

Распределенный интеллект мультиагентных систем

д.х.н. Ю.Л.Словохотов

1. Институт проблем управления РАН, Москва, ул. Профсоюзная, 65
2. МГУ, факультет наук о материалах, Москва, Ленинские горы, 1

slov@ipu.ru

В работе участвовали

асп. В.А.Сергеев, Институт проблем управления РАН
к.х.н. И.С.Неретин, Rock flow dynamics

Мультиагентная (социальная) система

Мультиагентная социальная система (МСС): динамическая совокупность автономных агентов, которые воспринимают информацию и взаимодействуют с внешней средой и другими агентами в ходе собственной динамики.

Взаимодействующие биологические существа одного вида составляют социальную систему в узком смысле слова. «Неживые» программируемые агенты (роботы, беспилотные аппараты и др.) при наличии взаимодействия между ними образуют искусственную МСС.

Индивидуальные агенты составляют МСС 1-го уровня. Взаимодействующие мультиагентные системы сами могут выступать в роли агентов в социальной системе более высокого уровня.

Каждая МСС (1) обладает структурой, (2) осуществляет некоторую суммарную («системную») деятельность, (3) в ее ходе воспринимает, обрабатывает и использует информацию. Структуру МСС определяют воздействия окружающей среды на агентов («внешнее поле») и граф взаимодействий между агентами.

Мультиагентные системы с любыми когнитивными возможностями агентов проявляют все основные признаки распределенного интеллекта.

Ю.Л.Словохотов, И.С.Неретин, Труды ИСП РАН, 2018, 30 (3), 341-361;
Programming and Computer Software, 2018, Vol. 44, No. 6, pp. 499–507

Социофизика: оснащение мультиагентных систем (квази)физическими параметрами

Состояние агента $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^{(n)}$ – вектор в n -мерном пространстве

Динамика агента $\mathbf{x}(t)$: «скорость» $\dot{\mathbf{x}}$, «ускорение» $\ddot{\mathbf{x}}$, ...

«Сила воздействия» на агента F , «поле сил»

Инерция агента («масса»), «импульс». Траектории в фазовом пространстве

Энергоподобные параметры, реже «потенциал», $F = -\nabla U$

Стохастические помехи, шум («температура»). Энтропия

Усреднение параметров агентов, соотношения статистической физики

Состояние $X(t)$ мультиагентной системы

Ограничения агентных моделей

«Network science»

Структура мультиагентной системы – взвешенный ориентированный граф (сеть), она может изменяться во времени с изменением параметров агентов. Однако многие процессы на сложных сетях в целом не определяются структурой субстрата (неравномерность, замедление, метастабильные области).

Количественное описание динамики МСС по аналогии с системами «неживых» физических частиц ограничено неопределенностью параметров, отсутствием законов сохранения, нестационарностью случайных процессов.

Теория игр

Баланс факторов (выигрышей), «пространство стратегий», стремление агентов к максимуму полезности. Условия существования равновесия и оптимума ($\sum u_i \rightarrow \max$).

Усложнение описания при учете многоуровневой рефлексии и ограниченно рационального поведения агентов; трудности расчета.

Предположение: мультиагентные модели, основанные на «балансе» факторов, не вполне отражают некоторое фундаментальное свойство МСС.

Рабочее определение интеллекта

В разных науках существует много определений феномена, называемого интеллектом (intelligence) либо когнитивными способностями. Как правило, в них отмечают способности интеллектуального агента ставить цели и решать задачи, пользуясь ограниченной информацией. Различают интеллект человека, когнитивные возможности животных, искусственный интеллект (ИИ) и несколько видов распределенного интеллекта (РИ).

Мы будем называть интеллектом способность индивидуума или мультиагентной системы стремиться к определенному состоянию (*цели*), воспринимая, обрабатывая и используя информацию для ее достижения.

Мы пользуемся «наивным», или «интуитивным» представлением об информации как структуре внешнего воздействия на индивидуального агента или на мультиагентную систему. Один из важнейших признаков интеллекта – способность создавать новую информацию (новое знание).

Фундаментальные признаки интеллекта

1. Память
2. Обучение
3. Целеполагание
4. Способность создавать новую информацию
- (5). *Спонтанный* приход к правильному ответу (инсайт) при решении нетривиальной задачи (проблемная ситуация)

в существующих формальных моделях интеллекта, включая искусственный, п.п. 4 и 5 не воспроизводятся

Управление интеллектуальными системами

Организационные, экологические, социальные, экономические и технические системы, а также их комбинации. Активные системы.

Признаки системы: целеполагание, рефлексия, (ограниченная) рациональность, кооперативное и/или конкурентное взаимодействие, сложная иерархическая структура. Иерархия методов планирования и управления на разных уровнях системы.

Д.А.Новиков, *Кибернетика: навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития*. М.: ЛЕНАНД, 2016

Распределенный интеллект МСС

Замечание: наличие индивидуального сознания у людей **не является** фундаментальной особенностью социальной системы (муравейник и т.д.)

Системная динамика МСС складывается из индивидуальных динамик агентов, но не сводится к их сумме. От ансамбля «неживых» физических частиц МСС отличает индивидуальное и системное целеполагание.

Объективная цель МСС на заданном интервале времени – это оптимальный для системы результат ее динамики. Как правило, объективные цели включают самосохранение системы: поддержка числа агентов или его увеличение (обтекание препятствий толпой).

Преследуя системные цели, МСС воспринимают и обрабатывают информацию, проявляя все основные признаки **распределенного интеллекта (РИ)**. Эту особенность социальных систем надо непосредственно учитывать в их описании и моделировании.

