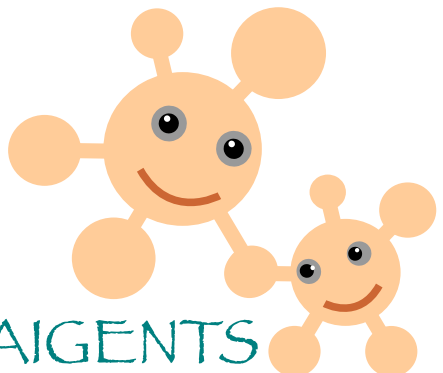
Сделаем экспериментально-опытное обучение интерпретируемым пожизненно!

(Make experiential life-long learning interpretable!)

Антон Колонин
akolonin@aigents.com
Telegram: akolonin

Novosibirsk State University
*THE REAL SCIENCE
https://www.nsu.ru



https://aigents.com

https://agirussia.org

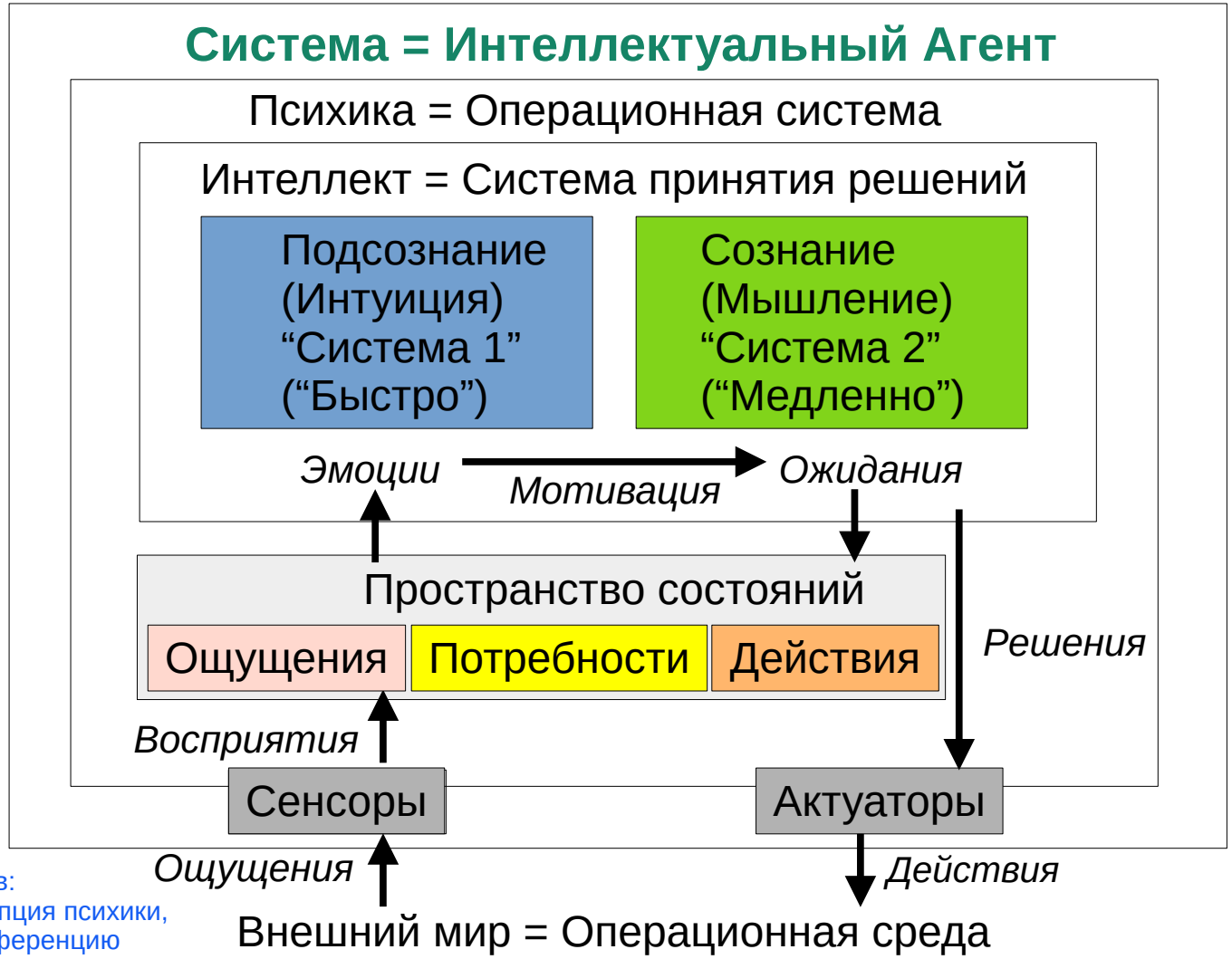
Есть ли у нас проблемы?

Медленно обучаемся?
=> slow learning

Не можем объяснить свои решения?
=> uninterpretable models

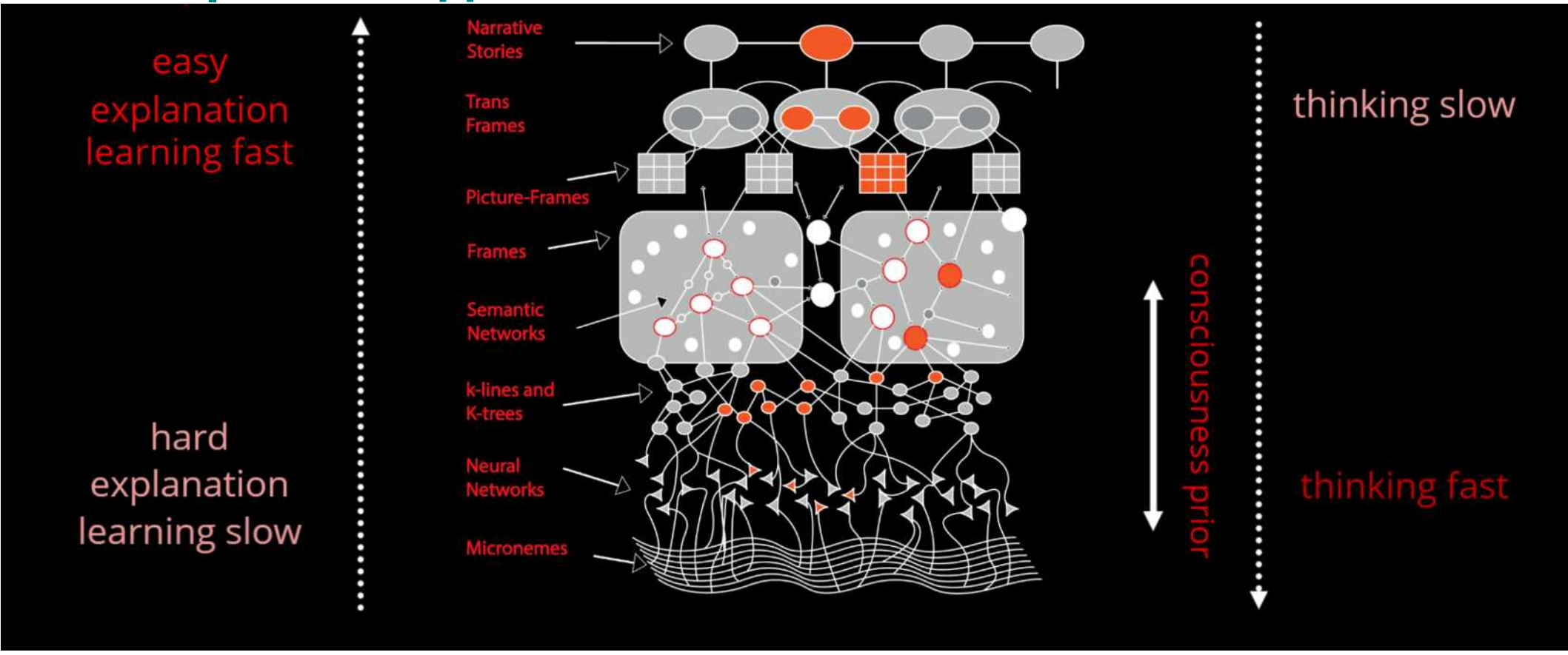
Забываем важное?
=> catastrophic forgetting

Тратим много энергии?
=> expensive, resource-consuming training



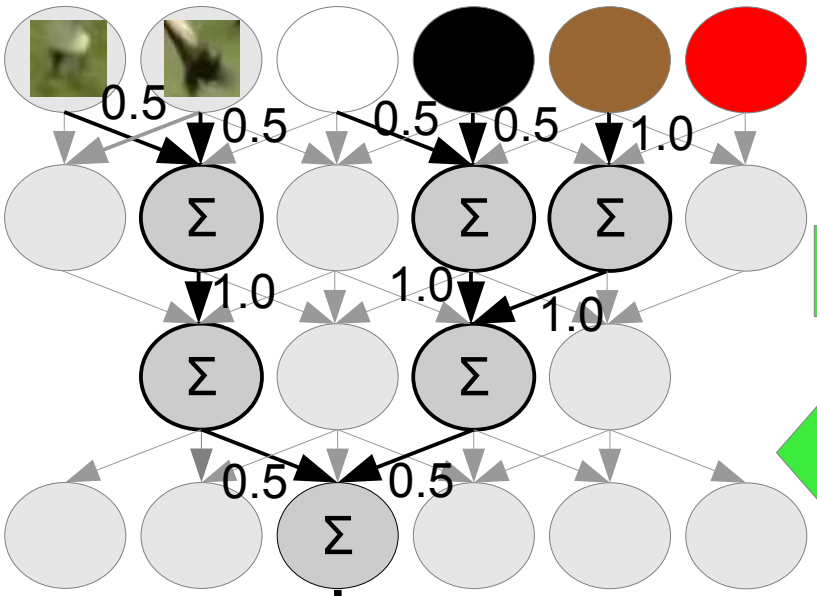
А.Г.Колонин, В.Г.Крюков:
Вычислительная концепция психики,
Статья принята на конференцию
Нейроинформатика-25

“Быстрое и медленное мышление” – Daniel Kahneman



https://www.linkedin.com/pulse/explainable-ai-vs-explaining-part-1-ahmad-haj-mosa/
Xing, F., Cambria, E., Welsch, R. (2019). Theoretical Underpinnings on Text Mining. In: Intelligent Asset Management. Socio-Affective Computing, vol 9. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30263-4_3
M. Minsky, The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind (Simon & Schuster Paperbacks, Princeton, 2007)

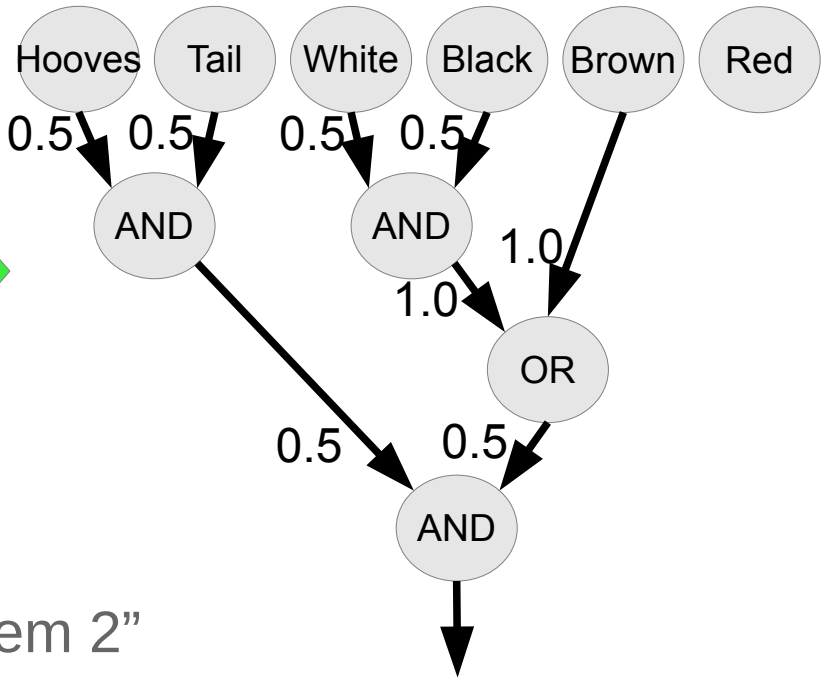
Нейро-символьная интеграция для интерпретируемого ИИ



