

# Глубокое обучение, или как стать Data Scientist'ом

Семинар компании NVIDIA

Международная научная конференция «Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ) 2017»

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

# План

Кто такие Data Scientist'ы и как стать одним из них

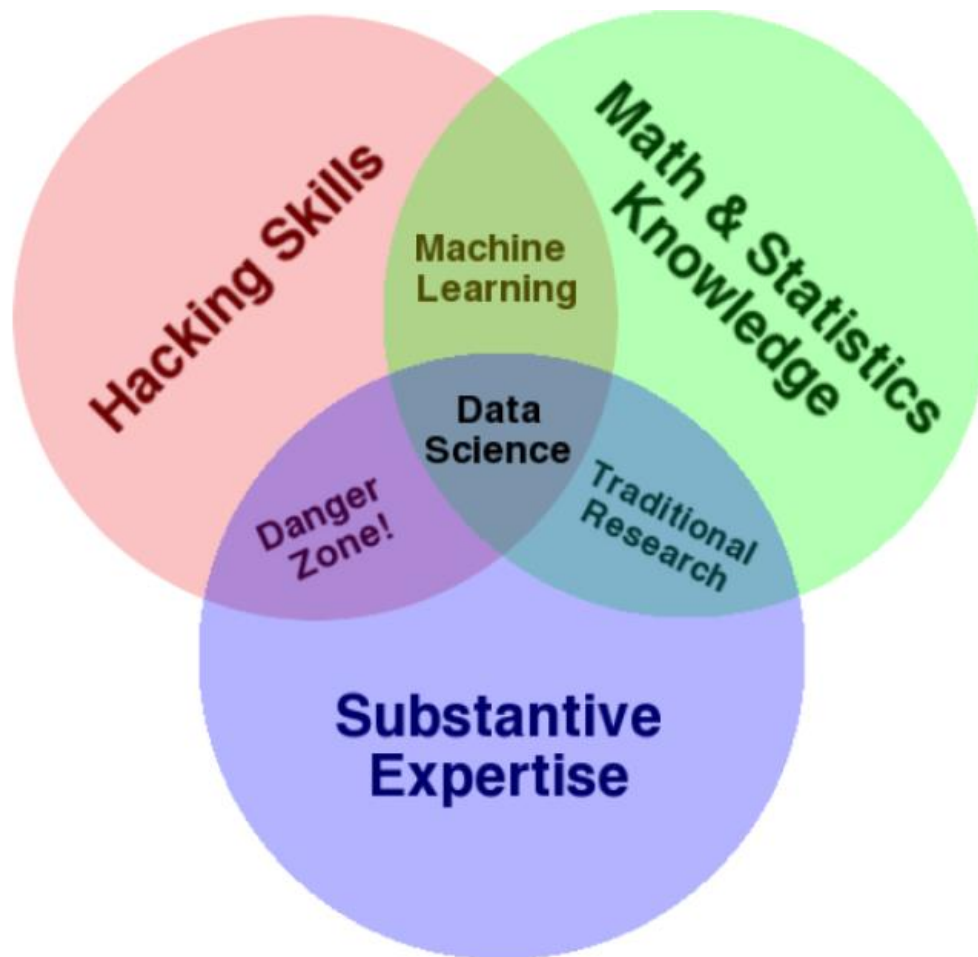
Глубокое обучение – теория и применение

Демонстрация глубокого обучения нейронных сетей:

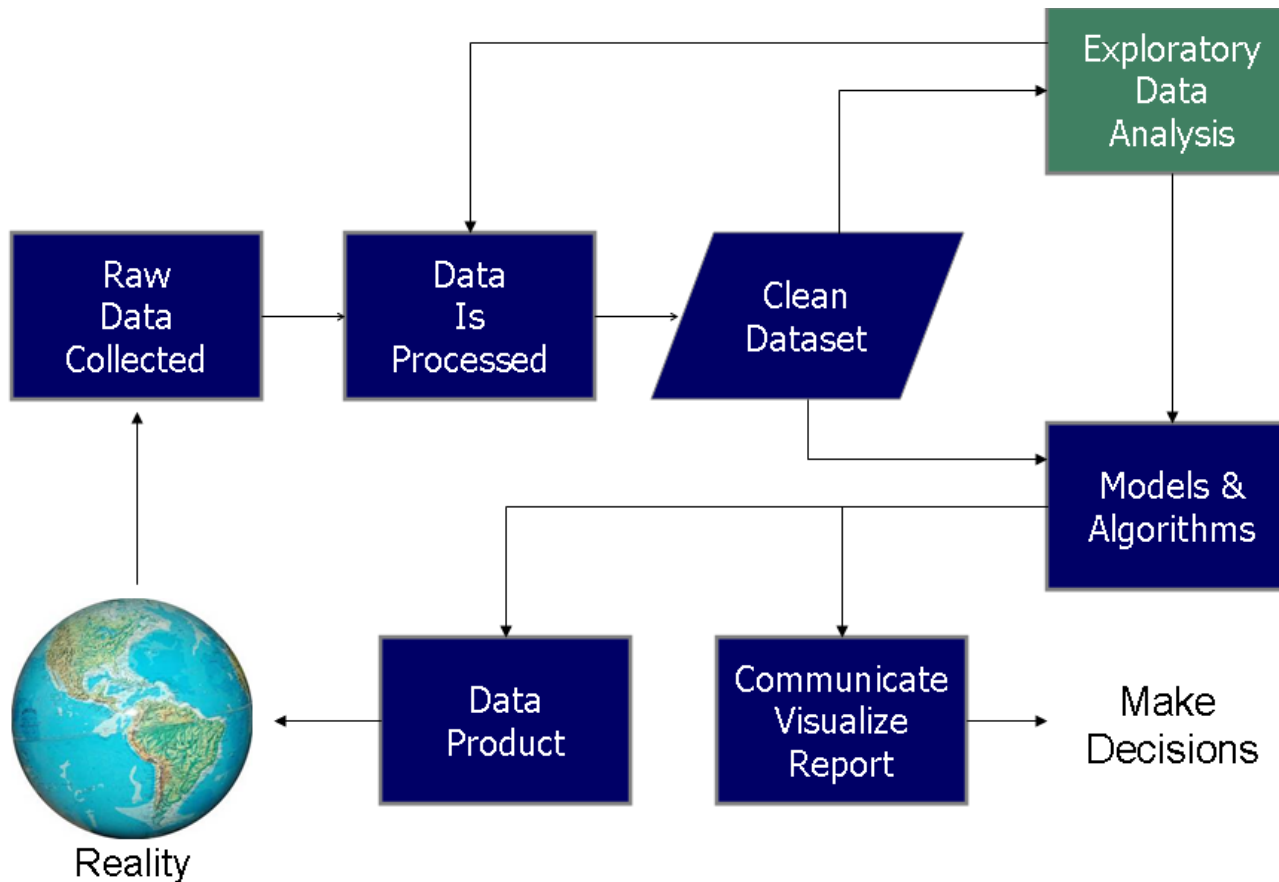
- Распознавание объектов на изображениях (Keras+Theano, MNIST и CIFAR-10)
- Обнаружение объектов на изображениях (NVIDIA DIGITS, KITTI Vision Benchmark Suite)



