

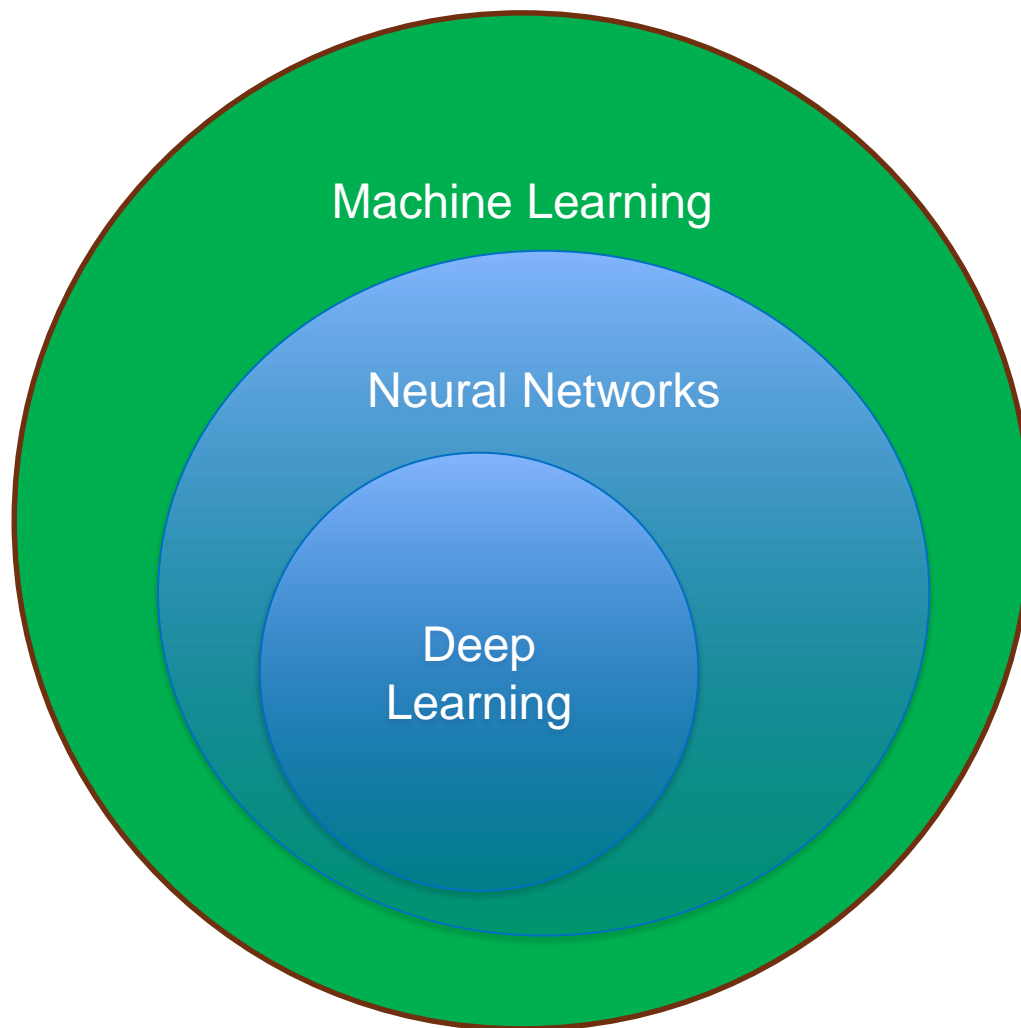
# Глубокое обучение нейронных сетей

Летняя Суперкомпьютерная Академия

МГУ-СПбПУ-УрФУ-САФУ, 23 июня – 1 июля 2017 г.

Андрей Созыкин, [www.asozykin.ru](http://www.asozykin.ru), [sozykin@gmail.com](mailto:sozykin@gmail.com)

# Что такое глубокое обучение?



# Глубокие нейронные сети и глубокое обучение

## Глубокие нейронные сети:

- Один из методов машинного обучения
- Сеть из простых вычислительных элементов – искусственных нейронов

## Традиционное машинное обучение:

- Выбор важных признаков из множества доступных данных (feature engineering)

## Глубокие нейронные сети:

- Автоматическое определение важных признаков в процессе обучения
- Высокие вычислительные требования

# Применение глубоких нейронных сетей



Prisma

Artisto



## Ода Сбербанку

С улыбкой нежной и всеми наравне,  
Когда во мне счастья ликование,  
Скажу, преодолев страх признанья:  
Сбербанк — светило на века в стране!

...

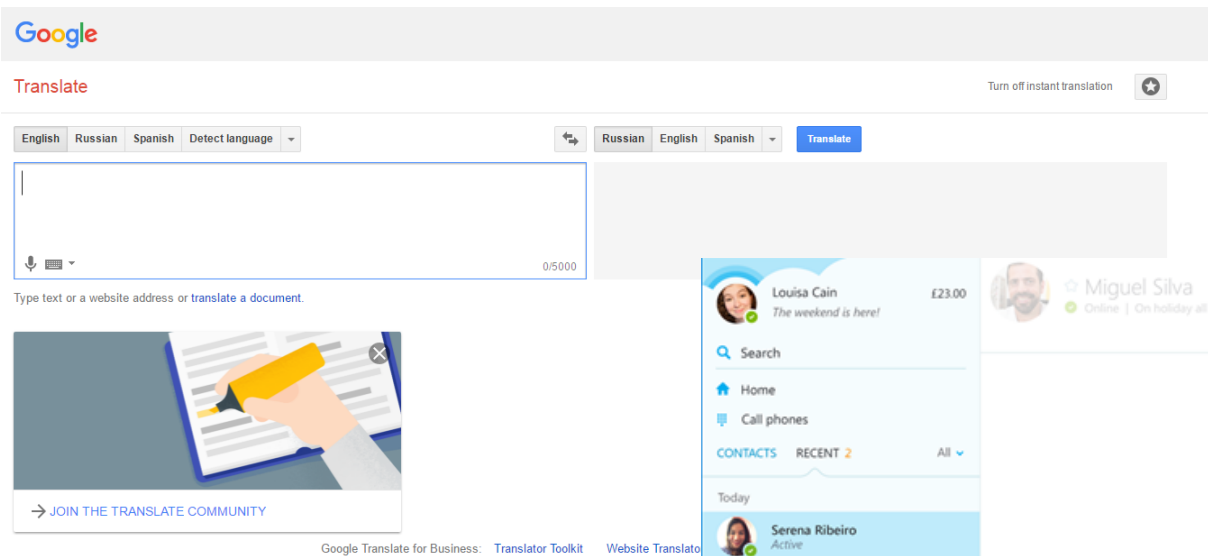


# Применение глубоких нейронных сетей



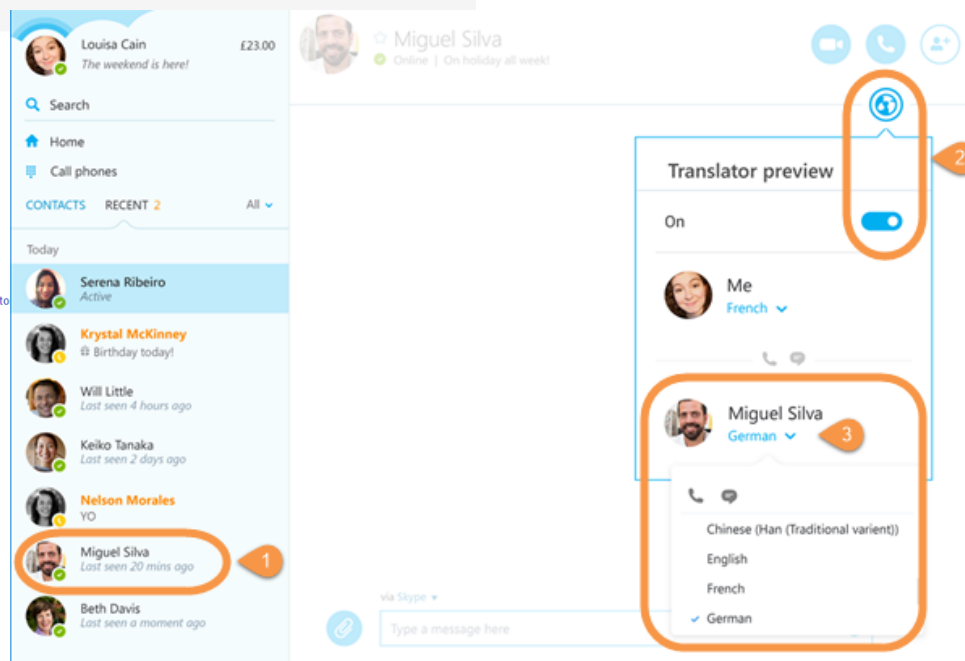
<https://www.nytimes.com/2017/05/23/business/google-deepmind-alphago-go-champion-defeat.html>

# Применение глубоких нейронных сетей



Переводчик Google

Skype Translator





# Применение глубоких нейронных сетей



Сингапур



Питсбург, США



Лондон



# Применение глубоких нейронных сетей

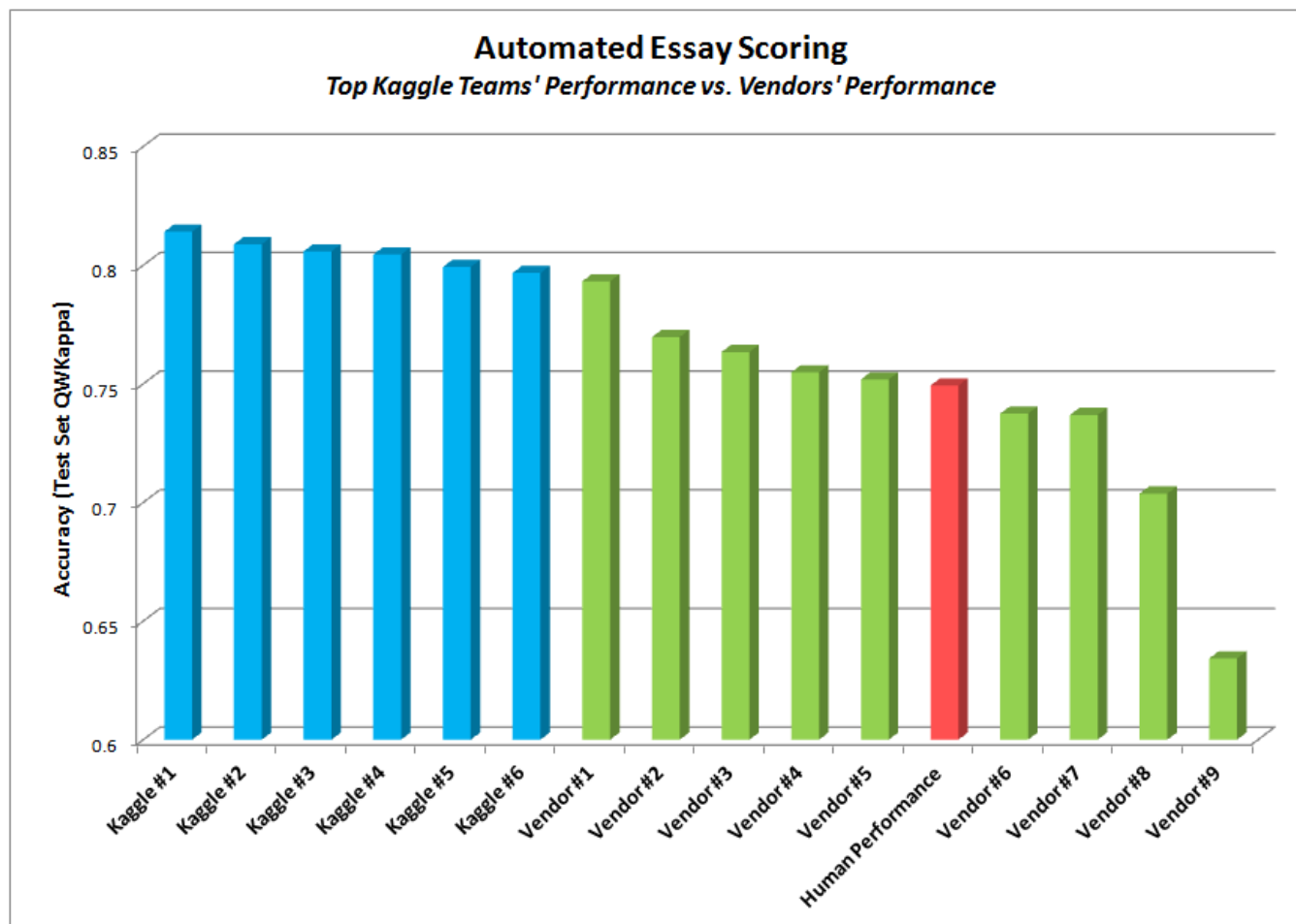


# Применение глубоких нейронных сетей



Microsoft

# Применение глубоких нейронных сетей



**ASAP**   
Automated Student Assessment Prize  
Phase One: Automated Essay Scoring

<https://www.kaggle.com/c/asap-aes>

# Применение глубоких нейронных сетей



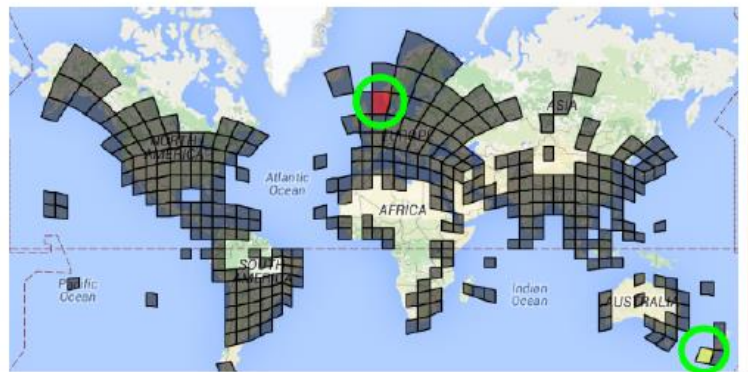
Photo CC-BY-NC by stevekc



(a)



