PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

PDI – Aula 8

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias
Escola Agrícola de Jundiaí
Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas
Profa. Alessandra Mendes

Filtragem Espacial

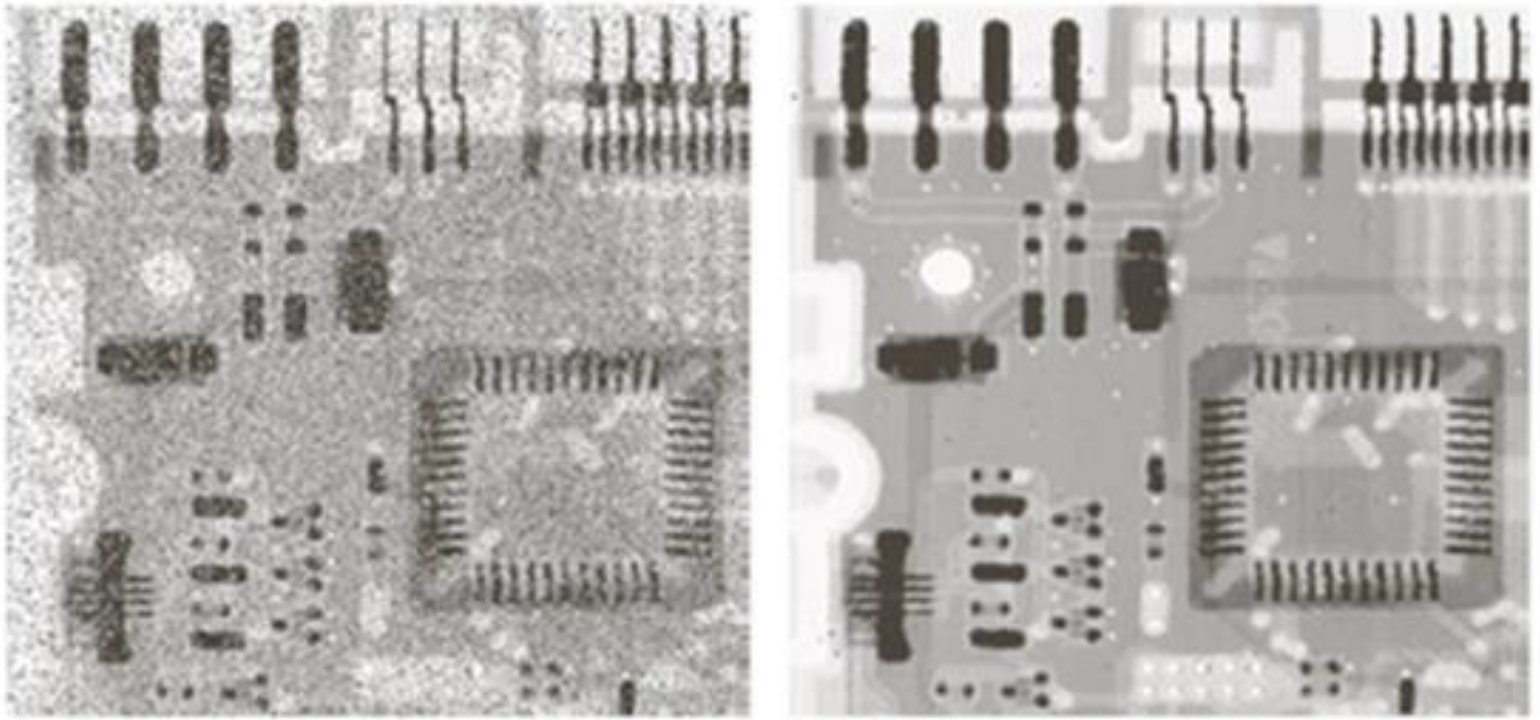
Profa. Alessandra Mendes – UFRN/EAJ/TADS/PDI

Filtragem Espacial

- A filtragem espacial é utilizada num grande variedade de aplicações, como aprimoramento da imagem, redução de ruído, aguçamento, detecção de borda, etc.
- A palavra *filtro* foi emprestada do processamento no domínio da frequência.
- Filtros espaciais são mais versáteis, pois é possível construir filtros não lineares.
- Se a operação realizada sobre os pixels é linear, o filtro é chamado de filtro espacial linear, caso contrário, é chamado filtro não-linear.

Filtragem Espacial

- Exemplo: remoção de ruído



Filtragem Espacial

- A filtragem espacial realiza **operações diretamente na imagem** usando **filtros espaciais** (também chamados de máscaras, *kernels*, *templates*, ou janelas).
- O processo de filtragem consiste em:
  - Uma **vizinhança**;
  - Uma **operação** pré-definida que é executada sobre os pixels da imagem que interceptam a vizinhança.
- A filtragem cria um novo pixel com coordenadas iguais ao do centro da vizinhança e cujo valor é resultado da operação de filtragem.

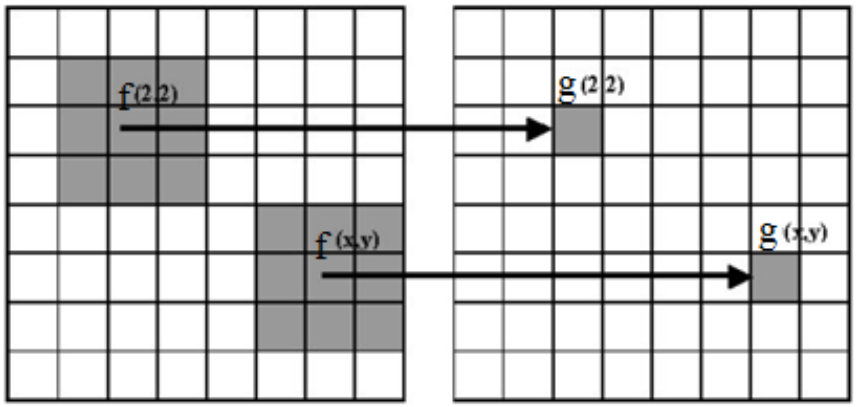
Filtragem Espacial

- O processamento sobre uma vizinhança consiste em:
  1) Definir um ponto central (x,y);
  2) Executar uma operação que envolva apenas os pixels da vizinhança pré-definida sobre o ponto central;
  3) Considerar o resultado da operação como sendo a resposta do processo no ponto (x,y);
  4) Repetir o processo para todos os pontos da imagem.
- O processo de mover o ponto central cria novas vizinhanças para cada pixel na imagem de entrada. **Esta operação é referida como processamento de vizinhança ou filtragem espacial.**

Processo de Filtragem

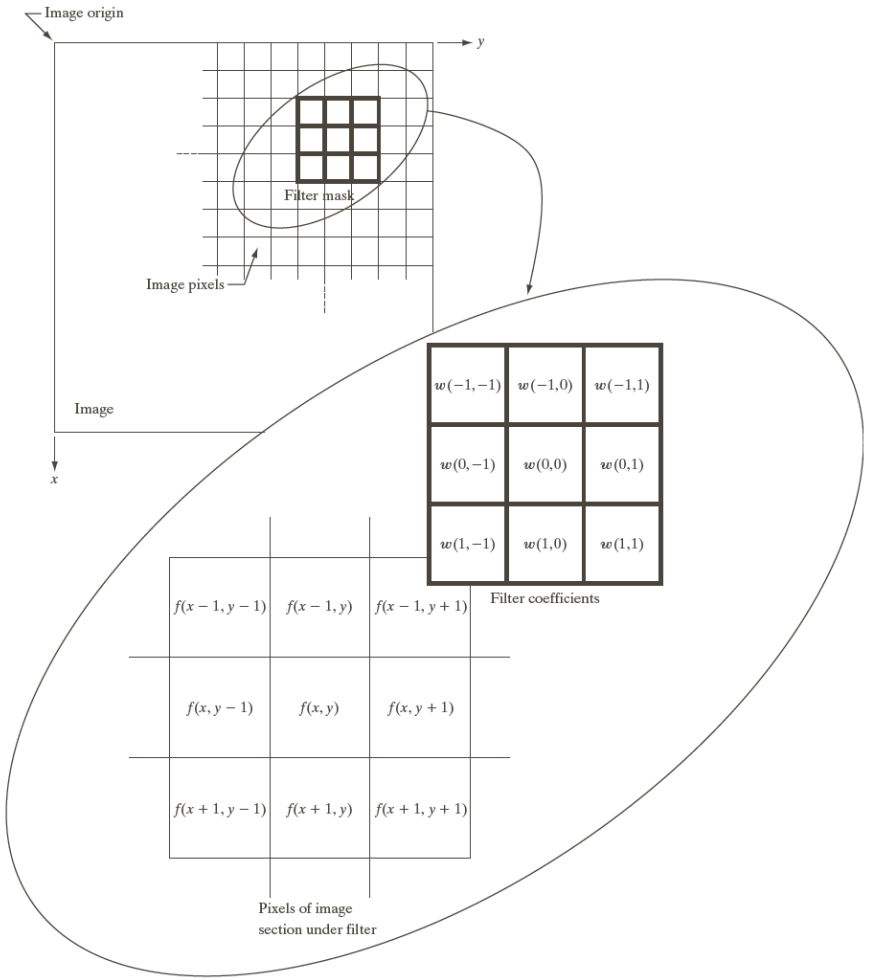
- *Cada elemento da máscara é multiplicado pelo valor do pixel correspondente na imagem f*
- *A soma desses resultados é o novo valor do nível de cinza na nova imagem g*
  - Exemplo: w é uma janela de n x n = k pixels.
  - O processo de filtragem para cada pixel na imagem g(x,y) será dada por:

$$g(x,y) = \sum_{i=1}^{k} w_i . f(x,y)$$



Filtragem Espacial

- Exemplo de mecânica de filtragem espacial linear usando máscara 3x3.
- A forma escolhida para denotar as coordenadas dos coeficientes da máscara de filtragem simplifica a escrita de expressões para filtragem linear.



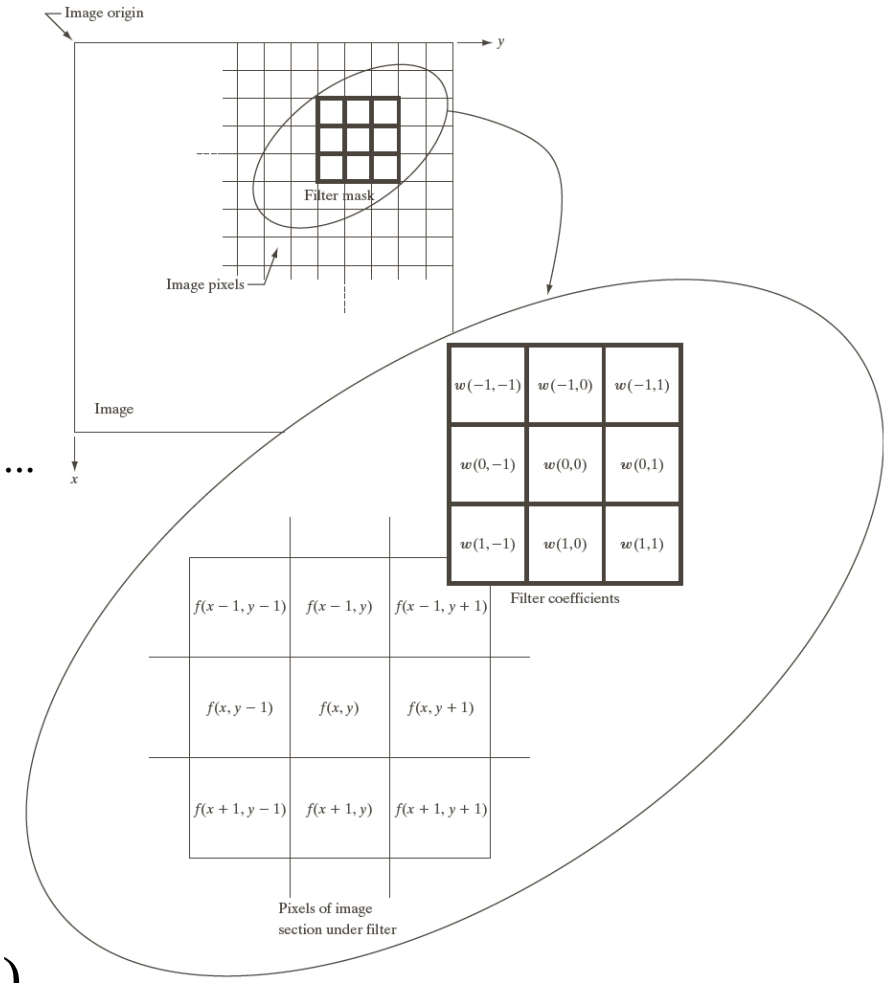
Filtragem Espacial

- Em qualquer ponto *f*(x,y), a resposta *g*(x,y) da filtragem é a soma do produtos entre os coeficientes e as intensidades dos pixels.

$$g(x,y) = w(-1,-1)\,f(x-1,y-1) + w(-1,0)\,f(x-1,y) + \ldots + w(0,0)\,f(x,y) + \ldots + w(1,1)\,f(x+1,y+1)$$

- Observa-se que o coeficiente central do filtro, w(0,0), alinha com o pixel na posição *f*(x,y).

$$g(x,y) = \sum_{s=-a}^{a}\sum_{t=-b}^{b} w(s,t)\,f(x+s,y+t)$$



Correlação e Convolução

- Correlação e convolução, operações matemáticas em funções, são conceitos próximos da filtragem espacial.
- Correlação é o processo de mover uma máscara de filtro sobre uma imagem e computar a soma dos produtos em cada posição, exatamente como explicado anteriormente.

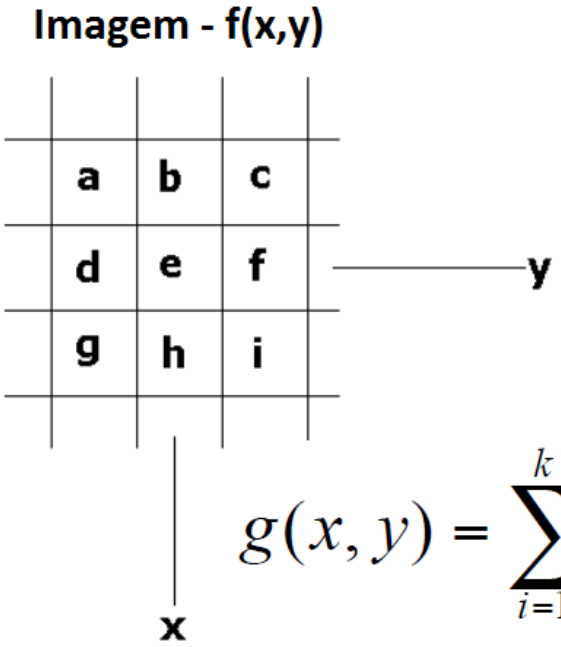
$$g(x,y) = w(x,y) \circ f(x,y) = \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x+s, y+t)$$

- A convolução difere da correlação pela rotação do filtro de 180º.

$$g(x,y) = w(x,y) \bullet f(x,y) = \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x-s, y-t)$$

Correlação e Convolução

- Os pontos (a,b,c,d,e,f,g,h,i) são os valores dos níveis de cinza na mesma vizinhança de f(x,y) = e, comparando com a máscara.
- Os valores w1 à w9 são os "pesos", ou seja, os valores dos níveis de cinza em cada posição da máscara.



