

Bacharelado em Ciência da Computação

Processamento de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas e Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- ◆ As técnicas de filtragem passa-baixa para redução de ruído podem suprimir detalhes importantes da imagem (ex., linhas finas ou cantos de objetos).
- ◆ Isso ocorre porque tais filtros não levam em consideração se um determinado pixel está localizado sobre uma borda ou se os pixels vizinhos apresentam certa orientação.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- As figuras (a) e (b) ilustram regiões contendo uma linha vertical e o canto de um objeto em uma imagem, respectivamente, tal que a aplicação de um filtro da mediana causaria a supressão de detalhes.

0	1	0
0	1	0
0	1	0

(a)

0	0	0
1	1	0
1	1	0

(b)

Figura : Supressão de detalhes em duas regiões após filtragem da mediana.
(a) linha fina vertical; (b) canto de objeto.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ Uma das primeiras técnicas de filtragem com preservação de bordas foi proposta por Kuwahara et. Al. (1976).
- ◆ O filtro considera uma região quadrada de dimensões $(2k-1) \times (2k-1)$ pixels ao redor de um pixel (x,y) da imagem.
- ◆ Essa região é subdividida em 4 janelas $k \times k$ pixels:

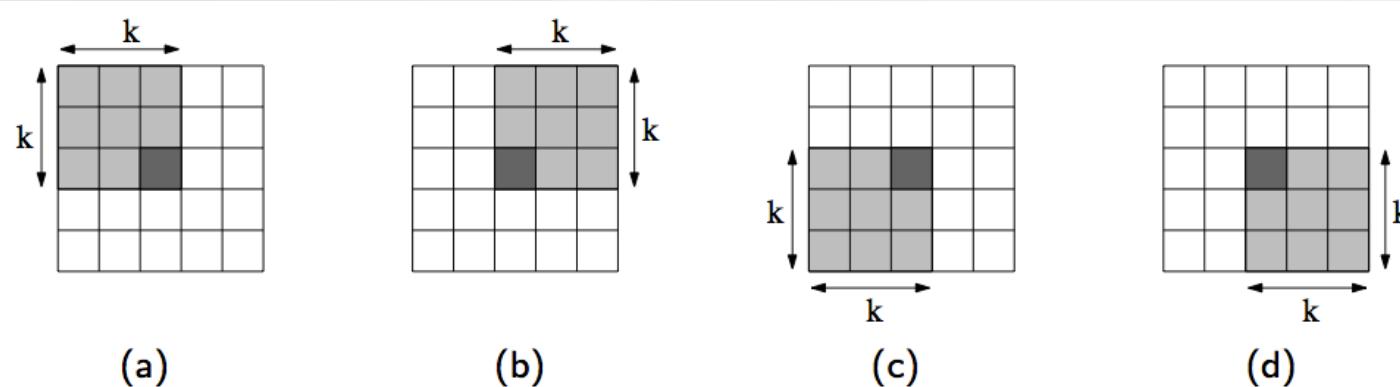


Figura : Máscaras de Kuwahara et al. (1976).

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ A variância dos níveis de cinza para cada janela é calculada.
- ◆ O valor de cada pixel (x,y) da imagem é substituído pela média dos níveis de cinza da janela, cuja **variância é mínima**.
- ◆ O método baseia-se no fato de que as **regiões contendo bordas** possuem uma **variância mais alta** do que em regiões homogêneas, tal que a média é selecionada sobre as regiões suaves que não cruzam bordas.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ Métodos similares para preservação de bordas baseada no cálculo da variância de um conjunto de máscaras foram propostos por outros autores.
- ◆ Tomita e Tsuji (1977), Nagao e Matsuyama (1979) e Somboonkaew et al. (1999) propõem um conjunto de 5, 9 e 12 máscaras, respectivamente, de 5x5 pixels para o processo de suavização.
- ◆ Nestes métodos, o valor de cada pixel da imagem é substituído pela média da máscara cuja variância é mínima.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

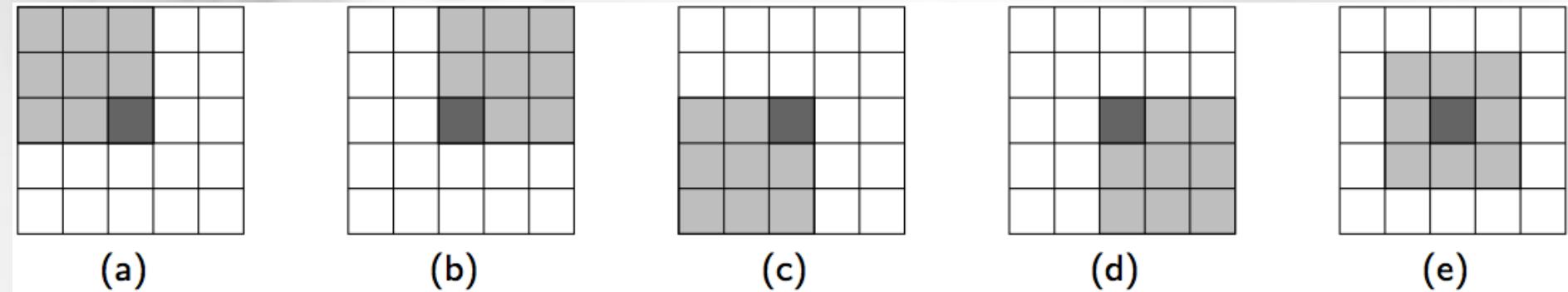


Figura : Máscaras de Tomita e Tsuji (1977).