Explain

Transfer

“System 1” “System 2”

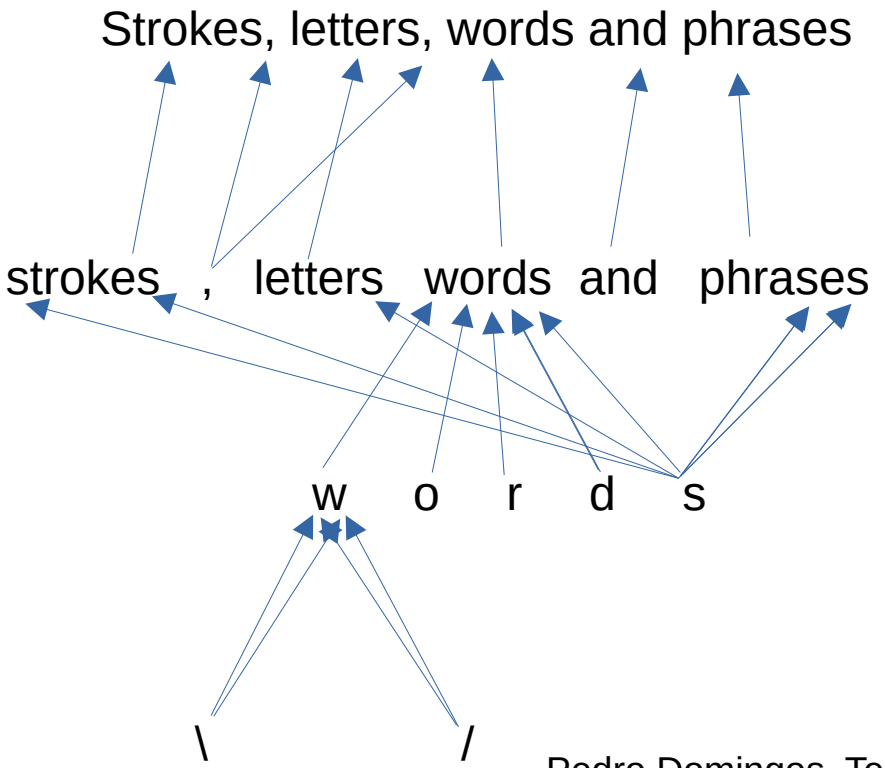


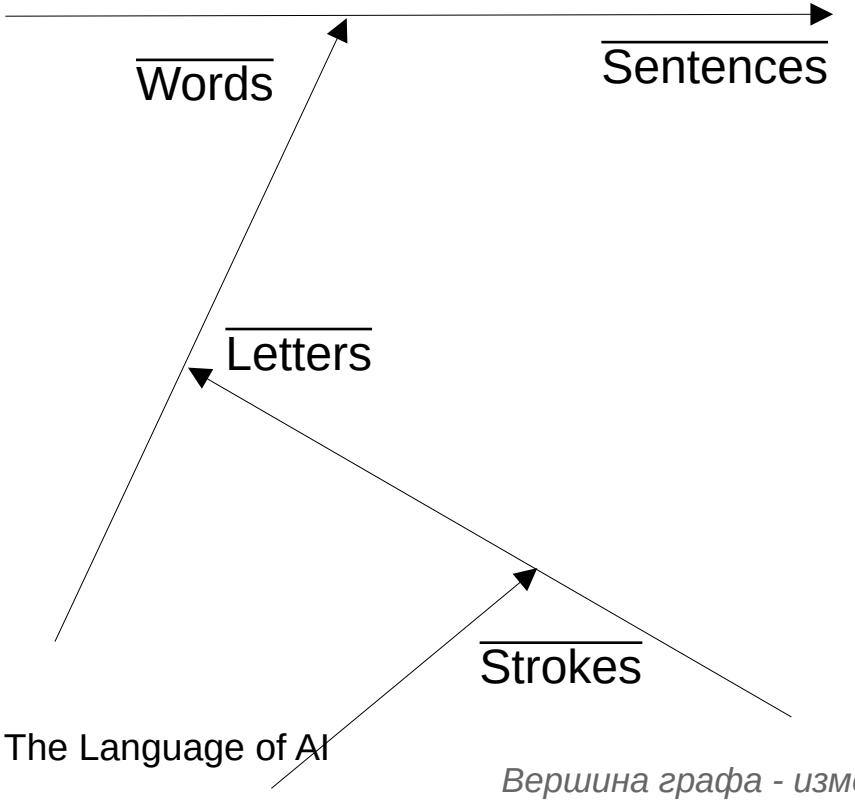
(Hooves AND Tail) AND NOT Red
((White and Black) OR Brown)

=> Horse

https://www.springerprofessional.de/neuro-symbolic-architecture-for-experiential-learning-in-discret/20008336

Функциональная эквивалентность графовых и ~~нейросетевых~~ тензорных моделей



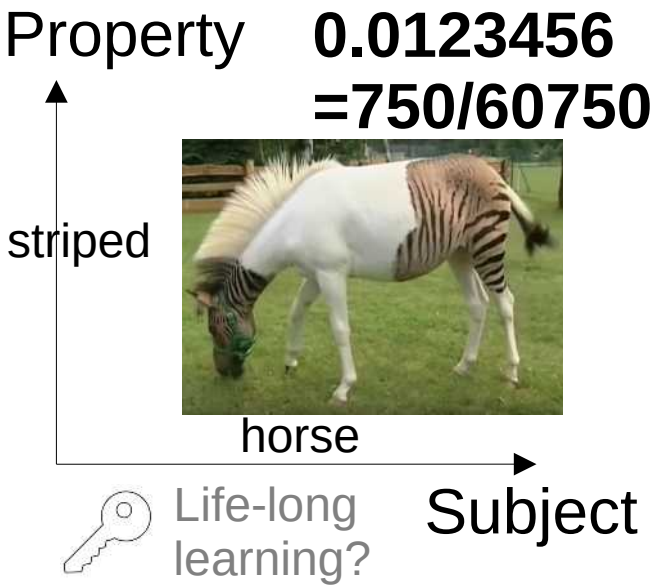


Pedro Domingos, Tensor Logic: The Language of AI
https://arxiv.org/pdf/2510.12269

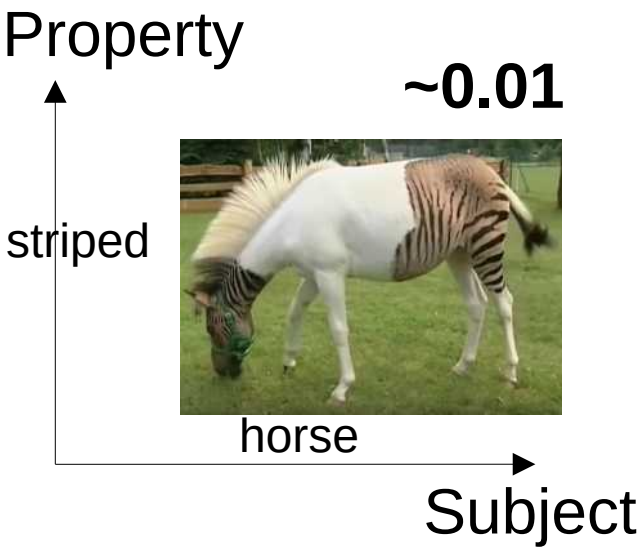
Вершина графа - измерение
Ребро графа - вектор
Гиперграф - тензор

Типизированная тензорная логика для различных систем ИИ (logical, sub-symbolic, probabilistic/non-axiomatic)

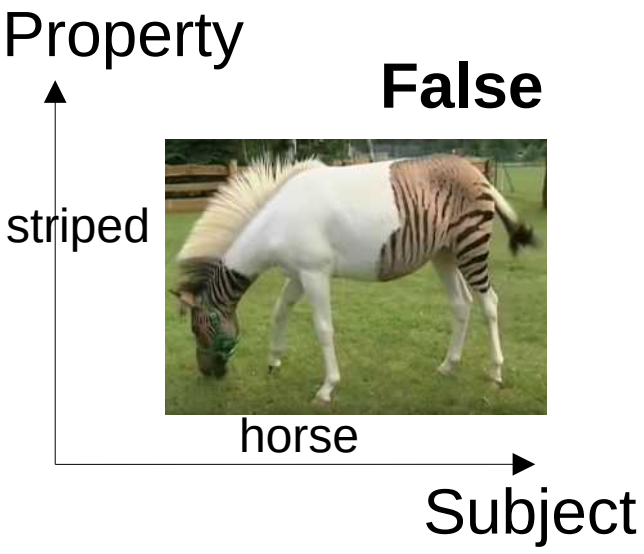
Truth-Value Tensor
(NARS/PLN/...)



Numerical Tensor
(ANN/Bayesian Logic)



Boolean Tensor
(Boolean Logic)



Pei Wang: Non-Axiomatic Logic
https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/14486

Pedro Domingos, Tensor Logic: The Language of AI
https://arxiv.org/pdf/2510.12269

Психика = Операционная система

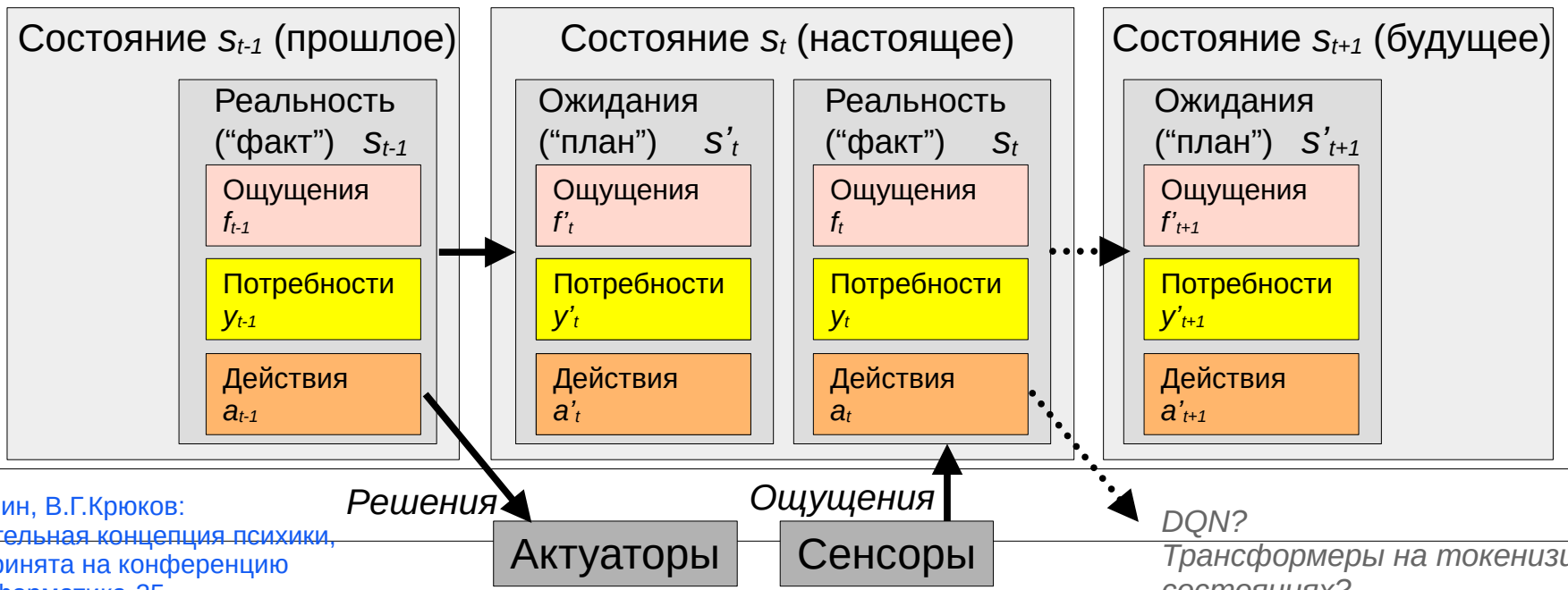
Интеллект = Система принятия решений

Модели *s* (“инварианты”) состояний, полезности *U* и вероятности *P* переходов

$U(\{s_\tau\}_{\tau\in\{-T,-1\}},s'_0) = L(\ x\cdot(y_t - y_{t+1}),\ s'_t\ - s_t,\ E(a_t))$ $\quad s'_t=argmax_s(U(\{s_\tau\}_{\tau\in\{t-T,t-1\}},s'_t),P(\{s_\tau\}_{\tau\in\{t-T,t-1\}},s'_t))$

Обучение на опыте *Принятие решений*

Пространство состояний и эпизодическая память (“прецеденты”)



Решения *Ощущения*

Актуаторы Сенсоры

DQN?
Трансформеры на токенизированных состояниях?
“Глобальное подкрепление”!

