Exercícios - Relações Entre Pixels e Tarefas

Processamento e Análise de Imagens

Fevereiro 2025

1 Detecção de Bordas

Calcule a diferença de intensidade de cinza entre pixels adjacentes (horizontal e vertical) e identifique as bordas da imagem. Quando a diferença for maior que um valor δ (por exemplo, $\delta = 100$, marque como borda.

1. Matriz de Intensidade de Cinza (Imagem Original)

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} (0,0) & (0,1) & (0,2) & (0,3) & (0,4) \\ (1,0) & (1,1) & (1,2) & (1,3) & (1,4) \\ (2,0) & (2,1) & (2,2) & (2,3) & (2,4) \\ (3,0) & (3,1) & (3,2) & (3,3) & (3,4) \\ (4,0) & (4,1) & (4,2) & (4,3) & (4,4) \end{bmatrix}$$

2. Cálculo da Diferença de Intensidade de Cinza A diferença de intensidade de cinza entre pixels adjacentes pode ser calculada tanto na horizontal quanto na vertical.

2.1 Diferença Horizontal D_H

$$D_H(i,j) = |I(i,j) - I(i,j+1)|$$

$$D_H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 255 & 0 & 0 & 255 & 0 \\ 255 & 0 & 0 & 255 & 0 \\ 255 & 0 & 0 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.2 Diferença Vertical D_V

$$D_V(i,j) = |I(i,j) - I(i+1,j)|$$

$$D_V = \begin{bmatrix} 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. Identificação das Bordas Agora, aplicamos o critério de detecção de bordas. Se a diferença entre pixels adjacentes for maior que um valor limite $\delta = 100$, consideramos como borda (1), caso contrário, marcamos como 0.

3.1 Bordas Horizontais

$$B_H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 Bordas Verticais

$$B_V = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. Matriz Final de Bordas Podemos combinar as bordas horizontais e verticais em uma única matriz de bordas B, considerando que uma borda está presente onde B_H ou B_V são 1:

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

5. Conclusão - As bordas detectadas cercam a região de pixels de intensidade 255, destacando os contornos do objeto branco no centro da imagem. Isso mostra que a técnica baseada na diferença de intensidade de cinza é eficaz para detectar bordas em imagens simples em tons de cinza.

2 Segmentação de Imagem

Segmente a imagem em duas regiões com base na diferença de intensidade entre pixels adjacentes. Considere que pixels cuja diferença de intensidade for menor que 20 estão no mesmo segmento.

$$A = \begin{bmatrix} 100 & 120 & 130 & 110 \\ 100 & 115 & 125 & 105 \\ 90 & 130 & 135 & 110 \\ 80 & 125 & 120 & 105 \end{bmatrix}$$

Resposta: Para segmentar a imagem com base na diferença de intensidade entre pixels adjacentes ($\delta = 20$), siga os seguintes passos:

Cálculo da Diferença Entre Pixels Adjacentes

Diferença Horizontal ($|A_{i,j} - A_{i,j+1}|$)

$$\begin{bmatrix} |100-120| & |120-130| & |130-110| \\ |100-115| & |115-125| & |125-105| \\ |90-130| & |130-135| & |135-110| \\ |80-125| & |125-120| & |120-105| \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} 20 & 10 & 20 \\ 15 & 10 & 20 \\ 40 & 5 & 25 \\ 45 & 5 & 15 \end{bmatrix}$$

Diferença Vertical ($|A_{i,j} - A_{i+1,j}|$)

$$\begin{bmatrix} |100-100| & |120-115| & |130-125| & |110-105| \\ |100-90| & |115-130| & |125-135| & |105-110| \\ |90-80| & |130-125| & |135-120| & |110-105| \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 5 & 5 & 5 \\ 10 & 15 & 10 & 5 \\ 10 & 5 & 15 & 5 \end{bmatrix}$$

