



КАФЕДРА
ТЕЛЕМАТИКА

История и методология математики и компьютерных наук

Тема 3.
Методология компьютерных наук.

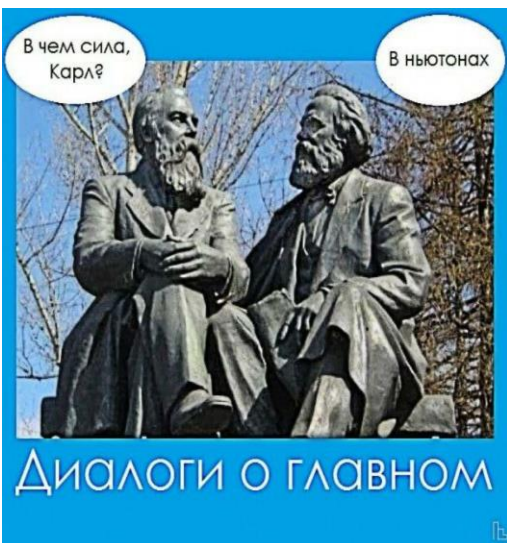
**Лекция 8 Проблемы сложности и эффективности
вычислений**

27 октября 2022 г.

Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

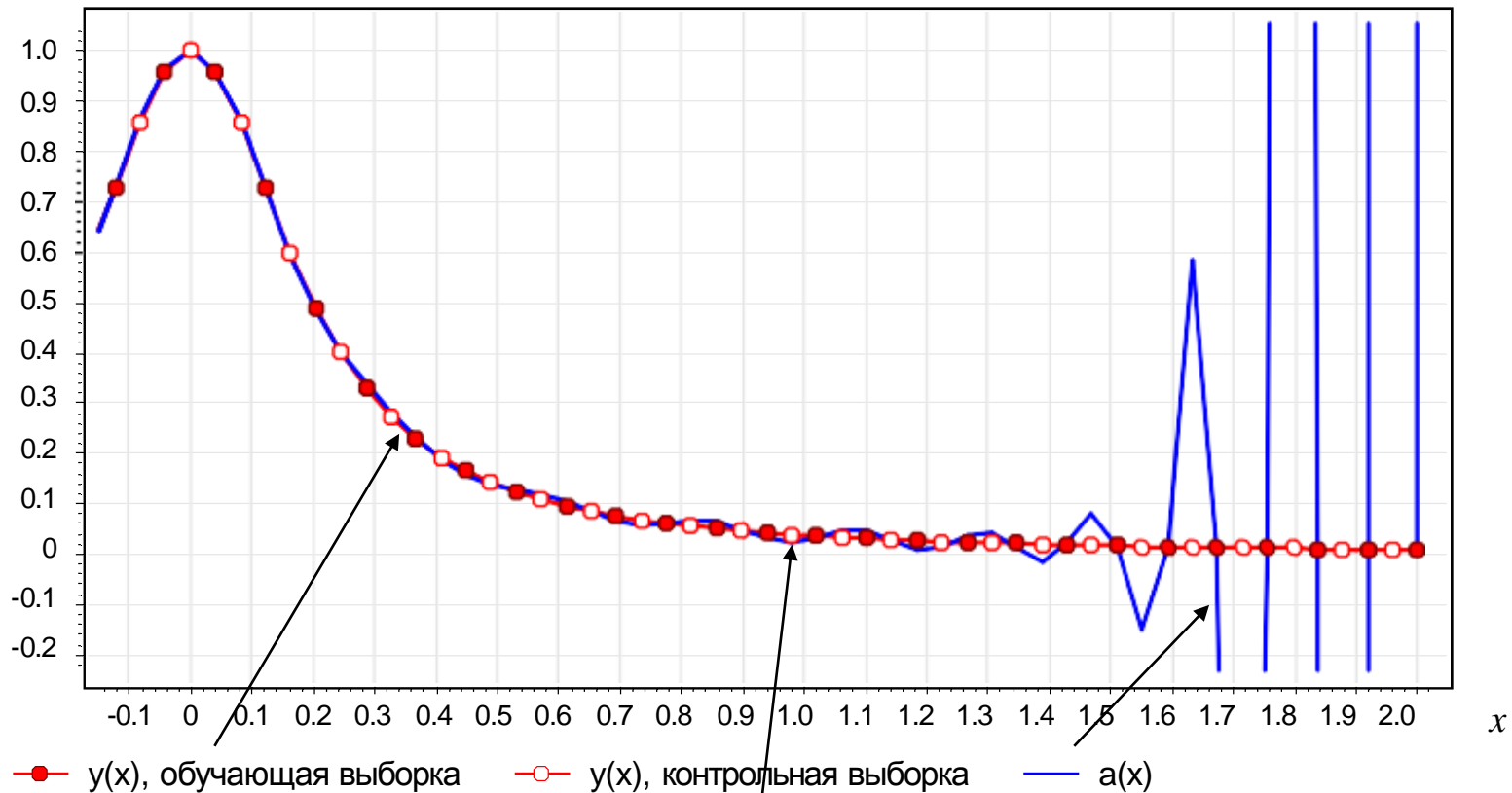
Что было на прошлой лекции



- Основа МО – разработка инструментов для поиска рациональных решений. Однако, возможности явного (формально-символьного) представления алгоритмов описания «мира» ограничены (см. Теоремы Геделя)
- Специфика информационных процессов в том, что один и тот же процесс может быть реализован «в материи» принципиально разными способами. Например,
 - сумму двух чисел можно найти при помощи электронного калькулятора, деревянный счёт, счётных палочек,
 - Книгу можно получить в бумажном виде по почте или в электронном виде по электронной почте.
- Любая попытка «заземлить» информационный процесс в материальную составляющую, сказав, что «сложение двух чисел – это не что иное, как перемещение деревянных костяшек по железным направляющим» обречен на потерю смысла. и, следовательно, на снижение «эффективности» в целом...

