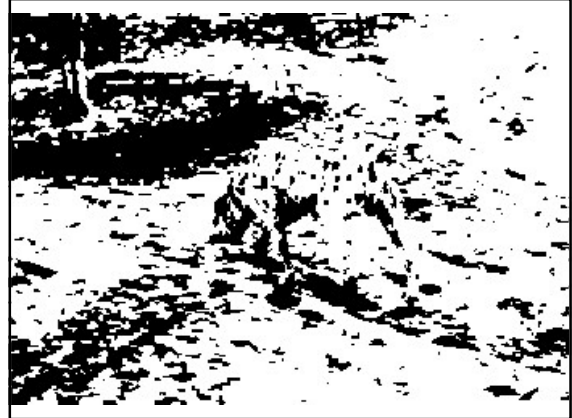
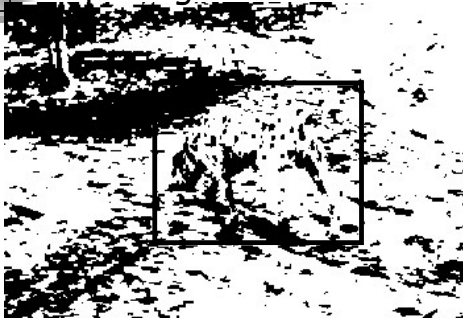


Segmentação de Imagens

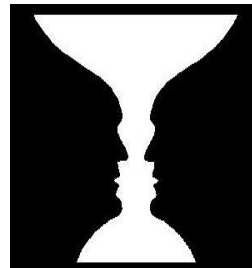
Hitoshi
Gonzales e Woods - Capítulo 10
(ou 7 da edição antiga)



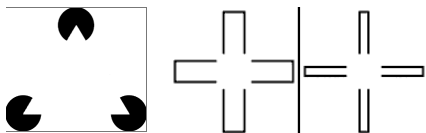
O que segmentar?



Objeto x Fundo



Contornos subjetivos



Definição

- A segmentação de imagens busca dividir a imagem em regiões ou objetos
- O processo termina quando os objetos de interesse de uma aplicação tenham sido isolados

Segmentação automática

- A segmentação automática de imagens é um dos problemas mais difíceis de PDI
 - esse passo determina o sucesso ou fracasso da análise
- Em algumas situações, como inspeção automática de peças na indústria, essa tarefa pode ser facilitada através do controle do ambiente e sua iluminação

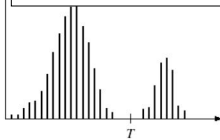
Principais abordagens

- Os algoritmos de segmentação utilizam, em geral, uma das seguintes propriedades:
 - **Descontinuidade:** dividir a imagem de acordo com mudanças abruptas de intensidade (como bordas)
 - **Similaridade** : particionar uma imagem em regiões similares segundo um conjunto de critérios pré-definidos

Limiarização (Thresholding)

- A limiarização é uma das operações mais importantes utilizadas na segmentação de imagens
- Assumindo que a distribuição dos níveis de cinza do objeto sejam diferentes do fundo, o histograma da imagem seria bimodal

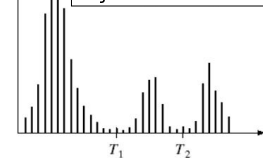
imagem com fundo escuro e 1 objeto mais claro



Limiares múltiplos

- Quando os objetos possuem distribuições diferentes, devemos calcular limiares múltiplos

imagem com fundo escuro e 2 classes de objetos



Como calcular o limiar

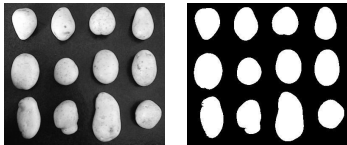
- A limiarização pode ser definida como uma operação que testa os valores de uma função T do tipo:
 - $T = T[x, y, p(x,y), f(x,y)]$, onde:
 - $f(x,y)$: nível de cinza do pixel (x,y)
 - $p(x,y)$: alguma propriedade do pixel (x,y)
 - e.g: nível de cinza médio de uma vizinhança de (x,y)
- Uma imagem limiarizada pode ser calculada da forma:
 - 1 if $f(x,y) > T$
 - 0 if $f(x,y) \leq T$

Limiares múltiplos

- um pixel (x,y) pertence:
 - a um objeto se $T_1 < f(x,y) \leq T_2$
 - a outro objeto se $f(x,y) > T_2$
 - ao fundo se $f(x,y) \leq T_1$
- **Limiar global:** T depende só de $f(x,y)$ (níveis de cinza)
- **Limiar local:** T depende de $f(x,y)$ e $p(x,y)$ (vizinhança)
- **Limiar dinâmico ou adaptativo:** T depende também da posição

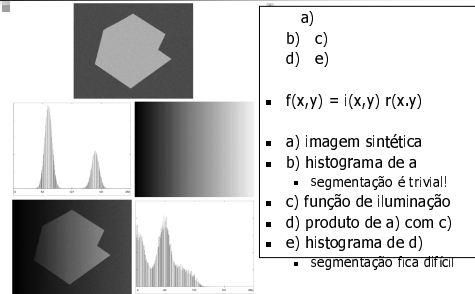
Agrupando pixels

- A saída da limiarização é uma imagem binária



- Os pixels da imagem devem ser agrupados em objetos, por exemplo, através do algoritmo de rotulação de componentes conexos.