А.П.Колонин, В.Г.Крюков:
Вычислительная концепция психики,
Статья принята на конференцию
Нейроинформатика-25

Психика = Операционная система

Энергоэффективность *a*

Предсказумость *s*

Удовлетворенность *y*

Оптимальное решение и ожидание *s*

Ожидаемая полезность *s*

Ожидаемая вероятность *s*

Интеллект = Система принятия решений

Модели *s* (“инварианты”) состояний, полезности *U* и вероятности *P* переходов

$U(\{s_\tau\}_{\tau\in\{-T,-1\}}, s'_0) = L(x\cdot(y_t - y_{t+1}),\ s'_t - s_t,\ E(a_t))$

$s'_t = argmax_s(U(\{s_\tau\}_{\tau\in\{t-T,t-1\}}, s'_t), P(\{s_\tau\}_{\tau\in\{t-T,t-1\}}, s'_t))$

Обучение на опыте ↑ ↓ *Принятие решений*

Пространство состояний и эпизодическая память (“прецеденты”)

Состояние s_{t-1} (прошлое)	Состояние s_t (настоящее)		Состояние s_{t+1} (будущее)
Реальность (“факт”) s_{t-1}	Ожидания (“план”) s'_t	Реальность (“факт”) s_t	Ожидания (“план”) s'_{t+1}
Ощущения f_{t-1}	Ощущения f'_t	Ощущения f_t	Ощущения f'_{t+1}
Потребности y_{t-1}	Потребности y'_t	Потребности y_t	Потребности y'_{t+1}
Действия a_{t-1}	Действия a'_t	Действия a_t	Действия a'_{t+1}

Решения → Актуаторы

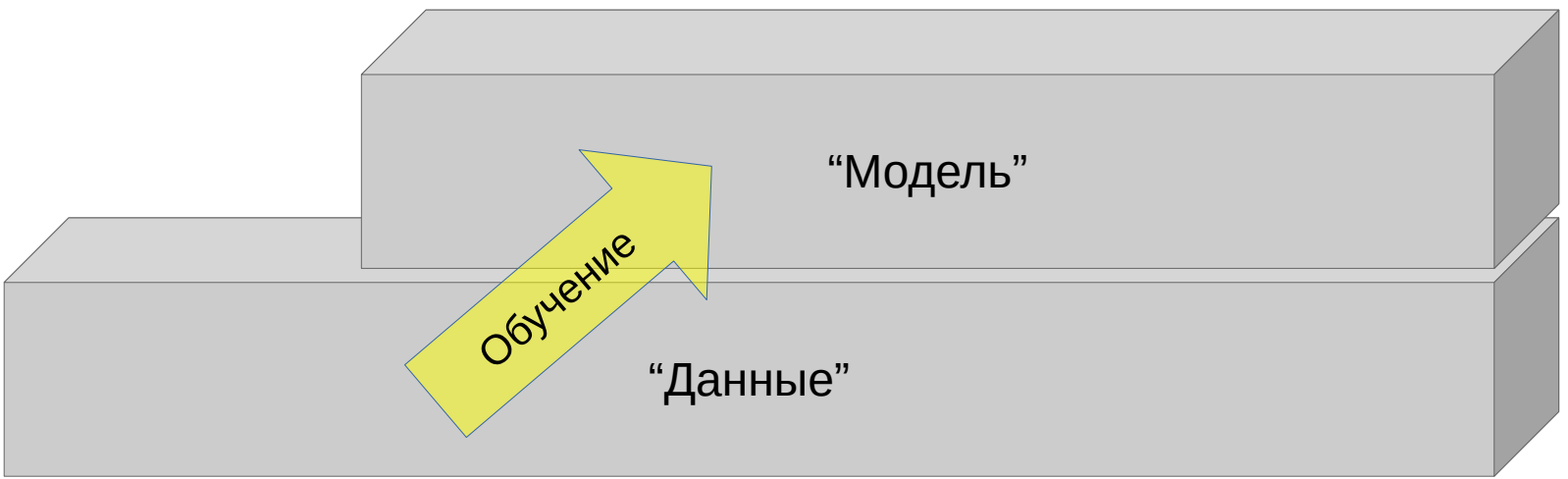
Сенсоры → *Ощущения*

$x\cdot y_t$ – *“мотивационный вектор”*

V. F. Petrenko and A. P. Suprun, “Goal oriented systems, evolution, and the subjective aspect in systemology,” Tr. Inst. Sistem. Analiza RAN 62 (1) (2012)

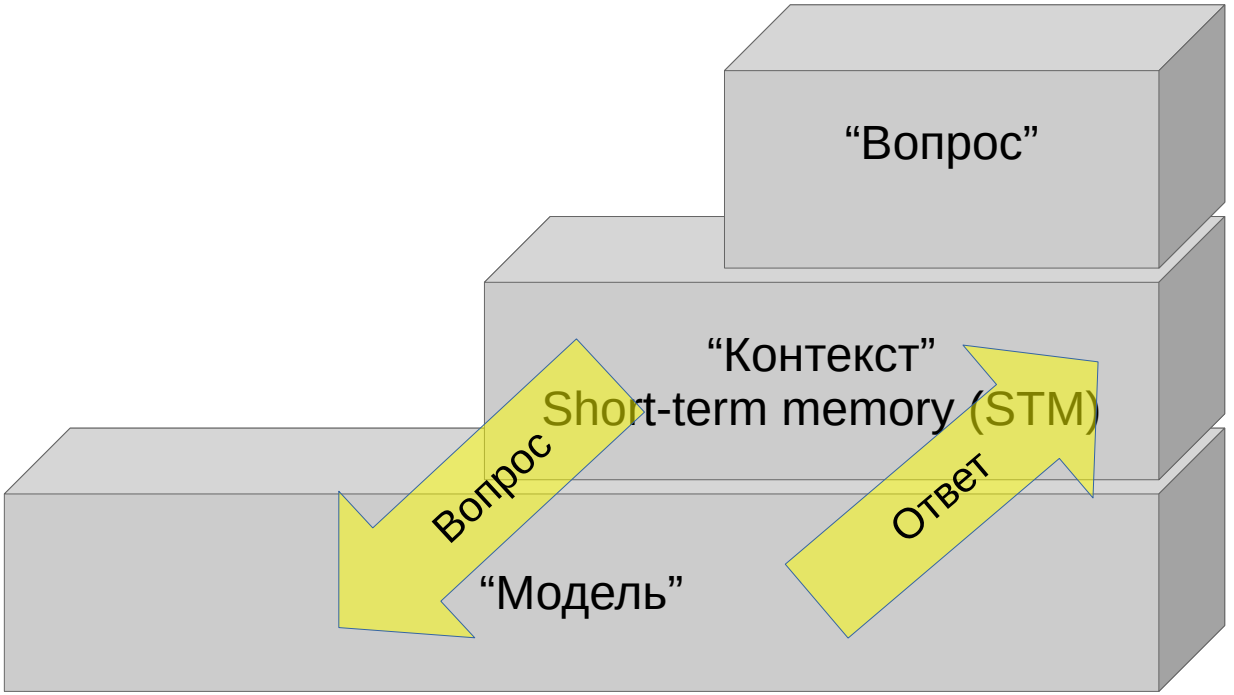
Кластеризация состояний?
Асинхронная их обработка?

