

Pós Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação
Universidade Federal do Ceará – Campus Sobral

Redes Neurais Convolucionais

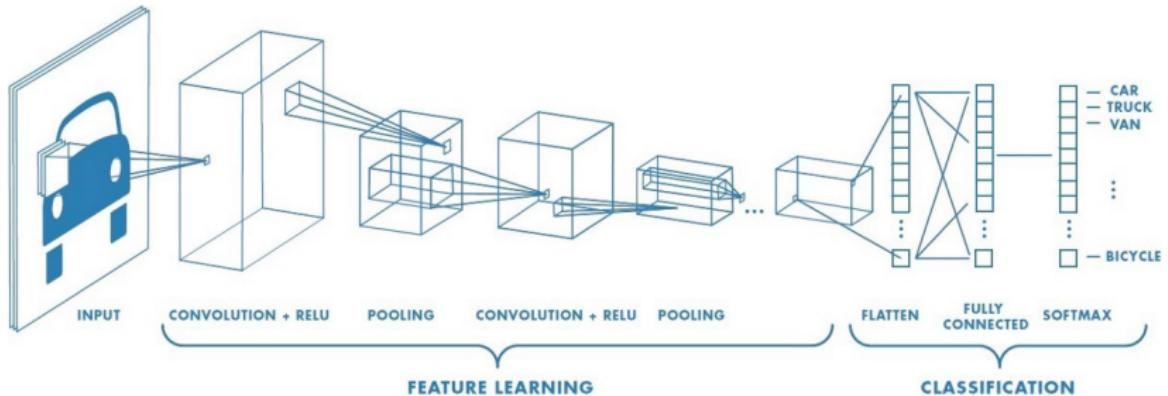
David Borges
davidborges@protonmail.com

05 de Junho, 2019



Redes neurais convolucionais

CNN Convolutional neural networks.



Fonte: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

Aplicações

Classification



Retrieval



Figures copyright Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey Hinton, 2012. Reproduced with permission.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Aplicações

Detection

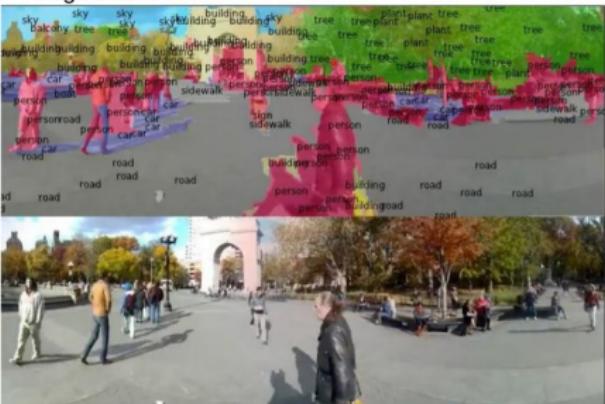


A white bus is driving on a road. A bounding box surrounds the entire bus, and a green rectangle highlights a specific area on the front left side. The text "bus: 0.66" and "person: 0.73" is displayed above the bus.

Figures copyright Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun, 2015. Reproduced with permission.

[Faster R-CNN: Ren, He, Girshick, Sun 2015]

Segmentation

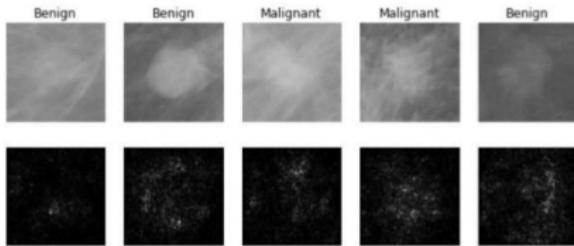


Figures copyright Clement Farabet, 2012.
Reproduced with permission.

[Farabet et al., 2012]

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Aplicações



[Levy et al. 2016]

Figure copyright Levy et al. 2016.
Reproduced with permission.



[Dieleman et al. 2014]

From left to right: [public domain by NASA](#), usage [permitted](#) by
ESA/Hubble, [public domain by NASA](#), and [public domain](#).

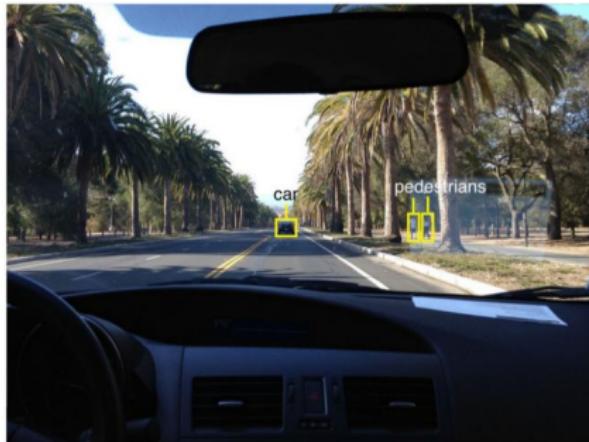


[Sermanet et al. 2011]
[Ciresan et al.]

Photos by Lane McIntosh.
Copyright CS231n 2017.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Aplicações



self-driving cars

Photo by Lane McIntosh. Copyright CS231n 2017.



This image by GPPublic_PR is licensed under [CC-BY 2.0](#)

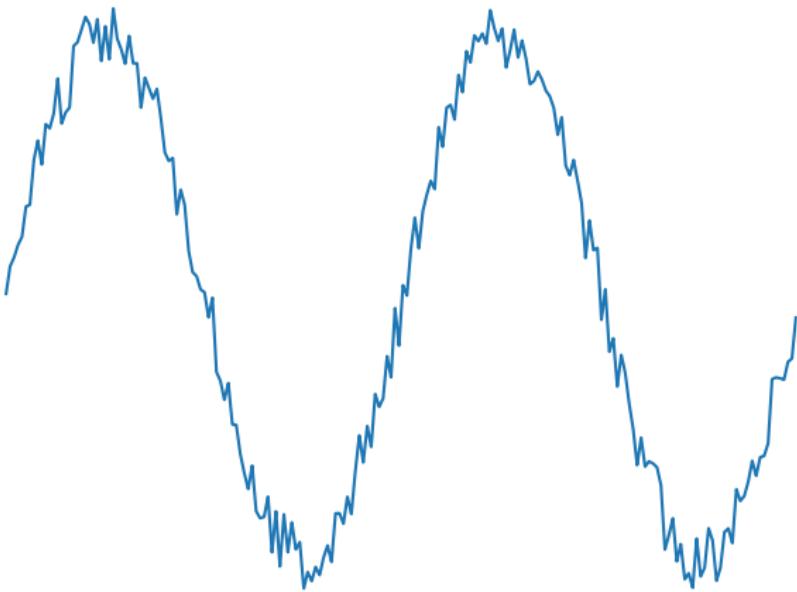
NVIDIA Tesla line

(these are the GPUs on rye01.stanford.edu)

Note that for embedded systems a typical setup would involve NVIDIA Tegras, with integrated GPU and ARM-based CPU cores.

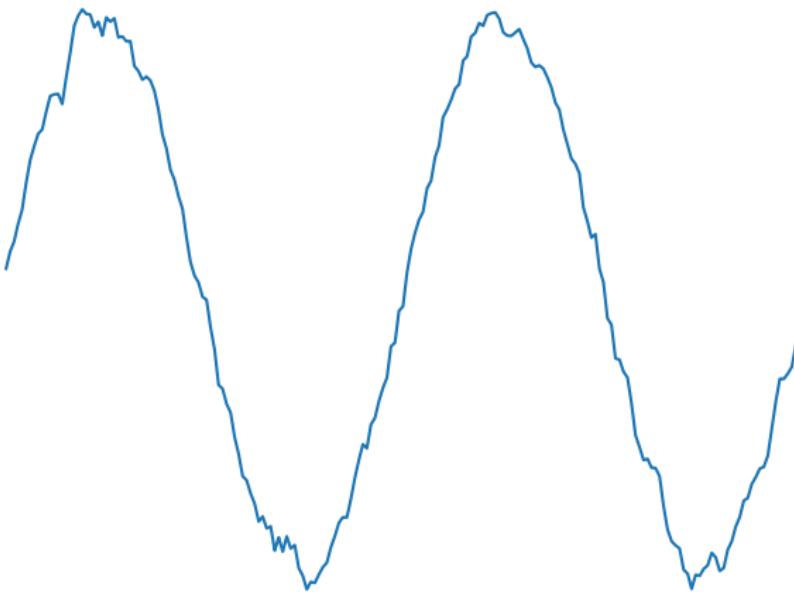
Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Filtros e convoluções



Ruído Como suavizar o sinal?

Filtros e convoluções



Média móvel aplicada com vizinhança de tamanho 3.

Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$

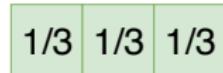
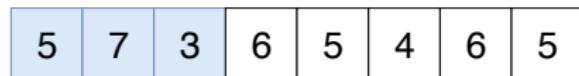
5	7	3	6	5	4	6	5
---	---	---	---	---	---	---	---

1/3	1/3	1/3
-----	-----	-----

Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

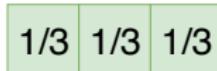
Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$



Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$



Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$

5	7	3	6	5	4	6	5
---	---	---	---	---	---	---	---

1/3	1/3	1/3
-----	-----	-----

5	5.3	4.7			
---	-----	-----	--	--	--

Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$

5	7	3	6	5	4	6	5
---	---	---	---	---	---	---	---

1/3	1/3	1/3
-----	-----	-----

5	5.3	4.7	5		
---	-----	-----	---	--	--

Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$

5	7	3	6	5	4	6	5
---	---	---	---	---	---	---	---

1/3	1/3	1/3
-----	-----	-----

5	5.3	4.7	5	5	
---	-----	-----	---	---	--

Filtros e convoluções

Média móvel é um caso especial da operação de convolução discreta.

Convolução $(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n-m]$

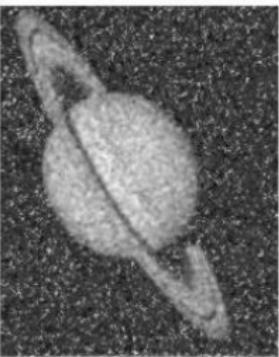
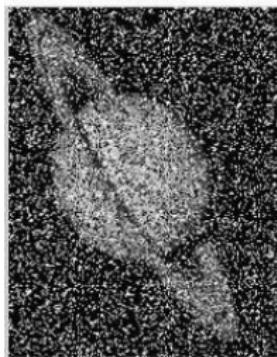
5	7	3	6	5	4	6	5
---	---	---	---	---	---	---	---

1/3	1/3	1/3
-----	-----	-----

5	5.3	4.7	5	5	5
---	-----	-----	---	---	---

Filtros e convoluções

Imagens A convolução em duas dimensões.



