

Aula – Computação Gráfica

Domínio do Espaço: Transformação de Intensidade e Filtragem

Slides para uso pessoal e exclusivo durante o período de aula. Distribuição ou qualquer uso fora do escopo da disciplina é expressamente proibido.

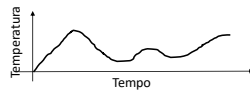
1

1

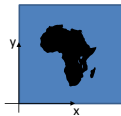
Introdução

O que é o domínio do espaço?

- Processamento de sinais estuda o domínio do tempo
 - Exemplo de um sensor de temperatura



- Processamento de imagens estuda o domínio do espaço
 - Exemplo de uma imagem



2

2

Introdução

Processamento de imagens

- Transforma imagens
 - Dada uma imagem como entrada $f(x, y)$
 - Gera uma imagem como saída $g(x, y)$
- Transformar uma imagem de entrada em uma de saída
 - Significa computar um valor de para cada pixel (x, y) de g
 - Considerando uma região em torno de cada pixel (x, y) de f

3

3

Introdução

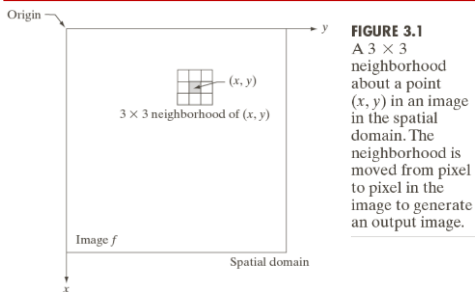


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

4

4

Introdução

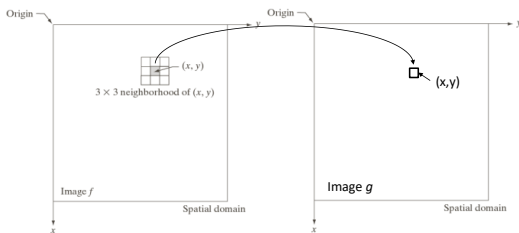


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

5

5

Transformações de Intensidade Básicas

Função de transformação

- Transforma a intensidade de uma imagem

$$s = T(r)$$

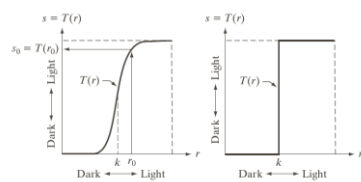


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

6

6

Transformações de Intensidade Básicas

Funções de transformação

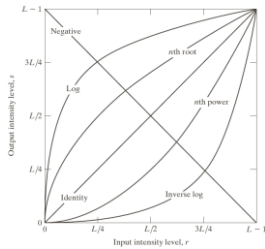


FIGURE 3.3 Some basic intensity transformation functions. All curves were scaled to fit in the range shown.

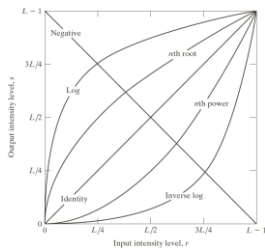
Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

7

7

Transformações de Intensidade Básicas

Imagem Negativa



$$s = L - 1 - r$$

- Útil para realçar regiões brancas/cinzas imersas em grandes regiões pretas

Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

8

8

Transformações de Intensidade Básicas

Imagem Negativa

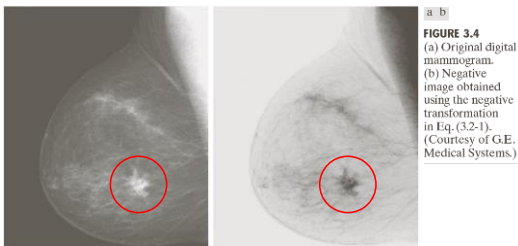


FIGURE 3.4
(a) Original digital mammogram.
(b) Negative image obtained using the negative transformation in Eq. (3.2-1).
(Courtesy of G.E. Medical Systems.)