Пример «частичной рациональности» процессов МО

$y(x) = \frac{1}{1 + 25x^2}$; для «приближения» функции $y(x)$ по 50 точкам – обучающей выборке используется полином $a(x)$ – степени $n = 38$



«Мировая линия» эволюции КТ: от программных автоматов к «умным» вычислительным платформам

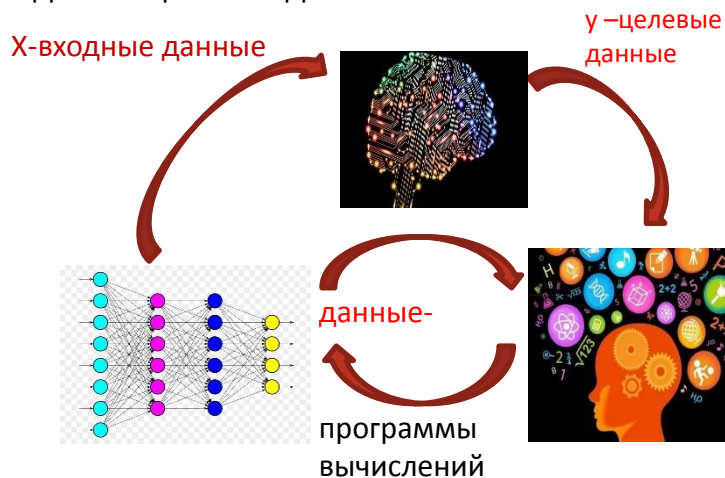
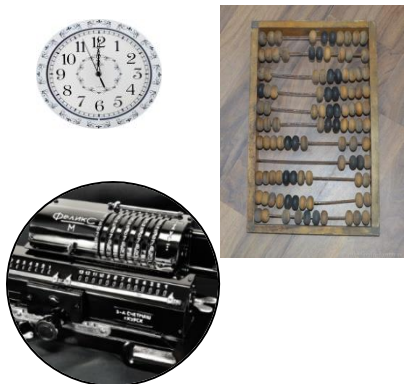
Физика достигла таких высот, что мы можем вычислить даже то, что невозможно себе представить
Л. Ландау

Эра
механических автоматов, исполняющих алгоритм, представленный в структуре самого «вычислителя»

эра
конечных автоматов, которые реализуют заранее составленные программы вычислений

эра
«умных» компьютерных платформ, которые реализуют алгоритмы вычислений, формируемые «в процессе» обработки входных и целевых данных

Программа – мыслимая последовательность команд вычислений



«Углеродный след» развития суперкомпьютерных технологий: TOP 500

год	число ядер	$R_{реак}$, ПФлопс	R_{max} , ПФлопс	эл. мощность, МВт
2022 Frontier	8,700,XXX	1680.XX (1.7 ЭФлопс)	1100.XX (1.1 ЭФлопс)	21
2020 Fugaku	7,300,XXX	513.XX	415.XX	28
2010 Tianhe-1	186,XXX	4.7X	2.6X	4
2000 ASCI Intel	9,6XX	0.03	0.02	-

- 1 кг угля -> 3 кВтч = 0.003 МВтч
- 1 тонна угля -> 3 МВтч

21 МВт -> 21/3 =

- 7 тонн в час
- 168 тонн в день
- 60480 тонн в год

Вся Европа потребляет

400
000 МВт.

По линии электропередачи (500 кВ) можно передать

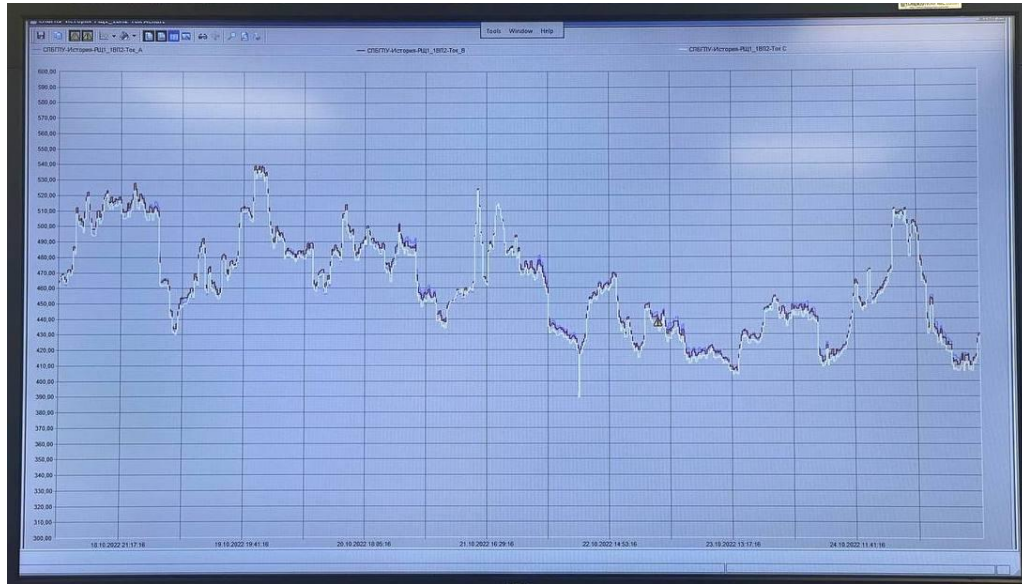
500 М
Вт

Проблемы:

- **УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ** вычислений так, чтобы **снизить ПОТРЕБЛЯЕМУЮ МОЩНОСТЬ** и, следовательно, уменьшить «углеродный след цифровизации»)

Цифровые технологии потребляют уже 12% всей вырабатываемой в мире энергии. «До 60% всей используемой в мире энергии тратится впустую» |

ГРАФИК ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛ. МОЩНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАНИЙ



Ошибки ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАНИЙ

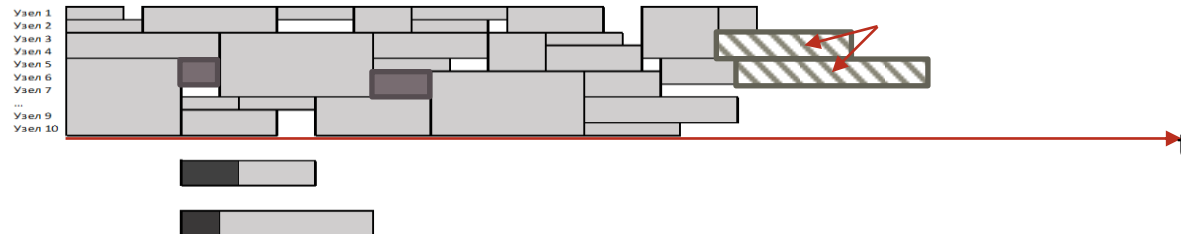
ПРИВОДЯТ К НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАГРУЗКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Новая стратегии развития КТ:

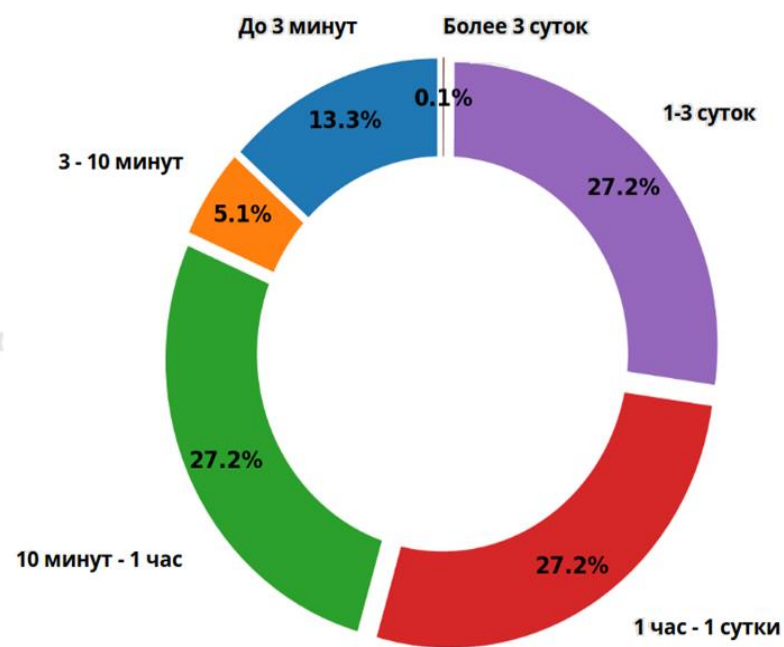
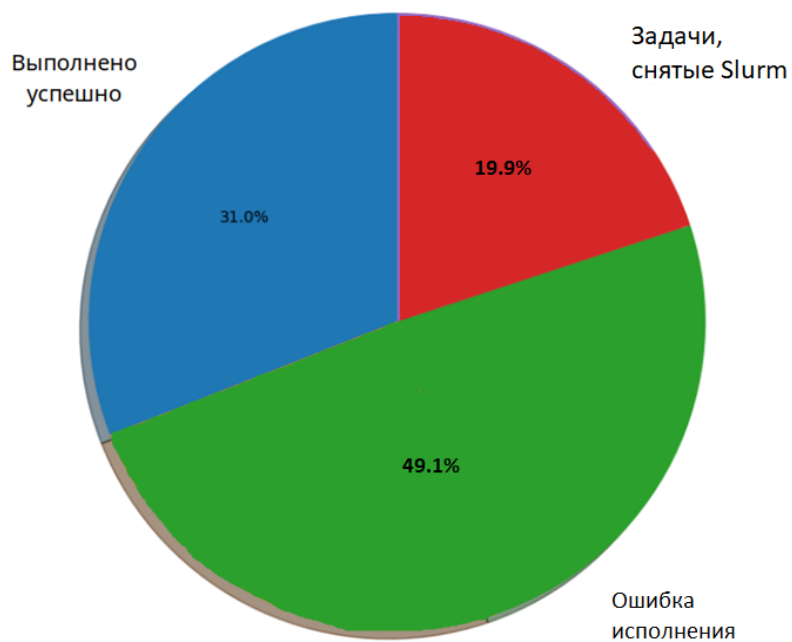
Less Moore, More Brain
Меньше Мура, Больше Мозга

«More Brain» – это как и ...куда?

