



**ПОЛИТЕХ**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

COMPUTO ERGO SUM

# НЕЙРОВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ: АСПЕКТЫ ВЫЧИСЛИМОСТИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

**А. П. АНТОНОВ<sup>1</sup>,  
В. С. ЗАБОРОВСКИЙ<sup>1</sup>,  
В. А. ПОЛЯНСКИЙ<sup>2</sup>**

**8 октября, 2020  
СПб**

1 – СПбПУ  
2- ИПМаш



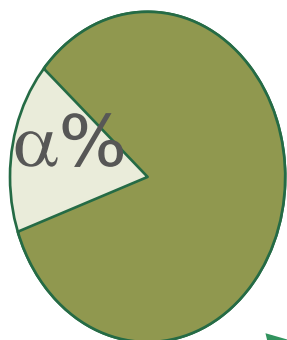
- В этом докладе мы не будем стремиться к строгой формализации изложения, когда абстрактные определения предшествуют примерам и содержательному описанию проблемы.
- Суть проблемы в отчете на вопрос: **ВЫЧИСЛИМЫ ЛИ ... на современном компьютере КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ**, если «да», то каким образом, а если «нет» – то почему ?
- В контексте задач управления суть проблемы можно формулировать так:
  - что необходимо, чтобы «машину-компьютер» можно было бы использовать для моделирования **КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ** с целью решения **интеллектуальных задач управления?**



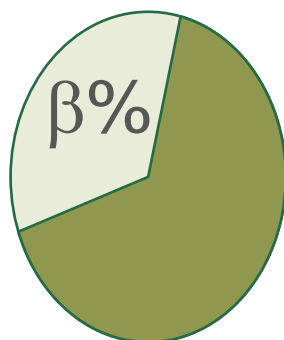
ПОЛИТЕХ

# ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА: «К.П. Д.» ФОРМАЛИЗАЦИИ ВСЕГДА < 100%

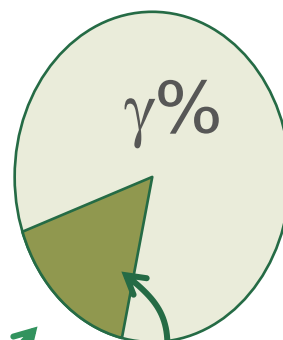
Решение 1



Решение 2



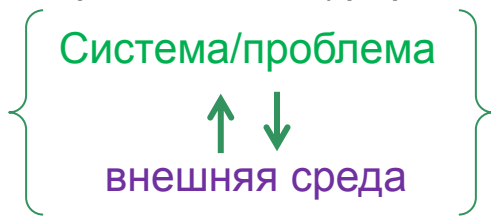
Решение n



...

«осадок» Гёделя

Доли «проблемы», которая алгоритмически (формально/математически) разрешима



## Соотношение «неопределенности»:

$RealTime_{система} \ll RealTime_{среда} \rightarrow$  алгоритм (ЭВМ)

$RealTime_{система} < RealTime_{среда} \rightarrow$  АСУ (ЭВМ+человек)

$RealTime_{система} \sim RealTime_{среда} \rightarrow$  интеллект (Человек)



ПОЛИТЕХ

# ПРИМЕР: ТЕКУЩИЙ TOP500 СК

## Rmax from LINPACK MPP



June 2020: The TOP 10 Systems (43% of the Total Performance of Top500)

