

CHƯƠNG 5: Phương pháp phát hiện biên

- Các khái niệm
- Phương pháp phát hiện biên Gradient
- Phương pháp phát hiện biên Laplace
- Phương pháp Canny

5.1. Các khái niệm

- Một điểm ảnh được coi là biên nếu ở đó có sự thay đổi đột ngột về mức xám
- Phát hiện biên: trích xuất đặc trưng mức thấp



a) Ảnh gốc



b) Ảnh biên

5.1. Các khái niệm

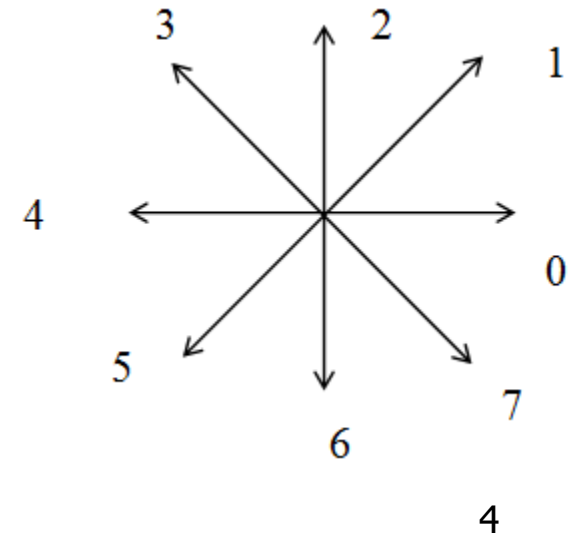
- Để phát hiện vị trí cạnh, một phép biến đổi vi phân bậc nhất được thực hiện để làm nổi bật sự thay đổi ngược nhau qua giá trị đạo hàm bậc nhất, bậc hai để tìm cực trị
- Liên quan đến các bài toán phân loại và nhận dạng các đối tượng có trong ảnh
- Các phương pháp phát hiện đường biên cơ bản liên quan đến các kỹ thuật lọc ảnh, sử dụng các bộ lọc ảnh

5.1. Các khái niệm

- P_0, P_2, P_4, P_6 là các 4 láng giềng của P
- P_0, P_1, \dots, P_7 là các 8 láng giềng của P
- $N_4(I(i,j)) = \{I(i-1, j), I(i+1, j), I(i, j-1), I(i, j+1)\}$

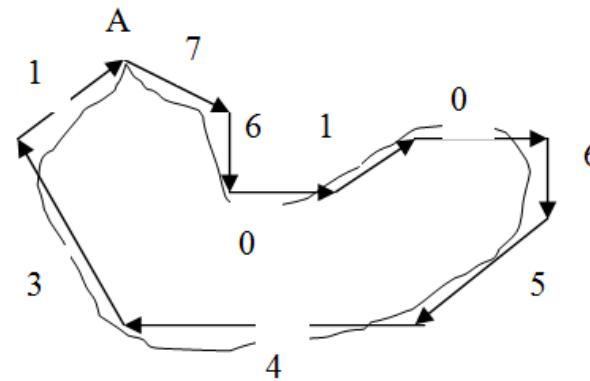
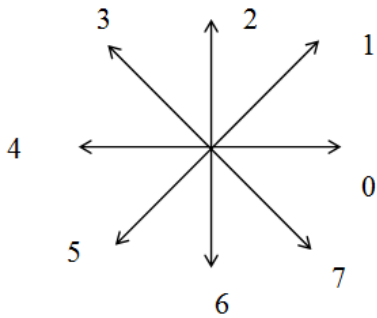
$$N_8 = N_4 \cup \{I(i+1, j-1), I(i-1, j-1), I(i-1, j+1), I(i+1, j+1)\}$$

P3	P2	P1
P4	P	P0
P5	P6	P7



5.1. Các khái niệm

- Chain Code (Mã xích)
 - Các vectơ giữa các điểm biên liên tiếp được mã hoá, sử dụng 8 hướng (từ 0-7), mỗi hướng được mã hoá bởi 3 bit. Mã xích chứa điểm bắt đầu theo sau bởi chuỗi các từ mã.



A 111 110 000 001 000 110 101 100 011 001

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

$$\text{gradient}(f(x, y)) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j}$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y}$$

- Trong đó Δx , Δy là khoảng cách (tính bằng số điểm) theo hướng x và y.

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

- Lấy $\Delta x = \Delta y = 1$ hoặc $\Delta x = \Delta y = -1$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx f(x+1, y) - f(x, y) \approx f(x, y) - f(x-1, y)$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx f(x, y+1) - f(x, y) \approx f(x, y) - f(x, y-1)$$

- Mặt nạ nhân chập theo hướng x là
- Và hướng y là

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

- Hướng cực đại của nó:

$$\varphi = \arctg \left[\frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\frac{\partial f}{\partial x}} \right]$$

- Độ lớn cực đại của vecto gradient

$$\sqrt{\left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)^2}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

- $|f_x + f_y|$
- hoặc $\max(|f_x|, |f_y|)$
- Cho trước ngưỡng θ nếu $|\text{gradientf}(x,y)| \geq \theta$
thì (x, y) là điểm biên
- Việc lấy đạo hàm một tín hiệu có xu hướng làm tăng nhiễu trong tín hiệu đó. Độ nhạy cảm này có thể làm giảm xuống nhờ thao tác lấy trung bình cục bộ

