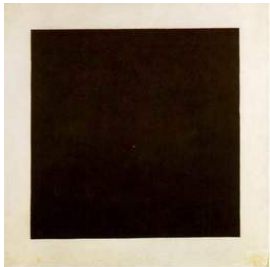
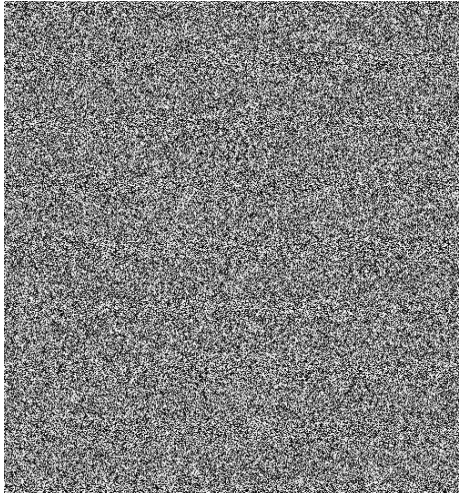


# Сложност



<http://research.twenkid.com>

- Todor Arnaudov

- Twenkid Research

- <http://artificial-mind.blogspot.com>

# Какво е сложност?

- Анализ 2
- Мозъчна хирургия
- Биохимия
- Квантова физика
- Електронно инженерство
- Теоретична физика
- Молекулярна биология
- Философията на Кант и Хегел
- **Любовен триъгълник**
- Китайски език

# Кое е по-сложно от друго?

- Анализ 2 или Аглебрични структури?
- Мозъчна хирургия или Сърдечна хирургия?
- Стихотворение или Роман?
- $(a+b+c)/123.56 + x/d$  или  $a*b$
- Intel 486 или Intel Pentium?
- Intel Core 2 Duo или Athlon II?
- Самолет или Автомобил?
- Човек или Персонален компютър?
- Неврология или Крокодил или планетата Земя?

# Кое колко е по-сложно е от другото?

- Формализиране на сложността, за да се измери.
- Мерни единици за сложност.
- **Разумът:**
  - натрупва сложност
  - измерва и използва разликата, за да:
    - запомня и опростява
    - прави изводи
    - взима решения и пр
    - самоусъвършенства се

# Абстрактни изчислителни машини

- Машина на Тюринг (1936-37) – Turing Machine - обработва символи на безкрайна лента.

**Теоретично може да симулира всеки компютър.**

- NOP + таблица с действия 

s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7
----	----	----	----	----	----	----

q1



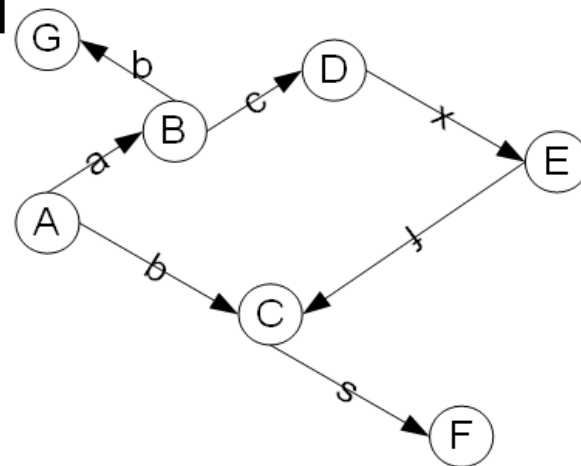
Текущо състояние и прочетен символ  
---> следващото състояние.

- Изтрива или записва символ.
- Премества главата.
- Регистър на състоянието.



# Абстрактни изчислителни машини

- Крайни детерминирани автомати



- Универсална машина на Тюринг – основа на съвременните компютри. Може да симулира всяка друга машина.
- Машини със съхранена програма и произволен достъп (Random access stored program machine) – Фон Нойман, съвременни компютри

# Тезис на Чърч-Тюринг

- Ако съществува алгоритъм (процедура, която завършва), то за него съществува равнозначна машина на Тюринг, рекурсивна-функция или ламбда-функция.

