

# Глубинное обучение

Лекция 1

Введение в глубинное обучение

Михаил Гущин

[mhushchyn@hse.ru](mailto:mhushchyn@hse.ru)

НИУ ВШЭ, 2024



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# Организационные моменты

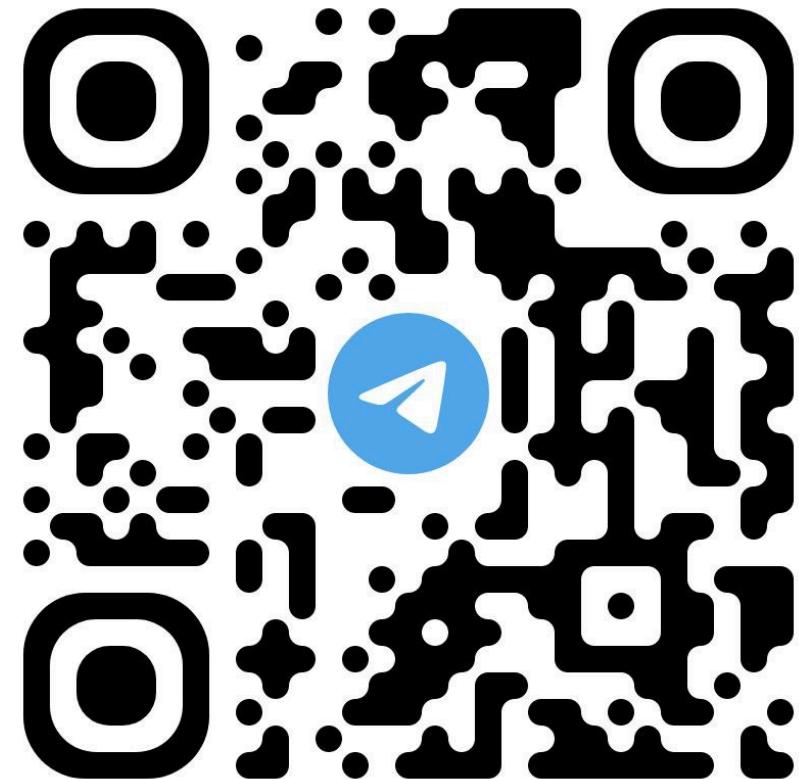
---

# Наша команда

- ▶ **Лектор:**
  - Михаил Гущин
- ▶ **Семинаристы:**
  - Азиз Темирханов
- ▶ **Ассистенты:**
  - Анвар Ибрахим
  - Язан Дайюб

# Чат курса в ТГ

- ▶ Важные объявления
- ▶ Можно задавать вопросы
- ▶ Дополнительные материалы



# Вики курса

- ▶ Материалы лекций и семинаров
- ▶ Домашние задания
- ▶ Другая полезная информация по курсу
- ▶ Ссылки на курсы и книги



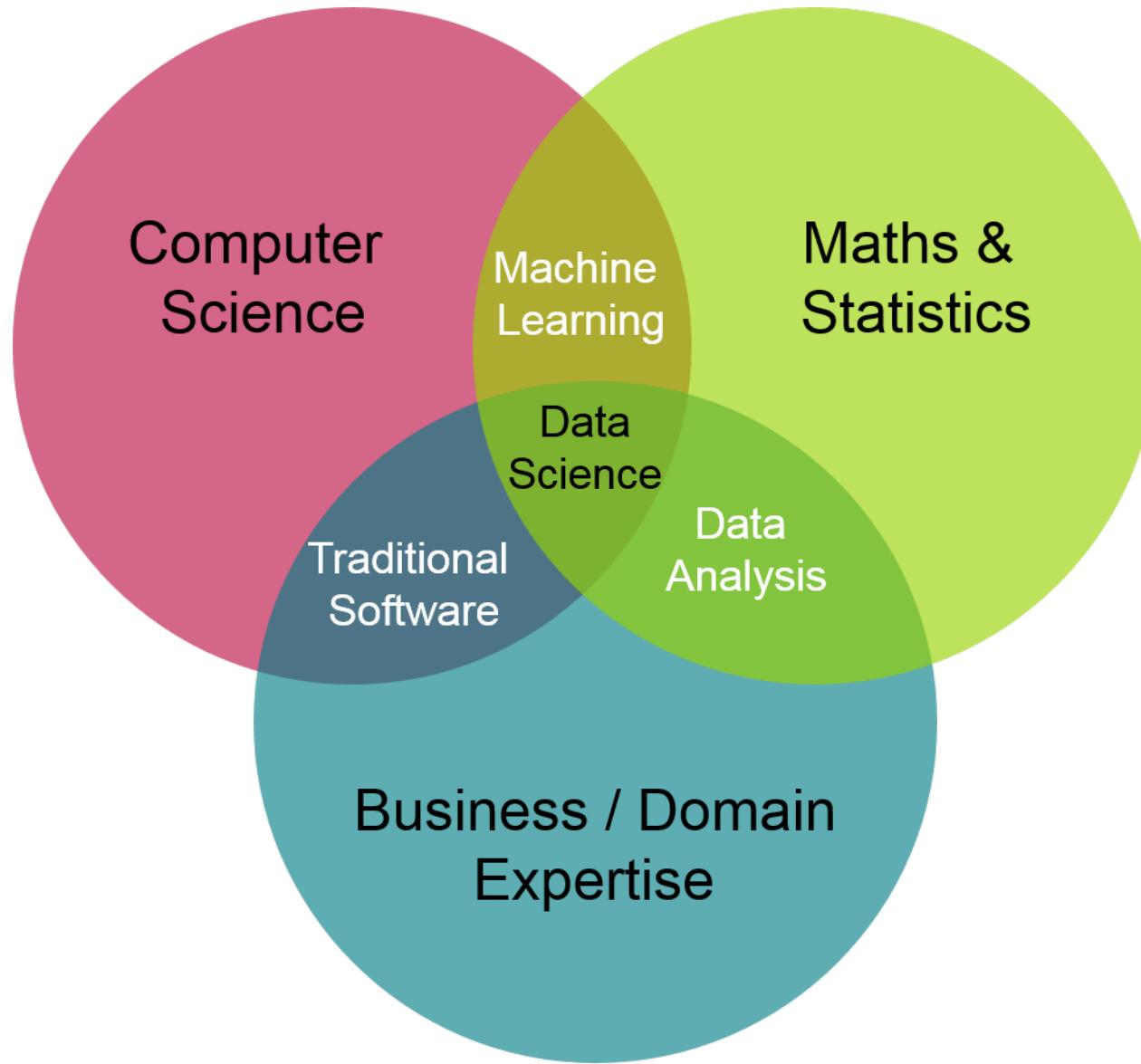
# Занятия

- ▶ Лекции
  - по средам в 18:10 в R407
- ▶ Семинары
  - по средам в 19:40 в R407



# Оценки

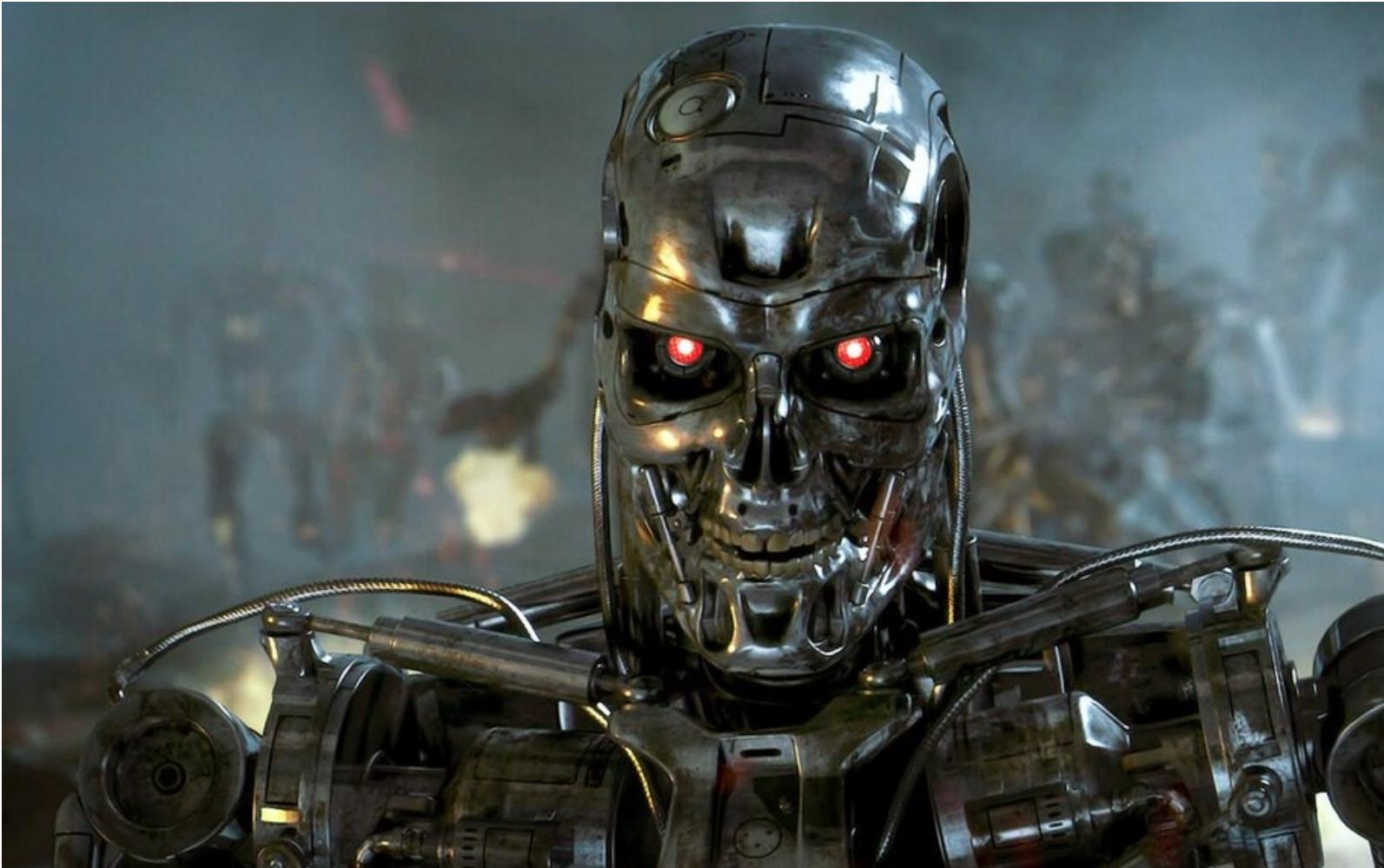
- ▶ Домашние задания
  - Практические задачи на программирование
  - Теоретические задачи
  - Мягкий и жесткий дедлайны
- ▶ Контрольная работа в ноябре
  - Теоретические вопросы + задачи
- ▶ Экзамен в конце курса
  - Теоретические вопросы + задачи
- ▶ Правила выставления оценок:  
$$\text{Итоговая} = \text{Округление} ( 0.5 * \text{ДЗ} + 0.2 * \text{КР} + 0.3 * \text{Э} )$$



