



Санкт-Петербургский
Государственный
Политехнический
Университет

Институт прикладной
математики и механики

КАФЕДРА ТЕЛЕМАТИКА

Научный дискусс

«Может ли машина мыслить»

Лекция 13

14 декабря
2017 г.

Что обсуждалось на прошлой лекции

Гипотеза : ум или совокупность способностей к мышлению, познанию, пониманию, восприятию, запоминанию, обобщению, оценке и принятию решения - реализуется как результат вычислений в среде «виртуальной реальности», построенной с помощью нейроструктур мозга.

Следствия :

Сознание и поведение человека в целом - «вычисляемая» конструкция «встраиваемого ПО» его мозга,

но

в силу принципа **супервентности** ментальные проявления или результаты вычислений объективно зависят от физических явлений, однако ... не сводятся только к ним.

(Объективное отсутствие принципиальных различий в моделях сознания при отсутствии различий в свойствах наблюдаемой физической реальности)

Ментальная реальности – то, с чем «работает» сознание

Все есть число
Пифагор

Истина в неполноте
Гедель

It from bit
Арчибальд Уильер

Вычисления рассматриваются как физический процесс над носителями информации, а результат вычислений - ментальная реальность, существующая одновременно в физической и виртуальной (информационной) формах.

Простой пример

Вход		Выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Вход		Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Количество информации по Шеннону

$$I = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$$

Пусть на входе гейта имеется 4 равновероятных состояния

Тогда, входная информационная емкость гейта $I_{in} = 2$ бита

На выходе гейта: состояние 0 появляется с вероятностью $3/4$, а состояние 1 - с вероятностью $1/4$

Выходную информационную емкость гейта можно оценить так:

$$\begin{aligned} I_{out} &= -[(3/4)\log_2(3/4) + (1/4)\log_2(1/4)] = \\ &= -[(3/4)\log_2 3 - (3/4)\log_2 4 - (1/4)\log_2 4] = \\ &= -(3/4)\log_2 3 + 2 \end{aligned}$$

Потерянная информация $(I_{in} - I_{out}) = (3/4)\log_2 3 = 1.1887$ бит

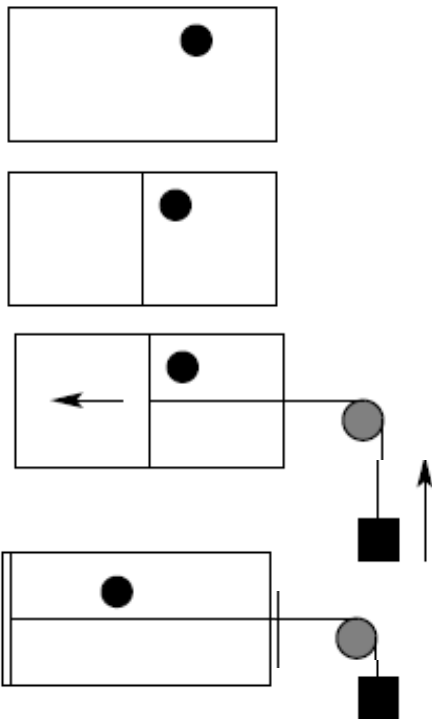
Выделенная при этом энергия:

$$\Delta E = kT \ln 2 \cdot (I_{in} - I_{out}) = kT \ln 2 (3/4)\log_2 3 = 0.824 kT$$

Принцип Ландауэра и демон Максвелла



Есть ящик с "одномолекулярным" газом и Демон (Д) – интеллектуальное устройство, способное измерять, хранить и использовать информацию.



Сначала положение молекулы неизвестно.

Д ставит перегородку, делящую ящик пополам, и **определяет**, в какой половине находится молекула.

В зависимости от результата измерения, Д размещает в ящике поршень с грузом таким образом, чтобы удары молекулы его поднимали. Газ «расширяется» и совершает работу.

При постоянной температуре $\Delta A = kT \ln(V_2/V_1) = kT \ln 2$.

После того, как поршень сдвинулся и груз был поднят, его удаляют.

Система вернулась к исходному состоянию... и совершена работа за счет теплового резервуара при **постоянной температуре**.

Нарушено второе начало термодинамики?

Нет: Д был наделен памятью, в памяти осталась информация о состоянии ячейки, которой в начале цикла не было. Если вернуть систему к исходному состоянию – значит надо стереть информацию и затратить энергию $kT \ln 2$.

