

# К построению модульной модели распределенного интеллекта

*Towards a modular model of distributed intelligence*

Ю.Л.Словохотов<sup>1,2</sup>, И.С.Неретин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Химический факультет МГУ*

*Department of Chemistry, Moscow State University*

<sup>2</sup>*Институт элементоорганических соединений РАН  
Institute of Organoelement Compounds, Russian Acad. Sci.*

<sup>3</sup>*Rock Flow Dynamics, Москва*

*[slov@phys.chem.msu.ru](mailto:slov@phys.chem.msu.ru)*

# Content

- Multi-agent social systems (MSS), postulates and properties
- Modeling of MSS and drawbacks of quasi-physical models
- Distributed intelligence (DI) as a basic property of MSS
- Modular model of 'individual' human intelligence: perception.
- Modular model of human intelligence creating new information
- Extension of the modular model to DI
- 'Strength' of DI vs. restrictions on agents' behavior
- Illustrative computer simulation
- Modular artificial intelligence??
- Conclusions

# Мультиагентная социальная система

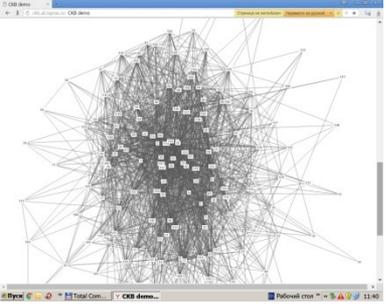
Мультиагентная социальная система (МСС): динамическая совокупность автономных агентов, которые воспринимают информацию и взаимодействуют с внешней средой и другими агентами в ходе собственной деятельности (*динамики*).

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.

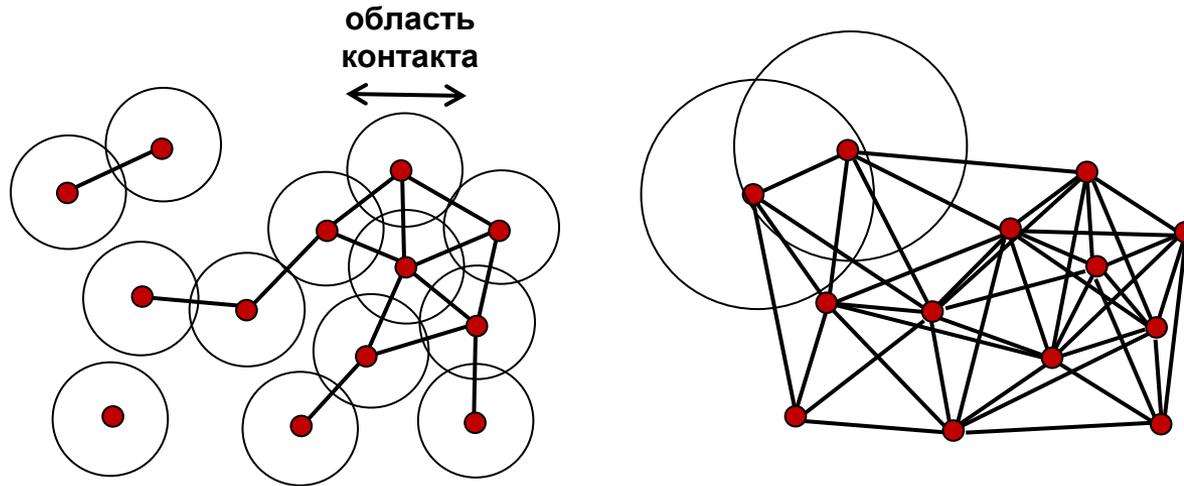
Индивидуальные агенты составляют МСС 1-го уровня. Взаимодействующие мультиагентные системы сами могут выступать в роли агентов в социальной системе более высокого уровня.

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 взаимодействия между агентами (внутренняя структура)

# Структура МСС: графы (сети)



© Антон Коршунов, ИСП РАН



Взаимодействия агентов задают внутреннюю структуру социальной системы (в общем случае – взвешенный ориентированный граф).

1. Структура сети может изменяться во времени с изменением параметров агентов (co-evolution)
2. Стохастические процессы на сложных сетях «тесного мира» не принципиально отличаются от процессов на решетках или бесструктурном субстрате (неравномерность, замедление, метастабильные области)

**Предположение: структура социальной системы не оказывает прямого определяющего влияния на ее динамику**

# Моделирование взаимодействия агентов

## Многочастичные системы

Формализация межагентных взаимодействий: динамические модели. энергоподобная функция полезности  $u_i$ , флуктуации, стохастический шум («температура»). Анализ фазовых траекторий системы, стационарные и хаотические режимы («странный аттрактор»). Выделение управляющих параметров.

