Aula 8.2

Restauração de Imagens

Restauração

Filtros adaptativos

Se adaptam de acordo com as características locais da imagem, assim, em cada região da imagem, aplicam uma filtragem diferente

<u>Vantagem</u>: Maior poder de filtragem

<u>Desvantagem</u>: Maior complexidade do filtro

Restauração

Filtros adaptativo

Por exemplo, o filtro deve operar em uma região S_{xy}, centrada no ponto x,y, usando os parâmetros:

$g(x,y)$ o valor da imagem com ruído em x,y

σ^2_η a variância do ruído que corrompe $f(x,y)$ para formar $g(x,y)$

m_L a média local dos pixels em S_{xy}

σ^2_L a variância local dos pixels em S_{xy}

O filtro deve:

1) Se σ^2_η for zero, o filtro retorna $g(x,y)$, pois o ruído é zero
2) Se σ^2_L for alta em relação a σ^2_η, deve retornar $g(x,y)$, pois deve ser uma região de bordas
3) Se σ^2_L e σ^2_η são iguais, retorna o valor da média da região

Como raramente σ^2_η é conhecido, na prática estas condições são violadas

Restauração

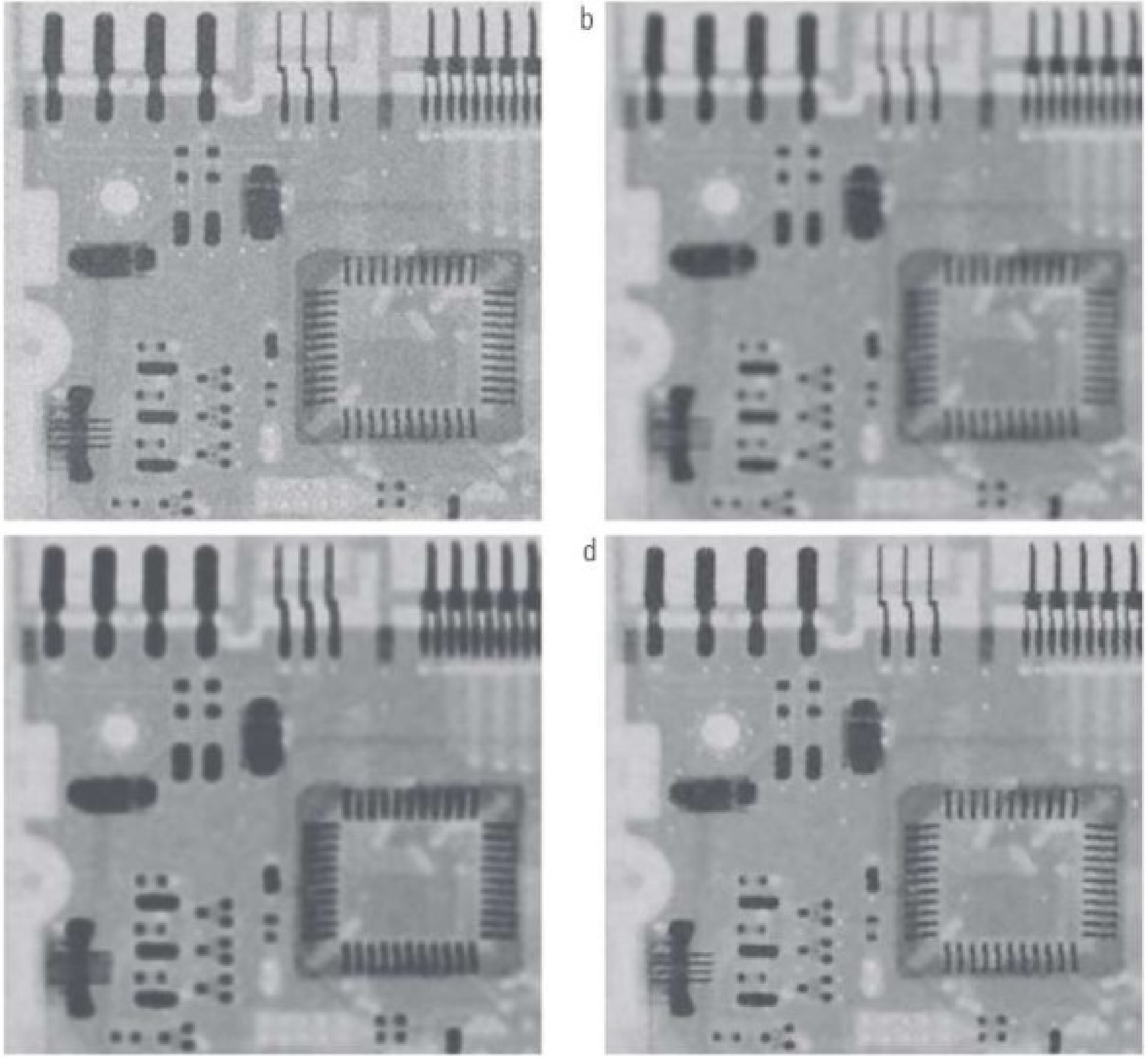
Filtros adaptativos

Uma expressão adaptativa a ser obtida com base nessas premissas pode ser expressa por:

$$\hat{f}(x,y) = g(x,y) - \frac{\sigma_\eta^2}{\sigma_L^2}\left[g(x,y) - m_L\right]$$

É preciso calcular o valor da variância do ruído geral σ_η^2. Os demais valores são calculados a partir dos pixels em $S_{x,y}$, para cada posição de x,y, na qual a janela do filtro é centralizada

Restauração



a

Imagem corrompida com ruído gaussiano aditivo de média zero e variância 1.000

b

filtragem com a média aritmética

c

filtragem com a média geométrica

d

filtragem adaptativa

todos os filtros 7 x 7

Restauração

Os resultados mostrados utilizam um valor de σ^2_η que corresponde exatamente à variância do ruído.

Quando este valor não é conhecido, e uma estimativa muito baixa é usada, o algoritmo retorna uma imagem que é muito parecida com a imagem original, porque as correções são menores do que deveriam

Restauração

Filtro Adaptativo da Mediana

O filtro da mediana apresenta um bom resultado se a densidade espacial do ruído impulsivo não for alta

O Filtro adaptativo de Mediana consegue se sair melhor quando o ruído impulsivo é maior

O **ruído impulsivo** é um processo caracterizado por rajadas de um ou vários pequenos pulsos sendo que a amplitude, a duração e o intervalo de tempo ocorrem aleatoriamente

O Filtro adaptativo opera em uma janela retangular $S_{x,y}$ como nos demais filtros, entretanto, o filtro adaptativo da Mediana altera (aumenta) o tamanho de $S_{x,y}$ durante a filtragem, dependendo de certas condições

Restauração

Filtro Adaptativo da Mediana

A saída do filtro adaptativo da mediana é um valor a ser atribuído a imagem de saída na posição x,y, em que a vizinhança $S_{x,y}$ está centralizada

O Filtro:

Seja

$z_{mín}$: valor mínimo de intensidade em S_{xy}

$z_{máx}$: valor máximo de intensidade em S_{xy}

z_{med} : mediana de valores de intensidade em S_{xy}

z_{xy} : valor de intensidade em x,y

$S_{máx}$: tamanho máximo permitido de S_{xy}

O filtro opera em dois estágios →

Restauração

Filtro Adaptativo da Mediana

Estágio A: $A_1 = z_{med} - z_{mín}$

$A_2 = z_{med} - z_{máx}$

Se $A_1 > 0$ e $A_2 < 0$, vá para o estágio B

Senão, aumente o tamanho da janela

Se o tamanho da janela $\leq S_{máx}$, repita o estágio A

Senão, a saída é z_{med}

Estágio B: $B_1 = z_{xy} - z_{mín}$

$B_2 = z_{xy} - z_{máx}$

Se $B_1 > 0$ e $B_2 < 0$, a saída é z_{xy}

Senão, a saída é z_{med}

Restauração

A finalidade deste filtro é:

1)remover o ruído sal e pimenta

2)Proporcionar uma suavização para outros ruídos

Restauração

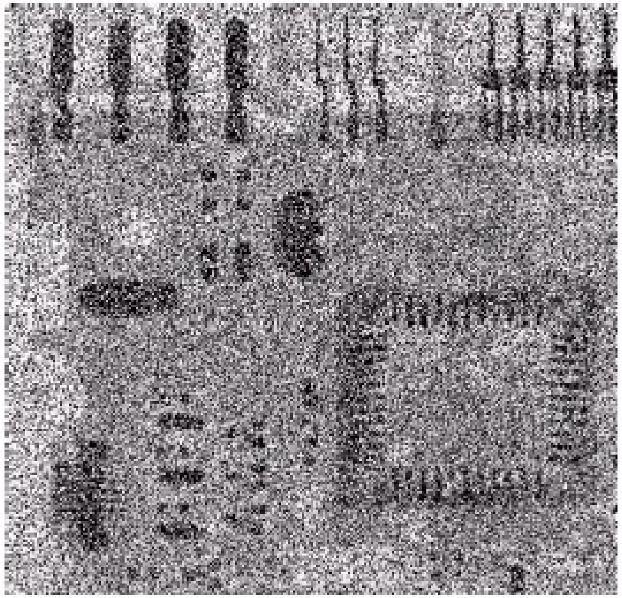
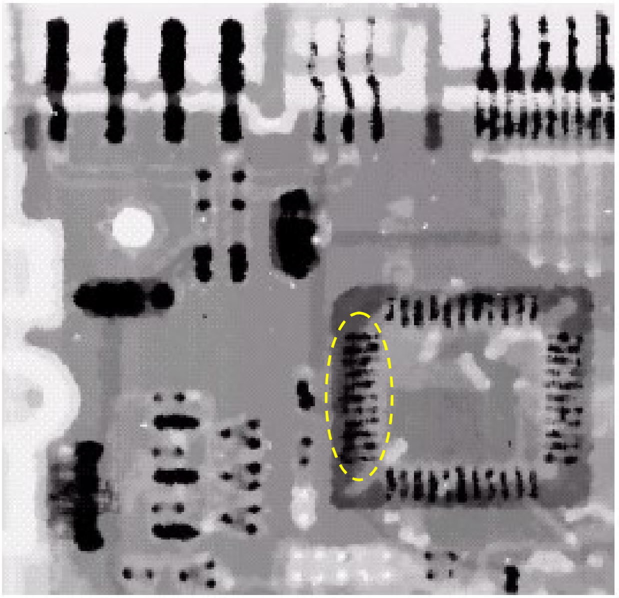
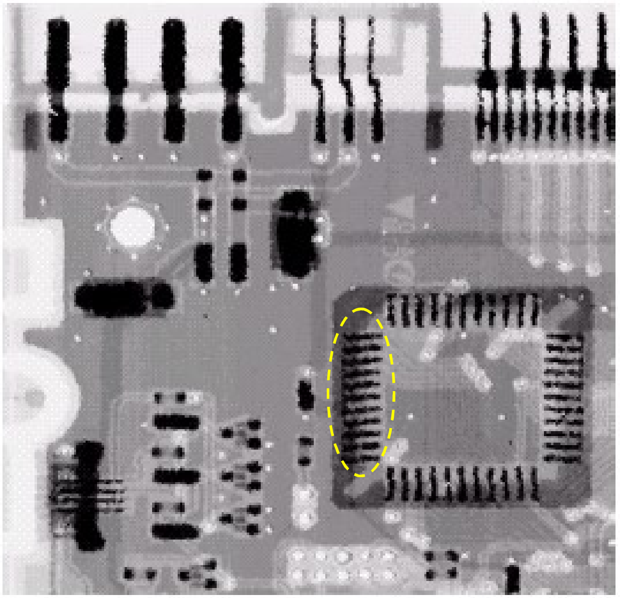




Imagem com ruído sal e pimenta com probabilidades $P_a=P_b=0.25$

Filtro da Mediana 7 x 7

Filtro da Mediana adaptativa com Smáx = 7

Também é possível incluir recursos como o aumento das vizinhanças, de acordo com as características da imagem e da vizinhança local

Restauração

Remoção de ruído periódico pela filtragem no domínio da frequência

O ruído periódico pode ser analisado e filtrado com bastante eficácia usando técnicas no domínio da frequência

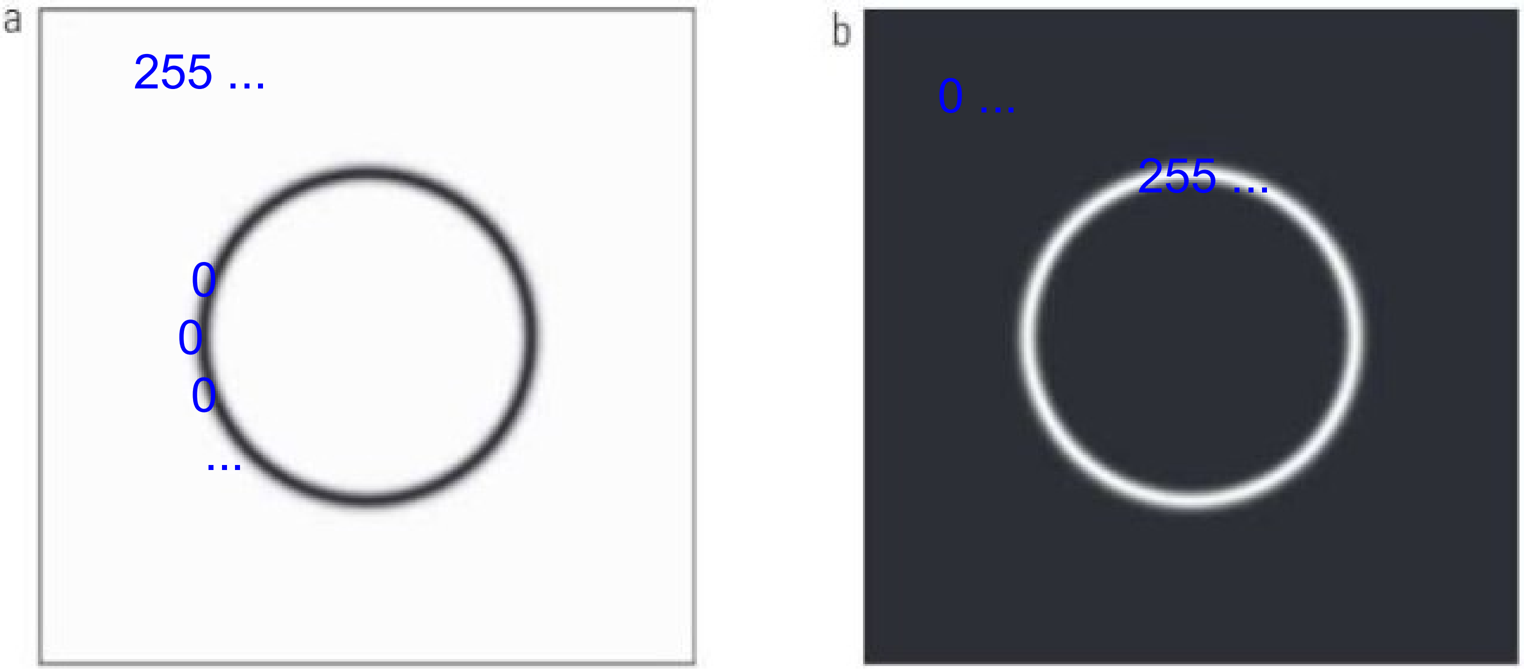
Neste domínio, o ruído periódico aparece como picos concentrados de energia na transformada de Fourier, em posições correspondentes às frequências da interferência periódica

