

INF01046 – Fundamentos de processamento de imagens

Aula 18 – Restauração

Horacio E. Fortunato

Instituto de Informática
Universidade Federal de Rio Grande do Sul
Porto Alegre – RS

hefortunato@inf.ufrgs.br

Link do curso: <http://www.inf.ufrgs.br/~hefortunato/cursos/INF01046>

2º semestre de 2009



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Processamento Digital de Imagens - Nesta disciplina

Sensores e Aquisição de Imagens



- Sistema visual Humano
- Modalidade de Imagens
- Câmeras Digitais

Processamento para a interpretação humana



- Realce de Imagens:
 - Processamento de histograma
 - Filtragem espacial
 - Filtragem no domínio da frequência
- Restauração de Imagens:
 - Remoção de ruído
 - Remoção de borramento
- Espaços de Cores
- Imagens em Alta Faixa Dinâmica

Percepção por máquina



- Detecção de linhas e bordas
- Limiarização
- Segmentação

Armazenamento e Comunicação



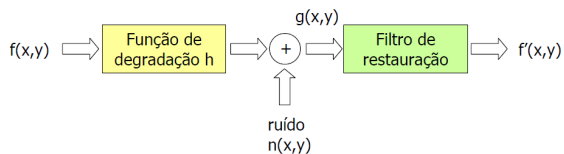
- Compressão de Imagens



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Filtragem Inversa ou Deconvolução

Voltamos agora ao modelo onde uma imagem $f(x,y)$ é degradada pela adição de ruído mais a convolução com uma máscara no domínio espacial:



No domínio espacial: $g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) + n(x,y)$

No domínio de frequência: $G(u,v) = F(u,v) \cdot H(u,v) + N(u,v)$



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Filtragem Inversa ou Deconvolução

Começaremos por analisar o caso onde não existe ruído aditivo: $n(x,y) = 0$

No domínio espacial: $g(x,y) = f(x,y) * h(x,y)$

No domínio de frequência: $G(u,v) = F(u,v) \cdot H(u,v)$

Neste caso, se conhecemos a função de degradação $H(u,v)$, podemos intentar dividir a segunda equação por $H(u,v)$:

$$F'(u,v) = G(u,v) / H(u,v) = F(u,v)$$

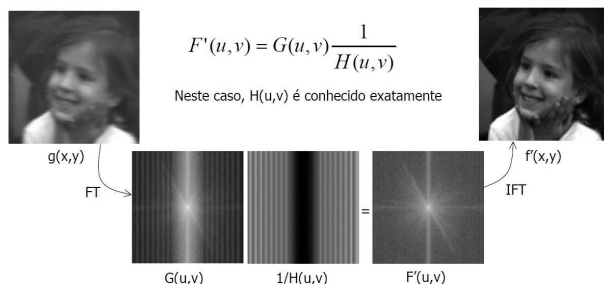
Pode surgir problemas ocasionados pelos zeros de $F(u,v)$, mas em princípio obtemos a imagem original restaurada.



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Exemplo de Filtragem Inversa - Sem ruído

Borramento (filtro gaussiano 1D), simulando o movimento de câmera



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Métodos para estimar a função de degradação

1.- **Observação da imagem:** Isolando uma região da imagem degradada, obtemos manualmente $F(u,v)$ para essa região e estimamos $H(u,v)$ como:

$$H(u,v) = \frac{G(u,v)}{F(u,v)}$$

2.- **Experimentação com o equipamento que produziu a imagem:** Tomando a imagem de um ponto luminoso, sua transformada de Fourier é proporcional a $H(u,v)$

$$\text{Se } f(x,y) = \delta(x,y) \Rightarrow F(u,v) = A \text{ (cte)} \\ g(x,y) = \delta(x,y) * h(x,y) \Rightarrow G(u,v) = H(u,v) \cdot F(u,v) = H(u,v) \cdot A$$

3.- **modelagem:**

Por exemplo o borramento causado por movimento linear da câmera, conheço como modelar a função de degradação.



