

# Нейронные сети в машинаном обучении

Лекция 1



# Содержание

1. История DL
2. Применение нейронных сетей
3. Многослойный перцептрон
4. Обучение нейронных сетей
5. Домашнее задание

# История DL



# История DL

1943	McCulloch, Pitts – нейрон (суперпозиция линейной и пороговой функций)	2003	Bengio – NLM (neural language modeling)
1950 – 70	«коннективизм», модель нейрона	2009	Распознавание речи
1969	Minsky, Papert – книга «Персептроны»	2012	AlexNet – победа на ImageNet ConvNets (Krizhevsky и др.)
1970 – 80	зима ИИ	2012	Google – DL ASR
1980	Fukushima – неокогнитрон (neocognitron), вид CNN	2014	информационный / инвестиционный бум
1980 – 90	экспертные системы, обратное распространение	2014	NMT seq2seq, VAE, GAN
1985	Hinton, Sejnowski – машины Больцмана	2015	ResNet
1990 – 2000	зима	2016 – 17	DeepMind – AlphaGo-Lee Sedol, AlphaZero
1997	Schmidhuber, Hochreiter – LSTM	2018	BERT(Google), Style GANs, VQ-VAE
1998	LeCun – LeNet (CNNs) распознавание символов	2019	Super-human performance on GLUE
		2020	Diffusion Probabilistic Models
		2022	ChatGPT

# AI vs Human

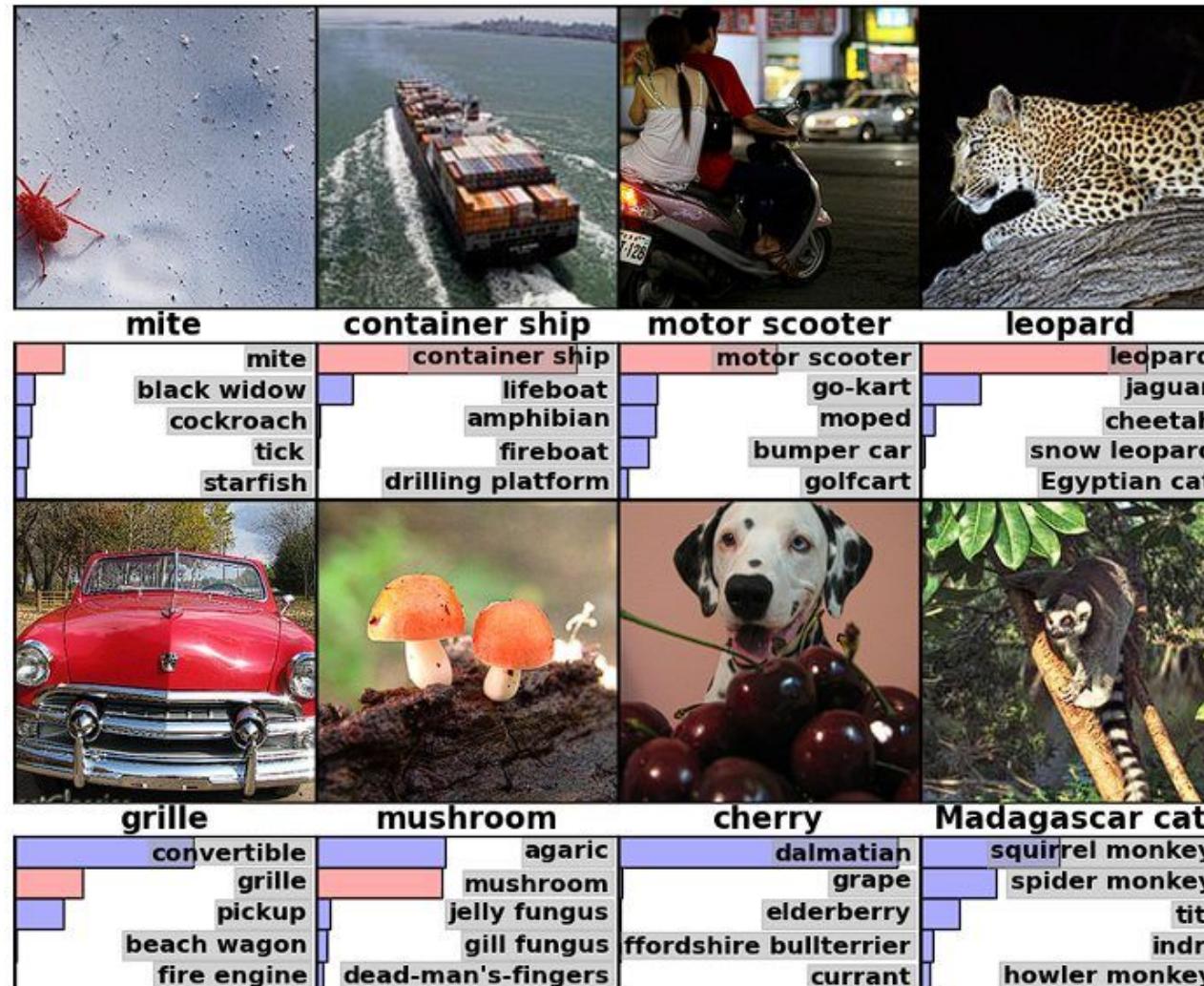
2011	Jeopardy!	IBM Watson
2015	Atari Games	Google DeepMind
2015	ImageNet	ResNet
2016-17	Go	AlphaGo, AlphaGo Master, AlphaGo Zero // Google DeepMind
2017	Poker	Libratus // CMU DeepStack // University of Alberta
2017	Ms. Pac-Man	Maluuba // Microsoft
2018	Chinese - English Translation	Microsoft
2018	Capture the Flag (Quake III Arena)	DeepMind
2018	DOTA 2	OpenAI
2018	Starcraft II	Alphastar // DeepMind
2019	Detect diabetic retinopathy (DR) with specialist-level accuracy	Google AI

# Применение нейронных сетей



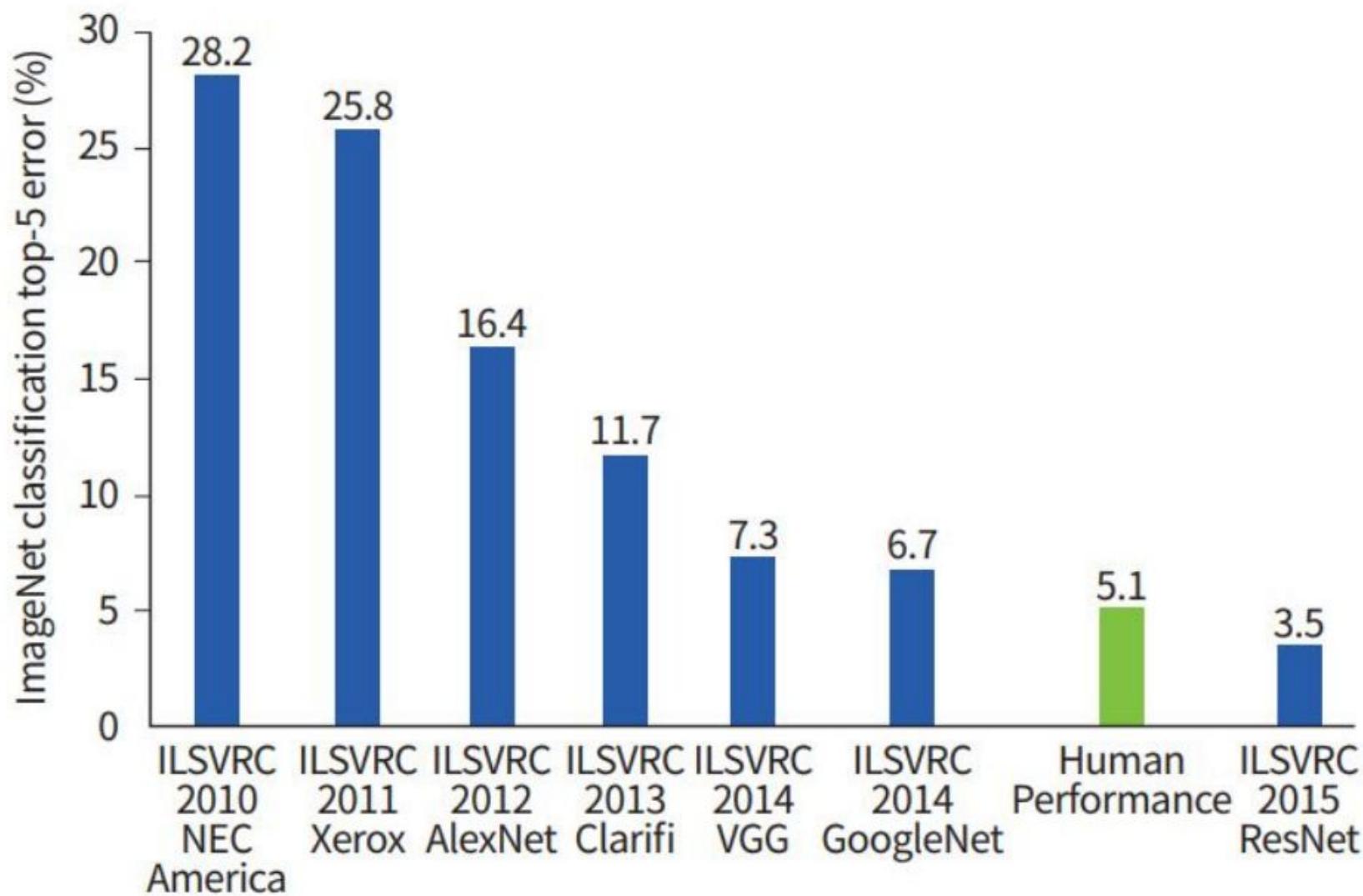
# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Классификация изображений



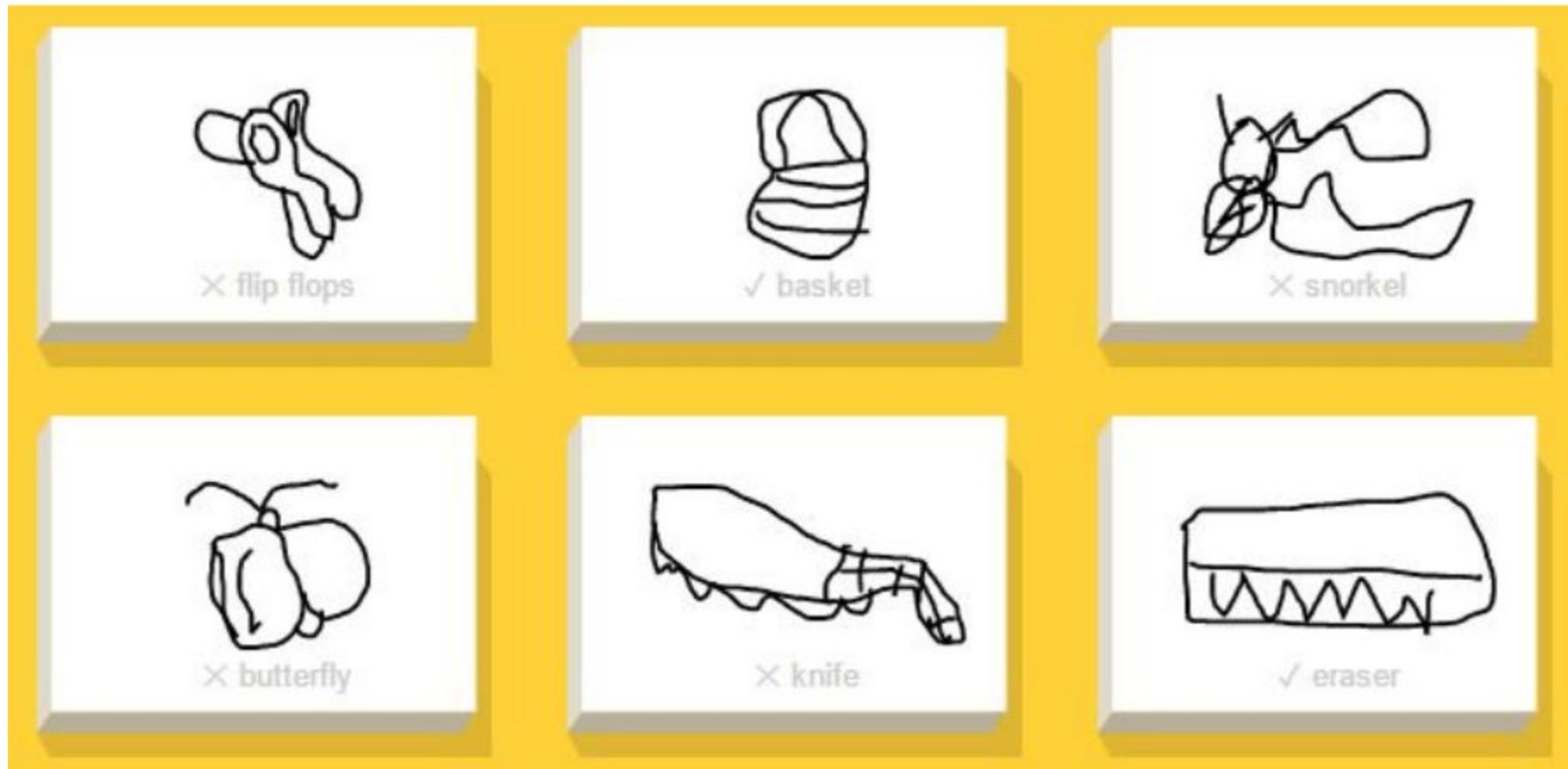
# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Классификация изображений



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Классификация изображений



<https://quickdraw.withgoogle.com/>  
<https://arxiv.org/pdf/1704.03477>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Сервисы по классификации

Определение породы собаки по фотографии / марки авто / товара изображений



Наглядный поиск

Похоже на

Норвежский серый элхунд

Обзор Здоровье Обучение Для принятия Особенности  
Факты Режим питания Продолжительность жизни Спасение

Норвёжский серый элхунд — порода собак, преимущественно охотничья. Норвежский элхунд — национальная порода Норвегии, известная на протяжении веков. Элхунда использовали в охоте на лося, что подтверждает его название

Wikipedia

Канадская эскимосская собака

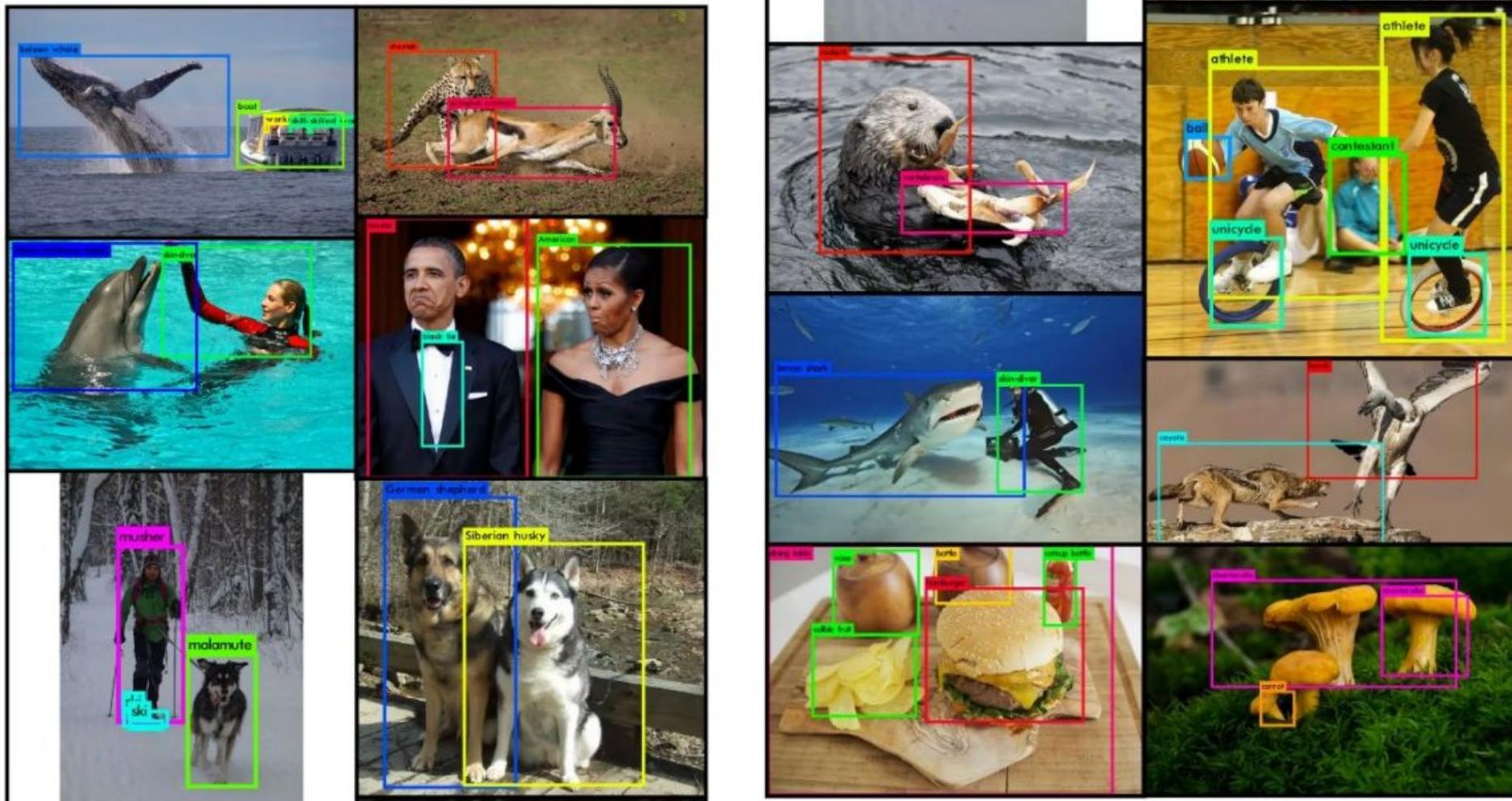
Обзор Здоровье Груминг Режим питания  
Продолжительность жизни Поведение Темперамент Размер

Канадская эскимосская собака, или канадская инуитская собака, или эскимосская лайка, — арктическая порода ездовых собак, которую относят к типу «шпиц», и принято считать одной из древнейших пород Северной Амери...

<https://www.bing.com/visualesearch/Microsoft/WhatDog>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

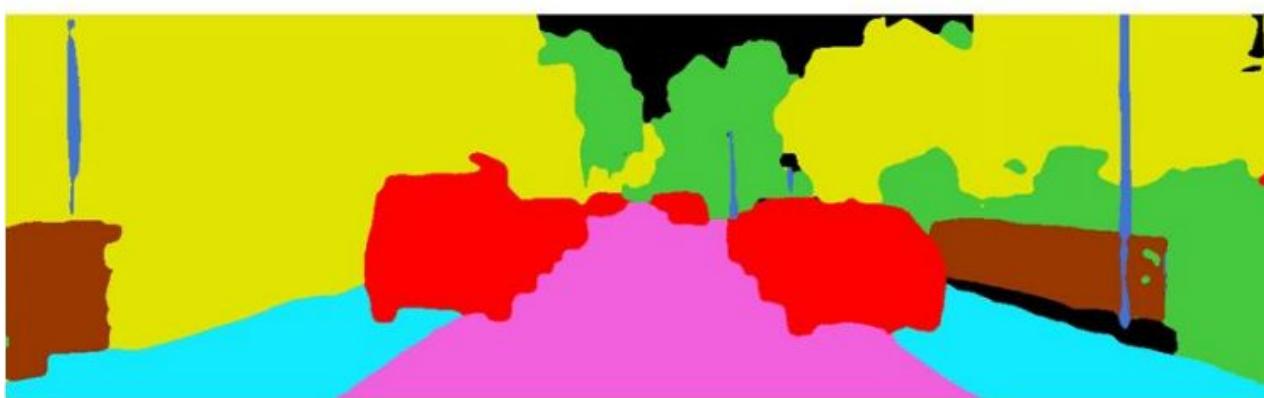
## Обнаружение объектов (Object Detection)



Joseph Redmon, Ali Farhadi «YOLO9000: Better, Faster, Stronger»  
<https://arxiv.org/abs/1612.08242>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Сегментация объектов

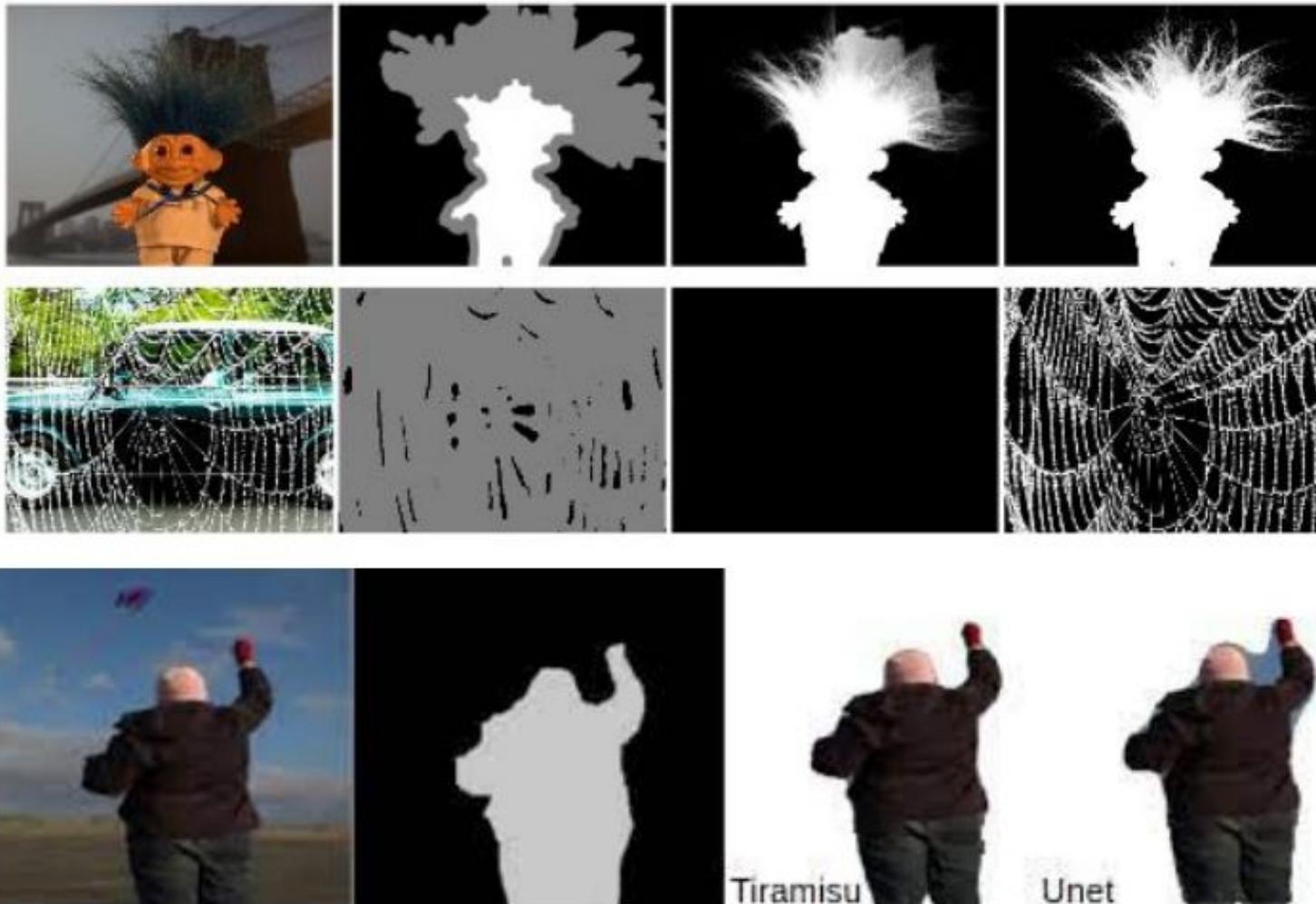


Road	Sidewalk	Building	Fence
Pole	Vegetation	Vehicle	Unlabel

<https://research.fb.com/learning-to-segment/>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Удаление фона (Background removal)