A técnica consiste em usar um filtro seletivo para isolar o ruído

- rejeita-banda
- passa-banda
- notch

Restauração

Remoção de ruído periódico pela filtragem no domínio da frequência



rejeita-banda

passa-banda

onde tem zero, rejeita
onde tem 255, passa (preserva)

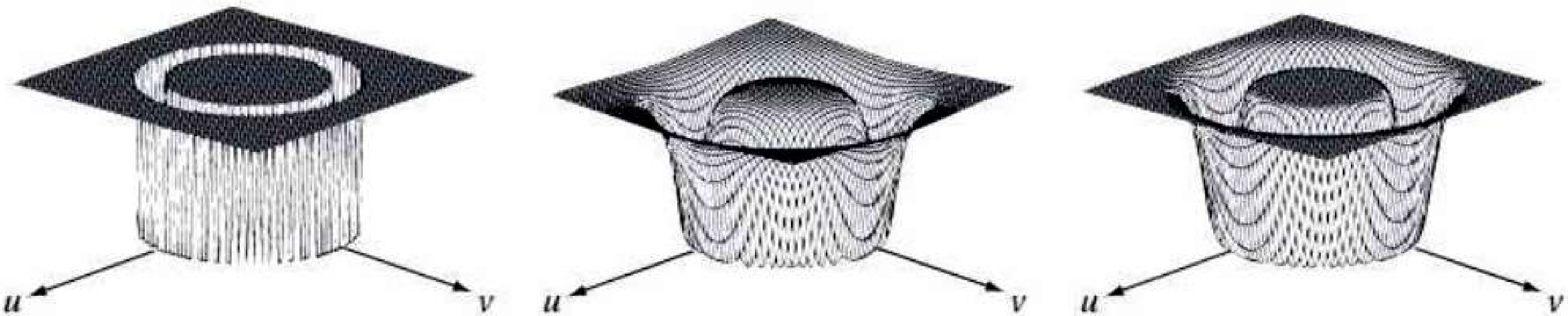
Restauração

Remoção de ruído periódico pela filtragem no domínio da frequência

Filtro Rejeita-Banda

Filtros rejeita-banda. W é a largura da banda, D é a distância $D(u, v)$ a partir do centro do filtro, D_0 é a frequência de corte e n é a ordem do filtro Butterworth. Mostramos D em vez de $D(u, v)$ para simplificar a notação na tabela.

Ideal	Butterworth	Gaussiano
$H(u,v)=\begin{cases}0 & \text{se } D_0-\frac{W}{2}\le D\le D_0+\frac{W}{2}\\ 1 & \text{para todos os outros casos}\end{cases}$	$H(u,v)=\dfrac{1}{1+\left[\dfrac{DW}{D^2-D_0^2}\right]^{2n}}$	$H(u,v)=1-e^{-\left[\frac{D^2-D_0^2}{DW}\right]^2}$



