

Курс: Архитектура суперкомпьютеров

Лекция 5:
**Почему мозг – супер вычислитель, а
современный суперкомпьютер не
цифровой мозг**

Введение в физику информационно-
вычислительных процессов: термодинамика
+ программирование

17 октября
2024 г.



ПОЛИТЕХ

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



МЕЖДУНАРОДНАЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ФИЛОСОФИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И СОЗНАНИЕ

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

23 – 24 октября 2024 г.,

Ленинский просп., дом 14,
Президиум РАН

Сайт:
<https://phAI.info>

г. Москва



ошибка исследователей феномена
«сознания» в их желании
редуцировать СОЗНАНИЕ до каких-
то объективных физических
процессов - найти СОЗНАНИЮ
соответствующий коррелят в
материальном мире.



Знаки как когнитивные тени реальности

Семиология и структурализм определяется Соссюром как «наука, изучающая жизнь знаков в рамках жизни общества»

Вопрос: какими законами знаки управляются ?

Язык — «**функция говорящего субъекта**» - продукт, пассивно регистрируемый индивидом, который «не предполагает предварительной рефлексии»

Речь — «**индивидуальный акт воли и понимания**», содержащий, во-первых, «комбинации, при помощи которых говорящий субъект пользуется языковым кодексом», а во-вторых, — психофизический механизм, позволяющий субъекту объективировать эти комбинации[6]; «в речи нет ничего коллективного»

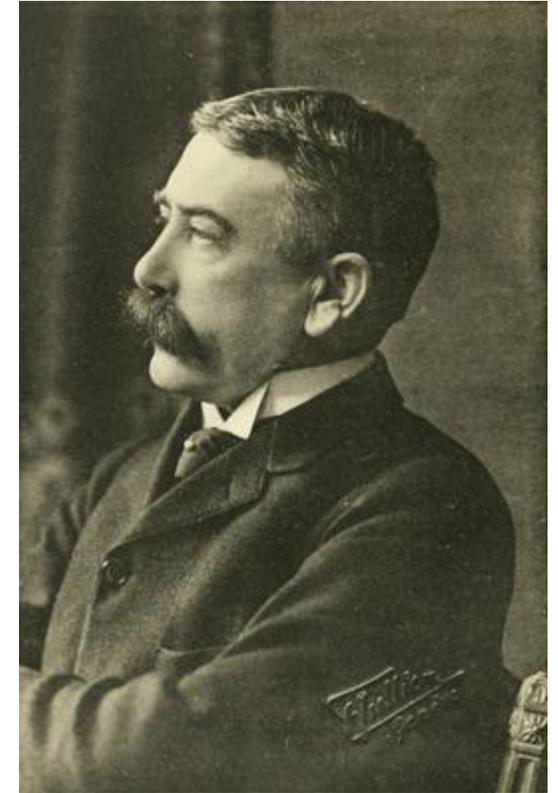
Речевая деятельность, имеет три составляющие:

физическую (распространение звуковых волн),

физиологическую (от звука к акустическому образу,

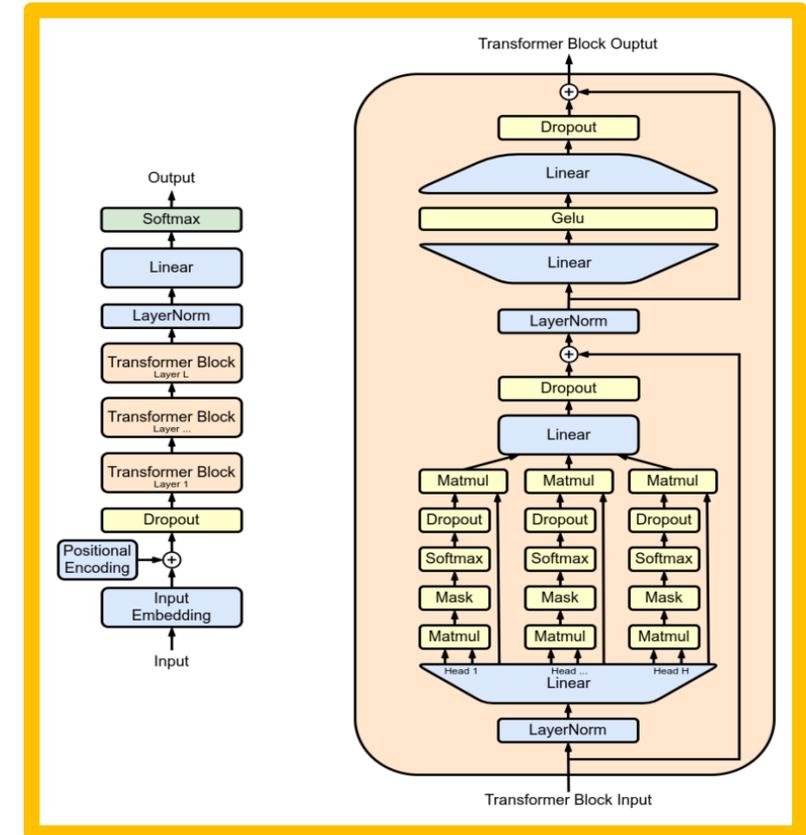
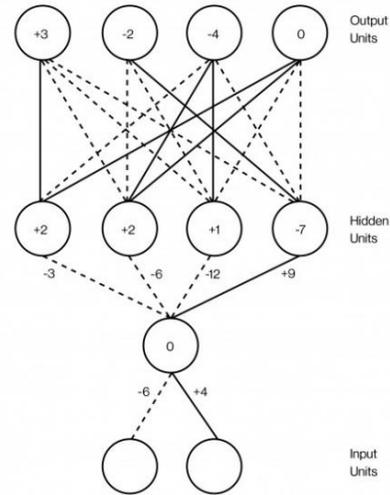
психическую - психическое представление о физическом звучании

Обобщение: реальность как мета-структурированная знаковая система -> использования лингвистических моделей вычислительных процессов для объяснения полученных результатов на основе принципов объективизма и холизма. Приоритет «бессознательного» вывода над сознанием, холизма над атомизмом,



Фердинанд де Соссюр

Вместо введения: AI is nothing but digital brains inside large computer....????



Дж. Хинтон, нобелевская премия по физике, 2024

- *Reinforcement learning from Human Feedback (RLHF):*
Обучение программированию: поиск ошибок в коде, который описывает заданный алгоритм. Когда реальных разработчиков просили описывать словами, как они подходят к задаче написания кода, то ответ был такой – стараемся исполнить этот код в своем мозгу

Предисловие (1)

- Нобелевская премия 2024 года по физике вручена за «за основополагающие открытия и изобретения, которые позволяют осуществлять **машинное обучение** с использованием искусственных нейронных сетей».
- Вопросы:
- что такое с точки зрения физики «машинное обучение»?
- какие физические феномены управляют процессами в искусственных нейронных сетях ?
 - нейросети — «командная» структура, в которой алгоритм вычислений **«программирует» не каждый нейрон в отдельности, а вся сеть в целом**. Физика давно изучает явления, возникающие благодаря «командной работе» атомов или элементарных частиц, образующих твердое тело. Так, металлическому твердому телу вполне соответствует метафора «песа» разнонаправленных магнитных потоков (спинов) отдельных атомов, из магнитных полей которых формируется суммарное магнитное поле металла, образующего твердое тело.
 - Атомы металла взаимодействуют друг с другом и меняют ориентацию своих магнитных полей, а сам металл разбивается на участки (домены). В пределах одного домена практически все стрелки-спины направлены одинаково. В итоге получается, что домены очень малы, но их много, и в среднем доменов, направленных «туда», оказывается примерно столько же, сколько направленных «сюда».
 - Магнитные поля противоположно направленных доменов компенсируют друг друга, и суммарное магнитное поле становится неотличимым от нуля.

Предисловие (2)

- Считается, что как любой физический процесс обладает энергией, которую тело – носитель этой энергии стремится минимизировать, то есть сделать ее численное значение **не отличимой от нуля ???!** ($A-B=0, \rightarrow A=B$)
- Объективное стремление Природы к **минимизации «внутренней! энергии — суть того природного «двигателя», что заставляет атомы** и квантовые частицы работать вместе над тем, чтобы система пришла к определенному состоянию - ин**форма**ции, а именно — к почти нулевому суммарному полю.
- **Нейросеть, как и любое твердое тело, стремится минимизировать свою внутреннюю энергию. Суть процесса обучения ИНС** - «запомнить» такое состояние , которое должно иметь минимальную энергию.
 - Можно ли и **как эти физические принципы** использовать при разработки новых суперкомпьютеров ???

Постараемся в лекции ответить на этот вопрос

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Макаров Валерий Леонидович, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель председателя НСММИ РАН, научный руководитель Центрального экономико-математического института РАН, г. Москва

Движение искусственного сознания и интеллекта от индивидуума к группам

Ушаков Дмитрий Викторович, академик РАН, доктор психологических наук, профессор, директор Института психологии РАН, член НСММИ РАН, г. Москва

Естественный и искусственный интеллект: сходства и различия

Анохин Константин Владимирович, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор Института перспективных исследований мозга МГУ имени М. В. Ломоносова, член бюро НСММИ РАН, г. Москва

Грани сознания в естественных и искусственных системах

Гончаров Сергей Савостьянович, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией теории вычислимости и прикладной логики Института математики имени С.Л. Соболева, г. Новосибирск

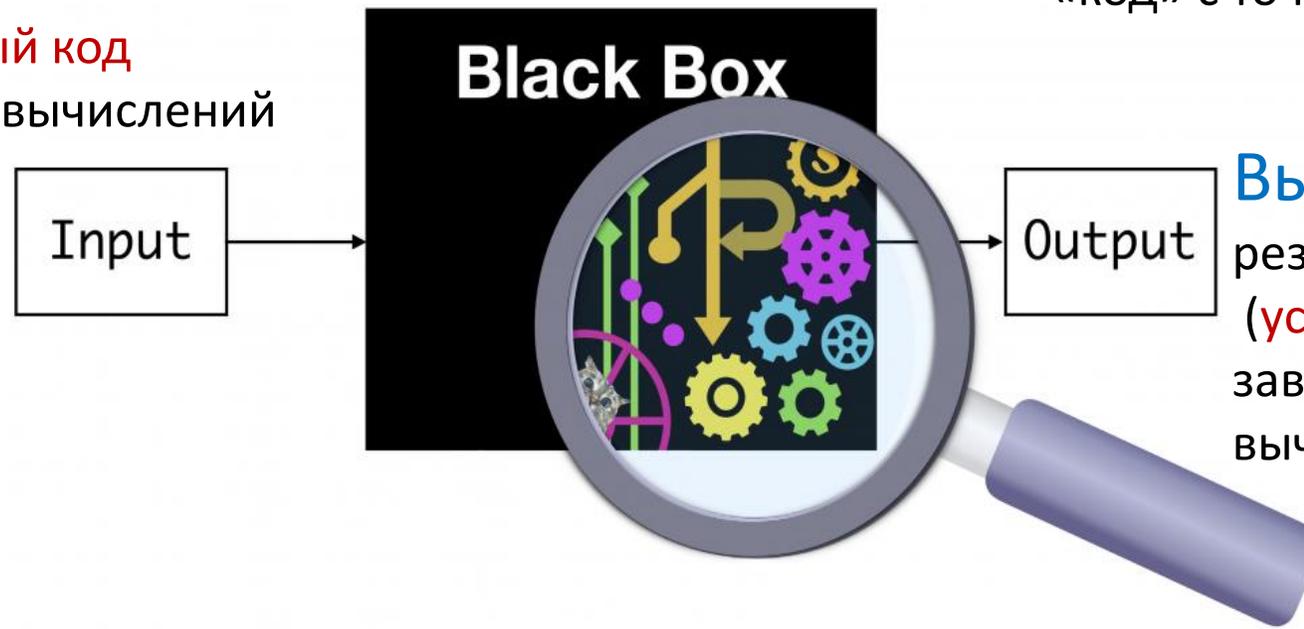
Задачный подход в математике и в приложениях к искусственному интеллекту

Часть 1

Для многих «компьютер» это «черный ящик», на который можно воздействовать не силой, а «кодом»... - программировать и даже «обучать», однако каков «внутренний» процесс превращения **текста программы** численный **результат** почти никого не интересует кроме ...тех

кто пытается ответить на вопрос что такое программный «код» с точки зрения физики ?

