



**Институт проблем управления
РАН**

МОДЕЛИ КОМАНДНОГО ПОВЕДЕНИЯ РОБОТОВ

Александр Кулинич

Гранты РФФИ и РНФ

РФФИ:

1. Модели **социального поведения** в групповой робототехнике. 2014 г.
2. Разработка и исследование моделей и методов непосредственной языковой коммуникации на основе семиотических моделей для реализации **социального поведения** в групповой робототехнике. 2015-2017 гг.
3. Теоретические и экспериментальные исследования по организации и **самоорганизации в группах роботов**. 2016-2018 гг.

РНФ:

1. Исследование методов организации коллектива роботов на основе моделирования **эусоциальных сообществ**. 2016-2018 гг.

КОМАНДА – ЭТО ЧТО?

Социальная психология (Теории малых групп):

Команда - это группа из более двух человек, динамично **взаимодействующих, зависимых друг от друга и направленных в сторону общей цели/миссии**. Каждый член команды играет определенную роль, выполняет определенную функцию в команде.

- **объединение людей в спорте**, где под командой понимается группа, созданная для обеспечения совместной победы;
- **объединение людей, предполагающее взаимную кооперацию и взаимопомощь**;
- любая группа совместно работающих людей;
- **группа управленцев в организации**.

Любая команда – это группа людей, но не всякая группа – это команда.

Свойства команды (коллектива):

- **интегрированность** (характеризует степень **взаимосвязанности** и **взаимозависимости** членов коллектива);
- **структурированность** (означает четкость и конкретность взаимного **распределения функций, прав, обязанностей**, ответственности между членами коллектива, определенность его структуры);
- **организованность** (представляет собой упорядоченность, **подчиненность определенному порядку выполнения совместной деятельности**);
- **мотивированность**, которая выражает активное, **заинтересованное и действенное отношение (побуждение) к совместной деятельности**.

КОМАНДА – ЭТО ЧТО?

Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 184 с.

Организационные системы:

«Небольшое количество человек, имеющих взаимодополняющие навыки, приверженные общим целям, практическим задачам и подходам, в отношении которых они несут **ответственность** друг перед другом».

Katzenbach J., Smith D. Magic of teams. – Boston: Harvard Business School Press, 1993.

Характеристики команды:

- единство цели;
- совместная деятельность;
- **непротиворечивость интересов;**
- **автономность деятельности;**
- коллективная и **взаимная ответственность** за результаты совместной деятельности;
- специализация и **взаимодополняемость ролей** (.... синергетичность взаимодействия членов команды);
- **устойчивость команды** (оправдываемость взаимных ожиданий ее членов).

Методы формирования и функционирования команд

В организационных системах:

«Задачи о назначении» - формирование состава команд, распределение ролей и объемов работ.

Теоретико-игровые модели - исследование процессов формирования и функционирования команд

«Экспериментальные исследования» команд - имитационные эксперименты и деловые игры.

«Рефлексивные модели» - описание взаимодействия членов команды, имеющих несовпадающие взаимные представления о существенных параметрах.

Методы формирования команд в социальных системах

Этапы формирования команды:

Адаптация, Группирование и Кооперация; Нормирование деятельности и Функционирование команды.

Методы формирования команд:

Индивидуальное консультирование; непосредственно формирование команды; построение межкомандных взаимоотношений.

Формирование состава команды. Формирование психологического профиля команды на основе принципов:

- функциональной необходимости;
- психологической необходимости;
- психологической совместимости.

Типы темперамента:

Холерик – скорость и риск;

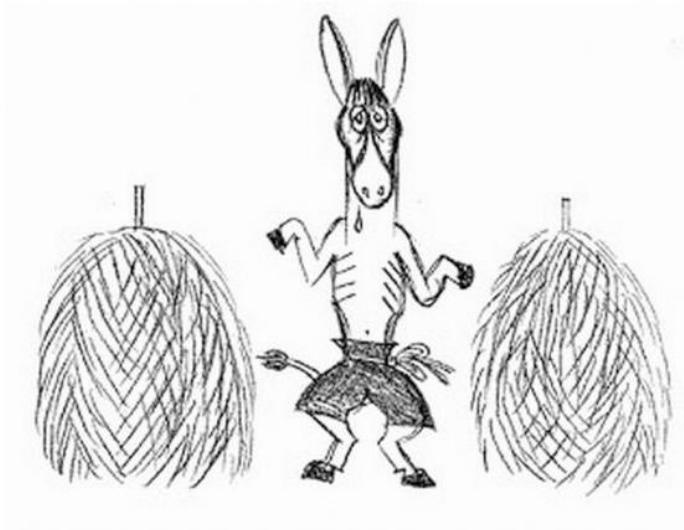
Сангвиник – скорость и гибкость;

Флегматик – аналитика, расчеты;

Меланхолик – рутинная работа.

Модели функционирования команд в социальных системах

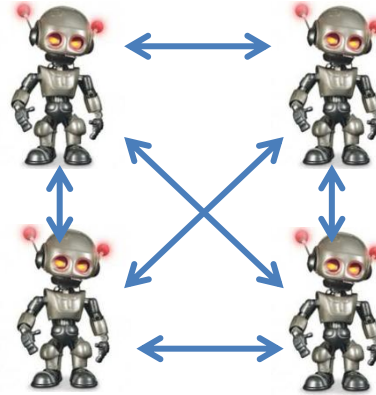
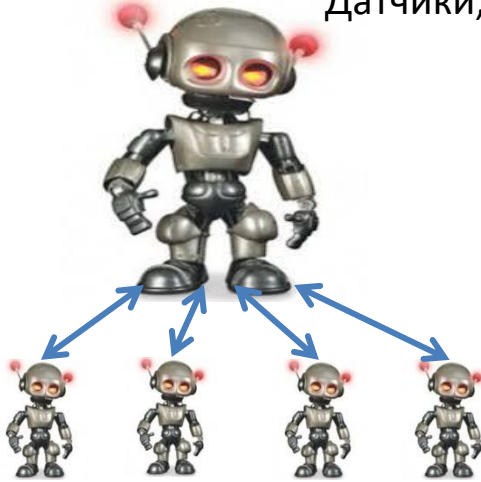
- **Хоманс Дж.** Социальное поведение как обмен. Современная зарубежная социальная психология. – М.: Издательство Московского университета, 1984.
- **Фестингер Л.** Теория когнитивного диссонанса. – СПб.: Ювента, 1999.



- **Карпов В. Э.** Эмоции и темперамент роботов. Поведенческие аспекты// Известия РАН. Теория и системы управления, 2014, № 5.
- **Карпова И. П.** Об одной реализации модели агрессивного поведения в групповой робототехнике. *Международный конгресс “Информационные технологии и информационные системы AIS-IT’ 17”, Дивноморское 2017.*

Искусственные агенты (роботы)

Датчики, исполнительные механизмы, средства коммуникации, вычислители, алгоритмическое и программное обеспечение



Ограничения:

- Вычислительная мощность;
- Пропускная способность канала связи.

Централизованный и **децентрализованный** подходы формирования и функционирования команд роботов

Смирнов А.В., Шереметов Л.Б. Модели формирования коалиций кооперативных агентов: состояние и перспективы исследований // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №1. – С. 36–48.

«— независимо от подхода, точные оптимальные решения имеют **экспоненциальную сложность вычислений или коммуникаций относительно числа агентов**.
— использование **эвристик** для получения субоптимальных решений позволяет добиться полиномиальной сложности, однако это достигается наложением серьезных ограничений на возможные структуры коалиций. ...»

Многоагентная система - формальная динамическая система

Среда функционирования - E , $E=(e_1, \dots, e_n)$;

Множество роботов - R_i , $i=1, \dots, N$;

$R_i=(r_{i1}, \dots, r_{in})$ – параметры робота;

Динамическая система «Группа роботов-Среда»:

$$S=\langle R, E \rangle$$

Состояние системы «Группа роботов-среда»:

$$S(t)=(r_{i1}, \dots, r_{in}; r_{j1}, \dots, r_{jn}; e_1, \dots, e_n)$$

Групповое управление

Динамика системы «Группа роботов-Среда»:

$$W: (S(t), A_{ij}) \rightarrow S(t+1)$$

$A_i = \{A_{ij}\}$ – множество действий робота i .

Целевое состояние системы (Группа роботов-Среда):

$$S_c^f = (r_{i1}, \dots, r_{in}; r_{j1}, \dots, r_{jn}; e_1, \dots, e_n)$$

Групповое управление:

$$W: (S(0), (A_{1j}, \dots, A_{nk})) \rightarrow S(1) \rightarrow \dots \rightarrow W: (S(n), (A_{1j}, \dots, A_{nk})) \rightarrow S_c^f$$

Функционал оценки качества управления:

$$Y_c = \Phi(S_c^f, t_f) + \int_{t_c}^{t_f} F(S_c(t), A_c(t), g(t), t) d(t)$$

Стайное, роевое и коллективное поведение агентов (роботов)

Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / М.: Физматлит, 2009

Стайное поведение – обмен информацией отсутствует, каждый агент достигает собственной цели самостоятельно, анализируя состояние среды.

Роевое поведение – локальное взаимодействие, иерархия подчинения по действиям, локальное управление группой подчиненных.

Коллективное поведение – обмен информацией о целях, ресурсах, действиях. Координация поведения для достижения индивидуальных и общих целей.

Построение общего плана для достижения общей цели. 11

Принципы стайного поведения

Reynolds, C.W. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioural Model // Computer Graphics. – 1987. – Vol. 21, No. 4, – PP. 25–34.

1. «Отталкивание» - предотвращение столкновений;
2. «Выравнивание» - соблюдение направления движения;
3. «Притяжение» - соблюдение дистанции.

Бурдун И.Е., Бубин А.Р. Метод самоорганизации стайного поведения малых мобильных роботов гражданского и специального назначения для арктических приложений. Сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции «Научное и техническое освоение шельфа Северного Ледовитого океана», 9-13 августа 2010 года, СибГУТИ. – Новосибирск, 2010. – с. 141-149.

