

XỬ LÝ ẢNH
(*Image Processing*)

Bài 6: PHÁT HIỆN BIÊN
(Edge detection)

Nội dung

- Vai trò của biên và cách tiếp cận chung
- Phát hiện biên
 - Bộ lọc đạo hàm bậc 1
 - Bộ lọc Robert Cross Gradient
 - Bộ lọc Sobel
 - Bộ lọc Prewitt
 - Bộ lọc đạo hàm bậc 2
 - Bộ lọc Laplacian

Biên là gì (edge/contour) ?

- Nơi có sự thay đổi cường độ sáng trong ảnh
- Thường xảy ra ở ranh giới giữa các vùng khác nhau trong ảnh
- Biên có thể tạo ra bởi nhiều lý do:

Depth



Surface
orientation

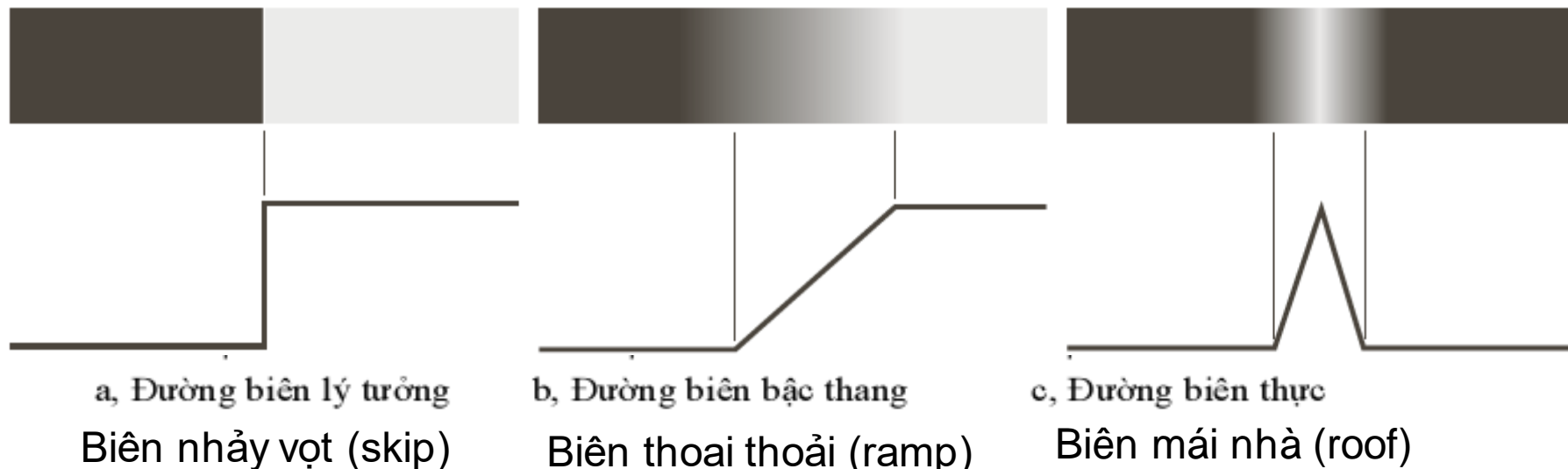
Surface colours

reflectance

illumination

Biên là gì?

- **Điểm biên**: Một điểm ảnh được coi là điểm biên nếu có sự thay đổi nhanh hoặc đột ngột về mức xám.
- **Biên ảnh** (edge): Là tập hợp các pixel biên liên tiếp.
- **Mục đích của lọc sắc nét**: làm nổi bật các chi tiết trong ảnh, tức là làm nổi các biên ảnh.
- Do vậy, lọc sắc nét cũng là kỹ thuật làm nổi biên ảnh, xác định sự thay đổi mức xám các pixel trong ảnh.

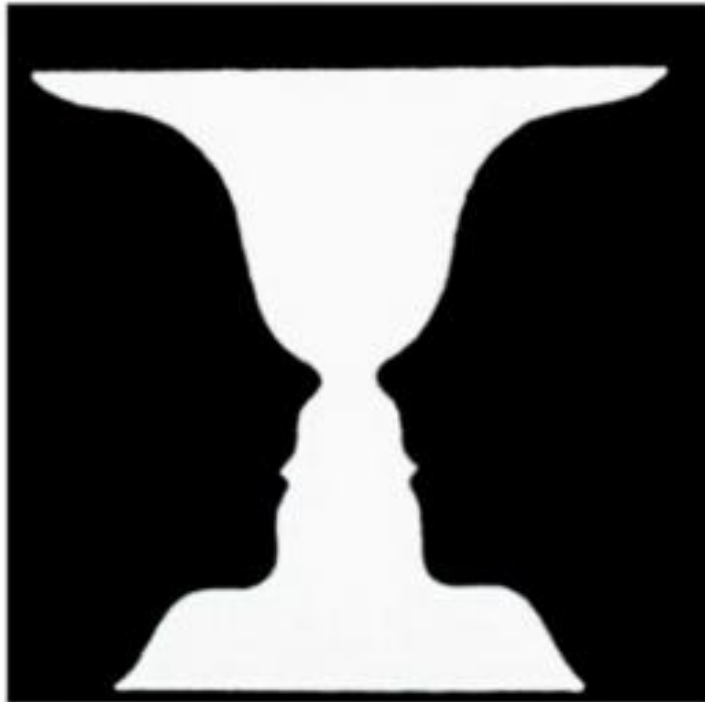


Biên là gì?

0	0	0	33
0	0	45	78
0	45	23	33
0	0	42	76
0	0	0	38

Vai trò của biên

- What do you see ?



Vai trò của biên

- (A) Cave painting at Chauvet, France, about 30,000 B.C.;
- (B) Aerial photograph of the picture of a monkey as part of the Nazca Lines geoglyphs, Peru, about 700 – 200 B.C.;
- (C) Shen Zhou (1427-1509 A.D.): Poet on a mountain top, ink on paper, China;
- (D) Line drawing by 7-year old I. Lleras (2010 A.D.).



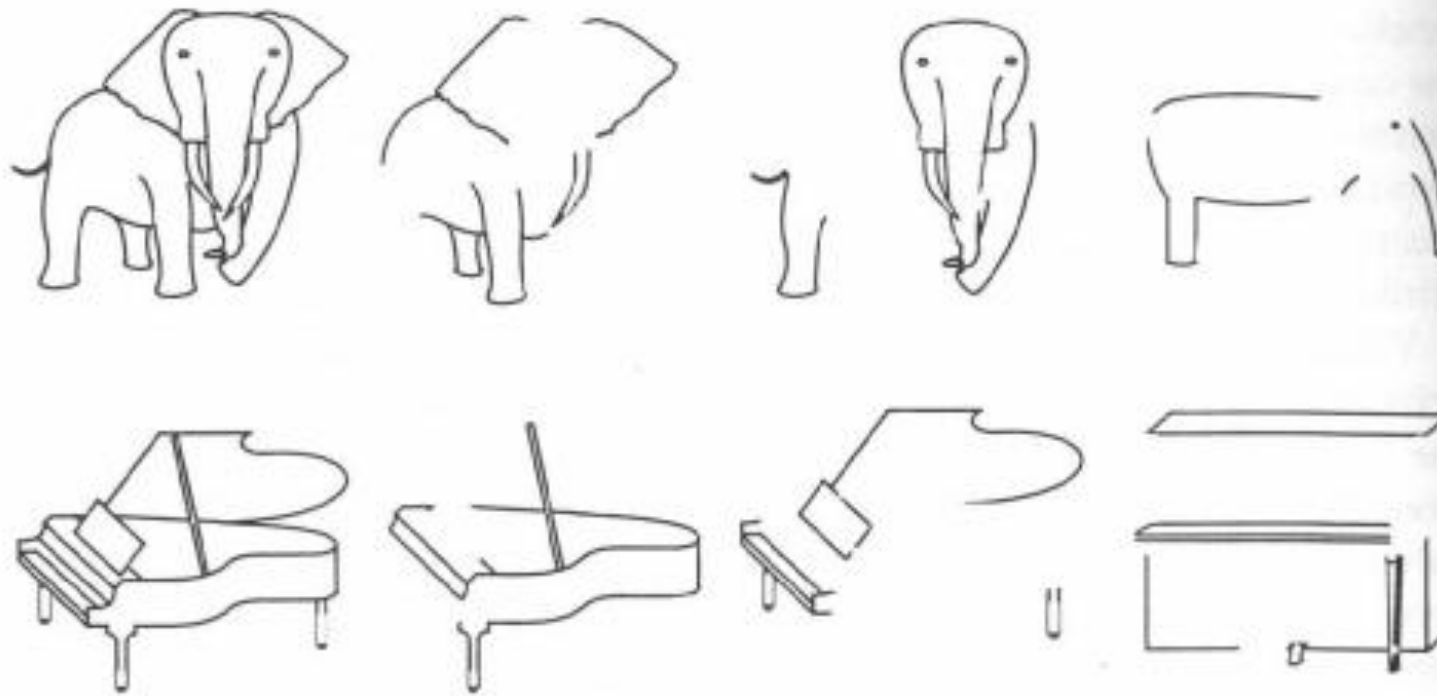
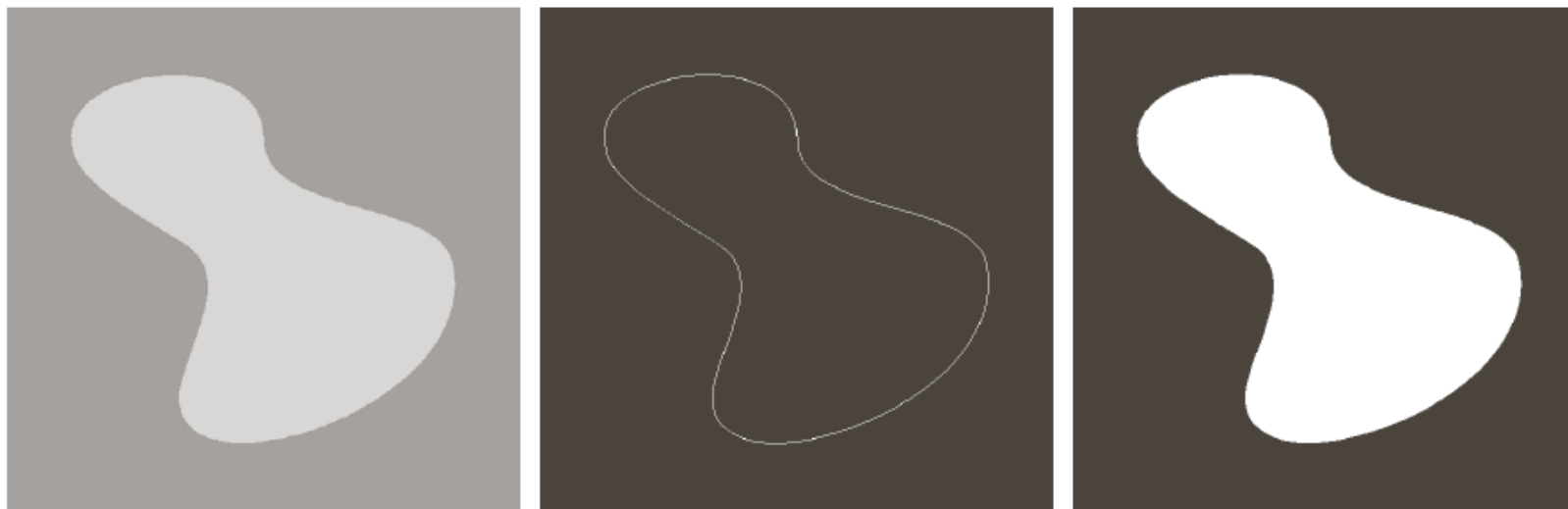


