

Машинное обучение

Лекция 1

Введение в машинное обучение. KNN.

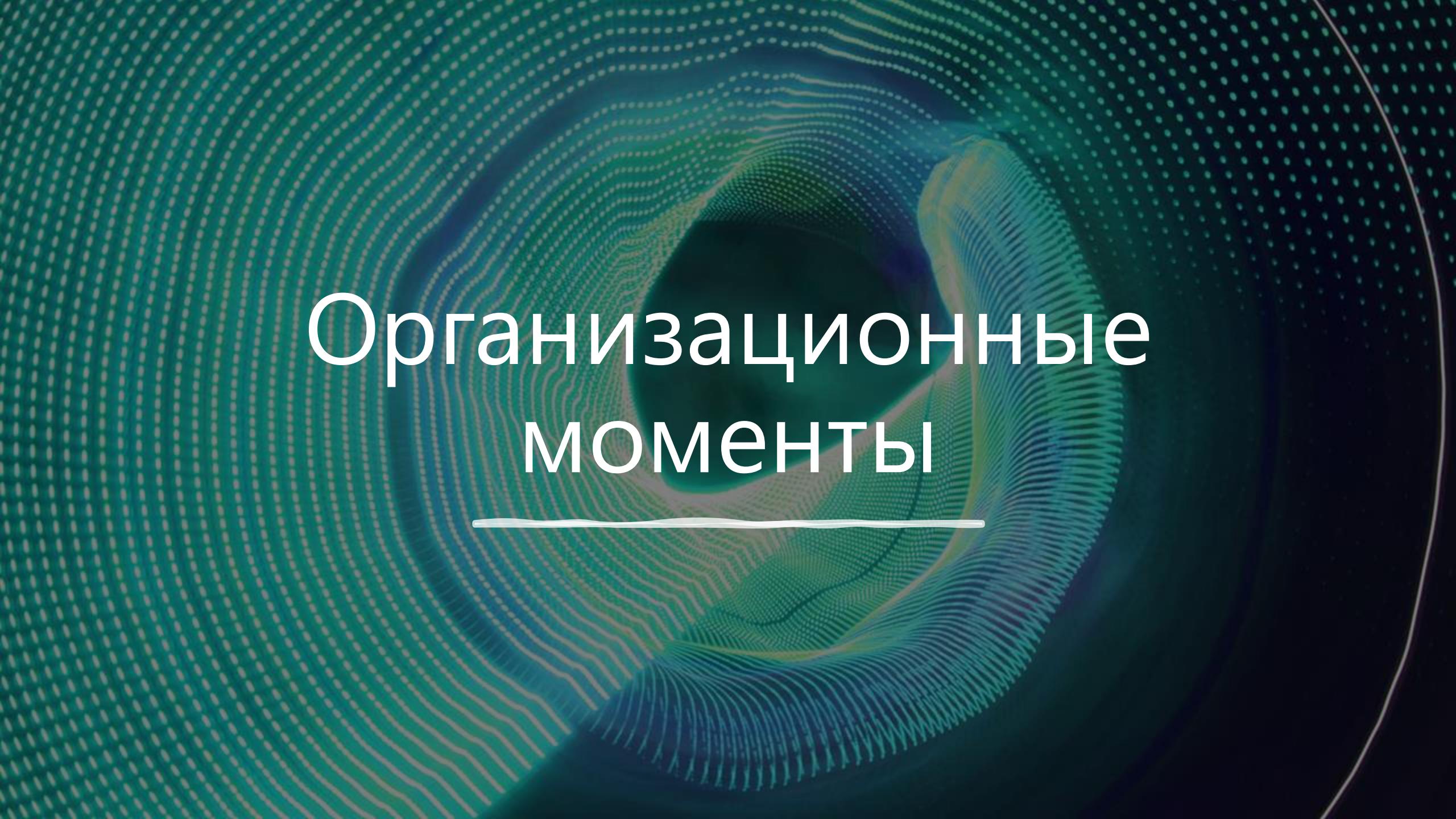
Михаил Гущин

mhushchyn@hse.ru

НИУ ВШЭ, 2025



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



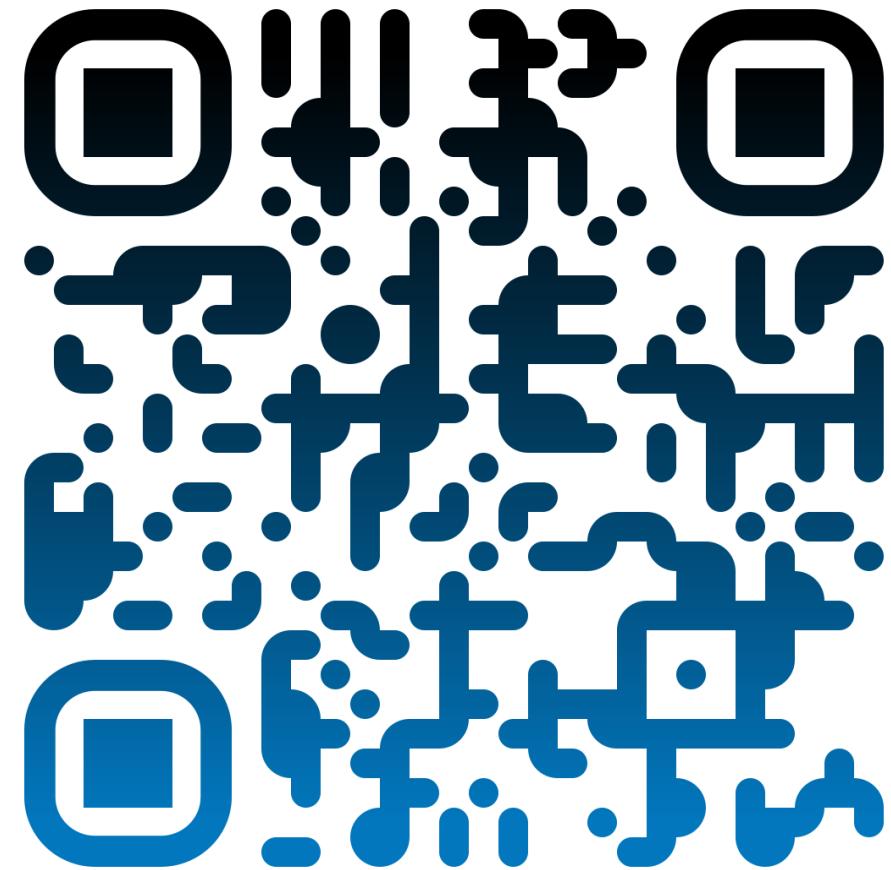
Организационные моменты

Наша команда

- ▶ Лектор:
 - Михаил Гущин
- ▶ Семинаристы:
 - Александра Коган
 - Сергей Корпачев

Материалы курса

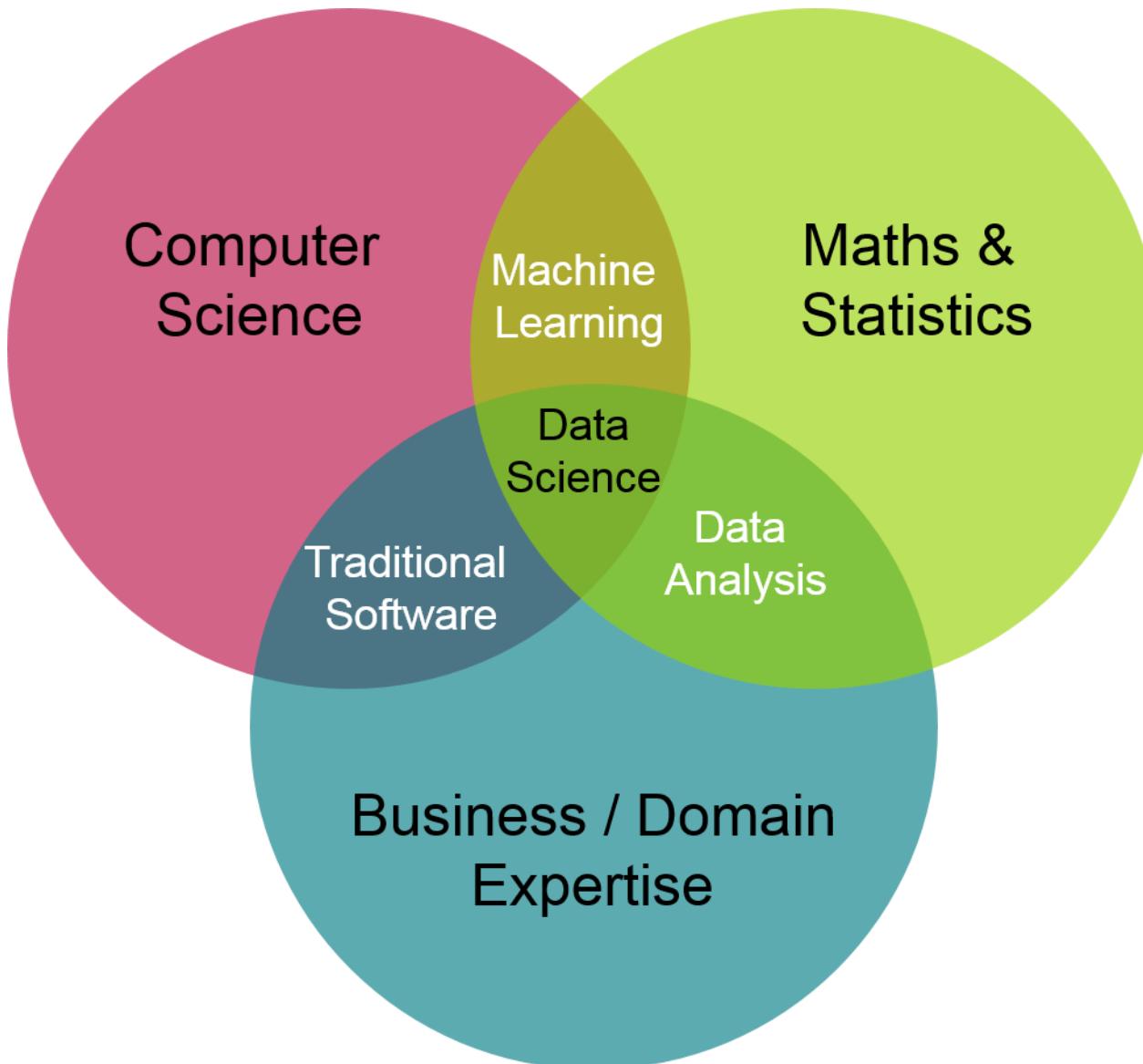
- ▶ Вики курса:
 - материалы лекций и семинаров
 - ссылки на доп. курсы и книги
- ▶ Чат в ТГ
- ▶ Лекции
 - по средам в 16:20 в R503
- ▶ Семинары
 - по пятницам в 16:20 и 18:10 в (D204)
 - (уточняется)



Чат в ТГ

Оценки

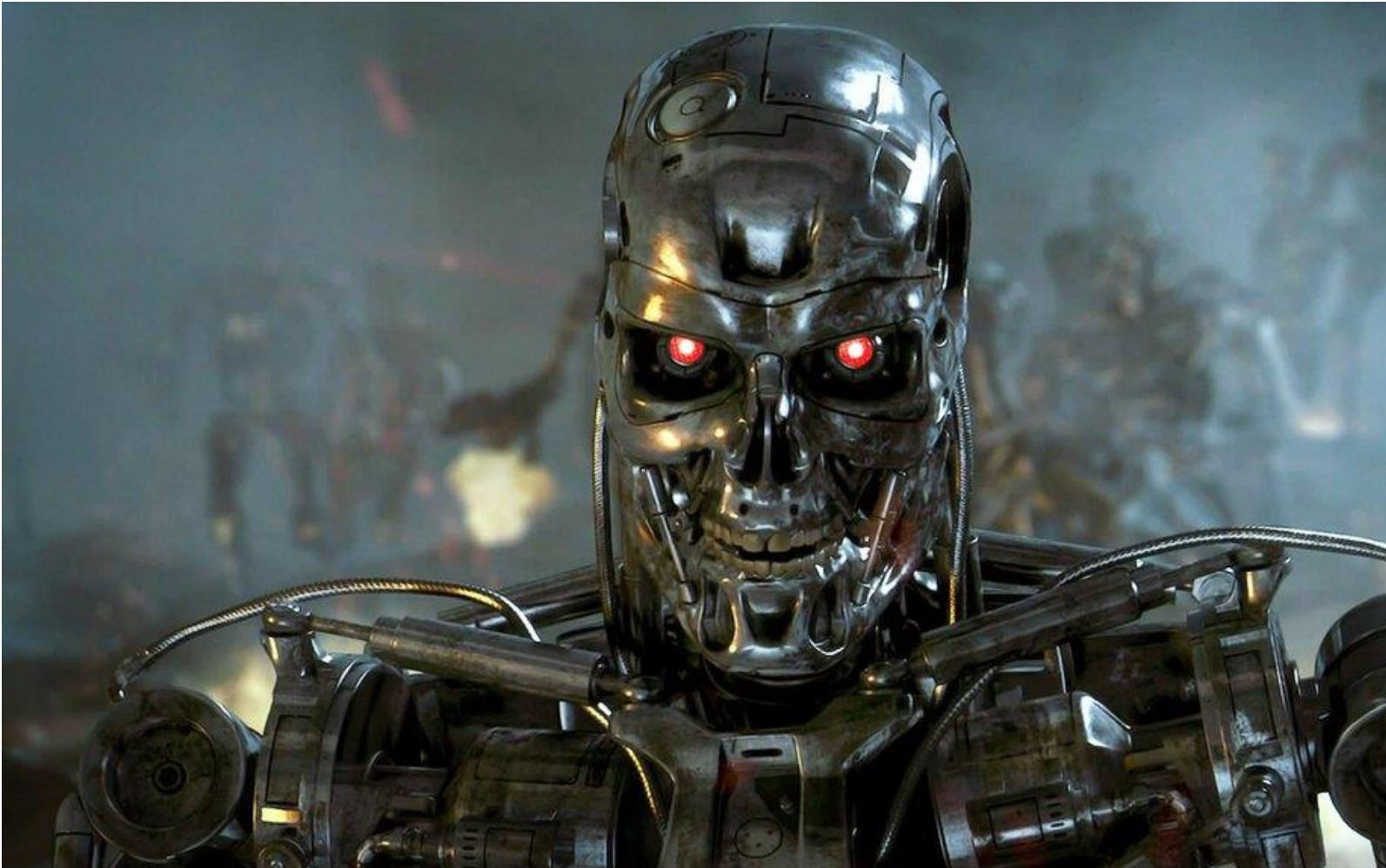
- ▶ Домашние задания
 - Практические задачи на программирование
 - Теоретические задачи
 - Мягкий и жесткий дедлайны
- ▶ Контрольная работа в ноябре
 - Теоретические вопросы + задачи
- ▶ Экзамен в конце курса
 - Теоретические вопросы + задачи
- ▶ Правила выставления оценок:
$$\text{Итоговая} = \text{Округление} (0.6 * \text{ДЗ} + 0.2 * \text{КР} + 0.2 * \text{Э})$$



