

Processamento Digital de Imagens

Profa. Flávia Magalhães Freitas Ferreira

PUC Minas

Unidade IV - Parte 1b - Filtragem de Imagens

Agenda

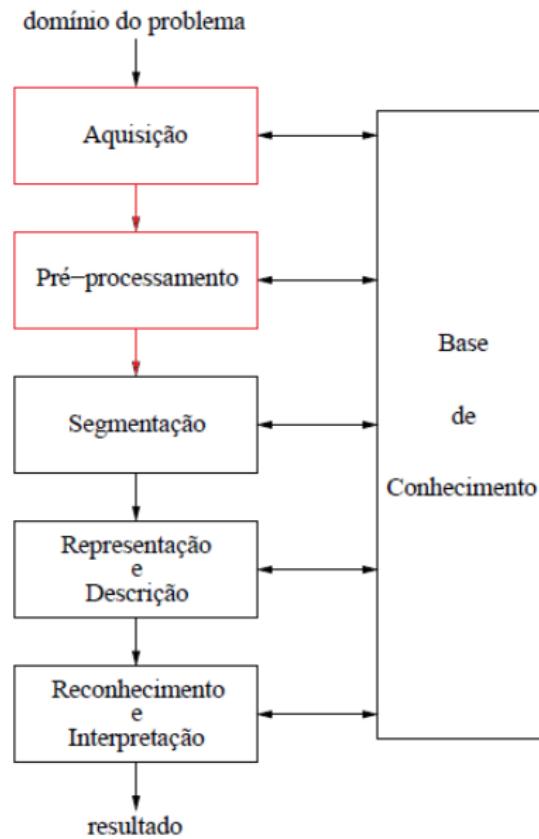
1 Filtragem de Imagens

2 Filtragem no Domínio Espacial

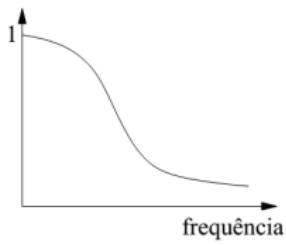
- Filtros usando máscaras
 - Filtros Passa-Baixas
 - Filtros Passa-Altas
 - Filtros Passa-Faixa

3 Exemplos - Matlab

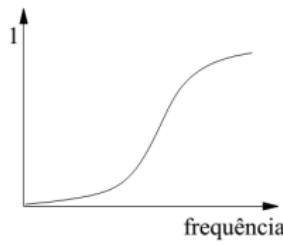
Etapas do Processamento Digital de Imagens



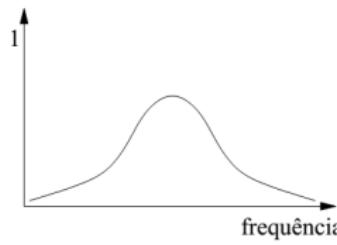
- As operações de filtragem podem ser realizadas tanto no domínio do espaço quanto de frequência.
- Os filtros são normalmente classificados em três categorias:
 - passa-baixas
 - passa-altas
 - passa-faixa
- A figura abaixo ilustra esses tipos de filtros no domínio de frequência para o caso unidimensional.



(a) passa-baixas



(b) passa-altas



(c) passa-faixa

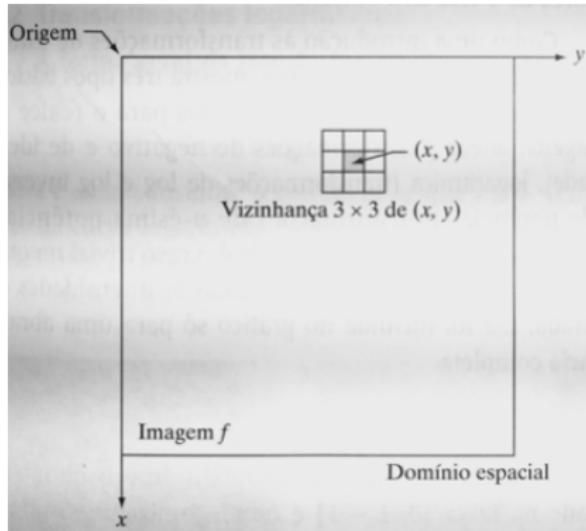
- Um **filtro passa-baixas** atenua as altas frequências que estão relacionadas com a informação de detalhes da imagem. A suavização tende também, pelas mesmas razões, a minimizar o efeito do ruído em imagens.
- Um **filtro passa-altas** realça as altas frequências e são normalmente usados para realçar os detalhes e as bordas na imagem. Um efeito indesejado é o de enfatizar o ruído presente na imagem.
- Um **filtro passa-faixa** seleciona um intervalo de frequências do sinal para ser realçado.

- O **domínio espacial** refere-se ao próprio plano da imagem, ou seja, ao conjunto de *pixels* que compõe uma imagem.
- No domínio espacial, o nível de cinza de um ponto $f(x, y)$ após a transformação depende do valor do nível de cinza original do ponto e de outros pontos da vizinhança de $f(x, y)$.
- Em geral, os pontos mais próximos contribuem mais significativamente para o novo valor de nível de cinza do que os pontos mais afastados.
- Os operadores de filtragem são geralmente classificados em filtros lineares e não-lineares.
- Filtros lineares calculam o valor resultante do pixel $f'(x, y)$ como uma combinação linear dos níveis de cinza em uma vizinhança local do pixel $f(x, y)$ na imagem original.

- No domínio espacial, o processo de filtragem normalmente é realizado por meio de matrizes denominadas *máscaras*, as quais são aplicadas sobre a imagem. A cada posição da máscara está associado um valor numérico, chamado de peso ou coeficiente.
- A aplicação da máscara com centro na coordenada (x, y) , sendo x a posição da coluna e y a posição de uma dada linha da imagem, consiste na substituição do valor do pixel na posição (x, y) por um novo valor, o qual depende dos valores dos *pixels* vizinhos e dos pesos da máscara.
- Os coeficientes do filtro são multiplicados pelos níveis de cinza dos *pixels* correspondentes e então somados, substituindo o nível de cinza do pixel central.

Filtragem no Domínio Espacial

- Uma vizinhança (máscara, ou kernel, ou filtro) 3×3 ao redor de um ponto (x, y) em uma imagem representando no domínio espacial. A vizinhança é movida pixel a pixel na imagem, para gerar a imagem de saída.



- Na filtragem espacial, o tipo de operação realizada na vizinhança (pesos da máscara de vizinhança) determina a natureza do processo de filtragem.

- A figura abaixo mostra uma *máscara* genérica de tamanho 3×3 , com pesos w_i , $1 \leq i \leq 9$. Suponha que a máscara "delize" sobre a imagem f . Se os níveis de cinza da imagem alocados sob a *máscara* são denotados por $z_i = f(x, y)$, então $x, y \in S_{xy}$, uma região 3×3 ao redor do pixel central e a resposta da *máscara* é

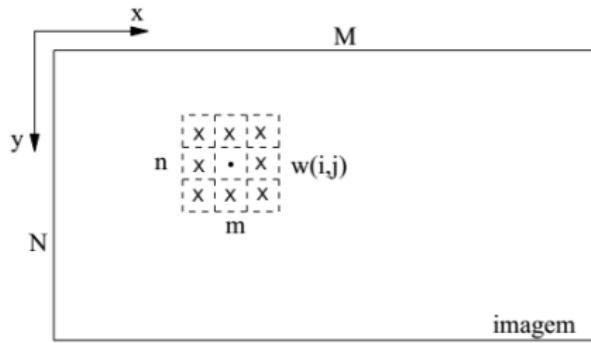
$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

Esta operação é denominada CONVOLUÇÃO
(nesse caso, discreta e 2D)

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Filtros usando máscaras

- Se o centro da máscara estiver em uma posição (x, y) na imagem, o nível de cinza do *pixel* posicionado em (x, y) será substituído por R .
- A máscara é então movida para a próxima posição de *pixel* na imagem e o processo se repete até que todas as posições de *pixels* tenham sido cobertas.
- A figura a seguir ilustra essa operação, em que a imagem e a máscara possuem dimensões $M \times N$ e $m \times n$ *pixels*, respectivamente.