Figure 4.14

Complementary-part images. From an original intact image (left column), two complemen-

Can we recognize these objects?

- Ý nghĩa của bài toán phát hiện biên:
 - Đường biên là một loại **đặc trưng cục bộ** tiêu biểu trong **phân tích, nhận dạng ảnh**.
 - Đường biên giúp phân đoạn các vùng trong ảnh.



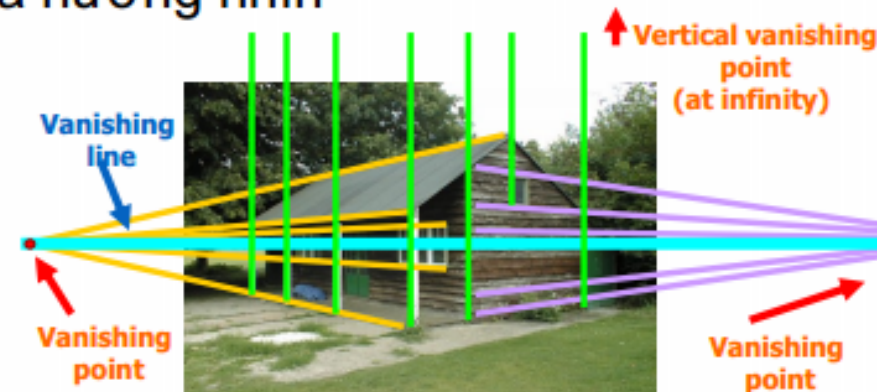
Ảnh gốc

Đường biên

Phân vùng

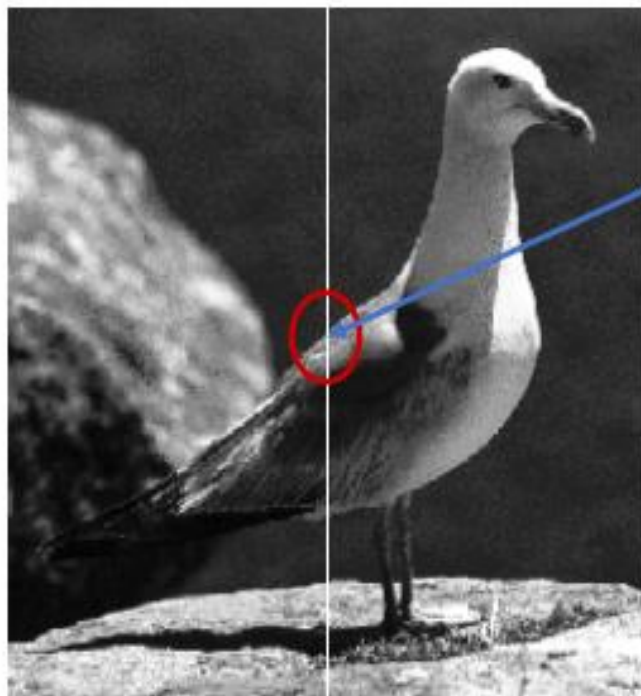
Phát hiện biên

- Mục tiêu: xác định nơi có sự thay đổi cường độ sáng trên ảnh
 - Về mặt trực quan, thông tin ngữ nghĩa hoặc hình dáng trong ảnh được thể hiện thông qua biên
 - Biên thể hiện thông tin cấp cao hơn so với điểm
- Lý do?
 - Trích chọn thông tin, nhận dạng đối tượng
 - Xác định thông tin hình học và hướng nhìn

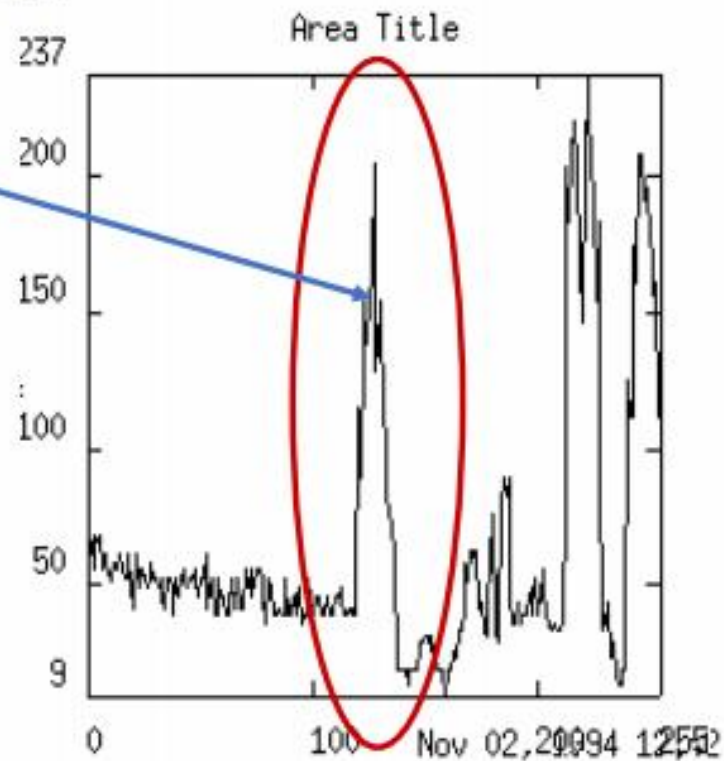


Phát hiện biên ?

- Intensity profile:
 - Biểu diễn giá trị của các điểm ảnh được lấy đều dọc theo một đường nào đó trên ảnh



Edge



Ex: Edge Detection



Ex: Edge Detection

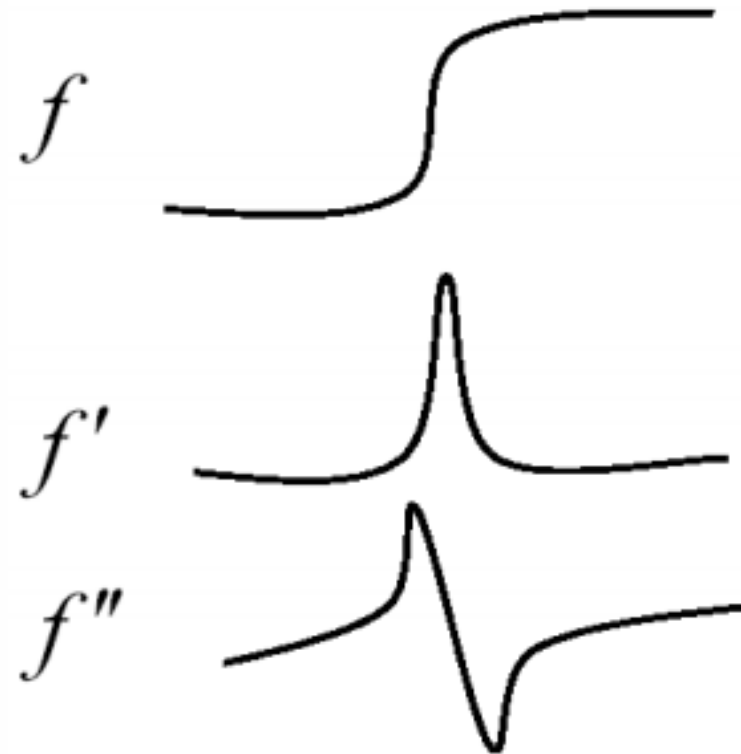


Ex: Edge Detection



Phát hiện biên ?

- Biên là vị trí có sự thay đổi nhanh về cường độ
 - Đạt cực trị trên đạo hàm bậc 1
 - Đi qua không (zero-crossing) ở đạo hàm bậc 2



Đạo hàm bậc 1

- Derivative in 1D:

$$\frac{df}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x) - f(x - \Delta x)}{\Delta x} = f'(x) = f_x$$

- Discrete derivative in 1D

$$\frac{df}{dx} = \frac{f(x) - f(x-1)}{1} = f'(x)$$

$$\frac{df}{dx} = f(x) - f(x-1) = f'(x)$$

- **Ý nghĩa:** chỉ ra sự khác nhau giữa các giá trị liên kề nhau (giá trị sau so với giá trị trước) và độ lớn của mức độ thay đổi.