Photo CC-BY-NC by edwin.11



(b)

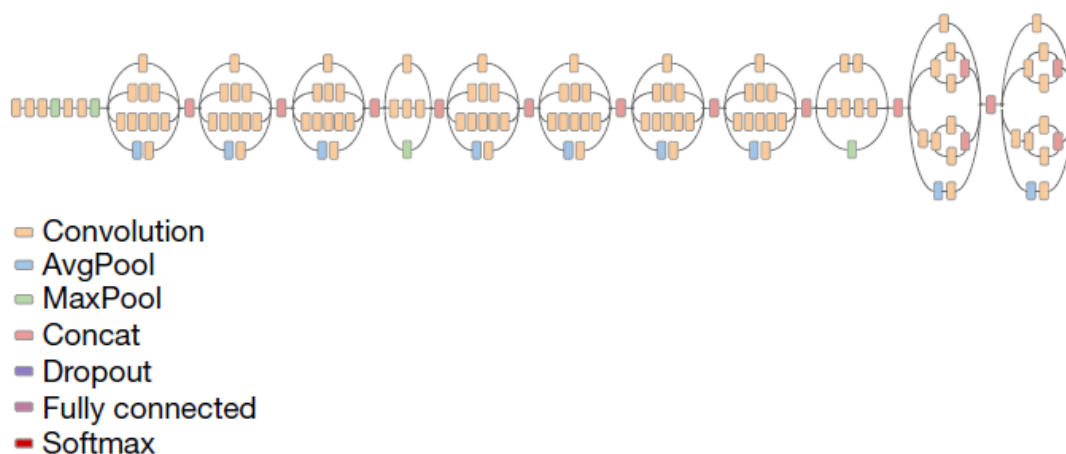
Tobias Weyand, Ilya Kostrikov, James Philbin. PlaNet - Photo Geolocation with Convolutional Neural Networks

# Применение глубоких нейронных сетей

Skin lesion image



Deep convolutional neural network (Inception v3)

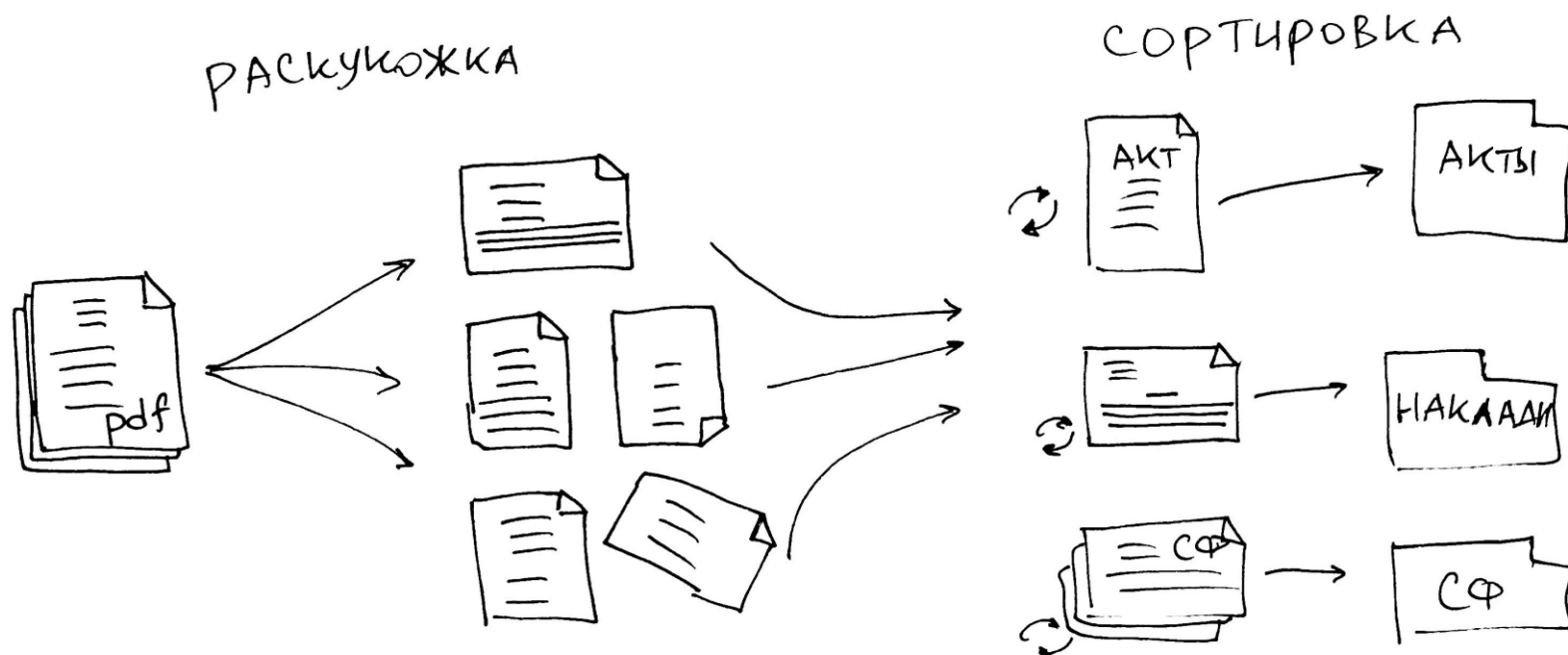


Training classes (757)

- Acral-lentiginous melanoma
- Amelanotic melanoma
- Lentigo melanoma
- ...
- Blue nevus
- Halo nevus
- Mongolian spot
- ...

Andre Esteva et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. 2017 Feb 2;542(7639):115-118

# Применение глубоких нейронных сетей

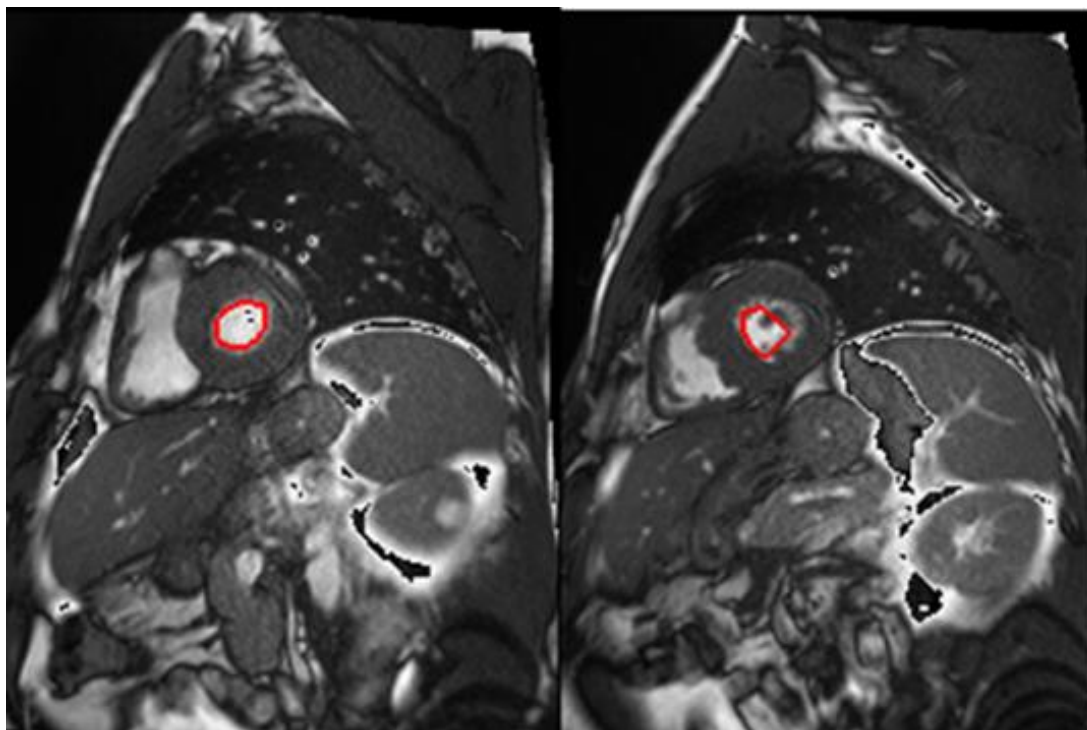


Восстание машин: роботы захватили бухгалтерию в Кнопке.

<http://knopka.com/blog/157/>



# Анализ медицинских изображений

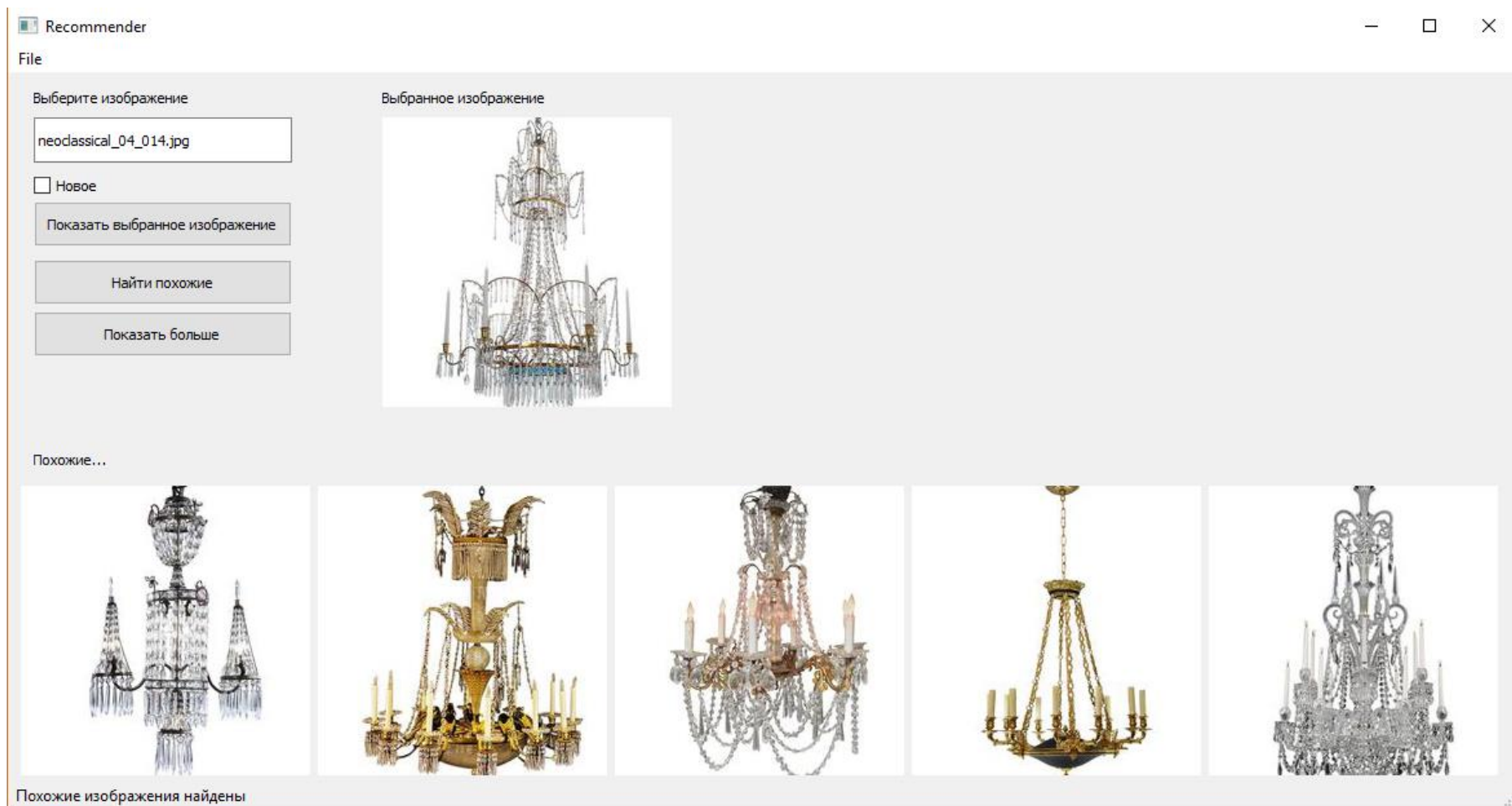


По данные Word Economic Forum для подготовки врачей  
необходимой квалификации в нужном количестве в  
мире требуется 300 лет.