Вход — данные +
исполняемый код
программы вычислений



Выход – числа кодирующие
результат и статус решения
(успешно не успешно)
завершились программы
вычислений

Мир, в котором «работает» и физическая сила и память, радикально другой

- Мир рассматриваемый как гиперсеть сложных систем является носителем процессов, динамика которых нелинейна и спорадически (от случая к случаю) переходит в стадию хаоса....то есть
- ...образует поток бифуркаций и непрогнозируемых изменений состояний, приводящих к ситуации «радикальной неопределенности» в которой:
 - факты неточны, критерии спорны,
 - ошибки «дорого стоят», но все решения должны приниматься быстро.

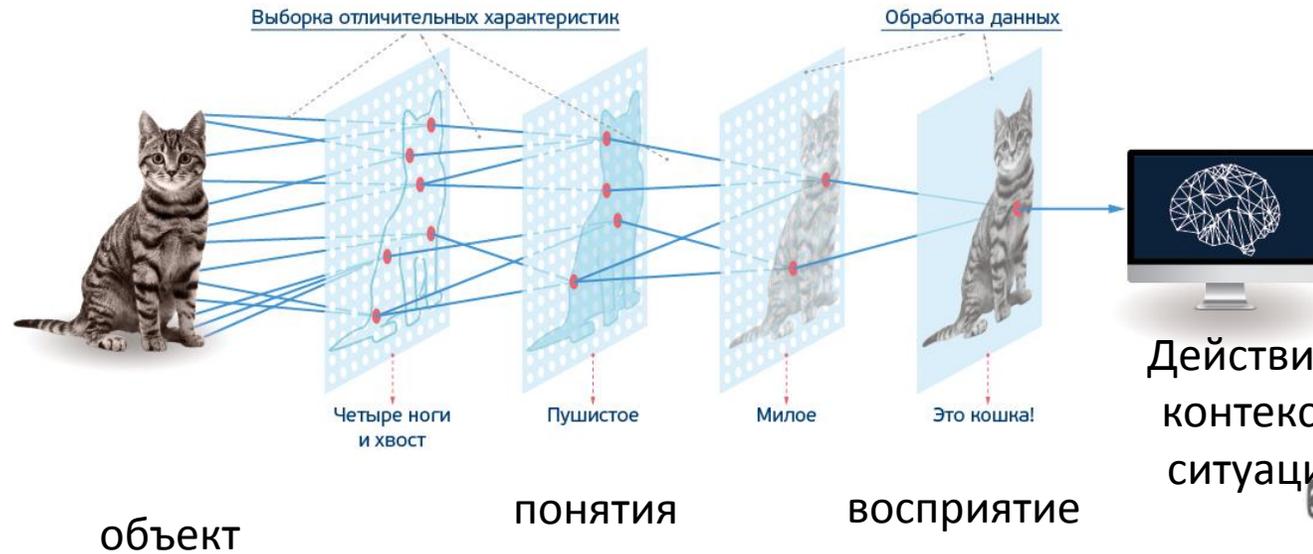
В такой обстановки единственного обоснованного верного решения нет, а выбор постоянно надо делать на границе зоны критических рисков (устойчивости).

ПРИНЦИП «шахматной доски» - субъектность элементов



ВОЗМОЖНОСТЬ разделения окружающего «пространства-время» на **классы эквивалентности**, т. н. фактор-множества (например, черные/белые клетки), на которых определено множество операций - **является основой научного подхода**. Это позволяет выделить подмножества состояний, которые можно рассматривать как **пределы последовательности элементов**.

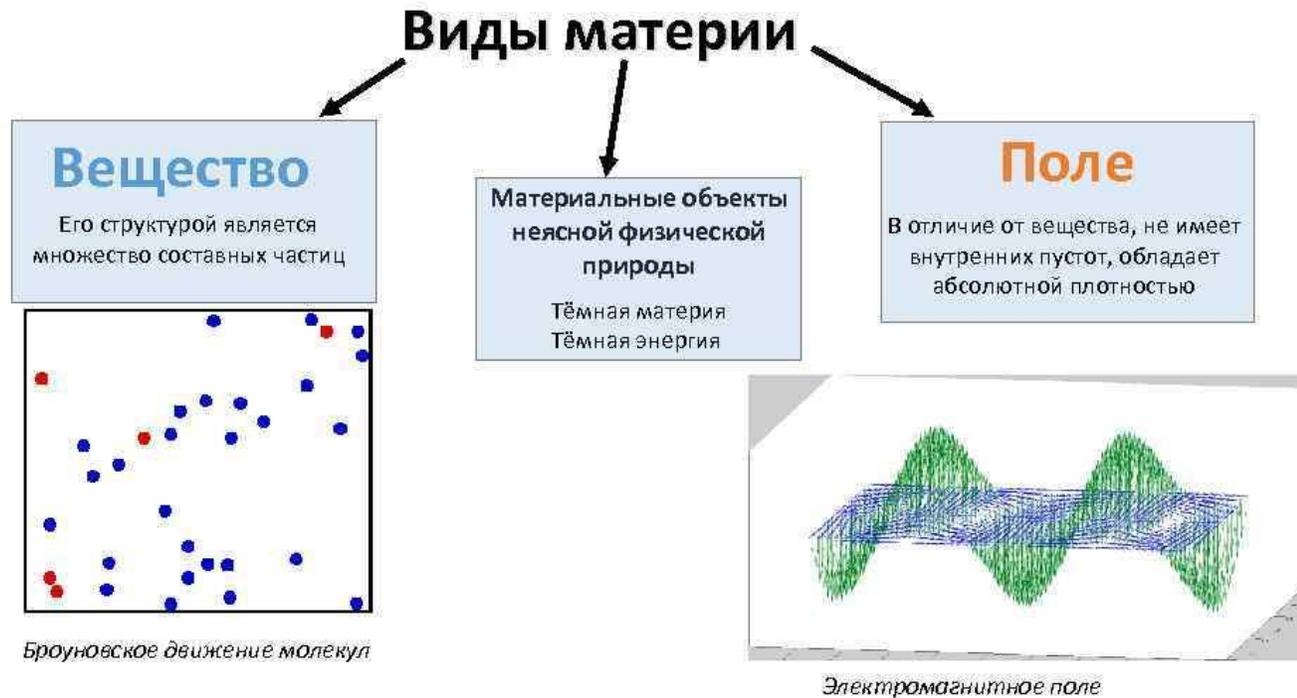
КАК РАБОТАЕТ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ



Эти элементы образуют базис научной модели, замкнутый относительно фундаментальных (энергетических, топологических и др.) инвариантов. Альтернатива такому подходу – например «ИИ реальность инвариантов».

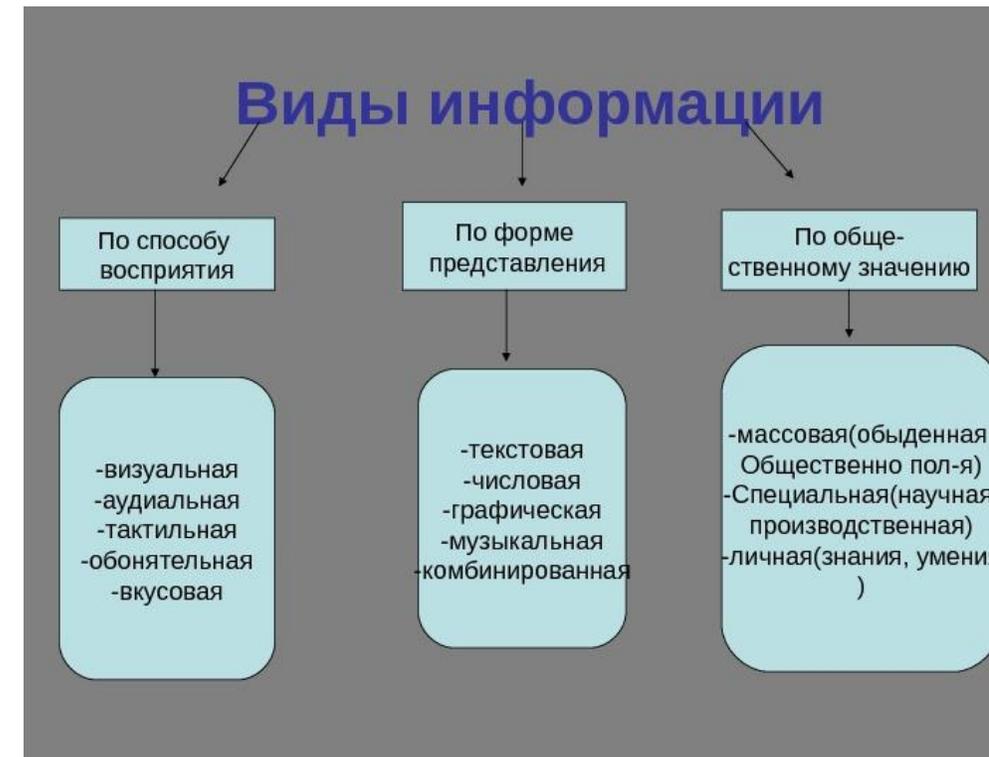
Действие в контексте ситуации

Два цвета на «шахматной доске» Природы.... «материя-информация»



Математическая основа игры на новой шахматной доске: **теория информации и категорий**

Можно не только переставлять фигуры по правилам игры, но и «переставлять правила»

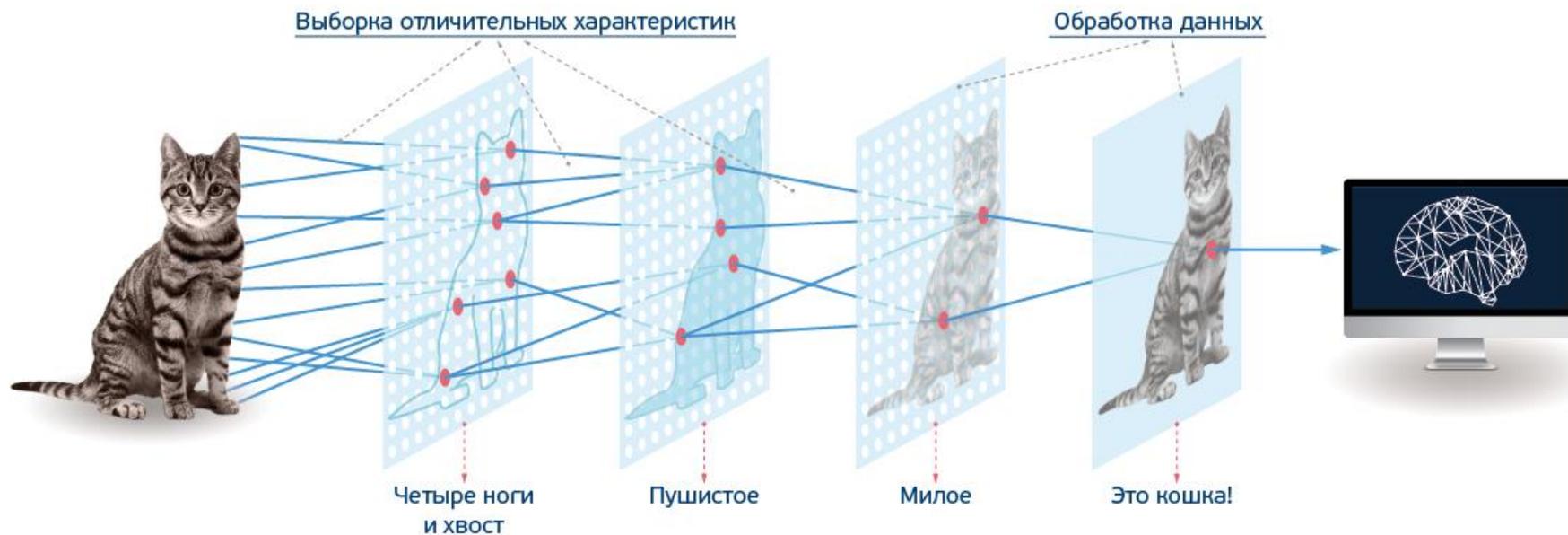


Физическое vs информационное

Физическое – значит локальное контактное воздействие с передачей энергии

Информационное – значит воздействие на основе передачи сообщения

КАК РАБОТАЕТ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ



Физический объект

Отложенное действие в контексте ситуации

«Искушения» компьютерных наук (КН)

Искушение - суть побуждение нарушить объективные законы

90-е годы 20 века: задачу решим на компьютере («действие» - код, **КТО** напишет ???)