«визуализация» очереди исполняемых заданий в узлах кластера :



Мотивация перехода к «умным» решениям. Статистика «выживания» и продолжительности

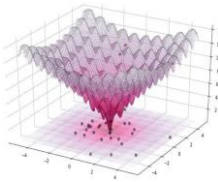


«Успешно выполнено» - составляет **меньше 1/3** от общего числа обработанных заявок пользователей

«More Brain» - ЭТО КАК – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ «МЕТРИК»

Так как запуск задачи пользователя на исполнение не гарантирует ее успешное завершение, нужны метрики «умных» решений:

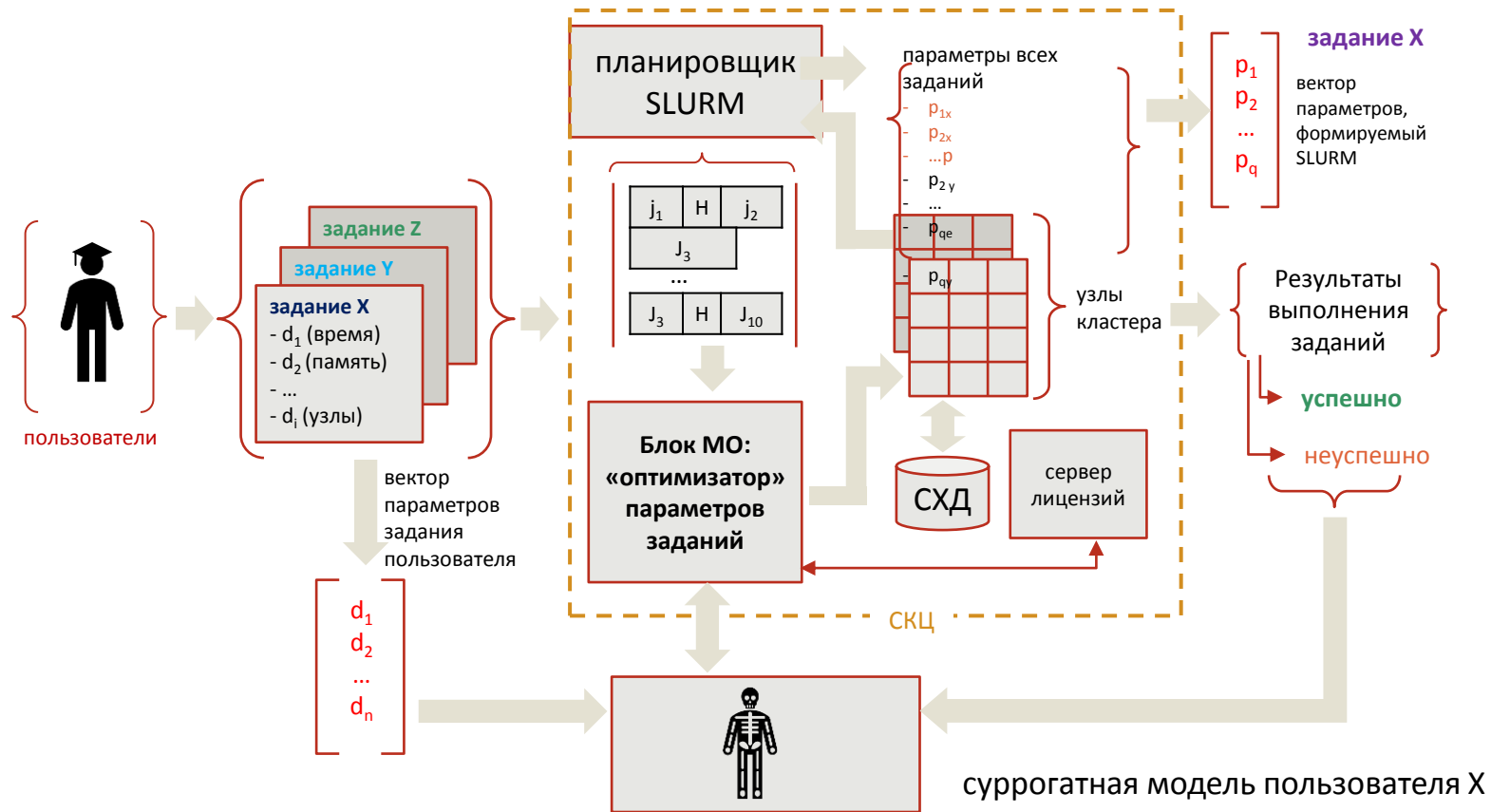
- **«тонкая» настройка** заданий пользователей с использованием механизма внимания, когда каждому параметру задания ставится в соответствие «эмбединг» вектор внимания
- **«объяснимость полученных результатов»** (успешное завершение, снятие диспетчером, ошибка в процессе выполнения)