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

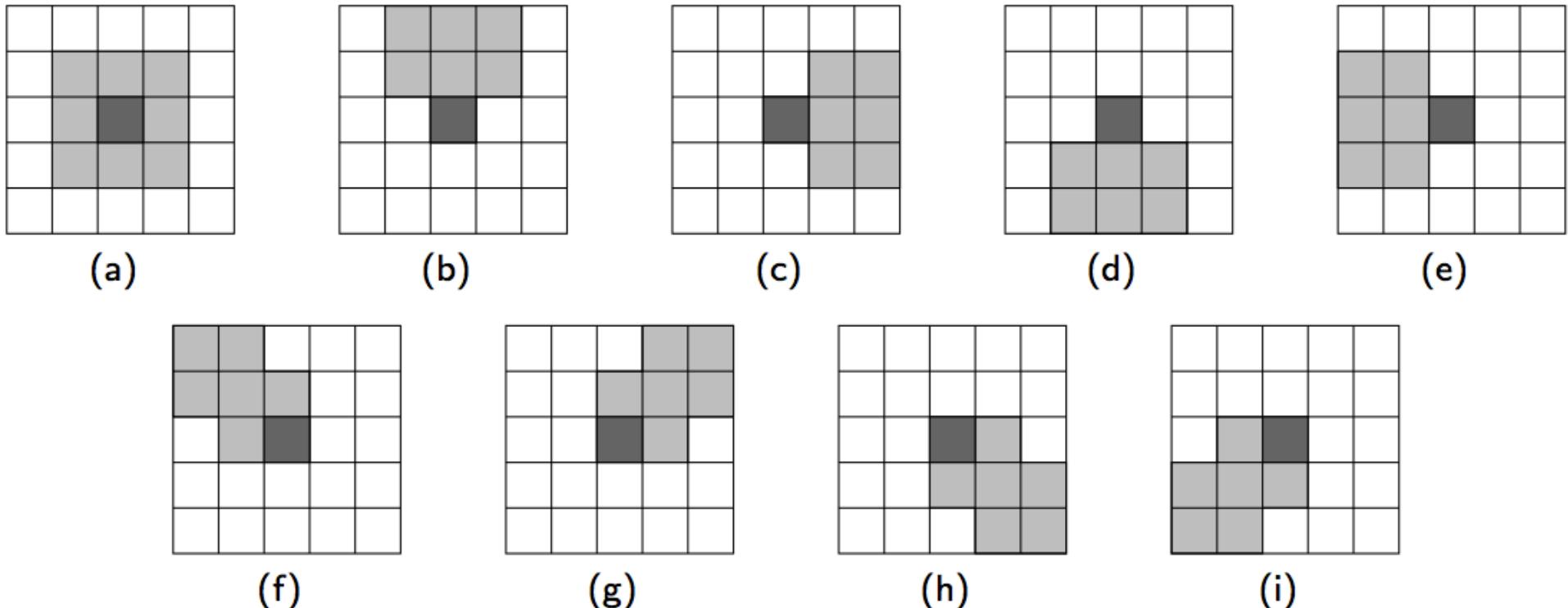
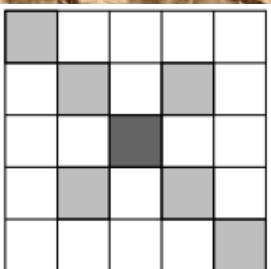
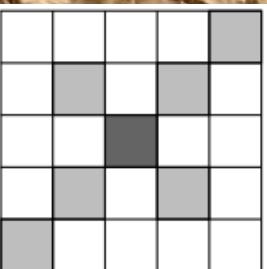


Figura : Máscaras de Nagao e Matsuyama (1979).

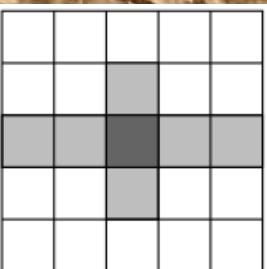
Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)



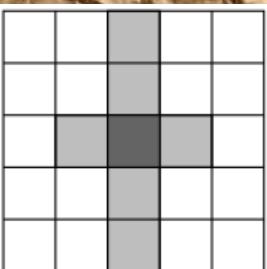
(a)



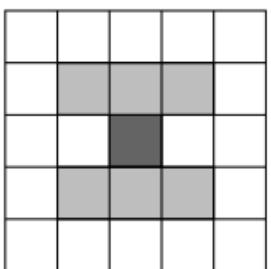
(b)



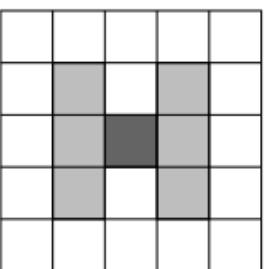
(c)



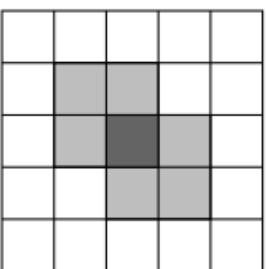
(d)



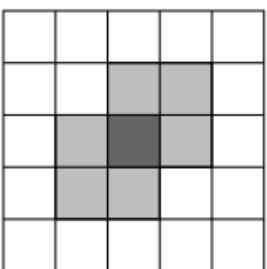
(e)