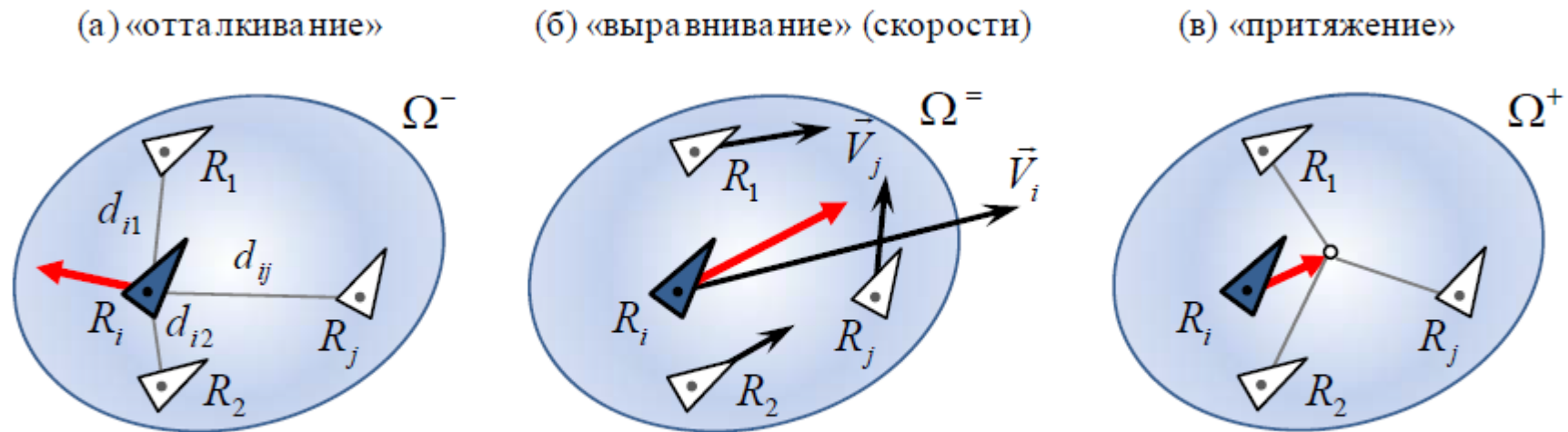
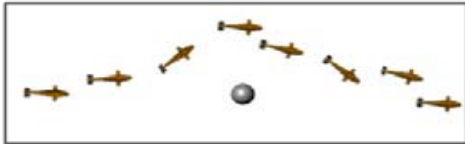


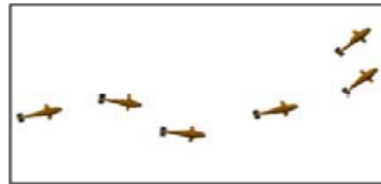
Рис. 5. Принципы самоорганизации движения мобильных роботов (модель К. Рейнольдса [5])

Принципы стайного поведения

V₅: «Следовать за лидером» и
V₁₁: «Избегать столкновений с неподвижными препятствиями»



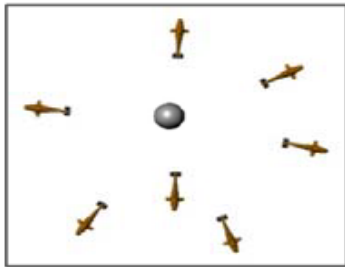
V₁₂: «Следовать по заданной траектории»



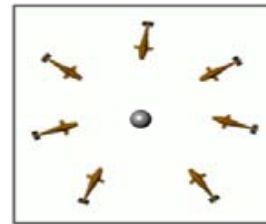
V₃₉: «Сформировать заданный «порядок»



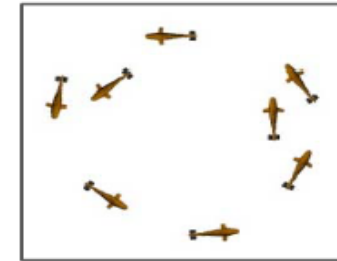
V₂: «Удалиться от объекта» или
V₃₃: «Защищать объект»



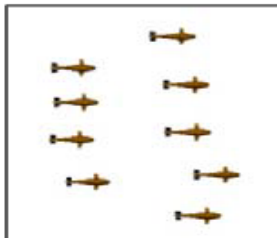
V₉: «Прибыть в заданную точку» или
V₂₉: «Охранять (стеречь) объект (добычу)»



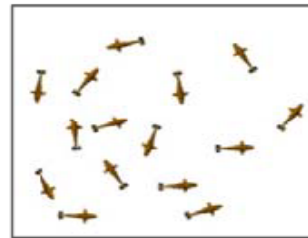
V₂₈: «Охранять периметр»



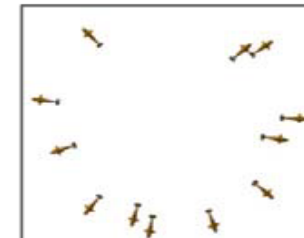
V₃₈: «Двигаться в заданном направлении»



V₄₀: «Создать детерминированный хаос»



V₁₇: «Следовать вдоль линий векторного поля»



Бурдун И.Е., Бубин А.Р. Метод самоорганизации стайного поведения малых мобильных роботов гражданского и специального назначения для арктических приложений. Сб. трудов Всероссийской научно-технической конференции «Научное и техническое освоение шельфа Северного Ледовитого океана», 9-13 августа 2010 года, СибГУТИ. – Новосибирск, 2010. – с. 141-149.

Итерационный алгоритм

(Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.)

Предполагает скоординированный обмен информацией.

1. Упорядочивание всех роботов;
2. Последовательная передача информации о выбранной стратегии;

$$r_1 \rightarrow r_2(r_1) \rightarrow r_3(r_2(r_1)) \rightarrow \dots \rightarrow r_n(\dots)$$

3. Построение общего плана совместного достижения цели из лучших стратегий агентов и его выполнение.

Проблемы:

1. Непредсказуемое поведение противников;
2. Жесткие требования ко времени выполнения задачи;
3. Необходимость перестройки общего плана.

Стайное поведение агентов (постановка задачи)

1. Множество агентов: $R = \{r_i\}$;
2. Свойства (параметры) агентов и объектов: $F = \{f_{ij}\}$;
3. Множество возможных значений свойств роботов:
 $Z = \{Z_i\}$, где $Z_i = \{z_{i1}, \dots, z_{iq}\}$, $z_{iq+1} > z_{iq}$ $q = 0 \dots n-1$.
4. Среда функционирования агентов:

$$SF = \times_i Z_i ;$$

5. Состояние среды функционирования – значения свойств всех роботов в момент времени t :

$$Y(t) = (z_{1j}, \dots, z_{nb}), z_{ij} \in Z_i, \forall i, Y(t) \in SF;$$

АВТОНОМНЫЙ РОБОТ (1)

Агент с реактивной архитектурой в системе «Робот-Среда» (SF):

$$\langle \mathbf{g}_q, \mathbf{r}_q, \mathbf{W}_i, \mu_q(Y_q(t), \mathbf{g}_q), O(f(\mathbf{r}_q, \mathbf{g}_q)) \rangle,$$

1. \mathbf{g}_q - вектор целевых значений:

$$\mathbf{g}_q = (z_{1j}^g, \dots, z_{nb}^g), \quad \mathbf{g}_q \in SF;$$

2. \mathbf{r}_q - ресурсы агента и стратегия достижения цели:

$$\mathbf{r}_q = (z_{1j}^r, \dots, z_{nb}^r), \quad \mathbf{r}_q \in U_q,$$
$$U_q = \times_i Z_i^r, \quad Z_i^r \subseteq Z_i, \quad U_q \subseteq SF;$$

3. \mathbf{W}_i - Правила изменения состояния среды (знания о среде):

$$\mathbf{W}_i: \times_i Z_i \rightarrow \times_i Z_i;$$

АВТОНОМНЫЙ РОБОТ (2)

Агент с реактивной архитектурой в системе «Роботы-Среда»:

$$\langle g_q, r_q, W_i, \mu_q(Y_q(t), g_q), O(f(r_q, g_q)) \rangle,$$

4. Выбор стратегии, возможность достижения цели:

$$W_i: (Y(t) + r_q) \rightarrow Y(t+1),$$

$$\rho(Y_q(t), g_q) / \rho(Y_q(t+1), g_q) > 1;$$

$\rho(Y_q(n), g_q)$ – расстояние до цели.

5. Эффективность достижения цели (мотивации робота):

$$O(f(r_q, g_q));$$

$f(r_q)$ – затраты на реализацию стратегии r_q ;

$\Phi(g_q)$ – полезность целевой ситуации g_q .

МОДЕЛИ КООПЕРАЦИИ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ

Робот 1 - $\langle g_1, r_1, W_1, \mu_1(Y_1, g_1), O(f(r_1, g_1)) \rangle$

.

Робот n - $\langle g_n, r_n, W_n, \mu_n(Y_n, g_n), O(f(r_n, g_n)) \rangle$

Варианты обмена информацией Цель Ресурсы Знания Возможности Полезности

$(g^*, r^*, W^*, \mu^*, O^*) \quad g^*, r^*, W^*, \mu^*, O^* \in \{0,1\}$

$(0, 0, 0, 0, 0)$ — обмен отсутствует (стихийная стая)

$(1, 0, 0, 1, 0)$ — обмен есть (стая на основе взаимной полезности)

$(1, 0, 0, 1, 1)$ — обмен есть (стая на основе взаимной полезности и когнитивного диссонанса роботов)

$(1, 1, 1, 0, 0)$ — обмен есть (принципы командного поведения)

Классический стайный алгоритм

(0, 0, 0, 0, 0) – обмен отсутствует (стихийная стая)

Отсутствие коммуникации агентов. Выбор действия агентами осуществляют на основе анализа состояния системы «Роботы-Среда».

Уравнение динамики классической стаи:

$$W^*: (Y(t) + r^*) \rightarrow Y^*(t+1)$$

$W^* = \bigcup_{K_j} W_j$, - объединение всех правил всех стай;

$r^* = \bigoplus_{K_j} r_j$ - агрегированная стратегия агентов всех стай;

$Y^*(t+1)$ – прогноз изменения состояния среды в результате действия всех стай.




Условие образования стихийной стаи – это равенство или близость целей у группы роботов:



$$\exists K_j \subseteq R \mid \forall R_i \in K_j, \rho(g_i, g_q) \approx 0.$$

Стайное поведение на основе критериев взаимной полезности и возможности самостоятельного достижения цели

(1, 0, 0, 1, 0) – обмен есть (стая на основе взаимной полезности)


	Цель			Возможность	
Y(t)	g_1, \dots, g_n	r_j	W_i	μ_1, \dots, μ_n	O_i


A  Робот определяет свою стаю.
 $K_j \subseteq R \mid \forall R_i \in K_j \rho(g_p, g_q) < \varepsilon$

A  + **B**  Робот A выбирает для кооперации Робота B с лучшей возможностью достижения цели.

Ленивые


	Цель			Возможность	
Y(t)	g_1, \dots, g_n	r_j	W_i	μ_1, \dots, μ_n	O_i


A  Робот определяет свою стаю.
 $K_j \subseteq R \mid \forall R_i \in K_j \rho(g_p, g_q) < \varepsilon$

B  Робот A ждет когда Робот B достигнет цели. Если Робот B не справляется, то помогает ему.