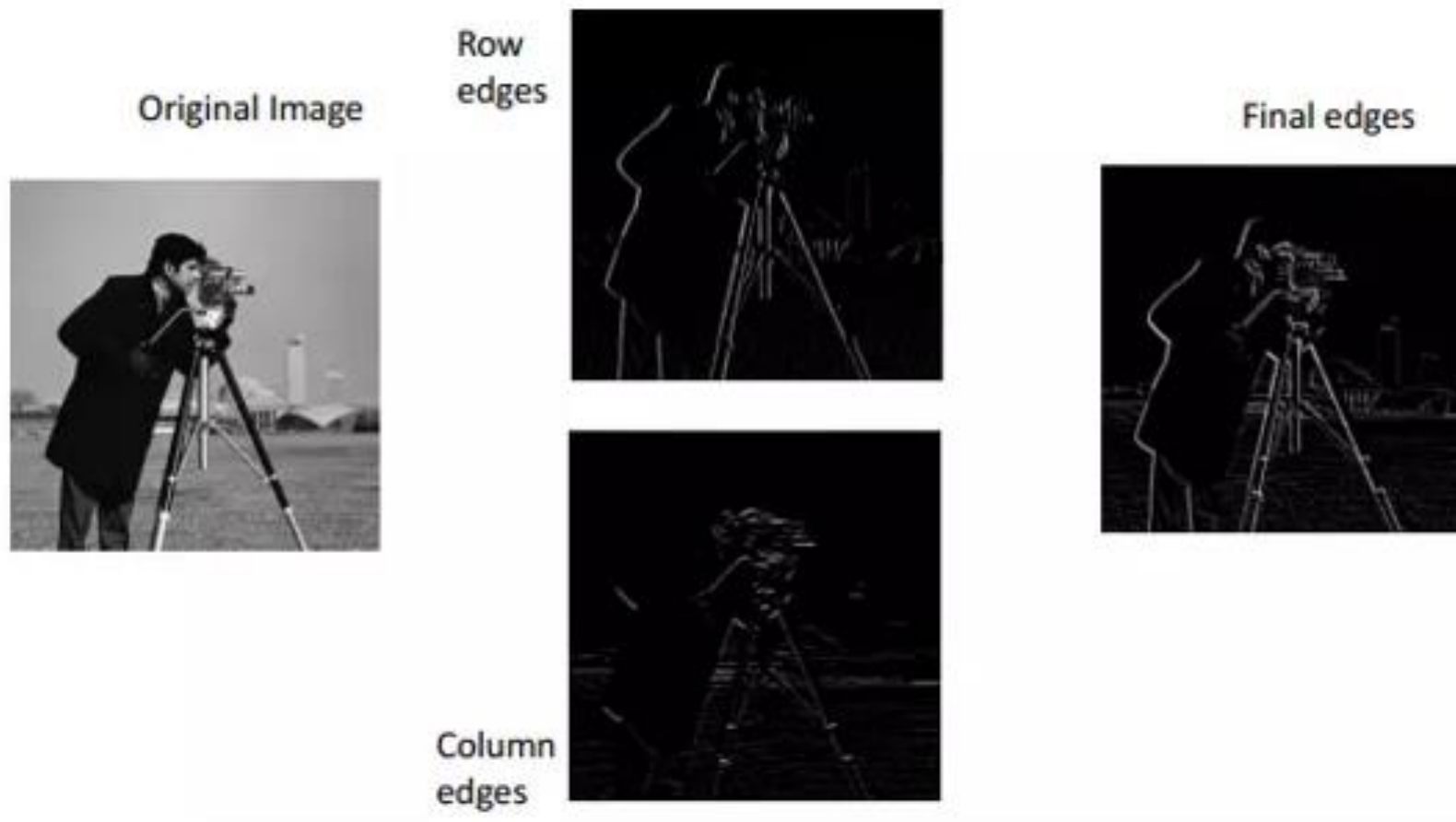
5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

- Kỹ thuật Prewitt

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad H_y = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

- Bước 1: Tính $I \otimes H_x$ và $I \otimes H_y$
- Bước 2: Tính $I \otimes H_x + I \otimes H_y$
- Bước 3: Một ngưỡng được sử dụng để lọc trích chọn cạnh của đối tượng