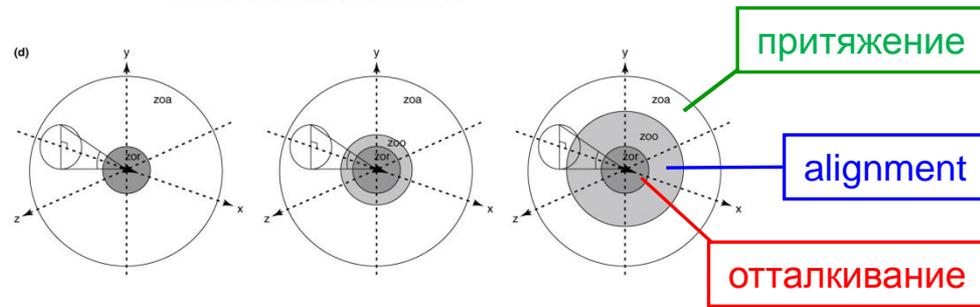
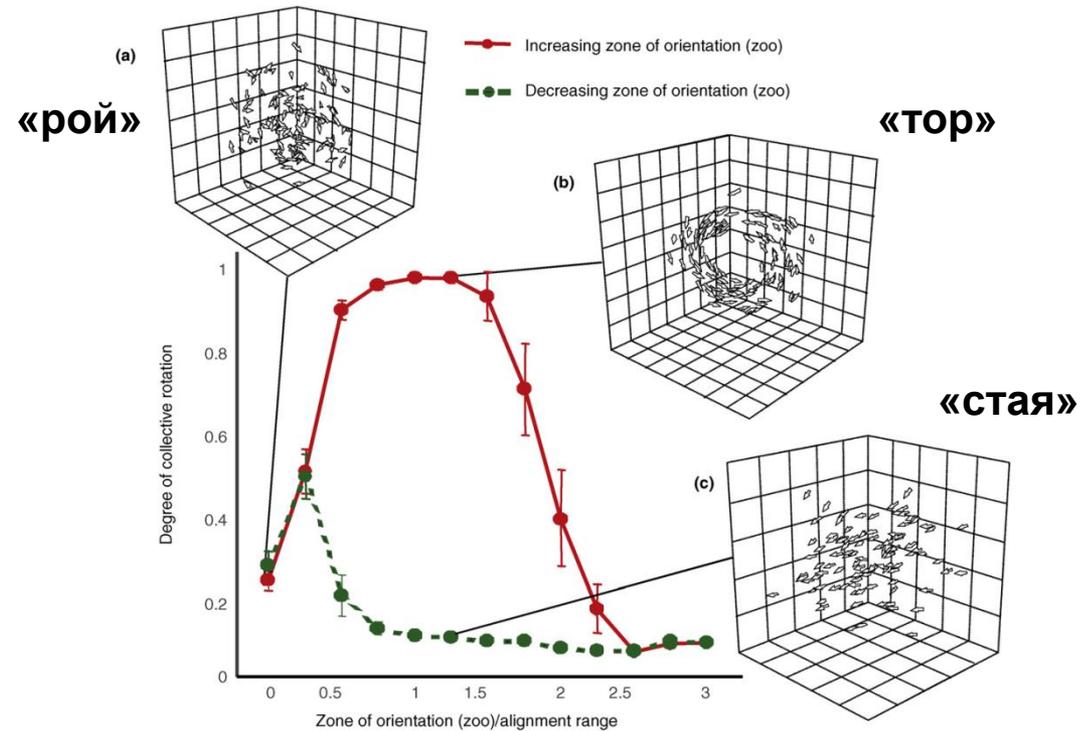
Объективная цель системы определяется индивидуальными целями агентов, взаимодействием между агентами и взаимодействием агентов с внешней средой. Одна и та же система разнородных агентов, в зависимости от условий, может преследовать разные цели.

Некоторые ссылки

- B.Chandrasekar, Natural and Social System Metaphors for Distributed Problem Solving. *IEEE Trans. Of Systems, Man, and Cybernetics*, 1981, v. SMC-11, 1
- K.Tumer, D.Wolpert, Collective Intelligence, Data Routing and Braess' Paradox, *J. Artific. Intelligence Res.*, 2002, **16** , 359.
- J. Surowiecky, *The Wisdom of Crowds*, Anchor: 2005, 336 p.**
- M.C. Schut, On model design for simulation of collective intelligence, *Inf. Sci.* 2010, **180** 132.
- J.M. Whitacre, Recent trends indicate rapid growth of nature-inspired optimization in academia and industry, *Computing* 2011, **93**, 121
- J.Salminen, Collective Intelligence in Humans: A Literature Review, 2012, *arXiv:1204.3401*
- W.Li, et al., Crowd intelligence in AI 2.0 era, *Front. Inform.Technol. Electron. Eng.* 2017, **18**, 15.
- R.P. Mann, D. Helbing, Optimal incentives for collective intelligence, *PNAS*, 2017, **114**, 5077.
- A.Nayyar, D.-N.Le, N.G. Nguyen (Eds.), *Advances in Swarm Intelligence for Optimizing Problems in Computer Science*, CRC Press, 2019, 290 p.
- U.W. Nash, The Wisdom of a Kalman Crowd, 2019, *arXiv:1901.08133v1* [econ.EM] .
The Global Brain Institute <https://sites.google.com/site/gbialternative1/>

Моделирование природного «роевого» интеллекта

Режимы коллективного движения



«Тор» в движущемся косяке рыб

Муравьиные тропинки: системная память

Муравьи

В горшочек с патокой забралось много муравьёв. Хозяин выгнал муравьёв, обвязал горшочек верёвкой, привесил его на гвоздь к потолку. Но один муравей остался в горшке. Когда он наелся и хотел уйти – видит, что выхода нет.