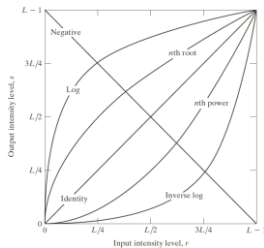
Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

9

9

Transformações de Intensidade Básicas

Transformação Logarítmica



$$s = c \log(1 + r)$$

- Útil para enfatizar imagens com muitos pixels de intensidade baixa e poucos de intensidade muito alta
- Melhora a visualização

Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

10

10

Transformações de Intensidade Básicas

Transformação Logarítmica

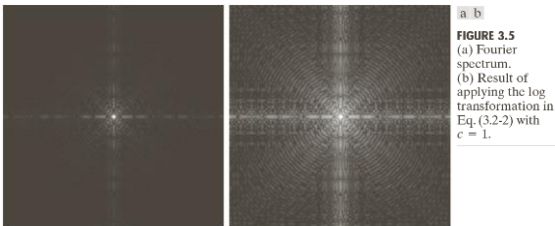


FIGURE 3.5
(a) Fourier spectrum.
(b) Result of applying the log transformation in Eq. (3.2-2) with $c = 1$.

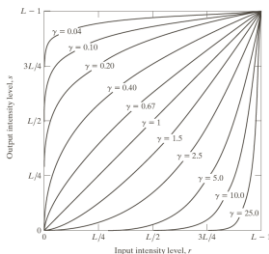
Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

11

11

Transformações de Intensidade Básicas

Correção Gama



$$s = cr^\gamma$$

- Usada para fazer correção gama em vários dispositivos
- Ex. monitores CRT

Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

12

12

Transformações de Intensidade Básicas

Correção Gama

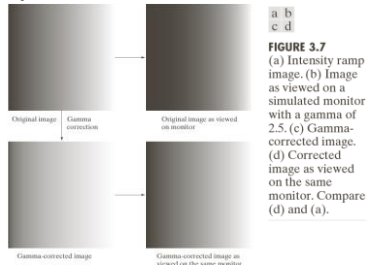


FIGURE 3.7
(a) Intensity ramp image. (b) Image as viewed on a simulated monitor with a gamma of 2.5. (c) Gamma-corrected image. (d) Corrected image as viewed on the same monitor. Compare (d) and (a).

Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

13

13

Transformações de Intensidade Básicas

Correção Gama

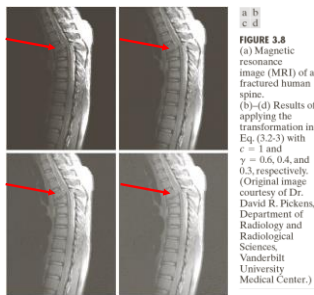


FIGURE 3.8
(a) Magnetic resonance image (MRI) of a fractured human spine. (b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with $c = 1$ and $\gamma = 0.6, 0.4$, and 0.3 , respectively. (Original image courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology and Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

14

14

Transformações de Intensidade Básicas

Correção Gama

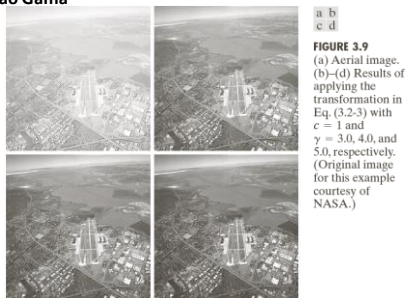


FIGURE 3.9
(a) Aerial image. (b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with $c = 1$ and $\gamma = 3.0, 4.0$, and 5.0 , respectively. (Original image for this example courtesy of NASA.)

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

15

15

Transformações de Intensidade por Partes (Piecewise)

Alongamento de Contraste

- Aumenta a gama de valores de intensidade utilizados
- Distancia as intensidades entre os pixels
- Tende a melhorar a visualização
 - Dado o aumento da percepção da diferença entre os pixels

16

16

Transformações de Intensidade por Partes (Piecewise)

Alongamento de Contraste

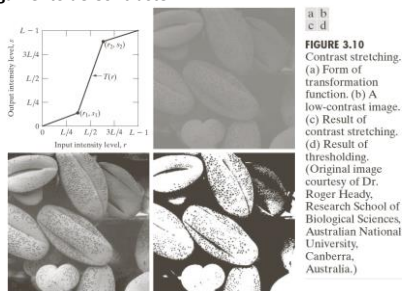


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

17

17

Transformações de Intensidade por Partes (Piecewise)

Particionamento dos níveis de intensidade

- Enfatiza uma região específica de intensidade de uma imagem

18

18

Transformações de Intensidade por Partes (Piecewise)