20-е годы 21 века: задачу решит ИИ («действие» - рекурсия по нумерации Геделя, **КТО** «научит» ???)

На пути «разрешимости» искушений КН лежит «принцип хрупкости «хорошего»

Сформулированный ак. В. И. Арнольдсом: ... при малом изменении параметров системы более вероятен переход в область неустойчивости, чем в область устойчивости.

Практическая интерпретация принципа «хрупкости»:

- всё «хорошее» (например, правильно написанная программа) более «хрупко» (в смысле вероятности), чем любое «плохое» (вид вероятностного распределения),
 - «хорошее» одновременно должно удовлетворять нескольким требованиям, а «плохое» может иметь хотя бы один из «недостатков».

В КН «хрупкое» понятие «хорошая программы» было вытеснено «плохими» понятиями «вычислимость, перечислимость, разрешимость», которые носят условный характер, а условия задают «границы» понимания результата пользователем, а не объективные законы физики

суть проблемы

Computer science differs from physics in that it **is no actually a science**. It does not study **natural objects**.

Р. Фейнман /Feynman lectures on computation

...**does not study natural objects** ... действительно так

- **Объект** «компьютерных наук» (КН) - **информация** ...
- **Предмет** «компьютерных наук» - **средства обработки информации**

и хотя КН имеют глубокие **междисциплинарные «корни»**, однако говоря о «КН» чаще всего речь идет «программах» для :

- численного моделирования («алгоритм--> программа → число»)
- «обучения» нейроморфных машин («число → программа → алгоритм»)

но хотя КН **no actually a science**...особый интерес **представляет анализ того:** 1) какая же «**физика**» «стоит» за сложными процессами **обработки информации** и 2) как обработка

Физическое vs информационное взаимодействие : роль «кота Шредингера»



Суть проблемы суперпозиции состояний – соотношение непрерывного (возможного) и дискретного (состоявшегося):

Считается, что прямых аналогов квантово-механических систем в макромире не существует

А что будет, если в описание программы вычислений и архитектуру компьютера явно включить информационный фактор и **рассматривать результаты вычислений как суперпозицию** состояния компьютера как **физической системы** и «информационного воздействия» - результата **выполнения программы** ?

Суперкомпьютера ... is nothing but трансформер возможных состояний

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЫСЛИМЫЕ ОБЪЯСНЕНИЯ

Деревья классификации возможных состояний системы

Имеется

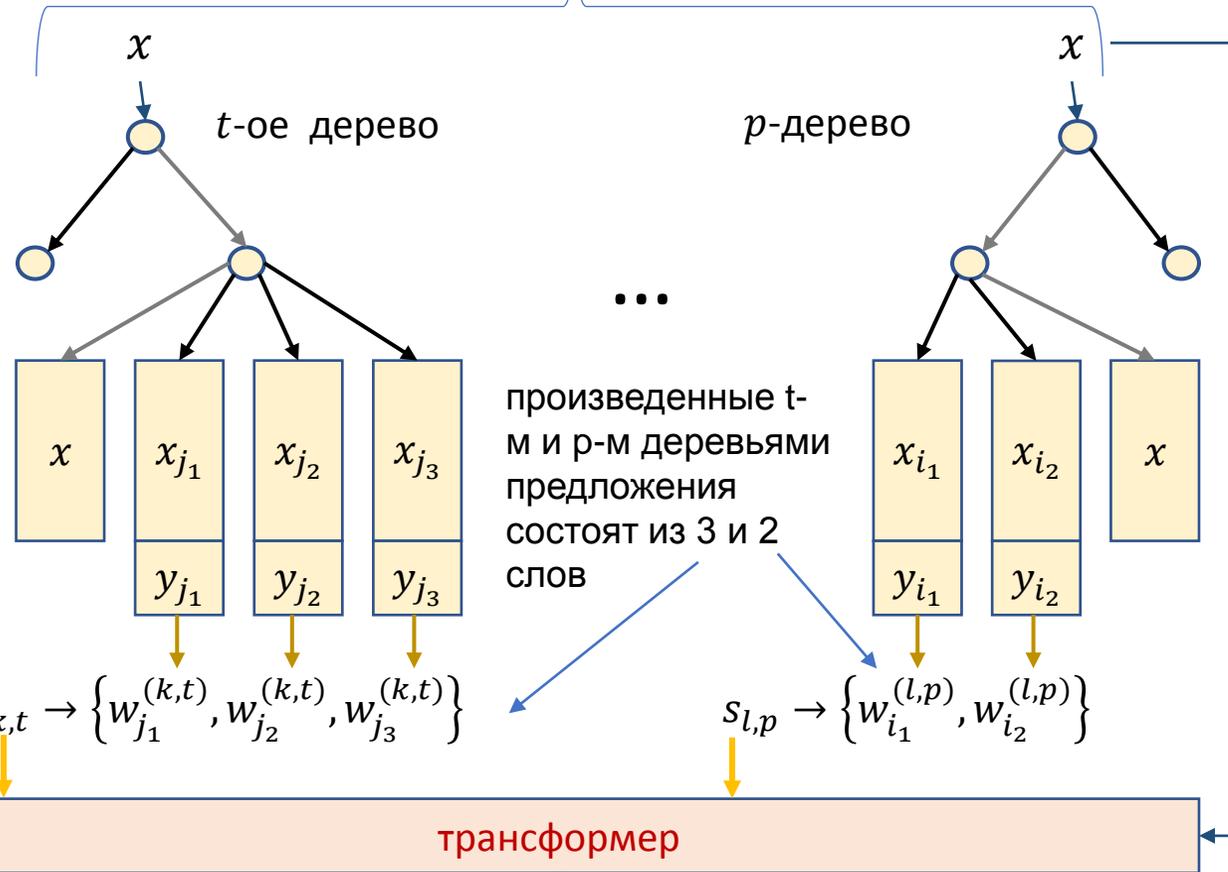
- 1) обучающая выборка (x_j, y_j) , где x – вектор признаков
- 2) индексы $j \in J_k(x)$, попадают совместно с вектором признаков x в один и тот же p -й лист k -го дерева классификации.
- 3) (x_j, y_j) , представим в виде предложения s , состоящего из слов, обозначаемых как $w_i^{(k,p)} \in J_k(x)$,
- 4) из этих слов можно «собрать» объяснение вычисленного результата

$i \in J_k(x)$,

$$s_{k,p} = \{nw_{i1}^{(k,p)}, \dots, w_{ip}^{(k,p)}\}_{1ir}$$

«Предложение» $s: s_{k,t} \rightarrow \{w_{j_1}^{(k,t)}, w_{j_2}^{(k,t)}, w_{j_3}^{(k,t)}\}$

k - номер дерева; p - номер листа; i - индекс примера (индекс слова в p -м предложении), который попадает в p -й лист.



ИЗ КАЖДОГО «ЛИСТА» ДИРЕКТЕВ МОЖЕТ ВЫХОДИТЬ РАЗНОЕ КОЛИЧЕСТВО «ВЕТВЕЙ»:

- 1) из листа t -ого дерева выходит три «слова» описания реакции, организма, а из листа p -дерева выходит описание, состоящее из двух «слов»
- 2) На вход системы подается текущий вектор « x » и соответствующие ему значения индексов

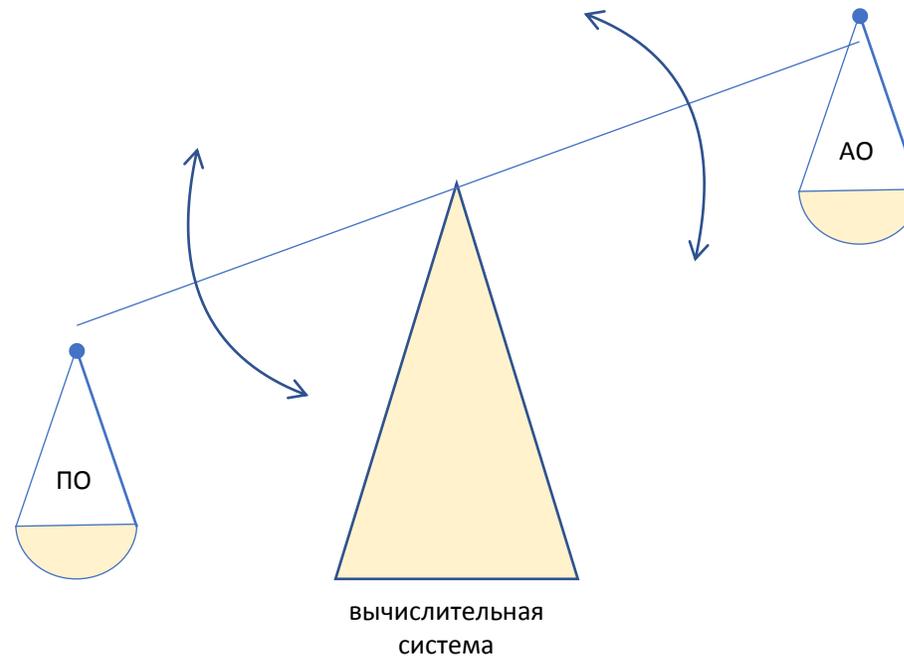
произведенные t -м и p -м деревьями предложения состоят из 3 и 2 слов

Задача ИИ системы

- 1) вычислить оценку $[x^*]$
- 2) По этой оценке рассчитать значения индексов Робинсона, Старра, Кердо, то есть \hat{y} и выбрать вид и форму воздействия $z = q(\hat{y}, d1, d2, d3)$, где коэффициент d_i получаются также в процессе обучения для каждого пациента отдельно

Are there some questions that computer could never answer for us,
however beautifully made it might be?

Ричард Фейнман



Что современный компьютер не может вычислить в принципе и почему ?

«перед нами открываются захватывающие дух возможности, замаскированные под неразрешенные ранее проблемы»
John

Gardner, 1965

ИТАК, современный компьютер – физический «прибор», поэтому проблемы КН будем пробовать решить, рассматривая их с междисциплинарных позиций, а именно:

- законов квантовой физики,
 - термодинамики открытых систем,
 - принципов машинного обучения,
 - модальной, квантовой и дедуктивных логик

а обсудить будем взаимосвязь физических и информационно-алгоритмических аспектов реализации вычислительных процессов

Что это «не разрешенные проблемы»: особенности классических физических и информационно-вероятностных методов

Суть особенностей в различии «классических» (колмогоровских) вероятностей vs вероятности смешанных состояний (матрицы фон Неймана)

Классическое (стохастическое) состояние макрообъекта (доступного прямому наблюдению) представлено **функцией вероятности: $P(x,p)$**

Квантовое (смешанное) состояние представлено функцией «матрицы плотности состояния» фон Неймана: $\rho(x,x')$, которая во многих отношениях ведет себя как вероятность, за исключением того, что **она может быть отрицательной (или комплексной).**

Итак, современная **физика слишком сложна** для моделирования на классических компьютерах – машинах Тьюринга, поэтому нужны принципиально «нетьюринговские» вычислители, которые позволят решить задачи моделирования всех классов физических процессов . Но что это д. б. за компьютеры-вычислители ?:

- интеллектуальные
- квантовые
- гибридные ?

