

Свёрточные нейронные сети

Курс «Интеллектуальные информационные системы»

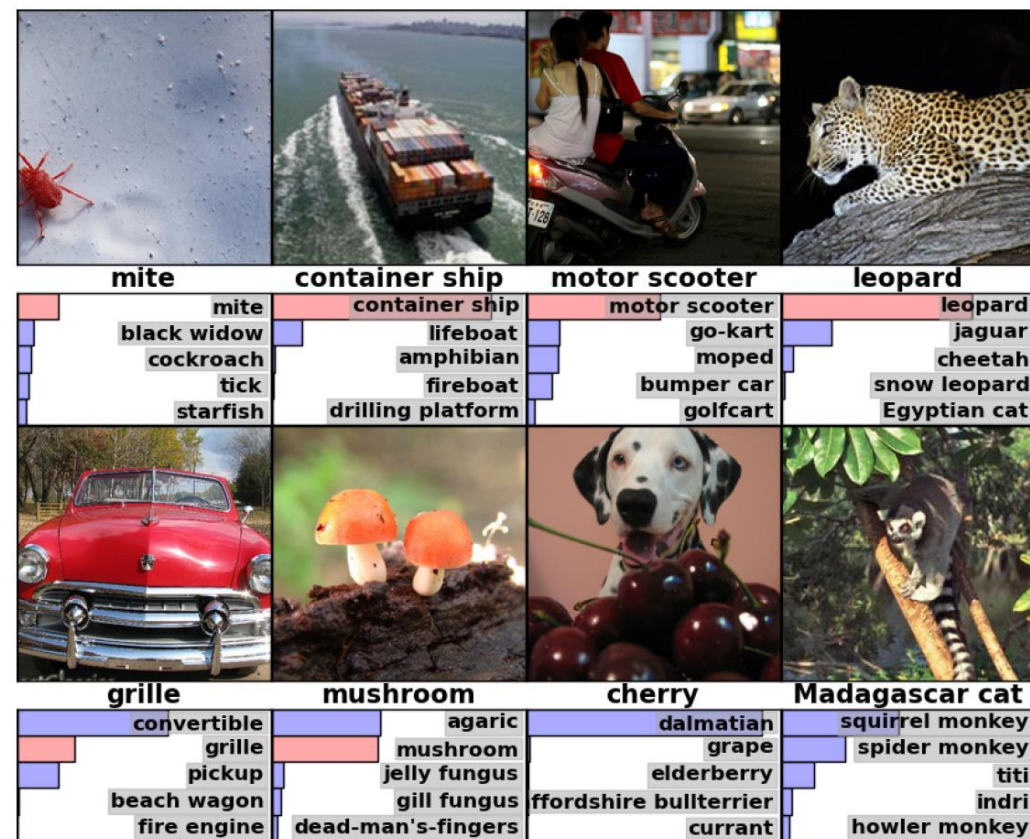
Кафедра управления и информатики НИУ «МЭИ»

Осень 2018 г.

Свёрточные нейронные сети

Convolutional Neural Networks (CNN) - специальная архитектура искусственных нейронных сетей, предложенная Яном Лекуном в 1988 году и нацеленная на эффективное распознавание изображений.

Впервые сверточные нейронные сети (СНС) привлекли всеобщее внимание в 2012 году, когда Алекс Крижевски благодаря им выиграл конкурс ImageNet (грубо говоря, это ежегодная олимпиада по машинному зрению), снизив рекорд ошибок классификации с 26% до 15%, что тогда стало прорывом. На август 2018 года в ImageNet 14 197 122 изображения, разбитых на 21 841 категорию.



<http://neuralnetworksanddeeplearning.com/> - "Нейронные сети и глубинное обучение" Майкла Нильсена

<https://habrahabr.ru/post/309508/> - «Что такое свёрточная нейронная сеть»