Обучение модели (БЯМ) - Training/Learning



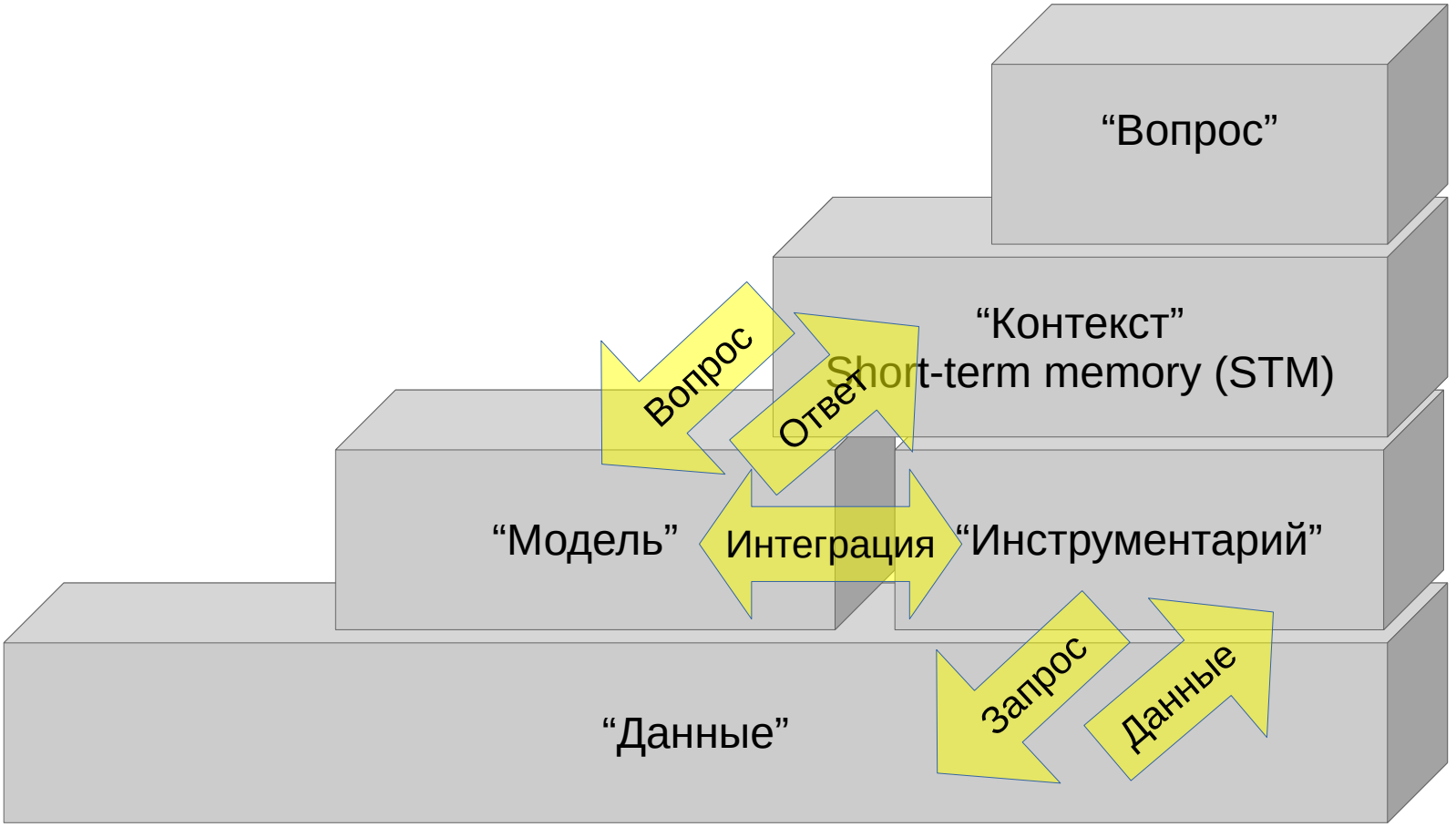
Модель замораживается после обучения

Использование модели (БЯМ) - Inference



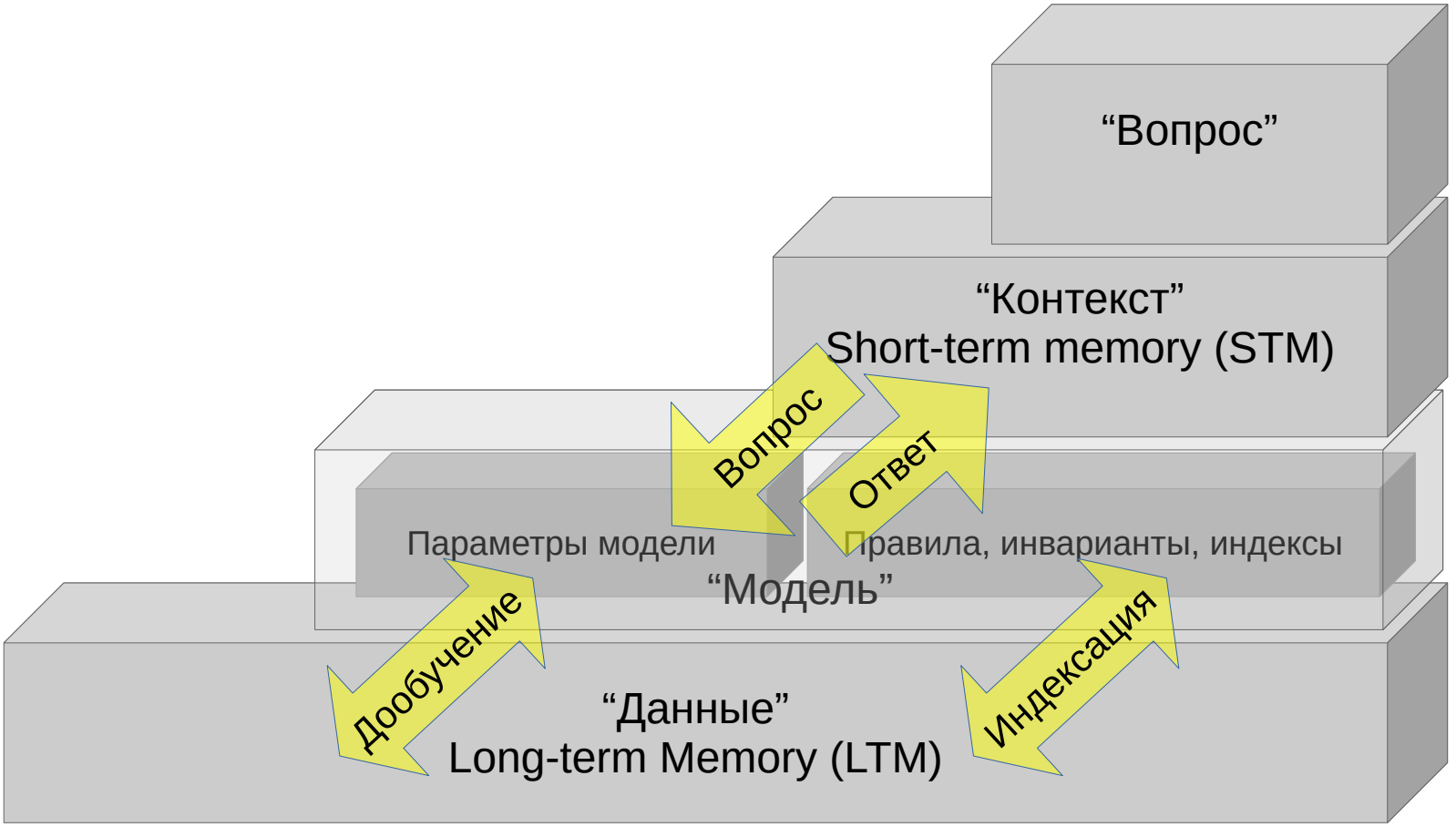
Данные не участвуют в выводе
Новые данные и контексты требуют переобучения на старых и новых
На это все может не хватить параметров конкретной модели

Много-агентные модели (БЯМ+RAG/GraphRAG)



Данные могут подкачиваться в контекст и обновляться с его учетом
Модель все равно требует переобучения с учетом новых данных

Гибридная архитектура с долгосрочной памятью

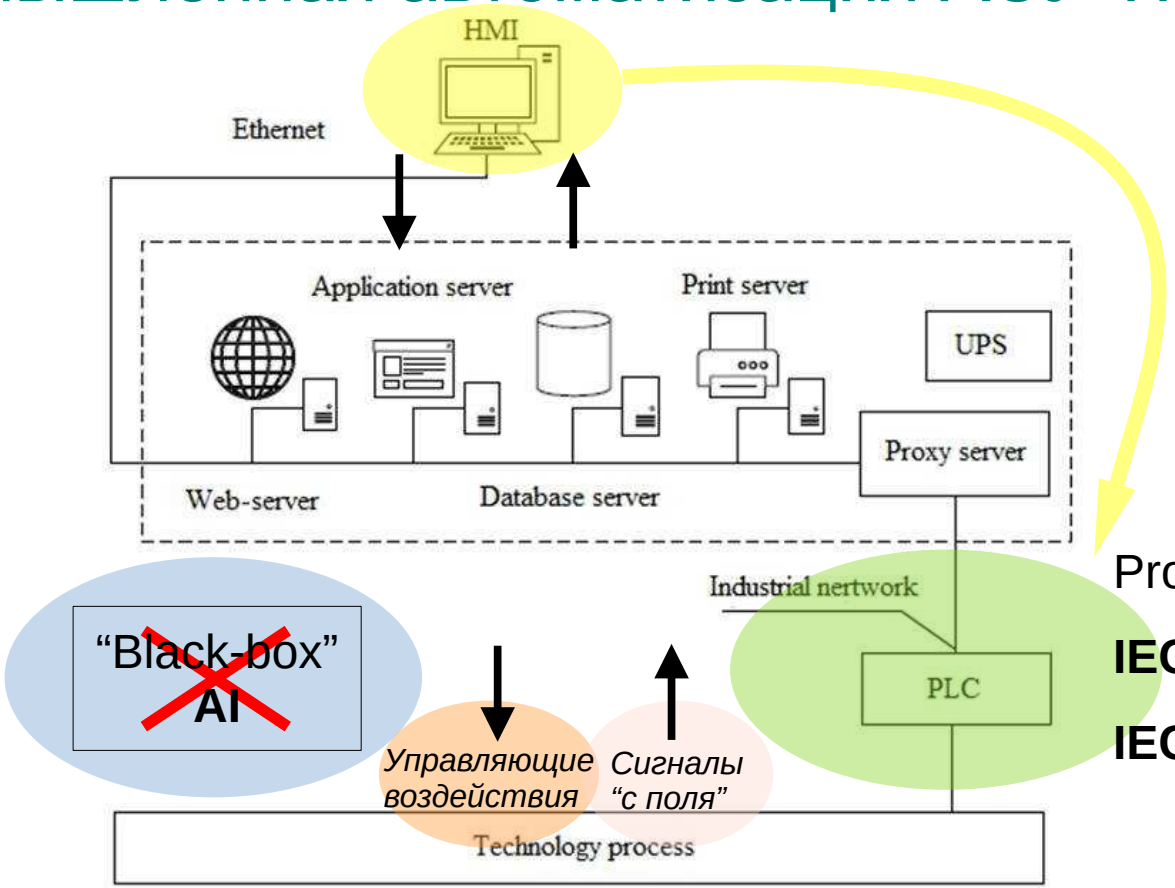


Возможно инкрементальное “дообучение” на динамически пополняющихся данных
Динамически обновляющиеся данные могут инкреметально обновлять соотвествующие “инварианты”

Применение – Use case:
A) Промышленная автоматизация АСУ ТП - APCS

Верхний уровень

Нижний уровень



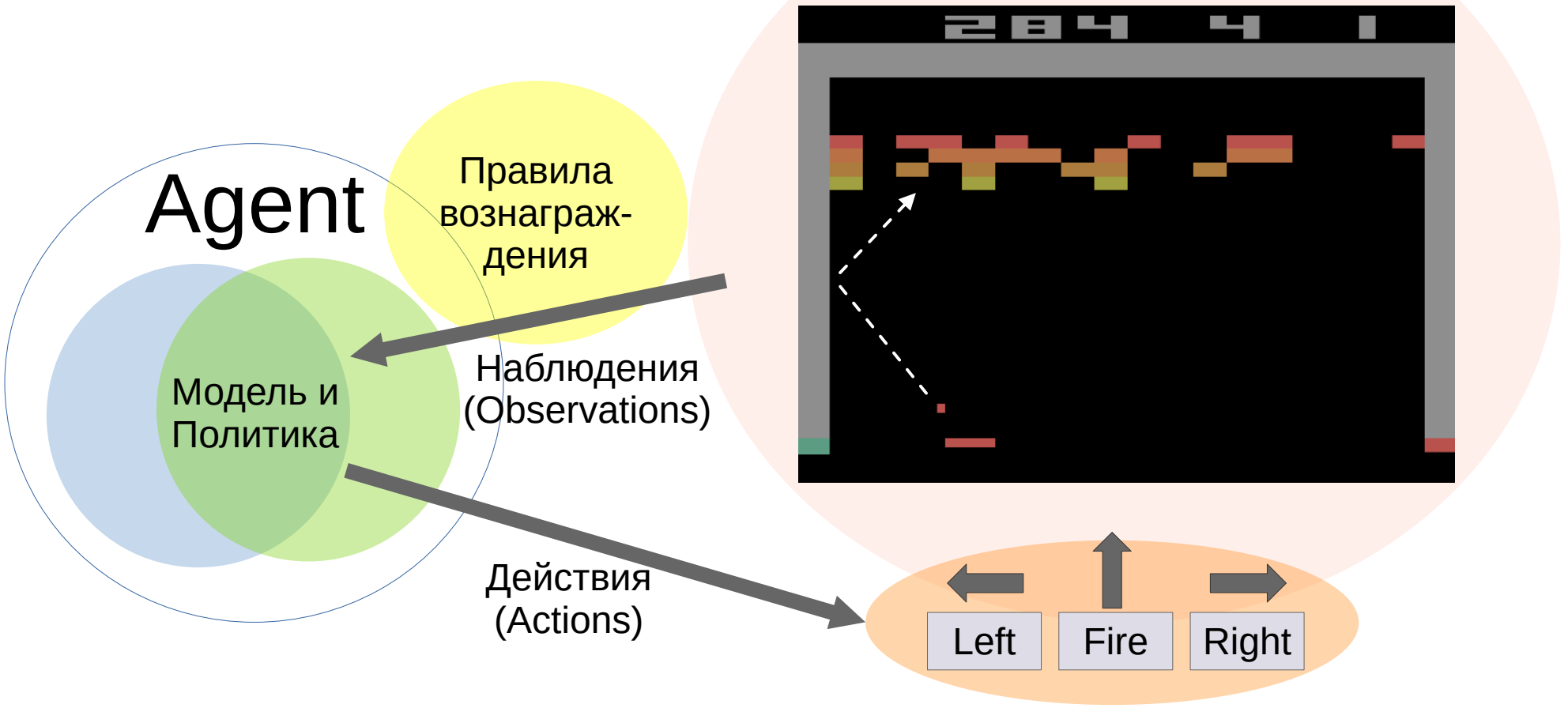
Programmable logic

IEC 61131 (synchronous)