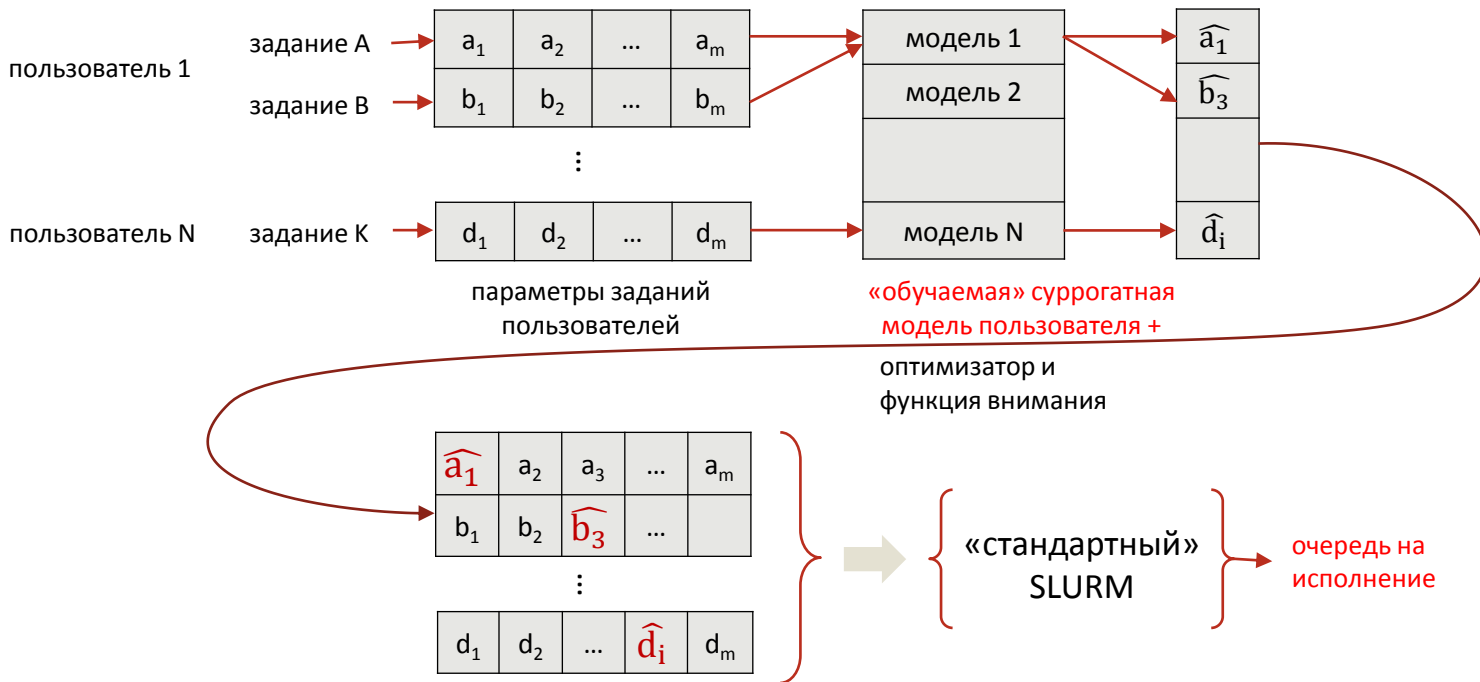
Необходимо использовать также **метрики производительности** СК, которые позволяет определять какие:

- параметры заданий **следует принять**, чтобы **повысить вероятность «выживания»** задания в процессе его исполнения
- стратегии исполнения заданий **могут обеспечить равномерную загрузку** имеющихся аппаратных ресурсов СК

Вариант решения “more brain” с использованием блока «ОПТИМАЛЬНОГО» предсказания параметров заданий пользователей



Процессное описание очереди заданий в блоке «оптимизации»



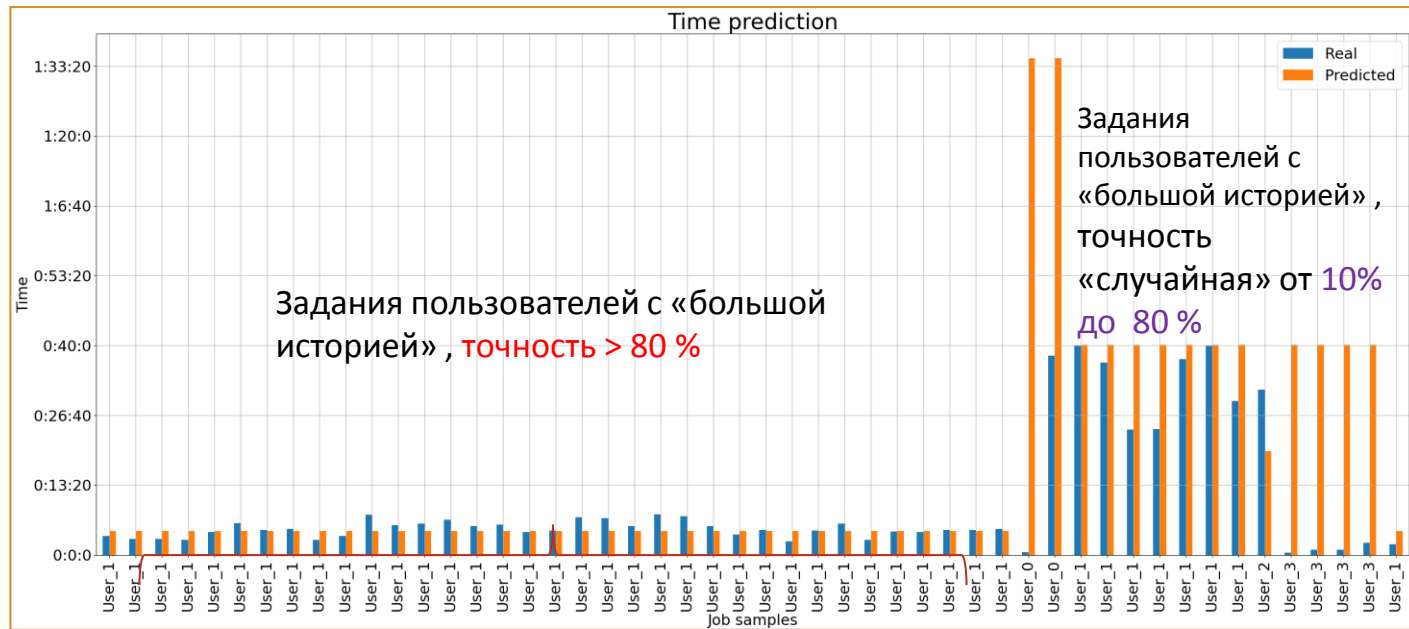
В рассматриваемом контексте «More Brain» означает, что СК приобретает некоторую «активность» в результате: не только исполняет код программы, но и непрерывно «строит» модель «суррогатную модель пользователя», корректируя на основе полученного опыта (см. слайд б) входные данные для системы SLURM