Всичко изчислимо е изчислимо от  
машина на Тюринг.

# Теореме на Гьодел за непълнотата

- Математическа логика, философия на математика.

*1.) Не съществува аксиоматична система, чиито теореми могат да се изброят от ефективна процедура (програма, машина на Тюринг), която да може да докаже всички факти за естествените числа. За всяка такава системи съществуват твърдения, които са верни, но не могат да бъдат доказани с аксиоми от системата.*



# Теореме на Гьодел за непълнотата

- 2.) *Ако дадена система от аксиоми може да докаже някои от основните факти относно естествените числа, то системата не може да докаже собствената си непротиворечивост.*

==> Математиката и всички формални системи не могат да докажат непротиворечивостта си.

==> Има неизчислими неща, науката не може да докаже непротиворечиво истинността на откритията, „мислещите машини са невъзможни“ и само ще обработват символи, а при хората има нещо „трансцедентално“.

# Квантова физика

- *Квантова неопределеност* – не може едновременно да се измерят с максимална точност параметрите на частица, защото измерването влияе на частицата.
- *Квантова вълна* – на микрониво събитията не са детерминирани, а вероятностни. Не може да се създадат електронни схеми с транзистори под 7-8 nm, двоичността и контролът се губят. ...**НО:**
- *Биология* – клетките трябва абсолютно точно да строят белтъчните молекули, така както пише в ДНК.
- **Не е доказано, че мозъкът мисли на квантово ниво.**

# Гьодел, Хегел, Квантова физика?!

- Тези „доказателства“ за невъзможността на ИР са глупости. (Тодор Арнаудов)
- Грешна концептуализация. – Борис Казаченко.
- Философията на математиката, формалните системи и логики са краен резултат от работата на разум, „високо ниво“. Това не е основата на мисленето, а връх на пирамидата. (Тодор Арнаудов)
- Квантовите явление на микро ниво може да са непредсказуеми, но на макро ниво разумните системи се стремят към предсказуемост и контрол. Квантовата неопределеност е подчинена. (Т. А.)

# Алгоритмична сложност

- Отчита времето, относителен брой инструкции
- $N \cdot O$ ,  $MN \cdot O$  - линейна
- $O^2$  – квадратична
- $O^3$  – третична
- $O^N$  – експоненциална
- $O^{N^M}$  – хиперекспоненциална

# Информация

- Клод Шенън, магистърската му дисертация в края на 30-те създава основата на системното разработване на електронна цифрова логика
- Джон Атанасов независимо от него разработва цифрови логически схеми.
- През 1948 г. - Шенън, „Математическа теория на съобщенията“ - Теория на информацията.
- **Ентропия**

# Ентропия

- **Мярка на неизвестността** на случайна величина (случайна променлива).
- **Един бит** информация намалява наполовина неизвестността за получателя на съобщението.
- **Ентропия  $H(X)$**  – количество на очаквана изненада.

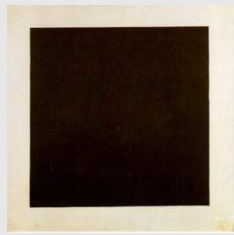
Предаване на информация

*Предавател – канал - Приемник*

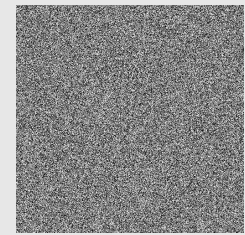


# Ентропия

- У вас сте, чувате че се затваря вратата, някой се прибира – **майка ви, баща ви, сестра ви.** Очакването (ентропията) е  $< 2$  бита (3 варианта)... Но опааа... **крадец!!! :-S**
- Данни, изпратени по 8-битова шина – 256 възможности. Ако данните са зависими обаче, не са случайни (11111111 00000000 11111111 00000000), могат да се компресират и ентропията е по-малка.
- Ентропията показва **максималната възможна компресия без загуба.**
- **С колко бита може да кодирате съобщение с дадена „азбука“** (знак, дума, текст; снимка...)