Свёрточные нейронные сети



What We See

```
08 02 22 97 38 15 00 40 00 75 04 05 07 78 52 12 50 77 91 08
49 49 99 40 17 81 18 57 60 87 17 40 98 43 69 48 04 56 62 00
81 49 31 73 55 79 14 29 93 71 40 67 53 88 30 03 49 13 34 65
52 70 95 23 04 60 11 42 69 24 68 56 01 32 56 71 37 02 34 91
22 31 16 71 51 67 63 89 41 92 36 54 22 40 40 28 66 33 13 80
24 47 32 60 99 03 45 02 44 75 33 53 78 36 84 20 35 17 12 50
32 98 81 28 64 23 67 10 26 38 40 67 59 54 70 66 18 38 64 70
67 26 20 68 02 62 12 20 95 63 94 39 43 08 40 91 66 49 94 21
24 55 38 05 66 73 99 26 97 17 78 78 96 83 14 88 34 89 63 72
21 36 23 09 75 00 76 44 20 45 35 14 00 61 33 97 34 31 33 95
78 17 53 28 22 75 31 67 15 94 03 80 04 62 16 14 09 53 56 92
16 39 05 42 96 35 31 47 55 58 88 24 00 17 54 24 36 29 85 57
86 56 00 48 35 71 89 07 05 44 44 37 44 60 21 58 51 54 17 58
19 80 81 68 05 94 47 69 28 73 92 13 86 52 17 77 04 89 55 40
04 52 08 83 97 35 99 16 07 97 57 32 16 26 26 79 33 27 98 66
88 36 68 87 57 62 20 72 03 46 33 67 46 55 12 32 63 93 53 69
04 42 16 73 38 25 39 11 24 94 72 18 08 46 29 32 40 62 76 36
20 69 36 41 72 30 23 88 34 62 99 69 82 67 59 85 74 04 36 16
20 73 35 29 78 31 90 01 74 31 49 71 48 86 81 16 23 57 05 54
01 70 54 71 83 51 54 69 16 92 33 48 61 43 52 01 89 19 67 48
```

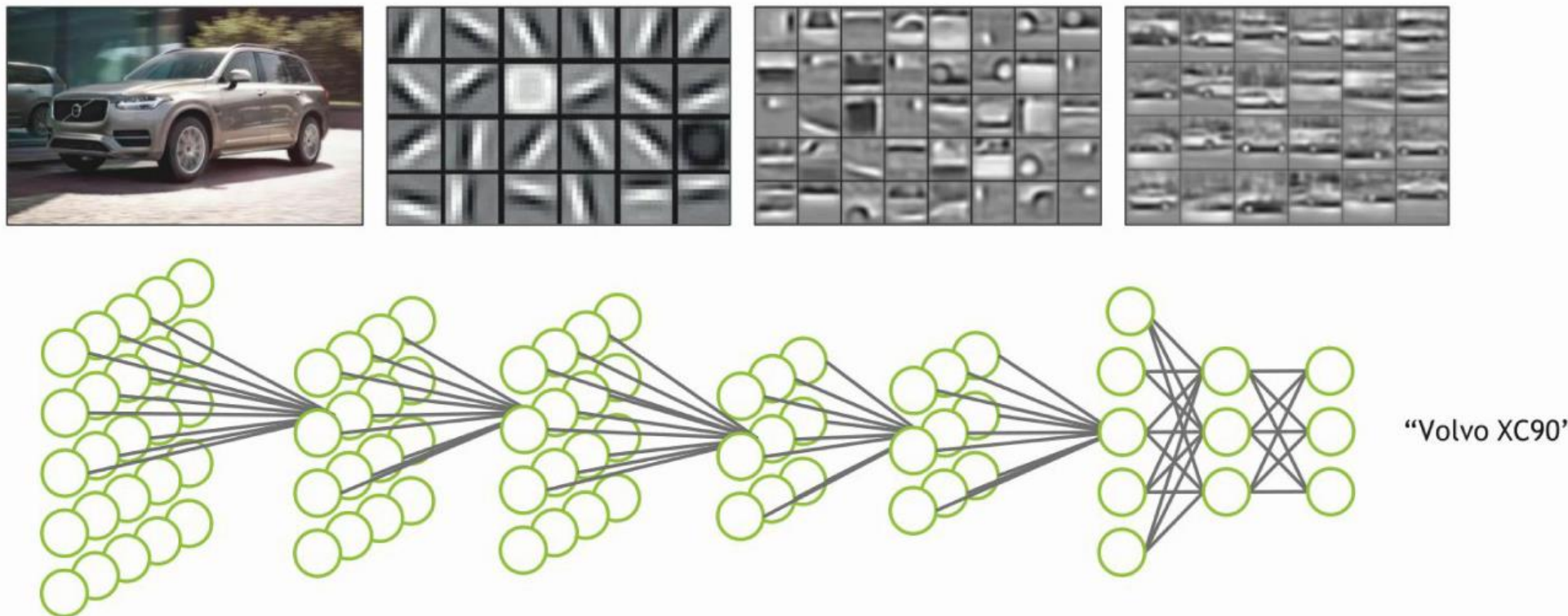
Интенсивность пикселей

What Computers See

Свёрточные нейронные сети

СНС в какой то мере - прототип зрительной коры мозга. Они используют некоторые особенности зрительной коры, в которой были открыты так называемые простые клетки, реагирующие на прямые линии под разными углами, и сложные клетки, реакция которых связана с активацией определённого набора простых клеток.