ИИ в кино



# Терминатор



# Я, робот



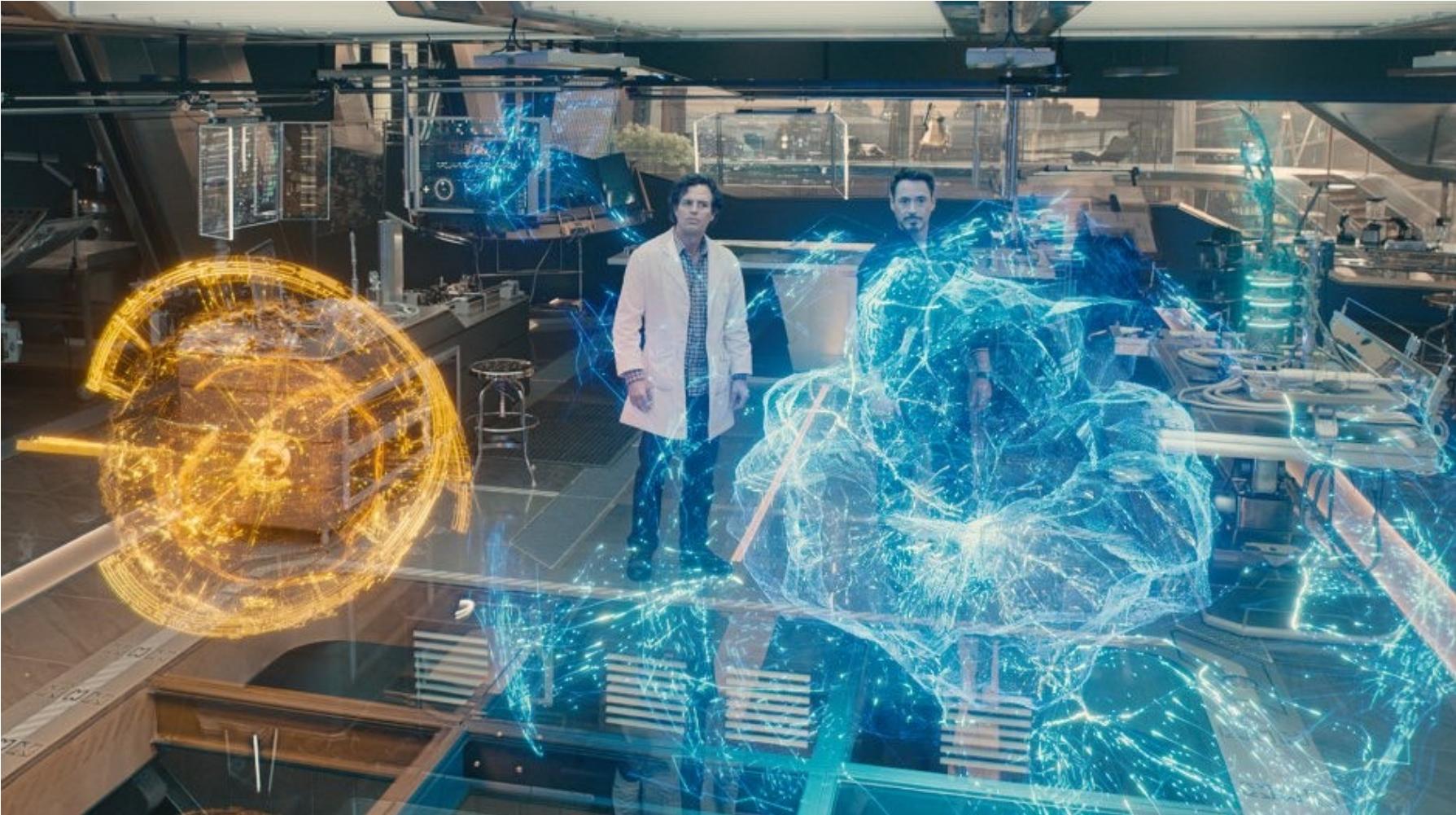
# ВАЛЛ-И



# Превосходство



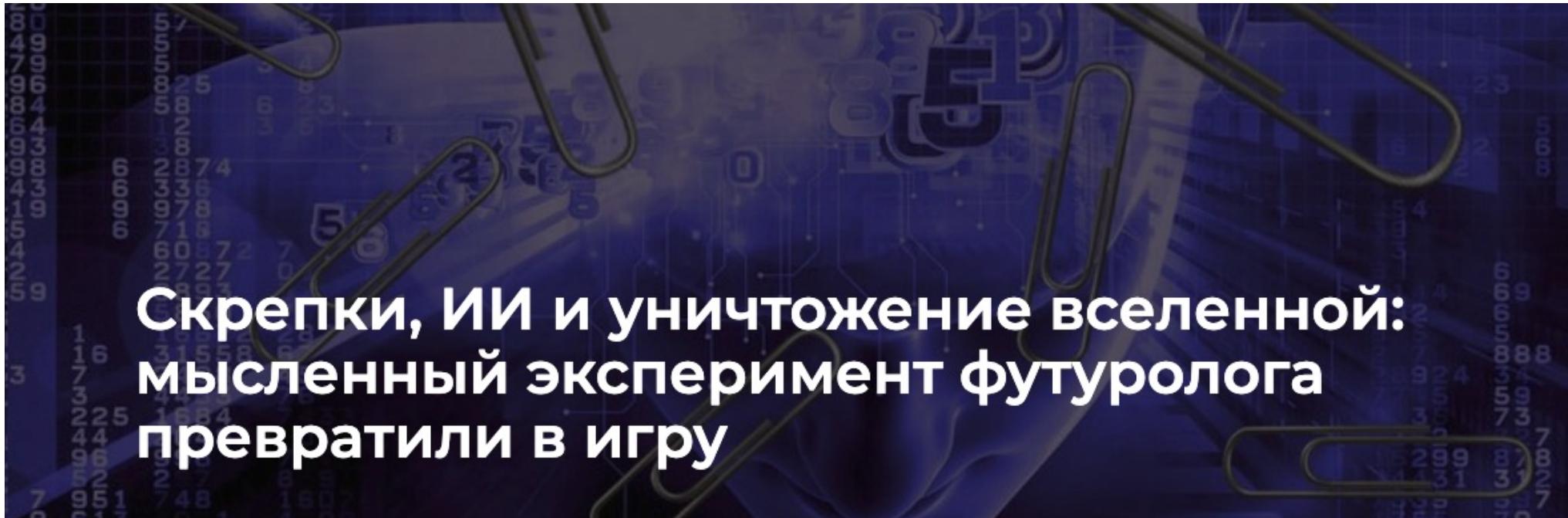
# Железный человек / Мстители



# Индекс страха



# ИИ и скрепки

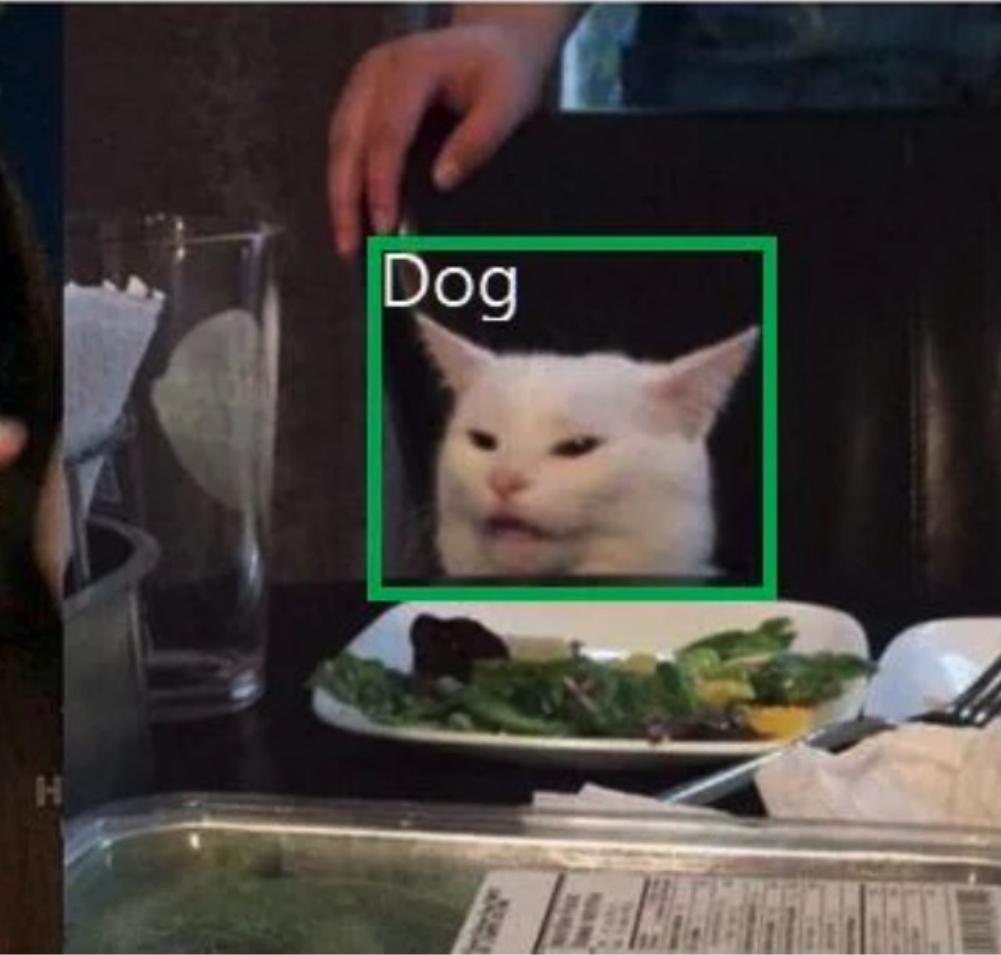


- ▶ Статья: <https://rb.ru/story/universal-paperclips/>
- ▶ Игра-кликер: <http://www.decisionproblem.com/paperclips/index2.html>

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



# This X Does Not Exist



## This Foot Does Not Exist

Note that this is an SMS chatbot. You can text it to get pictures of feet. The pictures are animated. The feet are nonexistent. Why would you want to do this? Who knows.

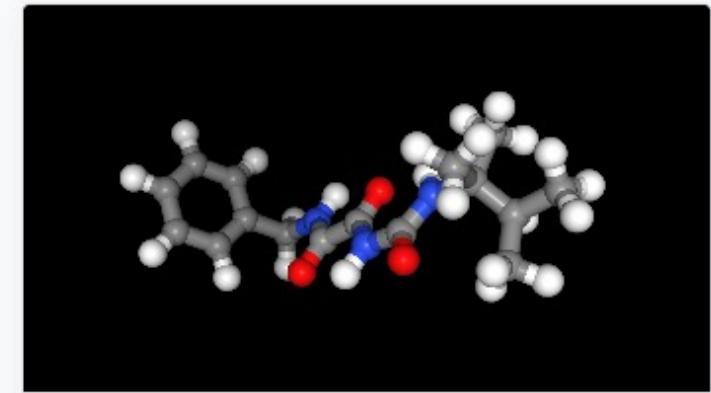
Created by MSCHF.



## This Artwork Does Not Exist

Be inspired by minimalism, realism, post-modernism, pre-modernism, modernism, and ancientism (not actually a thing). No matter your art preferences, you can find it here with enough refreshing.

Created by Michael Friesen.



## This Chemical Does Not Exist

Who said drug discovery is hard? Just refresh until you find the right chemical. In all seriousness, the fact that this renders a 3D model with the correct bond pairings is impressive.

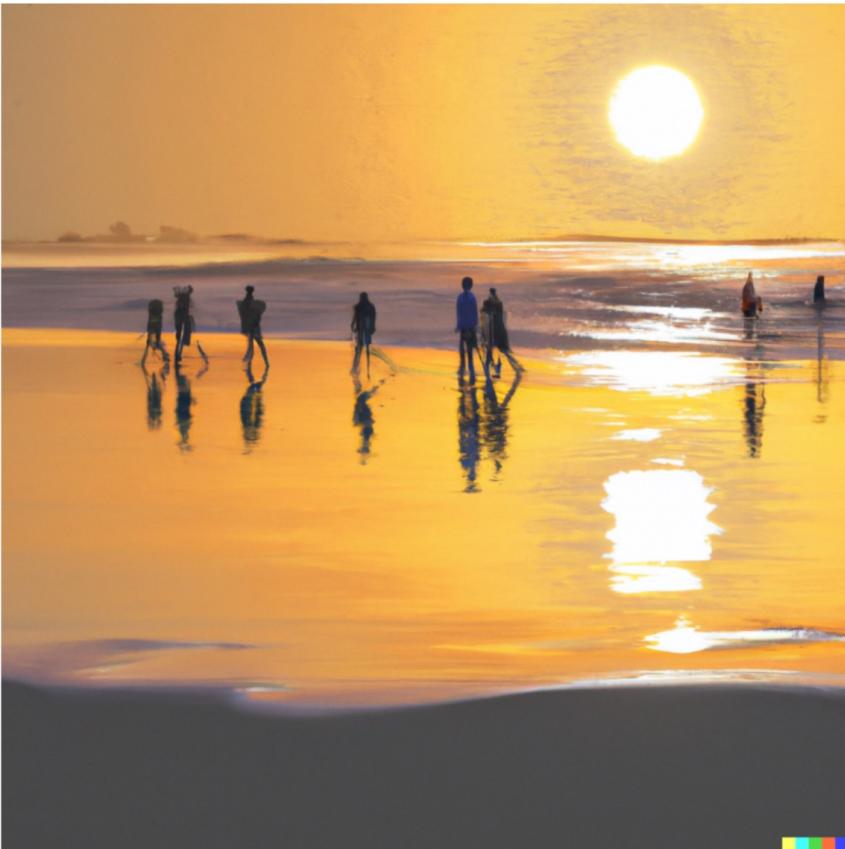
<https://thisxdoesnotexist.com>

# Генерация фотографий

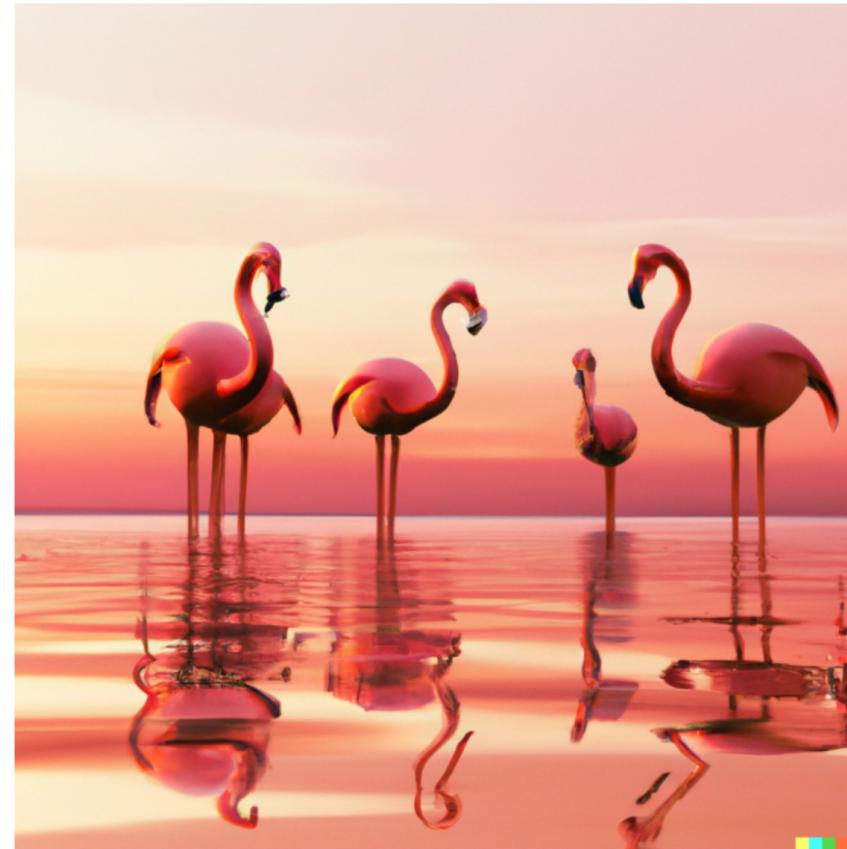


Source: Goodfellow et al., 2014; Radford et al., 2016; Liu & Tuzel, 2016;  
Karras et al., 2018; Karras et al., 2019; Goodfellow, 2019; Karras et al.,  
2020; AI Index, 2021; Vahdat et al., 2021