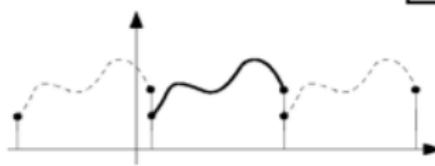


Considerações quanto à Convolução Discreta 2D

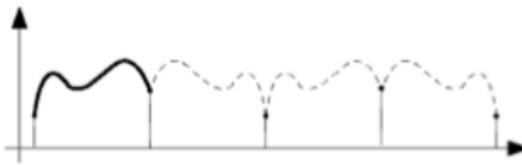
- Complexidade da operação entre uma imagem $m \times n$ e um filtro $p \times q$?
 - $m \cdot n \cdot p \cdot q$
 - Em alguns casos (vide filtros separáveis) é possível melhorar através de duas passadas 1D
- Algumas máscaras podem conter valores negativos, levando a resultados com valores negativos (ou mesmo valores fora do espaço de cores)!
Duas soluções simples:
 - arredondar para o valor existente mais próximo (negativos → 0)
 - Transformação dos valores (offset + redistribuição de valores)

- Problemas na borda: Como estender o domínio?
 - Extensão nula
 - Extensão periódica

Código da
convolução?



- Extensão por reflexão



- O efeito de um filtro passa-baixa é o de suavização da imagem, uma vez que as frequências altas que correspondem às transições abruptas são atenuadas.
- A suavização tende também, pelas mesmas razões, a minimizar o efeito do ruído em imagens.
- Por outro lado, devido ao borramento causado pela filtragem passa-baixa, detalhes finos podem ser removidos da imagem.

- Alguns exemplos de filtros passa-baixas são mostrados abaixo.

$$h_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

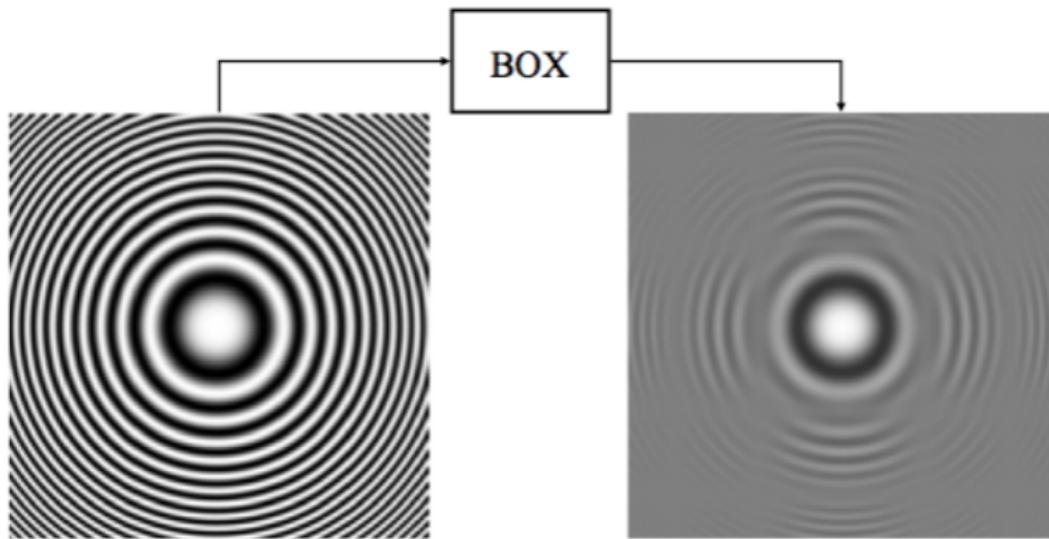
$$h_3 = \frac{1}{49} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_4 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_5 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- As máscaras h_1 , h_2 e h_3 possuem todos seus coeficientes iguais a 1 e o resultado da convolução é dividido pela soma dos pesos da máscara, de modo a preservar o valor médio.
- Tais filtros são denominados **Filtros de Média**, ou **Filtro de Caixa**, ou **Filtro BOX**, em que cada pixel é substituído pelo valor médio de seus vizinhos.
- Dessa forma, a aplicação de filtros da média em uma região homogênea da imagem, ou seja, com níveis de cinza constantes, não sofrerá alteração de seus níveis de cinza.
- Os filtros h_4 e h_5 introduzem uma ponderação conforme a distância e a orientação dos pontos vizinhos.

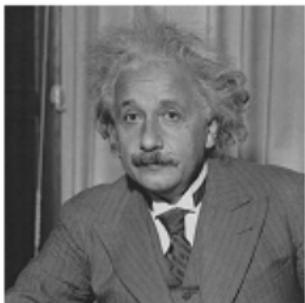
Resultado de um Filtro BOX



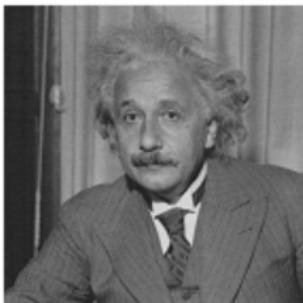
Filtro anisotrópico: a resposta depende da direção das descontinuidades da imagem à qual o filtro é aplicado.

Filtros Passa-Baixas

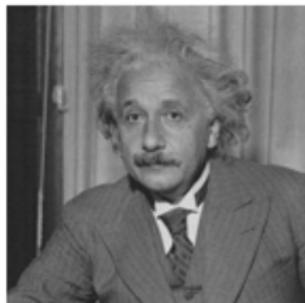
- A figura abaixo mostra exemplos de aplicação do filtro da média com diferentes tamanhos de máscara.