<https://towardsdatascience.com/background-removal-with-deep-learning-c4f2104b3157>  
<https://github.com/YunanWu2168/Background-removal-using-deep-learning>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

Распознавание сцен (Scene recognition)



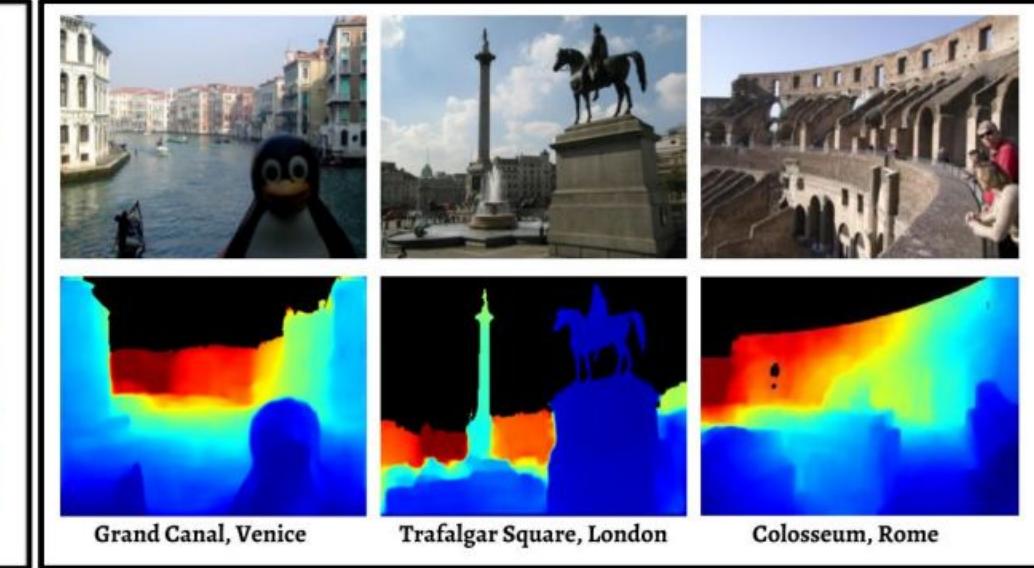
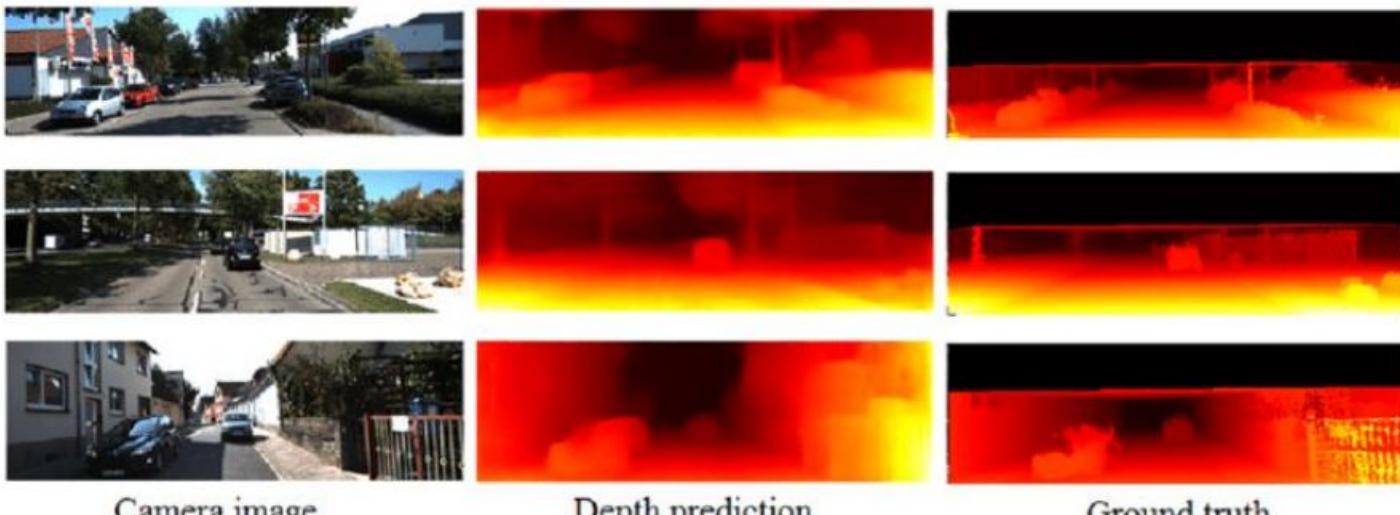
Бар



Лесная дорога

# Компьютерное зрение и обработка изображений

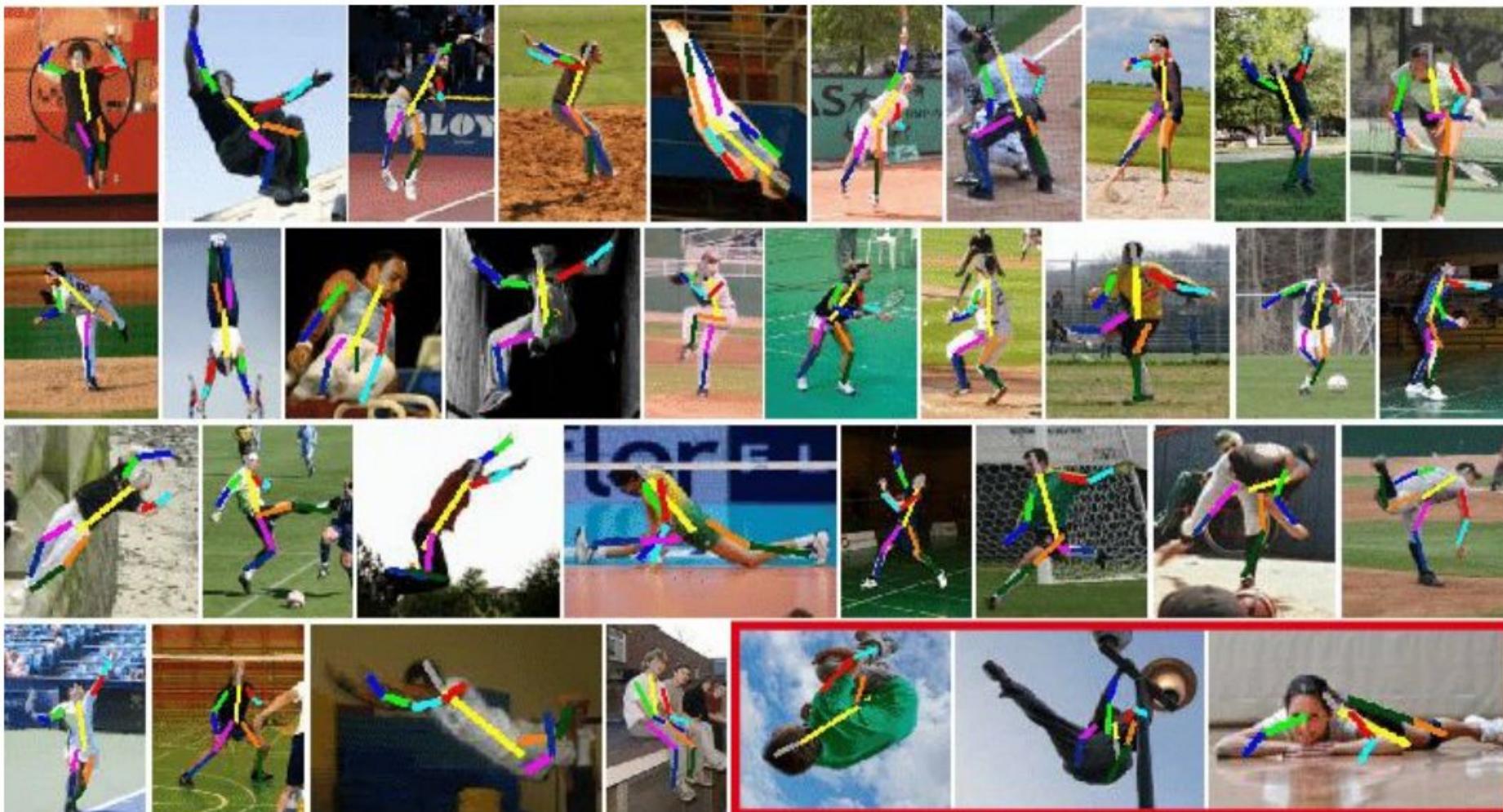
## Предсказание геометрии пространства Depth prediction from single image



По одной фотографии – где здесь могут находиться объекты  
<https://github.com/nianticlabs/footprints>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

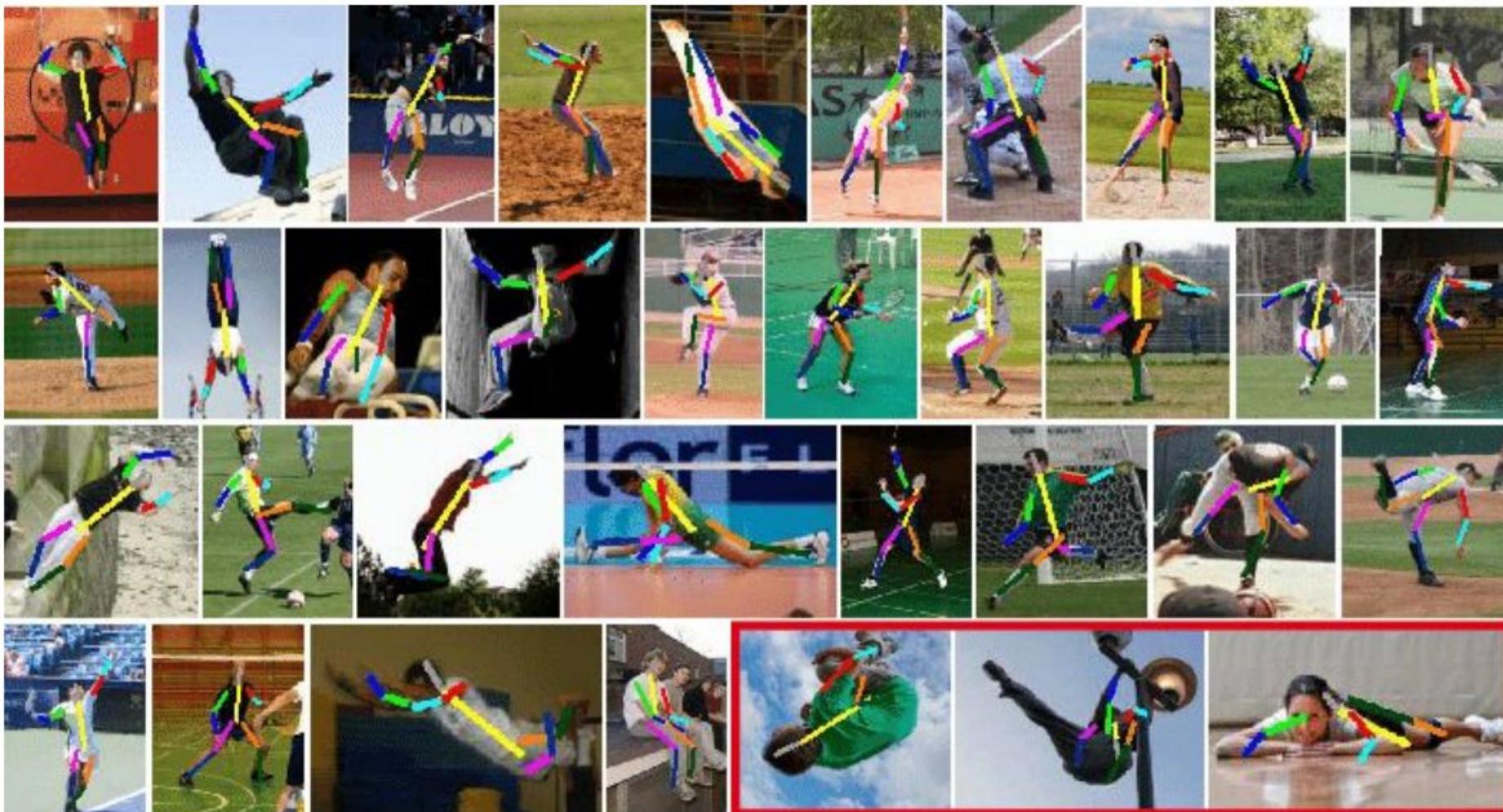
## Определение позы (Human pose estimation)



S. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade, and Y. Sheikh. Convolutional pose machines. CoRR, abs/1602.00134, 2016.

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Определение позы (Human pose estimation)



S. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade, and Y. Sheikh. Convolutional pose machines. CoRR, abs/1602.00134, 2016.

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Распознавание лиц



Detection →



Билл  
Гейтс

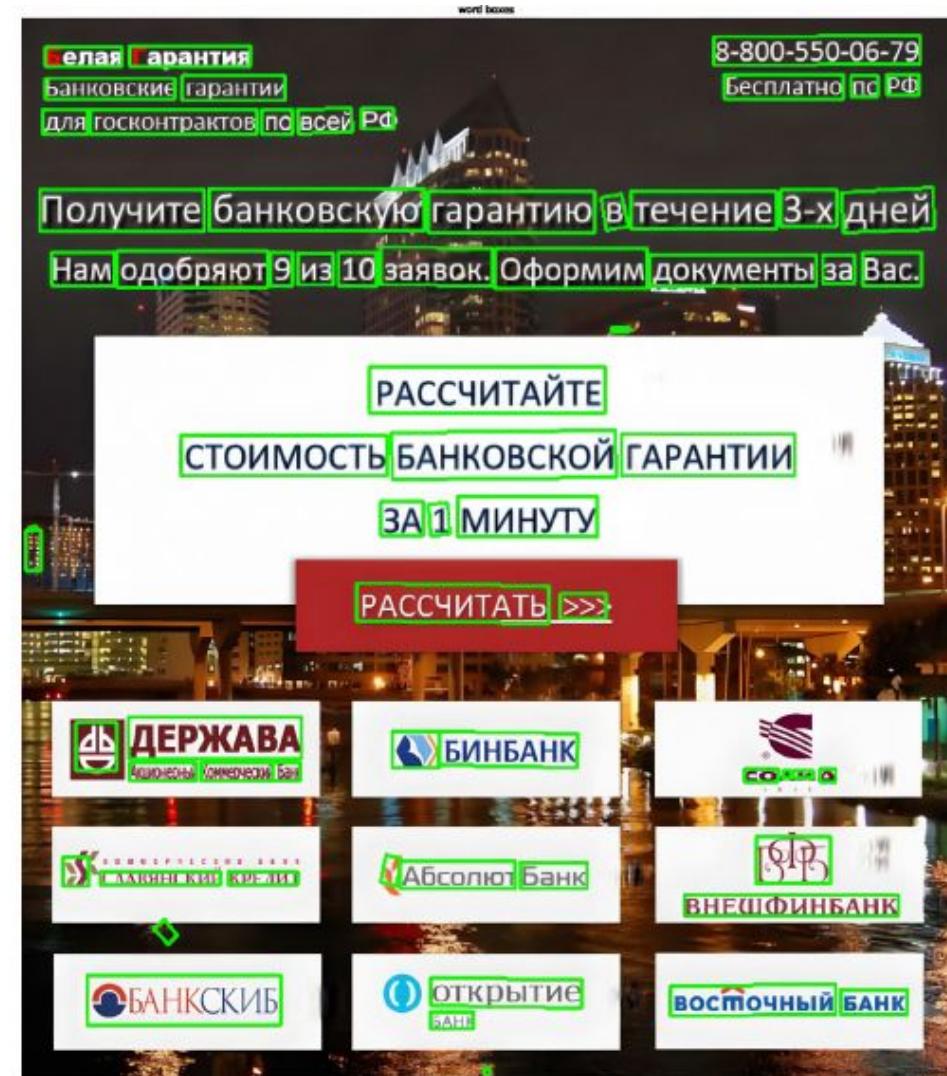
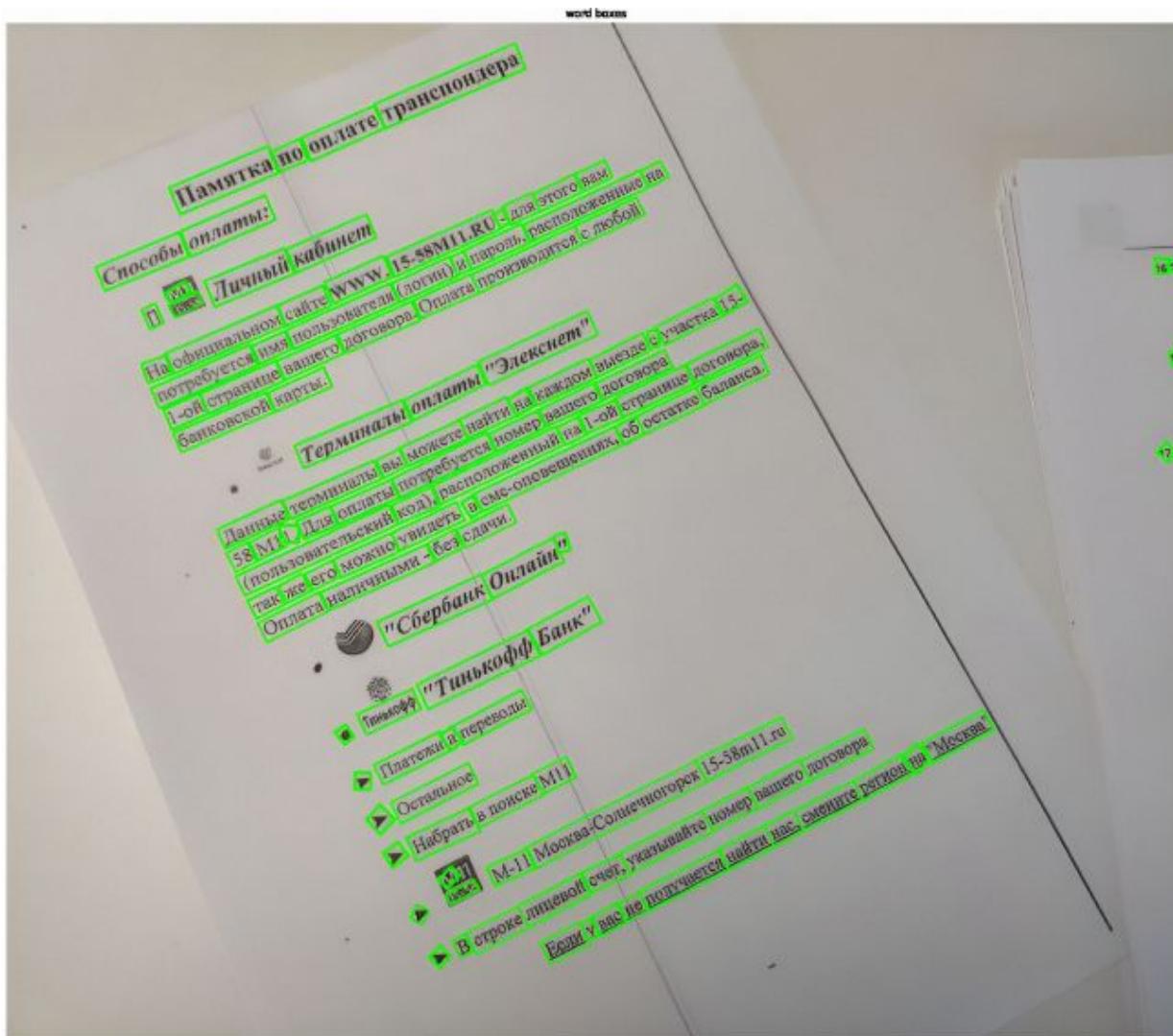
↓ Recognition

Похожие изображения



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Optical Character Recognition



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Генерация изображений



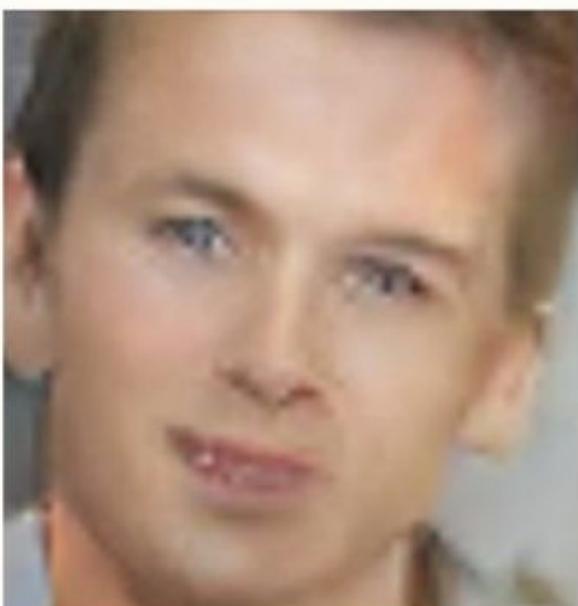
<https://hubert0527.github.io/infinityGAN/>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Генерация фотoreалистичных изображений и лиц



