

Xử lý ảnh số và video số

Tuần 6: Phát hiện biên cạnh dựa trên
miền không gian

TS. Lý Quốc Ngọc



KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

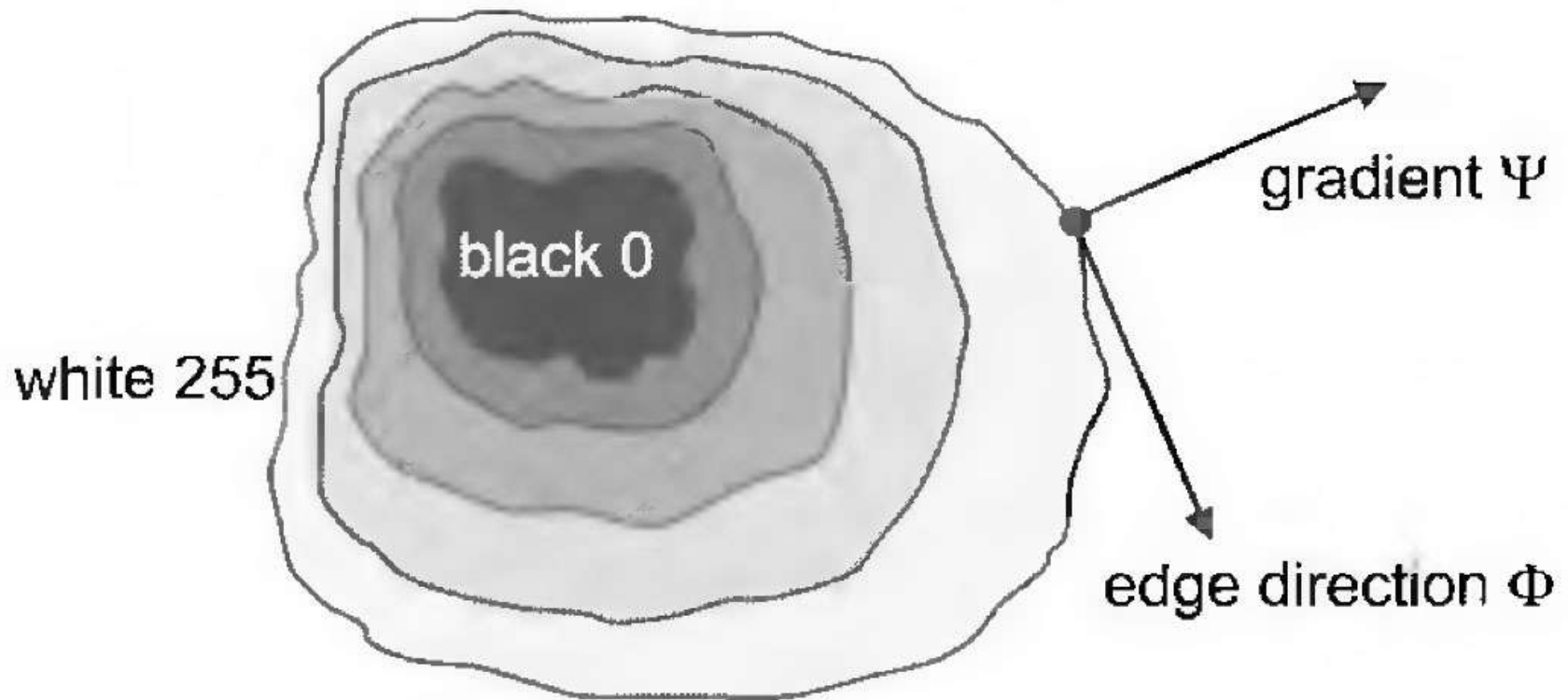