Particionamento dos níveis de intensidade

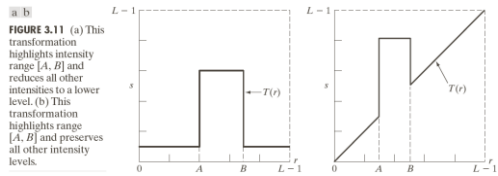


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS 19

19

Transformações de Intensidade por Partes (Piecewise)

Particionamento dos níveis de intensidade

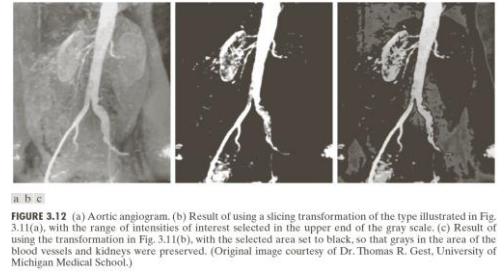


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS 20

20

Processamento de Histograma

O que é o histograma de uma imagem?

- É a quantidade de pixels com as diferentes intensidades
- Definido por $h(r_k) = n_k$
 - r_k é a intensidade k de uma imagem com L intensidades
 - n_k é o número de pixels com intensidade r_k em uma imagem
- Sua versão normalizada é dada por $h(r_k) = n_k / MN$
 - Sendo M e N as dimensões da imagem

21

21

Processamento de Histograma

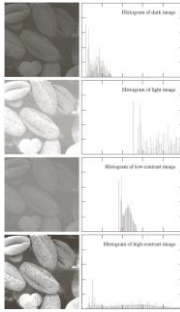


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

22

22

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

- Melhora a distribuição das intensidades entre os pixels
- Aproveita melhor os valores de intensidade disponíveis
- Tem um propósito parecido com o alongamento de contraste
 - Porém, é feito sem interação o usuário (sem parâmetros)

23

23

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

- $s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j)$
- $= (L - 1) \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{MN} = \frac{(L-1)}{MN} \sum_{j=0}^k n_j, k = 0, 1, \dots, L - 1$

24

24

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

- Exemplo
 - Suponha uma imagem com dimensões 64x64
 - Ou seja, 4096 pixels
 - Com intensidades representadas por 3 bits
 - Ou seja, 8 intensidades
 - A distribuição das intensidades é representada pela tabela
 - Faça a equalização

r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k/MN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

25

25

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

- Exemplo
 - $s_0 = T(r_0) = 7 \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = 7 \times 0.19 = 1.33 \rightarrow 1$
 - $s_1 = T(r_1) = 7 \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = 7 \times (0.19 + 0.25) = 3.08 \rightarrow 3$
 - $s_2 = 4.55 \rightarrow 5$
 - $s_2 = 5.67 \rightarrow 6$
 - $s_2 = 6.23 \rightarrow 6$
 - $s_2 = 6.65 \rightarrow 7$
 - $s_2 = 6.86 \rightarrow 7$
 - $s_2 = 7.00 \rightarrow 7$

r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k/MN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

26

26

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

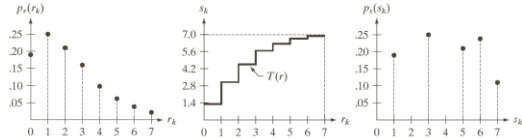


FIGURE 3.19 Illustration of histogram equalization of a 3-bit (8 intensity levels) image. (a) Original histogram. (b) Transformation function. (c) Equalized histogram.

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

27

27

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

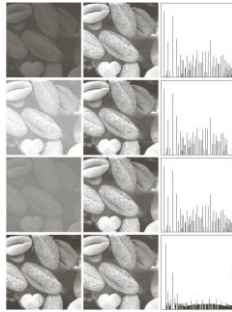


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

28

28

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

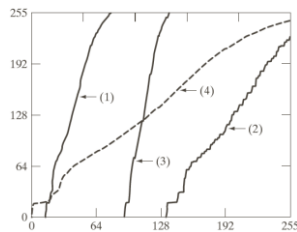


FIGURE 3.21 Transformation functions for histogram equalization. Transformations (1) through (4) were obtained from the histograms of the images (from top to bottom) in the left column of Fig. 3.20 using Eq. (3.3-8).