# Что такое Data Science?

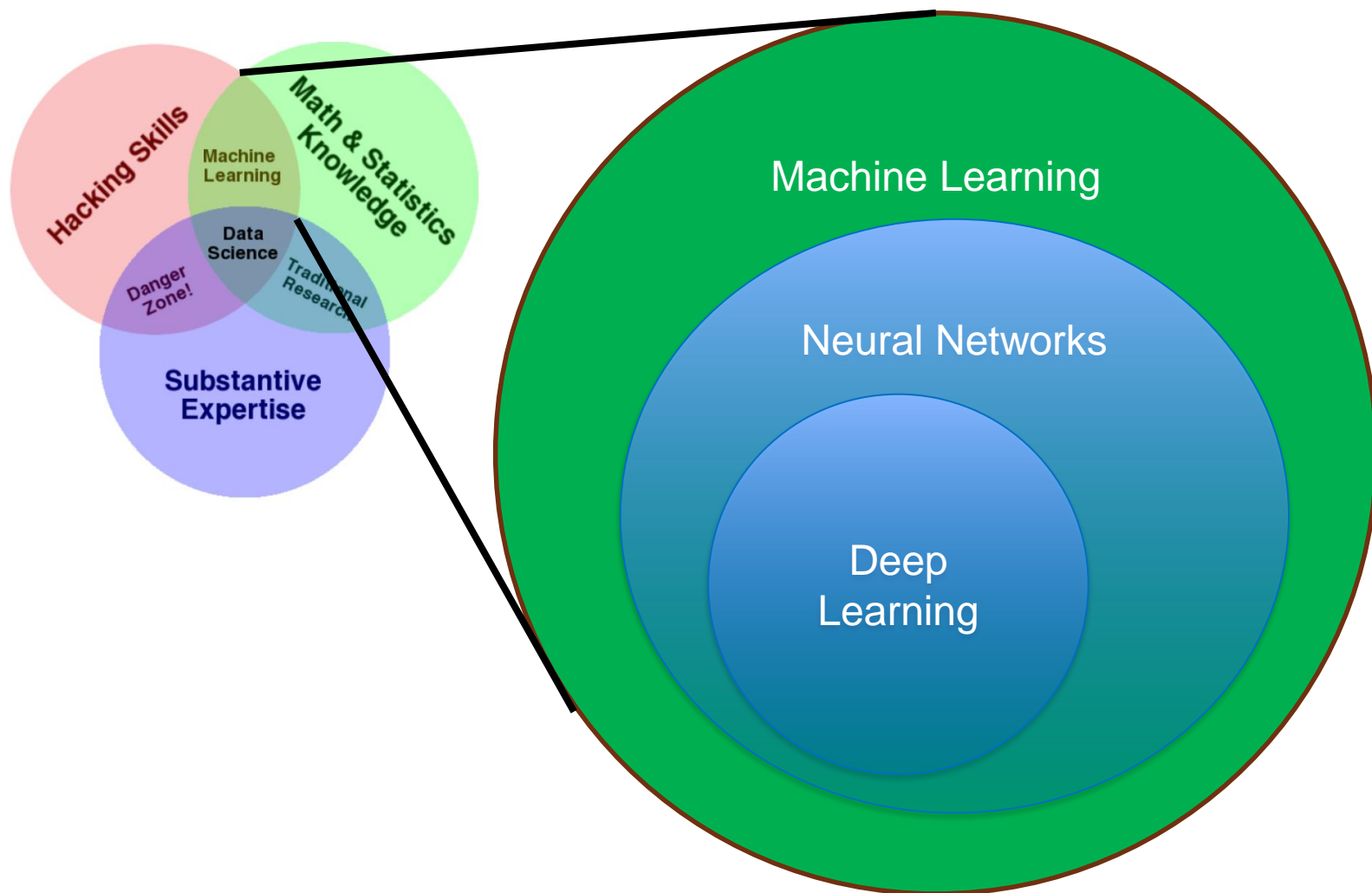


# Data Science Process



By Farcaster at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40129394>

# Где здесь глубокое обучение?



# Применение глубоких нейронных сетей

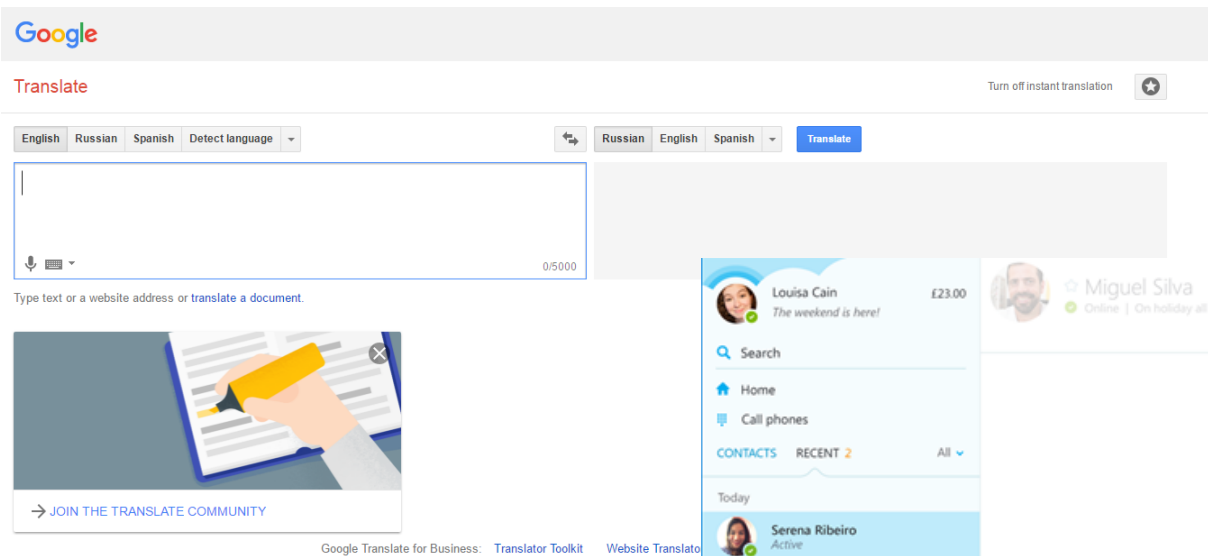


Prisma

Artisto

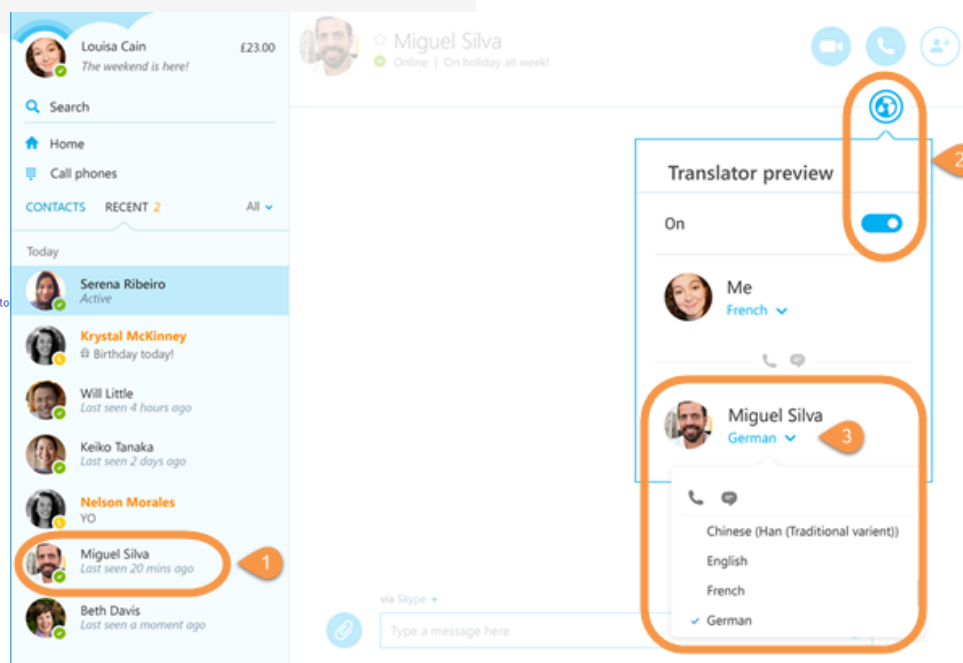


# Применение глубоких нейронных сетей



Переводчик Google

Skype Translator





# Применение глубоких нейронных сетей

Google Self-Driving Car Project

[How it works](#)

[On the road](#)

[Paint the Town](#)

[Contact us](#)

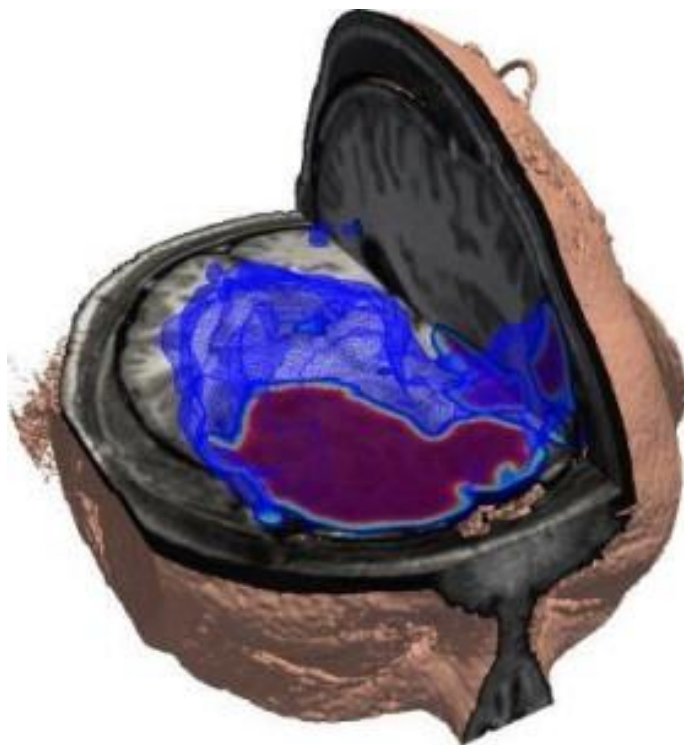




# Применение глубоких нейронных сетей



# Применение глубоких нейронных сетей



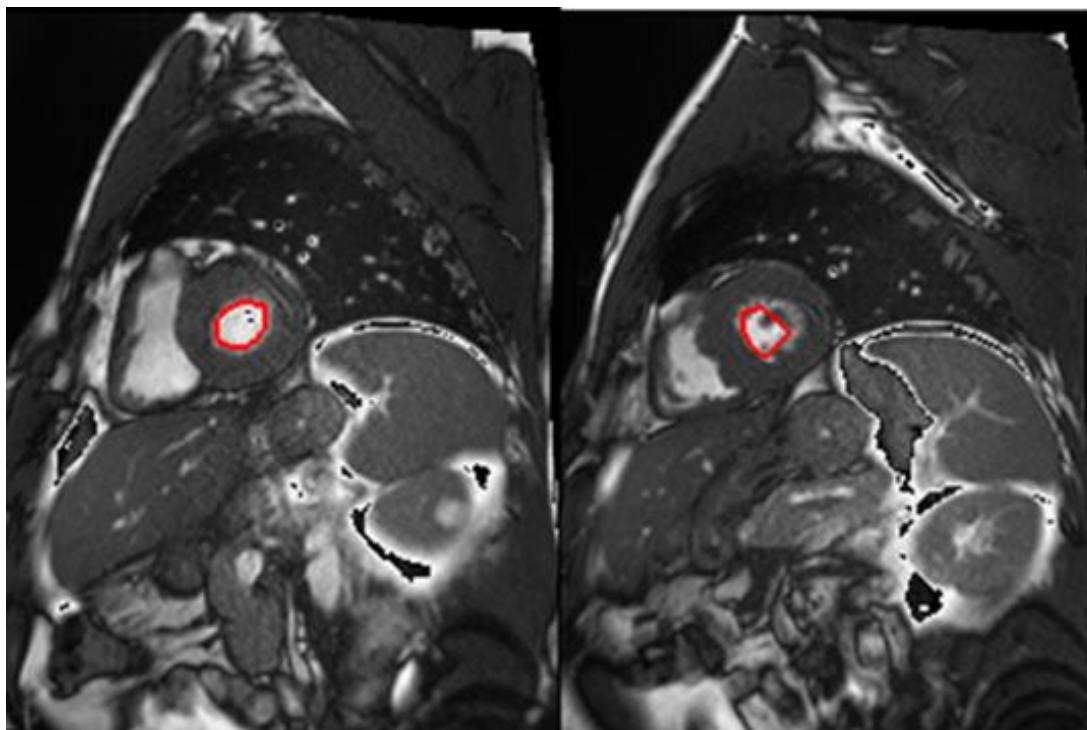
Imperial College, London

# Применение глубоких нейронных сетей



Microsoft

# Анализ медицинских изображений



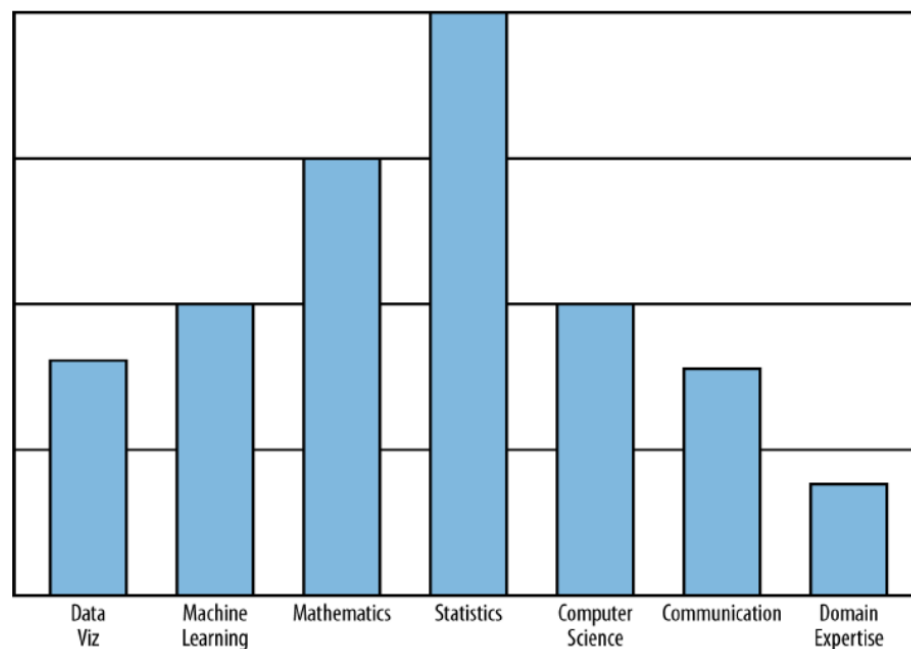
По данные Word Economic Forum для подготовки врачей  
необходимой квалификации в нужном количестве в  
мире требуется 300 лет.

Health Systems Leapfrogging in Emerging Economies.



# Что должен знать Data Scientist?

1. Машинное обучение
2. Статистика
3. Математика
4. Компьютерные науки
5. Визуализация данных
6. Коммуникации
7. Предметная область



Cathy O'Neil and Rachel Schutt. Doing Data Science  
Columbia University, Data Science Institute

# Что необходимо Data Scientist'у?

1. Теоретические знания
2. Практический опыт
3. Независимое подтверждение своей квалификации

# Теоретические знания

На русском языке:

- Курс "**Введение в машинное обучение**". Coursera, Высшая школа экономики, Константин Воронцов  
<https://www.coursera.org/learn/vvedenie-mashinnoe-obuchenie>
- Специализация "**Машинное обучение и анализ данных**" на Coursera, 6 курсов, МФТИ и Яндекс  
<https://www.coursera.org/specializations/machine-learning-data-analysis>

На английском языке:

- Курс "Machine Learning", Andrew Ng  
<https://www.coursera.org/learn/machine-learning>
- Курс "Neural Networks for Machine Learning", Geoffrey Hinton  
<https://www.coursera.org/learn/neural-networks>



# Практический опыт

## Сайт kaggle.com:

- Соревнования по анализу данных
- Открытые наборы данных
- Примеры решений



## Практически-ориентированные курсы от udacity.com:

- Цель обучения – реализация проекта
- Теоретические курсы нацелены помочь реализовать проект

### PROJECT

#### P3: Creating Customer Segments

A wholesale distributor recently tested a change to their delivery method for some customers, by moving from a morning delivery service five days a week to a cheaper evening delivery service three days a week. Initial testing did not discover any significant unsatisfactory results, so they implemented the cheaper option for all customers. Almost immediately, the distributor began receiving complaints about

### PROJECT

#### P4: Train a Smartcab to Drive

In the not-so-distant future, taxicab companies across the United States no longer employ human drivers to operate their fleet of vehicles. Instead, the taxicabs

### SUPPORTING COURSES

[Reinforcement Learning](#)

## Российские чемпионаты по анализу данных:

- [boosters.pro](#)
- [mlbootcamp.ru](#)
- [dataring.ru](#)



# Независимое подтверждение квалификации

Сайт [kaggle.com](https://kaggle.com)



Novice



Contributor



Expert



Master



Grandmaster

Открытые репозитории с программами на GitHub  
Публикации на конференциях по анализу данных  
Статьи на Хабре и других подобных ресурсах