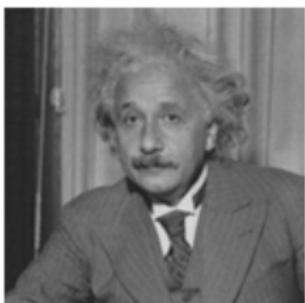
(a) imagem original



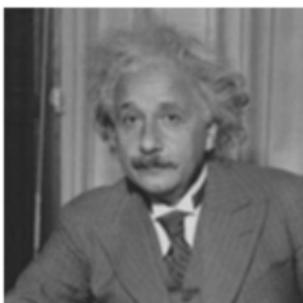
(b) máscara 3×3



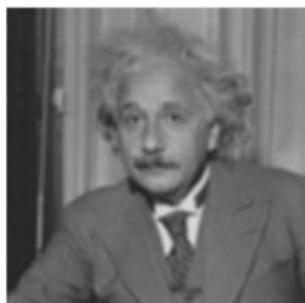
(c) máscara 5×5



(d) máscara 7×7

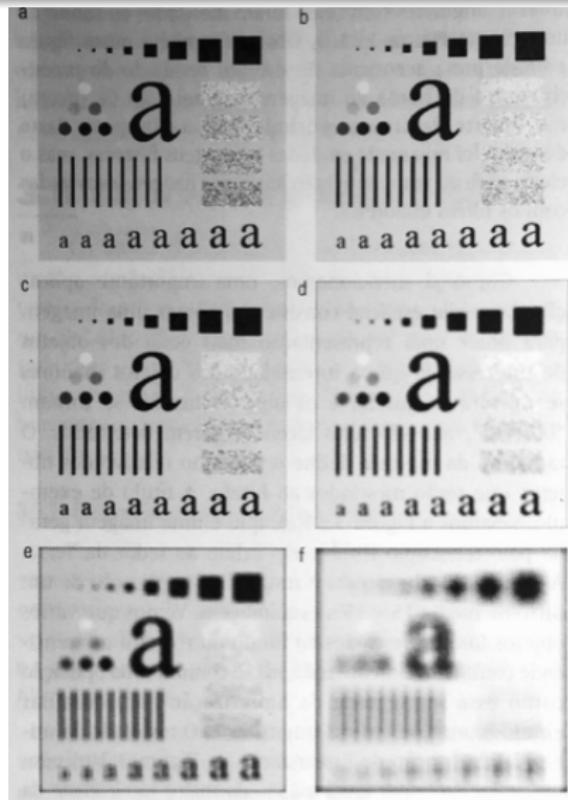


(e) máscara 9×9



(f) máscara 11×11

Filtros Passa-Baixas



- (a): Imagem original de 500 x 500 pixels; (b) a (f) : Resultados da suavização com filtro de média, quadrados (filtro box), de tamanhos $m = 3, 5, 9, 15$ e 35 , respectivamente.
- Os quadrados pretos no alto das imagens têm tamanhos $3, 5, 9, 15$ e $35, 45$ e 55 pixels, respectivamente. Suas bordas estão distantes 25 pixels umas das outras.
- O tamanho das letras na parte inferior varia de 10 a 24 pontos, em incrementos de 2 pontos; a letra maior tem 60 pontos.
- As barras verticais têm 5 pixels de largura e 100 pixels de altura; sua separação é de 20 pixels.
- O diâmetro dos círculos é de 25 pixels e suas bordas estão distantes 15 pixels; seus níveis de intensidade variam de 0% a 100%, em incrementos de 20%.
- O fundo da imagem é 10% preto.
- Os retângulos com ruído têm 50x120 pixels.

- Nos **Filtros Gaussianos**, os coeficientes da máscara são derivados a partir de uma função Gaussiana bidimensional.
- A função Gaussiana discreta com média zero e desvio padrão σ é definida como

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right).$$

que é usada como um filtro de suavização.

- Um gráfico dessa função é mostrada na figura a seguir.

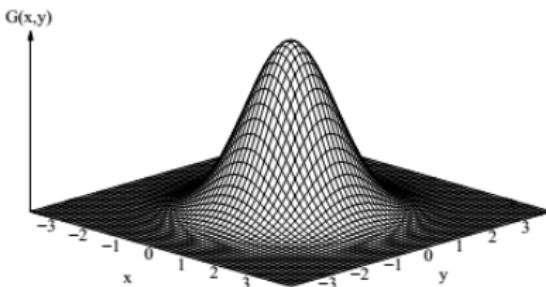
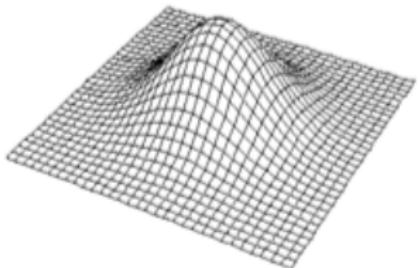


Figura: Função Gaussiana bidimensional com média $(0,0)$ e $\sigma = 1$.

Filtro Gaussiano



Máscara de coeficientes
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1
1 6 15 20 15 6 1
1 7 21 35 35 21 7 1
1 8 28 56 70 56 28 8 1

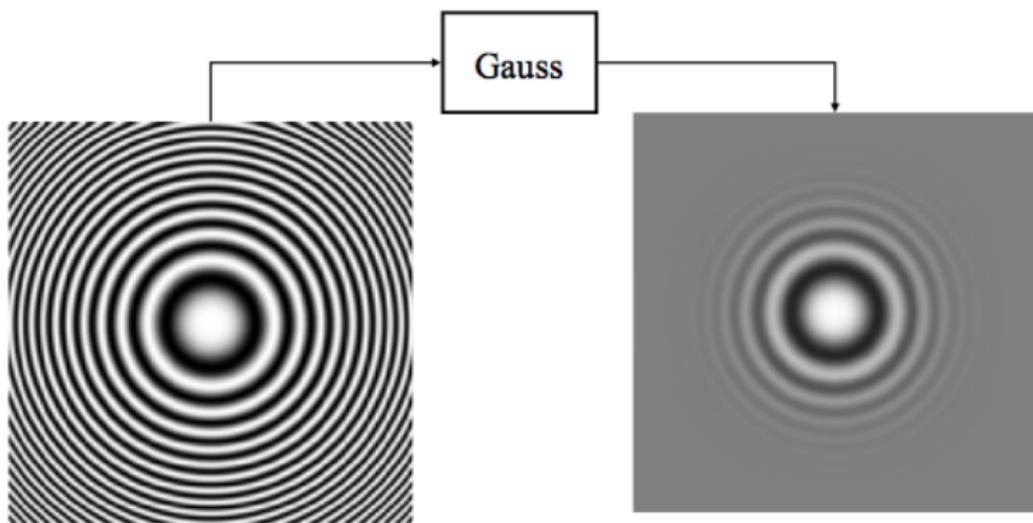
$$\frac{1}{64} \bullet \begin{matrix} 1 & 3 & 3 & 1 \\ 3 & 9 & 9 & 3 \\ 3 & 9 & 9 & 3 \\ 1 & 3 & 3 & 1 \end{matrix} \quad \frac{1}{16} \bullet \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

$$\frac{1}{256} \bullet \begin{matrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{matrix}$$

→ Triângulo de pascal para geração discreta da Gaussiana

- Características úteis em processamento de imagens:
 - ① Em duas dimensões, funções Gaussianas são simétricas com relação à rotação. Isso significa que o grau de suavização realizado pelo filtro será o mesmo em todas as direções, ou seja, o filtro é isotrópico.
 - ② A suavização da imagem é realizada por meio da substituição de cada pixel por uma média ponderada dos *pixels* vizinhos, tal que o peso dado a um vizinho decresce monotonicamente com a distância do pixel central.
 - ③ A largura de um filtro Gaussiano, ou seja, seu grau de suavização, está relacionado com o parâmetro σ . Quanto maior o valor de σ , maior a largura do filtro Gaussiano e maior o seu grau de suavização.
 - ④ Funções Gaussianas são separáveis. Portanto, uma convolução Gaussiana pode ser realizada processando a imagem com um filtro Gaussiano unidirecional e então processando o resultado com o mesmo filtro unidirecional orientado ortogonalmente ao filtro Gaussiano utilizado no primeiro estágio. Esse processo reduz consideravelmente o número de operações utilizadas na convolução Gaussiana.

Resultado do Filtro Gaussiano



Filtro isotrópico: a resposta independe da direção das descontinuidades da imagem à qual o filtro é aplicado.

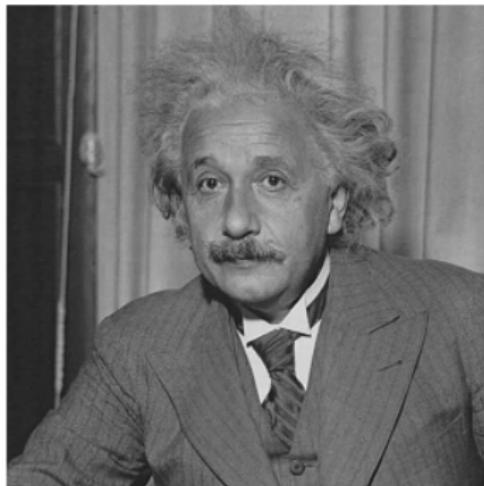
- Filtros bidimensionais simétricos nas direções horizontal e vertical podem ser decompostos em dois filtros separáveis unidimensionais. A implementação de filtragem espacial na forma separável resulta em maior eficiência computacional.