ИИ в кино



Терминатор



Я, робот



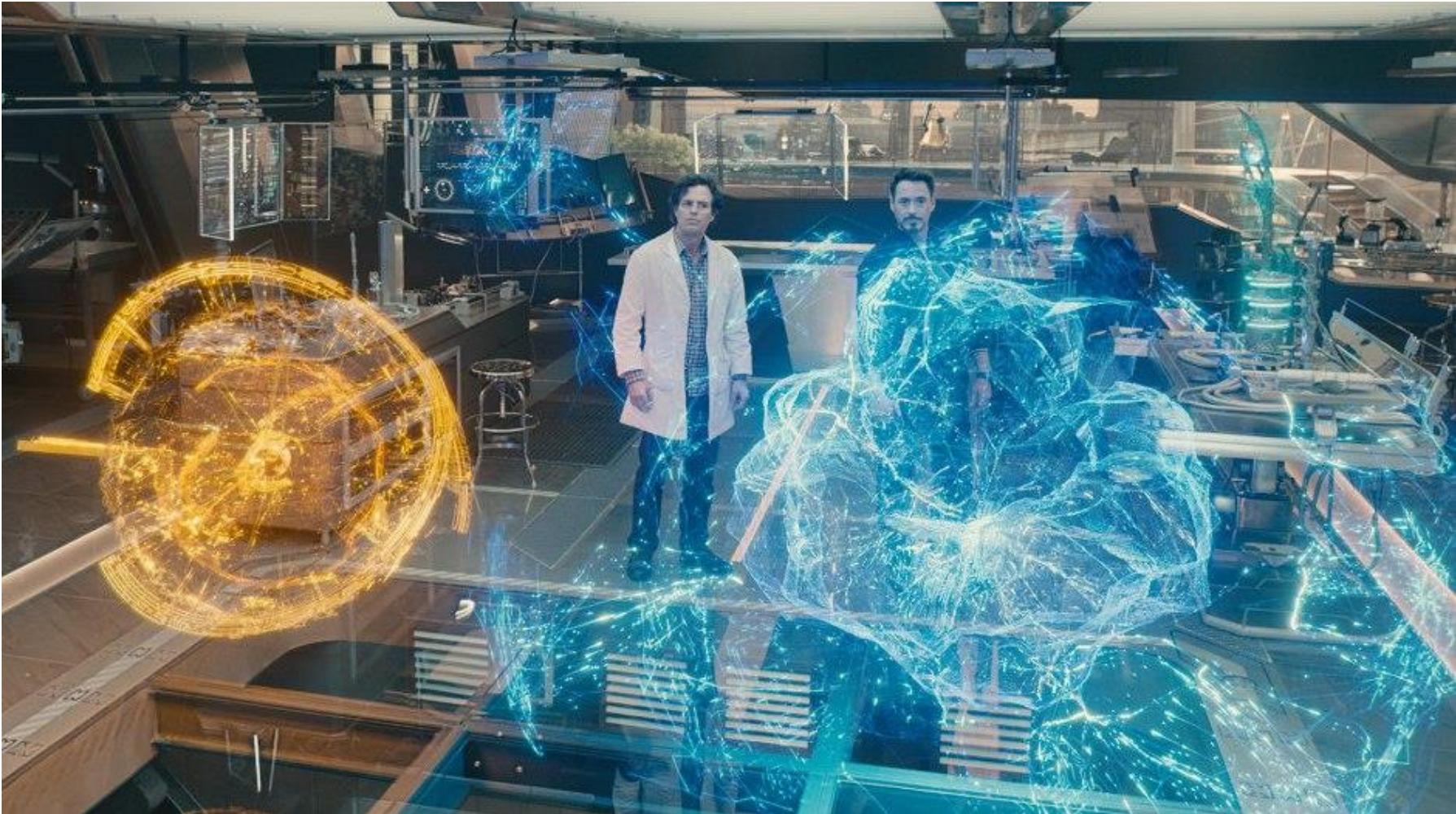
ВАЛЛ-И



Превосходство



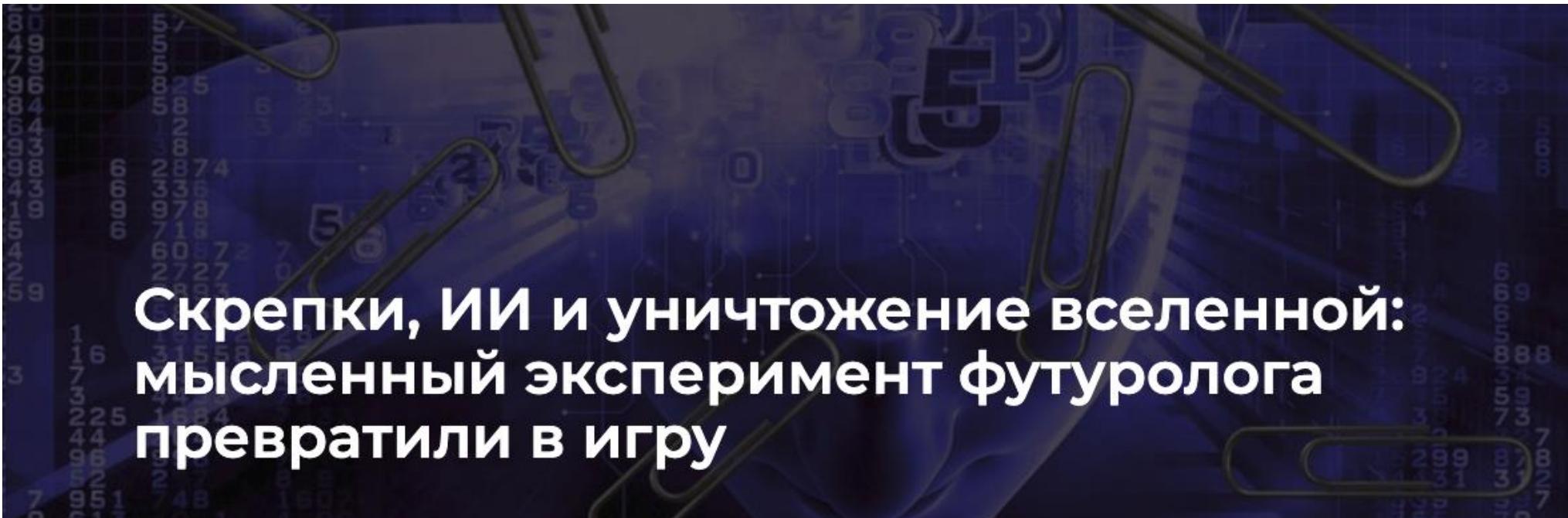
Железный человек / Мстители



Индекс страха



ИИ и скрепки

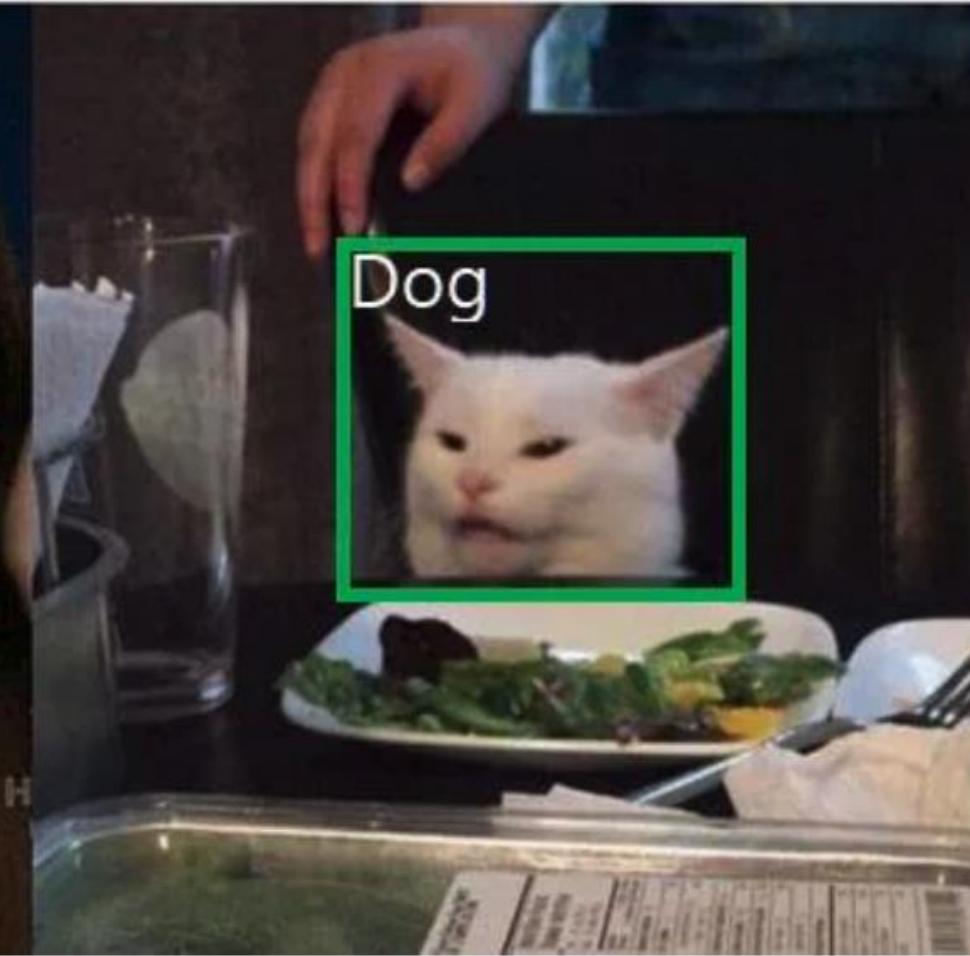


- ▶ Статья: <https://rb.ru/story/universal-paperclips/>
- ▶ Игра-кликер: <http://www.decisionproblem.com/paperclips/index2.html>

People with no idea
about AI, telling me my
AI will destroy the world



Me wondering why my
neural network is
classifying a cat as a dog..



Реальные приложения



Поиск информации

Google machine learning X | 🔍

All Images Videos News Books More Tools

About 2,080,000,000 results (0.54 seconds)

Machine learning (ML) is a type of artificial intelligence (AI) that allows software applications to become more accurate at predicting outcomes without being explicitly programmed to do so. Machine learning algorithms use historical data as input to predict new output values.

<https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition> :: [What Is Machine Learning and Why Is It Important? - TechTarget](#)

About featured snippets · Feedback

https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning :: [Machine learning - Wikipedia](#)

Machine learning (ML) is a field of inquiry devoted to understanding and building methods that 'learn', that is, methods that leverage data to improve ...

[Machine Learning \(journal\)](#) · [Machine learning control](#) · [Active learning \(machine...](#)

See results about

machine learning Dictionary definition >

People also ask :

What is machine learning with example? ▾

What are the 3 types of learning in machine learning? ▾

What is AI vs machine learning? ▾

Why is machine learning used? ▾

Feedback

ChatGPT



Write a social media post, where I announce that I've started writing for HubSpot and that I write on sales and marketing topics



Exciting news, everyone! I'm thrilled to announce that I've started writing for HubSpot on sales and marketing topics! As a writer, I'm passionate about creating content that helps businesses grow and thrive, and I'm thrilled to be a part of the HubSpot community. I'm looking forward to sharing my insights and expertise with their audience, and I can't wait to see what exciting new opportunities this partnership will bring. Stay tuned for some valuable sales and marketing tips, tricks, and insights that I'll be sharing on HubSpot!

#HubSpot #Sales #Marketing #ContentWriting #BusinessGrowth



ChatGPT

F

write me some SymPy code to convert metric units to imperial units



SymPy does not have built-in functionality for converting metric units to imperial units. However, you can define your own custom unit conversions and use them in SymPy.

Here's an example of how you might do this:

Copy code

```
import sympy as sym

# Define a conversion factor for meters to feet
meters_to_feet = 3.28084

# Define the new unit and its conversion factor
sym.define_unit('ft', meters_to_feet * sym.meter)

# Define a length in meters
length = 5 * sym.meter

# Convert the length to feet
```

Голосовые помощники

The screenshot shows the Yandex.Alice mobile application interface. At the top center is the Alice logo, a stylized white egg inside a purple circle. Below it, a large white speech bubble contains the text "Привет, я Алиса!". The background is a solid purple color. In the center, the text "Я готова помочь" is displayed in white. Below this, there are six items, each with an icon and text, separated by horizontal lines:

- [Musical note] Определить песню >
- [Camera] Узнать, что на фото >
- [Book] Включить сказку >
- [Person] Одеться по погоде >
- [Controller] Поиграть >
- [Map] Построить маршрут >
- [Taxi] Вызвать такси >
- [Location pin] Найти нужное место >
- [Gift box] Купить на Беру >

Машинный перевод

Яндекс Браузер

Яндекс.Браузер обновился. Версия 21.8.2

1

The screenshot shows the Yandex Browser homepage. At the top, it says 'Яндекс Браузер' and 'Яндекс.Браузер обновился. Версия 21.8.2'. Below that is a large video player. On the left, there's a title 'Закадровый перевод видео с английского' and some descriptive text about how Yandex's neural networks have learned to translate and voice-over videos in English. A small thumbnail image shows a video frame of a man speaking. On the right, a speech bubble contains the text 'Hi! I'm David and I lead the NLP team at Yandex'. Below the video player, there's a play button icon and some decorative lines and stars. At the bottom, there are links to subscribe to news and social media icons for Dzen, VKontakte, Twitter, and Telegram. A note at the bottom states that subtitles are not available for videos protected by DRM.