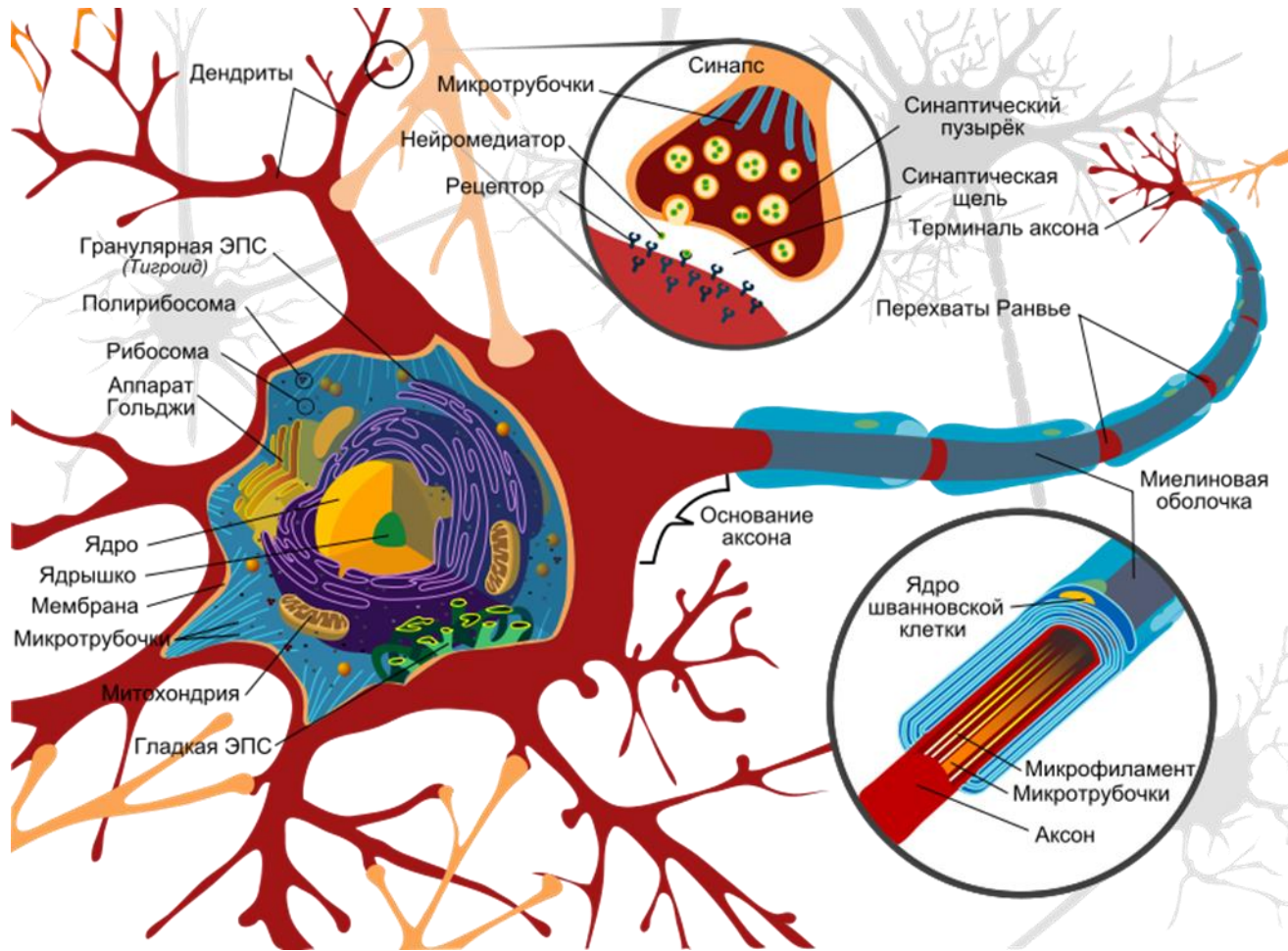
Health Systems Leapfrogging in Emerging Economies.



# Рекомендательная система для светильников

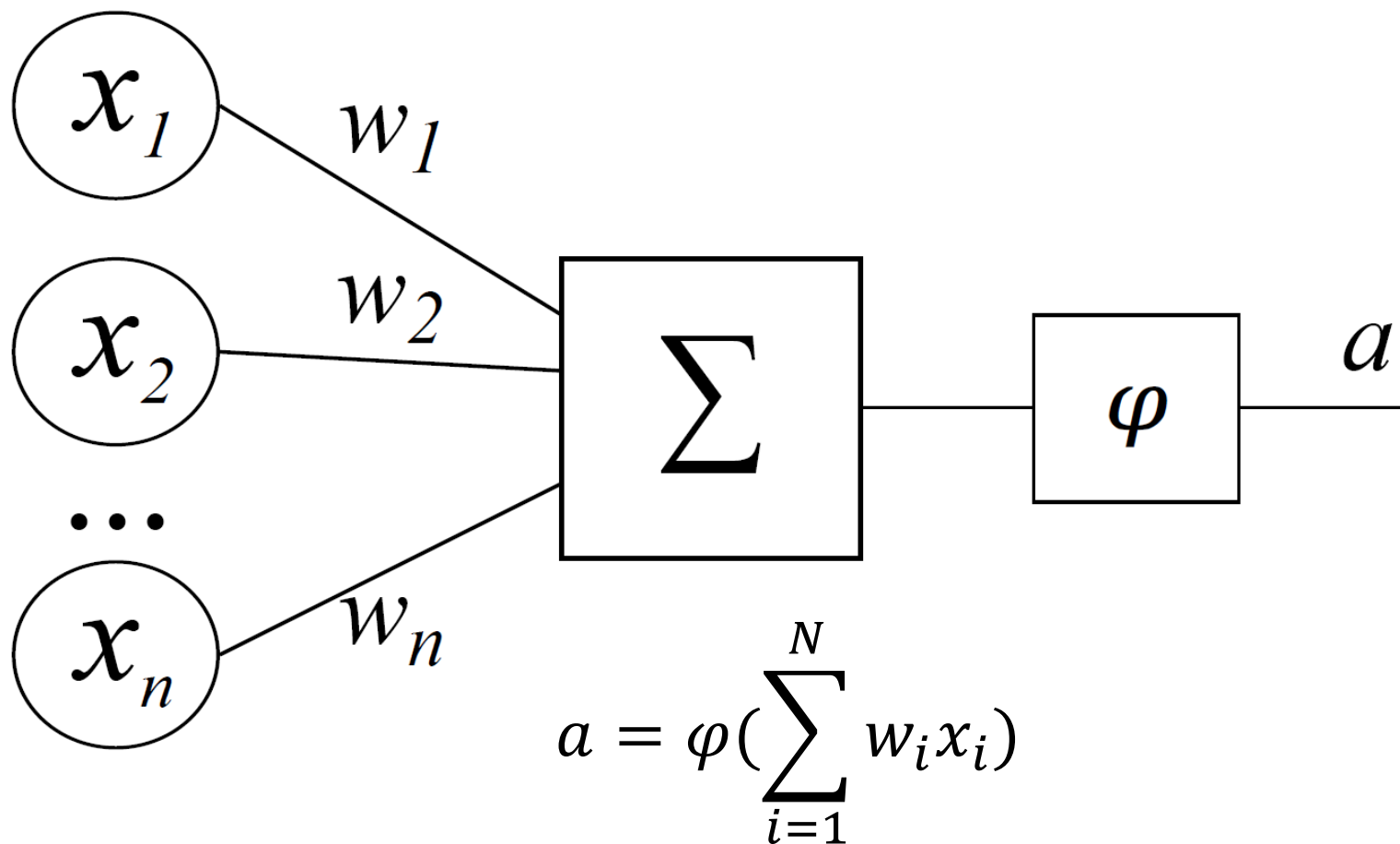


# Нейрон головного мозга



<https://ru.wikipedia.org/wiki/Нейрон>

# Искусственный нейрон

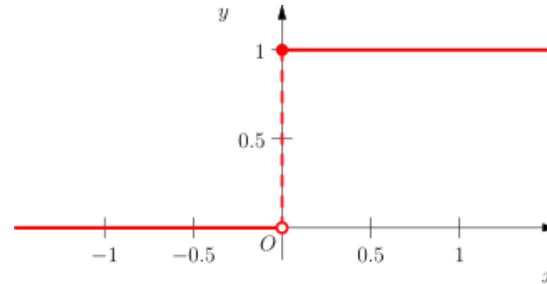


Маккалок Дж., Питтс У. Логические исчисления идей, относящихся к нервной деятельности // Автоматы. М.: ИЛ, 1956

# Функции активации

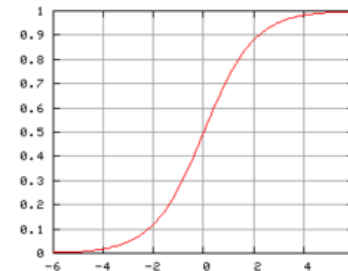
- Функция Хевисайда

$$- \theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$



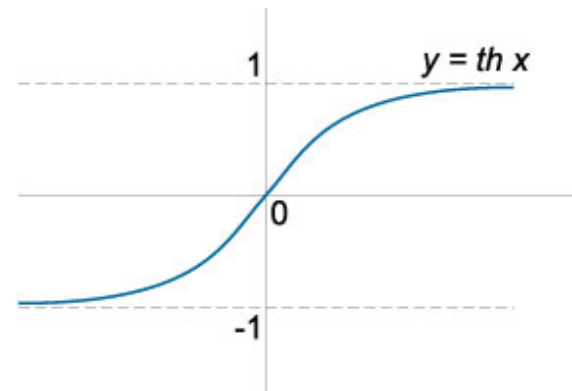
- Сигмоидальные функции

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

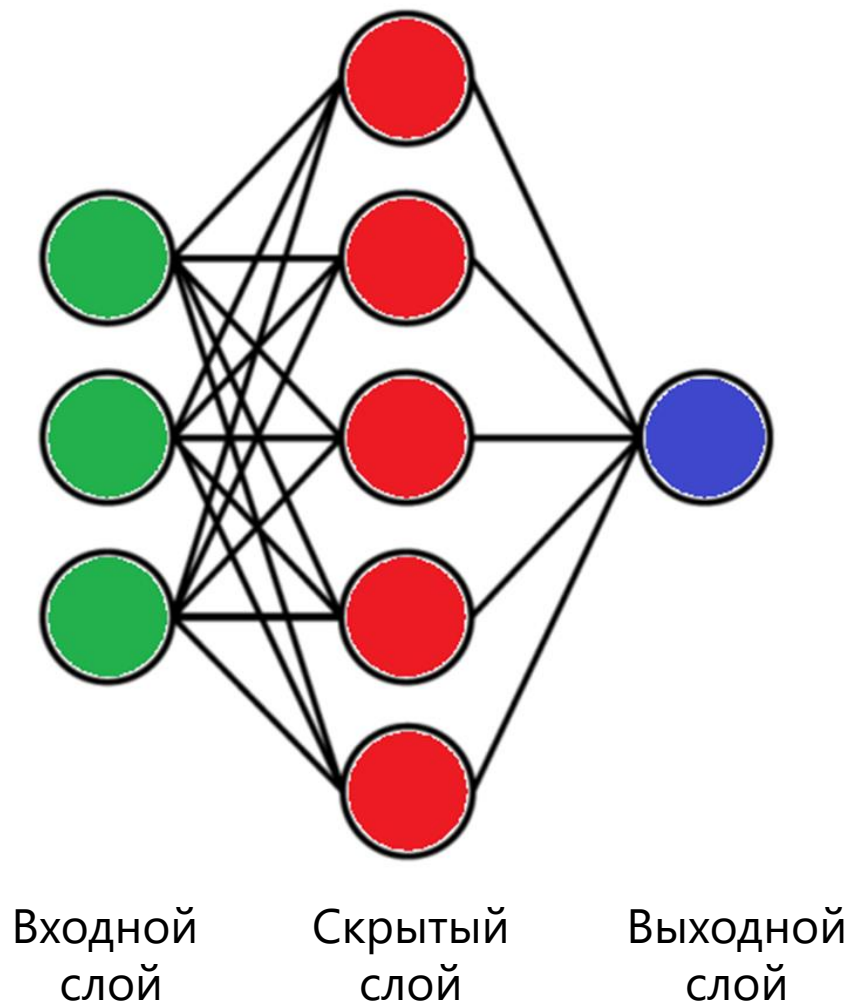


$$- th(x) = \frac{e^{2x}-1}{e^{2x}+1}$$

(гиперболический тангенс)