$Ax=b$ , dense problem

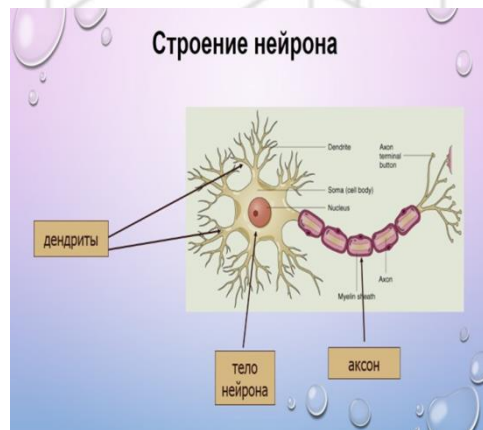
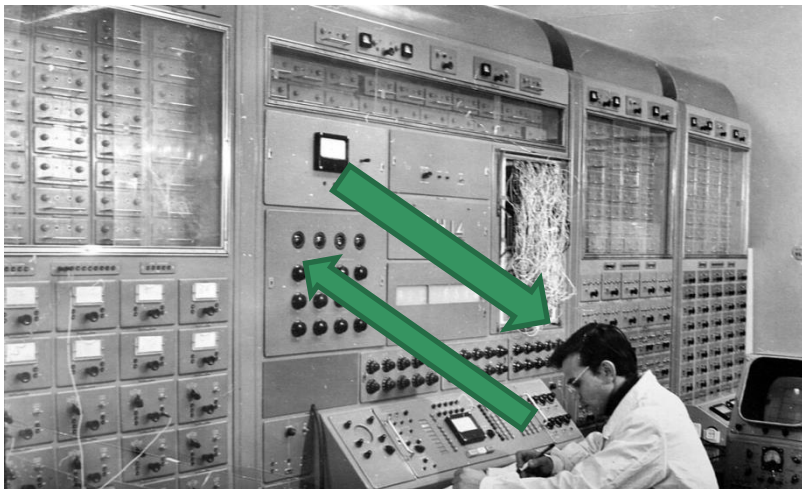
Rank	Site	Computer	Country	Cores	Rmax [Pflops]	% of Peak	Power [MW]	GFlops/Watt
1	RIKEN Center for Computational Science	Fugaku, ARM A64FX (48C, 2.2 GHz), Tofu D Interconnect		7,299,072	415.	81	28.3	14.7
2	DOE / OS Oak Ridge Nat Lab	Summit, IBM Power 9 (22C, 3.0 GHz), Nvidia GV100 (80C), Mellanox EDR		2,397,824	149.	74	10.1	14.7
3	DOE / NNSA L Livermore Nat Lab	Sierra, IBM Power 9 (22C, 3.1 GHz), Nvidia GV100 (80C), Mellanox EDR		1,572,480	94.6	75	7.44	12.7
4	National Super Computer Center in Wuxi	Sunway TaihuLight, SW26010 (260C) + Custom		10,649,000	93.0	74	15.4	6.05
5	National Super Computer Center in Guangzhou	Tianhe-2A NUDT, Xeon (12C) + MATRIX-2000 + Custom		4,981,760	61.4	61	18.5	3.32
6	Eni S.p.A	HPC5, Dell EMC PowerEdge C4140, Xeon (24C, 2.1 GHz) + Nvidia V100 (80C), Mellanox HDR		669,760	35.5	69	2.25	15.8
7	NVIDIA Corporation	Selene, Nvidia DGX AMD (64C, 2.25 GHz) + Nvidia A100 (108C), Mellanox HDR		277,760	27.6	80	1.34	20.6
8	Texas Advanced Computing Center / U of Texas	Frontera, Dell C6420, Xeon Platinum, 8280 28C 2.7 GHz, Mellanox HDR		448,448	23.5	61		
9	CINECA	Marconi-100, IBM Power System AC922, P9 (16C, 3 GHz) + Nvidia V100 (80C), Mellanox EDR		347,776	21.6	74	1.98	10.9
10	Swiss CSCS	Piz Daint, Cray XC50, Xeon (12C) + Nvidia P100 (56C) + Custom		387,872	21.2	78	2.38	8.90

# ДЕГРАДАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СК ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ $AX=B$ ИТЕРАЦИОННЫМ АЛГОРИТМОМ