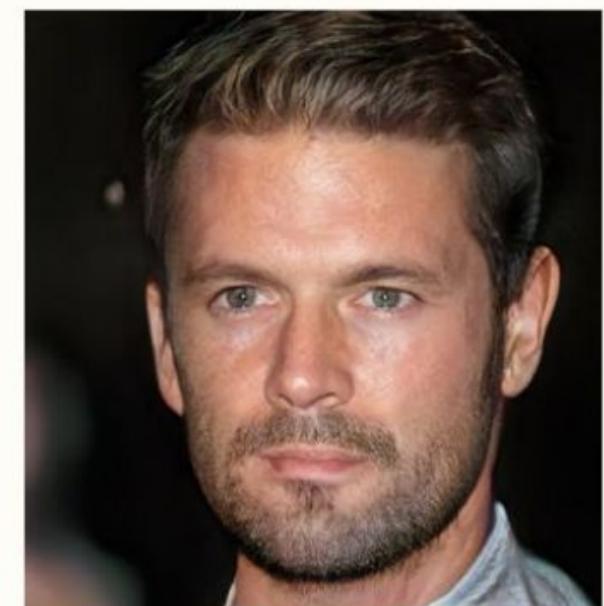
2014



2015



2016

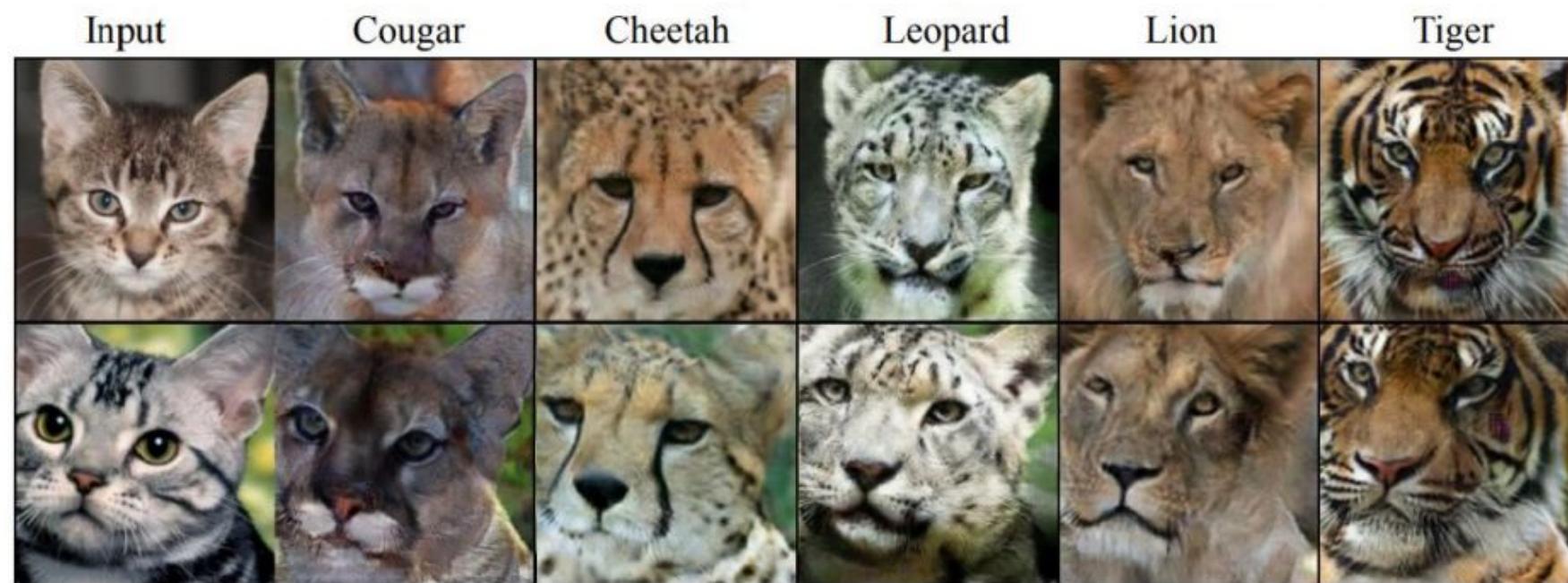
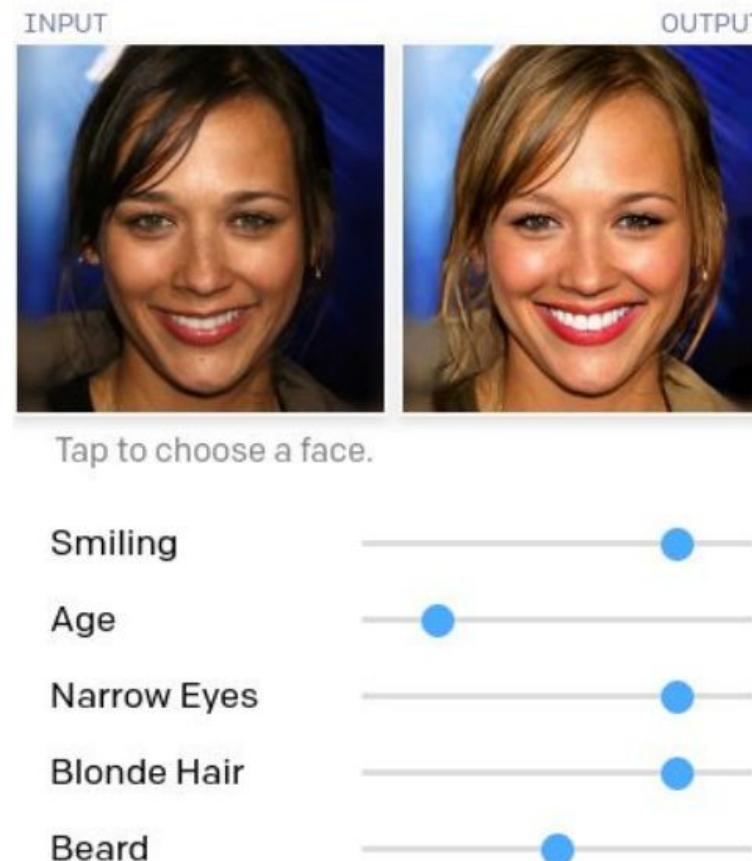


2017

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1802/1802.07228.pdf>  
[http://research.nvidia.com/publication/2017-10\\_Progressive-Growing-of](http://research.nvidia.com/publication/2017-10_Progressive-Growing-of)

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Контролируемое изменение изображений, трансляция изображений

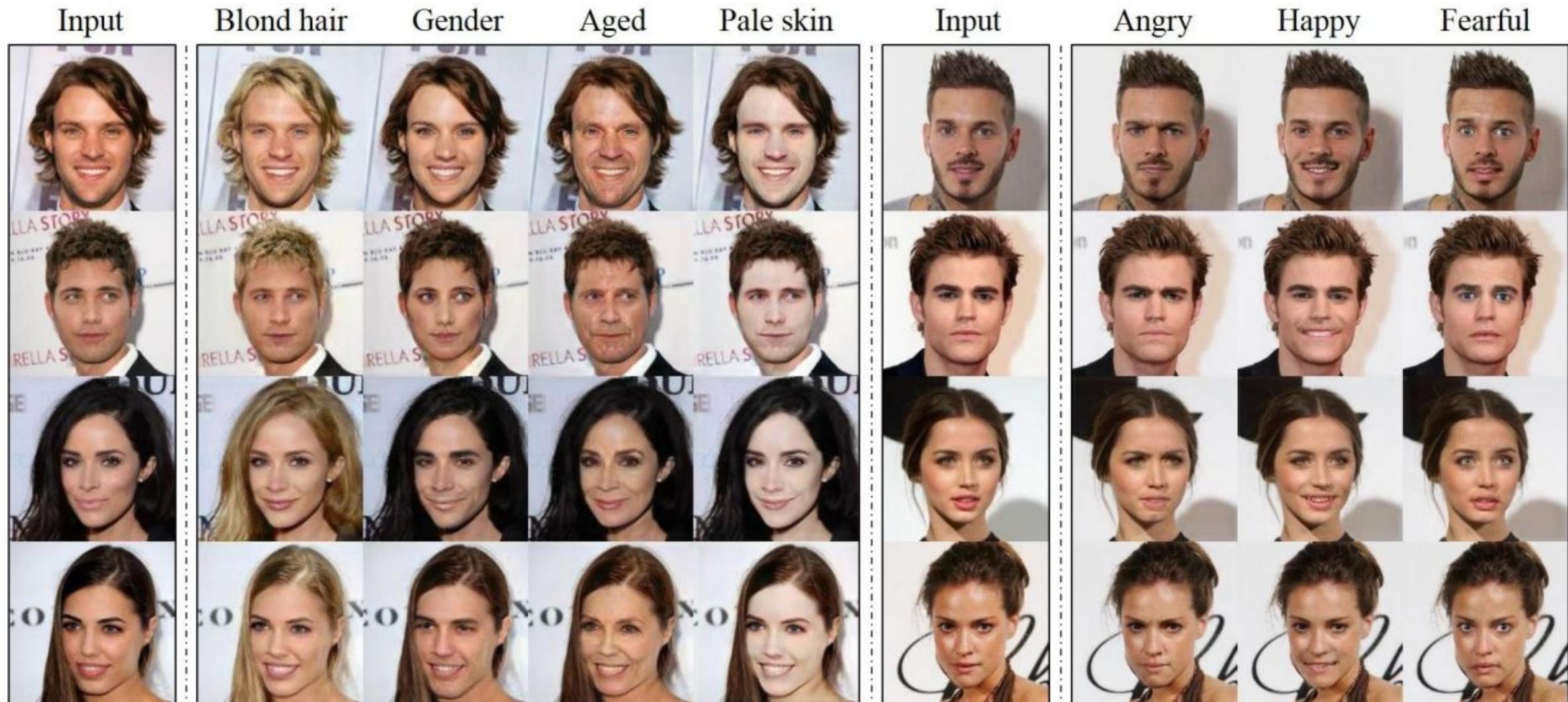


<https://arxiv.org/pdf/1703.00848>

<https://openai.com/index/glow/>

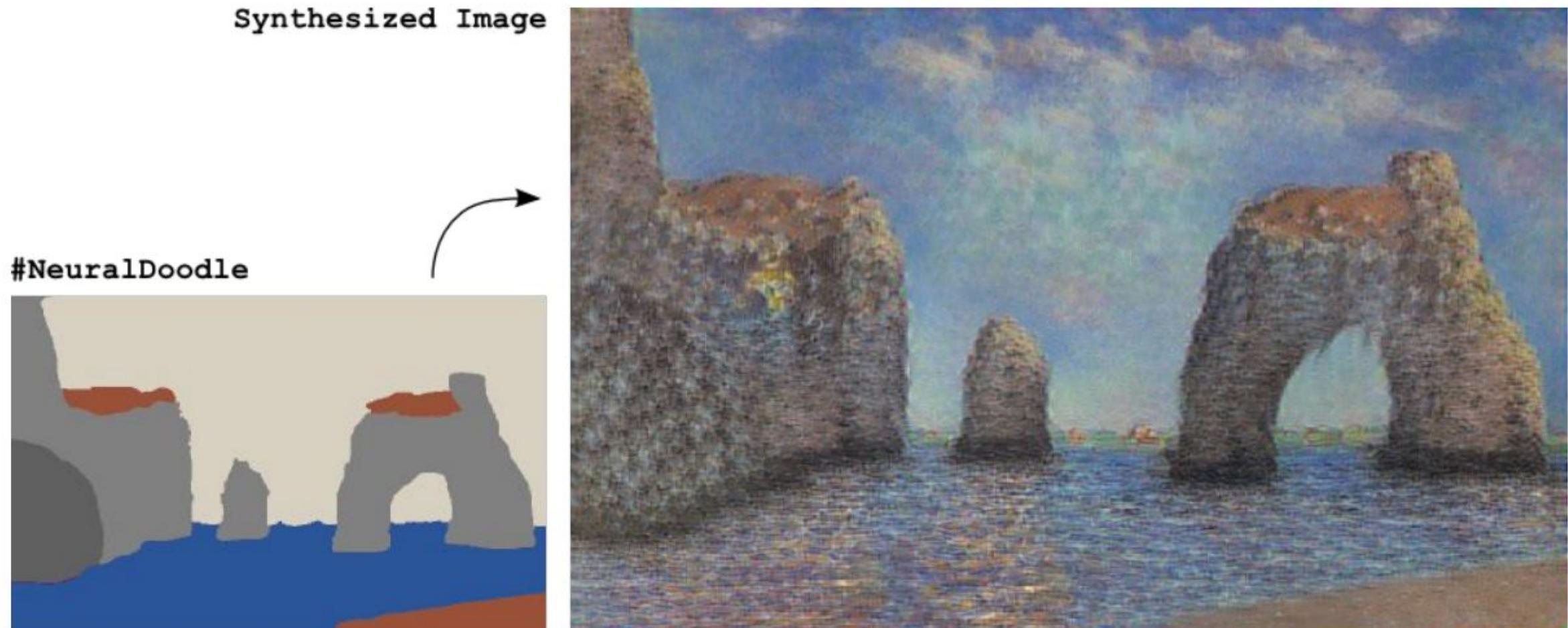
# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Контролируемое изменение изображений, трансляция изображений



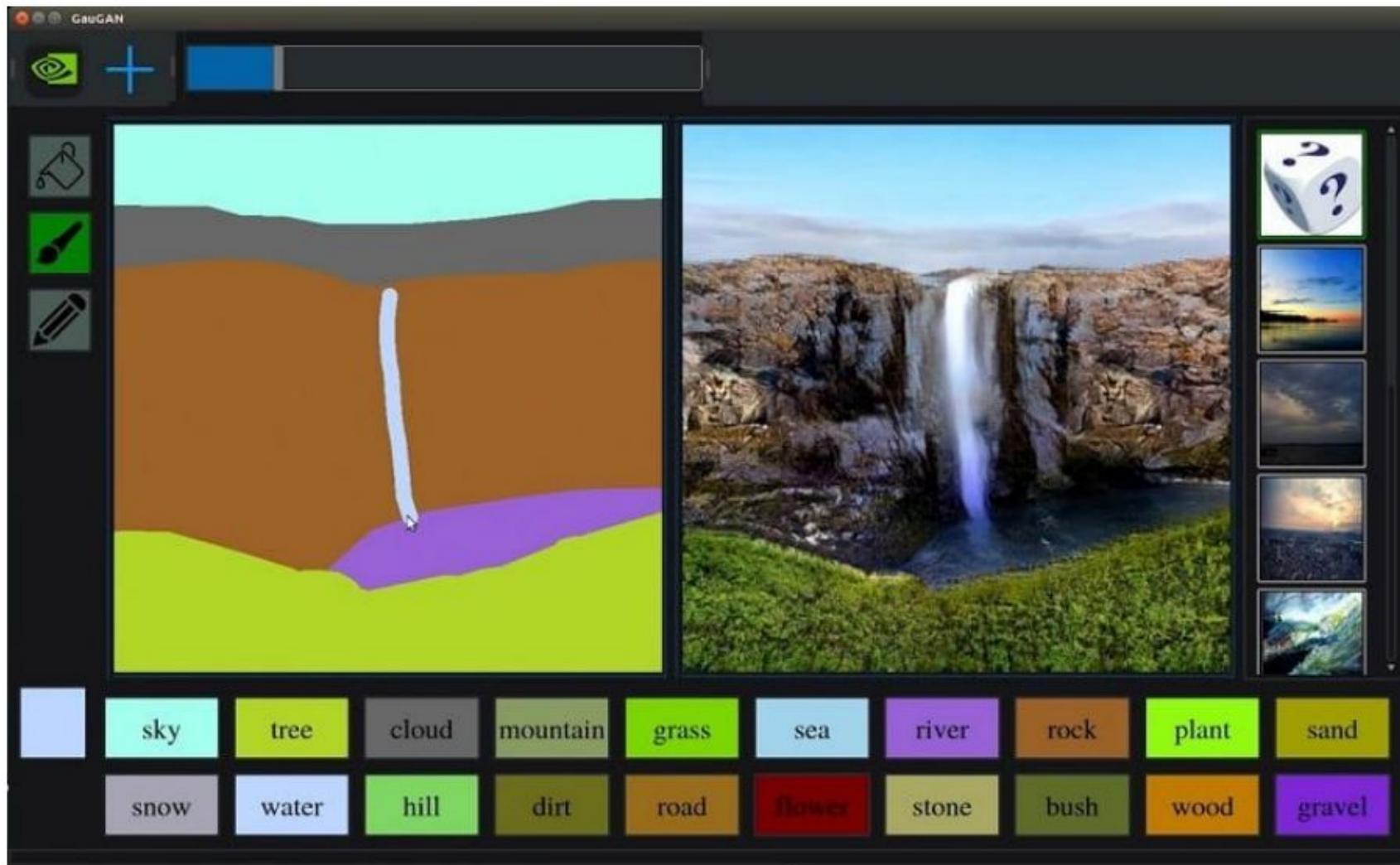
# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Генерация изображений по эскизам



# Компьютерное зрение и обработка изображений

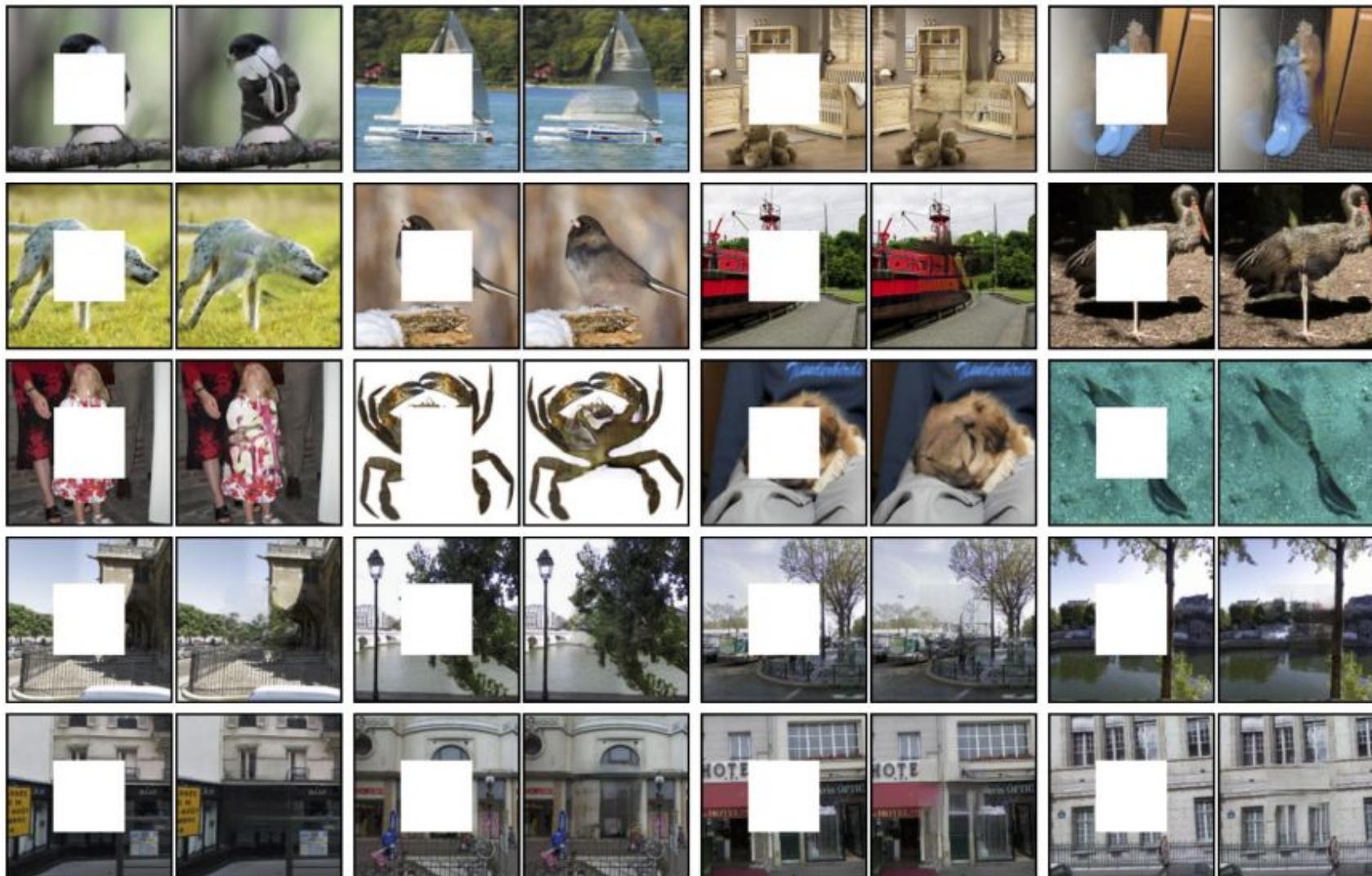
## Генерация изображений по эскизам



GauGAN: <https://www.nvidia.com/en-us/research/ai-playground/>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Улучшение изображений, дорисовка изображений (Image completion)



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Улучшение изображений, супер-разрешение (Super-Resolution)



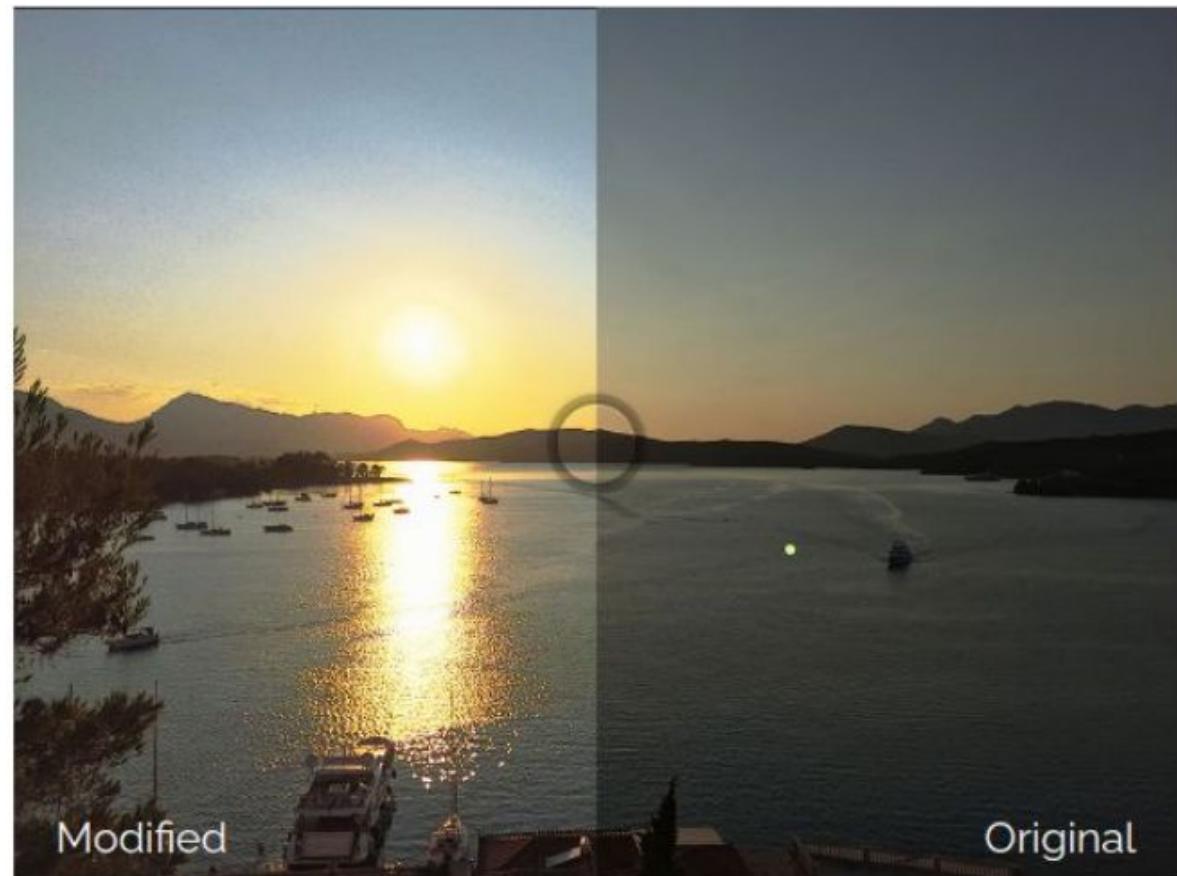
# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Улучшение фотографий



Modified

Original



Modified

Original

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Стилизация изображений (перенос стиля)

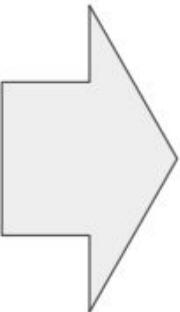


<https://deepr.io/>

<https://arxiv.org/pdf/1703.07511.pdf>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Раскрашивание изображений



# Компьютерное зрение и обработка изображений

Обработка изображений: image -> video



**Input Photo**



**Photo Animation**



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Реконструкция изображений / панорам



«LayoutNet: Reconstructing the 3D Room Layout from a Single RGB Image», 2018  
<https://arxiv.org/abs/1803.08999>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Аннотирование изображений

A person riding a motorcycle on a dirt road.