Уточним формулировки: про что же «компьютерные науки»

- Объект КН – информация
- Предмет КН – средства обработки информации
- **Информация** – *informatio* (лат.): формирование, то есть процесс, в котором «форма» (структура) получает воплощение:
 - Цицероном *informatio* использовал для описания таких понятий как **идея**
 - св. Августин использовал словосочетание *informatio materiae*
в контексте процесса «**формирования материи**».
 - ISO 5127:2017 *information* - сообщение, порождающее значение (**СМЫСЛ**)
 - в теории передачи информации Шеннона - **значение $I = -\log P$**

Итак: 2) чем с точки зрения физики является «машина Тьюринга»...



Вопрос: Можно ли написать программу точного моделирования процесса на этом видео ?

Физика не может объяснить **объективное мыслимое существование того, что не воспринимается органами чувств или приборами**: суть проблемы

- 1) **вычислимость алгоритмов, реализуемых на МТ,**
- 2) **объяснимость результатов вычислений,**
- 3) **разрешимость множеств воспринимаемых данных**

Имеются как формальные (теоретические) , так и практические (природные) процессы , которые:

- 1) **не вычислимы на «МТ»**, то есть не доступны для программного моделирования на современных компьютерах за конечное время
- 2) а экспериментально полученные множества данных могут быть алгоритмически неразрешимы.

Далее на основе опыта работы СКЦ «Политехнический» СПбПУ попробуем пояснить как со всем этим можно «жить» и с пользой «использовать» ?

Воплощение «смыслов» в процессы компьютерных вычислений

«В начале было **Слово**»

Евангелия от Иоанна

«Все есть **число**»

Пифагор 570-490 до н.э.

вычисления **чисел**



вычисление **смыслов**

Эра конечных автоматов, вычисляющих числа с использованием программ-алгоритмов

Эра механических автоматов, исполняющих один алгоритм, вычисления

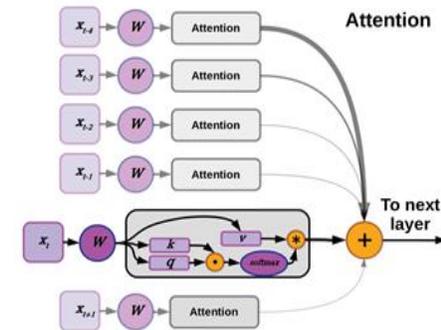


Алгоритм записанный на **естественном языке**, понятном человеку

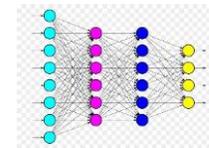
Алгоритм вычисления записанный **человеком** на **языке** «понятным» компьютерам



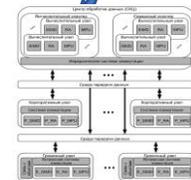
X-входные данные и описание заданий



Y-выходные данные - результаты



описание процессов на «языке данных»

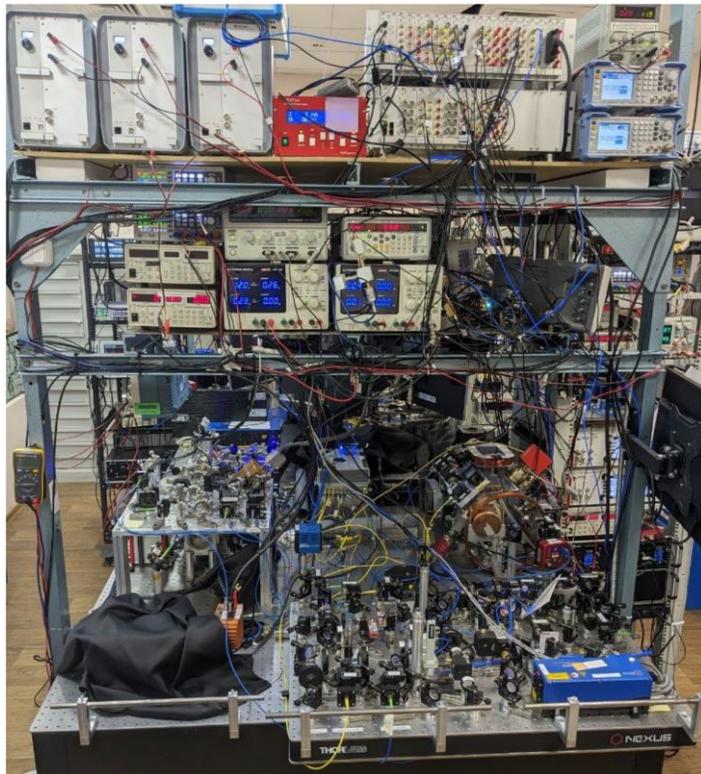


Описание процессов на «языке понятий»

Воплощение (реификация) продуктов мышления человека (программы) при в материально-вещественные формы – результаты вычислений

Квантовый суперкомпьютер (СК) из 20 кубитов – нам такое надо ?

2022 год



2023 год



Энтропия в физике и компьютерных системах

- В концептуальном отношении термодинамическая энтропия и энтропия Шеннона эквивалентны: число распределений молекул, выражаемое энтропией Больцмана, отражает количество Шенноновской информации, необходимое для реализации конкретного алгоритма вычислений. **Но есть различия:**
- **Во-первых**, энтропия, которой пользуются физики, выражается отношением энергии к температуре [Дж*К⁻¹], а энтропия Шеннона, используемая специалистами по **системам передачи информации**, – числом битов, т.е. величиной принципиально безразмерной.
- **Во-вторых**, приведенные к одним и тем же единицам измерения численные значения этих величин будут различны. Например, информационная энтропия микросхемы, хранящей один гигабайт данных, составляет около **10¹⁰** бит (1 байт = 8 бит), а термодинамическая энтропия той же микросхемы при комнатной температуре имеет порядок **10²³** бит.

Энтропия vs информация

Информация по Шеннону - мера уменьшения неопределенности, непосредственно связанная с воздействием, которое уменьшает **количество равновероятных состояний наблюдаемой системы, например с помощью «информационных воздействий» процессов вычислений по программе.** Таким образом, поступление информации в систему – это уменьшение ее энтропии:

$$\Delta I = -\Delta S$$

Соответственно, для системы с фиксированным количеством состояний (частей) и их степеней свободы

$$|I| + |S| = \text{const}$$

Величина константы определяется внутренней структурой системы.

Что такое информационное воздействие

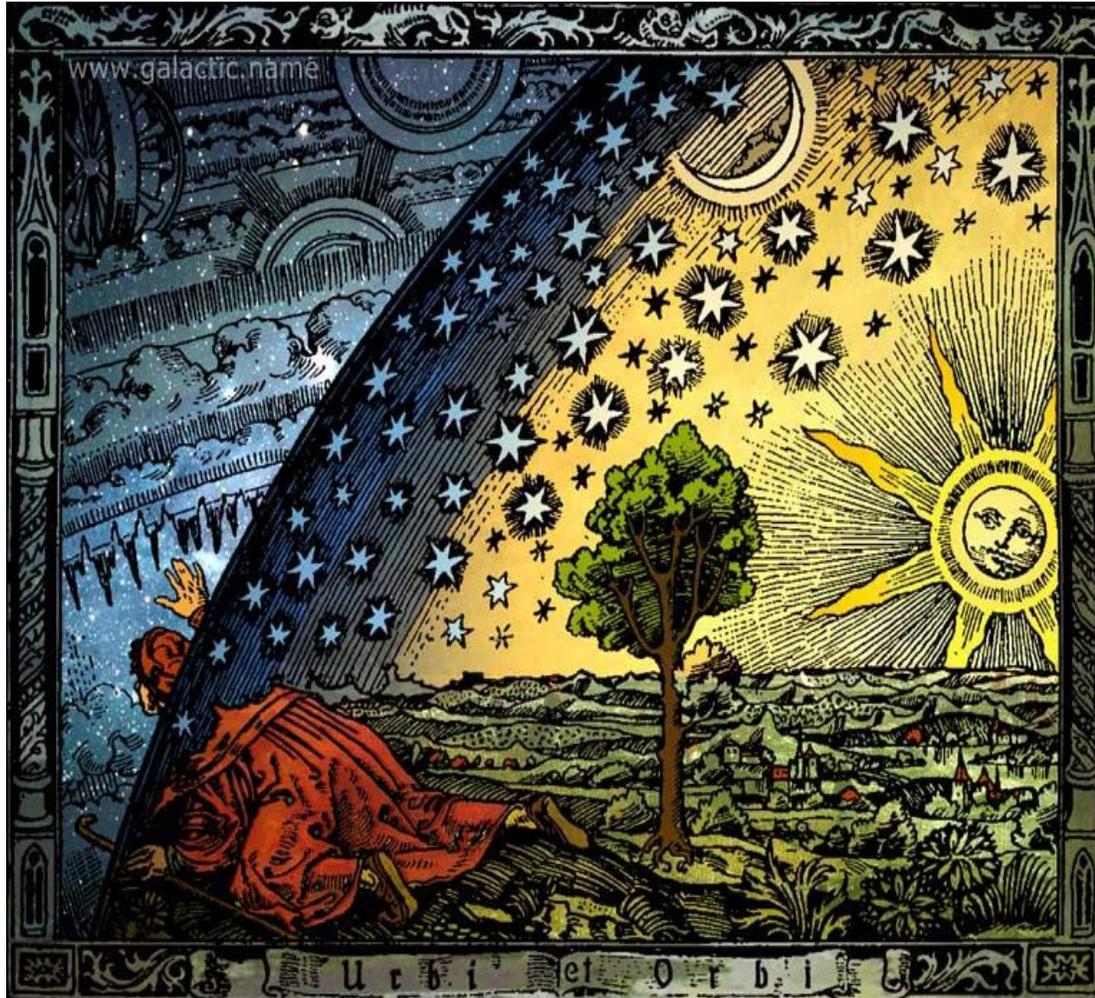
Далее будем называть информационным такое воздействие на систему, которое :

- **изменяет количество равновероятных состояний** в системе,
но при этом
- не изменяет количество частиц (компонент) системы;
- не изменяет общую энергию системы;
- не изменяет температуру системы.

Обозначим первоначальную энтропию системы как S_0 , а энтропию после информационного воздействия S_1 . Таким образом,

$$\Delta I = S_0 - S_1$$

Информационное как «Потенциально возможное»



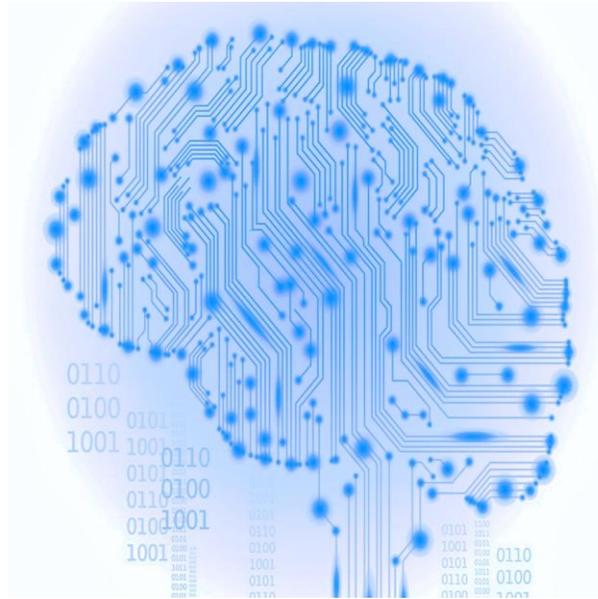
гравюра Фламмарiona

Суть «умного» подхода
компьютерных наук
СОСТОИТ В ПОИСКЕ
«количественные» модели
«потенциально возможного» ?