Закадровый перевод видео с английского

Нейросети Яндекса научились сами переводить и озвучивать видео на английском языке. Пока — не везде, но уже скоро любой ролик на английском можно будет смотреть на русском.

Сразу попробовать новую функцию можно [по ссылке](#).

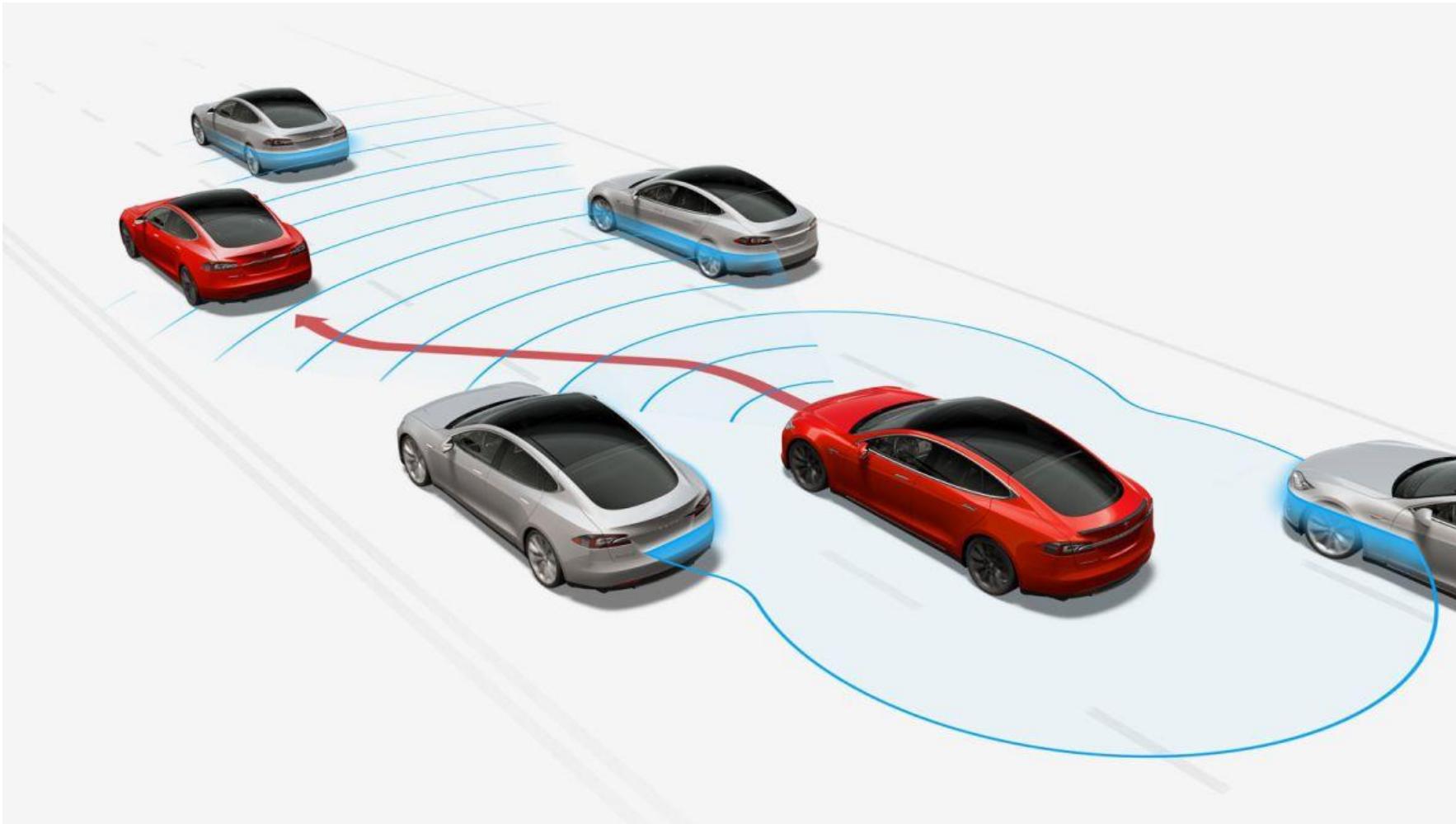
Как включить перевод видео?

Подписывайтесь на новости Яндекс.Браузера:

Дзен ВКонтакте Твиттер Телеграм

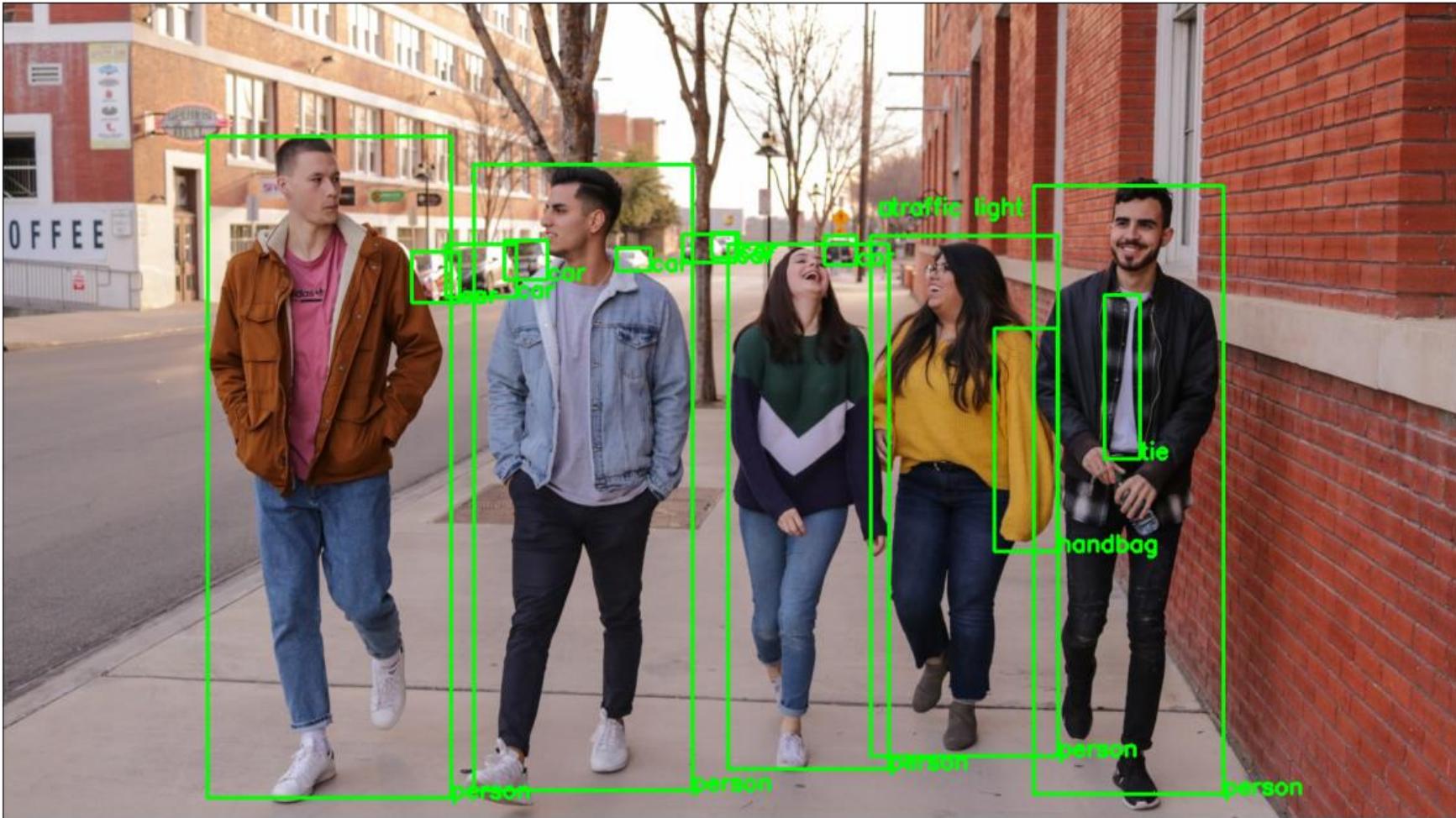
Перевод не доступен для видео, у которых есть технические средства защиты авторских прав (DRM).

