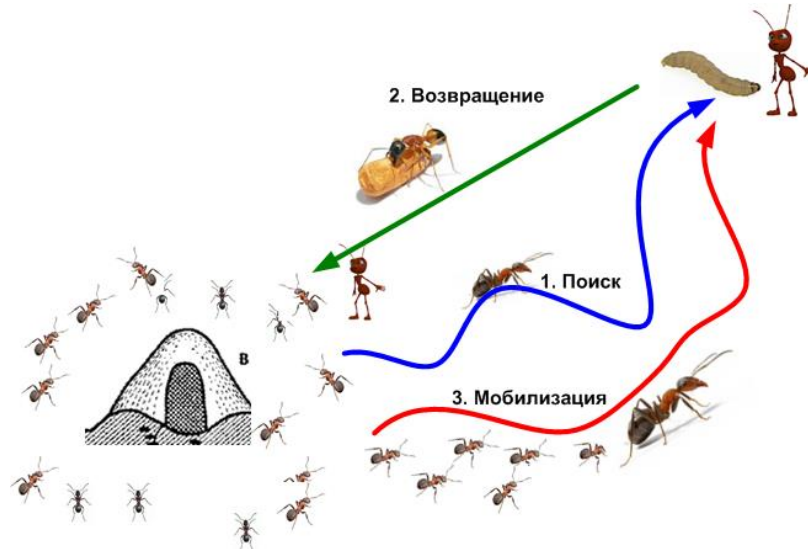
Перспективные задачи: ...

Проблемы. Настораживающие примеры

Локальная иерархия. Лидер и его «тройка»



Гнездо, «ленивые» муравьи, мобилизационный ресурс, подражательное поведение. Разведчик и его последователи.



В основе – примитивные механизмы: пищевое поведение и агрессия

- Муравьи следуют за «авторитетом» - удачливым едоком (подражают ему)
- «Мобилизационный ресурс» – это те, кто не услышал, не увидел, не распознал.
- **Территориальный гомеостаз** – агрессивное поведение (Федерации – продукт агрессии?)

Адаптивное поведение и самоорганизация на основе пищевого поведения

М.А. Ровбо

Регулятивные аспекты агрессии

И.П. Карпова

Семинар Проблемы ИИ, 22.03.2017

Проблемы. Что такое поведение

1. Поведение - сложившийся образ взаимодействия живого существа с окружающей средой.
2. К.Лоренц, "Агрессия": *"Поведение, единое с точки зрения функции – например, питание или размножение, – всегда бывает обусловлено очень сложным взаимодействием очень многих физиологических причин"*.
3. Невозможно выделить "чистое" поведение. Есть некий комплекс, суперпозиция реакций в зависимости от имеющихся у животного потребностей, мотиваций, состояния организма, среды и проч. Чем сложнее организм, тем менее явно можно выделить в его поведении те или иные схемы.
4. «Ответная реакция организма на внутренние или внешние раздражители. В отличие от действия поведение доступно наблюдению, более комплексно, имеет более выраженные паттерны и временные характеристики и, как правило, повторяется» (Мур,Файна, 2000).

Иными словами: П – это **условное наименование выделяемых последовательностей действий или элементов ФКД с точки зрения выполнения той или иной функции или достижения некоторой цели.**

Здесь подчеркивается условность этого понятия, его субъективная (относительно наблюдателя) сущность.

Проблемы. Химеры поведения

Вопрос: имеет ли смысл вообще говорить о реализации тех или иных моделей поведения?

=> **Опасность создания химеры**



О темпераменте. Имеются две **базовые величины** – возбуждение и торможение, - определяющие те параметры и особенности поведения, которые мы характеризуем далее как холерическое, флегматическое и проч. Но никак не наоборот. Мы не строим множество правил, которые задавали бы, скажем, сангвинистическую модель поведения.

Фундаментальный вопрос: какие регулятивные механизмы задают то, что мы далее можем определять как те или иные виды поведения, в т.ч. – социального?

