

# Detecção de Bordas

Prof. Jefferson T. Oliva  
jeffersonoliva@utfpr.edu.br

Processamento de Imagens  
Engenharia de Computação  
Departamento Acadêmico de Informática (Dainf)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Campus Pato Branco



This work is licensed under a Creative Commons "Attribution-ShareAlike 4.0 International" license.



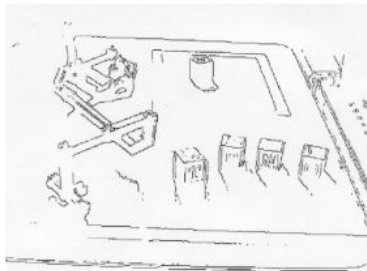
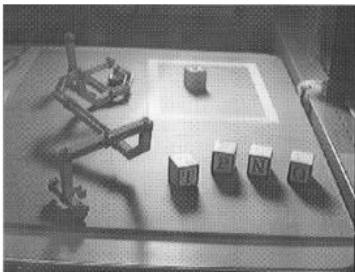
- Tipos de Borda
- Filtros detectores de bordas

- Detecção de pontos: é a mais simples técnica de detecção
  - Um ponto terá mudança drástica no valor de cinza em relação aos seus vizinhos
- Detecção de linhas: é o processo mais complexo, pois é necessário achar os pixels que são semelhantes e testá-los para verificar se são parte de uma linha comum
- Detecção de bordas
  - É uma das técnicas básicas utilizadas pela visão humana no reconhecimento de objetos
  - É o processo de localização e realce dos pixels de borda, aumentando o contraste entre a borda e o fundo
  - Verifica a variação dos valores de luminosidade de uma imagem

- O que é uma borda?
  - Variações de intensidade complexas que ocorrem em uma região são geralmente chamadas de textura
  - Bordas são definidas como picos da magnitude do gradiente, ou seja, são que ocorrem ao longo de curvas baseadas nos valores do gradiente da imagem
  - As bordas são regiões da imagem onde ocorre uma mudança de intensidade em um certo intervalo do espaço, em uma certa direção
    - Isto corresponde a regiões de alta derivada espacial, que contém alta frequência espacial

- *Edges* (arestas/bordas): pixels nos quais há uma mudança brusca na intensidade
- *Boundary* (contorno): linha fechada formada pelas bordas de um objeto

- O que causa mudanças na intensidade?
  - Eventos geométricos: Descontinuidades no contorno ou orientação da superfície e/ou cor da superfície e textura
  - Eventos não geométricos: mudança de iluminação, luz especular e sombras



## Tipos de Borda

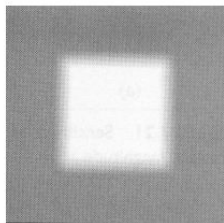
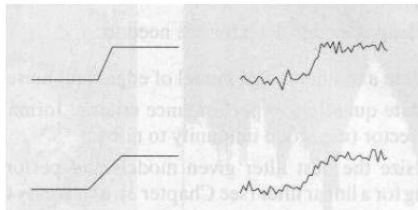
# Tipos de Borda

- Degrau (*step*)
- Rampa (*ramp*)
- Platô (*ridge*)
- Telhado (*roof*)



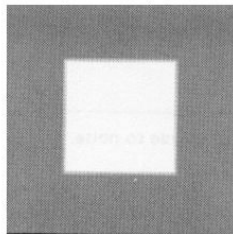
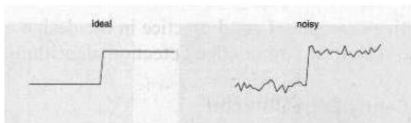
# Tipos de Borda

- Borda degrau: a mudança de intensidade não é instantânea, mas ocorre em uma distância finita



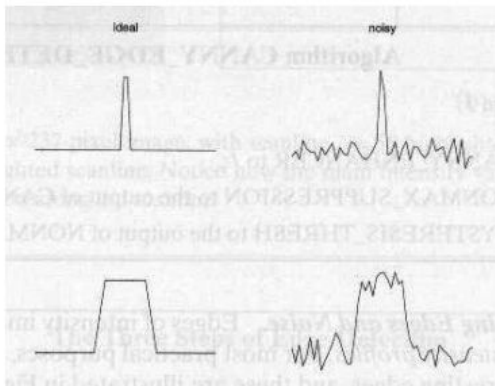
# Tipos de Borda

- Borda rampa: a intensidade muda abruptamente de um valor (de um lado) para um outro valor (para o lado oposto da descontinuidade)