Эгоисты

	Цель			Возможность	Полезность
Y(t)	g_1, \dots, g_n	r_j	W_i	μ_1, \dots, μ_n	O_i

A  Робот определяет свою стаю.
 $K_j \subseteq R \mid \forall R_i \in K_j \rho(g_p, g_q) < \varepsilon$

B  Робот A перехватывает работу у Робот B, если Робот B имеет большую полезность.

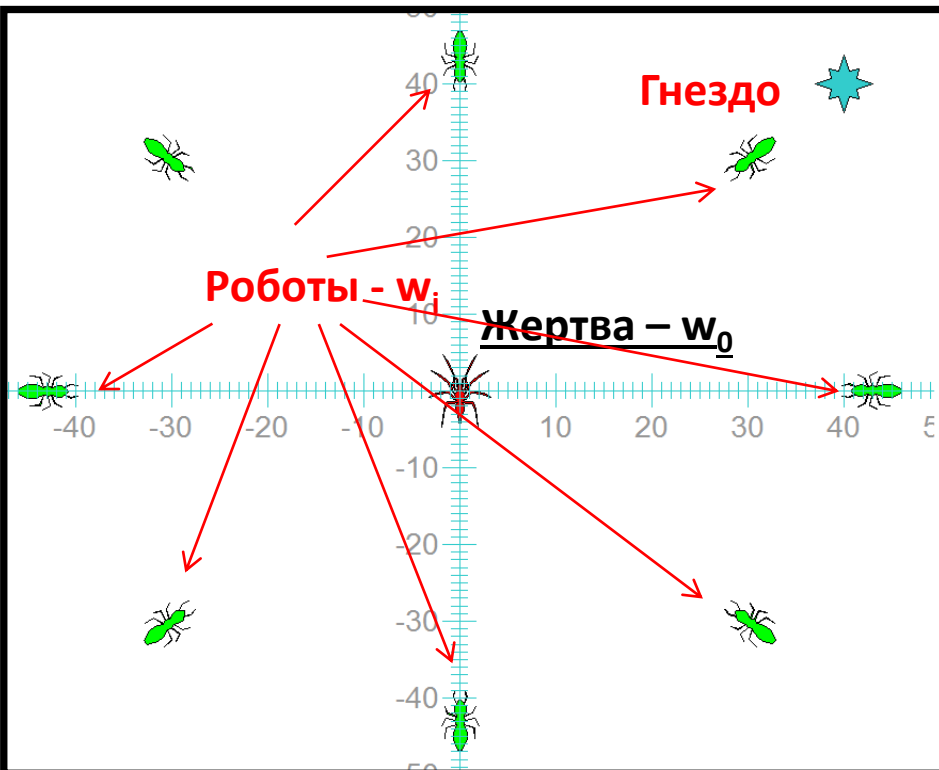
Стратегия фуражирования (собираательство)

Принципы фуражирования (собираательство):

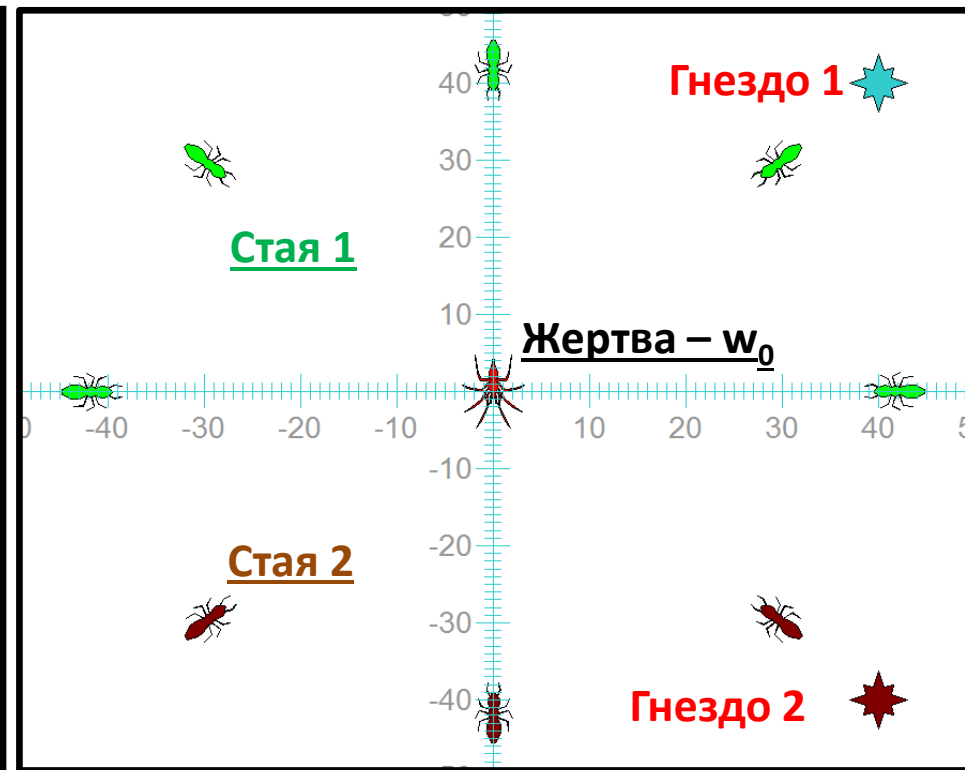
- Цель переместить жертву в гнездо;
- Вес жертвы - w_0 ;
- Вес i -о робота - w_i ;
- Возможность достижения цели $\mu_i = w_i / w_0$

Стратегия:

1. Приблизится к жертве
2. Перенести жертву в гнездо



Одна стая



Две стаи

Игра в виртуальный футбол

$$Y(t+1) = W * Y(t)$$

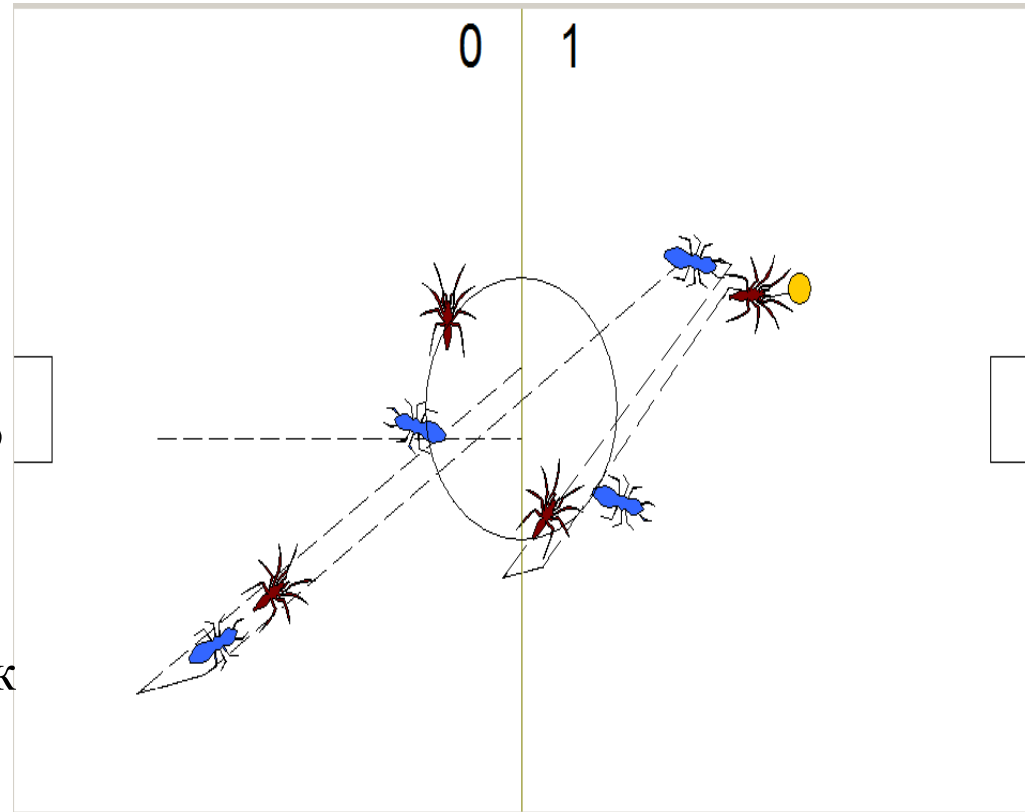
Множество всех правил $W = W_b \cup W_{nb} \cup W_e \cup W_{pl}$
назовем базой правил, где

W_b – множество правил поведения
игрока, не владеющего мячом;

W_{nb} – множество правил поведения
игроков, владеющих мячом;

W_e – множество правил эгоистичного
поведения;

W_{pl} – множество правил вычисления
индивидуальных характеристик
игроков по вектору состояния
игры $Y(t)$.



Полезность роботов для кооперации

Если у агента a_i возможностей для достижения общей цели G^B больше чем у агента a_j , то он для него полезен.

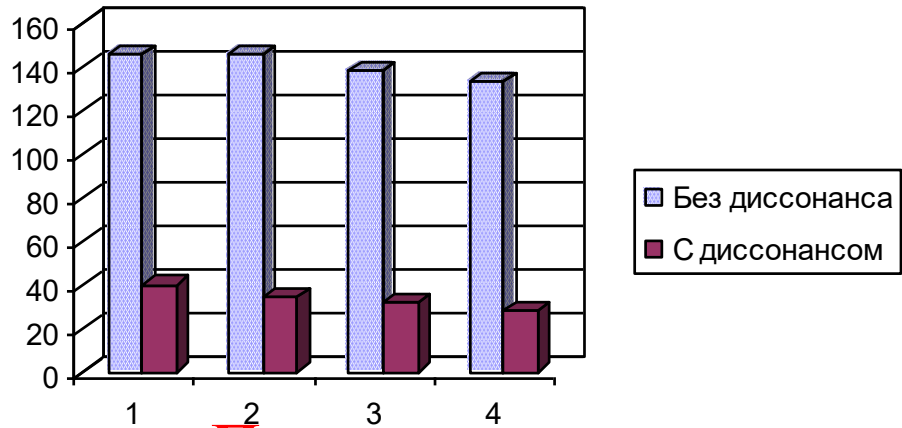
1. Агент a_i полезен своим партнерам по **критерию близости к воротам противника** (K_{Gi}^B), если $d(a_i, G^B) < d(a_q, G^B)$, $i \neq q$, $q=1, \dots, N/2$.
2. Агент a_i полезен своим партнерам по **критерию близости противников** (K_i^B), если $d(a_i, b_j) > d(a_q, b_j)$, $i \neq q$, $q=1, \dots, N/2$, $j=N/2+1, \dots, N$.
3. Агент a_i полезен своим партнерам по **критерию скорости** (K_i^V), если $V(a_i) > V(a_q)$, $i \neq q$, $q=1, \dots, N/2$.

