# Transformações Por Vizinhança

# Operadores Locais (Vizinhança).

Combina a Intensidade de um certo número de píxels (janela), para computar o valor da nova intensidade na Imagem de Saída.

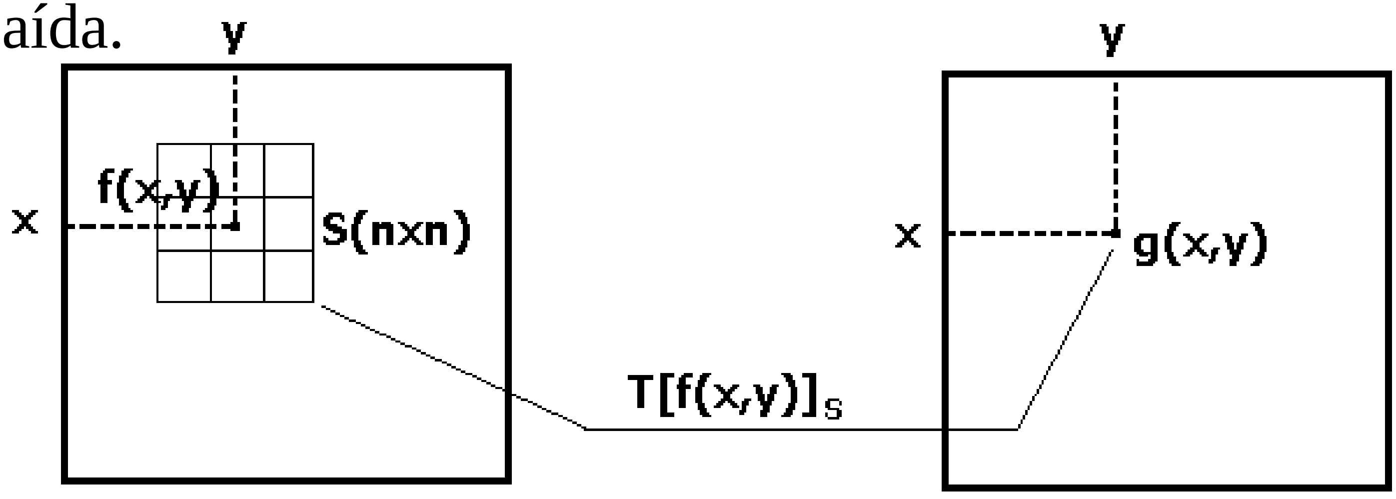


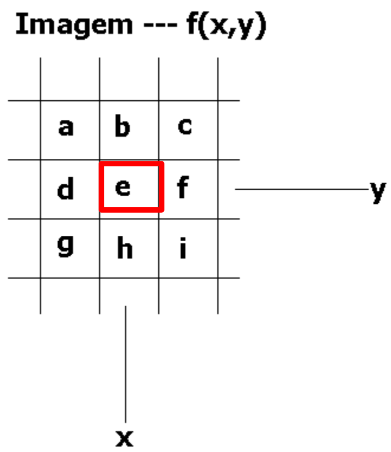

Imagem de Entrada

Imagem de Saída

: Operação sobre todos os pixels dentro da janela centrada em .

# Filtros no domínio do espaço

# Exemplo: Janela de 3 x 3




**Template**
**k = 3 x 3 = 9**

| | | |
|---|---|---|
| $w_1$ | $w_2$ | $w_3$ |
| $w_4$ | $w_5$ | $w_6$ |
| $w_7$ | $w_8$ | $w_9$ |

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

- : valores dos níveis de cinza na vizinhança de ;

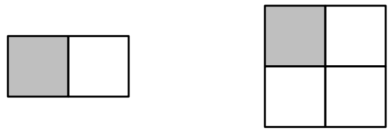
- a : são os “pesos” , ou seja, os valores dos níveis de cinza em cada posição do *Template*.

O valor do pixel , na nova imagem, será dado por:

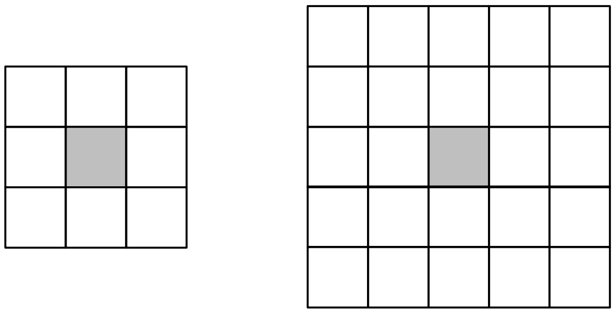
$$g(x,y)=w_1.a+w_2.b+w_3.c+w_4.d+w_5.e+w_6.f+w_7.g+w_8.h+w_9.i$$

# Convenção:

- Máscaras de organização par (, , ...) o resultado é colocado sobre o **primeiro pixel**.



- Máscaras de organização ímpar (, , ...) o resultado é colocado sobre o **pixel central**.



# Convolução e Correlação Cruzada:

No domínio do espaço, a diferença entre a Convolução e a Correlação Cruzada reside apenas no espelhamento do Template a ser utilizado, que deve ser feito na Convolução.

Como, em geral, os Templates são simétricos, a equação da Correlação Cruzada tem sido empregada com o nome de Convolução na área de Processamento de Imagens.

**Convoluir um Template** com uma Imagem equivale à operação:

**Espelhamento, Desloca, Multiplica e Soma**

# Exemplo de máscara simétrica, onde a operação de convolução e de correlação são idênticas:

Template

| | |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |

$T(i,j)$

Imagem Original

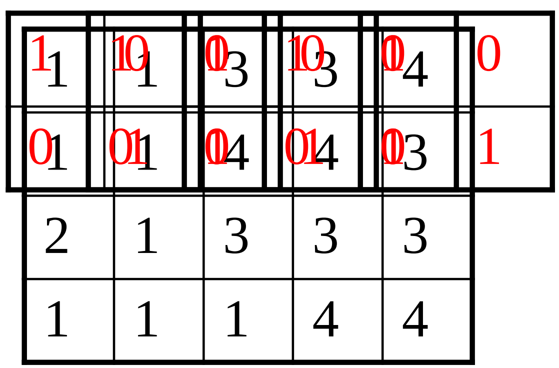
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 | 3 | 4 |
| 1 | 1 | 4 | 4 | 3 |
| 2 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 4 | 4 |

$f(x,y)$

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.

# Exemplo 1: Atribuindo zero aos resultados não calculáveis

Template

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Imagem

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 1 | 3 | 4 | 0 |
| 1 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| 0 | 0 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0 | 7 | 8 | 0 |

Resultado

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 11 | 15 | 17 | 0 |
| 0 | 8 | 17 | 22 | 0 |
| 0 | 13 | 21 | 20 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

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

# Exemplo 2: *Padding* com zeros

0

Centra-se o Template com o primeiro pixel da imagem atribuindo o valor 0 aos valores inexistentes na imagem.