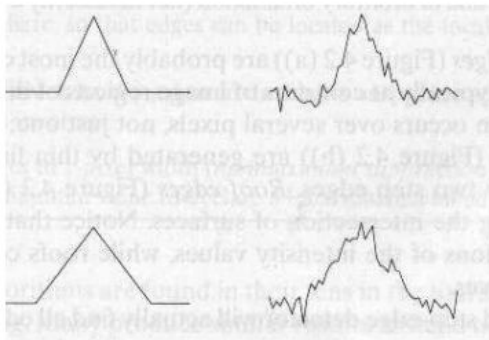


# Tipos de Borda

- Borda platô: mudança abrupta de intensidade, voltando ao ponto de partida após curta distância (geralmente causada por linhas na imagem)



- Borda telhado: ocorre quando a mudança de intensidade não é instantânea, ocorrendo numa distância finita (geralmente causada pela intersecção de duas superfícies)



## Filtros detectores de bordas

- Realçam detalhes, produzindo uma "agudização" ("*sharpening*") da imagem, isto é, as transições entre regiões diferentes tornam-se mais nítidas
- Esses filtros podem ser usados para realçar certas características presentes na imagem, tais como bordas, linhas curvas ou manchas, mas enfatizam o ruído existente na imagem
- Principais etapas na detecção de bordas:
  - Suavização: eliminação/amenização de ruídos
  - Agudização (*enhancement*): realce da qualidade das bordas na imagem
  - Detecção: determinação de quais bordas devem ser descartadas (possíveis ruídos) e quais devem ser mantidas
  - Localização: determinação do local exato das bordas

- Operadores para detecção de borda
  - Desde que uma borda é definida por uma mudança no nível de cinza, quando ocorre uma descontinuidade na intensidade, ou quando o gradiente da imagem tem uma variação abrupta, um operador que é sensível a estas mudanças operará como um detector de bordas
- Um operador de derivada faz exatamente esta função
  - Uma interpretação de uma derivada seria a taxa de mudança de uma função, e a taxa de mudança dos níveis de cinza em uma imagem é maior perto das bordas e menor em áreas constantes

- Dos filtros derivativos, o mais comum é o gradiente

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

- Filtro derivativo de primeira ordem
  - Produzem bordas mais espessas
  - A magnitude da resposta é menor, pois é menos agressiva na hora de facilitar as mudanças bruscas
- Filtro derivativo de primeira ordem
  - Realçam mais os detalhes (incluindo ruídos!)
  - Nas rampas ou degraus, apresenta sinais opostos (efeito borda dupla)
  - Sinal pode ser usado para determinar se uma borda é uma transição de claro p/ escuro (derivada negativa) ou escuro/claro (derivada positiva)



- Operadores de primeira ordem
  - Roberts
  - Sobel
  - Prewitt
  - Canny
  - Robinson
  - entre outros

- Filtros derivativos
  - Consideremos uma região da imagem dada por:

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

- Uma aproximação da magnitude do gradiente pode ser realizada da seguinte forma

$$\nabla|f(x, y)| \approx [(z_5 - z_8)^2 + (z_5 - z_6)^2]^{1/2}$$

- Filtros derivativos
  - Que pode ser implementada convoluindo-se a imagem com as seguintes máscaras

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = [1 \quad -1]$$

$$\nabla|f(x, y)| \approx [(f * h_1)^2 + (f * h_2)^2]^{1/2}$$

- Detector de bordas de Roberts
  - Alternativamente a magnitude do gradiente pode ser aproximada por:

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

- Uma aproximação da magnitude do gradiente pode ser realizada da seguinte forma

$$\nabla|f(x, y)| \approx [(z_5 - z_9)^2 + (z_6 - z_8)^2]^{1/2}$$

- Detector de bordas de Roberts
  - Que pode ser implementada convoluindo-se a imagem com as seguintes máscaras

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\nabla|f(x,y)| \approx [(f * h_1)^2 + (f * h_2)^2]^{1/2}$$

- Essa operação é conhecida como operador gradiente-cruzado de Roberts ou detector de bordas de Roberts

- Detector de bordas de Prewitt
  - Alternativamente a magnitude do gradiente pode ser aproximada por:

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

- Uma aproximação da magnitude do gradiente pode ser realizada da seguinte forma

$$\nabla|f(x, y)| \approx [((z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3))^2 + ((z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7))^2]^{1/2}$$

- Detector de bordas de Prewitt
  - Que pode ser implementada convoluindo-se a imagem com as seguintes máscaras

$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\nabla|f(x,y)| \approx [(f * h_1)^2 + (f * h_2)^2]^{1/2}$$

- Essas máscaras são conhecidas como operador de Prewitt ou detector de Bordas Prewitt

- Detector de bordas de Sobel
  - Alternativamente a magnitude do gradiente pode ser aproximada por:

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

- Uma aproximação da magnitude do gradiente pode ser realizada da seguinte forma:

$$\nabla|f(x, y)| \approx [((z_7 + 2 * z_8 + z_9) - (z_1 + 2 * z_2 + z_3))^2 + ((z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + 2 * z_4 + z_7))^2]^{1/2}$$



- Detector de bordas de Sobel
  - Que pode ser implementada convoluindo-se a imagem com as seguintes máscaras

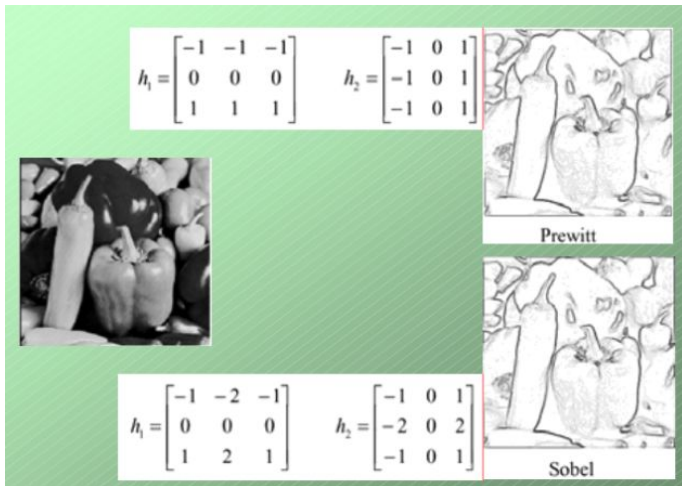
$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\nabla|f(x,y)| \approx [(f * h_1)^2 + (f * h_2)^2]^{1/2}$$

- Essas máscaras são conhecidas como operador de Sobel ou detector de Bordas Sobel

- Exemplo



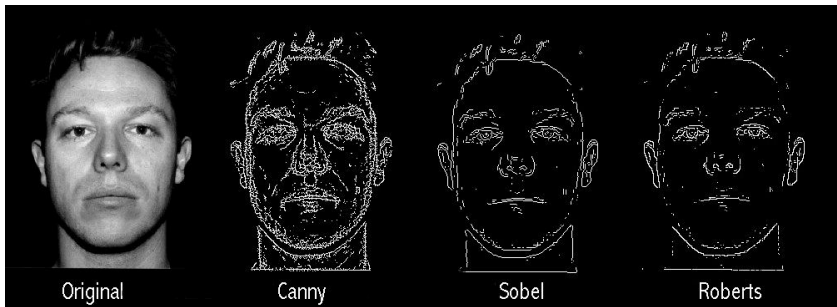
- Detector de bordas de Robinson
  - Utiliza 8 máscaras no total

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- As outras quatro são simplesmente negações das quatro acima
- A magnitude do gradiente é o valor máximo obtido ao aplicar todas as 8 máscaras ao pixel vizinho
- Esse algoritmo aumenta a precisão, mas requer mais computação do que Roberts e Sobel, devido ao tamanho das máscaras

- Detector de bordas Canny
  - Na criação do algoritmo de Canny, definiu-se um conjunto de requisitos que um detector de bordas deveria satisfazer
    - Taxa de erro: o detector de bordas deveria detectar e achar somente bordas, nenhuma borda deveria faltar
    - Localização: a distância entre os pixels de borda encontradas pelo detector de bordas e a borda atual deveriam ser o menor possível
    - Resposta: o detector de bordas não deveria identificar múltiplos pixels de borda onde somente exista um único pixel

- Detector de bordas Canny



<https://pt.stackoverflow.com/questions/328934/python-e-opencv-adicionar-pontos-e-houghline>

- Detectores de 2ª ordem - Laplaciano
  - Máscara

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- É um operador isotrópico (não diferencia direções)
- Fácil de implementar (basta uma máscara)
- Não dá informação sobre a direção da borda
- Mais sensível ao ruído

- Detectores de 2ª ordem - Laplaciano





Bradski, G.

The openCV library.

Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer, v. 25, n. 11, p. 120-123, 2000.



Foley, J. D., Van, F. D., Van Dam, A., Feiner, S. K., Hughes, J. F., e Hughes, J.

Computer Graphics: Principles and Practice.

Addison-Wesley, 1996.



Gonzalez, Rafael C., e Richard E. Woods.

Processamento de imagens digitais.

Editora Blucher, 2000.



Prateek, J., Millan, E. D., e Vinivius, G.

OpenCV by Example.

Packt Publishing, 2016.





Villán, A. F.

Mastering OpenCV 4 with Python.

Packt Publishing, 2019.



Wiggers, K. L.

Notas de aula – Processamento de Imagens: detectores de bordas. Pato Branco, PR, 2024.