Filtro da média: $h(x) = \frac{1}{3}[1 \ 1 \ 1]$, $h(y) = \frac{1}{3}[1 \ 1 \ 1]^T$

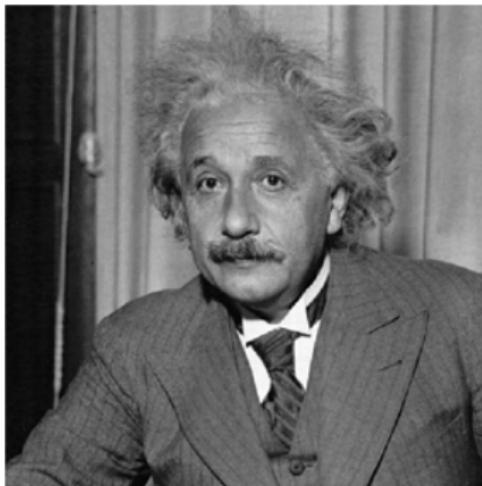
Filtro Gaussiano: $h(x) = \frac{1}{4}[1 \ 2 \ 1]$, $h(y) = \frac{1}{4}[1 \ 2 \ 1]^T$

Filtros Passa-Baixas

- Exemplo de aplicação do filtro Gaussiano 5×5



(a)



(b)

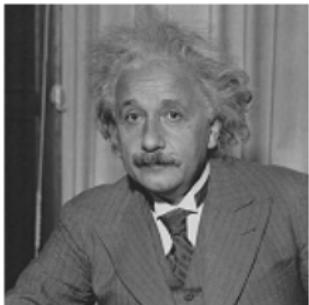
Figura: Filtro Gaussiano. (a) imagem original; (b) imagem suavizada por filtro Gaussiano.

- Como mencionado anteriormente, um dos grandes problemas relacionados à eliminação de ruído em imagens por meio de filtros passa-baixas é a supressão de detalhes finos e bordas da imagem.
- O processamento com filtros não-lineares procura evitar a suavização homogênea ao longo das regiões próximas a essas bordas.
- Uma classe de filtros não-lineares bastante empregada em processamento de imagens é formada pelos filtros estatísticos de ordem.
- Dada uma vizinhança contendo m pixels, estes pixels são ordenados em um novo conjunto p_1, p_2, \dots, p_m , em que $p_i \leq p_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots, m - 1$.
- Em imagens monocromáticas, a ordenação poderia ser realizada pelas intensidades dos *pixels*.
- Por outro lado, em imagens multibandas, as cores dos *pixels* poderiam ser utilizadas na ordenação dos *pixels*.

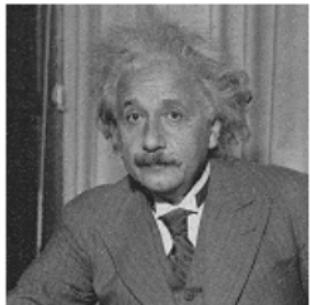
- **Filtro MEDIANA:** ordenam-se os pixels da máscara e substitui o pixel central pelo valor da mediana dos pixels sob a máscara.
Efeito provocado: remoção de ruído sem perdas visíveis de bordas.
- Para uma vizinhança de $n \times n$ *pixels*, sendo n ímpar, a mediana das intensidades ordenadas encontra-se na posição $(n^2 + 1)/2$.
- O filtro da mediana é adequado para reduzir o efeito de **ruído impulsivo** do tipo sal-e-pimenta, já que os níveis de cinza dos *pixels* que diferem significativamente de seus vizinhos (valores altos ou baixos), em uma dada vizinhança, serão descartados pelo filtro.
- Além disso, o filtro da mediana não introduz valores de níveis de cinza diferentes daqueles contidos na imagem original e, por afetar menos as bordas, pode ser aplicado iterativamente.

Filtro Passa-Baixa não Linear

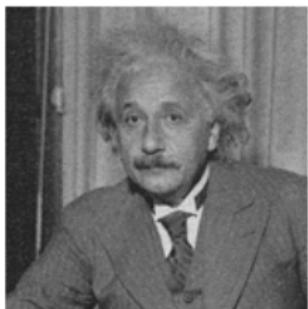
- Exemplos da aplicação do filtro da média e da mediana em uma imagem corrompida por ruído impulsivo (sal-e-pimenta).



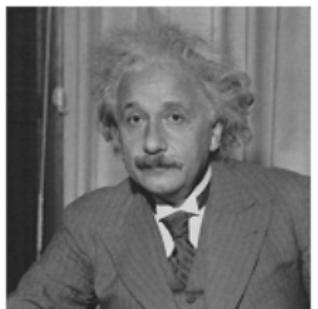
(a) imagem original



(b) com ruído impul-
sivo



(c) após filtro da
média 5×5



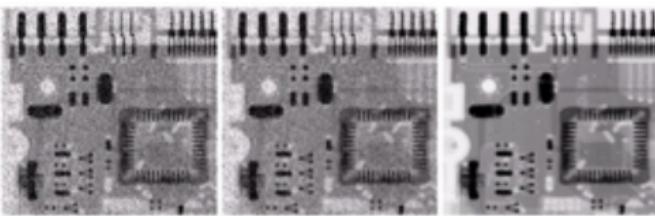
(d) após filtro da me-
diana 5×5

Filtros Passa-Baixas: média X mediana

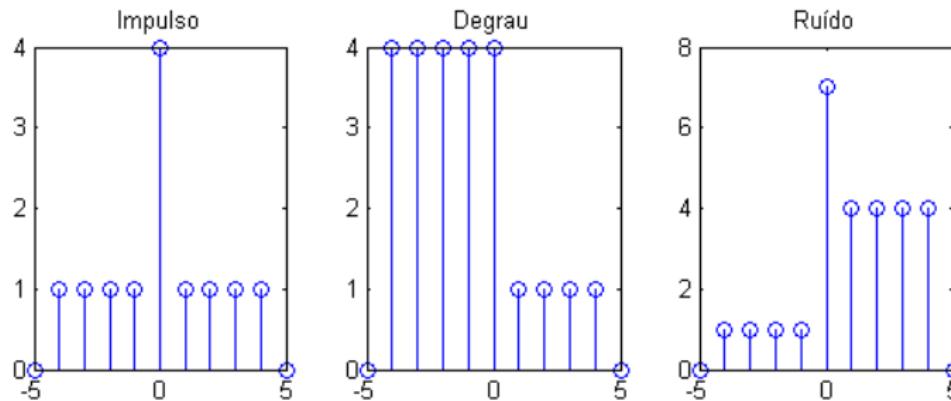
Ex. Filtro média (máscara de tamanhos variados)



Ex. Filtro mediana

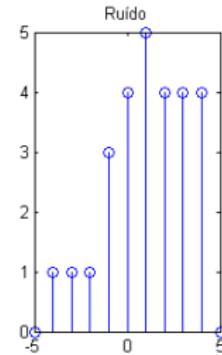
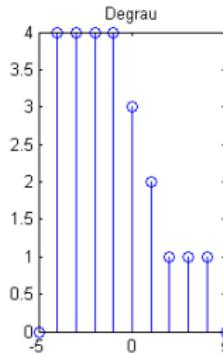
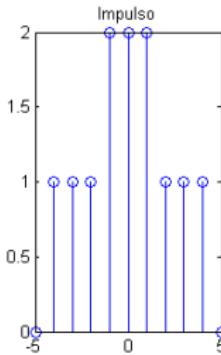
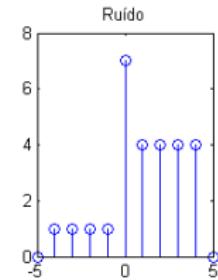
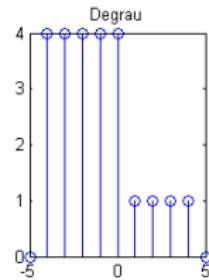
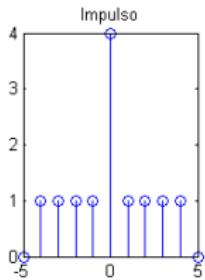


Considerando uma escala de cinza de 3 bits, aplique os filtros média, mediana e gaussiano; em cada uma das funções discretas abaixo.