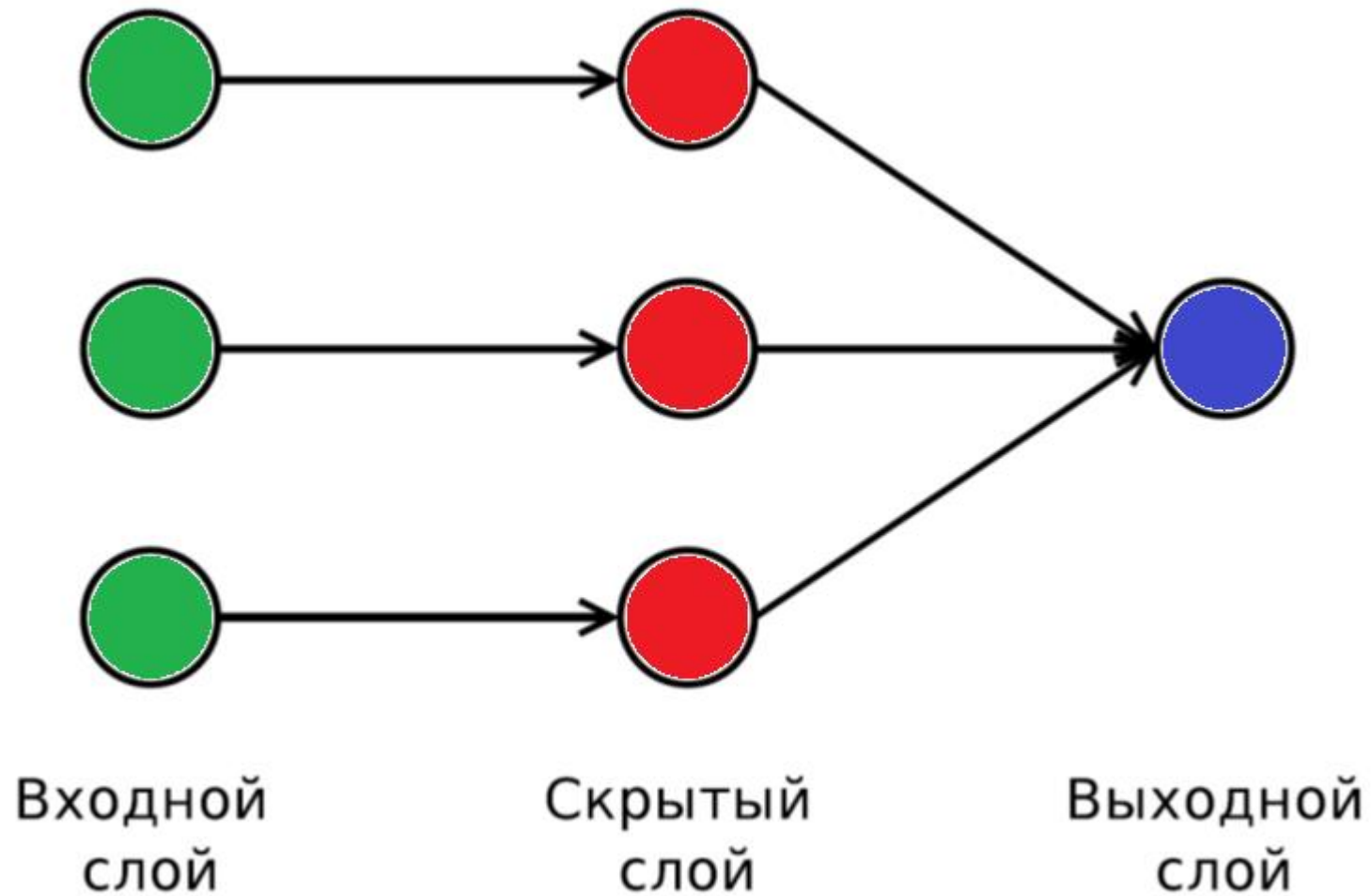


# Нейронные сети

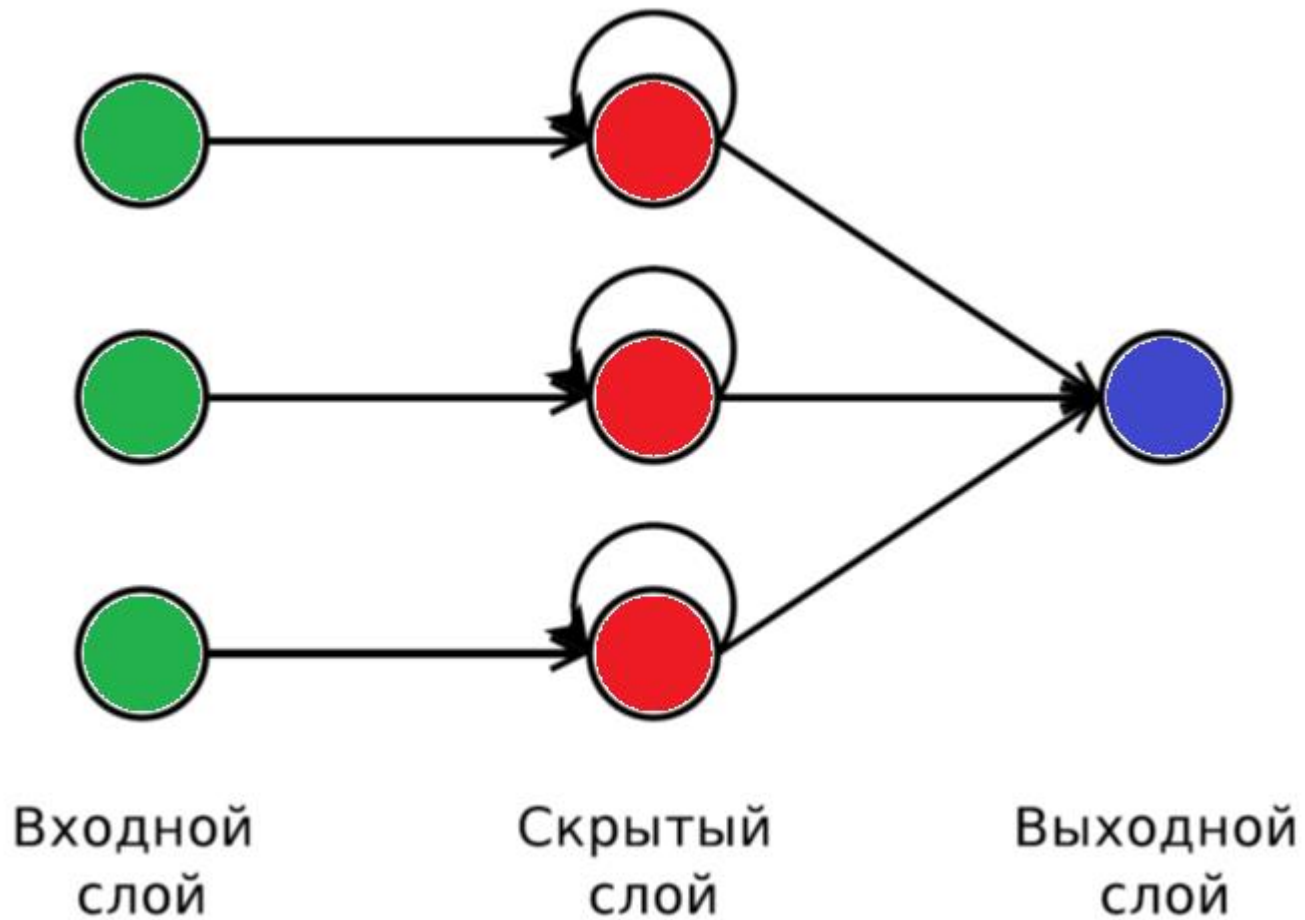




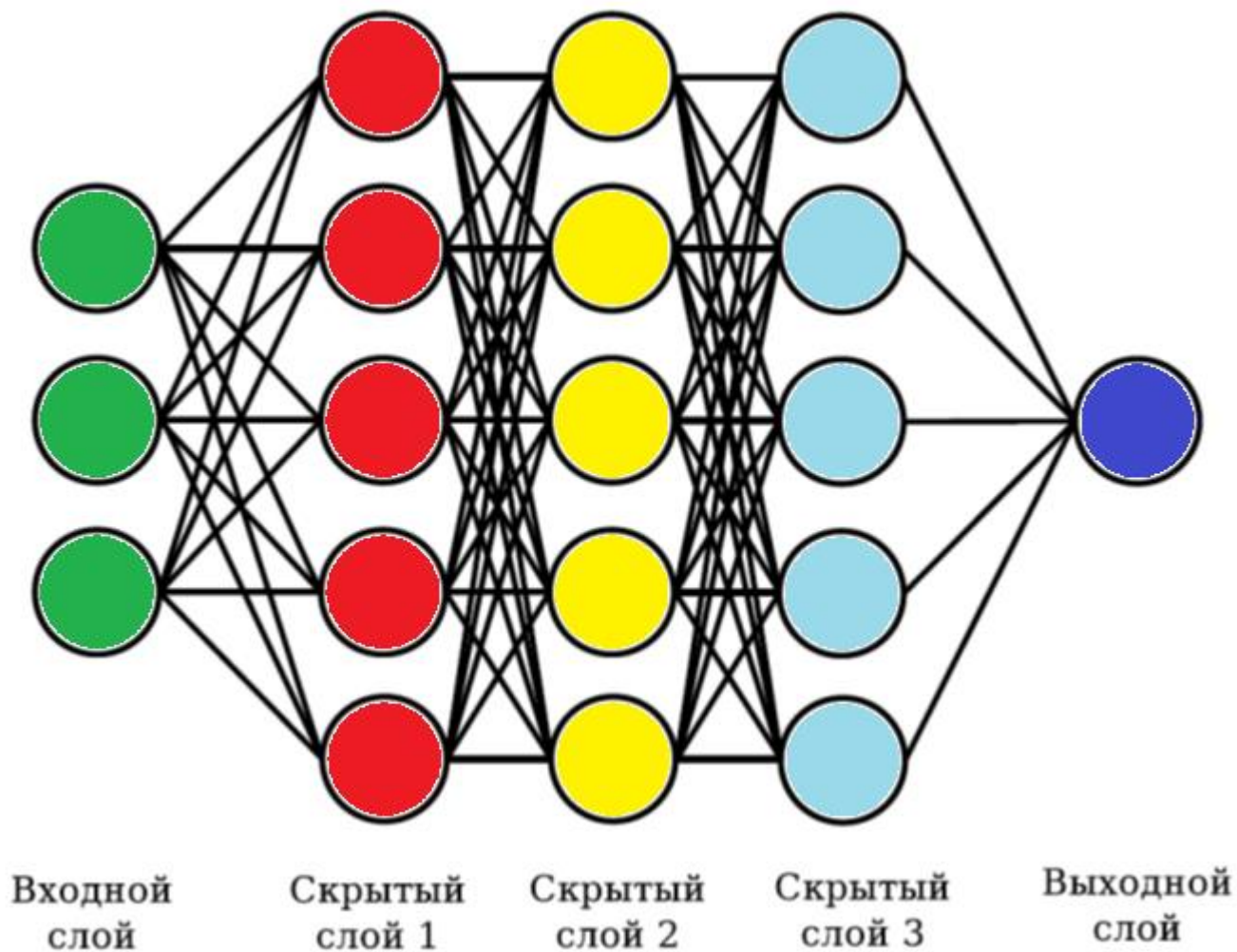
# Сеть с прямым распространением сигналов



# Рекуррентная сеть

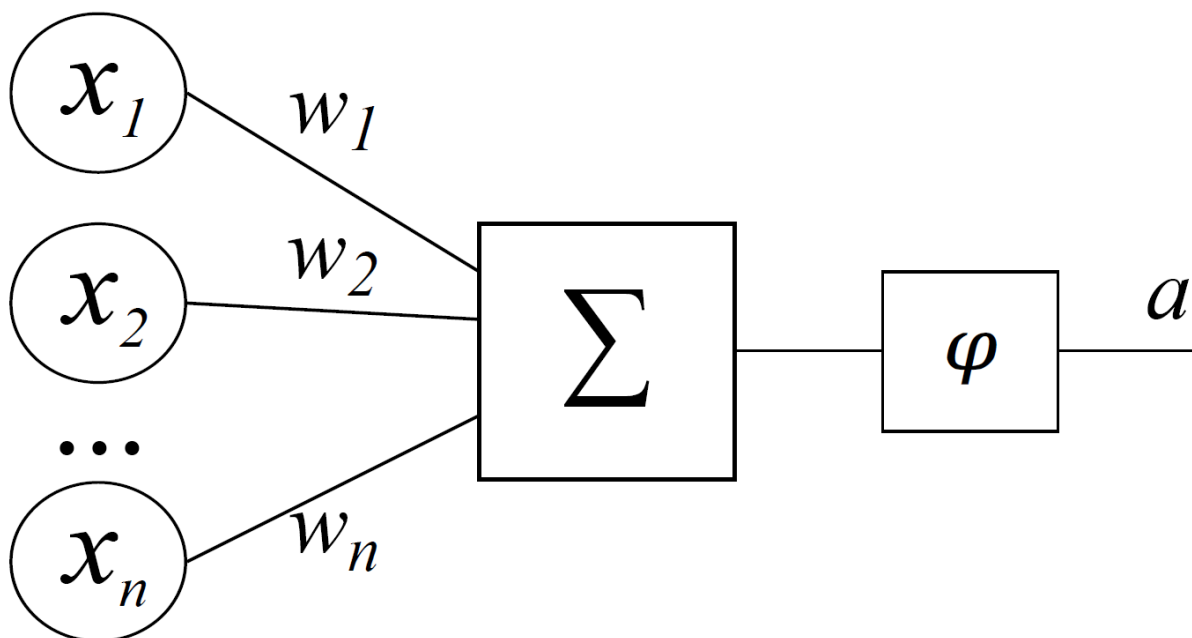


# Глубокая нейронная сеть



# Обучение нейронной сети

**Обучение нейронной сети** – подбор весов таким образом, чтобы сеть решала поставленную задачу



# Задачи

## Классификация

<https://www.kaggle.com/c/dogs-vs-cats>



## Регрессия

Динамика курса доллара США к рублю (USD, ЦБ РФ)



