



КАФЕДРА  
ТЕЛЕМАТИКА

Санкт-Петербургский  
Государственный  
Политехнический  
Университет

Институт прикладной  
математики и механики

**История и методология математики и компьютерных  
наук**

Лекция 2

**на пути от формальных  
алгоритмов к «совершенным»  
системам»**

---

10 сентября 2020 г.

# Что было на прошлой лекции



## **Обсуждался вопрос – кто сможет прочесть «книгу природы» ?**

Прежде всего надо понять, на каком языке эта книга написана.

Г. Галилей: «книга природы написана на языке математики».

Так ли это ? Какой математики ? О чем эта книга ?

Уточнение: Мы последнее поколение людей, физические возможности которых ограничены естественной морфологией человеческих тел и органов чувств и Первое поколение, для которого расстояние измеряется «временем доставки сигнала» , возможности определяются объемом сохраненных данных и способностью «вычислять» последствия своих действий.

При этом скорость технического развития настолько высока, а изменения окружающего мира настолько фундаментальны, что кардинально изменяют возможности людей, «ментальность» будет управлять реальностью .

# Тема лекции: Парадигма «информационно-вычислительного» натурализма–



Суть: результат любой процесса может быть вычислен ?!

- **Цивилизация «вычисляет» свое будущее**
- **Симбиоз человека и машины создает новую реальность**

# Фундаментальные проблемы на пути реализации парадигмы

- Системный аспект – интеллектуальное и физическое имеют различные «языки» описания.
- Технический аспект – кибер цивилизация должна обладать:
  - Полнотой ( применима для всех объектов выбранного класса вещей )
  - Непротиворечивостью ( не создавать алгоритмически неразрешимых конфликтов )
  - Саморазвитием ( способна к автопоэзису - улучшению под воздействием внутренних и внешних факторов)
  - Открытой ( обмениваться материей, энергией, информацией)

# Ключевое «несовершенство» программно-управляемых вычислительных автоматов

Теория алгоритмов построена на доказательстве того, что «объект» или выражающая его формула д.б.

- **Вычислима**

А число элементов такого объекта

- **Перечислимо**

А порождающие условия

- **Разрешимы,**

**НО ....**

## Теорема Геделя (свободная формулировка) утверждает

**Все формальные (математические, формальные) системы (построены с использованием арифметики) любой сложности неполны, то есть в рамках этих систем существуют утверждения, которые истинны, но этот факт не может быть доказан средствами самой системы.**

## Идея доказательства т. Геделя

Формулировка Теоремы: в любой теории, например «М», существуют утверждения, которые нельзя ни доказать, ни опровергнуть ( т.е. формально не доказано истины они или ложны) .

Идея доказательства: Надо найти (сформулировать) хотя бы оно такое утверждение.

# Поиск требуемого утверждения

Утверждение  $\Gamma$ : **утверждение  $\Gamma$  ( или формула о числах) в рамках теории «М» не имеет доказательства.**

( Это парадокс **автореферентности** : **то, что я утверждаю сейчас - ложно** )

Итак - утверждение  $\Gamma$  недоказуемо, но истинно !!!



## Само доказательство

Дано :  $\Gamma$  есть утверждение, которое не имеет доказательства в « $M$ »

1. Если  $\Gamma$  было бы доказуемо, то « $M$ » была бы противоречива
2. Если  $\Gamma$  не доказуемо, тогда « $M$ » неполна.

**Итак, Теория « $M$ » не может быть и полной, и непротиворечивой.**

- Системы созданные на базе компьютерных технологий любой сложности **неполны**: они могут породить «утверждения», которые истины, но этот факт нельзя доказать в рамках этих систем.
- Решение состоит в «выходе» за созданную систему или поиске доказательства **вне данной формальной системы**.

# Практические выводы

В настоящее время человек как единственная «совершенная система» в реальном мире, которая способна эффективно **разрешать противоречия, изменяя цели или условия задачи.**

Человека не может быть полностью заменен компьютером, так как

- В природе **существуют «невычислимые» истины**, которые не могут быть разрешены с помощью «механических» вычислений, т.е. с помощью логических или арифметических операций с исходными данными ( свойство эмергентности, становления, события)
- Компьютер может «доказать» истинность того или иного утверждения, вычисляя его «значение», но если вычислить не удастся, то нельзя утверждать, что данное утверждение неверно.
- Компьютерное мышление: «Существует то, что я могу вычислить».

# Развитие компьютерных технологий

Нужны технологии, которые должны позволить создавать технические системы, которые

- «думают» как люди
- действуют как люди

или

- «думают» рационально – алгоритмически или  
Частично-рационально ?
- действуют рационально – алгоритмически
- или частично-рационально ?

# Принципы «современных» компьютерных технологий (КТ)

Принцип 1. Машины могут изменять свое «поведение» в ответ на изменение состояния окружающей среды (**принцип обратной связи**) или программы «вычислений»

Принцип 2. Устойчивость сложной системы может быть обеспечена с помощью «обратной связи» ( т.е. за счет образования ошибки),

# КТ как основа создания «совершенных систем»

1. КТ **могут** дублировать **лишь часть** того, что может делать мозг человека, решая неформализованные задачи с помощью не алгоритмов, а моделей ( алгоритм поиска алгоритмов)

- Когнитивные технологии и науки

2. КТ **могут** дублировать то, что должен делать мозг человека при решении формализованных, т.е. имеющих алгоритмом выполнения вычислительных операций, задач

- Компьютерное «мышление» м.б. представлено в форме упорядоченной совокупности вычислительных операций

# Примеры «компьютерного мышления»

Основной вопрос : Как сложная проблема может быть решена с помощью простых вычислительных операций?