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Filtragem Inversa – Com ruído

$$G(u, v) = F(u, v) \cdot H(u, v) + N(u, v)$$

Assumindo que a função de degradação $H(u, v)$ seja conhecida, posso tentar dividir por $G(u, v)$ (a imagem degradada) por $H(u, v)$:

$$F'(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$$

Problemas:

Mesmo que $H(u, v)$ seja conhecido, não é possível recuperar $F(u, v)$ exatamente, pois $N(u, v)$ é uma função randômica e sua transformada de Fourier não é conhecida

$H(u, v)$ pode assumir valores muito pequenos ou zero, dominando o valor estimado $F'(u, v)$



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Filtro de Wiener

Solução mais rigorosa para o problema de ruído afetando o resultado da restauração (minimiza o erro quadrático médio entre a imagem restaurada e a original)

$$F'(u, v) = \left[\frac{1}{H(u, v)} \cdot \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \frac{|N(u, v)|^2}{|F(u, v)|^2}} \right] \cdot G(u, v)$$

Requer conhecimento do espectro de potência do ruído e da imagem não degradada!

Baseado na minimização de um critério estatístico, produzindo um resultado ótimo no caso médio

Caso não haja ruído, reduz-se a filtragem inversa



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Filtro de Wiener paramétrico

O espectro de potência da imagem não degradada raramente é conhecido

No caso de ruído branco (spectrally white noise), $|N(u, v)|$ é constante

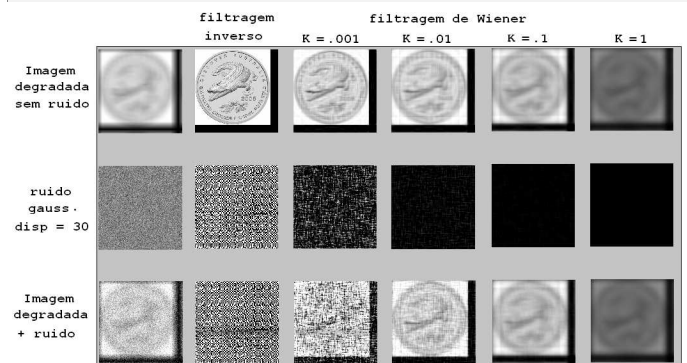
Quando $|N(u, v)|$ e/ou $|F(u, v)|$ não são conhecidos ou não podem ser estimados, utiliza-se uma constante (K), escolhida iterativamente de modo a obter-se o melhor resultado visual

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



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Exemplo de uso do Filtro de Wiener



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Método de mínimos quadráticos com restrição

Formula deduzida por um critério de minimização do Módulo do Laplaciano da imagem restaurada (tenta maximizar a suavidade da imagem) sujeito a algumas condições:

$$F'(u, v) = \left[\frac{H(u, v)^*}{|H(u, v)|^2 + K \cdot |P(u, v)|^2} \right] \cdot G(u, v)$$

Onde $P(u, v)$ é a transformada de Fourier da máscara (Laplaciano no domínio espacial):

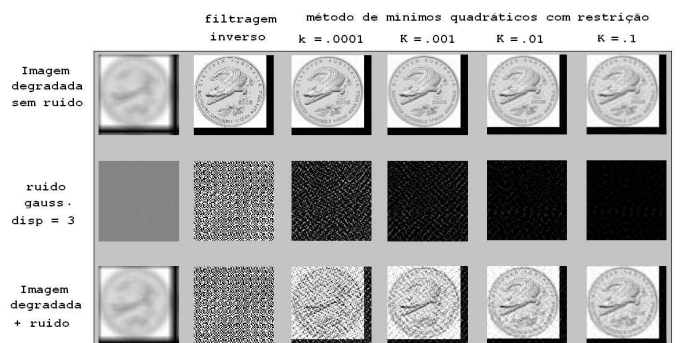
$$p(x, y) = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