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient



5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

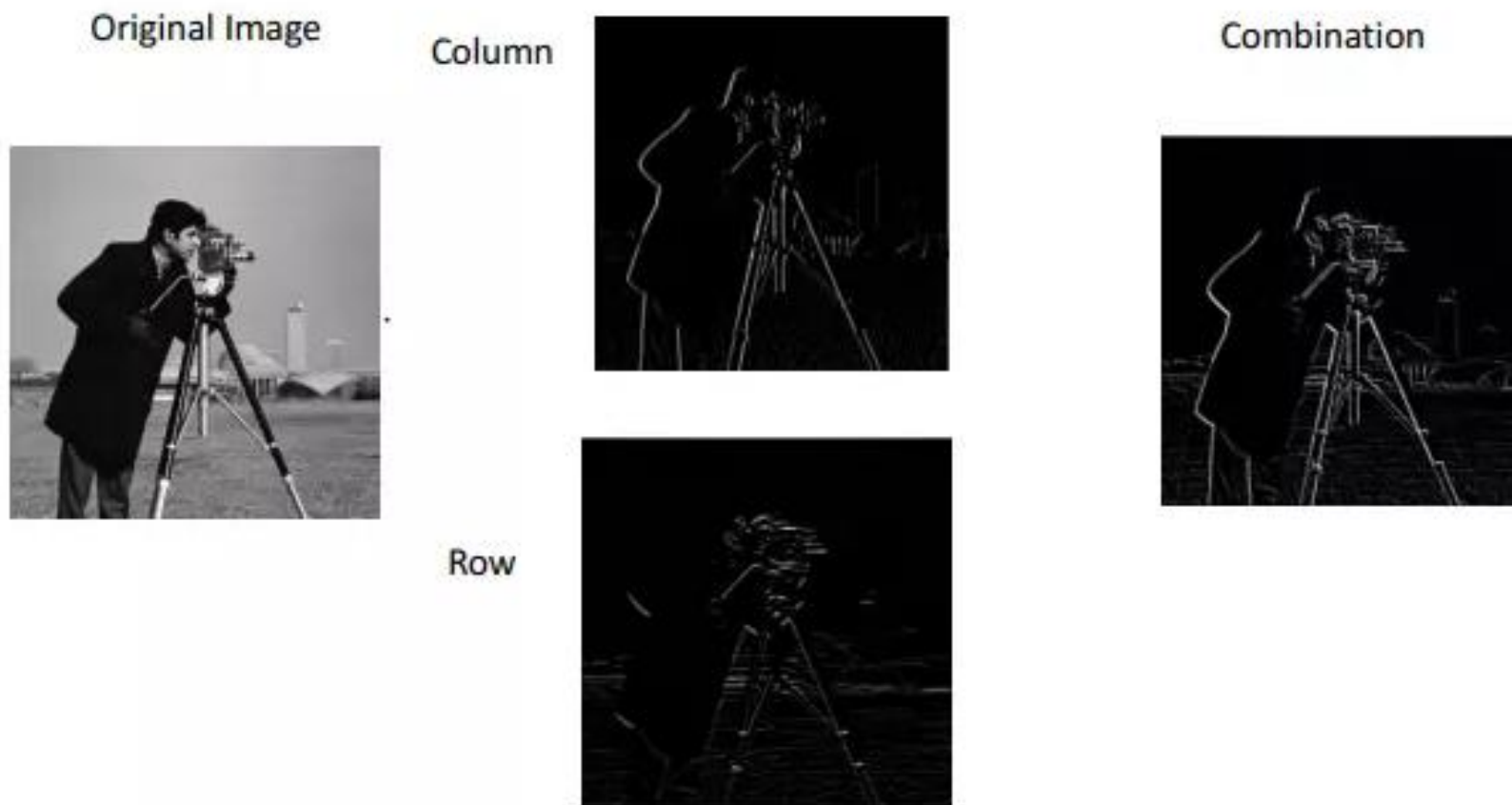
- Kỹ thuật Sobel

$$S_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad S_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

- Bước 1: $I \otimes S_x, I \otimes S_y$
- Bước 2: $|I \otimes S_x(x, y)| + |I \otimes S_y(x, y)| \quad \forall \quad x, y$
- Bước 3: Tách ngưỡng theo θ

$$I'(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } |I \otimes S_x(x, y)| + |I \otimes S_y(x, y)| \geq \theta \\ 0 & \text{nếu ngược lại} \end{cases}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient



5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

- Cho ảnh I, ngưỡng $\theta = 34$. Thực hiện tách ngưỡng theo kỹ thuật Sobel

$$\begin{matrix} & & & & I & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 7 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 7 & 6 & 5 & 4 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 6 & 5 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 6 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 \end{pmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

$$I \otimes S_x$$

$$\begin{pmatrix} 19 & 2 & -6 & -6 & -6 & -6 & -7 \\ 20 & 17 & 0 & -8 & -8 & -8 & -12 \\ 7 & 20 & 17 & 0 & -8 & -8 & -16 \\ 0 & 7 & 20 & 17 & 0 & -8 & -20 \\ 0 & 0 & 7 & 20 & 17 & 0 & -24 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 20 & 17 & -20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 20 & -7 \end{pmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

$$I \otimes S_y$$

$$\begin{pmatrix} -7 & -20 & -24 & -20 & -16 & -12 & -7 \\ 20 & 17 & 0 & -8 & -8 & -8 & -6 \\ 7 & 20 & 17 & 0 & -8 & -8 & -6 \\ 0 & 7 & 20 & 17 & 0 & -8 & -6 \\ 0 & 0 & 7 & 20 & 17 & 0 & -6 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 20 & 17 & -6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 20 & 19 \end{pmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

$$|I \otimes S_x| + |I \otimes S_y|$$

$$\theta = 34$$

$$\begin{pmatrix} 26 & 22 & 30 & 26 & 22 & 18 & 14 \\ 40 & 34 & 0 & 16 & 16 & 16 & 18 \\ 14 & 40 & 34 & 0 & 16 & 16 & 22 \\ 0 & 14 & 40 & 34 & 0 & 16 & 26 \\ 0 & 0 & 14 & 40 & 34 & 0 & 30 \\ 0 & 0 & 0 & 14 & 40 & 34 & 26 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 14 & 40 & 26 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

Tách ngưỡng Sobel ảnh sau với ngưỡng bằng 14

4	3	2	1	6
8	9	3	2	4
5	3	4	6	8
7	4	5	2	1
6	5	0	4	2

$$S_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad S_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

Toán tử Frie-Chen

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

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



a) Ảnh gốc



b) Ảnh biên

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

Toán tử Boxcar



a) Ảnh gốc



b) Ảnh biên

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

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

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

Toán tử Truncated Pyramid



a) Ảnh gốc



b) Ảnh biên

$$H_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & -2 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & -3 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & -3 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & -3 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & -2 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & -3 & -3 & -3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

- Kỹ thuật la bàn
 - Cho T là mẫu
 - Đặt $T_0 = T$, T_i nhận được từ T bằng cách quay góc $i * \pi/4$
- $A(x, y) = \max \{ | I \otimes T_i(x, y) | \mid i=0,1,2,\dots,7 \}$

5.2. Phương pháp phát hiện biên Gradient

Toán tử Kirsh

$$\begin{aligned}
 H_0 = \begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix}; H_1 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}; H_2 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}; H_3 = \begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}; \\
 H_4 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix}; H_5 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix}; H_6 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix}; H_7 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{pmatrix};
 \end{aligned}$$

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

- Khi mức xám thay đổi chậm, miền chuyển tiếp trải rộng, phương pháp cho hiệu quả hơn đó là phương pháp sử dụng đạo hàm bậc hai mà ta gọi là phương pháp Laplace.

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

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

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \approx \frac{\partial}{\partial x} (f(x+1, y) - f(x, y))$$

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

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

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) \approx \frac{\partial}{\partial y} (f(x, y+1) - f(x, y)) \\ &\approx [f(x, y+1) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x, y-1)] \\ &\approx f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1)\end{aligned}$$

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

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

$$L = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Cho ngưỡng θ

$$I'(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } |I \otimes L(x, y)| \geq \theta \\ 0 & \text{nếu ngược lại} \end{cases}$$

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

$$L2 = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} L3 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

- Cho ảnh I, ngưỡng $\theta=14$

I

$$\begin{pmatrix} 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 5 & 4 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 5 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{pmatrix}$$

$$L = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

$I \otimes L$

$$\begin{pmatrix} 19 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 & -2 \\ -12 & 14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -12 & 14 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -12 & 14 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & -12 & 14 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -12 & 14 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -12 & 19 \end{pmatrix}$$

$\theta=14$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace



Original Image



Laplacian
(original kernel)

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

- Nhận xét
 - Rất nhạy cảm với nhiễu
 - Cho đường biên mảnh
 - Đối với ảnh nhiễu cho kết quả xấu

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

Tách ngưỡng Laplace ảnh sau với ngưỡng bằng 14

4	3	2	1	6
8	9	3	2	4
5	3	4	6	8
7	4	5	2	1
6	5	0	4	2

5.3. Phương pháp phát hiện biên Laplace

	5	-3	1	-6	19			0	0	0	0	1
	14	19	-5	-6	0			1	1	0	0	0
I*L												
=	2	-10	-1	8	21	I'	=	0	0	0	0	1
	13	-4	10	-8	-8			0	0	0	0	0
	12	10	-14	12	3			0	0	0	0	0

5.4. Phương pháp Canny

- Đây là một thuật toán tương đối tốt, có khả năng đưa ra đường biên mảnh, và phát hiện chính xác điểm biên với điểm nhiễu.
- Phương pháp Canny được đề xuất năm 1986 bởi John Canny.
- Ngày nay Canny được dùng khá phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau của thị giác máy tính.