6.2. Toán tử Laplace

6.3. Toán tử Laplace of Gaussian

6.4. PP Canny

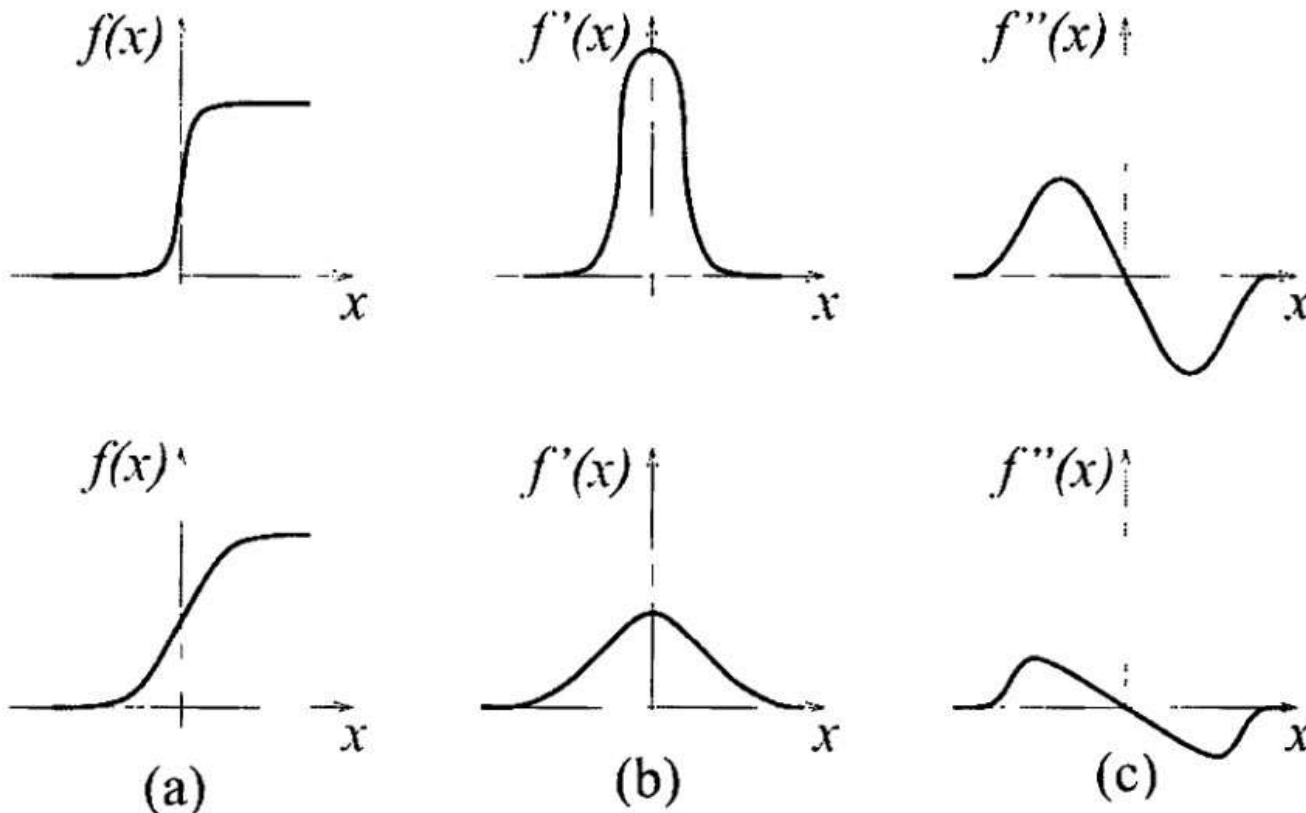
6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient



6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient



6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

$$(\nabla f)(x, y) = [\partial f / \partial x \quad \partial f / \partial y]^T = [f_x \quad f_y]^T$$

$$e(x, y) = (f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y))^{1/2}$$

$$\phi(x, y) = \arctan(f_x / f_y)$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Differencing

$$f_x(x, y) \approx f(x, y) - f(x + 1, y)$$

$$f_y(x, y) \approx f(x, y) - f(x, y - 1)$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Differencing

$$h = b - a$$

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |

Vertical step edge

0 0 0 0 h 0 0 0 0

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử

Differencing

$$h = b - a$$

a a a a c b b b b b

a a a a c b b b b b

a a a a c b b b b b

a a a a c b b b b b

a a a a c b b b b b

Vertical ramp edge

0 0 0 0 $h/2$ $h/2$ 0 0 0

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Robert

$$f_x(x, y) \approx f(x, y) - f(x + 1, y + 1)$$

$$f_y(x, y) \approx f(x, y + 1) - f(x + 1, y)$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Differencing (localize edge center of ramp edge)

$$f_x(x, y) \approx f(x-1, y) - f(x+1, y)$$

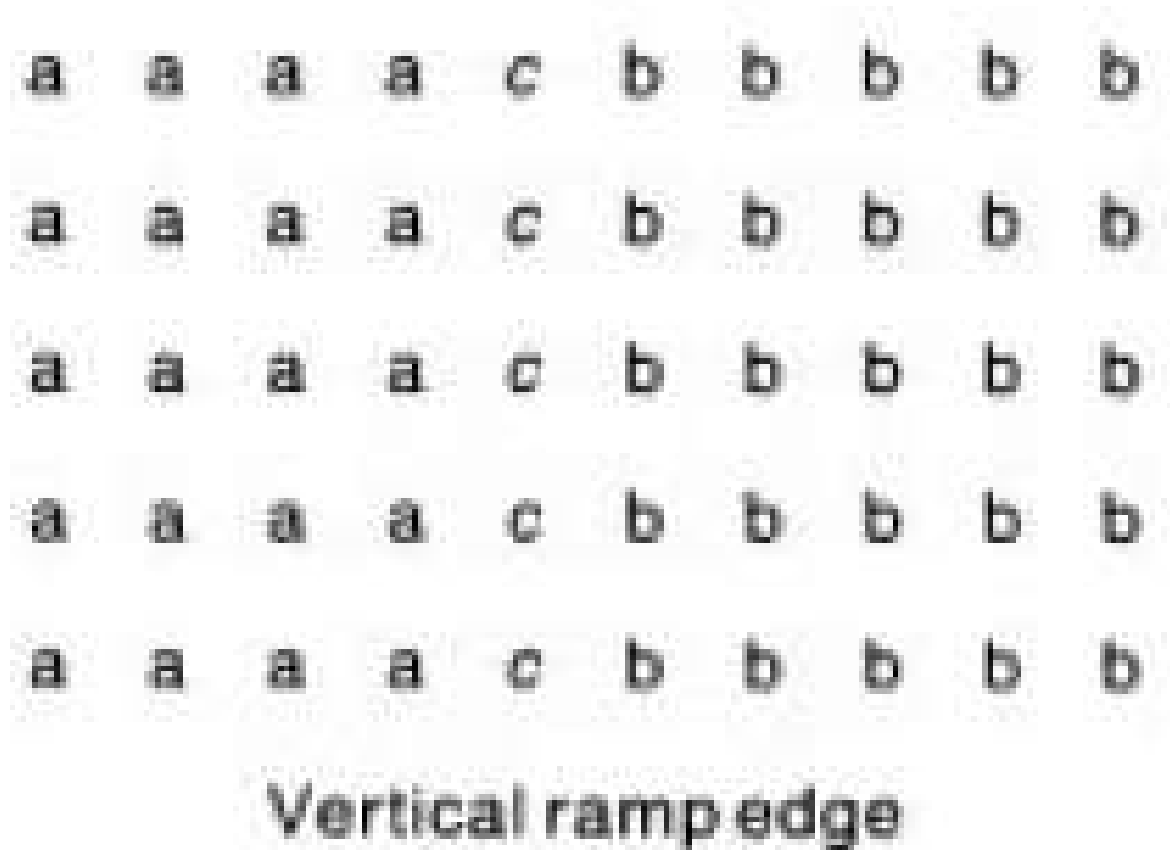
$$f_y(x, y) \approx f(x, y+1) - f(x, y-1)$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử

Differencing
(localize edge
center of
ramp edge)

$$h = b - a$$



$$0 \quad 0 \quad h/2 \quad h \quad h/2 \quad 0 \quad 0$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

| | | |
|-------|----------|-------|
| A_0 | A_1 | A_2 |
| A_7 | $F(j,k)$ | A_3 |
| A_6 | A_5 | A_4 |

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Prewitt (k=1)

$$f_x \approx \frac{1}{k+2} [(A_2 + kA_3 + A_4) - (A_0 + kA_7 + A_6)]$$

$$f_y \approx \frac{1}{k+2} [(A_0 + kA_1 + A_2) - (A_6 + kA_5 + A_4)]$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Sobel (k=2)

$$f_x \approx \frac{1}{k+2} [(A_2 + kA_3 + A_4) - (A_0 + kA_7 + A_6)]$$

$$f_y \approx \frac{1}{k+2} [(A_0 + kA_1 + A_2) - (A_6 + kA_5 + A_4)]$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Frei-Chen ($k=2^{1/2}$)

$$f_x \approx \frac{1}{k+2} [(A_2 + kA_3 + A_4) - (A_0 + kA_7 + A_6)]$$

$$f_y \approx \frac{1}{k+2} [(A_0 + kA_1 + A_2) - (A_6 + kA_5 + A_4)]$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

