

Processamento Digital de Imagens

Profa. Flávia Magalhães

PUC Minas

Unidade V-a: Segmentação de Imagens

Detecção de Descontinuidades, Pontos, Retas e Bordas
Operadores de Gradiente

- O processo de segmentação **particiona** o conjunto de dados de entrada em estruturas com **conteúdo semântico** relevante para a **aplicação em questão**, de modo a **facilitar** a **tarefa complexa** de **interpretação dos dados** contidos em imagens digitais.
- Essas **estruturas correspondem a objetos ou partes de objetos** que auxiliarão o processo de interpretação das imagens. Após a segmentação, cada objeto é descrito por meio de suas propriedades **geométricas** e **topológicas**.

Atributos como área, forma e textura podem ser extraídos dos objetos e utilizados no processo de análise.

Segmentação de Imagens

- Processar uma imagem de modo a segmentar um número de objetos é uma tarefa difícil e extremamente dependente da correta extração de características dos objetos, especialmente em imagens ruidosas.
- As abordagens convencionais para segmentação de imagens são normalmente baseadas nas propriedades básicas dos níveis de cinza da imagem, buscando detectar:
 - **descontinuidades**: os métodos visam particionar a imagem com base em mudanças abruptas nos níveis de cinza, caracterizadas pela presença de pontos isolados, linhas ou bordas na imagem.
 - **similaridades**: os métodos procuram agrupar pontos da imagem que apresentam valores similares para um determinado conjunto de características.

- Os tipos de descontinuidades normalmente detectadas em imagens digitais são **pontos, segmentos de retas, junções e bordas**.
- Uma maneira comum de identificação de descontinuidades é por meio da varredura da imagem por uma máscara (**convolução**) correspondente a um filtro passa-altas, como vimos na Unidade IV.

Exemplo: Detecção de Pontos

- A detecção de pontos isolados em uma imagem pode ser realizada pela aplicação direta da máscara de convolução Laplaciana h , definida como

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

- Um ponto é detectado na posição central da máscara se

$$|R| > T$$

em que T é um limiar não negativo.

Exemplo: Detecção de Pontos

- Observe que um ponto é detectado se houver uma discrepância entre seu valor de nível de cinza e de seus vizinhos.
- Quando a máscara h é posicionada sobre uma região homogênea da imagem, ou seja, todos os *pixels* pertencentes à região possuem a mesma intensidade, a resposta da máscara é nula ($R = 0$).

Exemplo: Detecção de Pontos

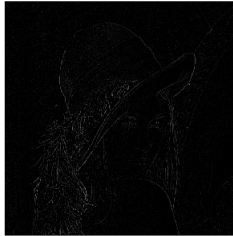
```
1  img = rgb2gray(imread('lena.bmp'));
2  mask = [-1 -1 -1; -1 8 -1; -1 -1 -1];
3  R = conv2(double(img), mask);
4  R = uint8(255*(R/max(R(: ))));
5  T = 25;
6
7  for i=1:length(img)
8      for j=1:length(img)
9
10         if(R(i,j) > T)
11             P(i,j) = 0;
12         else
13             P(i,j) = 255;
14         end
15     end
16 end
17
18 subplot(1,3,1)
19 imshow(img)
20 title('Imagem Original')
21 subplot(1,3,2)
22 imshow(R)
23 title('Detecção de Pontos')
24 subplot(1,3,3)
25 imshow(P)
26 title('Detecção de Pontos (T>25)')
```

Exemplo: Detecção de Pontos

Imagem Original



Detecção de Pontos



Detecção de Pontos ($T > 25$)

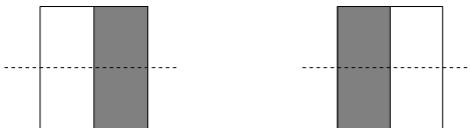


- O objetivo da técnica é identificar pontos de uma imagem digital em que a intensidade muda bruscamente.
- A razão dessas mudanças de intensidade podem ser descontinuidades em profundidade, orientação, mudanças de condições de iluminação e muitos outros fatores.
- No caso ideal, **o resultado da aplicação de um detector de bordas a uma imagem nos leva a um conjunto de linhas ou curvas conectadas que indicam os limites dos objetos.**

- Uma borda é o limite ou a **fronteira entre duas regiões com propriedades relativamente distintas de nível de cinza.**
- Assume-se que as **regiões em questão são suficientemente homogêneas, de maneira que a transição entre duas regiões pode ser determinada com base apenas na descontinuidade dos níveis de cinza.**
- Basicamente, a ideia associada à maioria das técnicas para detecção de bordas é o **cálculo de um operador local diferencial.**

- A figura a seguir mostra:
 - (a) duas imagens formadas por uma região clara e uma região escura.
 - (b) o perfil representando o nível de cinza ao longo de uma linha de varredura horizontal da imagem é modelado como uma mudança abrupta dos níveis de cinza.
 - (c) perfil modelado como uma mudança suave dos níveis de cinza.
 - (d) derivada primeira do perfil de cinza ao longo da linha de varredura horizontal correspondente à imagem (c).
 - (e) derivada segunda.