Máscara
K = 3 x 3 = 9

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

$$g(x,y) = \sum_{i=1}^{k} w_i . f(x,y)$$

- O valor do pixel g(x,y) na nova imagem será dado por:

$$g(x,y) = w_1.a + w_2.b + w_3.c + w_4.d + w_5.e + w_6.f + w_7.g + w_8.h + w_9.i$$

Correlação e Convolução

- Mecânica de filtragem em uma imagem com filtro de núcleo N x N = 3 x 3, onde $I_k(i)$ representa os pixels vizinhos ao i-ésimo pixel da imagem e k é um índice linear que varre a região da vizinhança segundo uma convenção de linha ou coluna.

$$f_i = \sum_{k=1}^{9} w_k I_{k(i)} =$$

$$(-1x10)+(-1x11)+(-1x8)+$$
$$(-1x40)+(8x35)+(-1x42)+$$
$$(-1x38)+(-1x36)+(-1x46)=14$$

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

=

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

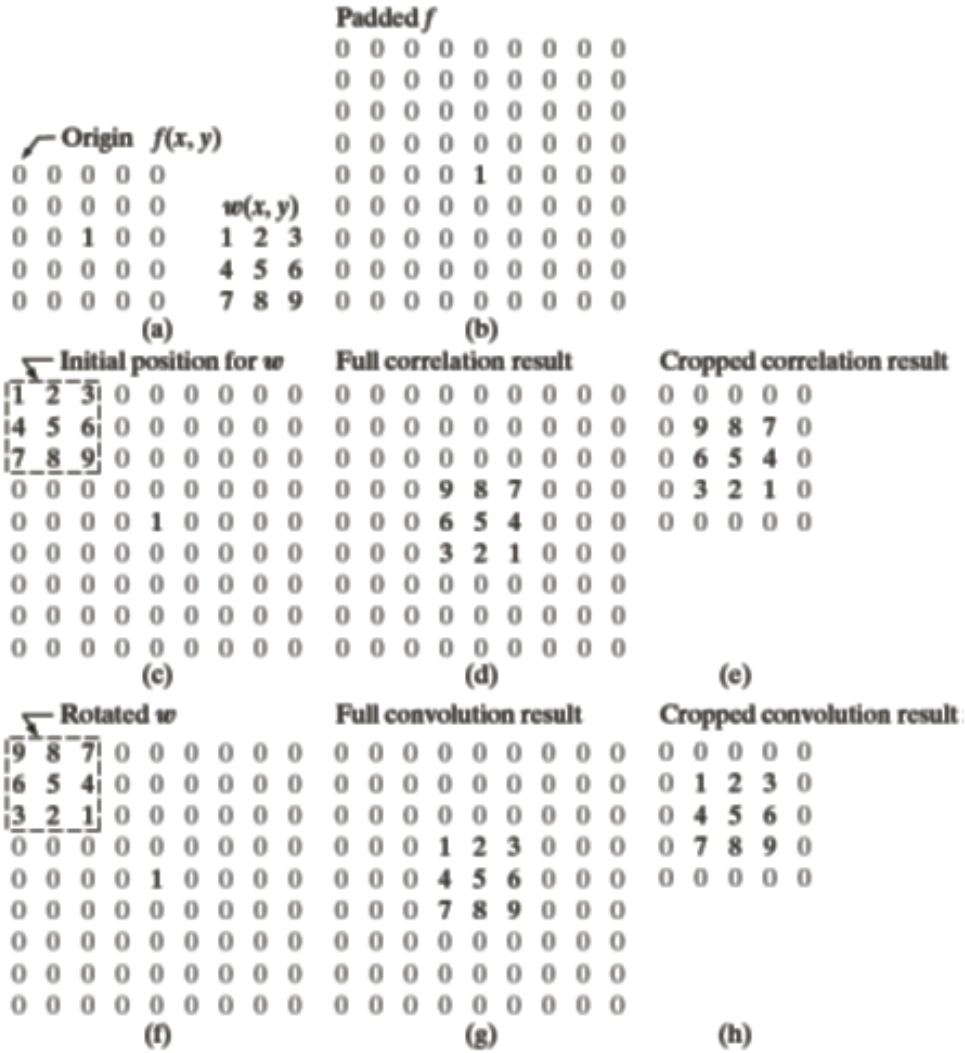
12	11	12	13	13	9
10	8	10	11	8	13
32	36	40	35	42	40
40	37	38	36	46	41
41	36	89	39	42	39
42	37	39	43	45	38

Correlação e Convolução

- Detalhamento do processo:
  1) Definir o núcleo do filtro;
  2) Deslizar o núcleo sobre a imagem de modo que o pixel central do núcleo coincida com cada pixel-alvo da imagem;
  3) Multiplicar os pixels sob o núcleo pelos correspondentes valores (pesos) no núcleo e somar os resultados;
  4) Para cada pixel-alvo, copiar o valor resultante na mesma posição de uma nova imagem (filtrada).

Correlação e Convolução

- Correlação (linha do meio) e convolução (última linha) de um filtro 2D com um impulso unitário discreto 2D.
- Os 0's são mostrados em cinza para facilitar a análise visual.



Correlação e Convolução

- Convenção:
  - Máscaras de organização par (2 x 2, 4 x 4 , ...) o resultado é colocado sobre o Primeiro Pixel.
  - Máscaras de organização ímpar (3 x 3, 5 x 5, ...) o resultado é colocado sobre o Pixel de Centro.
- Nas máscaras simétricas, as operações de correlação e convolução são idênticas. Exemplo:

Template

1	0
0	1

T(i,j)

Imagem Original

1	1	3	3	4
1	1	4	4	3
2	1	3	3	3
1	1	1	4	4

f(x,y)

Imagem Final

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

T(i,j) * f(x,y)

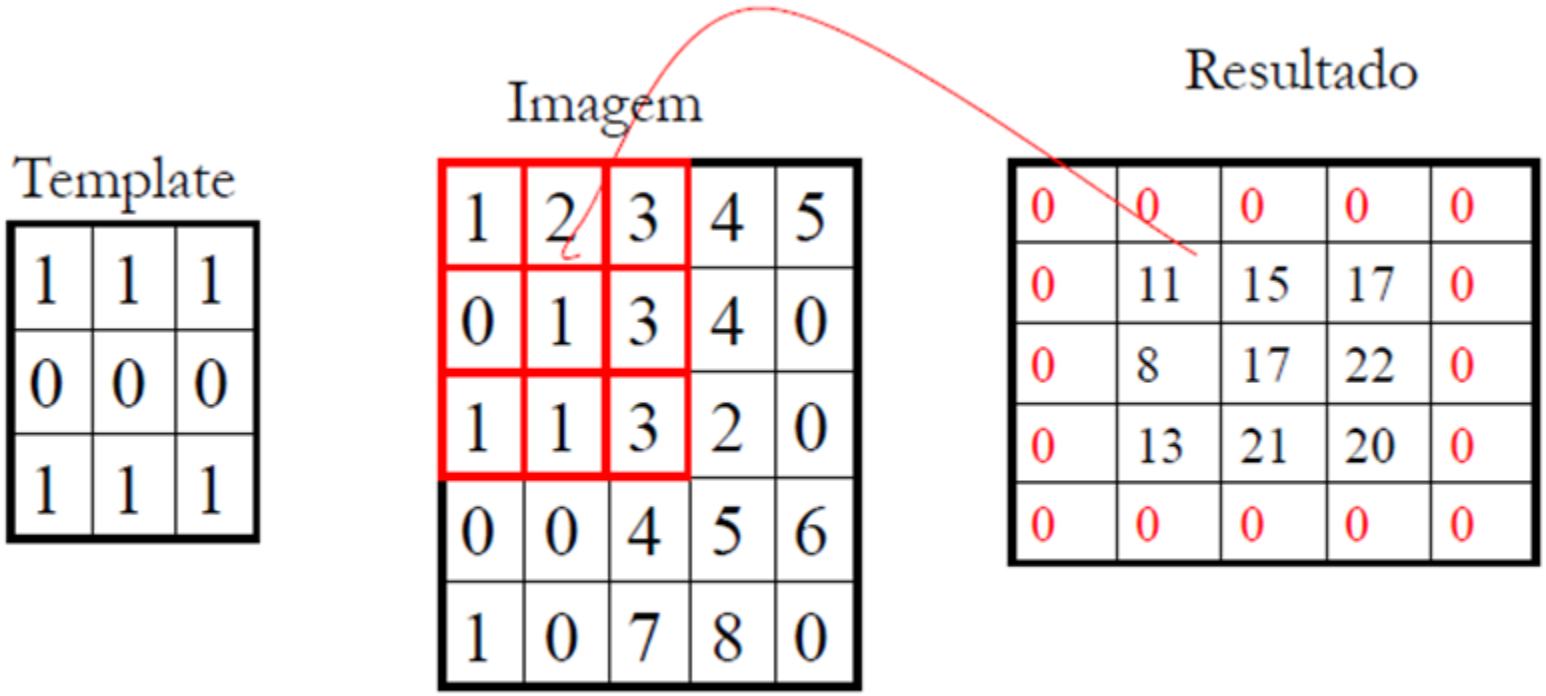
Os valores marcados com * não podem ser calculados.