Two dogs play in the grass.



A skateboarder does a trick on a ramp.



A dog is jumping to catch a frisbee.



A group of young people playing a game of frisbee.



Two hockey players are fighting over the puck.



A little girl in a pink hat is blowing bubbles.



A refrigerator filled with lots of food and drinks.



A herd of elephants walking across a dry grass field.



A close up of a cat laying on a couch.



A red motorcycle parked on the side of the road.



A yellow school bus parked in a parking lot.



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Аннотирование изображений

A person riding a motorcycle on a dirt road.



Two dogs play in the grass.



A skateboarder does a trick on a ramp.



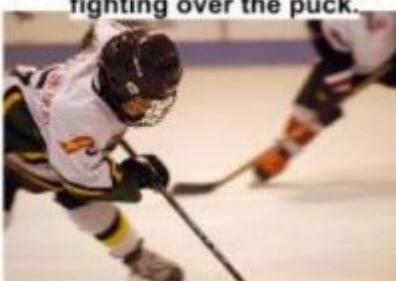
A dog is jumping to catch a frisbee.



A group of young people playing a game of frisbee.



Two hockey players are fighting over the puck.



A little girl in a pink hat is blowing bubbles.



A refrigerator filled with lots of food and drinks.



A herd of elephants walking across a dry grass field.



A close up of a cat laying on a couch.



A red motorcycle parked on the side of the road.



A yellow school bus parked in a parking lot.



# Компьютерное зрение и обработка изображений

Соревнование <https://visualqa.org/roe.html> вопросы двух форматов:  
OpenEnded / MultipleChoice

Who is wearing glasses?

man



woman

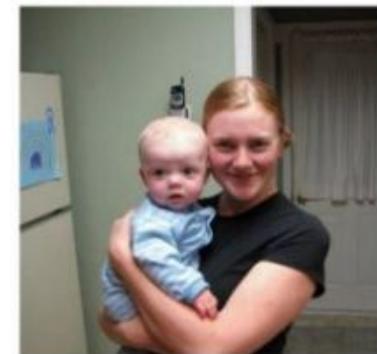


Where is the child sitting?

fridge



arms



Is the umbrella upside down?

yes



no



How many children are in the bed?

2



1



# Компьютерное зрение и обработка изображений

## Текст в изображение (text2image)

### Генерация по запросу

TEXT PROMPT

an illustration of a baby daikon radish in a tutu walking a dog

AI-GENERATED  
IMAGES



[Edit prompt or view more images↓](#)

TEXT PROMPT

an armchair in the shape of an avocado....

AI-GENERATED  
IMAGES



[Edit prompt or view more images↓](#)

# Компьютерное зрение и обработка изображений

Текст в изображение (text2image)  
Генерация по запросу



<https://openai.com/index/dall-e-3/>

# Компьютерное зрение и обработка изображений

Текст в видео(text2video)

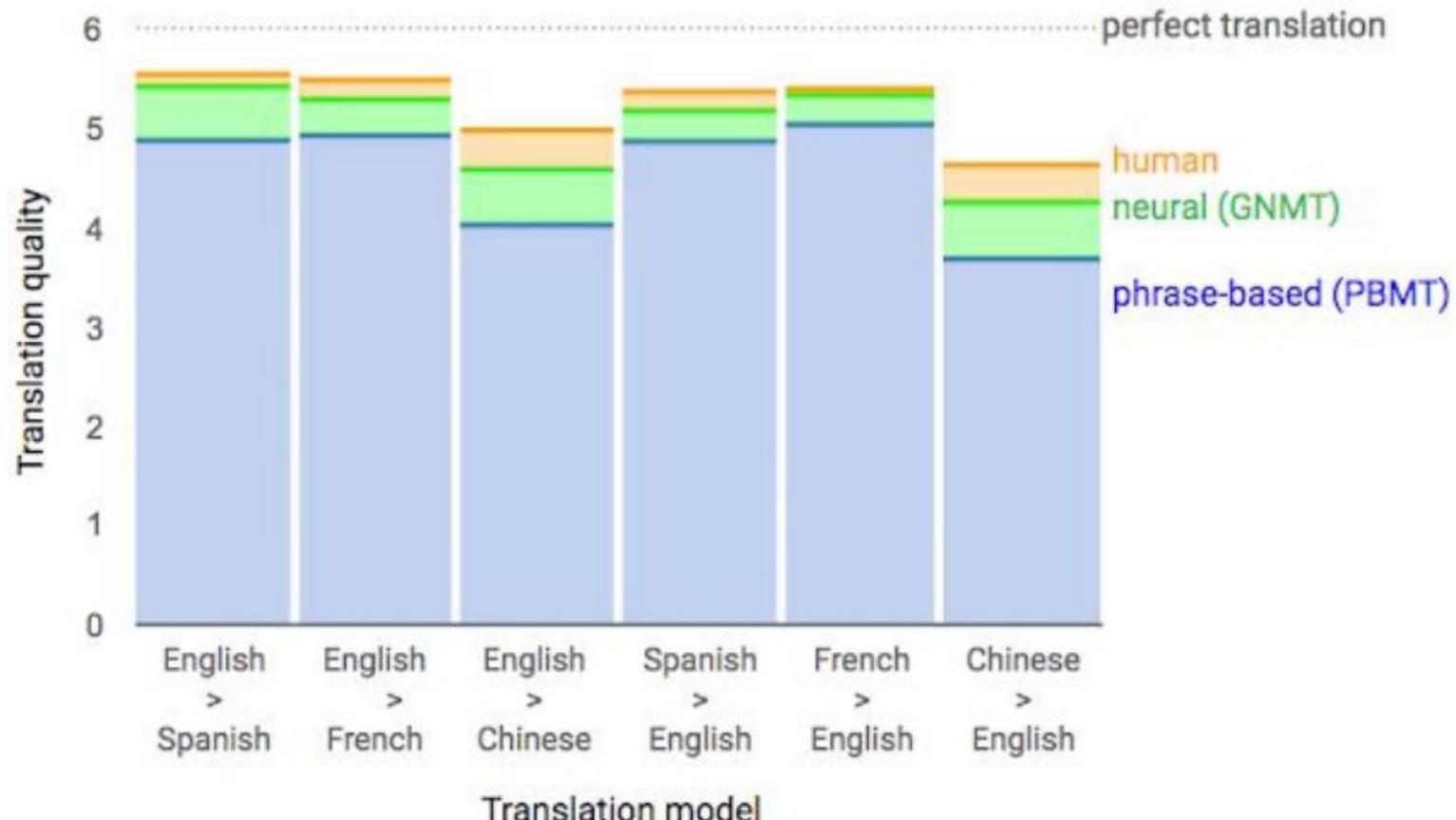
Генерация по запросу



<https://openai.com/index/sora/>

# Natural Language Processing

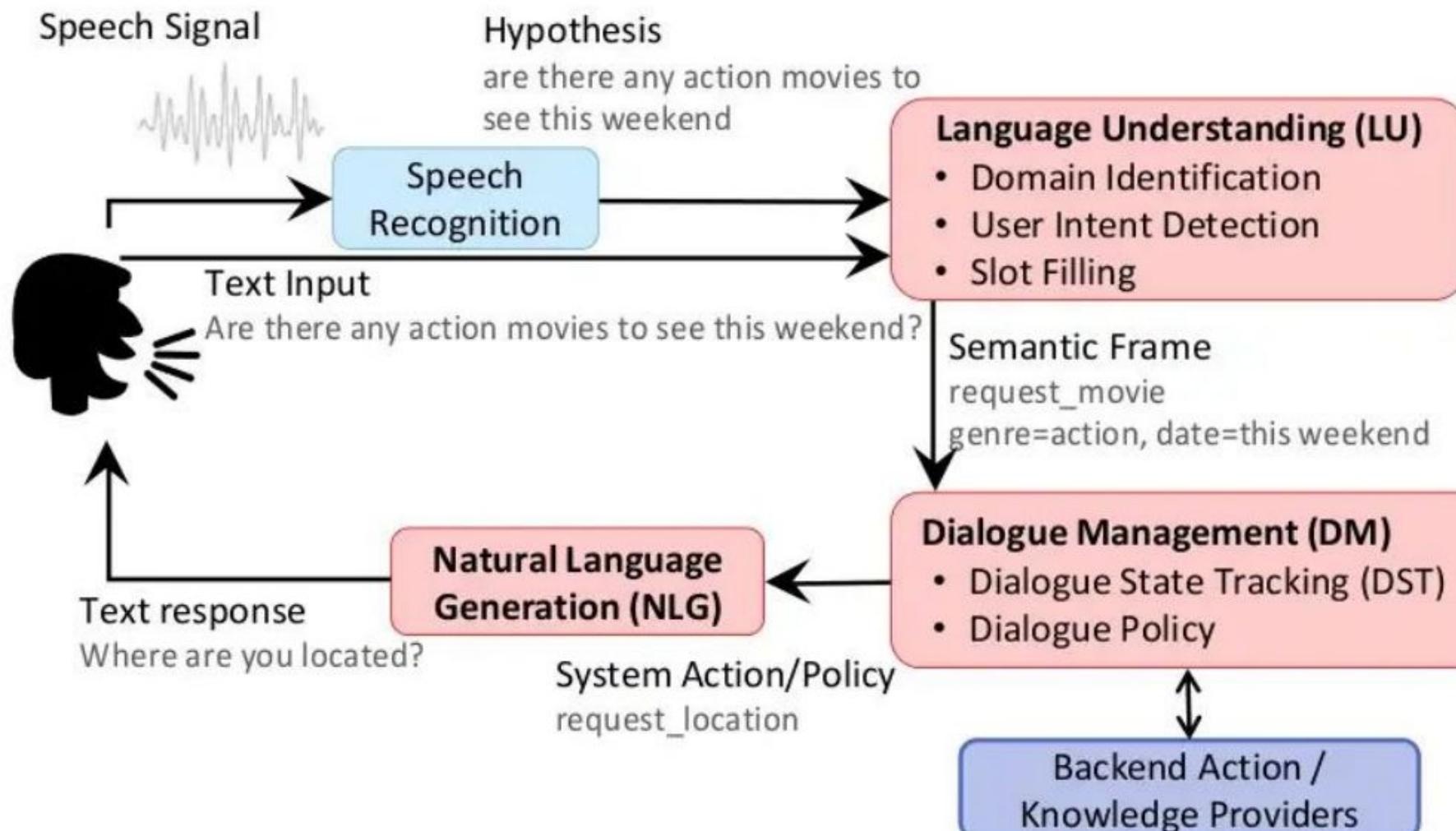
1. Понимание смысла (Language Understanding)
2. Автоматический перевод



Google's Neural Machine Translation System  
<https://arxiv.org/abs/1609.08144>

# Natural Language Processing

## Диалоговые системы



# Natural Language Processing

## Языковые модели / генерация текста

Title: United Methodists Agree to Historic Split  
Subtitle: Those who oppose gay marriage will form their own denomination  
Article: After two days of intense debate, the United Methodist Church has agreed to a historic split - one that is expected to end in the creation of a new denomination, one that will be "theologically and socially conservative," according to The Washington Post. The majority of delegates attending the church's annual General Conference in May voted to strengthen a ban on the ordination of LGBTQ clergy and to write new rules that will "discipline" clergy who officiate at same-sex weddings. But those who opposed these measures have a new plan: They say they will form a separate denomination by 2020, calling their church the Christian Methodist denomination.  
The Post notes that the denomination, which claims 12.5 million members, was in the early 20th century the "largest Protestant denomination in the U.S.," but that it has been shrinking in recent decades. The new split will be the second in the church's history. The first occurred in 1968, when roughly 10 percent of the denomination left to form the Evangelical United Brethren Church. The Post notes that the proposed split "comes at a critical time for the church, which has been losing members for years," which has been "pushed toward the brink of a schism over the role of LGBTQ people in the church." Gay marriage is not the only issue that has divided the church. In 2016, the denomination was split over ordination of transgender clergy, with the North Pacific regional conference voting to ban them from serving as clergy, and the South Pacific regional conference voting to allow them.

**Figure 3.14:** The GPT-3 generated news article that humans had the greatest difficulty distinguishing from a human written article (accuracy: 12%).

# Natural Language Processing

- General
  - Text Generation
  - Summarization
  - Open Domain Question Answering
  - Paraphrasing
  - Sentiment Analysis (few-shot or zero-shot)
  - Token Classification (few-shot or zero-shot)
  - Dataset Generation (few-shot or zero-shot)
  - Machine Translation
- Code
  - Code Generation
  - Code Explanation
  - Docstrings Generation
  - Programming Language Conversion
  - Data Object Conversions (JSON, XML, CSV etc.)
  - Knowledge Graph Generation

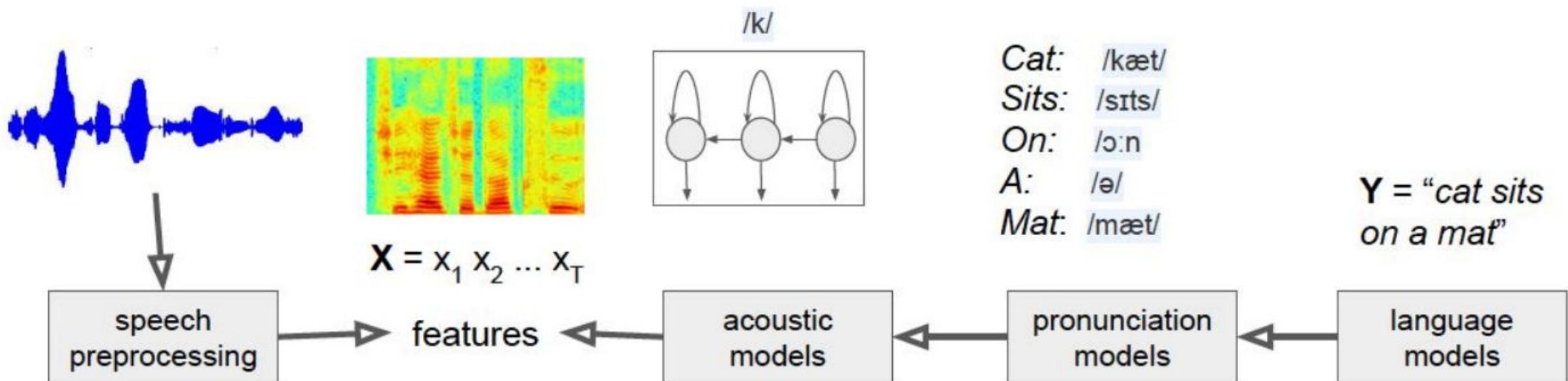
ChatGPT



...

# Обработка аудио / звуков / речи

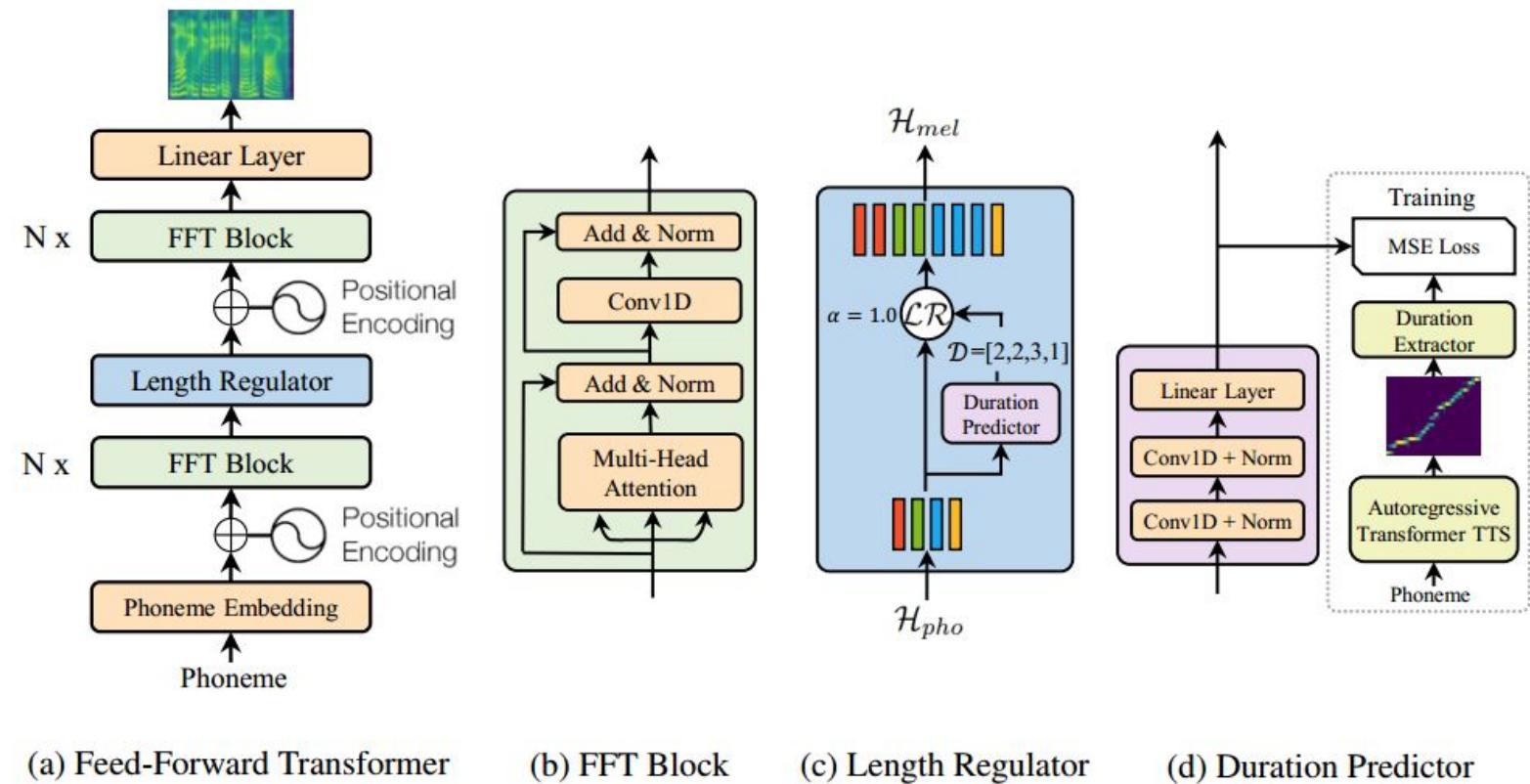
## Распознавание речи (Speech Recognition)



# Обработка аудио / звуков / речи

## Генерация речи (TTS - text to speech)

All smile were real and the  
happier, the more sincere.