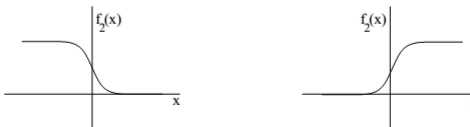
Detecção de Bordas



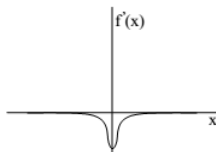
(a) imagens contendo uma região clara e uma região escura



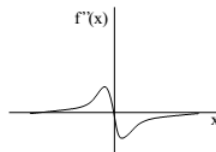
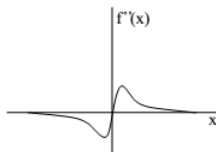
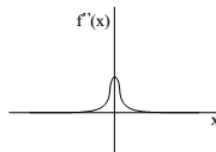
(b) perfil mostrando variação abrupta de intensidade de cinza ao longo de uma linha de varredura horizontal



(c) perfil mostrando variação suave dos níveis de cinza



(d) derivada primeira do perfil de níveis de cinza

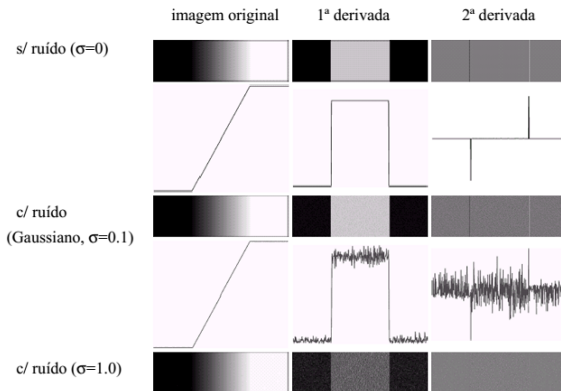


(e) derivada segunda do perfil de níveis de cinza

- A derivada primeira é positiva nas transições da região escura para a região clara, negativa nas transições da região clara para escura e nula nas áreas de nível de cinza constante.
- A derivada segunda é positiva na parte da transição associada ao lado escuro da borda, negativa na parte da transição associada ao lado claro da borda e nula nas áreas de nível de cinza constante.

- Assim, a **magnitude da derivada primeira** pode ser **utilizada na detecção de uma borda em uma imagem**, enquanto o **signal da derivada segunda possui um cruzamento em zero**, ou seja, uma indicação de que há uma mudança de sinal na transição dos níveis de cinza, **permitindo a localização das bordas em uma imagem**.
- A **derivada primeira** em qualquer ponto da imagem é obtida usando-se a **magnitude do gradiente** naquele ponto.
- A **derivada segunda** é obtida similarmente utilizando-se o **operador Laplaciano**.

Detecção de Bordas



Conclusão importante a ser usada posteriormente: Pela análise da figura da borda em degrau 1D corrompida por ruído branco gaussiano aditivo, chega-se à conclusão de que **uma boa aproximação para o detetor ótimo de bordas de degrau é a derivada primeira da borda suavizada.**

- Como uma imagem depende de duas coordenadas espaciais, as bordas da imagem podem ser expressas por derivadas parciais.
- Um operador comumente utilizado em diferenciação de imagens é o **gradiente**, que é **um vetor cuja direção indica os locais nos quais os níveis de cinza sofrem maior variação**.

- O vetor gradiente $\nabla f(x, y)$ de uma imagem na posição (x, y) pode ser calculado pelas derivadas parciais:

$$\Delta f(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix}$$

$$G_x = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}$$

$$G_y = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}$$

- Desse modo, uma variação rápida de $f(x, y)$ ao longo da direção x e lenta ao longo da direção y indica a presença de uma borda praticamente vertical.

Operadores de Gradiente

- A figura a seguir mostra que a direção θ do gradiente é sempre perpendicular à direção tangente da borda.

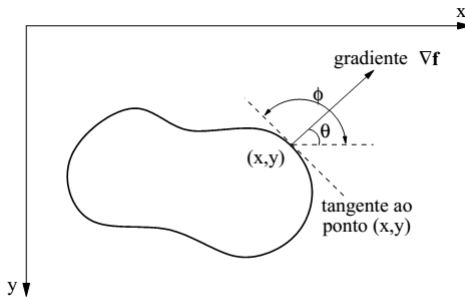


Figura: Gradiente em uma borda.

- Em detecção de bordas, a magnitude do vetor gradiente é uma medida importante e é, em geral, chamada simplesmente de gradiente e denotada por Δf .

$$\Delta f = \text{mag}(\Delta f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

- Em razão do custo computacional requerido, a magnitude do gradiente pode ser aproximada pelo uso de valores absolutos:

$$\Delta f \approx |G_x| + |G_y| \quad (2)$$

ou do valor máximo entre os gradientes nas direções x e y .

$$\Delta f \approx \max(|G_x|, |G_y|) \quad (3)$$

Operadores de Gradiente

- Bordas verticais podem ser determinadas pela diferença horizontal entre pixels (cálculo de G_x), ao passo que bordas horizontais podem ser determinadas pela diferença vertical entre pixels (cálculo de G_y).
- Os slides seguintes trarão os principais operadores de gradiente empregados (Prewitt, Sobel, Roberts, Kirsch, Robinson).
- Os operadores cruzados do gradiente de Roberts são uma abordagem alternativa para a aproximação do gradiente, usando as diferenças cruzadas.