Часть 2 (по материалам ак. К. В. Анохина)

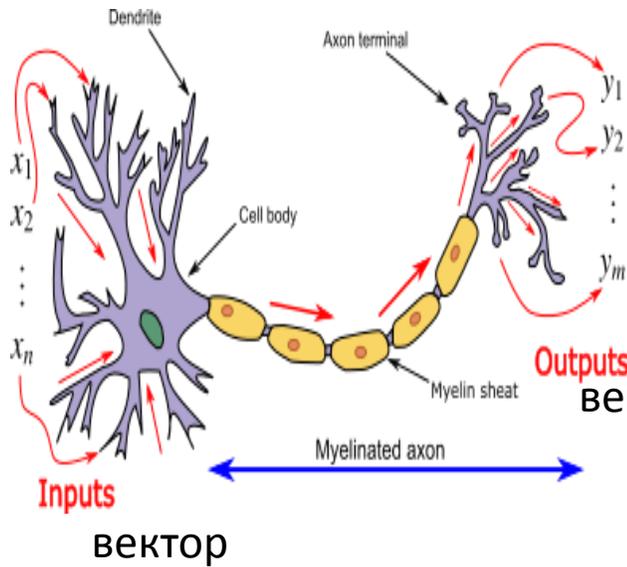
Человеческий мозг—самоприменимая сложная адаптивная система

Мозг состоит из приблизительно 90 миллиардов нейронов, которые структурированы триллионами взаимосвязанных синапсов. Модель нейроморфных вычислений предполагает выполнение вычислений биологически правдоподобным образом. Частью нейроморфных вычислений являются спайковые нейронные сети. Спайковая нейронная сеть (СН) является одним из кандидатов для преодоления ограничений нейронных вычислений и эффективного использования алгоритма машинного обучения в реальных приложениях.



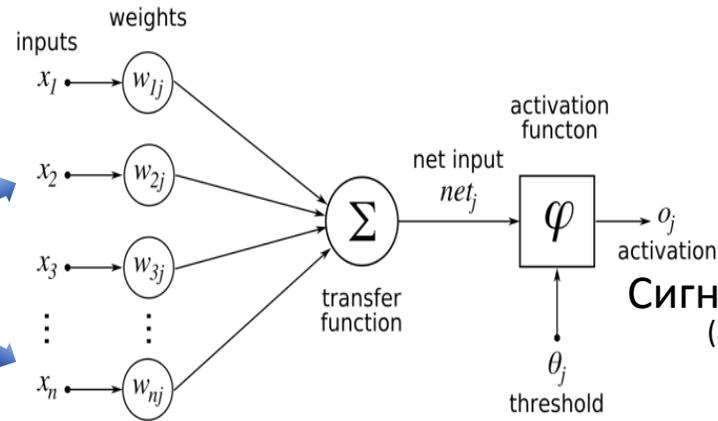
Spiking neural network, SNN) — третье поколение искусственных нейронных сетей (ИНС), которое отличается от бинарных (первое поколение) и частотных/скоростных (второе поколение) ИНС тем, что в нем нейроны обмениваются короткими (у биологических нейронов — около 1—2 мс) импульсами одинаковой амплитуды (у биологических нейронов — около 100 мВ). Является самой реалистичной, с точки зрения физиологии, моделью ИНС

Модели процессов фазовой синхронизации больших популяциях нейронов



Модель N1

{x}



Модель N1: искусственный нейрон

-параметрическая модель

Модель N2: искусственный нейрон непараметрическая модель

Сигнал активации y_i
(амплитуда, фаза)

вектор

Модель N2

$$y = \sum_{i=1}^N \alpha(q, k_i) v_i$$

«ядро» модели

где
 q – query -запрос
 k_i – key - ключ
 v_i – value – значение

$$\alpha(q, k_i) = \text{softmax}_i \left(\text{score}(q, k_j) \right)_{j=1}^N$$

Несколько сигналов активации нейронов м.б. фазово-синхронизированы – то есть соотношение их фаз не меняется со временем или фазы всех сигналов зависит от какой-либо одной детерминированной функции.

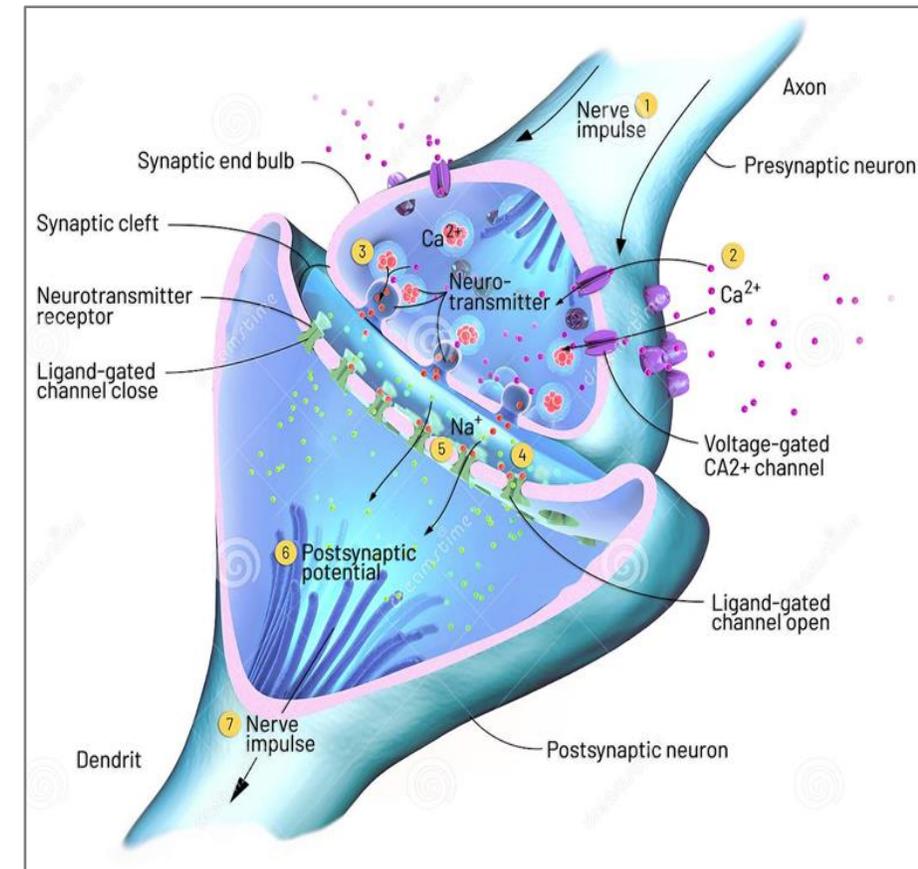
Синхронизированная активность больших популяциях нейронов является основным механизмом образования макроколебаний или ритмов. В этом случае каждый нейрон получает входные микросигналы {x} от других нейронов и «вычисляют» пороговую функцию выходного сигнала «y», которая передается в другие нейроны сети, а синхронизация фаз этих сигналов приводит к макроколебаний

1. Сигналы между нейронами имеют химическую природу

Nobel Prize of **1936** to Henry Dale and Otto Loewi «За открытия, касающиеся химической передачи нервных импульсов»

Nobel Prize of **1963** to John Eccles, Alan Hodgkin and Andrew Huxley «За открытия, касающиеся ионных механизмов возбуждения и торможения мембраны нервных клеток»

Nobel Prize of **1970** to Julius Axelrod, Ulf von Euler and Sir Bernard Katz «За открытия, касающиеся гуморальных механизмов передачи нервных импульсов химическими веществами - медиаторами, в нервных окончаниях».

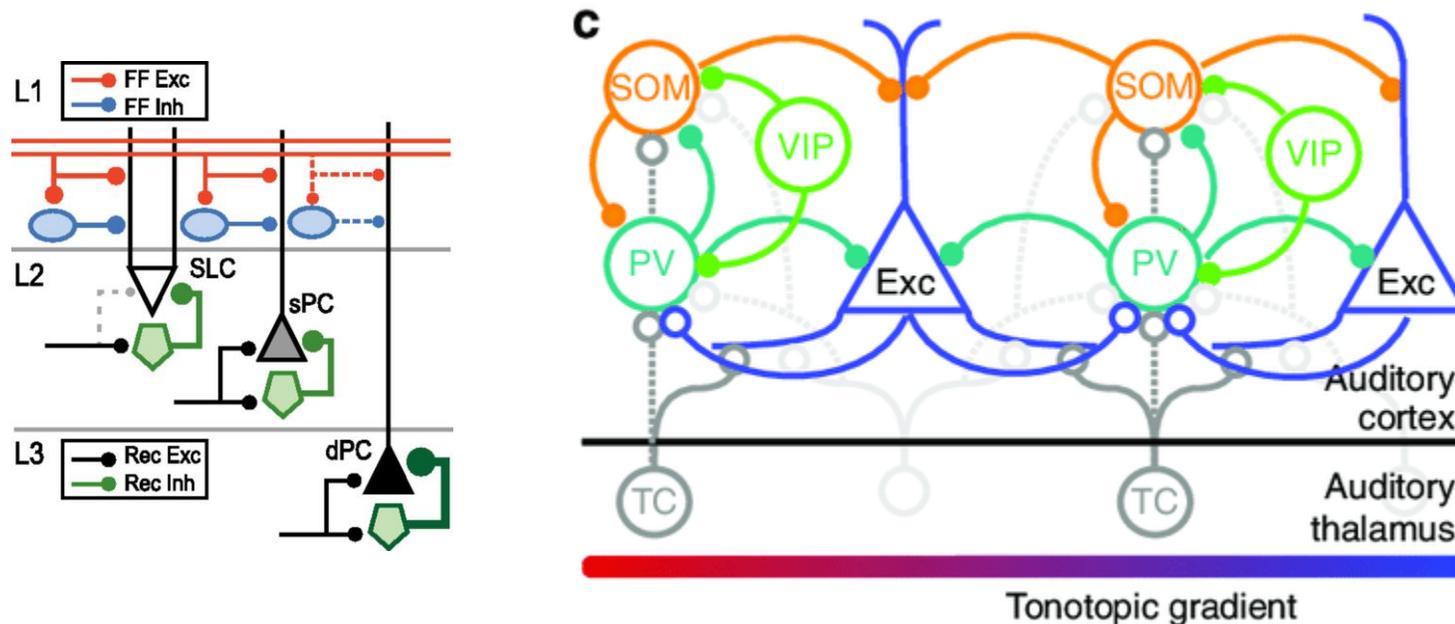


идея для применения в системах ИИ:

Химическое кодирование сигналов необычайно расширяет объем передаваемой информации, поэтому обмен информацией в ИИ системах можно реализовать как через с использованием значения «чисел», так и смысла «слов»

2. кодирование сигналов между нейронами

Используется два типа воздействий – активация и торможение, но не только по величине сигнала, а по его типу, при этом информация передается одними и теми же электрическими сигналами