# Ентропия - примери



- Един независим ANSI знак заема 8-бита в паметта.
- В компресиран текст, 1 знак може да се кодира с 1-2 бита.
- Един пиксел от снимка – 24 бита, но в компресирано изображение може да се сведе до  $< 1$  бит.
- Абсолютно случайно съобщение (шум) не може да се компресира, то има **максимална ентропия** и в него всеки знак е независим.
- Повтарящи се 1 или 0 имат **ентропия = 0** (напълно предсказуеми)

# Ентропия - формули

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_b p(x_i) \quad u_i := - \log_b(p(x_i))$$

- $H(X)$  – ентропия на съобщението.
- $p(x_i)$  – вероятност за случване на събитието  $i$ .
- $u_i$  – изненада (uncertainty)  $p(x_i) \rightarrow 0, u_i \rightarrow \infty$ ,

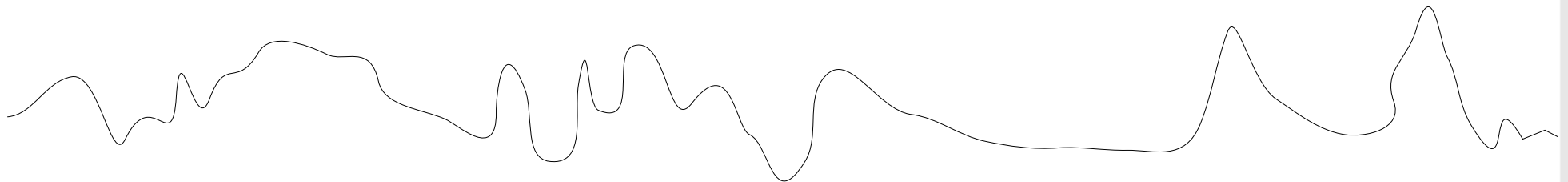
Колкото по-малка е вероятността за случване на дадено събитие (*знак в съобщение*), толкова по-голяма е изненадата, ако то се случи, съответно: в съобщението (редица случайни величини) – има по-голяма ентропия, по-информативно е.

# Статистическа вероятност

- Още – емпирична вероятност
- Наблюдения (O - observations)
- Ако от 1000 хвърляния се паднат 510 ези и 490 тура, то емпиричната вероятност за момента е  $51/49$ , а не  $50/50$ .
- Ако от 1 милион думи се срещне 1000 пъти думата „време“, то вероятността която и да е дума да е „време“ е  $1/1000$ .
- Компютърна лингвистика - колокации

# Линейност и нелинейност

- Линейно зависими системи уравнения
- Линейни функции – проста зависимост между параметри, просто описание
- Нелинейни функции – по-трудни за описание и моделиране
  - непредсказуемост
  - неперiodични трептения



# Динамични системи

- Динамична система – правила, описващи координати на точка във времето.
- Пространство на състоянията и състояние – вектор на състоянието  $(a, b, c, d, e, f)$ .
- Правило за развитие (еволюция) – детерминирано, кое състояние следва от настоящето.