Rejeita Banda: (a) Ideal (b) Butterworth (c) Gaussiano

Restauração

Remoção de ruído periódico

Após obter o espectro, elimina-se os picos inesperados da imagem

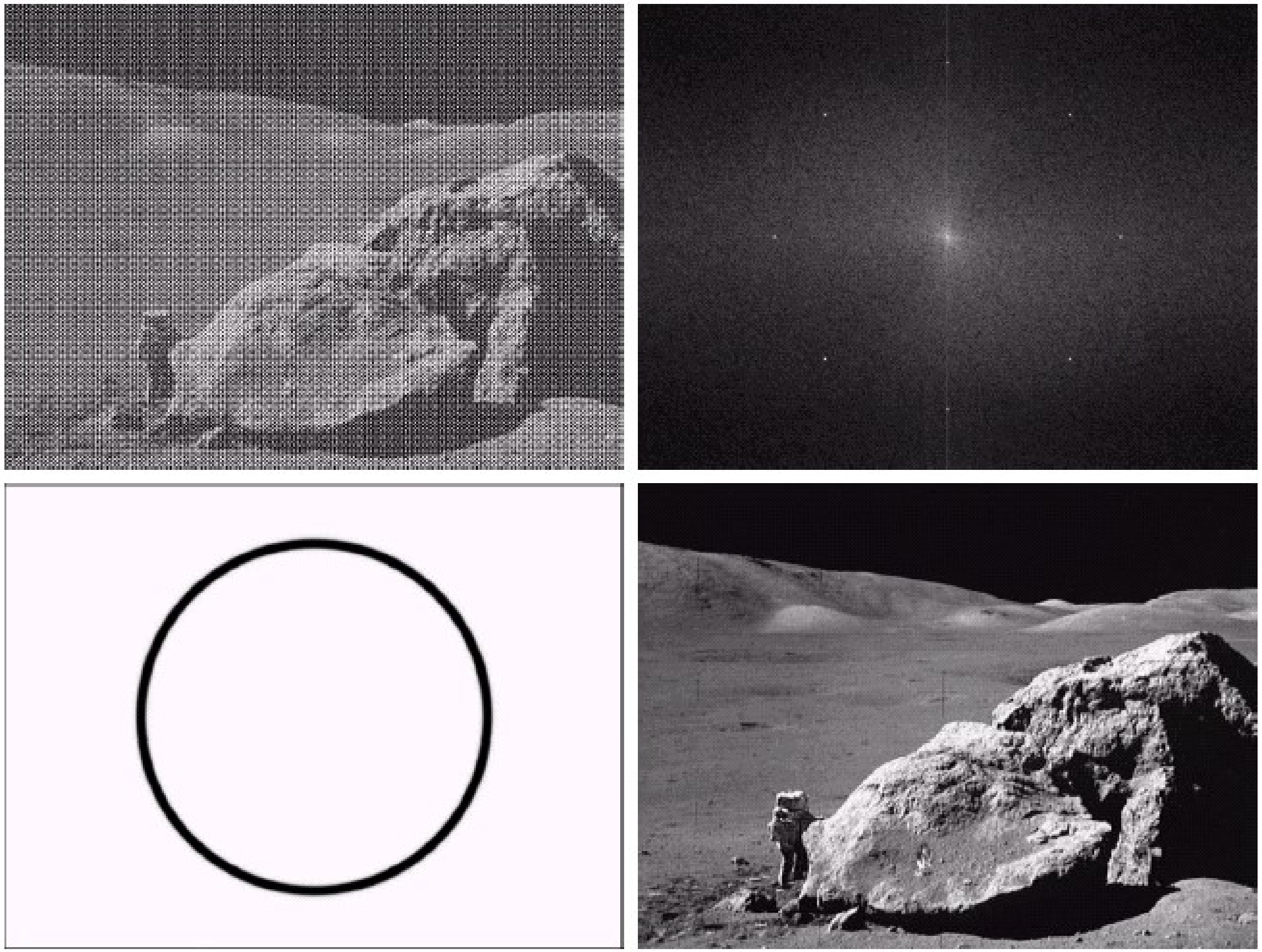


Imagem Original

Domínio do espaço

Espectro

Domínio da frequência

Rejeita faixa

Imagem obtida

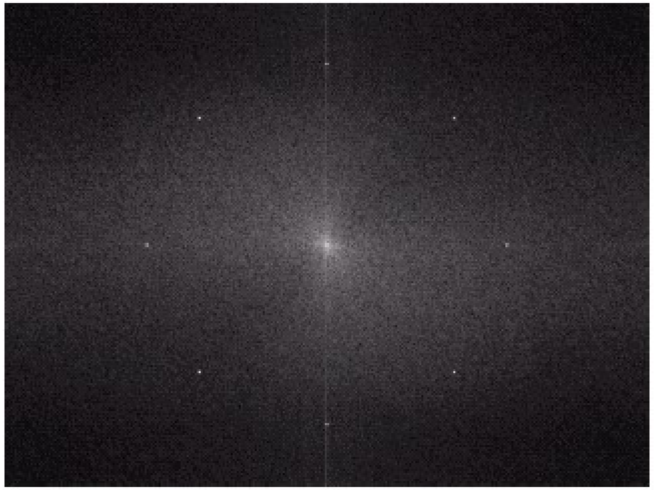
Restauração

Filtros Passa-Banda

A filtragem passa-banda é usada apenas quando se deseja isolar os efeitos causados por bandas de frequências selecionadas

a

Imagem Original

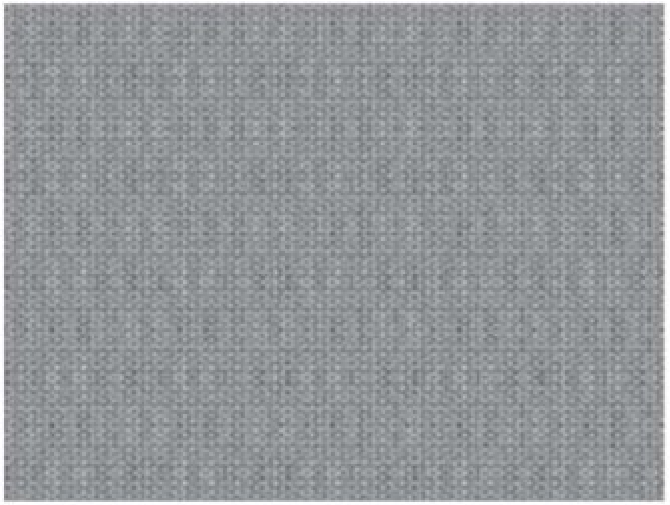


$\mathfrak{I}$

Filtro Passa-Banda

b

Resultado da <u>**Multiplicação**</u> pelo filtro Passa-Banda e $\mathfrak{I}^{-1}$



Neste caso, obtém-se apenas o ruído visto em (a)

Restauração

Filtros Notch

Um filtro notch rejeita ou passa frequências em vizinhanças predefinidas em relação a uma frequência central

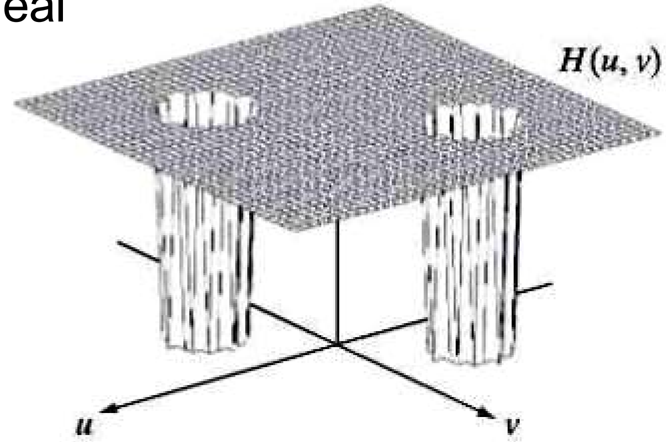
Por causa da simetria da transformada de Fourier, os filtros Nocth aparecem em **pares simétricos** em relação à origem