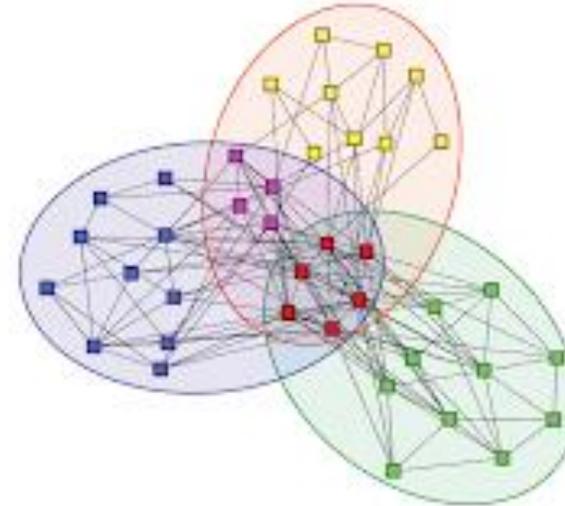
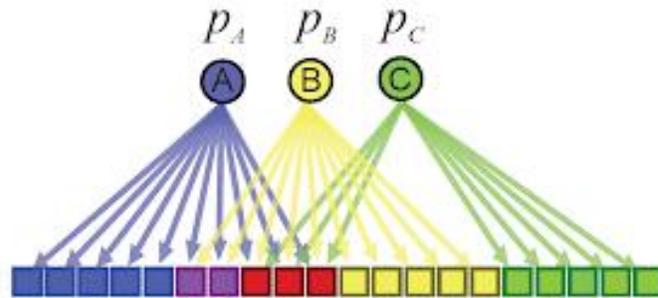


идея для применения в системах ИИ: :

В биологической нервной сети эти два типа эффектов создают огромный репертуар регуляторных цепей и механизмов, поэтому ИНС надо использовать как численные, так и лингвистические контуры управляющих воздействий

3. Многообразие виртуальных (химических) сигналов между нейронами

Нервная система использует «конечное» количество типов медиаторов - возбуждающий и тормозящий, которые способны кодировать десятки и сотни разных типов химических сигналов, образующих управляемые информационные суперпозиции

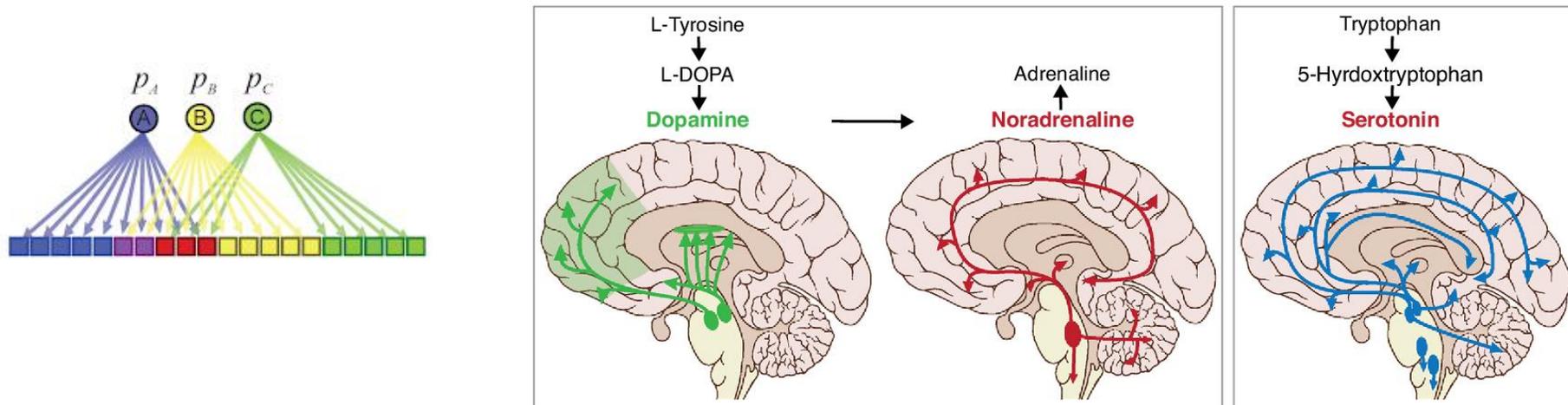


идея для применения в системах ИИ:

Необходимо кодировать как количество, так и качество передаваемой информации, например, используя «цвет канала»

4. Функциональное кодирование химическим типом сигнала

В режиме суперпозиции разные нейромедиаторы - сигнальные молекулы используются для кодирования не только отдельных сигналов, но и функциональных подсистем - носителей различных видов реакций и поведения

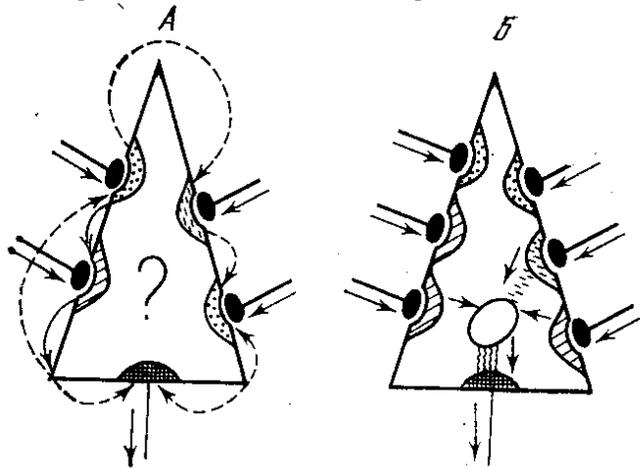


идея для применения в системах ИИ:

кодирование функций канала информации или «цветом канала» или «словом»

5. Нейроны интегрируют сигналы не только «на себе», но и «внутри себя» - режим «самоприменимости» результатов «вычислений»

Самоприменимость нейросетей – фактор, который позволяет каждой нервной клетке иметь два режима работы с информацией 'in/out', а также работать в режиме мультимодальной логики



мультимодальная логика сигналов, а именно:

- электрической (А)
- химической (Б)

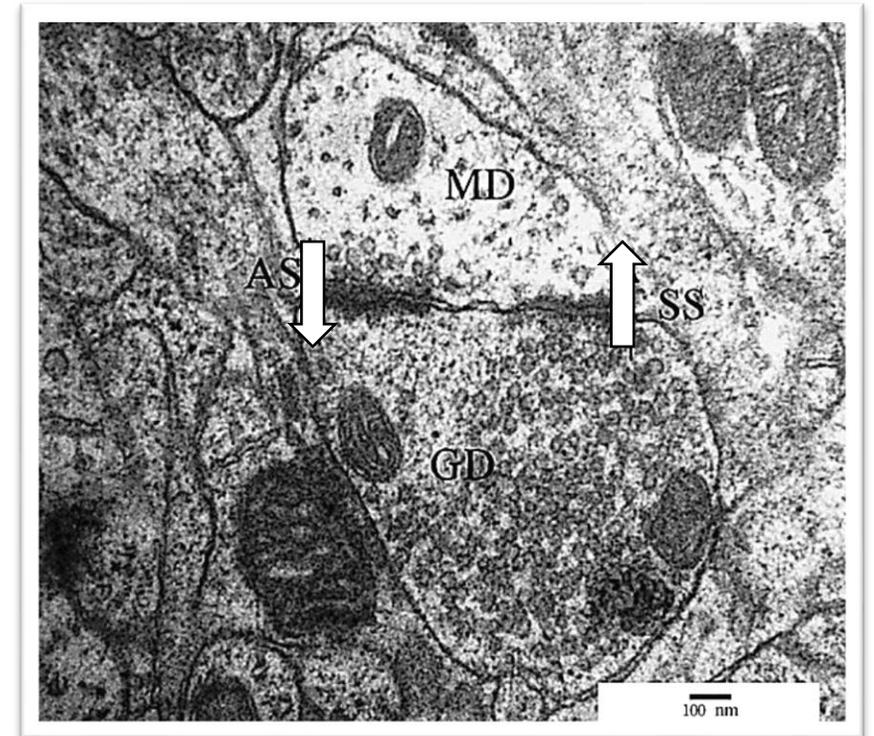
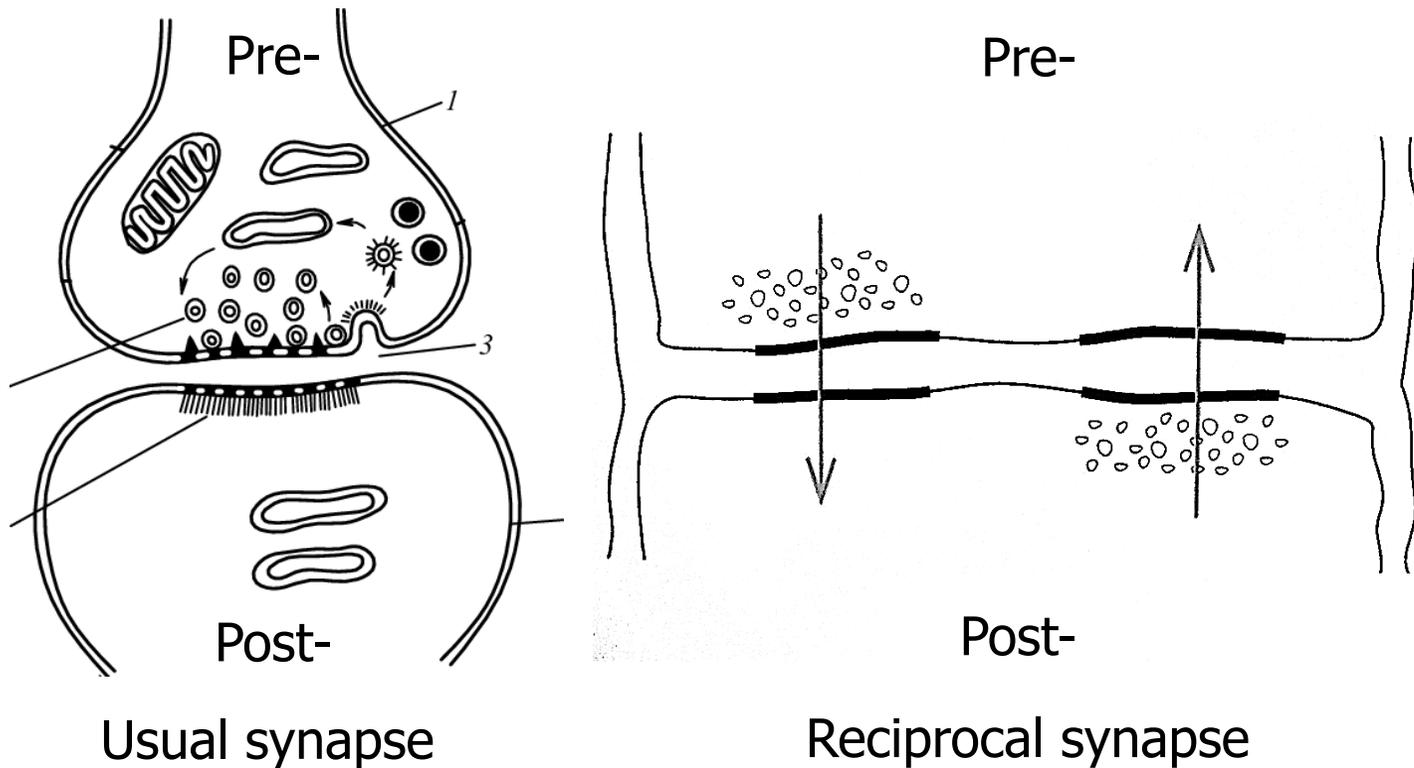
носители информации, генерируемых нейроном сигналов

идея для применения в системах ИИ:

Помимо суммирования электрических сигналов на поверхности, нейроны передают получаемые ими молекулярные сигналы внутрь клетки, интегрируя их в своей цитоплазме и ядре, собирая и используя информацию о произошедших событиях.