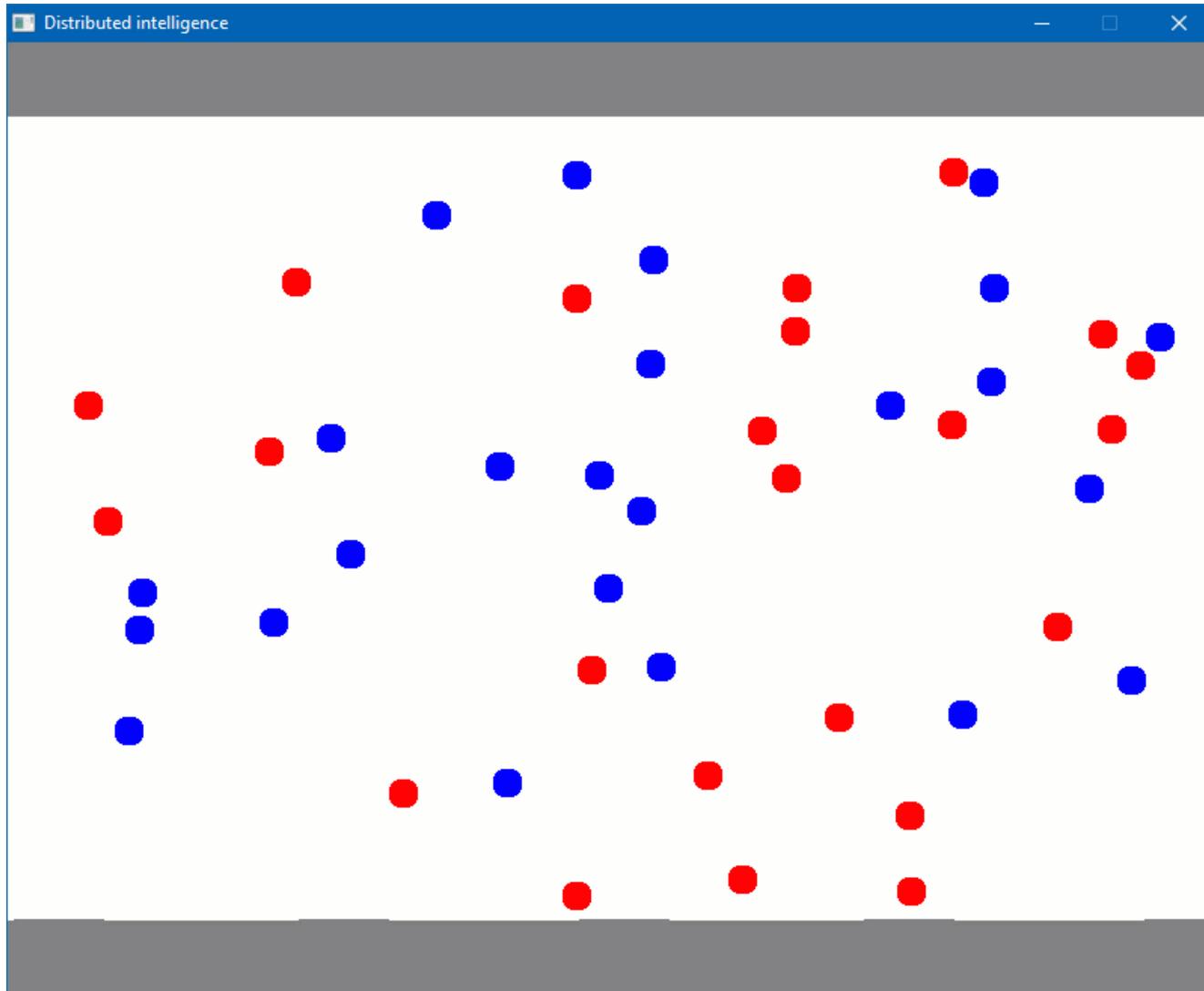
Долго бегал он, пока добрался до верёвки; по верёвке он поднялся к потолку, а оттуда по стене спустился на пол.

Прошло немного времени. Вот видит хозяин, что множество муравьёв взбирается на стену, потом на потолок, потом по верёвке отправляется к горшку. Муравьи спускались и поднимались по верёвке до тех пор, пока не поели всей патоки.

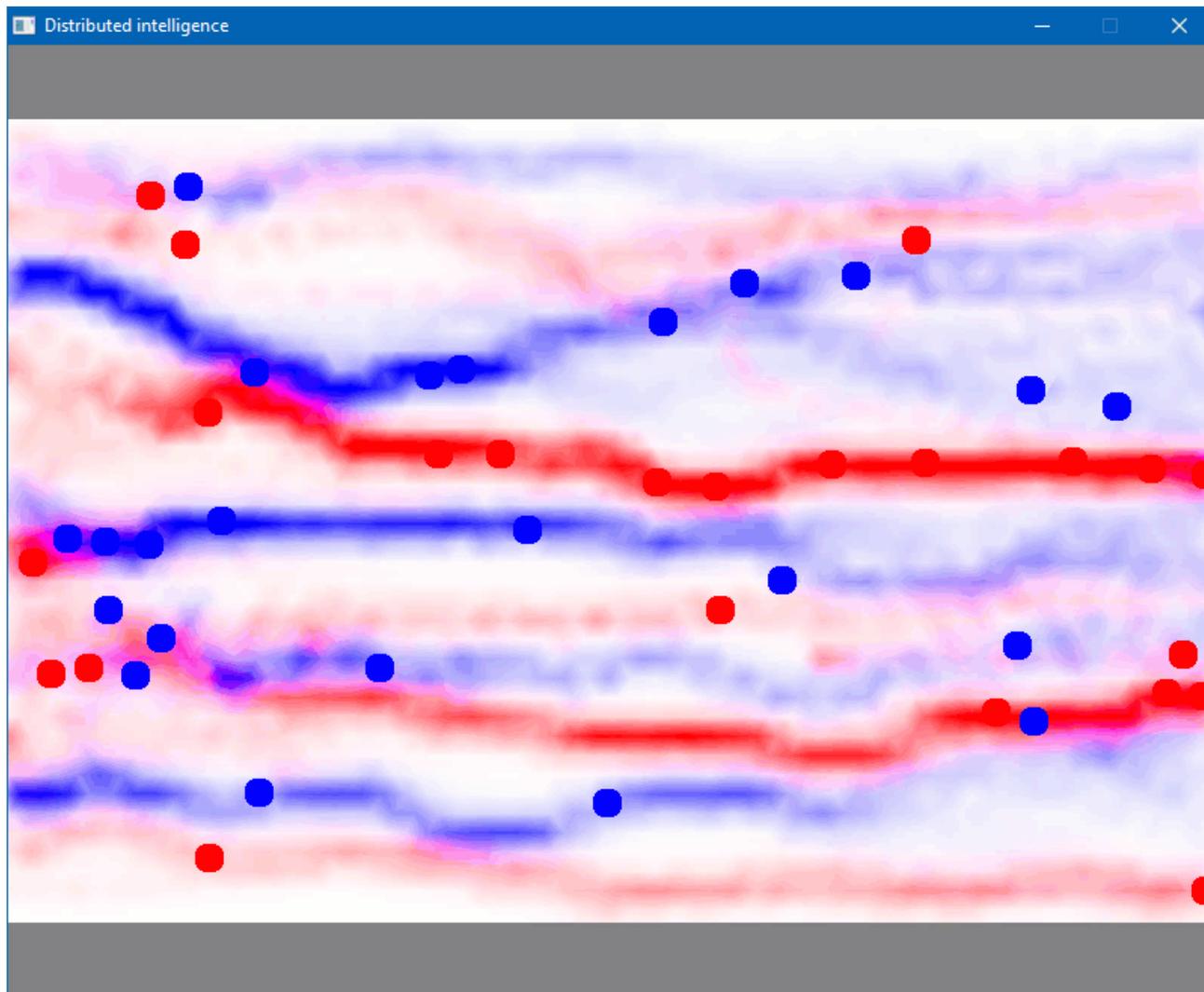
Л.Н.Толстой. Сказки для детей

Тропинки агентов играют роль «блоков» в отражении обстановки («распределенном восприятии»).