# Dall-E 3 (OpenAI)



*"People walking on a beach during sunrise, a reflection of the sun on the water, realistic"*



*"Flamingos standing on water, red sunset, pink-red water reflection, photo-realistic, 4k"*

Source: <https://learnopencv.com/image-generation-using-diffusion-models/>

# Imagen (Google)



*“A photo of a Shiba Inu dog with a backpack riding a bike. It is wearing sunglasses and a beach hat.”*



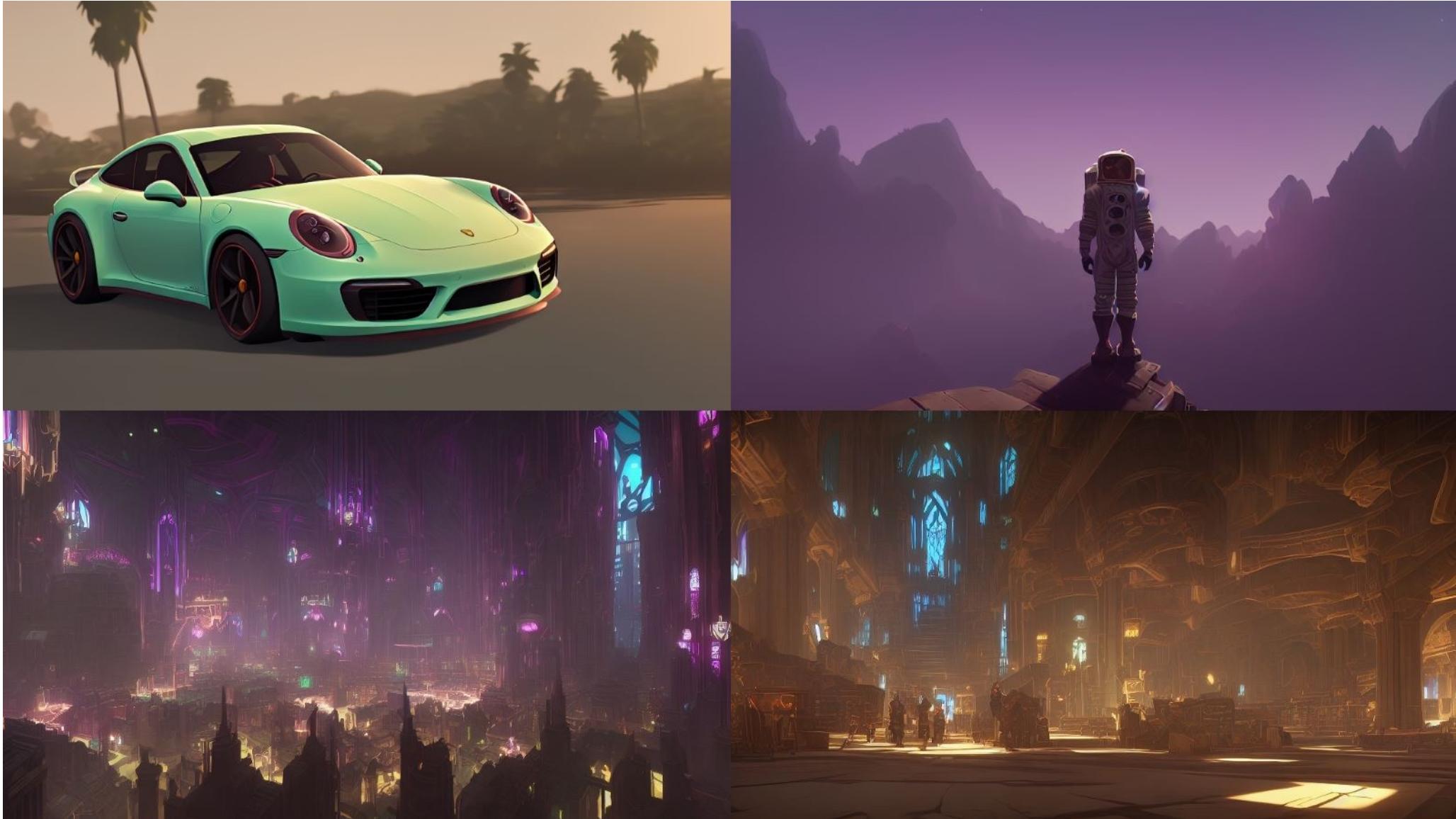
*“A blue jay standing on a large basket of rainbow macarons”*



*“A brain riding a rocketship heading towards the moon”*

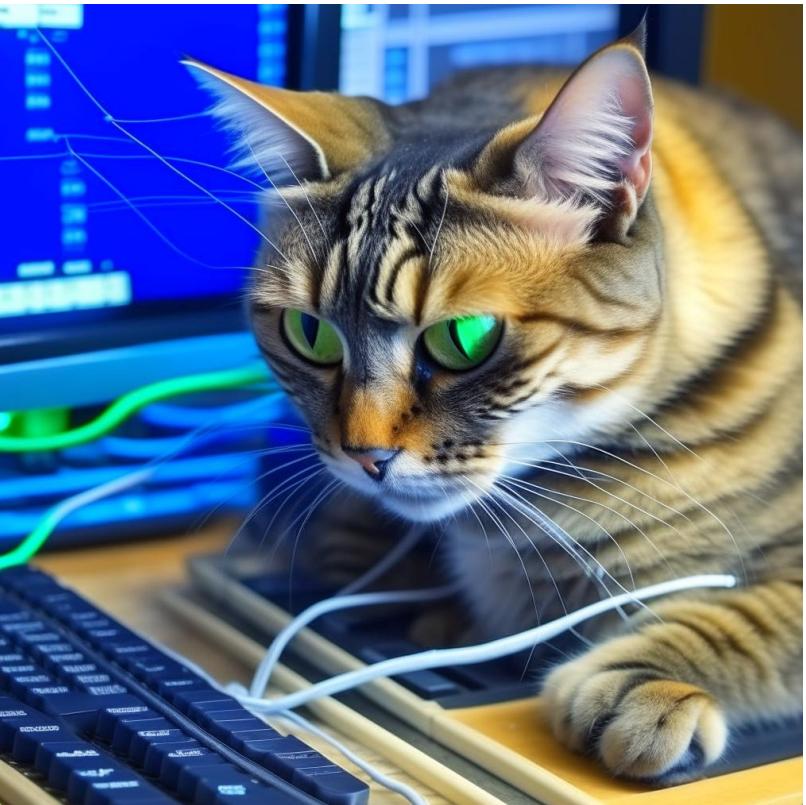
Source: <https://learnopencv.com/image-generation-using-diffusion-models/>

# Stable Diffusion (StabilityAI)



Source: <https://learnopencv.com/image-generation-using-diffusion-models/>

# Генерация изображения по описанию



Кот фиксит баг в обучении  
нейронной сети



Розовый фламинго стоит на  
одной ноге в воде

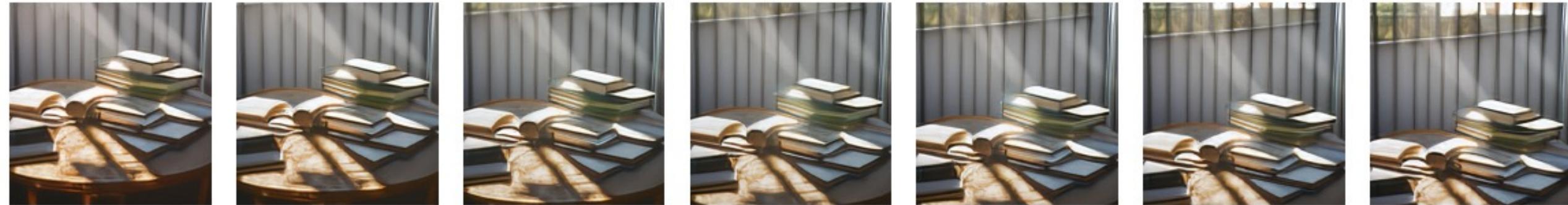
Ссылка: <https://www.sberbank.com/promo/kandinsky>

# Text-to-Video

## Make-a-Video from Meta



(a) A dog wearing a superhero outfit with red cape flying through the sky.



(b) There is a table by a window with sunlight streaming through illuminating a pile of books.

Source: stateof.ai 2022

# Deepfake



John Wick 4: Dangerous Cleanup  
7,4 млн просмотров



This is you right now 😂  
1,2 млн просмотров



Katana wins  
18 млн просмотров



Thank you, my followers ❤️  
1,9 млн просмотров



10 minutes of eternity...  
1,9 млн просмотров



Keanu Reeves lives with his girlfriend  
19 млн просмотров



Did you recognize everyone?  
2,1 млн просмотров



When I came back from filming  
1,2 млн просмотров



You spin USB right 'round, baby, right 'round... #keanu...  
1,5 млн просмотров



Who is the best dancer? 😎  
#keanu #reeves #dance #fyp  
7,9 млн просмотров



Mirror trick 😎 #keanu #reeves #mirror #tenet  
1,1 млн просмотров



Dressing up like a cool guy.  
#reeves #keanu #dressup  
1,1 млн просмотров

# Deepfake



## Unreal Keanu Reeves

@unreal\_keanu

617 тыс. подписчиков

ГЛАВНАЯ

SHORTS

ПЛЕЙЛИСТЫ

СООБЩЕСТВО

КАНАЛЫ

О КАНАЛЕ

### Описание

This is the official deepfake channel of actor Keanu Reeves.  
Like, share, subscribe!

### Дополнительно

Для коммерческих запросов:

[Показать адрес электронной почты](#)

Страна:

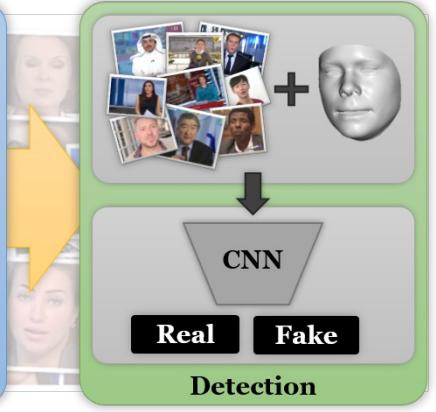
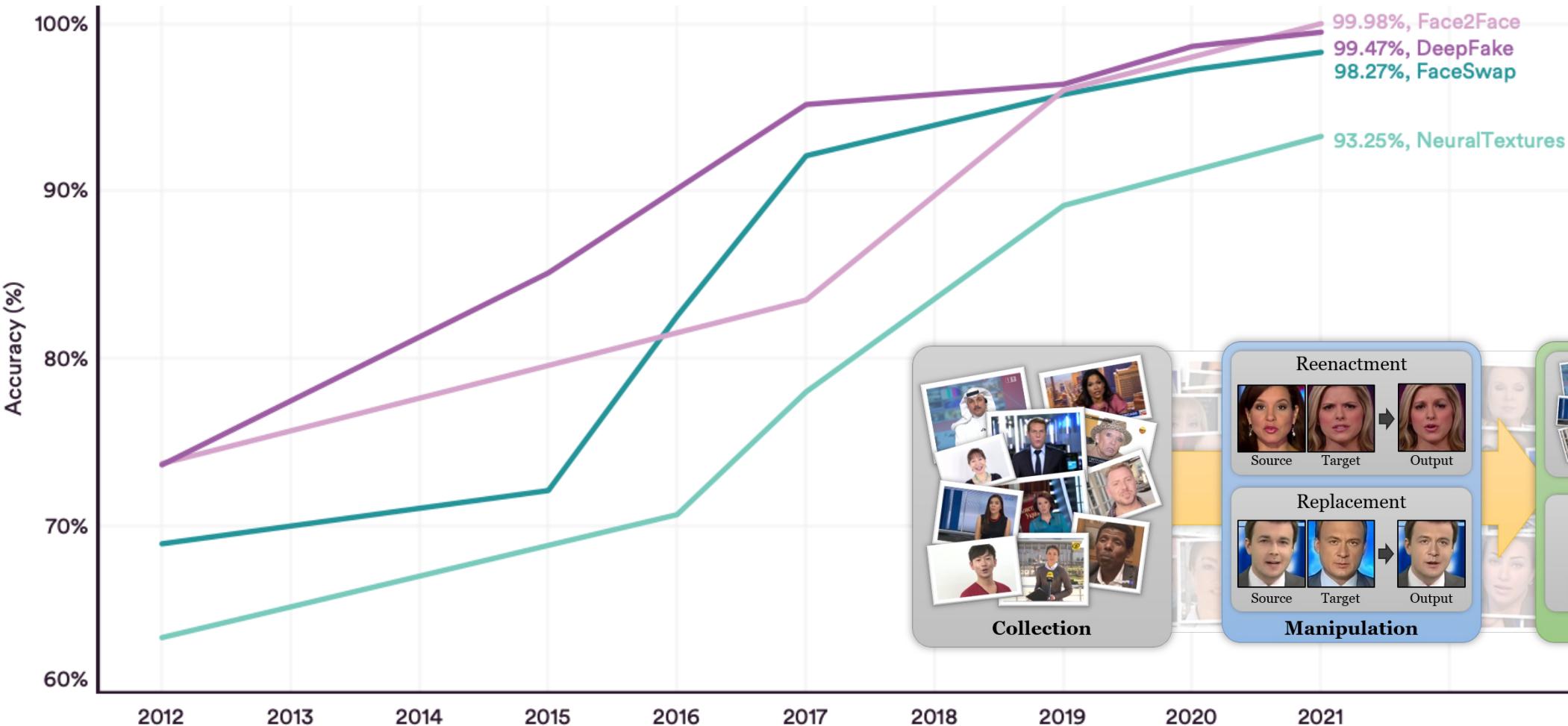
Грузия

Source: [https://www.youtube.com/@unreal\\_keanu/about](https://www.youtube.com/@unreal_keanu/about)

# Deepfake detection

## FACEFORENSICS++: ACCURACY

Source: arXiv, 2021 | Chart: 2022 AI Index Report



# Как отличить картинки



Erkhyan  
@erkhyan@yiff.life

◀ prg\_memes

Что забавно: если хочешь понять,  
сгенерирован ли рисунок нейросеткой,  
следуй правилам, по которым в старых  
сказках распознавали нечистую силу.