$$P(a_i) = \alpha K_G^B + \beta K^B + \gamma K^V,$$

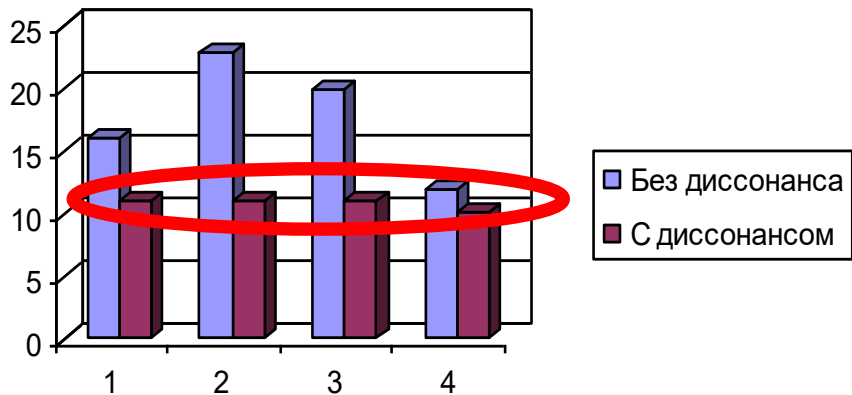
$$\alpha + \beta + \gamma = 1; K_{Gi}^B, K_i^B, K_i^V \in \{0, 1\}$$

Эксперимент и обсуждение

Команда А

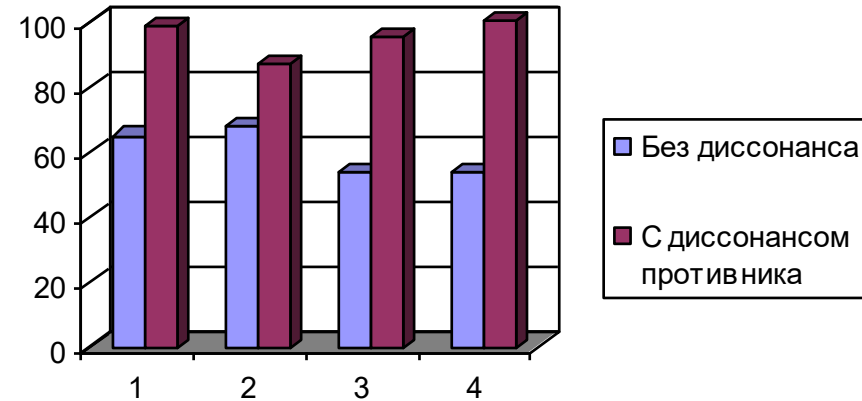


Пасы

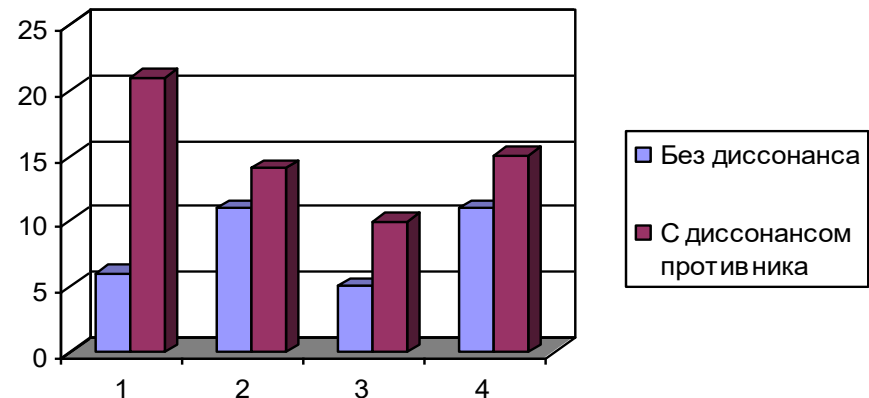


Голы

Команда В

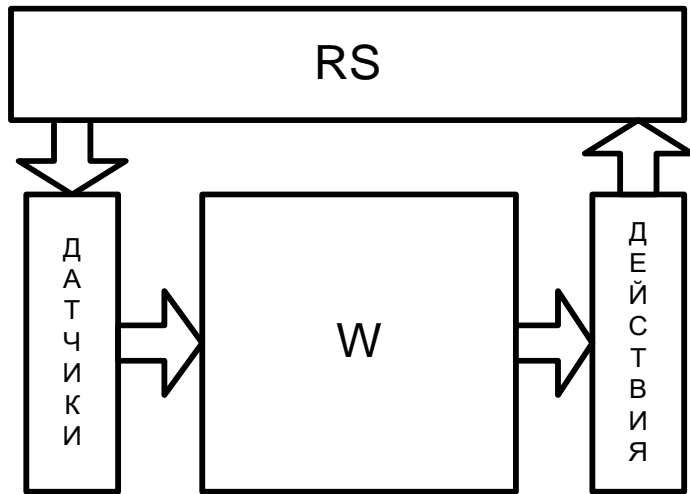


Пасы



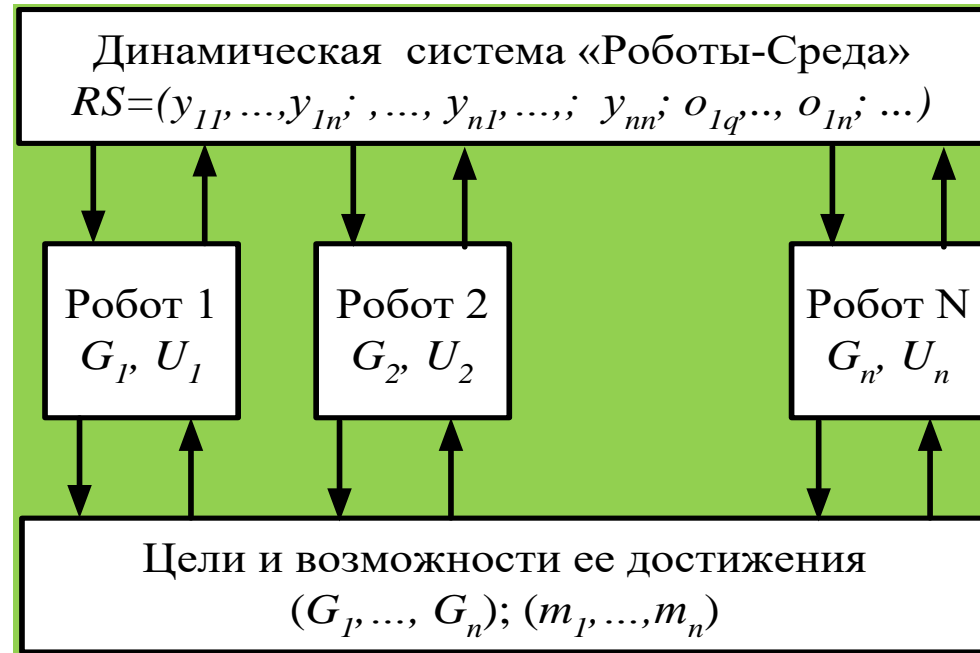
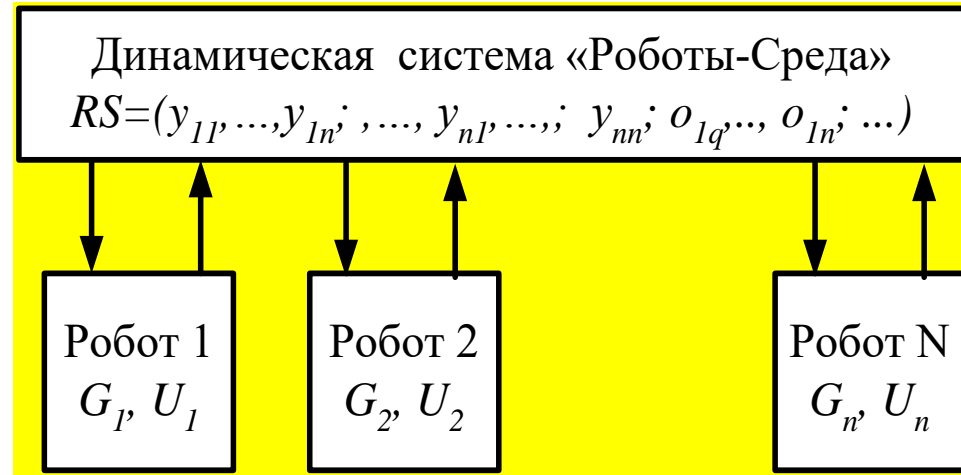
Голы

Роботы с реактивной архитектурой



RS – среда функционирования

**W – алгоритмы поведения
роботов (знания разработчика)**



Коллективное поведение автоматов

Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М.: Наука, 1969. – 316 с.

Стефанюк В.Л., Цетлин М.Л. О регулировке мощности в коллективе радиостанций // Проблемы передачи информации. – 1967. – Т. 3, №4. – С. 59–67.

Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов. – М.: Наука, 1973.

Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера. – М: Наука 1984. – 208 с.

Модели представления среды функционирования роботов (подход искусственного интеллекта)

Модели представления знаний

Ситуационное исчисление:

McCarthy J. Situations, Actions and Causal Laws. Stanford Artificial Intelligence Project: Memo 2. 1963.

STRIPS: Fikes R.E., Nilsson N.J., STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving. IJCAI'71, стр. 608-620.

PDDL: Ghallab M., Howe A., Knobloch C., McDermott D., Ram A., Veloso M., Weld D., Wilkins D. PDDL — The Planning Domain Definition Language (version 1.2). AIPS'98, 1998.

- **Поспелов Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления. - М.: 1981.
- **Поспелов Д.А.** Ситуационное управление: теория и практика. - М.: Наука, 1986.
- **Осипов Г.С.** От ситуационного управления к прикладной семиотике// Новости искусственного интеллекта. - 2002. - №6.- С.3-7.
- **Osipov G.S.** Sign-based representation and word model of actor // 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS) / ed. Yager R. et al. IEEE, 2016.
- **Осипов Г.С., Чудова Н.В., Панов А.И., Кузнецова Ю.М.** Знаковая картина мира субъекта поведения. М.: Физматлит, 2018. 264 с.

Интеллектуальные (агенты) роботы

- 1) **Автономность** – способность действовать самостоятельно;
- 2) **Реактивность** – способность реагировать на изменение состояний среды функционирования;
- 3) **Проактивность** – способность проявлять инициативу для достижения поставленных целей;
- 4) **Социальность** – способность взаимодействовать и договариваться с другими агентами для достижения общей цели;
- 5) **Мотивированность** – ценностные предпочтения, определяющие направление деятельности.