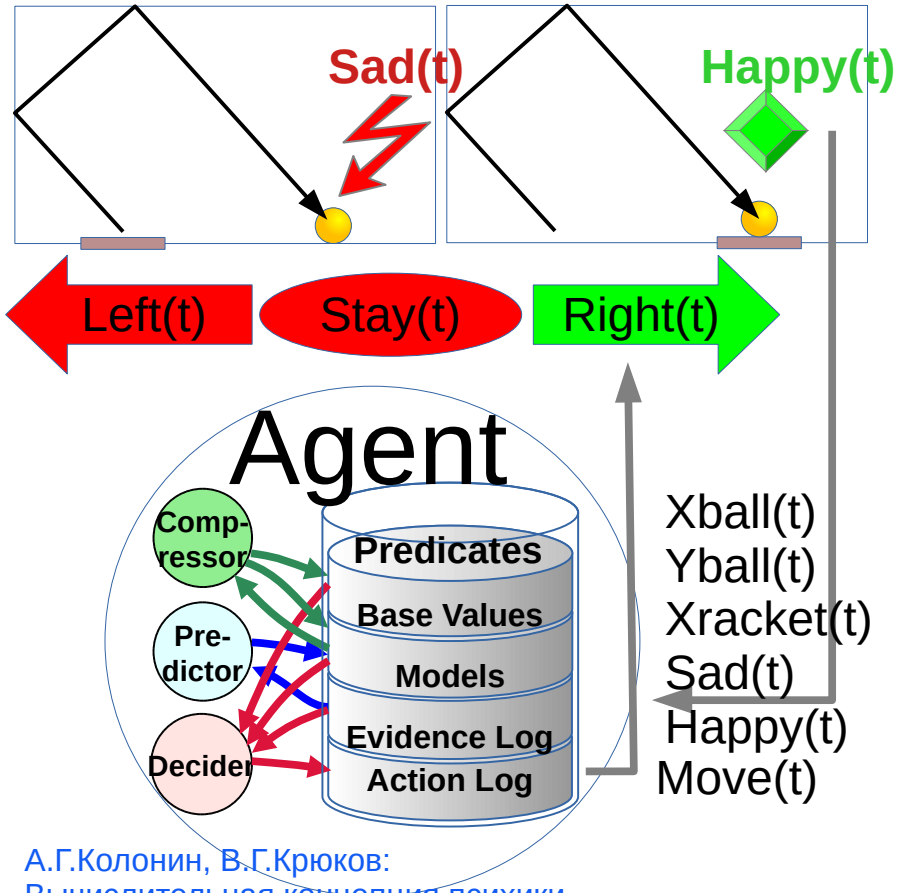
IEC 61499 (asynchronous)

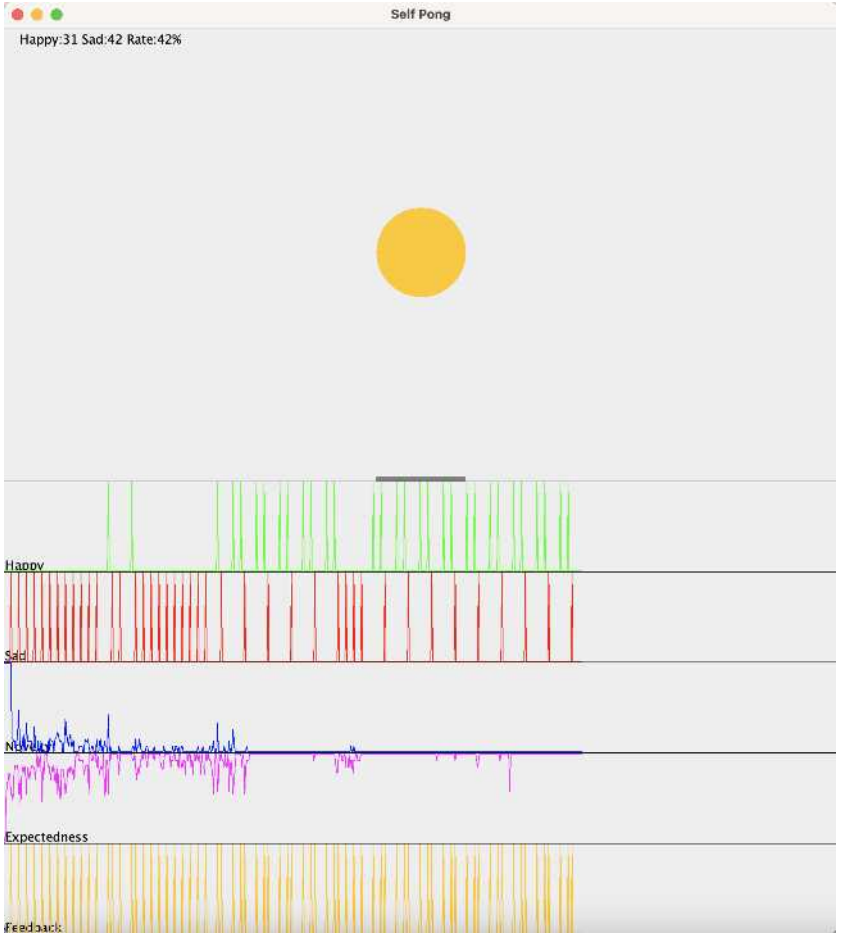
https://www.researchgate.net/publication/311662442_Adaptive_Intelligent_Manufacturing_Control_Systems

Применение – Use case:
B) Виртуальная игровая среда OpenAI Gym (Atari Breakout)



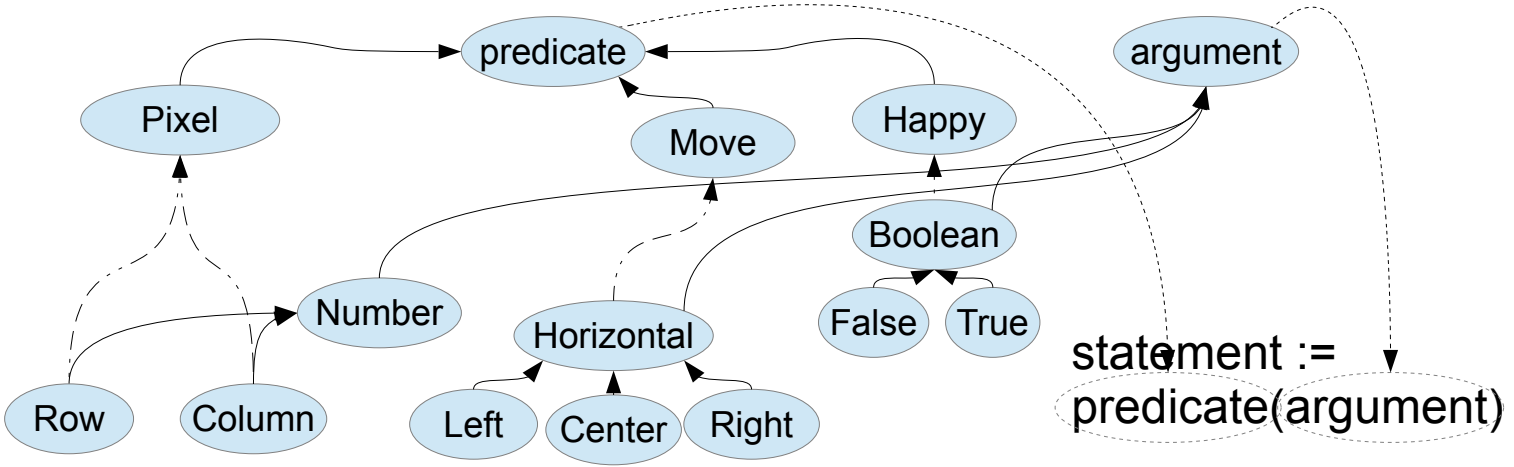
Когнитивная архитектура на графах последовательных состояний
State-based History-aware Artificial Reinforcement Intelligence Kernel (**Sharik**)

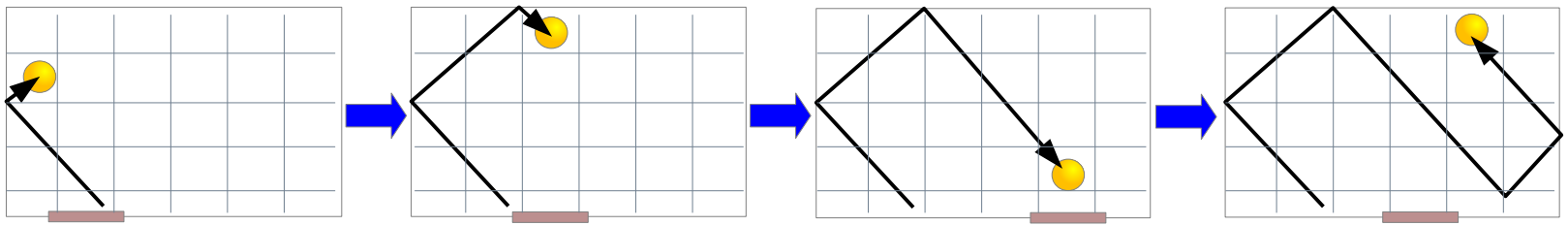




А.Г.Колонин, В.Г.Крюков:
Вычислительная концепция психики,
Статья подана на конференцию
Нейроинформатика-25

Играем в “1 player Ping-Pong” – уровень пикселей





Pixel(1,0)
Pixel(4,1)
Happy(False)
=>
Move(Left)

Pixel(0,2)
Pixel(4,2)
Happy(False)
=>
Move(Right)

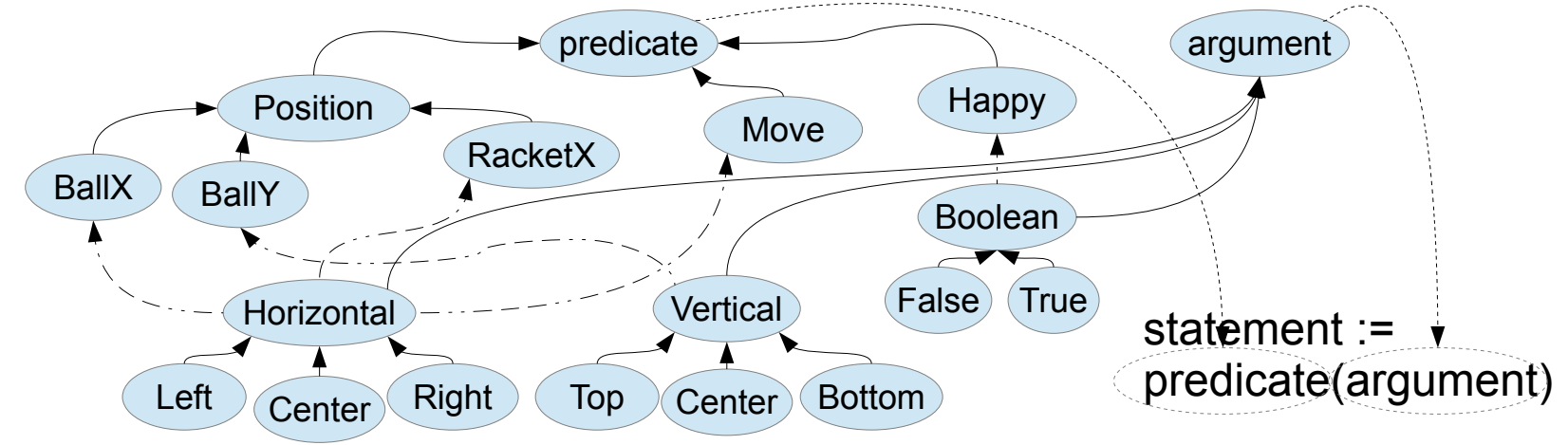
Pixel(3,4)
Pixel(4,4)
Happy(False)
=>
Move(Left)

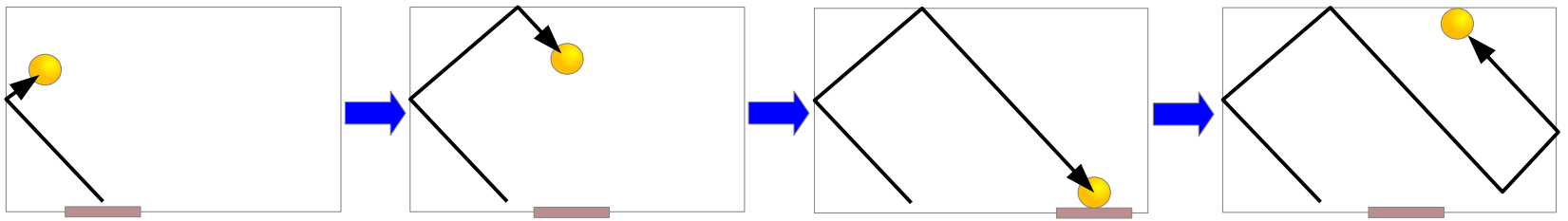
Pixel(0,4)
Pixel(4,3)
Happy(True)
=>
Move(Left)