Template

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Imagem

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 0 |
| | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| | 0 | 0 | 4 | 5 | 6 |
| | 1 | 0 | 7 | 8 | 0 |

Resultado

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 8 | 7 | 4 |
| 4 | 11 | 15 | 17 | 11 |
| 1 | 8 | 17 | 22 | 15 |
| 3 | 13 | 21 | 20 | 10 |
| 0 | 4 | 9 | 15 | 11 |

Primeiro Ponto:

# Exemplo 3: Convolução Periódica

O Template é deslocado sobre todos os pixels da imagem original como se esta fosse adjacente em suas extremidades.

Template

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Imagem

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | 1 | 3 | 4 | 0 |
| 1 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| 0 | 0 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0 | 7 | 8 | 0 |

Resultado

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 12 | 23 | 22 | 13 |
| 10 | 11 | 15 | 17 | 13 |
| 7 | 8 | 17 | 22 | 15 |
| 3 | 13 | 21 | 20 | 12 |
| 14 | 10 | 18 | 27 | 21 |

Primeiro Ponto:

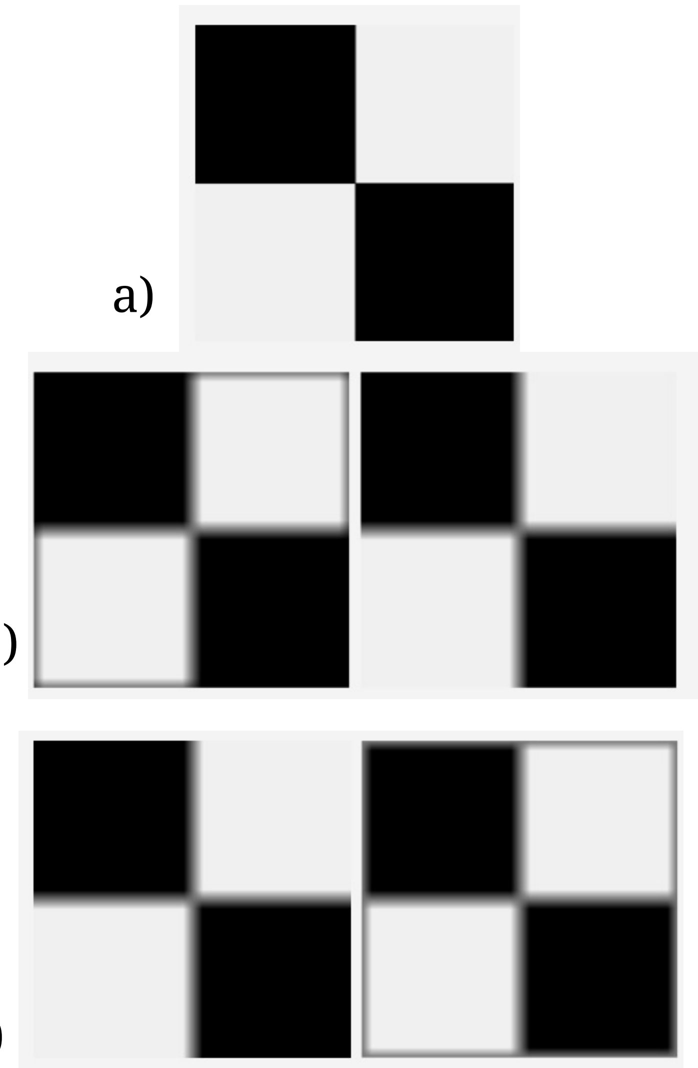
# Solução para os pixels das bordas:

Podem ser usadas cinco soluções:

1. Atribuindo valor zero aos resultados não calculáveis;
2. Preenchimento da imagem com 0´s antes do cálculo da imagem final (*Padding P**);
3. Replicação dos pixels das bordas (*replicate**);
4. Espelhamento (*symmetric**);
5. Convolução periódica (*circular**);

** Usado pelo Matlab*

# Efeitos nas bordas da imagem




Convolução da imagem original com um filtro da média

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 3}$$

A) Imagem original
B) Padding com zeros
C) Replicação
D) Espelhamento
E) Periódica (circular)

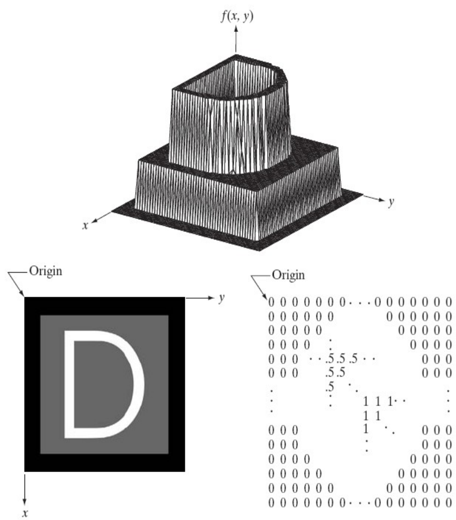
# Observações:

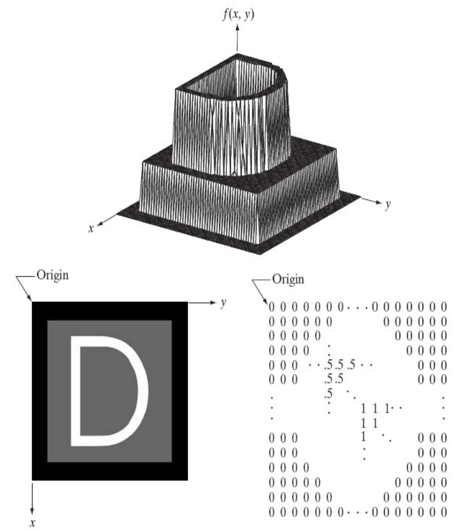
- O custo computacional da Convolução espacial é alto.
- Se a Imagem é de tamanho e o Template , o número de multiplicações é de ;
- Exemplo: se a Imagem é de  e o Template é de , são necessárias 67.108.864 multiplicações;
- A alternativa é transformar a Imagem e o Template para o domínio da frequência (Fourier) e multiplicar elemento a elemento.
- A transformação só é justificável se o Template for maior que , devido ao custo da Transformada de Fourier.