Efeitos de iluminação



Compensação da iluminação

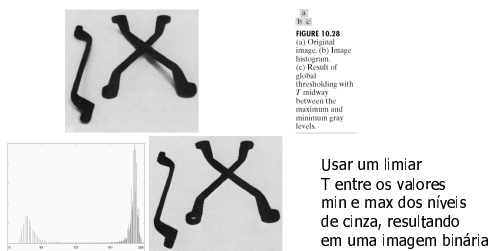
- É possível compensar pela não uniformidade pela projeção do padrão de iluminação sobre uma superfície branca lisa
 - $g(x,y) = k i(x,y)$
 - onde k é uma constante sobre a superfície e $i(x,y)$ é o padrão de iluminação

Compensação

- para uma imagem $f(x,y) = i(x,y) r(x,y)$ obtida usando a mesma função de iluminação
 - divida $f(x,y)$ por $g(x,y)$
 - resultando uma função normalizada $h(x,y)$

$$h(x,y) = f(x,y) / g(x,y) = r(x,y) / k$$
 - dessa forma, podemos usar um limiar simples T/k para segmentar $h(x,y)$

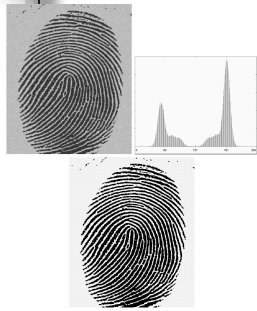
Limiar global



Limiar global

- baseado numa inspeção do histograma
 - escolha uma estimativa inicial de T
 - segmente a imagem usando T , produzindo uma imagem binária com 2 grupos de pixels, aqueles $> T$ (G_1) e os $\leq T$ (G_2)
 - calcule as médias m_1 e m_2 de G_1 e G_2
 - calcule o novo valor de $T = 0.5 (m_1 + m_2)$
 - repita os passos 2 a 4 até que a diferença em T entre 2 iterações sucessivas seja menor que um parâmetro T_0 pré definido

Método heurístico



- Note o vale no histograma e a boa qualidade de segmentação obtida entre objeto e fundo.

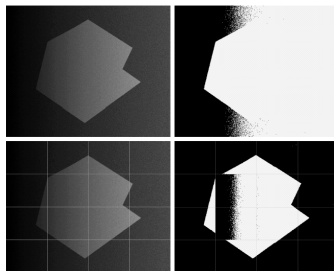
$T_0 = 0$
depois de 3 iterações,
 $T = 125$

Método adaptativo básico

- divida a imagem original em pequenas áreas
- utilize um limiar distinto para cada sub imagem
- como o limiar utilizado para cada pixel depende de sua localização (da sub imagem), este tipo de limiar é adaptativo.

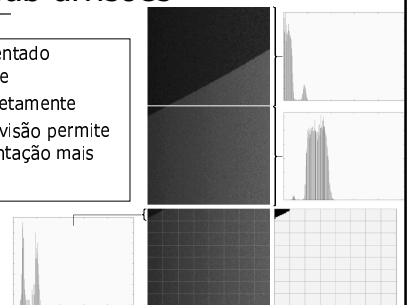
Exemplo: limiar adaptativo

FIGURE 10.30
(a) Original image. (b) Result of global thresholding. (c) Image subdivided into individual subimages. (d) Result of adaptive thresholding.



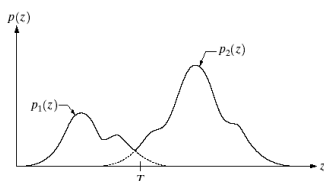
Sub divisões

- topo: segmentado corretamente
- meio: incorretamente
- baixo: subdivisão permite uma segmentação mais precisa



Limiar ótimo global e adaptativo

- função densidade de probabilidade:
 - $p(z) = P_1 p_1(z) + P_2 p_2(z)$
 - $P_1 + P_2 = 1$



Probabilidade de erro

$$E_1(T) = \int_{-\infty}^T p_2(z) dz$$

$$E_2(T) = \int_T^{+\infty} p_1(z) dz$$

$$E(T) = P_2 E_1(T) + P_1 E_2(T)$$

Erro mínimo

- Diferenciando $E(T)$ com respeito a T (usando a regra de Leibniz) e igualando a 0:

$$\frac{dE(T)}{dT} = \frac{d(P_2E_1(T) + P_1E_2(T))}{dT} = 0$$

$$P_1p_1(T) = P_2p_2(T)$$

- $P_1=P_2 \Rightarrow$ ponto onde $p_1(z) = p_2(z)$ intersectam
- porém, nem sempre é possível conhecer $p_i(z)$, e por isso é comum se utilizar densidade gaussiana

Densidade de probabilidade gaussiana

$$p(z) = P_1p_1(z) + P_2p_2(z)$$

$$= \frac{P_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(z-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{P_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{(z-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}}$$

onde μ e σ são a média e variância da gaussiana

Para se determinar o limiar, deve-se resolver uma equação de 2o grau

Equação de 2o grau

$$AT^2 + BT + C = 0$$

onde: $A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2$

$$B = 2(\mu_1\sigma_2^2 - \mu_2\sigma_1^2)$$

$$C = \sigma_1^2\mu_2^2 - \sigma_2^2\mu_1^2 + 2\sigma_1^2\sigma_2^2 \ln(\sigma_2P_1 / \sigma_1P_2)$$

$$T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

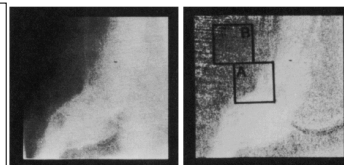
if $P_1 = P_2$ or $\sigma = 0$ then the optimal threshold is the average of the means