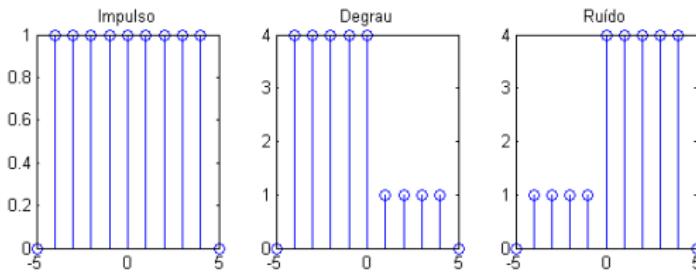
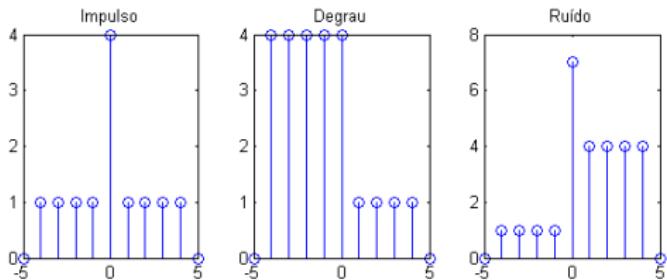


Para os três filtros de suavização de imagens, informe quais filtros conseguem eliminar o ruído e o impulso e quais filtros preservam as bordas.

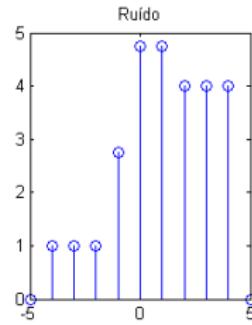
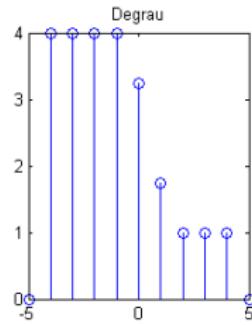
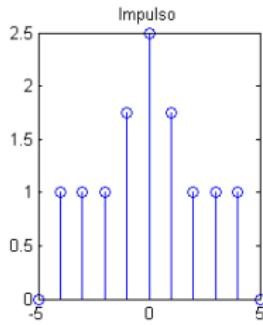
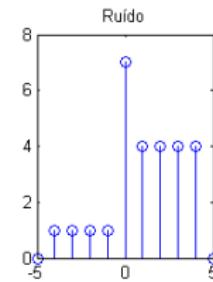
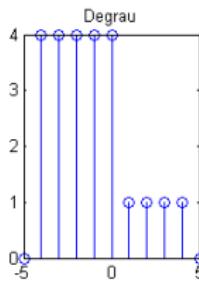
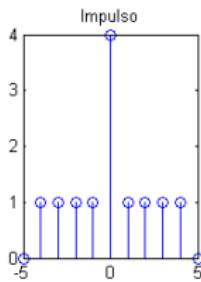
Exercício - Resultado do Filtro de Média



Exercício - Resultado do Filtro de Mediana



Exercício - Resultado do Filtro Gaussiano



- **Filtro MIN:** Ordenam-se os pixels da máscara e substitui o pixel central pelo valor do pixel de menor valor.
Efeito provocado: supressão das regiões mais claras pelas escuras.
- **Filtro MAX:** Ordenam-se os pixels da máscara e substitui o pixel central pelo valor do pixel de maior valor.
Efeito provocado: estouro das regiões mais claras.
- **Filtro MODA:** calcula-se a frequência de cada pixel da máscara e substitui o valor do pixel central pelo valor do pixel de maior frequência.
Efeito provocado: remoção de ruído, com poucas perdas de bordas.

Outros Filtros não Lineares (Filtros Estatísticos de Ordem)

- Exemplos de aplicação dos filtros estatísticos de ordem descritos anteriormente para uma vizinhança de 3×3 pixels em uma imagem.
- Após a ordenação dos nove valores de intensidade dos pixels na vizinhança considerada da imagem original, os novos valores do pixel central são calculados para cada filtro e substituídos na imagem resultante.

15	10	25
20	35	10
35	40	35

(a)

15	10	25
20	10	10
35	40	35

(b)

15	10	25
20	40	10
35	40	35

(c)

15	10	25
20	25	10
35	40	35

(d)

15	10	25
20	35	10
35	40	35

(e)

Figura: Exemplos de filtros estatísticos de ordem em uma vizinhança de 3×3 pixels. (a) valores originais de intensidade; (b) filtro mínimo; (c) filtro máximo; (d) filtro da mediana; (e) filtro da moda.

Filtros Passa-Baixas: MIN X MAX

Ex: Filtro MIN (erosão) e MAX (dilatação)



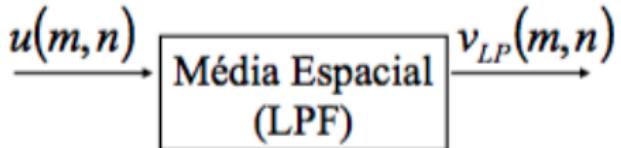
Imagem Original



Imagem Processada



Filtragem Passa-Baixas, Passa-Altas e Passa-Faixa



$$\begin{matrix} & & 1/4 \\ 1/4 & & \\ & & 1/4 \end{matrix}$$
$$1/4$$

$$v_{LP}(m, n) = \frac{1}{4} [u(m-1, n) + u(m, n-1) + u(m+1, n) + u(m, n+1)]$$



$$\begin{matrix} -1/4 & & \\ -1/4 & 1 & -1/4 \\ -1/4 & & \end{matrix}$$

Máscara de nitidez

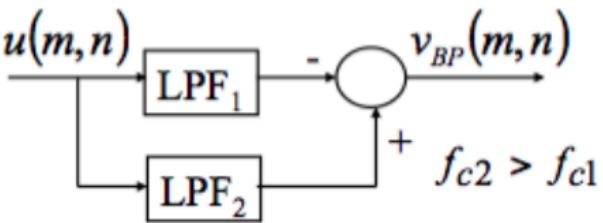
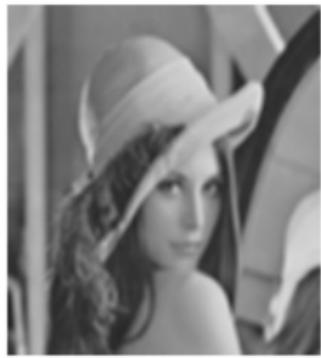


Imagen Original



Passa Baixa



Passa Alta



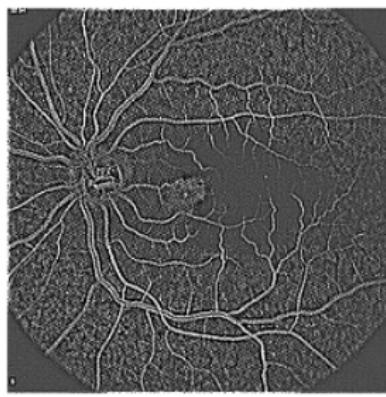
Máscara de nitidez

- Os filtros passa-altas podem ser usados para realçar certas características presentes na imagem, tais como bordas, linhas ou regiões de interesse.
- O efeito indesejado desses filtros é o de enfatizar o ruído presente na imagem.
- O formato da resposta de um filtro passa-altas deve ser tal que a máscara correspondente apresente coeficientes positivos nas proximidades de seu centro e negativos longe deles.

- A figura (b) mostra o resultado da aplicação de um filtro passa-alta sobre a imagem da figura (a).



(a)



(b)

Figura: Filtro passa-alta. (a) imagem original; (b) resultado após aplicação de filtro passa-alta.