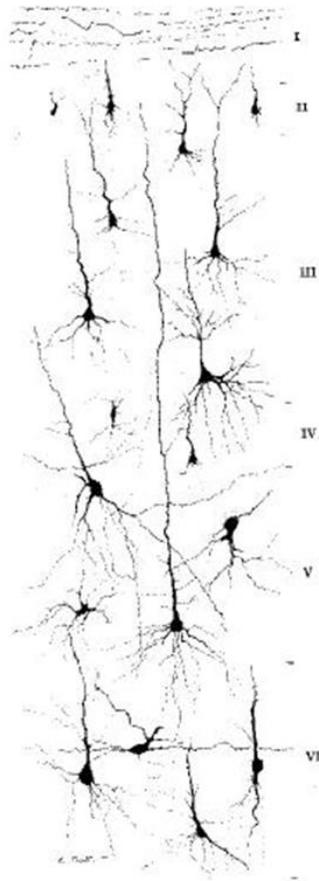
6. на уровне контакта двух нейронов существует обратное распространение сигнала от пост- к пресинаптическому нейрону

Реципрокные синапсы с двухсторонней передачей сигнала реализуют принципы «подчиненного адаптивного управления»



идея для применения в системах ИИ: соседние клетки/нейроны в нейронных сетях реализуют рекуррентные (циклические) локальные взаимодействия

7. Процессы отбора связей нейронов продолжаются и после рождения, под влиянием обучения, научения и воплощения опыта



Birth



Fig. 92. Drawings from Golgi-Cox preparations

2 years

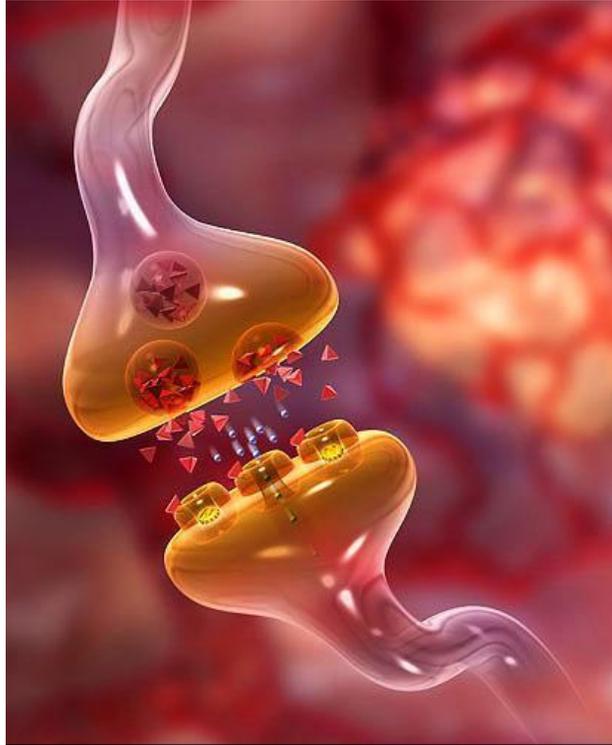


Fig. 116. Drawings from Golgi-Cox preparations

6 Years

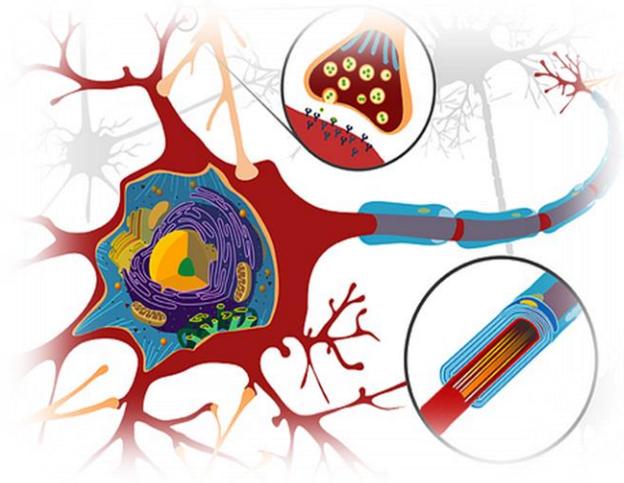
идея для применения в системах ИИ: постоянный встроенный отбор нейронов и связей, как механизм закрепляющий нужные сетевые структуры, параметры и функции

Специфические свойства биологической памяти по сравнению с компьютерной



- ❖ **Нерепрезентативность** - она не является точным отражением событий внешнего мира.
- ❖ **Реконструктивность** - ее воспроизведение является активным процессом самосборки нейронной системы.
- ❖ **Нерепликативность** - каждое ее следующее воспроизведение отличается от предыдущего, вовлекая перекрывающуюся, но отличающуюся популяцию нейронов и синапсов.
- ❖ **Рекатегориальность** - каждая ее новая реконструкция при воспроизведении проходит оценку идентичности на весах других, связанных с ней систем.
- ❖ **Реконсолидируемость** - каждая новая реконструкция подвергается запоминанию, сходному по своим механизмам с процессами исходного запоминания.

Специфические свойства биологической памяти по сравнению с компьютерной

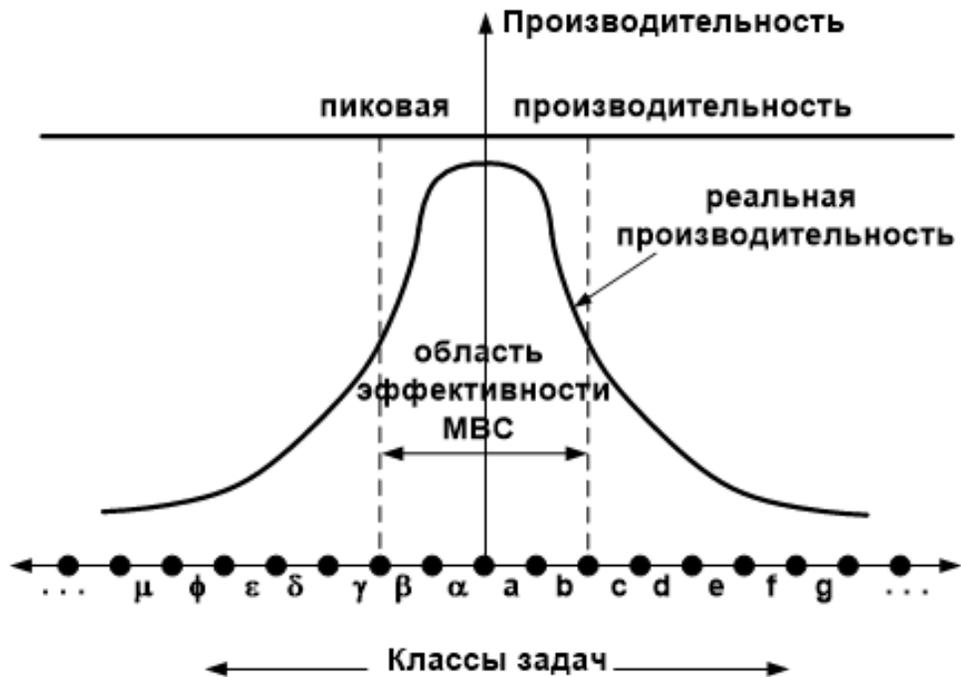


- ❖ **вырожденность** - одно и то же событие хранится в виде множественных неидентичных копий функциональной системы,
- ❖ **автоассоциативность** - разные копии одной и той же функциональной системы имеют связи с разнообразными другими системами за счет вырожденности набора входящих в эти копии нейронов,
- ❖ **реинтегративность** – целая система может быть извлечена из памяти по возбуждению небольшой части ее элементов,
- ❖ **репаративность** – система может восстанавливаться при повреждении части из ее элементов или даже части из ее копий.

Аппаратный аспект супер вычислителя

Проблема: Управление архитектурой ВС ... и машина Гёделя

Само-улучшающийся *Сверхразум* спровоцирует взрыв интеллекта @математик Ирвинг Гуд, 1956



- Проблема: Управление архитектурой ВС для увеличения производительности ВС на широком классе задач.
 - Можно ли СК «обучить» одинаково эффективно решать различные задачи ?
 - Как изменять архитектуру ВС «под задачу»?
 - Как должны быть построены вычислительные системы для возможности адаптации архитектуры?
 - Кто должен обучать СК (управлять архитектурой)?

Машина Гёделя - компьютер, который *переписывает* любую часть своего кода, как только находит доказательства того, что такие изменения полезны (имеются: зависящая от задачи функция выгоды, свойства аппаратного оборудования, исходный код задачи).

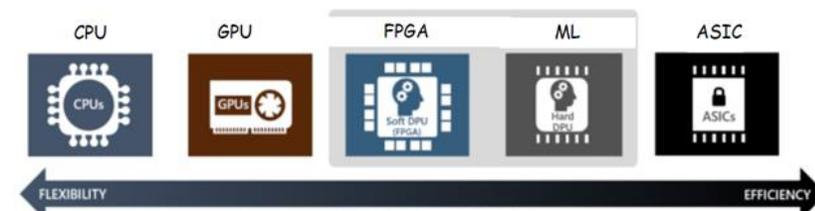
Выделяется: ПО прикладное – решаемые задачи и ПО «Искатель Доказательств» - исходный код машины Гёделя: «Искатель Доказательств» тоже может быть переписан.

Адаптация архитектуры вычислительной системы «под задачу» Современный подход

«Умнее» (управление архитектурой и локальная память) ,
а не «Толще» (больше ядер и выше частота)

«Умные» вычислительные системы, должны иметь :