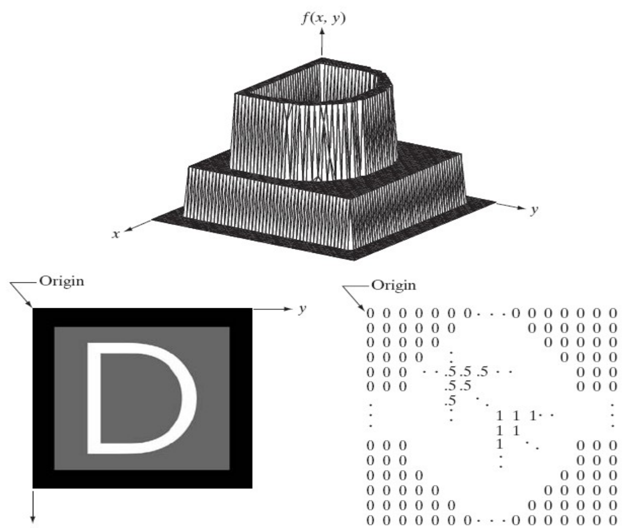
# Filtragem Espacial

- Filtros Passa-Baixa
- Filtros Passa-Alta
- Filtros Derivativos

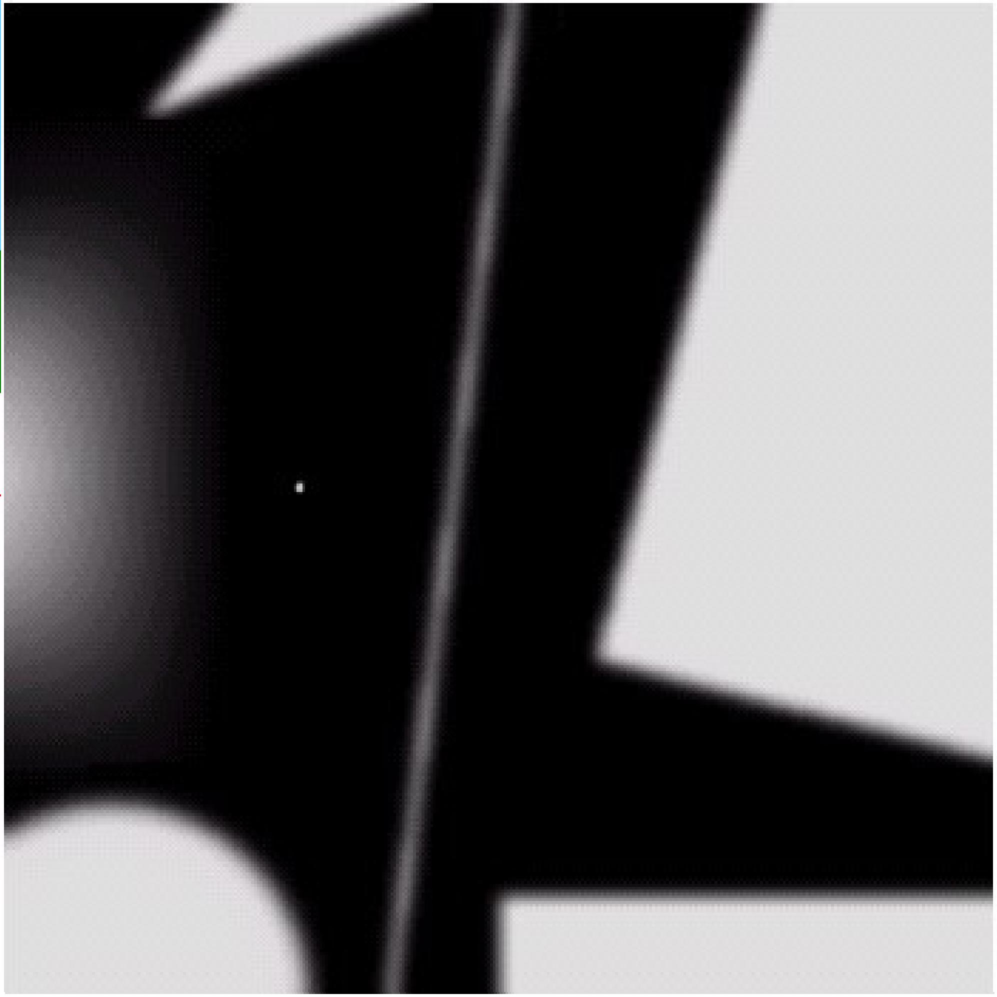
# Representação de uma Imagem como Superfície Isométrica