HPCG Benchmark June 2020

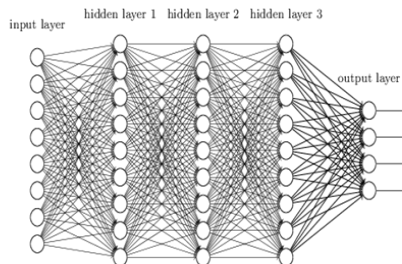
Rank	Site	Computer	Cores	HPL Rmax (Pflop/s)	TOP500 Rank	HPCG (Pflop/s)	Fraction of Peak
1	RIKEN Center for Computational Science Japan	<b>Fugaku</b> , Fujitsu A64FX, Tofu	7,299,072	415.53	1	13.4	2.5%
2	DOE/SC/ORNL USA	<b>Summit</b> , AC922, IBM POWER9 22C 3.7GHz, Dual-rail Mellanox FDR, NVIDIA Volta V100, IBM	2,414,592	143.50	2	2.926	1.5%
3	DOE/NNSA/LLNL USA	<b>Sierra</b> , S922LC, IBM POWER9 20C 3.1 GHz, Mellanox EDR, NVIDIA Volta V100, IBM	1,572,480	94.64	3	1.796	1.4%
4	Eni S.p.A. Italy	<b>HPCS</b> , PowerEdge, C4140, Xeon Gold 6252 24C 2.1 GHz, Mellanox HDR, NVIDIA Volta V100	669,760	35.45	6	0.860	2.4%
5	DOE/NNSA/LANL/SNL USA	<b>Trinity</b> , Cray XC40, Intel Xeon E5-2698 v3 16C 2.3GHz, Aries, Cray	979,072	20.16	11	0.546	1.3%
6	NVIDIA USA	<b>Selene</b> , DGX SuperPOD, AMD EPYC 7742 64C 2.25 GHz, Mellanox HDR, NVIDIA Ampere A100	277,760	27.58	7	0.5093	1.8%
7	Natl. Inst. Adv. Industrial Sci. and Tech. (AIST) Japan	<b>ABC1</b> , PRIMERGY CX2570M4, Intel Xeon Gold 6148 20C 2.4GHz, Infiniband EDR, NVIDIA Tesla V100, Fujitsu	391,680	16.86	12	0.5089	1.7%
8	Swiss National Supercomputing Centre (CSCS) Switzerland	<b>Piz Daint</b> , Cray XC50, Intel Xeon E5-2690v3 12C 2.6GHz, Cray Aries, NVIDIA Tesla P100 16GB, Cray	387,872	19.88	10	0.497	1.8%
9	National Supercomputing Center in Wuxi China	<b>Sunway TaihuLight</b> , Sunway MPP, SW26010 260C 1.45GHz, Sunway, NRCPC	10,649,600	93.01	4	0.481	0.4%
10	Korea Institute of Science and Technology Information Republic of Korea	<b>Nurion</b> , CS500, Intel Xeon Phi 7250 68C 563584C 1.4GHz, Intel Omni-Path, Intel Xeon Phi 7250, Cray	570,020	13.93	18	0.391	1.5%

# АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ VS КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ: ПРОГРАММА, ДАННЫЕ VS ВНИМАНИЕ, ПАМЯТЬ, СУБЪЕКТИВНОЕ ВОСПРИЯТИЕ...



процессы «вычислений» в головном мозгу – несущее множество нейромедиаторы – конечный набор кодов

к «понятиям», объясняющих саму реальность



$$\nabla \cdot \nabla \psi = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

$$= \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[ \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} \right]$$

В чем **фундаментальная** разница между физическими (носители вещественные) и когнитивными (счетные) процессов ?  
(т. Левингейма-Сколема)



от «чисел», описывающих модель реальность



ПОЛИТЕХ

# МНЕНИЕ ВЕДУЩИХ ЭКСПЕРТОВ – БУДУЩЕЕ ЗА COMPUTATIONAL THEORY OF COGNITION

## Less Moore, More Brain

Меньше Мура, Больше Мозга

Prof. Dr. Thomas Ludwig

German Climate Computing Center (DKRZ)

BIG DATA ANALYTICS X ARTIFICIAL INTELLIGENCE X MODELING & SIMULATION

RUNNING ON ONE MACHINE IN MISSION-CRITICAL WORKFLOWS

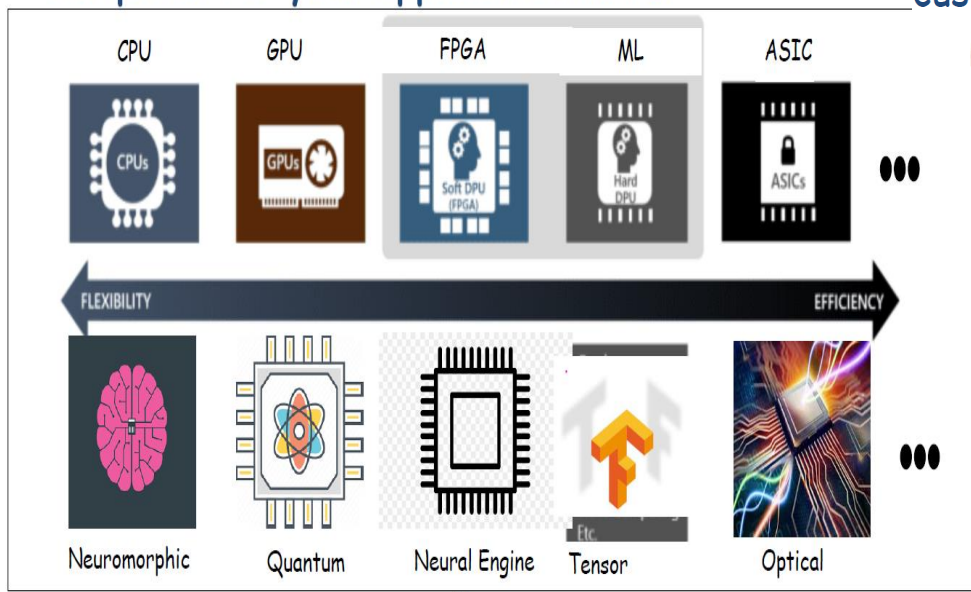
EXASCALE ERA

Mike Woodacre  
HPE Fellow/VP, CTO for HPC & MCS

## Future HPC Systems Will be Customized...

◆ You will be able to dial up what you need in your computer for your application mix ...