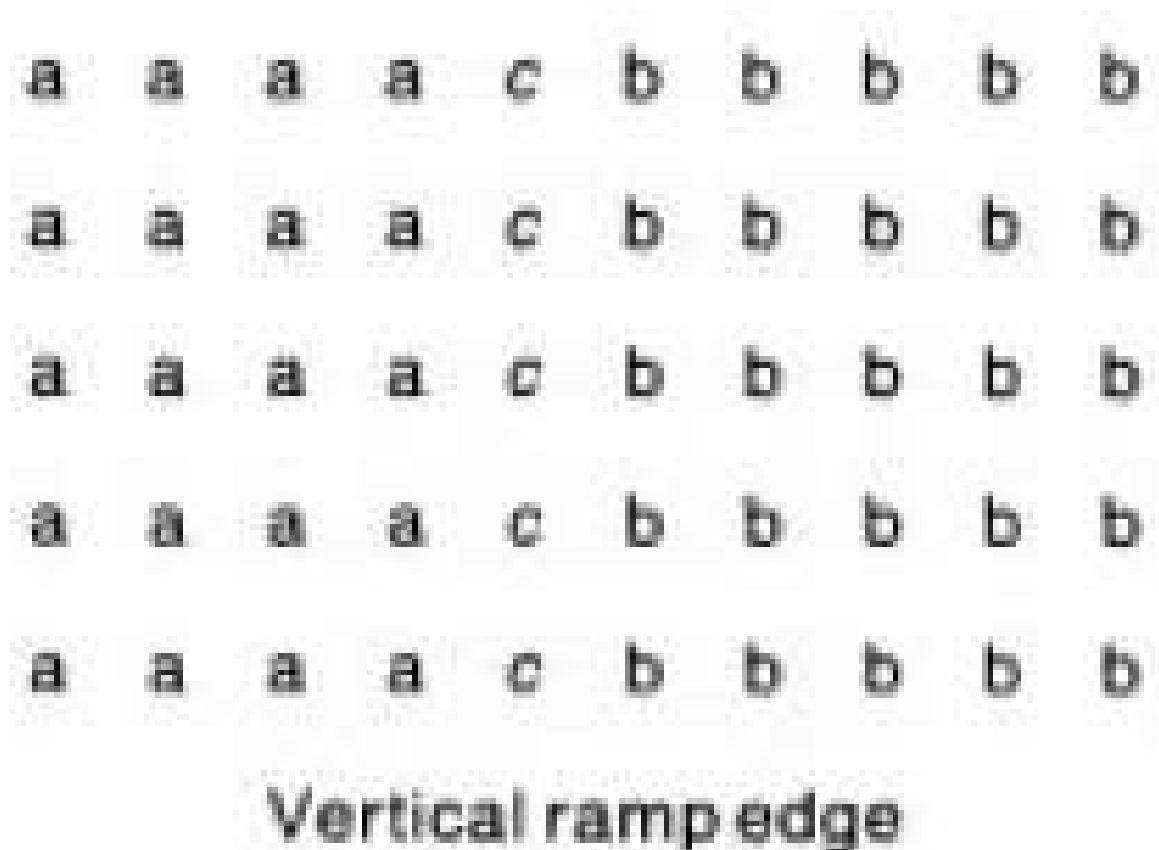
6.1. Toán tử

Prewitt

Sobel

Frei-Chen

$$h = b - a$$



$$0 \quad 0 \quad h/2 \quad h \quad h/2 \quad 0 \quad 0$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Prewitt

Sobel

Frei-Chen

$$h=b-a$$

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | a | c | b | b | b | b | b | b | b |
| a | a | a | c | b | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | c | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | a | c | b | b | b |

Diagonal ramp edge

$$0 \quad \frac{h}{\sqrt{2}(2+k)} \quad \frac{h}{\sqrt{2}} \quad \frac{\sqrt{2}(1+k)h}{(2+k)} \quad \frac{h}{\sqrt{2}} \quad \frac{h}{\sqrt{2}(2+k)} \quad 0$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

$$\text{Frei - Chen : } k = \sqrt{2} \Rightarrow \frac{\sqrt{2}(1+k)h}{(2+k)} = h$$

$$\text{Prewitt : } k = 1 \Rightarrow \frac{\sqrt{2}(2)h}{(3)} = 0.94 \times h$$

$$\text{Sobel : } k = 2 \Rightarrow \frac{\sqrt{2}(3)h}{(4)} = 1.06 \times h$$

$$h = b - a$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

$$(\nabla f)(x, y) = [\partial f / \partial x \quad \partial f / \partial y]^T = [f_x \quad f_y]^T$$

$$e(x, y) = (f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y))^{1/2}$$

$$\phi(x, y) = \arctan(f_x / f_y)$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Phép tích chập (Convolution operator)

$$g = f * h$$

$$g(x, y) = \sum_i \sum_j f(x - i, y - j) \cdot h(i, j),$$

$$(i, j) \in O$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

Xét ảnh f và nhân h

| | -1 | 0 | +1 |
|----|----|---|----|
| -1 | -1 | 0 | 1 |
| 0 | -2 | 0 | 2 |
| +1 | -1 | 0 | 1 |

| | x | | |
|---|----|----|----|
| y | | | |
| | 72 | 53 | 60 |
| | 76 | 56 | 65 |
| | 88 | 78 | 82 |
| | | | |

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient

g được tính tại (x,y)

$$\begin{aligned} g(x, y) = & h(-1,-1)f(x+1, y+1) + h(0,-1)f(x, y+1) + \\ & h(1,-1)f(x-1, y+1) + h(-1,0)f(x+1, y) + \\ & h(0,0)f(x, y) + h(1,0)f(x-1, y) + \\ & h(-1,1)f(x+1, y-1) + h(0,1)f(x, y-1) + \\ & h(1,1)f(x-1, y-1) \end{aligned}$$

$$g(x, y) = 40$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient (Pixel difference)

$$f_x \approx \hat{f}_x = f * W_x$$

$$f_y \approx \hat{f}_y = f * W_y$$

$$W_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient (Separated Pixel difference)