«Посчитай пальцы, посчитай костяшки,  
посчитай зубы, проверь тень...»  
...и НИ ПРИ КАКИХ обстоятельствах не  
соглашайся на сделку с этим отродьем.

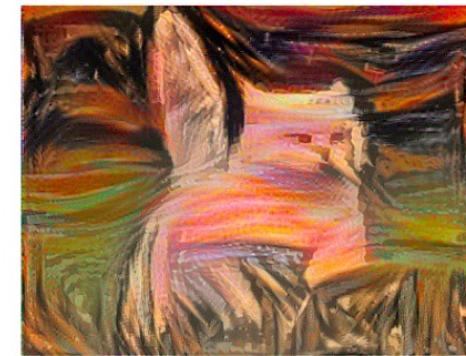
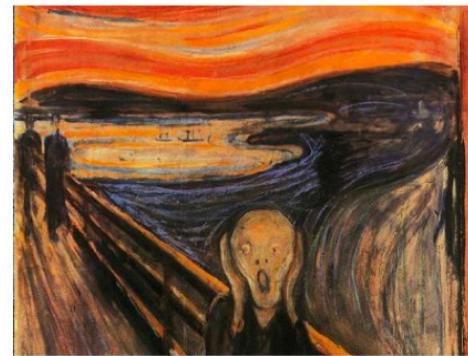
# Перенос стиля изображения



+



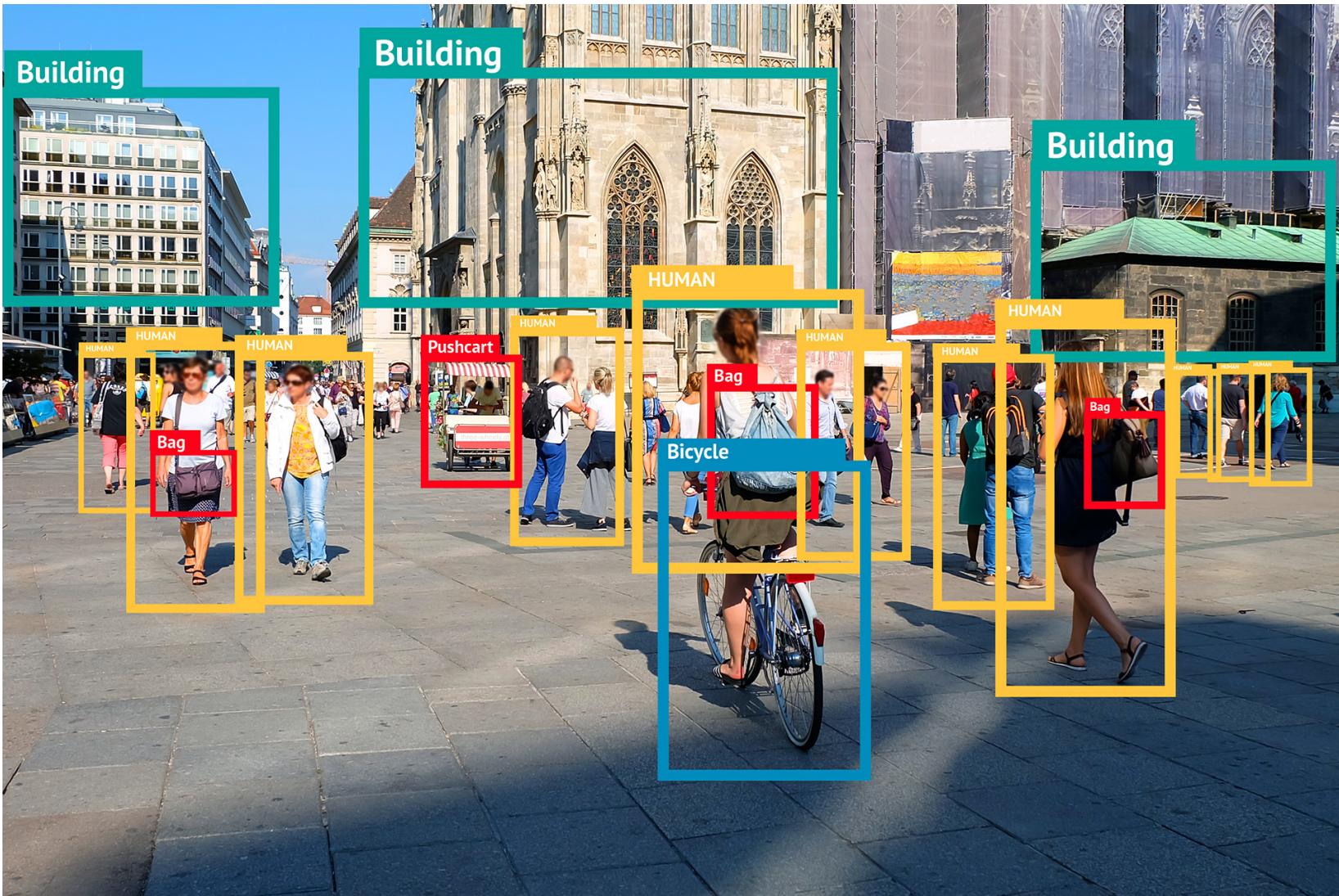
+



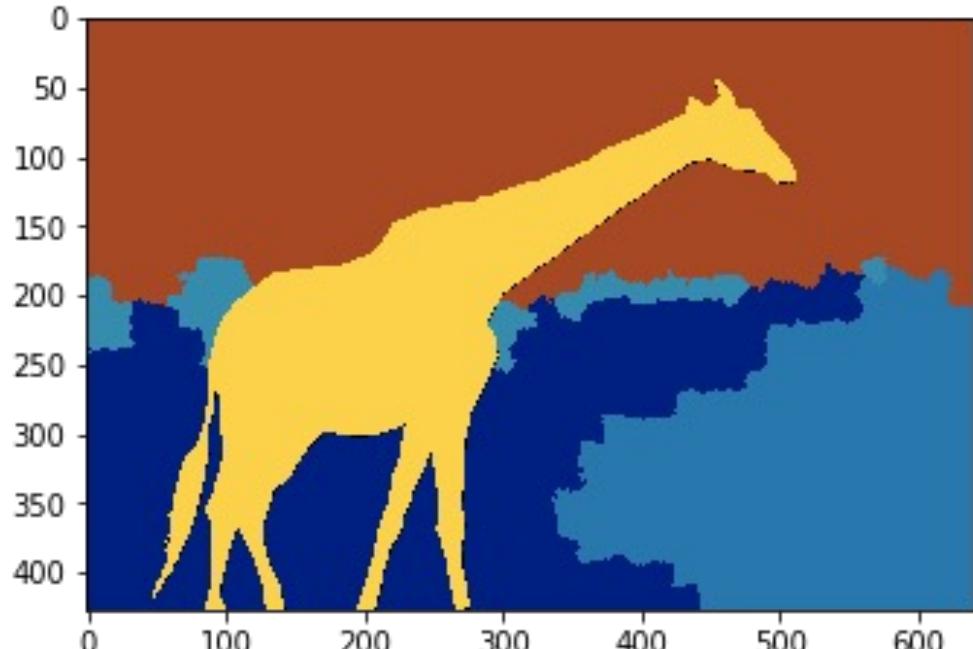
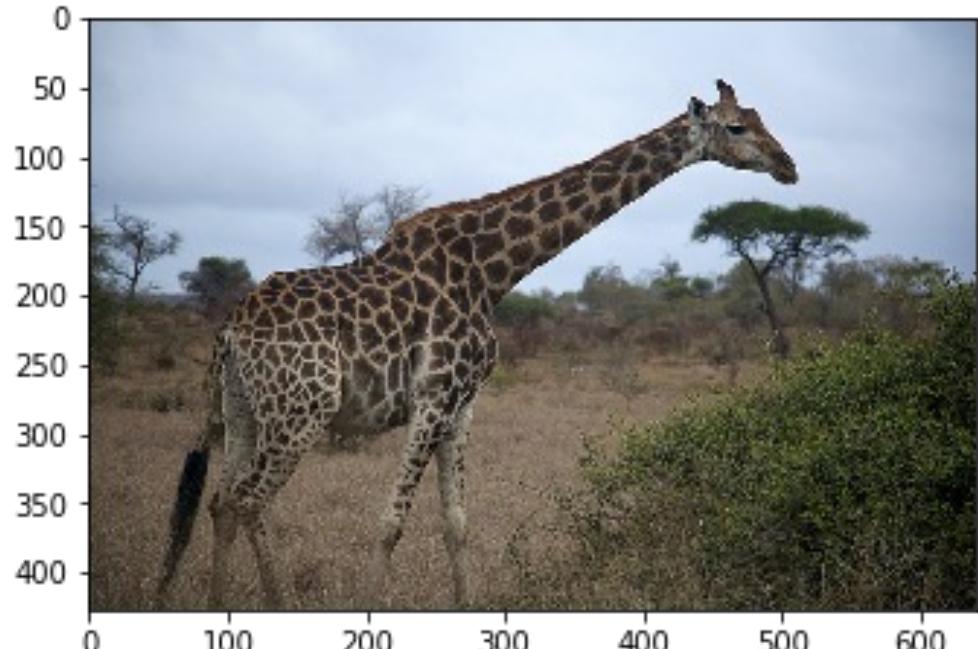
+



# Детектирование объектов



# Сегментация изображений



# Поиск информации

Google machine learning

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](#)



The diagram shows 'Machine Learning' at the center, connected to three main types: 'Unsupervised Learning' (blue), 'Supervised Learning' (red), and 'Reinforcement Learning' (orange). Each type is associated with specific applications: Unsupervised Learning with 'Image Segmentation', 'Customer Segmentation', and 'Anomaly Detection'; Supervised Learning with 'Fraud Detection', 'Image Classification', and 'Predictive Maintenance'; and Reinforcement Learning with 'Autonomous Driving', 'Robotics', and 'Gaming'.

About featured snippets · Feedback

[https://en.wikipedia.org/wiki/Machine\\_learning](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? ▾

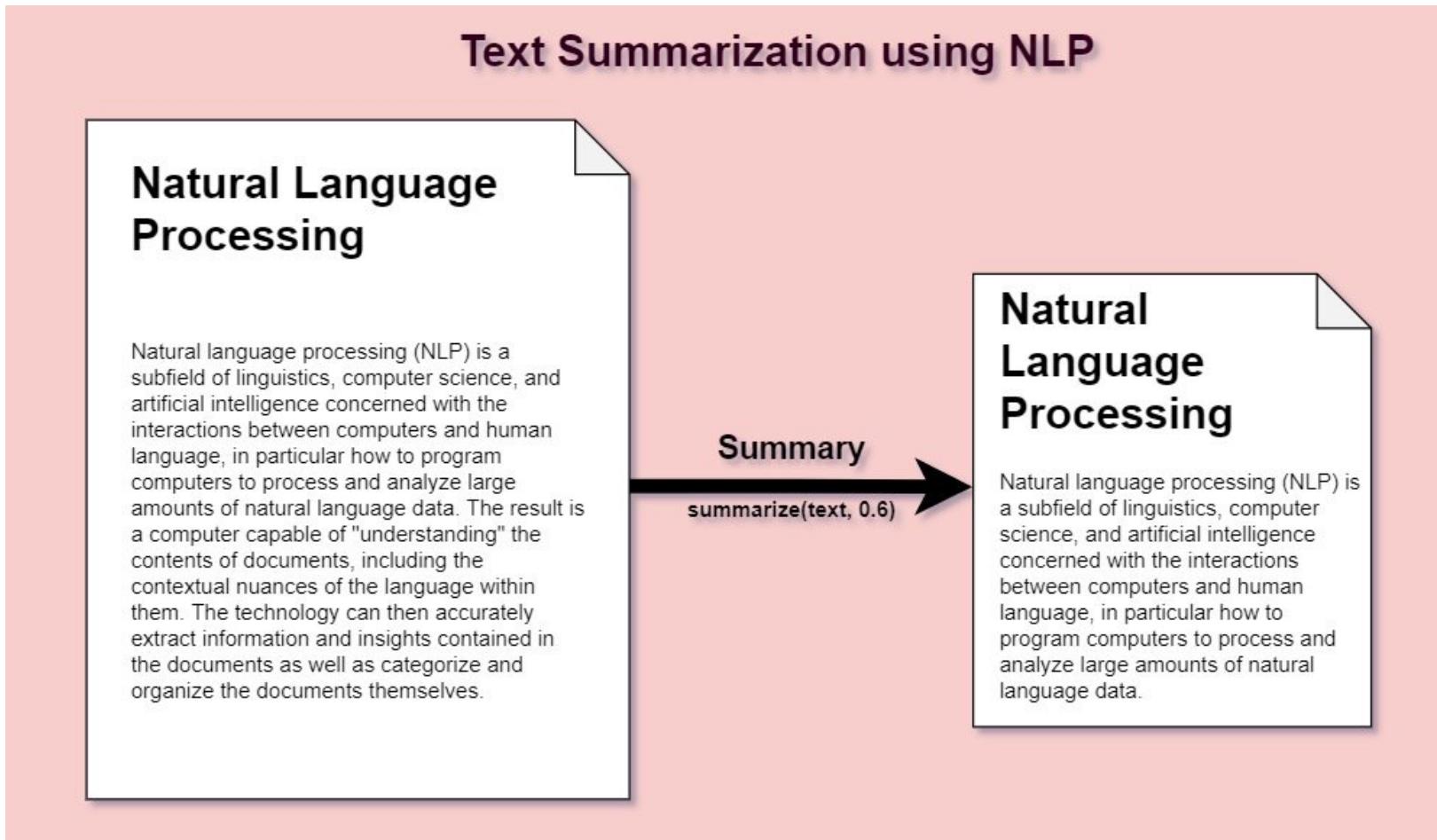
Why is machine learning used? ▾

Feedback

# Генерация текста

A screenshot of a text generation interface. At the top, a user icon shows a person's face, followed by the text: "give some examples of the types of writing AI can do, and why that will transform businesses in a paragraph." To the right of this text is an edit icon (pencil). Below this, the AI's response is shown, preceded by an AI icon (a green square with a white swirl). The AI text reads: "AI can be used to write a wide range of business-related documents, including reports, proposals, and marketing materials. By utilizing AI's ability to generate ideas and provide information, businesses can quickly and easily create high-quality written materials. This can save time and resources, allowing businesses to focus on other important tasks. Additionally, AI can help ensure accuracy and consistency in writing, improving the overall professionalism and effectiveness of business documents. The use of AI in writing will transform businesses by streamlining the writing process and improving the quality and accuracy of written materials." To the right of the AI text are like and dislike icons.