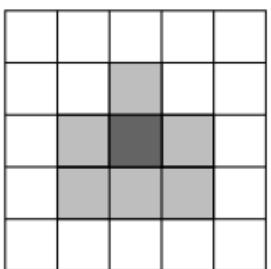
(f)



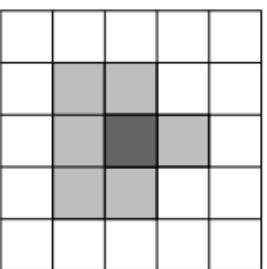
(g)



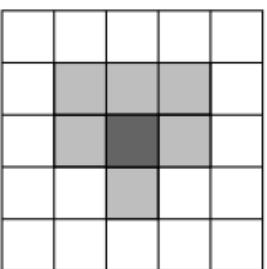
(h)



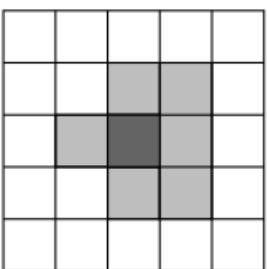
(i)



(j)



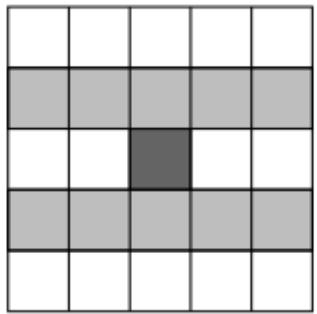
(k)



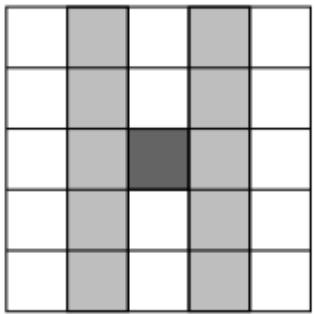
(l)

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

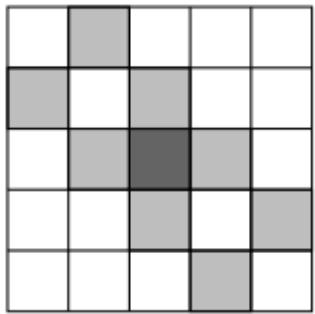
- Adelmann (1999) propõe uma técnica de filtragem para redução de ruído procurando preservar detalhes finos da imagem.
- Inicialmente, um teste é realizado para cada pixel da imagem para determinar se ele **está** localizado **sobre uma borda**, considerando-se cada uma das possíveis orientações representadas pelas máscaras de tamanho 5x5 pixels mostradas a seguir:



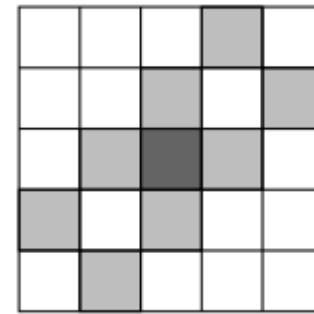
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura : Máscaras de Adelmann (1999) para detecção de bordas em diferentes orientações. (a) horizontal; (b) vertical; (c)-(d) diagonais.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ A média dos pixels dispostos de acordo com cada uma dessas orientações é calculada com relação ao pixel central da vizinhança, seguida por um processo de diferenciação, o qual consiste na multiplicação de uma matriz de 1 x 2 pixels com um núcleo de diferenciação de 1 x 2 pixels com valores -1 e 1, cujo objetivo é determinar a presença de borda.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ O processo de diferenciação para a orientação da figura (a) que mostra as máscaras é ilustrado na figura a seguir, em que \bar{X}_1 e \bar{X}_2 representam a média calculada para cada linha, no interior da vizinhança do pixel.

média da linha superior

$$\begin{matrix} \bar{X}_1 \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \bar{X}_2 \end{matrix}$$

média da linha inferior

$$\begin{matrix} -1 \\ \text{---} \\ \text{---} \\ 1 \end{matrix}$$

fator de multiplicação

fator de multiplicação



Figura : Processo de diferenciação para a orientação horizontal.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ Quanto maior a diferença absoluta $|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|$, mais pronunciada será a borda.
- ◆ A diferença mais alta entre todas as orientações é selecionada (ela indicará a orientação da borda).
- ◆ Flutuações mínimas nos níveis de cinza podem ocorrer mesmo em regiões praticamente homogêneas (planas) da imagem, tal que a diferença pode ser comparada a um limiar para determinar o que deve ou não ser preservado como borda.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- Finalmente, o valor do pixel central da vizinhança é substituído por uma média calculada para os pixels dispostos de acordo com uma das máscaras da figura a seguir, dependendo da orientação que a borda foi estimada.