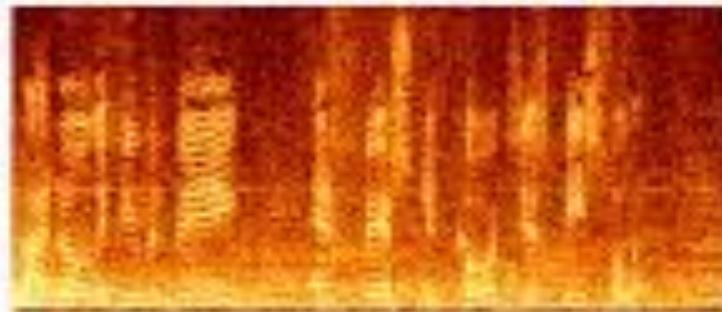
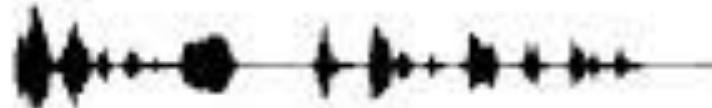


<https://arxiv.org/abs/2307.00024>  
<https://arxiv.org/abs/1905.09263>

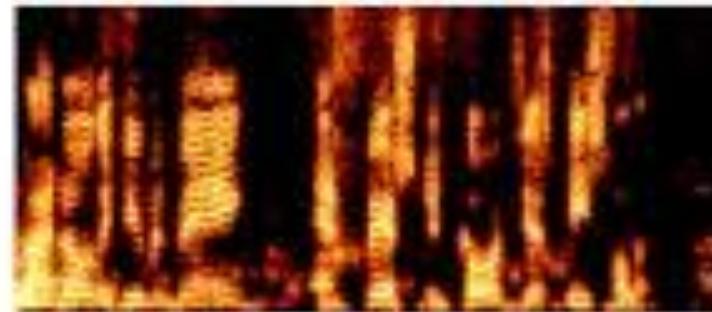
# Обработка аудио / звуков / речи

Speech enhancement  
(denoise)

*noisereduce*



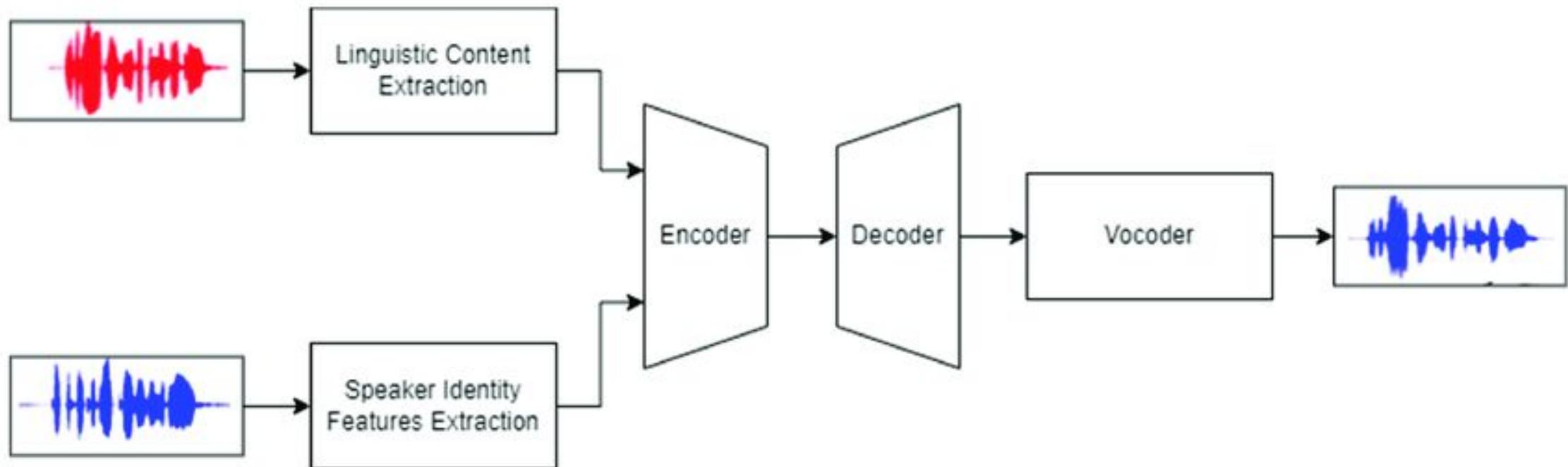
Original noisy signal



Output

# Обработка аудио / звуков / речи

## Voice conversion



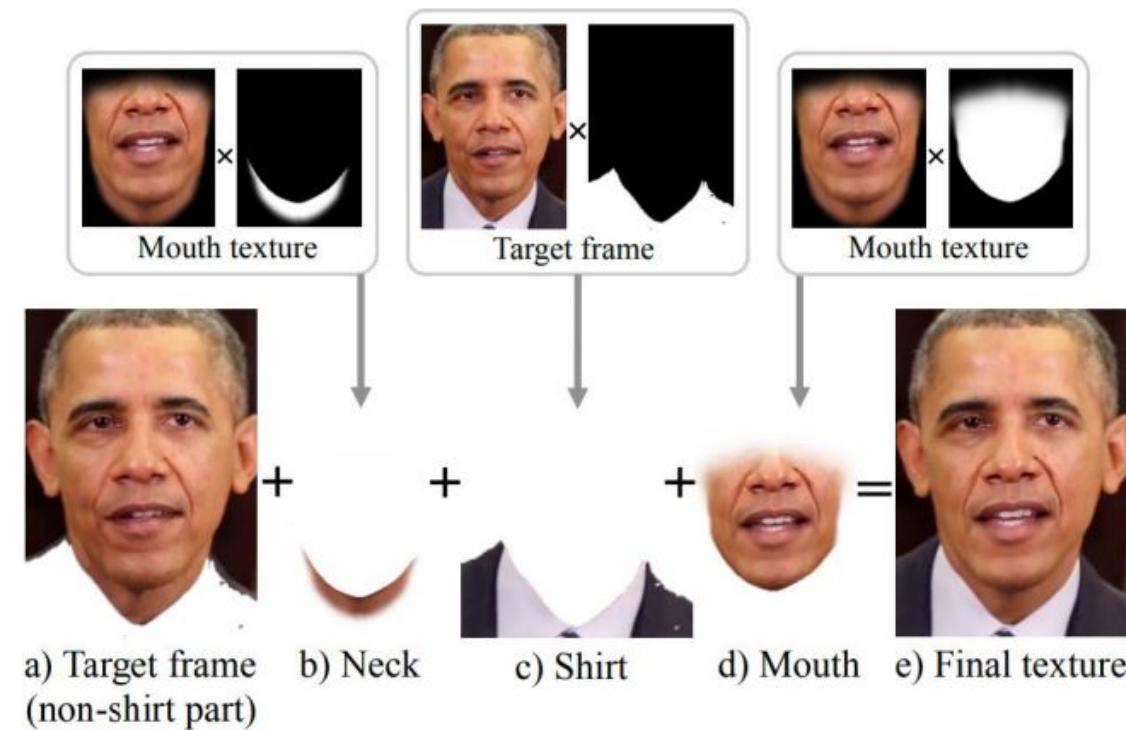
# Обработка видео / аудио

## Чтение по губам (Lip reading)



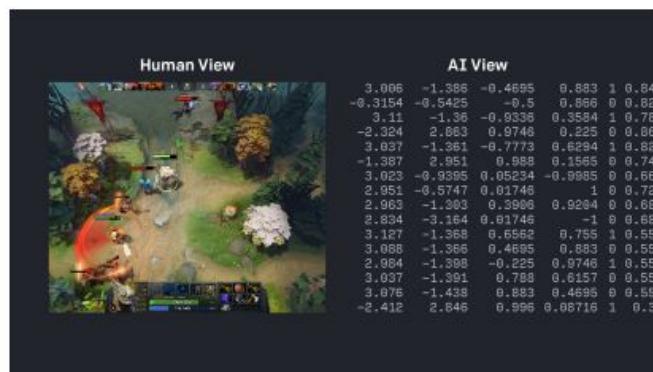
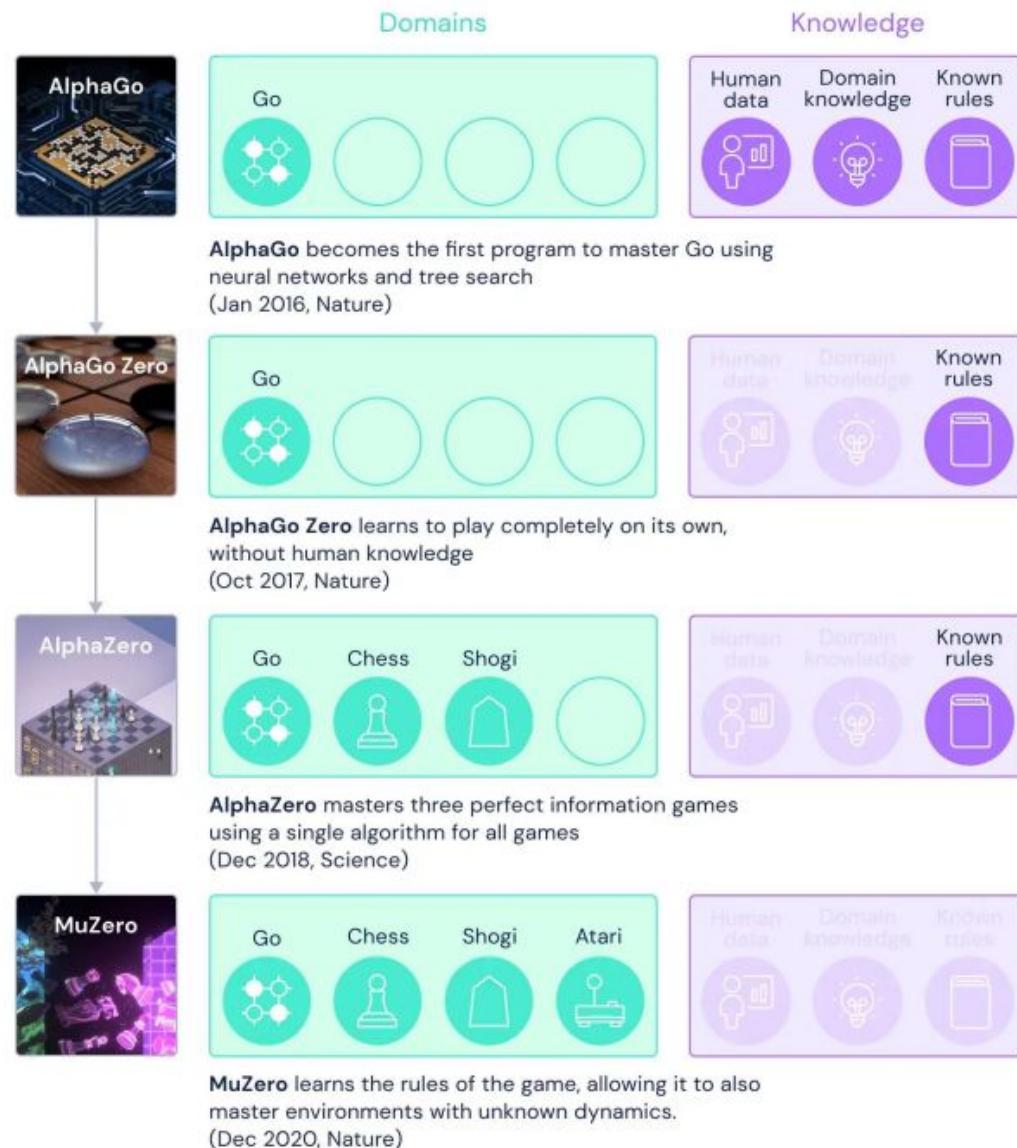
<https://arxiv.org/pdf/1611.05358v1.pdf>

## Синхронизация движения губ



<https://grail.cs.washington.edu/Research/>

# ИИ в играх: Atari, шахматы, го, дота...

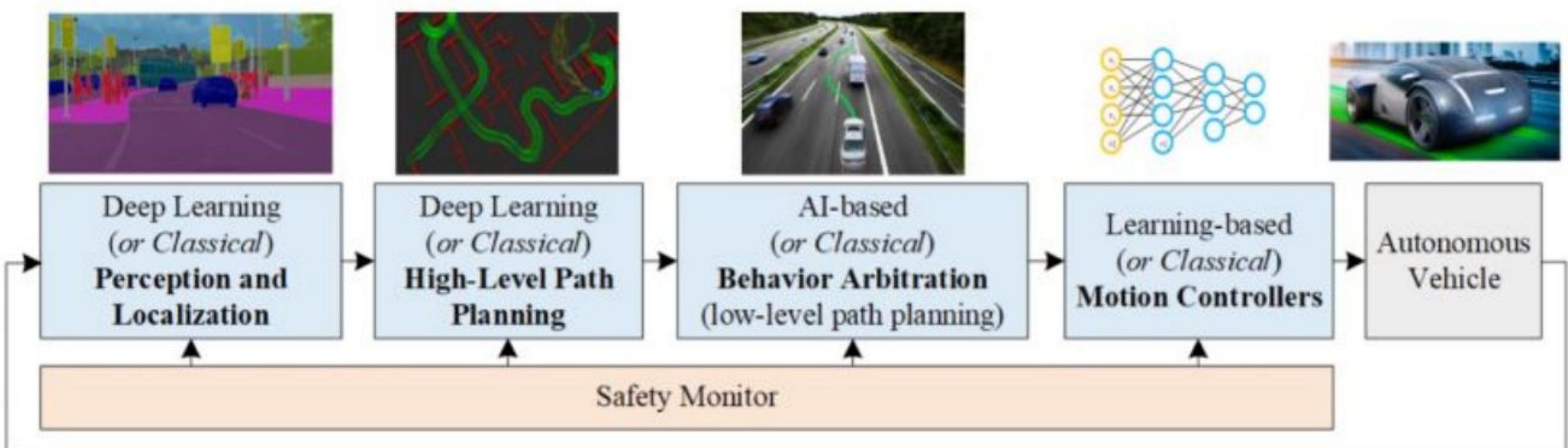


<https://habr.com/ru/articles/437486/>

<https://deepmind.google/discover/blog/muzero-mastering-go-chess-shogi-and-atari-without-rules/>

# Reinforcement Learning

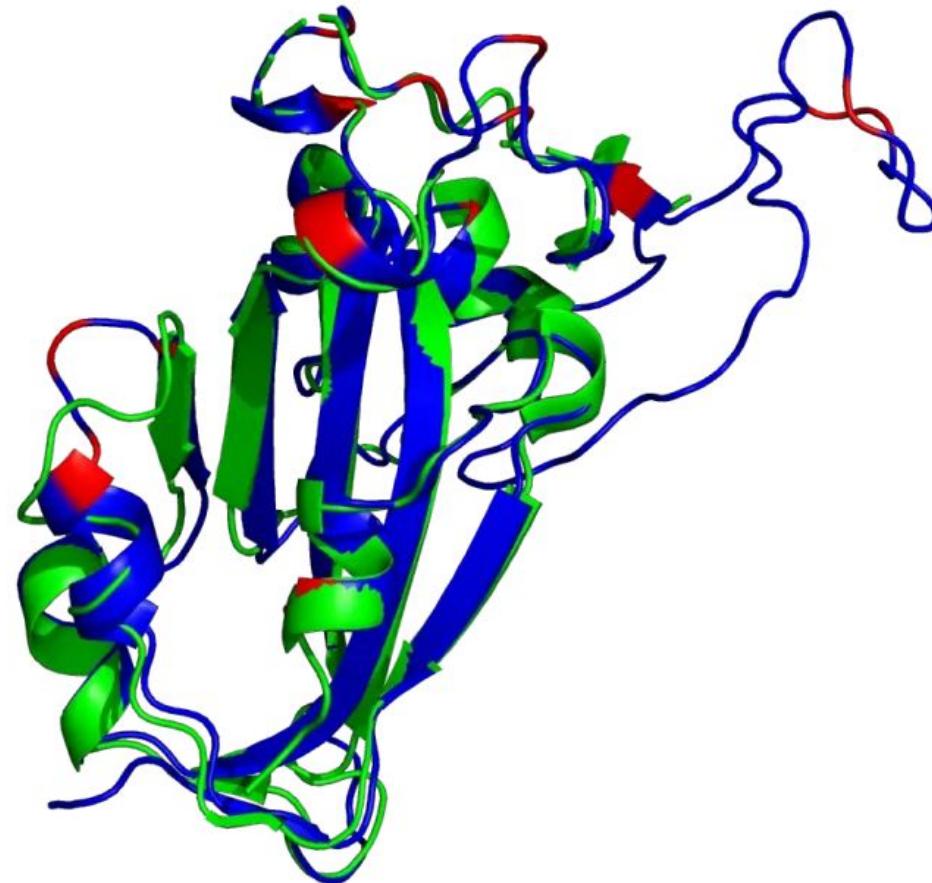
Предсказание ситуации на дороге



<https://arxiv.org/pdf/1911.09070.pdf>

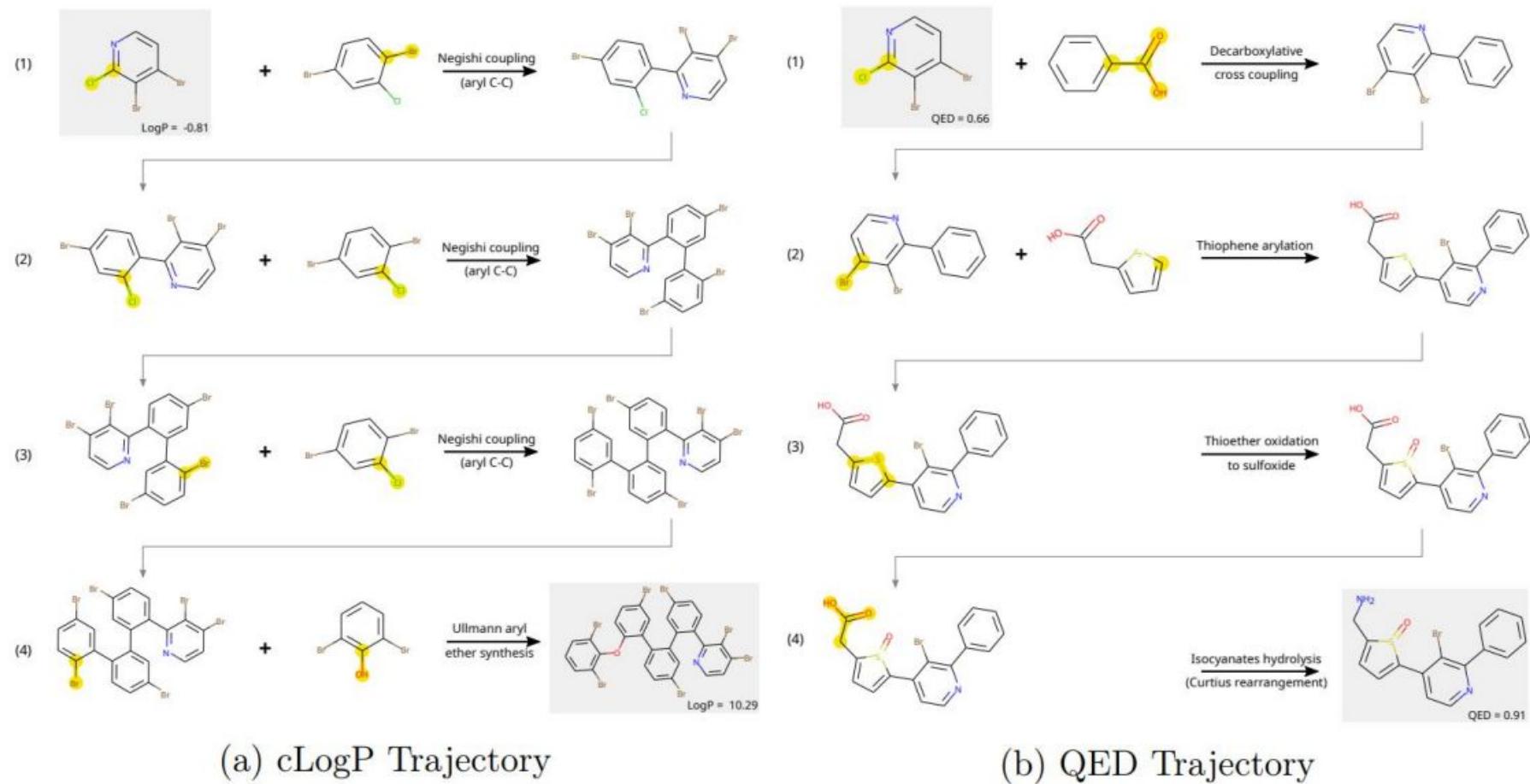
# Медицина и химия

**Предсказание структуры белка и его свойств**



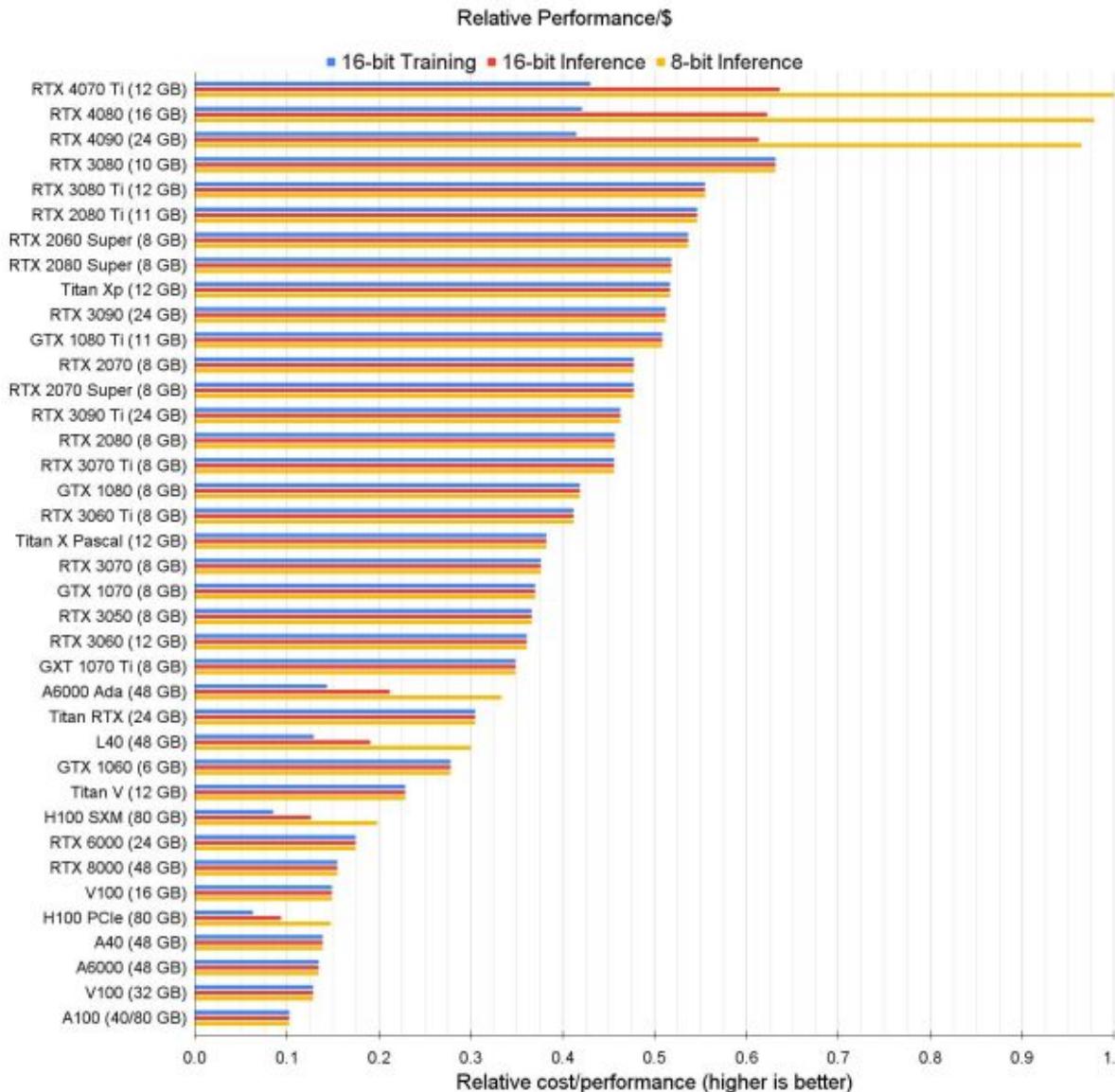
# Медицина (Drug Discovery and Medical)