Một số cách tính đạo hàm bậc 1

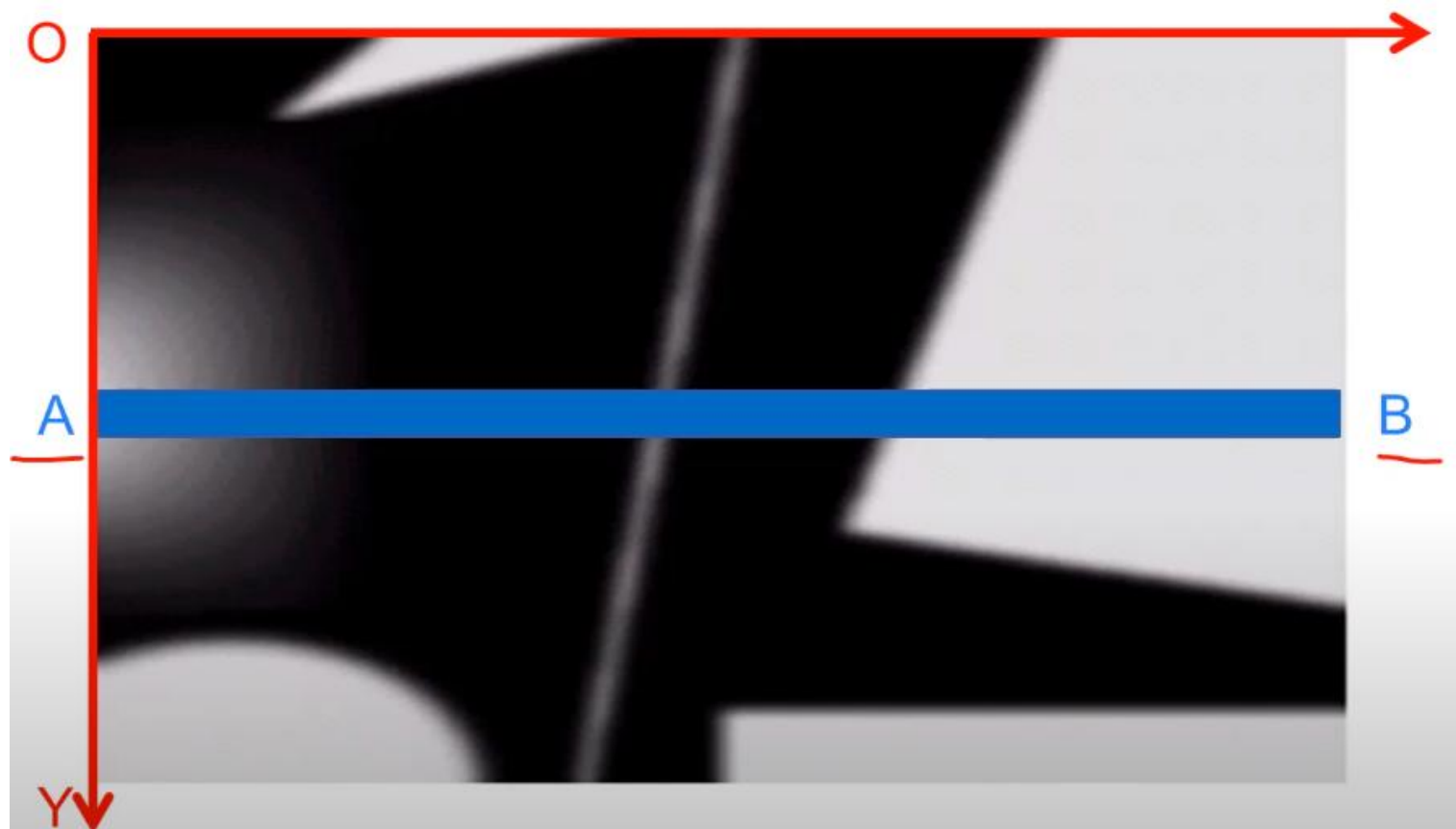
Backward $\frac{df}{dx} = f(x) - f(x-1) = f'(x)$

Forward $\frac{df}{dx} = f(x) - f(x+1) = f'(x)$

Central $\frac{df}{dx} = f(x+1) - f(x-1) = f'(x)$

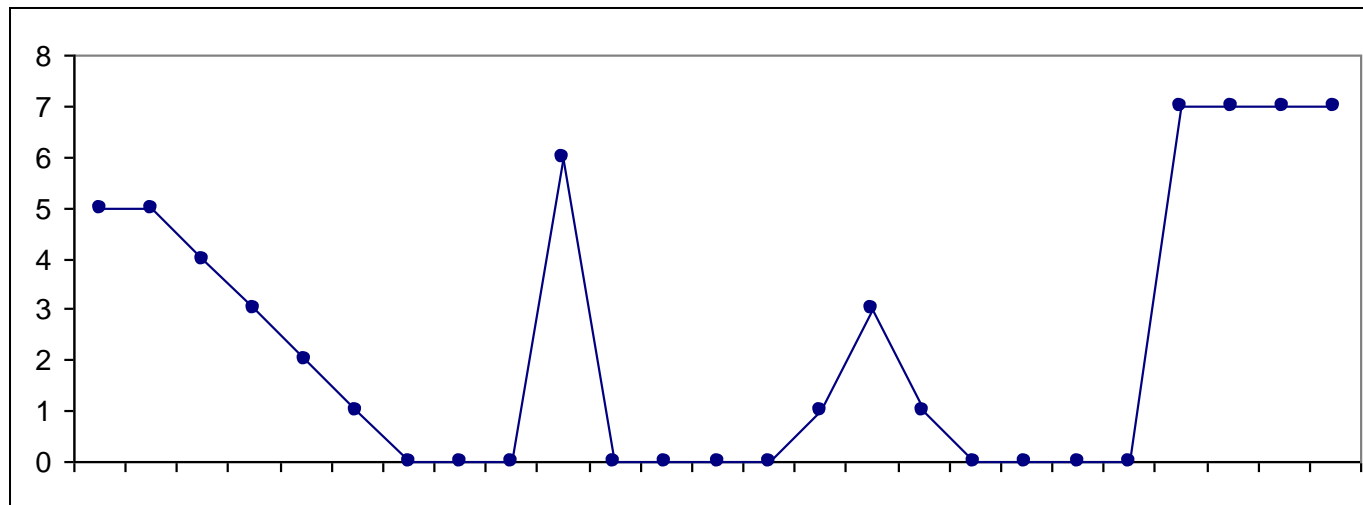
VÍ DỤ

Giá trị mức xám của các pixel trên dòng AB trích từ ảnh.



5	5	4	3	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	7	7	7	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

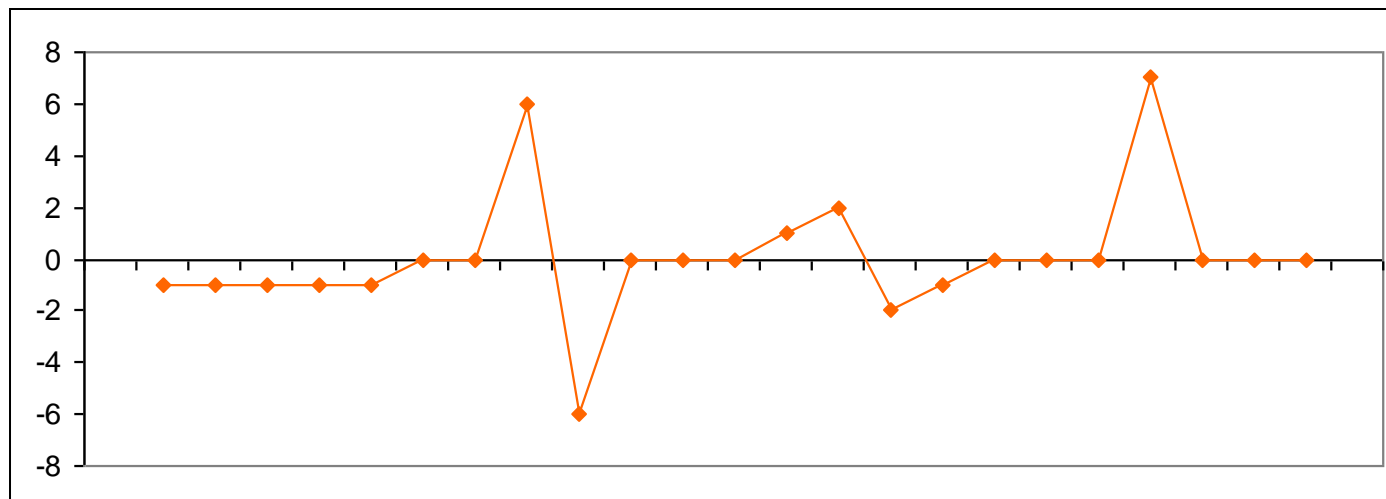
VÍ DỤ



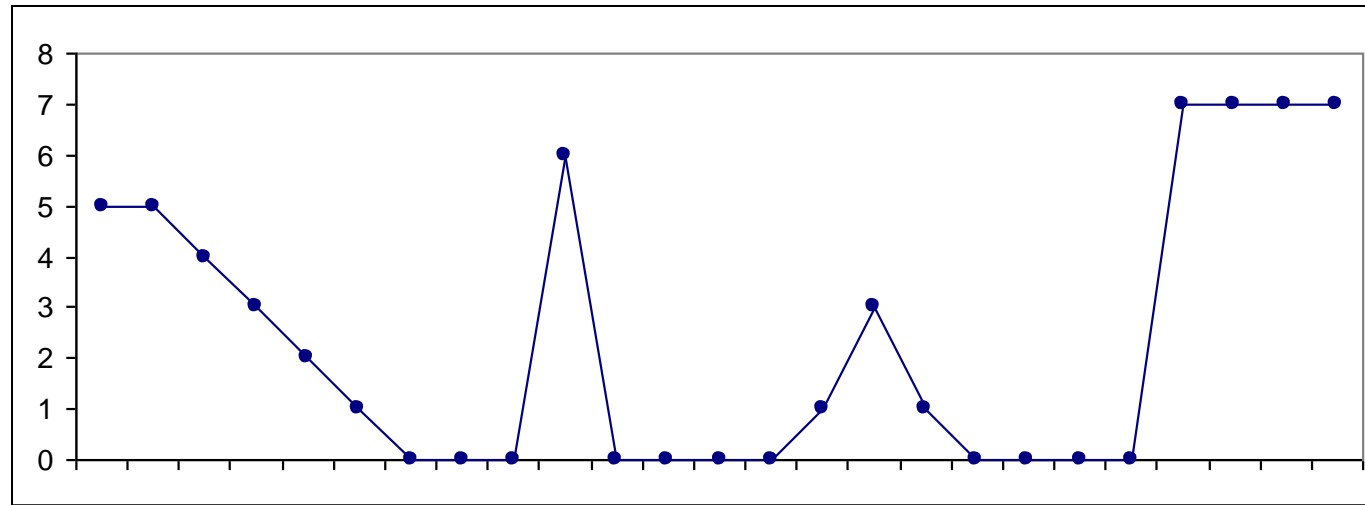
5	5	4	3	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	7	7	7	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

0	-1	-1	-1	-1	0	0	6	-6	0	0	0	1	2	-2	-1	0	0	0	0	7	0	0	0	0
---	----	----	----	----	---	---	---	----	---	---	---	---	---	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---



5	5	4	3	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	7	7	7	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

	0	-1	-1	-1	-1	0	0	6	-6	0	0	0	1	2	-2	-1	0	0	0	7	0	0	0	
--	---	----	----	----	----	---	---	---	----	---	---	---	---	---	----	----	---	---	---	---	---	---	---	--

- **Nhận xét:**

- Bằng 0 trong vùng có mức xám không đổi.
- Khác 0 tại điểm bắt đầu chuyển sang vùng thoai thoải và vùng biên nhảy vọt
- Khác 0 trong vùng biên thoai thoải.