Exemplo: cardiograma

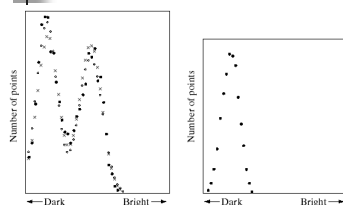
Imagens antes e depois do pré-processamento
problema: encontrar as bordas dos ventrículos em cardio-angiogramas

Pré-processamento:

- 1- log map
- 2 - subtração do fundo da imagem sem contraste
- 3 - soma de várias imagens com contraste

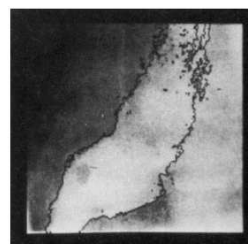


Histograma



- 7x7 Histogramas calculados com 50% de sobreposição
- Região A é bimodal
- Região B é unimodal
- Regiões bimodais são utilizadas para calcular um limiar adaptativo.
- Esses limiares são interpolados para as regiões unimodais

Resultado



Detecção de descontinuidades

- Há 3 tipos básicos de descontinuidades:
 - pontos, linhas e bordas
- A forma mais comum de se detectar descontinuidades é através da convolução da imagem com máscaras
- Convolução de uma máscara g por uma imagem f
 - máscara 3×3 :

w1	w2	w3
w4	w5	w6
w7	w8	w9

Convolução

- Representação contínua
 - Integração de 2 sinais para produzir um novo sinal.
 - Convolução 2D contínua:

$$g(x, y) = \iint f(a, b)h(x-a, y-b)dad b$$
 - A convolução para imagens é em geral discreta ao invés de contínua

Convolução Discreta

- Dois sinais contínuos são amostrados para produzir suas representações discretas
- Os dois sinais discretos são então convolucionados

$$g[x, y] = \sum_a \sum_b f[a, b]h[x-a, y-b]$$

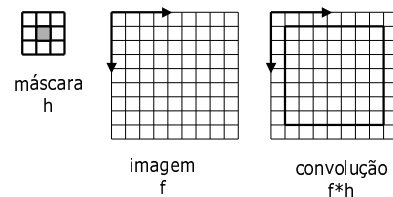
Convolução

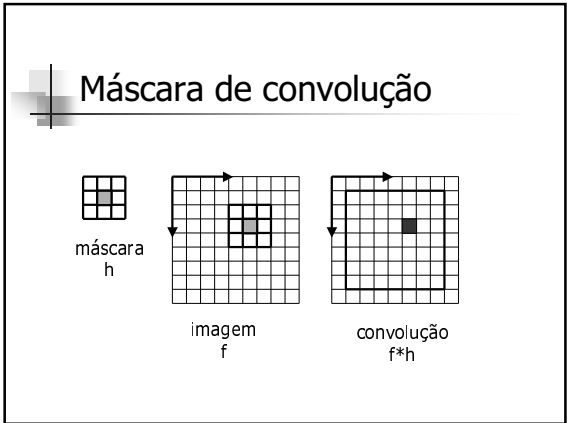
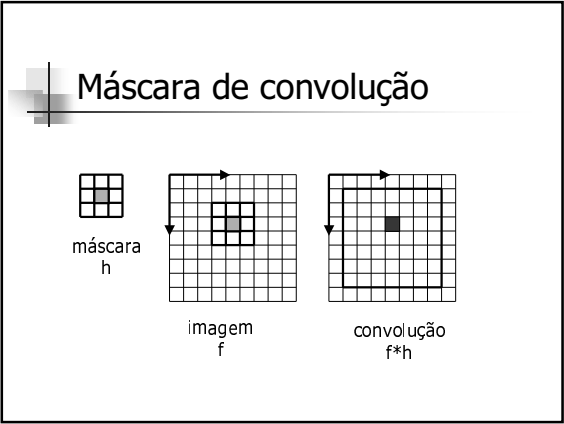
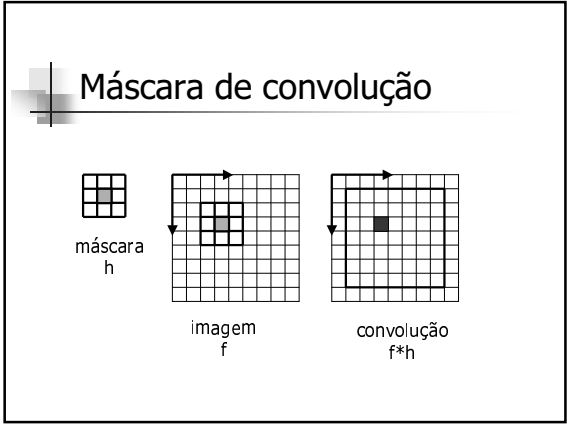
- Em processamento de imagens digitais, a operação de convolução envolve tipicamente 2 sinais de tamanhos muito diferentes:
 - A imagem (grande, 640×480)
 - A máscara, ou núcleo de convolução (pequena, $3 \times 3, 5 \times 5, 16 \times 16$)
- A máscara corresponde em geral a um filtro que precisa ser aplicado na imagem