5.4. Phương pháp Canny



5.4. Phương pháp Canny

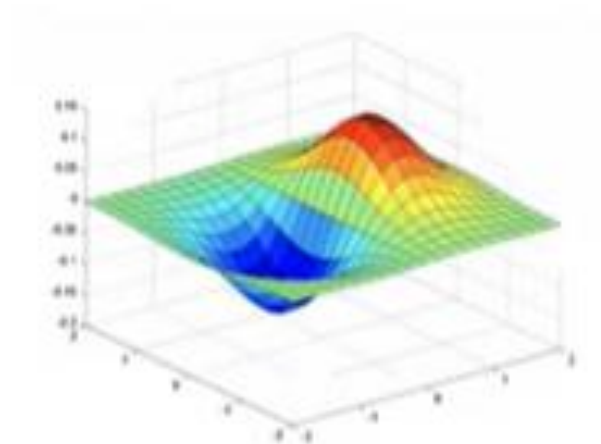
+ **Bước 1**: Làm trơn ảnh

- Sử dụng bộ lọc Gaussian H để làm trơn ảnh nhằm khử nhiễu và tác động của nhiễu
- Gọi G là kết quả lọc nhiễu: $G = I \otimes H$
- Ví dụ mặt nạ Gaussian được xấp xỉ theo phân phối với độ lệch chuẩn $\sigma=1.4$, kích thước 5×5

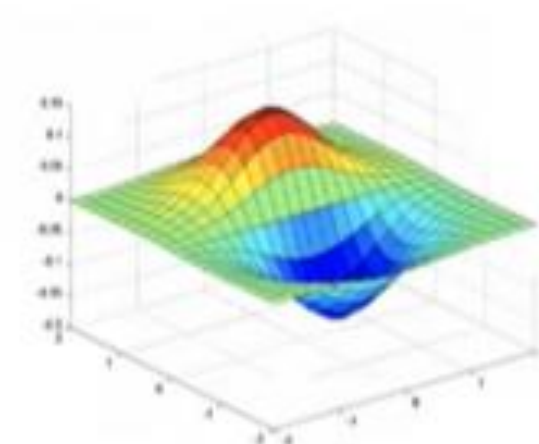
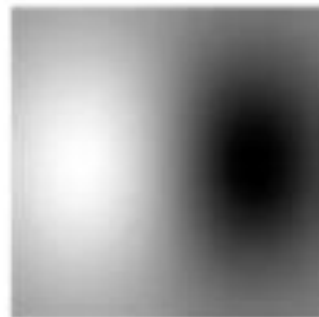
$$H = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

5.4. Phương pháp Canny

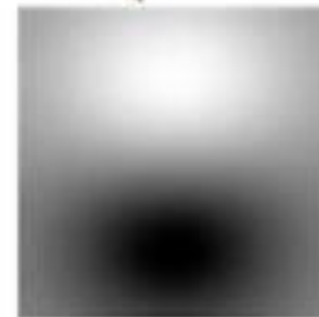
Derivative of Gaussian filter



x-direction



y-direction

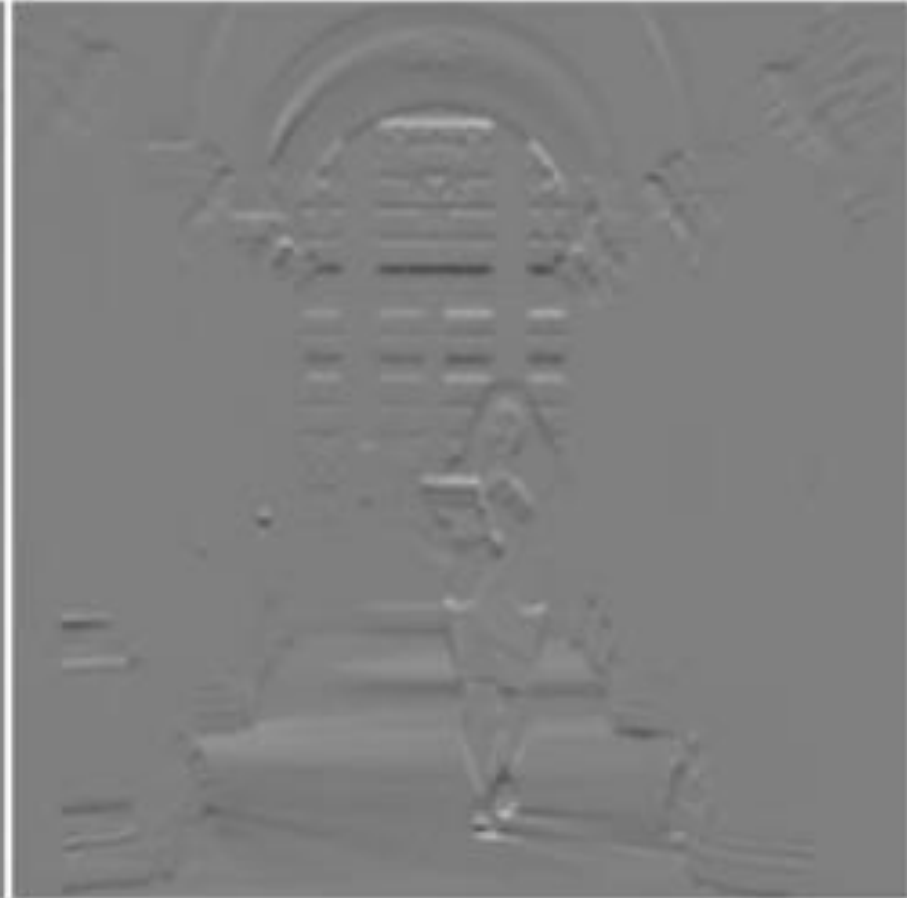


5.4. Phương pháp Canny

X Derivative of Gaussian



Y Derivative of Gaussian



(x2 + 0.5 for visualization)