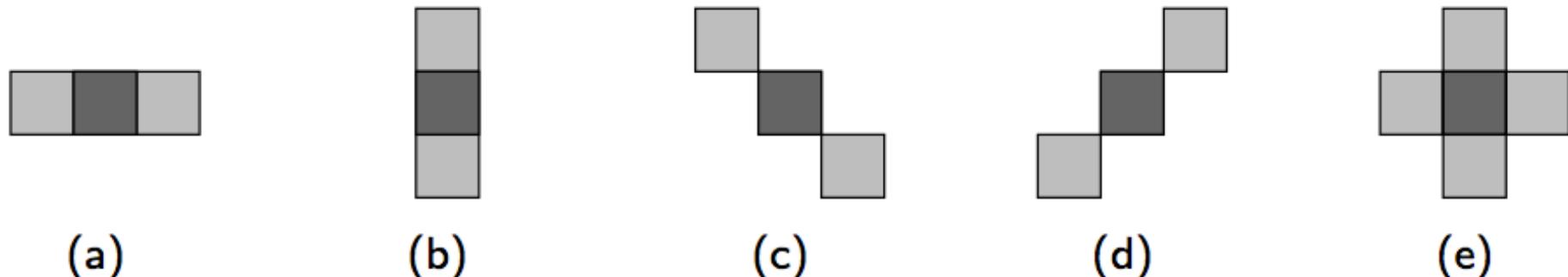


Figura : Máscaras para cálculo do pixel central.

Filtragem com Preservação de Bordas (cont.)

- ◆ Caso o pixel central não esteja sobre uma borda, ou seja, o pixel pertence a uma região plana da imagem, o valor do pixel central é substituído pela média dos pixels mostrados na figura (e).
- ◆ Dessa forma, pode-se obter uma suavização mais acentuada e mais efetiva em termos de redução de ruído nessas áreas da imagem.

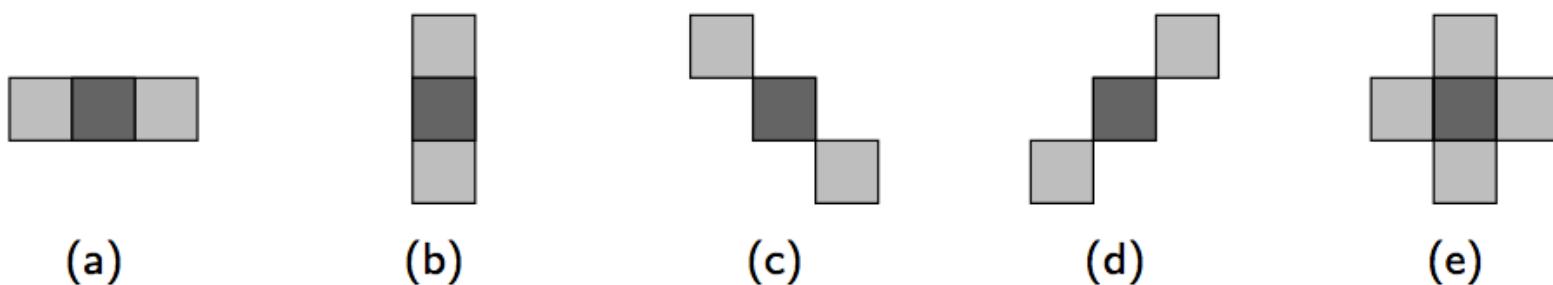


Figura : Máscaras para cálculo do pixel central.

Filtros de Realce

- ◆ Destacam as bordas das imagens, ruídos e mudanças de intensidade.
- ◆ A suavização é comparada à integral e o realce é comparável à derivada.
- ◆ Basicamente, a intensidade da transformada é proporcional à descontinuidade da imagem no ponto analisado.

Filtros de Realce

- ◆ Assim, diferenciação realça bordas das imagens, ruídos e mudanças bruscas de intensidade.
- ◆ Ex.: Filtros Passa Alta
- ◆ Original + Filtrada → original com bordas destacadas.

Filtros de Realce

- ◆ As mudanças bruscas de intensidades podem ser descritas pelo conceito de derivada.
- ◆ Como uma imagem depende de duas coordenadas espaciais, as bordas da imagem podem ser expressas por derivadas parciais.
 - Deriva separadamente x e y.