Ментальная архитектура агента (робота)

BDI-архитектура (*Belief-Desire-Intention*) :

Убеждения (*Belief*)

Знания агента о предметной области,

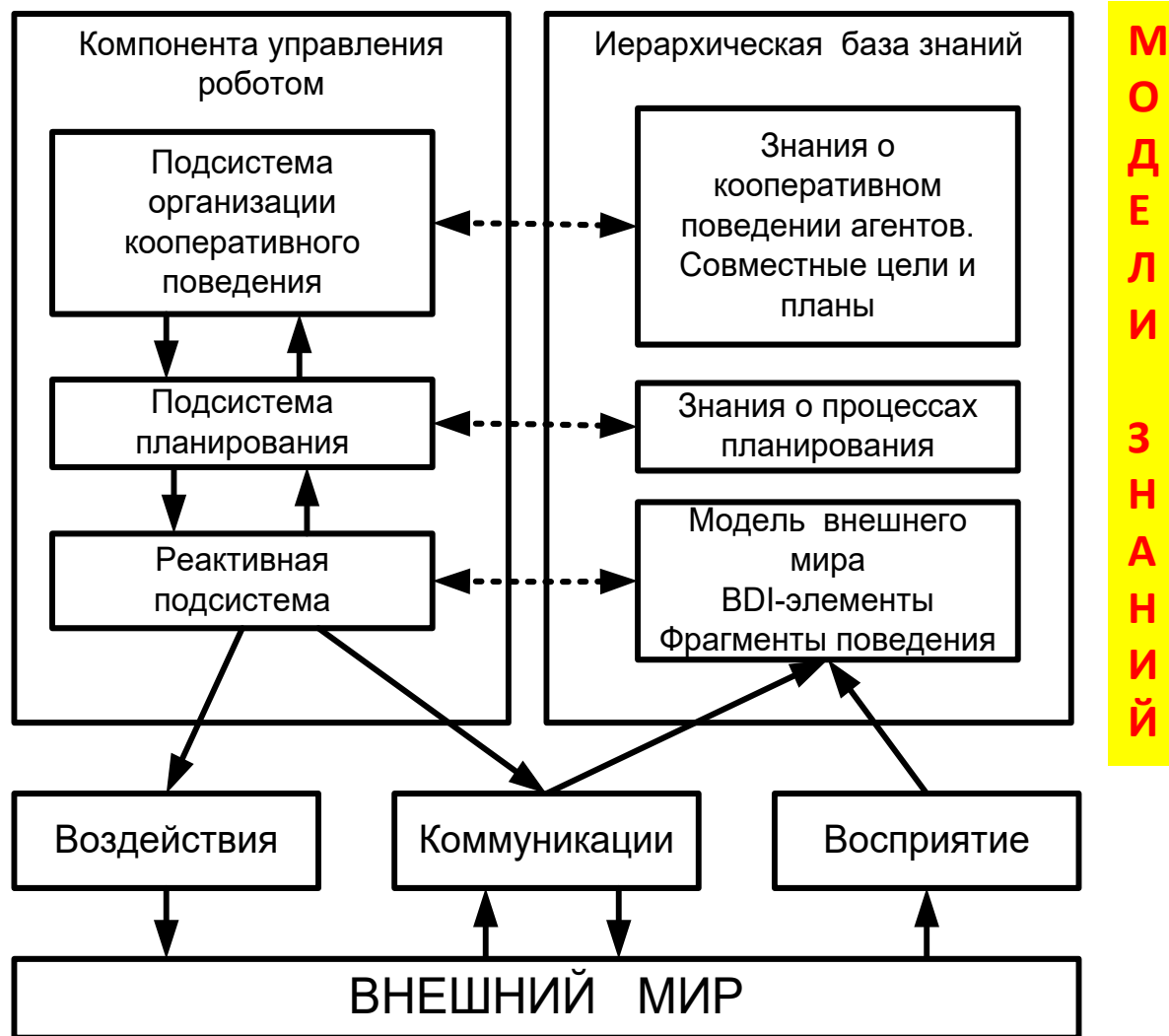
Желания (*Desire*)

Цели агентов,

Намерения (*Intention*)

Возможные действия агентов для достижения поставленных целей.

Архитектура InteRRaP



Технологии разработки интеллектуальных (агентов) роботов

FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents)

OMG (Object Management Group)

KQML – язык и протокол для обмена информацией и знаниями

KIF, RDF, OWL и др. – языки представления и обмена знаниями

ACL –FIPA - Язык коммуникации агентов

СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ:

JADE (Java Agent Development Framework)

LEAP (EU -project)

BlueJade (HP)

FIPA-OS (Nortel -Emorphia)

MicroFIPA-OS (HY)

Модели среды функционирования.

Семантическое пространство

Семантическое пространство, в котором выделены имена классов объектов их содержания и объемы – это модель знаний о предметной области.

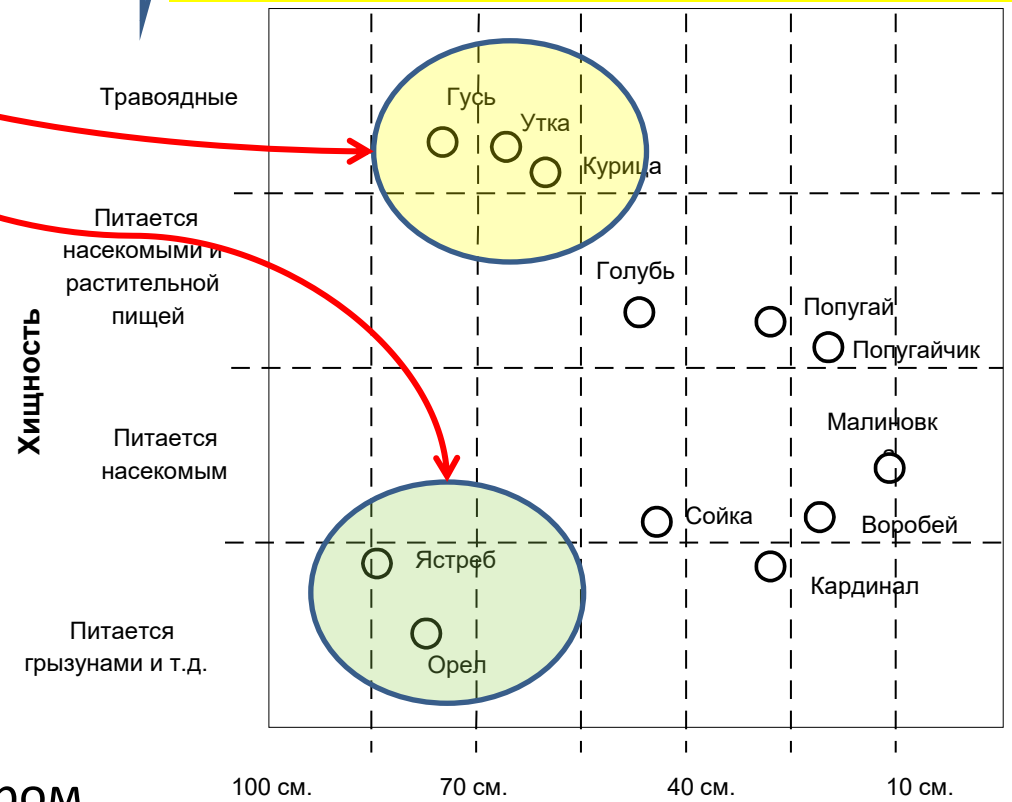
Классы объектов

1. Имя класса
2. Содержание класса (подпространство)
3. Объем класса (множество объектов)

Пространство состояний системы «Группа роботов-Среда»

$$SS = \times_{ij} R_{ij}^* \times E$$

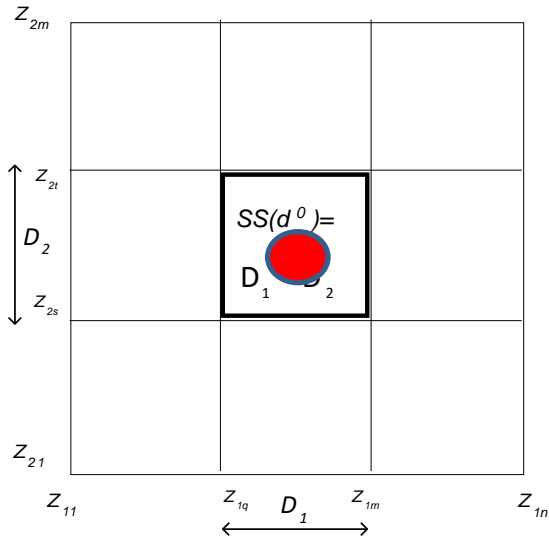
будем интерпретировать как семантическое пространство, в котором определены имена, содержания и объемы классов состояний среды.



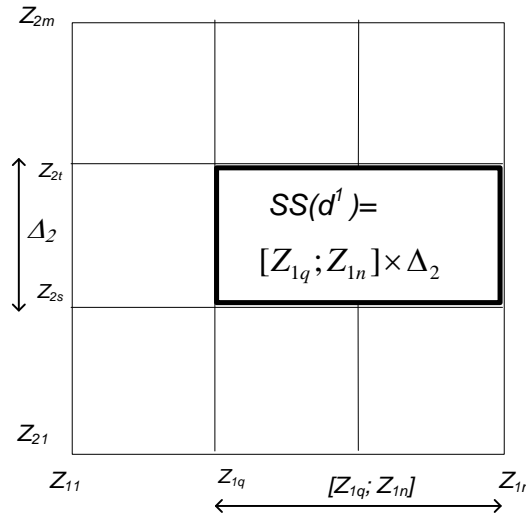
Размер (размах крыльев)

Концептуальный каркас среды функционирования

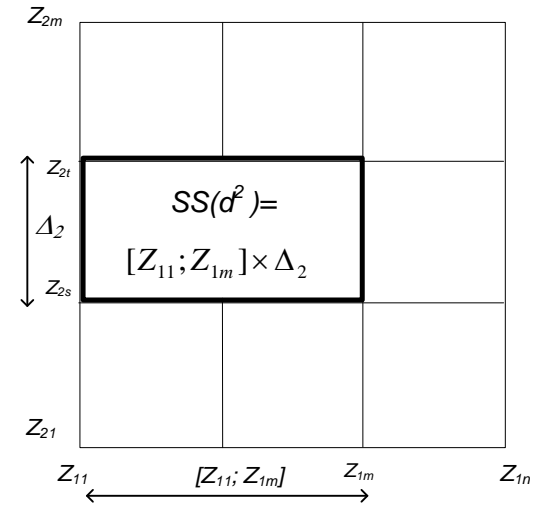
Семантическое пространство $SS = \times_{ij} R_{ij}^* \times E$