Встречное движение со следом: появление тропинок



Установившееся раздельное движение



Роевой алгоритм оптимизации

(Z.Winklerova, 4th Int. Conf. Adv. Swarm Intel. (2013, Harbin), Proc., P.1, p.p. 40-54)

для i -й частицы в момент $t + \Delta t$:

$$\mathbf{v}_i(t + \Delta t) = \omega \mathbf{v}_i(t) + a_l r_1 [l_i(t) - x_i(t)] \Delta t + a_g r_2 [g(t) - x_i(t)] \Delta t,$$

$$\mathbf{x}_i(t + \Delta t) = \mathbf{x}_i(t) + \mathbf{v}_i(t + \Delta t) \Delta t$$

где n – размерность задачи (пространства параметров),

x_i , v_i – положение и скорость «частицы» в n -мерном пространстве,

ω – коэффициент инерции,

l_i – локальный оптимум i -й частицы, g – глобальный оптимум

a_l , a_g – коэффициенты ускорения к оптимумам,

r_1 , $r_2 \in (0, 1)$ – случайные числа

$a_l r_1 [l_i(t) - x_i(t)]$ – когнитивный фактор,

$a_g r_2 [g(t) - x_i(t)]$ – социальный фактор,

Алгоритм автоматического управления (robotics)

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \boldsymbol{\omega};$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \boldsymbol{\theta}$$

где $X \subset \mathbb{R}^n$ – пространство состояний,

$U \subset \mathbb{R}^p$ – пространство управляющих воздействий (control space),

$Y \subset \mathbb{R}^m$ – пространство наблюдений ($p, m \leq n$),

$\mathbf{x}(t) \in X$ – вектор состояния системы, $\mathbf{x}(0)$ – случайный вектор,

$\mathbf{u}(t) \in U$ – вектор управления,

$\mathbf{y}(t) \in Y$ – вектор наблюдений,

$\boldsymbol{\omega}$ – возмущение системы, $\boldsymbol{\theta}$ – шум

$\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – динамическая матрица,

$\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times p}$ – матрица управления,

$\mathbf{C} \in \mathbb{R}^{n \times m}$ – матрица наблюдений

Пространство представлений

в дискретном времени:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \omega_k; \\ \mathbf{y}_k &= \mathbf{C}\mathbf{x}_k + \theta_k\end{aligned}$$

$\mathbf{G} = \{\mathbf{b}_k\} = \{\hat{\mathbf{y}}_k, \mathbf{P}_k\}$ – *пространство представлений (belief space)*,
где $\hat{\mathbf{y}}_k, \mathbf{P}_k$ – оценки состояния и его дисперсии в момент k

$$\begin{aligned}\mathbf{b}_{k+1} &= \mathbf{K}(\mathbf{b}_k; \mathbf{u}_k; \mathbf{y}_{k+1}); \mathbf{b}_0 = (\hat{\mathbf{y}}_0; \mathbf{P}_0) \\ \mathbf{u}_{k+1} &= \mathbf{f}(\mathbf{b}_k)\end{aligned}$$

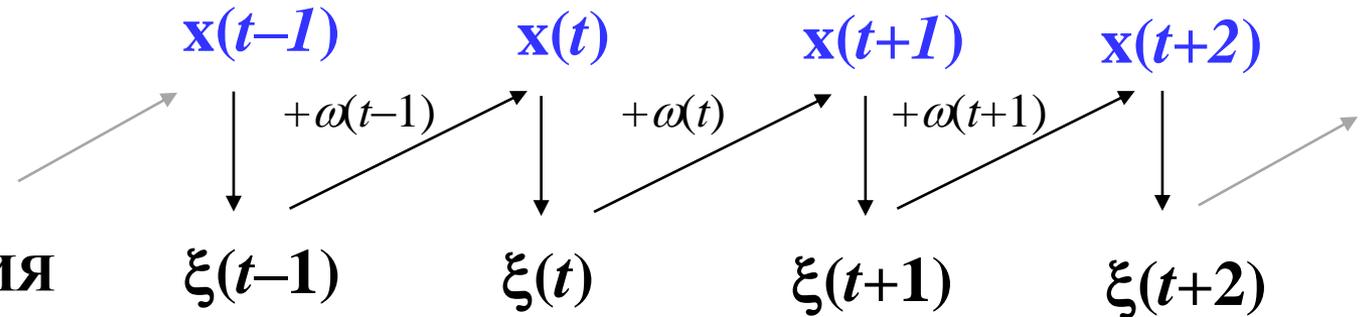
\mathbf{K} – фильтр Калмана:

в простейшем случае $\hat{\mathbf{y}}_{k+1} = \mathbf{K}\mathbf{y}_{k+1} + (1-\mathbf{K})(\hat{\mathbf{y}}_k + \mathbf{u}_k)$

по С.-И. Vasile, et al., Proc. IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, USA, 2016, p.p.7419-7424

Динамика «интеллектуального» агента в пространствах состояний и представлений

R: СОСТОЯНИЯ



I: ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

где \mathbf{R} – пространство состояний, \mathbf{I} – пространство представлений,
 $x(t) \in \mathbf{R}$ – состояние, $\xi(t) \in \mathbf{I}$ – представление агента о нем в момент t

$$x(t) = f[\xi(t-1)] + \omega(t-1)$$

$$\xi(t) = \varphi[x(t)] + \theta(t), \text{ где}$$

$f(\xi)$ – аналог управляющего воздействия, ω – возмущения;

$\varphi(x)$ – аналог наблюдения, θ – шум

$\xi^{(0)}$ – цель агента;

$|\xi^{(0)} - \xi(t+1)| \leq |\xi^{(0)} - \xi(t)|$ если ξ_i – векторы,

$\xi^{(0)} \cap \xi(t+1)$ «лучше» $\xi^{(0)} \cap \xi(t)$ если $\{\xi_i\}$ – множества

РИ организационных систем

«Элементная база» сознания человека: $\sim 10^{11}$ нейронов. По сравнению с ним, в распределенном интеллекте организационных систем узлов, гораздо меньше, но они способны к глубокой переработке информации.