Bộ lọc tính đạo hàm bậc 1

- Backward filter:

$$\frac{df}{dx} = f(x) - f(x-1) = f'(x) \quad [0 \quad 1 \quad -1]$$

- Forward:

$$\frac{df}{dx} = f(x) - f(x+1) = f'(x) \quad [-1 \quad 1 \quad 0]$$

- Central:

$$\frac{df}{dx} = f(x+1) - f(x-1) = f'(x) \quad [1 \quad 0 \quad -1]$$

Ví dụ:

- Backward filter:

$$[0 \quad 1 \quad -1]$$

$$f(x) = 10 \quad 15 \quad 10 \quad 10 \quad 25 \quad 20 \quad 20 \quad 20$$

$$f'(x) = 0 \quad 5 \quad -5 \quad 0 \quad 15 \quad -5 \quad 0 \quad 0$$

$$\begin{array}{lcl} f(x) : & 0 & 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 50 \quad 50 \quad 50 \quad 50 \quad 50 \\ f'(x) : & 0 & 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 50 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \end{array}$$

Image gradient

Đạo hàm rời rạc trên ảnh

Given function

$$f(x, y)$$

Gradient vector

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix}$$

Gradient magnitude

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$$

Gradient direction

$$\theta = \tan^{-1} \frac{f_x}{f_y}$$

Gradient của ảnh

- Gradient của f tại tọa độ (x, y) là một vectơ có các thành phần biểu thị tốc độ thay đổi mức xám của điểm ảnh (theo hai hướng x, y):

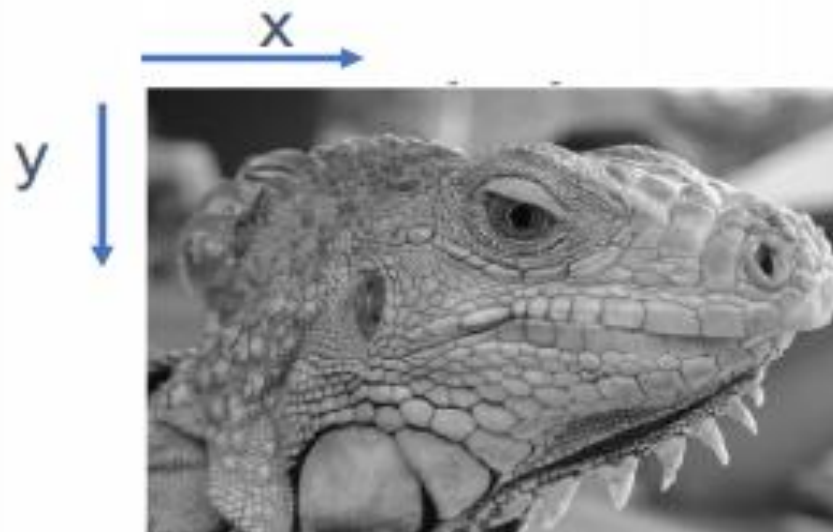
$$\text{nabla} f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = f'_x \approx \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx}$$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = f'_y \approx \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy}$$

- Trong đó dx, dy là khoảng cách giữa 2 điểm kế cận theo hướng x, y tương ứng (thực tế chọn $dx = dy = 1$)

Đạo hàm bậc 1 theo x và y



1
0
-1

1	0	-1
----------	----------	-----------

Đạo hàm bậc 1 theo x và y

- Robert Filter (the first approximation filter for image derivative - 1965)

$f(x, y)$	$f(x+1, y)$
$f(x, y+1)$	$f(x+1, y+1)$

- Theo hướng chéo thứ nhất: $G_{\text{cross1}} = |f(x+1, y+1) - f(x, y)|$

-1	0
0	1

- Theo hướng chéo thứ hai: $G_{\text{cross2}} = |f(x, y+1) - f(x+1, y)|$

0	-1
1	0

Bộ lọc Robert

- Robert cross gradient kích thước 3 x 3

-1	0
0	1



0	0	0
0	-1	0
0	0	1

0	-1
1	0

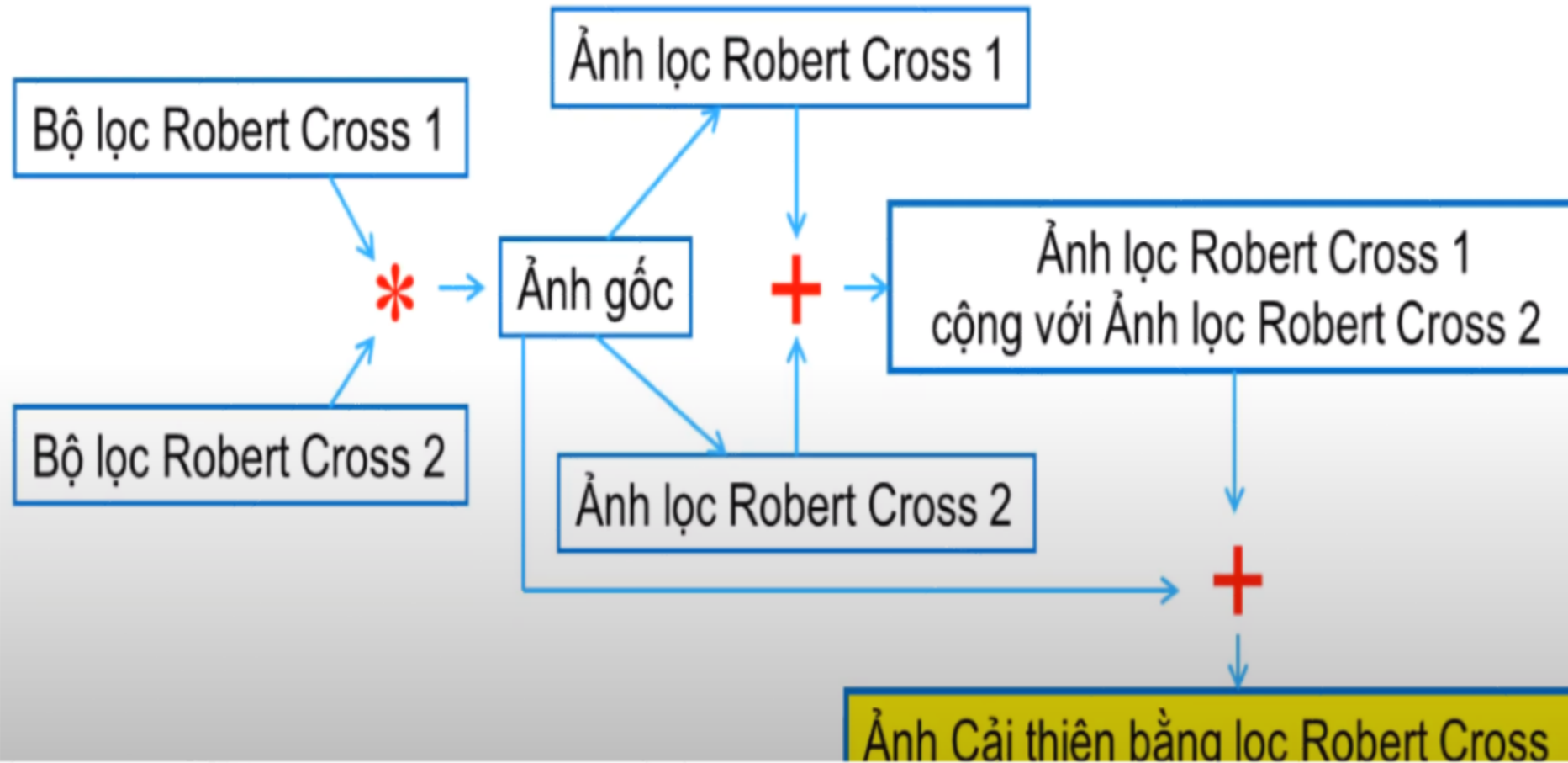


0	0	0
0	0	-1
0	1	0

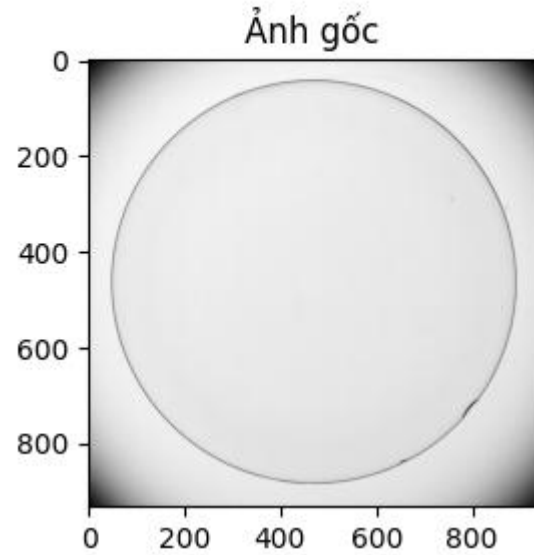
Bộ lọc
Robert cross
gradient kích
thước 3 x 3