$$f_x \approx \hat{f}_x = f * W_x$$

$$f_y \approx \hat{f}_y = f * W_y$$

$$W_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient (Roberts)

$$f_x \approx \hat{f}_x = f * W_x$$

$$f_y \approx \hat{f}_y = f * W_y$$

$$W_x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad W_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient (Prewitt)

$$f_x \approx \hat{f}_x = f * W_x$$

$$f_y \approx \hat{f}_y = f * W_y$$

$$W_x = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad W_y = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient (Sobel)

$$f_x \approx \hat{f}_x = f * W_x$$

$$f_y \approx \hat{f}_y = f * W_y$$

$$W_x = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad W_y = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.1. Toán tử Gradient (Frei-Chen)

$$f_x \approx \hat{f}_x = f * W_x, f_y \approx \hat{f}_y = f * W_y,$$

$$W_x = \frac{1}{2 + \sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

$$W_y = \frac{1}{2 + \sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

$$(\nabla^2 f)(x, y) = \partial^2 f / \partial x^2 + \partial^2 f / \partial y^2$$

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

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

$$\nabla^2 f \approx f * Laplace$$

$$Laplace = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

$$\nabla^2 f \approx f * Laplace$$

$$Laplace = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | b | b | b | b | b |

Vertical step edge

$$0 \quad -3h/8 \quad 3h/8 \quad 0$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |

Vertical ramp edge

0 -3h/16 0 3h/16 0

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | a | c | b | b | b | b | b | b | b |
| a | a | a | c | b | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | c | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | c | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | a | c | b | b | b |

Diagonal ramp edge

$$0 \quad -h/8 \quad -h/8 \quad 0 \quad h/8 \quad h/8 \quad 0$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.2. Toán tử Laplace

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | a | d | e | b | b | b | b | b | b |
| a | a | a | d | e | b | b | b | b | b |
| a | a | a | a | d | e | b | b | b | b |
| a | a | a | a | a | d | e | b | b | b |
| a | a | a | a | a | a | d | e | b | b |

Diagonal ramp edge

Smoothed transition

0 -h/16 -h/8 -h/16 0 h/16 h/8 h/16 0

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.3. Toán tử Laplace of Gaussian