Aqui está a matriz segmentada, onde os elementos pertencentes ao mesmo segmento são representados por cores diferentes:

$$\begin{bmatrix} \color{blue}{100} & \color{blue}{120} & \color{blue}{130} & \color{blue}{110} \\ \color{blue}{100} & \color{blue}{115} & \color{blue}{125} & \color{blue}{105} \\ \color{green}{90} & \color{blue}{130} & \color{blue}{135} & \color{blue}{110} \\ \color{green}{80} & \color{blue}{125} & \color{blue}{120} & \color{blue}{105} \end{bmatrix}$$

Interpretação das Cores:

- Azul: segmento (S_1), pixels conectados por diferenças ≤ 20
- Verde: segmento (S_2), pixels conectados por diferenças > 20

3 Preenchimento de Áreas

Imagine uma imagem 5x5 com uma área vazia no meio. Os valores dos pixels são os seguintes:

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

Onde "0" representa uma área vazia que precisa ser preenchida. A partir dos valores ao redor, preencha a área vazia com valores de cinza semelhantes aos pixels adjacentes. O valor dos pixels vazios deve ser preenchido de maneira gradual, com base na média dos pixels adjacentes.

Complete a matriz, preenchendo os valores dos pixels vazios de forma que a transição de intensidade entre os pixels seja suave.

Resposta: Os zeros representam os pixels vazios que precisam ser preenchidos com base na média dos pixels adjacentes.

Passo 1: Definição do Método Vamos substituir os "0" pela média aritmética dos seus pixels vizinhos diretos (cima, baixo, esquerda e direita). Seja $I(i, j)$ a intensidade do pixel na linha i e coluna j, então:

$$I(i,j) = \frac{I(i-1,j) + I(i+1,j) + I(i,j-1) + I(i,j+1)}{4}$$

Passo 2: Cálculo dos Pixels Internos

(1) Cálculo de $I(2,2)$

$$I(2,2) = \frac{I(1,2) + I(3,2) + I(2,1) + I(2,3)}{4} = \frac{200 + 0 + 200 + 0}{4} = \frac{400}{4} = 100$$

(2) Cálculo de $I(2,3)$

$$I(2,3) = \frac{I(1,3) + I(3,3) + I(2,2) + I(2,4)}{4} = \frac{200 + 0 + 100 + 0}{4} = \frac{300}{4} = 75$$

(3) Cálculo de $I(2,4)$

$$I(2,4) = \frac{I(1,4) + I(3,4) + I(2,3) + I(2,5)}{4} = \frac{200 + 0 + 75 + 200}{4} = \frac{475}{4} = 118.75 \approx 119$$

(4) Cálculo de $I(3,2)$

$$I(3,2) = \frac{I(2,2) + I(4,2) + I(3,1) + I(3,3)}{4} = \frac{100 + 0 + 200 + 0}{4} = \frac{300}{4} = 75$$

(5) Cálculo de $I(3,3)$

$$I(3,3) = \frac{I(2,3) + I(4,3) + I(3,2) + I(3,4)}{4} = \frac{75 + 0 + 75 + 0}{4} = \frac{150}{4} = 37.5 \approx 38$$

(6) Cálculo de $I(3,4)$

$$I(3,4) = \frac{I(2,4) + I(4,4) + I(3,3) + I(3,5)}{4} = \frac{119 + 0 + 38 + 200}{4} = \frac{357}{4} = 89.25 \approx 89$$

(7) Cálculo de $I(4,2)$

$$I(4,2) = \frac{I(3,2) + I(5,2) + I(4,1) + I(4,3)}{4} = \frac{75 + 200 + 200 + 0}{4} = \frac{475}{4} = 118.75 \approx 119$$

(8) Cálculo de $I(4,3)$

$$I(4,3) = \frac{I(3,3) + I(5,3) + I(4,2) + I(4,4)}{4} = \frac{38 + 200 + 119 + 200}{4} = \frac{557}{4} = 139.25 \approx 139$$

(9) Cálculo de $I(4,4)$

$$I(4,4) = \frac{I(3,4) + I(5,4) + I(4,3) + I(4,5)}{4} = \frac{89 + 200 + 139 + 200}{4} = \frac{628}{4} = 157$$

Matriz Final com Valores Preenchidos a matriz resultante será:

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 100 & 75 & 119 & 200 \\ 200 & 75 & 38 & 89 & 200 \\ 200 & 119 & 139 & 157 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

Agora a matriz apresenta uma transição suave entre os valores, garantindo um preenchimento adequado para os pixels vazios.