◆ HPC will have extreme heterogeneity and build custom systems for each important application.



Jack Dongarra  
University of Tennessee  
Oak Ridge National Laboratory  
University of Manchester



ПОЛИТЕХ

# MORE BRAIN: ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Тренд: от алгоритмов численных решений к вычислению с помощью «примеров», «от математики «количества» к математике «образов».

эра «часов»



эра арифмометров <1960



эра автоматов-компьютеров, управляемых программами 1960 – 2020



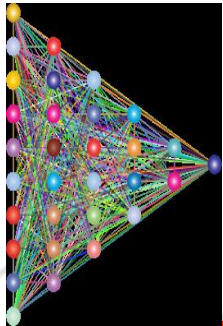
эра «КОГНИТИВНЫХ» машин или компьютеров, управляемых данными 2020 >



**Прямая задача:**  
реализация алгоритмов численных решений задач с использованием «частично рекурсивных функций»



**Обратная задача:**  
нахождение алгоритмов решений задач на заданном наборе данных и условий







## МЫШЛЕНИЕ – ПОНИМАНИЕ VS ВЫЧИСЛЕНИЯ - АЛГОРИТМЫ

- Моделирование невозможно без понимания - умения свести описание одного типа реальности к другому «похожему» на него типу реальности с помощью «слов» какого-либо языка.
- Когда дело касается «физики» словарь языка описания вполне определен, так как события **упорядочены** причинно-следственными отношениями в четырехмерном многообразии пространства-времени с метрикой Минковского :

$$dx^2_0 - (dx^2_1 + dx^2_2 + dx^2_3).$$

- В «пространстве» с такой метрикой у инерциальных наблюдателей **единого времени нет**, но есть **единое для всех них «направление» течение времени**
- Такие описания «реальности» выражаются словами из «частично-рекурсивных функций» - основы вычислительных алгоритмов.

НО.....

Время и пространство – это лишь категория **мышления**, а не условия нашего существования

А. Эйнштейн

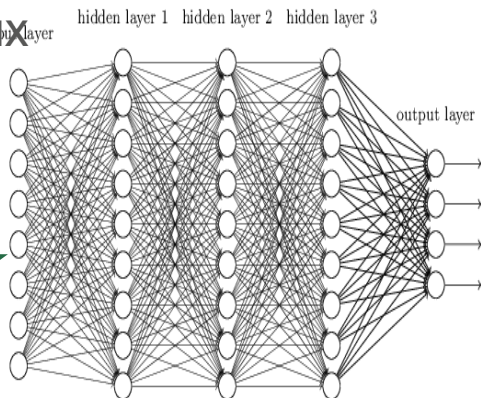


ПОЛИТЕХ

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ: ОТ «АЛГОРИТМИЧЕСКИХ» К «НЕЙРО» ПОДОБНЫМ ВЫЧИСЛИТЕЛЯМ.

нейронная сеть - **ИНДУКТИВНЫЙ**  
классификатор входных  
данных

МТ



$$\nabla \cdot \nabla \psi = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$$

$$= \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[ \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \varphi^2} \right]$$

Суть нового подхода:

- Непроцедурное отображение множества входных данных на **множество заданных классов**
- **Программирование** без явно заданного алгоритма с помощью «обучения» на **примерах**

Когнитивный вычислитель:



Расширение пространства физически вычислимых функций от  
4D ( t, x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub> )  
к  
6D ( t<sub>-</sub>, t<sub>0</sub>, t<sub>+</sub>, x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub> )

Суть подхода:

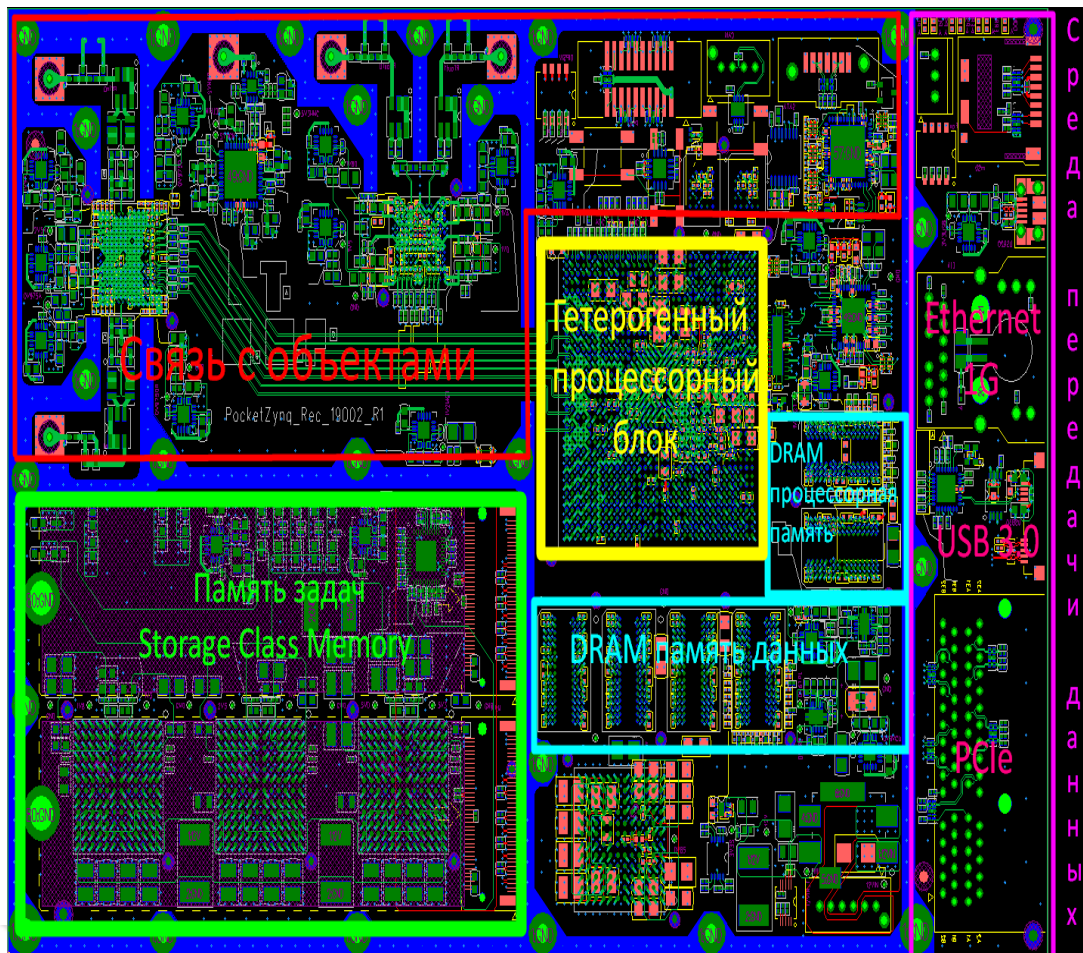
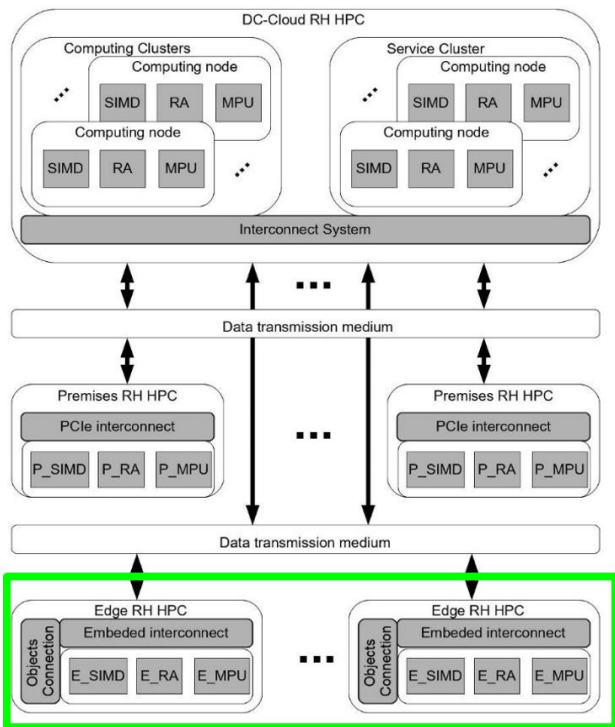
Сочетание принципа «частичной рациональности» + «ретропричинности» - возможностей использования **прямой алгоритмической** композиции операций и «обучения» и «прогнозирования» на **заданном классе процессов { t<sub>-</sub>, t<sub>0</sub>, t<sub>+</sub> }**



ПОЛИТЕХ

# ВОЗМОЖНАЯ «СХЕМОТЕХНИКА» КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА

## Конструирование с экзо интеллектуальных систем





# АРХИТЕКТУРА ГЕТЕРОГЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

Уровень «**system**» - действие «**объяснить**»  
аналог неокортекса, реализация функции  
«социального поведения».