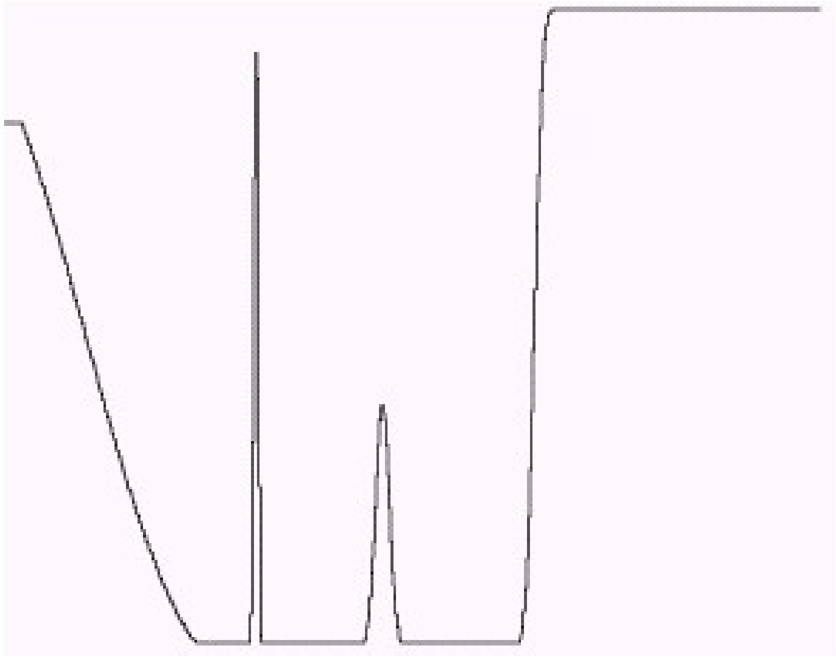


# Perfil radiométrico de uma imagem: altas frequências e baixas frequências





# Altas e baixas frequências em uma imagem

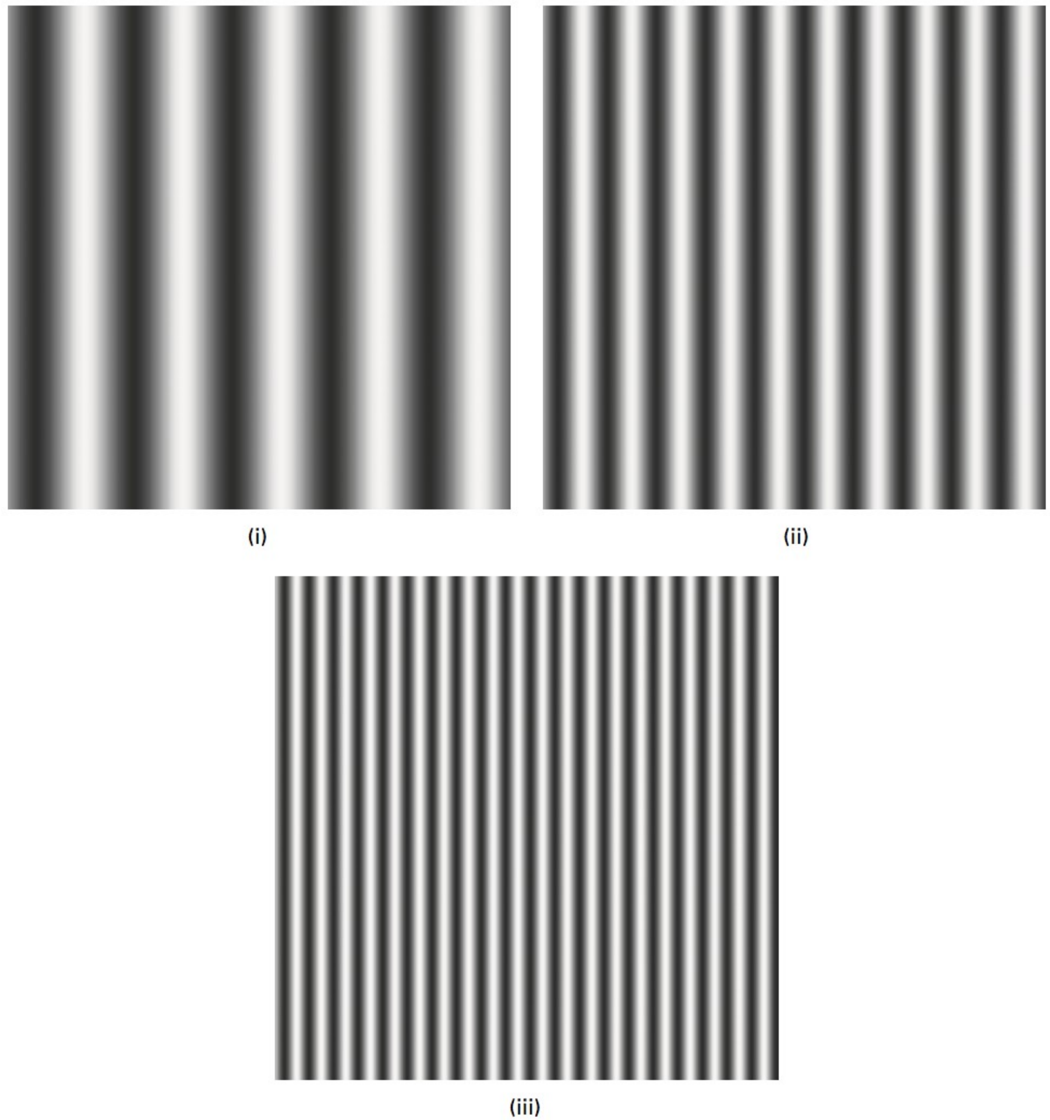



**Figure 2.8** Sinusoidal patterns with (i) low, (ii) medium and (iii) high spatial frequency in the horizontal direction.

# Filtragem Espacial: Passa Baixa

- Uma das aplicações da Convolução espacial de uma Imagem com Templates é a Suavização (Smoothing) ou Filtragem Passa Baixa.
- Um filtro espacial Passa Baixa é implementado através de uma Máscara que realiza a Média da Vizinhança.
- Uma Máscara de Média é tal que seus pesos são positivos e a soma é igual a 1.

➢ Exemplos de algumas Máscaras de Filtros Passa Baixa:

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

# Exemplo de Média da Vizinhança.

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)

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | 25 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

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

# Exemplo de Média da Vizinhança.

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)

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | 25 | 40 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

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

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

Imagem Original

Vizinhança

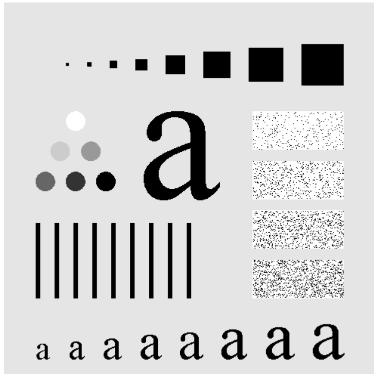
Vizinhança

Vizinhança

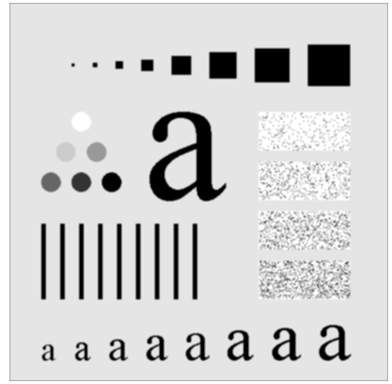
Vizinhança

Vizinhança

Imagem Original



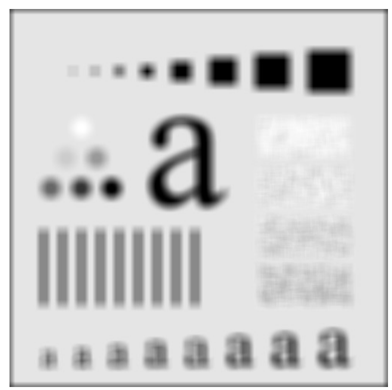
Vizinhança



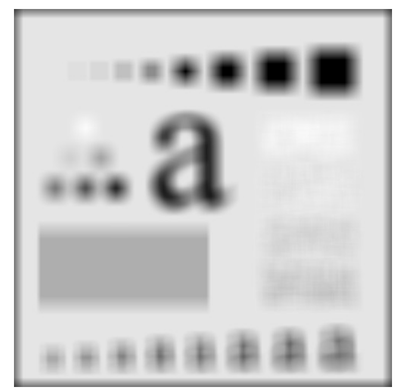
Vizinhança

Vizinhança

Vizinhança



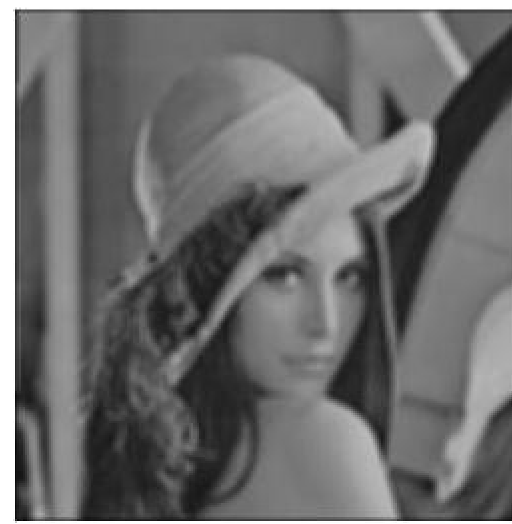
Vizinhança



# Filtro Passa Baixa – Média da Vizinhança

$$* \quad \frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad =$$

$$* \quad \frac{1}{25} \times \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{5 \times 5} \quad =$$



# Filtro Passa Baixa – Média da Vizinhança

$$* \ \frac{1}{49} \times \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{7 \times 7} =$$

$$* \ \frac{1}{81} \times \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{9 \times 9} =$$

# Filtragem Espacial: Passa Alta

- É chamada de filtro de passa-alta porque detecta na imagem os detalhes finos e mudanças abruptas de níveis de cinza na imagem.