Автопилоты

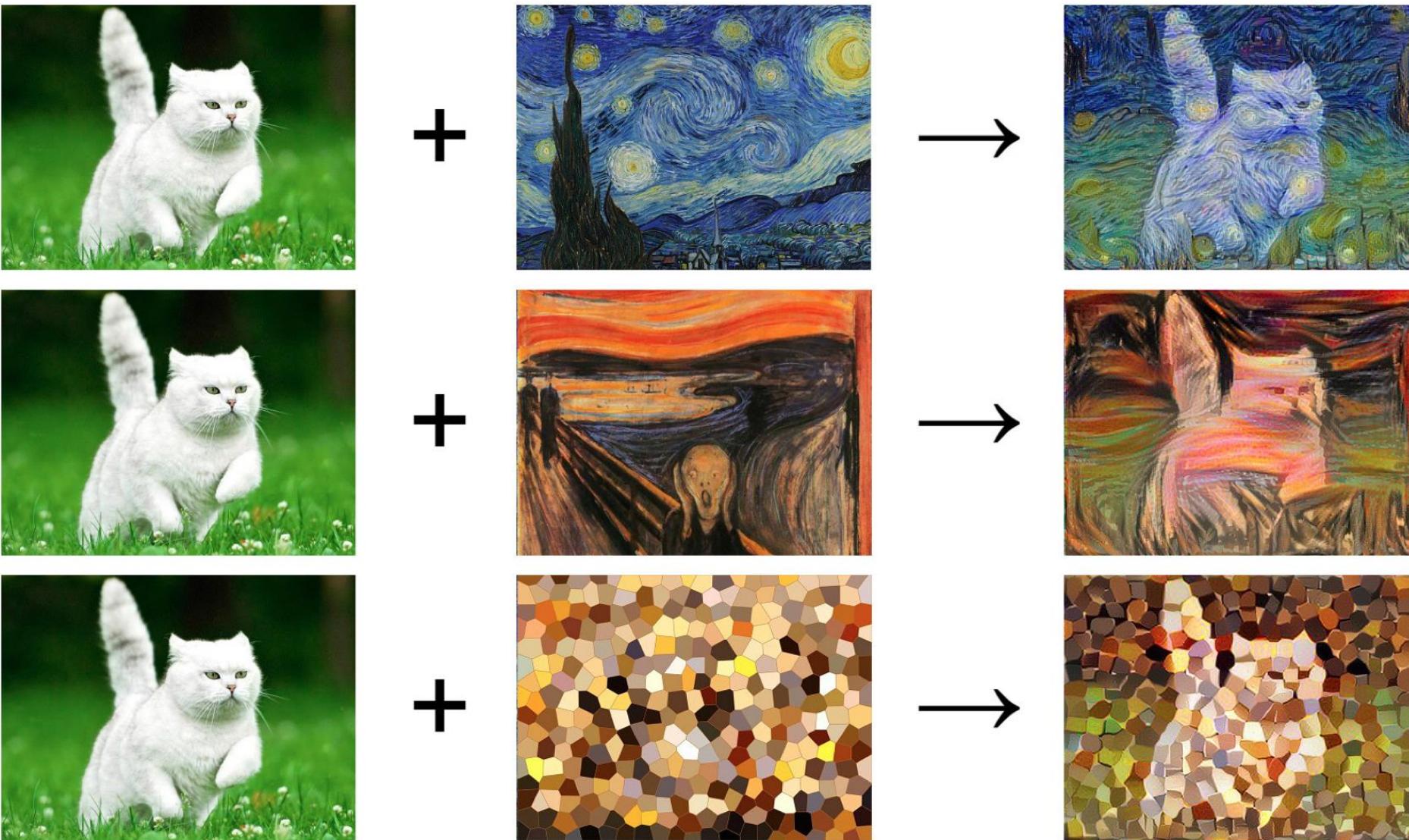


<https://moscowteslaclub.ru>

Анализ видео



Перенос стиля изображения



Генерация изображения по описанию



Кот фиксит баг в обучении
нейронной сети



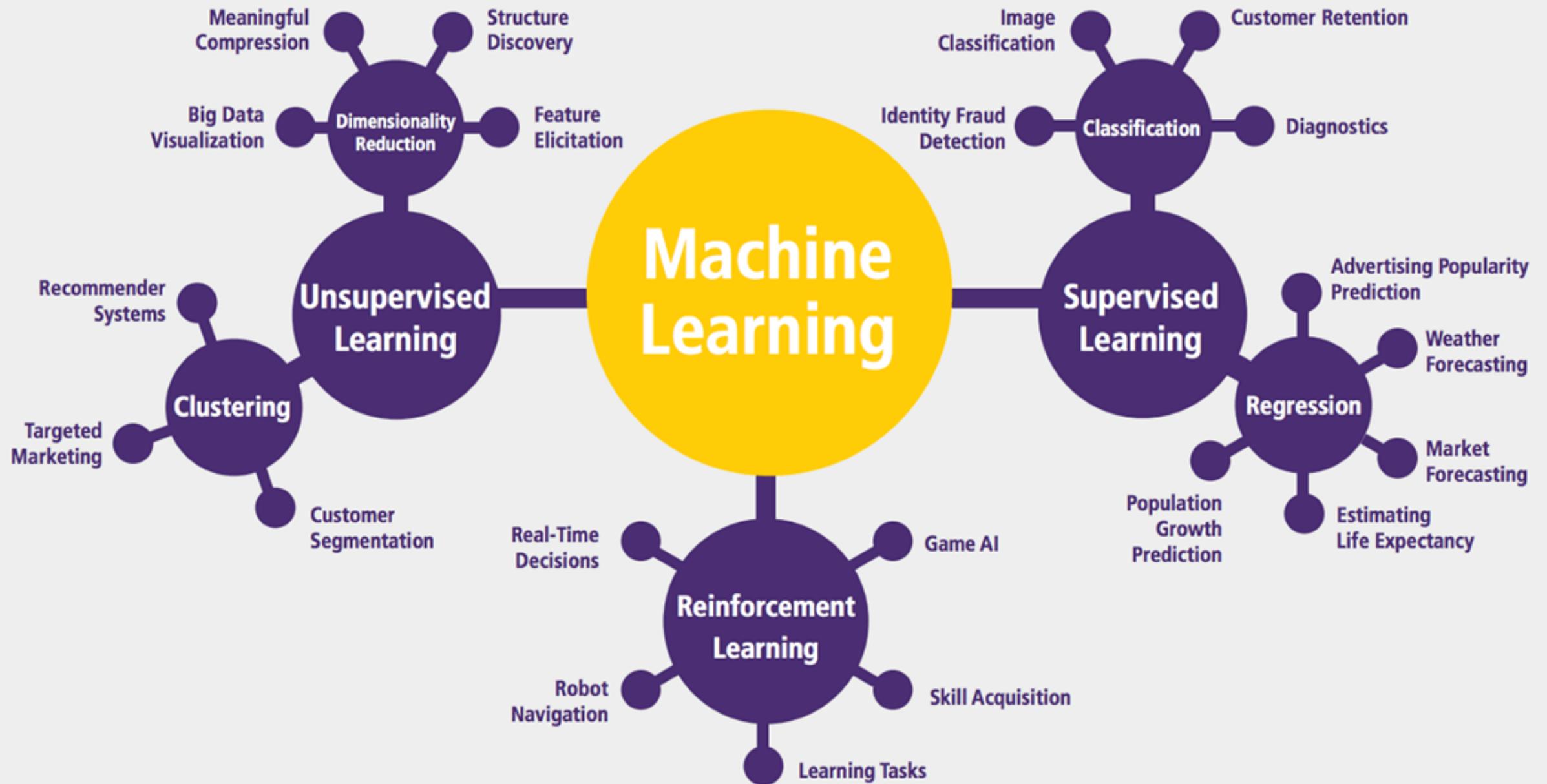
Розовый фламинго стоит на
одной ноге в воде

Ссылка: <https://www.sberbank.com/promo/kandinsky>

Deepfake

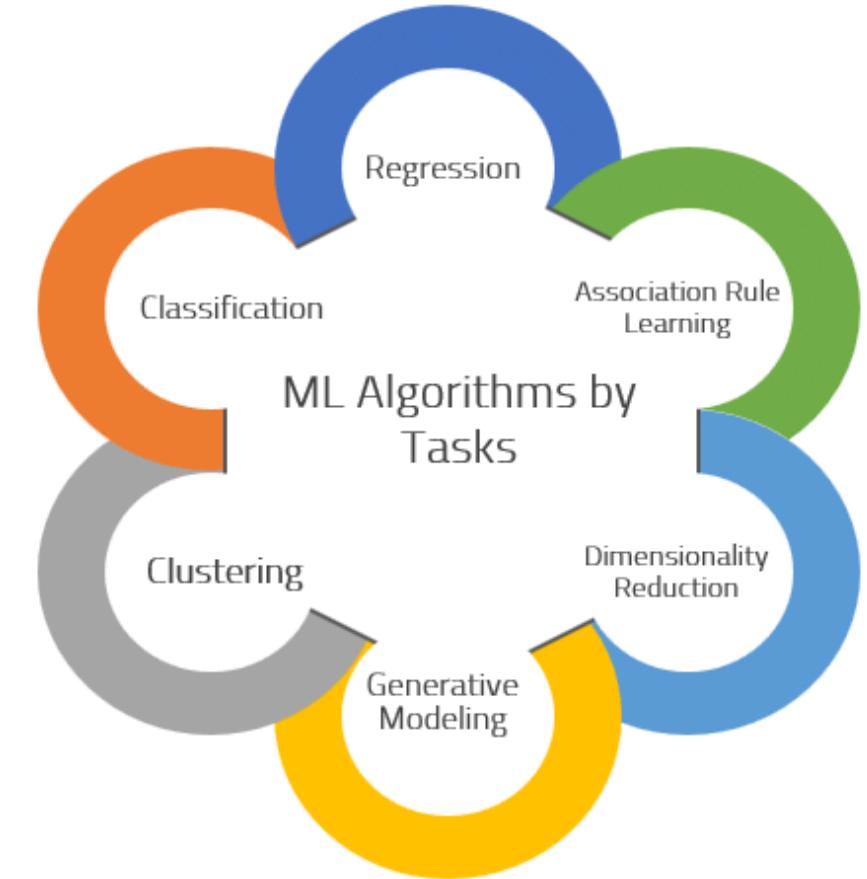


<https://www.youtube.com/c/CtrlShiftFace>



В нашем курсе

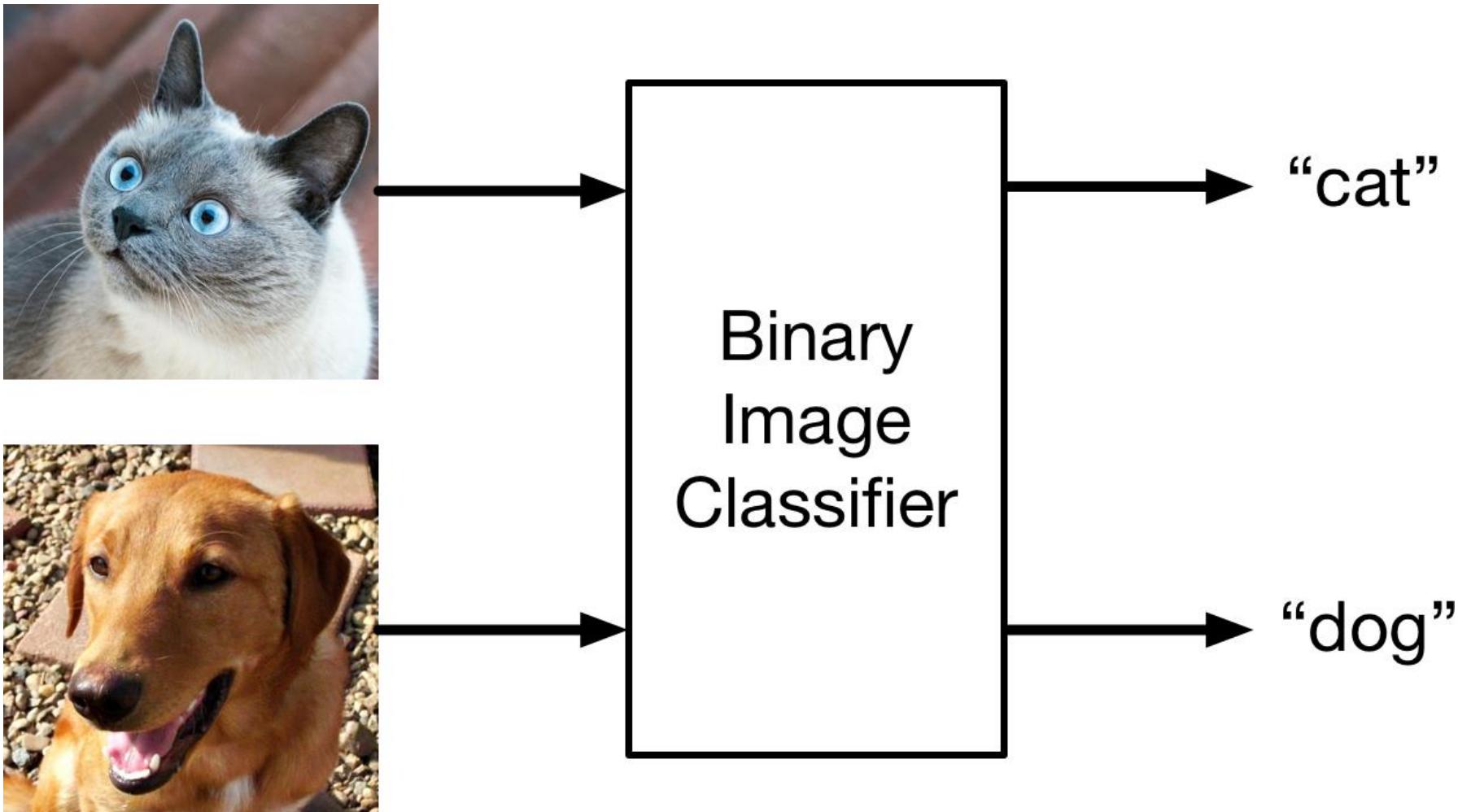
- ▶ Задачи машинного обучения с учителем:
 - Классификация
 - Регрессия
- ▶ Задачи машинного обучения без учителя:
 - Кластеризация
 - Понижение размерности



Классификация



Классификация изображений



<https://www.raywenderlich.com/>

Приложения в банках

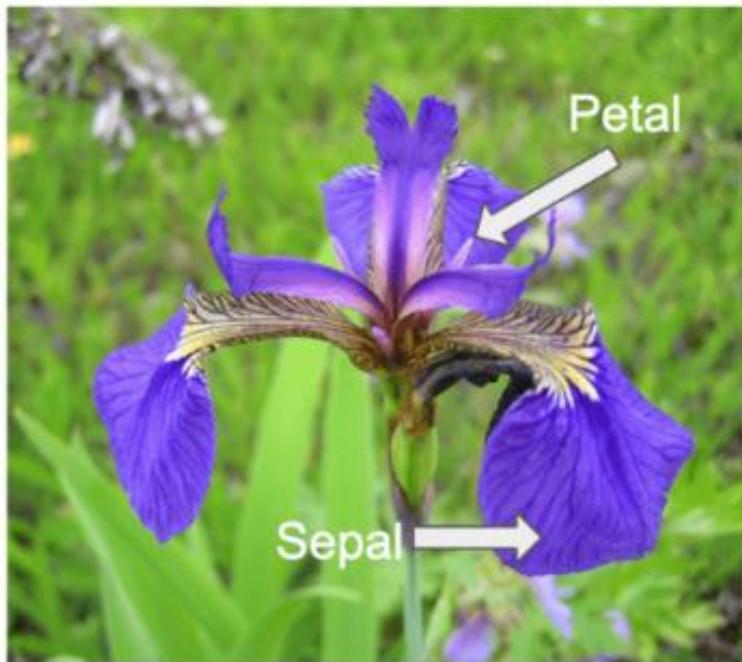
- ▶ Кредитный scoring
- ▶ Прогноз дефолта клиента
- ▶ Обнаружение мошенничества
- ▶ Классификация транзакций