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

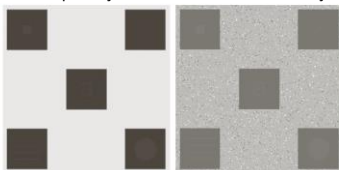
29

29

Processamento de Histograma

Equalização de histograma

- Problemas
 - Equalização é calculada com a distribuição global da imagem



a b c

FIGURE 3.26 (a) Original image. (b) Result of global histogram equalization applied to (a), using a neighborhood of size

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

30

30

Processamento de Histograma

Equalização de histograma local

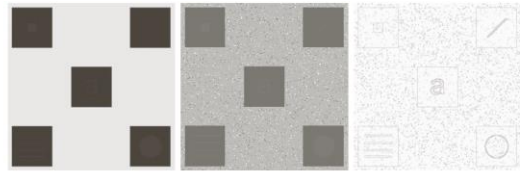
- Considera apenas uma vizinhança para medir a distribuição
 - Para cada pixel (pixel central)
 - Calcula a distribuição utilizando sua vizinhança
 - Tamanho da região considerada é um parâmetro
 - Ex. uma janela 11x11 em torno do pixel central
 - Atualiza o valor do pixel central na imagem de saída

31

31

Processamento de Histograma

Equalização de histograma local



a b c

FIGURE 3.26 (a) Original image. (b) Result of global histogram equalization. (c) Result of local histogram equalization applied to (a), using a neighborhood of size 3×3 .

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

32

32

Filtragem no Domínio do Espaço

Fundamentos

- É feita com uma vizinhança e uma operação pré-definida

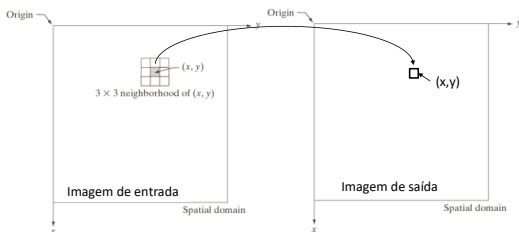


Imagem de: Processamento de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

33

33

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro linear espacial

- O filtragem espacial de uma imagem f MxN
 - Usando um filtro w mxn

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

34

34

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro linear espacial

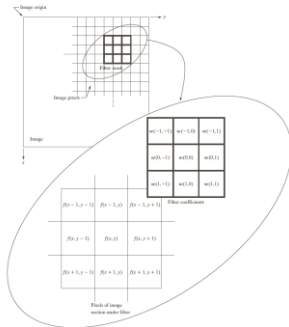


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

35

35

Filtragem no Domínio do Espaço

Correlação espacial

- Definido por

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

Convolução espacial

- Definido por

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

36

36

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro linear espacial

FIGURE 3.30
Correlation
(middle row) and
convolution (last
row) of a 2-D
filter with a 2-D
discrete, unit
impulse. The 0s
are shown in gray
to simplify visual
analysis.

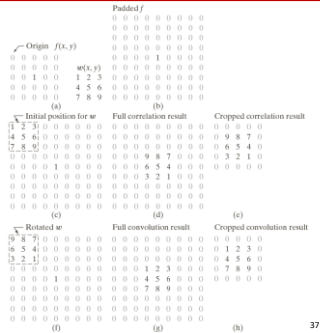


Imagem de: Processamento
de imagens digitais,
GONZALEZ e WOODS

37

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de suavização

- São usados para borrar a imagem e para reduzir ruído
- Remove detalhes pequenos
 - Como consequência pode remover partes de interesse
 - Diminui o contraste das arestas
- Conecta pequenos buracos em linhas e curvas
- Existem vários tipos de filtros de suavização
 - Lineares
 - Não lineares

38

38

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de suavização

- Implementação geral para filtrar uma imagem $M \times N$
 - Com um filtro (kernel) $m \times n$

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

— Onde, $m = 2a + 1$ e $n = 2b + 1$

Imagem de:
Processamento
de imagens
digitais,
GONZALEZ e
WOODS

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

$$\frac{1}{16} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

FIGURE 3.32 Two
 3×3 smoothing
(averaging) filter
masks. The
constant multiplier
in front of each
mask is equal to 1
divided by the
sum of the values
of its coefficients,
as is required to
compute an
average.