«идеальная комиссия»	МИТИНГ	«КОЛЛЕКТИВНЫЙ ИДИОТ»
общее знание	общие намерения	ничего общего
отбор по параметрам	случайный отбор	свободный вход
сильное управление	слабое управление	нет управления
формализованный обмен информацией	неформальный обмен информацией и эмоциями	случайный обмен эмоциями
сравнение значимости мнений (голосование)	высказывание мнений	нет мнений
подчинение большинству	неподчинение большинству	нет большинства
обязательность исполнения выводов	необязательность рекомендаций (призывы)	нет рекомендаций

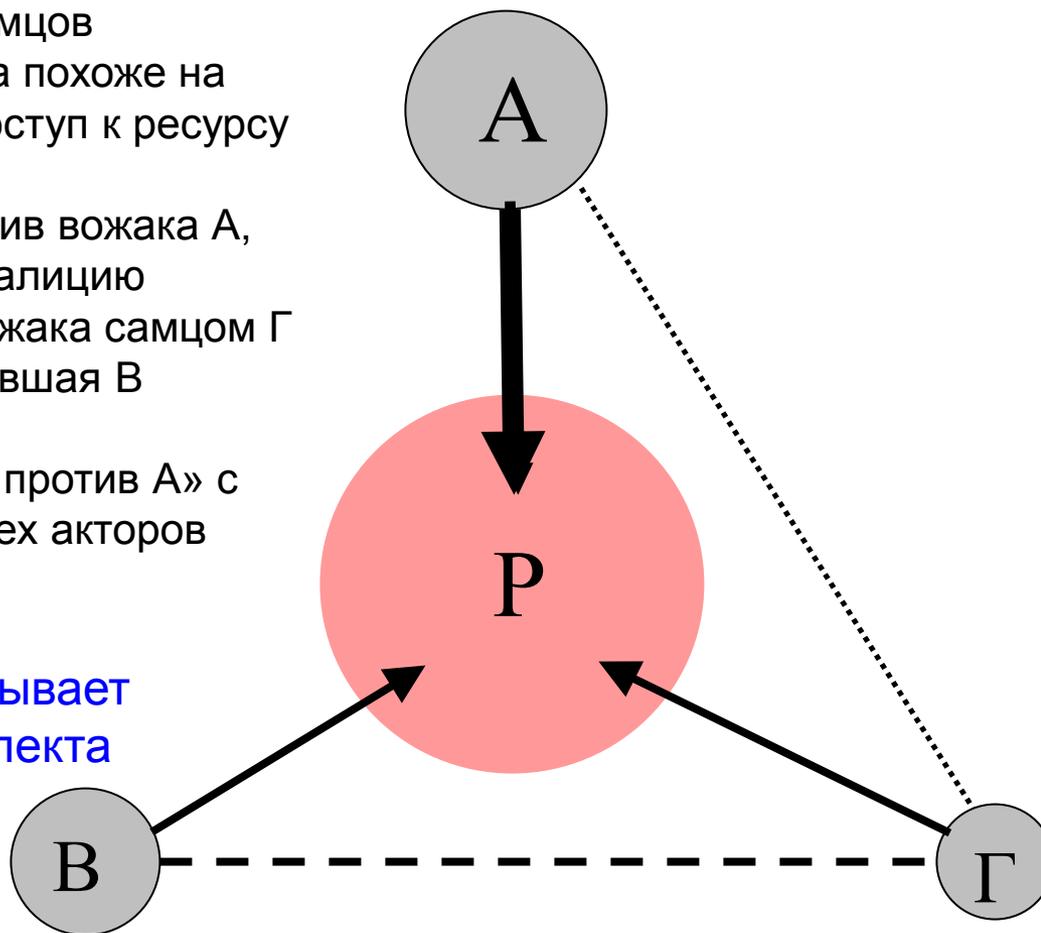
Рациональность динамики МСС выше при ограничении набора действий агентов и наличии библиотеки стандартных реакций («пожар в театре»). Рациональность поведения людей также растет с сокращением возможностей выбора и становится «ограниченной» при выборе из многих возможностей («переход улицы»).

РИ организационных систем: аналогии в природе

Поведение трех доминирующих самцов А, В и Г в обезьяньем стаде весьма похоже на борьбу политических акторов за доступ к ресурсу Р (в данном случае гарему):

- (а) устойчивая коалиция В и Г против вожака А,
- (б) конфликт В и Г, нарушивший коалицию
- (в) демонстративная поддержка вожака самцом Г в следующей стычке А и В, вынудившая В отступить,
- (г) возобновление коалиции «В и Г против А» с совместным использованием всех трех акторов ресурсом Р

РИ социальных систем часто бывает проще индивидуального интеллекта человека



З.А.Зорина, И.И.Полетаева, Элементы мышления животных, М.: Аспект, 2002

А.В.Олескин, Биополитика, М.: МГУ, 2001.

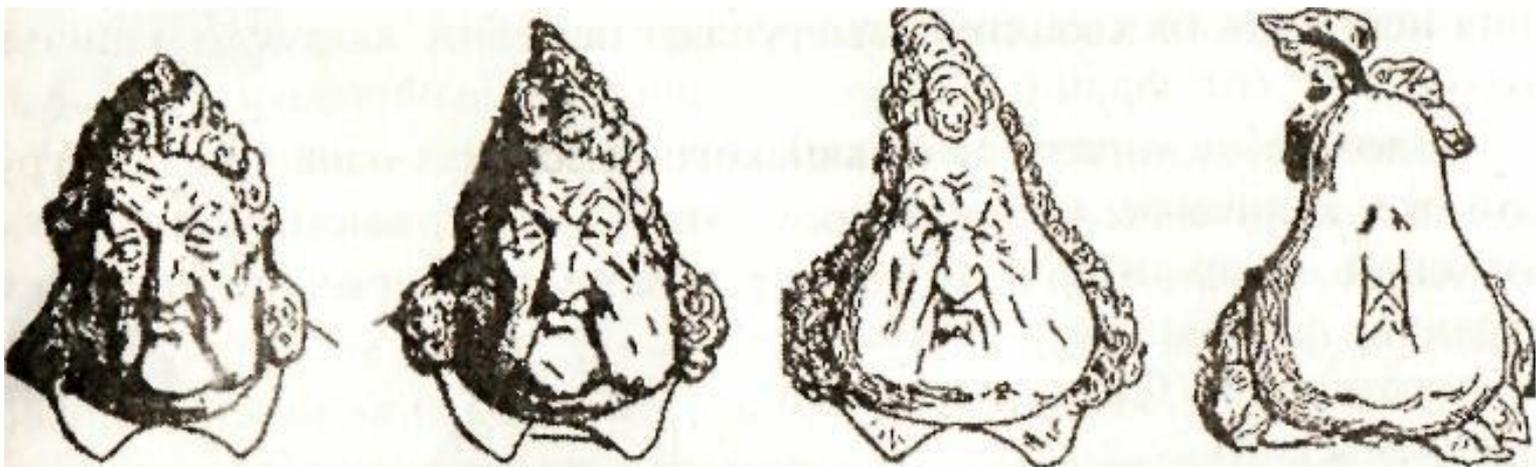
Необходимость свертывания информации

«Музыкальный парадокс»