Conclusão - O método utilizado permitiu preencher a região vazia com valores que suavizam a transição entre os pixels conhecidos. Esse processo é frequentemente utilizado em técnicas de interpolação de imagens e processamento de imagens digitais para restaurar informações perdidas ou melhorar a qualidade visual.

A seguir, apresentamos todos os cálculos necessários para preencher a matriz, garantindo uma transição suave entre os valores dos pixels adjacentes. O processo segue o mesmo princípio do exercício anterior, mas agora considerando a N8 adjacência para um resultado mais refinado.

Agora, utilizaremos a N8 adjacência para preencher os valores da matriz de maneira mais suave. Diferente da N4 adjacência, que considera apenas os vizinhos horizontais e verticais, a N8 adjacência leva em conta também os vizinhos diagonais, resultando em uma transição ainda mais gradual dos valores dos pixels. A N8 adjacência considera todos os 8 vizinhos de um pixel ao calcular a média. A matriz inicial é:

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

Agora, calculamos os valores dos pixels vazios considerando a média dos 8 vizinhos para uma transição mais suave:

$$I(x,y) = \frac{I(x-1,y-1)+I(x-1,y)+I(x-1,y+1)+I(x,y-1)+I(x,y+1)+I(x+1,y-1)+I(x+1,y)+I(x+1,y+1)}{8}$$

Matriz Inicial

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 0 & 0 & 0 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

Agora, aplicamos a média dos 8 vizinhos para calcular os novos valores:

Passo 1: Cálculo de $I(2,2)$

$$I(2,2) = \frac{I(1,1)+I(1,2)+I(1,3)+I(2,1)+I(2,3)+I(3,1)+I(3,2)+I(3,3)}{8} = \frac{200+200+200+0+0+200+0+0}{8} = \frac{800}{8} = 100$$

Passo 2: Cálculo de $I(2,3)$

$$I(2,3) = \frac{I(1,2)+I(1,3)+I(1,4)+I(2,2)+I(2,4)+I(3,2)+I(3,3)+I(3,4)}{8} = \frac{200+200+200+100+0+0+0+0}{8} = \frac{700}{8} = 87$$

Passo 3: Cálculo de $I(2,4)$

$$I(2,4) = \frac{I(1,3)+I(1,4)+I(1,5)+I(2,3)+I(2,5)+I(3,3)+I(3,4)+I(3,5)}{8} = \frac{200+200+200+87+200+0+0+200}{8} = \frac{1087}{8} = 136$$

Passo 4: Cálculo de $I(3,2)$

$$I(3,2) = \frac{I(2,1)+I(2,2)+I(2,3)+I(3,1)+I(3,3)+I(4,1)+I(4,2)+I(4,3)}{8} = \frac{0+100+87+200+0+200+200+200}{8} = \frac{987}{8} = 123$$

Passo 5: Cálculo de $I(3,3)$

$$I(3,3) = \frac{I(2,2)+I(2,3)+I(2,4)+I(3,2)+I(3,4)+I(4,2)+I(4,3)+I(4,4)}{8} = \frac{100+87+136+123+110+200+200+200}{8} = \frac{1156}{8} = 144$$

Passo 6: Cálculo de $I(3,4)$

$$I(3,4) = \frac{I(2,3)+I(2,4)+I(2,5)+I(3,3)+I(3,5)+I(4,3)+I(4,4)+I(4,5)}{8} = \frac{87+136+200+144+200+200+200+200}{8} = \frac{1367}{8} = 171$$

Passo 7: Cálculo de $I(4,2)$

$$I(4,2) = \frac{I(3,1)+I(3,2)+I(3,3)+I(4,1)+I(4,3)+I(5,1)+I(5,2)+I(5,3)}{8} = \frac{200+123+144+200+200+200+200+200}{8} = \frac{1467}{8} = 183$$