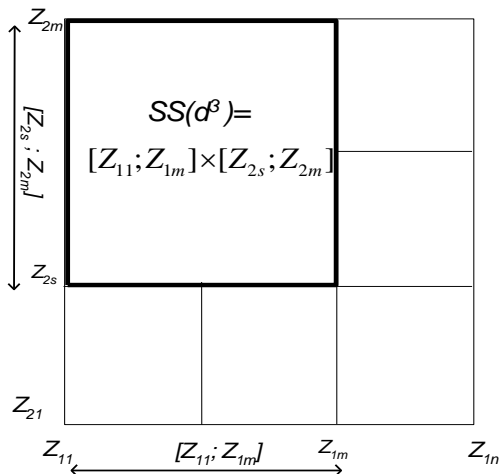
Базовый класс состояний



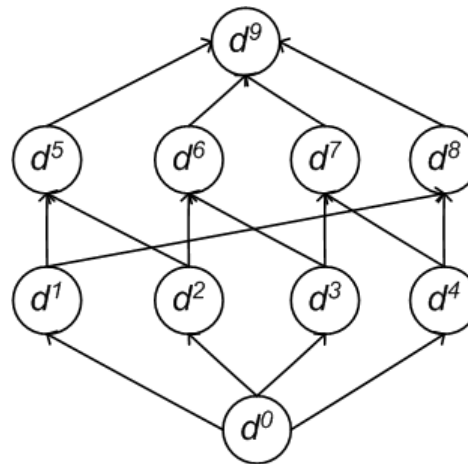
Обобщение по X+



Обобщение по - X



Обобщение по - X+Y



$$CF = (\{SS(d^H)\}, \cap, \cup)$$

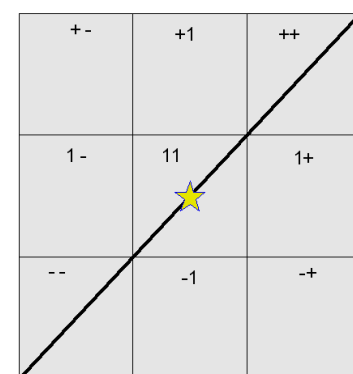
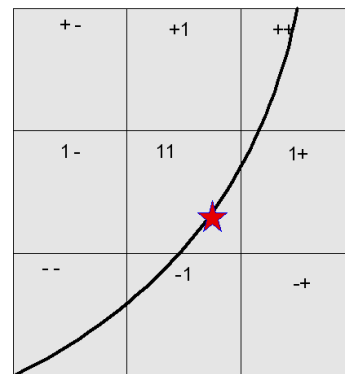
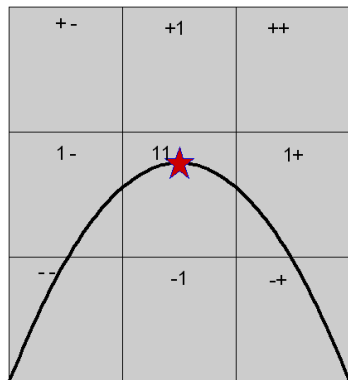
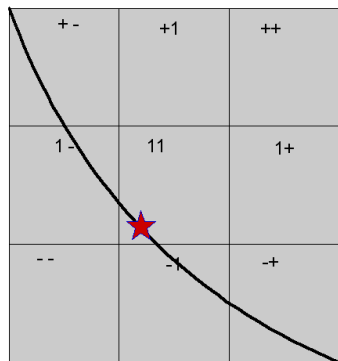
$$KK^W = (\{d^H\}, \wedge, \vee)$$

$$d^H \Leftrightarrow SS(d^H),$$

$$SS(d^H) \subseteq FS$$

Примеры концептуальных каркасов для различных функций поведения роботов

$y \uparrow$



$x \rightarrow$

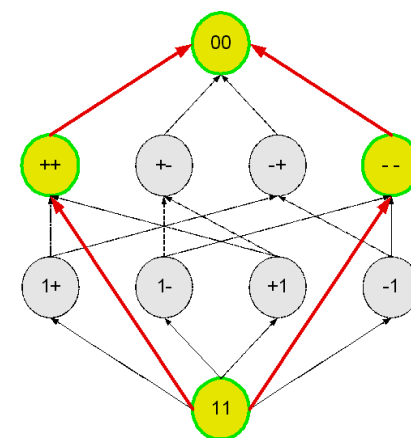
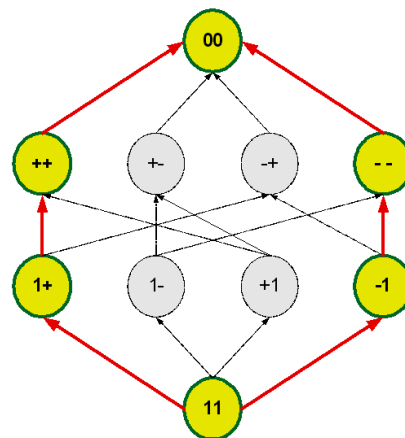
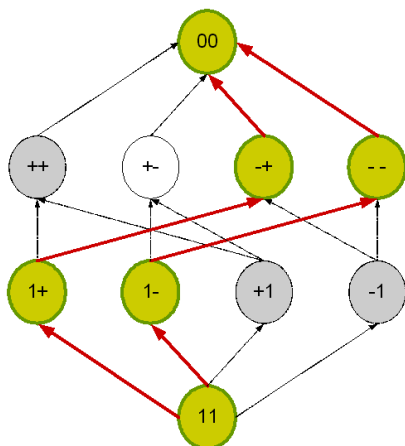
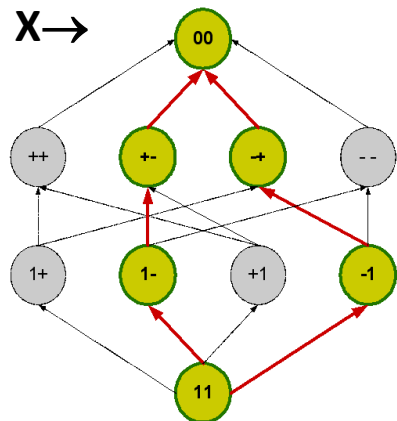


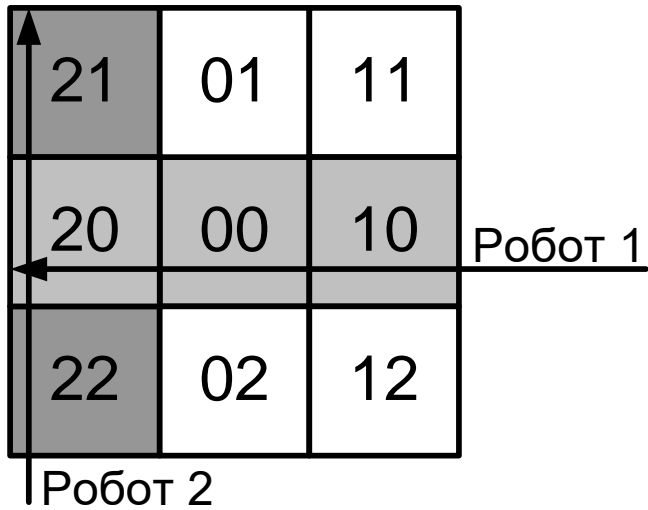
Рис.1.

Рис.2.

Рис.3.

Рис.4.

Пример для двух роботов



Понятийные системы агента 1 и агента 2.

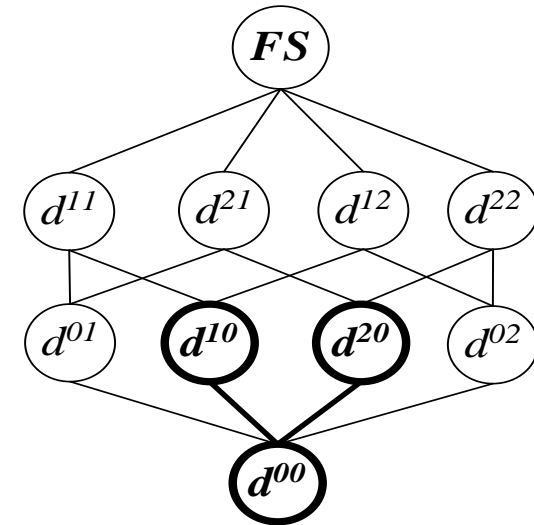


Диаграмма Хассе понятийной системы агента 1.

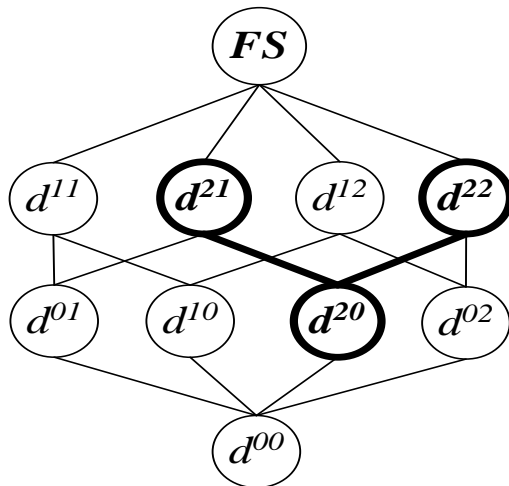


Диаграмма Хассе понятийной системы агента 1.

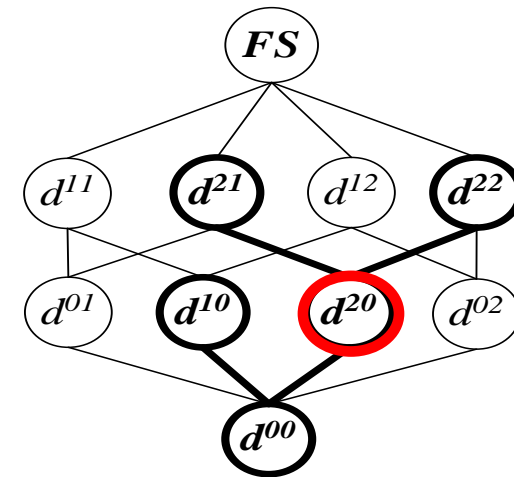


Диаграмма Хассе области совместного функционирования агентов 1 и 2.

Знаковая структура среды функционирования.