Трудности описания динамики МСС по аналогии с системами «неживых» физических частиц: неопределенность количественных параметров, отсутствие законов сохранения, нестационарность 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, заимствованные из физики, не вполне адекватны фундаментальным особенностям МСС**

# Распределенный интеллект МСС

Замечание 1: 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 физических частиц МСС отличает *системное целеполагание*.

Объективная цель МСС на заданном интервале времени – это оптимальный для системы результат ее динамики. Преследуя системные цели («невидимая рука рынка»), МСС воспринимают и обрабатывают информацию, проявляя все основные признаки распределенного интеллекта. Эту принципиальную особенность социальных систем следует непосредственно учитывать в их описании и моделировании.

Замечание 2. Главное свойство интеллекта – производство новой информации («придумывание нового»). Общепринятая модель, воспроизводящая это свойство, авторам не известна..

# Особенности индивидуального мышления

1. Обучение как необходимое условие мышления; желательность широкой «базы знаний»
2. Спонтанное возникновение правильного решения (*инсайт*) у людей и животных, поставленных в «проблемную ситуацию»
3. Повышение вероятности инсайта при активизации перебора вариантов ответа и ослаблении ограничений в их поиске
4. Эвристические схемы, способствующие творческому мышлению («расшатывание образа», «мозговой штурм», ТРИЗ и т.д.)

см., напр., В.В.Петухов, «Психология мышления», М.: МГУ, 1987

## модель Д.С.Чернавского

Континуальная математическая модель распространения информации. Случайное возникновение новой информации в хаотическом «перемешивающем слое» (странном аттракторе фазового пространства), генетический отбор полезной информации.

Д.С.Чернавский, «Синергетика и информация. Динамическая теория информации», 3-е изд., М.: Либроком, 2009

# 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 *схемы образов*.

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

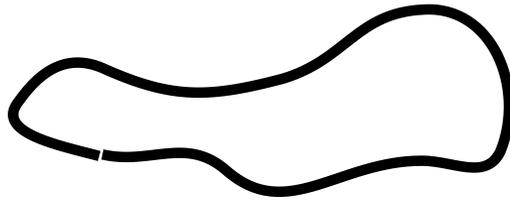
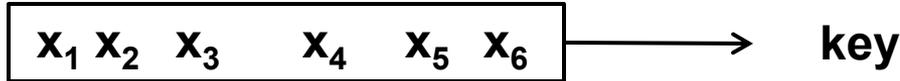
Отсутствие адекватной схемы порождает «проблемную ситуацию», в которой новая аппроксимирующая схема создается из имеющихся схем случайной заменой некоторых блоков.

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

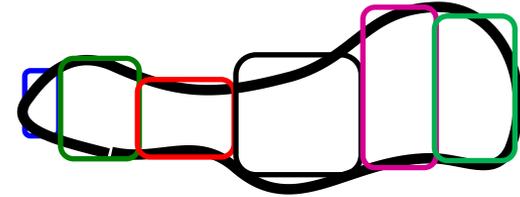
.Число модулей в схеме  $m \sim 10$ , количество модулей в библиотеке  $N \sim 1000$ . Это дает практически бесконечное число комбинаций  $\begin{bmatrix} m \\ N \end{bmatrix} \sim 10^{23}$  и делает невозможным определение схем прямым перебором.

# «Модульное» распознавание внешнего воздействия

addresses of modules

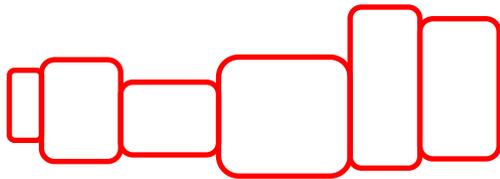


'imprint'



$(x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6)$

'modular  
scheme'



«Цвета» модулей: изначальные признаки внешнего воздействия, кодирующие его в схеме.

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

*Лао Шэ, «Записки о кошачьем городе»*



# Замена блоков в схеме образа: рождение новой информации

«Придумывание нового»: подбор комбинации модулей, которая аппроксимирует данный «отпечаток» лучше всех комбинаций, хранящихся в памяти.