Passo 8: Cálculo de $I(4,3)$

$$I(4,3) = \frac{I(3,2)+I(3,3)+I(3,4)+I(4,2)+I(4,4)+I(5,2)+I(5,3)+I(5,4)}{8} = \frac{123+144+171+183+200+200+200+200}{8} = \frac{1521}{8} = 190$$

Passo 9: Cálculo de $I(4,4)$

$$I(4,4) = \frac{I(3,3)+I(3,4)+I(3,5)+I(4,3)+I(4,5)+I(5,3)+I(5,4)+I(5,5)}{8} = \frac{144+171+200+190+200+200+200+200}{8} = \frac{1505}{8} = 188$$

Matriz Final Preenchida

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 100 & 87 & 136 & 200 \\ 200 & 123 & 144 & 171 & 200 \\ 200 & 183 & 190 & 188 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

Essa abordagem garante uma transição suave nos valores internos da matriz. Comparando as matrizes geradas com N4 e N8 temos:

N4

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 100 & 75 & 119 & 200 \\ 200 & 75 & 38 & 89 & 200 \\ 200 & 119 & 139 & 157 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

N8

$$\begin{bmatrix} 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \\ 200 & 100 & 87 & 136 & 200 \\ 200 & 123 & 144 & 171 & 200 \\ 200 & 183 & 190 & 188 & 200 \\ 200 & 200 & 200 & 200 & 200 \end{bmatrix}$$

A matriz obtida utilizando N4 possui 4 valores abaixo de 100, enquanto que a matriz obtida utilizando N8 tem apenas 1 valor abaixo de 100. Portanto, a matriz N8 é a que possui uma maior suavidade (pois, mais valores estão mais próximos de 200 do que na primeira matriz).

4 Filtro de Suavização

Considere a seguinte matriz de 5x5 pixels com intensidades de cinza:

$$\begin{bmatrix} 100 & 120 & 130 & 140 & 150 \\ 110 & 130 & 140 & 150 & 160 \\ 120 & 140 & 150 & 160 & 170 \\ 130 & 150 & 160 & 170 & 180 \\ 140 & 160 & 170 & 180 & 190 \end{bmatrix}$$

Aplique um filtro de suavização simples, onde o valor de cada pixel será a média dos pixels vizinhos (horizontal, vertical e diagonal) ao seu redor. Para o pixel no meio da imagem, calcule a média considerando seus 8 vizinhos.

Resposta: Vamos considerar N4 para os pixels da borda. Isso significa que, para os pixels das bordas, a média será calculada apenas com seus vizinhos horizontais e verticais, sem considerar os diagonais. A relação usada será:

- Para os pixels internos (não bordas):

$$I(x,y) = \frac{I(x-1,y-1)+I(x-1,y)+I(x-1,y+1)+I(x,y-1)+I(x,y+1)+I(x+1,y-1)+I(x+1,y)+I(x+1,y+1)}{8}$$

- Para os pixels da borda (N4):

$$I(x,y) = \frac{I(x-1,y)+I(x+1,y)+I(x,y-1)+I(x,y+1)}{4}$$

- Para os cantos (N4 limitado):

$$I(x,y) = \frac{I(x,y+1)+I(x+1,y) \quad \text{(ou os vizinhos válidos)}}{2}$$

Matriz Original

$$\begin{bmatrix} 100 & 120 & 130 & 140 & 150 \\ 110 & 130 & 140 & 150 & 160 \\ 120 & 140 & 150 & 160 & 170 \\ 130 & 150 & 160 & 170 & 180 \\ 140 & 160 & 170 & 180 & 190 \end{bmatrix}$$

Cantos (N4 limitado) – Média de 4 valores

$$I(0,0) = \frac{I(0,1)+I(1,0)+I(1,1)+I(0,0)}{4} = \frac{120+110+130+100}{4} = \frac{460}{4} = 115$$

$$I(0,4) = \frac{I(0,3)+I(1,3)+I(1,4)+I(0,4)}{4} = \frac{140+150+160+150}{4} = \frac{600}{4} = 150$$

$$I(4,0) = \frac{I(3,0)+I(3,1)+I(4,1)+I(4,0)}{4} = \frac{130+150+160+140}{4} = \frac{580}{4} = 145$$

$$I(4,4) = \frac{I(3,3)+I(3,4)+I(4,3)+I(4,4)}{4} = \frac{170+180+160+190}{4} = \frac{700}{4} = 175$$

