

# Filtragem Espacial

Disciplina: Tópicos Especiais em Visão Computacional

# Filtragem Espacial

- O processo de filtragem consiste de:
  - ▶ uma *vizinhança*
  - ▶ uma *operação* pré-definida realizada sobre os pixels da imagem incluídos na 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

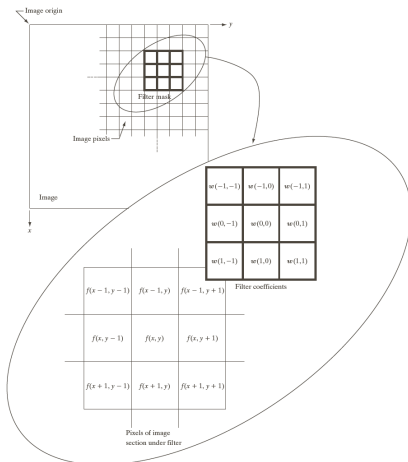
- O processamento sobre uma vizinhança consiste de:
  - ▶ definir um ponto central  $(x, y)$ ;
  - ▶ executar uma operação que envolva apenas os pixels da vizinhança pré-definida sobre o ponto central;
  - ▶ considerar o resultado da operação como sendo a resposta do processo no ponto  $(x, y)$ ;
  - ▶ repetir o processo para todo o ponto 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*;

# Filtragem Espacial: exemplo

- Filtro espacial linear

$$\begin{aligned}g(x, y) = & w(-1, -1)f(x - 1, y - 1) \\ & + w(-1, 0)f(x - 1, y) + \dots \\ & + w(0, 0)f(x, y) + \dots \\ & + w(1, 1)f(x + 1, y + 1)\end{aligned}$$

- Para máscaras de tamanho  $m \times n$  podemos assumir  $m = 2a + 1$  e  $n = 2b + 1$ , onde  $a$  e  $b$  são inteiros positivos;
- As máscaras terão tamanho ímpar.



# Filtragem Espacial: limites da imagem

- **Problema:** Os limites da imagem devem ser propriamente tratados
  - ① Ignorar os pixels para os casos em que a operação não possa ser realizada → borda não processada;
  - ② Utilizar uma máscara modificada nas regiões de borda → aumenta complexidade da operação;
- **Solução:** Expandir a imagem criando  $a = (m - 1)/2$  linhas e  $b = (n - 1)/2$  colunas, preenchendo-as:
  - ▶ com valor fixo (podendo ser zero);
  - ▶ por replicação: copiar os pixel da borda;
  - ▶ por simetria: refletir os pixels da borda;

# Convolução e Correlação Espacial

- Correlação – é o processo de mover sobre a imagem e calcular a soma dos produtos em cada posição (pode ser usada para encontrar matches entre imagens):

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

- Convolução – é o mesmo processo, no entanto, primeiro a máscara é rotacionada 180°

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

- Usando máscaras simétricas, não faz diferença qual método usar.

# Convolução e Correlação Espacial

Correlation				Convolution			
	Origin	$f$	$w$	Origin	$f$	$w$ rotated 180°	
(a)	↖	0 0 0 1 0 0 0 0	1 2 3 2 8	↖	0 0 0 1 0 0 0 0	8 2 3 2 1	(i)
(b)		↓					
		0 0 0 1 0 0 0 0			0 0 0 1 0 0 0 0		(j)
		1 2 3 2 8			8 2 3 2 1		
		↑	Starting position alignment				
		Zero padding					
(c)		0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0			0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0		(k)
		1 2 3 2 8			8 2 3 2 1		
(d)		0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0			0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0		(l)
		1 2 3 2 8			8 2 3 2 1		
		↑	Position after one shift				
(e)		0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0			0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0		(m)
		1 2 3 2 8			8 2 3 2 1		
		↑	Position after four shifts				
(f)		0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0			0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0		(n)
			1 2 3 2 8			8 2 3 2 1	
			↑				
			Final position				
		Full correlation result			Full convolution result		
(g)		0 0 0 8 2 3 2 1 0 0 0 0			0 0 0 1 2 3 2 8 0 0 0 0		(o)
		Cropped correlation result			Cropped convolution result		
(h)		0 8 2 3 2 1 0 0			0 1 2 3 2 8 0 0		(p)

# Convolução e Correlação Espacial

		Padded $f$											
		0	0	0	0	0	0	0	0				
		0	0	0	0	0	0	0	0				
		0	0	0	0	0	0	0	0				
↖ Origin	$f(x, y)$	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	1	0	0	1	2	3	0	0				
0	0	0	0	0	4	5	6	0	0				
0	0	0	0	0	7	8	9	0	0				
(a)		(b)											
↖ Initial position for $w$		Full correlation result								Cropped correlation result			
1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8	7
7	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(c)		(d)								(e)			
↖ Related $w$		Full convolution result								Cropped convolution result			
0	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	6	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(f)		(g)								(h)			



# Representação Vetorial de Filtros Lineares

- Pode ser interessante escrever as somas dos produtos como a multiplicação de vetores:

$$\begin{aligned} R &= w_1 z_1 + w_2 z_2 + \cdots + w_{mn} z_{mn} \\ &= \sum_{k=1}^{mn} \\ &= \mathbf{w}^T \mathbf{z} \end{aligned}$$

- Correlação: obtém  $R$  como mostrado;
- Convolução: rotaciona  $w$  e obtém  $R$ .