«баланс» алгоритмов : критерии на основе функции внимания к входным параметрам заявки с точки зрения вероятности «выживания» задания

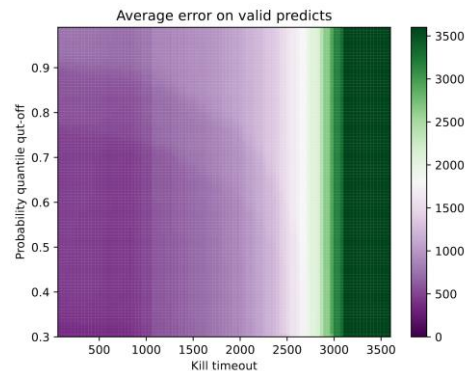


Результаты предсказания времени выполнения заданий для разных категорий пользователей

Вывод:
 «суррогатная модель пользователя», существенно влияет на корректность построения очереди задний на исполнение и....следовательно на эффективность работы СК системы в целом



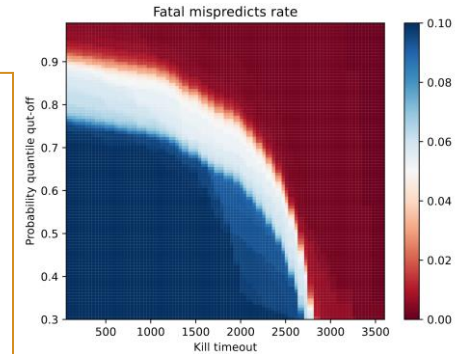
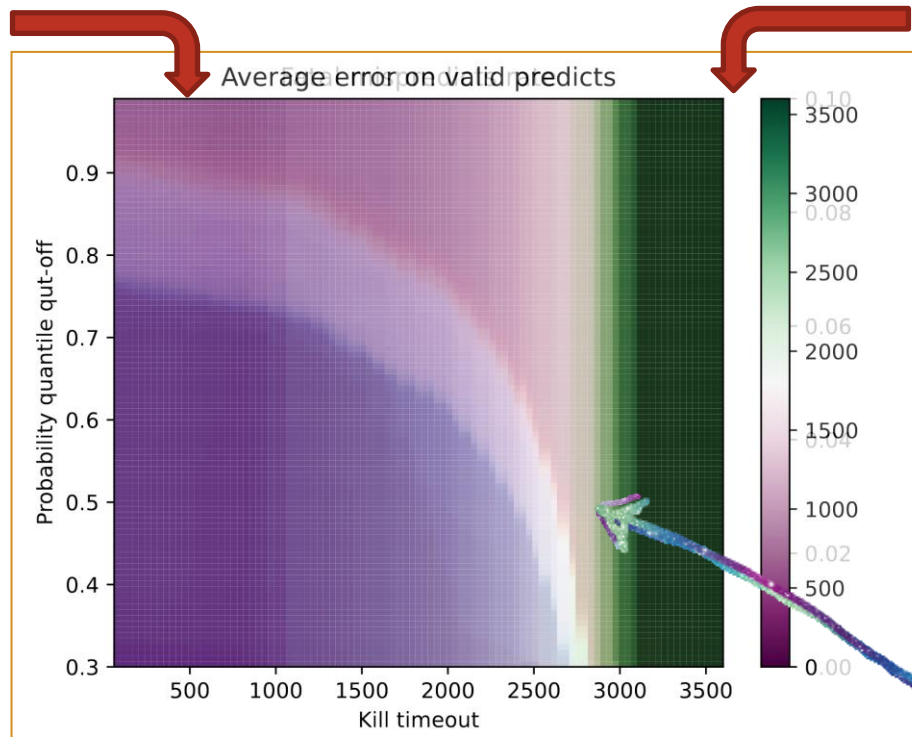
«устойчивое неравновесие» ошибок предсказаний



Комментарий:

Слева – средняя ошибка «**правильных**» предсказаний (время равно или больше фактического)

Справа – доля «**неправильных**» предсказаний (с занижением времени выполнения)



Комментарий:

В качестве критерия «выживаемости» заданий нужна функция «засорения» множества «правильных» множеством «неправильных» ошибок

Область «устойчивого неравновесия» имеет «розовый цвет», а ее границы выделены красным контуром)