## Предсказание свойств химических соединений с помощью обучения с подкреплением



<https://arxiv.org/pdf/2004.14308.pdf>

# Причины прогресса



1. Интенсивные исследования в ML (+ обмен идеями)
2. Огромные наборы данных (+ интернет, дататификация, миниатюризация)
3. Hardware (CPUs, GPUs + всё новое специальное)
4. Новые приёмы в обучении (Dropout, BN и т.п.)
5. Архитектурные: возможность инвариантности к некоторым преобразованиям (например масштабу) + принципиально новые идеи (ex: Transformer)
6. Интерес бизнеса

# Проблемы и минусы нейросетей

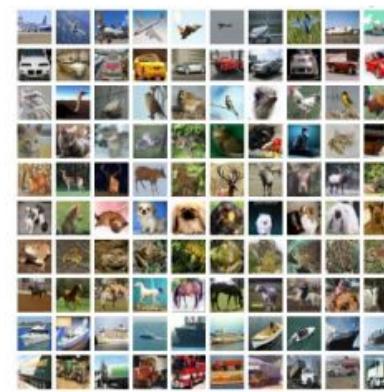
- 1. Переобучение, большое число весов**
  - a. Уменьшение параметров
  - b. Регуляризация
- 2. Нестабильное обучение, долгое обучение, плохие решения**
  - a. Новые методы оптимизации
  - b. Эвристические приёмы
  - c. Архитектуры
  - d. GPU, кластеры GPU
- 3. Необходимость больших данных**
  - a. Каудсорс-разметка
  - b. Предобученные модели
  - c. Самообучение
  - d. One-shot-подходы
  - e. Эффективные представления (embeddings – стилей, интонации и т.п.)
  - f. Эффективные представления (embeddings – стилей, интонации и т.п.)
  - g. One-shot-подходы
  - h. Самообучение

# Проблемы и минусы нейросетей

- 4. Не учитывают «естественный контекст», слабая интерпретация решений**
  - a. Пока не ИИ...
  - b. Не учат инварианты (альтернативы – капсульные сети и т.п.)
  - c. Теория интерпретаций
- 5. Ресурсоемкость**
  - a. Сети облегченной архитектуры (для мобильных приложений)
  - b. Обучение «Учитель-ученик» (дистилляция)
- 6. Проблемы с выбором архитектуры**
  - a. Нет теории...
  - b. NAS (автоматический подбор)

# Датасеты

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

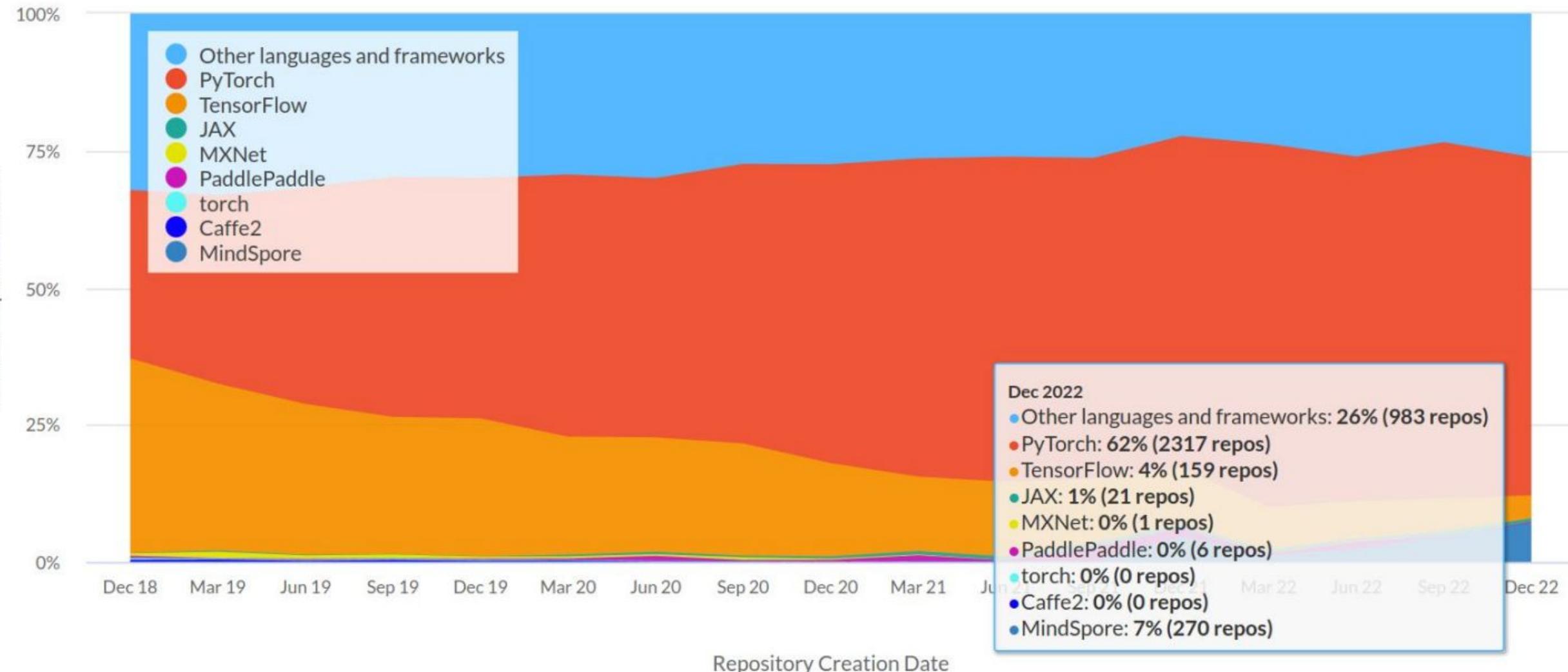


kaggle



Papers With Code

# Frameworks



# Большое количество материалов

## Лекции:

- Александр Дьяконов
  - <https://www.youtube.com/@alexanderdyakonov8305>
- Антон Осокин
  - [https://github.com/aosokin/DL\\_CSHSE\\_spring2018](https://github.com/aosokin/DL_CSHSE_spring2018)
- Роман Соловьёв
  - <https://youtube.com/playlist?list=PLMyPRULSXkaWaJrQOWCBwOnVVVydPsPPj>
- Deep Learning School
  - <https://www.youtube.com/@DeepLearningSchool>
- Радослав Нейчев
  - [https://www.youtube.com/playlist?list=PL4\\_hYwCyhAvY7k32D65q3xJVo8X8dc3Ye](https://www.youtube.com/playlist?list=PL4_hYwCyhAvY7k32D65q3xJVo8X8dc3Ye)
- Техносфера
  - [https://www.youtube.com/playlist?list=PLrCZzMib1e9o0GNLh6\\_d65HyfdqIJwTQP](https://www.youtube.com/playlist?list=PLrCZzMib1e9o0GNLh6_d65HyfdqIJwTQP)
- Computer Science Center
  - <https://www.youtube.com/watch?v=orgXajB6z58&list=PLIb7e2G7aSpTh7pQG8ek1Uv5-zatv84vY>

# Большое количество материалов

## Книги:

- Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville «Deep Learning»
- Mohamed Elgendi «Deep Learning for Vision Systems»
- Ричард Саттон, Эндрю Барто «Обучение с подкреплением»
- Адриан Роузброк «Deep Learning for Computer Vision with Python»
- Эндрю Траск «Grokking Deep Learning»
- Сергей Николенко «Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей»
- Сандро Сканси «Introduction to Deep Learning»
- Эндрю Ын «Machine Learning Yearning»
- Кристоф Молнар «Interpretable Machine Learning»
- Максим Лапань «Deep Reinforcement Learning Hands-On»

«Книга написана ведущими специалистами в этой области и представляет собой единственное полное изложение предмета».

— Илон Маск,  
сооснователь компаний Tesla и SpaceX



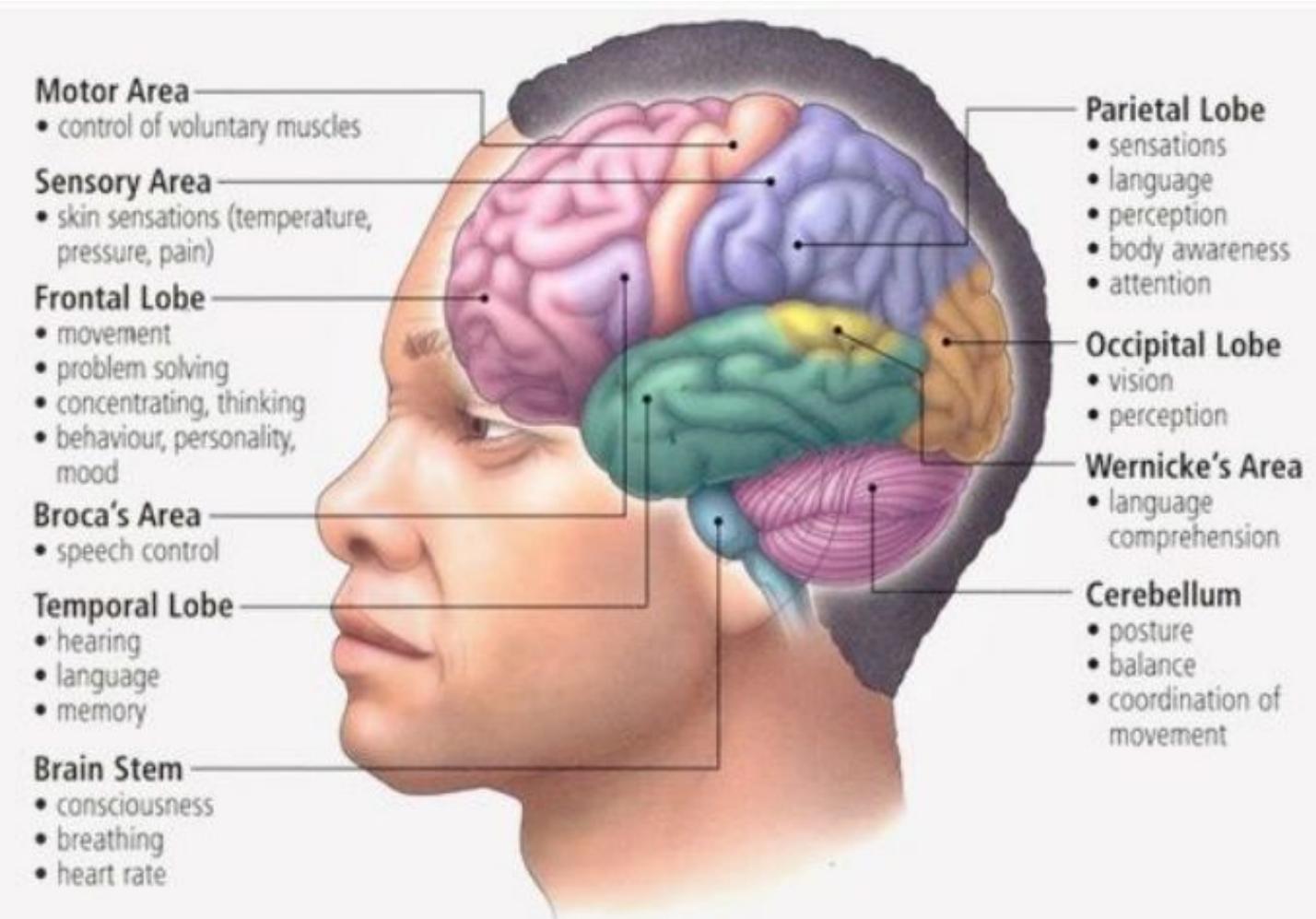
Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль

# Глубокое обучение

# Многослойный персепtron



# Структура мозга человека



Количество нейронов:

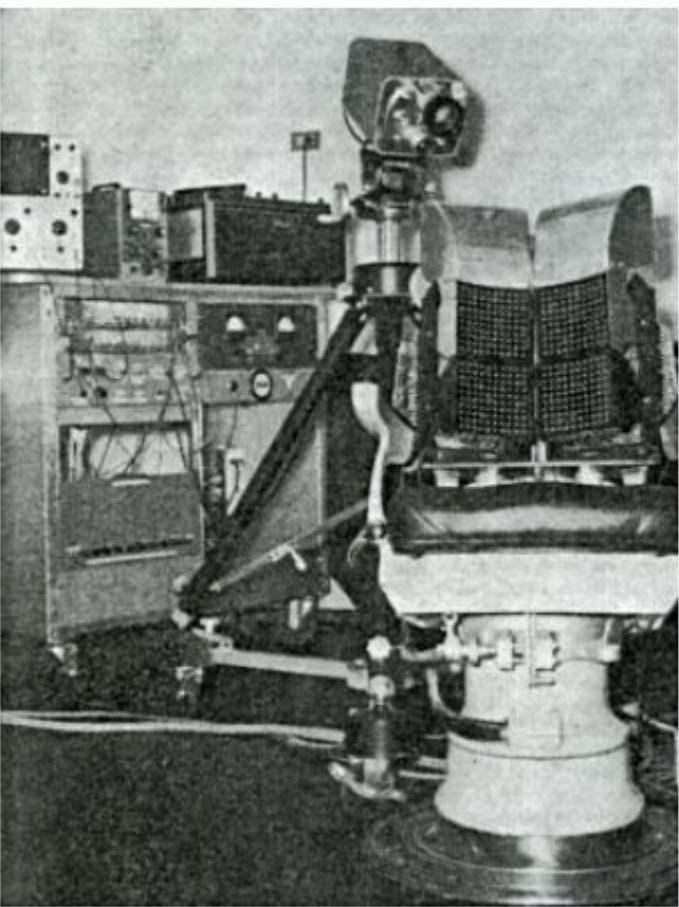
- 86 млрд

Число транзисторов:

- [GPU] GH100 Hopper: 80 млрд
- [CPU] Apple M2 Max: 67 млрд

Нейроны обладают  
нейропластичностью

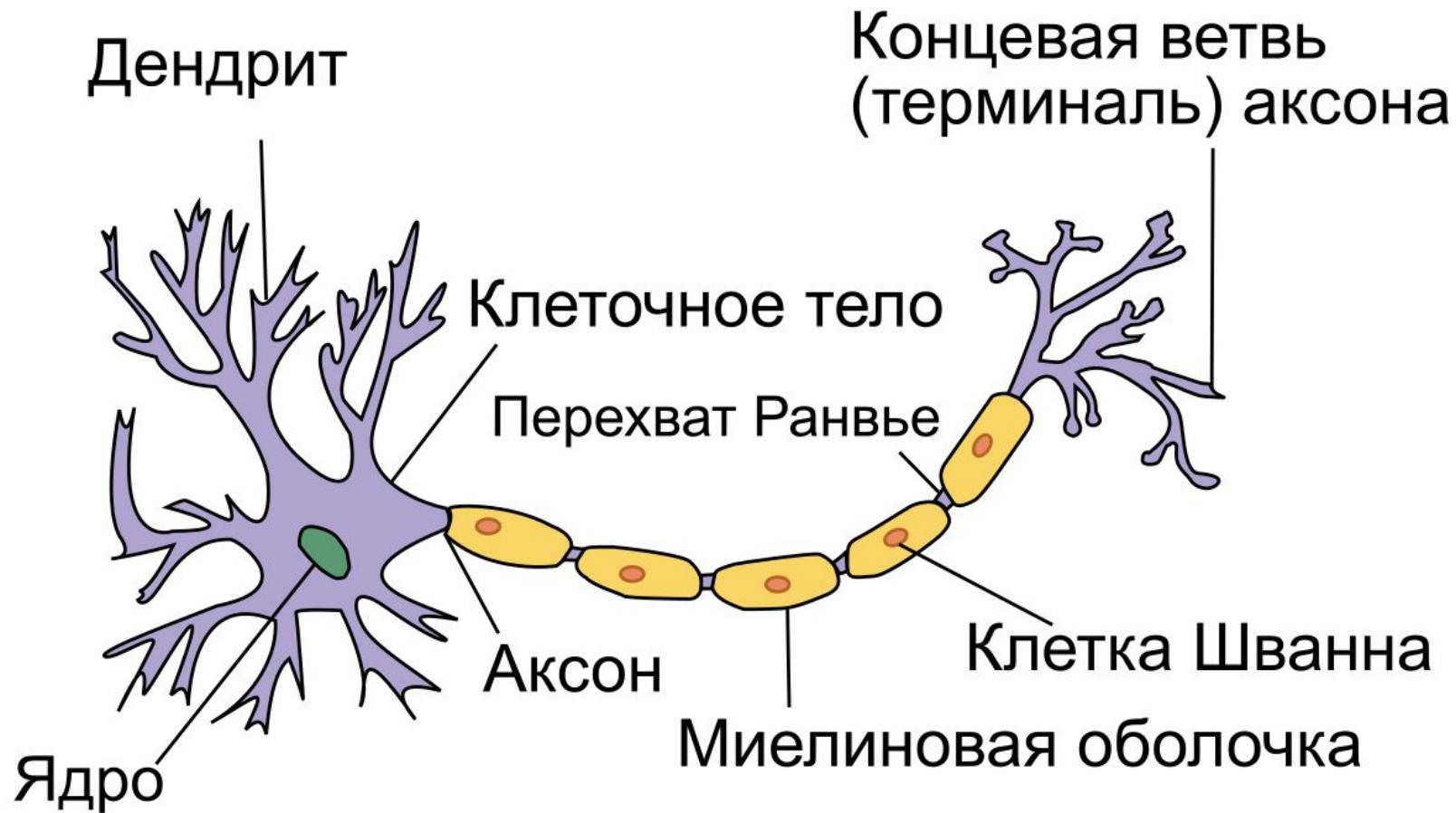
# Нейропластиность



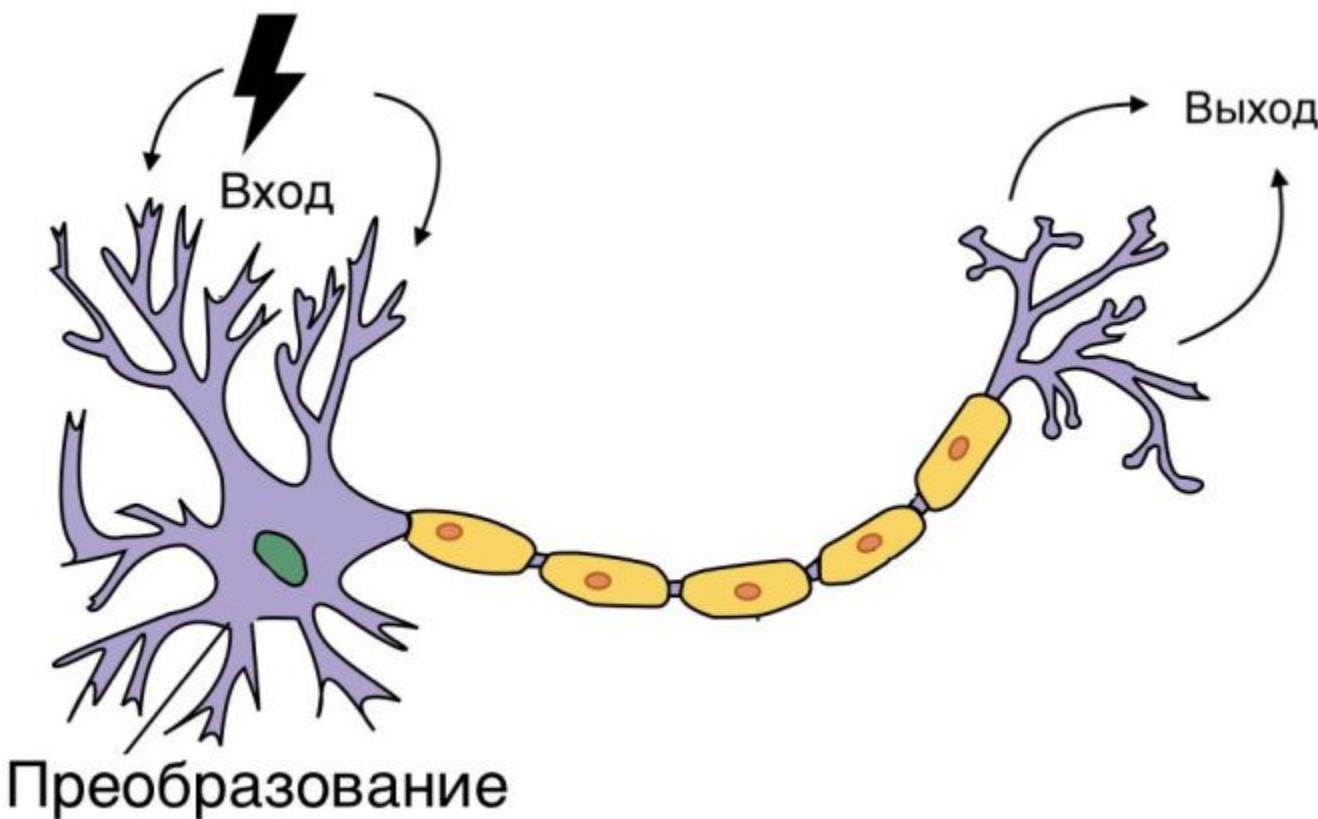
Пол Бак-и-Рита (Paul Bach-y-Rita) Создан прибор (BrainPort), основой которого является матрица электродов (до 20 на 20 штук), присоединяемых к языку (1969)