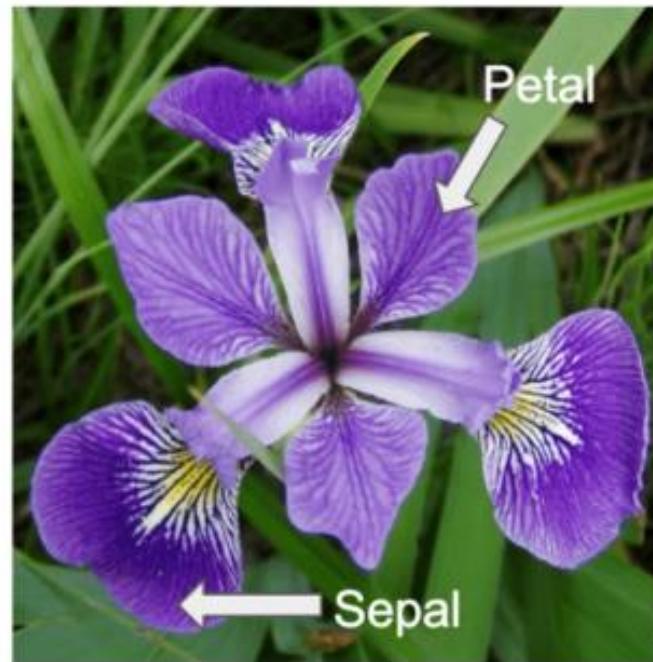
<https://datastart.ru/>

Классификация ирисов

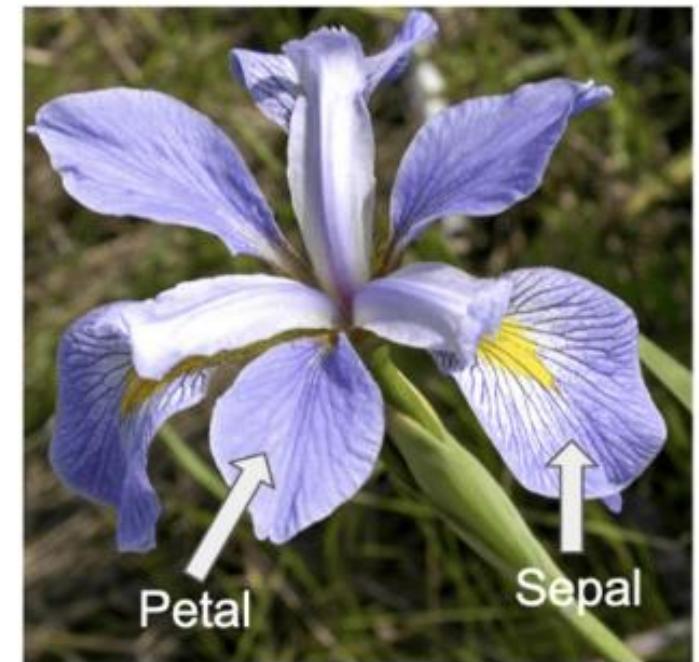
Iris setosa



Iris versicolor



Iris virginica

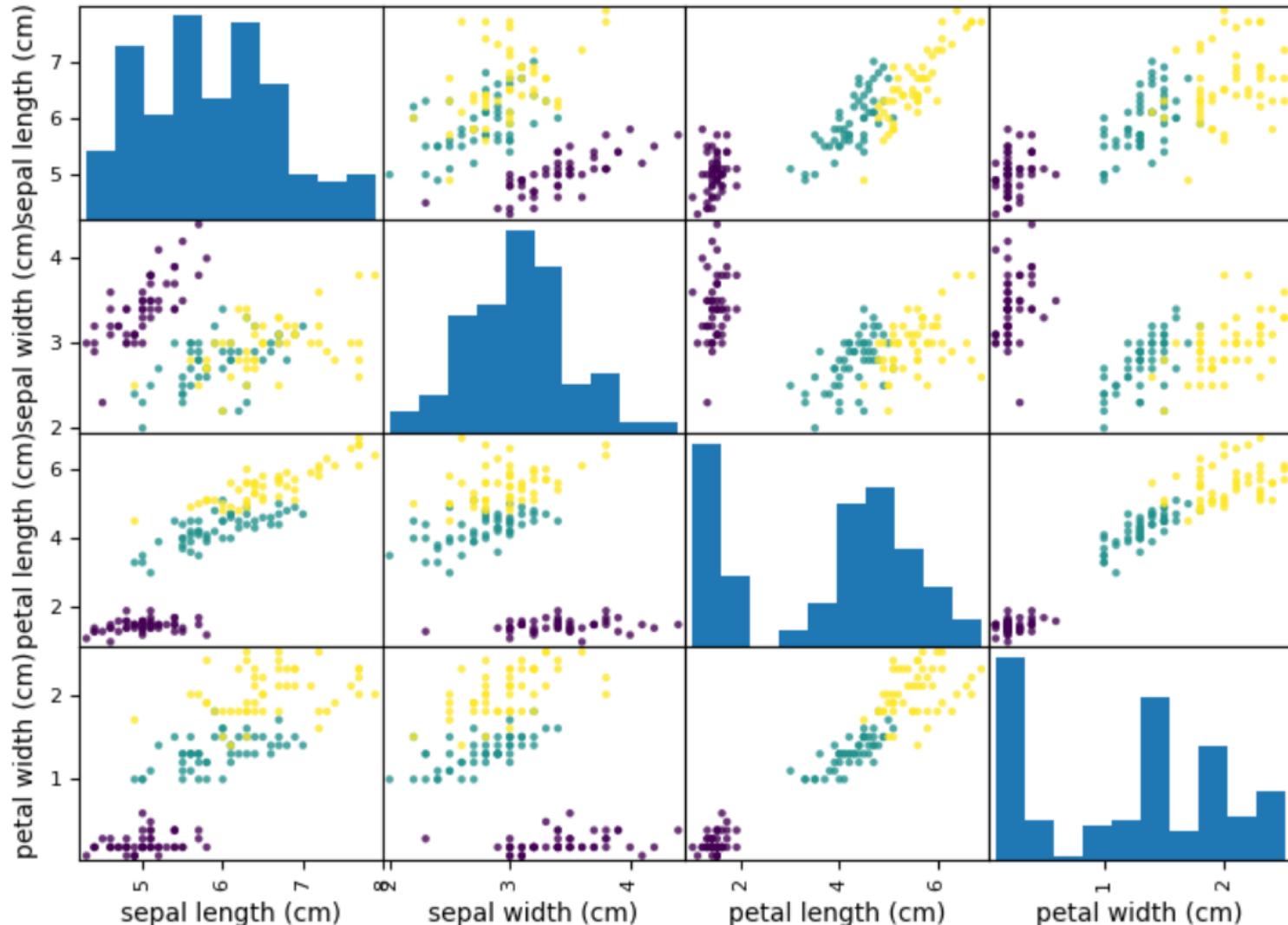


Классификация ирисов

Id	SepalLengthCm	SepalWidthCm	PetalLengthCm	PetalWidthCm	Species
1	5.1	3.5	1.4	0.2	Iris-setosa
2	4.9	3	1.4	0.2	Iris-setosa
3	4.7	3.2	1.3	0.2	Iris-setosa
4	4.6	3.1	1.5	0.2	Iris-setosa
5	5	3.6	1.4	0.2	Iris-setosa
6	5.4	3.9	1.7	0.4	Iris-setosa
7	4.6	3.4	1.4	0.3	Iris-setosa
8	5	3.4	1.5	0.2	Iris-setosa
9	4.4	2.9	1.4	0.2	Iris-setosa
10	4.9	3.1	1.5	0.1	Iris-setosa
11	5.4	3.7	1.5	0.2	Iris-setosa
12	4.8	3.4	1.6	0.2	Iris-setosa
13	4.8	3	1.4	0.1	Iris-setosa
14	4.3	3	1.1	0.1	Iris-setosa
15	5.8	4	1.2	0.2	Iris-setosa
16	5.7	4.4	1.5	0.4	Iris-setosa
17	5.4	3.9	1.3	0.4	Iris-setosa
18	5.1	3.5	1.4	0.3	Iris-setosa
19	5.7	3.8	1.7	0.3	Iris-setosa



Классификация ирисов

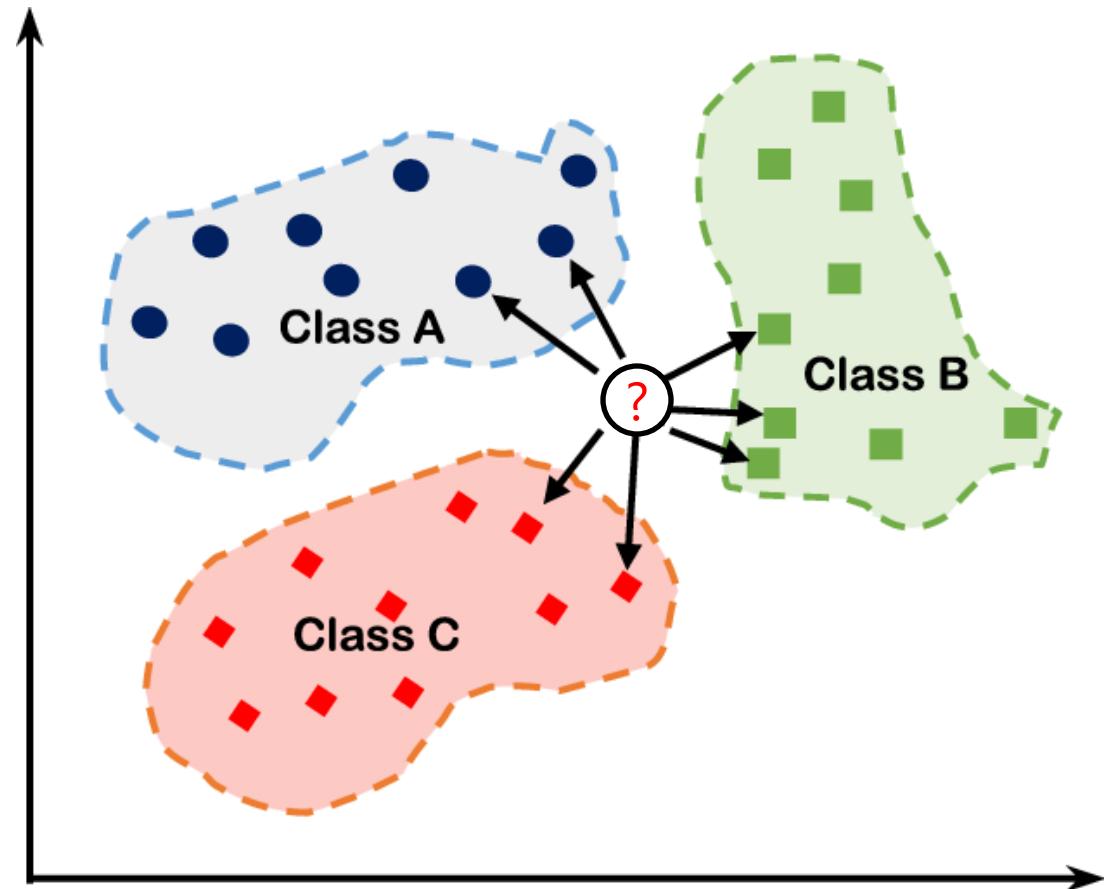


Алгоритм KNN для классификации



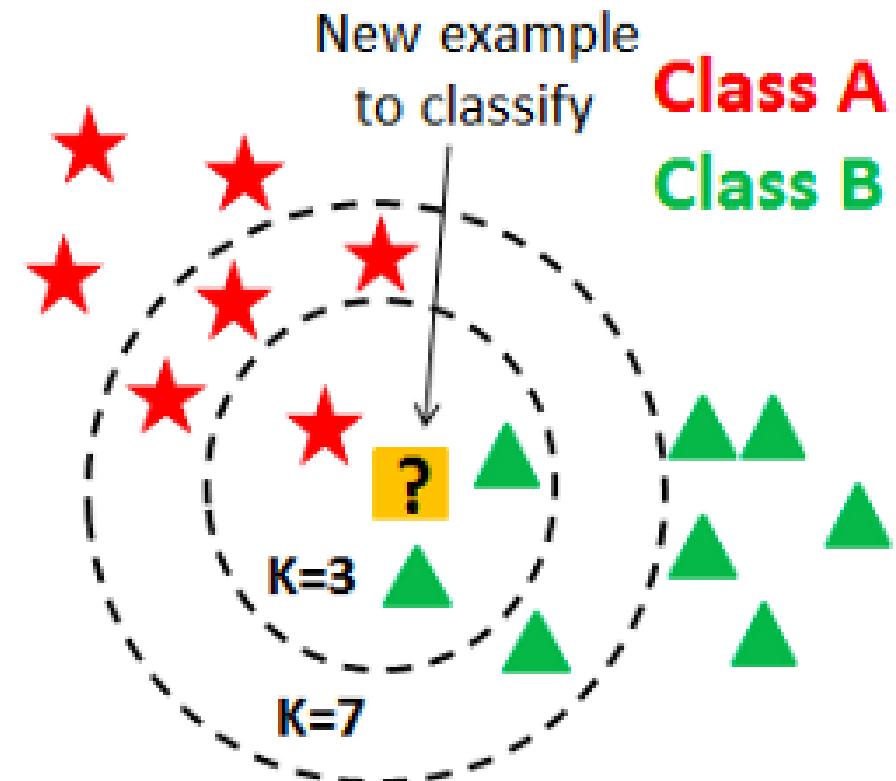
Метрические методы

Метрические методы в машинном обучении – это методы, которые используют **расстояния** между объектами



Задача

- ▶ Есть объекты **нескольких** классов
- ▶ Для каждого **нового** объекта нужно определить его класс
- ▶ Будем **сравнивать** новые объекты с уже известными



Алгоритм K Nearest Neighbors #1

- ▶ Пусть дан набор из n точек: $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$, где
 - x_i – вектор из d признаков объекта;
 - $y_i = \{0, 1, 2, \dots, m\}$ – метка класса объекта.
- ▶ Пусть дана функция расстояния между двумя объектами:
$$\rho(x_i, x_j)$$
 - симметричная и неотрицательная
 - является мерой (не обязательно)

Алгоритм K Nearest Neighbors #2

- ▶ Запоминаем обучающую выборку $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$.
- ▶ Для каждого нового объекта u сортируем объекты обучающей выборки по расстоянию:

$$\rho(u, x_u^{(1)}) \leq \rho(u, x_u^{(2)}) \leq \dots \leq \rho(u, x_u^{(k)})$$

– $x_u^{(i)}$ – i -й сосед объекта u .