5.4. Phương pháp Canny

- **Bước 2:** Tính gradient ảnh dựa vào cường độ sáng điểm ảnh
- Nhân chập với hai toán tử Sobel theo 2 hướng dọc (trục tung) và hướng ngang

$$G_x = G \otimes H_x, G_y = G \otimes H_y$$

- Độ lớn gradient: $G_M = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$
- Hướng gradient: $G_0 = \arctan(G_y/G_x)$

5.4. Phương pháp Canny

$\text{sqrt}(\text{XDerivOfGaussian}.^2 + \text{YDerivOfGaussian}.^2)$ = gradient magnitude



(x4 for visualization)

5.4. Phương pháp Canny

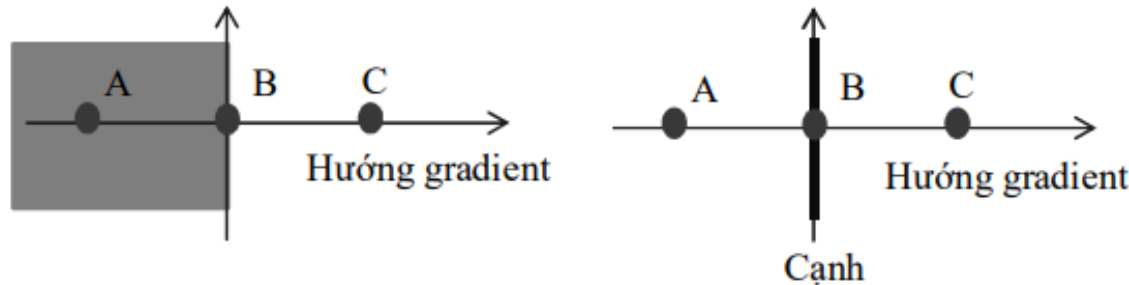
Compute Gradient Orientation

- Threshold magnitude at minimum level
- Get orientation via $\theta = \text{atan2}(g_y, g_x)$



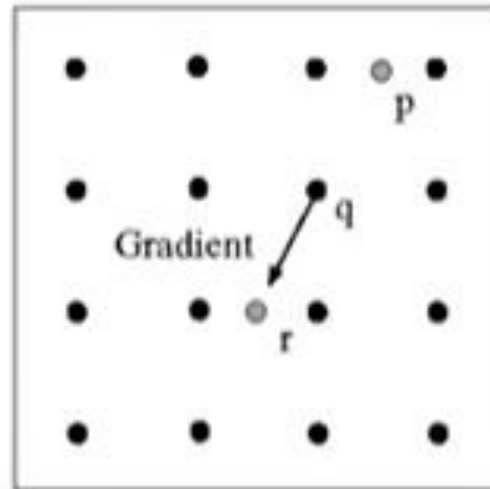
5.4. Phương pháp Canny

- **Bước 3:** Thực hiện loại bỏ các điểm không cực đại (non-maximum suppression) nhằm khử những giá trị thuộc cạnh giả tạo hoặc thuộc cạnh nhưng không bền vững
- Một điểm được đánh dấu lại nếu có giá trị cực đại cục bộ trong vùng láng giềng của nó theo hướng gradient hiện hành



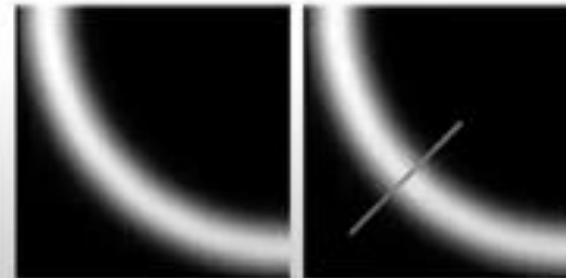
- Kết quả của bước này cho kết quả là một ảnh (ma trận) nhị phân với các điểm ảnh thuộc cạnh đã “làm mỏng”

Non-maximum suppression for each orientation

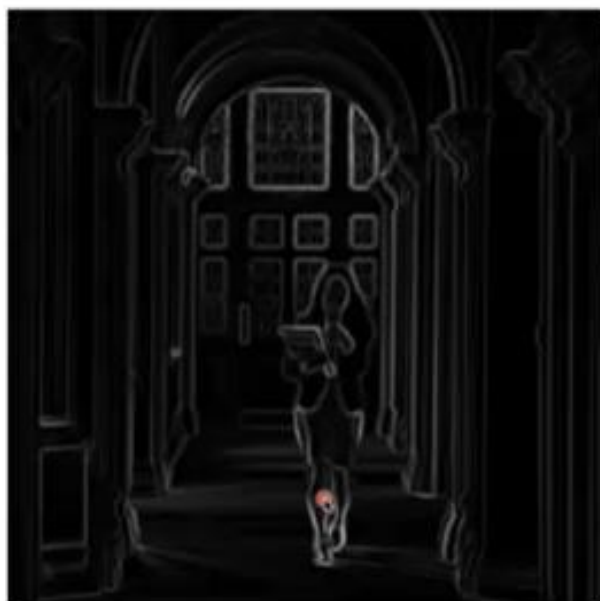


At pixel q:
We have a maximum if the
value is larger than those at
both p and at r.

Interpolate along gradient
direction to get these values.



