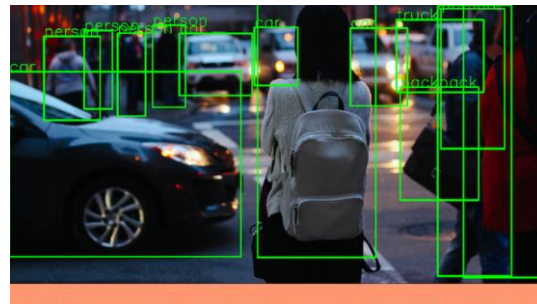
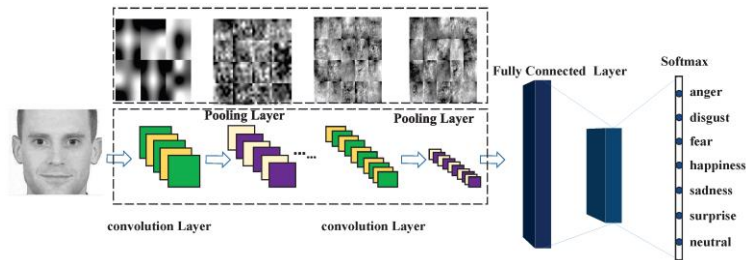


Основы искусственного интеллекта



Лекция

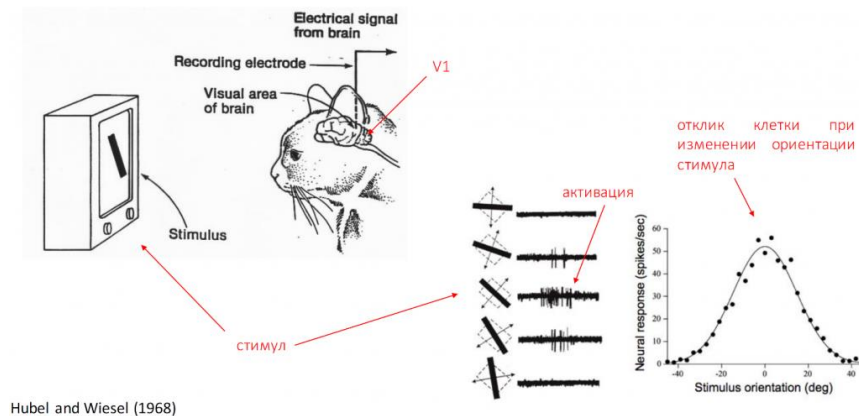
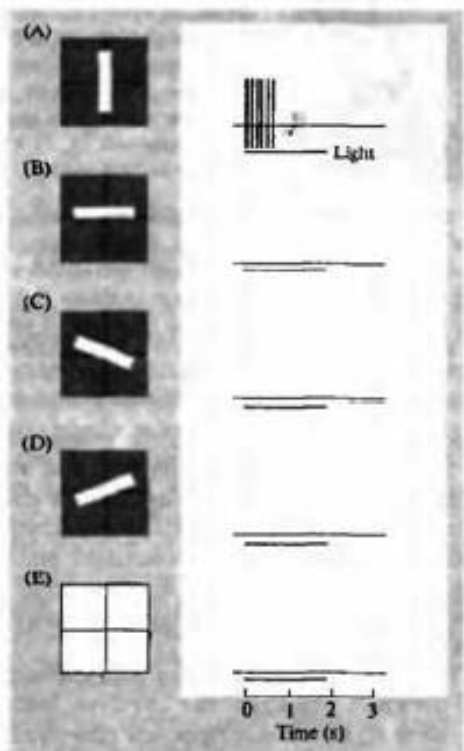
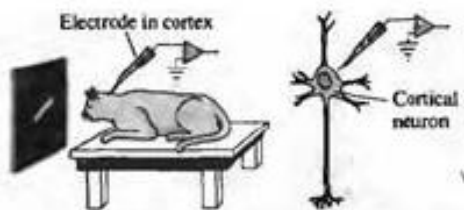
Сверточные нейронные сети

к.ф.-м.н., доцент кафедры ИСиЦТ
Корнаева Е.П.