# Биологический нейрон

## Типичная структура нейрона

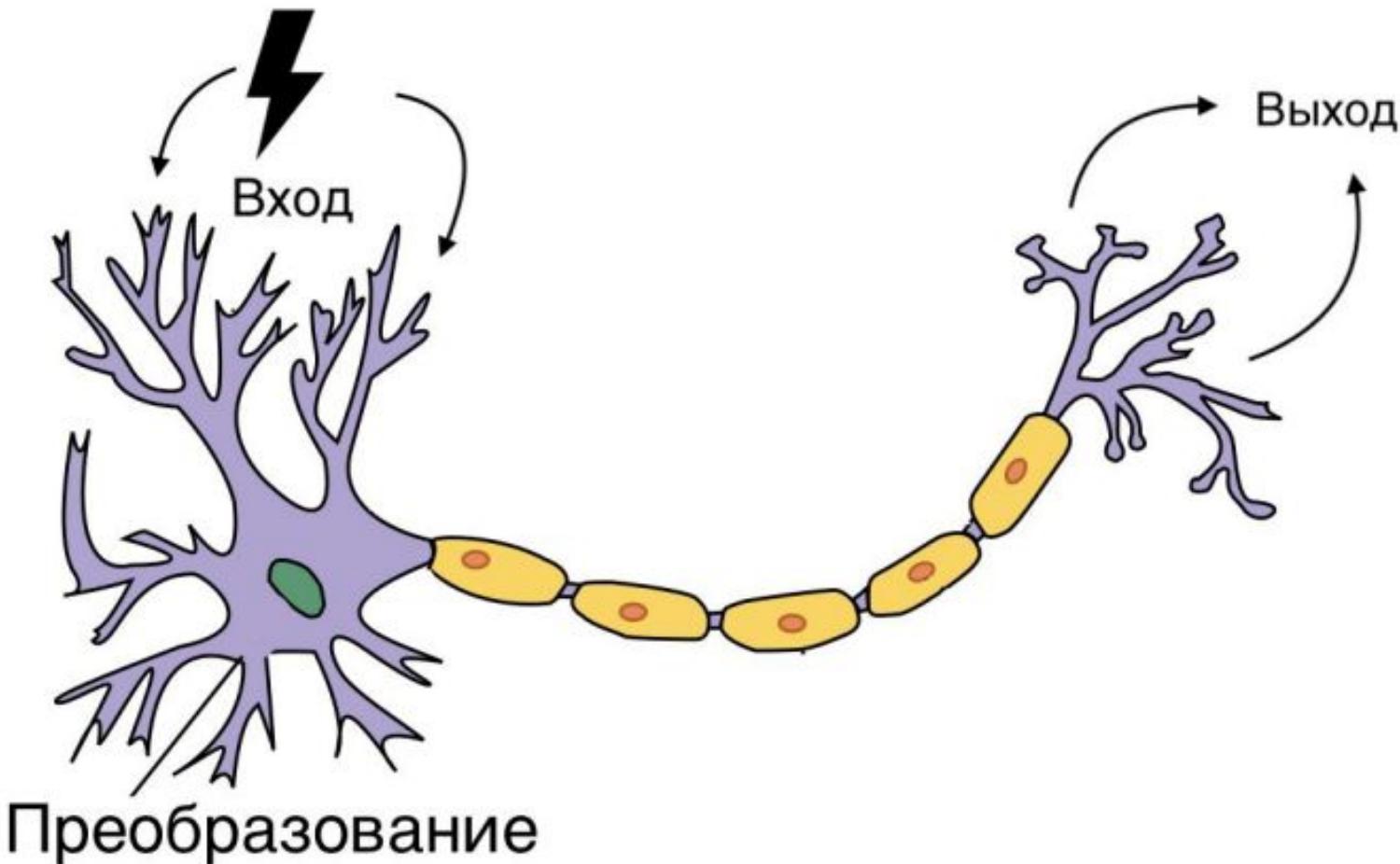


# Биологический нейрон



**Выходной сигнал посыпается при достижении  
определенного уровня входного сигнала**

# Большое количество материалов

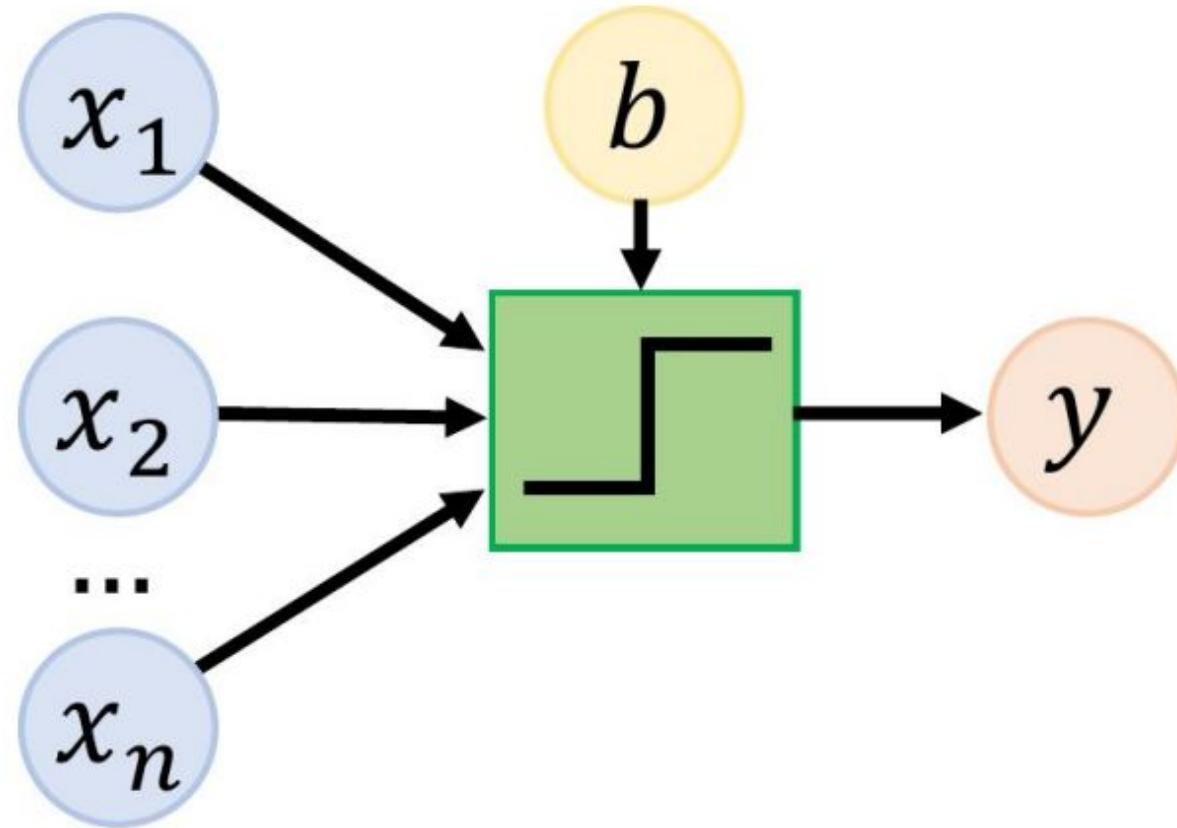


Выходной сигнал посылается при достижении определенного уровня входного сигнала.

Модель:

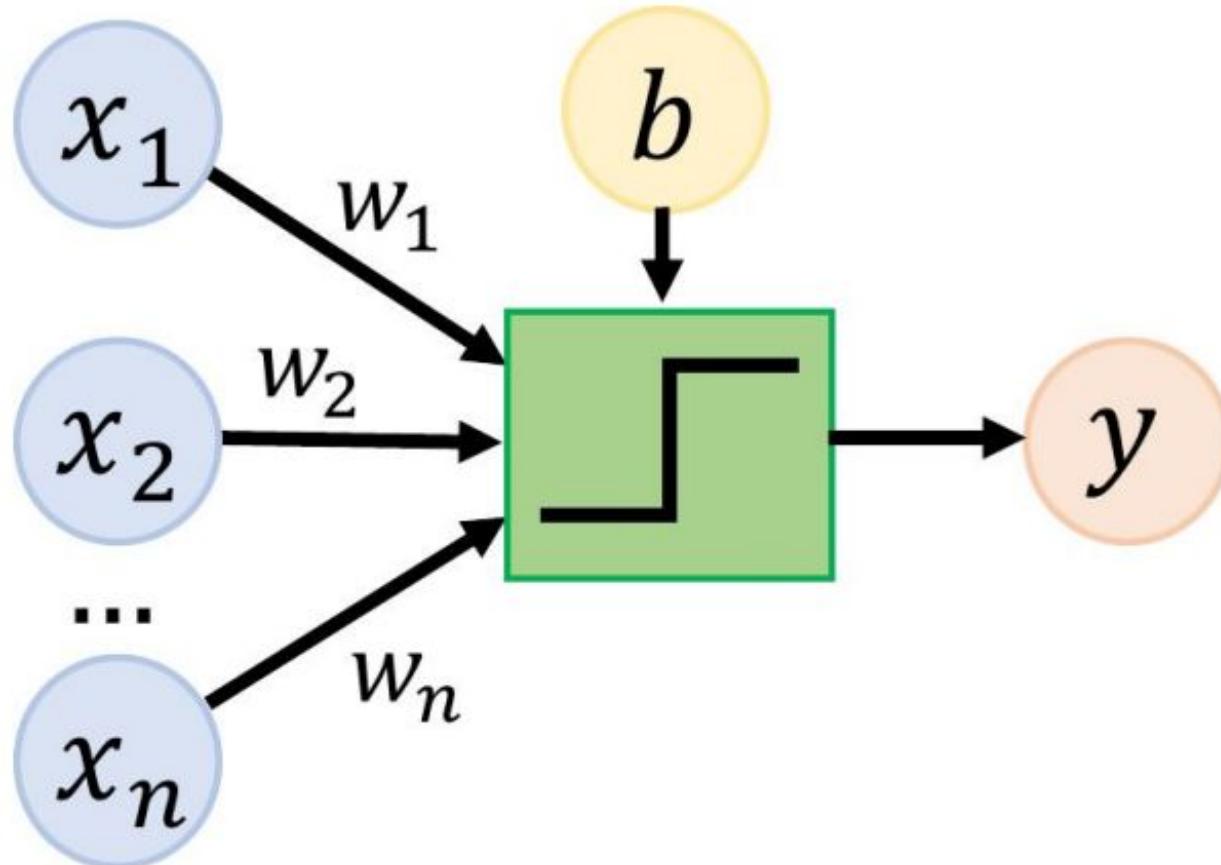
$$y = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^N x_i > b \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} = I\left[\sum_{i=1}^N x_i > b\right]$$

# Модель 1. Схема



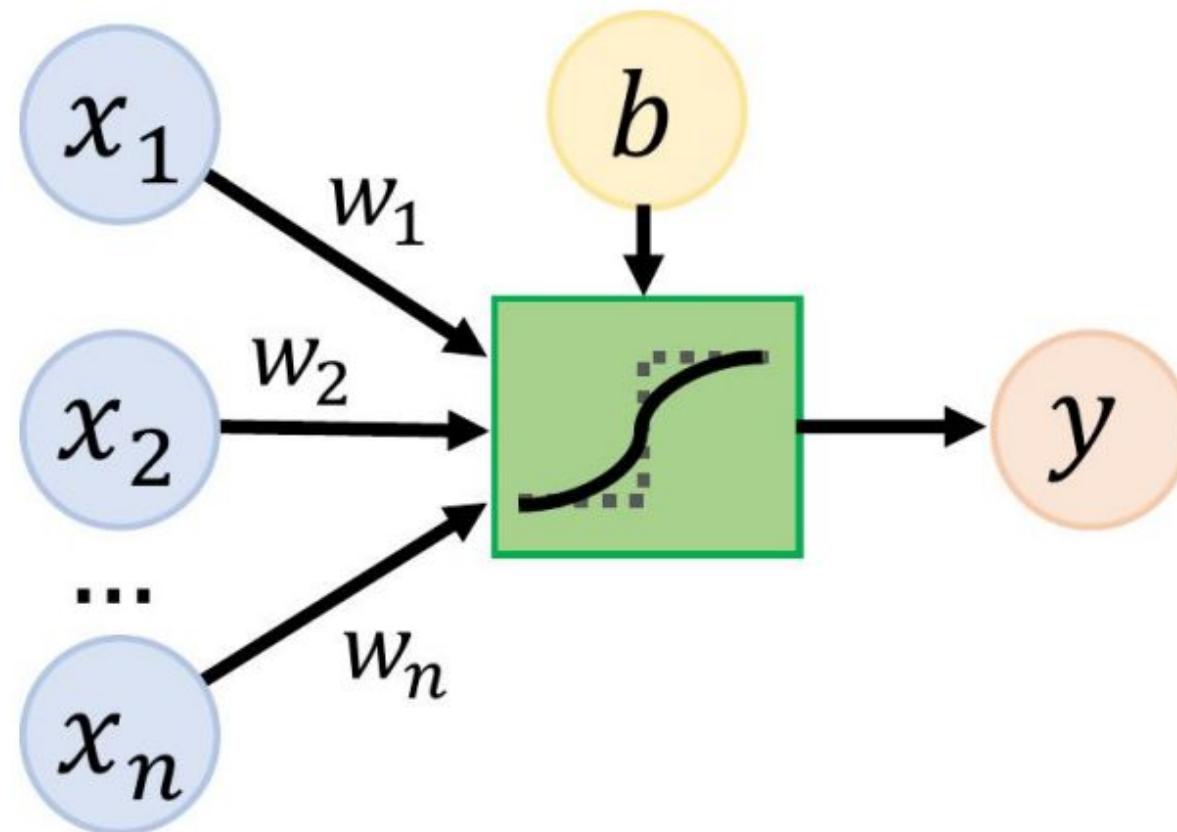
$$y = I \left[ \sum_{i=1}^N x_i > b \right]$$

## Модель 2. Чувствительность нейронов



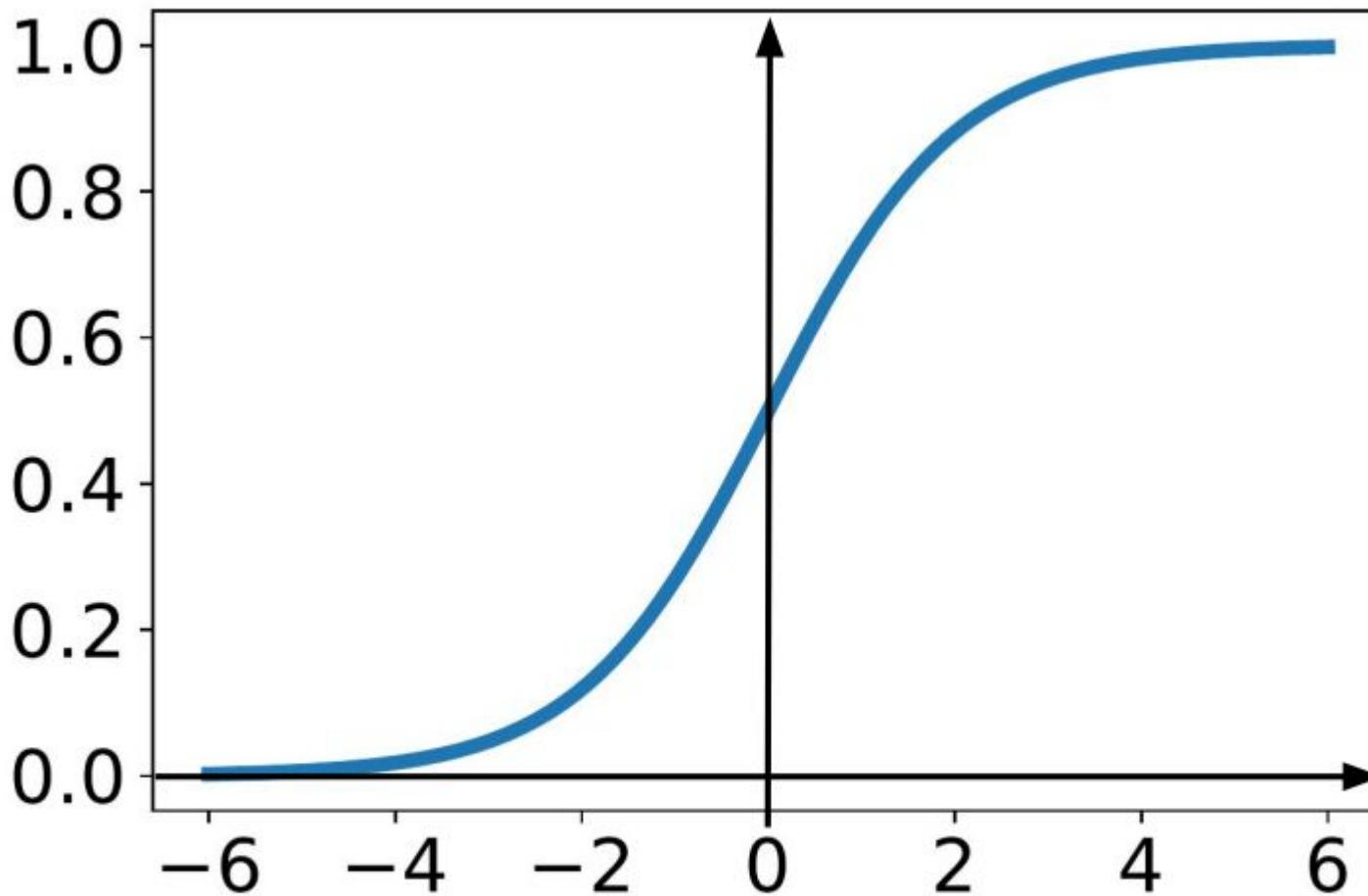
$$y = I \left[ \sum_{i=1}^N w_i x_i > b \right] = I[w^T x > b]$$

## Модель 2. Чувствительность нейронов



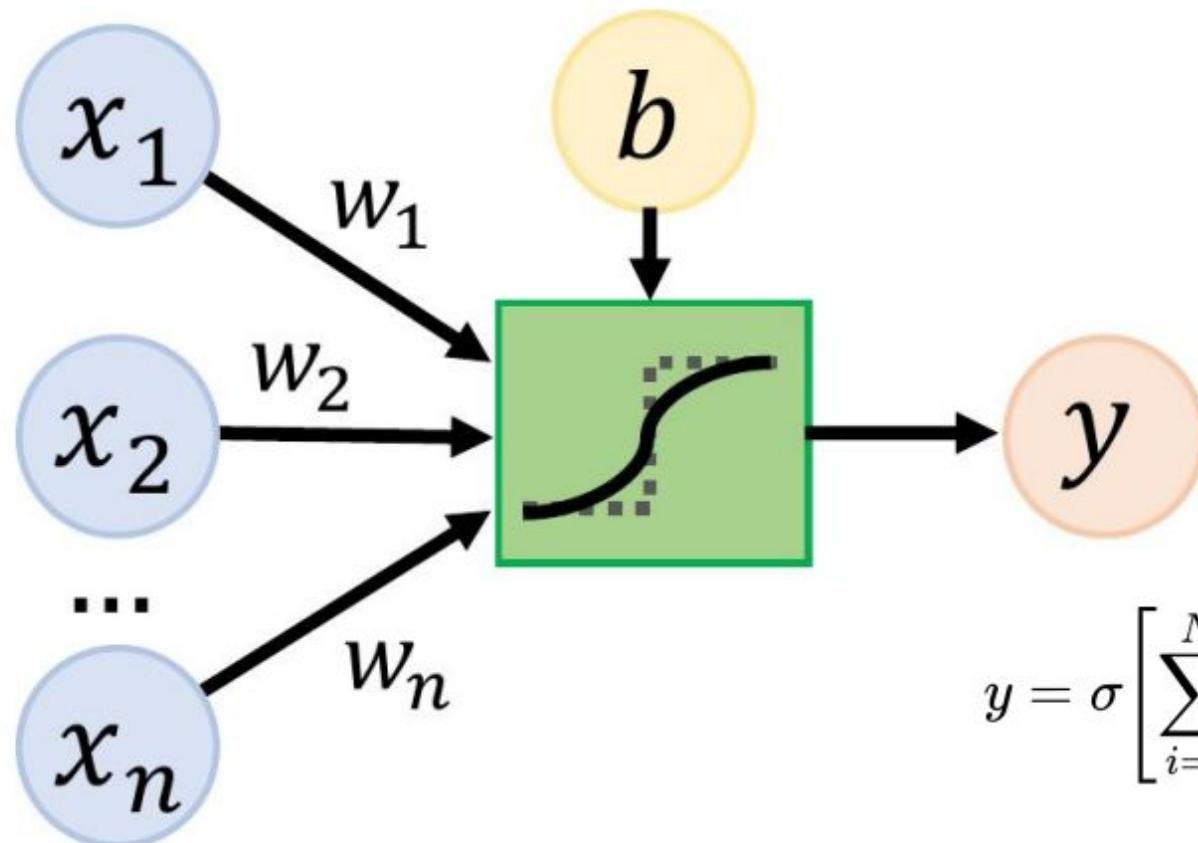
$$y = \sigma \left[ \sum_{i=1}^N w_i x_i + b \right] = \sigma [w^T x + b]$$

# Функция активации



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

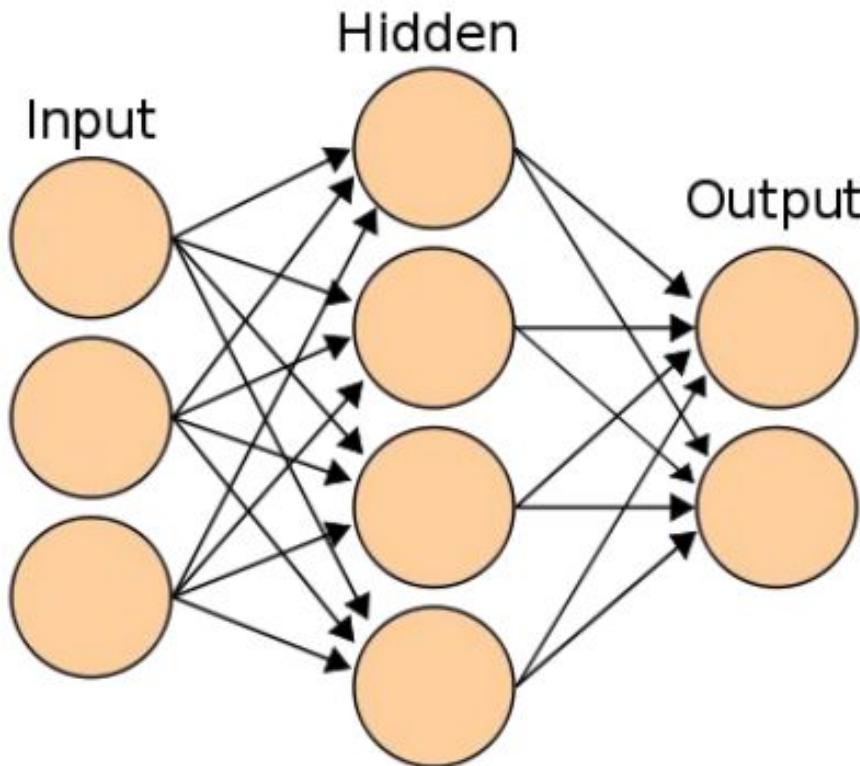
# Перцептрон



$$y = \sigma \left[ \sum_{i=1}^N w_i x_i + b \right] = \sigma [w^T x + b]$$

- Можем моделировать: NOT, AND, OR
- Не можем моделировать: XOR

# Сети с одним скрытым слоем



[Теорема](#) (универсальный аппроксиматор) Любую непрерывную на компакте функцию можно равномерно приблизить нейронной сетью с одним скрытым слоем.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Compact\\_space](https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_space)