- A máscara do filtro passa alta deve ter pesos de tal forma que a soma seja igual a zero.

Exemplos de máscaras de filtros passa alta:

**Normalizado**

$$\frac{1}{9}\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Normalizado

$$\frac{1}{5}\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Operador Laplaciano

# Filtro Passa Alta – Detector de Altas Frequências

Normalizado

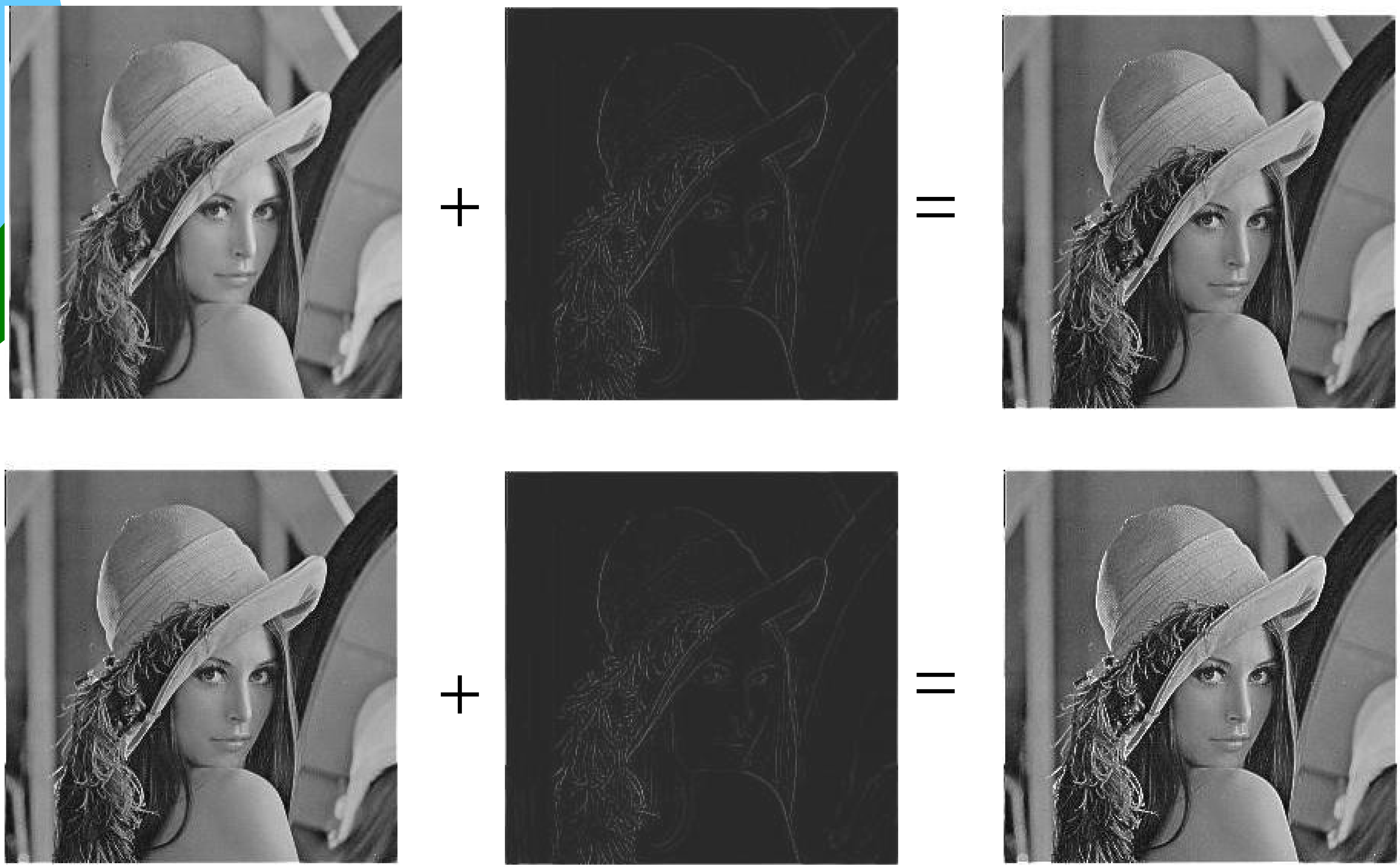
$$* \ \frac{1}{9}\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad =$$