Качественный BDI-агент

Знак класса состояний:

d^H - имя класса ; $SS(d^H)$ – содержание класса ; $V(d^H)$ – объем класса

Архитектура BDI – (Belief-Desire-Intention)

1. Belief – Убеждения – знания агента о среде функционирования:

$$\langle BEL_i, W_i^{BEL} \rangle$$

$BEL_i = (\{d^{Hi}\}, \leq)$ – множество имен классов состояний,

$W_i^{BEL}: \times_i Z_{ji} \rightarrow \times_i Z_{ji}$ - причинно-следственные отношения среды

2. Desire – Желания – цели агента:

$DES_i = (d_1^{Hi}, \dots, d_n^H)$, где

$\varphi: G_i \rightarrow d^{Hi}$, $DES_i \in CF$, $G_i = (z_{1k}, \dots, z_{nl}) \in SS$ - целевой вектор

3. Intention – Намерения – действия агента:

$INT_i = \{d^{Hi}\}$, где

$\varphi: (Z_i(t) + U_{ij}^R) \rightarrow d_j$, $INT_i \in CF$, $U_{ij}^R = (z_{1k}, \dots, z_{nl}) \in SF$ - ресурсы агента

Количественная и качественная системы

Исходная система

«Группа роботов - среда»:

Среда функционирования:

$$SS = \times_{ij} R_{ij}^* \times E$$

Состояние среды:

$$S(t) = (r_{i1}, \dots, r_{in}; r_{j1}, \dots, r_{jn}; e_1, \dots, e_n) \in SS$$

Цели:

$$G_i = (z_{1k}, \dots, z_{nl}) \in SS$$

Ресурсы:

$$U_{ij}^R = (z_{1k}, \dots, z_{nl})$$

Динамика системы:

$$W: (S(t), (A_1, \dots, A_n)) \rightarrow S(t+1)$$



Методы и модели
рефлекторного поведения

Качественная система

«Группа роботов - среда»:

Концептуальный каркас:

$$CF = (\{d^H\}, \cap, \cup)$$

Состояние среды:

$$S^*(t) = (d_1; d_2; \dots; e_1, \dots, e_n) \in CF$$

Знания:

$$BEL_i = (\{d^{Hi}\}, \leq)$$

Цели:

$$DES_i = \varphi: G_i \rightarrow d^{Hi}, DES_i \in CF$$

Действия:

$$INT_i = \varphi: (Z_i(t) + U_{ij}^R) \rightarrow d_j, INT_i \in CF$$

Динамика системы:

$$W^*: (S^*(t), (INT_1, \dots, INT_n)) \rightarrow S^*(t+1)$$



Методы и модели
командного поведения

Основные подсистемы архитектуры качественного агента

Подсистема представления качественных знаний

- Концептуальные каркасы среды функционирования

Подсистема планирование индивидуального поведения

- Решение обратной задачи

Подсистема кооперативного взаимодействия

- Метод символизации среды функционирования;
- Ситуационное планирование командной работы на основе критериев взаимной полезности и когнитивного диссонанса;
- Протоколы общения агентов (роботов)

Планирование поведения как решение обратной задачи

Решение обратных задач в нечетких и качественных системах

W.Pedrich. On generalized fuzzy relational equations and their applications. *J. Math. Anal. Appl.*, 1985.

C.P.Pappis, M.Sugeno. Fuzzy relational equations and inverse problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 1985.

C.P.Pappis, G.I.Adamopoulos. A computer algorithm for the solution of the inverse problem of fuzzy systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 1991, v.39, 279-290.

Логико-лингвистические уравнения поведения агента

Порядковая шкала значений:

$$Z_i = \{z_{i1}, \dots, z_{iq}\}, z_{iq+1} \succ z_{iq}, q=0 \dots n-1$$

$$W_i^{BEL}: (Z^*(t), INT_i^*) \rightarrow Z^*(t+1), \forall i$$

Причинно-следственные отношения :

$$INT_i^* = DES_i \circ W_j^{BEL}$$

$$W_j: \times_i Z_i \rightarrow \times_i Z_i, \forall i.$$

Уравнение динамики:

$$Z(t+1) = W_1 \circ (Z(t) \oplus U_1(t))$$

Планирование индивидуального поведения качественного основано на решении обратной задачи логико-лингвистических уравнений динамики поведения агента

Подсистема кооперативного взаимодействия

Теория общих намерений

Cohen P., Levesque H.J. Teamwork. Nous, 25(4), (1991) Special Issue on Cognitive Science and Artificial Intelligence, P. 487-512.

Теория общих планов

Grosz B., Kraus S. Collaborative Plans for Complex Group Actions // Artificial Intelligence. – 1996. – №86. – P. 269–358.

Теория социальной зависимости

Sichman J., Conte R., Castelfranchi C. et al. A social reasoning mechanism based on dependence networks // Proc. 11th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), Amsterdam, Netherlands, 1994 – P. 188–192.

Модели социальных зависимостей

Cristiano Castelfranchi, Rosaria Conte и др.

•Cognitive and social action (with Rosaria Conte). 1995. London University College of London Press. Artificial Social Systems (with Eric Werner). 1994. Springer Verlag.

Зависимости агентов по отношению к их ресурсам и действиям

$A = \{a_i\}$ – множество агентов;

$ACT(a_i)$ – множество действий агента a_i ;

$RES(a_i)$ – множество ресурсов агента r_i ;

$PL(a_i)$ – план действий агента a_i $PL(a_i) = (act_{ij}, res_{ij})$,

где $act_{ij} \in ACT(a_i)$, $res_{ij} \in RES(a_i)$

A: RES(r1, r2, *r3*) ; ACT (a1, a2, a3); PLa = (a2r1; *a4r2*)

B: RES(r1, r4, r5) ; ACT (a1, a2, *a4*); PLb = (a2r1; a1*r3*)

В. А. Виттих, П. О. Скобелев, “Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах”, *Автомат. и телемех.*, 2003, № 1, 177–185.

Рыночные механизмы самоорганизации (критерий полезности - прибыль).

Логистические сети, сети «Потребности-Возможности».

Модель командного поведения на основе теорий социальных групп

Модель кооперации строится на основе теорий социальных психологов:

- **Модель функционирования малой группы (коалиции) на основе обмена полезностями между ее участниками;**
(Хоманс Дж. Социальное поведение как обмен. \ \ Современная зарубежная социальная психология. М., 1984. С. 83-91)
 - **Критерий взаимной полезности;**
 - **Критерий возможности самостоятельного достижения цели.**
(для кооперации выбираются работы с большими возможностями для достижения общей цели)
- **Теория когнитивного диссонанса** (Фестингер Л. Теория когнитивного диссонанса. СПб.: Ювента, 1999)
(для измерения и оценки диссонанса участников коалиции (команды), моделирования эгоистичных агентов и устойчивости команды)).

Критерий самостоятельного достижение агентом цели

Утверждение 1. Если все элементы цели агента $\forall d_i^H$ принадлежат упорядоченному множеству его убеждений BEL_i , то цель может быть достигнута агентом самостоятельно. Т.е. $\forall d_i^H \in DES_i \mid d_i^H \in BEL_i$.

Ситуационное планирование командной работы агентов

Ситуационное планирование основано на критерии взаимной полезности агентов. Этот локальный критерий проверяется на каждом шаге работы алгоритма.

Условие 1. Агент j считается привлекательным для агента i для кооперации, если элемент цели $d_i^{Hc} \notin BEL_i$ этого агента существует в системе убеждений (знаний) агента j , т.е. $d_i^{Hc} \in BEL_j$.

Условие 2. Агент j считается привлекательным для кооперации для агента i , если элементы системы убеждений агента i , $d_i^H \in BEL_i$, являются также элементами системы убеждений агента j , т.е. $d_i^H \in BEL_j$.

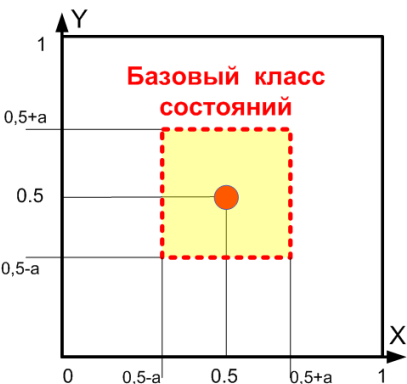
Условие 3. Агент j и агент i считаются зависимыми по цели, если агент j является привлекательным для кооперации для агента i и агент j является привлекательным для агента i , т.е. если $d_i^{Hc} \in DES_j \& d_j^{Hc} \in DES_i$.

Условия командной работы

Допущение 1. Агент j может изменить свойства только тех агентов или объектов, которые включены в объем $V(d_j^H)$ классов состояний его системы убеждений BEL_j .
Т.е. $\exists(a_i \in A \vee b_j \in B) \in V(d_j^H) \mid d_j^H \in BEL_j$.

Условие 4. Агент j может изменить свойства агента i , если агент i включен в объем одного из возможных классов состояний агента j , т.е. $a_i \in V(d_j^H) \mid d_j^H \in BEL_j$.

Метод построения концептуального каркаса среды функционирования группой роботов

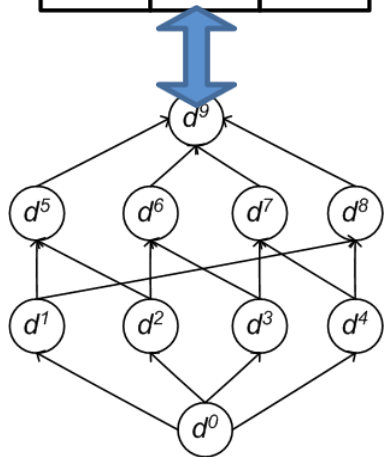


- 1) Обмен информацией о собственных ресурсах
- 2) Определение базового класса

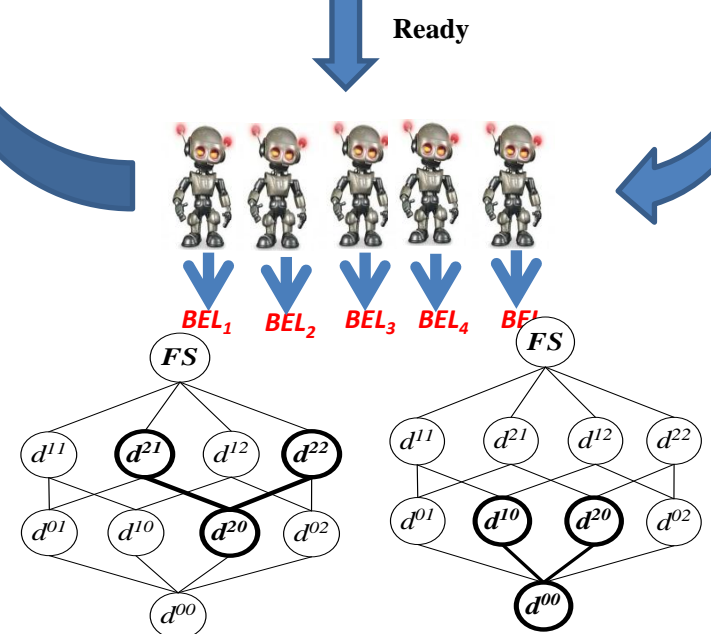
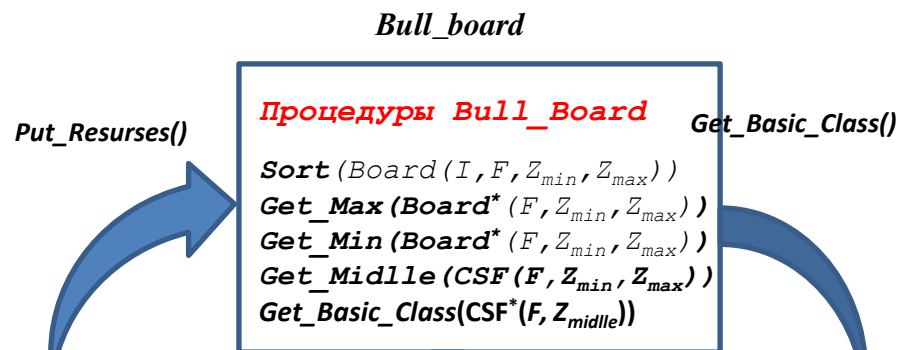
Символизация среды функционирования