Bordas (N4) – Média de 6 valores

$$I(0,1) = \frac{I(0,0)+I(0,2)+I(1,0)+I(1,1)+I(1,2)+I(0,1)}{6} = \frac{100+130+110+130+140+120}{6} = \frac{730}{6} = 122$$

$$I(0,2) = \frac{I(0,1)+I(0,3)+I(1,1)+I(1,2)+I(1,3)+I(0,2)}{6} = \frac{120+140+130+140+150+130}{6} = \frac{910}{6} = 151$$

$$I(0,3) = \frac{I(0,2)+I(0,4)+I(1,2)+I(1,3)+I(1,4)+I(0,3)}{6} = \frac{130+150+140+150+160+140}{6} = \frac{970}{6} = 161$$

$$I(4,1) = \frac{I(4,0)+I(4,2)+I(3,0)+I(3,1)+I(3,2)+I(4,1)}{6} = \frac{140+160+130+150+170+160}{6} = \frac{910}{6} = 151$$

$$I(4,2) = \frac{I(4,1)+I(4,3)+I(3,1)+I(3,2)+I(3,3)+I(4,2)}{6} = \frac{160+180+150+160+170+170}{6} = \frac{990}{6} = 165$$

$$I(4,3) = \frac{I(4,2)+I(4,4)+I(3,2)+I(3,3)+I(3,4)+I(4,3)}{6} = \frac{170+190+160+170+180+180}{6} = \frac{1050}{6} = 175$$

Pixeis Internos (N8) – Média apenas dos 8 vizinhos

$$I(1,1) = \frac{I(0,0)+I(0,1)+I(0,2)+I(1,0)+I(1,2)+I(2,0)+I(2,1)+I(2,2)}{8} = \frac{100+120+130+110+140+120+140+150}{8} = \frac{1010}{8} = 126$$

$$I(1,2) = \frac{I(0,1)+I(0,2)+I(0,3)+I(1,1)+I(1,3)+I(2,1)+I(2,2)+I(2,3)}{8} = \frac{120+130+140+130+150+140+150+160}{8} = \frac{1120}{8} = 140$$

$$I(1,3) = \frac{I(0,2)+I(0,3)+I(0,4)+I(1,2)+I(1,4)+I(2,2)+I(2,3)+I(2,4)}{8} = \frac{130+140+150+140+160+150+160+170}{8} = \frac{1200}{8} = 150$$

$$I(2,1) = \frac{I(1,0)+I(1,1)+I(1,2)+I(2,0)+I(2,2)+I(3,0)+I(3,1)+I(3,2)}{8} = \frac{110+130+140+120+150+130+150+160}{8} = \frac{1090}{8} = 136$$

$$I(2,2) = \frac{I(1,1)+I(1,2)+I(1,3)+I(2,1)+I(2,3)+I(3,1)+I(3,2)+I(3,3)}{8} = \frac{130+140+150+140+160+150+160+170}{8} = \frac{1200}{8} = 150$$

$$I(2,3) = \frac{I(1,2)+I(1,3)+I(1,4)+I(2,2)+I(2,4)+I(3,2)+I(3,3)+I(3,4)}{8} = \frac{140+150+160+150+170+160+170+180}{8} = \frac{1280}{8} = 160$$

$I(3,3) = \frac{I(2,2)+I(2,3)+I(2,4)+I(3,2)+I(3,4)+I(4,2)+I(4,3)+I(4,4)}{8} = \frac{150+160+170+160+180+170+180+190}{8} = \frac{1360}{8} = 170$