# Школа анализа данных Яндекса

## Школа анализа данных Яндекс:

- 2 года очного обучения



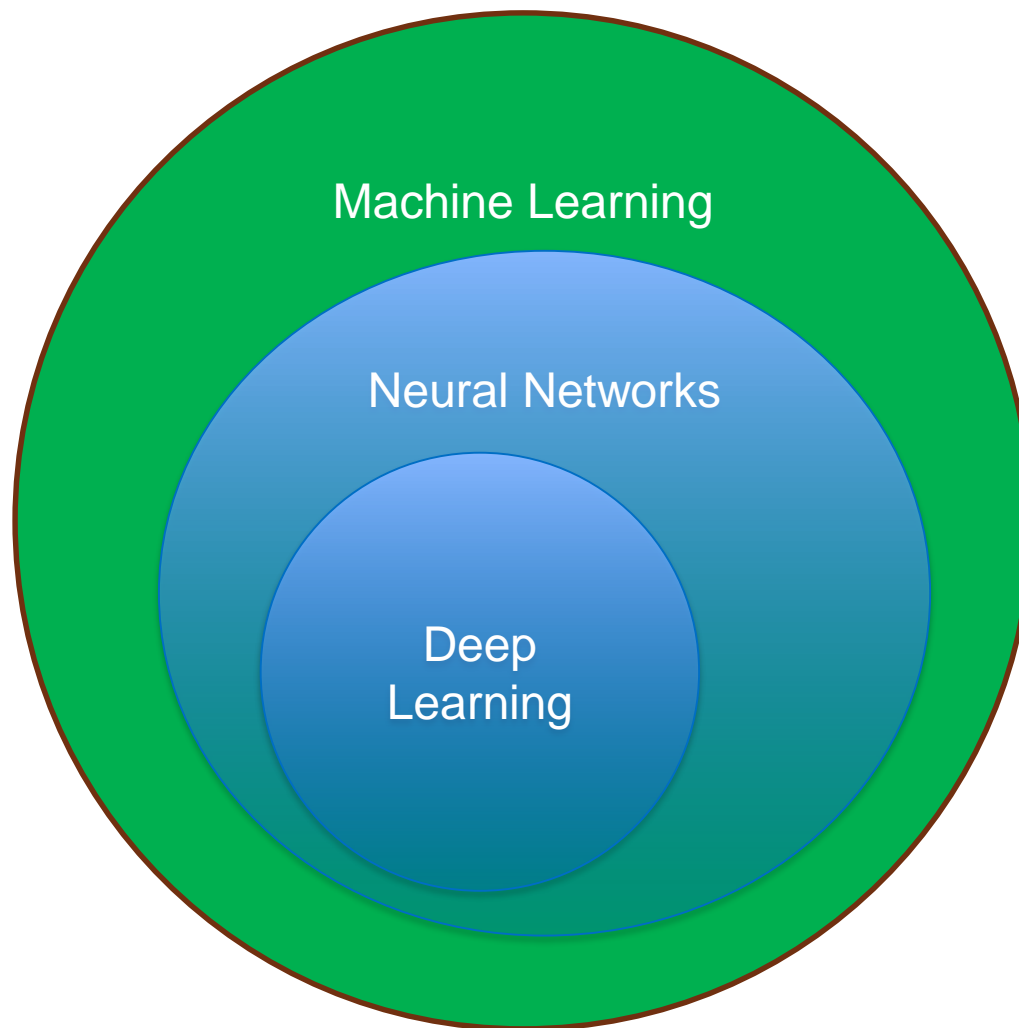
## Филиалы:

- Санкт-Петербург
- Екатеринбург
- Новосибирск
- Минск

## Совместная магистратура Уральского федерального университета и ШАД:

- Начало обучения 1 сентября 2017 г.
- Два диплома: УрФУ и ШАД

# 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

# 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

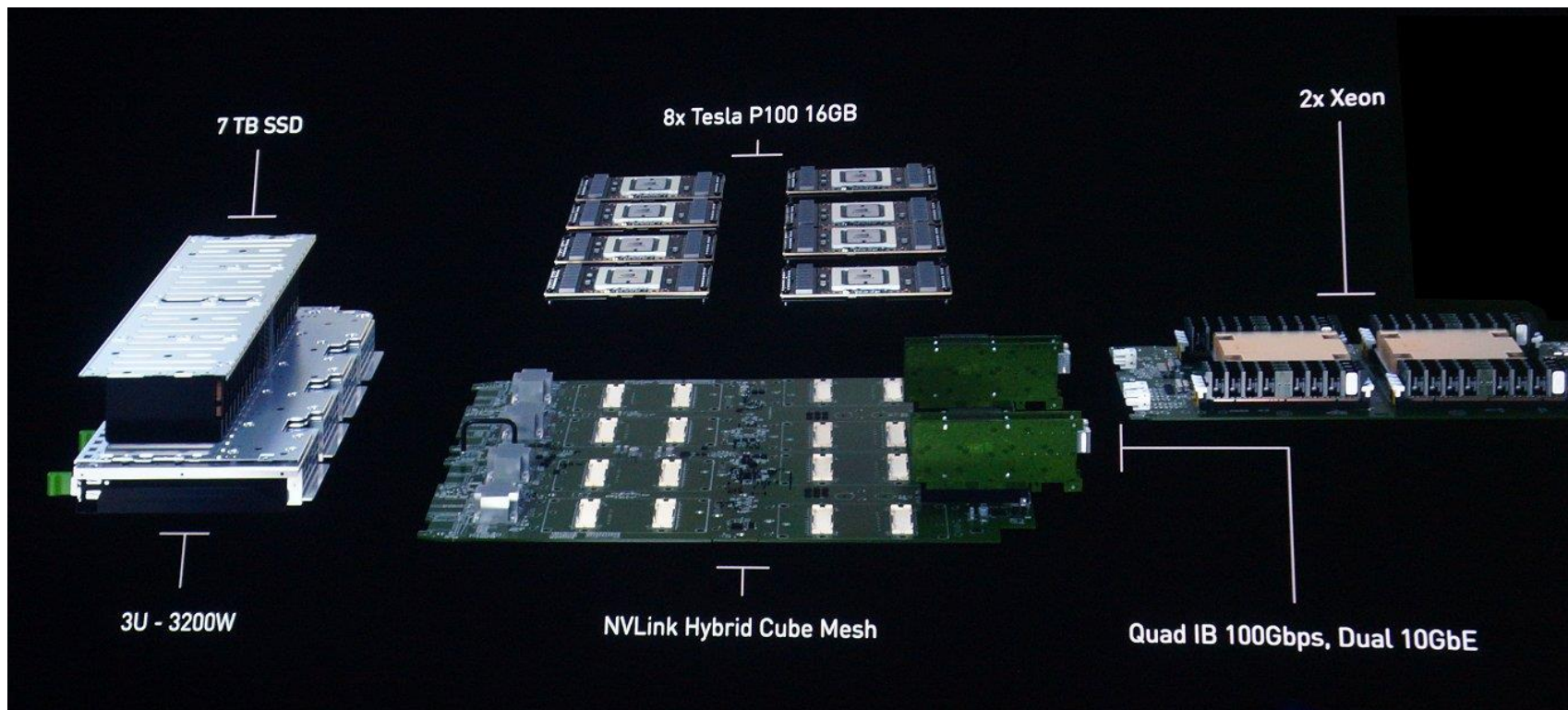
# Суперкомпьютер NVIDIA DGX-1



Доступен для заказа в России

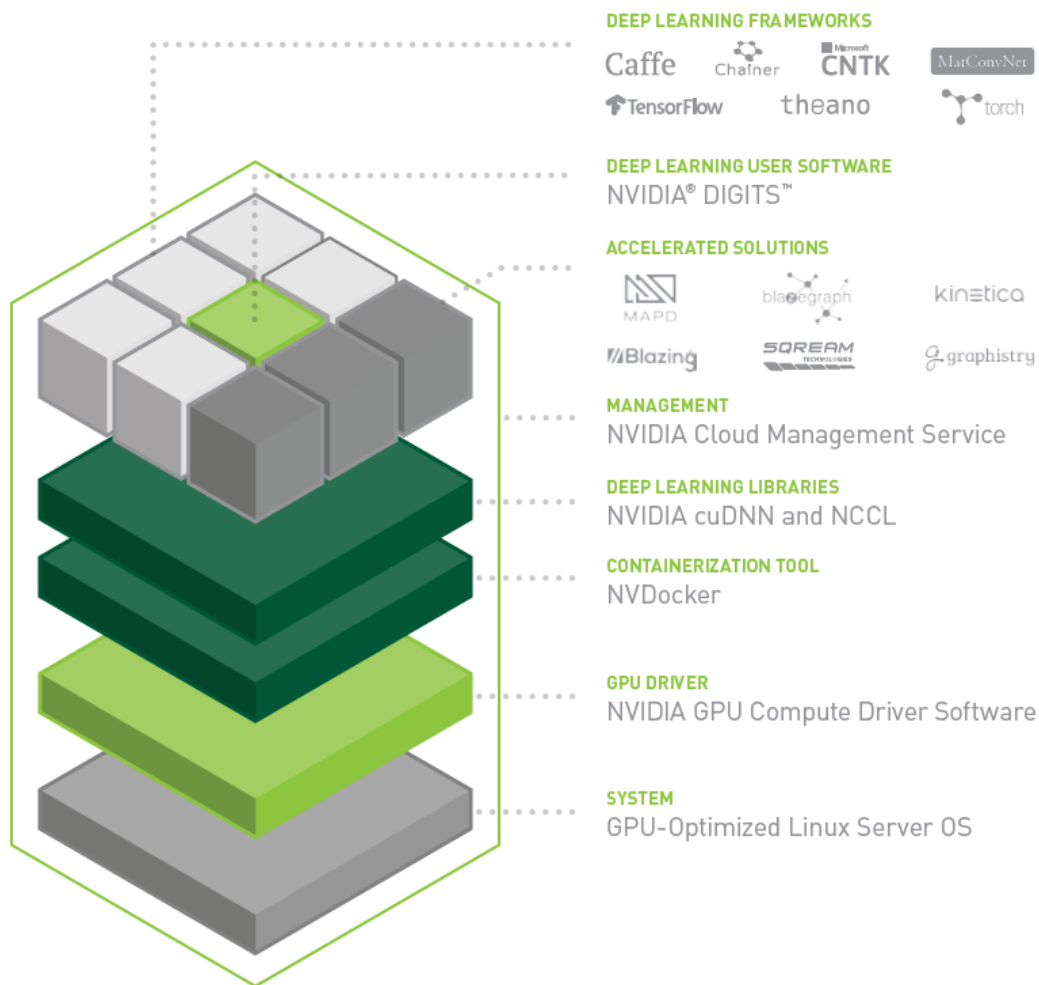


# Суперкомпьютер NVIDIA DGX-1

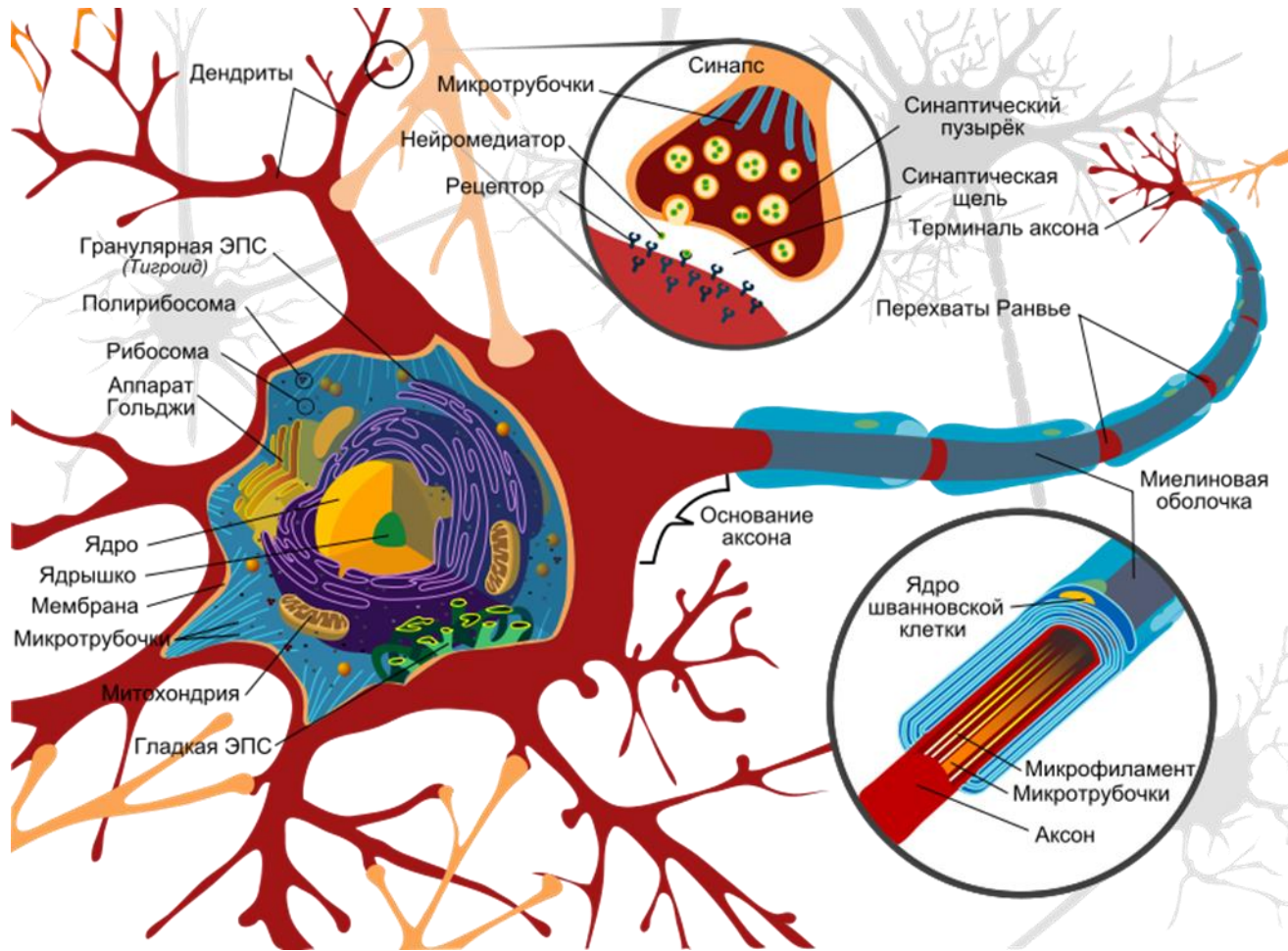


# Суперкомпьютер NVIDIA DGX-1

## NVIDIA DGX-1 Software Stack

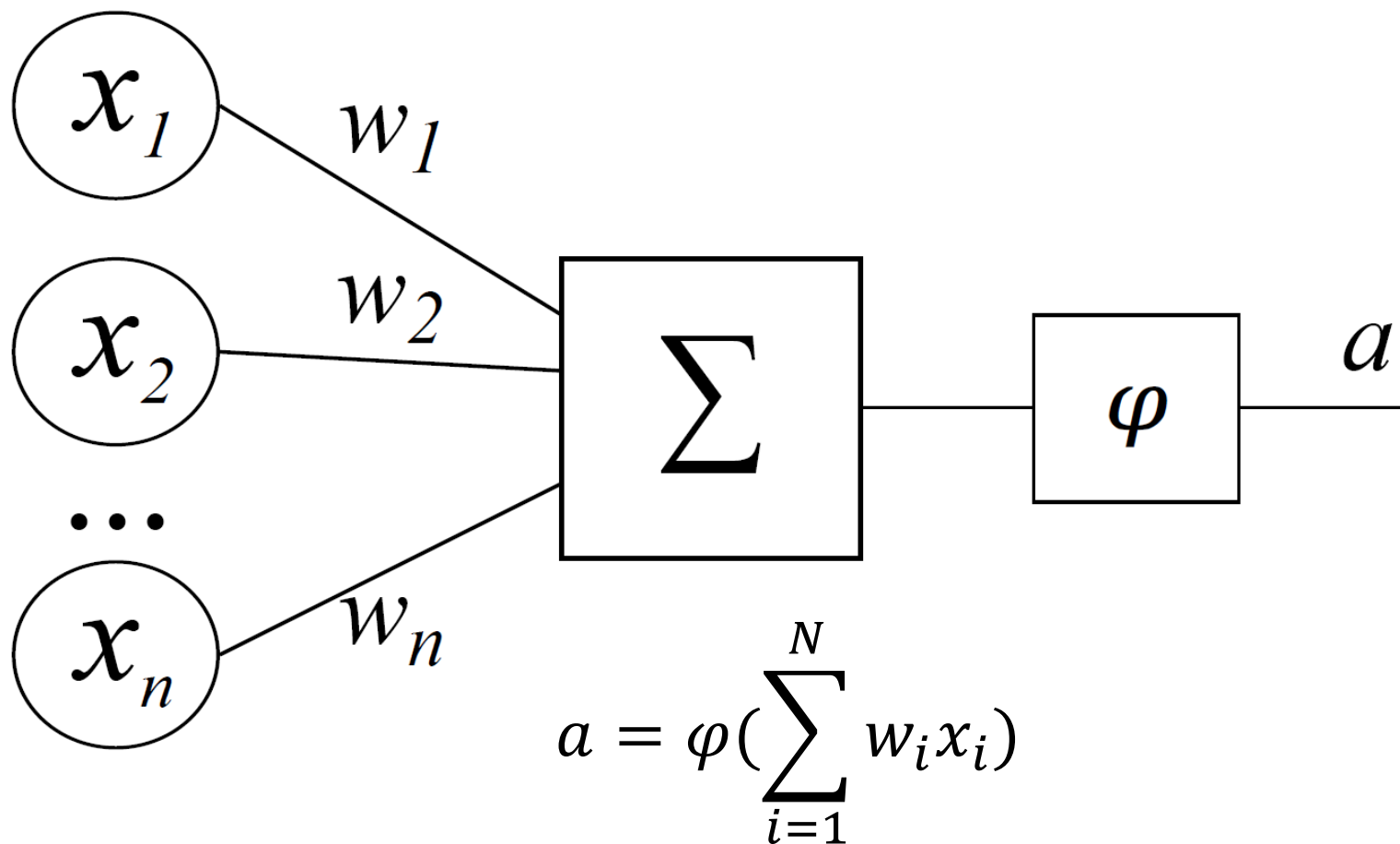


# Нейрон головного мозга



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

# Искусственный нейрон

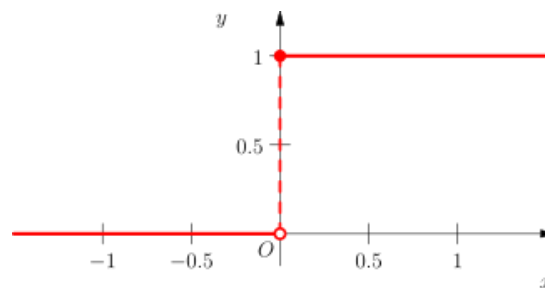


Маккалок Дж., Питтс У. Логические исчисления идей, относящихся к нервной деятельности // Автоматы. М.: ИЛ, 1956