Сверточные нейронные сети

Сверточные Нейронные Сети (СНС) / Convolution Neural networks (CNN)

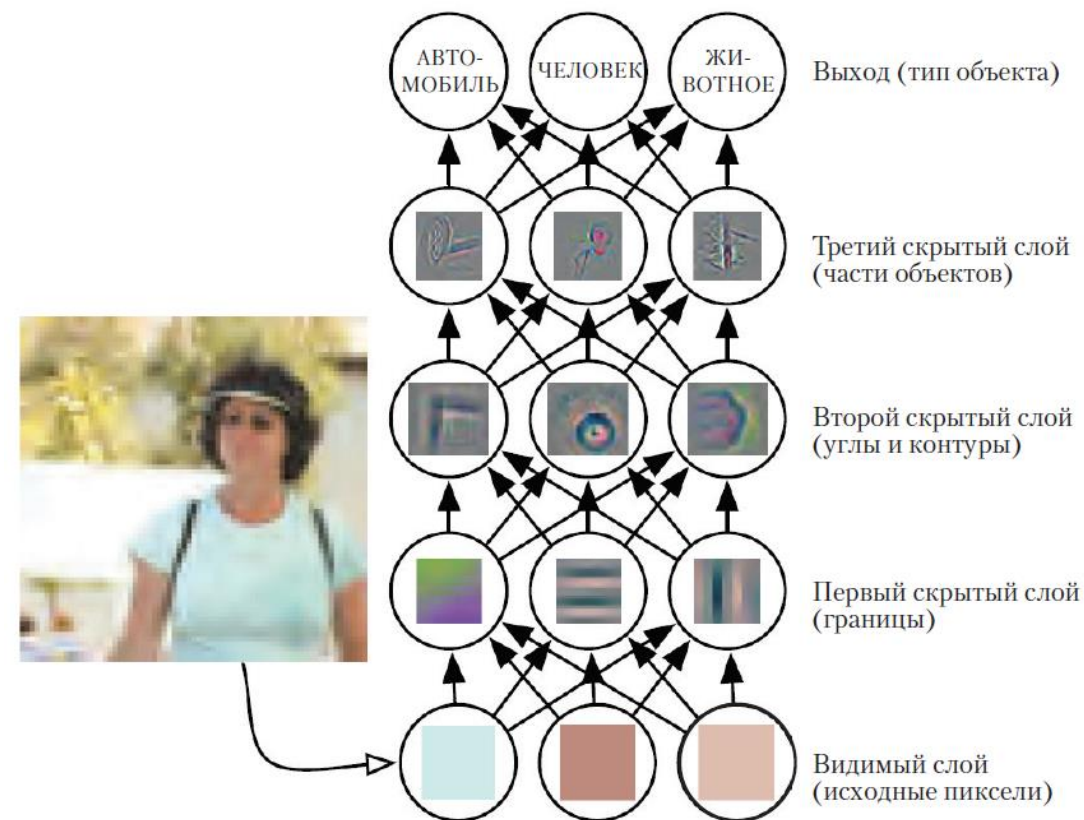
СНС использует особенности зрительной коры, в которой простые клетки активируются на простые признаки (например, линии), а сложные на комбинацию активаций простых. СНС связана с математической операцией свертки для понижения размеров матриц. СНС обычно являются глубокими.



Hubel and Wiesel (1968)

<https://waksoft.susu.ru/2017/03/01/neyronnyie-seti-prakticheskoe-primenenie/>

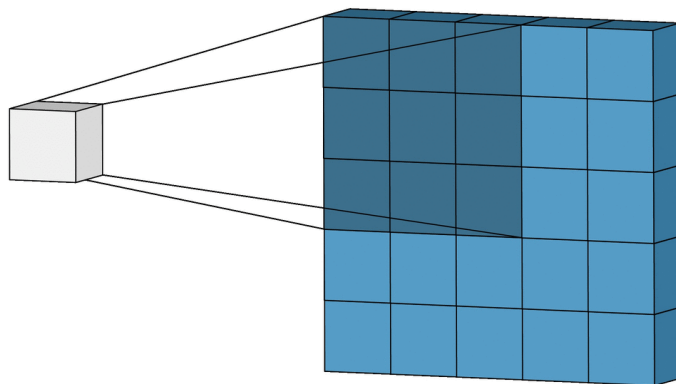
<https://www.youtube.com/watch?v=IOHayh06LJ4>



Сверточные нейронные сети

Сверточные нейронные сети (CNN) – это просто нейронные сети, в которых вместо общей операции умножения на матрицу, по крайней мере в одном слое, используется свертка.