Global Feedback

https://www.youtube.com/watch?v=2LPLhJKh95g

Играем в “1 player Ping-Pong” – уровень объектов





BallY(Top)
BallX(Left)
RacketX(Left)
Happy(False)
=> **Move(Left)**

BallY(Top)
BallX(Center)
RacketX(Center)
Happy(False)
=> **Move(Right)**

BallY(Bottom)
BallX(Right)
RacketX(Right)
Happy(False)
=> **Move(Right)**

BallY(Bottom)
BallX(Right)
RacketX(Right)
Happy(True)
=> **Move(Left)**

Global Feedback

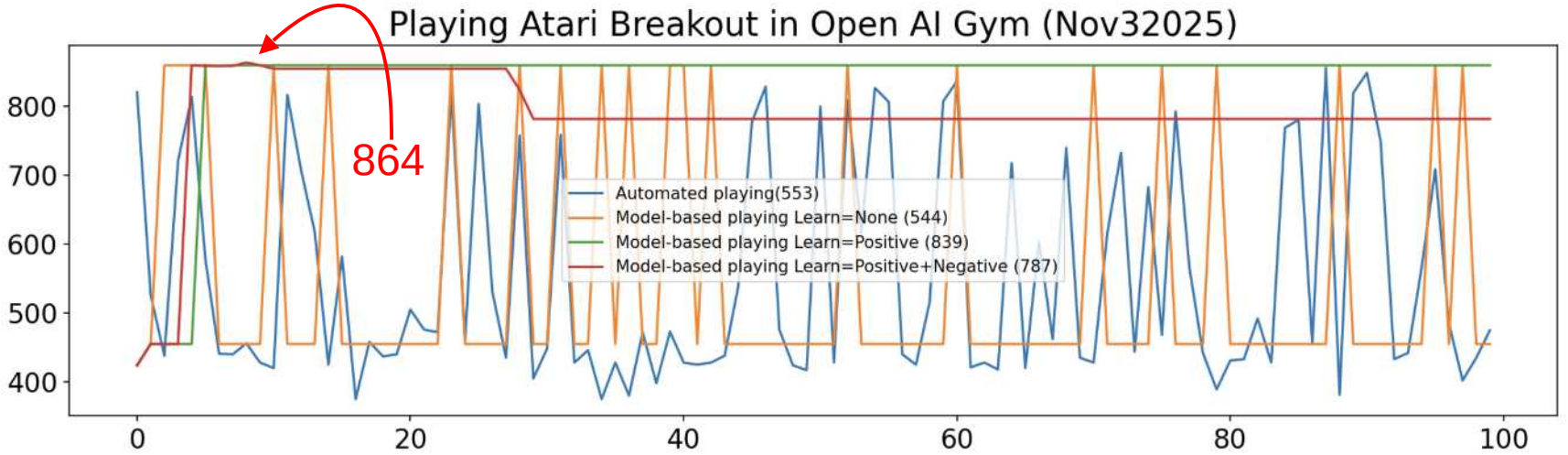
https://www.youtube.com/watch?v=2LPLhJKh95g

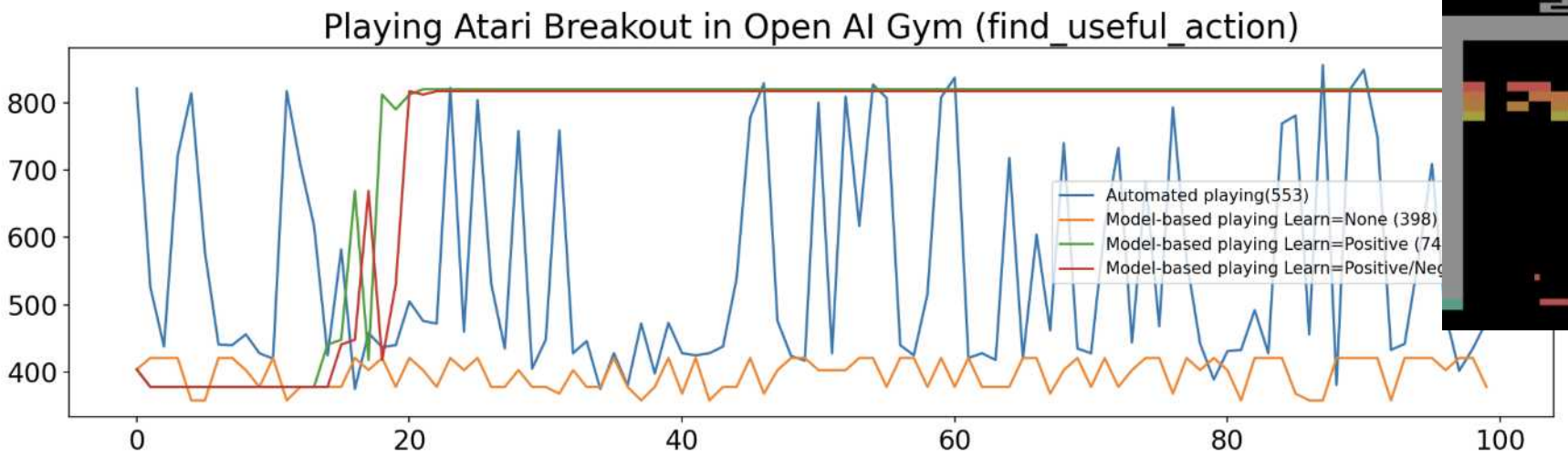
Проблемы (понижения) размерности и (повышения) дискретности

Re-defining environment in Atari Breakout

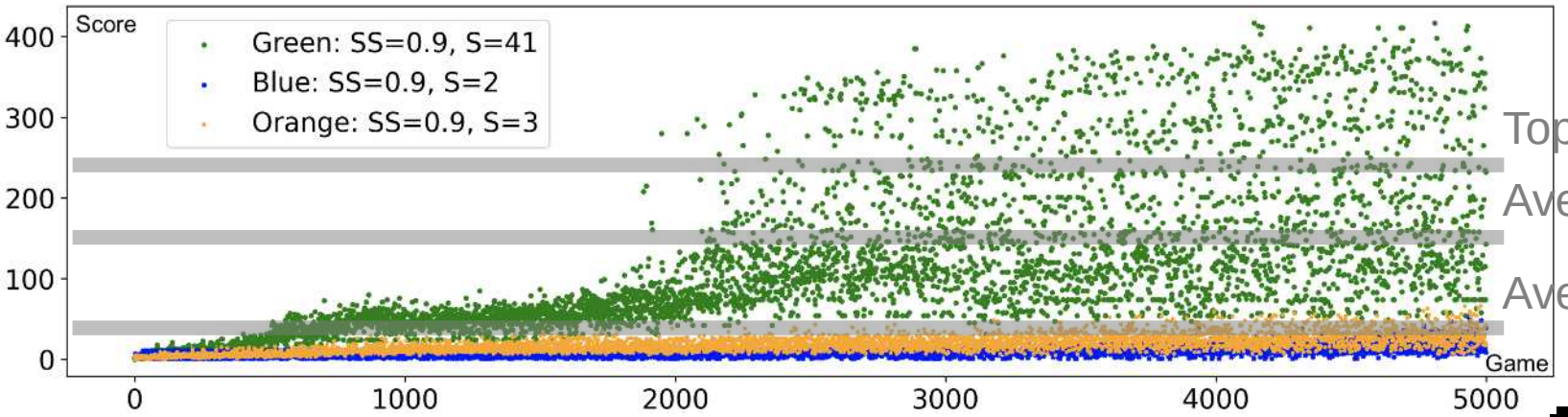
Interpretable representation learning for 3D multi-piece intracellular structures using point clouds
https://www.nature.com/articles/s41592-025-02729-9

“Imitation learning” – принятие решений на “пред-обученной” модели





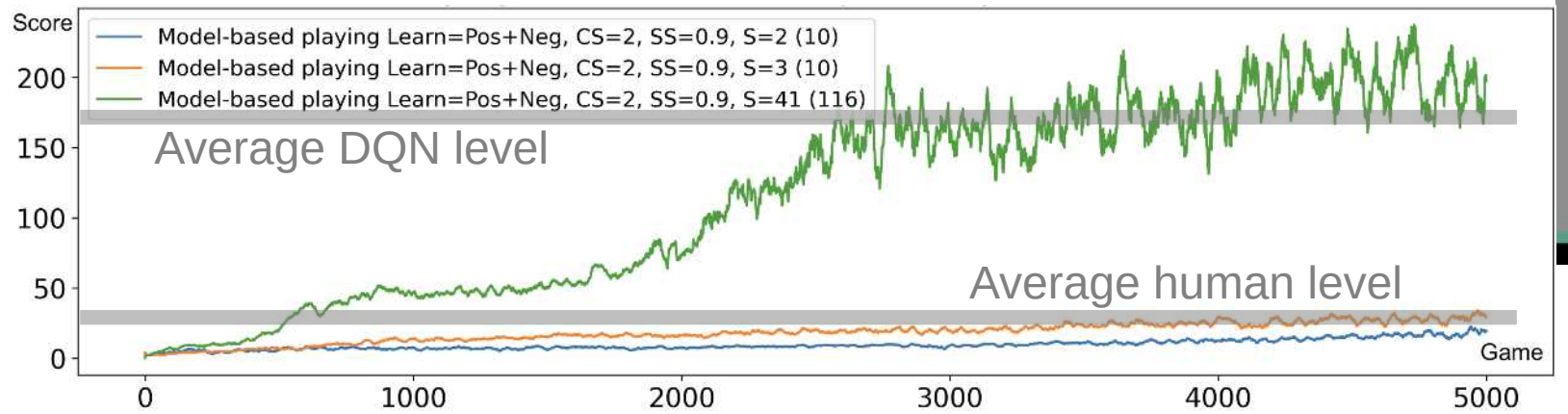
Обучение на собственном опыте – переходы между последовательностями