Труды коллектива, 2009-2017

1. Karpov, V. E., & Valtsev, V. B. (2011). Dynamic Planning of Robot Behavior Based on an “Intellectual” Neuron Network. *Scientific and Technical Information Processing*, 38(5), 344–354.
2. Karpov, V. E. (2014). **Emotions and Temperament of Robots: Behavioral Aspects.** *Journal of Computer and Systems Sciences International*, ISSN 1064-2307, Original Russian Text © V.E. Karpov, 2014, Published in *Izvestiya Akademii Nauk. Teoriya I Sistemy Upravleniya*, 2014, No. 5, Pp. 126–145. Pleiades Publishing, Ltd.
3. Karpov, V. (2014). **Robot’s temperament.** *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 7, 76–86. <http://doi.org/10.1016/j.bica.2013.11.004>
4. Karpov, V. E., & Karpova, I. P. (2015). Formation of Control Structures in Static Swarms. *Procedia Engineering*. Vol. 100, 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2014. Elsevier.
5. Karpov, V., & Karpova, I. (2015). Leader election algorithms for static swarms. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, 12(0), 54–64. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.bica.2015.04.001>
6. Karpov, V., Migalev, A., Moscovsky, A., Rovbo, M., & Vorobiev, V. (2016). Multi-robot Exploration and Mapping Based on the Subdefinite Models. In A. Ronzhin, G. Rigol, & R. Meshcheryakov (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 9812, pp. 143–152). Budapest: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-43955-6_18
7. Karpov, V.E. (2016). About Some Mechanisms of Parasite Manipulation of Robot’s Behaviour // *Proceedings of the 9th World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS-2016, Tashkent, Uzbekistan, October 25-27, 2016)*/ Ed. by N.Yusupbekov, R.Aliev, J.Kacprzyk. : Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2016. pp. 241–245.
8. Karpov, V.E. (2016). A Sign-Oriented Mobile Robot-Control System // *Sci. Tech. Inf. Process.* 2016. T. 43. № 5. С. 1–8.
9. Pavlovskii V.E., Pavlovskii V.V. (2016). A Mathematical Model of a 2D Homogeneous Swarm of Robots // *Sci. Tech. Inf. Process.* ISSN 0147-6882. 2016. T. 43. № 5. С. 26–34.
10. Tarassov V.B. (2016) Information Granulation by Cognitive Robots and Artificial Swarms // *Proceedings of the 9th World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS-2016, Tashkent, Uzbekistan, October 25-27, 2016)*/ Ed. by N.Yusupbekov, R.Aliev, J.Kacprzyk. : Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2016.

11. Воробьев, В. В. (2015) Поиск в статических роях // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015): Материалы V междунар. Науч.-техн. Конф. (Минск, 19-21 февраля 2015 года), 620 с. Минск: БГУИР, 2015а. С. 489–490.
12. Воробьев, В. В. (2015) Логический вывод в статическом рое. In Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах, Т.2 (pp. 539–548). М.: Физматлит.
13. Воробьев, В. В. (2016) Алгоритм кластеризации коллектива роботов // III Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2016) , 22-23 сентября 2016, Казань. Казань: , 2016с. С. 50–59.
14. Воробьев, В. В., Московский А.Д. (2016) Алгоритм выбора лидера в системах с меняющейся топологией // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016), 3-7 октября 2016, Смоленск, 2016. С.149-157
15. Воробьев, В. В. (2017) Алгоритм выбора лидера и кластеризации в группе роботов // Мехатроника. Автоматизация. Управление.
16. Карпов, В. Э. (2007). Импринтинг и центральные моторные программы в робототехнике. In IV-я Международная научно-практическая конференция “Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте” (28-30 мая 2007 г.) Сб. научн. трудов, Т.1. (pp. 322–332). М.: Физматлит.
17. Карпов, В. Э. (2010). Эмоции роботов. In XII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (20-24 сентября 2010 г., Тверь): Труды конференции, Т.3. (pp. 354–368). М.: Физматлит.
18. Карпов, В. Э. (2011). Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное. Современная Мехатроника. Сб. Научн. Трудов Всероссийской Научной Школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 Сентября 2011), 132 С. Орехово-Зуево.
19. Карпов, В. Э. (2012). Частные механизмы лидерства и самосознания в групповой робототехнике. In XIII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16-20 октября 2012 г., Белгород): Труды конференции (Vol. 3, pp. 275–283). Белгород: Изд-во БГТУ.
20. Карпов, В. Э. (2013). Управление в статических роях. Постановка задачи. In «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Сб. научных трудов VII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 20-22 мая 2013). В 3-х томах. (Vol. 2, pp. 730–739). М.: Физматлит.