Свертка / **Convolution** операция использует особенности зрительной коры, в которой простые клетки активируются на простые признаки (например, линии), а сложные на комбинацию активаций простых. СНС связана с математической операцией свертки для понижения размеров матриц. СНС обычно являются глубокими.



3	3	2	1	0
0	0	1	3	1
3	1	2	2	3
2	0	0	2	2
2	0	0	0	1

θ : Ядро/Kernel (3x3)

0	1	2
2	2	0
0	1	2

12	12	17
10	17	19
9	6	14

3_0	3_1	2_2	1	0
0_2	0_2	1_0	3	1
3_0	1_1	2_2	2	3
2	0	0	2	2
2	0	0	0	1

12.0	12.0	17.0
10.0	17.0	19.0
9.0	6.0	14.0

X : матрица/тензор
входов





Полное скалярное произведение:





$$X^{(k)} \cdot \theta = x_{ij}^{(k)} \theta_{ij}$$

Размер ядра (матрица весов) СНН определяет количество признаков, которые будут объединены для получения нового признака на выходе.

Сверточные нейронные сети

Ядро (kernel), матрица свертки (convolution matrix) или маска (mask) - это небольшая матрица, используемая для размытия, повышения резкости, тиснения, обнаружения краев и многого другого. Это достигается путем свертки между ядром и изображением.

Identity	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	
Edge detection	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	

Sharpen	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	
Box blur (normalized)	$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	
Gaussian blur 3 × 3 (approximation)	$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	
Gaussian blur 5 × 5 (approximation)	$\frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$	

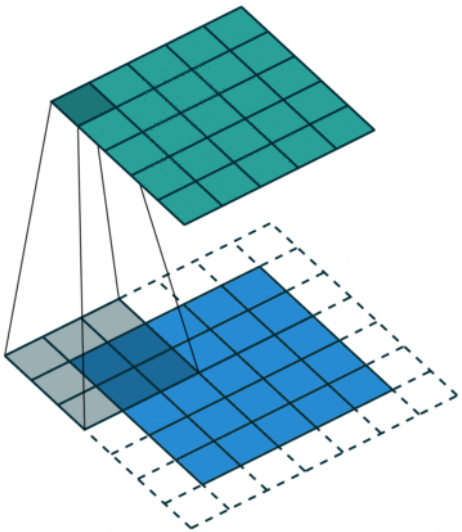
[https://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_\(image_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_(image_processing))

Сверточные нейронные сети

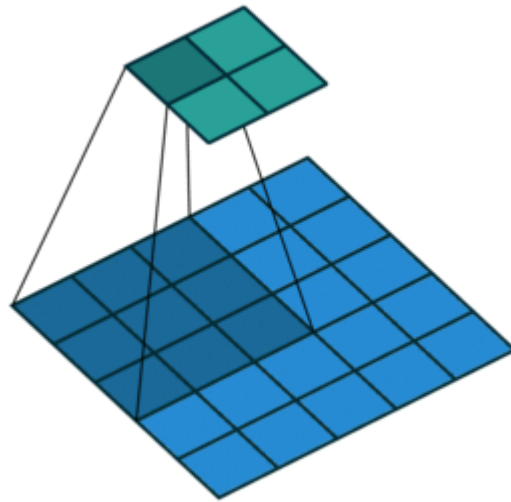
Часто используемые техники

Операцию свертки обычно комбинируют с операциями дополнения, шагания и группирования.

Дополнение / **Padding**



Шагание / **Striding**



Группирование / **Pooling**

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

Max Pool
→
Filter - (2 x 2)
Stride - (2, 2)

9	7
8	6

Сверточные нейронные сети

Прямые вычисления в СНС / Forward propagation in CNN

Упражнение. Найти результат свертки изображения цифры «4» размером [3 3].

Kernel $\Theta^{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$, padding (1), stride [1 1].