# Сокращение текста



# Машинный перевод

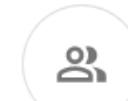
The screenshot shows the Google Translate interface. At the top, there are three tabs: 'Text' (selected), 'Documents', and 'Websites'. Below this, the 'DETECT LANGUAGE' dropdown is set to 'ENGLISH', and the target language dropdown is set to 'GERMAN'. The source text is 'Machine Translation Tools: Translate Content with AI Software in 2022'. The translated text in German is 'Tools für maschinelle Übersetzung: Übersetzen Sie Inhalte mit KI-Software im Jahr 2022'. There are also icons for microphone, speaker, and share, along with a progress bar showing 69 / 5,000 words. At the bottom right, there is a 'Send feedback' link.



History



Saved



Contribute

# Машинный перевод

Яндекс Браузер

Яндекс.Браузер обновился. Версия 21.8.2

1

Hi! I'm David and I lead the NLP team at Yandex

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:

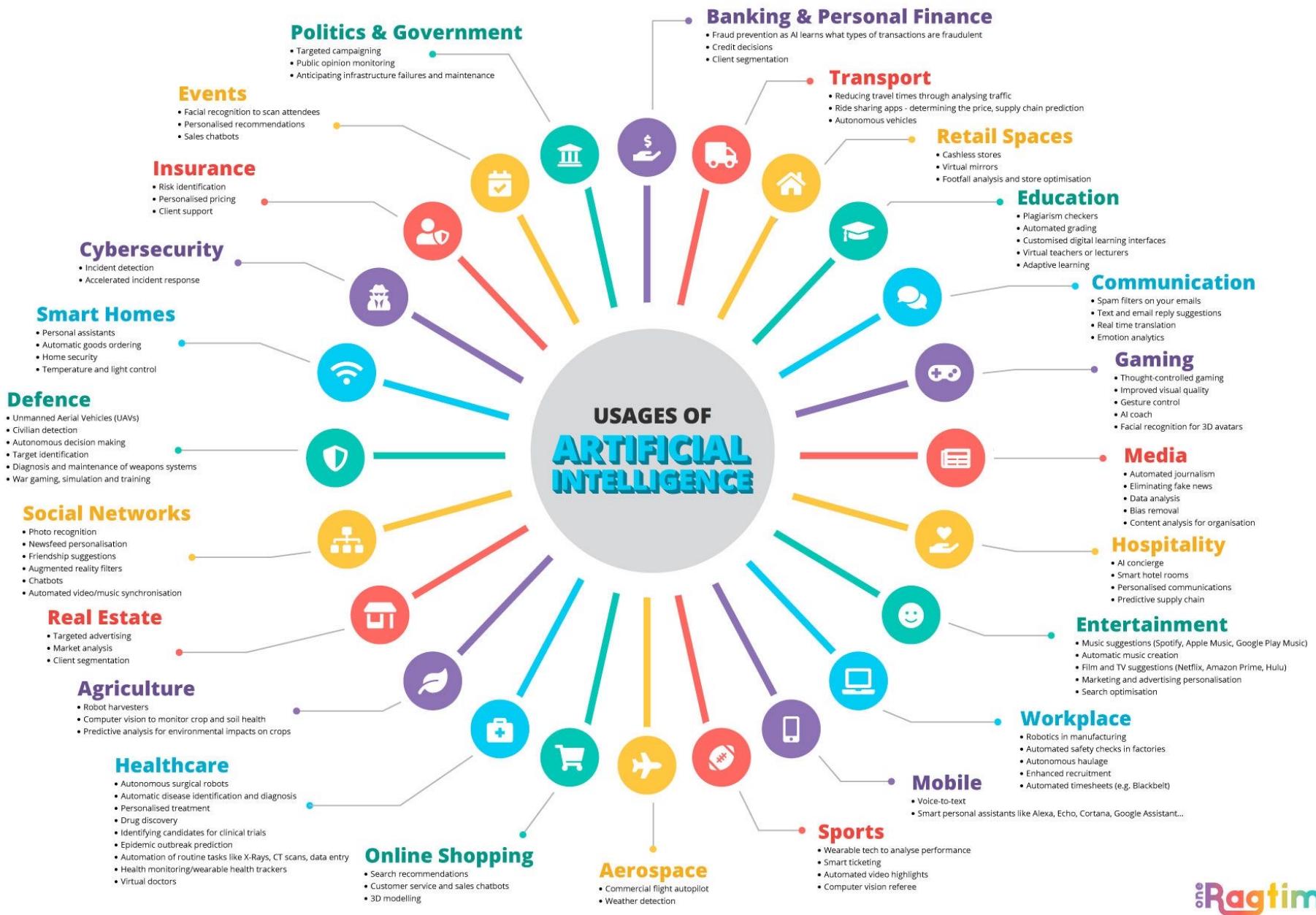
Дзен ВКонтакте Твиттер Телеграм

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

# Голосовые помощники

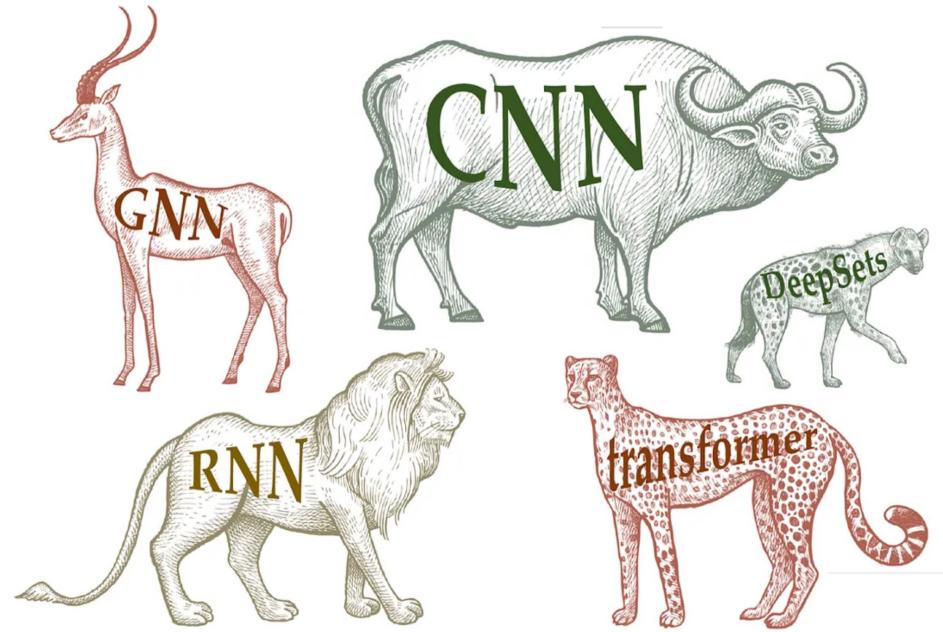
The screenshot shows the Yandex.Alice mobile application. At the top center is the Alice logo, a stylized white egg inside a purple circle. Below it is a large white speech bubble containing the text "Привет, я Алиса!". The background is a solid purple color. In the center, the text "Я готова помочь" is displayed in white. Below this, there are six items, each with an icon and text: "Определить песню" (Song recognition), "Узнать, что на фото" (Identify what's in the photo), "Включить сказку" (Play a story), "Одеться по погоде" (Dress according to the weather), "Поиграть" (Play), and "Построить маршрут" (Build a route). There are also links for "Вызвать такси" (Call a taxi) and "Найти нужное место" (Find the right place), along with "Купить на Беру" (Buy on Beru). Each item has a right-pointing arrow indicating it can be selected.

- Определить песню >
- Узнать, что на фото >
- Включить сказку >
- Одеться по погоде >
- Поиграть >
- Построить маршрут >
- Вызвать такси >
- Найти нужное место >
- Купить на Беру >



# В нашем курсе

- ▶ Полносвязные нейронные сети
- ▶ Сврточные нейронные сети
  - Классификация изображений
  - Детектирование объектов
  - Семантическая сегментация
- ▶ Рекуррентные нейронные сети
  - Анализ текстов
  - Генерация текста
- ▶ Трансформеры
  - Механизм внимания
  - Машинный перевод