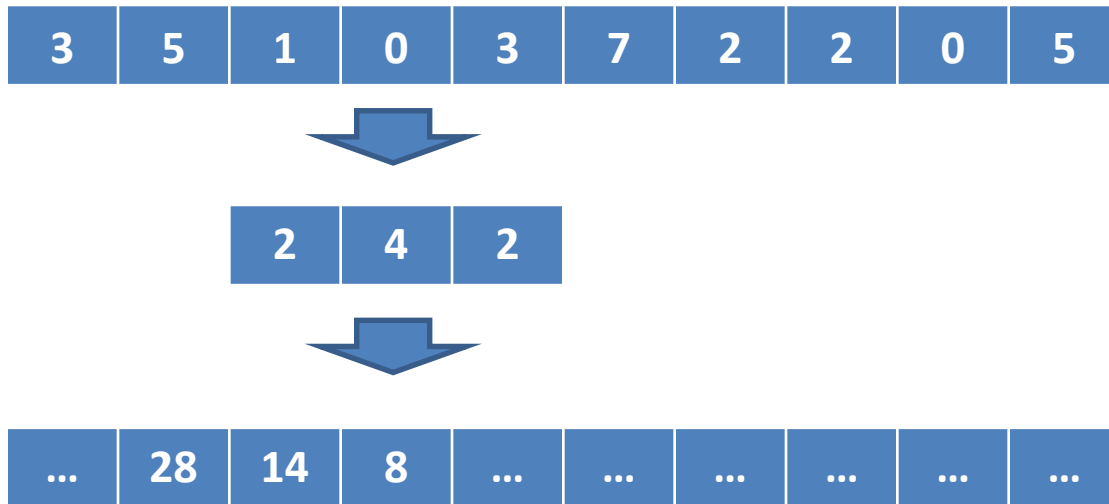
Эту идею детально рассмотрели с помощью потрясающего эксперимента Хьюбел и Визель в 1962 году, в котором показали¹, что отдельные мозговые нервные клетки реагировали (или активировались) только при визуальном восприятии границ определенной ориентации.



¹ <https://www.youtube.com/watch?v=Cw5PKV9Rj3o>

Операция свертки

Название архитектура сети получила из-за наличия операции свёртки, суть которой в том, что каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро, фильтр, «окно») свёртки поэлементно, а результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения. Свертка – способ выделения признаков. Идея в том, чтобы пройти по всему изображению «окном» и посмотреть, насколько данная область изображения похожа на «окно».



Ядро свертки

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

7	6	5	5	6	7
6	4	3	3	4	6
5	3	2	2	3	5
5	3	2	2	3	5
6	4	2	2	3	5
7	6	3	3	4	6
	6	5	5	6	7

Входное
изображение

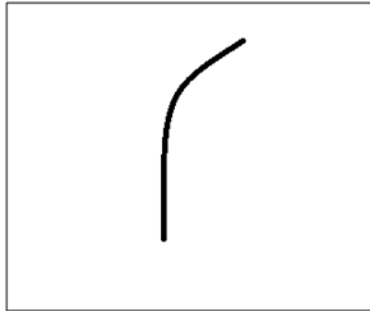
“Карта признаков”
(Feature map)

Пример свертки изображения

Каждый фильтр (ядро) можно рассматривать как идентификатор свойства:

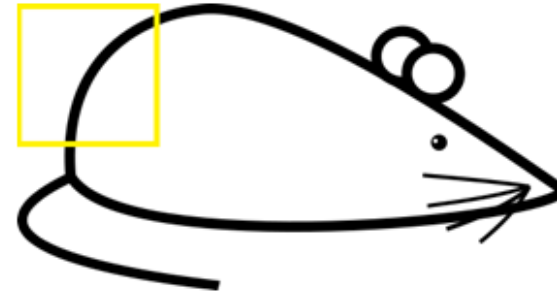
0	0	0	0	0	30	0
0	0	0	0	30	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Pixel representation of filter



Visualization of a curve detector filter

Исходное изображение:



Visualization of the filter on the image

1)



Visualization of the receptive field

0	0	0	0	0	0	30
0	0	0	0	50	50	50
0	0	0	20	50	0	0
0	0	0	50	50	0	0
0	0	0	50	50	0	0
0	0	0	50	50	0	0
0	0	0	50	50	0	0

Pixel representation of the receptive field

*

0	0	0	0	0	30	0
0	0	0	0	30	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Pixel representation of filter

Multiplication and Summation = $(50 \cdot 30) + (50 \cdot 30) + (50 \cdot 30) + (20 \cdot 30) + (50 \cdot 30) = 6600$ (A large number!)