0	0	0	0	0
0	0.5	1	0.5	0
0	0.5	0.5	0.5	0
0	1	1	0.5	0
0	0	0	0	0

0	0	0	0	0,5	1	0	0,5	0,5
0	0	0	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5
0	0	0	1	0,5	0	0,5	0,5	0
0	0,5	1	0	0,5	0,5	0	1	1
0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5
1	0,5	0	0,5	0,5	0	1	0,5	0
0	0,5	0,5	0	1	1	0	0	0
0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0	0	0
0,5	0,5	0	1	0,5	0	0	0	0

\tilde{X}

×

0
1
0
1
2
1
0
1
0

$\Theta^{(1)}$

=

2,5
3,5
2,5
3
4
2,5
3,5
4
2,5

⇒

2,5	3,5	2,5
3	4	2,5
3,5	4	2,5

$Z^{(1)}$

Сверточные нейронные сети

Прямые вычисления в СНС / *Forward propagation in CNN*

Многоканальная версия сверточной нейронной сети



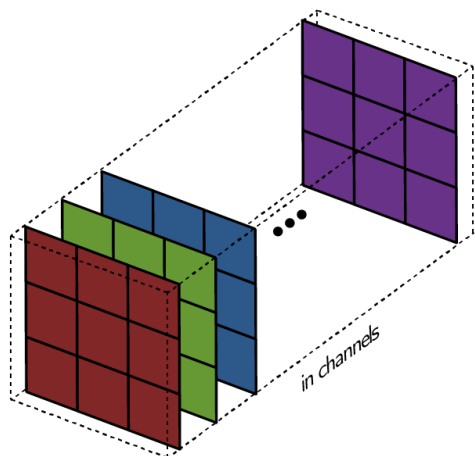
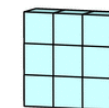
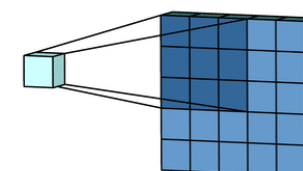
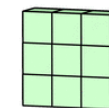
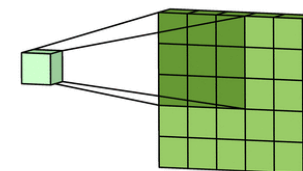
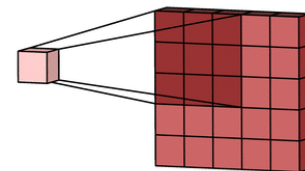
Red



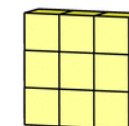
Green



Blue



- Каждый фильтр представляет собой коллекцию ядер, причем для каждого отдельного входного канала слоя есть одно ядро, и каждое ядро уникально;
- Количество выходных каналов слоя равно количеству фильтров.



! В случае с 1 каналом термины «фильтр» и «ядро» взаимозаменяемы, в общем случае они разные

Рис.1. Фильтр для трехканального входа

Прямые вычисления в СНС / Forward propagation in CNN

Пример свертки.

Дано: цв. изобр. [5 5 3],
свертка 2 фильтрами
[3 3 3], дополнение (1),
шаг [2 2].

Input Volume (+pad 1) (7x7x3)

$x[:, :, 0]$

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	2	0
0	1	0	2	0	1	0

0	1	0	2	2	0	0
0	2	0	0	2	0	0
0	2	1	2	2	0	0
0	0	0	0	0	0	0

$x[:, :, 1]$

0	0	0	0	0	0	0
0	2	1	2	1	1	0
0	2	1	2	0	1	0

0	0	2	1	0	1	0
0	1	2	2	2	2	0
0	0	1	2	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0

$x[:, :, 2]$

0	0	0	0	0	0	0
0	2	1	1	2	0	0
0	1	0	0	1	0	0

0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	2	1	0	0
0	2	2	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0

Filter W0 (3x3x3)

$w0[:, :, 0]$

-1	0	1
0	0	1
1	-1	1

$w0[:, :, 1]$

-1	0	1
1	-1	1
0	1	0

$w0[:, :, 2]$

-1	1	1
1	1	0
0	-1	0

Bias b0 (1x1x1)