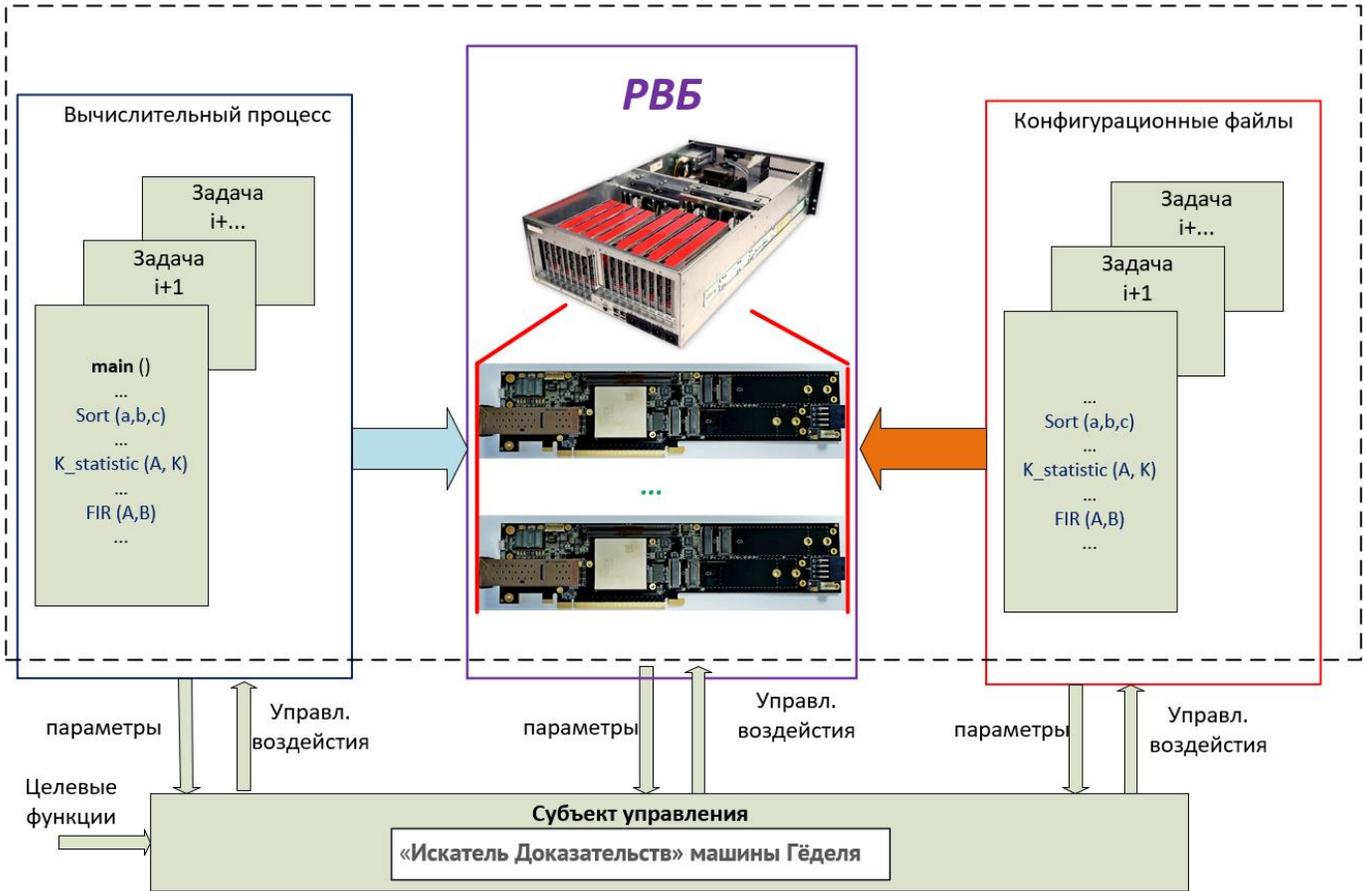
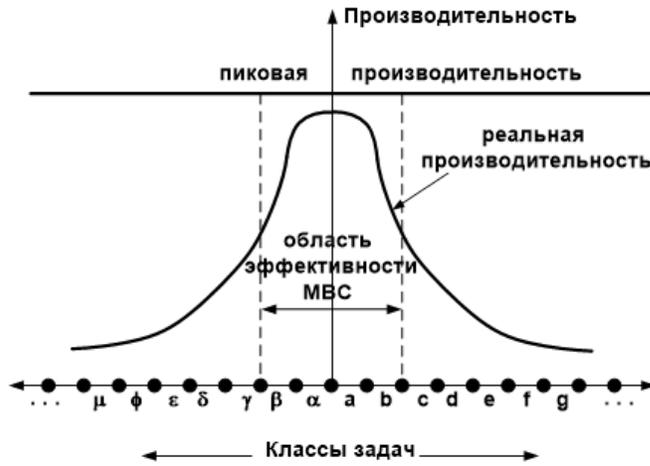
- Распределенную, гетерогенную (мульти-компонентную) и адаптируемую (реконфигурируемую) на аппаратном уровне архитектуру
- Реконфигурируемую под структуру потоков данных задачи сверхбыструю локальную память (с произвольным доступом, ассоциативную, долговременного хранения) большого объема.



Управление на аппаратном уровне архитектурой вычислительной системы, включая структуру локальной памяти осуществляется «Искателем Доказательств» машины Гёделя – системой ИИ осуществляющей

- Выбор «требуемой» из «возможных» (заранее собранных) архитектур для решаемой задачи – «Слабый ИИ»
- Построение оптимальной для решаемой задачи архитектуры вычислительной платформы – «Сильный ИИ»

Вычислительный узел



Машина Гёделя - компьютер, который *переписывает* любую часть своего кода, как только находит доказательства того, что такие изменения полезны .

Управление процессом вычислений осуществляется на основе реализации процедур «обучения» компьютера «решать» различные задачи:

- на аппаратном уровне – реконфигурировать ресурсы вычислительной платформы по алгоритму конкретной задачи
- на программном уровне - управлять «траекторией» алгоритма решения задачи в пространстве аппаратных возможностей вычислительной системы

Структура РВБ и пример использования в СКЦ Политехнический

- Пользователь готовит текст описания задачи для решения на СКЦ на естественном языке (словами и цифрами), например, решить СЛАУ 4×4 с матрицей A и вектором .
- СКЦ «трансформер» класса GPT обрабатывает описание задачи и генерирует исходный код программы ее решения, например на языке C++
- Из кода программы C++ генерируется код конфигурационного файла («прошивка») FPGA в РВБ
- С использованием МПВ конфигурационный файл загружается в FPGA



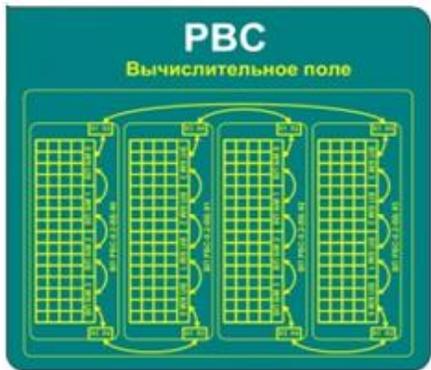
Иерархия локальной памяти РВБ *(будет дополнен)*

«....Реконфигурируемая вычислительная система» СКЦ Политехнический Реконфигурируемые вычислительные платформы. Гранулярность.

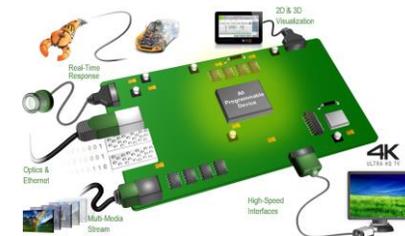
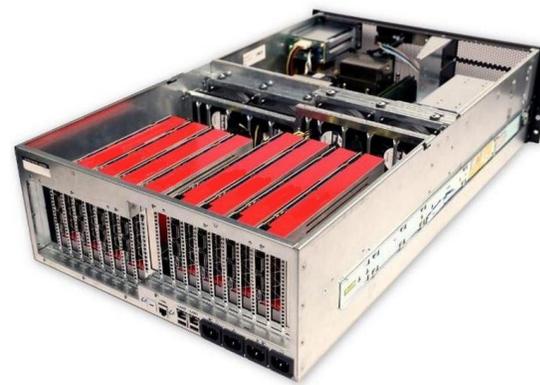
Гранулярность (или размер зерна) реконфигурируемого вычислителя

- мера объема работы,
- мера издержек связи между процессами (элементами обработки).

Крупно-зернистые архитектуры



Средне и Мелко-зернистые архитектуры



Стойка Терциус-3 НИЦ Супер-ЭВМ
Декабрь 2022

Системы, созданные с партнерами (СТЦ)

Что разработали с партнером - ООО СТЦ

Универсальная реконфигурируемая платформа X3

- FPGA Xilinx Kintex UltraScale 115 – 4 шт.
- DDR4 – до 32 Гб на каждый FPGA
- Поддержка OpenCL



Универсальная реконфигурируемая платформа A5

- FPGA Xilinx Kintex UltraScale 115 – 1 шт.
- DDR4 – до 32 Гб.
- QSFP+ - 2 шт.
- NVMe PCIe 3.0 x16 – 4 шт.
- Поддержка OpenCL
- Поддержка языка P4



Материнская плата

- Моделирования сетевой топологии
- SmartNIC – программно-определяемый ускоритель для обработки сетевых пакетов
- Оптимизации хранения данных

**Применяется в алгоритмах
построенных по схеме
«разделяй и властвуй»**

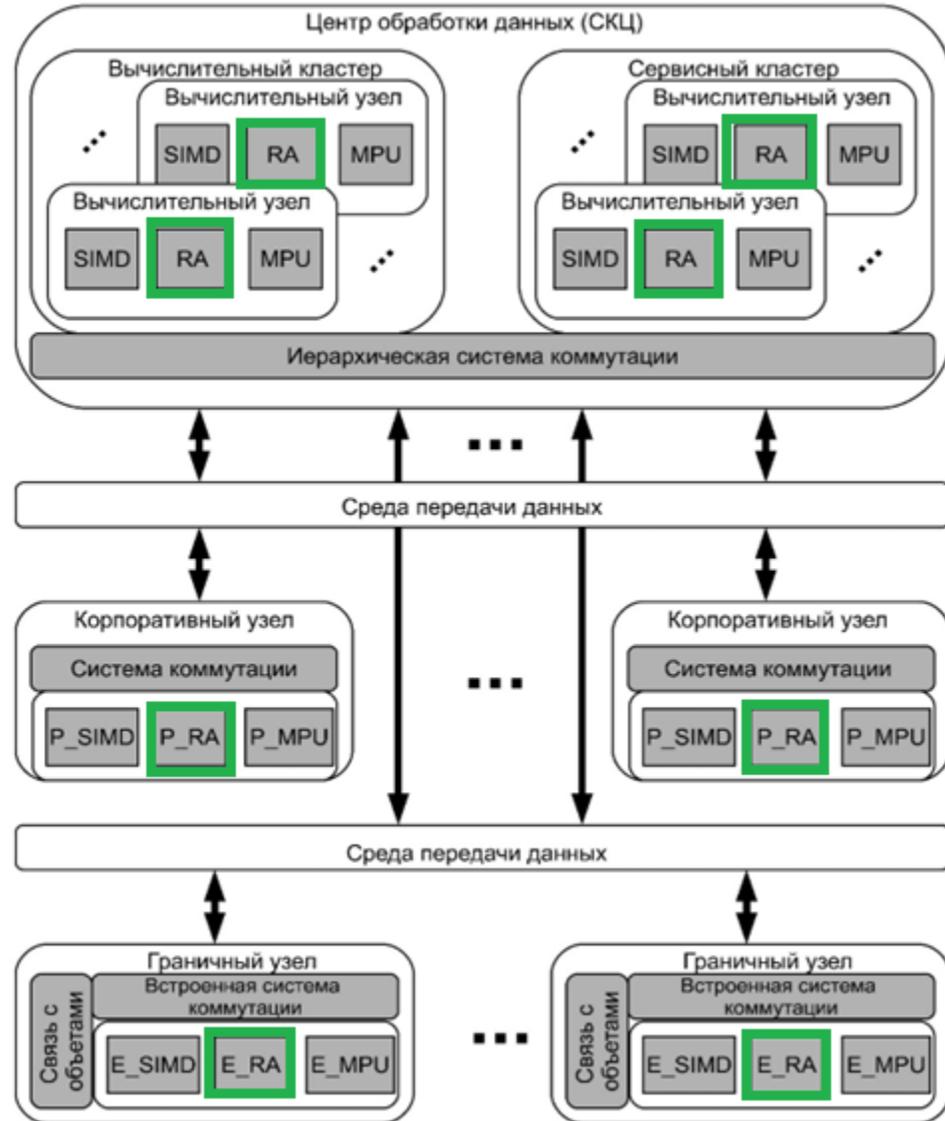


«Распределенная гетерогенная....» СКЦ Политехнический

Уровень «объяснения» и
«моделирования»
>4 Гфлопс/Вт

Уровень «агрегации»
>10 Гфлопс/Вт

Уровень доступа и
предобработки
«больших данных»
>20 Гфлопс/Вт



Выводы

В настоящее время компьютеры и системы на базе ИНС не реализуют все известные особенности функционирования мозга. Современные ИНС построены на **выявлении корреляций между входными данными** при их фиксированном распределении и соответствующих состояний нейронов. Но эти корреляции не отражают причинно-следственную связь (**супервентность**) между паттернами данных и состоянием ИНС.

Сформированные на основе корреляций объяснения не выявляют причин, которые вызывает наблюдаемые на «механистическом уровне» процессы, что может привести к неправильным обобщениям и искаженному пониманию происходящего. Предсказать редкое или нетипичное поведение модели возможно, но для этого **понадобится объединение корреляционных, информационных и механистических (физических) моделей.**

Почему же мозг – супер вычислитель, а современный суперкомпьютер не цифровой мозг? Это потому, что «Машина Тьюринга» как формальная алгоритмическая система согласно теоремам Геделя - не самоприменима»

Спасибо за внимание!