Bộ lọc Robert

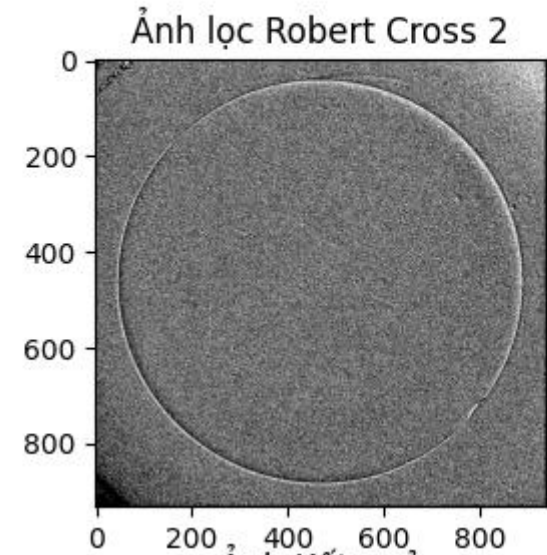
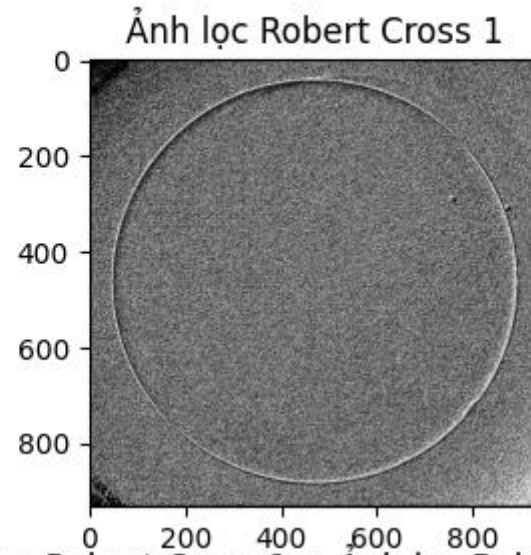
- Lọc sắc nét - Lọc đạo hàm bậc 1 - Bộ lọc Robert Cross Gradient
- Các bước thực hiện



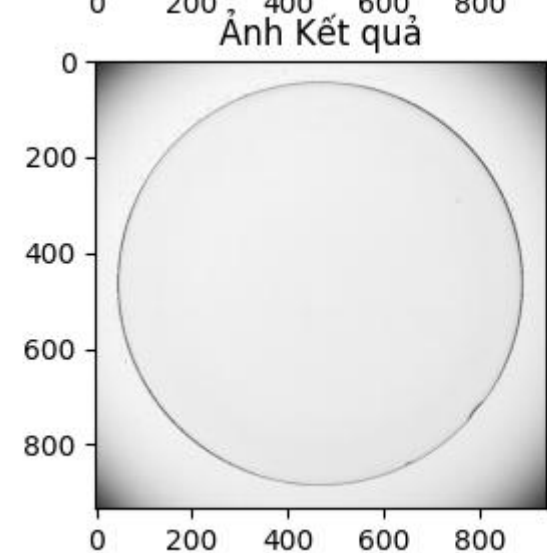
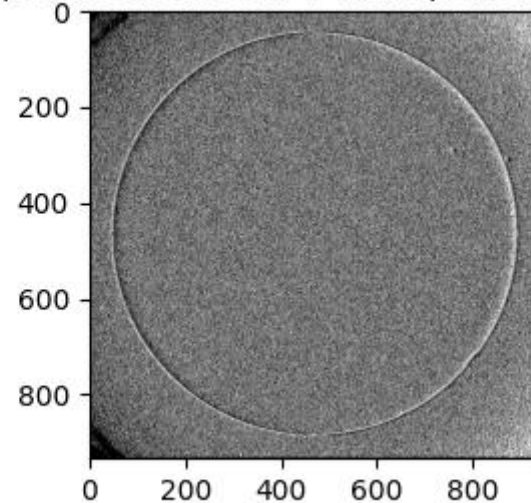
Bô lọc Robert – kết quả



Kính áp tròng



Ảnh lọc Robert Cross 1 + Ảnh lọc Robert Cross 2



Bộ lọc Sobel

$$G_x = |(f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1))|$$



• Theo hướng x

$f(x-1, y-1)$	$f(x, y-1)$	$f(x+1, y-1)$
$f(x-1, y)$	$f(x, y)$	$f(x+1, y)$
$f(x-1, y+1)$	$f(x, y+1)$	$f(x+1, y+1)$



-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1



• Theo hướng y

$$G_y = |(f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1))|$$



-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Bộ lọc Sobel

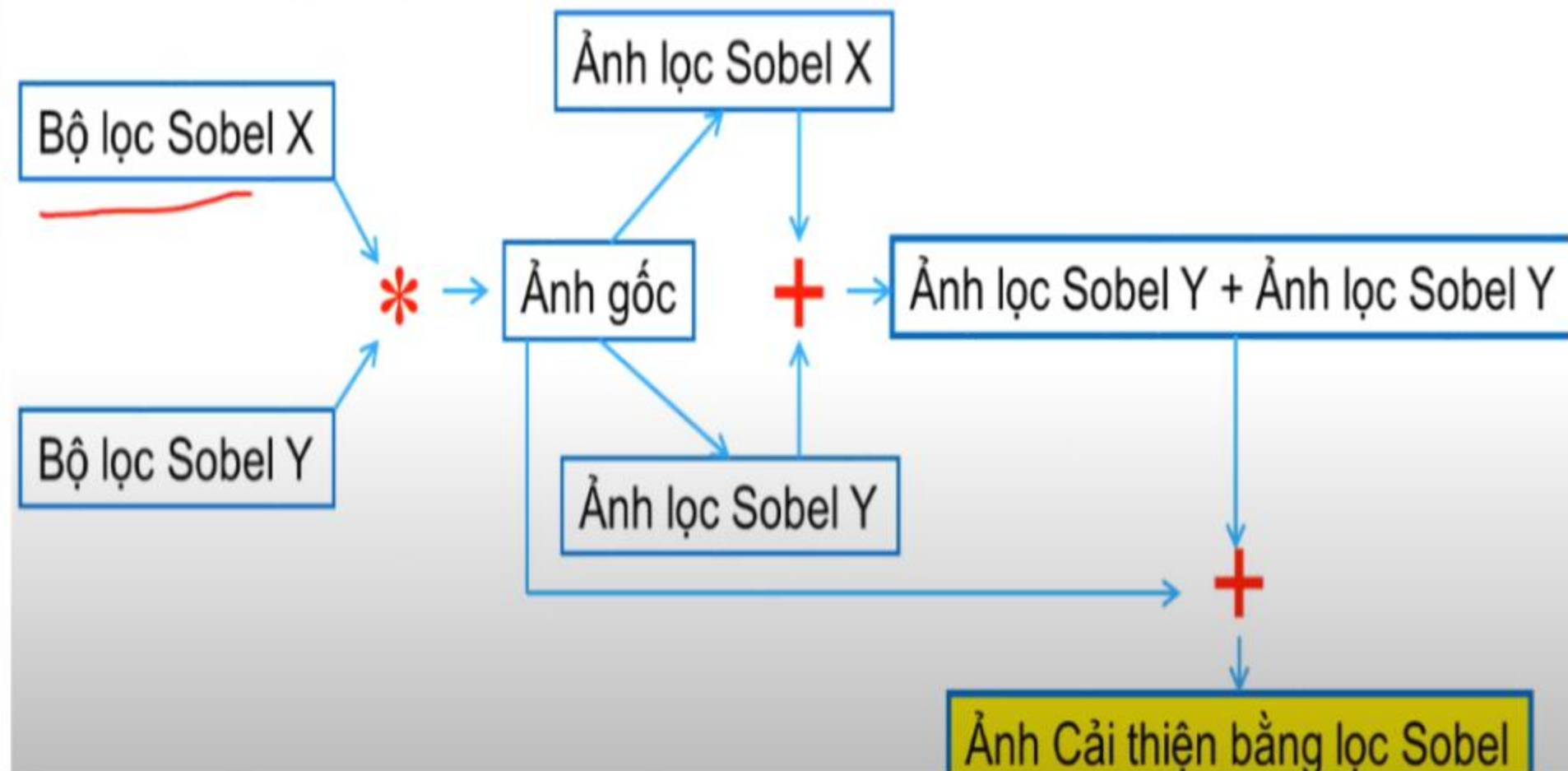
-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