Filtragem High-Boost para acentuação de bordas

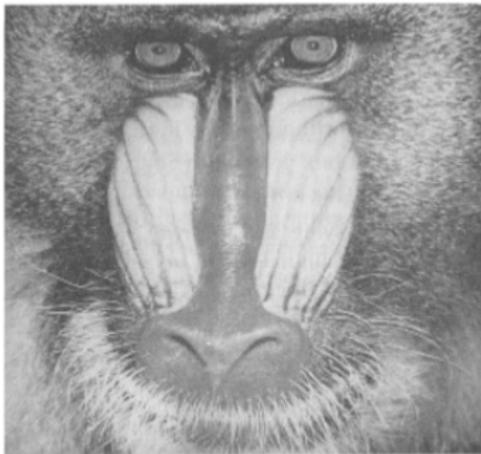


Imagen original

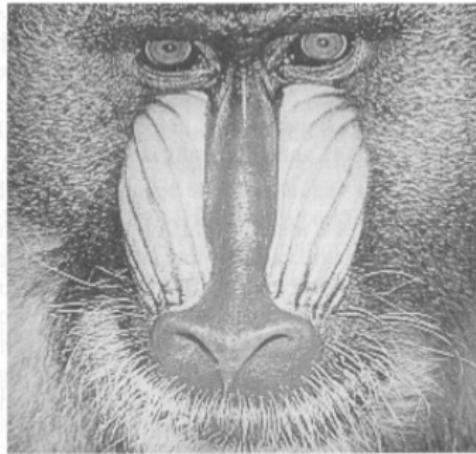


Imagen realçada

$$v(m,n) = u(m,n) + \lambda v_{HP}(m,n)$$

Máscara de nitidez

Filtros Passa-Altas: Aproximações das Derivadas

Derivada primeira, função de uma variável: um passo à frente

$$\frac{\delta f}{\delta x} = f(x + 1) - f(x)$$

Derivada segunda, função de uma variável: um passo à frente e um passo atrás

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = f(x + 1) + f(x - 1) - 2f(x)$$

Derivada segunda, função de duas variáveis: Laplaciano

$$\Delta^2 f = \frac{\delta^2 f}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 f}{\delta y^2}$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) - 2f(x, y)$$

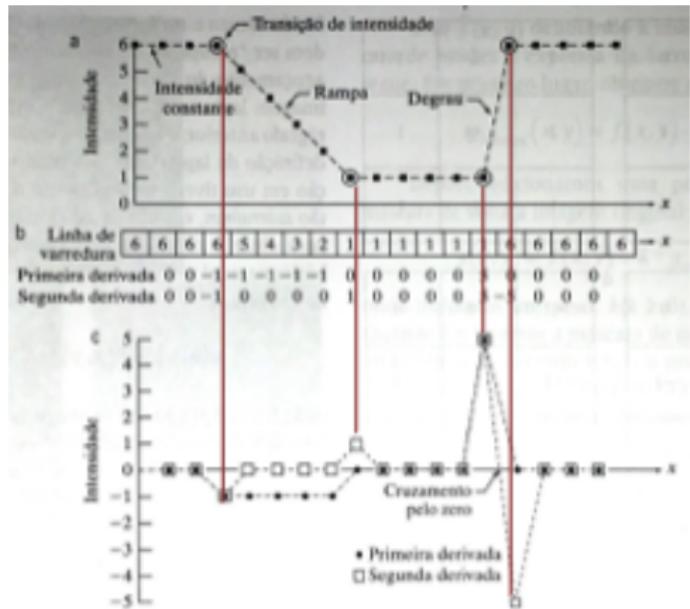
$$\frac{\delta^2 f}{\delta y^2} = f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 2f(x, y)$$

$$\Delta^2 f = f(x + 1, y) + f(x - 1, y) + f(x, y + 1) + f(x, y - 1) - 4f(x, y)$$

Filtros Passa-Altas: Aproximações das Derivadas

$$\frac{\delta f}{\delta x} = f(x+1) - f(x)$$

$$\frac{\delta^2 f}{\delta x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$



Na descontinuidade, a derivada segunda apresenta um valor positivo e um negativo e é ideal para realçar detalhes finos, mas em contrapartida pode realçar ruídos. A resposta da derivada primeira aos detalhes e ao ruído é mais baixa, sendo mais adequada para realçar transições significativas de intensidade: rampa e degrau.

Sobel:

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

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

Prewitt:

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

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

Laplaciano:

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

Filtros Passa-Altas: Máscaras para Deteção de Bordas

Original



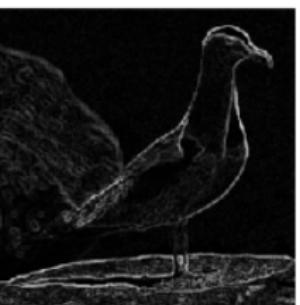
Roberts



Sobel

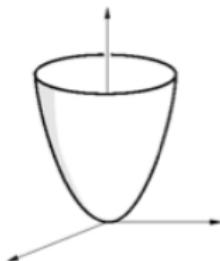


Prewitt



$$\Delta^2 f = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

Filtro Laplaciano

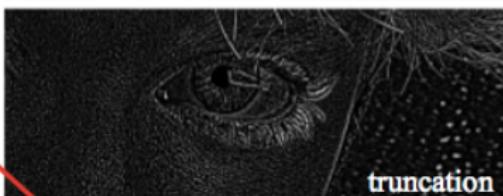


0	1	0
1	-4	1
0	1	0

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

- Filtro passa alta.
- Somar à imagem original para realçar os detalhes.

Filtro isotrópico invariante a rotações de 90°



Filtro isotrópico invariante a rotações de 45°

Filtros Passa-Altas: Laplaciano

Aguçamento de Imagens Utilizando o Laplaciano

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

$c = -1$ para máscaras das Figuras (a) e (b) e
 $c = 1$ para máscaras das Figuras (c) e (d)

a	0	1	0
	1	-4	1
	0	1	0

b	1	1	1
	1	-8	1
	1	1	1

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

d	-1	-1	-1
	-1	8	-1
	-1	-1	-1

Observar, na descontinuidade, duas bordas finas: uma clara e outra escura.

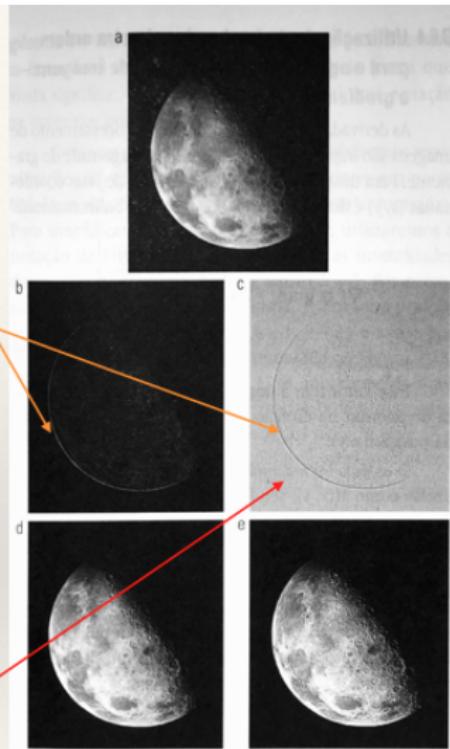


Figura 3.37 (a) Máscara de filtragem utilizada para implementar a Equação 3.6-6. (b) Máscara utilizada para implementar uma extensão dessa equação que inclui os termos diagonais. (c) e (d) Duas outras implementações do laplaciano frequentemente encontradas na prática.

Laplaciano ajustado: soma a todos os pixels o módulo do menor número negativo, de forma que o menor valor passe a ser zero.

Figura 3.38 (a) Imagem borrada do polo norte da Lua. (b) Laplaciano sem ajuste. (c) Laplaciano com ajuste. (d) Imagem aguçada utilizando a máscara da Figura 3.37(a). (e) Resultado da utilização da máscara da Figura 3.37(b). (Imagem original: cortesia da Nasa.)