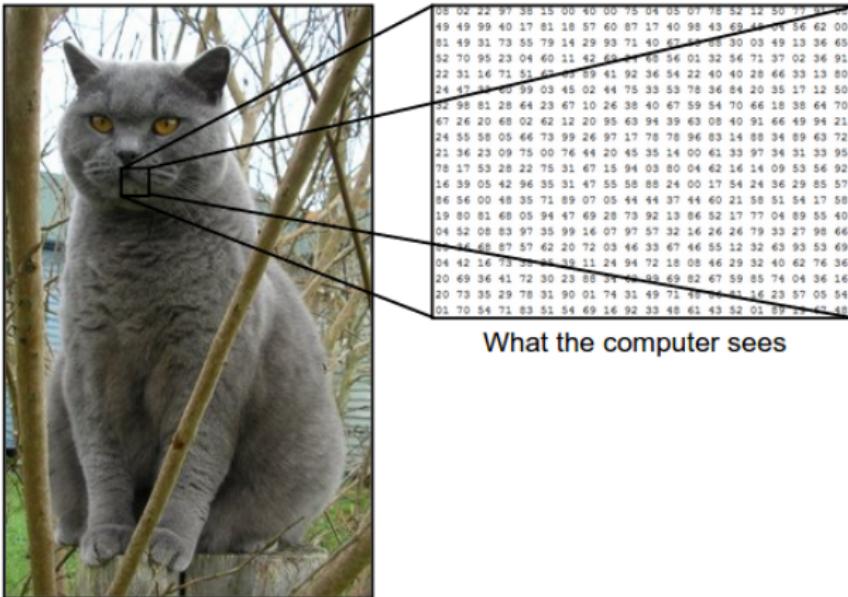
Fonte: <https://www.slideshare.net/kiraSM/signal-filtering>



Fonte: <https://www.slideshare.net/kiraSM/signal-filtering>

Filtros e convoluções

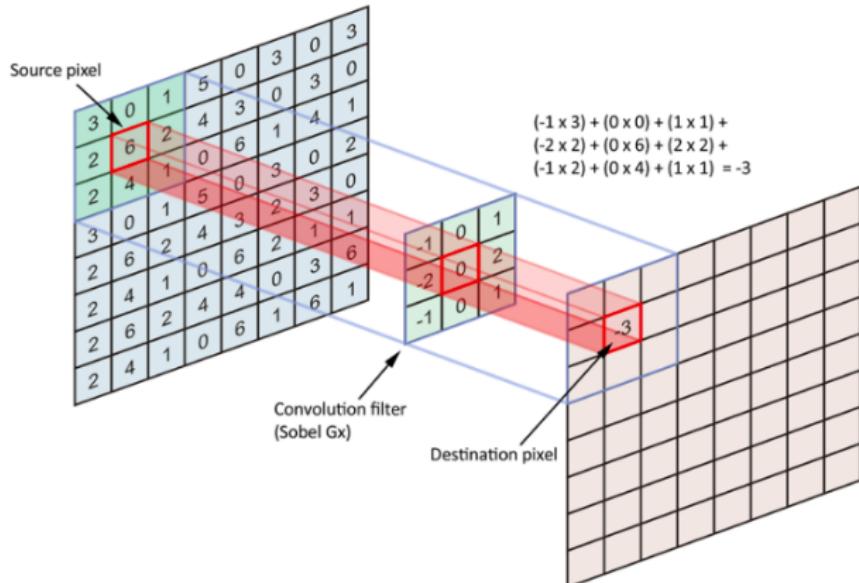
Imagens Sinais bidimensionais.



Fonte: <http://cs231n.github.io/classification/>

Filtros e convoluções

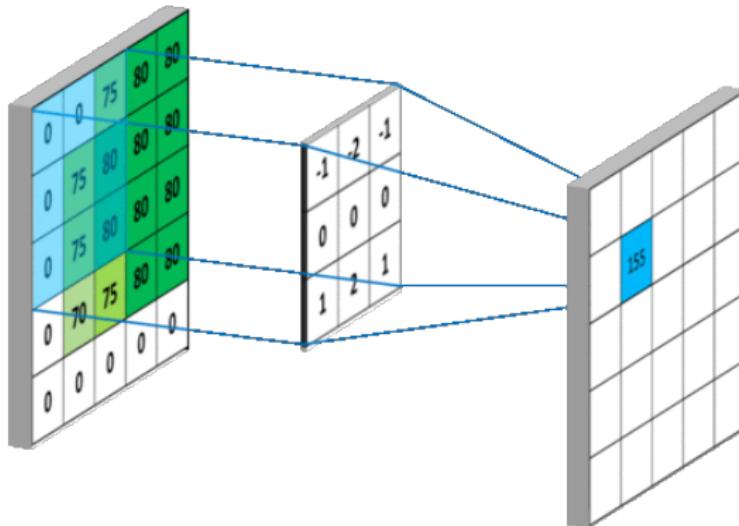
$$\text{Convolução 2D } (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://www.freecodecamp.org/news/an-intuitive-guide-to-convolutional-neural-networks-260c2de0a050/>

Filtros e convoluções

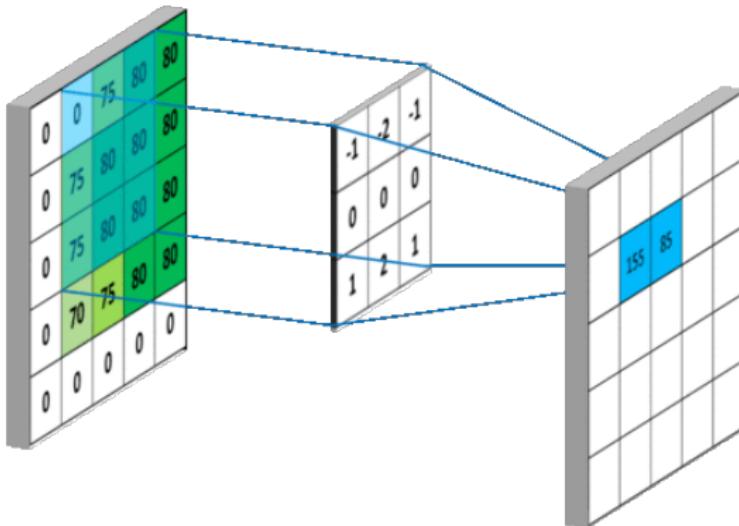
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

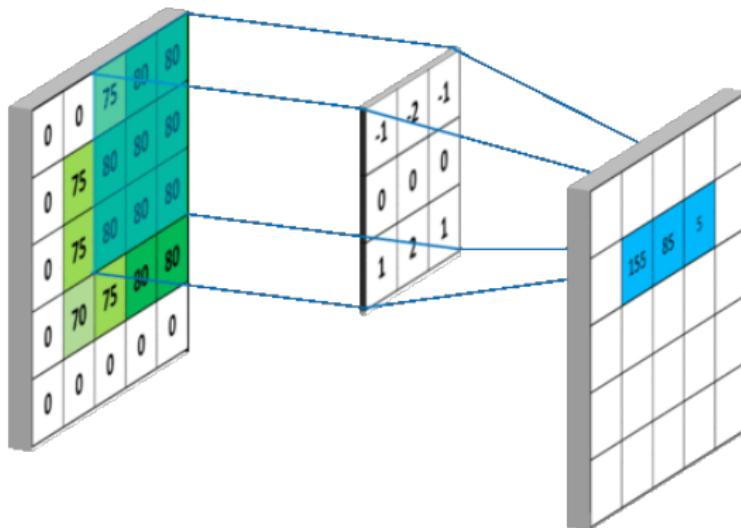
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

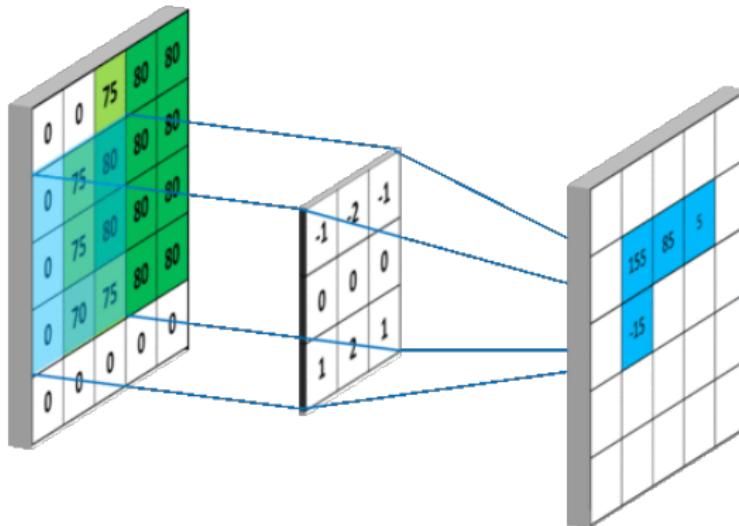
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

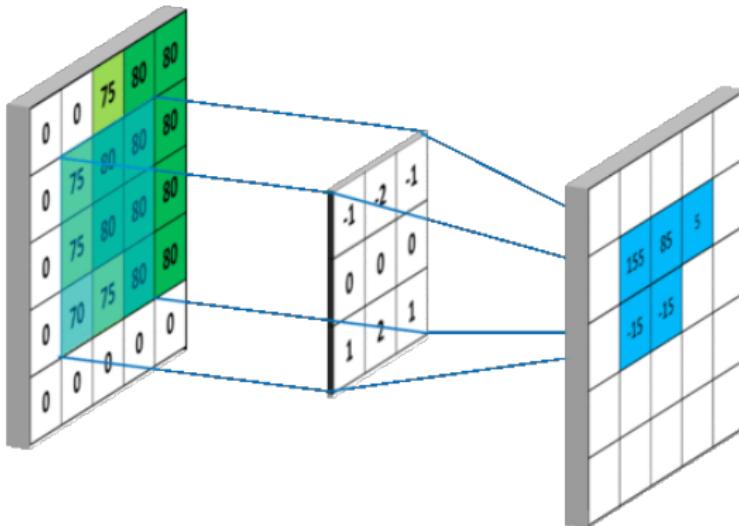
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