Монохроматический звук задают три параметра: высота (частота ν), громкость (интенсивность I) и длительность (τ). Наше восприятие основано на дискретных оценках этих параметров. При бинарной оценке звука (высокий-низкий, громкий-тихий, длинный-короткий) имеем $2^3=8$ комбинаций, при «троичной» (+ средний) $3^3=27$ комбинаций, и т.д.

Человек с музыкальным образованием различит ноты пяти октав (5×12), шести ступеней громкости (от *pp* до *ff*) и длительности (от целой до $1/32$). Вместе с тремя сочетаниями нот (стаккато, нонлегато, легато) это дает $6^3 \times 30 = 6480$ вариантов одного звука. Для последовательности из 100 нот число возможных комбинаций $\gg 100^{100}$ (числа «гууугл»).

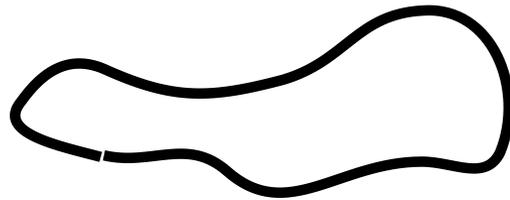
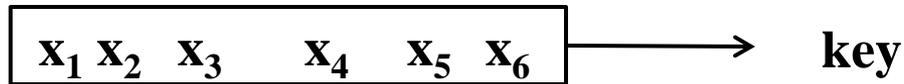
Аналогичные «парадоксы» можно придумать для чтения, распознавания речи, движения, восприятия зрительной информации. Во всех этих областях необходимо **обучение**, которое (1) кардинально сокращает множество разрешенных сочетаний элементов и (2) эффективно свертывает оставшееся «разрешенное» множество в относительно небольшой набор «блоков» (например, слов языка).



Шарль Филипон и Оноре Домье (1831).
Превращение головы короля Луи-Филиппа в грушу

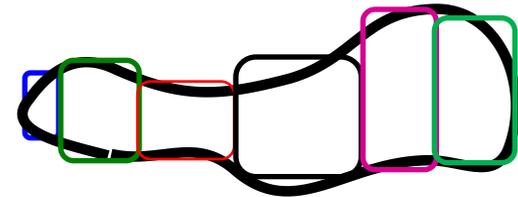
«Модульное» распознавание внешнего воздействия

addresses of modules

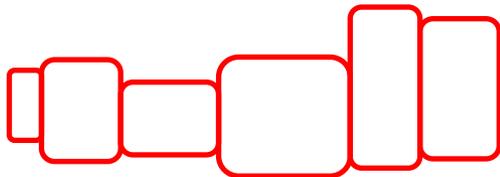


‘imprint’

$(x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6)$



‘modular scheme’

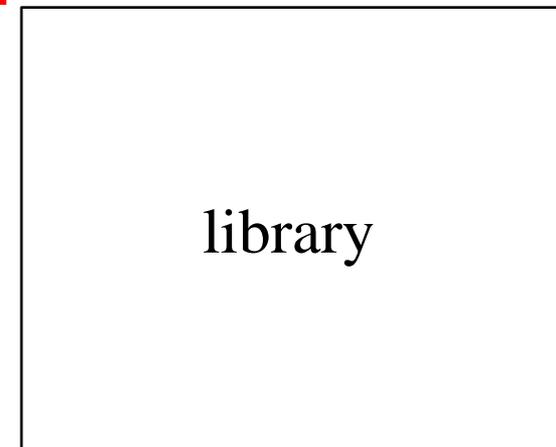


«Цвета» модулей: изначальные признаки внешнего воздействия, кодирующие его в схеме
(«тяжелая вода» = D_2O)

Блоки в образе-схеме: **нечеткие множества**

«Большое дурманное дерево,
малое дурманное дерево, тонкое
дурманное дерево - это всё совершенно
разные растения ...»

Лао Шэ, «Записки о кошачьем городе»



Модульная модель восприятия

Распознавание образа: подбор ранее выработанной модульной схемы, аппроксимирующей «отпечаток» внешнего воздействия на сознание.

Блоки схемы (модули) – ранее установленные признаки внешних воздействий, хранящиеся в памяти. Разным воздействиям отвечают разные комбинации модулей-«иероглифов», или *образы-схемы*.

Идентификаторы модулей составляют ключ, по которому схема вызывается из памяти для сравнения с «отпечатком». При хорошем соответствии происходит **узнавание**.

Отсутствие подходящей схемы порождает «проблемную ситуацию», в которой новая аппроксимирующая схема создается из имеющихся схем случайной заменой некоторых их блоков.

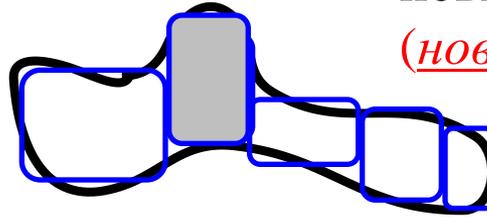
При улучшении соответствия новой схемы «отпечатку» (*генетический контроль*) ее ключ добавляется в память (*рождение новой информации*)..

Число модулей в схеме $m \sim 10$, количество модулей в библиотеке $N \sim 1000$. Это дает практически бесконечное число комбинаций $\begin{bmatrix} m \\ N \end{bmatrix} \sim 10^{23}$ и делает невозможным построение образов-схем прямым перебором.

Замена блоков в образе-схеме: рождение новой информации

«Придумывание нового»: подбор комбинации модулей, которая подходит к данному «отпечатку» лучше всех комбинаций, хранящихся в памяти.