# Filtros Não-Lineares

- São baseados em operações sobre uma vizinhança;
- Operações não-lineares são executadas sobre a vizinhança:
  - ▶ *Mediana*: consiste em substituir a intensidade de cada pixel pela mediana das intensidades na sua vizinhança;
    - ★ são adequados para reduzir ruídos impulsivos
  - ▶ *Max*: consiste em substituir a intensidade de cada pixel pela maior intensidade na sua vizinhança;
    - ★ aumenta a área das regiões claras, dominando as regiões escuras
  - ▶ *Min*: consiste em substituir a intensidade de cada pixel pela menor intensidade na sua vizinhança;
    - ★ aumenta a área das regiões escuras, dominando as regiões claras
  - ▶ *Moda*: consiste em substituir a intensidade de cada pixel pela intensidade que ocorre com maior frequência na sua vizinhança;

# Filtros Espaciais de Suavização

- São usados para:
  - ▶ borrar a imagem - tarefa de pré-processamento, como reduzir detalhes pequenos ou fechar pequenos *gaps* em linhas ou curvas;
  - ▶ reduzir ruídos;
- Filtros Lineares de Suavização:
  - ▶ A saída é a média dos pixels contidos na vizinhança da máscara
  - ▶ Reduz transições abruptas na intensidade:
    - ★ reduz ruído;
    - ★ causa borramento das bordas da imagem;
    - ★ suaviza falsos contornos, resultantes de uma quantização com número insuficiente de níveis de cinza;
    - ★ reduz detalhes irrelevantes na imagem (regiões menores do que o tamanho da máscara).

# Filtros Lineares de Suavização

- Filtro da média:

$$R = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 z_i$$

- Filtro da média ponderada:

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

# Filtros Lineares de Suavização: exemplo

$$\frac{1}{9} \times$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

$$\frac{1}{16} \times$$

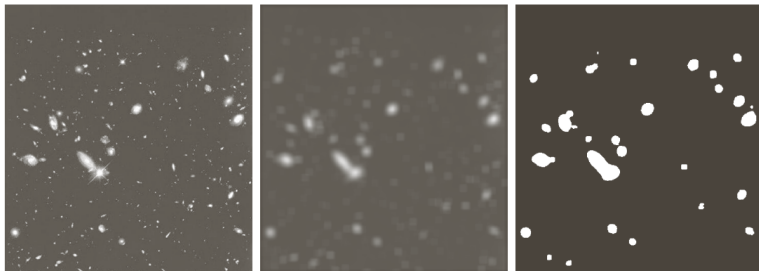
1	2	1
2	4	2
1	2	1

# Filtros Lineares de Suavização: aplicação



## Filtros Lineares de Suavização: aplicação

- Uma aplicação importante dos filtros de suavização é obter uma representação grosseira de objetos de interesse;
- O tamanho da máscara define o tamanho dos objetos que ficarão em evidência (maiores que a máscara) e os que se misturarão com o fundo (menores que a máscara).



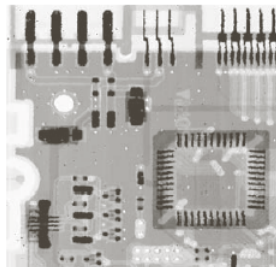
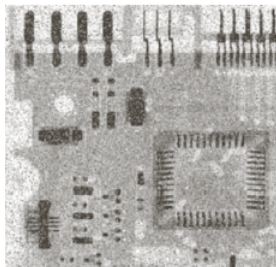
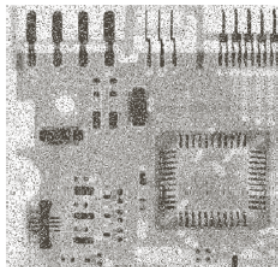
# Filtros Não-Lineares de Suavização

- Filtro da mediana
  - ▶ força pontos com valores de intensidade distintas ficarem mais parecidos com sua vizinhança;
  - ▶ providencia excelente redução de certos ruídos aleatórios com menos borramento que os filtros lineares;
  - ▶ são especialmente úteis para remover ruídos impulsivos por causa da sua aparência como pontos branco e preto superimpostos à imagem.
- Agrupamentos isolados de pixels que são claros ou escuros com relação a sua vizinhança e cuja área é menor que  $m^2/2$  (metade da área do filtro) são eliminados por um filtro da mediana  $m \times m$  (áreas maiores são menos afetadas).