Если память "демона" Максвелла явно в состав системы не включать, но можно учесть "знание" о системе в описании ее состояния можно так:

полученное от резервуара количество **теплоты**



Произведенная механическая работа $\Delta A = kT \ln 2 = \Delta Q = T\Delta S$

Изменение обычной термодинамической **энтропии** ячейки

Работа, затраченная на стирание информации равна $\Delta A_e = -kT \ln 2$

А полная совершенная в процессе работа $\Delta A + \Delta A_e = T\Delta S - kT \ln 2 = T\Delta S_g$

$$\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = 0$$

Можно сохранить обычное выражение для второго закона термодинамики ($T\Delta S \geq 0$ в замкнутом цикле), если ввести **эффективную энтропию** системы

$$\Delta S_g = \Delta S - k \ln 2 = \Delta(S + S_i)$$

S – обычная **термодинамическая энтропия**, зависящая только от ее состояния

S_i зависит от того, что знает о системе наблюдатель: **информационная энтропия**

$S_i = -k \ln 2$ (на один бит). Наличие информации о системе может быть учтено, если "подправить" значение ее энтропии.

Если **информация** включается в общее **описание состояния системы** наравне с ее физическими параметрами, то оказывается, что

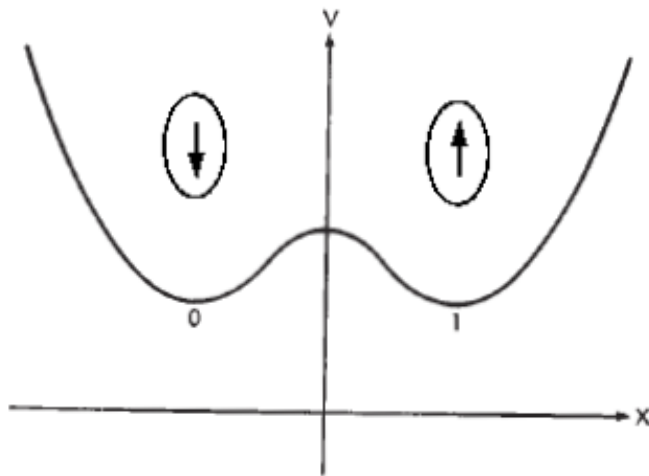
- Одна и та же система **имеет различные физические свойства** в зависимости от имеющейся информации (в одном случае она способна совершить работу, в другом – нет)
- Мера **информации** оказывается согласованной с общефизическими **понятиями энергии и энтропии**
- «Обращение» принципа Ландауэра (не стирание, а получение бита информации): любая неслучайная комбинация битов может быть использована для **производства работы**.
- Информация как объективное описание состояния системы наравне с ее физическими параметрами меняет ее свойства. Т.е. в зависимости от имеющейся информации о системе систему можно или нельзя использовать для совершения работы. (в одном случае система способна совершить работу, в другом – нет)

Любая информация может быть представлена в виде совокупности состояний бинарных элементов: нулей и единиц

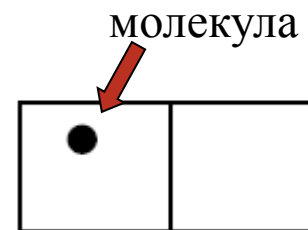
Пример: числовая информация $a_0 2^0 + a_1 2^1 + a_2 2^2 + \dots + a_{n-1} 2^{n-1} = \underbrace{\{a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0\}}_{n \text{ разрядов}}$
 $5 = 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = \{101\}$

Реализация бинарных элементов: любая **Физическая** система с двумя устойчивыми состояниями