Theo hướng X Theo hướng Y

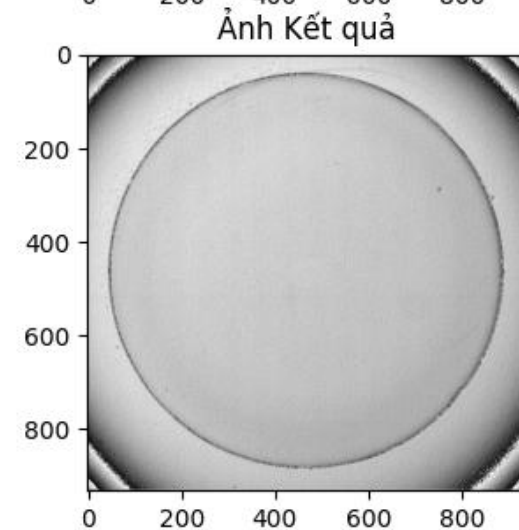
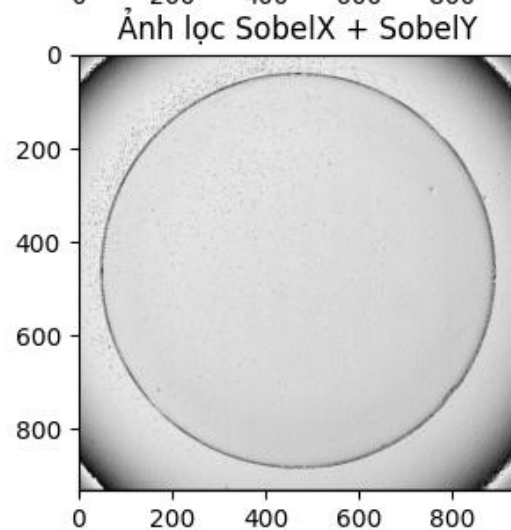
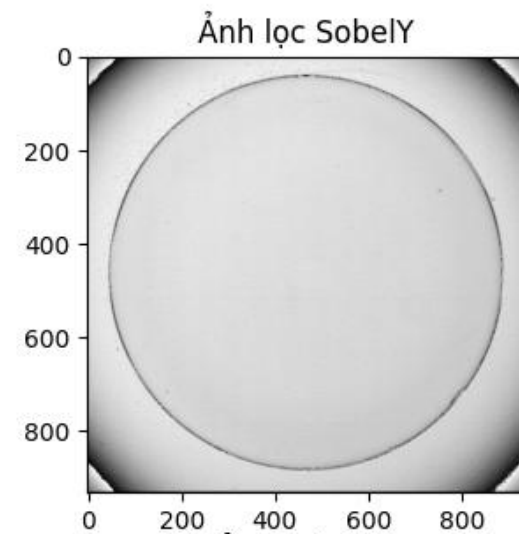
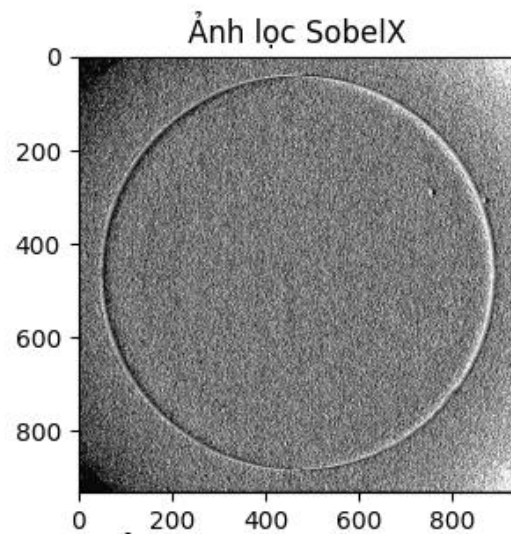
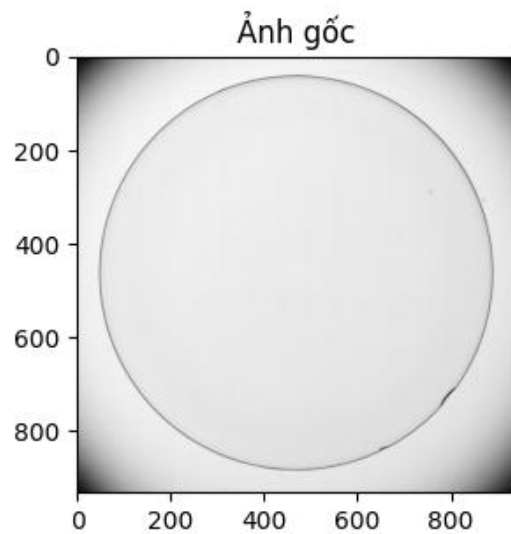
- Tổng các phần tử quanh điểm trung tâm bằng 0
- Để lọc ảnh, chúng ta sử dụng cả 2 toán tử và kết hợp (cộng) kết quả lại với nhau

Bộ lọc Sobel

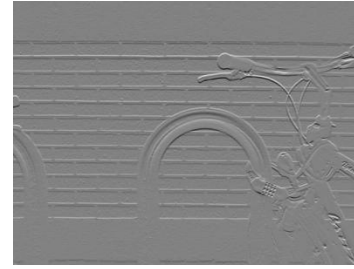
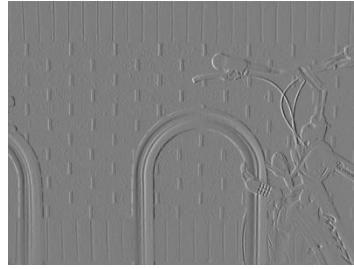
Các bước thực hiện



Bộ lọc Sobel – kết quả



Sobel operator: example



Prewitt Filter

- Sử dụng 2 mặt nạ và xấp xỉ đạo hàm theo 2 hướng x và y là:

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

- Bước 1: Tính $G_x = I * H_x$ và $G_y = I * H_y$
- Bước 2: Tính $G_x + G_y$

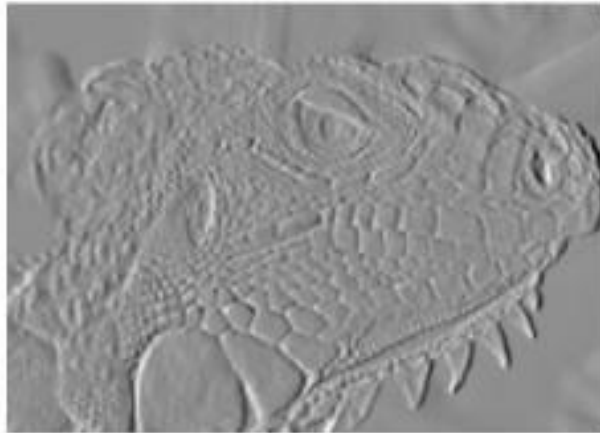
3x3 image gradient filters

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

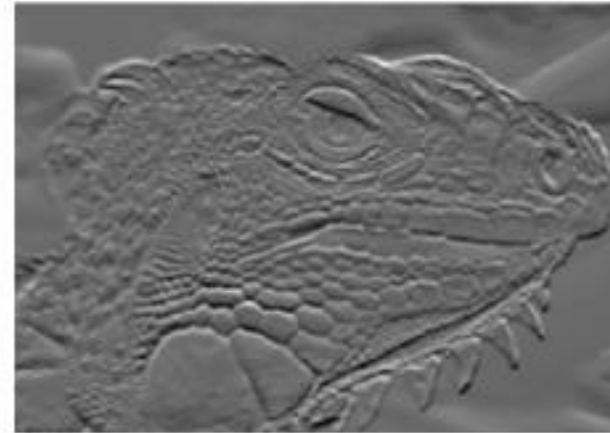
$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$



Derivative in x direction



Derivative in y direction



Bài tập

Image I (9 x 8)

	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	100	100	100	100	100	100
	0	0	0	100	100	100	100	100	100
	0	0	0	100	100	100	100	100	100
	0	0	0	100	100	100	100	100	100
	0	0	0	100	100	100	100	100	100

M_x : Derivative filter wrt x

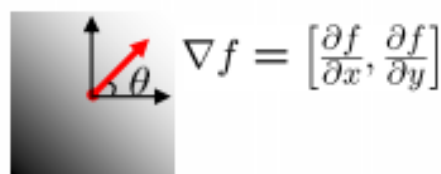
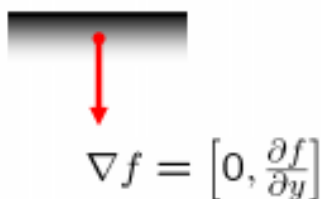
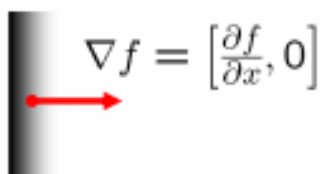
1	0	-1
---	---	----

1
0
-1

M_y : Derivative filter wrt y

Image gradient

- The gradient of an image: $\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$



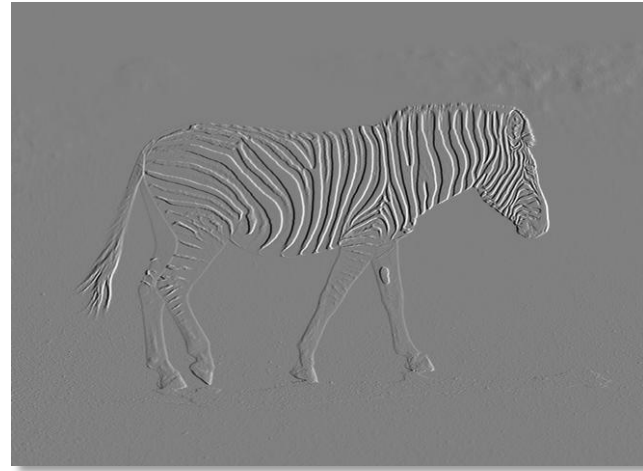
- The **gradient vector** points in the direction of most rapid increase in intensity
- The **gradient direction** is given by $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x} \right)$
 - how does this relate to the direction of the edge?
- The *edge strength* is given by the **gradient magnitude**

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \approx |\partial f / \partial x| + |\partial f / \partial y|$$