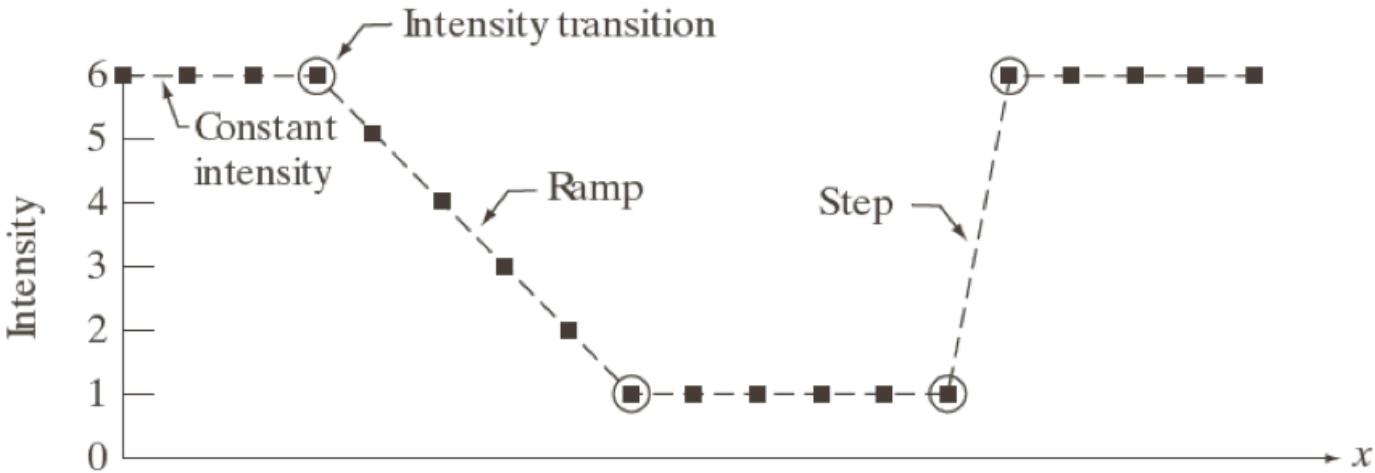
Filtros de Realce

- Serão considerados filtros de realce baseados na 1^a. e na 2^a. derivação da imagem e no domínio espacial.
- Primeiramente, será avaliado o comportamento destes filtros aplicados em sinais unidimensionais.
 - $df/dx = f(x+1) - f(x)$
 - $d^2f/dx^2 = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$

Filtros de Realce

- Assim, no discreto, definimos a primeira derivada como:
 - (1) tendo valor 0 em regiões constantes;
 - (2) tendo valor diferente de 0 no início e no final de regiões de rampa e de descontinuidade;
 - (3) precisa ser diferente de 0 nas rampas.

- Definimos a segunda derivada como:
 - (1') tendo valor 0 em regiões constantes;
 - (2') tendo valor diferente de 0 no início e no final de regiões de rampa e de descontinuidade;
 - (3') precisa ser 0 em rampas de inclinação constante.