Invention: a combination of modules fitting to 'imprint' better than any other combination from memory.

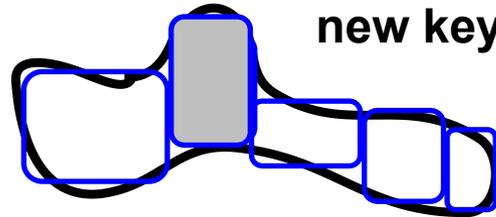
ключ:

адреса блоков в схеме образа  
(накопленная информация):

$(y_1 y_2 y_3 y_4 y_5)$

новый блок, изменивший схему  
новый ключ:

новая информация  
**new information**



Алгоритм творческой деятельности

- (1) поиск наилучшей схемы образа 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

# Модульный распределенный интеллект (РИ)

. 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
поиск модульной «схемы образа»	несогласованные 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

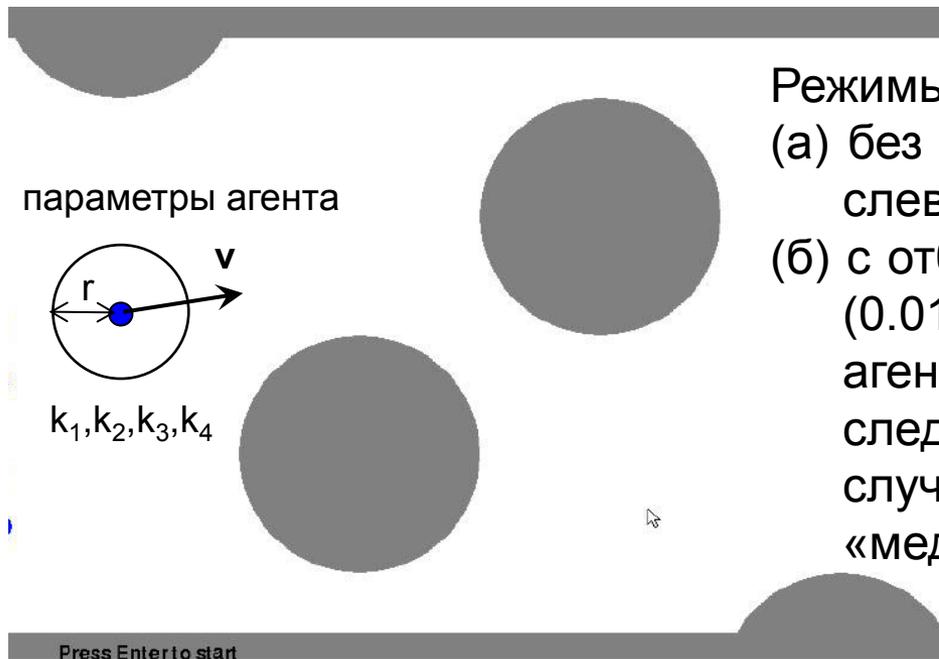
# «Сила» РИ и степени свободы агентов

По сравнению с сознанием человека, РИ организационных систем отличается меньшим числом узлов и их способностью 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»).

# Модель: коридор с препятствиями



## Режимы

- (а) без отбора, «случайный» вход слева, постоянные  $0 < k_i < 0.05$
- (б) с отбором: на первом прогоне,  $(0.01, 0, 0, 0)$ ; «быстрые» 50% агентов дублируются на следующих прогонах со случайными вариациями  $\{k_i\}$ , «медленные» 50% исчезают