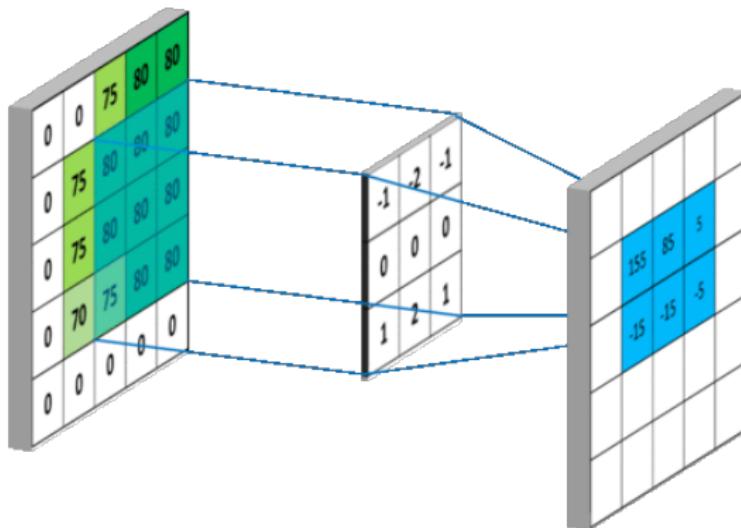
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

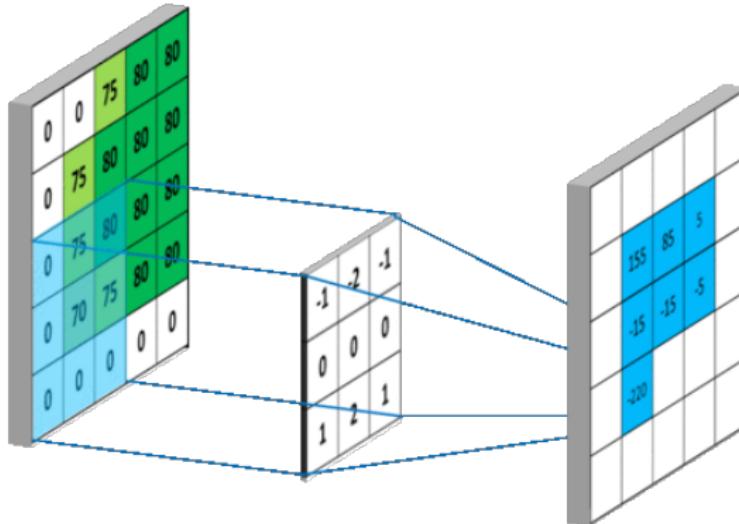
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

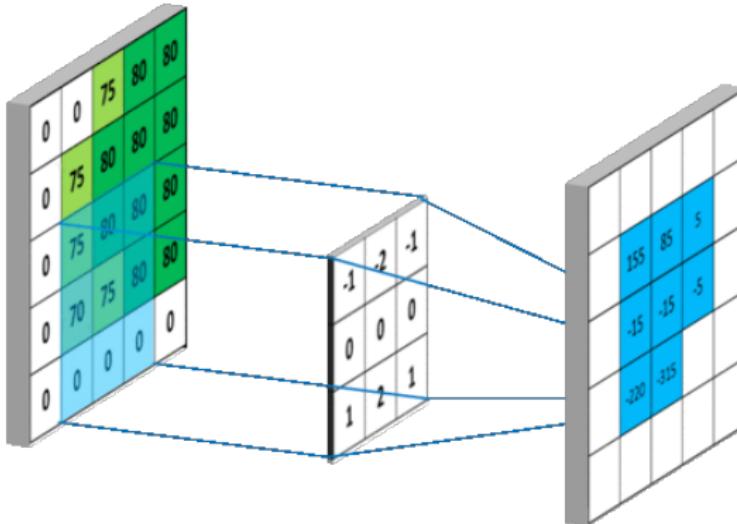
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

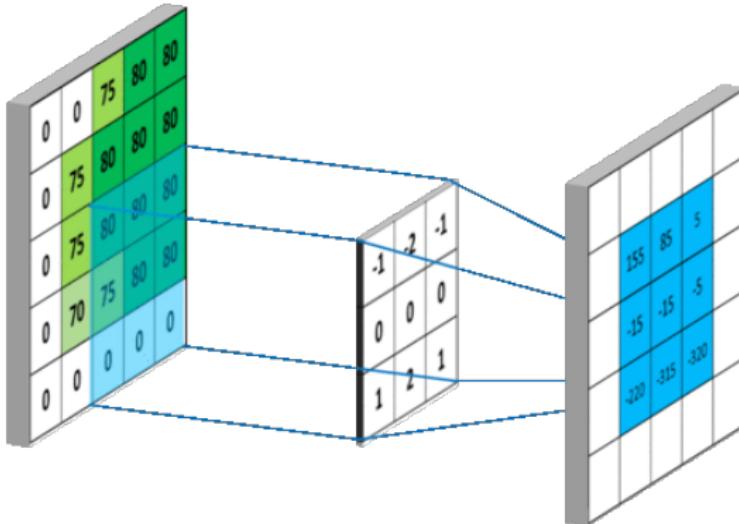
$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

$$\text{Convolução 2D} \quad (f * g)[x, y] = \sum_{m_1=-\infty}^{\infty} \sum_{m_2=-\infty}^{\infty} f[m_1, m_2]g[x - m_1, y - m_2]$$



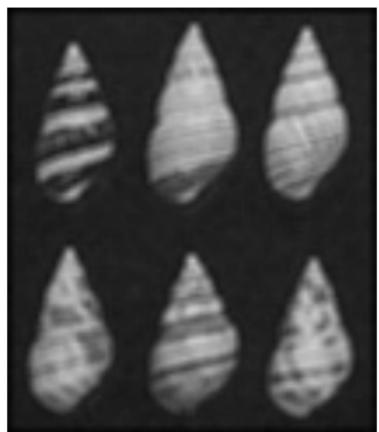
Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html/>

Filtros e convoluções

Suavização Convolução entre a imagem e um kernel média.

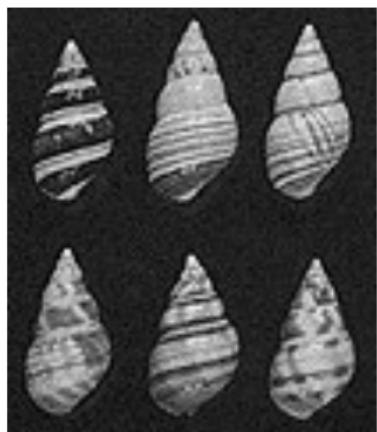


$$\frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$



Filtros e convoluções

Aguçamento Convolução entre a imagem e um kernel de aguçamento.

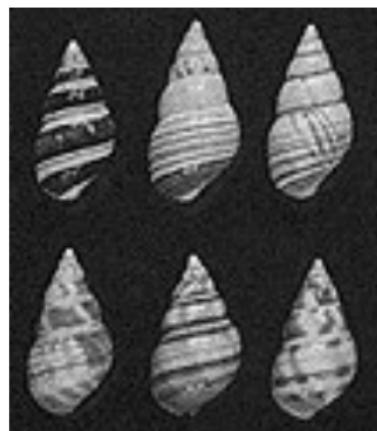


$$\frac{1}{9} \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 17 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

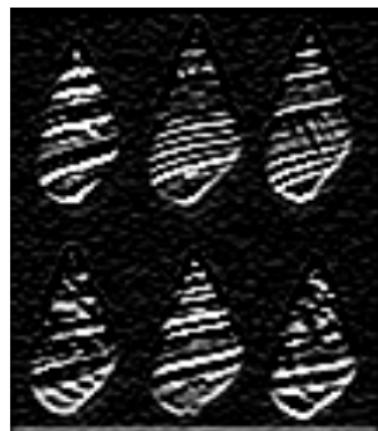


Filtros e convoluções

Bordas Convolução entre a imagem e um kernel sobel horizontal.

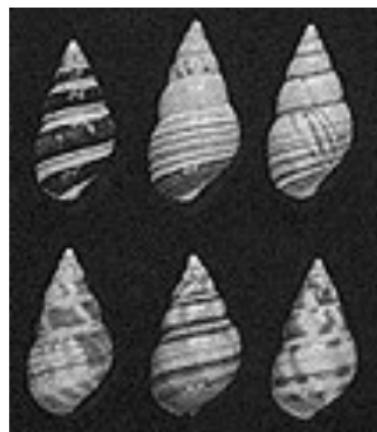


-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1



Filtros e convoluções

Bordas Convolução entre a imagem e um kernel sobel vertical.



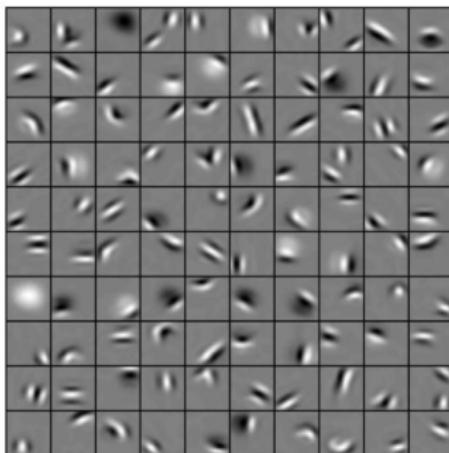
-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1



Filtros e convoluções

Ideia 1 Convolução não é difícil.

Ideia 2 Operações úteis podem ser definidas através de convoluções com filtros específicos (e.g. suavização, aguçamento, detecção de bordas).