Limites da Imagem

- Os limites da imagem devem ser propriamente tratados:
  - Ignorar os pixels para os casos em que a operação não possa ser realizada – borda não processada;
    - Possivelmente atribuindo um valor fixo (podendo ser zero) aos resultados não calculáveis;
  - Expandir a imagem criando linhas colunas e preenchendo:
    - Com zeros antes do cálculo da imagem final;
    - Com a replicação dos pixels das bordas;
    - Com o espelhamento dos pixels da borda (simetria).
  - Utilizar uma máscara modificada nas regiões de borda, o que aumenta complexidade da operação.

Limites da Imagem

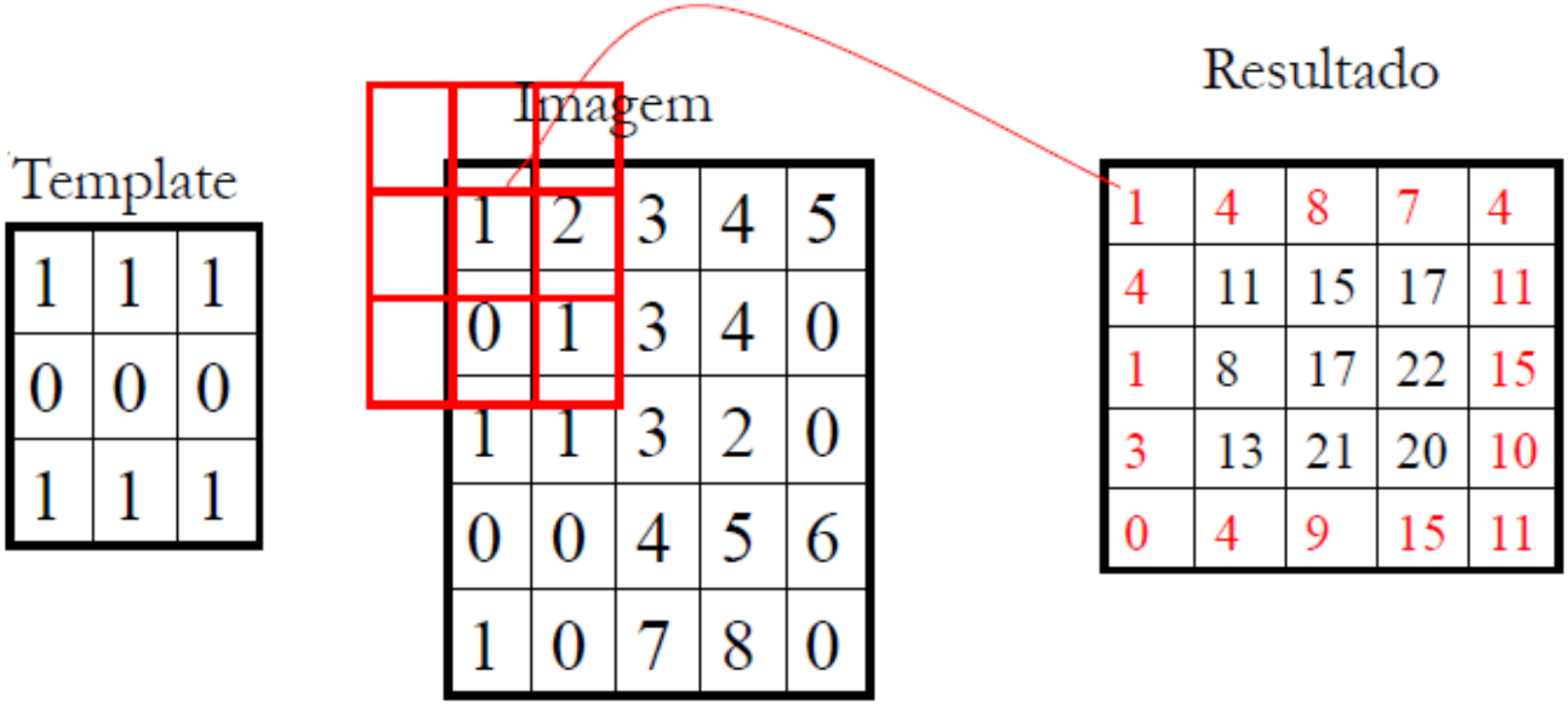
- Exemplo: Atribuição de valor fixo – zero – aos resultados não calculáveis.



Primeiro Ponto ==> (1x1) + (1x2) + (1x3) + (0x0) + (0x1) + (0x3) + (1x1) + (1x1) +(1x3) = 11

Limites da Imagem

- Exemplo: Preenchimento com zeros antes do cálculo da imagem final.



Primeiro Ponto ==> (1x0) + (1x0) + (1x0) + (0x0) + (0x1) + (0x2) + (1x0) + (1x0) +(1x1) = 1

Observações

- O custo computacional da correlação/convolução espacial é alto.
- Se a Imagem é de tamanho M x M e a máscara N x N, o número de multiplicações é de $M^2.N^2$, ou seja, se a Imagem é de 512 x 512 e a máscara é de 16 x 16, são necessárias 67.108.864 multiplicações.
  - A alternativa é transformar a Imagem e a máscara para o domínio da frequência (Fourier) e multiplicar elemento a elemento.
  - A transformação só é justificável se a máscara for maior que 32 x 32, devido ao custo da Transformada de Fourier.

Filtragem no domínio espacial

- Os métodos de filtragem que trabalham no domínio espacial **operam diretamente sobre os pixels**, normalmente utilizando operações de convolução com máscaras.
- O uso de máscaras nas imagens no domínio espacial é usualmente chamado de filtragem espacial e as máscaras são chamadas de filtros espaciais.
- Filtragem:
  - Filtros espaciais de suavização – **passa-baixa**
  - Filtros espaciais de aguçamento – **passa-alta**
  - Filtros derivativos

Filtragem no domínio espacial

- Filtragem:

$$g(x_i,y_i) = T[f(x_i,y_i))]$$

Onde:

$f(x_i,y_i)$ é a imagem de entrada a ser filtrada,

$g(x_i,y_i))$ é a imagem na saída, processada, e,

T é um operador sobre f, definido em alguma vizinhança do *pixel* de posição (x_i,y_i).

Filtros passa-baixa

- Objetivos:
  - Suavizar a imagem pela redução das variações nos de níveis de cinza que dão à aparência de "serrilhado" nos patamares de intensidade.
  - Atenuar as altas frequências, que correspondem às transições abruptas.
  - Minimizar ruídos.
- Tipos:
  - Lineares: filtros de média ou média ponderada
  - Não lineares: filtros de estatística de ordem (mediana, ordem, moda)

Filtro passa-baixa: Linear

- A saída de um filtro espacial linear de suavização é a média dos pixels contidos na vizinhança da máscara de filtragem (filtro de média).
  - Ao substituir o valor de cada pixel pela média, o resultado é uma imagem com perda de nitidez.
  - Aplicações mais evidentes: redução de ruído e suavização.
  - Efeito indesejado: borramento das bordas.
  - Uma máscara de média é tal que seus pesos são positivos e a soma é igual a 1.
- Exemplos:

$$\frac{1}{5}\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{bmatrix} \quad \frac{1}{9}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix} \quad \frac{1}{32}\begin{bmatrix}1 & 3 & 1\\ 3 & 16 & 3\\ 1 & 3 & 1\end{bmatrix} \quad \frac{1}{8}\begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 1 & 4 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