Gradiente: utilização de derivadas de primeira ordem para o aguçamento (não linear) de imagens

$$\nabla f = \text{grad}(f) = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

$$M(x, y) \cong |g_x| + |g_y|$$

Operador linear

Operadores não lineares

Gradiente: utilização de derivadas de primeira ordem para o aguçamento (não linear) de imagens

Aproximações
para o cálculo da
derivada primeira

Operadores gradientes de Roberts

$$g_x = (z_9 - z_5) \quad e \quad g_y = (z_8 - z_6)$$

$$M(x, y) = mag(\nabla f) = \sqrt{(z_9 - z_5)^2 + (z_8 - z_6)^2}$$

$$M(x, y) \cong |z_9 - z_5| + |z_8 - z_6|$$

Operadores gradientes de Sobel

$$g_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$g_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

$$M(x, y) \cong |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$$

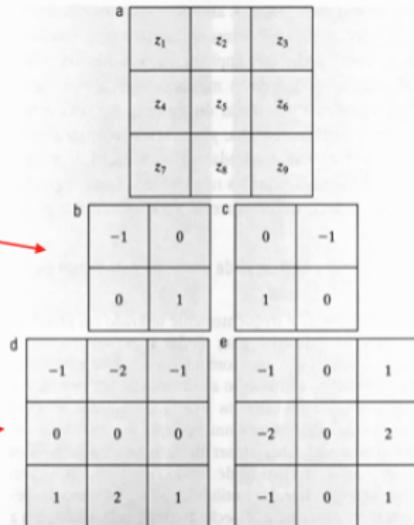


Figura 3.41 (a) Região 3x3 de uma imagem (z são valores de intensidade). (b) e (c) Operadores gradientes diagonais de Roberts. (d) e (e) Operadores de Sobel. Somando todos os coeficientes da máscara o resultado é zero, como se espera de um operador derivativo.

Utilização do gradiente para realce de borda

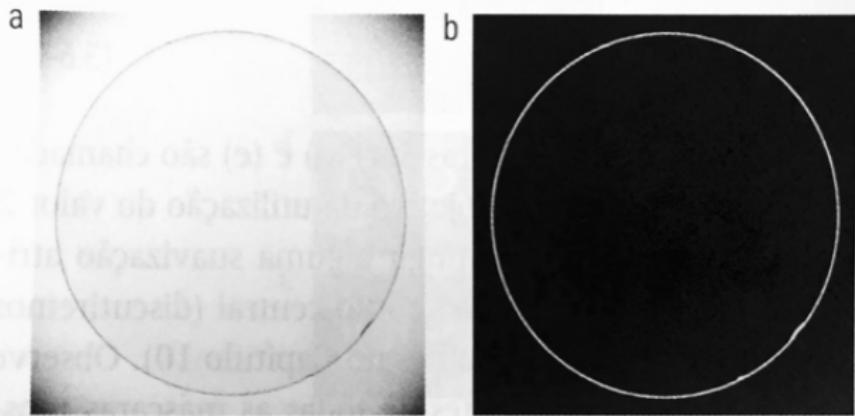


Figura 3.42 (a) Imagem ótica de uma lente de contato (observe os defeitos de contorno nas posições de 4 e 5 horas). (b) Gradiente de Sobel. (Imagen original: cortesia de Pete Sites, Perceptics Corporation.)

Filtros Passa-Altas: Combinando Métodos de Realce

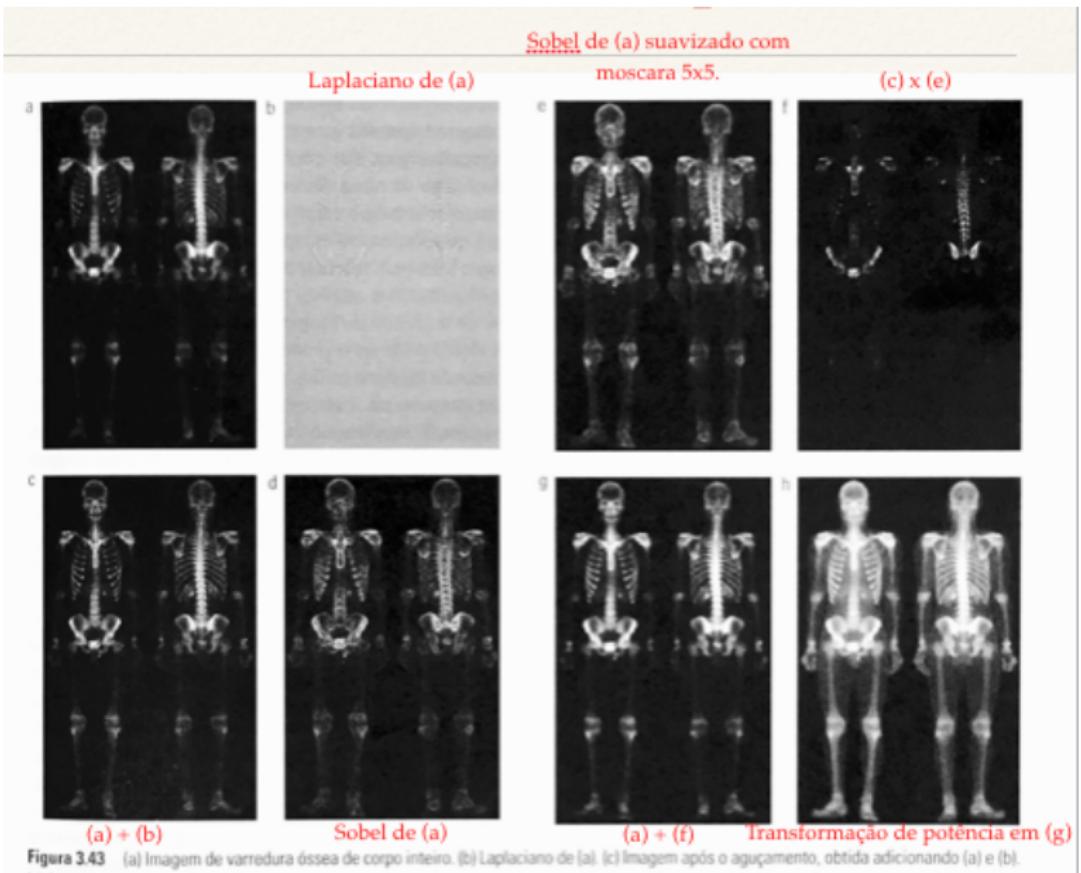


Figura 3.43 (a) Imagem de varredura óssea de corpo inteiro. (b) Laplaciano de (a). (c) Imagem após o aguçamento, obtida adicionando (a) e (b). (d) Sobel de (a). (e) Sobel de (a) suavizado com máscara 5x5. (f) Resultado de (c) x (e). (g) Resultado de (a) + (f). (h) Transformação de potência em (g)

- Utilizar o Laplaciano (imagem b) para salientar detalhes finos e o gradiente de Sobel (imagem d) para ressaltar as bordas proeminentes.
- O ruído também é realçado pelo laplaciano e deve ser reduzido, especialmente nas áreas suaves, onde ele é mais visível. Comparativamente com o laplaciano, a resposta do gradiente aos detalhes finos e ao ruído é mais baixa.
- Uma imagem suavizada do gradiente (imagem e) é aplicada para mascarar a imagem laplaciana (para reduzir os ruídos que foram realçados pelo laplaciano).
- O produto das imagens (c por e) preserva os detalhes nas áreas de transição acentuada, enquanto reduz o ruído nas áreas relativamente uniformes. E então, é somado à imagem original (imagem a).

- Os filtros passa-alta direcionais (realce de bordas) realçam a cena, segundo direções preferenciais de interesse, definidas pelas máscaras.
- A seguir estão algumas máscaras utilizadas para realçar bordas em vários sentidos.
- O nome dado às máscaras indica a direção ortogonal preferencial em que será realçado o limite de borda. Assim, a máscara norte realça limites horizontais.