$v \leq v_{\max}$  – скорость движения агента *agent's velocity*

$r$  – радиус обзора *radius of perception area*

$k_1$  – ускорение вправо (доля  $v_{\max}$  на 1 шаге) *acceleration to right*

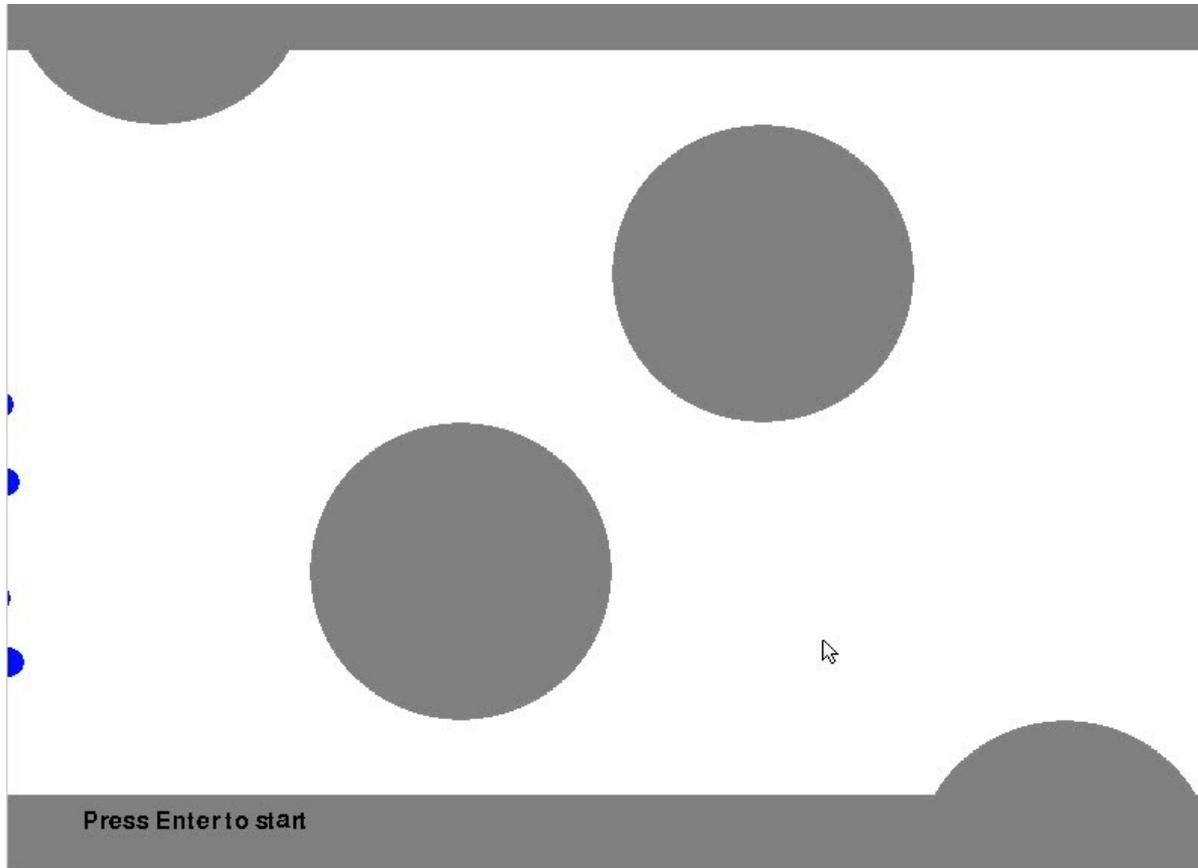
$k_2$  – отталкивание от препятствий *repulsion from walls & obstacles*

$k_3$  – коррекция скорости по агентам в радиусе видимости *correction of velocity*