- Принципы

**Думать рекурсивно.**

**Переформулировать сложную проблему в более простую,**

**Редукция, вложенность, моделирование**

**Представить данные как код и код как данные**

**Использовать абстракции и декомпозицию**

**Исходить из того, что процесс развивается наихудшим образом , а ошибки коррелированы .**

**Локализовать данные, обеспечивая пространстве-временную связанность**

**Стремиться к автоматизации процессов**

# Основная проблема на пути реализации принципов компьютерного мышления (КМ): сложность

- Пути «борьбы» со сложностью:
  - Абстракции
  - Редукции
  - Метафоричность
- Основной уровень абстракции :
  - Физические процессы
  - Функциональных связи
  - Информационные модели



# Первое правило создания «совершенных» компьютерных систем

- Использование абстракций как инструмента мышления
- Процесс абстрагирования включает:
  - Выбор аксиоматики
  - Выбор уровней представления
  - Выбор модели связи уровней

## Второе правило

- **Использование принципов КМ**
  - Автореферентность используемых абстракций.
  - Виртуализация, решаемых задач

Дополнительные фундаментальные аспекты КМ:  
сознание и время ( в физике: пространство и время)

Время – это форма нашего  
внутреннего ощущения

И. Кант

До сих пор **сознание как и время** остаются за границами  
физических теорий.

Прохождение времени должно рассматриваться  
как черта сознания не имеющая  
объективного оригинала.

Г. Вейль

**Итак:** Нужны модели описания мира в «пространстве»  
сознание-время

## Итак, если можно было бы...

**«видеть» не только «сейчас», но и вчера, то людям была бы не нужна память!**

но... за 24 часа воспринимаемое зрением электромагнитное излучение «уходит» от человека на 20 млрд. км!

Поэтому, чтобы видеть «вчера» нужны органы чувств («глаза»), которые способны получать информацию на расстоянии 20 млрд км от человека.

**Получать информацию можно не только с помощью электромагнитного излучения, но ... с помощью памяти – хранилища, которое переносит информацию во времени.**

# Как это выглядит мир на расстоянии 200 млрд. км!



*Daniel López IAC (Isaac Newton Telescope, INT)*



# Исчезновение информации в черной дыре



Поверхность черной дыры хранит информацию  
структуре реальности





# Принципы эмерджентности и ингерентности

**Эмерджентность** - существуют качества, присущие только системе, но не присущие ни одной из ее составных частей, т.е.

При изъятии части системы меняются :

как сама СИСТЕМА (состав - структура - свойства)

так и ее ЧАСТИ (среда - стимулы - функции)

**Ингерентность** - Способность системы выполнять заданную функцию в определенной окружающей среде.

# Принципы локальности (в физике и математике) виртуальности в компьютерных науках

В физике принцип **локальности/близкодействия** утверждает, что на объект влияет только его непосредственное окружение.

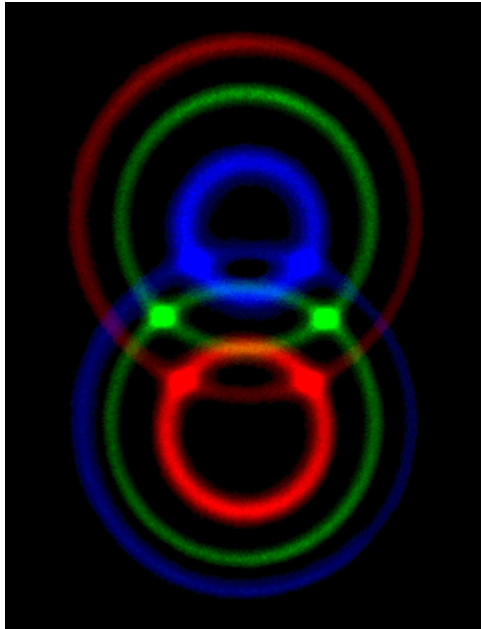
Принципа локальности в математике - *для выполнения математических операций на конечном отрезке времени используются данные, которые находятся в локальном «физическом» адресном пространстве «вычислителя».*

Принципа виртуальности ( компьютерные науки) - *для работы вычислительной программы ( кода, который описывает последовательность выполняемых математических операций) может использоваться символическое (виртуальное) адресное пространство, которое представляет собой совокупность всех доступных идентификаторов переменных, используемых в процессе вычислений.*

*Виртуализация не следует принципу локальности , поэтому технологически реализуется с помощью систем, которая объединяет как локальные, так и «удаленные» данные в «целостную» структуру.*

# Необходимо научиться манипулировать свойствами объектов физической реальности

Невозможность свести реальность к аддитивному объединению простейших свойств, создает технологические проблемы, но ... открывает новые возможности:



# ИТОГО

- Совершенные «язык» описания природы должен быть :
  - Развивающиеся
  - Автореферентный
  - Открытый

Единственная известная в настоящее время  
**Совершенная система – это человек.**