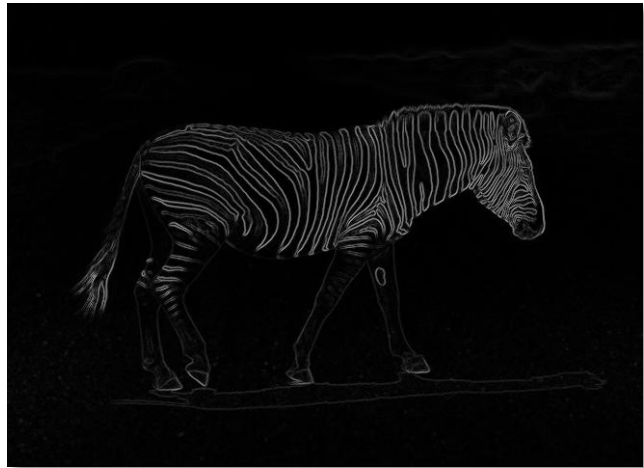
Image gradient



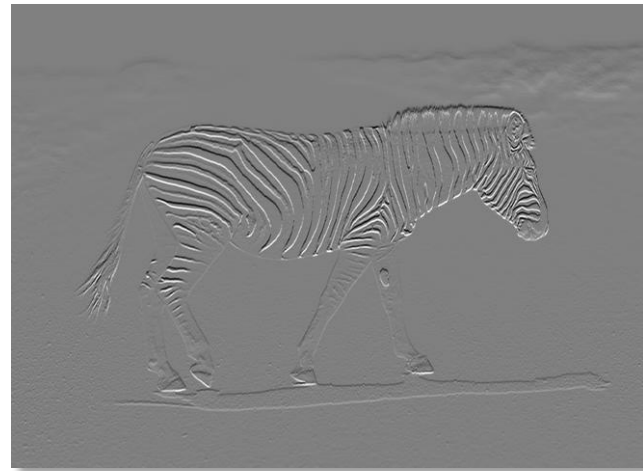
f



$\frac{\partial f}{\partial x}$

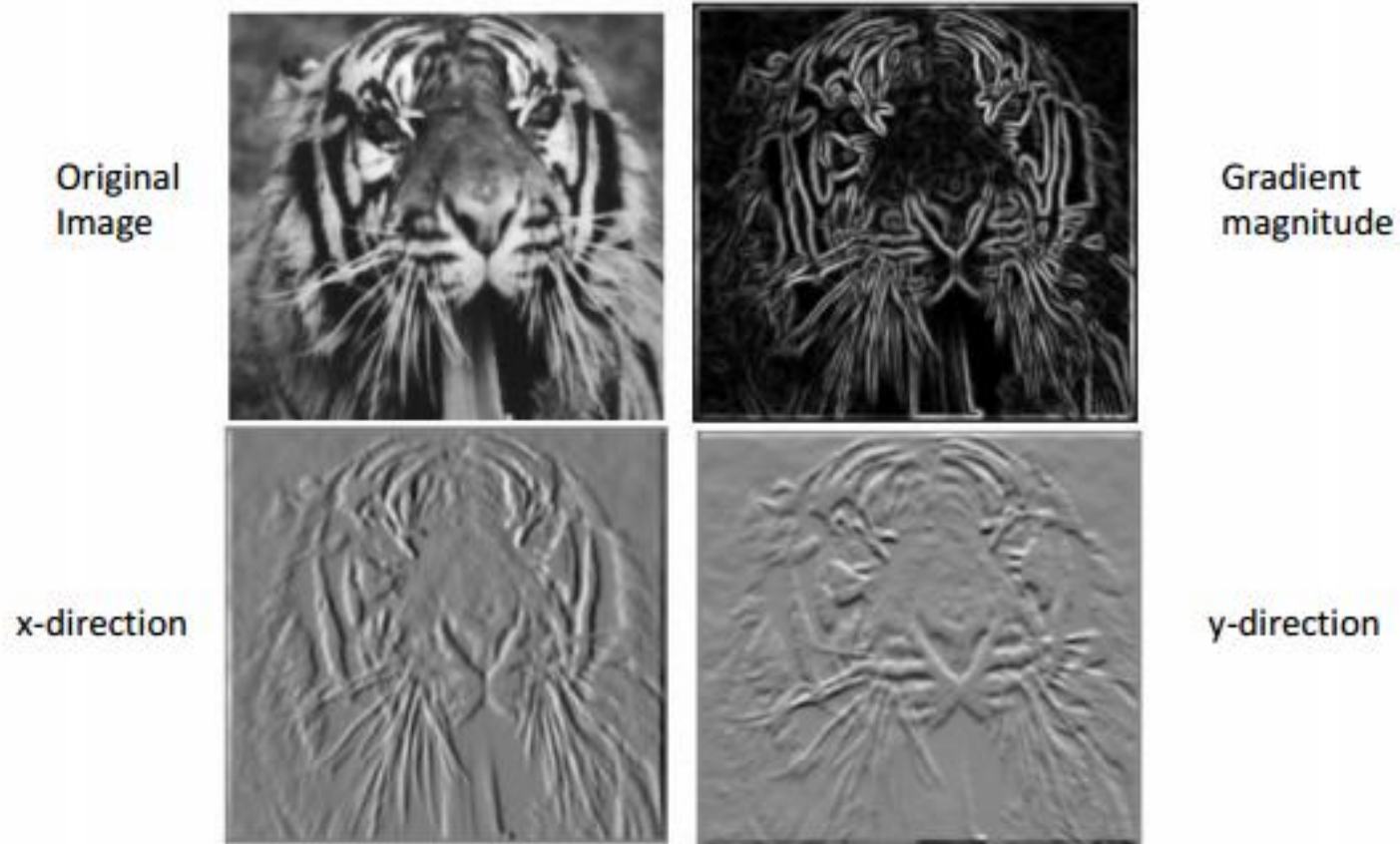


$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$



$\frac{\partial f}{\partial y}$

Example



- Which one is the gradient in the x-direction? How about y-direction?

PHÁT HIỆN BIÊN

Các kiểu biên



Step

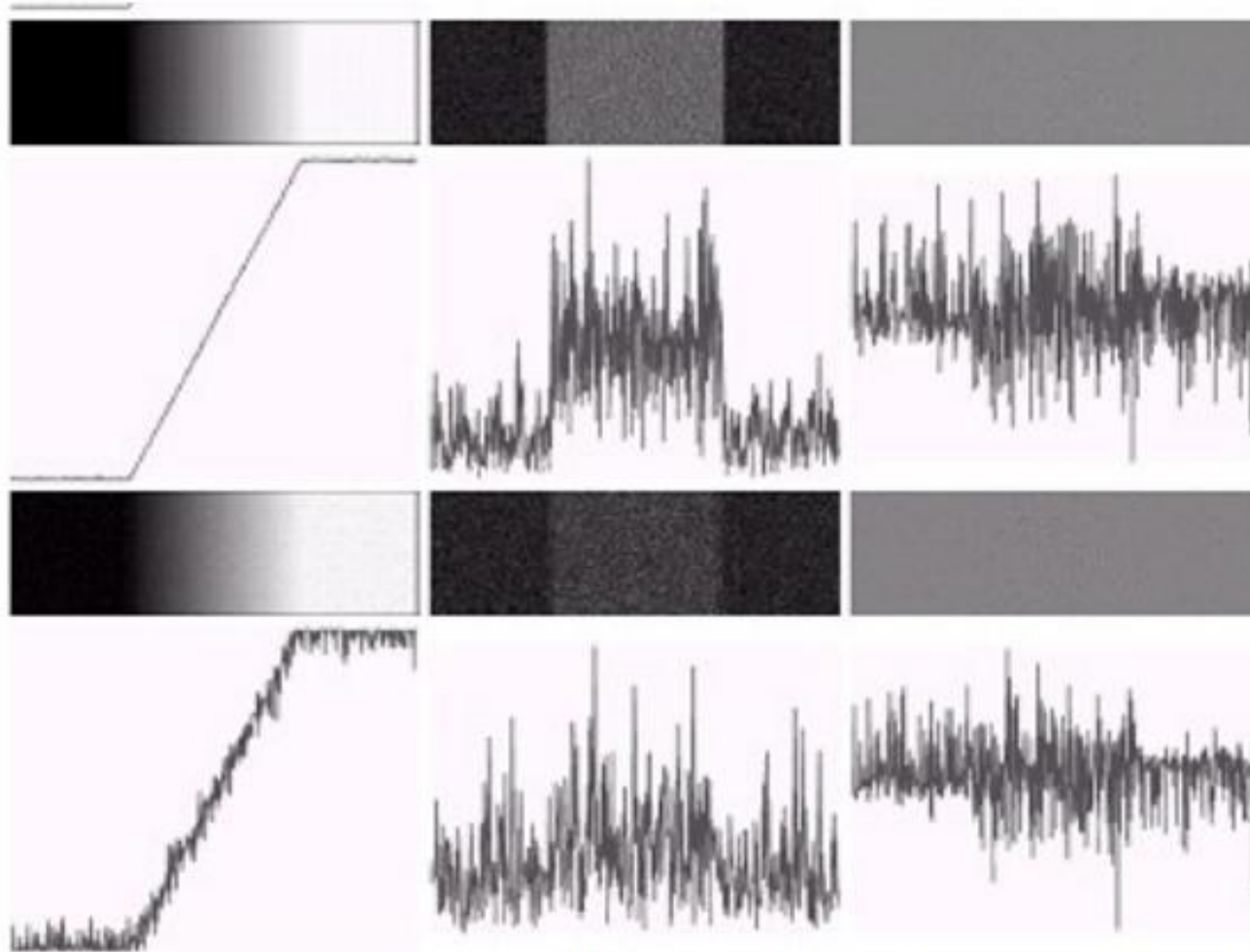


Ramp



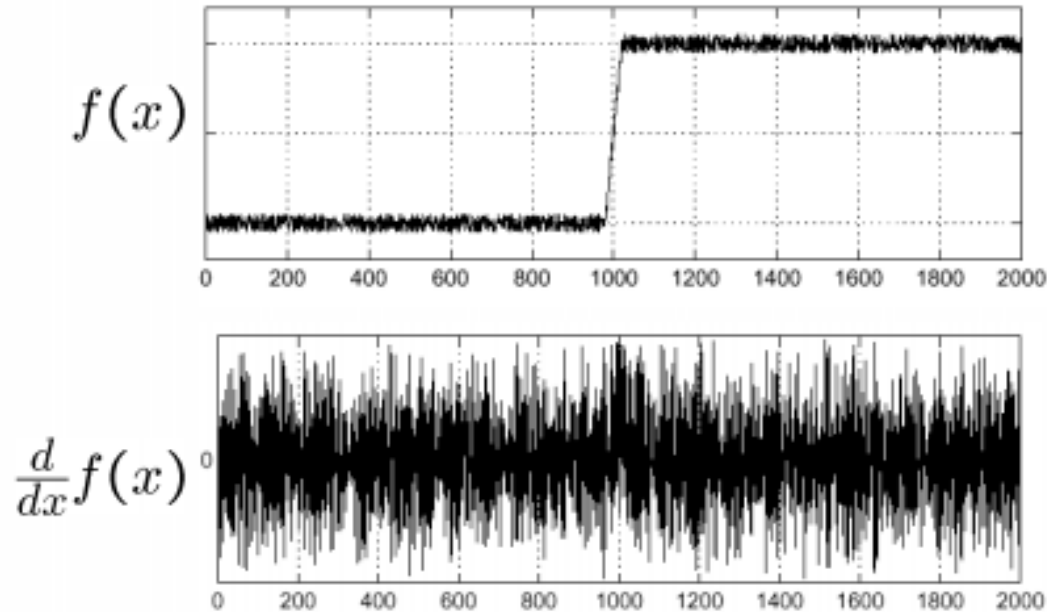
Roof

Nhiều trên biên



Source : Gonzalez and Woods. *Digital Image Processing 3ed.* Prentice-Hall, 2008.