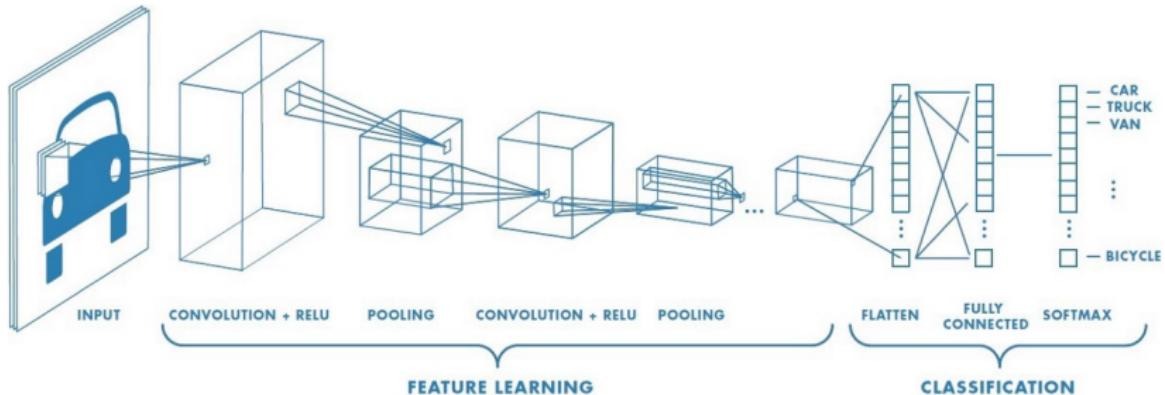


Fonte: <https://ai.stanford.edu/~ang/papers/icml09-ConvolutionalDeepBeliefNetworks.pdf>

Redes neurais convolucionais

CNN Introduz dois novos tipos de camadas:

- Camadas de convolução
- Camadas de pooling

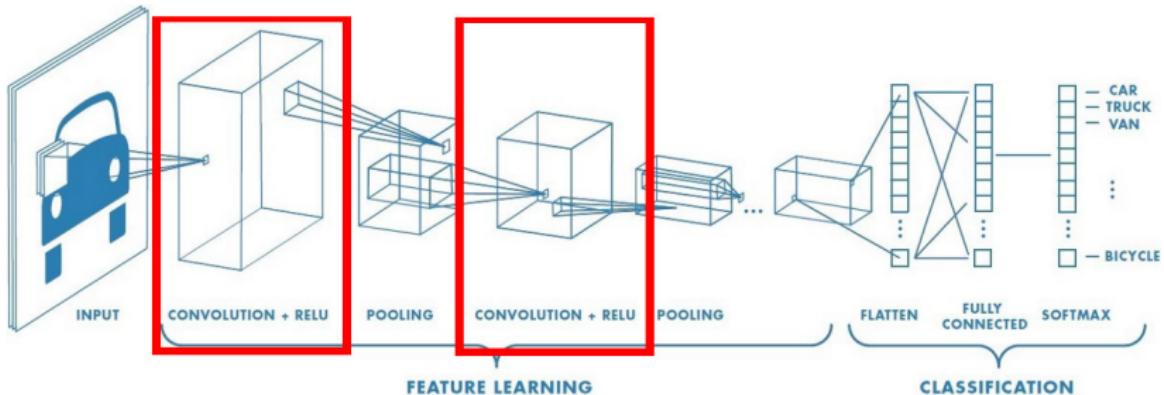


Fonte: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

Camada de convolução

CNN Introduz dois novos tipos de camadas:

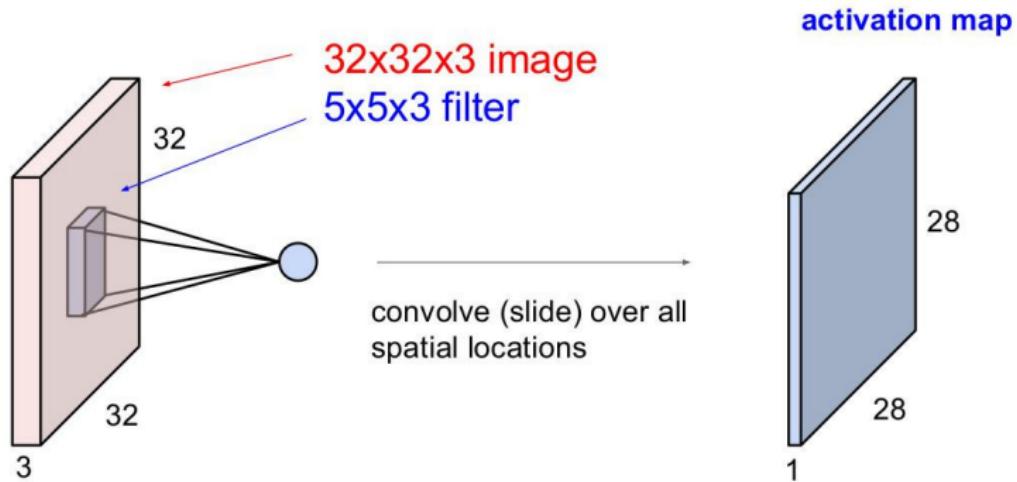
- Camadas de convolução
- Camadas de pooling



Fonte: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

Camada de convolução

Convolução Uma camada de convolução convolve a matriz de entrada com um ou mais filtros. A saída é denominada mapa de ativação.

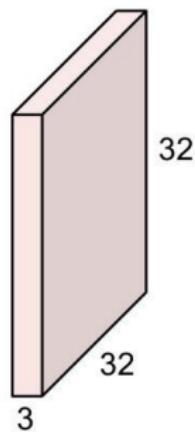


Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

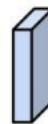
Camada de convolução

Convolução Como convolver em três canais de cor?

32x32x3 image



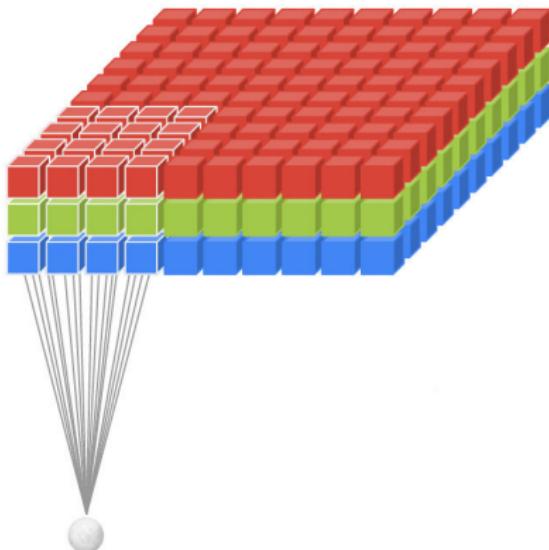
5x5x3 filter



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

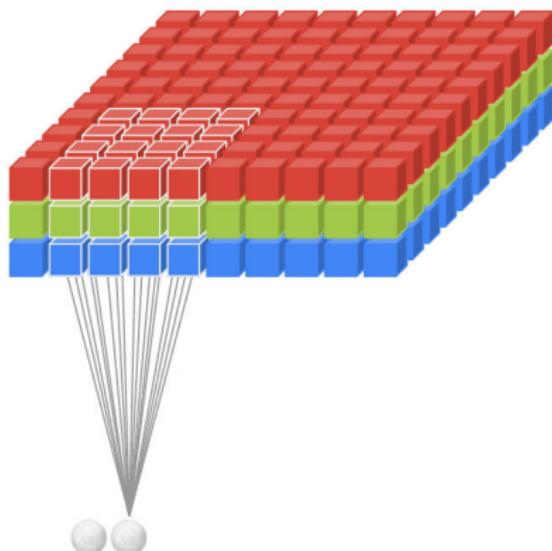
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

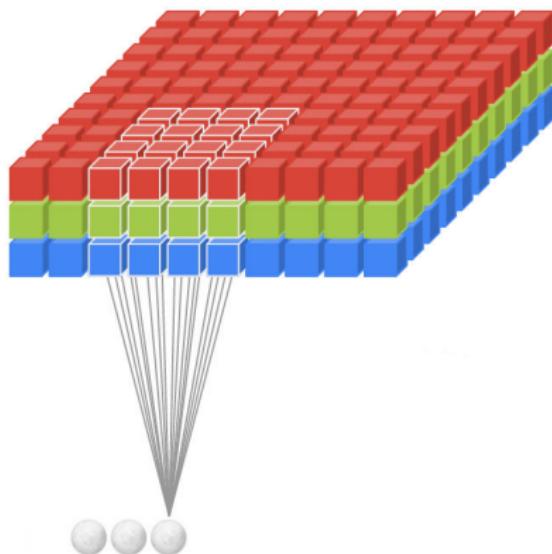
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

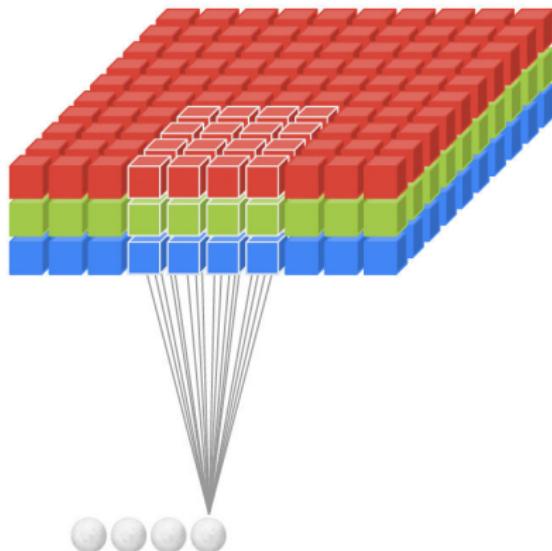
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

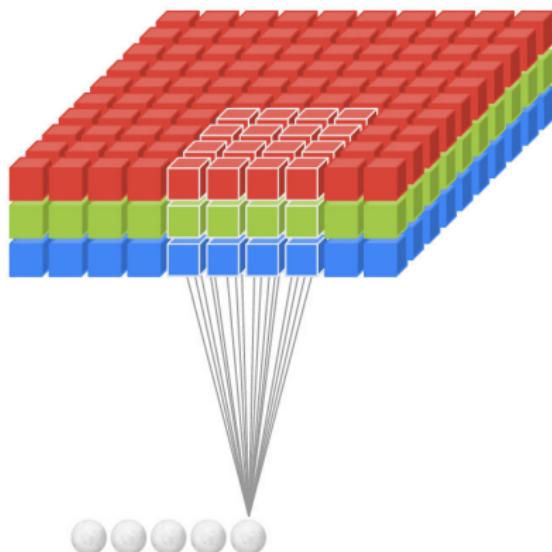
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

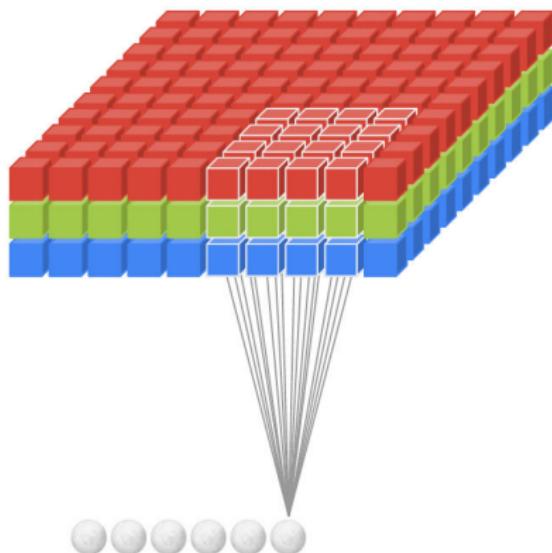
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