Source: <https://geometricdeeplearning.com/lectures/>

# Линейная регрессия. Аналитическое решение.



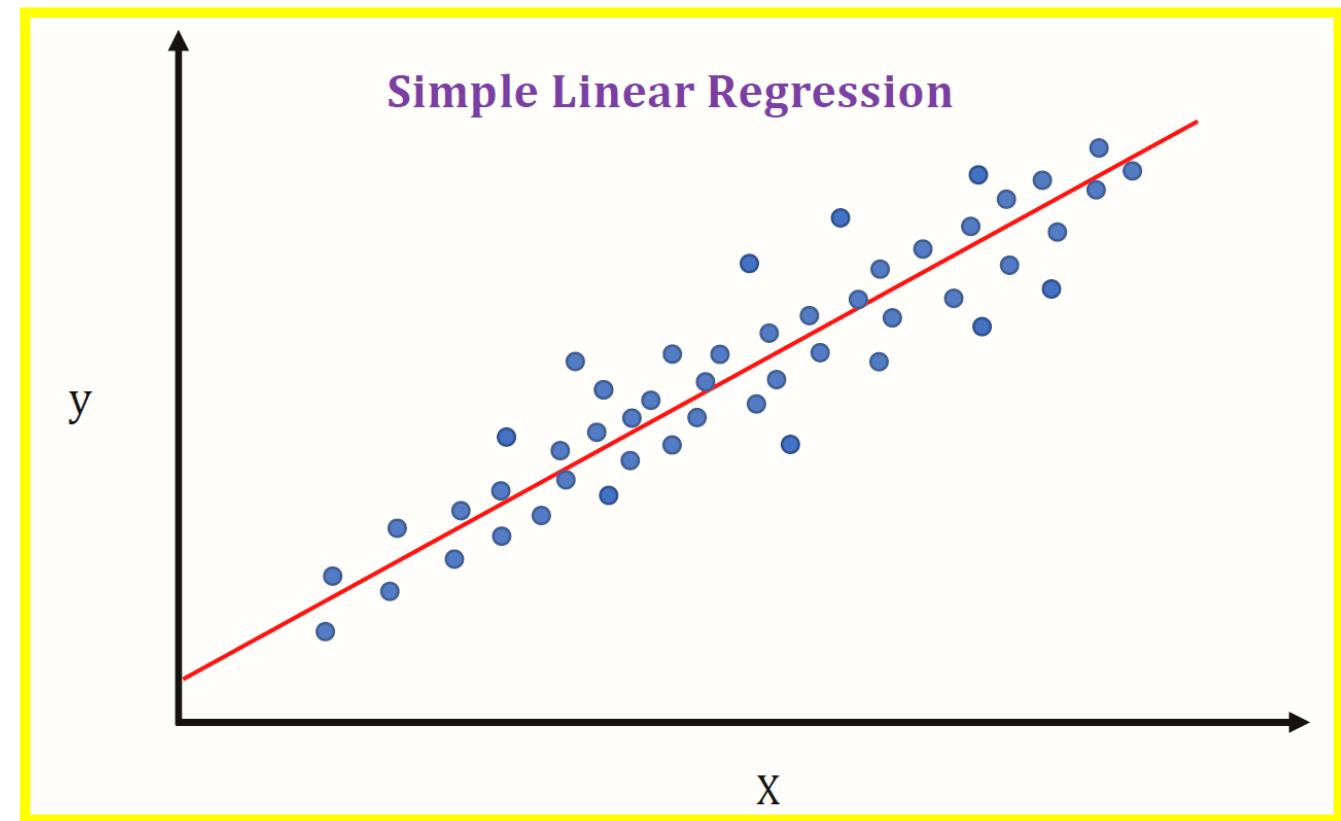
# Примеры

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

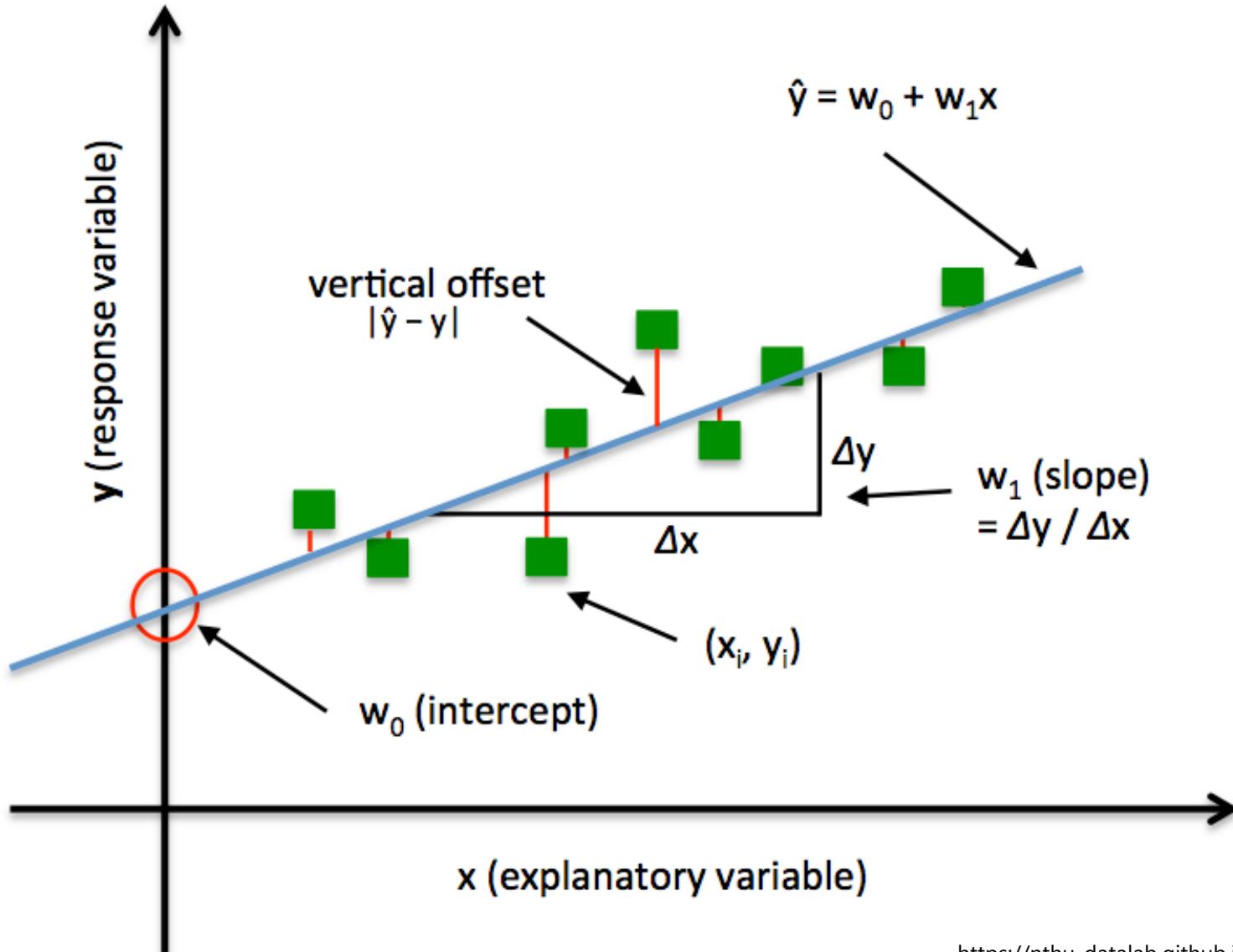


# Задача регрессии

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



# Линейная регрессия



# Векторная форма

- ▶ Пусть дан набор из  $n$  точек:  $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$ , где
  - $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})^T$  - вектор из  $d$  признаков объекта;
  - $y_i$  - скалярная величина, которую хотим предсказать для объекта.

- ▶ Модель линейной регрессии:

$$\hat{y}_i = w_0 + \sum_{j=1}^d w_j x_{ij}$$

- $w_j$  - веса модели;
  - $\hat{y}_i$  - прогноз для объекта;
- ▶ Квадрат ошибки прогноза модели для объекта:  $(\hat{y}_i - y_i)^2$

# Матричная форма

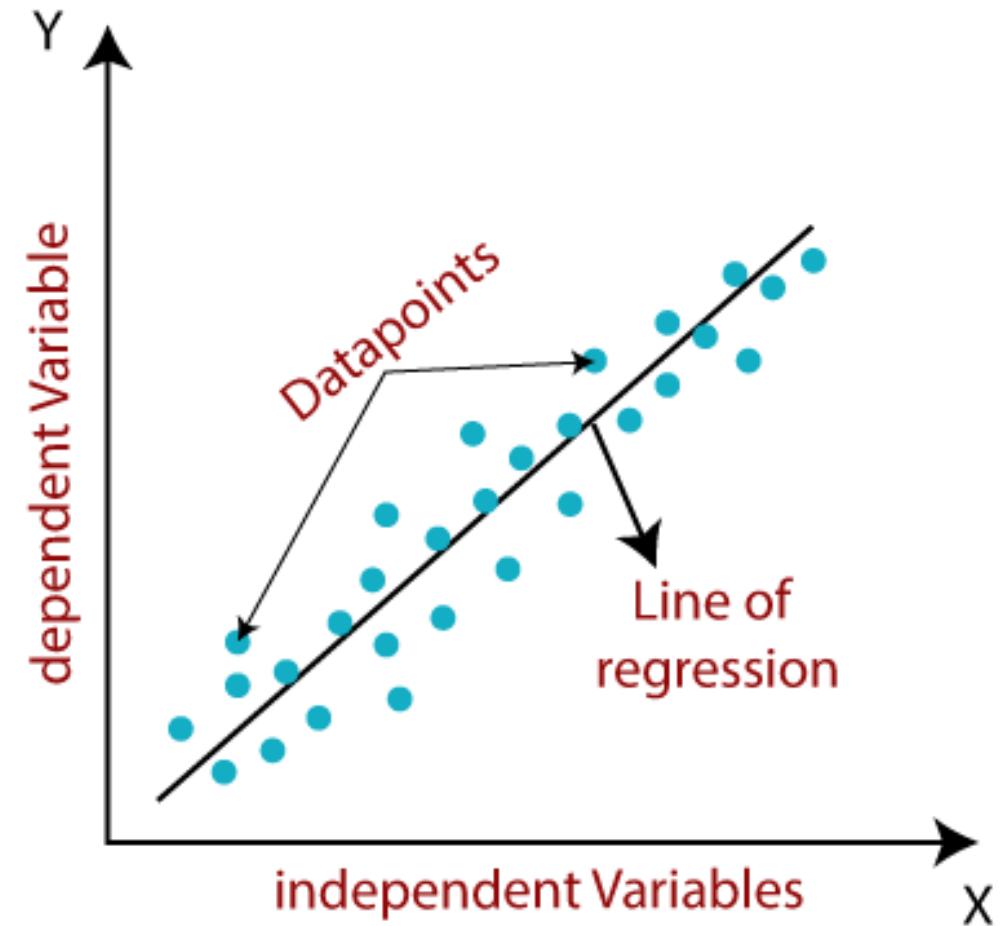
- Модель линейной регрессии:

$$\hat{y} = Xw$$

- $X = \begin{pmatrix} \mathbf{1} & x_{11} & \cdots & x_{1d} \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \mathbf{1} & x_{n1} & \cdots & x_{nd} \end{pmatrix}$  - матрица признаков объектов  $(n, d + 1)$ ;
  - $w = (w_0, w_1, \dots, w_d)^T$  - вектор  $(d + 1)$  весов модели;
  - $\hat{y} = (\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n)^T$  - вектор прогнозов модели для  $(n)$  объектов;
- 
- Вектор квадратов ошибок прогнозов модели:  $(\hat{y} - y)^2$

# Задача

- ▶ Хотим, чтобы средняя квадратичная ошибка прогнозов  $(\hat{y} - y)^2$  была минимальной
- ▶ **Как найти** оптимальные веса  $w$  модели?



# Решение

- ▶ **Функция потерь (Loss function)** (скалярная и векторная формы):

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 = \frac{1}{n} (\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y})^T (\hat{\mathbf{y}} - \mathbf{y})$$

- ▶ Значение  $L$  – среднеквадратичная ошибка (**Mean Squared Error (MSE)**)
- ▶ Мы хотим минимизировать  $L$ :

$$L \rightarrow \min_w$$

# Аналитическое решение

$$L = (\hat{y} - y)^T (\hat{y} - y) = (\mathbf{X}\mathbf{w} - y)^T (\mathbf{X}\mathbf{w} - y)$$

Чтобы найти минимум  $L$ , надо:

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{w}} = 0$$

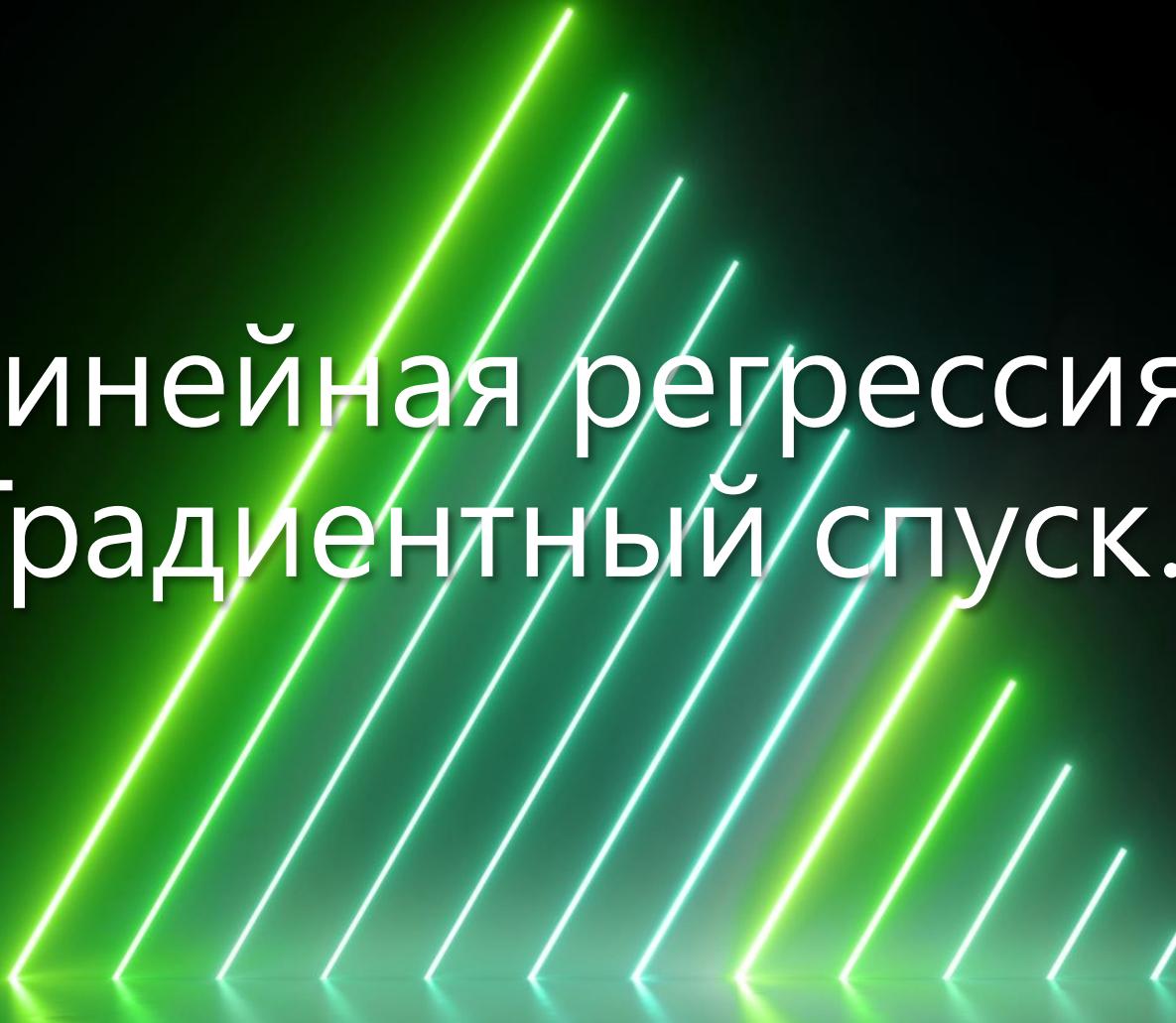
Тогда

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{w}} = 2\mathbf{X}^T(\mathbf{X}\mathbf{w} - y) = 2\mathbf{X}^T\mathbf{X}\mathbf{w} - 2\mathbf{X}^Ty = 0$$

Получаем оптимальные веса  $w$  линейной регрессии:

$$\mathbf{w} = (\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}^T\mathbf{y}$$

Линейная регрессия.  
Градиентный спуск.