Вывод: Требуется динамическая корректировка параметров приоритета заданий

Что из этих данных следует

1. Существующие методы машинного обучения СК **не стоит переоценивать**, однако их «корректное» использование **позволяет реально повысить эффективность** работы СК платформы, если в систему управления исполнения заданий включить «обучаемую» суррогатную модель пользователя.
2. Задача **«обучения» СК точному планированию времени** поддается эффективному решению, но требует встраивания в контур исполнения заданий «умного» блока (с точки зрения выбранной политики выполнения заданий) **оценки корректности данных**, представленных пользователем.
3. Так как пользователь непрерывно взаимодействует СК платформой и постоянно совершенствует свой собственный опыт, основываясь на результатах вычислений с учетом значений выбранных параметров заданий, то суррогатная модель должна носить объяснительный характер и учитывать **фактор «внимания» (мульти-внимания)** по отношению к вектору параметров исполняемого задания
4. Эффективная работы «умного» блока **требует постоянного уточнения «суррогатной модели пользователей»** СК платформы, поэтому для использования «умного» блока оценки времени исполнения для других СК платформ необходимо проводить процесс «дообучения» моделей с учетом конкретного разнообразия классов решаемых прикладных задач

Информация результат измерения (воздействия) или восприятия (наблюдения) ?

- Измерение – это процесс, который доставляет информацию об объекте путем воздействия на этот объект. Информация обретает форму «числа» – как элемента «поля», операнды и операции на котором заданы заранее.
- Восприятие мира живыми организмами определяет процесс их познавательной деятельности - эффективное действие, извлечения информации из окружающей среды.
- «Добыванию информации» происходит «без разделения на производителя информации и результат». Так, биологическая клетка сама производит компоненты своей мембраны, получая информацию и материал для «строительства» из окружающей среды.
- Это т.н. аутопоэзис. Аутопоэзная организация обработки информации служит критерием, определяющим возможность самоорганизации и следовательно, перехода в новое фазовое состояние материи , которое называется «жизнь».

Информация как суть ... процесса ...познания

- Поведение живых существ в целом следует понимать не как взаимодействие со средой, но как поддержание определённого внутреннего согласования между сенсорной и моторной деятельностью.
- У многоклеточных организмов для реализации этой сенсомоторной корреляции существует нервная система, расширяющая область поведения по сравнению с прямыми сенсо-моторными связями у одноклеточных.
 - Так, отдергивание руки от боли, с точки зрения самого организма — лишь восстановление определённой корреляции между сенсорными и моторными нейронами после внешнего воздействия на первые.
 - Внешние воздействия лишь модулируют постоянно поддерживаемый внутренний баланс сенсомоторных корреляций, но не определяют его.
- Образ объекта как некоторая фигура не возникает на сетчатке глаза, чтобы затем передаётся дальше по каналам нервной системы в мозг. Формируемые в глазу сигналы лишь вносят вклад в внутренние циклы нейронных взаимодействий.
- «компьютерная метафора», называющая мозг устройством для обработки информации, скорее всего не точна: нервная система не получает «информацию» из окружающей среды, а
 - ...создаёт мир, так как именно состояние нервной системы определяет, что будет считаться её «возмущением» и какие внешние изменения его вызывают. Критерий знания среды — эффективное поведение, поэтому любое поведение можно рассматривать как **КОГНИТИВНЫЙ АКТ** познания с целью сохранения своего существования.

Информация как эпитоп эффект всеобщего свойства отражения

- Между организмами и любыми сложными системами могут возникать постоянные взаимодействия, что приводит к образованию структурного сопряжения третьего порядка (первое – между объектами – это физика, второе – между многокомпонентными структурами – это информатика).
- На уровне третьего порядка образуется сеть ко-онтогенезов (социальная организация). Механизм такого сопряжения – обмен веществами, которые контролируют дифференциацию функций и выживание отдельных особей.
- Итак любая коммуникация – «координированное поведение, которое обеспечивает некое «социальное единство».
- В таких коммуникациях нет «передачи информации» в смысле Шеннона: так как сообщения формируются внутренними процессами, а не внешним воздействием;
- «феномен коммуникации зависит не от того, что передаётся, а от того, что происходит с тем, кто принимает передаваемое».

сознание – эмерджентный эффект отражения

- Коммуникативное поведение, сформировавшееся в результате обучения, можно назвать лингвистическим поведением. Лингвистическое поведение происходит в лингвистическом пространстве (поле - всех вариантов лингвистического поведения), возникающем и изменяющемся в коллективном коонтогенезе.
- Лингвистические поля есть и у животных; но когда сами элементы лингвистического поля, само лингвистическое поведение в свою очередь становятся объектом скоординированных рефлексивных лингвистических действий — возникает язык.
- Вместе с языком, как областью описания описаний, возникает и наблюдатель: язык, позволяя пользующемуся им описывать лингвистическую деятельность и её участников, делает возможным появление рефлексии и (само)сознания (так, «условия для появления понятия своего „Я“» могут возникнуть, например, когда объектом «наблюдения» становится имя другого человека).
- Люди сами в процессе познания создают окружающий мир, который доступен им в результате восприятия и измерения. Такое «сотворение мира» люди осуществляют совместно с другими людьми, в коллективном пространстве языка. Без социальности, не может быть появится homo sapience.

случайность vs закономерность !?

$0 < p < 1$: случайность

$P=0$ – невозможное событие

$P=1$ – достоверное событие

Случайные события «дискретны» и просты
– процесс Пуассона

Процесс со случайными (не
рациональными) взаимодействием
непредсказуемы

Ключевое положение: От того, что вы чего-то не знаете, не значит, что это что-то случайное.