ключ: $(y_1 \mathbf{Y}_2 y_3 y_4 y_5)$ новый блок Y_2 , изменивший схему
адреса блоков в схеме образа $(y_1 Y_2 y_3 y_4 y_5)$ новый ключ
(накопленная информация): *(новая информация)*



Модульная модель действия интеллекта

- (1) поиск наилучшего образа-схемы для «отпечатка» внешнего воздействия по ключам из памяти,
- (2) выявление в найденной схеме модуля (или модулей) с наихудшим соответствием «отпечатку»,
- (3) замена «плохого» модуля на другие модули, хранящиеся в памяти, ограниченным случайным перебором,
- (4) нахождение модуля, улучшающего соответствие схемы «отпечатку».
- (5) запоминание новой комбинации модулей: введение в память ее ключа

Другой пример модулей: *мышечные синергии*

«Мышечные синергии – содружественная работа многих мышц как единого целого – рассматриваются как функциональные единицы движения (d'Avella et al., J. Neurosci. 2006, 7791; d'Avella, Lacquaniti, Front. Comput. Neurosci., 2013, 7, 42).

Сигнал, управляющий движением мышц

$$\mathbf{m}(t) = [m_1(t), m_2(t), \dots, m_M(t)]$$

($M \sim 1000$) можно представить как линейную комбинацию их «профилей активации», или *динамических синергий*

$$\mathbf{m}(t) = \sum c_k w_k(t)$$

Внутренняя репрезентация сложного мышечного движения сводится к набору коэффициентов $\{c_k\}$

Показано, что у человека широкий репертуар движений к пространственной цели может быть выполнен за счет всего четырех – пяти динамических синергий, выбранных из ограниченной малоразмерной "библиотеки"

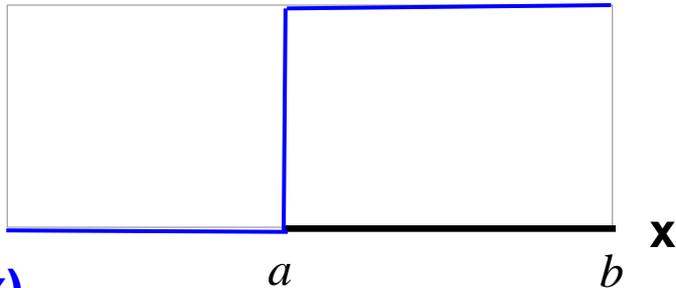
Muceli et al., J. Neurophysiol., 2010, 103, 1532; d'Avella, Lacquaniti, 2013, *см. выше*».

цит. по А.В.Курганский, *Понятие внутренней репрезентации в когнитивной нейронауке*, доклад на семинаре по социофизике, МГУ, 28.02.2017

<http://www.soc-phys.chem.msu.ru/rus/prev/zas-2017-02-28/welcome.html>

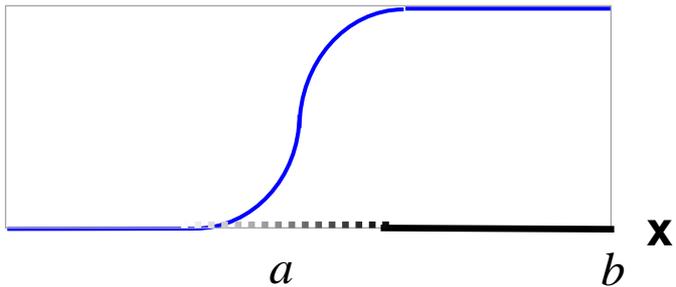
Нечеткие множества

$\mu(x)$



$x \in [a, b], \mu(x) = 1; x \notin [a, b], \mu(x) = 0$
– четкое множество $[a, b]$

$\mu(x)$

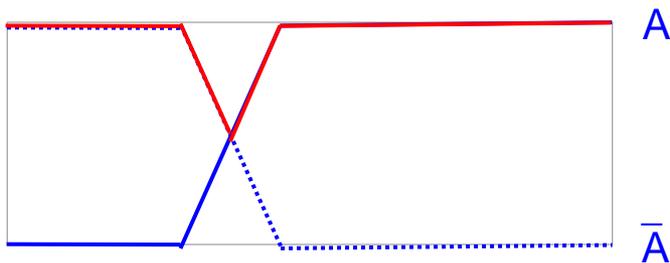


$x \in [a, b], \mu(x) \in [0, 1]$ – нечеткое множество
 $\mu(x)$ – функция принадлежности

нечеткие множества – средство свертки
воспринимаемой информации
функция принадлежности отражает
конкретные условия восприятия

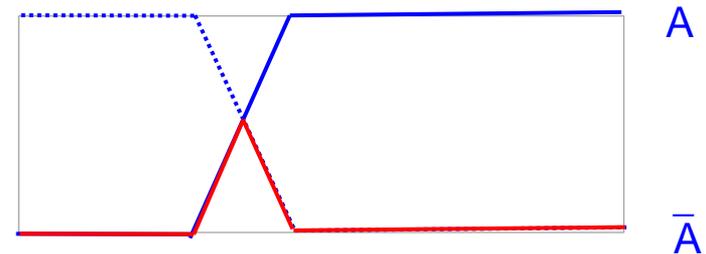
нечеткая логика отличается от классической

$A \cup B: \mu = \max(\mu_A, \mu_B)$



$A, \bar{A} \subset U, A \cup \bar{A} \neq U$
нет «исключения третьего»

$A \cap B: \mu = \min(\mu_A, \mu_B)$



$A, \bar{A} \subset U, A \cap \bar{A} \neq \emptyset$
нет «закона противоречия»

Модульный РИ организационной системы

Предпосылки наличия распределенного интеллекта у МСС

1. Способность агентов воспринимать информацию,
2. Наличие целей у агентов
3. Взаимодействие агентов

Уровень распределенного интеллекта определяется когнитивными возможностями агентов, их целями, межагентными взаимодействиями, внешними условиями

<u>Индивидуальный интеллект человека</u>	<u>Распределенный интеллект организации</u>
библиотека модулей, ключи	рабочая информация, инструкции
«отпечаток» внешнего воздействия	сумма реакций персонала на воздействие
модульная «схема образа»	действия по инструкциям
выбор лучшей схемы, оценка ее соответствия «отпечатку»	принятие плана действий, создание комиссии
случайная замена «плохих» модулей	корректировка действий, испытание предложений («работа комиссии»)
«генетический контроль»	оценка успешности действий («выводы комиссии»)
запоминание новой схемы	изменение инструкций

Особенности РИ в человеческом обществе

1. Обычное описание в терминах экономических и социогуманитарных дисциплин: «невидимая рука рынка», «парламентская демократия», «религиозные войны», «геополитическая конкуренция», военная тактика и стратегия, и др.
2. Низкий уровень формализации.
3. Преобладание конкурентных и антагонистических отношений между «актерами», отсутствие реальных этических норм (например, рыночные отношения).
4. Стремление к равновесию (теория игр).
5. Биоподобные жизненные циклы мультиагентных систем (С.Н. Паркинсон, *Законы Паркинсона*, гл. 8: Жизнь и смерть учреждений).
6. Тенденция к объединению (обычно силовому) в единую систему.
7. Рост населения и «ускорение истории».