Алгоритм K Nearest Neighbors #3

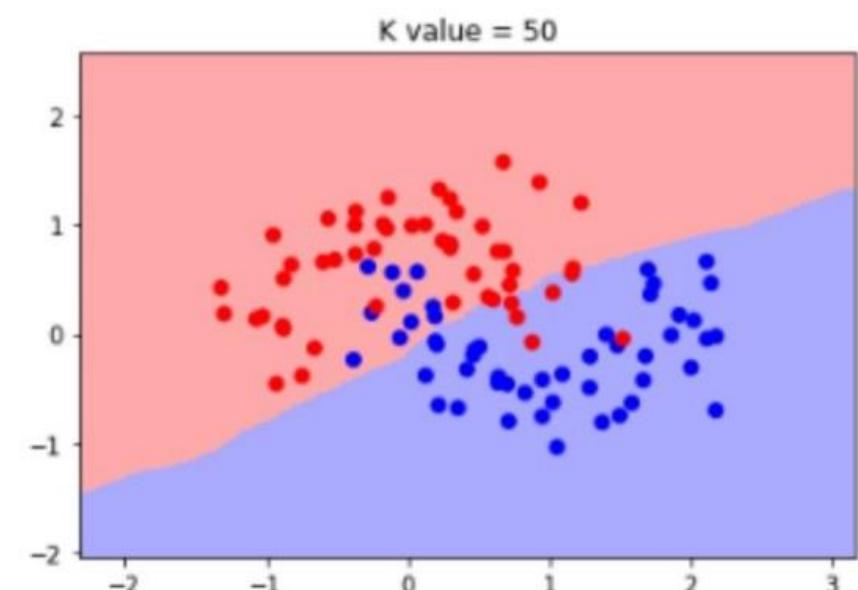
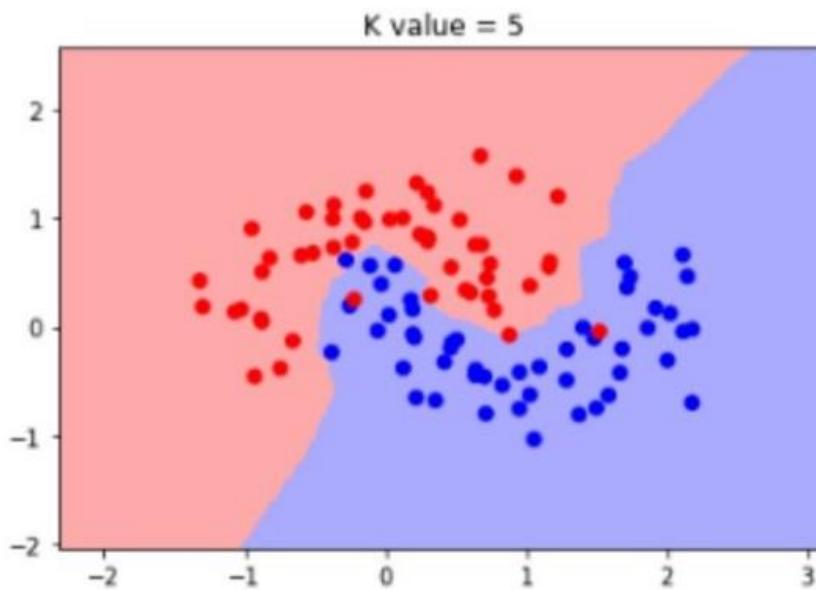
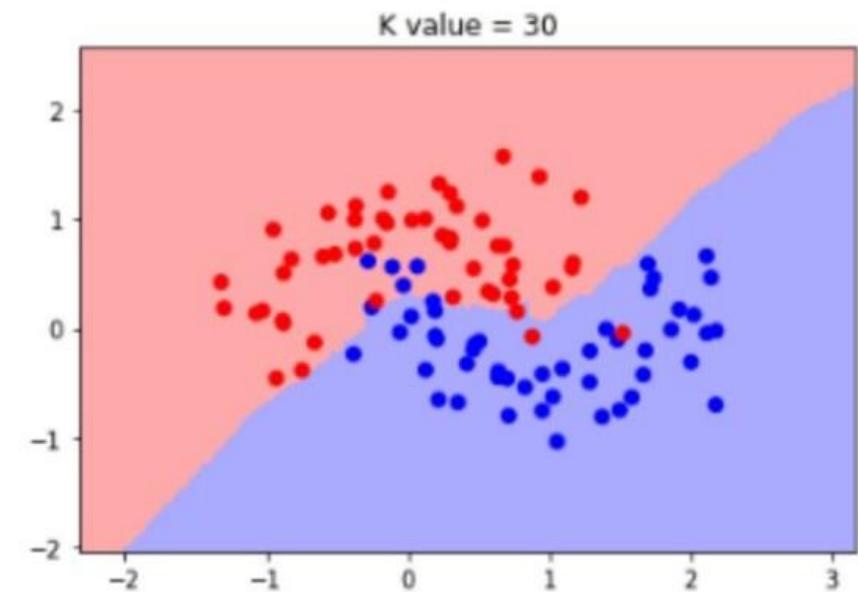
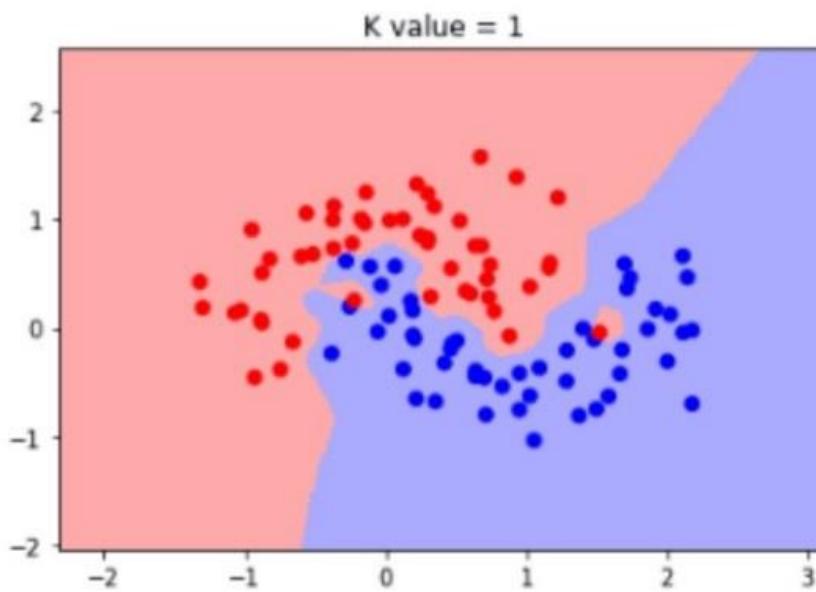
- ▶ Алгоритм относит объект **u** к тому классу, представителей которого окажется больше всего среди **k** его ближайших соседей:

$$\hat{y}(u) = \arg \max_c \sum_{j=1}^k [y_u^{(j)} = c]$$

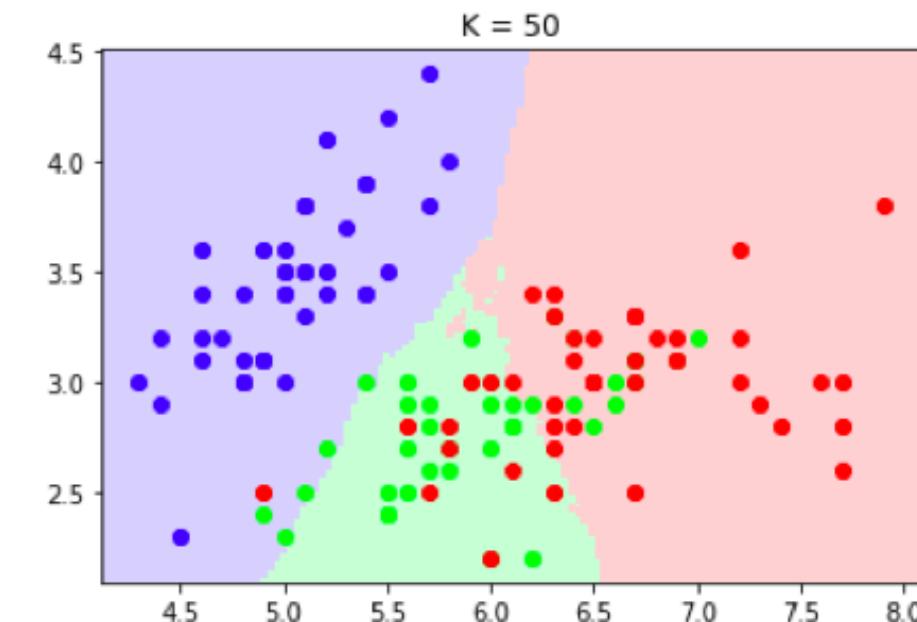
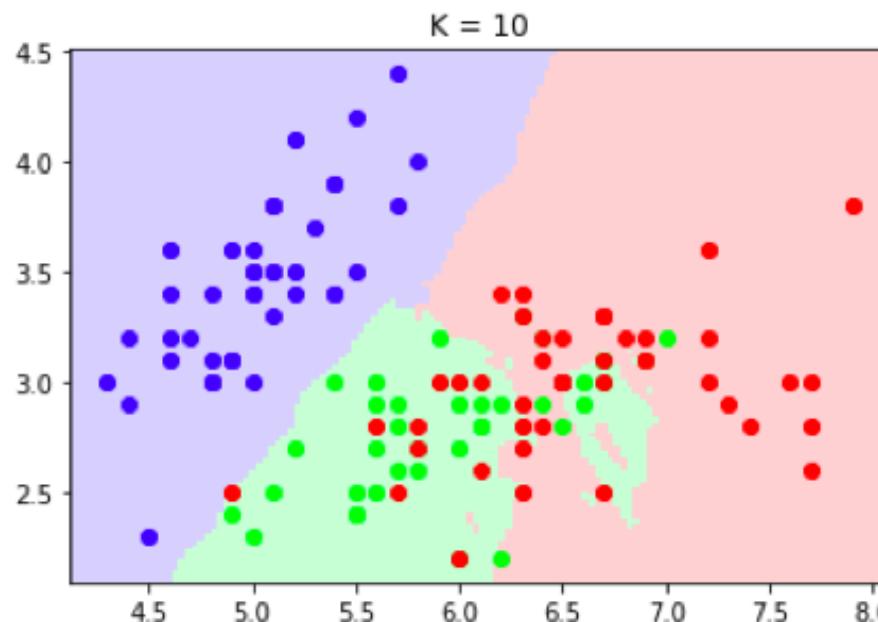
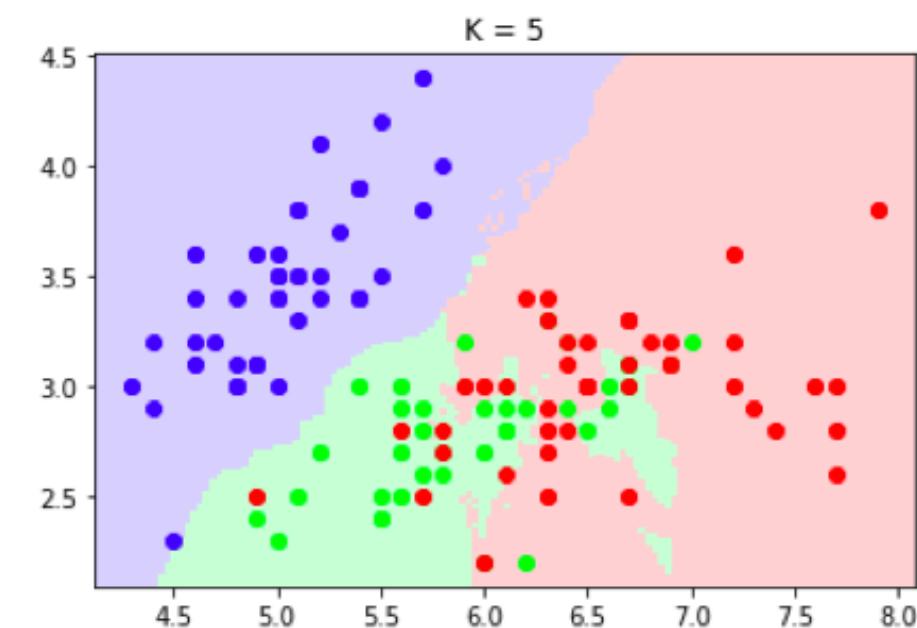
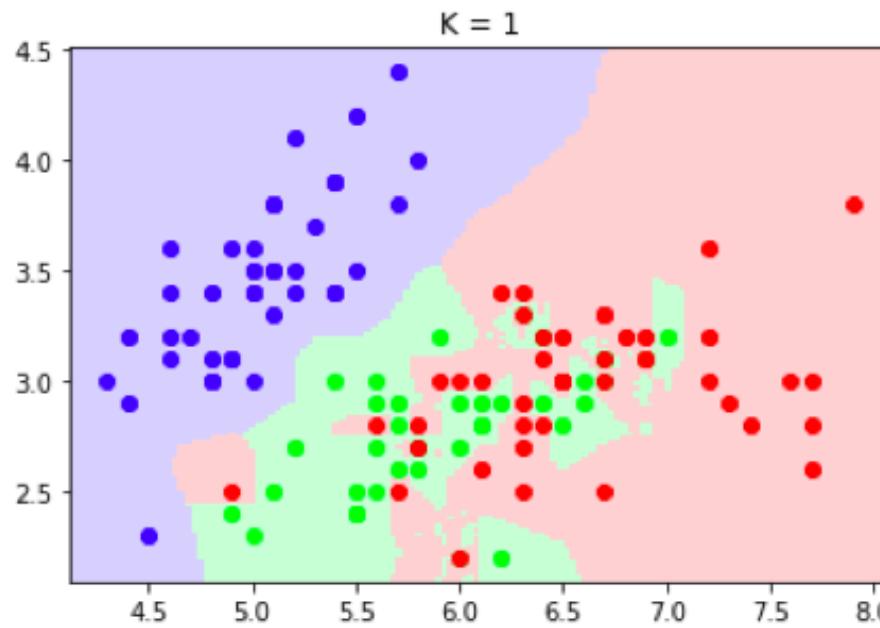
$$\hat{p}_c(u) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k [y_u^{(j)} = c]$$

- $c = \{0, 1, 2, \dots, m\}$ – метка класса;
- $y_u^{(j)}$ - метка j -го соседа объекта **u**.
- $\hat{y}(u)$ - прогноз метки класса объекта **u**;
- $\hat{p}_c(u)$ - прогноз вероятности класса для объекта **u**;

Пример



Пример



Вопросы

- ▶ Почему все соседи вносят одинаковый вклад в прогноз?
- ▶ Как сделать вклад более близких соседей весомее?

Модификация

Алгоритм относит объект **u** к тому классу, представителей которого окажется больше всего среди **k** его ближайших соседей:

$$\hat{y}(u) = \arg \max_c \sum_{j=1}^k \mathbf{w}_j [y_u^{(j)} = c]$$

$$\hat{p}_c(u) = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \mathbf{w}_i} \sum_{j=1}^k \mathbf{w}_j [y_u^{(j)} = c]$$

- \mathbf{w}_j - некоторый вес соседа.