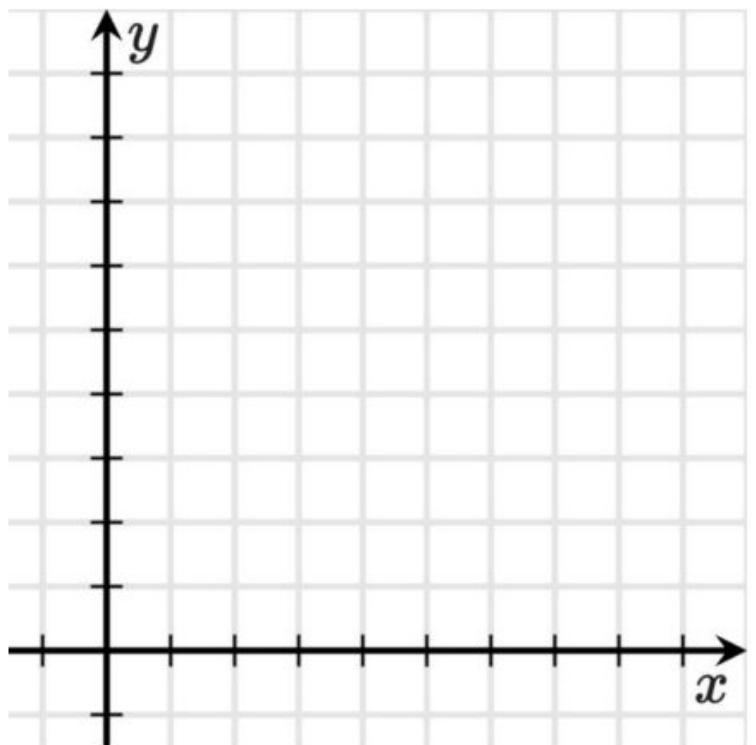
<http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap4.html>

# Идея доказательства

1. Рассмотрим случай  $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$
2. Достаточно рассматривать  $m = 1$
3. Заменяем функцию на кусочно-постоянную
4. Учимся приближать  
$$f(x) = I[a \leq x \leq b]$$
с помощью первого слоя
5. Учимся приближать

$$f(x) = \sum_{i=1}^N f\left(\frac{a_i + b_i}{2}\right) I[a_i \leq x \leq b_i]$$

с помощью второго слоя



# Идея доказательства

1. Рассмотрим случай  $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$
2. Достаточно рассматривать  $m = 1$
3. Заменяем функцию на кусочно-постоянную
4. Учимся приближать

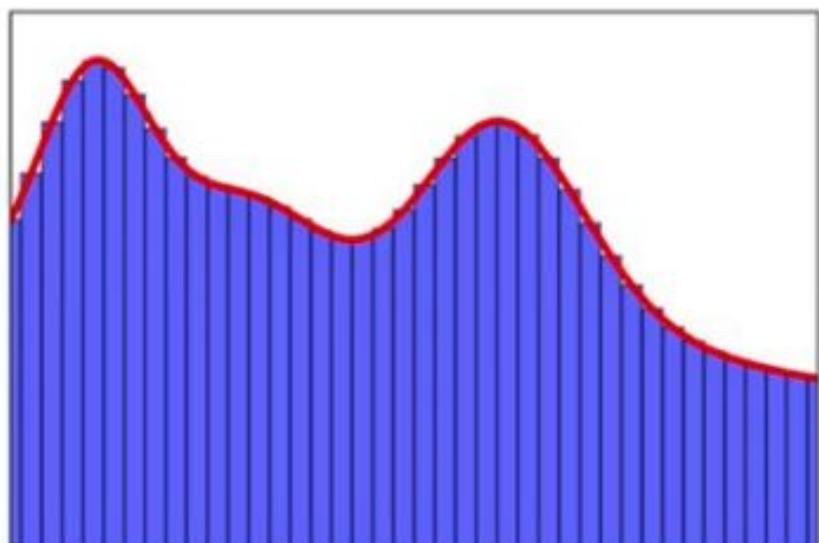
$$f(x) = I[a \leq x \leq b]$$

с помощью первого слоя

5. Учимся приближать

$$f(x) = \sum_{i=1}^N f\left(\frac{a_i + b_i}{2}\right) I[a_i \leq x \leq b_i]$$

с помощью второго слоя



# Обучение нейронных сетей



# Как обучить нейронную сеть?

Обучить нейронную сеть — подобрать значения всех настраиваемых параметров (веса и смещения).

Два этапа:

1. Задать функцию потерь  $\mathcal{L}$
2. Подобрать веса, минимизирующие  $\mathcal{L}$

# Регрессия

Хотим предсказать непрерывную величину  $y$  для объекта  $X$  (задача регрессии).

Имеется выборка  $(X_1, t_1), \dots, (X_n, t_n)$ . Пусть сеть предсказала  $y$  на объекте с правильной меткой  $t$ . Функция потерь:  $\delta = t - y$

- Mean Squared Error (MSE):  $\delta^2$
- Mean Absolute Error (MAE):  $|\delta|$
- Разная стоимость пере- и недопрогноза:  
$$\delta^2(a \cdot I[\delta < 0] + b \cdot I[\delta \geq 0])$$

# Классификация

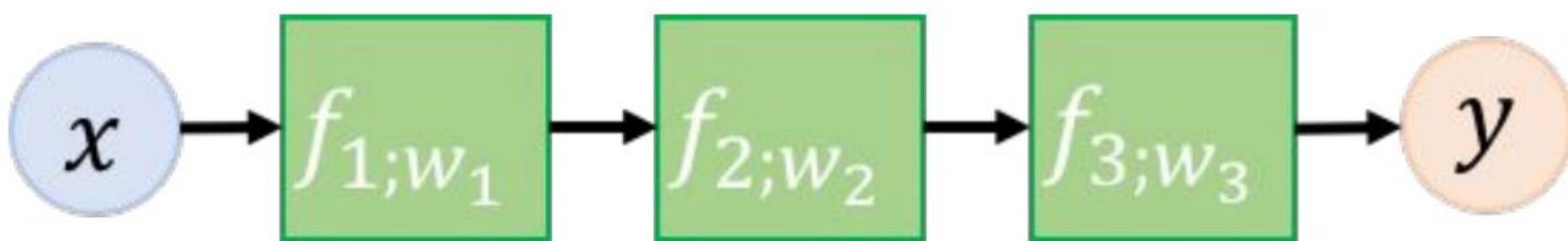
Хотим предсказать класс объекта. Функция потерь:  $-\sum_{c=1}^C I[t = c] \log p_c$   
 $p_1, \dots, p_C$  — предсказания вероятностей от нейросети:  $\sum_{c=1}^C p_c = 1$

- Как обеспечить условие:  $\sum_{c=1}^C p_c = 1$  ?
- («мягкий» максимум)  $p_i = \frac{e^{y_i}}{\sum_{k=1}^C e^{y_k}} \leftarrow Softmax$

Отдельный случай: бинарная классификация.

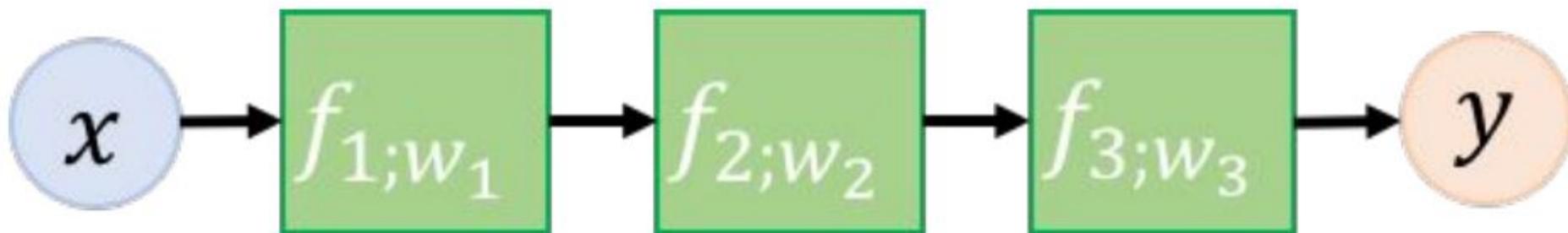
- $\mathcal{L} = -t \log(p) - (1-t) \log(1-p)$
- Достаточно одного выхода нейросети, пропущенного через  $\sigma$

# Обучение



$$y = f_3(f_2(f_1(x; w_1); w_2); w_3)$$

## Обучение

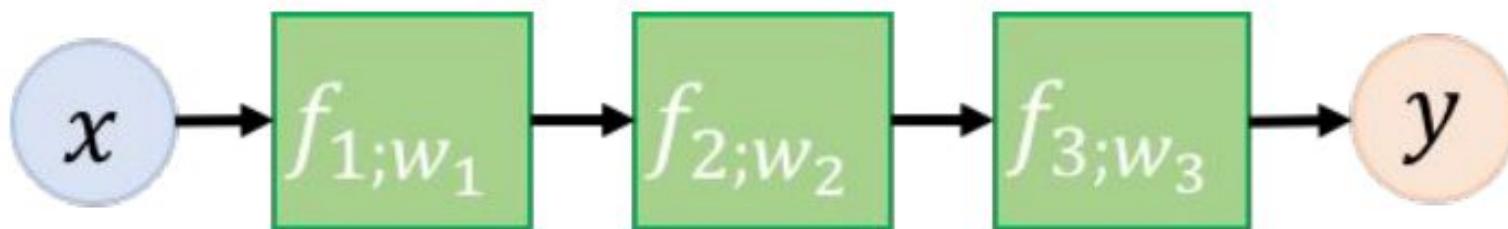


$$y = f_3(f_2(f_1(x; w_1); w_2); w_3)$$

$$y = \sigma(W_3[\sigma(W_2[\sigma(W_1x + b_1)] + b_2)] + b_3)$$

$$\mathcal{L} = \|y - t\|^2 = \min_{W_1, W_2, W_3, b_1, b_2, b_3}$$

# Обучение



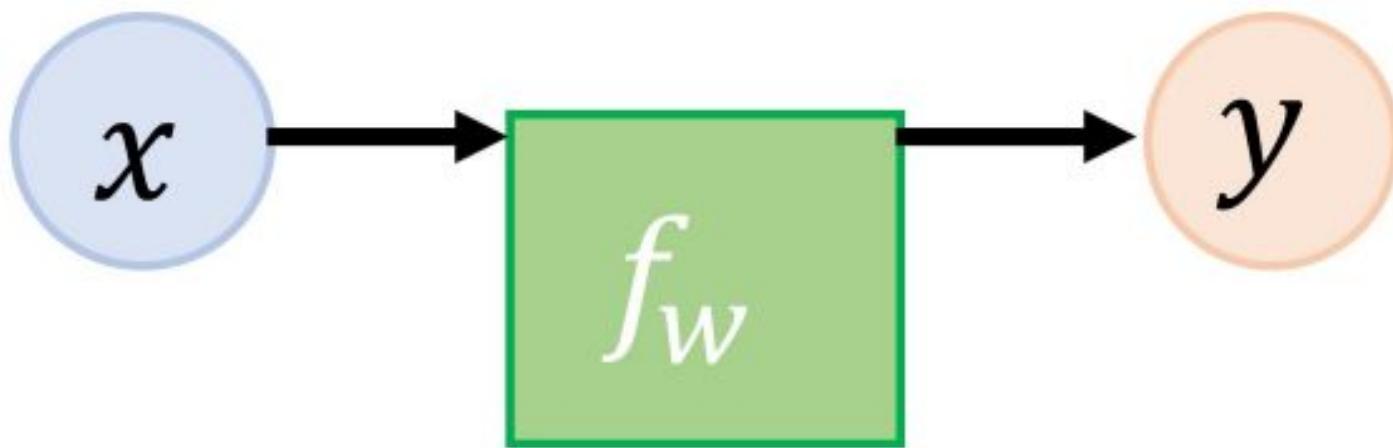
Градиентный спуск:

1.  $W^0 \leftarrow$  Начальное приближение:  $W_i \sim N(0, 0.1)$ ,  $b_i = 0$
2. WHILE not converged:
3.  $W^k \leftarrow W^{k-1} - \eta \nabla_W \mathcal{L}$

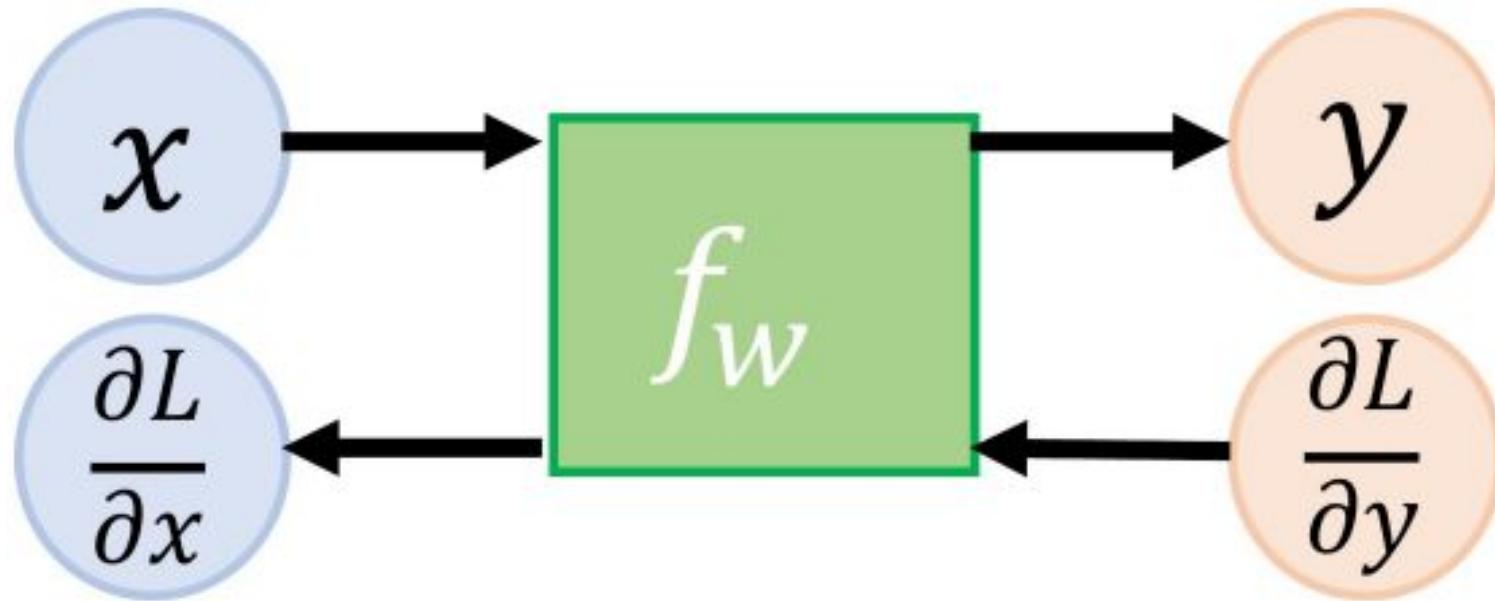
$$y = \sigma(W_3[\sigma(W_2[\sigma(W_1x + b_1)] + b_2)] + b_3)$$

Сложность вычисления градиента растет с увеличением размера сети

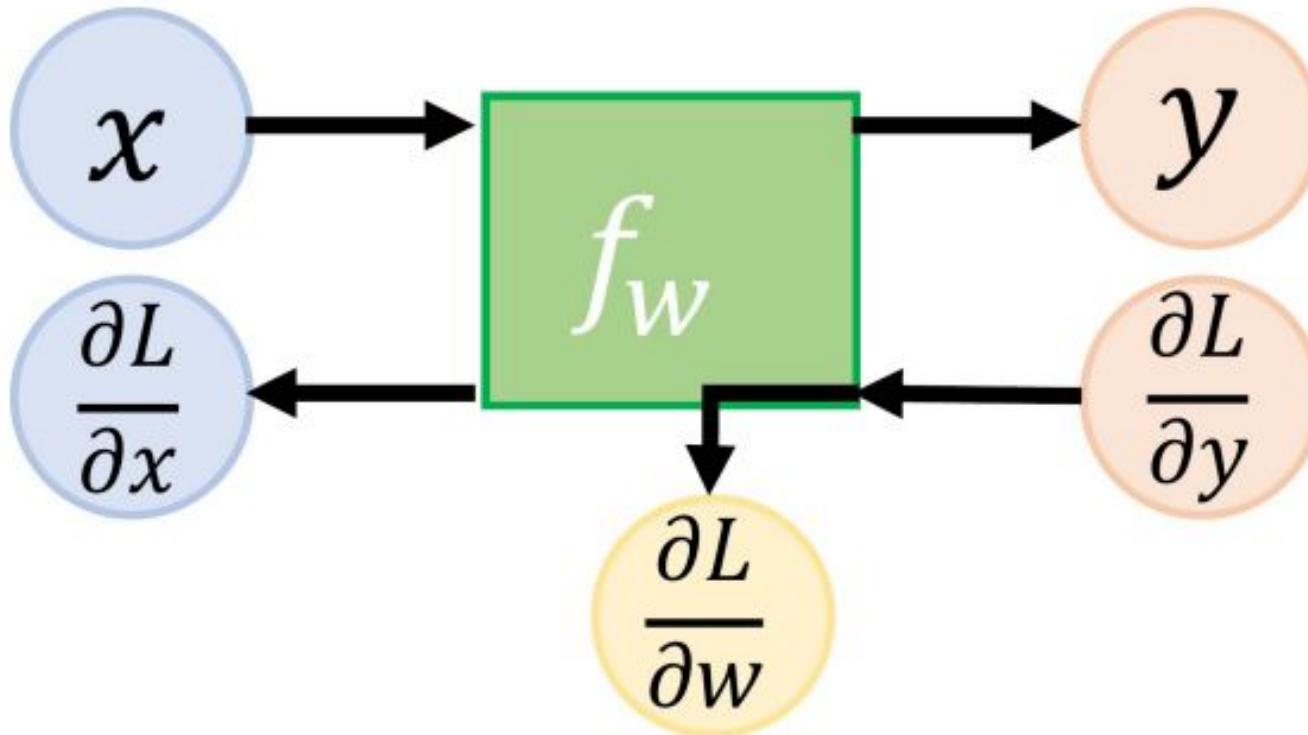
# Back propagation



# Back propagation



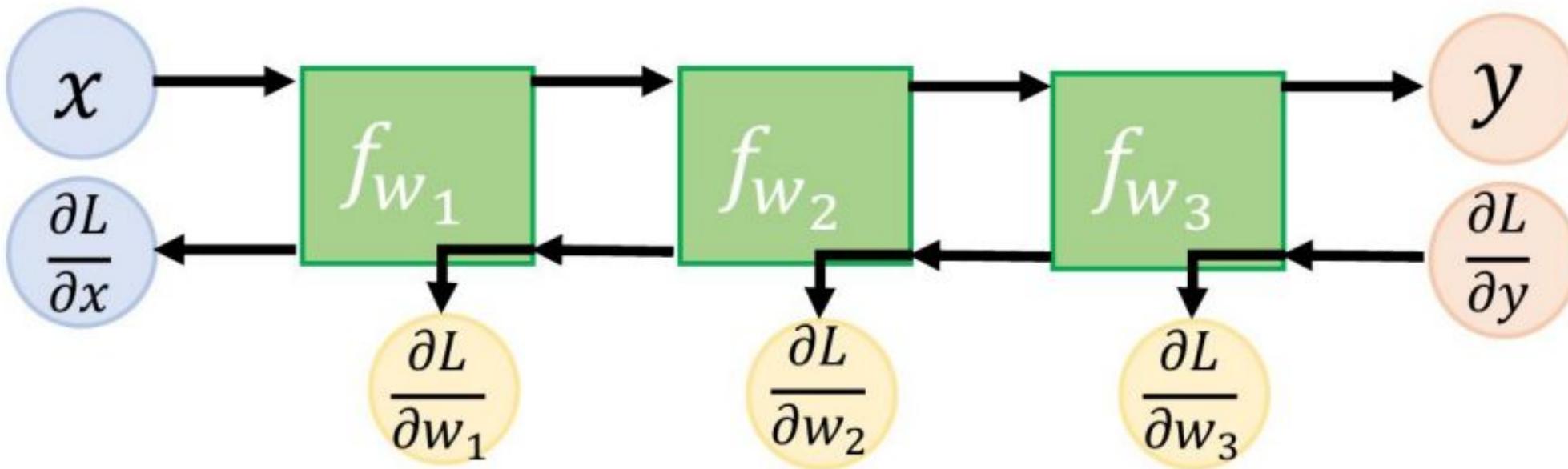
# Back propagation



$$\frac{d\mathcal{L}}{dw} = \frac{d\mathcal{L}}{dy} \frac{dy}{dw}$$

$$\frac{d\mathcal{L}}{dx} = \frac{d\mathcal{L}}{dy} \frac{dy}{dx}$$

# Back propagation



# Gradient checking

Можно проверить корректность реализации, сравнив:

1. Посчитанный градиент
2. Численный градиент:

$$\frac{d\mathcal{L}}{dw} \approx \frac{\mathcal{L}(w + \epsilon) - \mathcal{L}(w - \epsilon)}{2\epsilon}$$

# Домашнее задание

• • • • •

# Задание

Реализация Back propagation для MLP

```
class MLPRegressor:  
    def __init__(  
        self,  
        hidden_layer_sizes=(100,),  
        learning_rate=0.001,  
        max_iter=10,  
    ):  
        pass  
  
    def train(self, X, y):  
        pass  
  
    def predict(self, X):  
        pass
```



Спасибо  
за внимание!