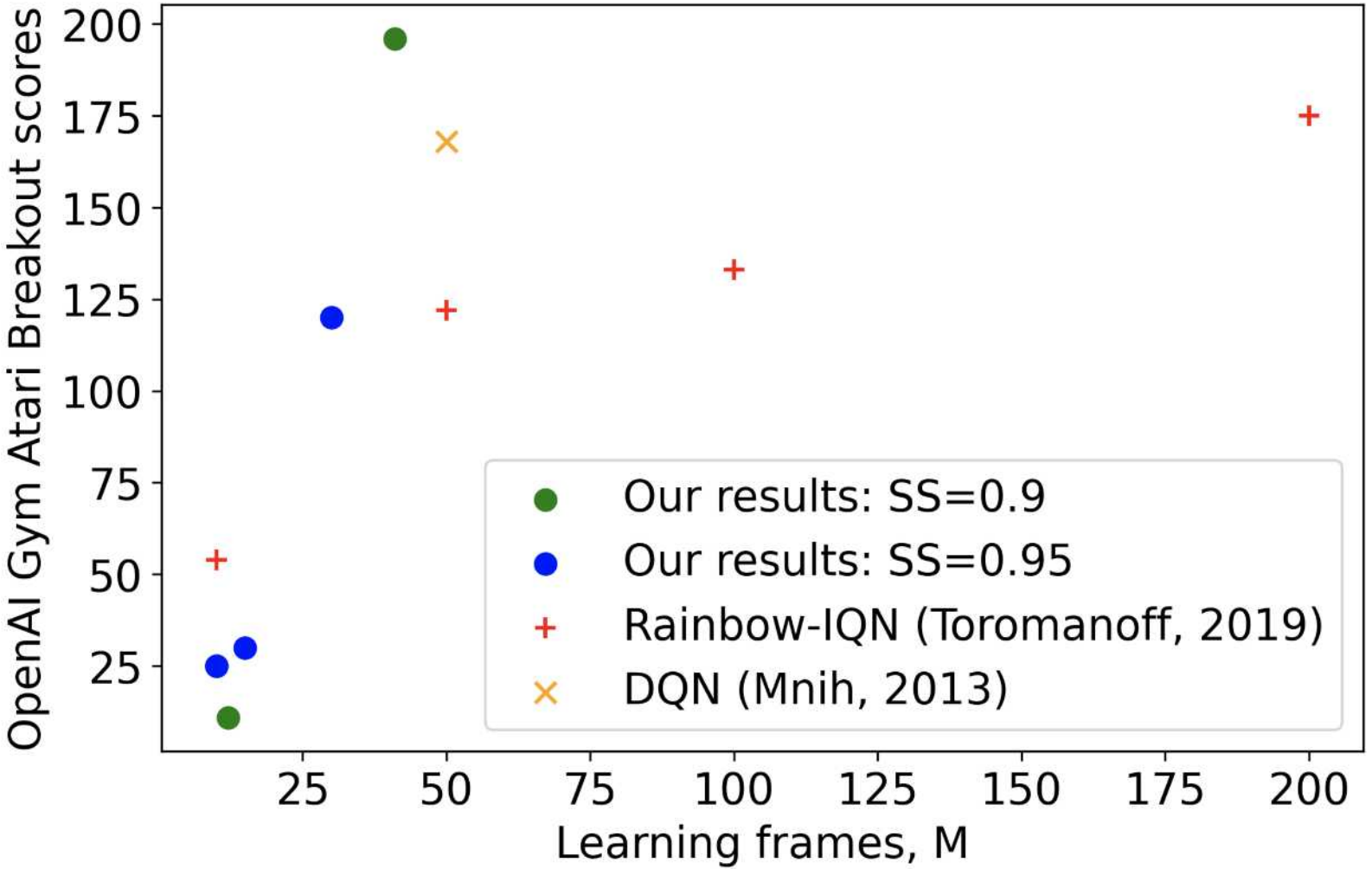
Top DQN level

Average DQN level

Average human level



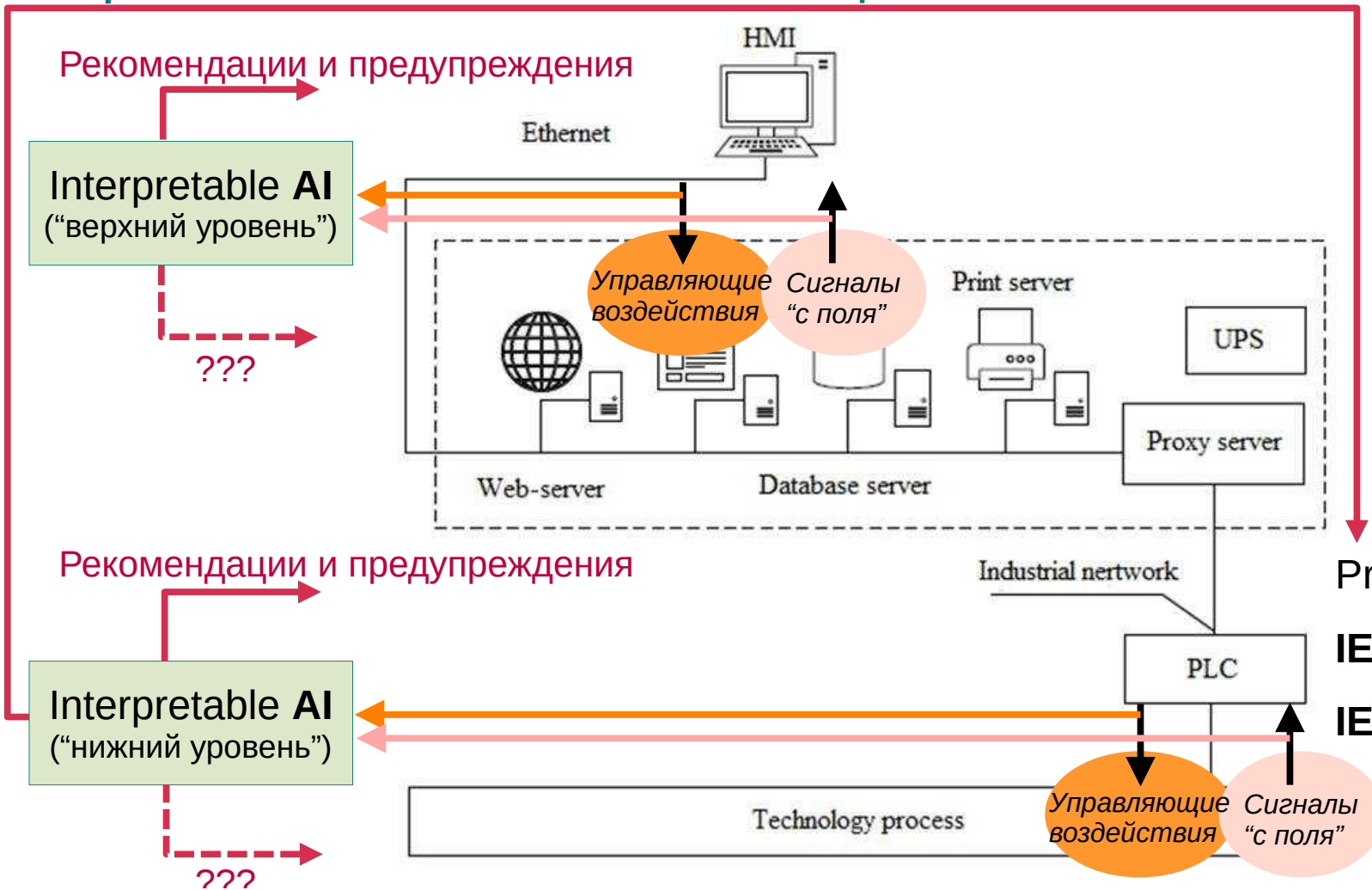
Обучение на собственном опыте – сравнение с “baselines”



Что дальше?

1. Стабилизация обучаемости!
2. Интерпретируемое понижение размерности!
3. Больше окружений – хороших и разных!
4. Кластеризация/сегментация пространства состояний и раздельное исполнение сегментов *(пинг-понг по-македонски)*?
5. Прикладное применение – промышленная автоматизация?
6. Подержка иерархий/гетерархий пространств состояний?*
7. Формализация перевода графов состояний в языки программной логики (“суперкомпиляция”)?**

Промышленная автоматизация – постановка эксперимента



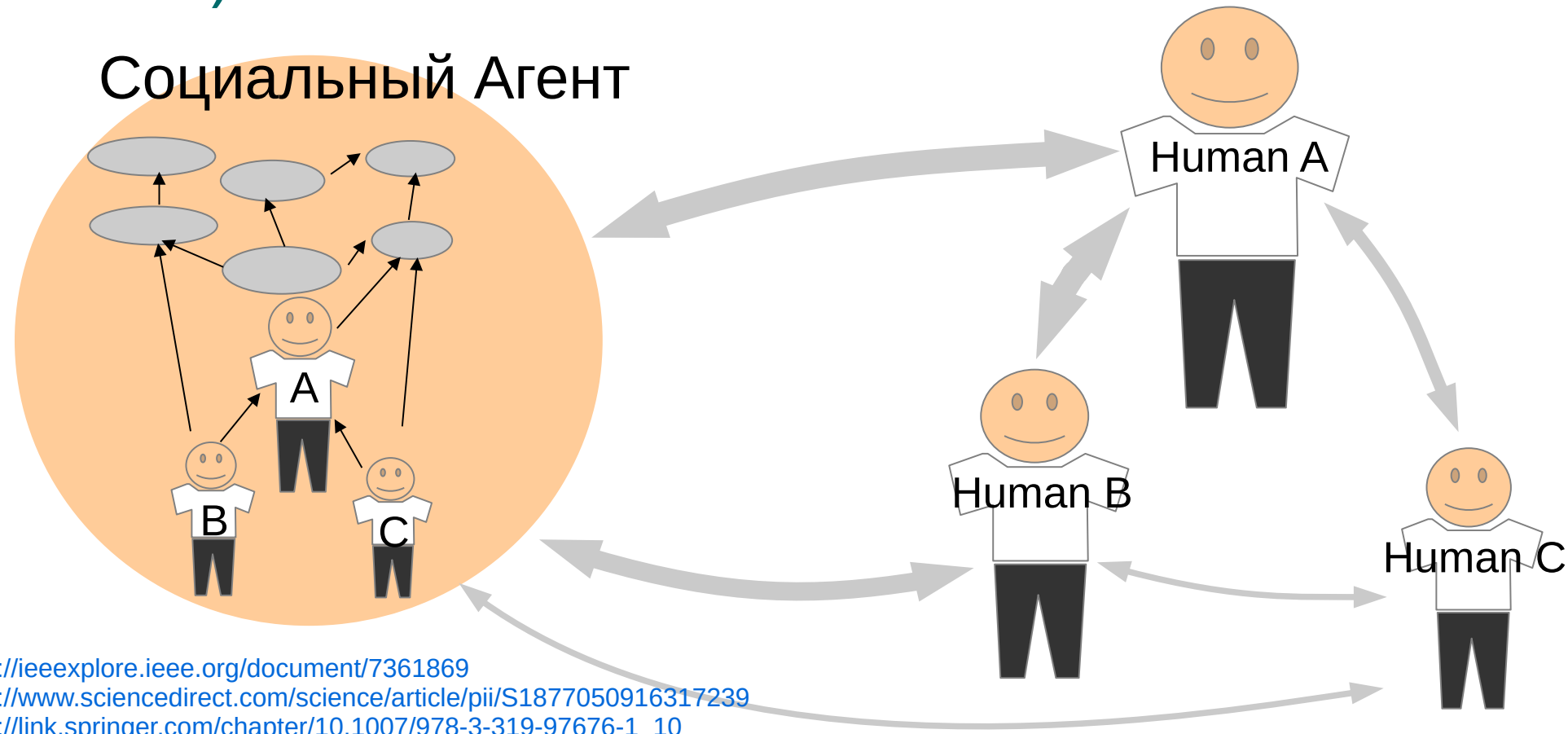
“Суперкомпиляция”
- настройка,
оптимизация
и доработка
программной логики на
основе выученных
(моделей) графов
переходов

Programmable logic

IEC 61131 (synchronous)

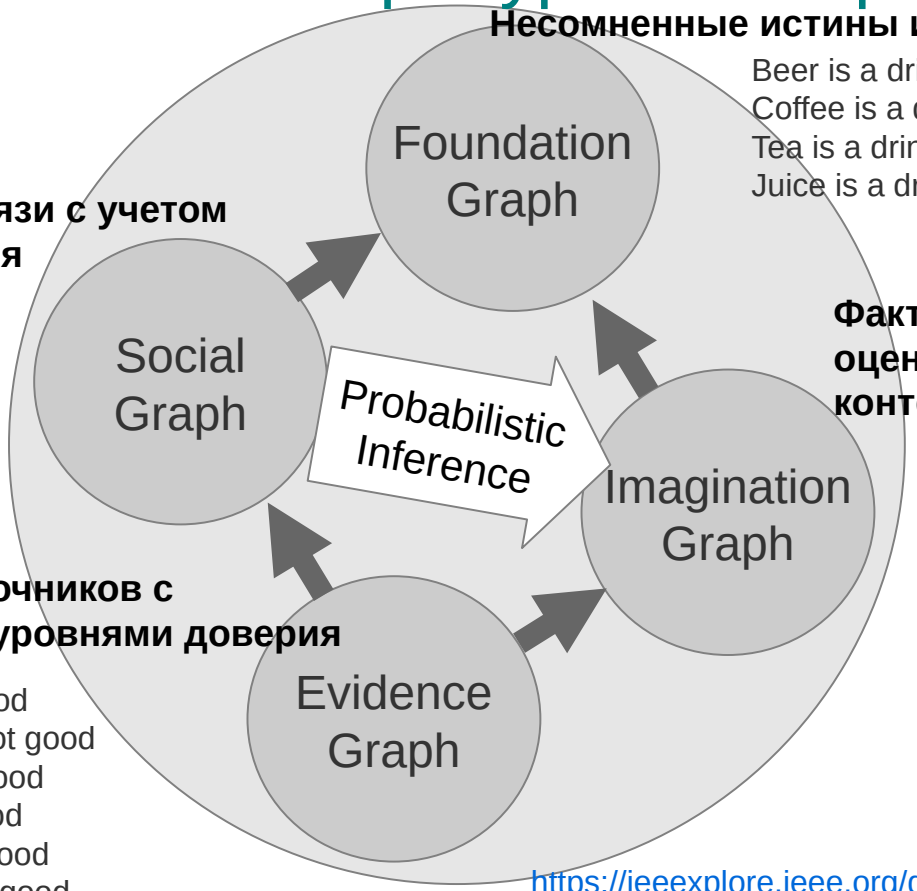
IEC 61499 (asynchronous)