255 -

negativo

$=$

# Filtro de AGUÇAMENTO
# (*Sharpening*) - realce de altas frequências



# Filtro Passa Alta – Detector de Altas Frequências

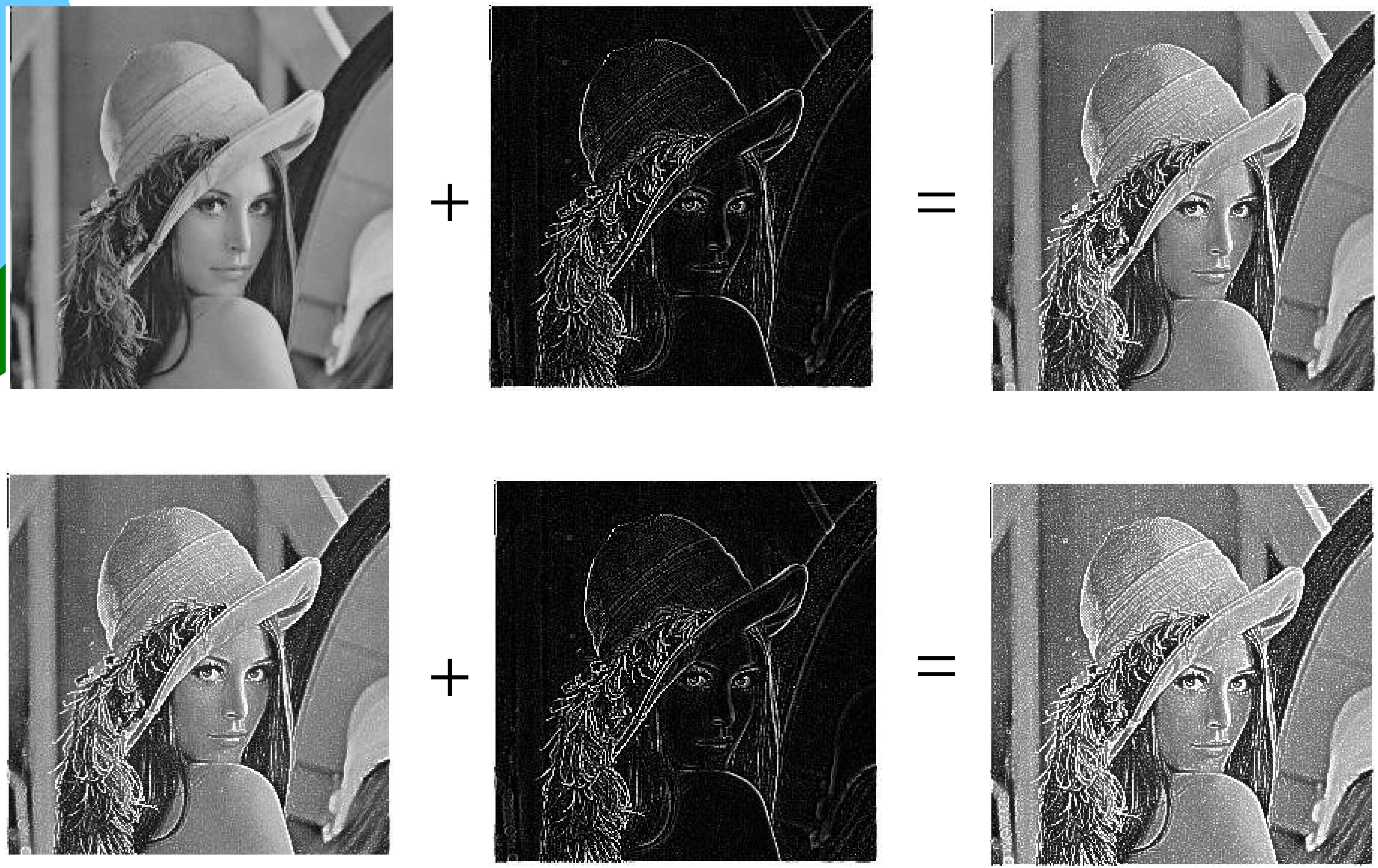
Não-normalizado

$$* \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} =$$

$255 -$

$=$

# Filtro de AGUÇAMENTO
# (*Sharpening*) -  realce de altas frequências



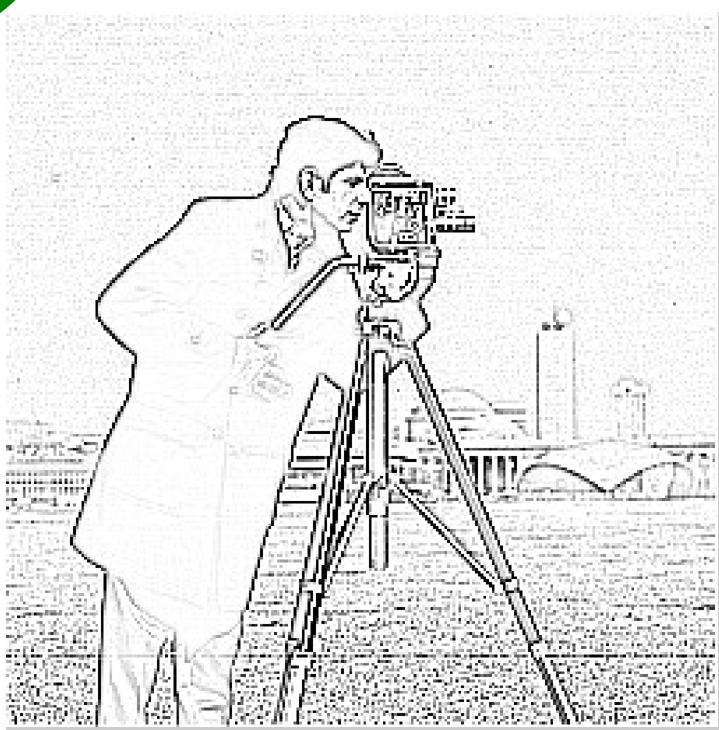
# Isotropia

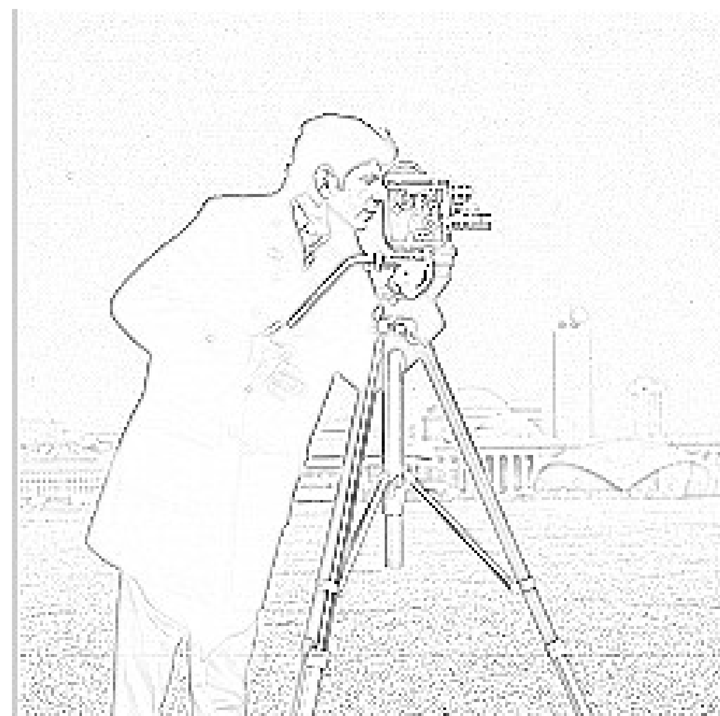
Detecta variação em todas direções

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Detecta variação apenas em cruz

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$





# Filtragem Espacial:
# Filtros Derivativos de 1ª Ordem

Bordas Verticais

| | |
|---|---|
| 1 | -1 |

| | |
|---|---|
| -1 | 1 |

Bordas Horizontais

| |
|---|
| 1 |
| -1 |

| |
|---|
| -1 |
| 1 |

Bordas Diagonais

| | |
|---|---|
| 0 | -1 |
| 1 | 0 |

| | |
|---|---|
| 0 | 1 |
| -1 | 0 |

| | |
|---|---|
| -1 | 0 |
| 0 | 1 |

| | |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 0 | -1 |

Esses operadores são conhecidos como **Operadores Gradiente-Cruzado de Roberts** ou **Detectores de Bordas de Roberts**

# Detector de Bordas de Roberts

- São filtros não-isotrópicos (detectam bordas em uma direção específica);

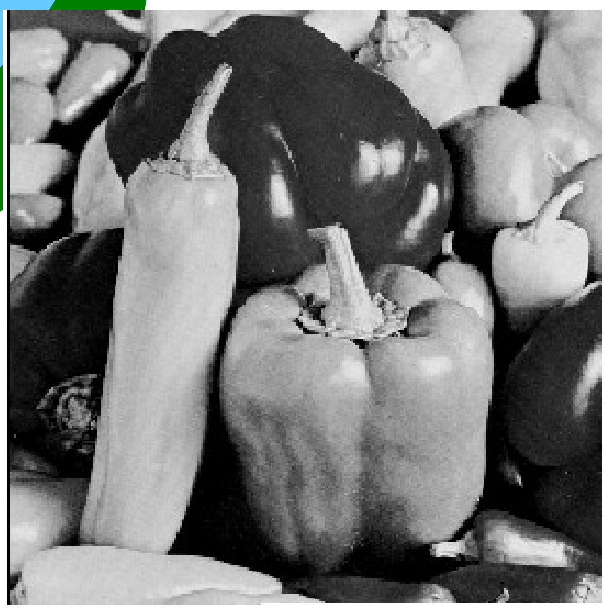
- Detectam gradiente (bordas) positivo ou negativo dependendo do *template* utilizado;

- Não são muito sensíveis à ruídos e pequenos detalhes como os detectores Laplacianos (de segunda ordem).