- 21. Карпов, В. Э. (2014). Процедура голосования в однородных коллективах роботов. In XIV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 октября 2014 г., Казань, Россия): Труды конференции. Т.2. (pp. 159–167). Казань: Изд-во РИЦ “Школа.”
- **22. Карпов, В. Э. (2014). Эмоции и темперамент роботов. Поведенческие аспекты. Известия РАН. Теория И Системы Управления, (5), 126–145.**
- 23. Карпов, В. Э. (2015а). Знак-ориентированный механизм локального взаимодействия между роботами. In Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. (pp. 504–514). М.: Физматлит.
- 24. Карпов, В. Э. (2015b). Об одной реализации знак - ориентированной системы управления мобильного робота. Искусственный Интеллект И Принятие Решений, 3, 53–61.
- **25. Карпов, В. Э. (2016а). Модели социального поведения в групповой робототехнике. Управление Большими Системами, (59), 165–232.**
- 26. Карпов, В. Э. (2016b). Сенсорная модель подражательного поведения роботов. In Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): материалы VI междунар. Науч.-техн. Конф. (Минск, 18-20 февраля 2016 г) (pp. 471–476). Минск: БГУИР.
- 27. Карпов, В.Э. (2016b) Биологически инспирированные подходы в робототехнике // Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2016) , 22-23 сентября 2016, Казань (пленарный доклад). Казань
- 28. Карпов, В. Э., & Вальцев, В. Б. (2009). Динамическое планирование поведения робота на основе сети “интеллектуальных” нейронов. Искусственный Интеллект И Принятие Решений, 2, 58–69.
- 29. Карпова И.П. К вопросу о представлении маршрута для робота в задаче фуражирования // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016), 3-7 октября 2016, Смоленск, Т.1. , 2016а. С. 169–178.
- 30. Карпова, И. П. (2016). Псевдоаналоговая коммуникация в группе роботов. Мехатроника, Автоматизация, Управление, 17(2), 94–101. <http://doi.org/10.17587/mau.17.94-101>

31. Карпова, И. П. (2016) К вопросу о представлении маршрута мобильного робота на основе визуальных ориентиров // Мехатроника. Автоматизация. Управление
32. Кулинич, А. А. (2012). Модель поддержки принятия решений для образования коалиций в условиях неопределенности. Искусственный Интеллект И Принятие Решений, (2), 95–106.
33. Кулинич, А. А. (2014а). Концептуальные каркасы онтологий слабо структурированных предметных областей. Искусственный Интеллект И Принятие Решений, (4), 31–41.
34. Кулинич, А. А. (2014b). Модель командного поведения агентов (роботов): когнитивный подход. Управление Большими Системами. М.: ИПУ РАН.
35. Кулинич, А. А. (2014b). Модель кооперации агентов (роботов). In Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции. Т.2. (pp. 168–17). Казань: Изд-во РИЦ “Школа.”
36. Кулинич, А. А. (2016а). Модель кооперации агентов в семиотической среде. In Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): материалы VI междунар. Науч.-техн. Конф. (Минск, 18-20 февраля 2016 г) (pp. 259–264). Минск: БГУИР.
37. Кулинич, А. А. (2016b). Стайные алгоритмы формирования и функционирования команд агентов. In Конгресс по интеллектуальным и информационным технологиям IS&IT’ 16. Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT’ 16». Научное издание в 3-х томах, Т.1 (pp. 301–310). Таганрог: Из-во ЮФУ.
38. Кулинич, А. А. (2016). Модель командной работы агентов с BDI архитектурой // XV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016), 3-7 октября 2016, Смоленск. Смоленск, 2016е. С. 344–352.
39. Кулинич, А. А. (2016). Стайные алгоритмы формирования и функционирования команд агентов // Конгресс по интеллектуальным и информационным технологиям IS&IT’ 16. Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT’ 16». Научное издание в 3-х томах, Т.1. Таганрог: Из-во ЮФУ, 2016с. С. 301–310.
40. Кулинич, А. А. (2016). Модели стайного поведения роботов // Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2016) , 22-23 сентября 2016, г.Иннополис, Республика Татарстан. Москва: Издательство «Перо», 2016а. С. 60–69.