Convolução

- A convolução pode ser entendida como o processo de aplicar uma máscara a todos os pontos da imagem
 - a aplicação da máscara sobre um pixel implica na soma dos produtos dos pesos da máscara com os respectivos elementos da imagem
 - as bordas da imagem onde a máscara não pode ser aplicada, não são consideradas
 - a convolução é um processo computacionalmente caro

Máscara de convolução





Detecção de pontos

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

- um ponto é detectado em uma posição onde a máscara está centrada se $|R| \geq T$
- onde:
 - T é um limiar não negativo
 - R é a soma do produto dos coeficientes com os pixels (níveis de cinza) da região da imagem sobreposta pela máscara

Detecção de pontos: exemplo

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

FIGURE 10.2
 (a) Point detection mask.
 (b) X-ray image of a turbine blade with a porosity.
 (c) Result of point detection.
 (d) Result of using Eq. (10.1-2).
 (Original image courtesy of X-TEK Systems Ltd.)

Detecção de linhas

-1 -1 -1	-1 -1 2	-1 2 -1	2 -1 -1
2 2 2	-1 2 -1	-1 2 -1	-1 2 -1
-1 -1 -1	2 -1 -1	-1 2 -1	-1 -1 2
Horizontal	+45°	Vertical	-45°

- a máscara horizontal terá a resposta máxima quando a linha do meio da máscara estiver sobreposta com uma linha horizontal da imagem
- A mesma idéia é utilizada pelas outras máscaras
- A direção preferida tem pesos maiores

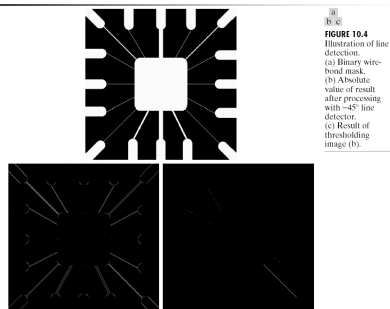
Detecção de Linhas

- aplique todas as máscaras na imagem
- seja R_1 , R_2 , R_3 , e R_4 as respostas das máscaras horizontal, +45, vertical e -45 graus, respectivamente
- se, em um determinado ponto da imagem $|R_i| > |R_j|$
 - para todos os $j \neq i$, o ponto é associado à uma linha na direção da máscara i

Detecção de linhas

- Uma outra forma de detectar linhas, caso haja interesse em um particular tipo de linha, pode-se simplesmente adotar a máscara correspondente e utilizar um limiar para definir que cada pixel da imagem é linha ou não.
- Os pontos detectados possuem a maior resposta à máscara, que para linhas de largura 1 pixel, correspondem a linhas na mesma direção da máscara

Exemplo



Detecção de bordas

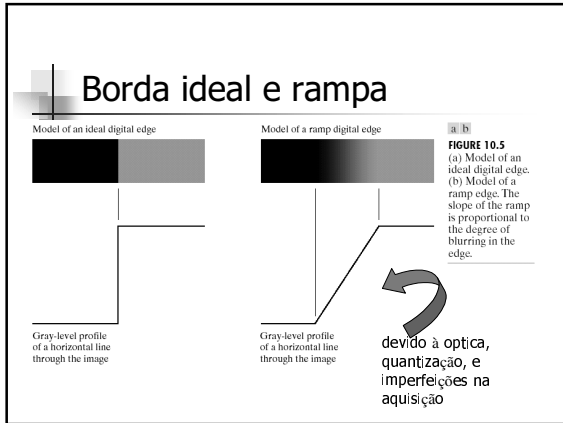
- Provavelmente a operação de convolução mais comum
- Detectores de bordas mais comuns: Roberts, Sobel, Prewitt, e Laplaciano de Gaussiana (LG)
- Detectores de bordas são baseados em alguma medida local do gradiente da imagem
- Em alguns detectores (como o LG), detecta-se os cruzamentos com zero

Detecção de bordas

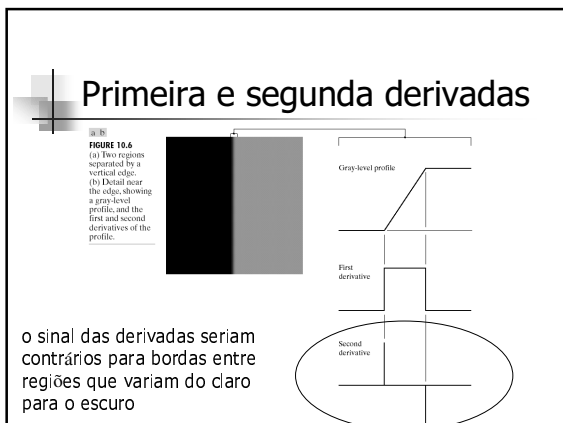
- Uma outra maneira de pensar sobre detecção de bordas é na forma de derivadas
 - o gradiente da imagem é na realidade uma derivada
 - a maior parte dos detectores de bordas procura locais onde a primeira derivada é grande
 - os detectores baseados em cruzamentos com zero utilizam derivadas de maior ordem