Filtros Passa-Altas Direcionais

1	1	1
1	-1	1
-1	-1	-1

(a) Norte

-1	1	1
-1	-1	1
-1	1	1

(b) Leste

-1	-1	-1
1	-1	1
1	1	1

(c) Sul

1	1	-1
1	-1	-1
1	1	-1

(d) Oeste

1	1	1
-1	-1	1
-1	-1	1

(e) Nordeste

-1	-1	1
-1	-1	1
1	1	1

(f) Sudeste

1	-1	-1
1	-1	-1
1	1	1

(g) Sudoeste

1	1	1
1	-1	-1
1	-1	-1

(h) Noroeste

- Linhas, em imagens, podem ser detectadas através das máscaras

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

(i) Horizontais

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

(j) Verticais

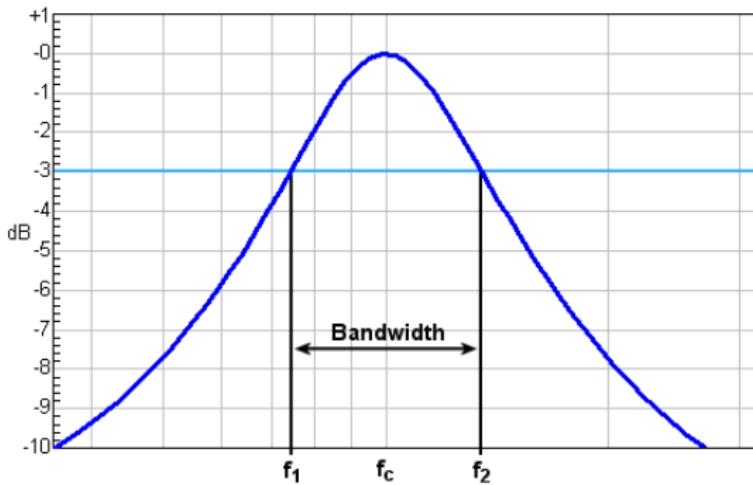
-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

(k) Diagonal $+45^\circ$

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

(l) Diagonal -45°

- Seleciona um intervalo de frequências do sinal (banda de frequência) para ser realçado, removendo, ou atenuando componentes fora da faixa selecionada.
- São de pouca utilidade prática, a menos de algumas tarefas específicas em restauração de imagens.



Exemplos

```
1 img = imread('mask.jpg');
2 img_gray = rgb2gray(img);
3 img_noise_1 = imnoise(img_gray, 'gaussian',0, 0.01);
4 img_noise_2 = imnoise(img_gray, 'salt & pepper');
5
6 figure(1)
7 subplot(1,3,1), imshow(img_gray)
8 title('Imagen Original')
9 subplot(1,3,2), imshow(img_noise_1)
10 title('Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)')
11 subplot(1,3,3), imshow(img_noise_2)
12 title('Imagen com ruido Sal e Pimenta')
```

Imagen Original



Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)



Imagen com ruido Sal e Pimenta



Exemplos - Filtro da média

```
1 mask = fspecial('average', 3);
2 img_gray_filter = imfilter(img_gray,mask,'replicate');
3 img_noise_1_filter = imfilter(img_noise_1,mask,'replicate');
4 img_noise_2_filter = imfilter(img_noise_2,mask,'replicate');
5
6 figure(1)
7 subplot(1,3,1), imshow(img_gray_filter)
8 title('Imagen Original')
9 subplot(1,3,2), imshow(img_noise_1_filter)
10 title('Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)')
11 subplot(1,3,3), imshow(img_noise_2_filter)
12 title('Imagen com ruido Sal e Pimenta')
```

Imagen Original



Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)



Imagen com ruido Sal e Pimenta



Exemplos - Filtro da mediana

```
1 img_gray_filter = medfilt2(img_gray);
2 img_noise_1_filter = medfilt2(img_noise_1);
3 img_noise_2_filter = medfilt2(img_noise_2);
4
5 figure(1)
6 subplot(1,3,1), imshow(img_gray_filter)
7 title('Imagen Original')
8 subplot(1,3,2), imshow(img_noise_1_filter)
9 title('Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)')
10 subplot(1,3,3), imshow(img_noise_2_filter)
11 title('Imagen com ruido Sal e Pimenta')
```

Imagen Original



Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)



Imagen com ruido Sal e Pimenta



Exemplos - Filtro Gaussiano

```
1 mask = fspecial('gaussian', 3, 3);
2 img_gray_filter = imfilter(img_gray,mask,'replicate');
3 img_noise_1_filter = imfilter(img_noise_1,mask,'replicate');
4 img_noise_2_filter = imfilter(img_noise_2,mask,'replicate');
5
6 figure(1)
7 subplot(1,3,1), imshow(img_gray_filter)
8 title('Imagen Original')
9 subplot(1,3,2), imshow(img_noise_1_filter)
10 title('Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)')
11 subplot(1,3,3), imshow(img_noise_2_filter)
12 title('Imagen com ruido Sal e Pimenta')
```

Imagen Original



Imagen com ruido Gaussiano (sdv=0.001)



Imagen com ruido Sal e Pimenta



Filtros Passa-Altas Direcionais

```
1 %norte
2 mask = [ 1 1 1; 1 -1 1; -1 -1 -1 ];
3 c = conv2(double(img_gray), mask);
4 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
5 figure(1)
6 subplot(2,2,1), imshow(c)
7 title('norte')
8 %leste
9 mask = [ -1 1 1; -1 -1 1; -1 1 1 ];
10 c = conv2(double(img_gray), mask);
11 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
12 figure(1)
13 subplot(2,2,2), imshow(c)
14 title('leste')
15 %sul
16 mask = [ -1 -1 -1; 1 -1 1; 1 1 1 ];
17 c = conv2(double(img_gray), mask);
18 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
19 figure(1)
20 subplot(2,2,3), imshow(c)
21 title('sul')
22 %oeste
23 mask = [ 1 1 -1; 1 -1 -1; 1 1 -1 ];
24 c = conv2(double(img_gray), mask);
25 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
26 figure(1)
27 subplot(2,2,4), imshow(c)
28 title('oeste')
```

Filtros Passa-Altas Direcionais

norte



leste



sul



oeste

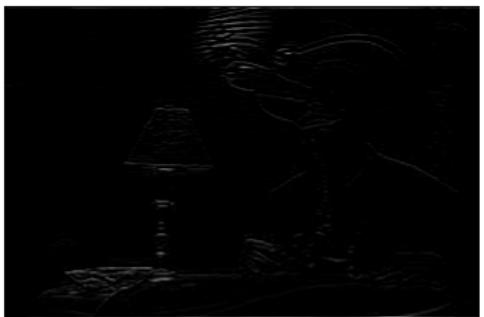


Filtros Passa-Altas Direcionais

```
1 %Horizontais
2 mask = [ -0.5 -0.5 -0.5; 1 1 1; -0.5 -0.5 -0.5];
3 c = conv2(double(img_gray), mask);
4 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
5 figure(1)
6 subplot(2,2,1), imshow(c)
7 title('Horizontais')
8 %Verticais
9 mask = [ -0.5 1 -0.5; -0.5 1 -0.5; -0.5 1 -0.5 ];
10 c = conv2(double(img_gray), mask);
11 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
12 figure(1)
13 subplot(2,2,2), imshow(c)
14 title('Verticais')
15 %Diagonal + 45o
16 mask = [ -1 -1 2; -1 2 -1; 2 -1 -1 ];
17 c = conv2(double(img_gray), mask);
18 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
19 figure(1)
20 subplot(2,2,3), imshow(c)
21 title('Diagonal +45o')
22 %Diagonal - 45o
23 mask = [ 2 -1 -1; -1 2 -1; -1 -1 2 ];
24 c = conv2(double(img_gray), mask);
25 c = uint8(255*(c/ max(c(: ))));
26 figure(1)
27 subplot(2,2,4), imshow(c)
28 title('Diagonal -45o')
```

Filtros Passa-Altas Direcionais

Horizontais



Verticais



Diagonal +45º



Diagonal -45º