$k_4$  – следование «вдогонку» за соседями *following neighboring agents*

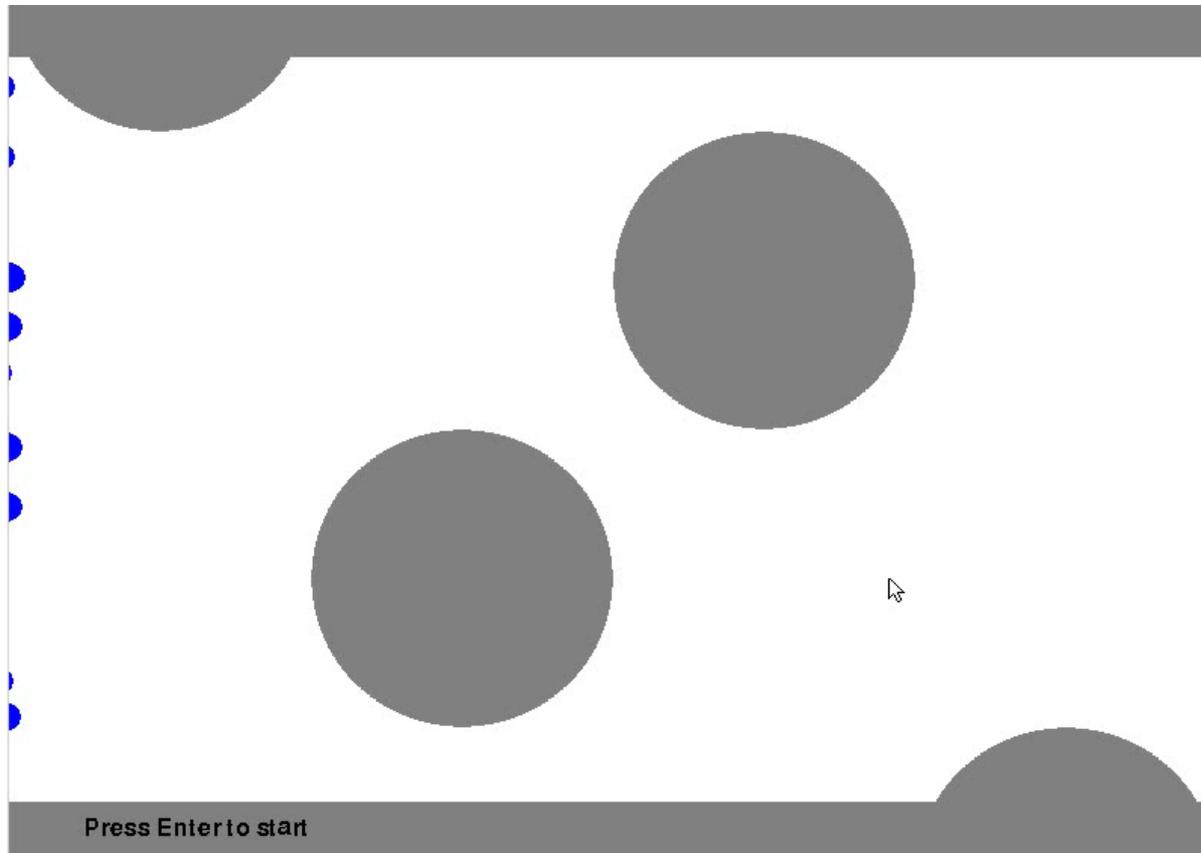
**Мера РИ – время, за которое все агенты прошли коридор**

- Before evolution



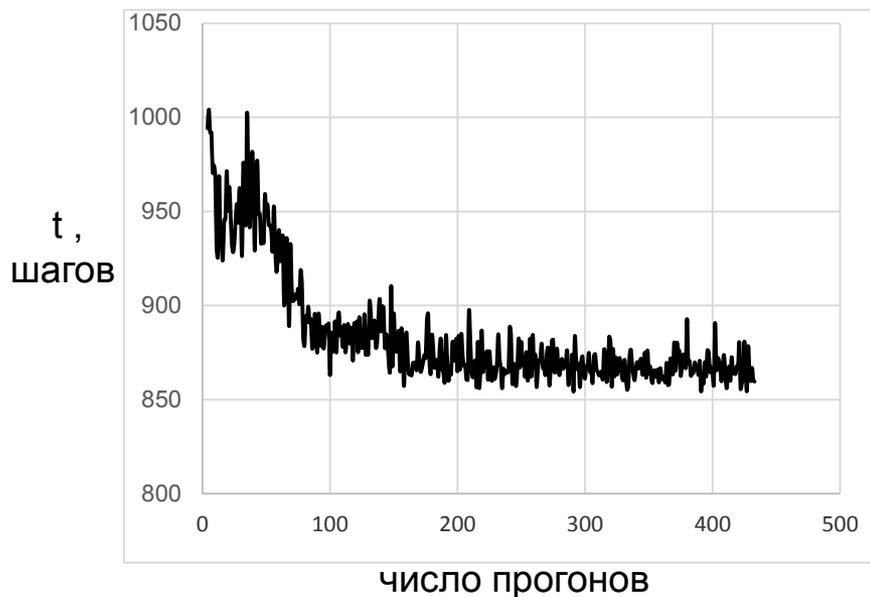
До эволюции: коэффициенты (0.01,0.0,0.0,0.0),  
среднее время прохода  $t=1044$  шага