39

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de suavização

- Exemplo

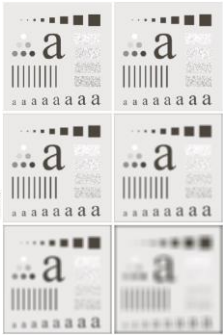


FIGURE 3.33 (a) Original image, of size 500×500 pixels. (b)–(f) Results of smoothing with square averaging filter masks of size $m = 3, 5, 9, 15$, and 25 , respectively. The black squares at the top are of size $3, 5, 9, 15, 25, 35, 45$, and 55 pixels, respectively; their borders are 25 pixels apart. The letters at the bottom range in size from 10 to 24 pixels, in increments of 2 pixels; the large letter at the top is 60 pixels. The vertical bars are 5 pixels wide and 100 pixels high; their separation is 20 pixels. The diameter of the circles is 25 pixels, and their borders are 15 pixels apart; their intensity levels range from 0% to 100% black in increments of 20% . The background of the image is 10% black. The noisy rectangles are of size 50×120 pixels.

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

40

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de suavização

- Exemplo

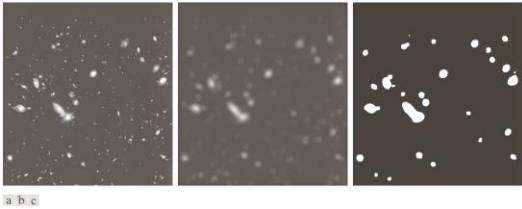


FIGURE 3.34 (a) Image of size 528×485 pixels from the Hubble Space Telescope. (b) Image filtered with a 15×15 averaging mask. (c) Result of thresholding (b). (Original image courtesy of NASA.)

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

41

41

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro estatísticos

- Não lineares
- Baseado na ordenação dos pixels contidos na vizinhança
- Coloca o valor selecionado no pixel central
- Existem vários métodos de seleção
 - Mediana
 - Máximo
 - Mínimo
 - Entre outros

42

42

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro estatísticos

- Exemplo de filtro da mediana para redução de ruídos

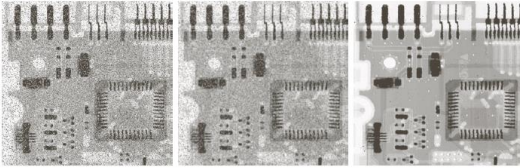


FIGURE 3.35 (a) X-ray image of circuit board corrupted by salt-and-pepper noise. (b) Noise reduction with a 3×3 averaging mask. (c) Noise reduction with a 3×3 median filter. (Original image courtesy of Mr. Joseph E. Pascente, Lixi, Inc.)

Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

43

43

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Objetiva aumentar a nitidez da imagem
- Enfatiza as arestas
- Pode enfatizar partes que não são de interesse
 - Por exemplo, pode enfatizar ruídos da imagem

44

44

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Fundamentos
 - Derivada de primeira ordem de uma função de uma dimensão $f(x)$
 - $\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$
 - Derivada de segunda ordem de uma função de uma dimensão $f(x)$
 - $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$

45

45

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Fundamentos

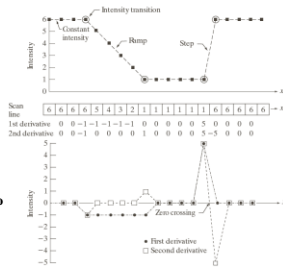


FIGURE 3.36 Illustration of the first and second derivatives of a 1-D digital function representing a section of a horizontal intensity profile from an image. In (a) and (c) data points are joined by dashed lines as a visualization aid.

Imagem de:
Processamento
de imagens
digitais,
GONZALEZ e
WOODS

46

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Operador de segunda ordem de Laplace
 - Para uma imagem $f(x, y)$

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

$$-\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$-\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

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

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

47

47

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

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

FIGURE 3.37 (a) Filter mask used to implement Eq. (3.6-6). (b) Mask used to implement an extension of this equation that includes the diagonal terms. (c) and (d) Two other implementations of the Laplacian found frequently in practice.