Matriz suavizada final

$$\begin{bmatrix} 115 & 122 & 151 & 161 & 150 \\ 122 & 126 & 140 & 150 & 161 \\ 151 & 136 & 150 & 160 & 160 \\ 161 & 146 & 160 & 170 & 175 \\ 145 & 151 & 165 & 175 & 175 \end{bmatrix}$$

5 Alteração de Cor de Padrões

Considere uma imagem 5x5 com valores em tons de cinza, mas agora você deseja alterar os pixels com intensidade superior a 100 para um valor diferente. A imagem original é:

$$\begin{bmatrix} 50 & 70 & 90 & 110 & 130 \\ 50 & 70 & 90 & 110 & 130 \\ 50 & 70 & 90 & 110 & 130 \\ 50 & 70 & 90 & 110 & 130 \\ 50 & 70 & 90 & 110 & 130 \end{bmatrix}$$

Substitua todos os pixels com intensidade maior que 100 por 255 (branco) e calcule como a imagem muda.

Resposta: Faça a identificação dos pixels a serem alterados **todos os pixels com intensidade maior que 100 serão substituídos por 255**

$$\begin{bmatrix} 50 & 70 & 90 & 255 & 255 \\ 50 & 70 & 90 & 255 & 255 \\ 50 & 70 & 90 & 255 & 255 \\ 50 & 70 & 90 & 255 & 255 \\ 50 & 70 & 90 & 255 & 255 \end{bmatrix}$$

6 Detecção de Objetos

Considere a imagem 5x5 abaixo, onde os valores indicam intensidade de cinza (0 representa preto e 255 representa branco). O valor 255 representa um objeto:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Implemente uma técnica para detectar o contorno do objeto representado pela intensidade 255 na imagem. Você pode usar a diferença entre os valores dos pixels adjacentes para detectar onde ocorre a transição de preto para branco.

Resposta: Um pixel de valor 255 faz parte do contorno se tiver pelo menos um vizinho com valor 0 (preto). Isso significa que ele está na fronteira entre o objeto e o fundo.

Cálculo para cada pixel (detecção de bordas)

Linha 1 (borda superior) - Todos os pixels são 0, então continuam 0

Linha 2

$I(2,2) = 255$

- Vizinhos: $I(1,2) = 0$, $I(2,1) = 0$, $I(3,2) = 255$, $I(2,3) = 255$
- Tem pelo menos um vizinho 0 $\rightarrow$ Contorno (255)

$I(2,3) = 255$

- Vizinhos: $I(1,3) = 0$, $I(2,2) = 255$, $I(2,4) = 255$, $I(3,3) = 255$
- Tem pelo menos um vizinho 0 $\rightarrow$ Contorno (255)

$I(2,4) = 255$

- Vizinhos: $I(1,4) = 0$, $I(2,3) = 255$, $I(2,5) = 0$, $I(3,4) = 255$
- Tem pelo menos um vizinho 0 $\rightarrow$ Contorno (255)

Linha 3

$I(3,2) = 255$

- Vizinhos: $I(2,2) = 255$, $I(3,1) = 0$, $I(4,2) = 255$, $I(3,3) = 255$
- Tem pelo menos um vizinho 0 $\rightarrow$ Contorno (255)

$I(3,3) = 255$

- Vizinhos: $I(2,3) = 255$, $I(3,2) = 255$, $I(3,4) = 255$, $I(4,3) = 255$
- Todos os vizinhos são 255 $\rightarrow$ Não é contorno (0)

$I(3,4) = 255$

- Vizinhos: $I(2,4) = 255$, $I(3,3) = 255$, $I(3,5) = 0$, $I(4,4) = 255$
- Tem pelo menos um vizinho 0 $\rightarrow$ Contorno (255)

Linha 4 (igual à linha 2)

- $I(4, 2) = 255 \rightarrow$ Contorno (255)
- $I(4, 3) = 255 \rightarrow$ Contorno (255)
- $I(4, 4) = 255 \rightarrow$ Contorno (255)

Linha 5 (borda inferior) - Todos os pixels são 0, então continuam 0

Matriz resultante com o contorno corretamente detectado:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 255 & 0 & 255 & 0 \\ 0 & 255 & 255 & 255 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$