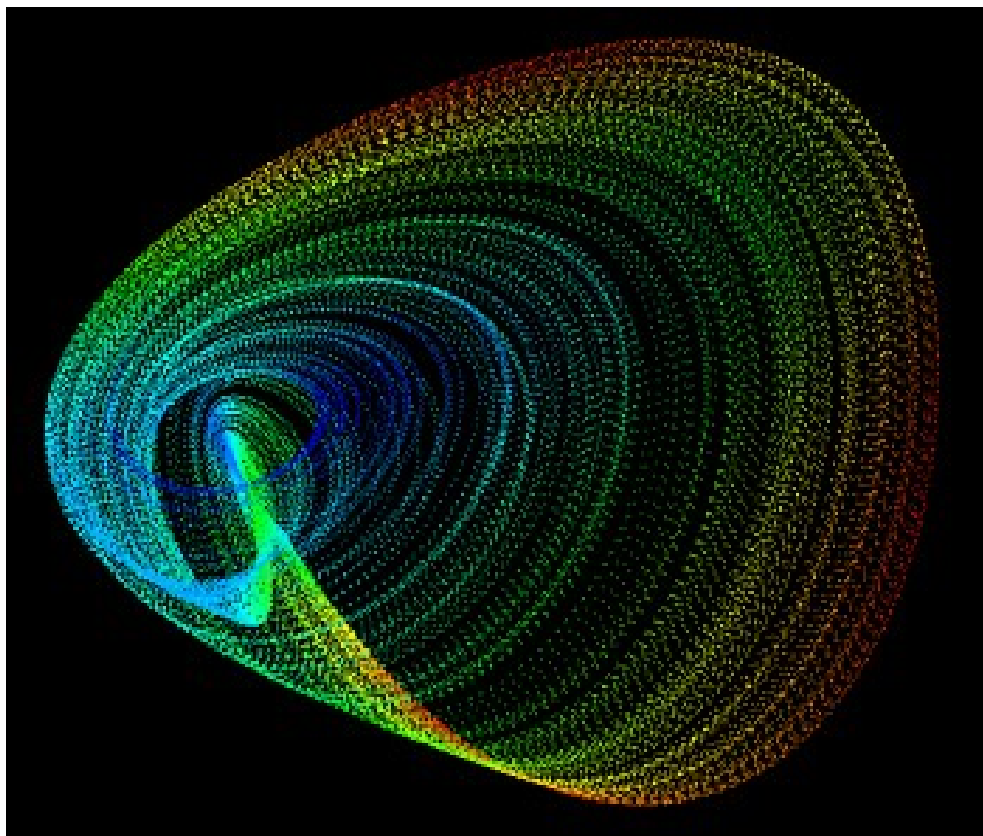
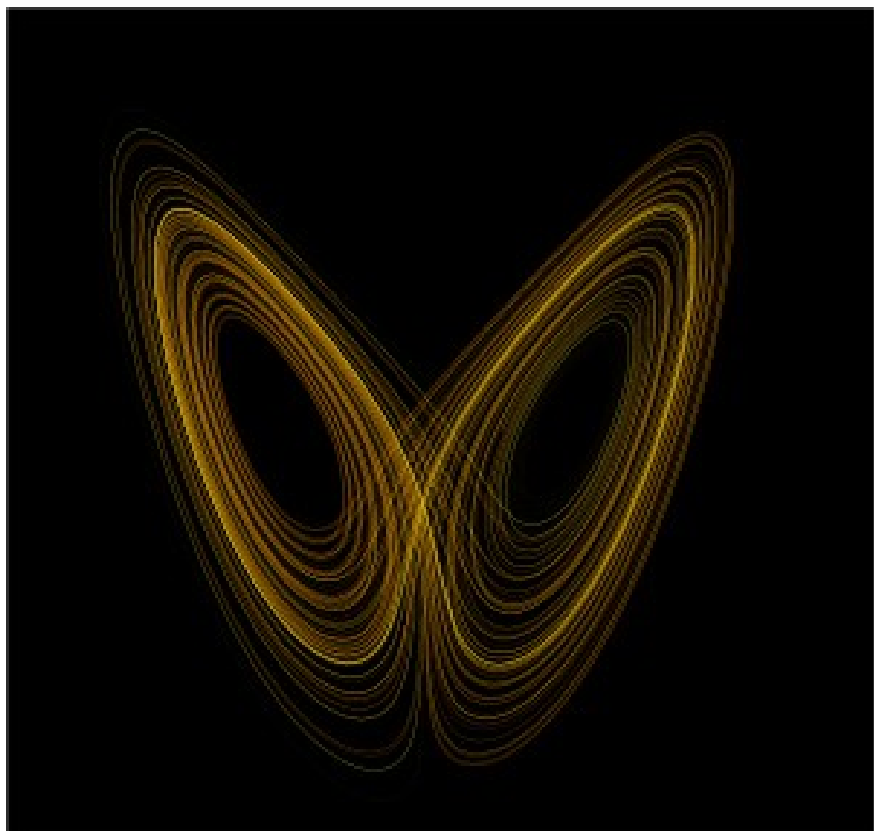
# Теория на хаоса