Пример: консенсус антагонистических агентов

Военные потери СССР в 1941 – 1945 г.г.



наступление Красной Армии весной 1942 г.



стратегические паузы весной 1943 и 1944 г.г.



В.Д.Кривошеев и соавт. *Россия и СССР в войнах XX века. Потери вооруженных сил. Статистическое исследование*, М.: Олма-пресс, 2001)

«Странные» войны и замороженные конфликты

Принцип минимума суммы человеческих жертв в историческом процессе?

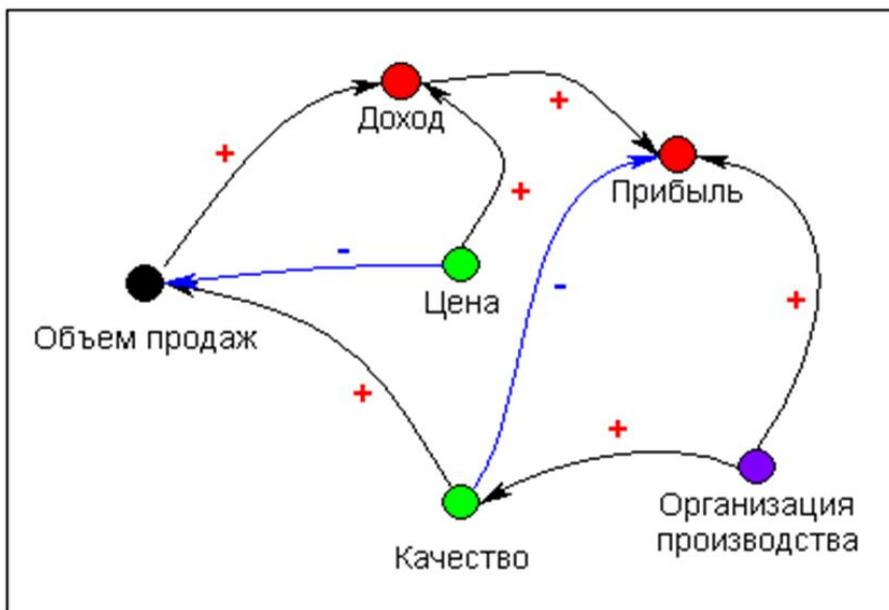
Использование РИ социальных систем.

1. «Роевые» алгоритмы поиска в Интернет
2. «Краудсорсинг»
3. «Биржа прогнозов»
4. Методики «мозгового штурма», когнитивные карты (в т.ч. нечеткие)

1. J. Surowiecky, *The Wisdom of Crowds*, Anchor: 2005, 336 p
2. Э.Макафи, Э.Бриньолфсон, *Машина, платформа, толпа. Наше цифровое будущее*. М: МИФ, 2019
3. C. Wagner, A. Back, *Group wisdom support systems: aggregating the insights of many through information technology*, *Issues in Information Systems*, 2008, **9**, 343.
3. L. Lorenzo, et al., *Structuring E-Brainstorming to Better Support Innovation Processes*, *Social Innovation and Social Media Conference*, 2011 ICWSM Workshop, Barcelona, Spain.

и многие другие

Когнитивные карты: модульные схемы сложных процессов



Из лекции к.т.н. З.К.Авдеевой,
Лаб. №51 ИПУ РАН avdeeva@ipu.ru

**Нечеткие блоки, неточно
известный характер связей**

1. R.M.Axelrod (Ed.), *Structure of decision: The Cognitive Maps of Political Elites*, Princeton University Press, 1976, 404 p.
2. Glykas M.(ed.) *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Vol. 247 – Springer: 2010.
3. Авдеева З.К., Коврига С.В. *Формирование стратегии развития социально-экономических объектов на основе когнитивных карт*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011, 184

Выводы

1. Распределенный интеллект (РИ) – фундаментальное свойство **любой** «социальной» системы взаимосвязанных агентов (МСС).
2. В МСС высокого уровня агентами могут быть мультиагентные системы (рынок, биржа, мировая политика, военное дело и т.д.)
3. «Сила» РИ определяется целями агентов, глубиной переработки ими информации (их собственным интеллектом) и структурой взаимодействий агентов.
4. В моделировании динамики МСС следует учитывать РИ.
5. Наибольшие успехи достигнуты в моделировании искусственного интеллекта (ИИ, robotics) и в вычислительных эвристиках на основе искусственного РИ: «роевого», «муравьиного» и т.д. Эти методы следует использовать в моделировании **всех видов интеллекта**.
6. РИ организационных систем (brain storm, crowd wisdom и др.) пока используется скорее на эмпирическом уровне.
7. Формальное описание и моделирование «всемирного интеллекта» (global brain) в доступной литературе отсутствует.

Выводы II

1. Наша модульная модель интеллекта воспроизводит создание новой информации как индивидами, так и РИ или ИИ.
2. «Блоки» модели – нечеткие множества, отражающие признаки внешнего воздействия; комбинация признаков – «иероглифический символ» воспринимаемой информации. Замена блока в символе на другой, лучше отвечающий воздействию – запись новой информации.
3. Нечеткие блоки информации фактически используются в роевых алгоритмах («тропинки»), в управлении организационными системами (инструкции), в моделировании сложных процессов (когнитивные карты) и др.
4. В теории автоматического управления (robotics) динамика, направляемая ИИ, протекает во взаимосвязанных физическом и информационном пространствах (state space, belief space). Это верно для любых «интеллектуальных» агентов, включая РИ.
5. Формализм теории управления можно распространить на социофизику: «размывание» внешней информации (fuzzification), сравнение с нечетким стандартом, свёртка выходной информации (defuzzification) и др.

Спасибо за внимание!