Formulação básica

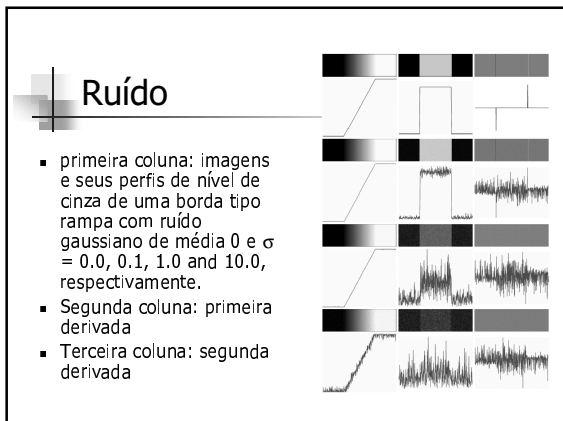
- uma borda é um conjunto de pixels conexos que se encontram na divisão entre 2 regiões
- borda (*edge*) é um conceito "local" enquanto região limite (*boundary*), de acordo com a forma como é definida, é um conceito mais global.



- ### Bordas grossas
- a inclinação da rampa é inversamente proporcional ao grau de borramento na borda
 - portanto não há mais um caminho estreito (1 pixel de largura)
 - dessa forma, um ponto da borda é qualquer pixel contido na rampa, e a borda em si seria o conjunto conexo desses pixels
 - a largura da borda é definida pelo comprimento da rampa, que depende da inclinação da rampa, que depende do borramento



- ### Segunda derivada
- produzem 2 valores para cada borda da imagem
 - o que é indesejável
 - uma linha imaginária ligando os extremos positivo e negativo da segunda derivada passam pelo zero próximo ao centro da borda (**cruzamento com zero**)
 - portanto úteis para detectar bordas grossas



- ### Lembre-se
- um pouco de ruído pode ter uma grande influência no resultado das derivadas utilizadas para detecção de bordas
 - a suavização de imagens antes da detecção de bordas deve ser sempre considerada em aplicações sujeitas à ruído.

Determinação de uma borda

- para determinar um pixel como uma borda:
 - a variação de níveis de cinza associado ao ponto deve ser significativa (região de alto contraste)
 - use um limiar para determinar se um valor é "significativo" ou não.
 - a primeira derivada 2D no ponto deve ser maior que o limiar
- Problema: como associar os pixels detectados como bordas em regiões conexas?

Operador gradiente

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

- a primeira derivada é calculada usando a magnitude do gradiente

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2}$$

$$= \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

aproximação

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y|$$



magnitude se torna não linear

Direção do gradiente

- Seja $\alpha(x,y)$ a direção do vetor ∇f em (x,y)

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}(G_y/G_x)$$

- A direção de uma borda em (x,y) é perpendicular à direção do vetor gradiente naquele ponto

Exemplo de máscara

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

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

Prewitt

-1	0	0	-1
0	1	1	0

Roberts

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

Sobel

Bordas diagonais

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

Prewitt

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

Sobel

As máscaras de Sobel são ligeiramente superiores na supressão de ruído

Exemplo

a b

c d

FIGURE 10.10 (a) Original image. (b) G_x , component of the gradient in the x-direction. (c) G_y , component in the y-direction. (d) Gradient image, $|G_x| + |G_y|$.



Exemplo



FIGURE 10.11
Same sequence as in Fig. 10.10, but with the original image smoothed with a 5×5 averaging filter.

Exemplo

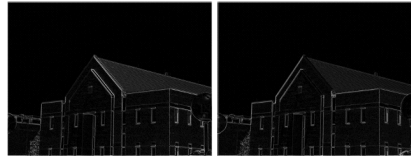


FIGURE 10.12
Diagonal edge detection. (a) Result of using the mask in Fig. 10.9(c). (b) Result of using the mask in Fig. 10.9(d). The input in both cases was Fig. 10.11(a).

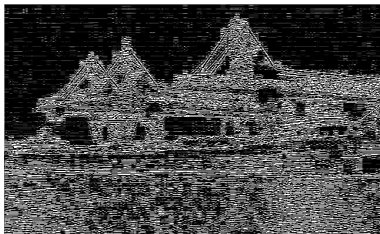
Imagem original: outro exemplo



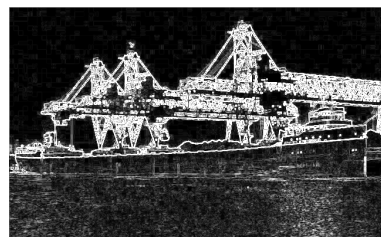
Bordas Verticais



Bordas Horizontais



Combinação com limiarização



Laplaciano

Laplaciano

(operador linear)

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

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

FIGURE 10.13
Laplacian masks
used to
implement
Eqs. (10.1-14) and
(10.1-15),
respectively.