$b0[:, :, 0]$

1

Filter W1 (3x3x3)

$w1[:, :, 0]$

0	1	-1
0	-1	0
0	-1	1

$w1[:, :, 1]$

-1	0	0
1	-1	0
1	-1	0

$w1[:, :, 2]$

-1	1	-1
0	-1	-1
1	0	0

Bias b1 (1x1x1)

$b1[:, :, 0]$

0

Output Volume (3x3x2)

$o[:, :, 0]$

2	3	3
3	7	3
8	10	-3

$o[:, :, 1]$

-8	-8	-3
-3	1	0
-3	-8	-5

toggle movement

Результатом свертки изображения [q q] ядром/kernel [k k],
с дополнением/padding (p) и шагом/stride [s s] является матрица
размером [r r]: $r = \frac{q-k+2p}{s} + 1 = \frac{5-3+2}{2} + 1 = 3$.

Количество операций свертки: $r^2 = 9$.

$X, [5 \ 5 \ 3] \rightarrow X, [7 \ 7 \ 3] \rightarrow \tilde{X}^{(1)}, [9 \ 27];$

$\Theta^{(1)}, [3 \ 3 \ 3 \ 2] \rightarrow \Theta^{(1)}, [27 \ 2];$

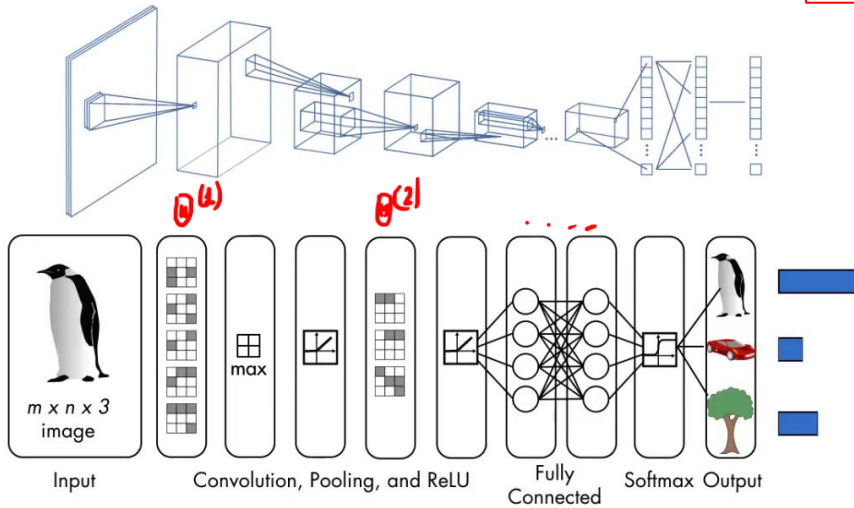
$Z^{(2)} = \tilde{X}^{(1)} \Theta^{(1)}, [9 \ 2] \rightarrow Z^{(2)} = Z^{(2)} + \Theta_0^{(1)}, [9 \ 2] \rightarrow Z^{(2)}, [3 \ 3 \ 2].$

Сверточные нейронные сети

Обучение СНС / CNN Training algorithm

Для задачи классификации

$$J(\Theta^{(k)}) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_l} \left(y_j^{(i)} \ln(h_j^{(i)}) + (1 - y_j^{(i)}) (\ln(1 - h_j^{(i)})) \right) \Rightarrow \min.$$



Алгоритм обучения.

1. Задать начальные значения компонент матрицы $\Theta^{(k)}$ случайным образом.
2. Рассчитать вектор градиента $\nabla J = \left[\left[\partial J / \partial \theta_{ij}^{(k)} \right] \right]$ методом обратного распространения ошибки.
3. Найти новые значения компонент $\Theta^{(k)}$: $\theta_{ij}^{(k)s+1} = \theta_{ij}^{(k)s} - \alpha \frac{\partial J}{\partial \theta_{ij}^{(k)}}$.
4. Повторять пп. 2-3 до достижения минимума J : $J^{s+1} - J^s < \delta$ или #итерации $> N_{max}$.
5. Вывод результатов: $\Theta^{(k)}$.