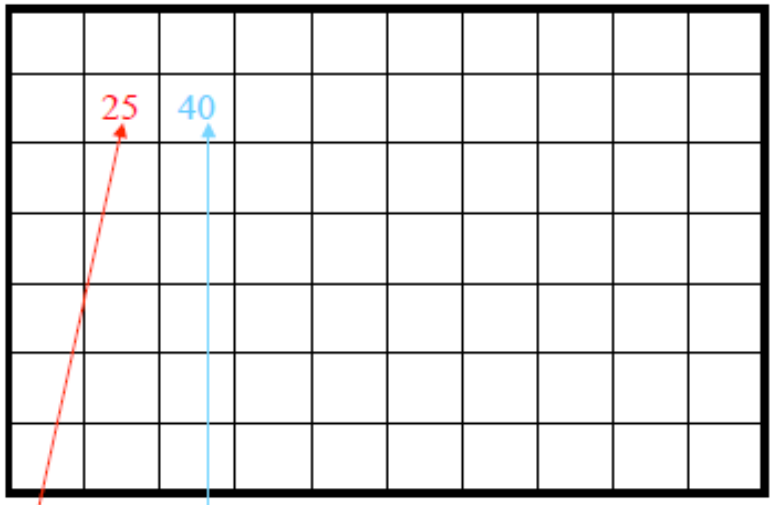
Filtro passa-baixa: Linear

- Média (não ponderada) com máscara = $\frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

f(x,y)

20	30	24	34	60	80	89	90	12	00
23	24	56	67	88	99	00	00	00	00
12	23	35	65	66	77	88	99	00	00
11	22	99	99	99	99	99	98	88	88
12	12	12	22	22	44	55	65	77	88
11	44	55	76	87	55	66	33	33	33
12	33	44	55	66	77	88	00	00	00

g(x,y)



g(0,0) = (20 + 30 +24 + 23 + 24 + 56 + 12 + 23 +35) / 9 = 24,77

g(0,1) = (30 + 24 + 34 + 24 + 56 + 67 + 23 + 35 + 65) / 9 = 39,77

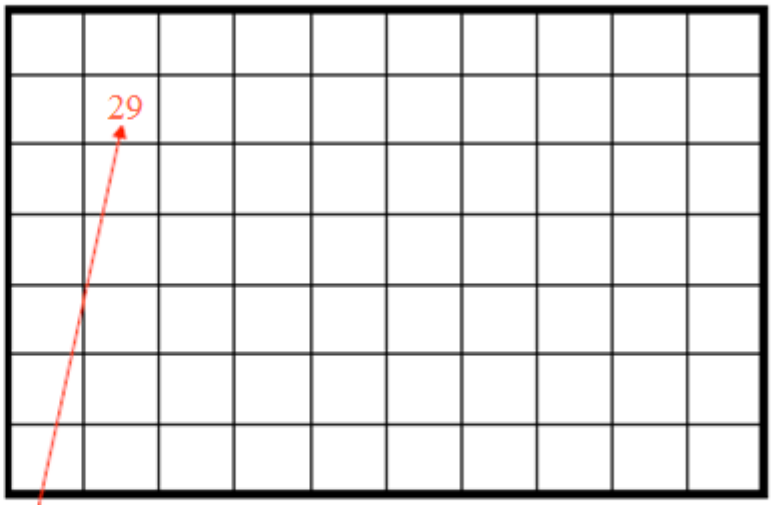
Filtro passa-baixa: Linear

- Média ponderada com máscara $= \frac{1}{8}\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

f(x,y)

20	30	24	34	60	80	89	90	12	00
23	24	56	67	88	99	00	00	00	00
12	23	35	65	66	77	88	99	00	00
11	22	99	99	99	99	99	98	88	88
12	12	12	22	22	44	55	65	77	88
11	44	55	76	87	55	66	33	33	33
12	33	44	55	66	77	88	00	00	00

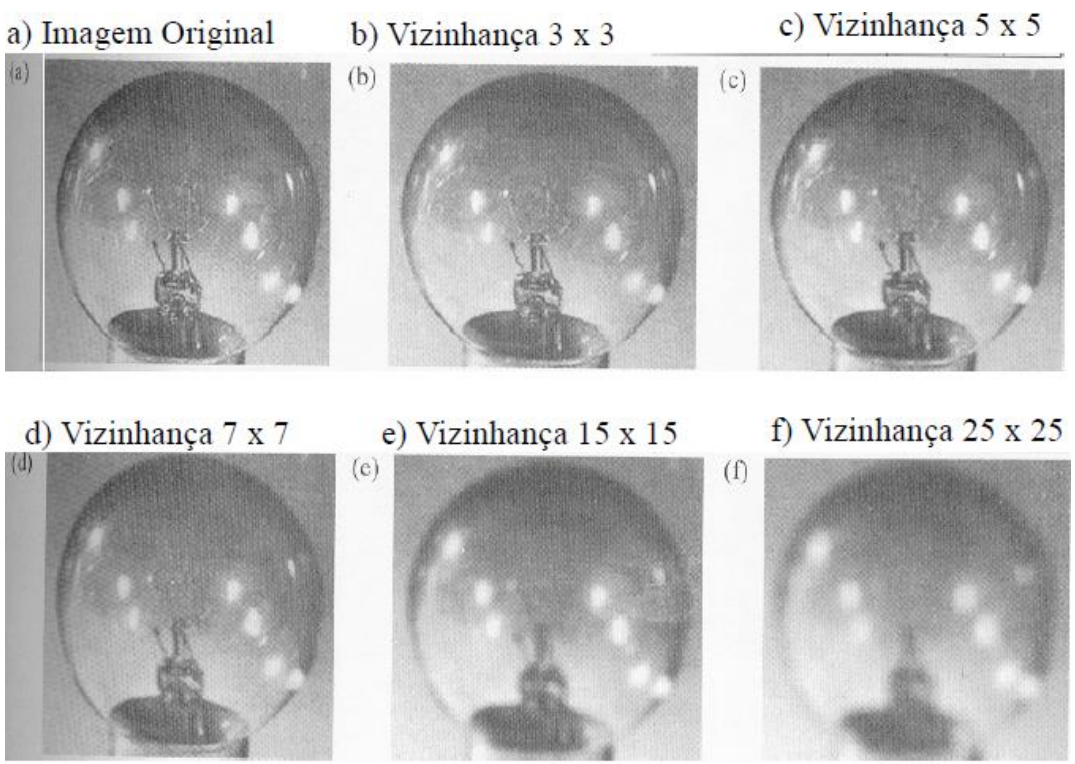
g(x,y)

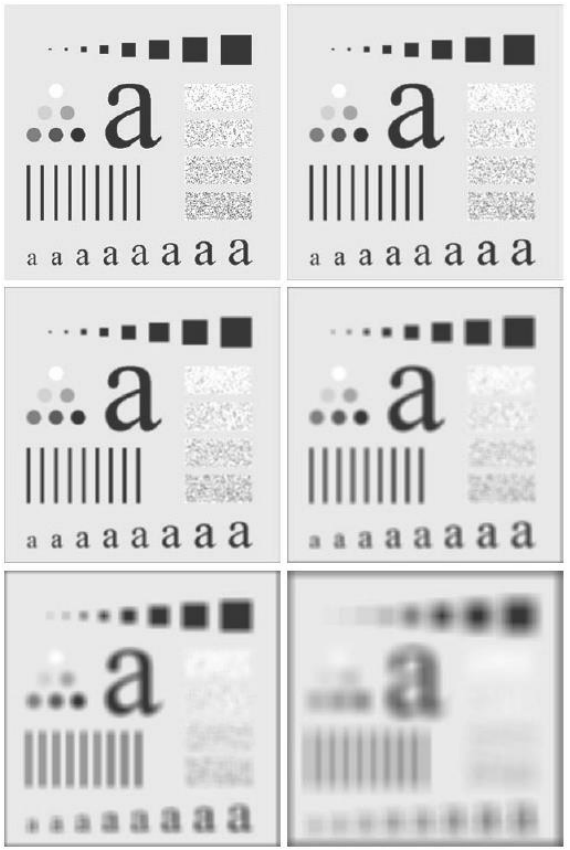


g(0,0) = ((20*0)+(30*1)+(24*0)+(23*1)+(24*4)+(56*1)+(12*0)
+(23*1)+(35*0))/8 = (0+30+0+23+96+56+0+23+0)/8 = 28,5