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

Laplaciano de Gaussiana

- O operador laplaciano combinado com suavização por gaussiana é um dos precursores do método de cruzamento com zero

$$h(r) = -e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

onde $r^2 = x^2 + y^2$, e σ é o desvio padrão

$$\nabla^2 h(r) = -\left[\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4} \right] e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

Termo central positivo rodeado por uma região negativa adjacente (em função da distância) zero na região mais afastada

Chapéu mexicano

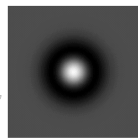
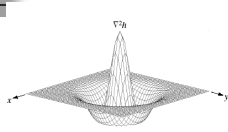
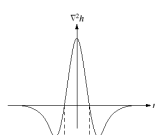


FIGURE 10.14
Laplacian of a
Gaussian (LoG).
(a) 3-D plot.
(b) Image (black
is negative, gray is
the zero plane,
and white is
positive).
(c) Cross section
showing zero
crossings.
(d) 5 × 5 mask
approximation to
the shape of (a).



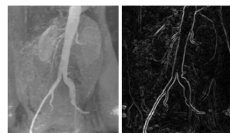
0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

a soma dos coeficiente deve ser zero

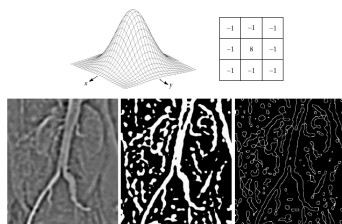
Operação linear

- a segunda derivada é uma operação linear
- portanto, $\nabla^2 f$ equivale a convolucionar a imagem com uma função gaussiana para suavização e então calcular o laplaciano da imagem resultante.

Exemplo



- Original image
- Sobel Gradient
- Spatial Gaussian smoothing function
- Laplacian mask
- LoG
- Threshold LoG
- Zero crossing



Cruzamento com zero & LG

- Aproxime os cruzamentos com zero da imagem LoG (laplaciano de gaussiana)
- binarizar a imagem LoG, tornando todos os valores positivos brancos e os negativos pretos.
- os cruzamentos com zero ocorrem entre valores positivos e negativos da imagem LoG binarizada

Cruzamento com zero vs. Gradiente

- Prós
 - Cruzamento com zero produz bordas finas
 - redução de ruído
- Contras
 - CZ produz laços fechados (efeito espagueti)
 - computação mais sofisticada (complexa)
- O método gradiente é usado mais frequentemente.

Agrupamento de bordas

- o processo de detecção de bordas é seguido pelo procedimento de agrupamento para agregar os pixels de bordas em bordas mais significativas
- Métodos básicos
 - Processamento local
 - Processamento global via transformada de Hough
 - Processamento global via técnicas baseadas em grafos

Processamento local

- analise as características dos pixels em uma região pequena (exemplo: 3x3, 5x5) ao redor de cada pixel borda
- todos os pontos que satisfizerem um determinado critério pré-definido são agrupados, formando uma borda de pixels com características semelhantes

Critérios

1. intensidade da resposta do operador gradiente utilizado
 - um pixel borda com coordenadas (x_0, y_0) em uma vizinhança predefinida de (x, y) é similar à magnitude do pixel em (x, y) se
$$|\nabla f(x, y) - \nabla f(x_0, y_0)| \leq E$$

Critérios

2. direção (ângulo) do vetor gradiente
 - um pixel borda com coordenadas (x_0, y_0) em uma vizinhança predefinida de (x, y) possui ângulo semelhante ao pixel em (x, y) se
$$|\alpha(x, y) - \alpha(x_0, y_0)| < A$$

Critérios

- um ponto em uma vizinhança predefinida de (x, y) é agrupado ao pixel em (x, y) se **ambos** os critérios de magnitude e ângulo forem satisfeitos
- o processo se repete para todos os pixels da imagem
- uma forma simples de marcar os agrupamentos é pintar os pixels com um nível de cinza diferente

Exemplo

encontrar retângulos com tamanhos apropriados para serem placas de automóveis

FIGURE 10.16
 (a) Input image.
 (b) G_x component of the gradient.
 (c) G_y component of the gradient.
 (d) Result of edge linking. (Courtesy of Perceptics Corporation.)

- uso de operadores de Sobel (horizontal e vertical)
- eliminar segmentos curtos isolados
- condições p/ agrupamento:
 - valor gradiente > 25
 - variação direção < 15º

Transformada de Hough

FIGURE 10.17
 (a) xy -plane.
 (b) Parameter space.

plano-xy $y_i = ax_i + b$ \rightarrow plano-ab ou espaço dos parâmetros $b = -x_i a + y_i$

todos os pontos (x_i, y_i) contidos na mesma linha devem ter sua representação no espaço de parâmetros que intersectam em (a', b')

Células acumuladoras

- (a_{\max}, a_{\min}) e (b_{\max}, b_{\min}) são as variações esperadas da inclinação (a) e cruzamento (b) da reta
- todos os acumuladores são zerados
- para cada ponto (x, y) : varra os valores de a , calculando os b correspondentes ($b = ax - y$), e faça $A(a_i, b_i) = A(a_i, b_i) + 1$
- ao final, um valor Q em $A(i, j)$ significa que Q pontos no plano xy pertencem a uma linha $y = b_i + a_i x$

$b = -ax_i + y_i$

plano $\rho\theta$

FIGURE 10.19
 (a) Normal representation of a line.
 (b) Subdivision of the $\rho\theta$ -plane into cells.