Примеры весов

- ▶ Чем ближе сосед, тем больше вклад:

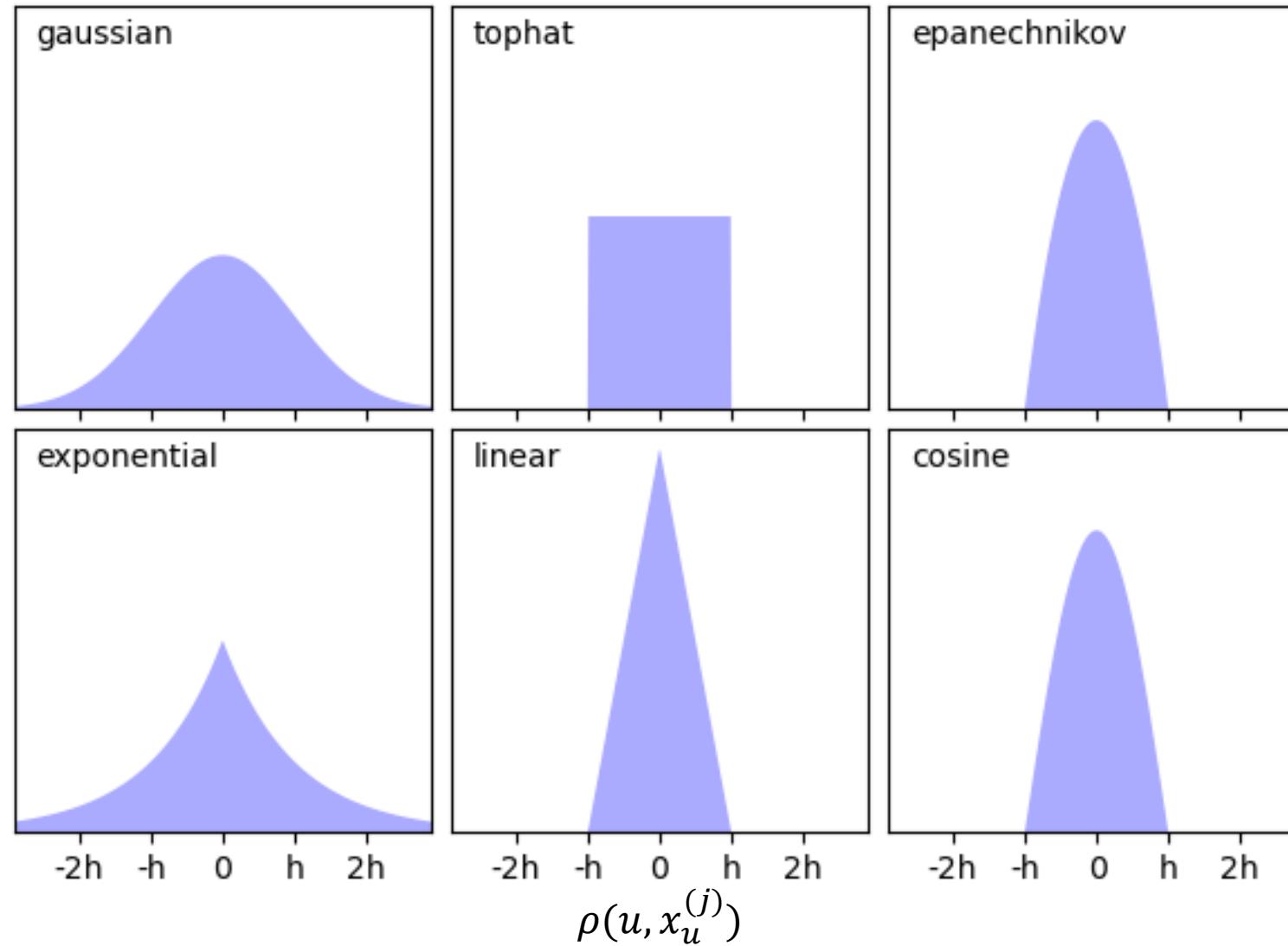
$$w_j = \frac{1}{\rho(u, x_u^{(j)})}$$

- ▶ Метод парзеновского окна:

$$w_j = K \left(\frac{\rho(u, x_u^{(j)})}{h} \right)$$

- h - ширина окна (гиперпараметр)
- K - ядро (некоторая функция близости двух объектов)

Примеры ядер



- Gaussian kernel (`kernel = 'gaussian'`)
$$K(x; h) \propto \exp\left(-\frac{x^2}{2h^2}\right)$$
- Tophat kernel (`kernel = 'tophat'`)
$$K(x; h) \propto 1 \text{ if } |x| < h$$
- Epanechnikov kernel (`kernel = 'epanechnikov'`)
$$K(x; h) \propto 1 - \frac{x^2}{h^2}$$
- Exponential kernel (`kernel = 'exponential'`)
$$K(x; h) \propto \exp(-|x|/h)$$
- Linear kernel (`kernel = 'linear'`)
$$K(x; h) \propto 1 - |x|/h \text{ if } |x| < h$$
- Cosine kernel (`kernel = 'cosine'`)
$$K(x; h) \propto \cos\left(\frac{\pi x}{2h}\right) \text{ if } |x| < h$$

Алгоритм KNN для регрессии



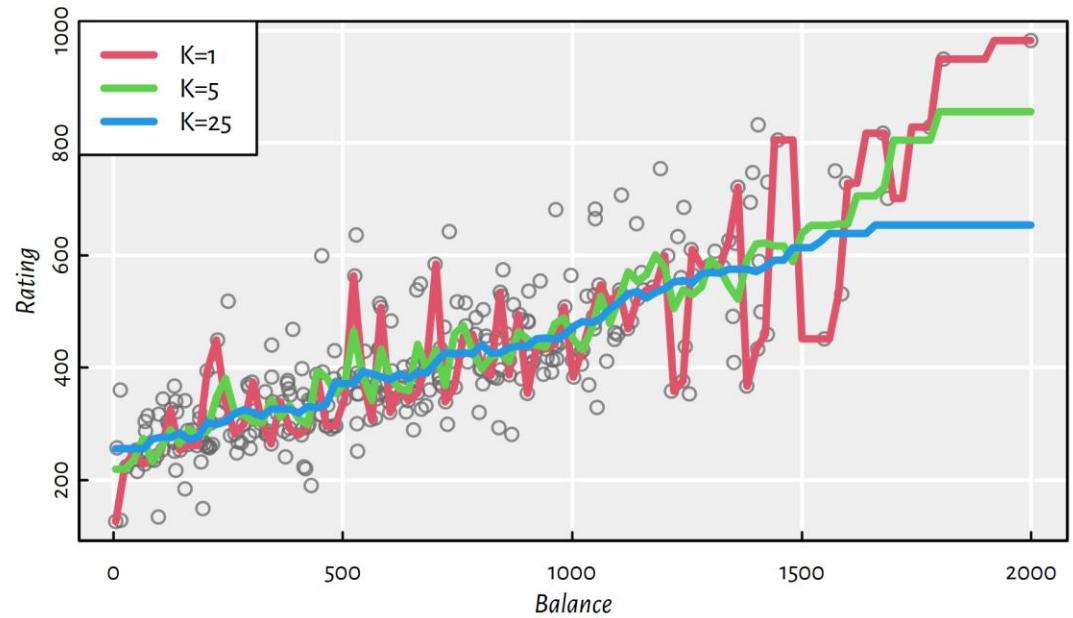
Примеры

- ▶ Прогноз продолжительности жизни
- ▶ Оценка рисков в банках
- ▶ Прогнозирование цены товара
- ▶ Прогнозирование объема продаж



Задача

- ▶ Есть объекты (X)
- ▶ Нужно предсказать некоторую величину (y)
- ▶ Функция, которая описывает зависимость y от X - **модель регрессии**



Алгоритм

Для нового объекта \mathbf{u} находим такое число \mathbf{c} , что:

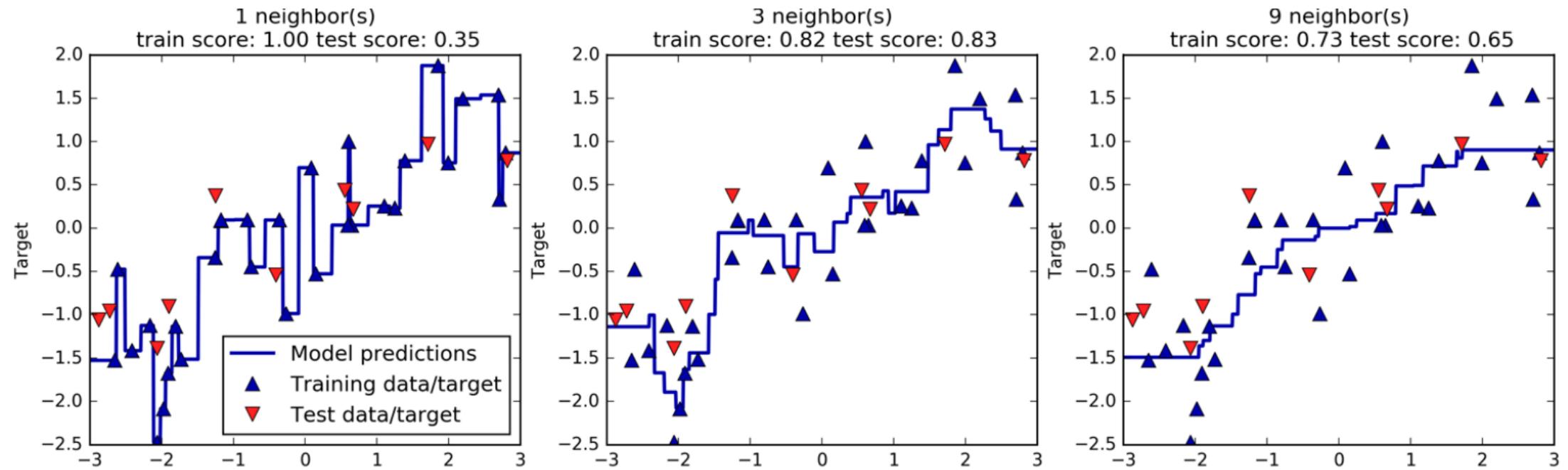
$$\hat{y}(u) = \arg \min_{c \in R} \sum_{j=1}^k \mathbf{w}_j \left(y_u^{(j)} - c \right)^2$$

или в явном виде:

$$\hat{y}(u) = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \mathbf{w}_i} \sum_{j=1}^k \mathbf{w}_j y_u^{(j)}$$

- c – 'усредненное' значение целевой переменной по соседям,
- $y_u^{(j)}$ – значение целевой переменной j -го соседа объекта \mathbf{u} ,
- \mathbf{w}_j – некоторый вес соседа,
- $\hat{y}(u)$ – прогноз для объекта \mathbf{u} .

Пример



- ▶ У нас есть набор данных (X)
- ▶ Мы разделили его на выборки для обучения ([train data](#)) и тестирования ([test data](#))
- ▶ Обучили модели на обучающих данных
- ▶ Посчитали качество прогноза на тестовых данных

Функции расстояния

ФУНКЦИИ расстояния

- ▶ Метрика Минковского:

$$\rho(a, b) = \left(\sum_{i=1}^d |a_i - b_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

- ▶ $p = 2$ – Евклидова метрика,
- ▶ $p = 1$ – Манхэттенское расстояние,
- ▶ $p = \infty$ – метрика Чебышева (наибольшее покоординатное расстояние),

Функции расстояния

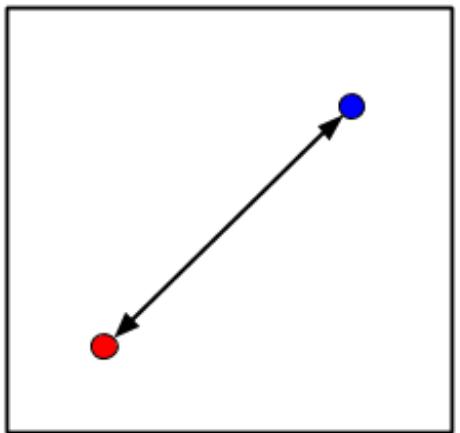
- ▶ Косинусное расстояние:

$$\rho(a, b) = \arccos \frac{a^T b}{\|a\| \|b\|}$$

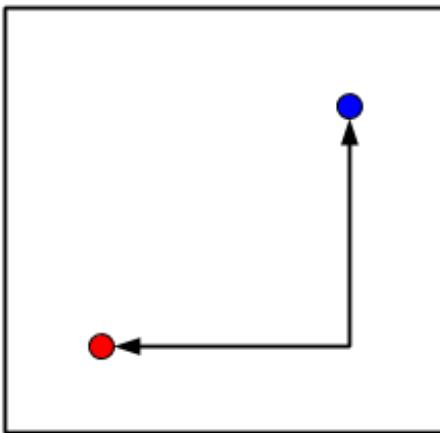
- ▶ Угол между векторами a и b .