# Типы обучения

## С учителем

- Данные с правильными ответами

## Без учителя

- Данные без информации о правильных ответах

## Обучение с подкреплением

- Агент получает сигналы от внешней среды



# Первые варианты обучения, правила Хэбба

## Биологические предпосылки:

- Если нейроны срабатывают вместе, то их связи укрепляются

## Правила обучения Хэбба, 1949 г.:

- Нейрон выдает сигналы  $\{0, 1\}$
- Начальные веса назначаются случайным образом
- Если сигнал нейрона неверен и равен нулю, то необходимо увеличить веса тех входов, на которые была подана единица
- Если сигнал нейрона неверен и равен единице, то необходимо уменьшить веса тех входов, на которые была подана единица

# Метод обратного распространения ошибки

Выходной сигнал сети:

- Вещественное число

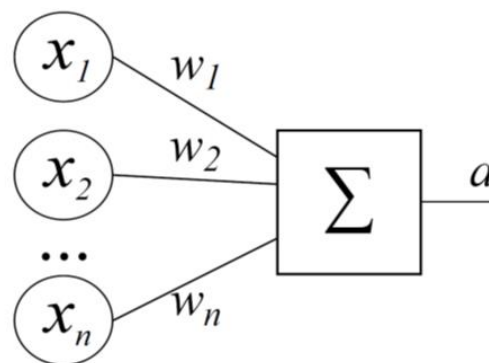
Мера ошибки:

- Среднеквадратичная

Обучение:

- Минимизация ошибки методом градиентного спуска

# Линейный нейрон



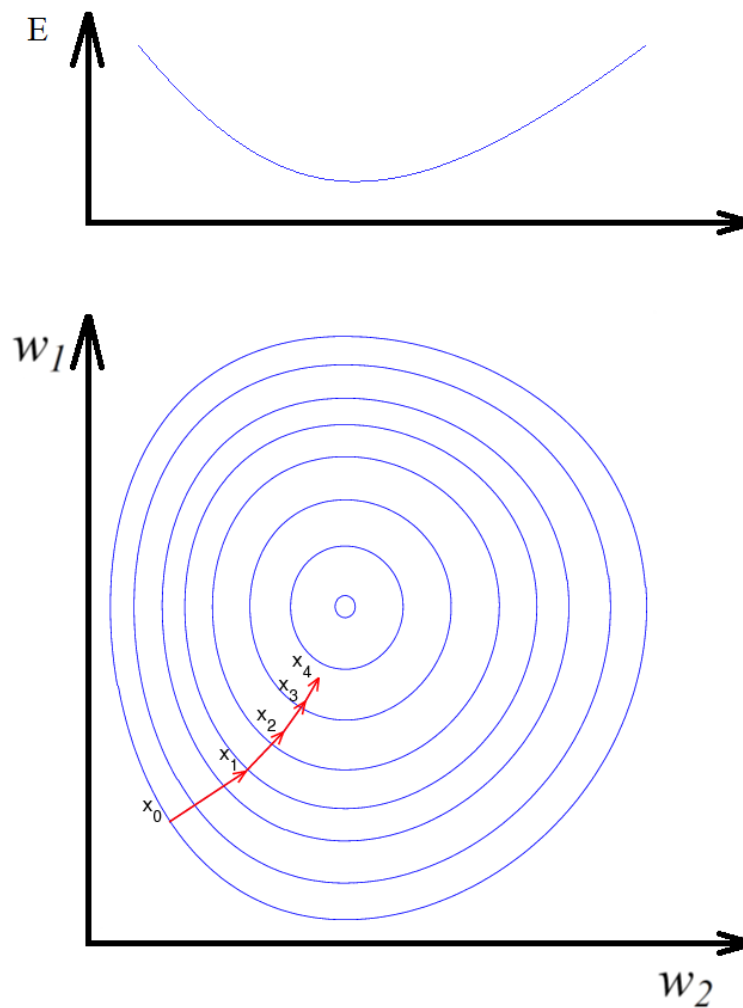
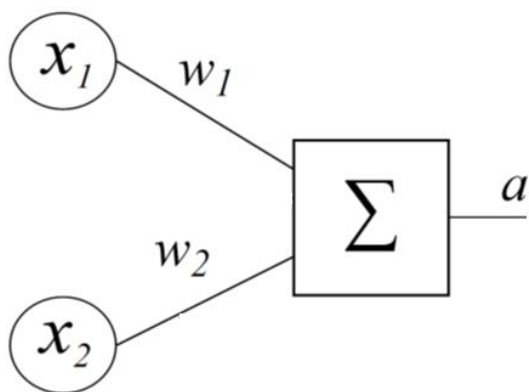
Выходное значение:

$$a = \sum_{i=1}^N w_i x_i$$

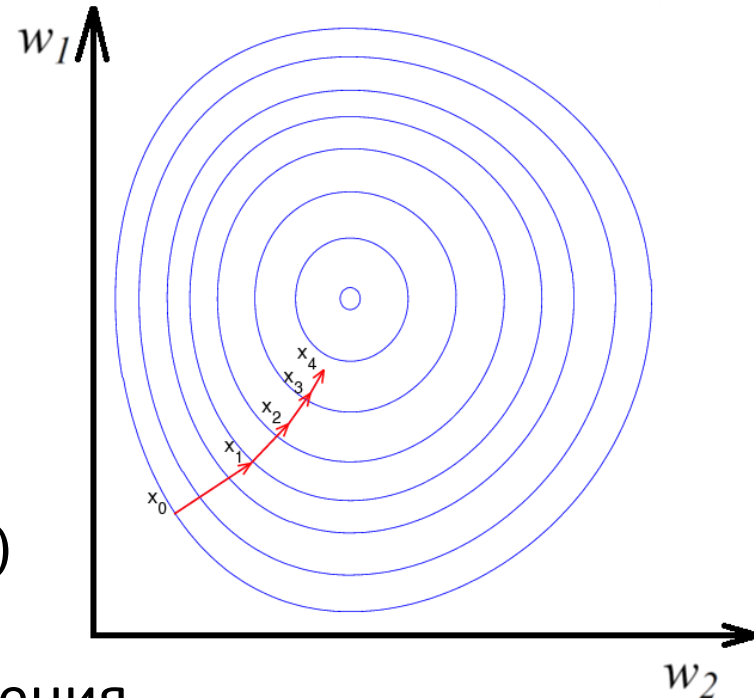
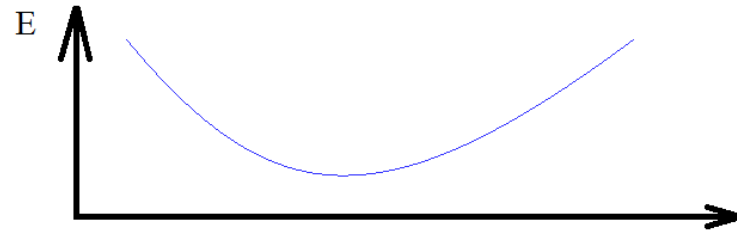
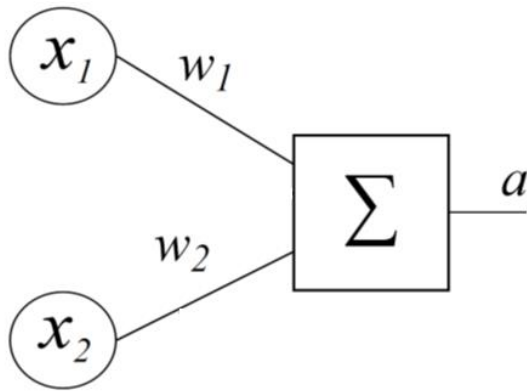
Среднеквадратичная ошибка:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M (a_j - y_j)^2$$

# Линейный нейрон



# Линейный нейрон



Изменение весов  
(дельта-правило):

$$w_i = w_i - \eta \sum_{j=1}^M x_j^i (a_j - y_j)$$

$\eta$  – параметр скорости обучения

# Варианты реализации

## Полное обучение:

- Изменяем веса после обработки всех элементов обучающей выборки

## Онлайн обучение:

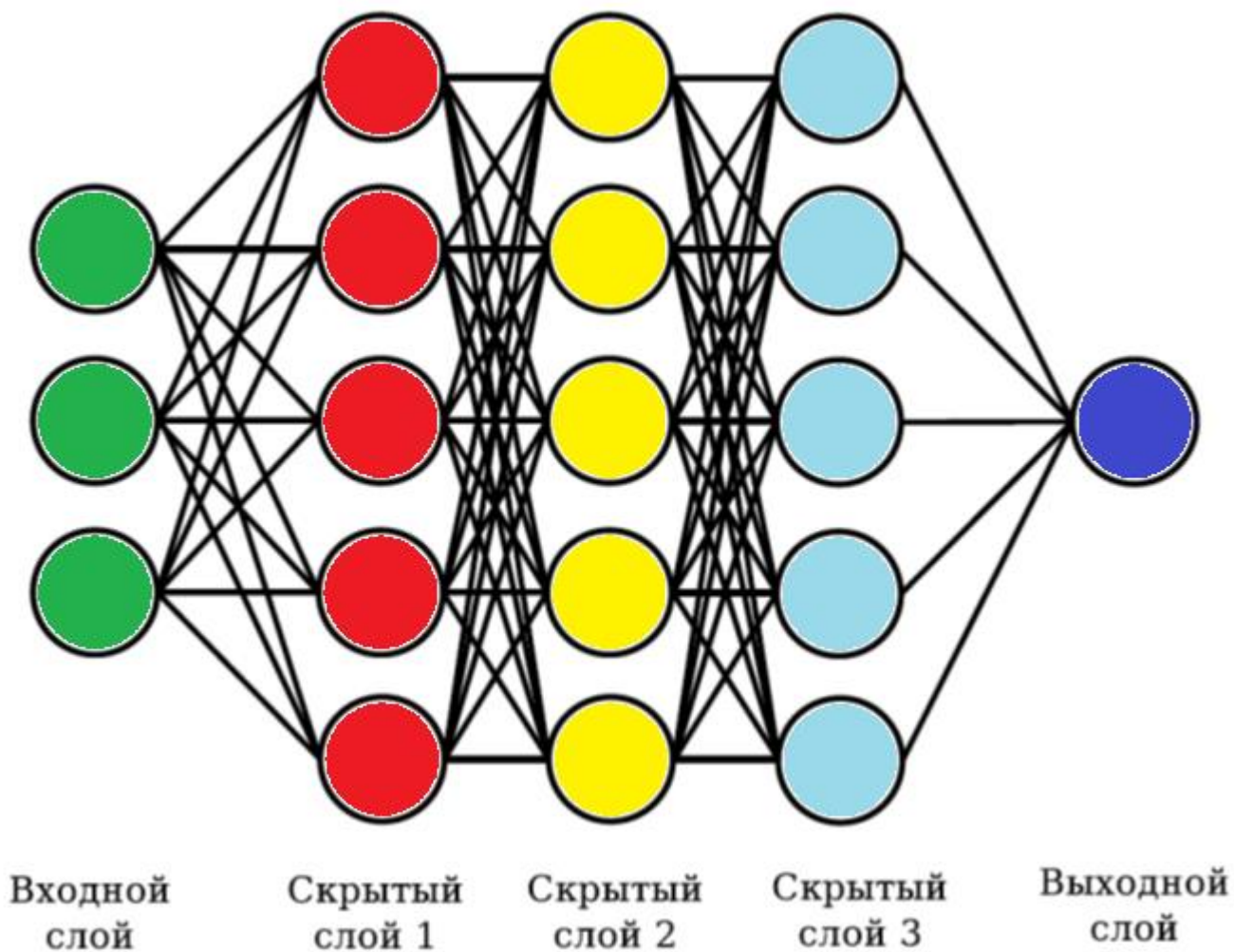
- Изменяем веса после обработки каждого объекта