- Математика на динамични системи, които са силно чувствителни към началните условия.
- Малка промяна в началните условия води до големи промени в крайните. „Ефекта на пеперудата“.
- Хаос – нелинеен, непредсказуем за наблюдателя; не може да се компресира и сметне с формула, трябва да се симулира стъпка по стъпка.
- Детерминиран (предсказуем) ако имате абсолютно точен модел, но *привидно недетерминиран*.

# Понятия от теорията на хаоса

- *Фазово пространство и фазови преходи*
- *Траектория на динамична система*
- *Странни атрактори - състояние; координати във фазовото пространство, към които системата се стреми. Точки на стабилност.*

**Рулетка** - позициите, където топчето може да спре са фазово пространство, а отделните положения са атрактори. Топчето може да подскача по най-различен начин, но накрая ще спре в някой от атракторите. Множество от координати, които могат да се предвидят, независимо от междинните положения.



# Теория на системите

- **Сложна система** – състои се от взаимосвързани части, които чрез взаимодействието си образуват цяло, което има нови свойства, които не са очевидни от свойствата на частите.
- **Нелинейна система** – не задоволява принципа за суперпозиция.
- *Организацията, поведението, архитектурата на сложни системи.*
- **Системен подход** – важно е взаимодействието между частите, а не само самите части.
- *Управление*
- *Самоорганизация*

# Възникващо поведение

- Emergence, Emergent behavior/functionality
- „Количественото натрупване води до качествени изменения“
- „Цялото е повече от сбора на частите“
- Взаимодействието между частите води до процеси, които не могат да бъдат предвидени, без частите да се включат в система, да се симулира.

# Възникващо поведение

- Човешкият разум възниква чрез взаимодействието на мозъка и тялото със средата, и взаимодействието между подсистемите в мозъка
- Човек се ражда със „зародиш на разум“.
- Израстване на система/Строеж на система
- Липсва или е слабо проявено в класическия ИИ.



# Алгоритмична вероятност

- **Ray Solomonoff**, края на 1950-те.
- Случайно генерирана програма  $P$  за универсална изчислителна машина  $U$ .
- Програмата изчислява/пише изход, който може да е безкрайно дълъг.
- **Алгоритмичната вероятност  $A_P$**  е вероятността  $U$  и  $P$  да генерират даден низ по случаен начин.
- Вероятността за генериране на даден низ  $S1x$ , който започва с даден друг  $S1$ , е сума от вероятностите за генериране на какъвто и да е низ, започващ със  $S1$  ( $S1a$ ,  $S1b$ ,  $S1...$ )
- Някои дълги низове, породени от къси програми, са по-вероятни от други.

# Индукция на Соломонов

- Теория за индукция на Соломонов – **предсказване, въз основа на наблюденията.**
- Кой е следващият символ в поредица **1, 5, 10, 16, 23, ? -**
- Сборът на общата грешка на предсказанието е ограничен от константа.
- Система за индукция на Соломонов може да предвиди всяка възможна поредица с абсолютно минимално количество примерни данни. Машинно обучение.
- Недостатък – алгоритмичната вероятност не е изчислима, може да се сметне само с приближение.  
[http://www.scholarpedia.org/article/Algorithmic\\_probability](http://www.scholarpedia.org/article/Algorithmic_probability)

# Сложност на Колмогоров

- $K(x) := \min\{L(p) : U(p) = x\}$
- $p$  – двоичен низ, програма
- $L(p)$  – дължина на програмата
- $U$  – универсална машина на Тюринг, *образцова машина*
- $K(x)$  – дължина на най-кратката програма  $p$ , която изчислява (извежда) низа  $x$  чрез образцовата машина  $U$ .
- Няма къси програми за дълги случайни низове
- $K$  е почти независим от избора на  $U$