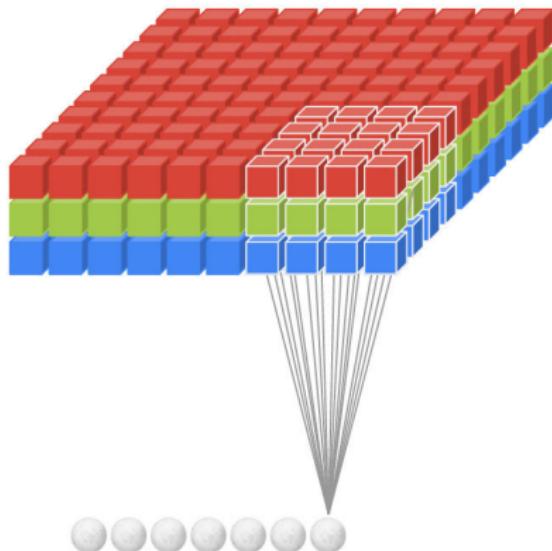
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

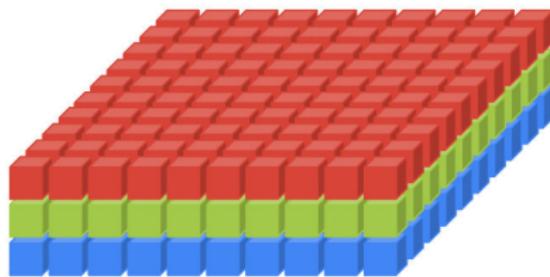
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

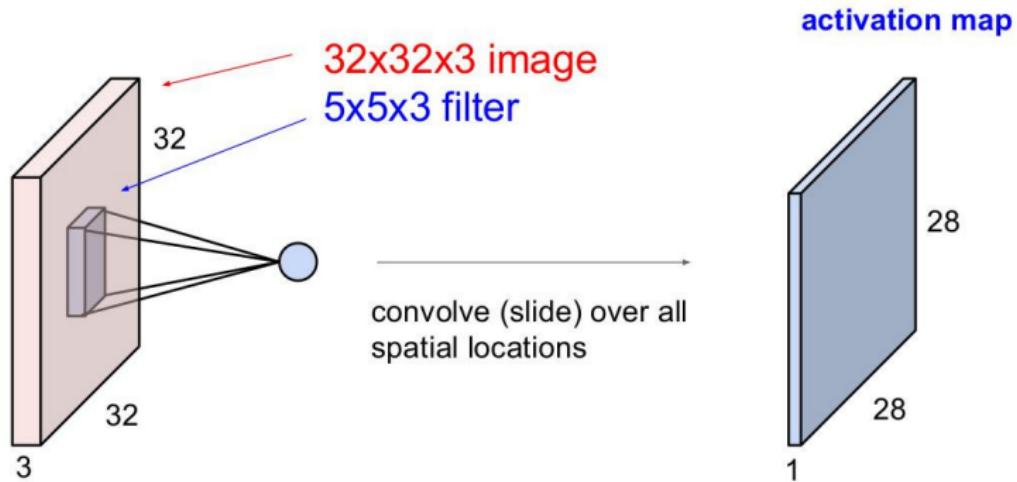
Convolução Convolvendo em três canais de cor.



Fonte: <https://mlblr.com/includes/research/index.html>

Camada de convolução

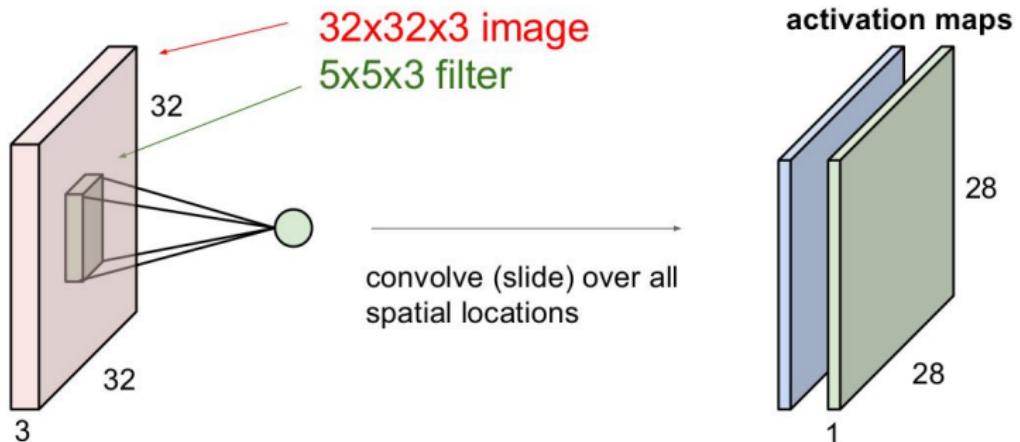
Convolvers Uma camada de convolução convolve a matriz de entrada com um ou mais filtros. A saída é denominada mapa de ativação.



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

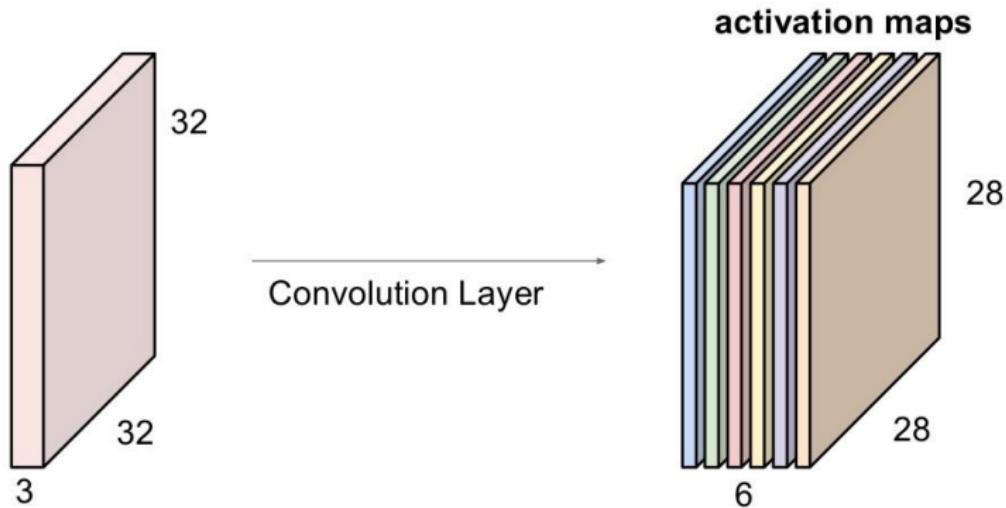
Convlayers Uma camada de convolução com dois filtros.



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Convlayers Uma camada de convolução com N filtros. $N = 6$.

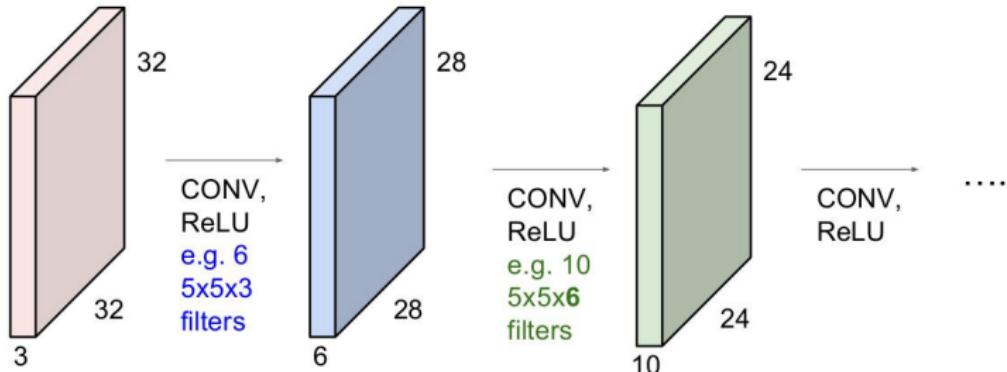


Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Convlayers Camadas de convolução também possuem funções de ativação.

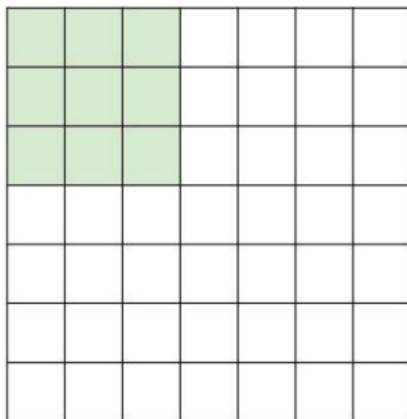
ReLU Rectified Linear Unit é uma das mais comumente utilizadas.



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

7



7

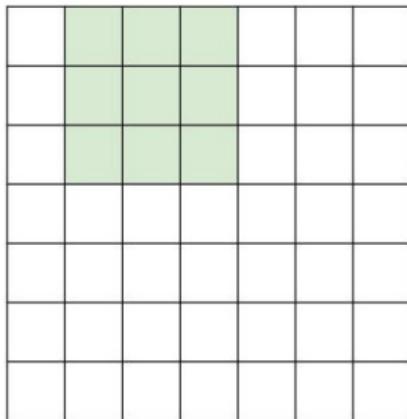
Stride Largura do passo.

Stride = 1.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

7



7

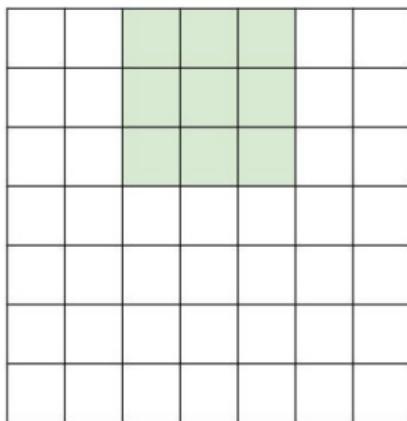
Stride Largura do passo.

Stride = 1.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

7



7

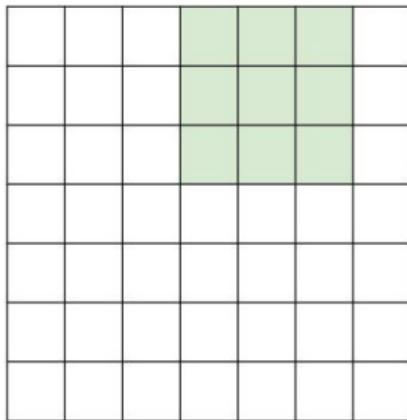
Stride Largura do passo.

Stride = 1.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

7



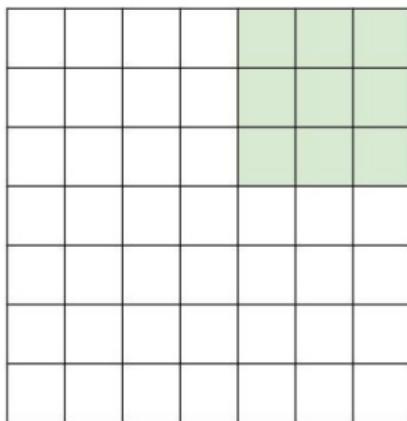
Stride Largura do passo.