21	01	11
20	00	10
22	02	12

$$Z_i^Q = \begin{cases} 0, & \text{если } z_i \in [z_{ie}^b; z_{iq}^b]; \\ 1, & \text{если } \max(Z_{ij}^{R \cup}) \geq z_i > z_{iq}^b; \\ 2, & \text{если } \min(Z_{ij}^{R \cup}) \leq z_i < z_{ie}^b. \end{cases}$$



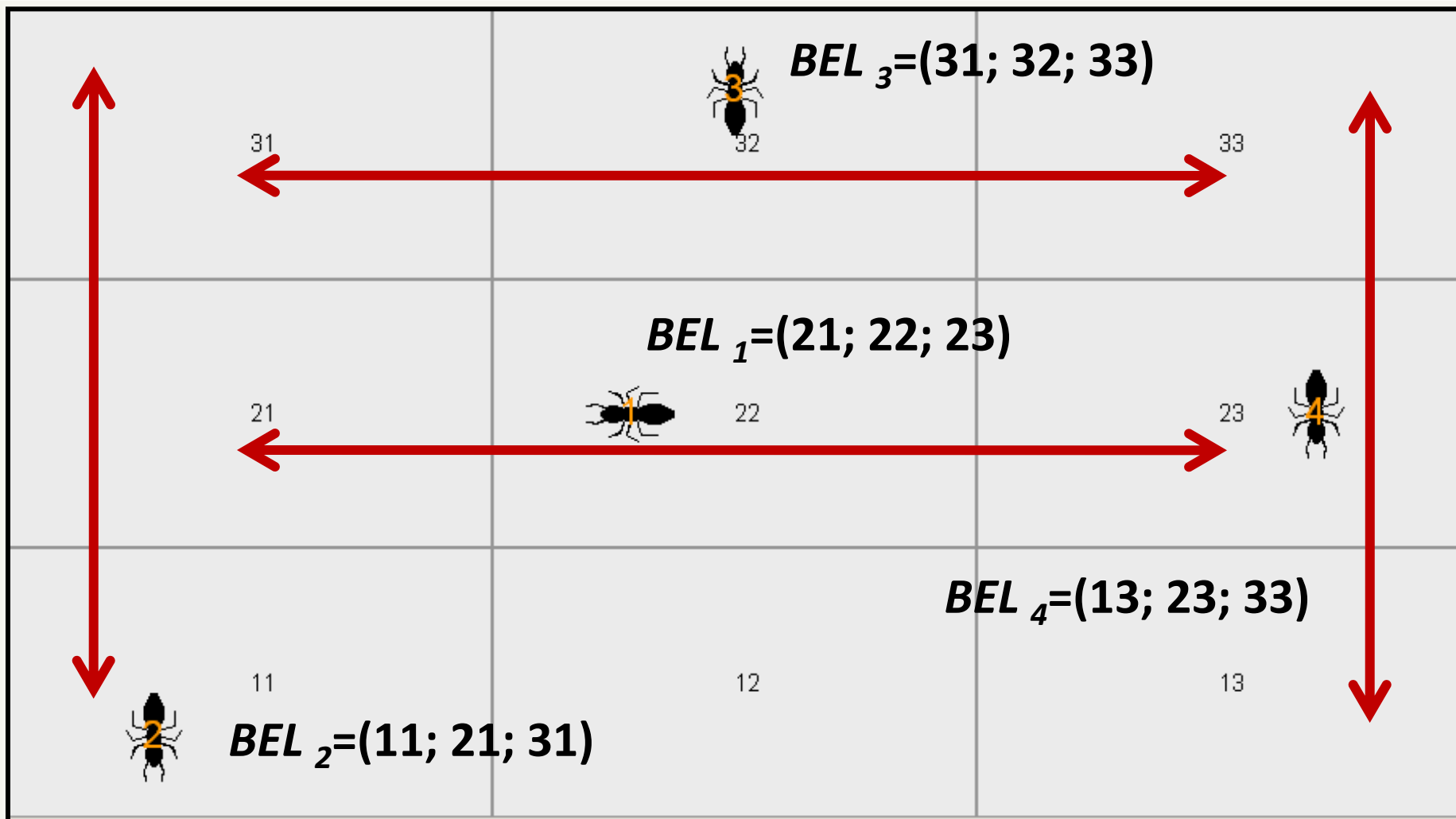
Определение искусственных имен, построение концептуального каркаса



Каждый робот строит свою понятийную систему

Пример кооперации качественных интеллектуальных роботов

$DES_1 = (?; ?; ?; 31)$ $BEL_1 = (21, 22, 23)$



Кооперация агентов 1, 2, 3 и 4

$$S(0)=(22,11,32,23) \rightarrow S(n)=(22,21,11,31)$$

$DES_1 = (?; ?; ?; \mathbf{31})$	$BEL_1 = (21,22,23)$
$DES_2 = (\mathbf{22}; ?; ?; ?)$	$BEL_2 = (11,21,31)$
$DES_3 = (?; ?; \mathbf{11}; ?)$	$BEL_3 = (31,32,33)$
$DES_4 = (?; \mathbf{21}; ?; ?)$	$BEL_4 = (13,23,33)$

Команды протокола общения роботов

1. Команды обмена информацией:

- **Send_All** – передача общего вызова
- **Send_To** – передача информации конкретному роботу

2. Команды собственных действий:

- **ChangeMe()** – изменение собственных свойств;
- **CreateCond()** – создание условий для изменения свойств объекта;
- **ChangeObj()** – изменение свойств объекта.

3. Команды согласования кооперативных действий:

- **New_Goal** - новая цель для робота
- **Coop** – согласие на кооперацию
- **HELP** – приглашение к кооперации

Публикации по теме доклада

Журналы:

1. Kulinich A. Decision-making support in fuzzy conflict situations. Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy). August 28 - September 2, 2011, pp. 830-834.
2. Кулинич А.А. Модель поддержки принятия решений для образования коалиций в условиях неопределенности // Искусственный интеллект и принятие решений. № 2, 2012, стр. 95-106.
Перевод: Kulinich, A.A. A decision-making support model for coalition formation under uncertainty. (2013) Scientific and Technical Information Processing, 40 (5), pp. 292-301.
DOI:10.3103/S0147688213050055.
3. Кулинич А. А. Модель командного поведения агентов (роботов): когнитивный подход / Управление большими системами. Выпуск 51. М.: ИПУ РАН, 2014. С.174-196.
Перевод: Kulinich A. A. A model of agents (robots) command behavior: The cognitive approach. (2016) Automation and remote control, 77 (3), pp 510-522. DOI:10.1134/S0005117916030127.
4. Кулинич А.А. Концептуальные каркасы онтологий слабо структурированных предметных областей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. - № 4. - С. 31-41.
Перевод: Kulinich A. A. Conceptual Frameworks of Ontologies for Ill-Structured Problem Domains// Scientific and Technical Information Processing, 2015, Vol. 42, No. 6, pp. 411–419. DOI: 10.3103/S0147688215060027.
5. Кулинич, А. А. Модель командного поведения агентов в качественной семиотической среде. Часть 1. Качественная среда функционирования. Основные определения и постановка задачи. // Искусственный Интеллект и Принятие Решений. 2017. №3, с. 38–48.
6. Кулинич А.А. (2018). Модель командного поведения агентов в качественной семиотической среде. Часть 2. Модели и алгоритмы формирования и функционирования команд агентов. Искусственный Интеллект и Принятие Решений, 2018. № 1.

Публикации по теме доклада

Конференции:

1. Кулинич А.А. Модель кооперации агентов (роботов). Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции Т.2. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. - С. 168-176.
2. Кулинич А.А. Модель командного поведения агентов. VIII-Международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Сборник научных трудов (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 3-х томах. Т1. С. 75-84.
3. Кулинич А.А. Модель коммуникации агентов на основе концептуальных каркасов среды функционирования. Конгресс по интеллектуальным и информационным технологиям IS&IT' 15. Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT' 15». Научное издание в 3-х томах. – Таганрог, Из-во ЮФУ, 2015 – Т.1. – стр. 140-147.
4. Кулинич А.А. Модель кооперации агентов в семиотической среде. Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы VI международной научно-технической конференции (Минск, 18-20 февраля 2016 г.)/ под.ред. Голенкова В.В. – Минск: БГУИР, 2016, с. 259-264.
5. Кулинич А.А. Модели стайного поведения роботов / Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2016) , 22-23 сентября 2016, Казань-Иннополис, с.60-69.
6. Кулинич А.А. 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. – Таганрог, Из-во ЮФУ, 2016 – Т.1. – стр. 301-310.
7. Кулинич А.А. Модель командной работы агентов с BDI архитектурой. Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3-7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия): Труды конференции. В 3-х томах. Т.2. – Смоленск: Универсум, 2016. - с. 344-352.
8. Кулинич А.А. Метод построения семиотической среды функционирования группой интеллектуальных агентов // IV Всероссийский научно-практический семинар «Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта» (БТС-ИИ-2017). Казань: Центр инновационных технологий, 2017. С. 193–203.
9. Кулинич, А. А. Когнитивная архитектура качественного интеллектуального агента. Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT' 17». Научное издание в 2-х томах. Таганрог: Из-во ЮФУ. 2017. Т.1. с. 235–241.



**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !



Александр Кулинич
kulinich@ipu.ru