$$\nabla^2 [G(x, y, \sigma) * f(x, y)] = [\nabla^2 G(x, y, \sigma)] * f(x, y)$$

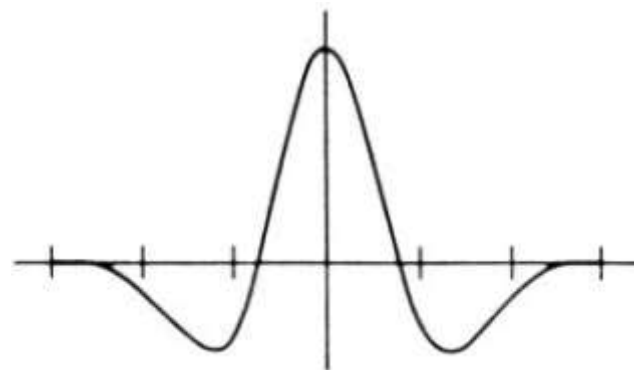
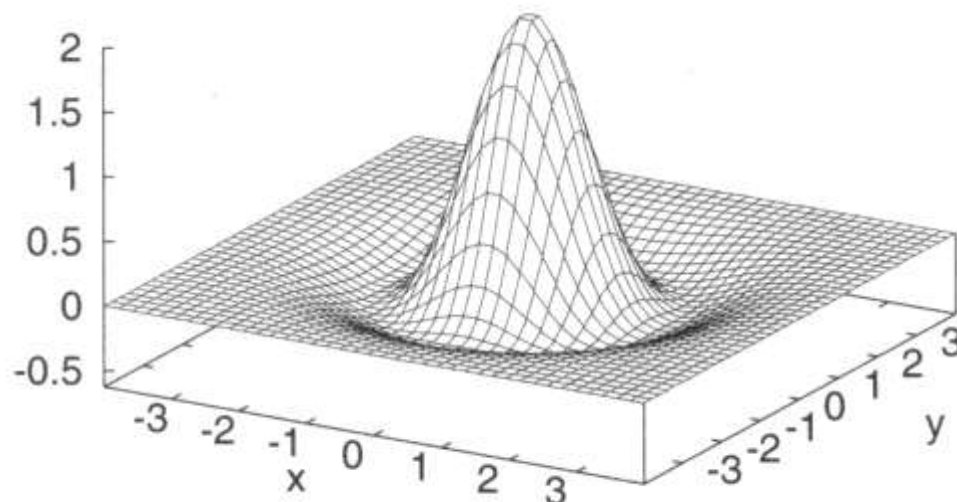
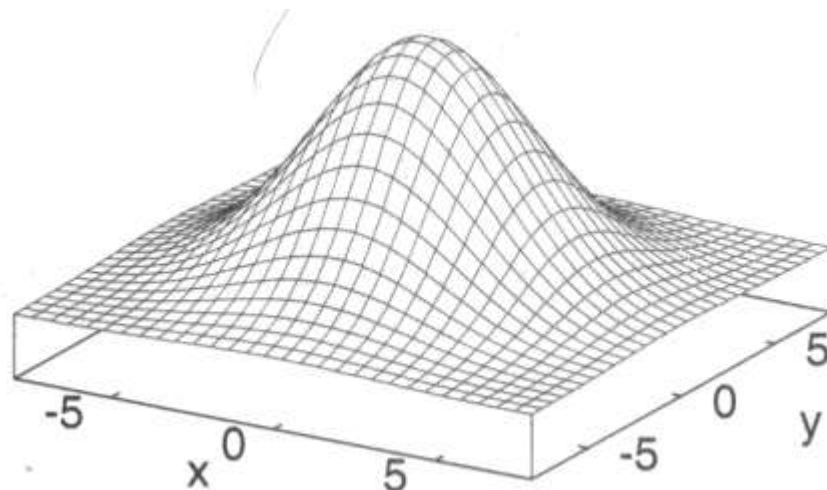
$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

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

$$= \frac{1}{\pi\sigma^4} \left[\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} - 1 \right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.3. Toán tử Laplace of Gaussian



6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.4. PP Canny

Giải thuật

B1. $G(x, y, \sigma) * f(x, y)$

B2. Tại mỗi pixel xác định hướng cạnh $n = \nabla(G * f)$

B3. Xác định vị trí cạnh dựa vào non-maximal suppression.

B4. Tính biên độ cạnh dựa vào $|\nabla(G * f)|$

B5. Phân ngưỡng để loại kết quả dư thừa

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.4. PP Canny

Giải thuật

B6. Lặp lại các bước từ 1-5 với giá trị tăng dần của σ

B7. Kết hợp thông tin về biên cạnh ở các mức scale dựa vào tổng hợp đặc trưng.

Hình 92 70

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.4. PP Canny

(Non-maximal suppression of directional edge data)

B3.1. Với mỗi pixel thuộc biên cạnh, khảo sát 2 pixel kề dc xác định bởi hướng cạnh.