A única exceção é quando o filtro se localiza na origem

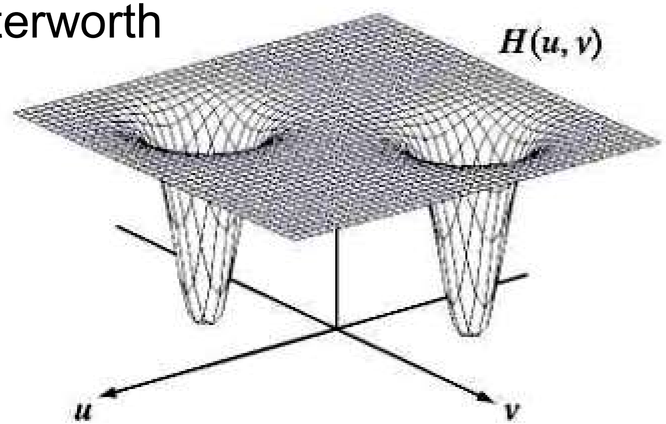
Restauração

Filtros Notch

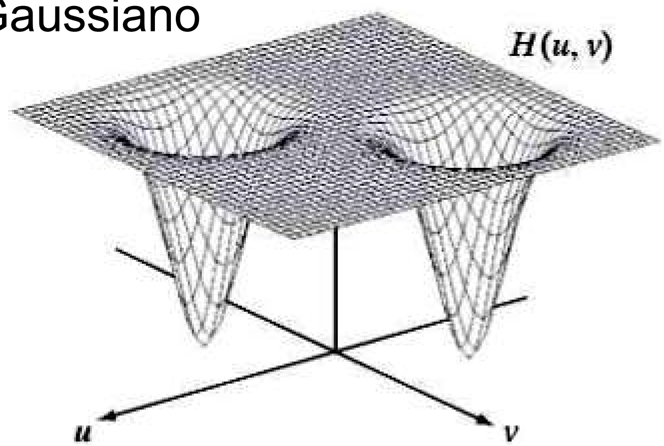
Ideal



Butterworth

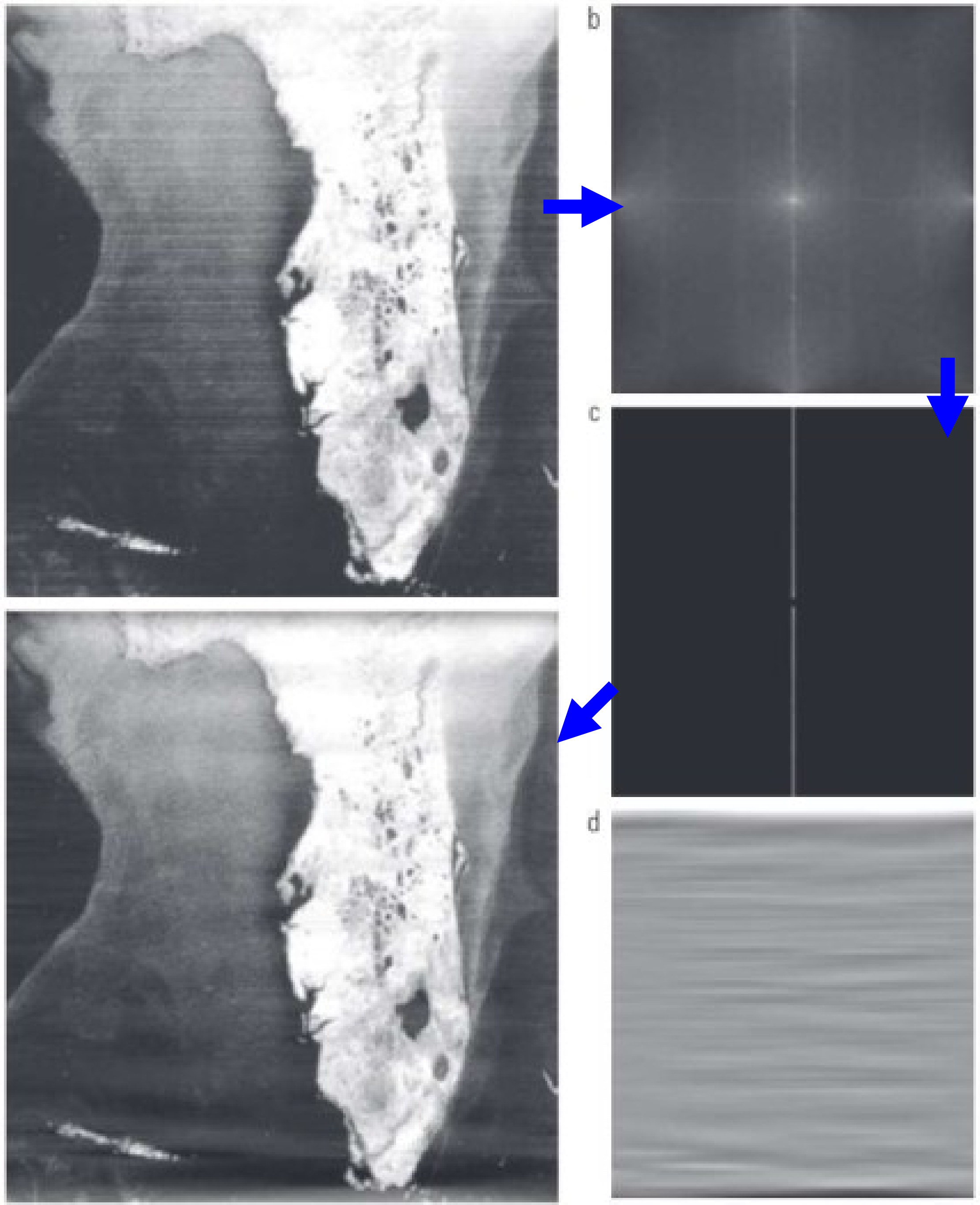


Gaussiano



Restauração

Imagem Original com linhas de varreduras horizontais



Espectro

Filtro Passa-Notch

Padrão de ruído espacial

Imagem filtrada

Restauração

Um sistema de degradação linear e invariante no tempo com ruído aditivo pode ser modelado no domínio espacial como a convolução da função de degradação (espalhamento do ponto) com uma imagem, seguida da adição do ruído

Restauração

Existem três métodos principais para estimar a função de degradação, para usar na restauração de imagens:

1) Observação

2) Experimentação

3) Modelagem Matemática

O processo de restaurar uma imagem usando uma função de degradação estimada é chamado de deconvolução cega, pelo fato da verdadeira função de degradação raramente ser conhecida

Restauração

1) Observação – Processa-se a própria imagem a ser restaurada, para tentar deduzir a função de degradação aplicada

Analisa-se pequenas áreas da imagem, ao redor de um objeto e do fundo

Restauração

2) Experimentação – Se um equipamento (câmara) similar ao usado na aquisição da imagem estiver disponível, é possível obter uma estimativa precisa da degradação

Por exemplo: pode ser conhecida a degradação de uma câmara fotográfica

Restauração

3) Modelagem Matemática – a modelagem da degradação tem sido muito usada por permitir uma solução do problema

Em alguns casos, a modelagem pode incluir até condições ambientais que causam degradações

<u>Ex.</u> O modelo de Hufnagel e Stanley (1964) usa características físicas de turbulência atmosférica e tem a expressão:

$$H(u,v) = e^{-k(u^2+v^2)^{5/6}}$$

$$\boxed{g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}$$

Nota-se claramente se tratar de um modelo baseado na Gaussiana

Restauração

Degradações obtidas usando a equação

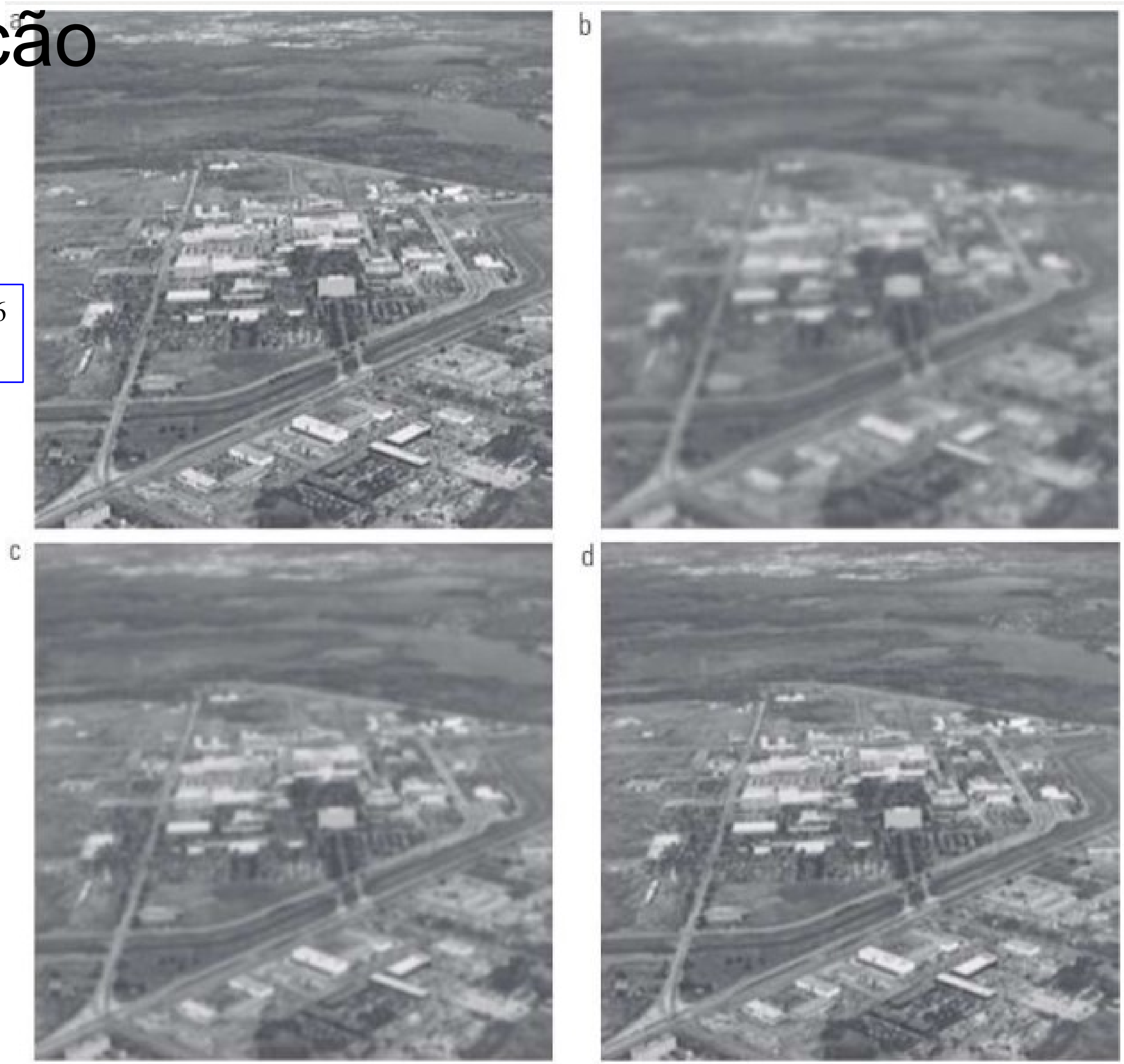
$$H(u,v) = e^{-k(u^2+v^2)^{5/6}}$$

a) Turbulência desprezível;

b) Turbulência grave k = 0.0025

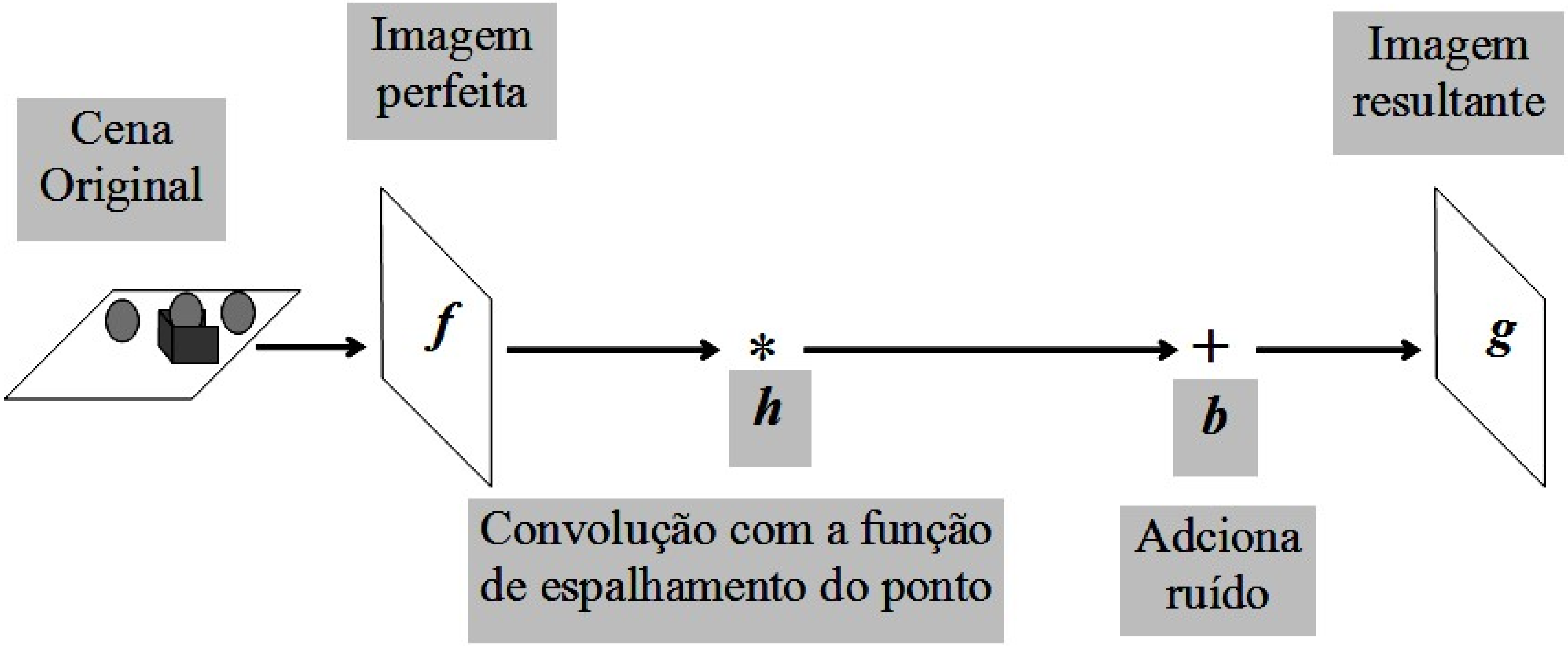
c) Turbulência suave k = 0.001

d) Turbulência baixa k = 0.00025



Restauração

MODELO DO PROBLEMA A SER RESOLVIDO



$$g = h * f \xrightarrow{\mathcal{F}} G = H \cdot F \rightarrow F = G / H$$

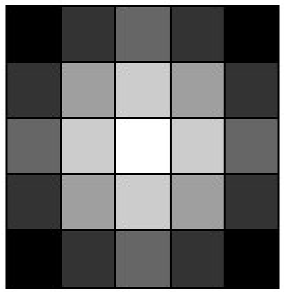
Modelo de degradação (espalhamento da luz + contaminação por ruído)

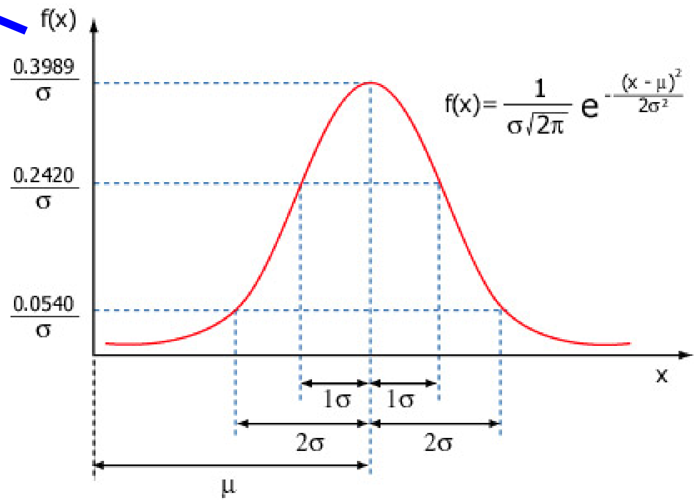
Restauração

FUNÇÃO DE ESPALHAMENTO PONTUAL

- O efeito que um sistema de aquisição de imagem tem em uma fonte pontual de imagem é conhecido por função de espalhamento do ponto (PSF - *point spread function*)

0.01	0.1	0.25	0.1	0.01
0.1	0.35	0.5	0.35	0.1
0.25	0.5	1.0	0.5	0.25
0.1	0.35	0.5	0.35	0.1
0.01	0.1	0.25	0.1	0.01





ESPALHAMENTO = BORRAMENTO

A dificuldade é encontrar a função de borramento h

Restauração

Determinação da Função de Espalhamento Pontual

Suponha que se tenha a imagem original $\boldsymbol{f}$ e também a imagem degradada $\boldsymbol{g}$, assim

$$\boldsymbol{g} = \boldsymbol{h} * \boldsymbol{f}$$

utilizando a transformada de Fourier pode se obter $\boldsymbol{H}$

$$H(\omega) = \frac{G(\omega)}{F(\omega)} \quad \text{(divisão)}$$

pois, $\boldsymbol{G} = \boldsymbol{H} \,.\, \boldsymbol{F}$ (produto)

Restauração

Na determinação da PSF, podem ser utilizados objetos de referências tais como regiões, linhas retas, bordas, cantos e retângulos.