- After evolution



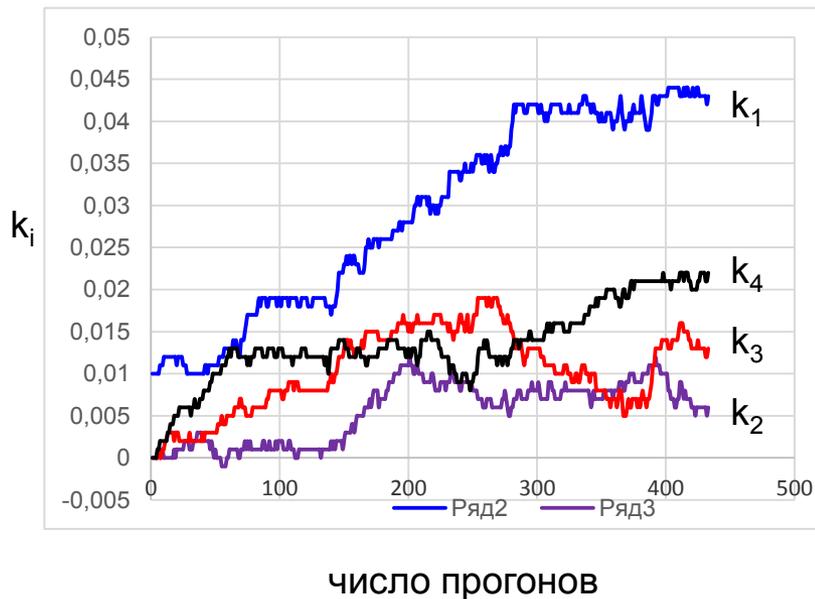
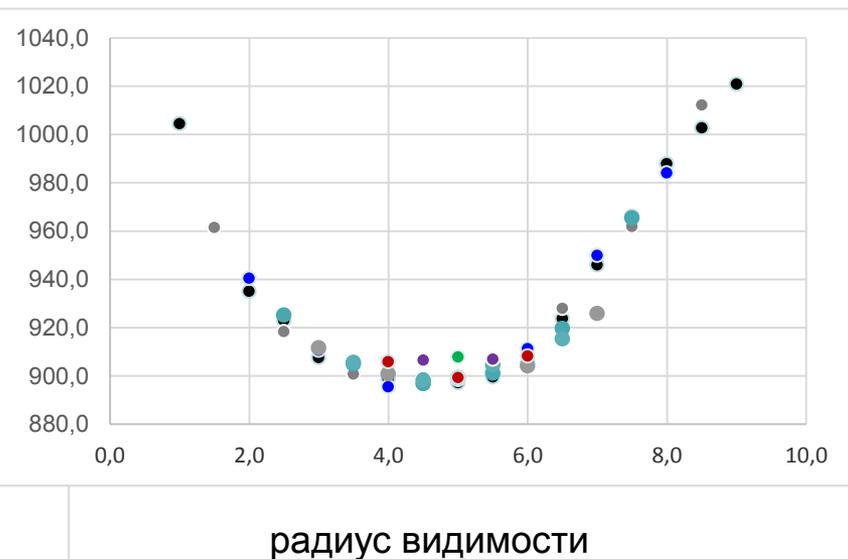
- После эволюции: коэффициенты  $(0.023, 0.030, 0.006, -0.006)$ ,  
среднее время прохода  $t=869$  шагов

# Зависимость уровня РИ от параметров модели



Варьирование радиуса видимости, (0.01, 0.01, 0.01, 0.01) фиксированы

$t$ , шагов



**Предположение:** уровень РИ определяется графом взаимодействий в системе «агенты+среда»?

# Модульный искусственный интеллект

«Модульный» подход, вероятно, применим для конструирования искусственного интеллекта (ИИ) в вычислительной компьютерной среде. Следует отметить и потенциальную опасность этого подхода: размеры «схемы образа» ИИ, объем библиотек, число варьируемых блоков и скорость перебора будут много выше любых человеческих возможностей.

## Conclusions

A basic property of multi-agent social system is distributed intelligence. It has to be directly taken into account in dynamical modeling.

Cognitive capabilities of individuals may be described with modular model of intelligence. The model mirrors both perception (as a comparison of 'imprinted' external action with a schematic 'image' built of several modules that reflect different properties of action) and creation of a new information (as a replacement of a 'bad' module in a scheme *via* restricted random substitution).

The modular model of intelligence may be extended to distributed intelligence of social systems and, possibly, to artificial intelligence. Further analysis of prospective applications is required.

## Acknowledgement

Y.L.S. is grateful to Dr. habil. Maria V. Falikman (National Research University Higher School of Economics) for profound references to literature in cognitive sciences and stimulating discussion.

Спасибо за внимание!