# Функции активации

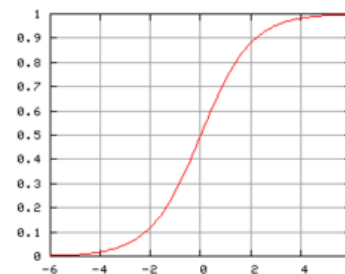
- Функция Хевисайда

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



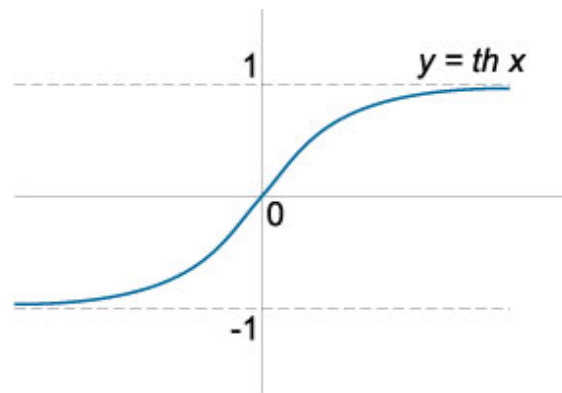
- Сигмоидальные функции

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

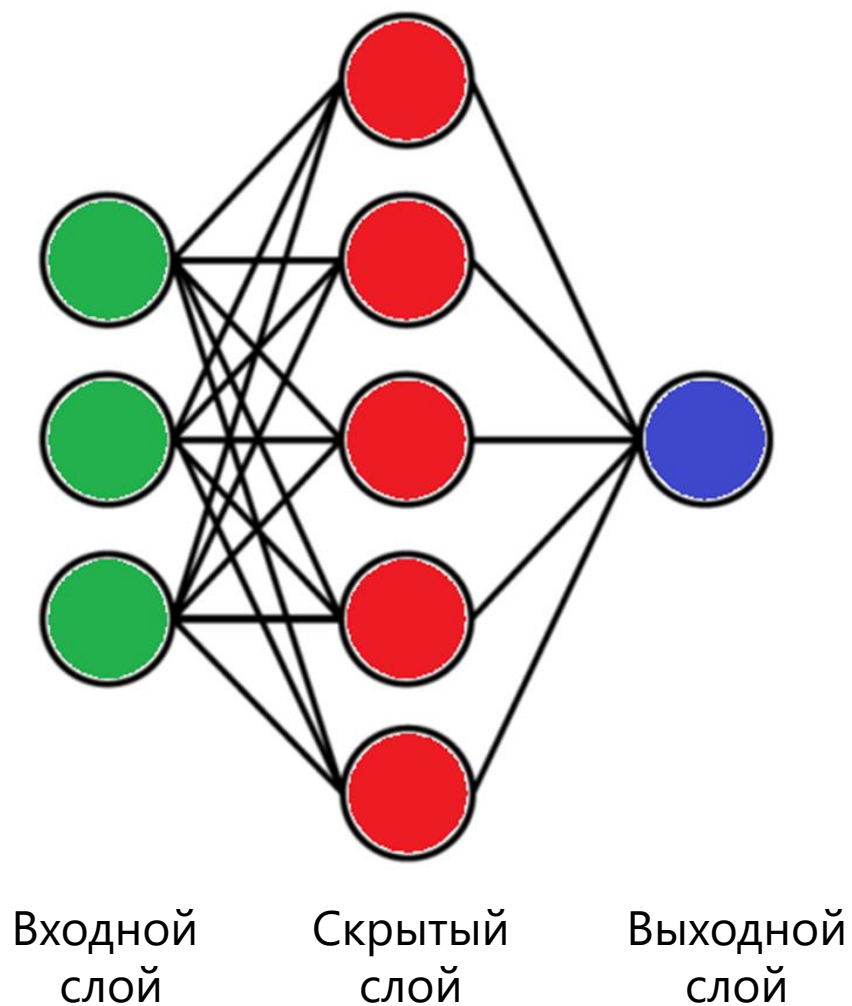


$$- th(x) = \frac{e^{2x}-1}{e^{2x}+1}$$

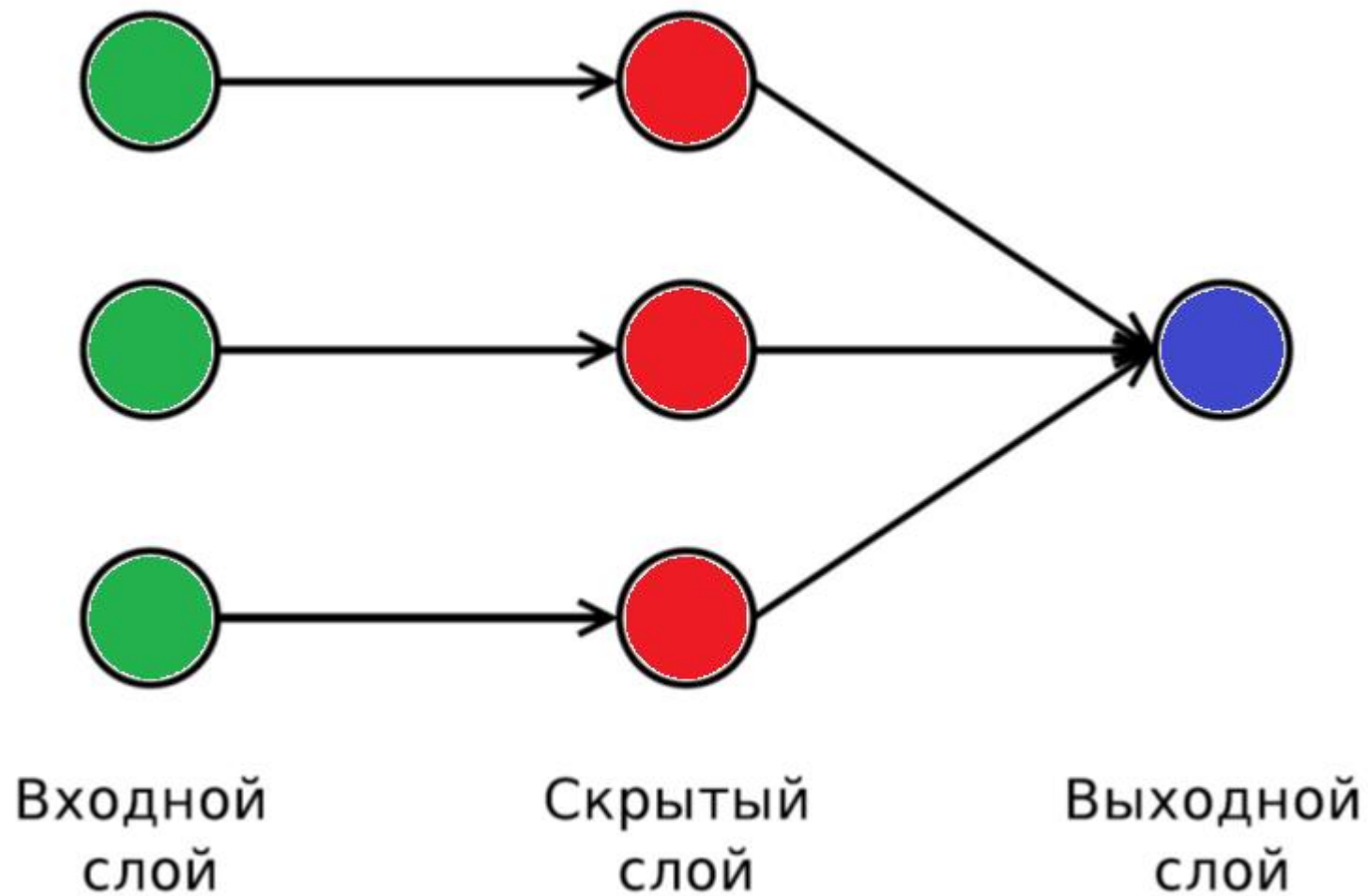
(гиперболический тангенс)



# Нейронные сети

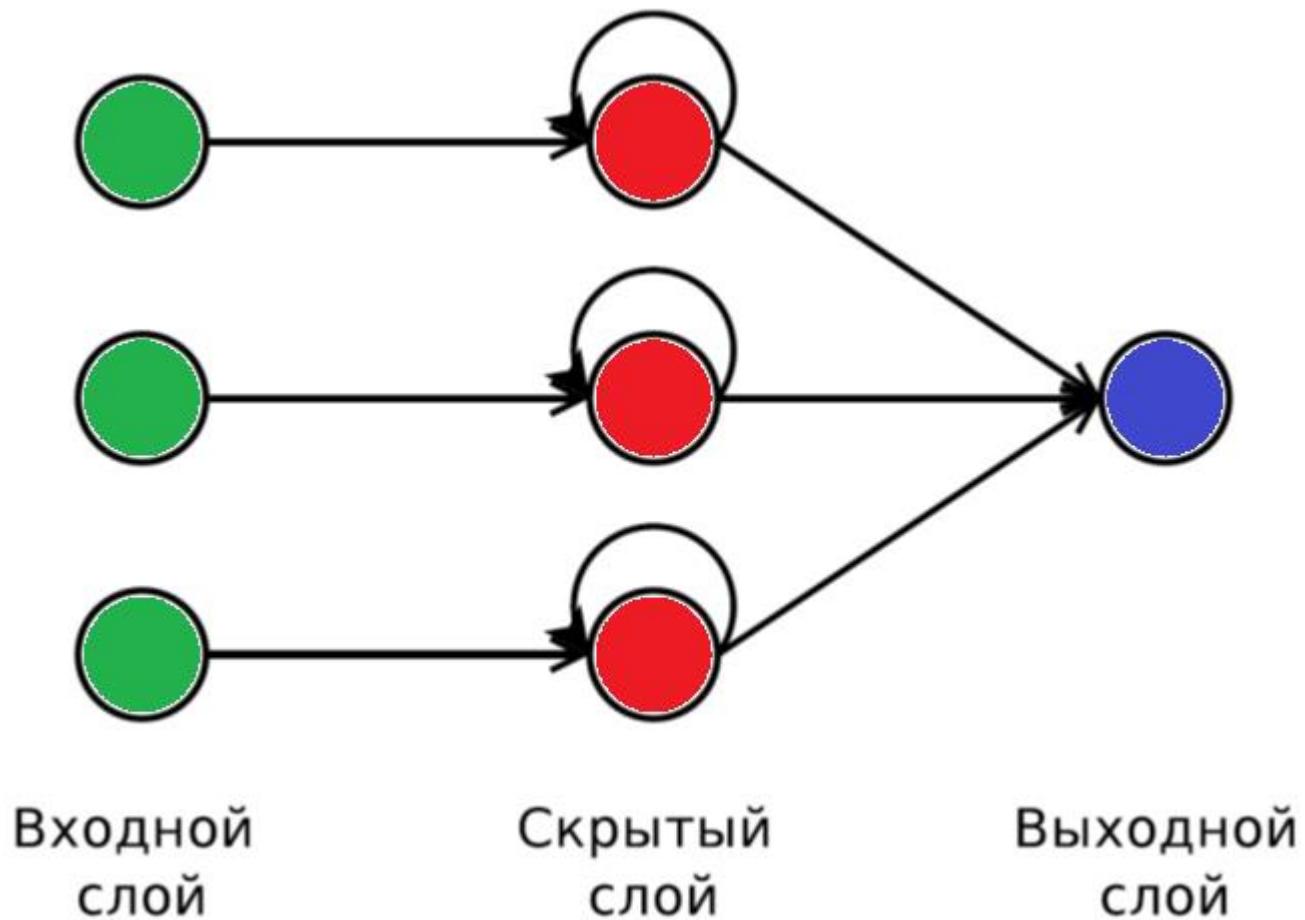


# Сеть с прямым распространением сигналов

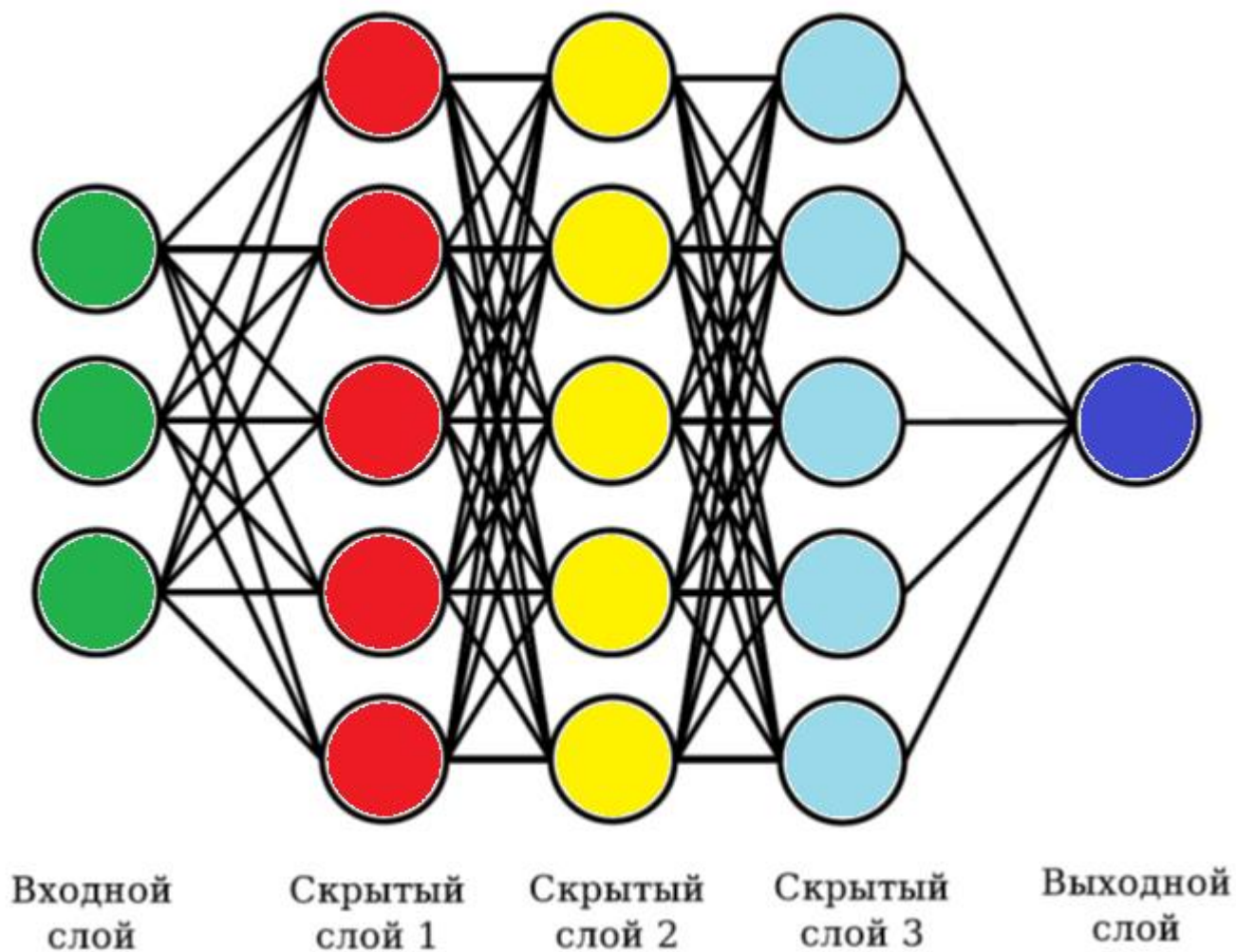




# Рекуррентная сеть

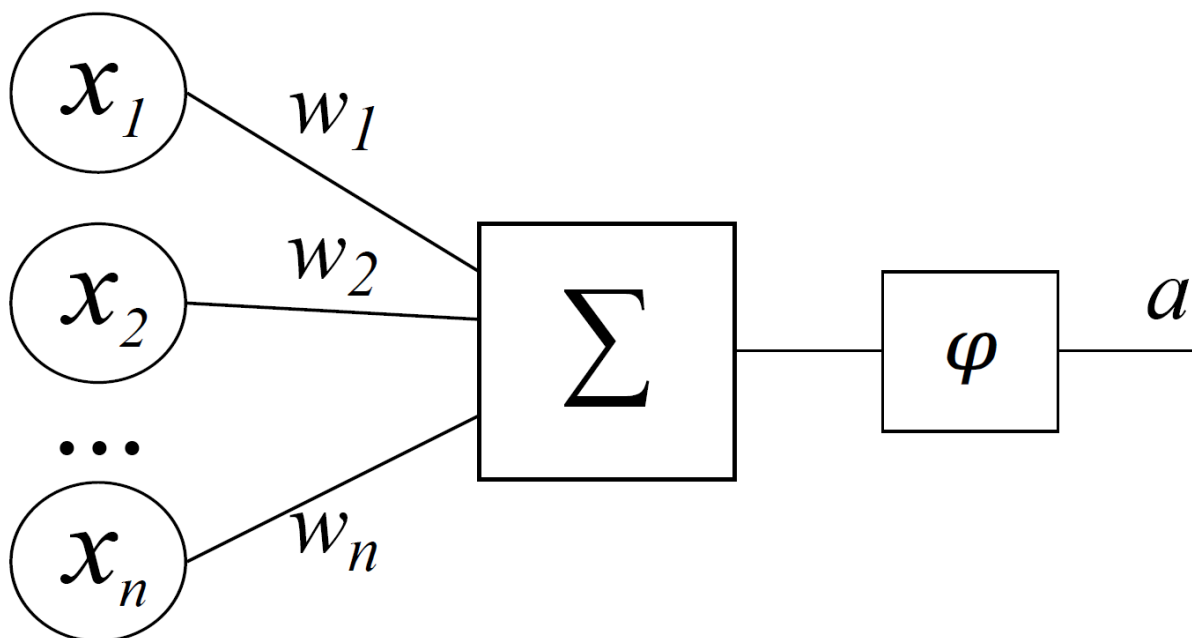


# Глубокая нейронная сеть



# 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:

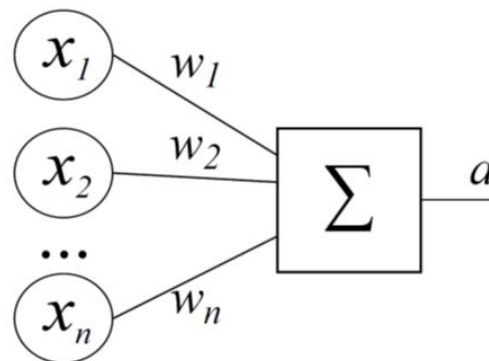
- Среднеквадратичная

Обучение:

- Минимизация ошибки методом градиентного спуска



# Линейный нейрон



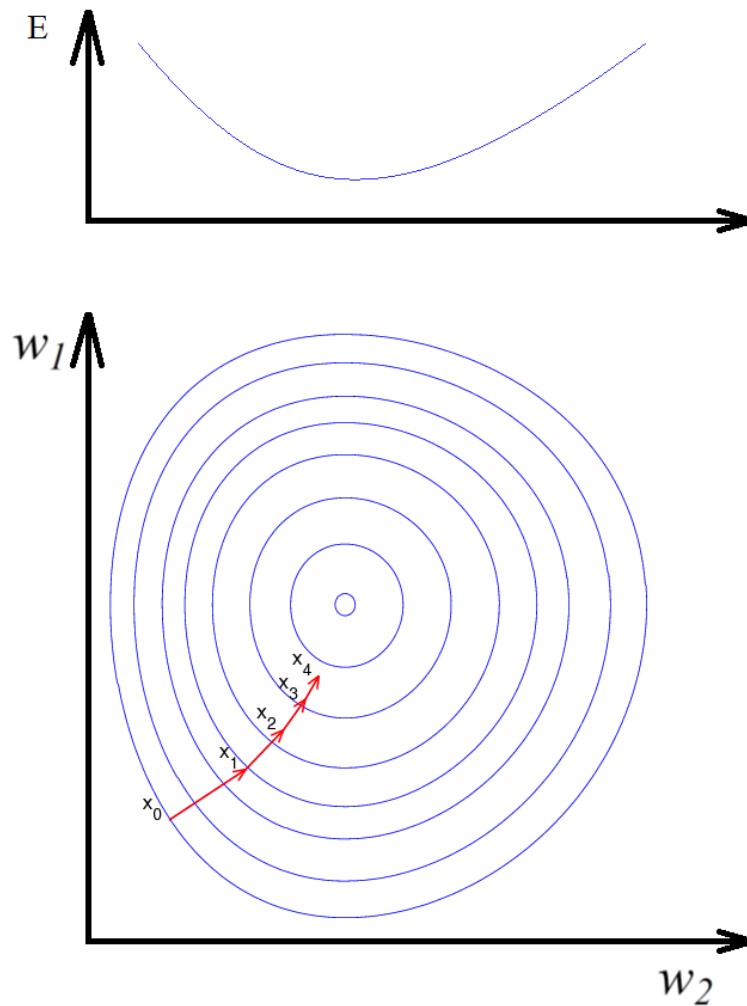
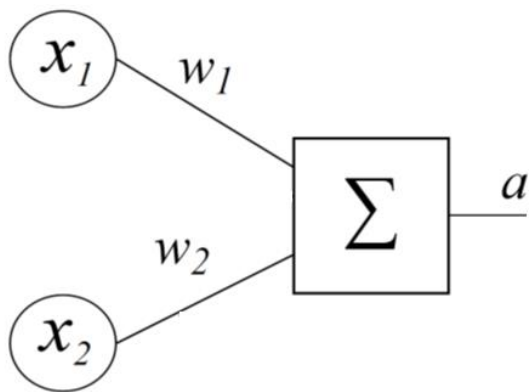
Выходное значение:

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

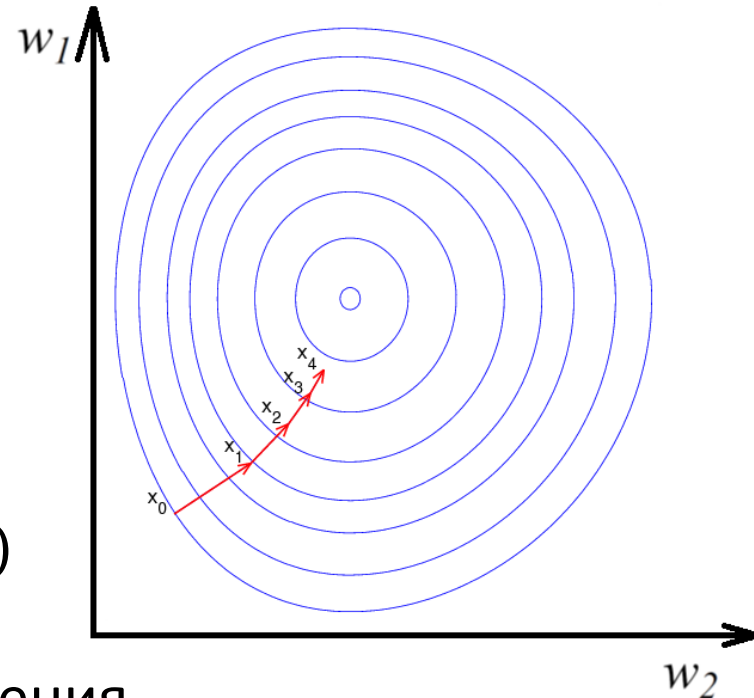
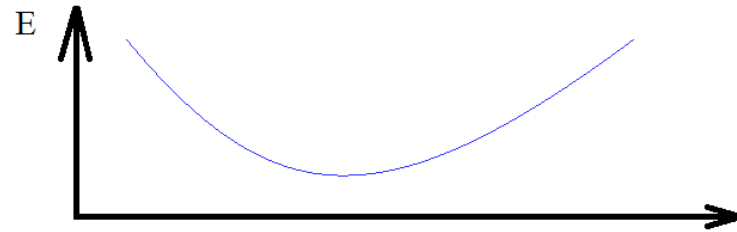
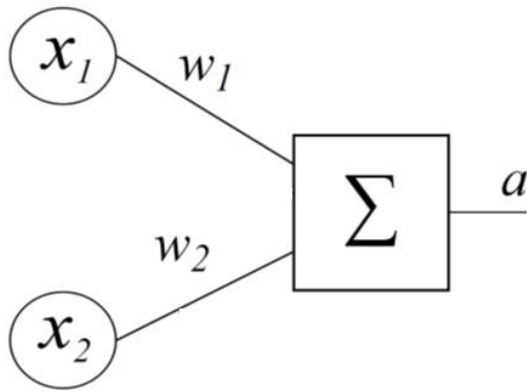
Среднеквадратичная ошибка:

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

# 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

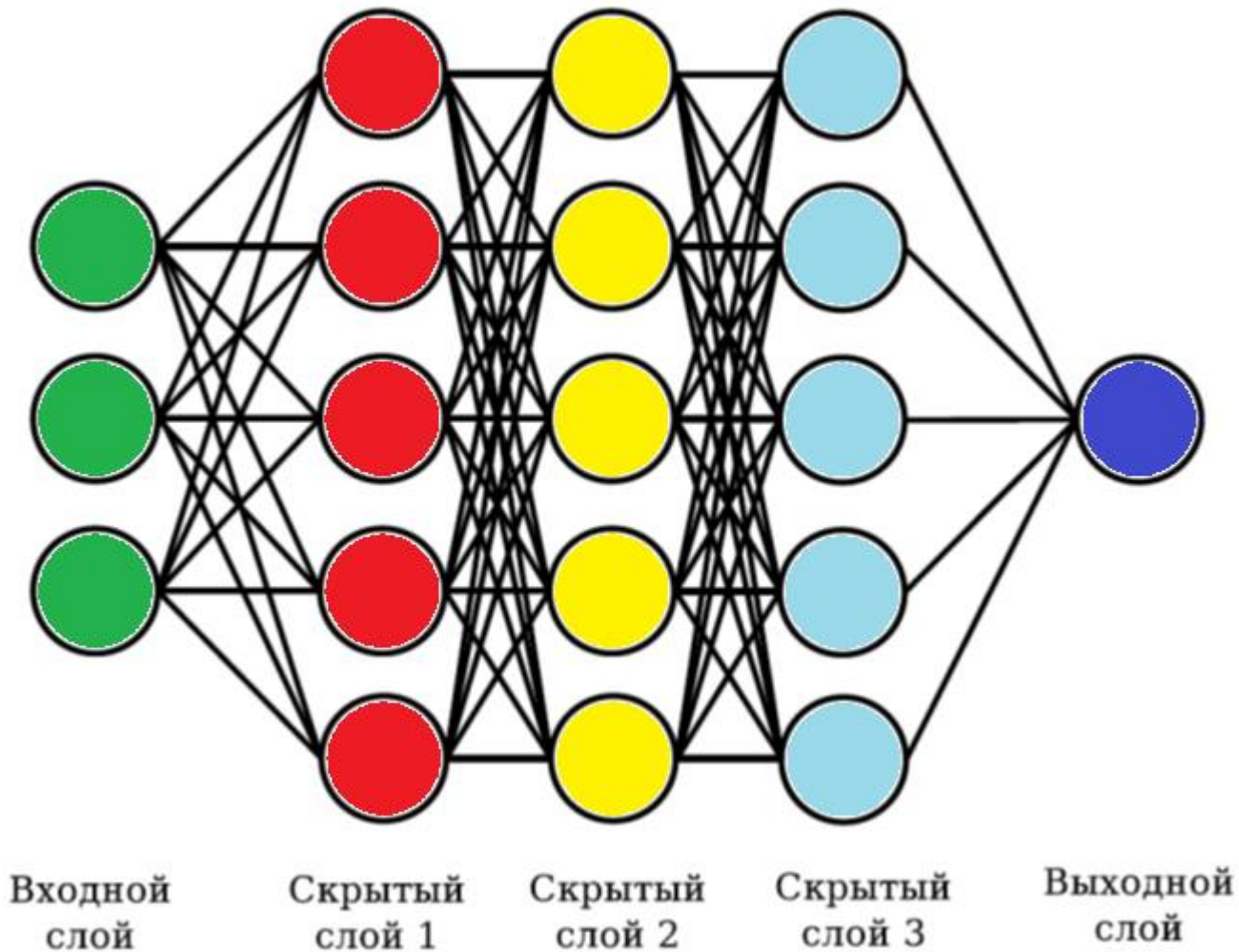
## Онлайн обучение:

- Изменяем веса после обработки каждого объекта

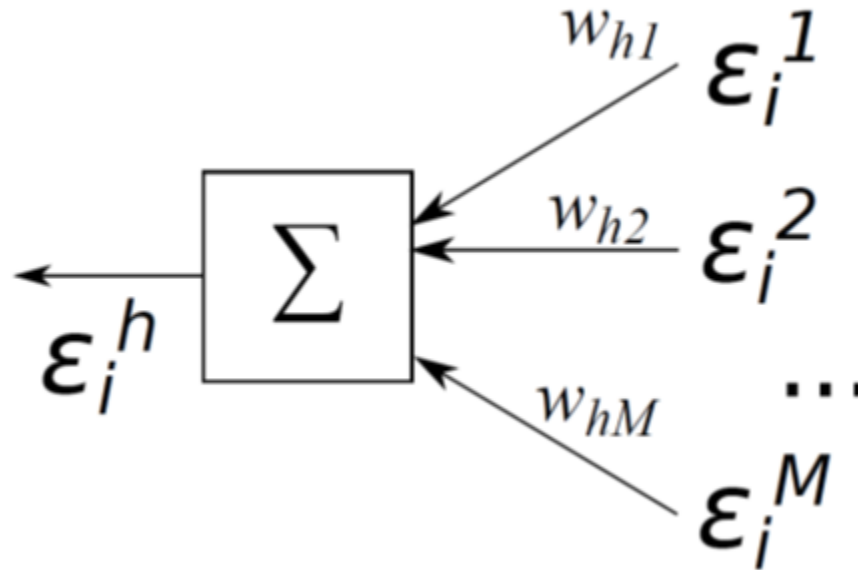
## Мини-выборки:

- 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]

# Демонстрация MNIST

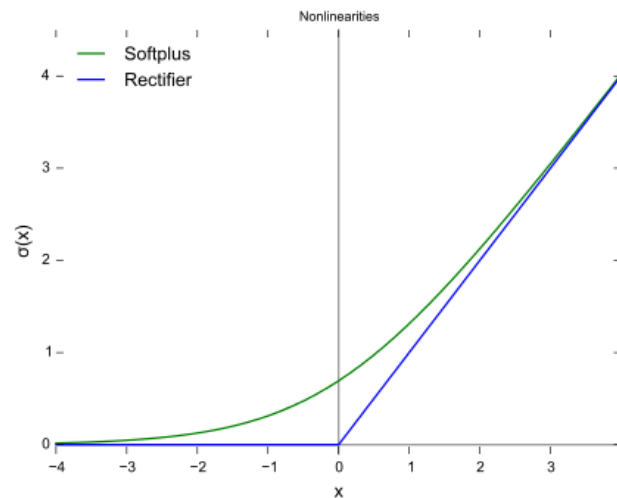
Демонстрация распознавания рукописных цифр из набора данных MNIST в Keras и Theano

# Функции активации

## Rectified Linear Unit (ReLU)

$$f(x) = \max(0, x)$$

$$f(x) = \ln(1 + e^x)$$



## SoftMax – нормализованная экспоненциальная функция

- Используется для представления вероятности
- Сумма всех выходных значений нейронов равна 1

$$\sigma(x_j) = \frac{e^{x_j}}{\sum_i e^{x_i}}$$

# 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

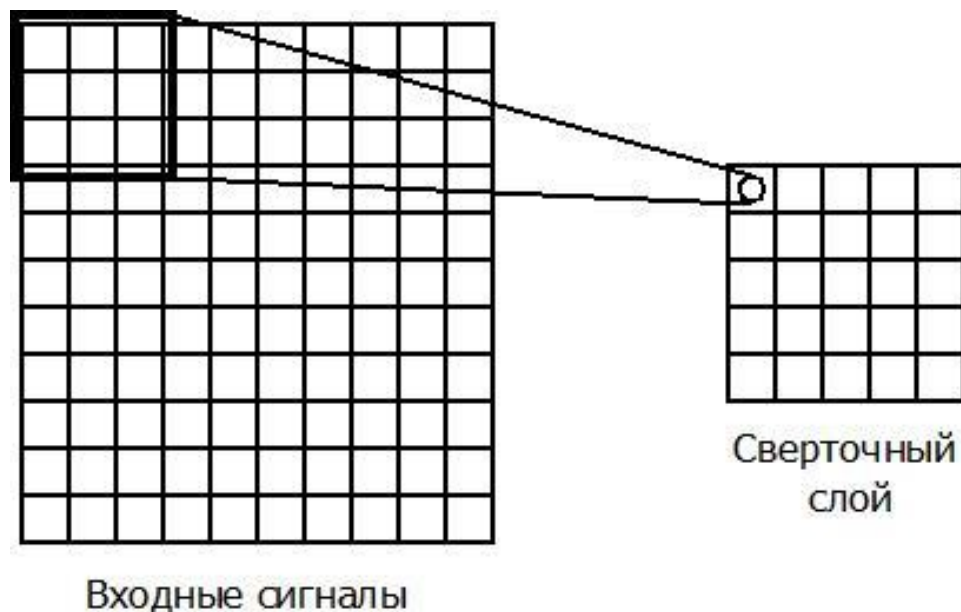
**Проверочная выборка** (validation set) – набор данных, который используется в процессе обучения для оценки качества обучения

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

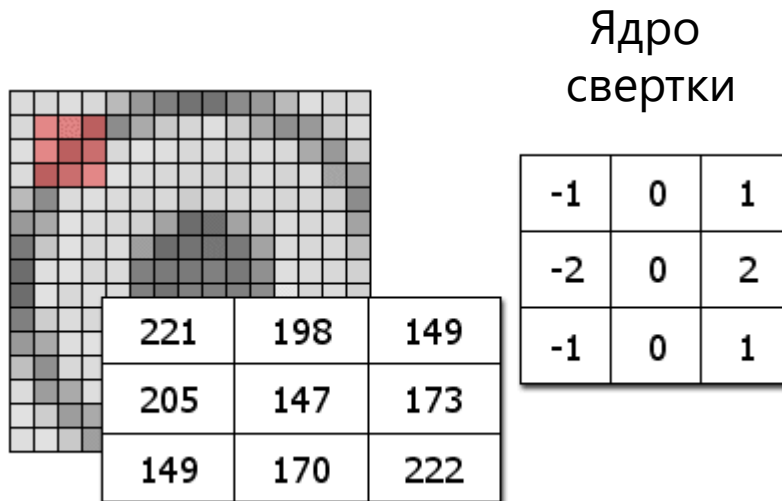
# Сверточные нейронные сети

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

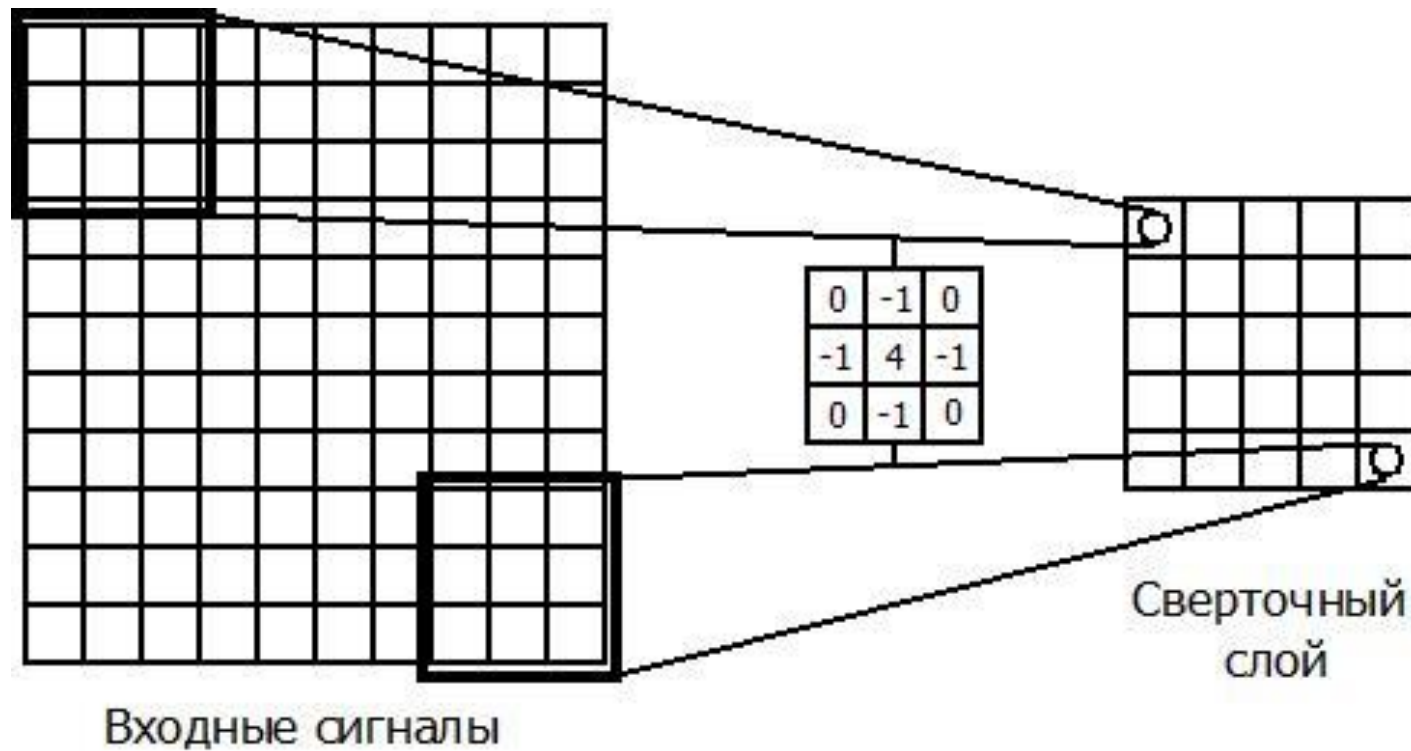
0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

## Повышение четкости

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

В нейронных сетях ядра свертки определяются автоматически в процессе обучения

# Разделяемые веса



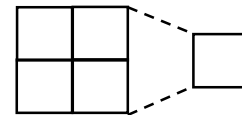
# Уменьшение размерности

Распознавание объектов вне зависимости от масштаба

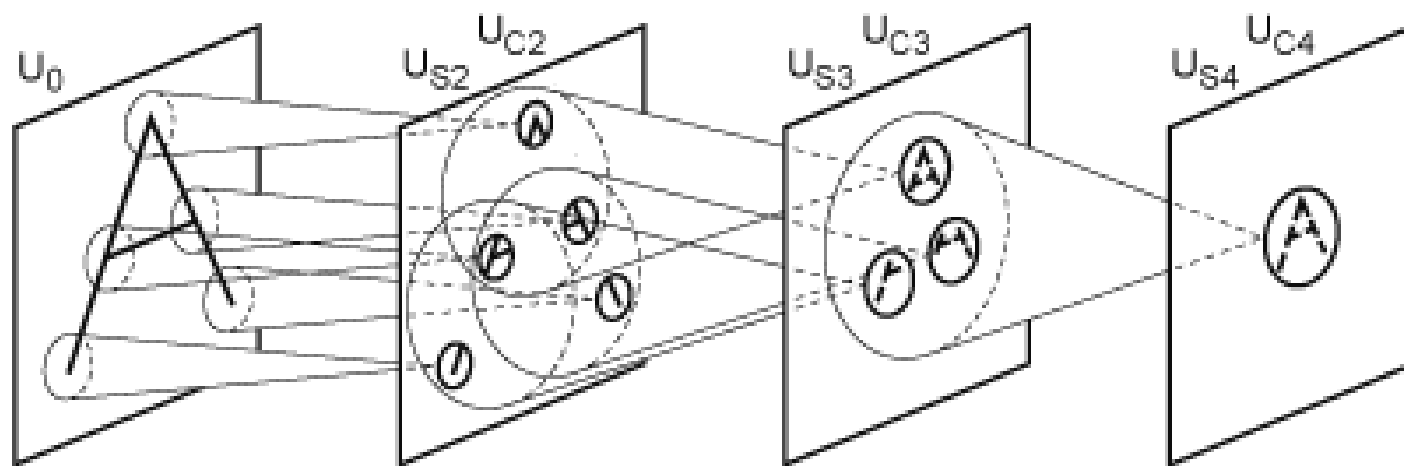
Факт наличия признака важнее знания места его точного положения на изображении

Слои подвыборки (subsampling):