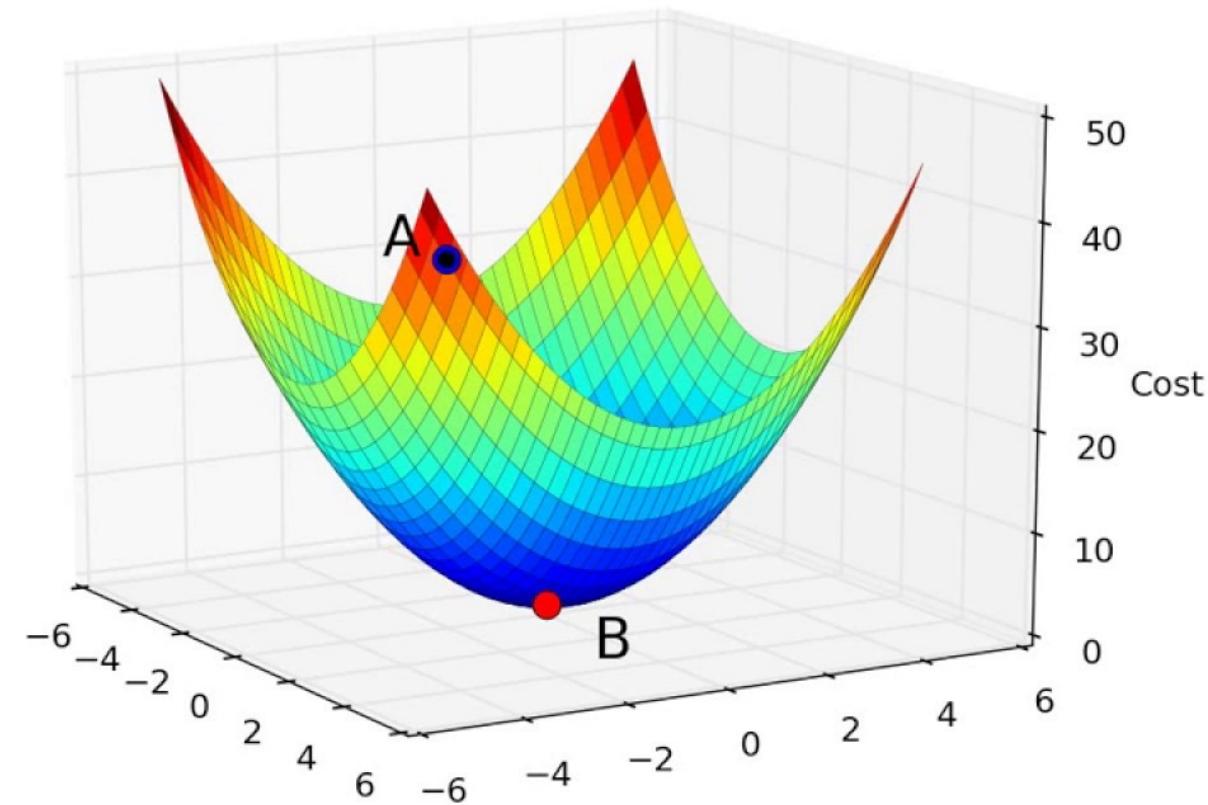


# Задача

- ▶ Есть функция  $L(w)$
- ▶ Хотим найти ее минимум:

$$L \rightarrow \min_w$$

- ▶ Мы умеем считать ее производную  $\frac{\partial L}{\partial w}$
- ▶ Но не умеем (или не хотим) решать уравнение  $\frac{\partial L}{\partial w} = 0$



# Градиент функции

- ▶ Градиент функции ( $\nabla L$ ) – вектор первых частных производных функции:

$$\nabla L(w_0, w_1, \dots, w_d) = \left( \frac{\partial L}{\partial w_0}, \frac{\partial L}{\partial w_1}, \dots, \frac{\partial L}{\partial w_d} \right)$$

- ▶ В векторной форме мы будем писать:

$$\nabla L(w) = \frac{\partial L(w)}{\partial w}$$

# Градиентный спуск

- ▶ Есть функция  $L(w)$ , минимум которой хотим найти
- ▶ Пусть  $w^{(0)}$  - начальный вектор параметров. Например,  $w^{(0)} = 0$
- ▶ Тогда **градиентный спуск** состоит в повторении:

$$w^{(k+1)} = w^{(k)} - \eta \nabla L(w^{(k)})$$

- $\eta$  – длина шага градиентного спуска (**learning rate**) (мы сами его задаем)
- $k$  – номер итерации
- $\nabla L(w^{(k)})$  – градиент функции потерь на итерации  $k$

# Пример

- ▶ Модель линейной регрессии:

$$\hat{y} = Xw$$

- ▶ Функция потерь MSE:

$$L = \frac{1}{n}(\hat{y} - y)^T(\hat{y} - y) = \frac{1}{n}(Xw - y)^T(Xw - y)$$

- ▶ Градиент:

$$\nabla L(w) = \frac{2}{n}X^T(Xw - y)$$

- ▶ Градиентный спуск:

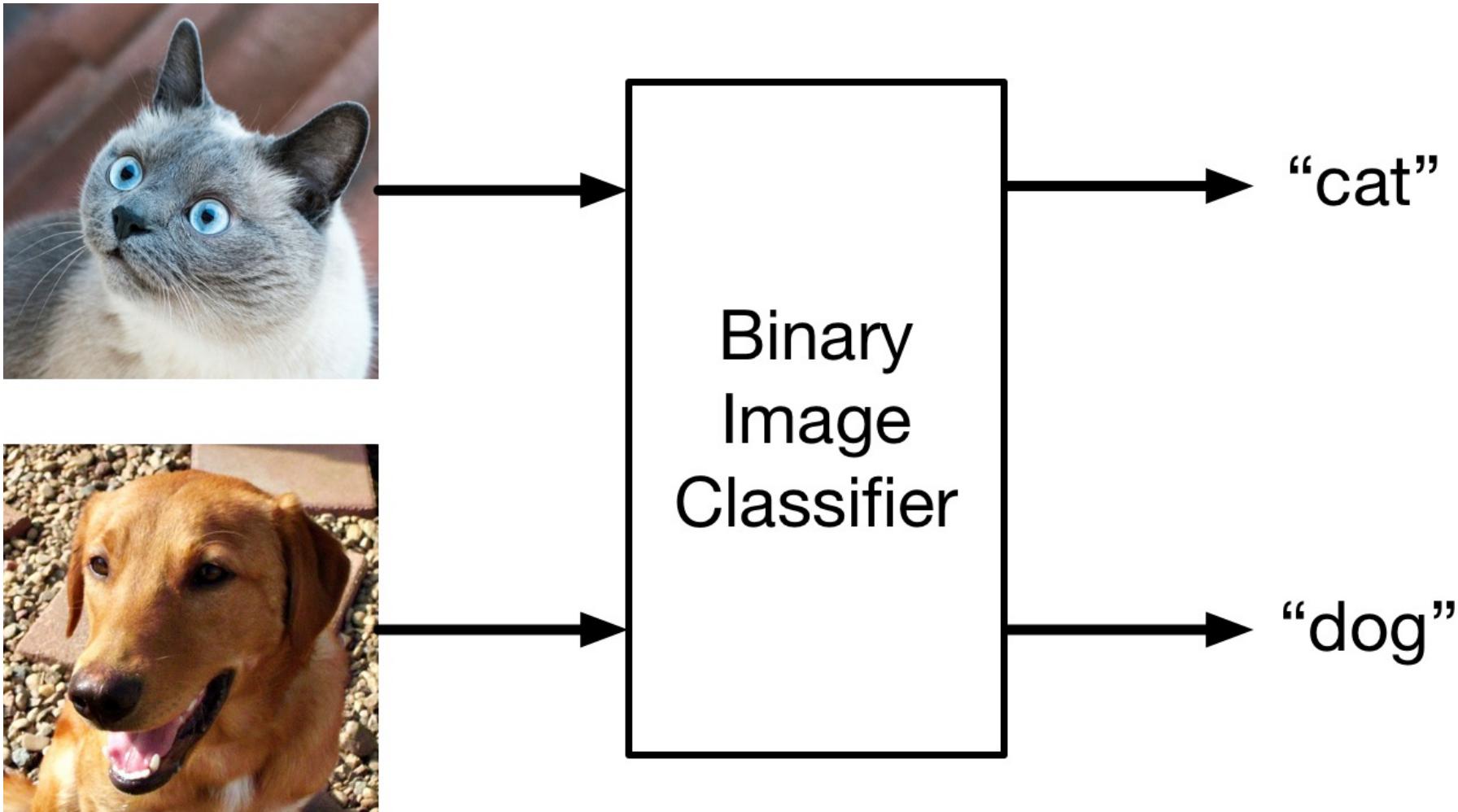
$$w^{(k+1)} = w^{(k)} - \eta \nabla L(w^{(k)}) = w^{(k)} - \eta \frac{2}{n}X^T(Xw^{(k)} - y)$$