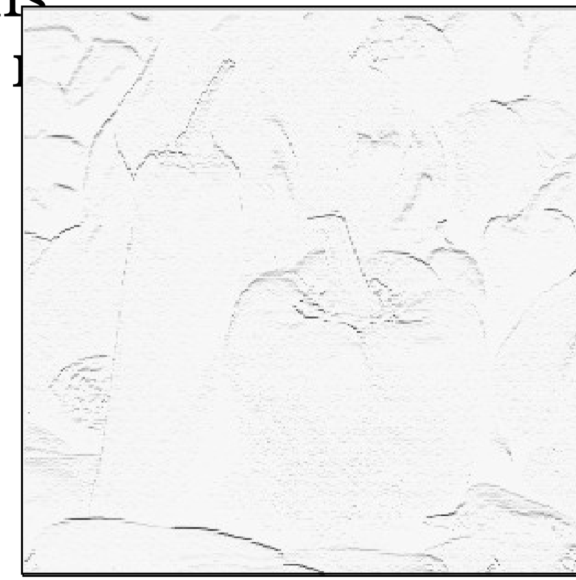
## Exemplo do Detector de Bordas de Roberts (Negativo da imagem final):

Direção do gradiente = direção dos sinais
Direção da borda = perpendicular a da

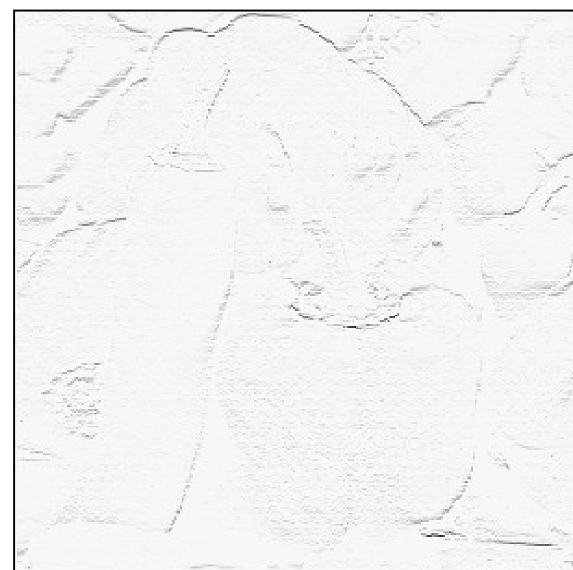
### - Convolução



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$



$$h2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

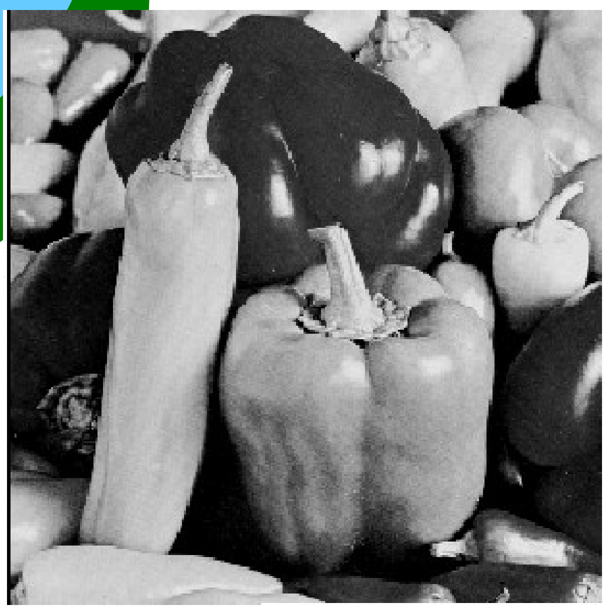


Exemplo do Detector de Bordas de Roberts (Negativo da imagem final):

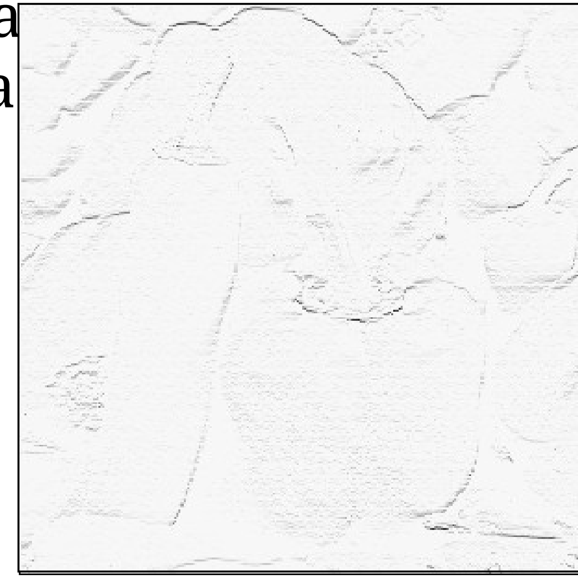
Direção do gradiente = direção dos sinai

Direção da borda = perpendicular a da

## - Convolução



$$h1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

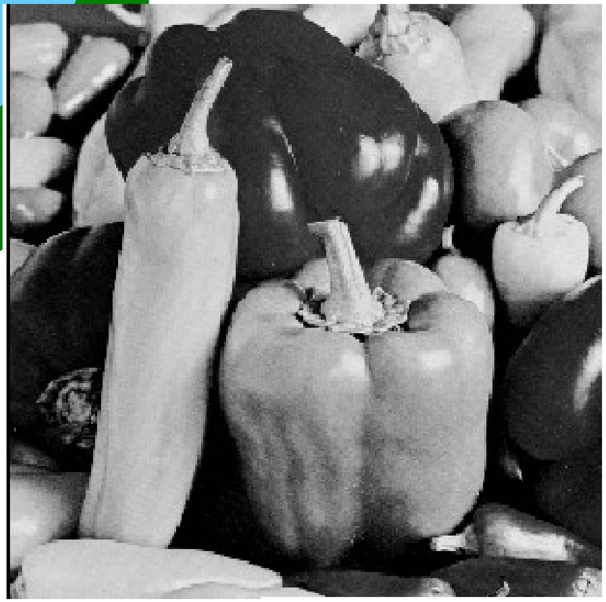


$$h2 = [1 \ -1]$$

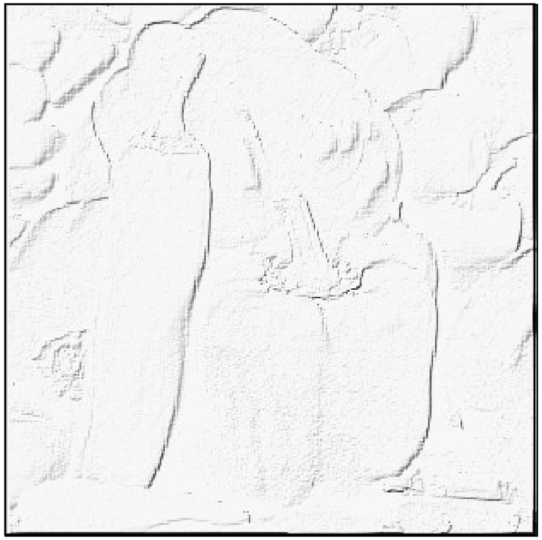
# Filtragem Espacial: Filtros Derivativos