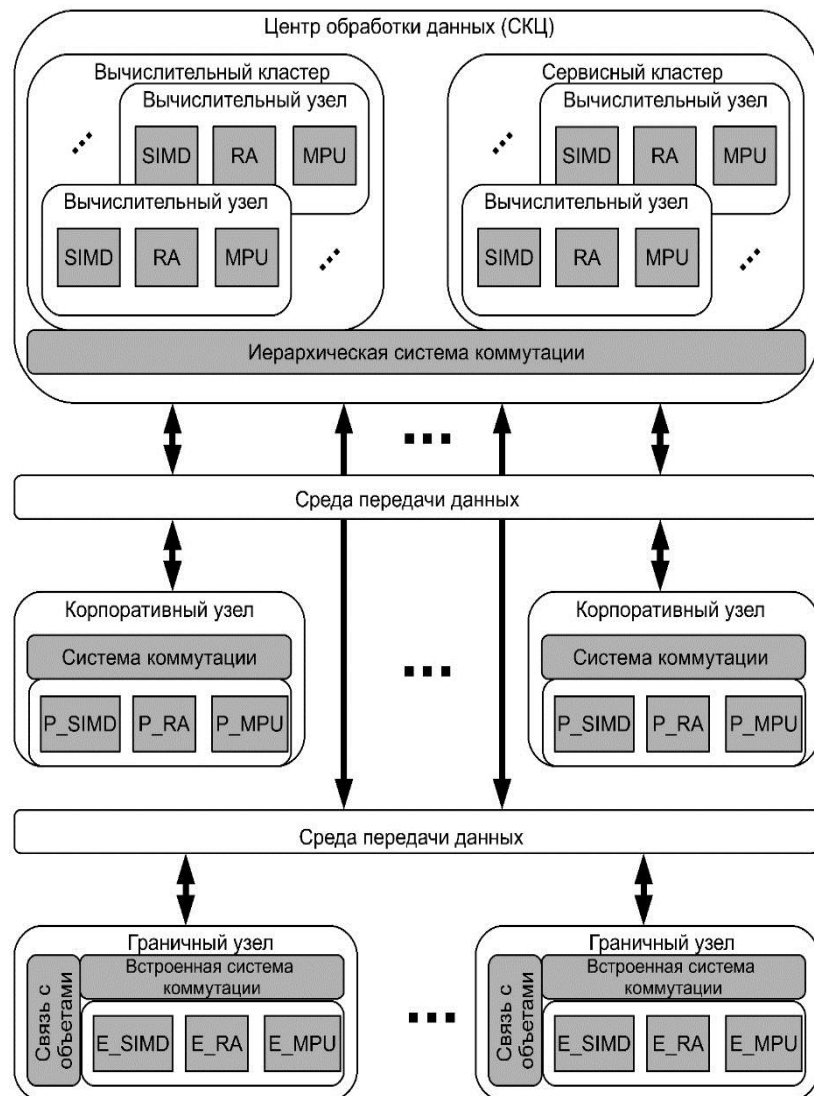
Назначение. Интерпретация результатов вычислений  
и решение «обратных» задач синтеза алгоритмов в  
режиме just in time или плану

Уровень «**premises**» - действие «**согласовать**», аналог  
лимбической системы, реализация функции  
«инстинктивно/рефлексивного» поведения.

Назначение. Оптимизация спецификаций поля  
вычислений и форматов данных, «подготовка  
прошивок» для конфигурации ПЛИС, контроль  
адекватности цифровых моделей

Уровень «**edge**» - Сенсорная среда доступа и  
обработки данных

Назначение. Доступ с «пространству» больших  
данных, доставляемых сенсорами и используемых  
для «извлечения» мульти-модальных данных





# РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВА КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ

Сигнатура пространства  $\langle + - - - \rangle$

Восприятие когнитивного пространства: прошлое, настоящее и будущее – одновременны.

(будущее в когнитивном смысле также реально как и прошлое)

У причинно-следственного подхода есть ограничения....