$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$

$\theta = \pm 90^\circ$ com respeito ao eixo x

- A equação $y = ax + b$ tem um problema: o valor da inclinação se aproxima do infinito quando a reta é vertical.
- Para evitar esse problema, use a equação $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$ para representar a linha
- uma linha vertical tem $\theta = 90^\circ$ com ρ igual ao cruzamento positivo com o eixo y ou $\theta = -90^\circ$ com ρ igual ao cruzamento negativo

Transformada de Hough

variação de $\rho = \pm\sqrt{2}D$

onde D é a distância entre os cantos da imagem

FIGURE 10.20
 Illustration of the Hough transform. (Courtesy of Mr. D. R. Cate, Texas Instruments, Inc.)

Transformada generalizada de Hough

- A transformada pode ser usada para qualquer função da forma:

$$g(v, c) = 0$$
- onde:
 - v é o vetor de coordenadas
 - c é o vetor de coeficientes

Transformada de Hough (Círculo)

- equação:

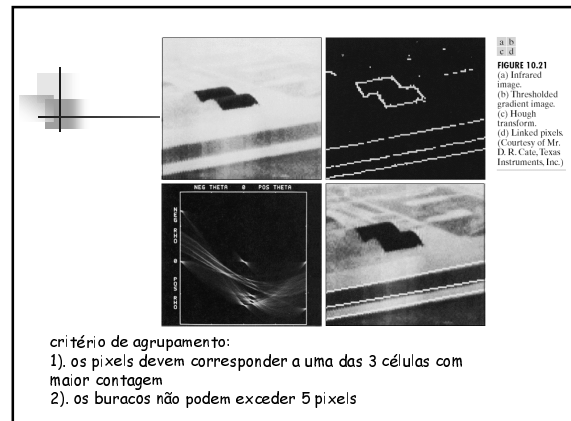
$$(x-c_1)^2 + (y-c_2)^2 = c_3^2$$
- 3 parâmetros (c_1, c_2, c_3)
- cubo: células dispostas em um volume
- acumuladores da forma $A(i, j, k)$
- incremente c_1 e c_2 , e calcule c_3 que satisfaça a equação
- incremente o acumulador correspondente a tripla calculada (c_1, c_2, c_3)

Agrupando bordas

- Calcule o gradiente da imagem e binarize-a
- Defina as subdivisões no plano $\rho\theta$.
- Selecione os acumuladores que apresentarem valores altos
- verifique a relação (em particular a continuidade) entre pixels correspondentes a uma determinada célula

Continuidade

- baseado no cálculo da distância entre pixels desconexos identificados durante o exame dos pixels correspondentes a uma célula de acumulação.
- Um buraco em algum ponto deve ser mantido se a distância entre esse ponto e o seu vizinho mais próximo exceder um valor predeterminado.



uso de discontinuidades para melhorar a segmentação por histogramas

$$s(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } \nabla f < T \\ + & \text{if } \nabla f \geq T \text{ and } \nabla^2 f \geq 0 \\ - & \text{if } \nabla f \geq T \text{ and } \nabla^2 f < 0 \end{cases}$$

- processamento local devido ao uso do gradiente em pequenas áreas
- $(\dots)(-,+)(0 \text{ or } +)(+,-)(\dots)$
- todos os pixels que não estão em uma borda recebem 0
- todos os pixels do lado escuro de uma borda recebem +
- todos os pixels do lado claro de uma borda recebem -

Exemplo

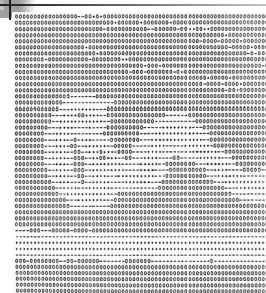
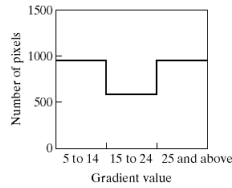


FIGURE 10.36
 Image of a handwritten stroke coded by using Eq. (10.3-16).
 (Courtesy of IBM Corporation.)

Histograma do Gradiente

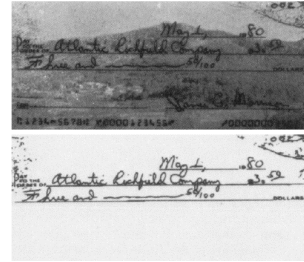
FIGURE 10.38
Histogram of pixels with gradients greater than 5. (Courtesy of IBM Corporation.)



seleccione T no meio do vale

Resultados da aplicação de T

FIGURE 10.37
(a) Original image. (b) Image segmented by local thresholding. (Courtesy of IBM Corporation.)



Segmentação baseada em regiões

Formulação básica

- (a) $\bigcup_{i=1}^n R_i = R$
- (b) R_i is a connected region, $i = 1, 2, \dots, n$
- (c) $R_i \cap R_j = \emptyset$ for all i and $j, i \neq j$
- (d) $P(R_i) = \text{TRUE}$ for $i = 1, 2, \dots, n$
- (e) $P(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ for $i \neq j$

$P(R_i)$ é uma propriedade de um predicado lógico sobre os pontos de R_i
ex. $P(R_i) = \text{TRUE}$ se todos os pixels em R_i tem o mesmo nível de cinza

Crescimento de regiões

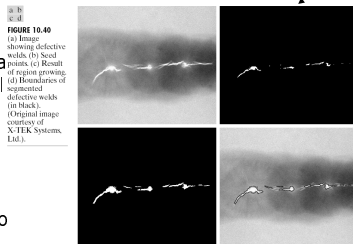
- começo com um conjunto de pontos **"sementes"**
- faça as sementes crescerem, agrupando os vizinhos com propriedades semelhantes, como por exemplo níveis de cinza próximos ou especificados dentro de um intervalo
- stopping rule?