Before Non-max Suppression



Gradient magnitude (x4 for visualization)



After non-max suppression



Gradient magnitude (x4 for visualization)

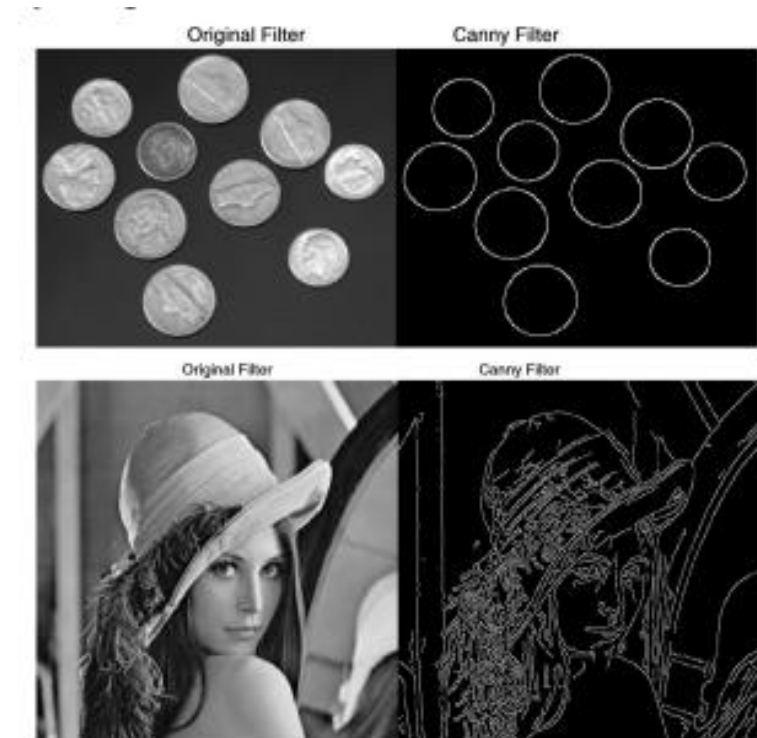


5.4. Phương pháp Canny

- **Bước 4:** Sử dụng ngưỡng kép để phát hiện các đường biên tiềm năng
- Dùng hai ngưỡng t_1 , t_2 ($t_1 < t_2$) để lọc ra những điểm ảnh thuộc cạnh hoặc không
- Tại những vị trí có giá trị gradient lớn hơn t_2 thì được xem như chắc chắn điểm thuộc cạnh
- Những điểm thuộc miền giữa t_1 và t_2 thì nó không chắc chắn thuộc cạnh điểm có tiềm năng
- Những điểm còn lại có giá trị bé hơn t_1 thì không thuộc cạnh và được loại trực tiếp

5.4. Phương pháp Canny

- **Bước 5:** Liên kết điểm tiềm năng với các điểm thuộc cạnh
- Nếu điểm tiềm năng là lân cận của điểm đã được xác định thuộc cạnh (ở bước 4) thì điểm này cũng được đánh dấu là điểm thuộc cạnh



Final Canny Edges

$$\sigma = \sqrt{2}, t_{low} = 0.05, t_{high} = 0.1$$



Effect of σ (Gaussian kernel spread/size)



Original



$\sigma = \sqrt{2}$

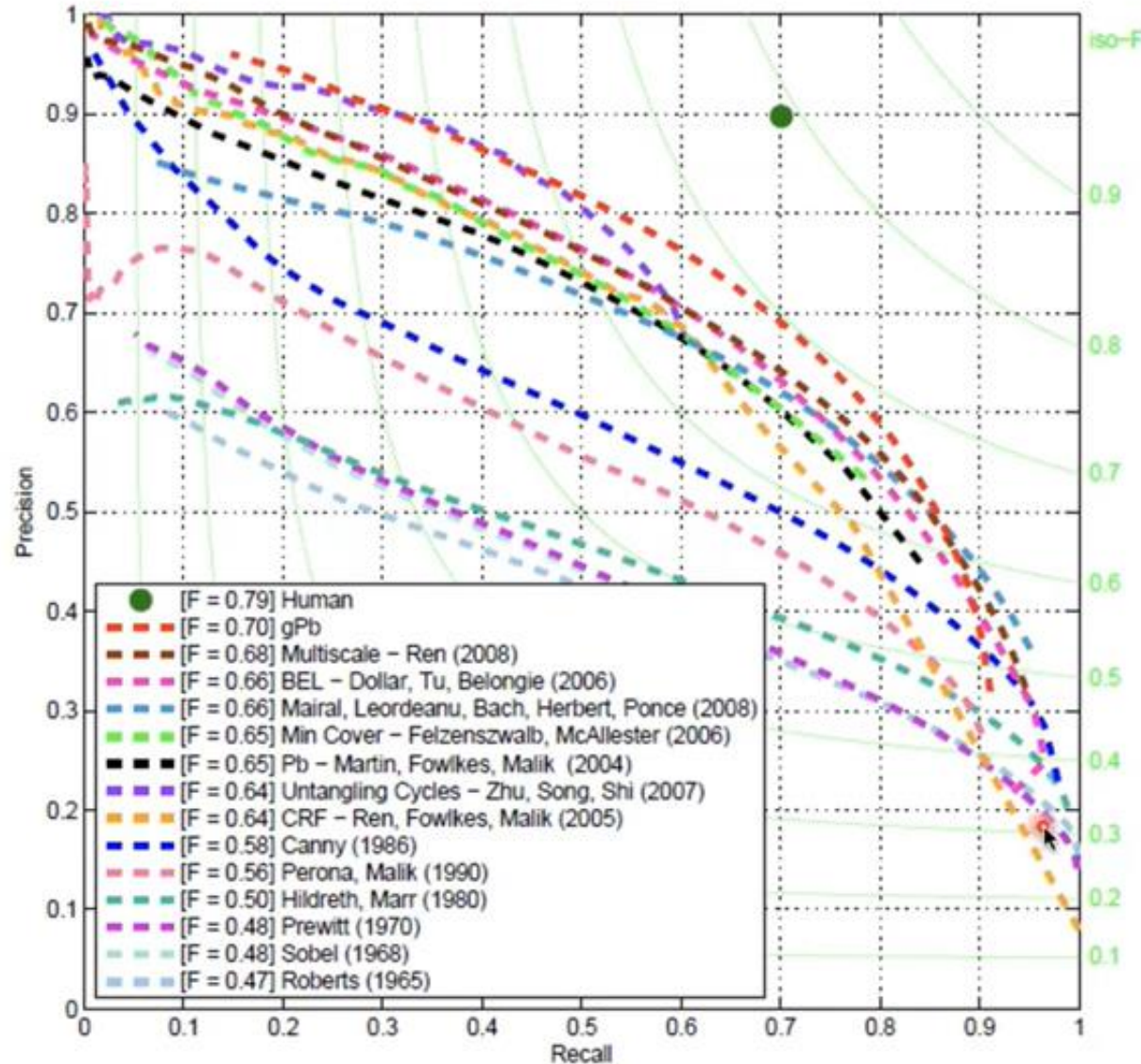


$\sigma = 4\sqrt{2}$

The choice of σ depends on desired behavior

- large σ detects large scale edges
- small σ detects fine features

45 years of boundary detection



Source: Arbelaez, Maire, Fowlkes, and Malik. TPAMI 2011 (pdf)