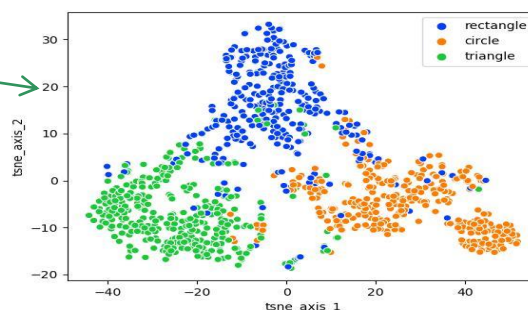
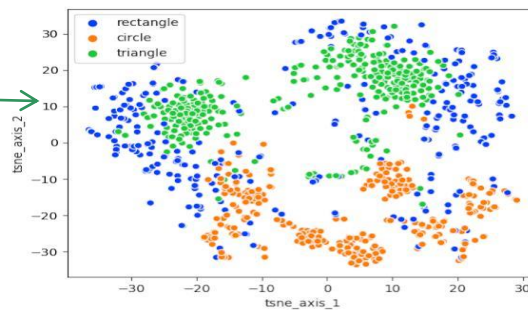
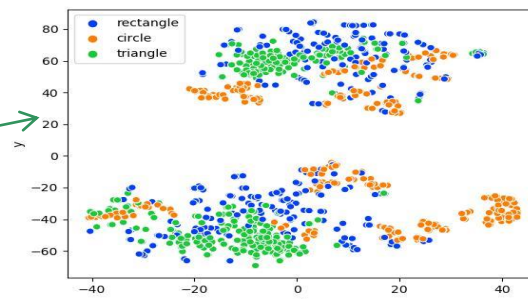
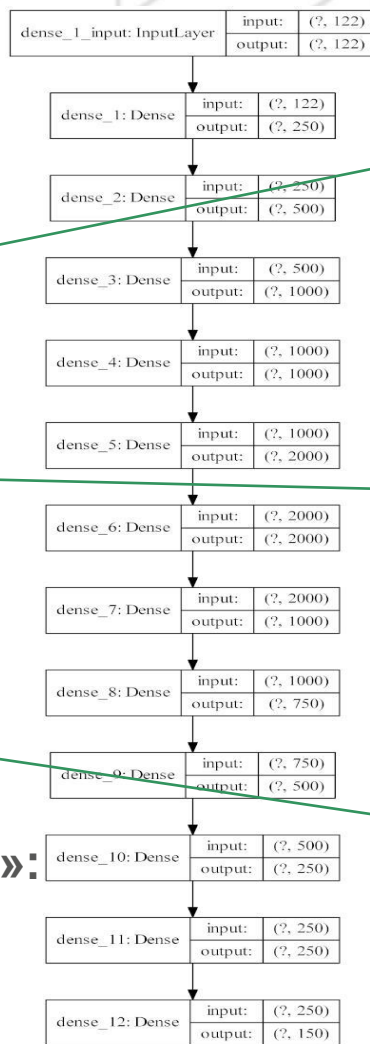
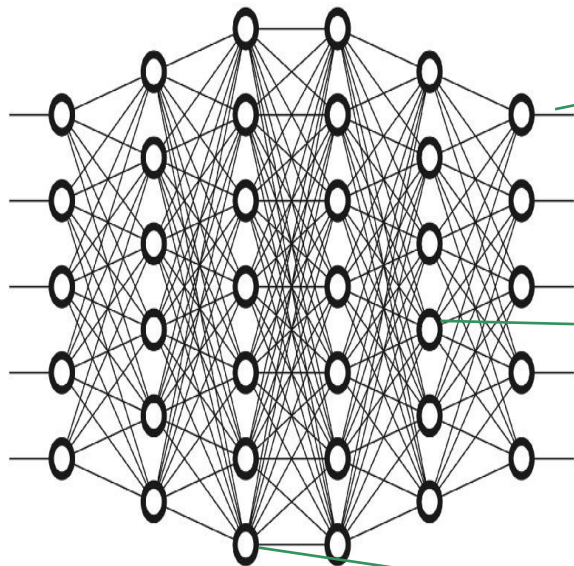
В пространстве 6D асимметричность во времени причин и следствий неприемлема.

Пространственно-временная геометрия пространства когнитивных функций управления шестимерна и имеет размерности  $L^3T^3$