Stride = 1.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

7



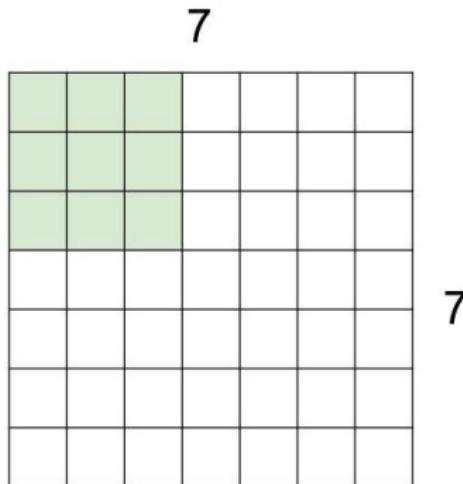
Stride Largura do passo.

Stride = 1.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

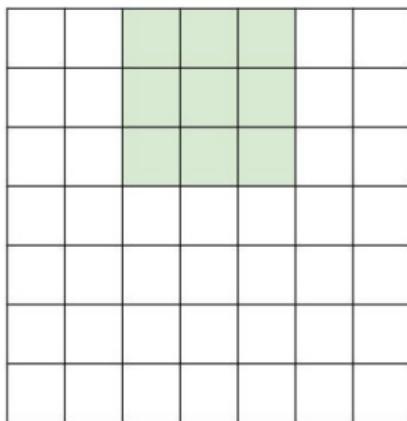
Stride Largura do passo.
Stride = 2.



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

7



7

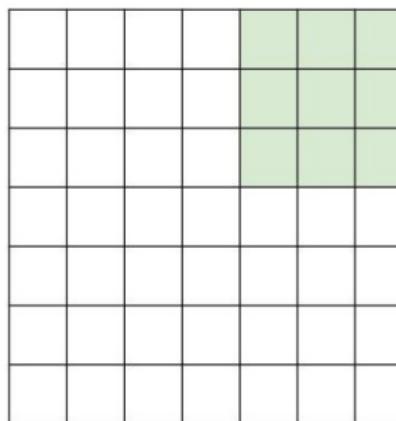
Stride Largura do passo.

Stride = 2.

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

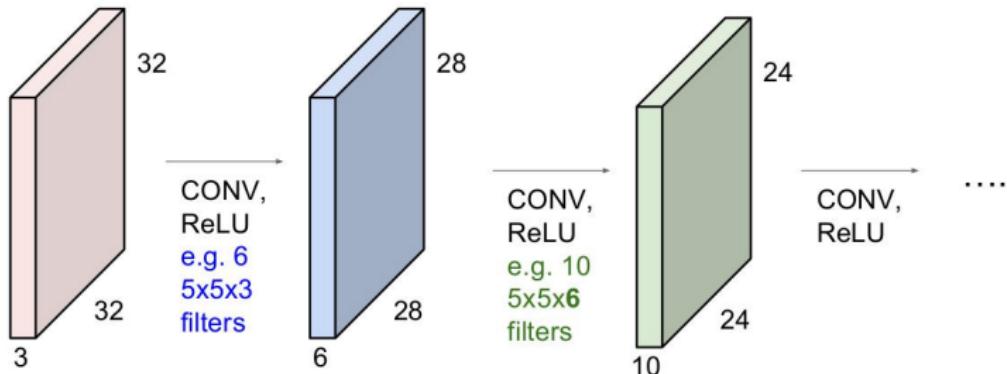
Stride Largura do passo.
Stride = 2.



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Problema 1 Os mapas de ativação perdem suas bordas conforme passam por múltiplas camadas de convolução.



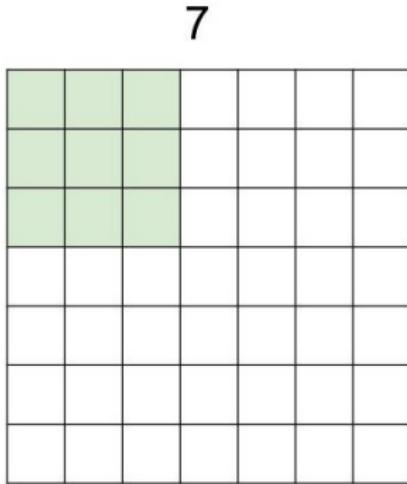
Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Problema 2 O filtro pode não encaixar na imagem, devido à largura do passo.

Stride Largura do passo.

Stride = 3.



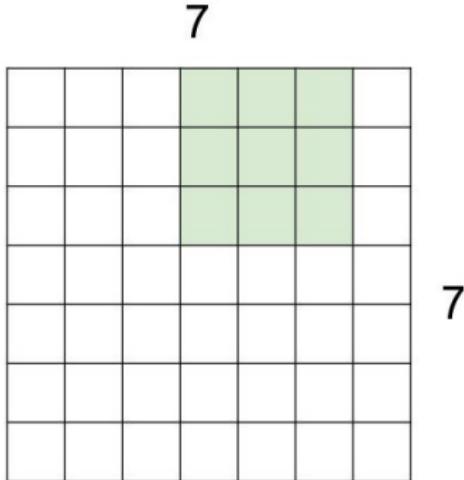
Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Problema 2 O filtro pode não encaixar na imagem, devido à largura do passo.

Stride Largura do passo.

Stride = 3.



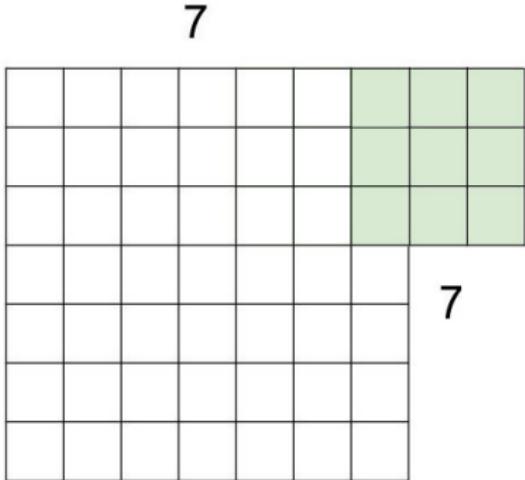
Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Problema 2 O filtro pode não encaixar na imagem, devido à largura do passo.

Stride Largura do passo.

Stride = 3.



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

Padding Preenchimento.

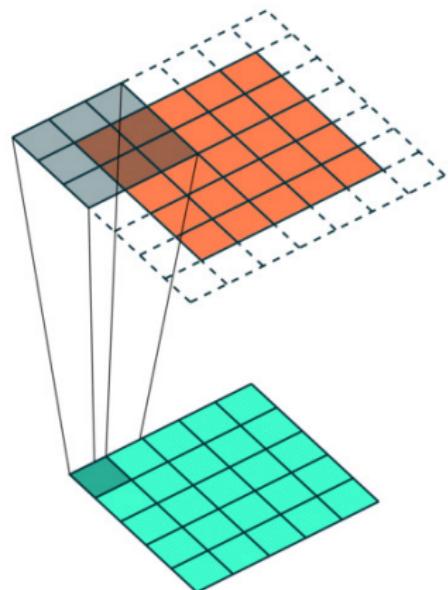
- Zero Padding
- Replicação
- Replicação circular

0	0	0	0	0	0				
0									
0									
0									
0									

Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de convolução

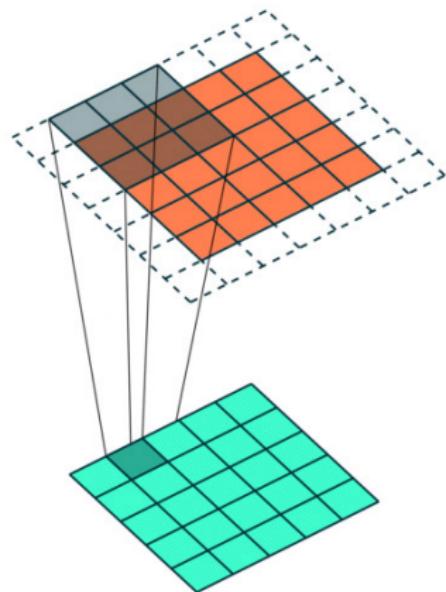
Padding Evita a perda das bordas.



Fonte: <http://msyksphinz.hatenablog.com/entry/2017/07/11/020000>

Camada de convolução

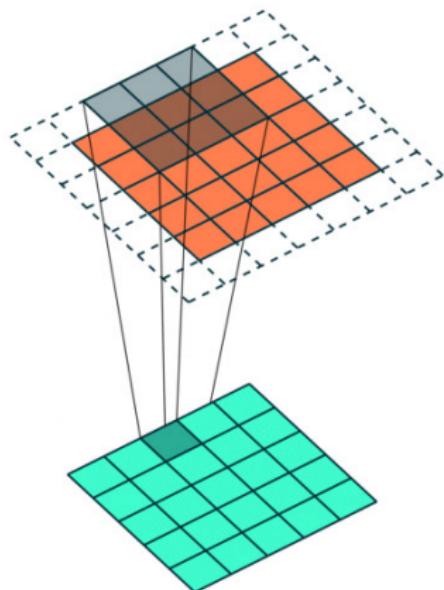
Padding Evita a perda das bordas.



Fonte: <http://msyksphinz.hatenablog.com/entry/2017/07/11/020000>

Camada de convolução

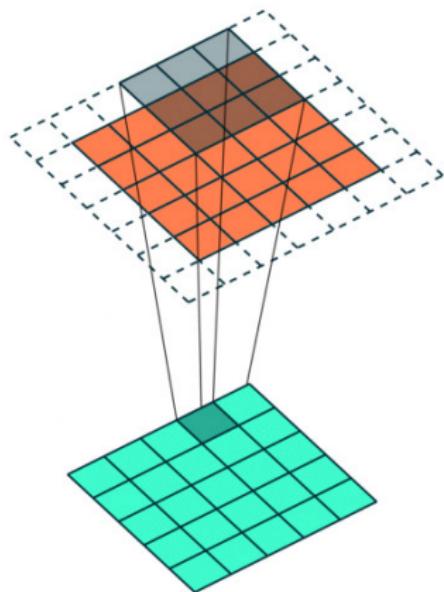
Padding Evita a perda das bordas.