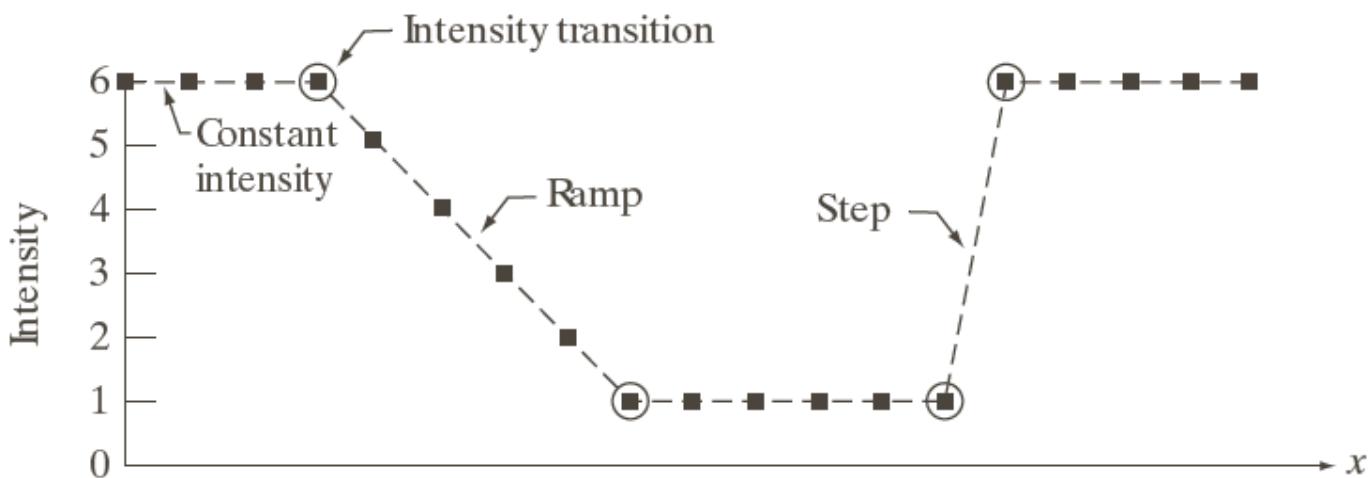
Scan line

6	6	6	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

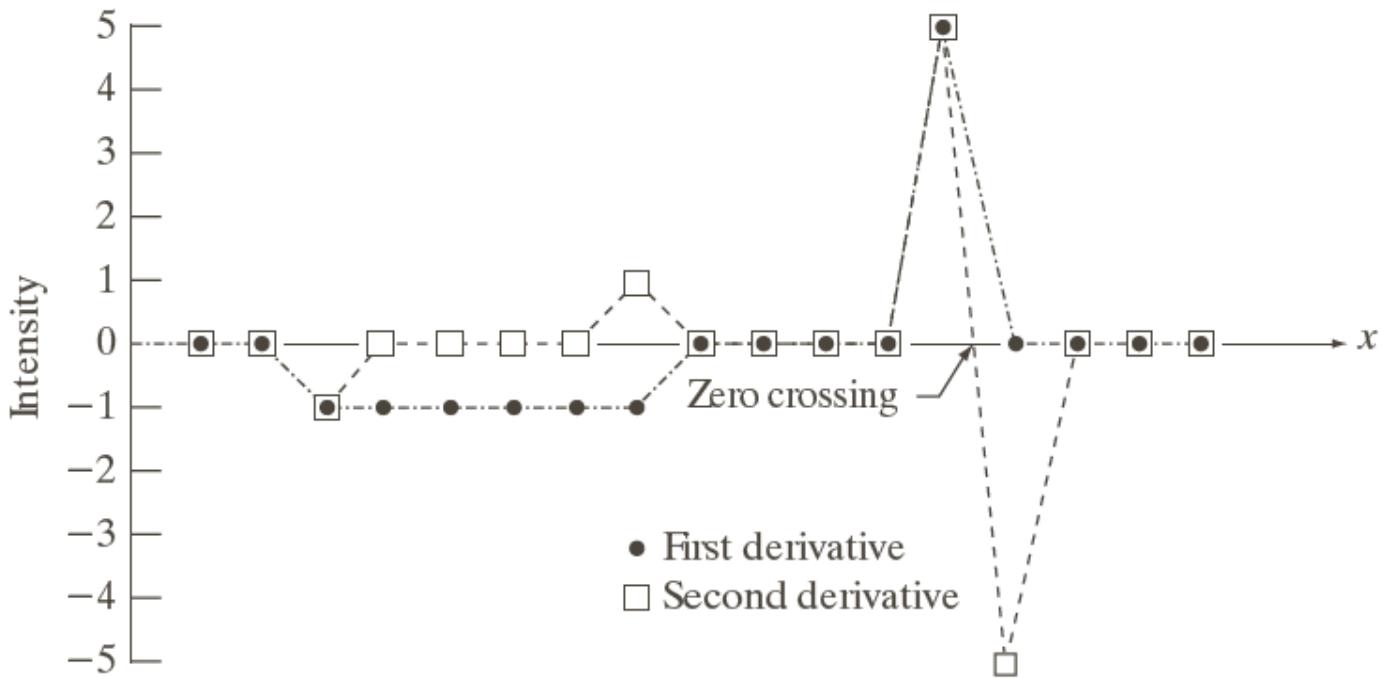
 $\rightarrow x$

1st derivative

2nd derivative



Scan line	6	6	6	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	$\rightarrow x$
1st derivative	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	
2nd derivative	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	-5	0	0	0	



Filtros de Realce (cont.)

- As derivadas segundas são mais fáceis de se implementar e realçam melhor detalhes da imagem.

Filtros de Primeira Derivada

- Um operador comumente utilizado em diferenciação de imagens (derivadas parciais) é o gradiente, que é um vetor cuja direção indica os locais nos quais os níveis de cinza sofrem maior variação.

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} i + \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} j$$

em que i e j são vetores unitários nas direções x e y respectivamente.

Filtros de Primeira Derivada

- ◆ A magnitude do gradiente é calculada como:

$$M(x,y) = (g_x^2 + g_y^2)^{1/2}. \quad (1)$$

- ◆ A magnitude do gradiente equivale à maior taxa de variação de $f(x,y)$ por unidade de distância na direção de ∇f .
- ◆ Por causa do alto custo computacional, a equação anterior pode ser aproximada por:

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

ou do valor máximo entre os gradientes na direção x e y:

$$\nabla f \approx \max(|gx|, |gy|)$$

Filtros de Primeira Derivada

- ◆ Uma variação rápida de $f(x,y)$ ao longo da direção x e lenta ao longo da direção y indica a presença de uma borda praticamente vertical.
- ◆ A imagem da magnitude do gradiente é chamada de imagem de gradiente.
- ◆ Na forma matricial o gradiente da imagem pode ser expresso como:

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

Filtros de Primeira Derivada

- ◆ A magnitude do gradiente pode ser aproximada no ponto $f(x,y)$ usando a diferença apresentada anteriormente para 1ª. derivada em x e y combinadas como:

$$\nabla f \approx \sqrt{[f(x,y) - f(x+1,y)]^2 + [f(x,y) - f(x,y+1)]^2} \quad (2)$$

$f(x-1,y-1)$	$f(x,y-1)$	$f(x+1,y-1)$
$f(x-1,y)$	$f(x,y)$	$f(x+1,y)$
$f(x-1,y+1)$	$f(x,y+1)$	$f(x+1,y+1)$

Região da imagem formada por 3×3 pixels

Filtros de Primeira Derivada

- Outra abordagem para aproximação de $M(x,y)$ é usar diferenças cruzadas:

$$\nabla f \approx \sqrt{[f(x,y) - f(x+1,y+1)]^2 + [f(x,y+1) - f(x+1,y)]^2} \quad (3)$$

ou usar os valores absolutos:

$$\nabla f \approx |f(x,y) - f(x+1,y+1)| + |f(x,y+1) - f(x+1,y)| \quad (4)$$

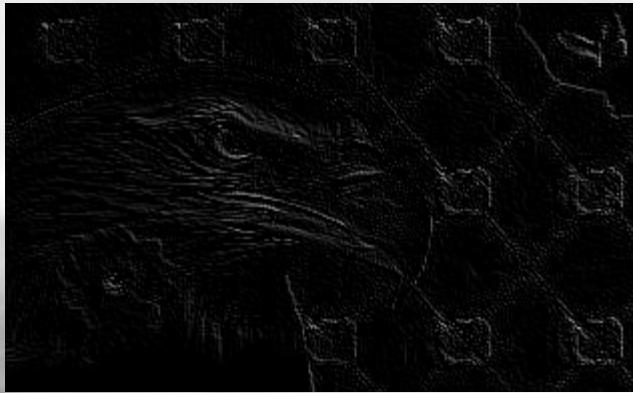
Filtros de Primeira Derivada (cont.)

- As equações anteriores podem ser implementadas usando máscaras de tamanho 2x2 pixels.
- Por exemplo, a equação 4 do slide anterior pode ser implementada tomando-se valores absolutos das duas máscaras mostradas abaixo e somando-se os resultados.
- Estas máscaras formam os **núcleos de primeira derivada de Roberts**.