seleccione como semente os pixels = 255

Exemplo: inspeção de soldas

critério:

1. a diferença absoluta entre qualquer pixel e a semente deve ser menor que 65
2. o pixel precisa ser conexo-8 de ao menos um pixel pertencente à região



Histograma da fig 10.40 a)

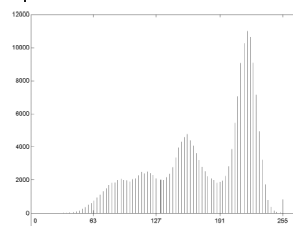


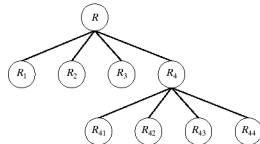
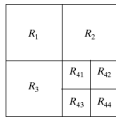
FIGURE 10.41
Histogram of Fig. 10.40(a).

usado para encontrar o critério da diferença de nível de cinza entre pixels e as sementes

divisão e união de regiões

a b

FIGURE 10.42
(a) Partitioned image.
(b) Corresponding quadtree.



Quadtree

1. Divida em 4 quadrantes qualquer região R_i que tenha $P(R_i) = \text{FALSE}$
2. Una as regiões adjacentes R_j and R_k que tenham $P(R_j \cup R_k) = \text{TRUE}$
3. Pare quando nenhuma divisão ou união for mais possível.

Exemplo

a b c

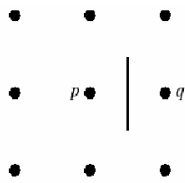
FIGURE 10.43
(a) Original image, (b) Result of split and merge procedure, (c) Result of thresholding (a).



$P(R_i) = \text{TRUE}$ se ao menos 80% os pixels em R_i possuem a propriedade $|z_j - m_i| \leq 2\sigma_i$, onde:
 z_j é o nível de cinza do j^{mo} pixel em R_i
 m_i é o nível de cinza médio daquela região
 σ_i é o desvio padrão dos níveis de cinza em R_i

Técnicas baseadas em grafos

- segmentos de bordas são representadas por grafos
- procura por caminhos de baixo custo que correspondem a bordas significativas
- bom desempenho na presença de ruído
- Computacionalmente caro



elemento de borda: região entre 2 pixels p e q , onde p e q são vizinhos-4

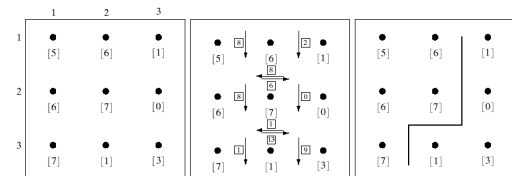
Definições

- Um grafo $G = (N, U)$ é definido por:
 - um conjunto N finito e não vazio de nós
 - um conjunto U de pares não ordenados de elementos distintos de N
 - Cada para (N_i, N_j) é chamado de arco
- Grafo orientado: quando o nó N_i é direcionado ao nó N_j
 - N_i : vértice inicial do arco, pai de N_j
 - N_j : vértice final do arco, sucessor de N_i
 - Expansão de um nó: processo de descobrir os sucessores de um nó

Definições

- Níveis de grafos
 - raiz ou nível zero: um único nó
 - objetivos ou folhas: último nível do grafo
- Um custo $c(N_i, N_j)$ pode ser associado a cada arco (N_i, N_j)
- Percurso de N_1 a N_k é definido pela seqüência N_1, N_2, \dots, N_k onde N_i é sucessor de N_{i-1}
 - custo do percurso é a soma dos custos dos arcos (N_{i-1}, N_i)
- Elemento de borda: região entre dois pixels p e q (vizinhos-4), é definido pelo par p, q
- Borda: seqüência conexa de elementos de borda

Exemplo: nível cinza entre []



a b c

FIGURE 10.23 (a) A 3×3 image region, (b) Edge segments and their costs, (c) Edge corresponding to the lowest-cost path in the graph shown in Fig. 10.24.

Exemplo

- custo $c(p,q) = H - [f(p) - f(q)]$
 - H = maior nível de cinza a imagem (= 7)
 - $f(p)$ e $f(q)$: nível de cinza em p e q
- para simplificação, considere que uma borda deve começar na linha 1 e terminar na linha 3

Grafo para o problema

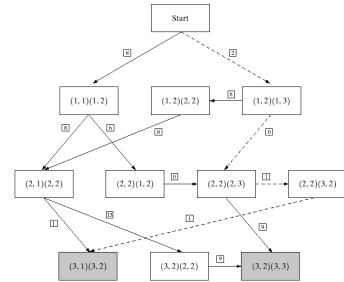


FIGURE 10.24
Graph for the
image in
Fig. 10.23(a). The
lowest-cost path is
shown dashed.

Exemplo

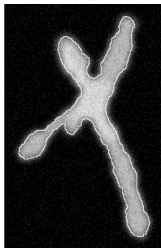


FIGURE 10.25
Image of noisy
chromosome
silhouette and
edge boundary
(in white)
determined by
graph search.

Imagem com muito
ruído de um
cromossomo