## Мини-выборки:

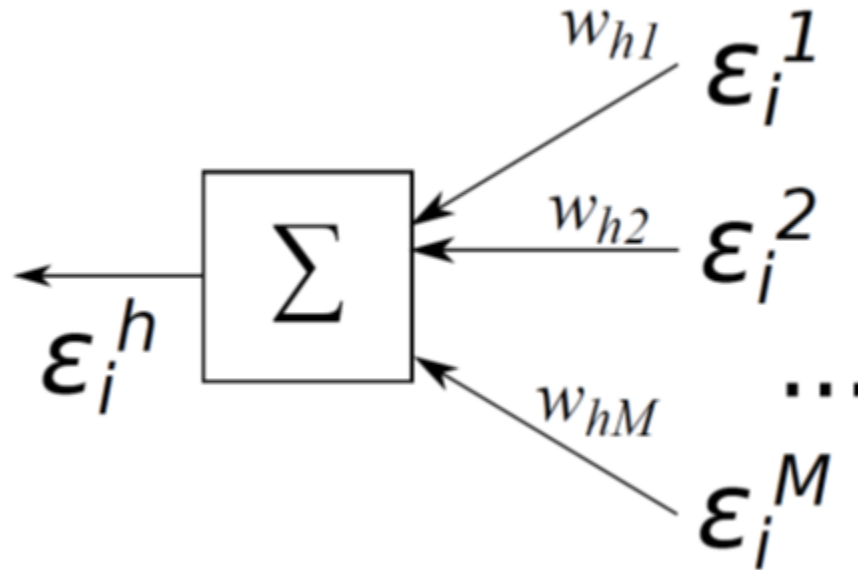
- Изменяем веса после обработки 10-100 объектов



# Обратное распространение ошибки



# Обратное распространение ошибки



$$\epsilon_i^h = \sum_{m=1}^M \epsilon_i^m w_{hm}$$

# Библиотеки глубокого обучения



Caffe



theano

**DEEPLARNING4J**



# Набор данных MNIST

Mixed National Institute of Standards and Technology database



Back-Propagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition / Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker et al. 1989

# Нейронная сеть для MNIST

## Входные значения сети

- Интенсивность пиксела в изображении
- Количество значений: 784 ( $28 \times 28$  пикселей)

## Входной слой

- 800 нейронов
- Patrice Y. Simard; Dave Steinkraus; John C. Platt (2003).  
«Best Practices for Convolutional Neural Networks Applied to Visual Document Analysis»
- [https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST_database)

## Выходной слой

- 10 нейронов
- Вероятность того, что на изображении данная цифра

# One Hot Encoding

# 0 -> [1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

# 2 -> [0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

# 9 -> [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]

# Пример программы

# Описываем нейронную сеть

```
model = Sequential()
```

```
model.add(Dense(800, input_dim=784, activation="relu"))
```

```
model.add(Dense(10, activation="softmax"))
```

# Компилируем сеть

```
model.compile(loss="categorical_crossentropy",  
optimizer="SGD", metrics=["accuracy"])
```

# Обучаем сеть

```
model.fit(X_train, Y_train, batch_size=200, epochs=100,  
validation_split=0.2, verbose=2)
```



# Демонстрация

## Видеозаписи демонстрации

- <https://www.youtube.com/watch?v=0ImpTjNeWGo>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Z5oMIctZYWk>

# Проблема переобучения

Сеть может научиться распознавать особенности выборки, а не данных



# Наборы данных для обучения

**Обучающая выборка** (training set) – набор данных, который используется для обучения сети

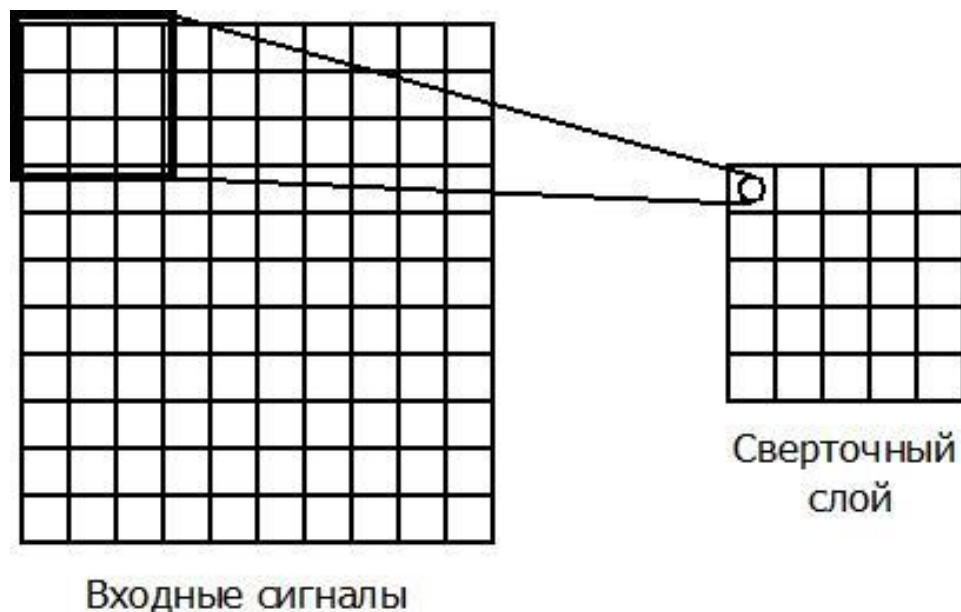
**Проверочная выборка** (validation set) – набор данных, который используется в процессе обучения для оценки качества обучения

**Тестовая выборка** (test set) – набор данных, который используется для оценки качества работы сети после завершения обучения

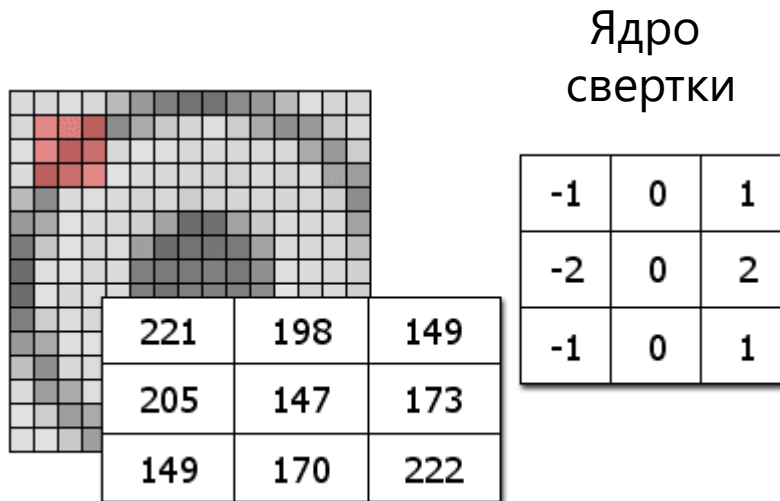
# Сверточные нейронные сети

Принципы сверточных нейронных сетей (convolutional neural networks):

- Локальное восприятие
- Разделяемые веса
- Уменьшение размерности



# Операция свертки



$$\begin{aligned} N(x,y) = & 221 * (-1) + \\ & 198 * 0 + \\ & 149 * 1 + \\ & 205 * (-2) + \\ & 147 * 0 + \\ & 173 * 2 + \\ & 149 * (-1) + \\ & 170 * 0 + \\ & 222 * 1 = -63 \end{aligned}$$

# Свертка изображений

## Размытие

$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$

## Выделение границ

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

## Повышение четкости

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

# Свертка изображений

## Размытие

$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$
$1/9$	$1/9$	$1/9$

## Выделение границ

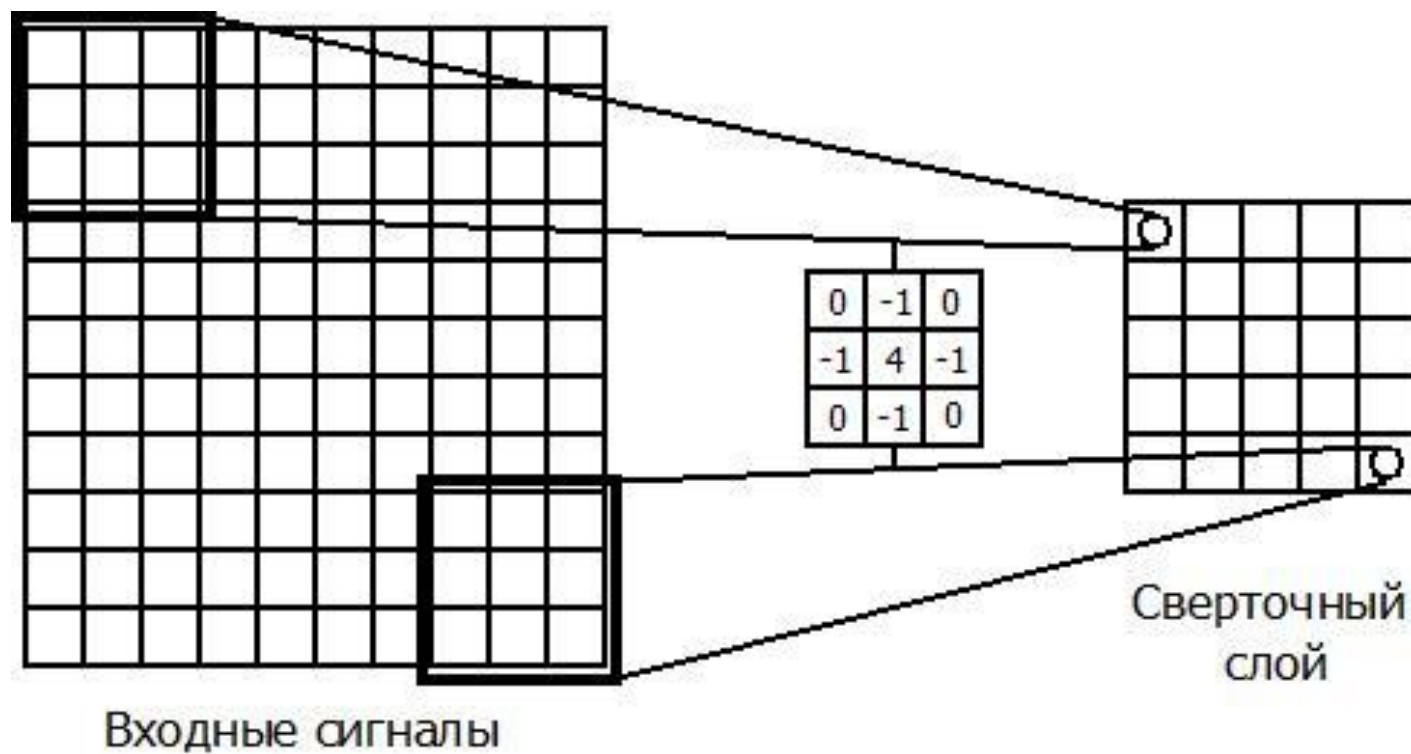
0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

## Повышение четкости

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

В нейронных сетях ядра свертки определяются автоматически в процессе обучения

# Разделяемые веса





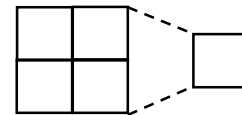
# Уменьшение размерности

Распознавание объектов вне зависимости от масштаба

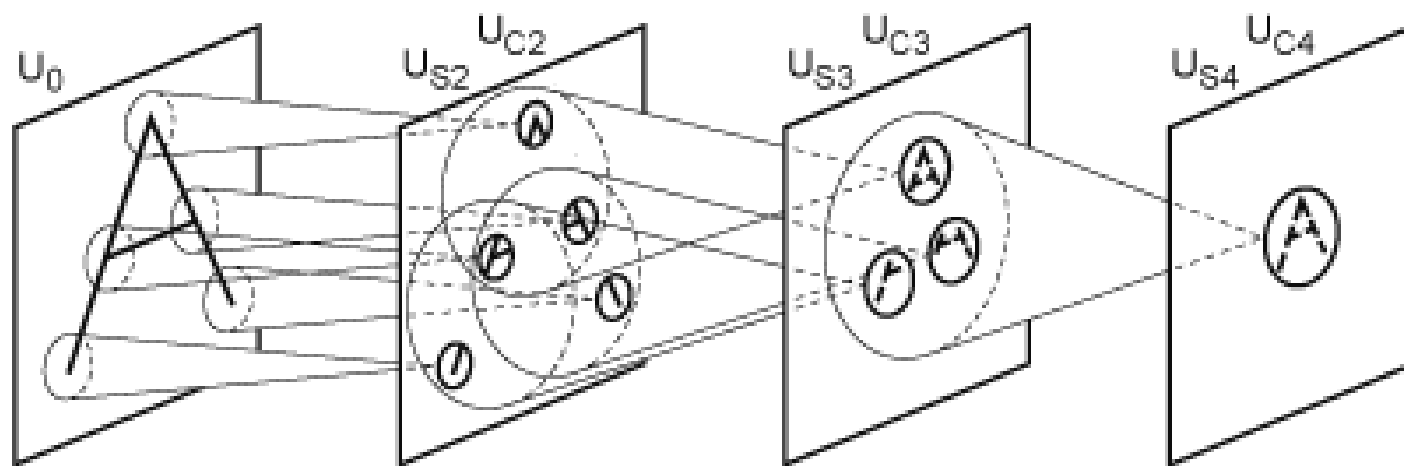
Факт наличия признака важнее знания места его точного положения на изображении