Смотрите больше по ссылкам:

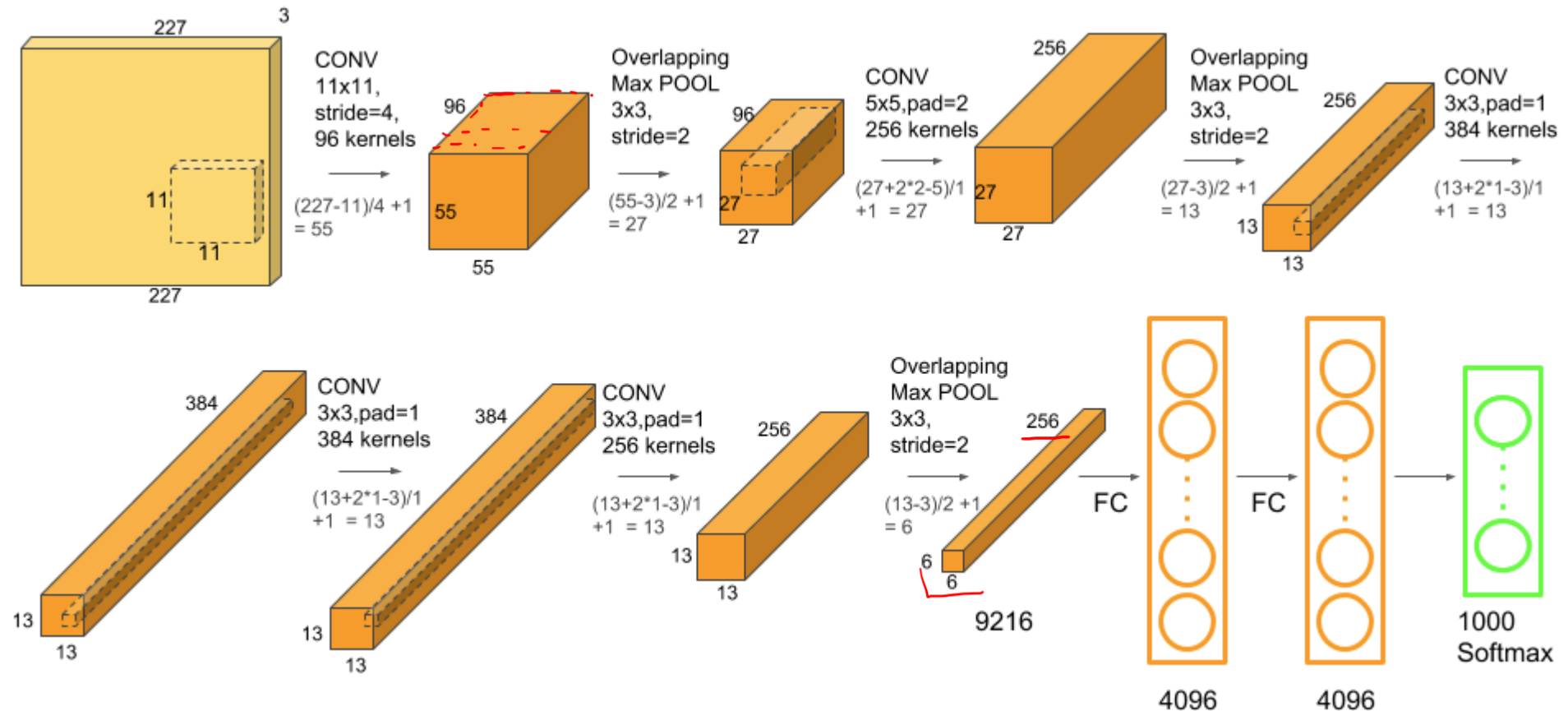
[Convolutional neural networks](#): видео с визуализацией, на английском языке

[Convolutions Over Volumes](#): видео фрагмент специализации «Deep Learning» на платформе «Coursera» от проф. Andrew Ng

[Нейросети на практике \(настройка сетей\)](#): лекция Семена Козлова (Simon)