# Filtros Não-Lineares de Suavização: aplicação

- Imagem original (ruído "sal e pimenta");
- Filtro de média  $3 \times 3$ ;
- Filtro da mediana  $3 \times 3$ .



# Filtros de Realce

- Realça transições em intensidades;
  - ▶ Filtros de derivadas de primeira ordem;
  - ▶ Filtros de derivadas de segunda ordem.
- Pontos de interesse para o estudo dos filtros:
  - ▶ Áreas de intensidade constante;
  - ▶ Início e fim de descontinuidades (degraus e rampas de descontinuidades);

# Filtro Laplaciano

0	1	0	1	1	1
1	-4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

Nota: o somatório é zero o que define valores nulos nas regiões homogêneas e valores mais elevados próximos aos seus contornos.

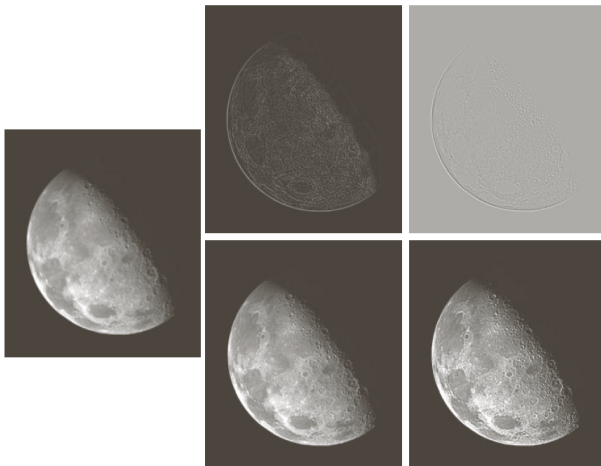
# Filtro Laplaciano

- O Laplaciano enfatiza regiões de descontinuidade e ameniza regiões de variação lenta de níveis de intensidade;
- Esta característica tende a produzir imagens que apresentam arestas e outras descontinuidades na cor cinzenta sobreposta a um fundo sem características;
- O fundo pode ser reconstruído, preservando as descontinuidades, somando a imagem Laplaciana à imagem original (cuidado com o sinal). Uso do filtro Laplaciano para realçar imagens:

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

Em que,  $f(x, y)$  e  $g(x, y)$  são as imagens de entrada e saída,  $c$  é uma constante:  $c = -1$  se o centro da máscara for negativo e  $c = 1$ , caso contrário.

# Filtragem Espacial



# Máscara de Nitidez e Filtragem *high-boost*

- Usado na indústria publicitária (impressa) para realçar imagens:
  - ▶ subtrai uma versão suavizada de uma imagem da sua original;
- O processo consiste de:
  - ▶ borrar a imagem original;
  - ▶ subtrair a imagem borrada da original (resultado é chamado de máscara);
  - ▶ somar a máscara à imagem original.

## Máscara de Nitidez e Filtragem *high-boost*

Seja  $\bar{f}(x, y)$  uma imagem borrada. A máscara de descontinuidade  $g_m$  é obtida:

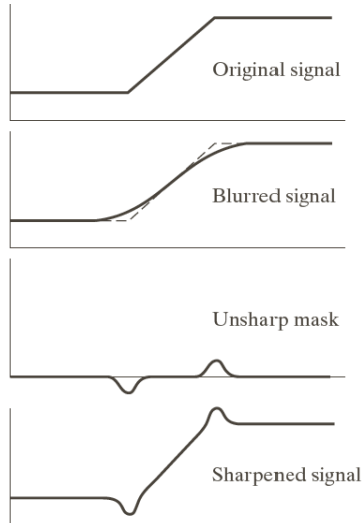
$$g_m = f(x, y) - \bar{f}(x, y).$$

Acrescentando uma porção ponderada da máscara à imagem original:

$$g_m = f(x, y) + k * g_m(x, y).$$

- para  $k = 1$ , a máscara é somada à imagem original;
- para  $k < 1$ , reduz a contribuição da máscara;
- para  $k > 1$ , o processo é conhecido como *high-boost filtering* (filtro com ênfase).

# Máscara de Nitidez e Filtragem *high-boost*





# Máscara de Nitidez e Filtragem *high-boost*

- imagem original
- suavização com filtro gaussiano
- máscara de nitidez
- resultado da máscara de nitidez
- filtragem *high-boost*