Observação e
Experimentação

Exemplo: restaurar a imagem ***g***, que tem uma pessoa, com o rosto borrado, obtendo uma nova imagem **f** restaurada.

Solução: obtenha uma nova imagem (sem borrar), de uma região que aparece em f, obtenha uma aproximação de h. Use h para restaurar g.

g

Parte da f

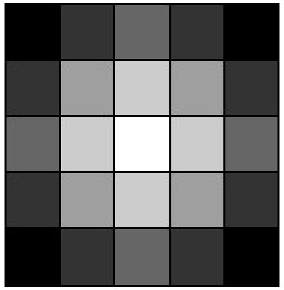
f

Restauração

- Uma PSF muito usada é a gaussiana, ou seja, a distribuição normal bidimensional, podendo ser experimentada sempre que a PSF for desconhecida

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

0.01	0.1	0.25	0.1	0.01
0.1	0.35	0.5	0.35	0.1
0.25	0.5	1.0	0.5	0.25
0.1	0.35	0.5	0.35	0.1
0.01	0.1	0.25	0.1	0.01



- Um critério que pode ser utilizado para determinar a qualidade de *H* é a minimização de $\| g - h * f \|^2$

Quando se desconhece h, é possível obter bons resultados **experimentando** a Gaussiana

Restauração

RECONSTRUÇÃO ITERATIVA

- Parte da suposição de que é praticamente impossível obter um sistema de restauração perfeito, e a avaliação de um operador humano (olho + cérebro) pode ser a que produz os melhores resultados

<u>Exemplo</u>

- A imagem digital borrada com uma proporção sinal/ruído adequadamente larga, sendo assumida a função de espalhamento como gaussiana, com simetria circular

$$h(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$$

- **Pode-se variar σ para testar diferentes resultados**

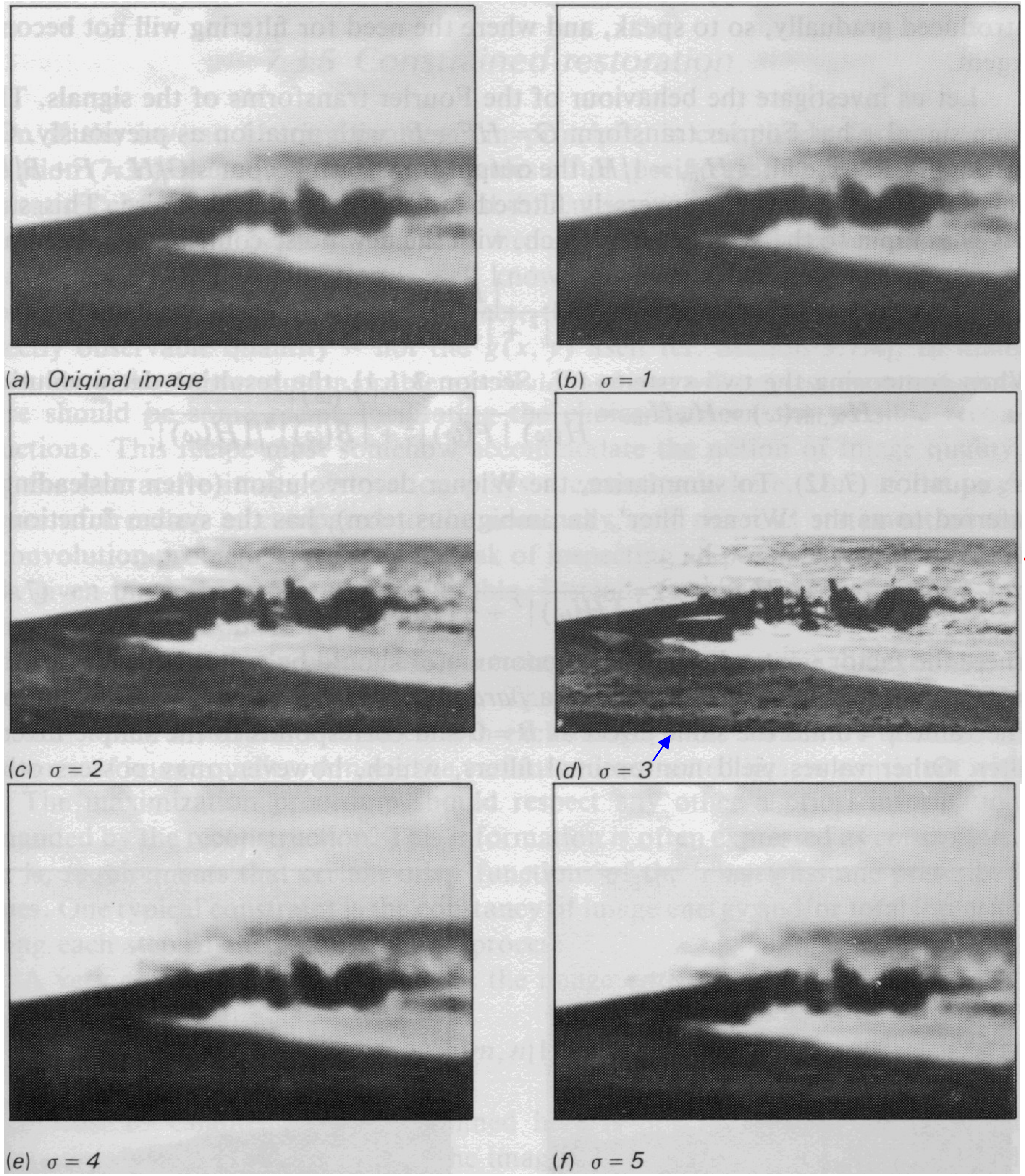
Restauração

vê-se que σ = 3

proporciona o

melhor resultado

$$F(\omega) = \frac{G(\omega)}{H(\omega)}$$



(a) Original image

(b) $\sigma = 1$

(c) $\sigma = 2$

(d) $\sigma = 3$

(e) $\sigma = 4$

(f) $\sigma = 5$

Restauração

FILTRAGEM INVERSA

Na restauração de uma dada imagem, é preciso assumir que o mecanismo de degradação se comporta como um filtro e ainda seja **invariante no espaço**

Muitas irregularidades óticas (coma, astigmatismo, aberrações, etc) **não são** invariantes no espaço, mas podem ser considerados, quando se restringe a pequenas áreas

Se g = f * h → $F(\omega) = \dfrac{G(\omega)}{H(\omega)}$

Em geral, a lente apresenta distorções diferentes na imagem adquirida, por causa das diferenças de curvatura no centro e nas bordas da lente

invariante no espaço significa que o borramento usa a mesma função por toda a imagem. Isto não deve ser muito comum, mas é uma forma de simplificar e viabilizar uma solução

Restauração

borramento

ruído

Em um modelo melhor tem-se: g = f * h + n

$$\rightarrow G(\omega 1, \omega 2) = F(\omega 1, \omega 2).H(\omega 1, \omega 2) + N(\omega 1, \omega 2)$$

e assim, $$F(\omega 1, \omega 2) = \frac{G(\omega 1, \omega 2) - N(\omega 1, \omega 2)}{H(\omega 1, \omega 2)}$$

a transformada inversa de Fourier conduz a ***f*** procurada.