ФУНКЦИИ расстояния

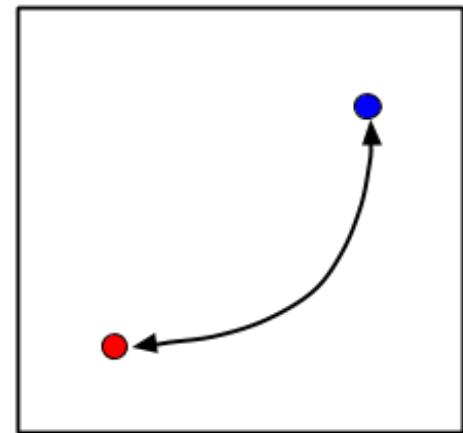
Euclidean



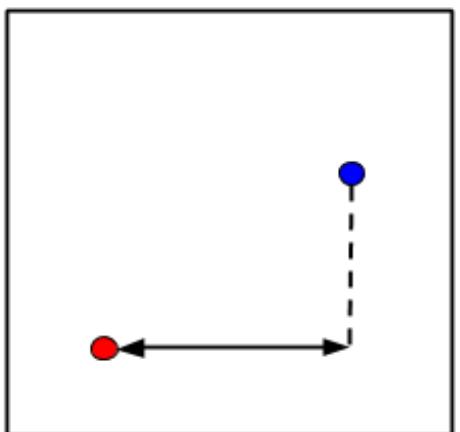
Manhattan



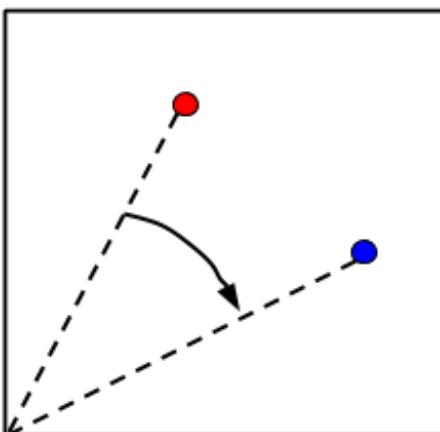
Minkowski



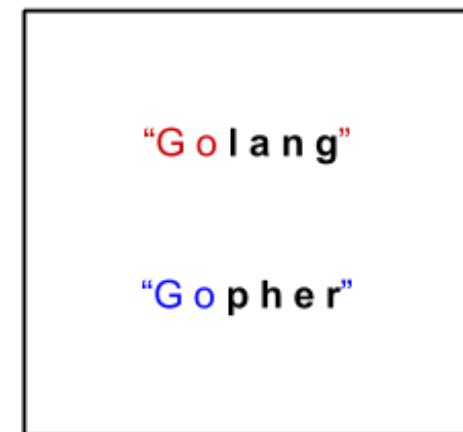
Chebychev



Cosine Similarity



Hamming



Проблемы KNN



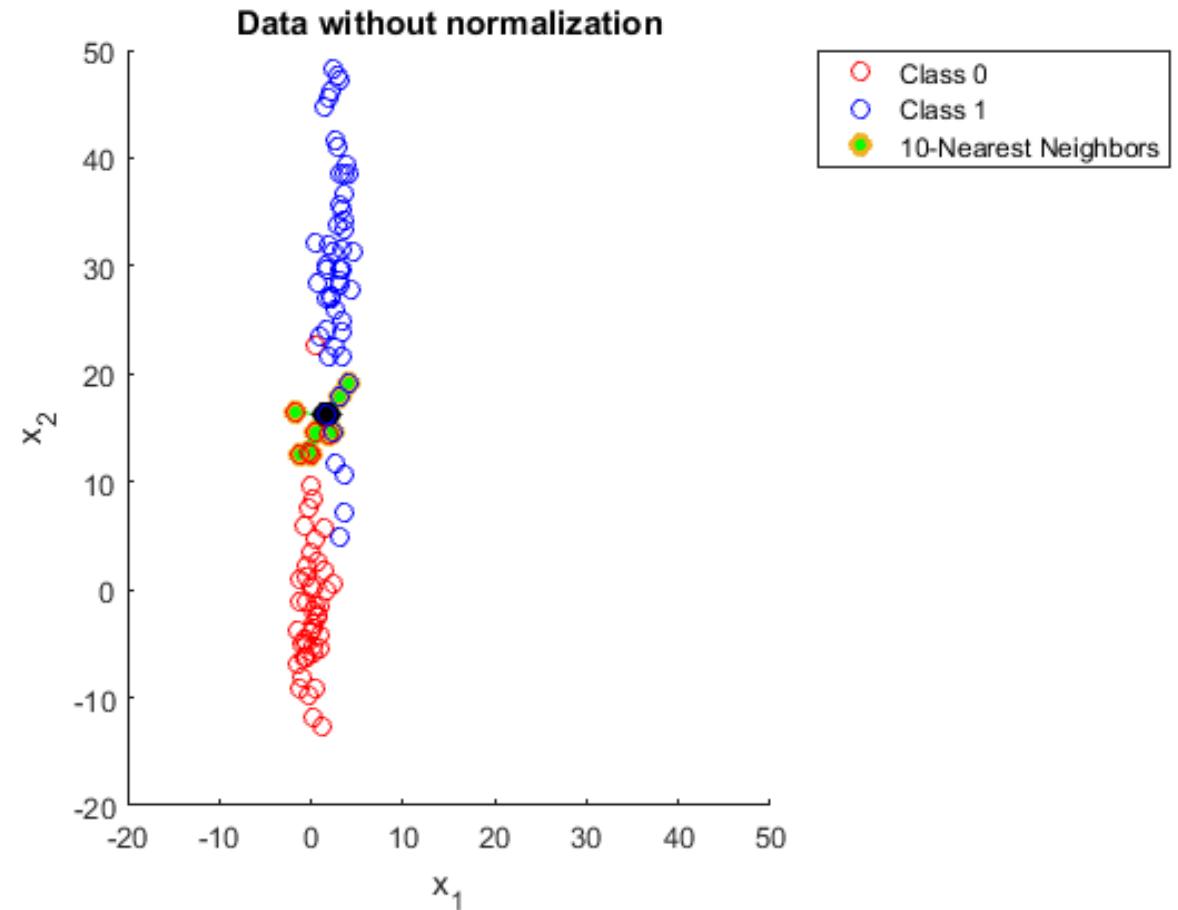
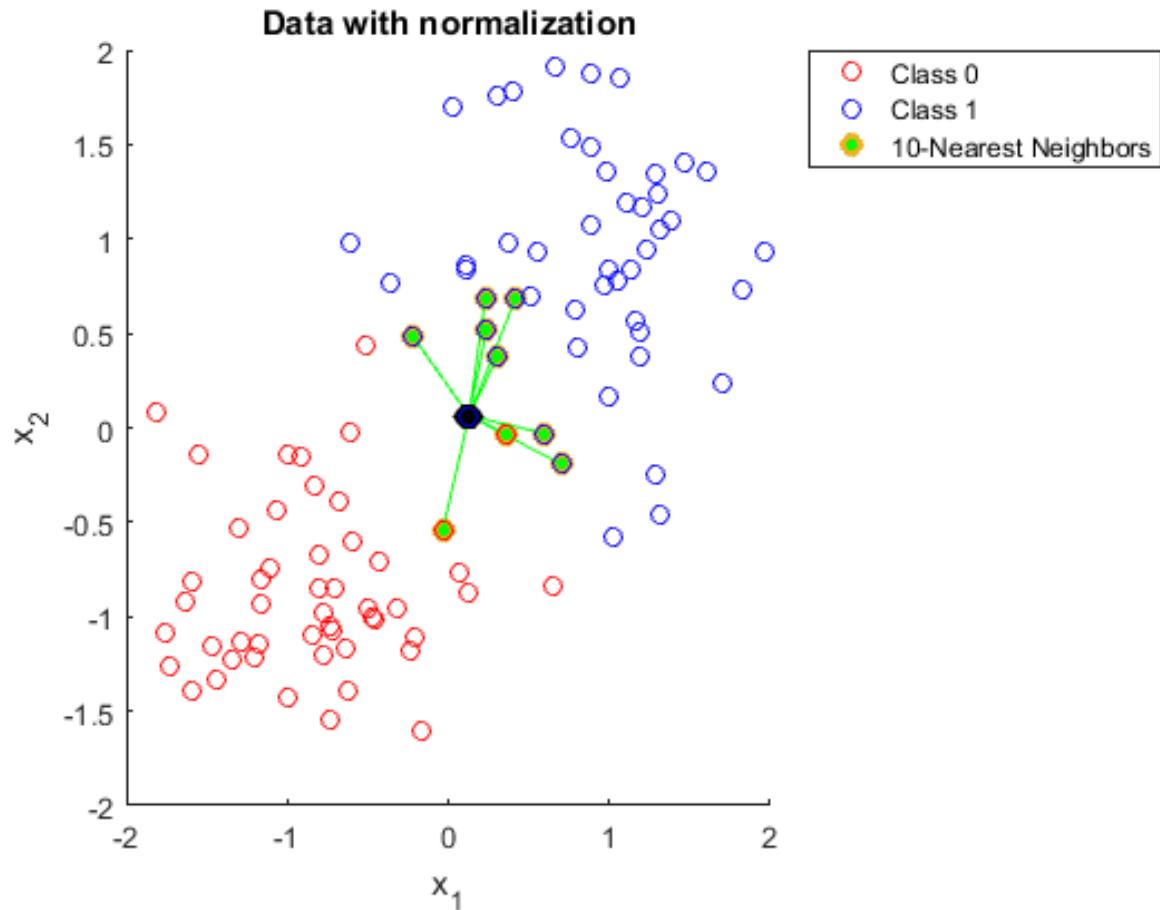
Основные проблемы KNN

Все проблемы KNN из-за функций расстояния:

$$\rho^2(a, b) = (a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \dots + (a_d - b_d)^2$$

- ▶ Масштаб признаков сильно влияет на результат
 - Одинаковый масштаб – равный вклад в прогноз
 - Разный масштаб – разный вклад в прогноз ☺
- ▶ Шумовые признаки снижают качество алгоритма
- ▶ Плохо работает на больших размерностях данных
 - Проклятье размерности

Масштаб признаков

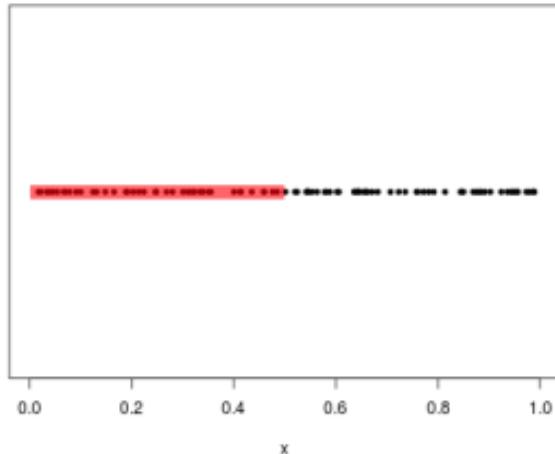


Перед обучением КНН данные нужно нормировать – приводить значения признаков к одному масштабу

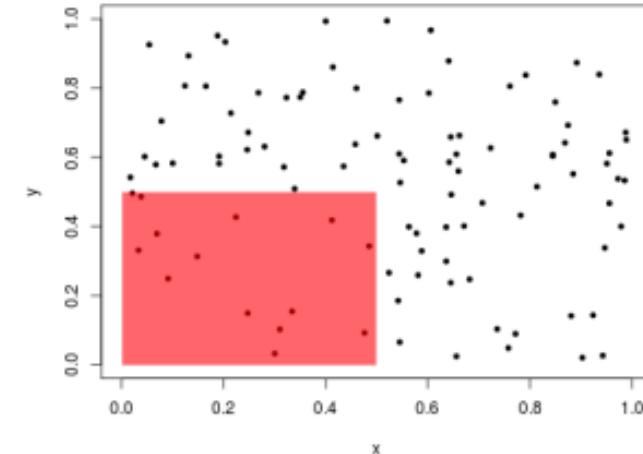
Проклятье размерности

- ▶ С ростом размерности D число кубов растет экспоненциально с D
- ▶ Число объектов в каждом кубе падает экспоненциально с D
- ▶ Расстояние между объектами сильно увеличивается
- ▶ Использование KNN может потерять смысл

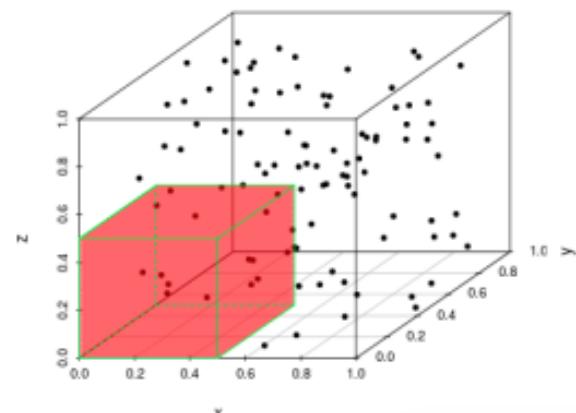
1-D: 42% of data captured.



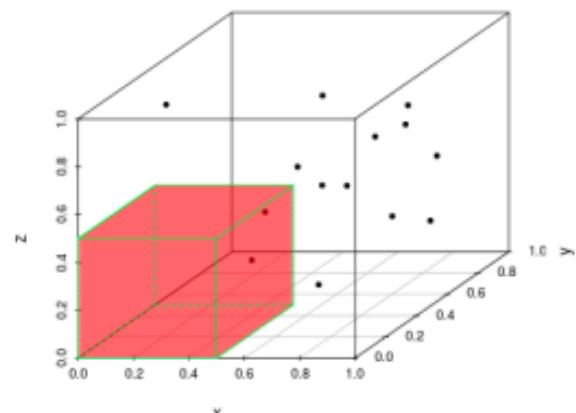
2-D: 14% of data captured.



3-D: 7% of data captured.



4-D: 3% of data captured.



Demo

Model Description

K-Nearest Neighbors (KNN)

The K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm is a non-parametric, instance-based learning method used for classification and regression. The algorithm classifies data points based on the majority vote of their 'k' nearest neighbors in the feature space.

Parameters

k: The number of nearest neighbors to consider for making predictions.

Weights: The weight function used in prediction. Options include 'uniform' (all neighbors are weighted equally) and 'distance' (closer neighbors have more influence).

Metric: The distance metric used to calculate the distance between points. Common metrics include 'minkowski', 'euclidean', and 'manhattan'.

Control Panel

Select Model:

KNN

Number of Neighbors (k):

2

Weights:

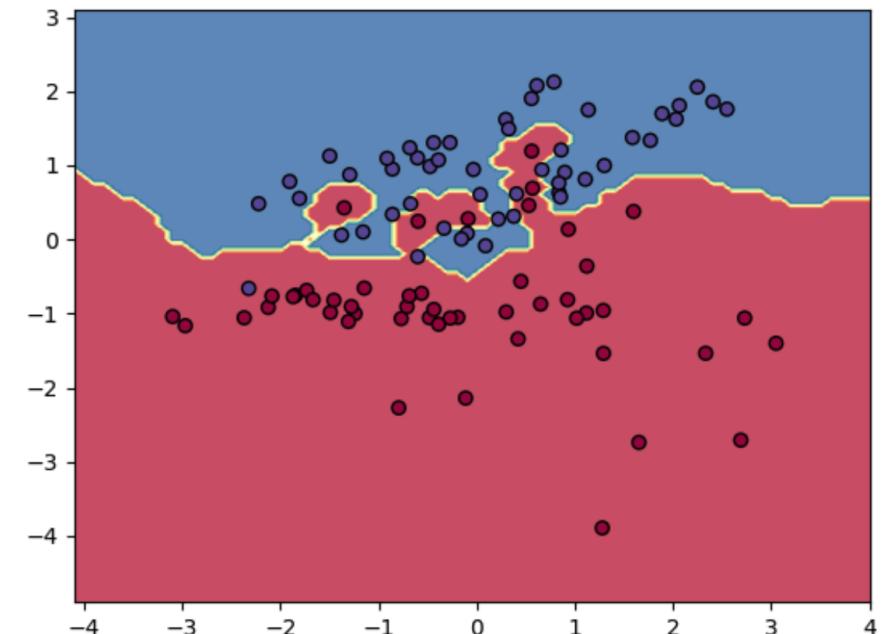
Uniform

Metric:

Minkowski

Randomize Data

Normal Distribution



<https://learnwithml.com>

Заключение



Вопросы

- ▶ Опишите алгоритм k ближайших соседей для задач регрессии и классификации.
- ▶ Каковы проблемы использования метода k ближайших соседей на практике?
- ▶ Запишите формулы для следующий функций расстояния: расстояние Минковского, евклидово расстояние, манхэттэнское расстояние, косинусное расстояние.