Filtro passa-baixa: Linear

- Exemplos de aplicações de filtros de média:





Filtro passa-baixa: Linear

- Exemplos de aplicações de filtros de média:

$\circ$ $1/9\ x$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

$=$

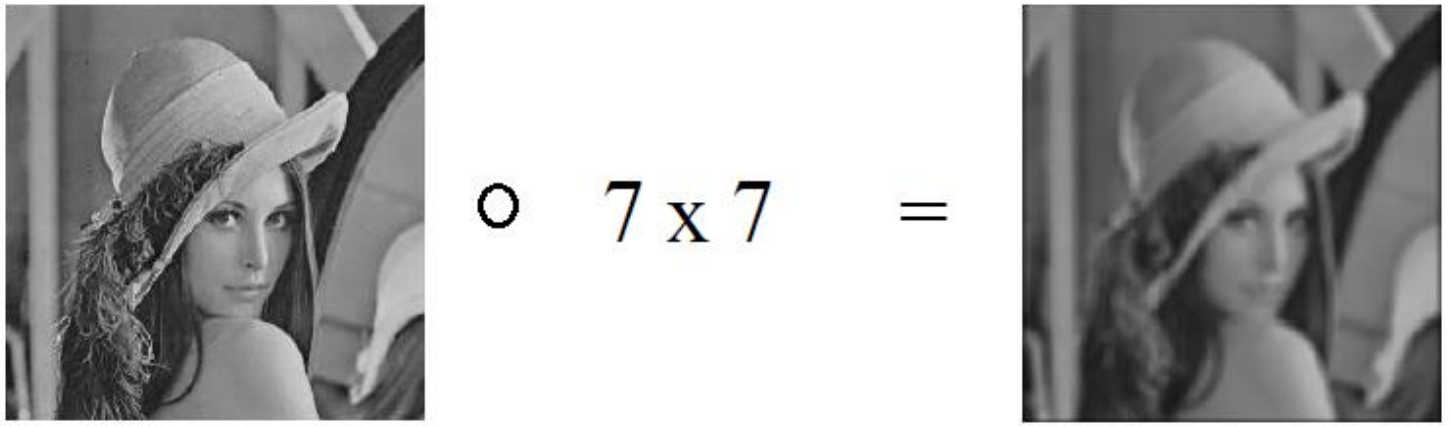
$\circ$ $1/25\ x$

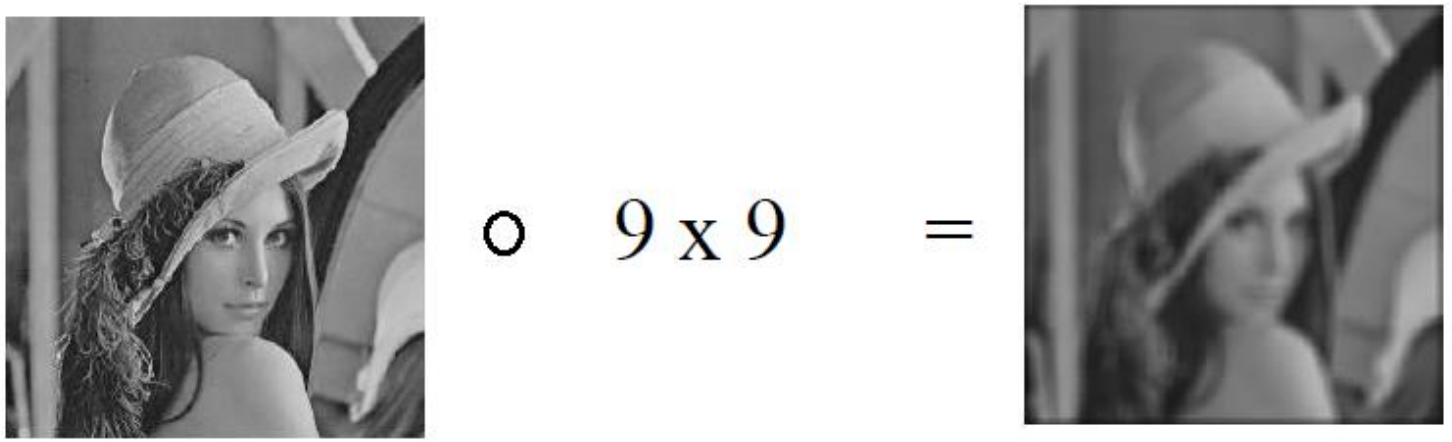
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

$=$

Filtro passa-baixa: Linear

- Exemplos de aplicações de filtros de média:





Filtro passa-baixa: Não Linear

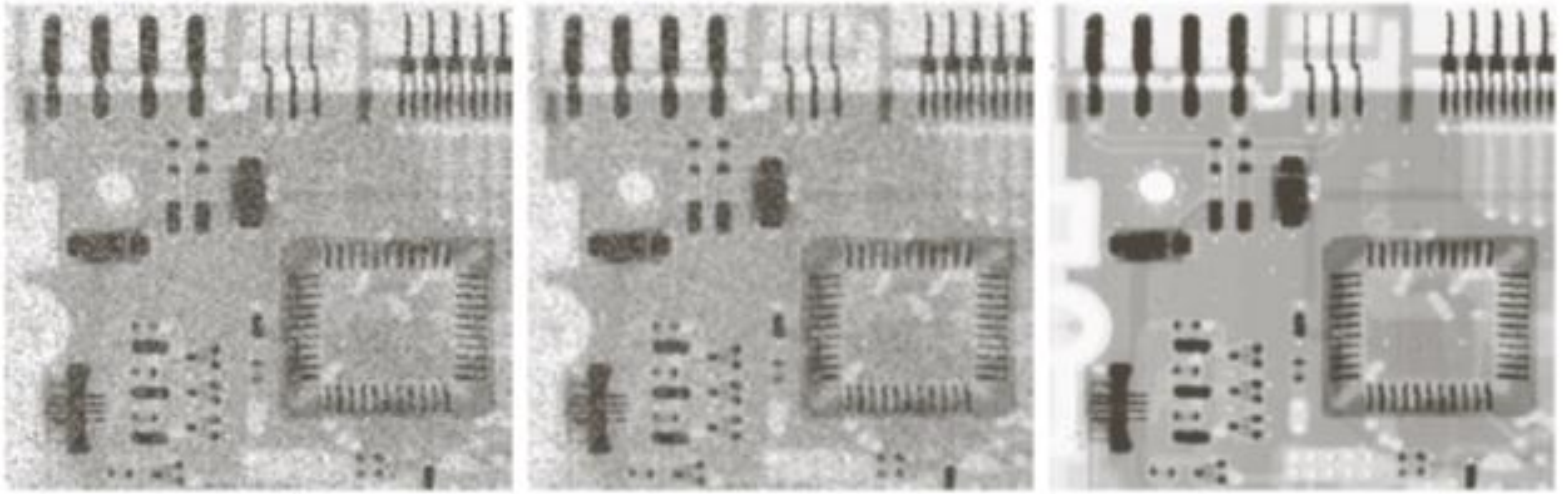
- São filtros cujas respostas se baseiam na ordenação dos pixels contidos na área da imagem coberta pelo filtro.
  - O mais conhecido é o **filtro de mediana**, que substitui o valor de um pixel pela mediana dos valores da vizinhança.
  - São particularmente eficazes para a redução de ruído impulsivo (sal e pimenta).
  - A mediana $\mathcal{E}$ de um conjunto de valores é um valor tal que metade dos valores do conjunto é menor que ele e a outra metade é maior.
    - Ex: vizinhança = 10,23,20,20,15,24,24,25,100; $\mathcal{E}$ = 23.
  - Para realizar a filtragem, ordena-se os valores dos pixels da vizinhança, calcula-se a mediana e atribui-se ao pixel central.