5.5- Phát hiện biên gián tiếp

Một số khái niệm cơ bản

- Ở đây ta chỉ xét tới ảnh nhị phân vì ảnh bất kỳ có thể đưa về dạng nhị phân bằng kỹ thuật phân ngưỡng. Ta ký hiệu \mathfrak{S} là tập các điểm vùng (điểm đen) và \mathfrak{S}' là tập các điểm nền (điểm trắng).

5.5- Phát hiện biên gián tiếp

- 8- Liên thông (4- liên thông)
 - Hai điểm $P_s, P_e \in E, E \subseteq \mathfrak{S}$ hoặc \mathfrak{S}' được gọi là 8-liên thông (hoặc 4-liên thông) trong E nếu tồn tại tập các điểm được gọi là **đường đi** $(i_0, j_0) \dots (i_n, j_n)$ sao cho $(i_0, j_0) = P_s, (i_n, j_n) = P_e, (i_r, j_r) \in E$ và (i_r, j_r) là 8-láng giềng (hoặc 4-láng giềng tương ứng) của (i_{r-1}, j_{r-1}) với $r = 1, 2, \dots, n$

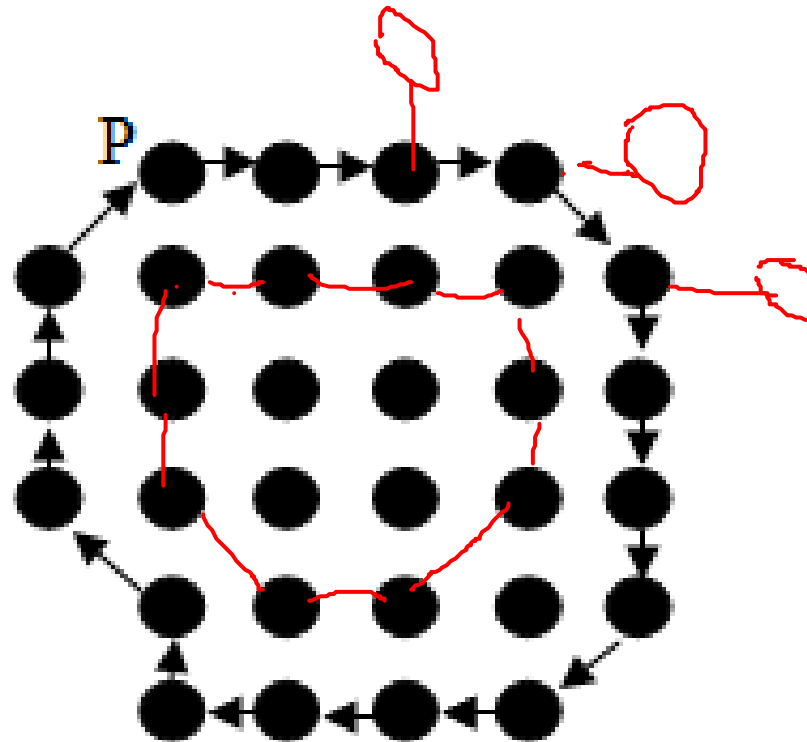
5.5- Phát hiện biên gián tiếp

- Quan hệ ***k-liên thông trong E*** ($k=4,8$) là một quan hệ phản xạ, đối xứng và bắc cầu. Bởi vậy đó là một quan hệ tương đương. Mỗi lớp tương đương được gọi là một thành phần k -liên thông của ảnh. Về sau ta sẽ gọi mỗi thành phần k -liên thông của ảnh là một đối tượng ảnh.

5.5- Phát hiện biên gián tiếp

- Chu tuyến của một đối tượng ảnh
 - Chu tuyến của một đối tượng ảnh là dãy các điểm của đối tượng ảnh P_1, \dots, P_n sao cho P_i và P_{i+1} là các 8-láng giềng của nhau ($i=1, \dots, n-1$) và P_1 là 8-láng giềng của P_n , $\forall i \exists Q$ không thuộc đối tượng ảnh và Q là 4-láng giềng của P_i (hay nói cách khác $\forall i$ thì P_i là biên 4). Kí hiệu $\langle P_1 P_2 \dots P_n \rangle$.

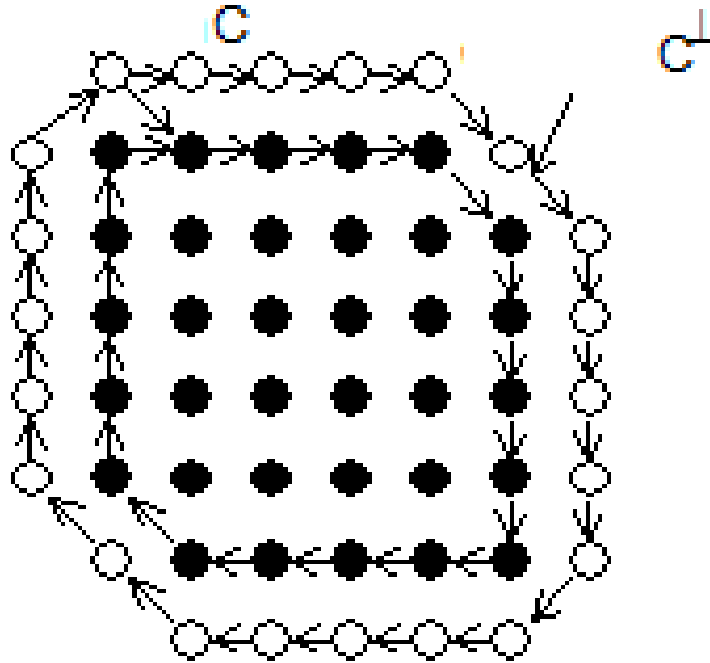
5.5- Phát hiện biên gián tiếp



5.5- Phát hiện biên gián tiếp

- **Định nghĩa 2 [Chu tuyến đối ngẫu]**
 - Hai chu tuyến $C = \langle P_1 P_2 \dots P_n \rangle$ và $C^\perp = \langle Q_1 Q_2 \dots Q_m \rangle$ được gọi là đối ngẫu của nhau nếu và chỉ nếu $\forall i \exists j$ sao cho:
 - P_i và Q_j là 4-láng giềng của nhau.
 - Các điểm P_i là vùng thì Q_j là nền và ngược lại.