Imagem de:
Processamento
de imagens
digitais,
GONZALEZ e
WOODS

48

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Aumentando a nitidez da imagem com o filtro de Laplace
 - $g(x, y) = f(x, y) + c[\nabla^2 f(x, y)]$
- Sendo,
 - $f(x, y)$ a imagem de entrada
 - $g(x, y)$ a imagem de saída
 - c é 1 ou -1 dependendo do sinal dos filtros do slide anterior

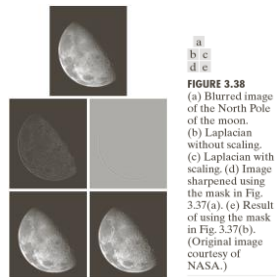
49

49

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Aumentando a nitidez da imagem com o filtro de Laplace



50

50

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Máscara de suavização (unsharpening)
- Passos
 - Suavizar a imagem original
 - Subtrair a imagem suavizada da original
 - Restará apenas a parte de alta frequência
 - Adicionar a imagem original
- $g(x, y) = f(x, y) + k(f(x, y) - \overline{f(x, y)})$
- Sendo,
 - $f(x, y)$ e $g(x, y)$, as imagens de entrada e saída respectivamente
 - k , o fator de nitidez
 - $\overline{f(x, y)}$, a imagem original suavizada

51

51

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Máscara de suavização (unsharpening)

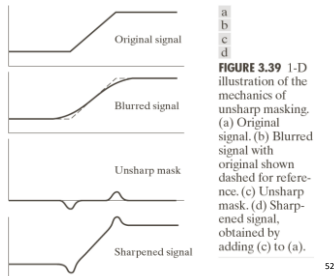


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

52

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Máscara de suavização (unsharpening)

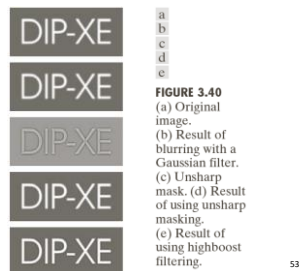


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

53

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Derivadas de primeira ordem
- Para uma imagem $f(x, y)$

$$-\nabla f \equiv \text{grad}(f) \equiv \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

— A magnitude de um vetor ∇f será denotada como $M(x, y)$

$$-\quad M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \approx |g_x| + |g_y|$$

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

$$M(x, y) = |z_8 - z_5| + |z_6 - z_5|$$

54

54

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

- Operador de Robert Cross-Gradient

$$M(x, y) = |z_9 - z_5| + |z_8 - z_6|$$

- Operador de Sobel

$$M(x, y) = |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

55

55

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

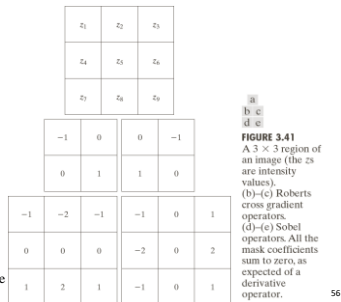


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

56

56

Filtragem no Domínio do Espaço

Filtro de nitidez (sharpening)

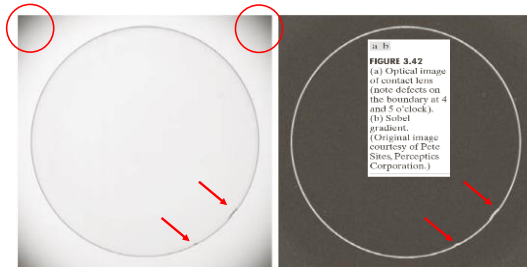


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS

57

57

Filtragem no Domínio do Espaço

Combinação de filtros

- Exemplo

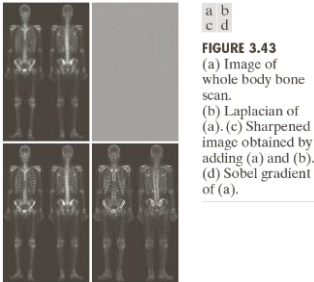


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS 58

58

Filtragem no Domínio do Espaço

Combinação de filtros

- Exemplo

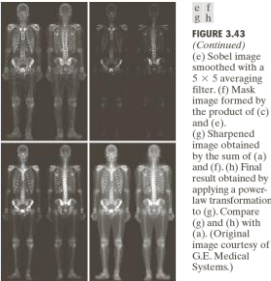


Imagem de: Processamento de imagens digitais, GONZALEZ e WOODS 59

59

Perguntas ?????

60