-1	0
0	-1
1	0
0	1

Filtros de Primeira Derivada (cont.)

♦ Exemplos:



Filtros de Primeira Derivada (cont.)

- Uma aproximação para o cálculo do gradiente (equação 1) no ponto $f(x,y)$ usando vizinhança 3×3 é dada por:

$$\nabla f \approx |[f(x + 1, y - 1) + f(x + 1, y) + f(x + 1, y + 1)] - [f(x - 1, y - 1) + f(x - 1, y) + f(x - 1, y + 1)] + [f(x - 1, y + 1) + f(x - 1, y+1) + f(x - 1, y + 1)] - [f(x - 1, y - 1) + f(x, y - 1) + f(x + 1, y - 1)]| \quad (5)$$

- As máscaras abaixo, chamadas de **operadores de Prewit**, podem ser usada para implementar a equação, em que o resultado é calculado como : $g(x,y) = g_x^2 + g_y^2$:

$$g_x =$$

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

$$g_y =$$

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

Filtros de Primeira Derivada (cont.)

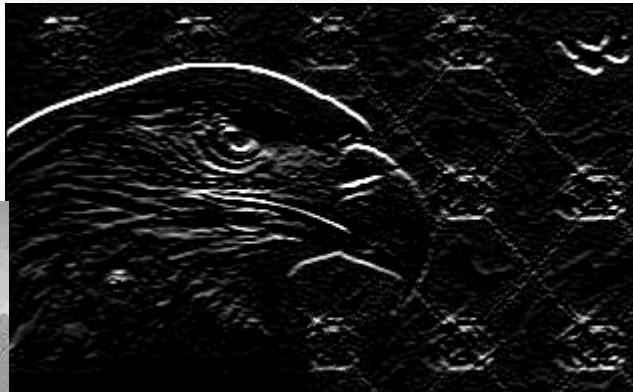
- ◆ Filtro de Primeira derivada: Prewit.



g_y



g_x



$g(x,y)$



Filtros de Primeira Derivada (cont.)

- Ainda considerando vizinhança 3, porém tomando a diferença de valores ponderados dos níveis de cinza, podemos obter os **núcleos de primeira derivada de Sobel**.
- A soma dos coeficientes é igual a 0. Um peso maior é dado ao centro.

g_x

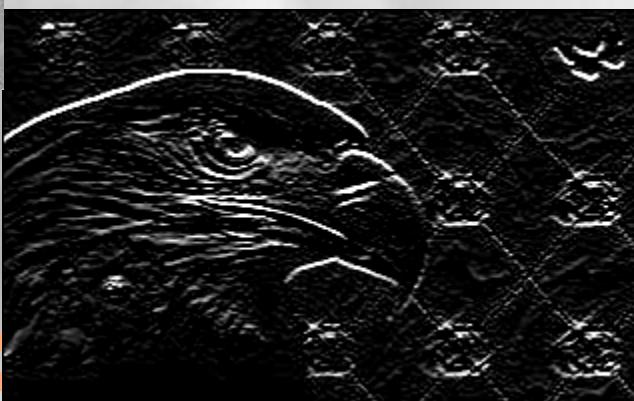
-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

g_y

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

Filtros de Primeira Derivada (cont.)

◆ Filtro de Primeira derivada: Sobel.



Filtros de Realce de Segunda Derivada

► Laplaciano (filtragem espacial)

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

- $\partial^2 f / \partial x^2 = f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y)$
- $\partial^2 f / \partial y^2 = f(x,y+1) + f(x,y-1) - 2f(x,y)$

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

- Pode-se incluir também os termos diagonais na fórmula gerando mais 4 subtrações de $f(x,y)$.

Filtros de Realce de Segunda Derivada (cont.)

Exemplos de Laplacianos

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

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

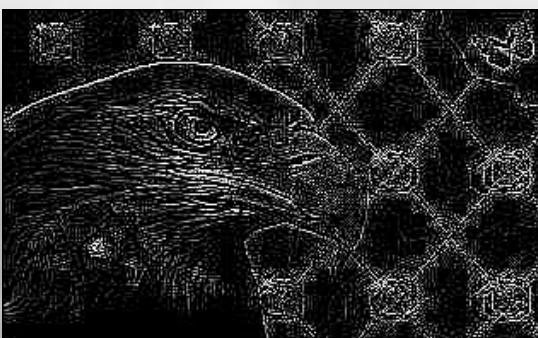
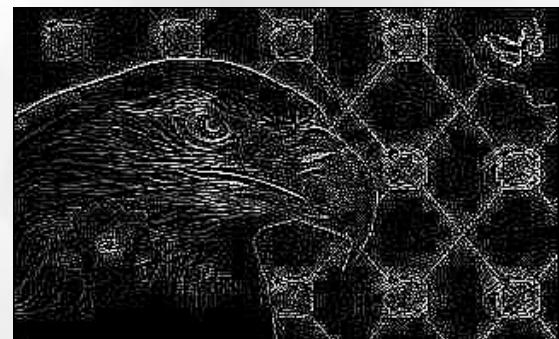
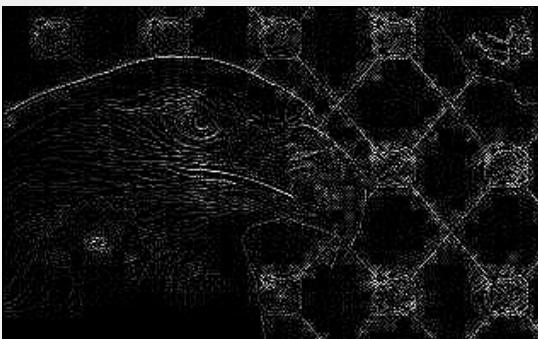
-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Filtros de Realce de Segunda Derivada (cont.)