Слои подвыборки (subsampling):

- Усреднение
- Выбор максимального значения

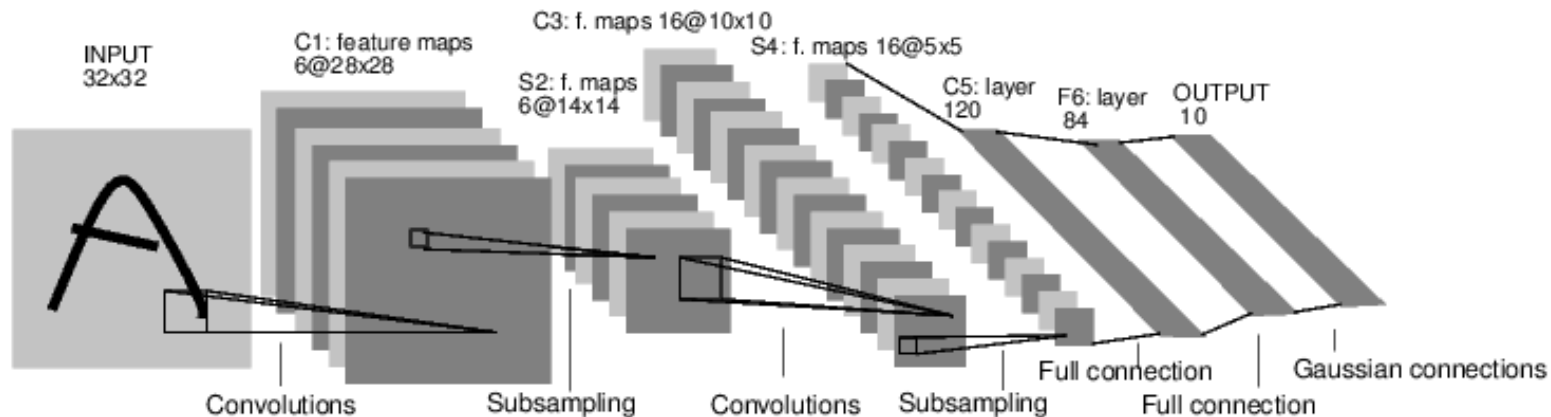


# Сверточная нейронная сеть



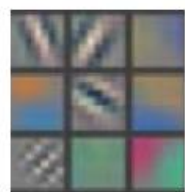
Фукушима. Неокогнитрон

# Сверточная сеть LeNet-5

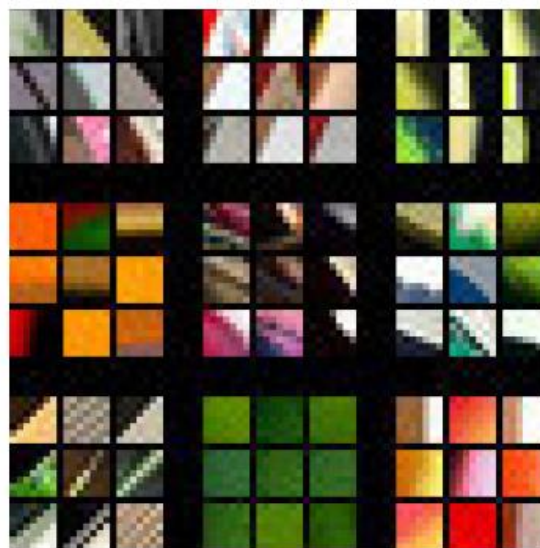


Back-Propagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition / Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker et al. 1989

# Визуализация сверточных нейронных сетей

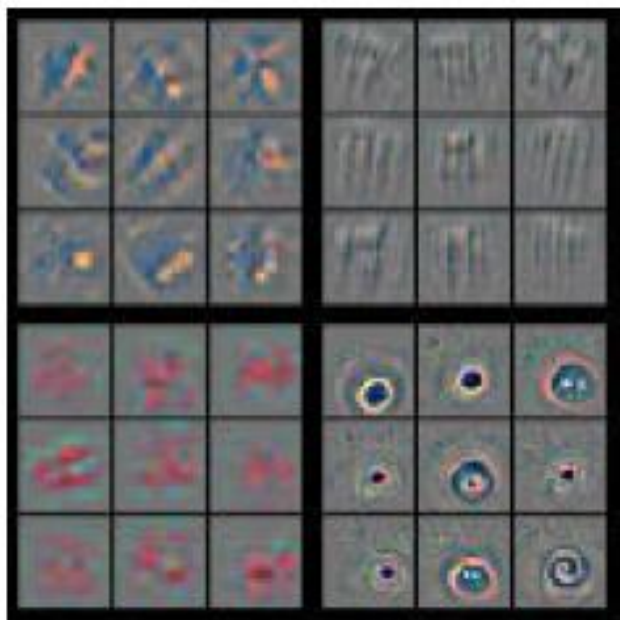


Layer 1



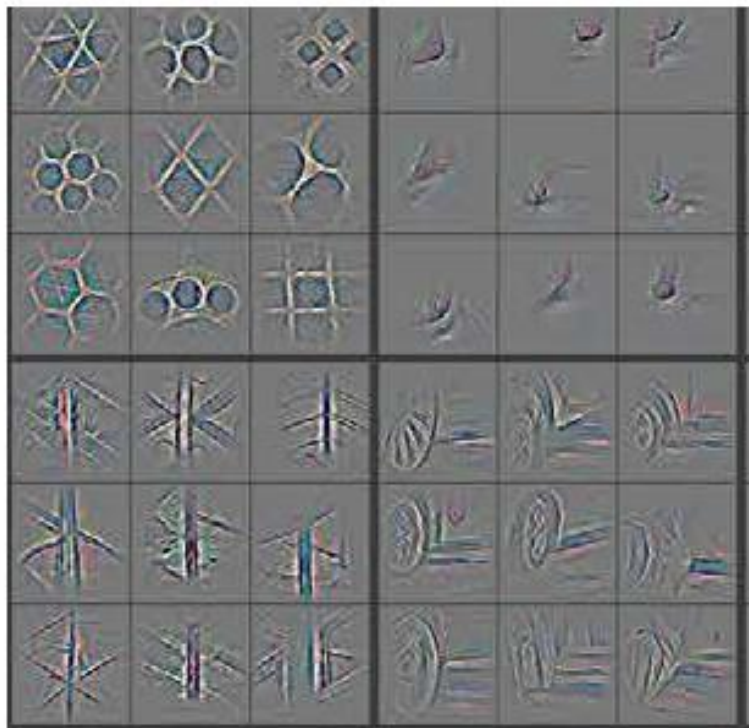
Matthew D. Zeiler and Rob Fergus. Visualizing and Understanding Convolutional Networks

# Визуализация сверточных нейронных сетей



Matthew D. Zeiler and Rob Fergus. Visualizing and Understanding Convolutional Networks

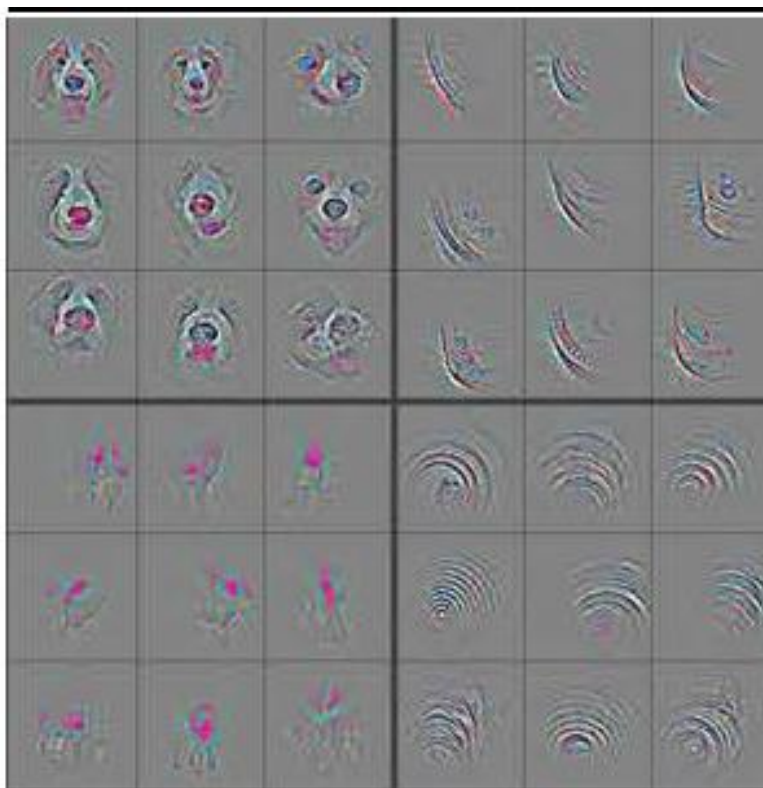
# Визуализация сверточных нейронных сетей



Matthew D. Zeiler and Rob Fergus. Visualizing and Understanding Convolutional Networks

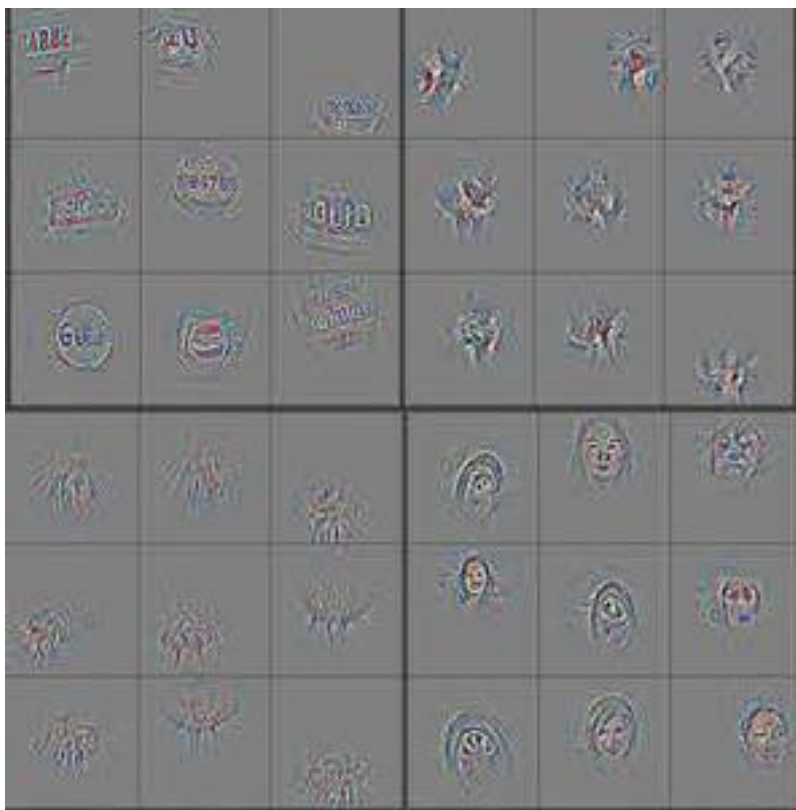


# Визуализация сверточных нейронных сетей



Matthew D. Zeiler and Rob Fergus. Visualizing and Understanding Convolutional Networks

# Визуализация сверточных нейронных сетей



Matthew D. Zeiler and Rob Fergus. Visualizing and Understanding Convolutional Networks



# Почему сейчас???

Основные идеи нейронных сетей придумали в прошлом веке

Рост производительности компьютеров:

- Многоядерные процессоры
- Графические ускорители GPU

Резкое увеличение количества накопленных данных

Большое количество готовых к использованию программных систем глубокого обучения

# Использование GPU

## Ускорение обучения на GPU:

- 2004 – ускорение обучения полносвязной нейронной сети в 20 раз. *Oh, K.S. GPU implementation of neural networks.*
- 2006 – ускорение обучения сверточной нейронной сети в 4 раза. *Chellapilla, K. et al. High performance convolutional neural networks for document processing.*