# Реален пример

- **1 милиард нули** – цикъл, който пише  $N/4$  пъти 32-битов шаблон в паметта на 32-битов процесор x86.

```
INIT: MOV edx, start_addres //edx – начален адрес
      MOV eax, edx          //eax ще помни...
      ADD  eax, N           //крайният адрес
      MOV  ecx, pattern     //шаблон
CYC:MOV  [edx], ecx        //шаблон --> памет
      ADD  edx, 4           //следваща клетка
      CMP  edx, eax         //проверка за край
      JNG  CYC            //ако не е свършил - продължава...
```

# Минимална дължина на съобщението

- Minimum message length
- Дължина на програмата за дадена изчислителна машина, която може да генерира зададен низ от символи

# Компресирането и разума

- Истински случайните низове не могат да се компресират.
- Една от основните характеристики на разума е, че **компресира информацията.**
- Оптималното компресиране на информация, и намирането на минимална дължина на съобщение за произволни данни е една възможност за тест на интелигентност на универсален изкуствен разум. (Маркус Хутер)



# Компресирането и разума

- Естествен език
- Математика
- Писменост
- Компресия на образи и звук
- Видеокомпресия

# Илюзията за простота

- Това, което изглежда просто за развит разум, не е просто за абстрактна изчислителна машина и локално за част от вселената без разум.
- Разумът натрупва сложност, компресира и предсказва.
- Обща сложност – на съобщението и на системата, която разчита съобщението.

Вселената не компресира, работи само с абсолютно точно описание на командите с максимална разделителна способност на управление. („Машинен език“ на Вселената, „език на частиците“) - Тодор Арнаудов

# Кое е по-сложно? Човек или нож?

- На „езика на частиците“ във Вселената (физичните закони), ножът е по-сложен, защото за да се създаде нож, трябва първо да се създаде човек, в който да се развие разум, който да открие металообработването и чак тогава да се създаде ножа – от разумно същество.

На „езика на частиците“, като дължина на програмата, която може да ги създаде, човешките технологии са по-сложни, отколкото живите организми. (Според Т. Арnaudов във „Вселена и разум 4“)

# Цифрова физика

- **Ако Вселената е компютър?**
- Конрад Цузе, Ед Фредкин, С. Волфрам, Ю. Шмидхубер, Т. Арнаудов
- Детерминизъм
- Фалшива неопределеност

# Вселената сметач

- Теория на Т. Арнаудов, 2002-2004
- Не е случайно, че еволюцията на технологиите е към цифрови устройства.
- Дискретността става все по-отчетлива.
- Частите на Вселената се стремят да се групират в системи, чиито принципи на работа максимално наподобяват принципите на работа на Вселената в по-големи мащаби (на най-простите елементи и закони)

# Детерминираност и свободна воля

- Човекът има свободна воля? Какво е свободна воля?
- Не може да се проследи работата на системата.
- Не може да се емулира точно Вселената, не може външна система да има информацията за системата с максимална разделителна способност
- *Повече - в лекцията за теорията на Т.А.*

# Бръсначът на Окам

- Occam's Razor
- По-простото обяснение обикновено е правилното, или поне разумът го приема.
- По-простото обяснение е по-вероятно.
- Приемането на по-простото обяснение като по-вероятно е признак на разумно и целенасочено поведение за наблюдател на чуждо поведение.

# Връзки

- <http://wikipedia.org>
- Тийнейджърска теория на разума и Вселената на Тош - <http://eim.hit.bg/razum>
- Algorithmic probability - Marcus Hutter et al. (2007), Scholarpedia, 2(8):2572. - [http://www.scholarpedia.org/article/Algorithmic\\_probability](http://www.scholarpedia.org/article/Algorithmic_probability)
- 
- 
- 
- 
- 
-