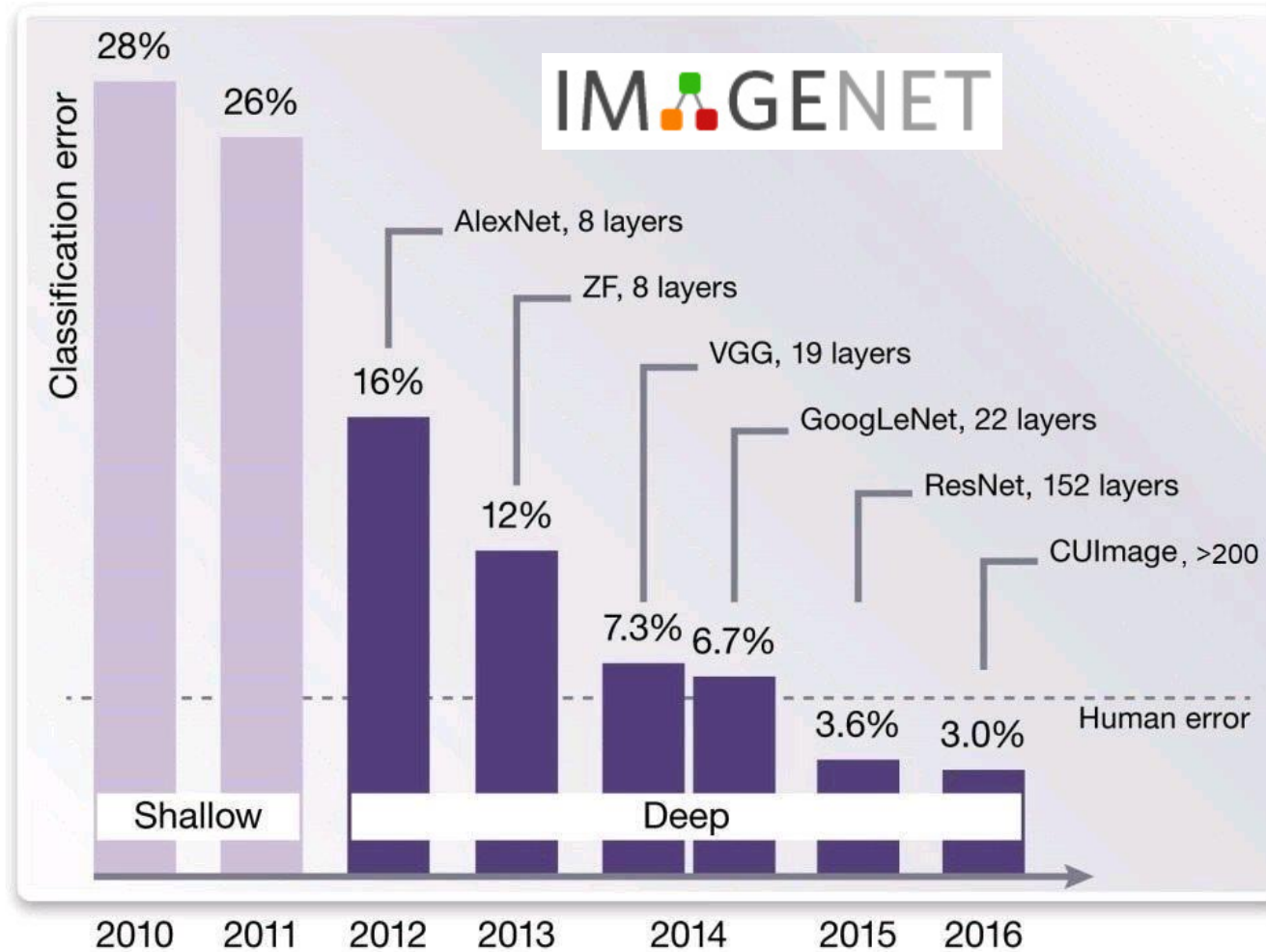
Сверточные нейронные сети

AlexNet (designed by Alex Krizhevsky) – глубокая сверточная нейронная сеть для распознавания 1000 классов, признанная лучшей в 2012 г. в конкурсе [ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge](#).



Сверточные нейронные сети

Эволюция сетей на примере конкурса [ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge](https://www.image-net.org/challenge/).



На август 2017 года в ImageNet 14 197 122 изображения, разбитых на 21 841 категорию
[<https://ru.wikipedia.org/wiki/ImageNet>]