- Усреднение
- Выбор максимального значения

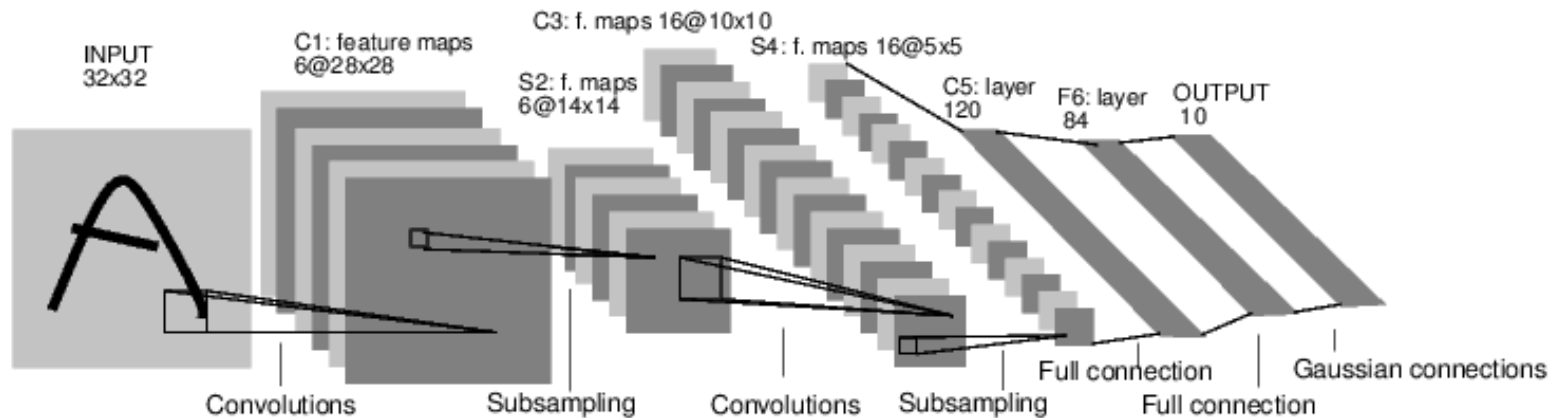


# Сверточная нейронная сеть



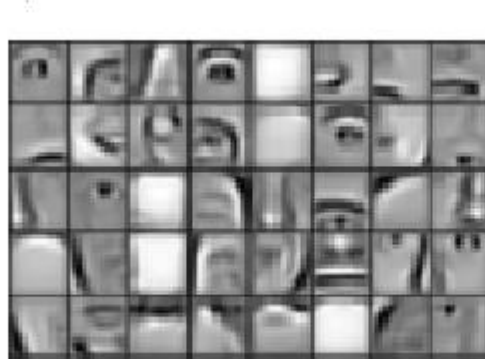
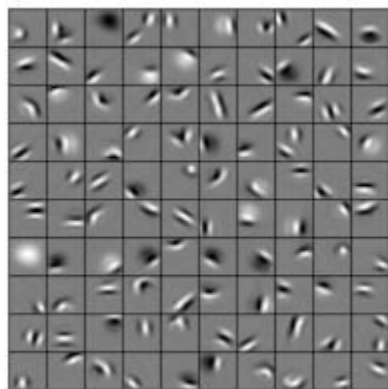
Фукушима. Неокогнитрон

# Сверточная сеть LeNet-5



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

# Распознавание лиц сверточными сетями



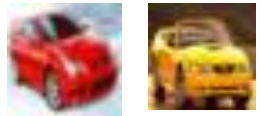
Honglak Lee, Roger Grosse, Rajesh Ranganath, and Andrew Y. Ng.  
Unsupervised Learning of Hierarchical Representations with  
Convolutional Deep Belief Networks (2011)

# Набор данных CIFAR-10

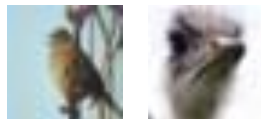
Самолет



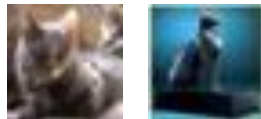
Автомобиль



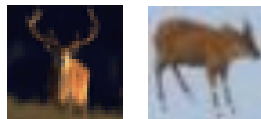
Птица



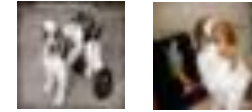
Кот



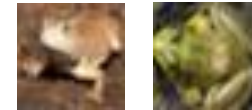
Олень



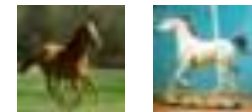
Собака



Лягушка



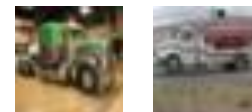
Лошадь



Корабль



Грузовик





# Набор данных CIFAR-10

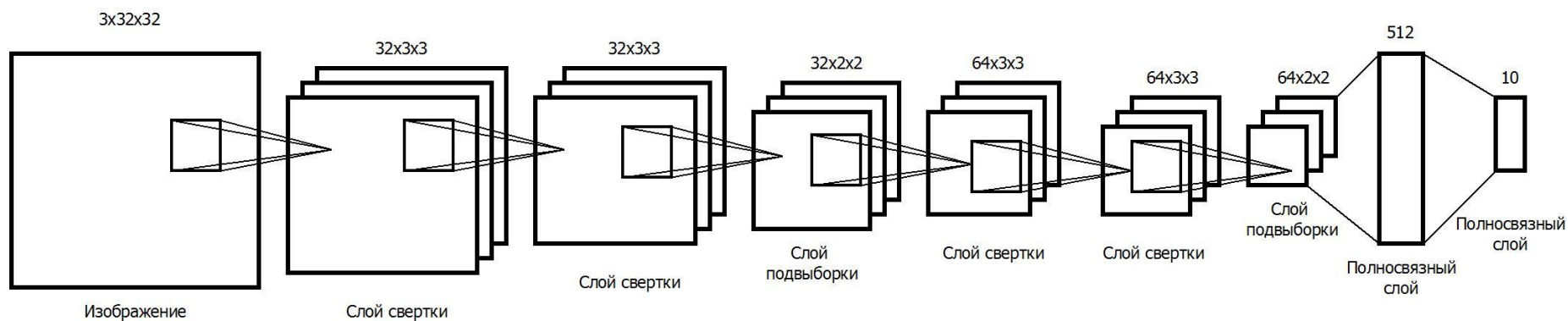
## Открытый набор данных:

- <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html>
- Alex Krizhevsky, Learning Multiple Layers of Features from Tiny Images, 2009.

## Изображения в CIFAR-10:

- Размер 32x32
- Цветные изображения (коды интенсивности RGB)
- Набор данных для обучения – 50 000 (5 000 для каждого класса)
- Набор данных для тестирования – 10 000
- На каждом изображении только один объект
- Нет пересечений

# Сверточная сеть для распознавания CIFAR-10



# Демонстрация CIFAR-10

Демонстрация распознавания объектов на изображениях CIFAR-10 в Keras и Theano

# Демонстрация обнаружения объектов

Демонстрация обнаружения объектов с помощью  
NVIDIA DIGITS и сети DetectNet

# Набор данных Kitti Vision Benchmark Suite



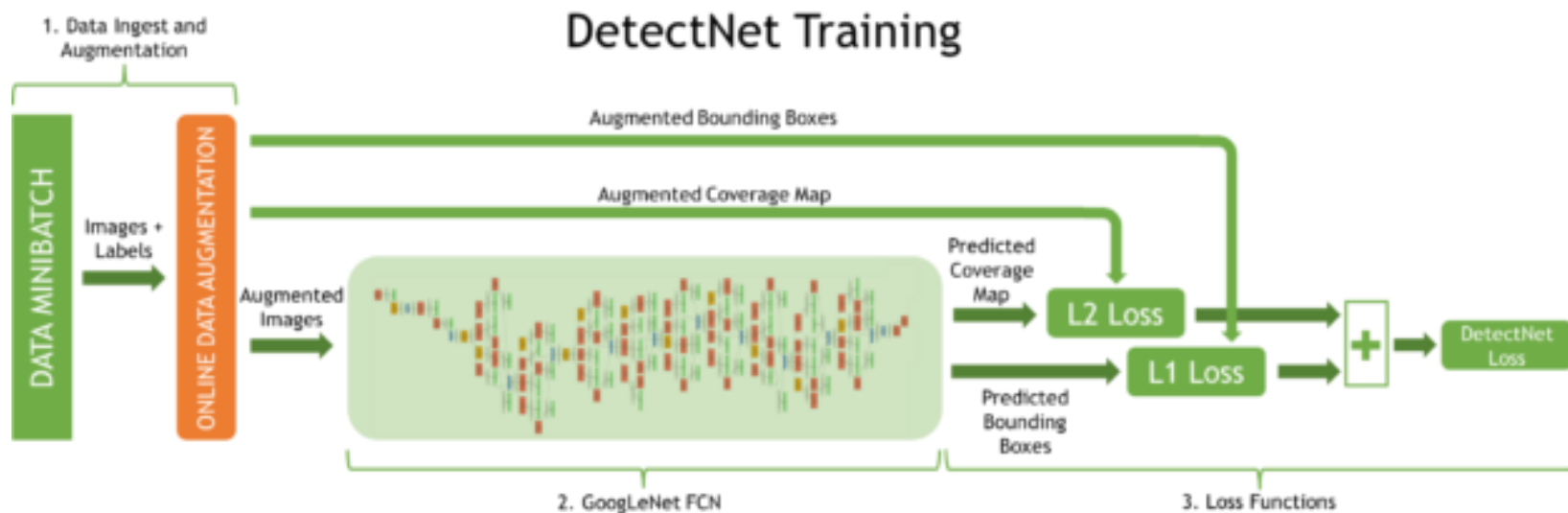
# Данные для обучения

```
Car 0.00 0 1.55 614.24 181.78 727.31 284.77 1.57 1.73 4.15  
1.00 1.75 13.22 1.62  
DontCare -1 -1 -10 5.00 229.89 214.12 367.61 -1 -1 -1 -1000 -  
1000 -1000 -10  
DontCare -1 -1 -10 522.25 202.35 547.77 219.71 -1 -1 -1 -1000 -  
1000 -1000 -10
```

# Данные для обучения

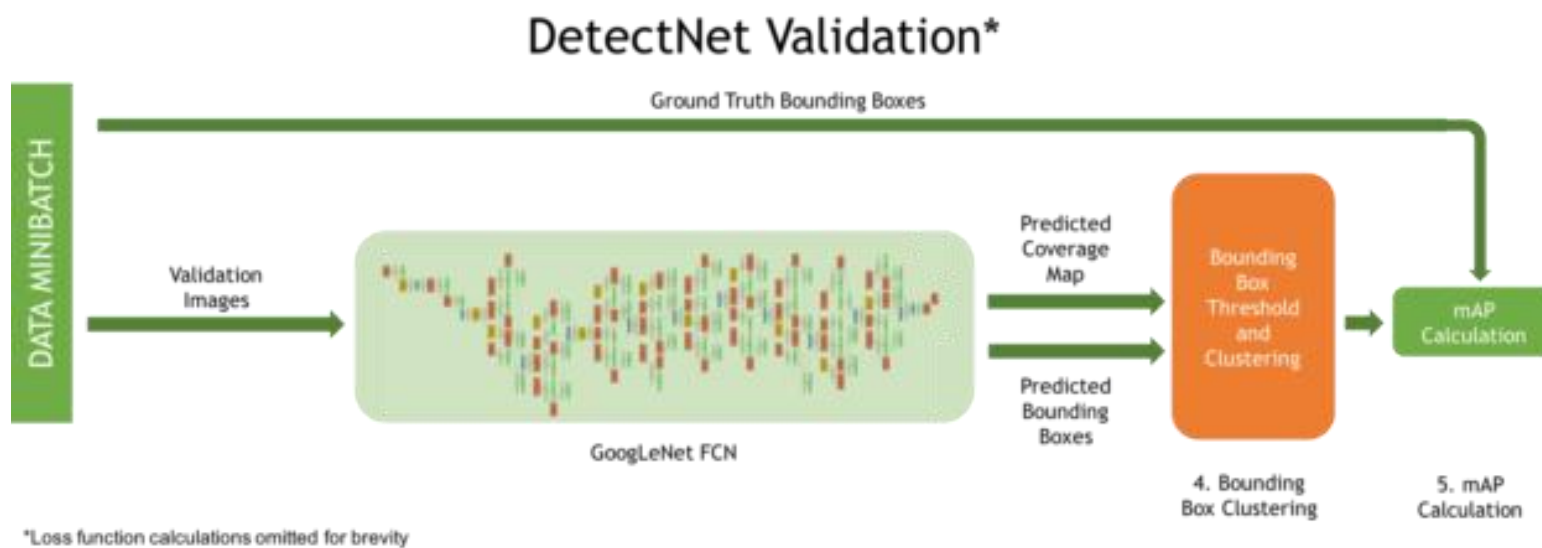
Car	0.00	0	1.55
Тип объекта	Обрезан или нет	Закрит или нет	Угол зрения (от -
пи до пи)			
614.24	181.78	727.31	284.77
координаты в пикселах		1.57	1.73
1.00	1.75	13.22	1.62
3D координаты объекта			в координатах камеры (в метрах)

# Обучение сети DetectNet





# Обучение сети DetectNet



# Дополнительная информация

## NVIDIA Deep Learning Institute:

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



DEEP  
LEARNING  
INSTITUTE

## Примеры кода из демонстраций:

- [https://github.com/sozykin/dlpython\\_course](https://github.com/sozykin/dlpython_course)
- Курс с видео и упражнениями -  
<https://www.asozykin.ru/courses/nnpython>

## Суперкомпьютерная академия МГУ:

- <http://academy.hpc-russia.ru/>
- Трек Уральского Федерального Университета (Екатеринбург) по нейронным сетям



Летняя  
Суперкомпьютерная  
Академия