Problema: mesmo que se tenha h, ainda falta n

Restauração

$$F(\omega) = \frac{G(\omega)}{H(\omega)}$$

Filtro de Wiener

Considera a função de degradação da imagem e o ruído

O modelo mais simples (ruído branco) faz:

$$F(\omega 1, \omega 2) = \frac{\left|H(u,v)\right|^2}{H(u,v)\left|H(u,v)\right|^2 + K} G(u,v)$$

Onde: H é a transformada da função de degradação

K é uma constante (deve ser a variância do ruído)

Restauração

Filtragem

Inversa x Wiener

Original
(degradada)

Filtragem
Inversa

Filtragem
Wiener

Restauração

Filtragem

Inversa x Wiener

Original (degradada) | Filtragem Inversa | Filtragem Wiener

Restauração

REMOÇÃO DE BORRAMENTO POR MOVIMENTO UNIFORME

- Um movimento relativo entre o sensor e o objeto imageado produz um borramento na imagem (arrasto).

<u>Observação</u> É preciso tomar cuidado quando apenas um objeto da cena se move, e o fundo permanece parado, neste caso pode ser necessário fazer uma segmentação antes da restauração.

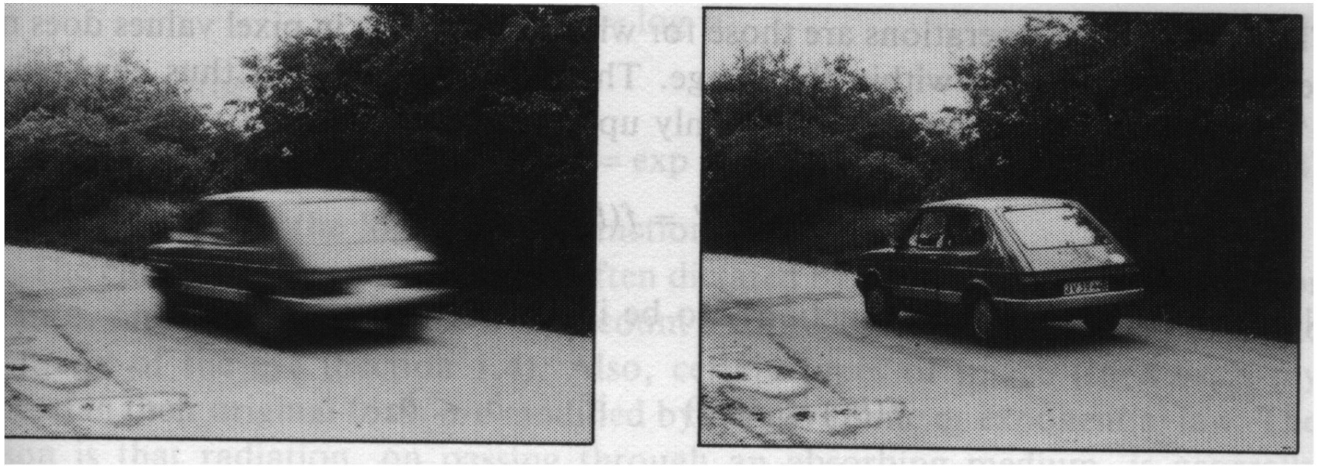


Imagem borrada devido ao movimento

Restauração

- Se o movimento é na direção horizontal, então a função de espalhamento pontual é uma função de apenas uma variável ***m***.

  h [m,n] = h [m]

- O problema da desconvolução é agora unidimensional, e a imagem precisa ser restaurada linha por linha. Se a linha horizontal particular na imagem borrada é denotada por ***g[m]***, e a correspondente (na imagem original) é ***f [m]***, então

$$g[m] = \sum_k h[m-k].f[k]$$

Restauração

assim

$$I(x,y) \approx \overline{f} - \frac{1}{k}\sum_{k=0}^{K-1}\sum_{j=0}^{k} f'(x - ma + (k-j)a, y) + \sum_{j=0}^{m} f'(x - ja, y) \quad (15)$$

onde: $\overline{f}$ é o valor médio da imagem borrada *f*

a é a distância do borramento

K é o número de vezes que *a* distancia a ocorre na imagem

m é a parte inteira de *x/a* para uma posição horizontal específica

$f'(i,j)$ é a derivada de f no ponto (i,j) (aproximada por diferença)

Nestes cálculos é suposto o movimento na direção horizontal. Para movimentos em outra direção, deve-se executar uma rotação antes da restauração.

Restauração

A função abaixo inclui movimento em x e y, pois embute na T.F. a função deslocada *f* [x-x0(t), y-y0(t)]

$$H(u,v) = \frac{T}{\pi(ua+vb)} sen\left[\pi(ua+vb)\right] e^{-j\pi(ua+vb)}$$

a

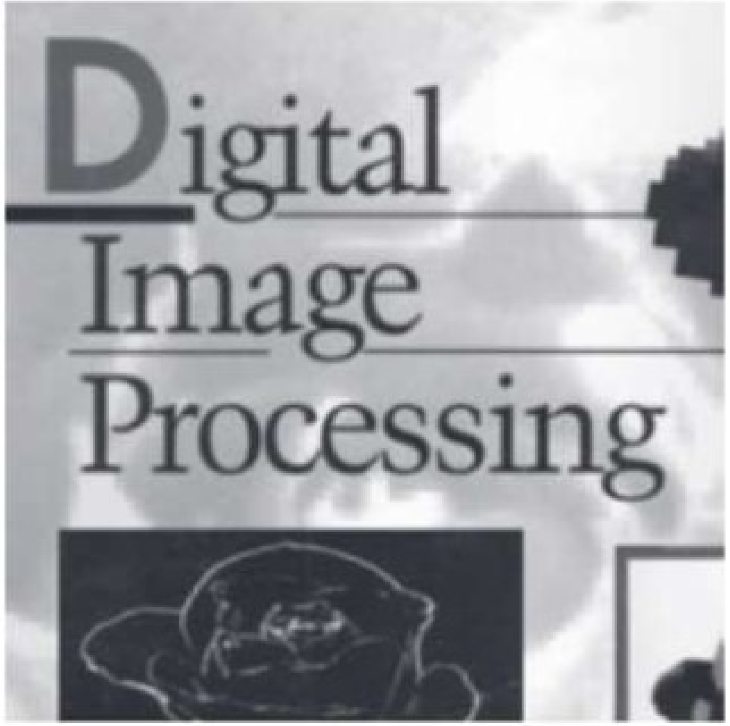


Imagem Original

b

Nota-se o movimento em x e y

Resultado do borramento usando a função acima com a=b=0.1 e T=1