41. Кулинич, А. А. (2016). Семиотические когнитивные карты. Ч.1. Когнитивный и семиотический подходы в информатике и управлении // Проблемы управления. 2016b. № 1. С. 2–10.
42. Кулинич, А. А. (2016). Семиотические когнитивные карты. Ч.2. Основные определения и алгоритмы // Проблемы управления. 2016с. № 2. С. 24–40.
43. Московский, А. Д. (2016). Об одном методе распознавания объектов с не полностью определенными признаками // Третий Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2016, 22-23 сентября 2016 г., г. Иннополис, Республика Татарстан, Россия): Труды семинара. – М: Изд-во «Перо», 2016. – 184 с. С. 137–146.
44. Павловский, В. Е., Кирикова, Е. П., & Павловский, В. В. (2010). Моделирование поведения больших групп роботов в среде с препятствиями. In Тр. научно-технического семинара “Управление в распределенных сетевых и мультиагентных системах” (pp. 10–13). СПб: ОАО “Концерн ЦНИИ «Электроприбор» “.
45. Павловский, В. Е., & Кирков, А. Ю. (2013). Тональная мультисигнальная акустическая коммуникация роботов. Препринты ИПМ Им. М.В.Келдыша, (102), 32 с.
46. Павловский, В. Е., & Павловский, В. В. (2015). Математическая модель двумерной гомогенной стаи роботов. Искусственный Интеллект И Принятие Решений, (4), 95–104.
47. Ровбо, М.А. (2016) Распределение ролей в гетерогенном муравьино-подобном коллективе // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016), 3-7 октября 2016, Смоленск, Т.2. Смоленск, 2016а. С. 363–371.
48. Ровбо М.А., Овсянникова Е.Е., Чумаченко А.А. Обзор средств имитационного моделирования коллективов роботов с элементами социальной организации // Программные продукты и системы. 2017
49. Тарасов, В. Б. (2013) Гранулярные структуры измерений в интеллектуальных средах: васильевские и белнаповские сенсоры и модели их взаимодействия., 11(5), 65–74.
50. Тарасов, В. Б. (2014) Грануляция информации – основа когнитивных процессов и предпосылка создания интеллектуальных систем новых поколений. (В. Г. Редько, Ed.), Подходы к моделированию мышления 219–261 (2014). Москва: Ленанд.

51. Тарасов, В. Б. (2015) Проблема понимания: настоящее и будущее искусственного интеллекта. In Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Материалы V-й Международной научно-технической конференции OSTIS-2015 (pp. 25–42). Минск: БГУИР.

52. Тарасов, В. Б. (2016) От спецификации когнитонов и инженерии интенций к обобщенной архитектуре деятельности агентов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы. Материалы III-й Всероссийской Поспеловской конференции (Светлогорск, Калининградская область, 6 июня-11 июня 2016г.). Калининград: БФУ им. И.Канта, 2016. С. 94–114.

РИДы

Воробьев В.В. Программа для выбора лидера в коллективе роботов / Программа для ЭВМ, №2016661043, 21.10.2016

Воробьев В.В. Программа для логического вывода в статическом роле / Программа для ЭВМ, №2016611293, 28.01.2016 // 2016b.

Ровбо М.А. Программа планирования движения робота с целями и опасностями на основе заряженных частиц и феромона / Программа для ЭВМ, №2016662510, 18.11.2016

Овсянникова Е.Е., Чумаченко А.А. Многоагентная система имитационного моделирования для робототехнических систем / Программа для ЭВМ, №2016660299/69, 19.09.2016 // 2016.