Filtro passa-baixa: Não Linear

- Outros filtros não lineares:
  - Filtro de ordem: as intensidades dos pontos da vizinhança do pixel f(x,y), dentro de uma janela da imagem, são ordenadas e é tomado o valor de uma ordem qualquer desta ordenação, como máximo, mínimo ou 3ª ordem, como novo valor para g(x,y).
  - Filtro de moda: as intensidades dos pontos da vizinhança do pixel (x,y), dentro de uma janela da imagem, são ordenadas e é tomado como novo valor para f(x,y), o valor g(x,y) mais frequente da vizinhança.

Passa-baixa linear *x* não linear

- Exemplos:



(1) (2) (3)

1. Imagem de raios-X de circuito impresso corrompido por ruído sal-e-pimenta.
2. Redução do ruído com uma máscara de média 3x3.
3. Redução do ruído com uma máscara de mediana 3x3.

Filtros passa-alta

- Objetivos:
  - Atenuam ou eliminam as baixas frequências, realçando as altas frequências.
  - Usados para realçar os detalhes na imagem (intensificação, aguçamento ou "*sharpening*").
  - Destacam características como bordas, linhas, curvas e manchas.
  - Tornam mais nítidas as transições entre regiões diferentes (como os contornos), realçando o contraste.
  - A máscara deve ter pesos cuja soma seja igual a zero.
- Filtros Laplaciano, máscara de nitidez e filtragem alto-reforço (*high-boost*).

Filtro passa-alta: Laplaciano

- É um filtro linear e isotrópico
  - A resposta independe da direção das descontinuidades da imagem à qual o filtro é aplicado, ou seja, aplicar o filtro e rotacionar a imagem produz o mesmo resultado que rotacionar a imagem e aplicar o filtro.
- É um operador diferencial
  - Realça as descontinuidades de intensidade e atenua as regiões com níveis de intensidade de variação mais suave;
  - Produz uma imagem na qual as descontinuidades aparecerão em níveis de cinza e o fundo escuro e uniforme.
  - Adicionando-se a imagem laplaciana à original, recupera-se o fundo (cuidado com o sinal).

Filtro passa-alta: Laplaciano

- Máscaras de filtragem usadas para implementar o laplaciano.

0	1	0
1	−4	1
0	1	0

0	−1	0
−1	4	−1
0	−1	0

- Máscaras utilizadas para implementar uma extensão do laplaciano, incluindo as diagonais.

1	1	1
1	−8	1
1	1	1

−1	−1	−1
−1	8	−1
−1	−1	−1

Filtro passa-alta: Laplaciano

- É importante levar em consideração qual a definição de laplaciano que está sendo utilizada:
  - Máscara com centro negativo: $c = -1$;
  - Máscara com centro positivo: $c = 1$.

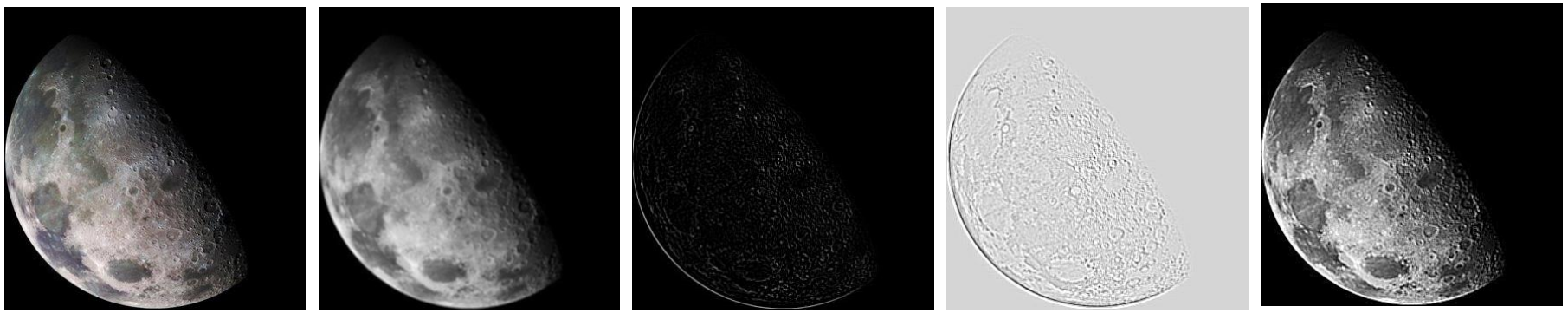
$$g(x,y) = f(x,y) + c[\nabla^2 f(x,y)]$$

Onde $f(x,y)$ e $g(x,y)$ são as imagens de entrada e saída c é uma constante.

- Uma forma típica de ajustar a escala de uma imagem laplaciana é somar seu valor mínimo a ela para levar o novo mínimo a zero e ajustar o resultado para o intervalo total de intensidades [0 – 255].

Filtros passa-alta: Laplaciano

- Exemplos:



(1) (2) (3) (4) (5)

1. Imagem Original
2. Imagem suavizada (média)
3. Imagem laplaciana (filtro [-1 -1 -1; -1 8 -1; -1 -1 -1])
4. Imagem laplaciana ajustada
5. Imagem final

Filtro passa-alta: máscara de nitidez e filtragem alto-reforço (*high-boost*)

- Consiste em subtrai uma versão não nítida (borrada, suavizada) de uma imagem da sua imagem original;
- Este processo é chamado de **máscara de nitidez** (*unsharp mask*) e consiste em:
  - Borrar a imagem original;
  - Subtrair a imagem borrada (suavizada) da original (o resultado é chamado de máscara);
  - Somar a máscara à imagem original.

Filtro passa-alta: máscara de nitidez e filtragem alto-reforço (*high-boost*)

- Máscara de nitidez:
  - Considerando a imagem borrada como $\overline{f}(x,y)$
  - A máscara de nitidez é expressa como:

$$g_{mask}(x,y) = f(x,y) - \overline{f}(x,y)$$

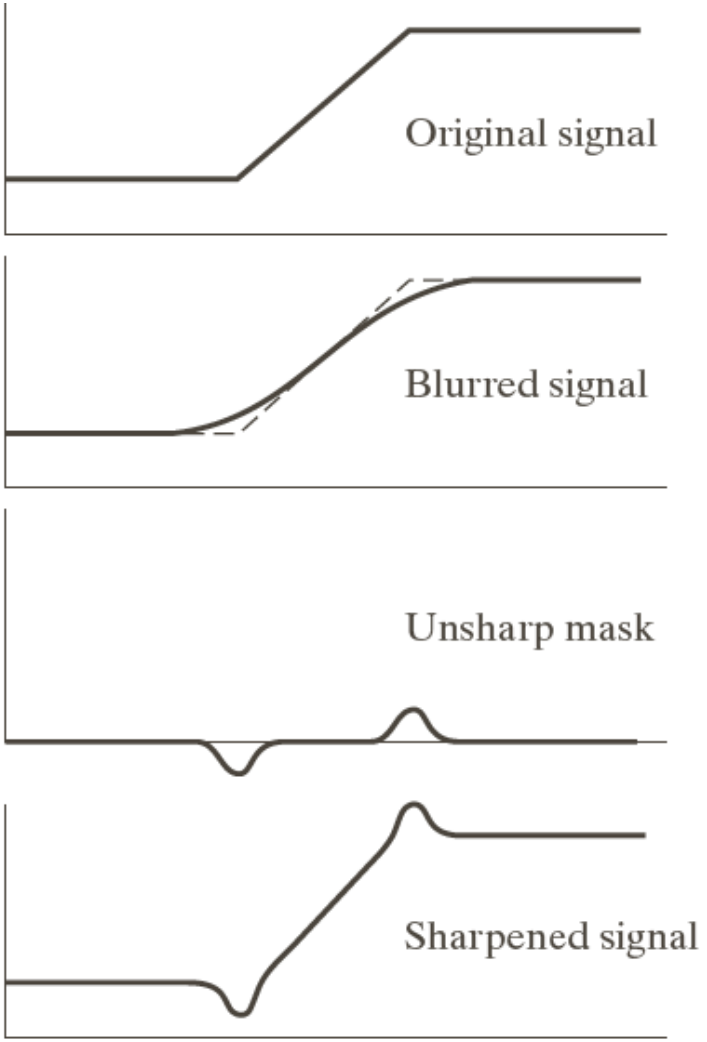
  - Em seguida é adicionada uma porção ponderada da máscara à imagem original

$$g(x,y) = f(x,y) + k.g_{mask}(x,y)$$

  - onde um peso k positivo foi incluído para generalização.
    - Se $k = 1$, tem-se a máscara de nitidez definida anteriormente;
    - Se $k > 1$, o processo é referido como filtragem *high-boost*;
    - Se $k < 1$, atenua-se a contribuição da máscara.