## Итак

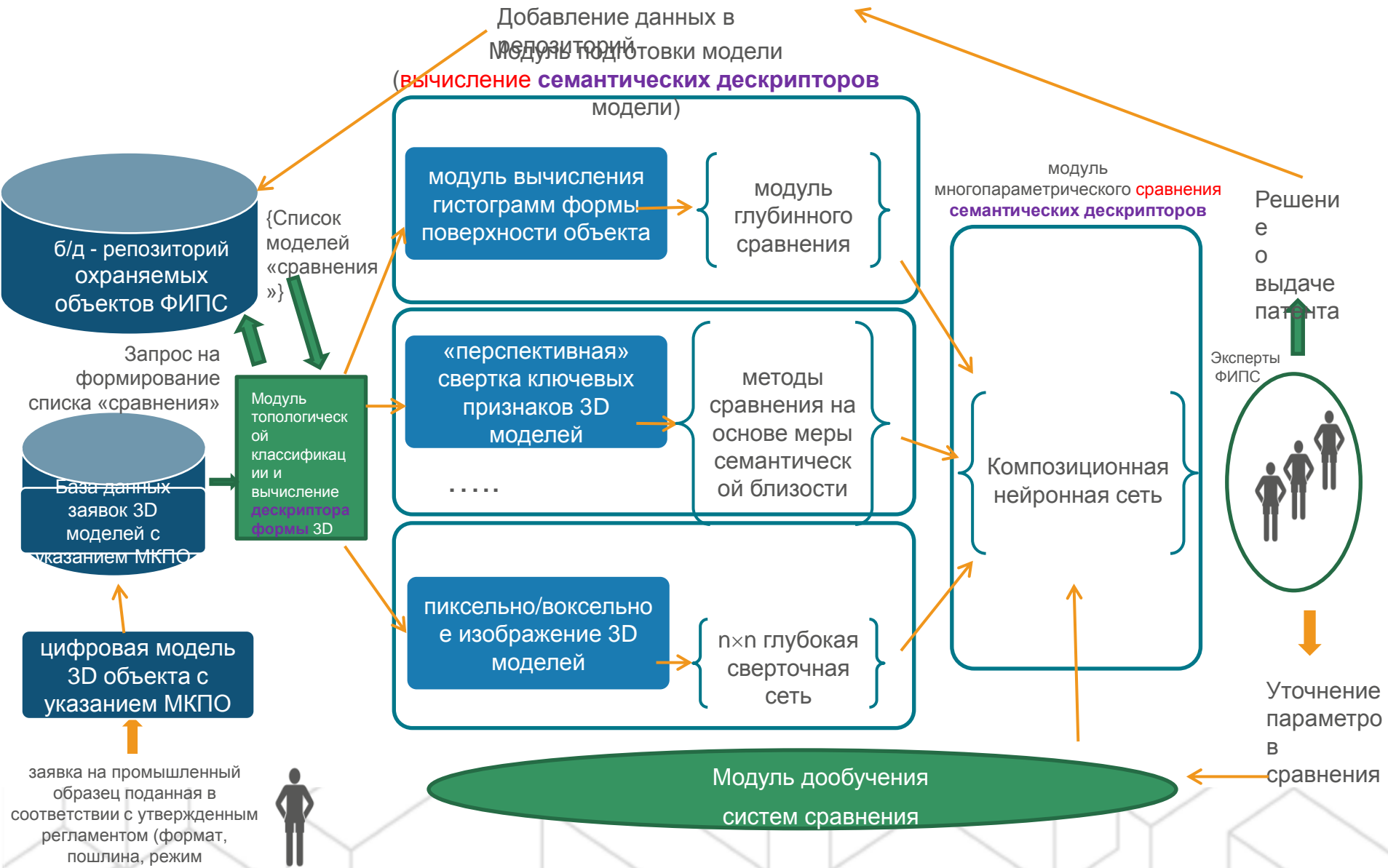
положение о том, что события будущего полностью определяются причинами в настоящем - **основа «физических теорий»**, но это положение не корректно в случае описания решений **в базисе когнитивных функций**, а именно – **будущее как прогноз влияет на решения принимаемые в настоящем.**

# «ГЕОМЕТРИЯ» РЕШЕНИЙ В «ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ» НЕЙРОННОЙ СЕТИ



**Объяснение работы «алгоритма»:**  
 Завершения процесса обучения оцениваться на основе анализа структуры аттрактора вектора состояний слоев нейронной сети

# АРХИТЕКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ СРАВНЕНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ





- Идея рассмотрения пространства когнитивных решений в терминах вычислимых функций может быть основана на процессе «машинного обучения», который «синтезирует» алгоритмы вычисления без формального определения и целей.
- «Экзоинтеллектуальная» концепция формирования когнитивных решений ограниченной рациональности охватывает как формальные, так и прикладные аспекты проблемы, что позволяет преодолеть ограничения классической теории алгоритмов, в частности, невычислимую проблему «остановки», путем рандомизации результатов вычислений.
- Направления дальнейших исследований: поиск «когнитивных» решений в «пространстве состояний с 3D временем», т.е. вычисления «текущих» решений на основе данных 1) предыдущего опыта, 2) оперативных измерений и 3) результатов прогнозов возможных последствий.