## Увеличение точности работы сети:

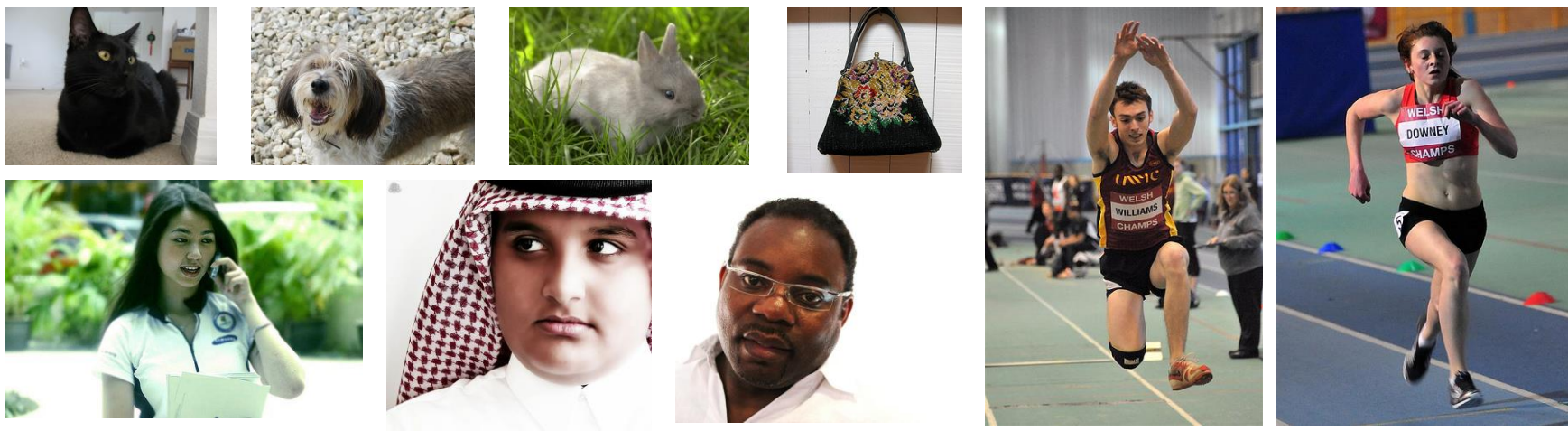
- Ошибка распознавания рукописных цифр MNIST - 0.35%
- Расширение набора данных для предотвращения переобучения, ускорение на GPU в 10 раз
- Ускорение обучения на GPU в 40 раз
- *Ciresan, D. Deep big simple neural nets for handwritten digit recognition. 2010.*

# Image Net

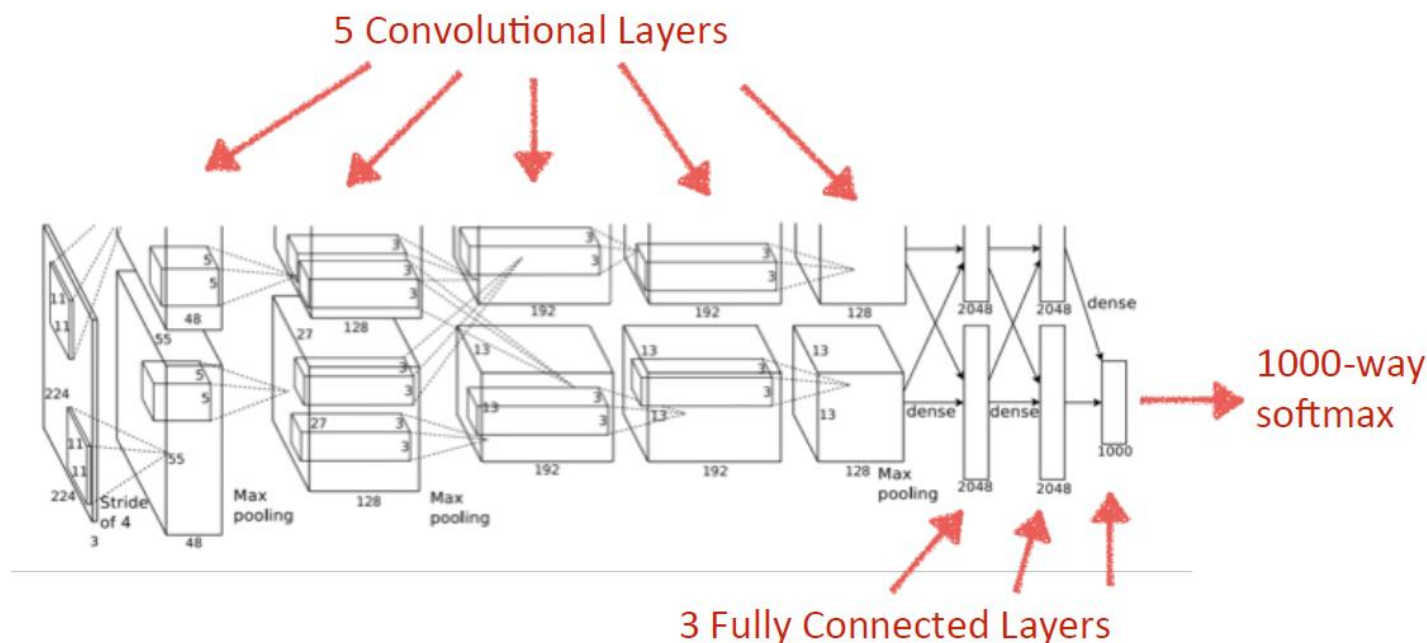
## Соревнования ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge:

- Набор данных 1,2 млн. изображений
- 1000 классов объектов

IMAGENET



# Сеть AlexNet, 2012 г.



## Обучение:

- Рабочая станция, 2 GPU NVIDIA GTX 580
- Время обучения – 5-6 дней

Alex Krizhevsky et al. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks

# Сеть VGG-16, 2014 г.

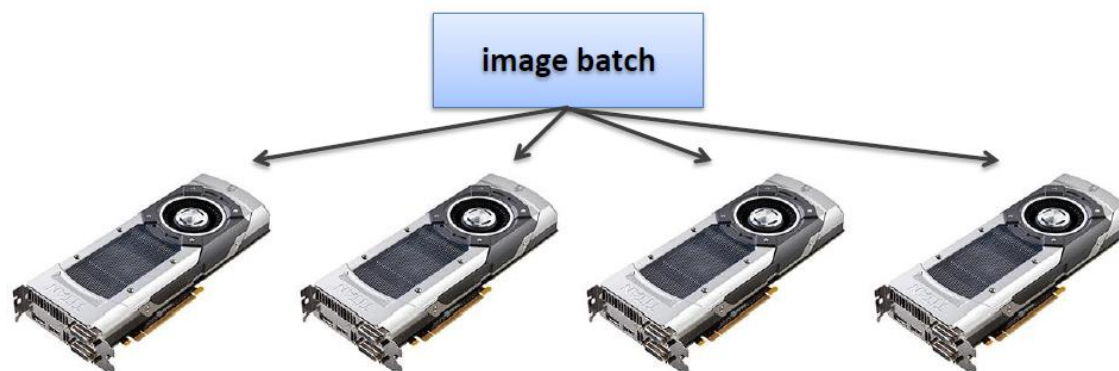
Oxford Visual Geometry Group

Нейронная сеть VGG16:

- 16 слоев

Обучение:

- Рабочая станция, 4 GPU NVIDIA Titan
- Время обучения – 2-3 недели



K. Simonyan, A. Zisserman. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition

# Facebook, 2017 г.

## Нейронная сеть Microsoft ResNet-50:

- 50 слоев

## Обучение:

- Кластер специализированных серверов
- 256 GPU NVIDIA P100
- Время обучения – 1 час

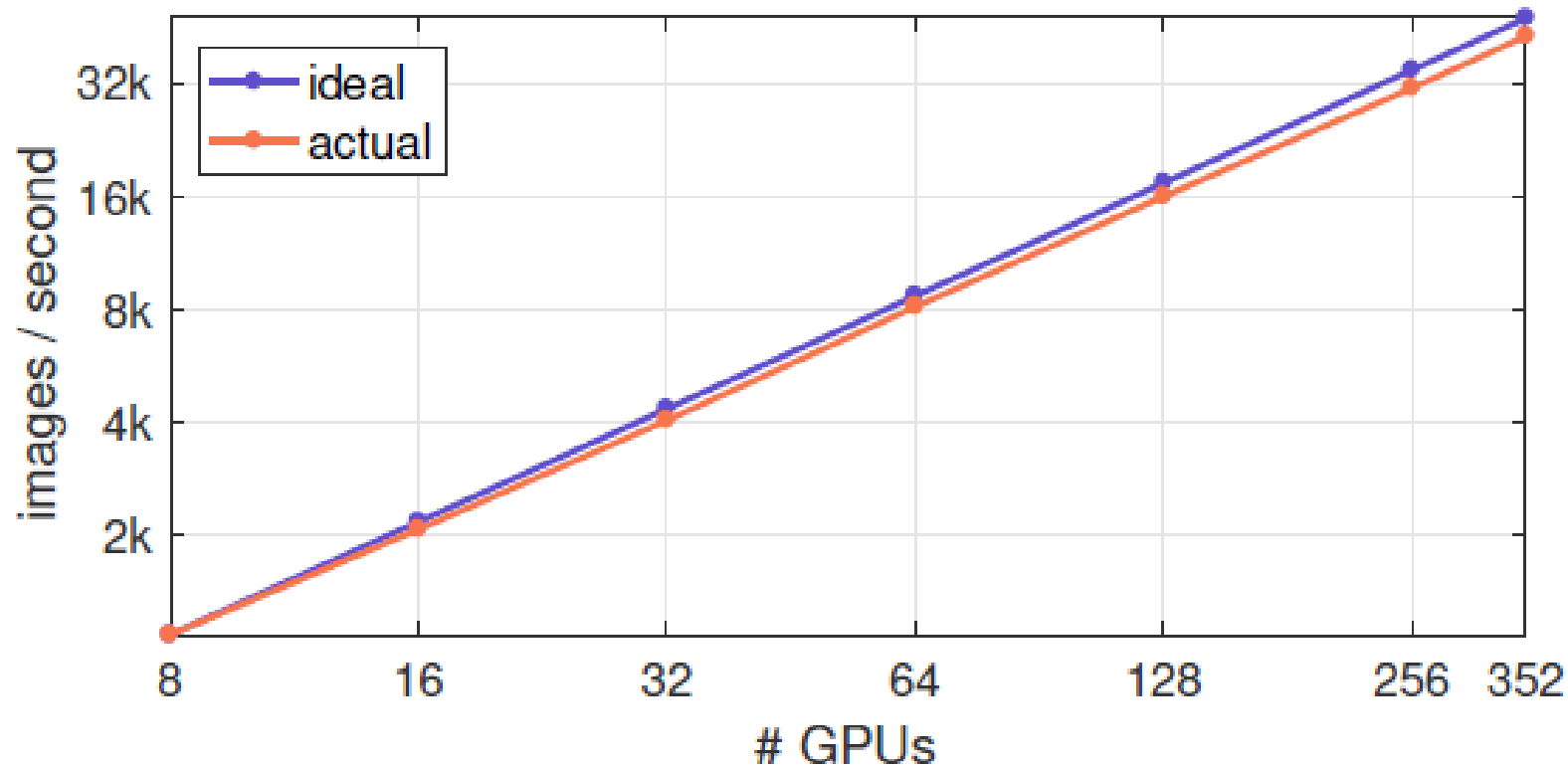
## Facebook AI Hardware:

- Собственная разработка Facebook
- 8 GPU NVIDIA P100
- NVLink
- Caffe 2

Priya Goyal et al. Accurate, Large Minibatch SGD: Training ImageNet in 1 Hour



Facebook, 2017 г.



Priya Goyal et al. Accurate, Large Minibatch SGD: Training ImageNet in 1 Hour

# Transfer Learning

## Подход Transfer Learning:

- Использование предварительно обученной сети для других задач

## Примеры предварительно обученных сетей:

- AlexNet
- VGG16 и VGG19
- Google Inception (несколько версий)
- Microsoft ResNet (50 слоев и больше)

## Перенос обучения:

- Модификация архитектуры предварительно обученной сети
- Дообучение (fine tuning) на своем наборе данных



# Конференция Ural-PDC 2017

## Ural Workshop on Parallel, Distributed, and Cloud Computing for Young Scientists (Ural-PDC)

- Екатеринбург
- Организаторы УрФУ и ИММ УрО РАН
- 19 октября 2017 г.

## Публикация CEUR-WS

- Индексируется Scopus
- Подача статей до 30 июля на сайте [ural-pdc.org](http://ural-pdc.org)

## Рабочий язык

- Английский

## Дополнительная информация

Курс с видео и упражнениями:

- <https://www.asozykin.ru/courses/nnpython>



DEEP  
LEARNING  
INSTITUTE

NVIDIA Deep Learning Institute:

- <http://www.nvidia.ru/dli>

Магистерская программа УрФУ «Анализ данных»:

- Реализуется совместно со Школой  
Анализа Данных компании Яндекс
- Курсы «Машинное обучение»,  
«Глубокое обучение»
- Развитие профиля на [kaggle.com](https://kaggle.com)



ШКОЛА АНАЛИЗА ДАННЫХ



Novice



Contributor



Expert



Master



Grandmaster