# Классификация





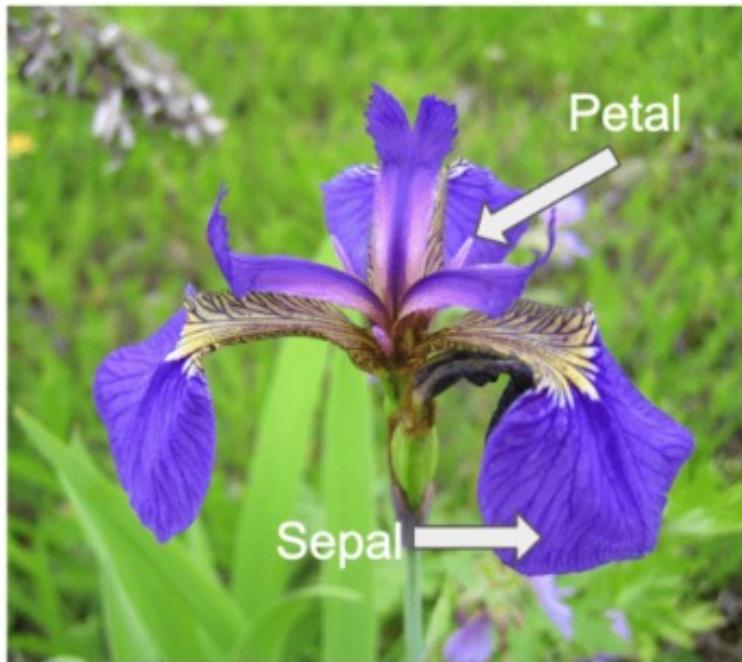
# Классификация изображений



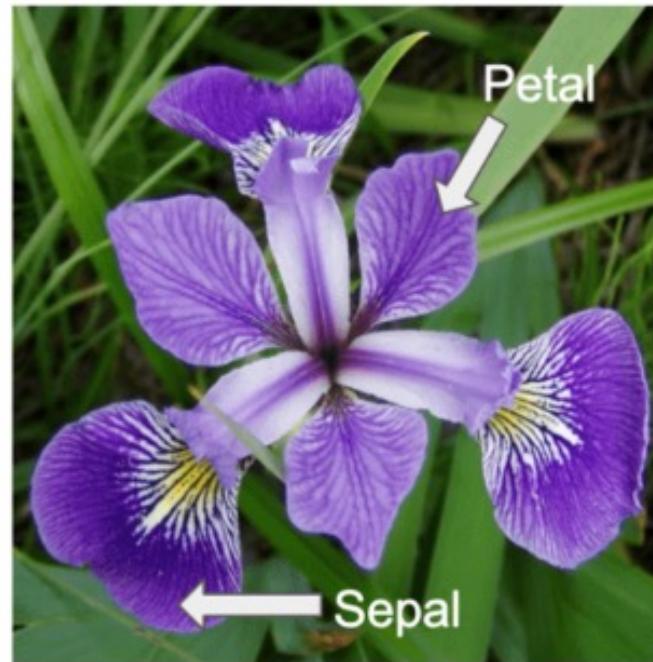
<https://www.raywenderlich.com/>

# Классификация ирисов

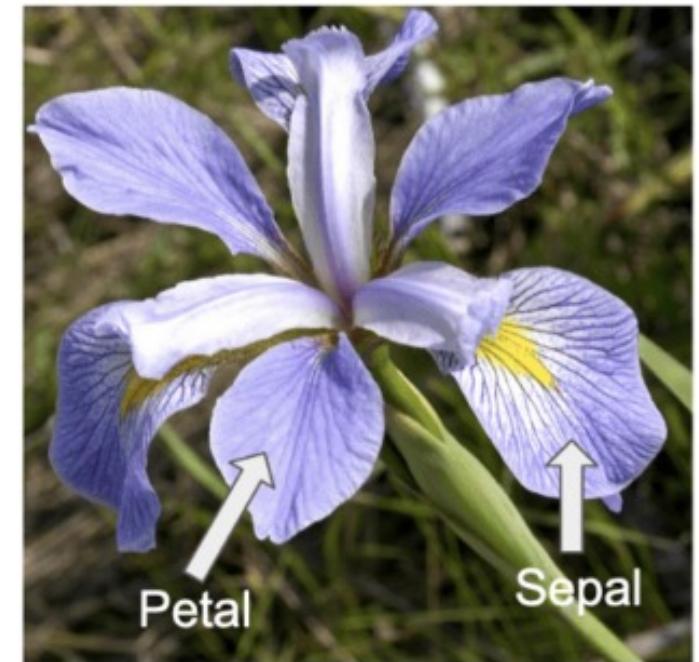
*Iris setosa*



*Iris versicolor*



*Iris virginica*

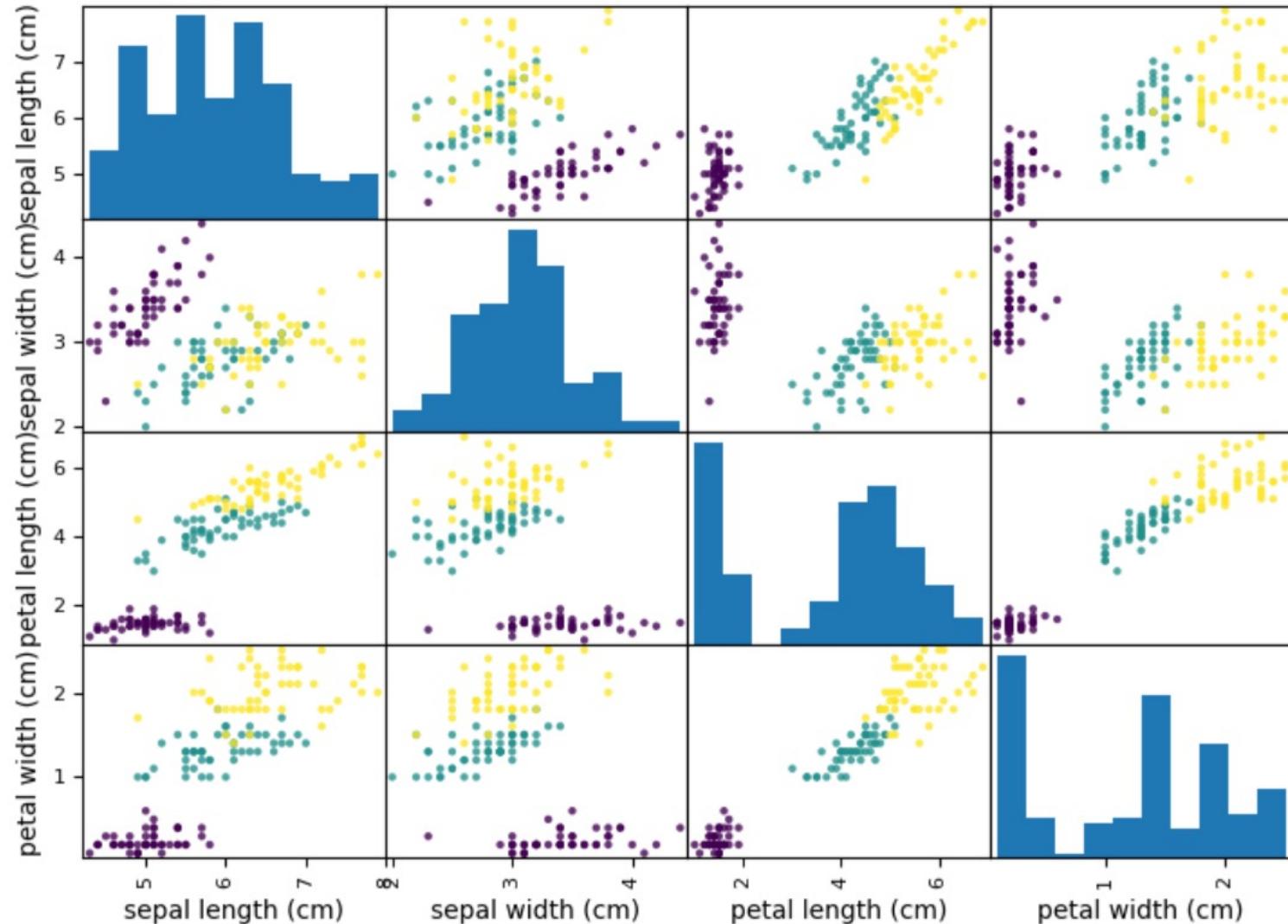


# Классификация ирисов

<b>Id</b>	<b>SepalLengthCm</b>	<b>SepalWidthCm</b>	<b>PetalLengthCm</b>	<b>PetalWidthCm</b>	<b>Species</b>
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

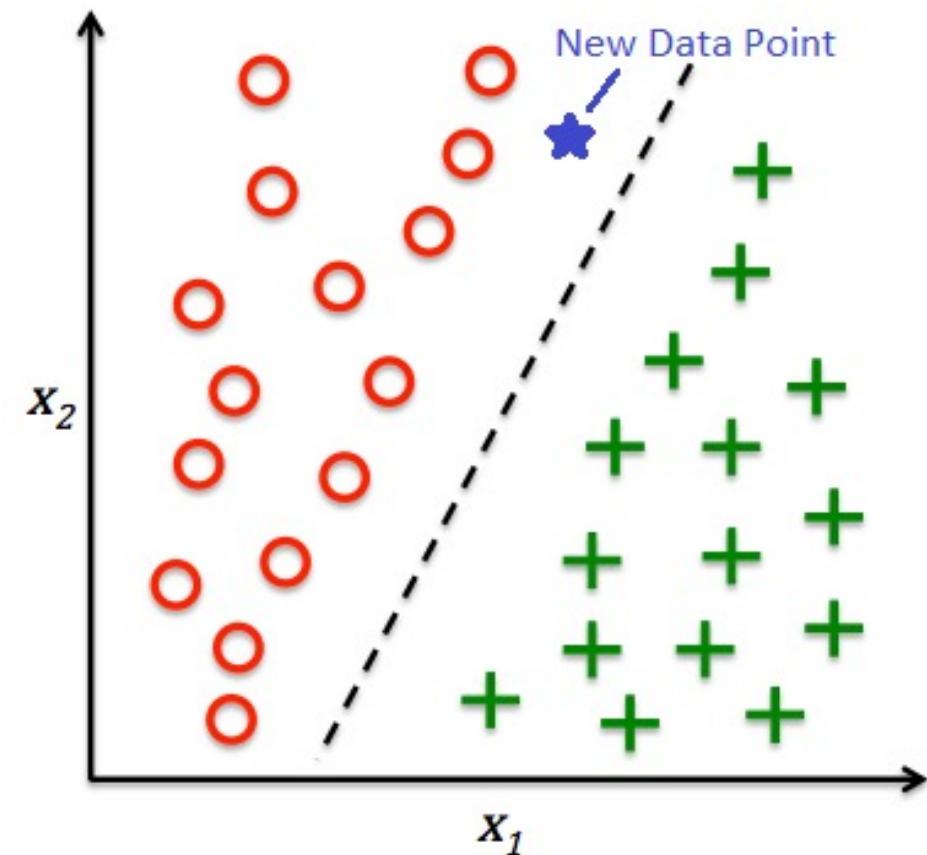


# Логистическая регрессия



# Задача

- ▶ Есть объекты двух классов
- ▶ Нужно разделить объекты по классам некоторой **гиперплоскостью**
- ▶ Эту гиперплоскость будем называть **линейным классификатором**



# Матричная форма

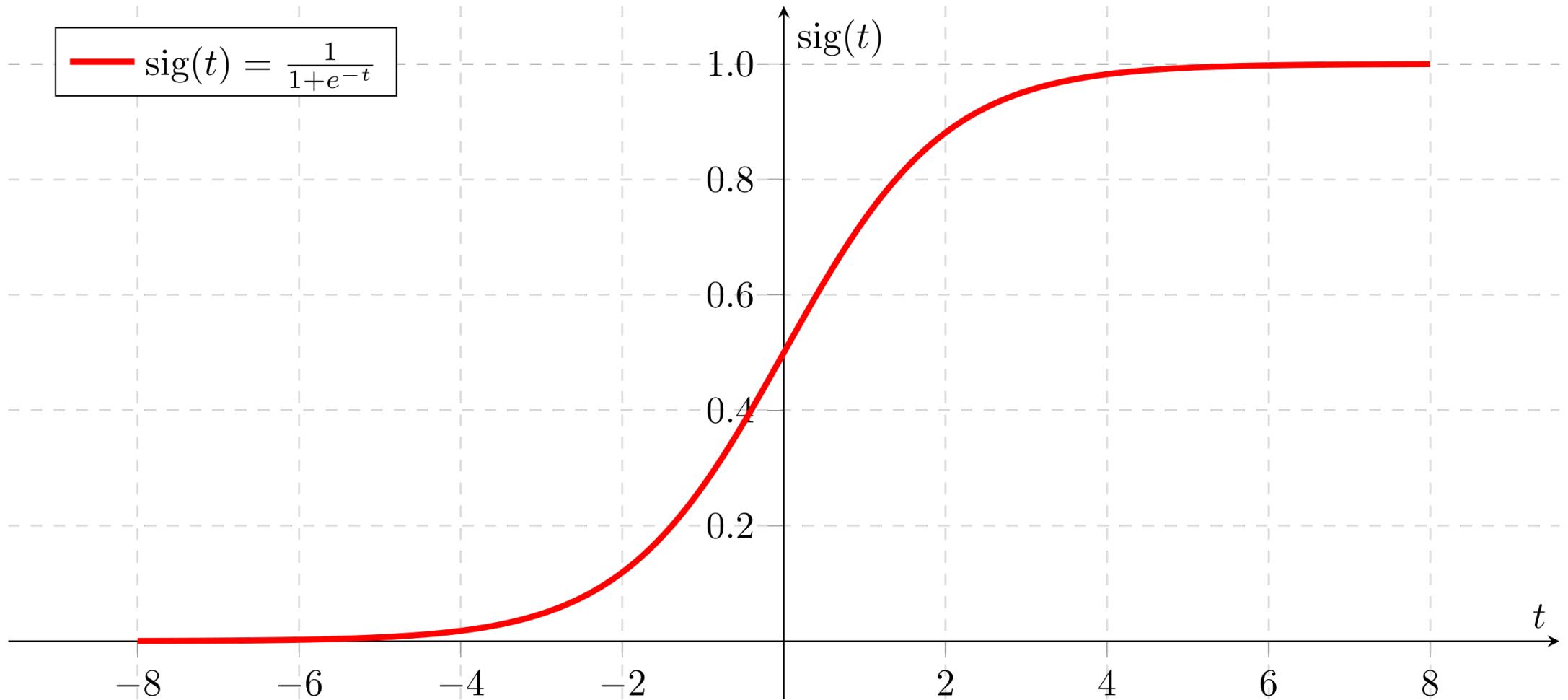
- ▶ Пусть дан набор из  $n$  точек:  $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$ , где
  - $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})^T$  – вектор из  $d$  признаков объекта;
  - $y_i = \{\mathbf{0}, \mathbf{1}\}$  – метка класса объекта.
- ▶ Модель логистической регрессии:

$$\hat{y}_i = \sigma(Xw)$$

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

- ▶  $\hat{y}_i$  - **вероятность класса 1** для объекта;

# Сигмоида



# Функция потерь

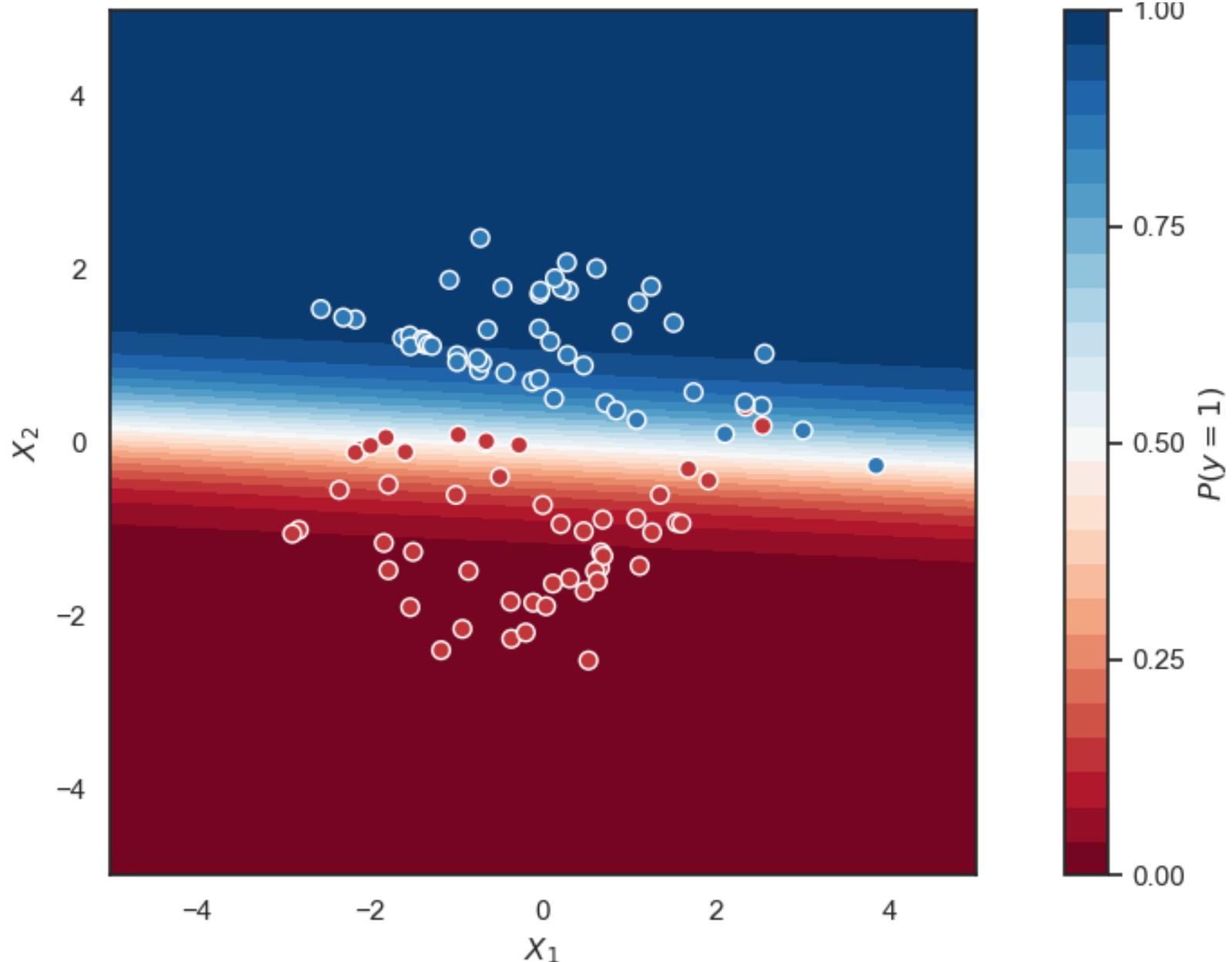
- ▶ Функция потерь для логистической регрессии (**log-loss**):

$$L = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\textcolor{red}{y}_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i))$$

- ▶ Мы хотим минимизировать  $L$ :

$$L \rightarrow \min_w$$

# Пример



# Повтор

- ▶ Модель логистической регрессии:

$$\hat{y} = \sigma(Xw)$$

- ▶ Функция потерь log-loss:

$$L = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i))$$

- ▶ Мы хотим минимизировать  $L$ :

$$L \rightarrow \min_w$$

- ▶ Градиентный спуск:

$$w^{(k+1)} = w^{(k)} - \eta \nabla L(w^{(k)})$$