3.2- Phát hiện biên gián tiếp

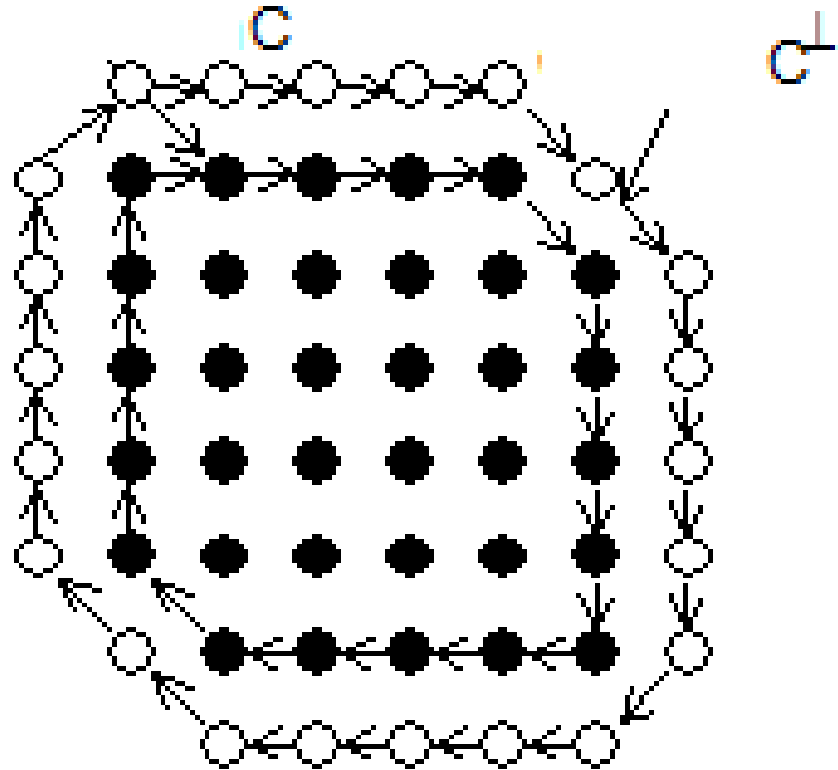


Định nghĩa 3 [Chu tuyến ngoài]

- Chu tuyến C được gọi là chu tuyến ngoài nếu và chỉ nếu
- Chu tuyến đối ngẫu C^\perp là chu tuyến của các điểm nền
- Độ dài của C nhỏ hơn độ dài C^\perp



5.5 Phát hiện biên gián tiếp

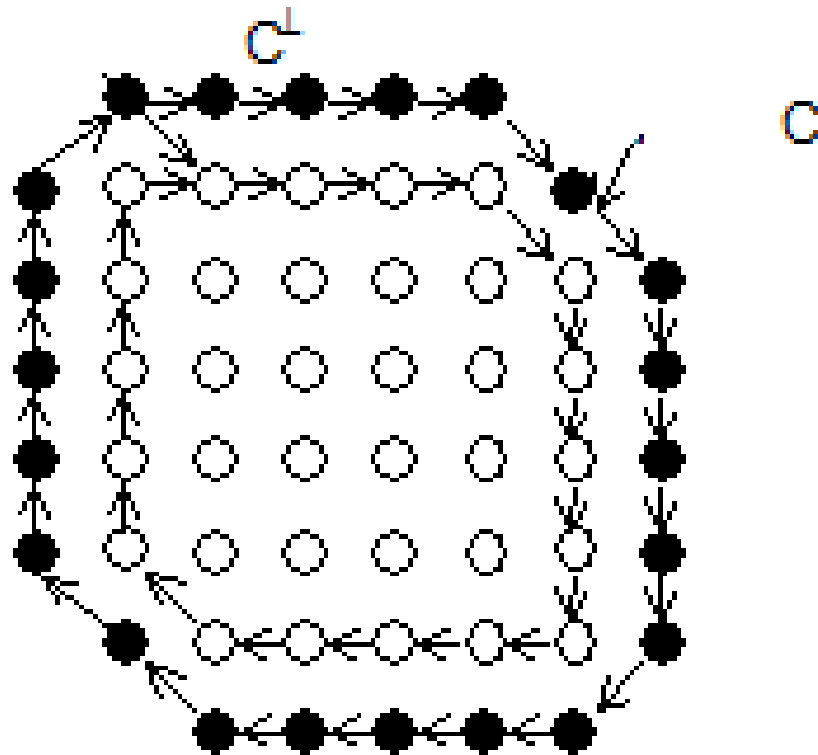


5.5 Phát hiện biên gián tiếp

- **Định nghĩa 4 [Chu tuyến trong]**
 - Chu tuyến C được gọi là chu tuyến trong nếu và chỉ nếu:
 - Chu tuyến đối ngẫu C^\perp là chu tuyến của các điểm nền
 - Độ dài của C lớn hơn độ dài C^\perp



5.5 Phát hiện biên gián tiếp



5.5 Phát hiện biên gián tiếp

- Một đối tượng có duy nhất một chu tuyến ngoài, có thể có nhiều chu tuyến trong

5.5 Phát hiện biên gián tiếp

- Thuật toán dò biên tổng quát
 - Xác định điểm biên xuất phát
 - Dự báo và xác định điểm biên tiếp theo
 - Lặp bước 2 cho đến khi gặp điểm xuất phát