Fonte: <http://msyksphinz.hatenablog.com/entry/2017/07/11/020000>

Camada de convolução

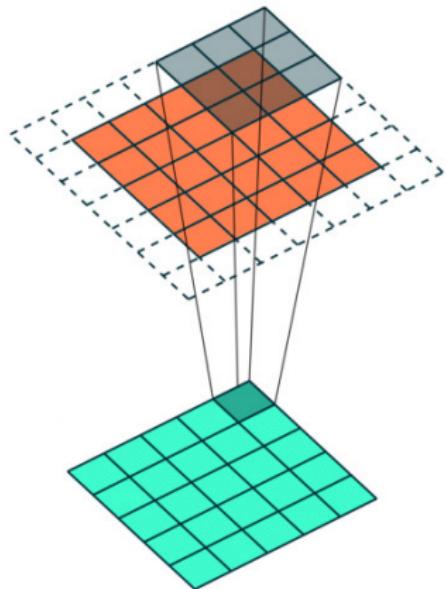
Padding Evita a perda das bordas.



Fonte: <http://msyksphinz.hatenablog.com/entry/2017/07/11/020000>

Camada de convolução

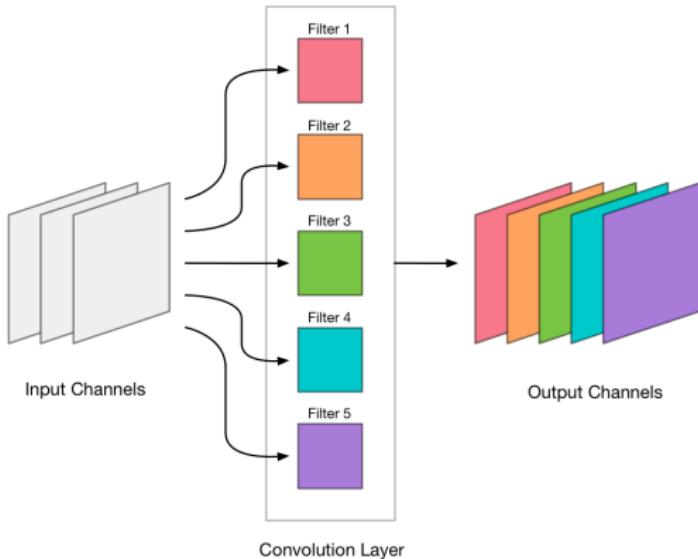
Padding Evita a perda das bordas.



Fonte: <http://msyksphinz.hatenablog.com/entry/2017/07/11/020000>

Camada de convolução

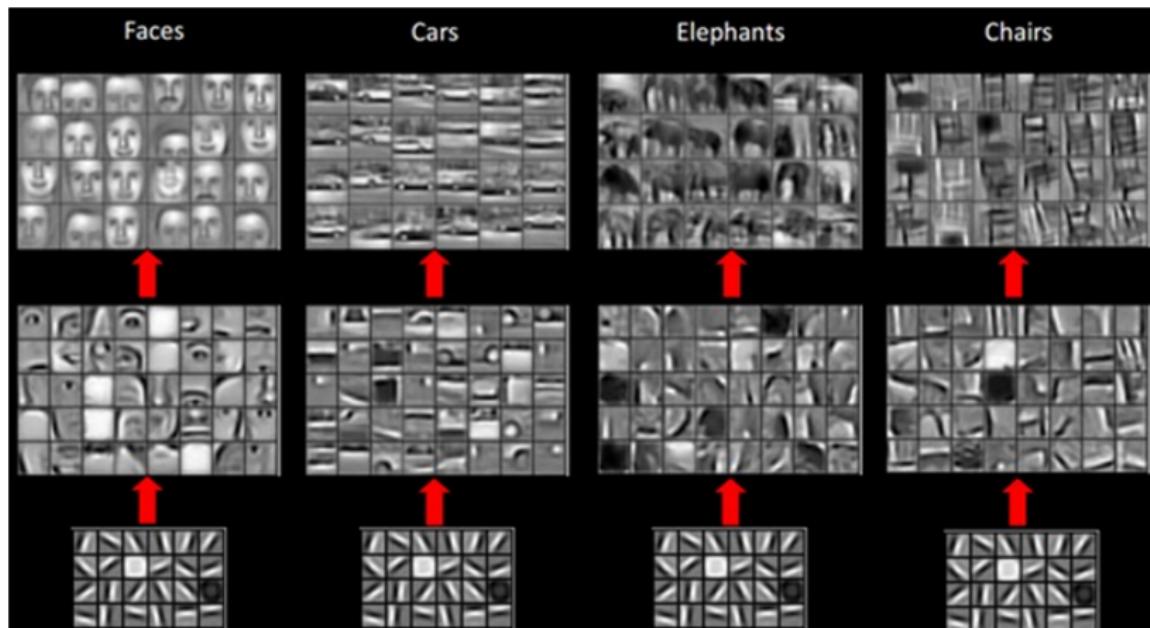
Filtros De onde vêm os filtros?



Fonte: <https://machinethink.net/blog/compressing-deep-neural-nets/>

Camada de convolução

Filtros São definidos no processo de treinamento da CNN.

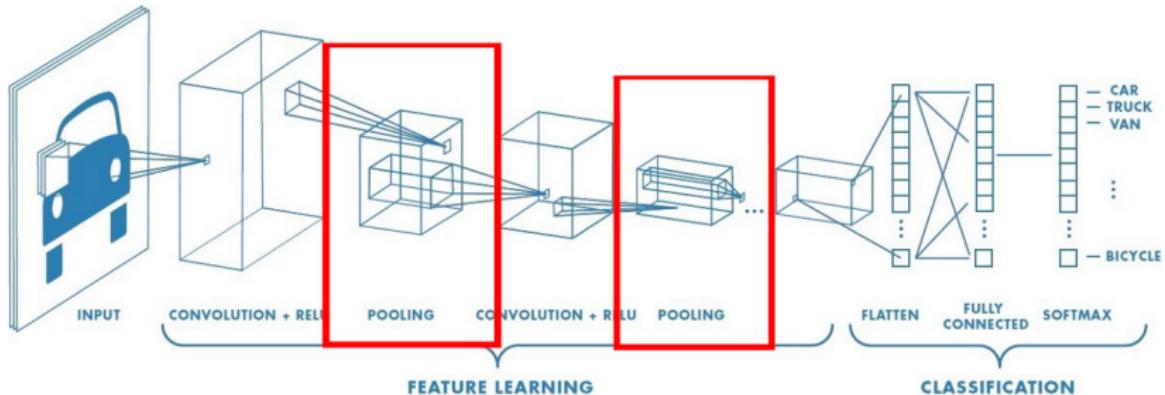


Fonte: <https://ai.stanford.edu/~ang/papers/icml09-ConvolutionalDeepBeliefNetworks.pdf>

Camada de pooling

CNN Introduz dois novos tipos de camadas:

- Camadas de convolução
- Camadas de pooling



Fonte: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

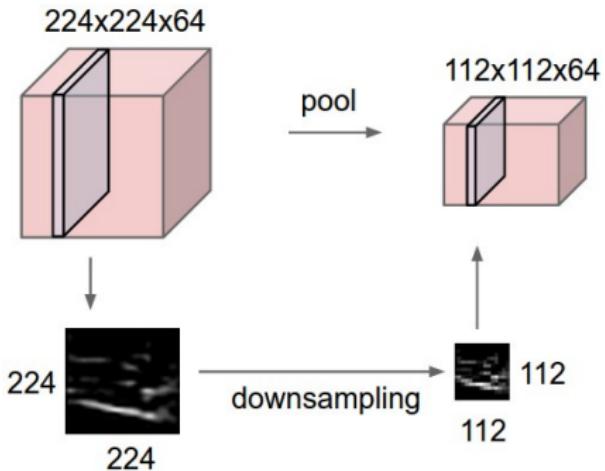
Camada de pooling

Pooling Agregação.

Objetivo Reduzir as dimensões espaciais dos mapas de ativação.

Auxilia na redução de:

- Parâmetros
- Processamento e uso memória
- Overfitting



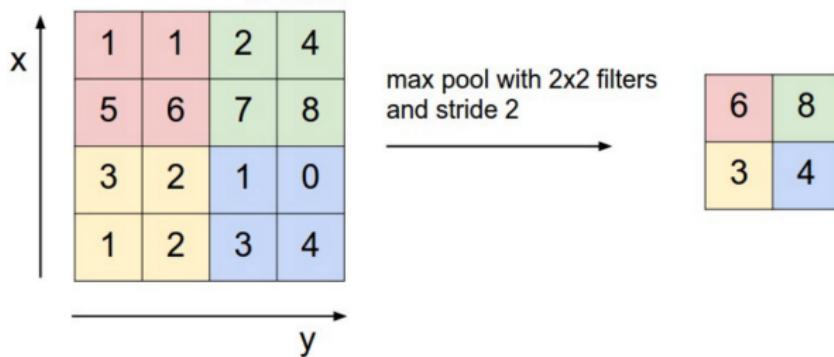
Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Camada de pooling

Max Pooling é a técnica de agregação mais comumente usada em CNNs.

Filtro Função máximo.

Stride Largura do passo.

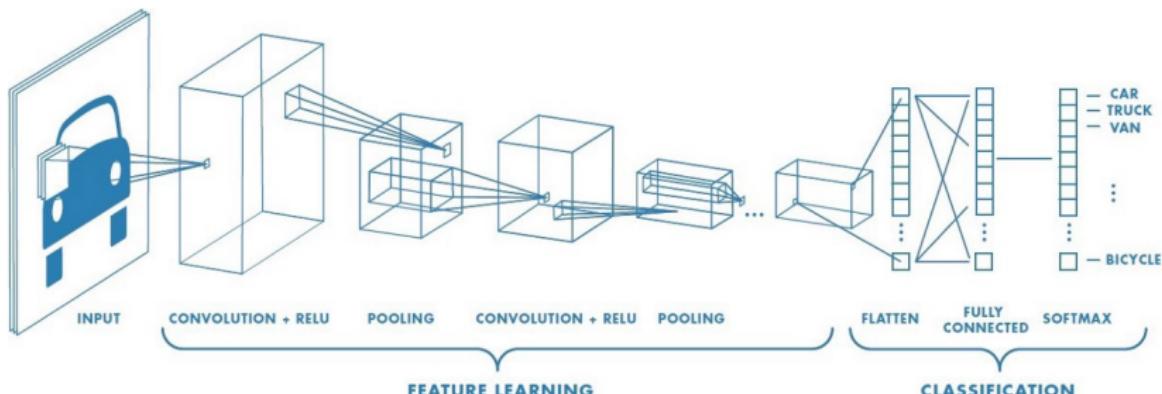


Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

Redes neurais convolucionais

CNN Exemplo de rede neural convolucional para classificação:

- Camadas de convolução
- Camadas de pooling
- Achatamento
- Camadas totalmente conectadas
- Softmax