Filtro passa-alta: máscara de nitidez e filtragem alto-reforço (*high-boost*)

- Ilustração 1D do mecanismo de máscara de nitidez:
  1. Sinal original
  2. Sinal borrado com o original mostrado em pontilhado
  3. Máscara de nitidez
  4. Sinal realçado obtido somando 3 a 1.



Filtro passa-alta: máscara de nitidez e filtragem alto-reforço (*high-boost*)

- Exemplo:
  1. Imagem original
  2. Imagem borrada
  3. Máscara de nitidez
  4. Resultado da aplicação da máscara de nitidez com $k = 1$
  5. Resultado do alto-reforço com $k > 1$ (k=4.5)

(1) 

(2) 

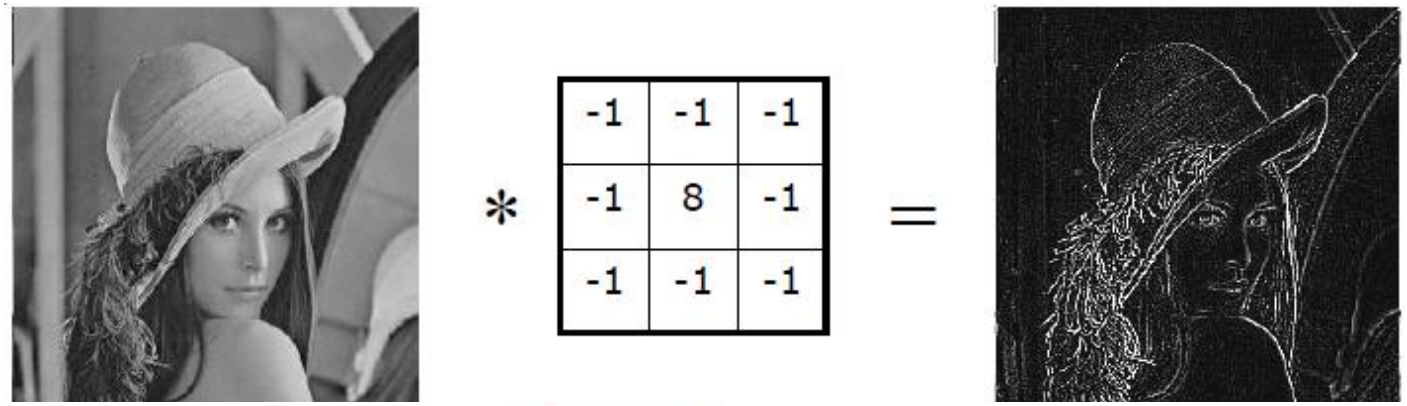
(3) 

(4) 

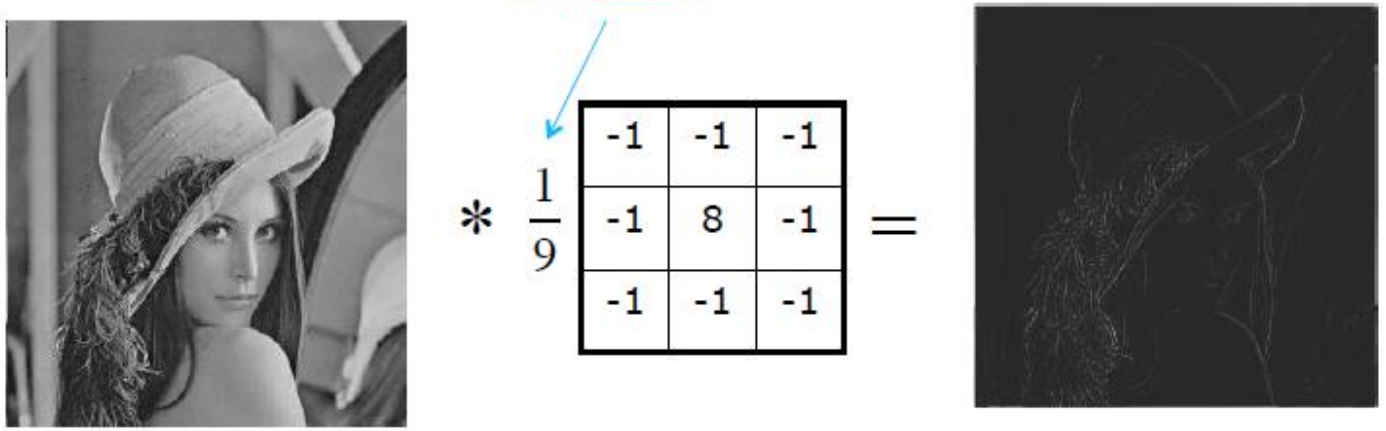
(5) 

Filtro passa-alta

- Observações:



Normalizado



Filtros Derivativos

- Detectam bordas em todas as direções;
- São muito sensíveis (detectam) ruídos e pequenos detalhes.
- Filtros de primeira derivada: o operador de primeira ordem mais comum é o Gradiente.
  - A força da Borda (*edge strength*) é dada pela Magnitude do Gradiente.
- Exemplos de operadores de Gradiente
  - Prewitt, Sobel.

Filtros Derivativos

- Operador de **Prewitt**

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

Bordas Horizontais

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

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

Bordas Verticais

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

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

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

Bordas Diagonais

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

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

Filtros Derivativos

- Operador de **Prewitt**

$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Filtros Derivativos

- Operador de **Sobel**

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

Bordas Horizontais

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

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

Bordas Diagonais

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

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

Bordas Verticais

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

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

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

Filtros Derivativos

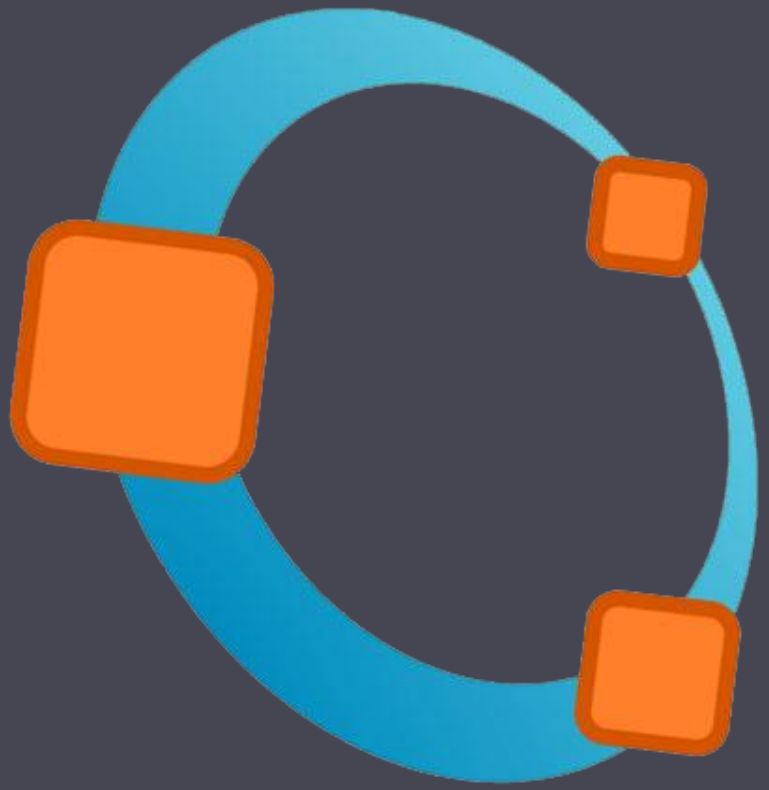
- Operador de **Sobel**

$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

PRÁTICA 9

1. **Elabore o algoritmo para gerar as imagens do slide 19.**
2. **Correlação.**



Disponível no SIGAA