Пример свертки изображения (2)

2)



Visualization of the filter on the image

0	0	0	0	0	0	0
0	40	0	0	0	0	0
40	0	40	0	0	0	0
40	20	0	0	0	0	0
0	50	0	0	0	0	0
0	0	50	0	0	0	0
25	25	0	50	0	0	0

Pixel representation of receptive field

*

0	0	0	0	0	30	0
0	0	0	0	30	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	30	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Pixel representation of filter

Multiplication and Summation = 0

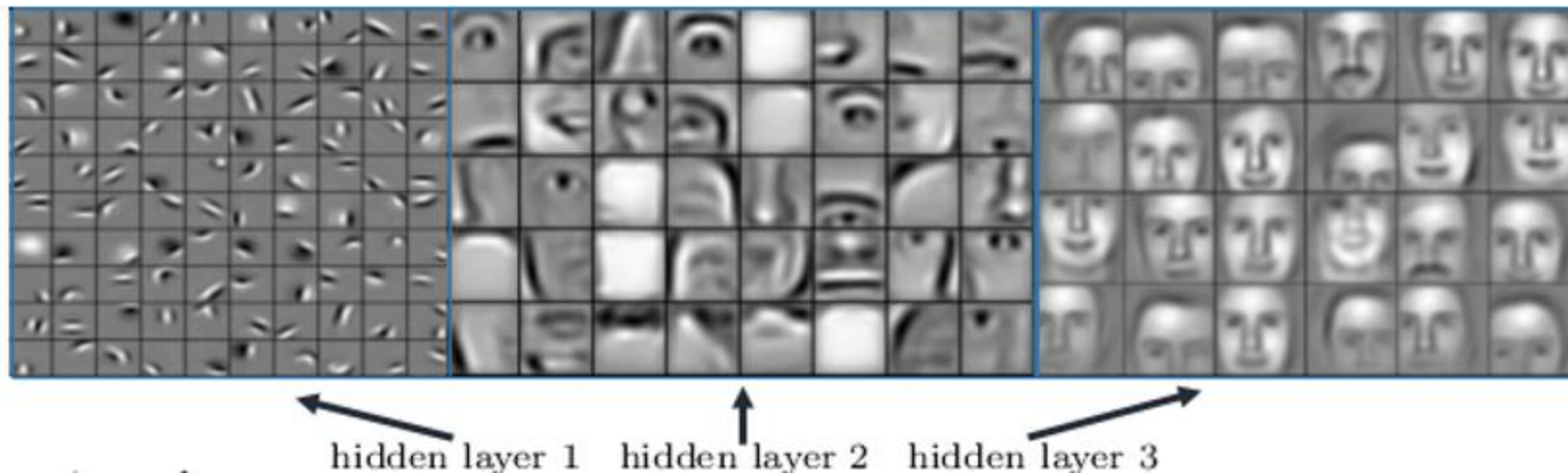
В первом случае большое значение после свертки говорит, что в данной области присутствует что-то похожее на кривую.

Во втором случае – похожей кривой не было.

Данный результат получен только для одного фильтра. Это фильтр, который обнаруживает линии с изгибом наружу. Могут быть другие фильтры для линий, изогнутых внутрь или просто прямых. Чем больше фильтров, тем больше глубина карты свойств, и тем больше информации мы имеем о вводной картинке.

Сверточные нейронные сети

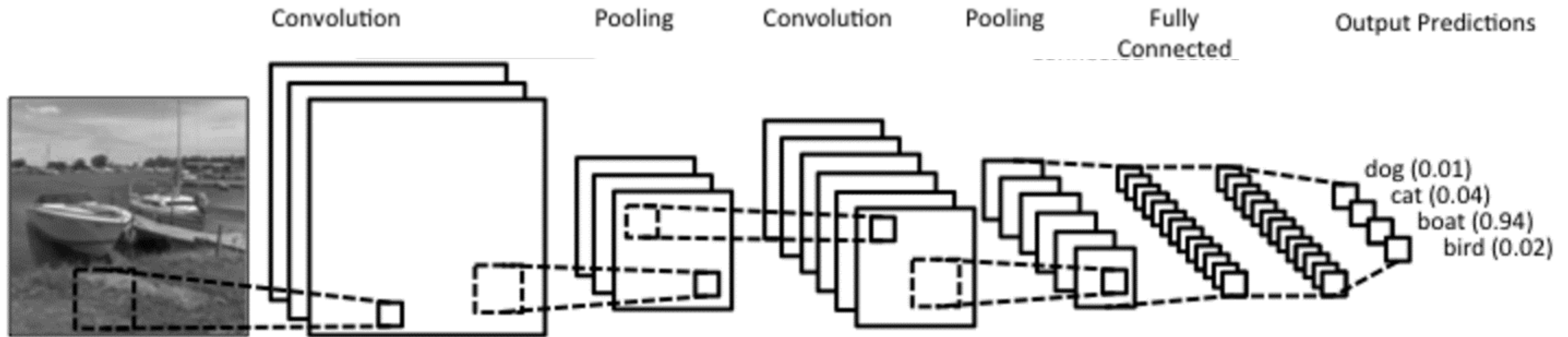
Примеры фактических визуализаций фильтров нескольких свёрточных слоев обученной сети:



Чем дальше мы движемся вглубь нейросети, тем более сложные характеристики объектов будут выделяться: кольца, квадраты, пересечения линий. В конце сети могут быть фильтры, которые активируются при наличии лица, рукописного текста, автомобиля итд.

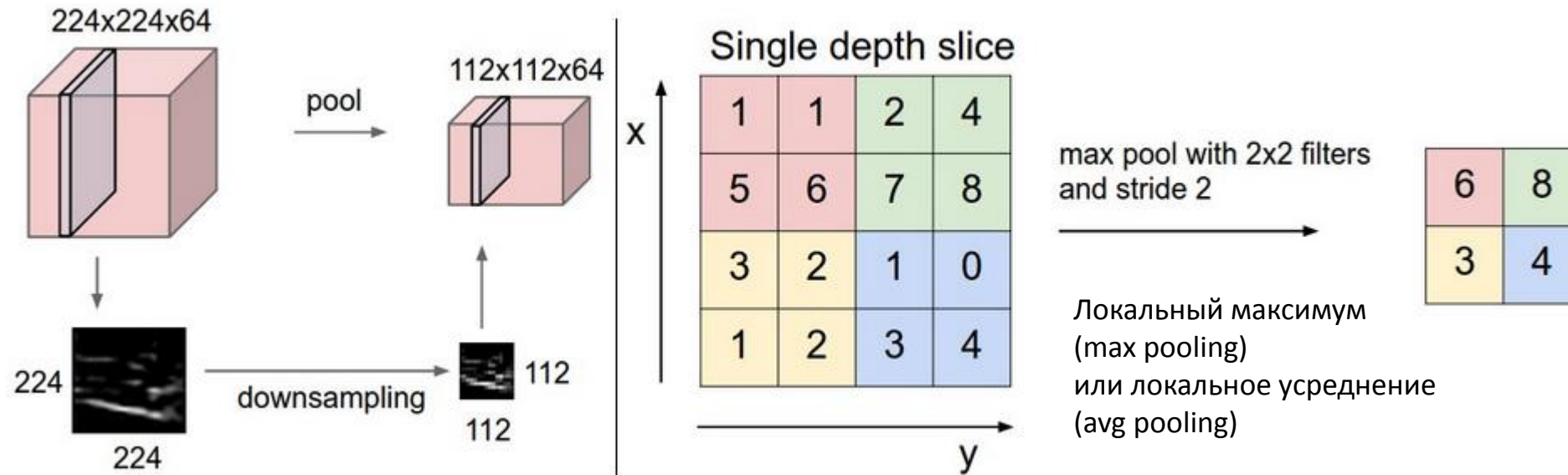
<https://www.youtube.com/watch?v=AgkflQ4IGaM>

Схема сверточной нейронной сети



- Input – входное изображение (например, $128 \times 128 \times 1$, где 128 — ширина и высота изображения, 1 — один цветовой канал)
- Convolutional – сверточный слой (если используется 3 фильтра, то объем будет равен $128 \times 128 \times 3$)
- Pooling или Subsampling – слой пулинга (подвыборки или субдискретизации). Размер уменьшается до, например, $64 \times 64 \times 3$.
- Fully Connected - полносвязный слой - выводит N-мерный вектор (N — число классов) для определения нужного класса (обычная нейросеть)

Пулинг



Использование этого слоя позволяет улучшить распознавание образцов с изменённым масштабом (уменьшенных или увеличенных).

Логика работы такова: если на предыдущей операции свертки уже были выявлены некоторые признаки, то для дальнейшей обработки настолько подробное изображение уже не нужно, и оно уплотняется до менее подробной картинки.

Полносвязный слой

Теперь, когда мы можем обнаружить высокоуровневые свойства, мы прикрепляем полносвязный слой в конце сети.

Этот слой берёт вводные данные и выводит N-мерный вектор с вероятностями каждого из N классов.