- Так, если вы не знаете решение уравнения — это не значит, что его решением с одинаковой вероятностью может быть любое число.
- Вероятность, например, можно определить как степень субъективной уверенности в истинности суждения, опираясь на теорему Байеса (1702-1761).
- Вероятность можно связать с частотой повторения события в длинной серии наблюдений
- **Незнанию** можно сопоставить **уверенность** и использовать принцип максимума энтропии, который утверждает, что наиболее **достоверным** распределениями вероятностей состояний неопределенной среды с **уверенностью** можно выбрать такое распределения, которые максимизируют выбранную меру неопределенности при заданной информации о «поведении» среды.

Вероятность - количественная мера «пространства возможностей».

- Понятия, используемые для описания структуры реальности, определяют и границы, которые отделяют мир «состоявшихся явлений» от мира «потенциально возможных событий».
- С этой точки зрения любой физический эксперимент – это редукция «потенциально возможного» к «состоявшемуся». Количественная характеристика процесса редукции – суть вероятность. Поэтому, представление о наличии **единственного исхода** любого эксперимента не является основой научного понимания реальности:

$$A \vee \bar{A} = 1$$

vs

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)}$$

Аксиомы теории Колмогорова

- Аксиома 1. A – является **алгеброй событий**
- Аксиома 2. Каждому событию x из A сопоставляется неотрицательное вещественное число $P(x)$ – **мера**, которая называется вероятностью,
- Аксиома 3. $P(\Omega)=1$ - **пространство событий нормировано**
- Аксиома 4. Если подмножества A , соответствующие **независимым событиям x и y** не пересекаются, **то $P(x+y)=P(x) + P(y)$**

Совокупность $\{ \Omega, A, P \}$ – это **вероятностное пространство** (у Колмогорова – поле вероятностей)

Почему же это «алгебра» событий ? Потому, что на множестве A заданы операции «сложения» и «умножения» неких абстрактных сущностей, названных событиями, которые аналогичны операциям над подмножествами Ω .

Информация как мера пространства возможностей событий vs характеристика объяснения событий.

Суть «vs» в том:

- как отличить «понимание» сути событий от простого знания о состоявшемся событии?

Это аналогично тому, чем ответ на вопрос «почему» отличается от ответа на вопрос «что» или из-за чего законы естественных наук отличаются от эмпирических правил («красная рябина» – к морозной зиме) ?

Суть «глубоких» объяснений состоит в том, что они охватывают не только состоявшиеся события, но и потенциально возможные...

Где же храниться и как появляется информация о том, что «потенциально возможно» ?

Научный редукционизм

- Суть научного редукционизма – сведение процесса к его причине. Итак, чтобы «вычислить» решение, которое описывает фактическую траекторию движения некоего объекта в момент $t = t_0 + t_1$, необходимо помимо законов Ньютона знать **дополнительную информацию**, а именно, начальные состояния $x(t_0)$.
- Но... кроме этого нужна также информация, которая позволяет **объяснить существования самого начального состояния**: почему в действительности это начальное состояние возможно

Эмпирическая дедукция аксиом

- **Интуитивно ясно**, что если эксперимент повторен большое число n раз и если при этом через m обозначает число раз наступления события x , то отношение m/n будет мало отличаться от $P(x)$.
- Если события x и y не пересекаются как подмножества Ω (m, m_1, m_2 – число экспериментов, исходами которых являются события $x+y, x, y$), то

$$m/n = m_1/n + m_2/n$$

следовательно

$$P(x+y) = P(x) + P(y)$$

- Случай бесконечного числа событий – бесконечное вероятностное пространство: **Аксиома 5** (непрерывности). Для убывающей последовательности непересекающихся событий $x_1 \supseteq x_2 \supseteq \dots x_n \dots$ имеем

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(x_n) = 0$$

$$n \rightarrow \infty$$

Система аксиом Колмогорова является непротиворечивой и полной.

Критика введенной вероятностной аксиоматики

Есть не согласные с тем, что Колмогоров создал теорию вероятностей как аксиоматическую теорию. Доводы такие

- Вероятность — это понятие реального мира, поэтому её невозможно аксиоматизировать, можно только построить **математическую модель**. (невозможно аксиоматизировать понятие «мост», что не мешает рассчитывать мосты на прочность, строя их математические модели)
- В аксиоматике Колмогорова не вводится ни одного нового неопределяемого «базового понятия» (например, как у Евклида: точка или прямая). Т.е. фактически мы имеем только определение: **«Вероятность — это ограниченная мера $P(\Omega) = 1$ »**.

Что можно на это ответить: в модели Колмогорова вводятся абстрактное понятие «события» и для них предлагается алгебра операций, которая изоморфна алгебре множеств.

Например, в квантовой логике иная алгебра событий, она подчиняется иной аксиоматике, а «квантовая вероятность» строится отлично от классической.

Подходы к формализации : от теории множеств к теории категорий



Проблема – «проклятие размерности»



Проблема – регуляризация решений обратных задач в базисе функторов

Заключение

- Сочетание классического сложения вероятностей различных **альтернатив** с классическим выбором одного из нескольких равновероятных путей приводит к «волновому» правилу сложения амплитуд вероятностей.
- Тензорное произведение амплитуд вероятностей определяет принципиально новое состояние – так называемую суперпозицию несовместных состояний объекта. Согласно «закону исключенного третьего» одновременное пребывание в несовместных состояний в мире физической реальности запрещено. Суперпозиция возможных состояний является информационной, а не физической характеристикой системы.
- Информационная мера или «неопределенность» вычисляется как функционал от волновой функции объекта.