Потенциальная энергия

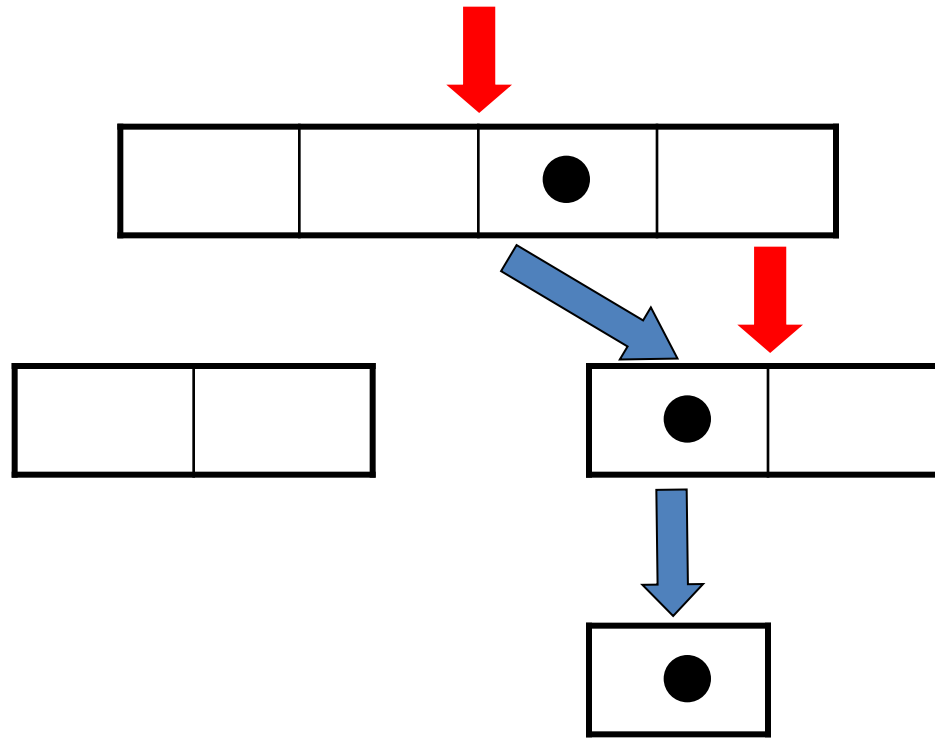


Модель: потенциальные барьеры = стенки



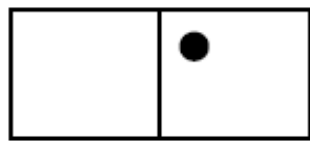
Физические закономерности процессов обработки информации
Основные операции: запись (копирование) и стирание

Пример



Общий случай: количество информации по Шеннону $I = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i$

При $p_i = 1/N$ $I = -\sum_{i=1}^N (1/N) \log_2 (1/N) = (1/N) \sum_{i=1}^N \log_2 N = \log_2 N$



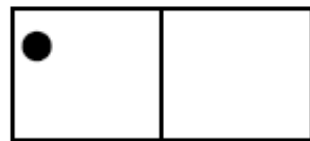
Битовая ячейка
в одном из двух состояний



Удаляется перегородка,
вставляется поршень



Поршень сдвигается так, что независимо от
начального состояния молекула оказывается в
левой половине



Перегородка восстанавливается
Узнать, где была молекула раньше, невозможно

Информация потеряна! В процессе стирания поршень совершает работу;

$$\Delta E = kT \ln(V_1/V_2) = kT \ln 2$$

Соответствующее количество теплоты передается окружению

Энтропия окружающей среды возрастает на $\Delta S = \Delta E/T = k \ln 2$

Энтропия однобитовой ячейки уменьшается на ту же величину $\Delta S = \Delta E/T = k \ln 2$

Информационная энтропия $S_i = -I k \ln 2$ отличается от количества информации I только множителем $-k \ln 2$

Фактически это одна и та же величина, но измеренная в других единицах.

По Больцману

$$S = -k \sum p_i \ln p_i = k \ln 2 \cdot \underbrace{\left(-\sum p_i \log_2 p_i \right)}_{I_T} = k \ln 2 \cdot I_T$$

количество "отсутствующей" информации о термодинамическом состоянии (то, что можно было бы извлечь, если знать состояние точно)

Отличие в знаке. Информация о системе уменьшает ее энтропию.

Обычная энтропия есть **мера нашего незнания** точного микросостояния системы

Система может совершать работу, если ее энтропия не максимальна.

Информация \rightarrow меньше энтропия \rightarrow больше возможности совершать работу

За каждый бит можно получить до $kT \ln 2$ полезной работы

О проблеме «материализации» знаний

- «Наше» прошлое «записано» в нейросетях мозга, которые формируют то, как мы воспринимаем **мир** в целом и его конкретные объекты в частности.
- «Наши» реакции не спонтанны - большинство из них запрограммировано устойчивыми нейронными связями. Каждый объект (стимул) активирует ту или иную нейронную сеть, которая в свою очередь вызывает набор **определенных химических реакций** в организме.
- Эти химические реакции заставляют человека действовать или чувствовать себя определенным образом. Эмоциональные реакции – не более чем **результат химических процессов**, обусловленных сложившимися нейросетями, и основываются они на прошлом опыте.

Итого: в 99% случаев мы воспринимаем реальность не такой, какая она есть, а интерпретируем ее на основе **готовых образов из прошлого**.

Как получать результаты вычислений в реальном масштабе времени

- Эмоция «ощущается» человеком вследствие выброса в тело определенного набора химических веществ. В результате организм становится в некотором роде **генератором устойчивых химических связей**, которые фактически выступают как «натуральные» вычислители – они обрабатывают информацию в режиме параллельных вычислений в реальном масштабе времени.
- Осознав эмоции как физиологическую зависимость от различных химических веществ, человек может рассматривать эмоции как изменение своей нейросетевой структуры. При этом от такой зависимости он может избавиться или ... напротив развить...в направлении формирования осознанного поведения – интеллекта.

Итого: Скорее всего Создание, как объективный феномен, присуще только такой физической системе, которая **способна меняться** под воздействием новой информации.



Так, **чтение или письмо** – есть тренировка для головного мозга, в особенности если при этом вы узнаете или выражаете нечто новое.

- Изменение сознания в процессе мышления приводит к изменениям в физическом теле интеллектуального субъекта.
- «Машина» обретет способность мыслить», если приобретет свойства «процессора управляемого данными»