## Exemplo do Detector de Bordas de Roberts:

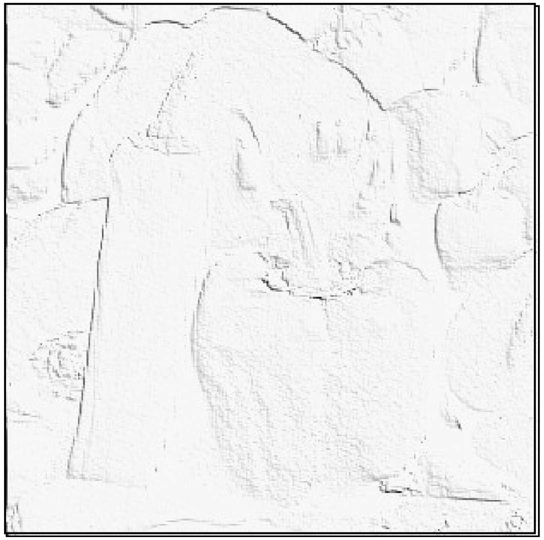
**- Correlação cruzada**



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



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



# Filtragem Espacial:

# Filtros Derivativos de 1ª Ordem

| | | |
|---|---|---|
| -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 |

Esses operadores são conhecidos como

**Operador de Prewitt ou Detector de Bordas de Prewitt**

# Filtragem Espacial:
## Filtros Derivativos de 1ª Ordem

| | | |
|---|---|---|
| 0 | -1 | -1 |
| 1 | 0 | -1 |
| 1 | 1 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | -1 | 0 |

Bordas Diagonais

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | -1 |
| 0 | -1 | -1 |

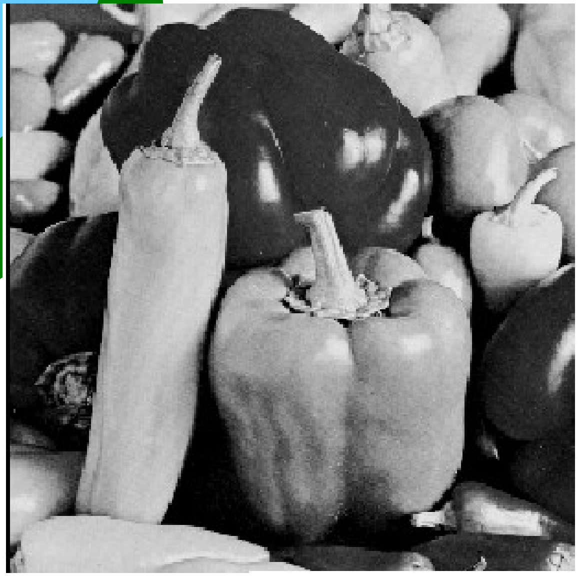
| | | |
|---|---|---|
| -1 | -1 | 0 |
| -1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |

Esses operadores são conhecidos como
**Operador de Prewitt ou Detector de Bordas de Prewitt**

# Exemplo de detector de Prewitt:

**Correlação cruzada**

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



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

# Filtragem Espacial:
## Filtros Derivativos de 1ª Ordem

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

Bordas Horizontais

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

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

Bordas Verticais

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

Esses operadores são conhecidos como

**Operador de Sobel ou Detector de Bordas de Sobel**

# Filtragem Espacial:

## Filtros Derivativos de 1ª Ordem

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

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

Bordas Diagonais

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

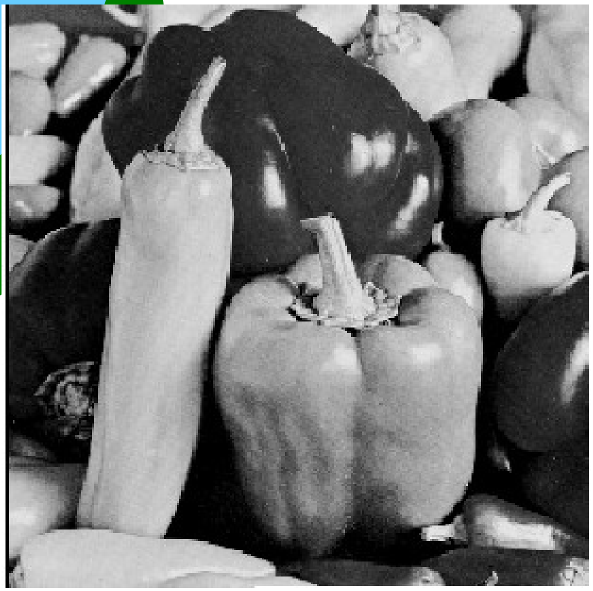
| | | |
|---|---|---|
| -2 | -1 | 0 |
| -1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 2 |

Esses operadores são conhecidos como

**Operador de Sobel ou Detector de Bordas de Sobel**

# Exemplo de detector de Sobel:

**Correlação cruzada**

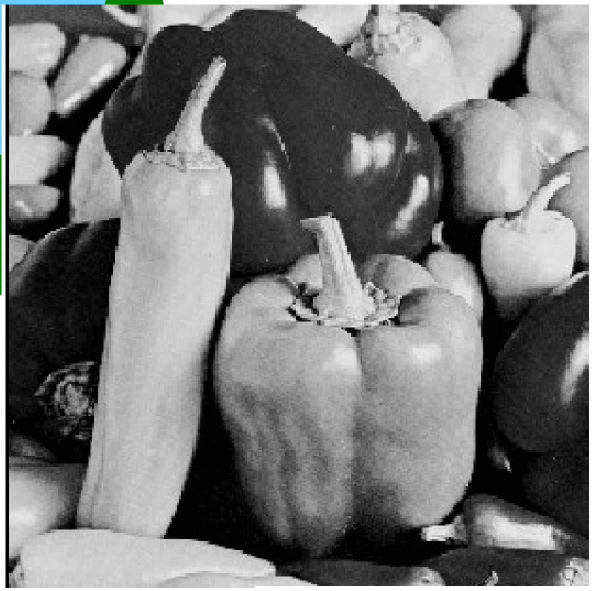


$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

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

# Exemplo de detector de Prewitt e Sobel:

**Correlação cruzada**



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

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