E K é um parâmetro de ajuste



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Método de mínimos quadráticos com restrição



Horacio E. Fortunato (UFRGS)

Transformações geométricas

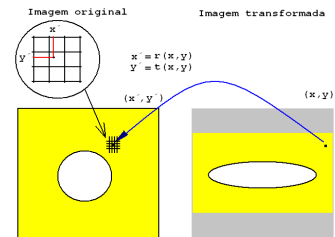
As transformações geométricas modificam as relações espaciais entre os pixels (as distancias mutuas).

Consistem de duas operações básicas:

- Uma Transformação espacial: Determina o mapeamento espacial entre os pixels da imagem original e a imagem transformada.
- Uma interpolação dos tons de cinza dos pixels: Calcula o valor de cada pixel da imagem transformada, utilizando algum algoritmo.

Transformações espaciais

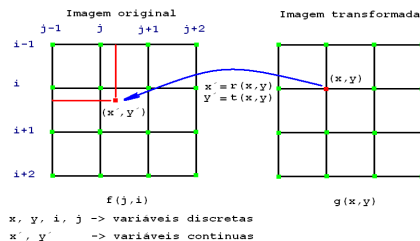
Para construir a imagem transformada, e preciso conhecer as regras para mapear cada pixel da imagem transformada em um ponto (x', y') na imagem original.
É importante notar que pelo geral, este ponto, não se corresponde com um pixel na imagem original, mas fica entre 4 pixels, este ponto é determinado por um par de funções de $R \times R \rightarrow R$.



Algoritmos de interpolação de tons de cinza

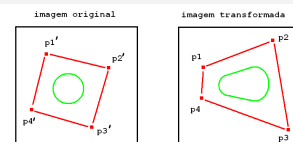
Os algoritmos de interpolação mais populares são:

- 1.- Vizinho mais cercano (toma o valor do pixel mais próximo a x', y')
- 2.- Interpolação bilinear (combinação linear do 4 pixels mais próximos a x', y')
- 3.- Interpolação cúbica (função do valor dos 16 pixel mais proximos a x', y')



$x, y, i, j \rightarrow$ variáveis discretas
 $x', y' \rightarrow$ variáveis contínuas

Exemplo de Transformação espacial



Uma possibilidade, é mapear pontos conhecidos da imagem original em pontos da imagem transformada, propondo uma transformação bilinear do tipo:

$$x_i' = r(x_i, y_i) = c_1 \cdot x_i + c_2 \cdot y_i + c_3 \cdot x_i \cdot y_i + c_4$$

$$y_i' = s(x_i, y_i) = c_5 \cdot x_i + c_6 \cdot y_i + c_7 \cdot x_i \cdot y_i + c_8 \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4$$

Esto proporciona 8 equações lineares com 8 incógnitas, que pode ser resolvido facilmente.

Este procedimento pode ser repetido para construir uma malha de pontos mapeando a imagem original na imagem transformada por partes.

Exemplo de Transformação espacial

imagem original



imagem transformada



Processamento Digital de Imagens - Tarefas

Tarefas Novas:

- Leia as seções 5.5 a 5.11 do Capítulo 5 (aula 18) do livro Gonzalez, R. & Woods 2da Ed. (em Inglês)
- Faça os exercícios do Capítulo 5.14 a 5.28 (aula 18) do livro Gonzalez, R. & Woods 2da Ed. (em Inglês)

Nota Importante: No livro Gonzalez, R. & Woods em português os capitulos possuem número diferente

Livro Gonzalez, R. & Woods 2ª Ed. (em Inglês):
Gonzalez, R. & Woods, R. **Digital Image Processing 2ª Ed.** Prentice Hall, 2002.
Link do curso: <http://www.inf.ufrgs.br/~hefortunato/cursos/INF01046>