- Algoritmo para identificação de pontos de borda, baseada no conceito de gradiente.

Algoritmo 1 Determinação de pontos de borda em uma imagem

- 1: entradas: uma imagem de entrada f com dimensões $M \times N$ pixels e um limiar T .
- 2: **for** $x = 0$ até $M - 1$ **do**
- 3: **for** $y = 0$ até $N - 1$ **do**
- 4: // calcular a magnitude do gradiente $\nabla f(x, y)$
- 5:
$$\nabla f(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y}\right)^2}$$
- 6: // efetuar a limiarização
- 7: **if** $\nabla f(x, y) > T$ **then**
- 8: (x, y) é um ponto da borda
- 9: **end if**
- 10: **end for**
- 11: **end for**

Exemplo de Operador de Gradiente: *Sobel*

- Da mesma forma, G_x é apropriado para detectar bordas verticais, ao passo que G_y é mais adequado para detectar as bordas horizontais.

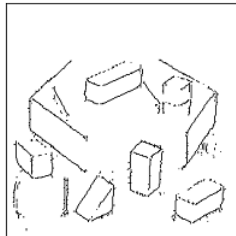
$$G_x = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -2 & 0 & 2 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$G_y = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -2 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

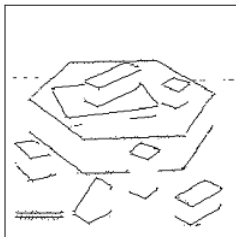
Exemplo de Operador de Gradiente: *Sobel*



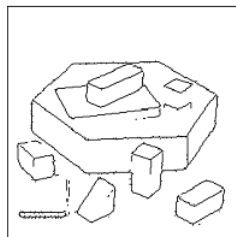
(a) imagem original



(b) resultado de G_x



(c) resultado de G_y



(d) combinação de G_x e G_y

Operadores de Gradiente

Os algoritmos são definidos para trabalhar em uma imagem monocromática, porém podem ser facilmente estendidos para serem aplicados em imagens coloridas:

- 1 separadamente nos 3 canais de uma imagem RGB
- 2 primeiro calculando um valor de escala de cinza com base nos valores de componente de cor

O primeiro é mais intensivo computacionalmente, mas geralmente fornece melhores resultados definindo-se os critérios de limiar, de forma que um pixel é aceito como ponto de borda se o valor do gradiente for maior que o limiar para qualquer um dos canais de cores.

Exemplo de Operador de Gradiente: *Kirsch*

- O operador de *Kirsch* (19710) consiste de oito máscaras de convolução orientadas em 45° , mostradas a seguir.

5	-3	-3
5	0	-3
5	-3	-3

-3	-3	-3
5	0	-3
5	5	-3

-3	-3	-3
-3	0	-3
5	5	5

-3	-3	-3
-3	0	5
-3	5	5

-3	-3	5
-3	0	5
-3	-3	5

-3	5	5
-3	0	5
-3	-3	-3

5	5	5
-3	0	-3
-3	-3	-3

5	5	-3
5	0	-3
-3	-3	-3

- Para cada *pixel* da imagem, o operador aplica cada uma das oito orientações da máscara de derivadas e mantém o valor máximo.
- Assim, o cálculo da magnitude do gradiente, mostrado no algoritmo 1, não determina valores separados para G_x e G_y , o gradiente de cada *pixel* é obtido pela maior resposta do conjunto de oito máscaras.

Exemplo de Operador de Gradiente: *Kirsch*

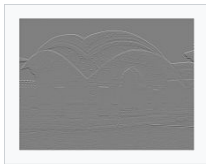


Image filtered with $g^{(1)}$



Image filtered with $g^{(2)}$



Image filtered with $g^{(3)}$



Image filtered with $g^{(4)}$

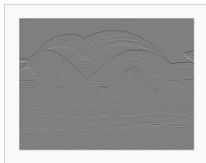


Image filtered with $g^{(5)}$



Image filtered with $g^{(6)}$



Image filtered with $g^{(7)}$



Image filtered with $g^{(8)}$

Imagens filtradas com cada um dos gradientes

Exemplo de Operador de Gradiente: *Kirsch*



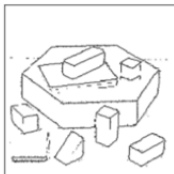
(a) Imagem original (b) Gradiente máximo, dentre as 8 direções

Operadores de Gradiente

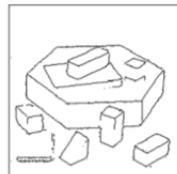
- Comparação dos resultados após a aplicação dos operadores de Roberts, Prewitt, Sobel, Kirsch em uma imagem.



(a) imagem original



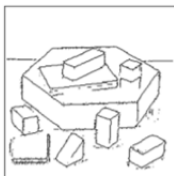
(b) Roberts



(c) Prewitt



(d) Sobel



(e) Kirsch