- ◆ O filtro laplaciano deixa pretas as regiões sem arestas.
- ◆ Para realçar as bordas da imagem original, basta somar a imagem original à transformada laplaciana.
- ◆ Assim: $g(x,y) = f(x,y) + c^* \nabla^2 f(x, y)$, $c = 1$ ou -1 .
- ◆ Outra opção é somar à transformada Laplaciana um nível mínimo de intensidade da imagem para atingir o valor máximo de $L-1$.

Filtros de Realce de Segunda Derivada (cont.)

- ◆ Resultados usando as máscaras dos slides anteriores.



Filtros de Realce de Segunda Derivada (cont.)

- Em certas situações é desejável dar maior peso aos pontos vizinhos mais próximos do pixel central.

-1	-4	-1
-4	20	-4
-1	-4	-1

Filtros de Realce de Segunda Derivada (cont.)

◆ Exemplo:



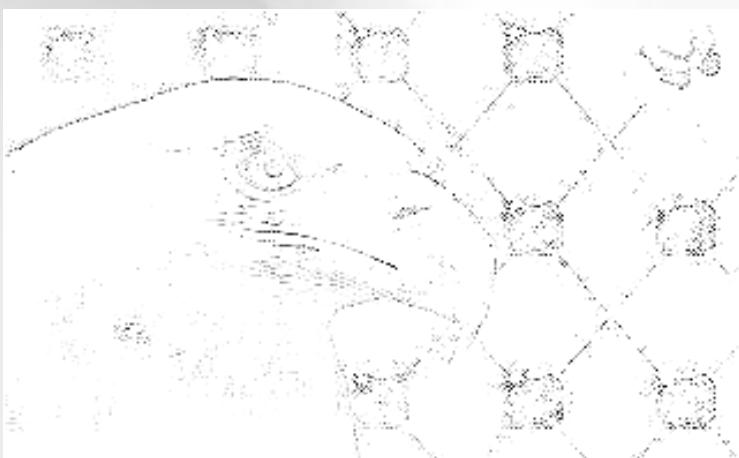
Segmentação

- ◆ Para a detecção de bordas utilizando os filtros apresentados é necessário:
 - Calcular a magnitude do gradiente ($M(x,y)$);
 - Efetuar a limiarização, de forma que se $M(x,y) > T$, então, (x,y) é ponto de borda.

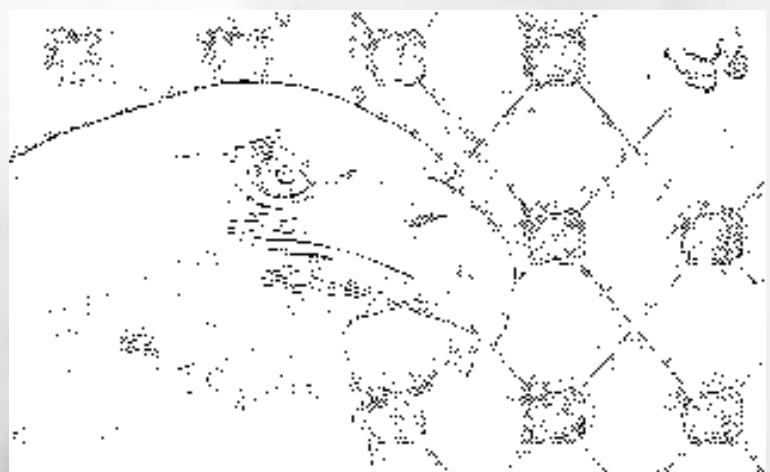
Segmentação (cont.)

- Exemplo de segmentação utilizando os resultados da filtragem por Sobel e limiarização:

Inverso do Laplaciano 1 + Original



Segmentação



Limiar 200

Unsharp Mask

- Outra maneira de realçar bordas é subtrair uma imagem borrada da original.

- Esta operação é chamada filtragem por máscara suave (*unsharp mask*):

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

sendo $\bar{f}(x,y)$ um filtro de suavização.

- A seguir, encontra-se a imagem com realce:

$$g(x,y) = f(x,y) + k * gmask(x,y)$$

sendo k uma variável de intensidade do realce. Quando $k > 1$ então a filtragem é realce.

Unsharp Mask

◆ UNSHARP

- Diferença entre uma imagem e o resultado de sua suavização (a imagem foi suavizada com um filtro gaussiano):

$$\text{unsharp} = \text{img} - \text{img_suavisada}$$



I



I_1



$$I_2 = \text{Unsharp} * 3$$



$$I_3 = I_2 + I$$

Referências

◆ *Slides:*

- Prof. Fabio Cappabianco (UNIFESP)
- Prof. Fabio Faria (UNIFESP)

◆ *Livro:*

- Pedrini, H.; Schwartz, W. R. Análise de Imagens Digitais – Princípios, Algoritmos e Aplicações, ed. Thomson Learning, 2008.