Система поддержки принятия решений (СППР) на основе коллективного интеллекта



https://ieeexplore.ieee.org/document/7361869
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916317239
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97676-1_10

Когнитивно-поведенческая модель на основе социального доказательства и ресурсного ограничения



Несомненные истины и то, во что верим

Beer is a drink
Coffee is a drink
Tea is a drink
Juice is a drink

Социальные связи с учетом уровней доверия

Mary is my best friend
Peter is my friend
Bob is Peter's friend

Факты, взвешенные с учетом оценок доверия к источникам в контексте того, во что верим

★★★ I like juice very much
★★ I like tea
★ I may try coffee
I won't try beer

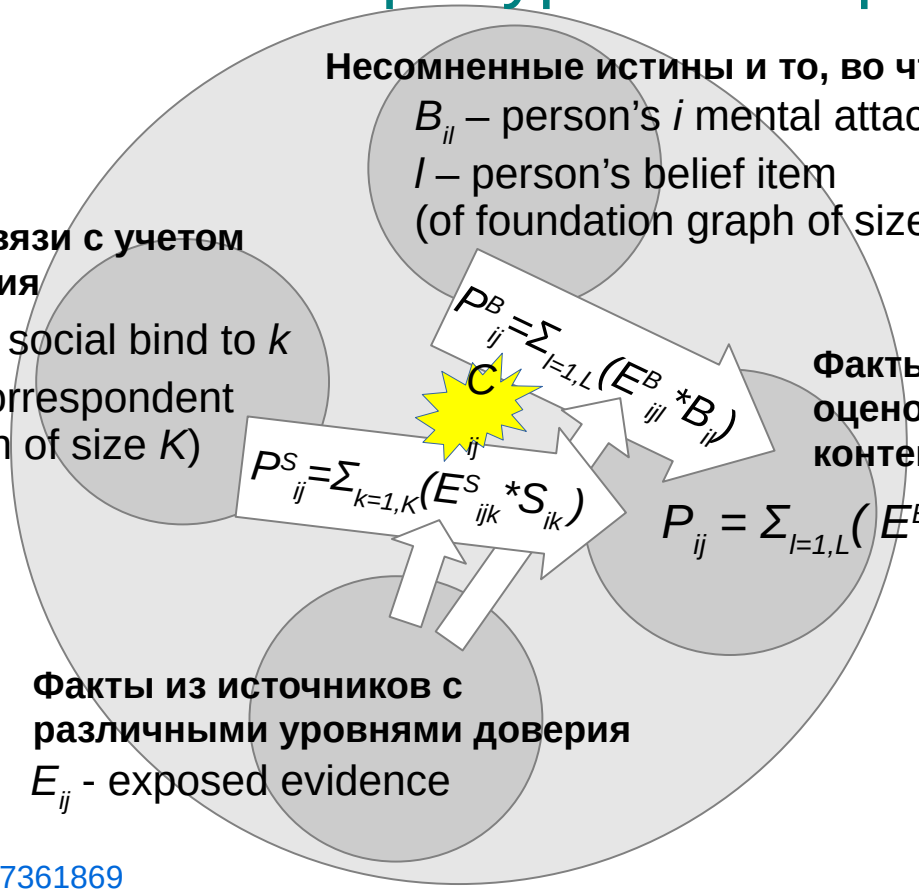
Факты из источников с различными уровнями доверия

Bob said beer is good
Mary said beer is not good
Mary said juice is good
Mary said tea is good
Peter said juice is good
Peter said coffee is good

https://ieeexplore.ieee.org/document/7361869
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916317239
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97676-1_10

2015-2018

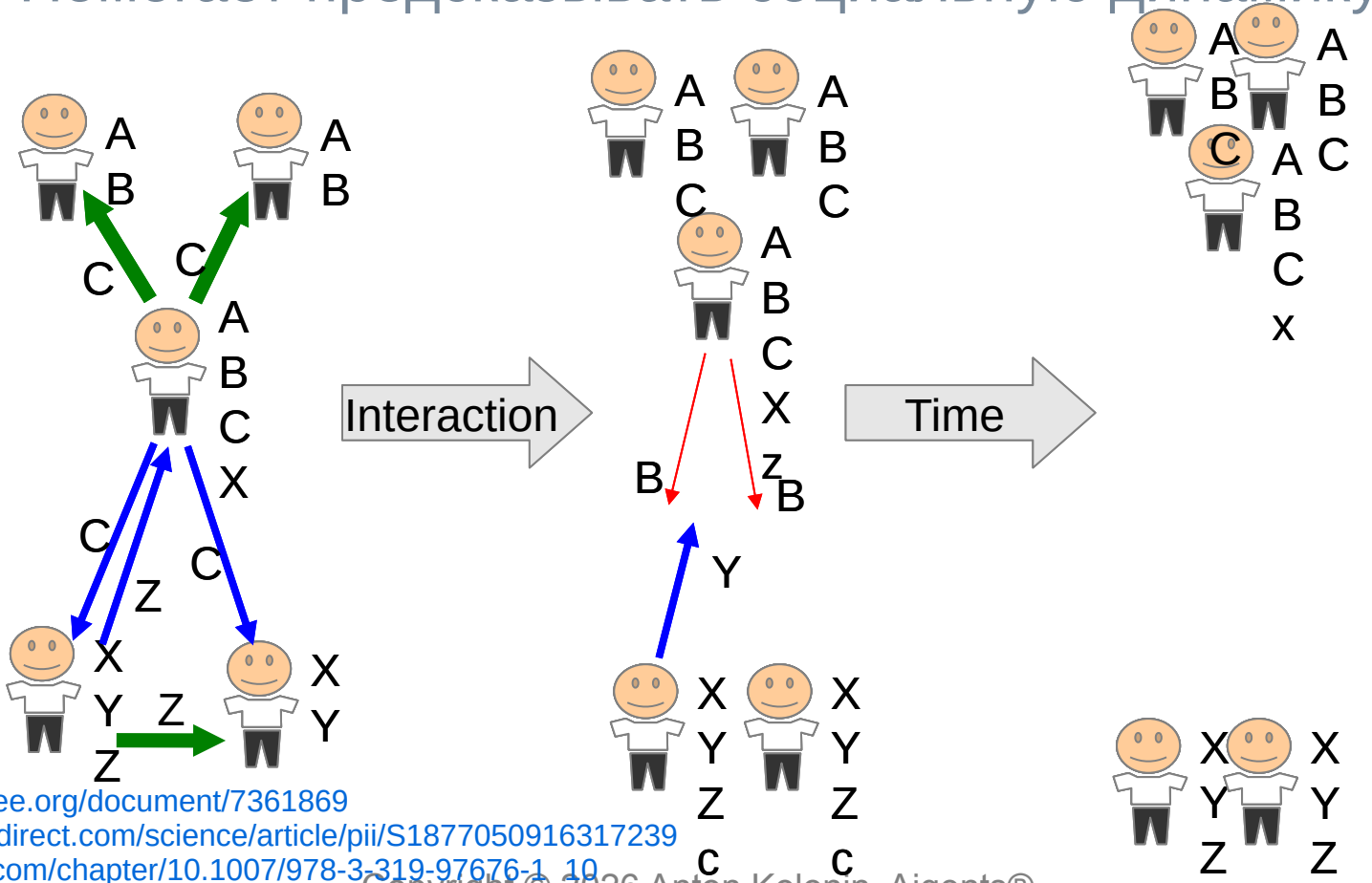
Когнитивно-поведенческая модель на основе социального доказательства и ресурсного ограничения



https://ieeexplore.ieee.org/document/7361869
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916317239
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97676-1_10

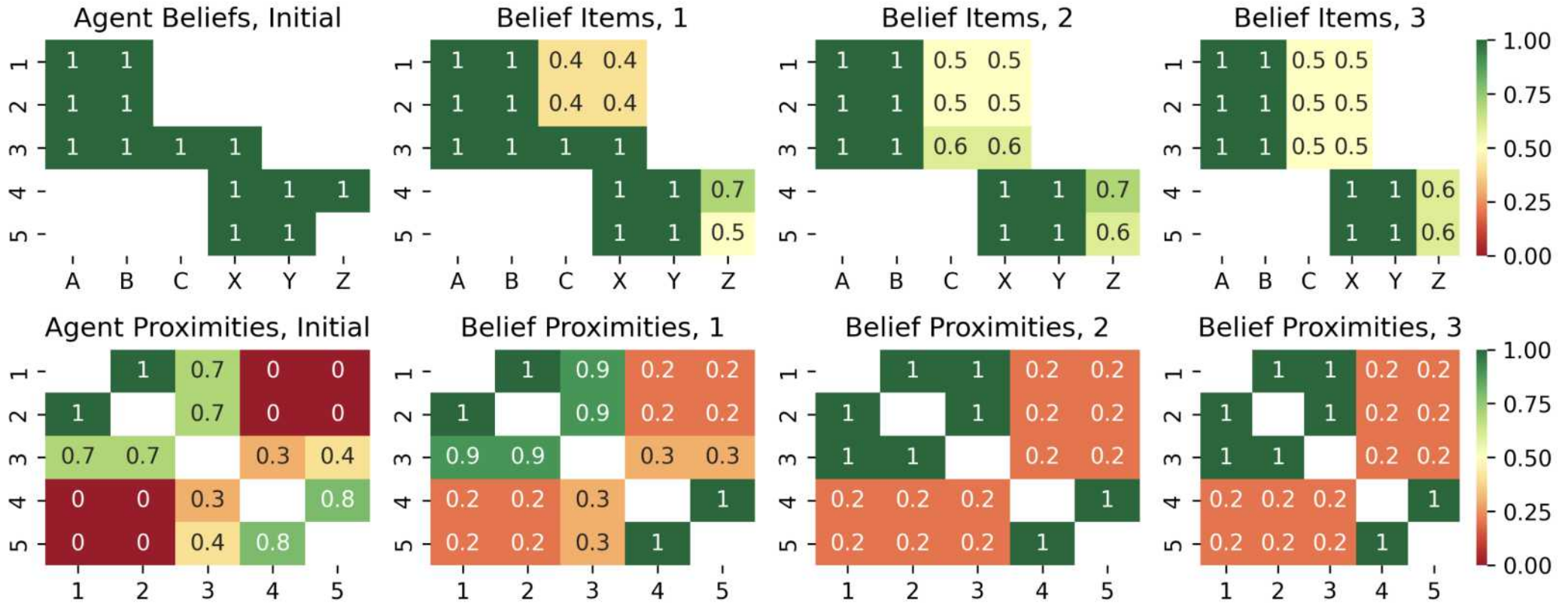
Когнитивно-поведенческая модель на основе социального доказательства и ресурсного ограничения

Помогает предсказывать социальную динамику



https://ieeexplore.ieee.org/document/7361869
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916317239
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-97676-1_10

Симуляция: социальная ограниченнсть, когнитивный ресурс



Results of three rounds of multi-agent simulation with the forgetting threshold peer threshold = 0.5, the social relationship threshold forgetting threshold = 0.0 (limiting social connections K without constraint on belief capacity L). Top row: values of belief items A, B, C, X, Y, Z for five agents 1, 2, 3, 4, 5. Bottom row: social proximity matrices between agents, estimated as the cosine similarity of their beliefs. From left to right: the initial state before the simulation, and then the updated states of beliefs and proximities after three subsequent rounds of multi-agent communication.

Спасибо за внимание! Вопросы?

Антон Колонин
akolonin@aigents.com
Telegram: akolonin

Запись семинара по теме доклада

Статья по теме доклада, принятая на конференцию Нейроинформатика-2025