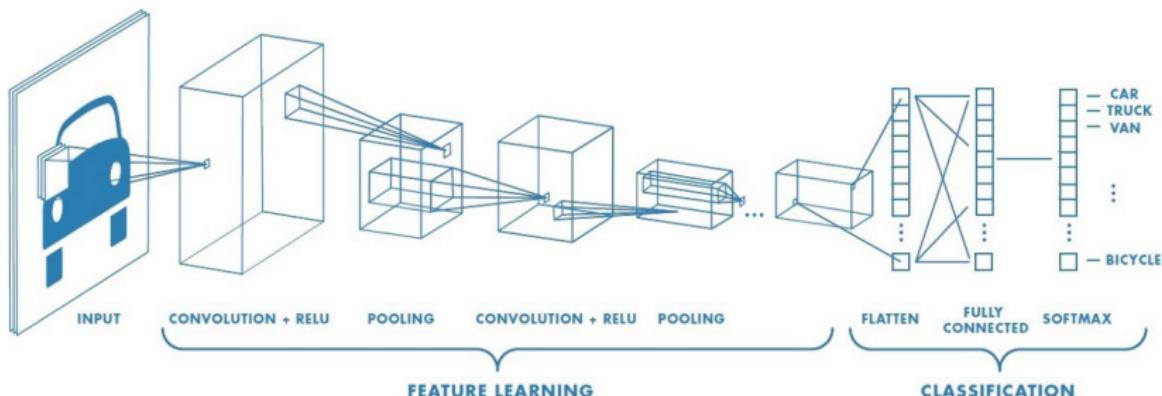


Fonte: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

Redes neurais convolucionais

CNN Implementações de camadas de convolução e pooling:

- Keras: Convolução e Pooling
- TensorFlow: Convolução e Pooling
- PyTorch: Convolução e Pooling
- MATLAB: Convolução e Pooling
- Caffe: Convolução e Pooling



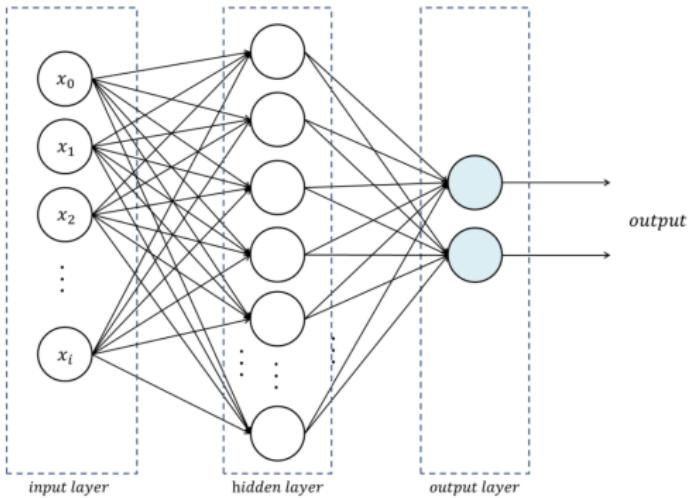
Fonte: <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

MLP vs CNN

MLP Usando imagens como entradas para uma MLP.



Fonte: tensorflow.classcat.com/2017/01/24/

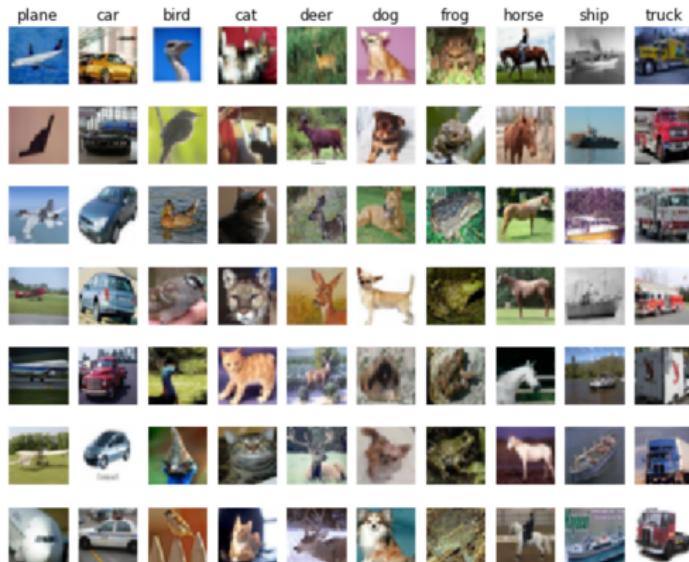


Fonte: <https://www.cc.gatech.edu/~san37/post/dlhc-fnn>

MLP vs CNN

CIFAR-10 Dataset utilizado para testar modelos de aprendizado de máquina.

Conteúdo 60 000 imagens. 10 classes. Dimensões: $32 \times 32 \times 3$.



Fonte: <https://kapilddatascience.wordpress.com/>

MLP vs CNN

Exemplo Classificação de imagens no dataset CIFAR-10 usando MLP.



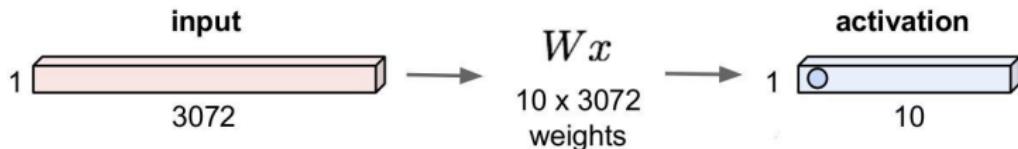
Fonte: <https://blog.udemy.com/wpf-listbox/>

MLP vs CNN

Problema 1 Alta dimensionalidade.



Fonte: tensorflow.classcat.com/2017/01/24/

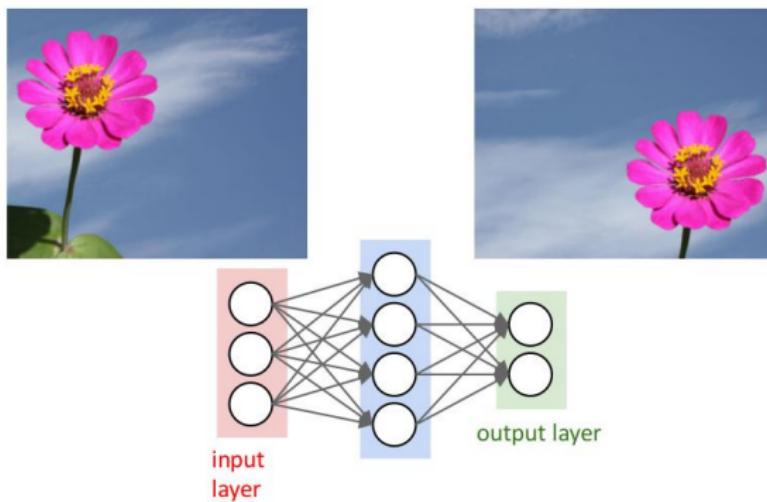


Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

MLP vs CNN

Problema 2 Deslocamentos e escalonamentos.

- Será que uma MLP capaz de reconhecer a presença da flor na imagem da esquerda também a reconheceria na direita?



Fonte: <http://ce.sharif.edu/courses/97-98/2/ce959-1/resources/root/Slides/CNN.pdf>

MLP vs CNN

Problema 2 MLPs convencionais são sensíveis à localização e escala do padrão.



Fonte: <http://ce.sharif.edu/courses/97-98/2/ce959-1/resources/root/Slides/CNN.pdf>



Fonte: http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture05.pdf

MLP vs CNN

Exemplo Classificação de imagens no dataset CIFAR-10 usando CNN.



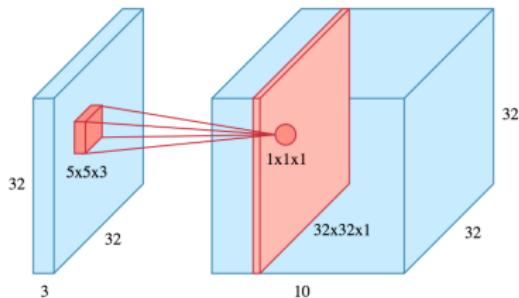
Fonte: <https://blog.udemy.com/wpf-listbox/>

MLP vs CNN

Solução 1 Filtros da CNN ajudam a reduzir dimensionalidade.



Fonte: tensorflow.classcat.com/2017/01/24/



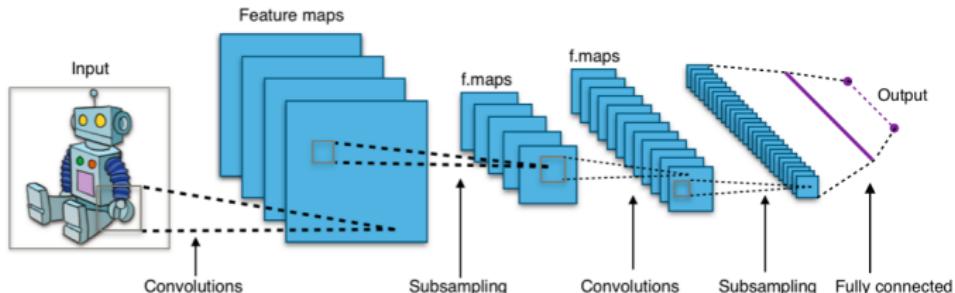
Fonte: <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2>

MLP vs CNN

Solução 2 As camadas de convolução e pooling da CNN diminuem sua sensibilidade à localização e escala.



Fonte: <http://ce.sharif.edu/courses/97-98/2/ce959-1/resources/root/Slides/CNN.pdf>



Fonte: <https://adventuresinmachinelearning.com/convolutional-neural-networks-tutorial-tensorflow/>

GPUs

Google Colab Serviço gratuito que disponibiliza uma Nvidia Tesla K80.

Tensorpad Serviço pago que disponibiliza uma Nvidia GeForce 1080 Ti.



Fonte: https://www.cubix.com/wp-content/uploads/2016/08/Nvidia-tesla-k80-3qtr_0.png



Fonte: https://content.hwigroup.net/images/products_xl/387250/nvidia-geforce-gtx-1080-ti.jpg

Redes neurais convolucionais

CNN Possíveis otimizações:

- Normalização: Z-score.
- Aumento de dados.
- Taxa de aprendizado adaptativa.
- Regularizações L1 e L2: penalidade aplicadas à função de perda, com base nas magnitudes dos pesos.
- Dropout: ignorar aleatoriamente uma porcentagem de neurônios de uma camada anterior
- Normalização de lotes (batch normalization)



Fonte: <http://www.impressionconsult.com/web/index.php/articles/519-quality-improvement.html>

Perguntas