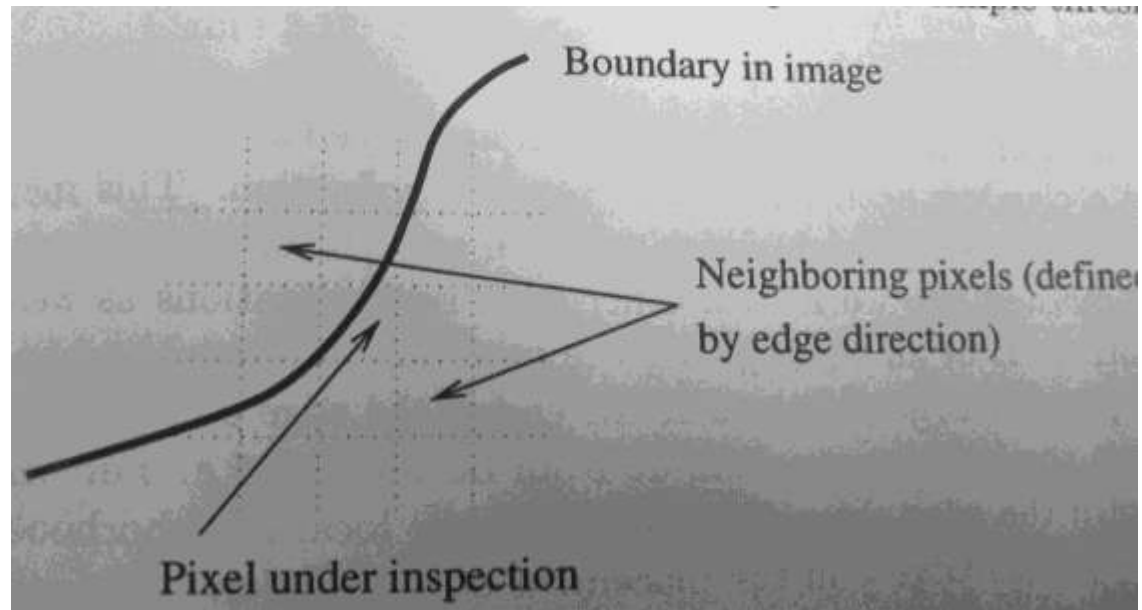
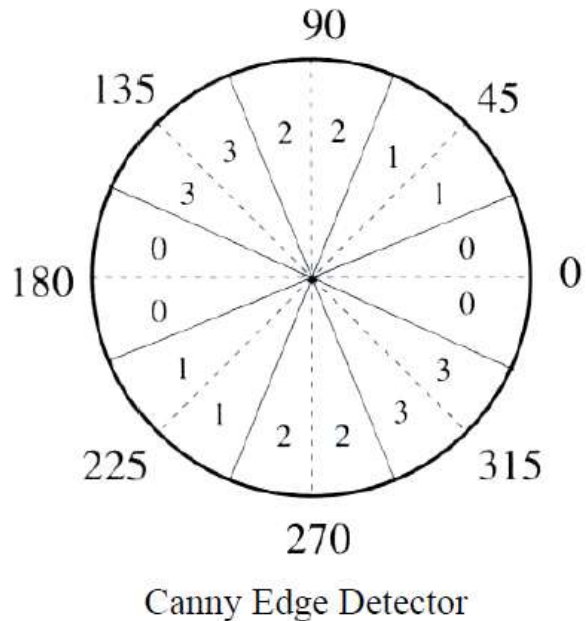
B3.2. Nếu biên độ của 1 trong 2 pixel kề vượt quá pixel đang xét thì đánh dấu loại pixel đang xét.

B3.3. Sau khi đã đánh dấu xong tất cả, tổng duyệt để loại bỏ các điểm bị đánh dấu.

6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.4. PP Canny

(Non-maximal suppression of directional edge data)



6. Phát hiện biên cạnh dựa trên miền không gian

6.4. PP Canny

(Hysteresis to filter output of an edge detector)

B5.1. Kết nạp các điểm biên cạnh có biên độ lớn hơn t_1 .

B5.2. Khảo sát các pixel có biên độ thuộc $[t_0 \ t_1]$

B5.3. Nếu pixel liền kề với pixel khảo sát thuộc biên cạnh thì kết nạp pixel khảo sát vào biên cạnh.

B5.4. Lặp lại bước **B5.2** đến khi ổn định.