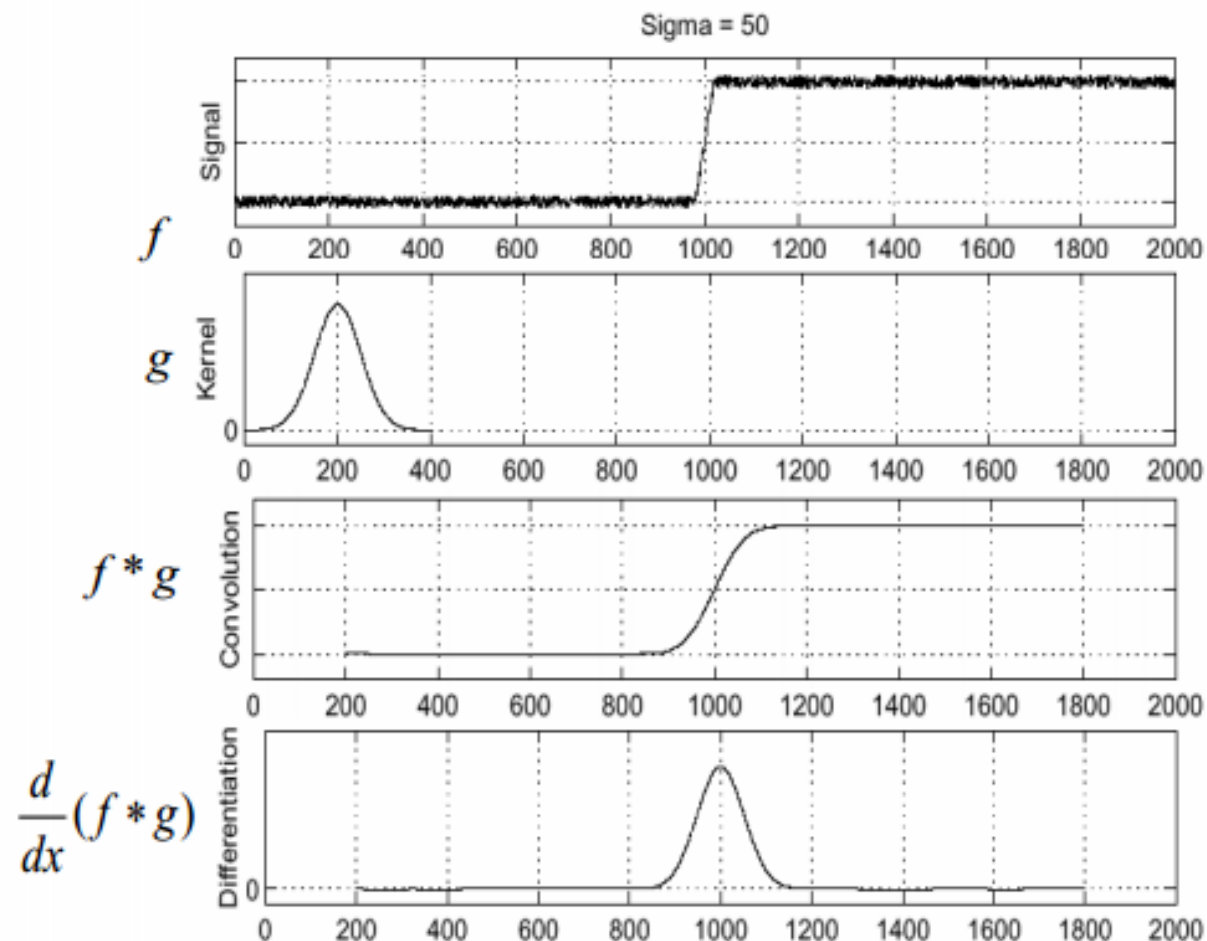
Ảnh hưởng của nhiễu



Where is the edge?

➔ Solution: làm trơn ảnh trước

Solution: làm trơn + tính đạo hàm



- To find edges, look for peaks in $\frac{d}{dx}(f * g)$

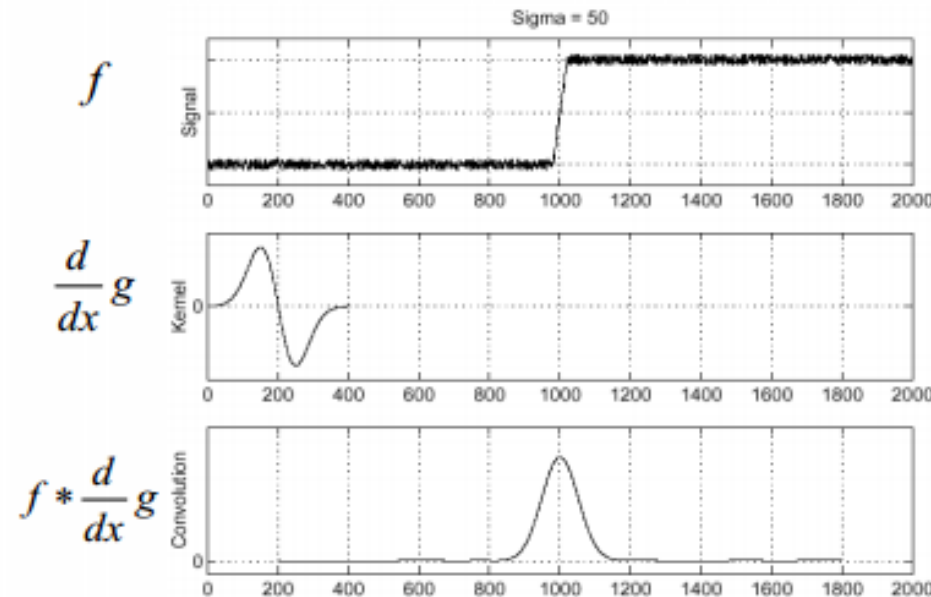
Source: S. Seitz

Derivative theorem of convolution

- Tính chất hữu ích:

$$\frac{d}{dx}(f * g) = \frac{df}{dx} * g = f * \frac{dg}{dx}$$

- Điều này giúp giảm phép toán:



Source: S. Seitz

Sobel Operator

- Gaussian Smoothing + differentiation

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} [1 \ 0 \ -1]$$

Gaussian smoothing

differentiation

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} [1 \ 2 \ 1]$$

➔ Less sensible to noise

Prewitt Operator

- Mean smoothing + differentiation

$$Gx = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} [1 \quad 0 \quad -1]$$

$$Gy = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} [1 \quad 1 \quad 1]$$

➔ Less sensible to noise

Phát hiện cạnh đơn giản sử dụng đạo hàm bậc 1

- Nhân chụp ảnh với 2 mặt nạ để xấp xỉ đạo hàm bậc 1 theo x và y



- Tính độ lớn của gradient



- Lấy ngưỡng: cạnh là điểm có độ lớn gradient $> T$

Phát hiện cạnh đơn giản sử dụng đạo hàm bậc 1

Original image



Gradient magnitude using Sobel operator



Threshold $T = 25$

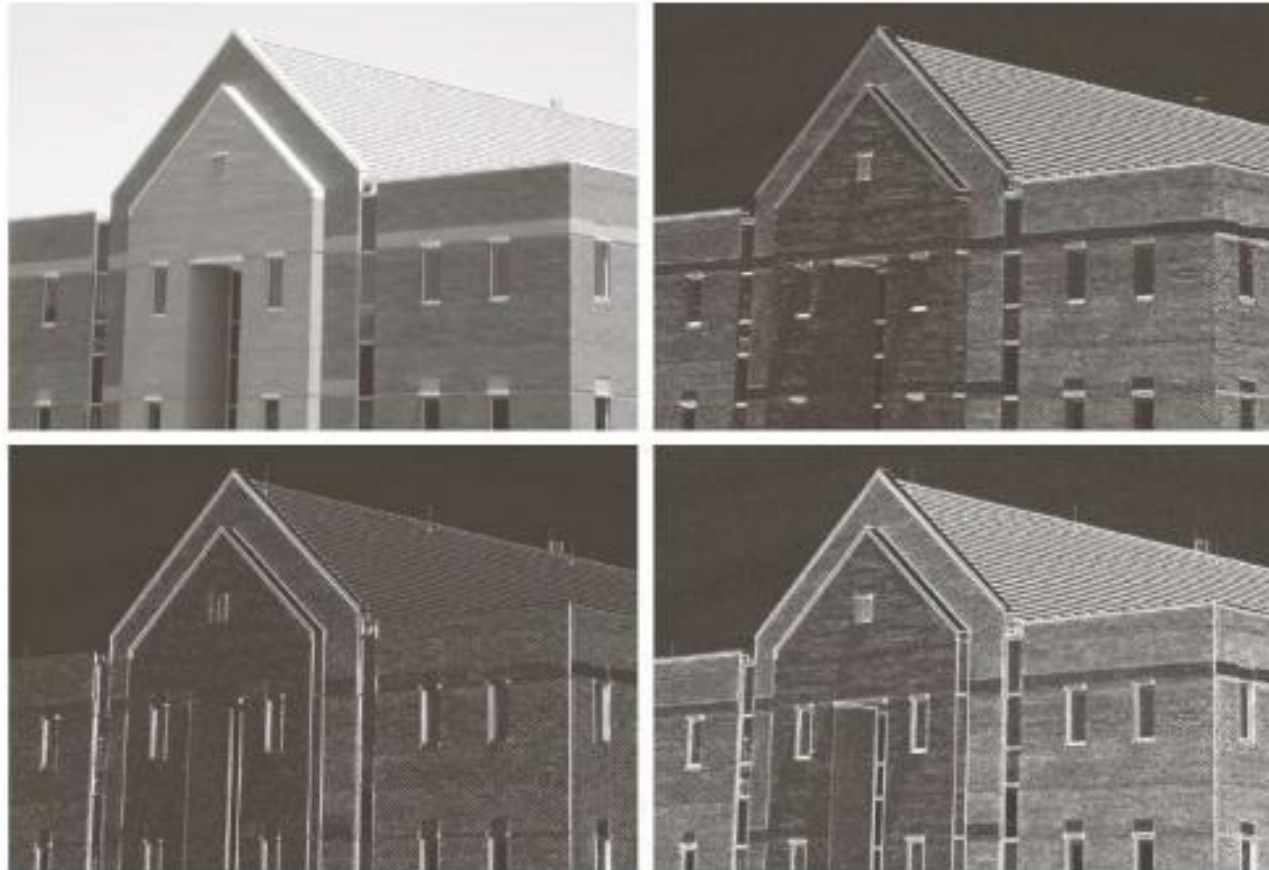


Threshold $T = 60$



Source : Caroline Rougier. Traitement d'images (IFT2730). Univ. de Montréal.

Không làm trơn trước khi tính đạo hàm



a b
c d

FIGURE 10.16

(a) Original image of size 834×1114 pixels, with intensity values scaled to the range $[0, 1]$.
(b) $|g_x|$, the component of the gradient in the x -direction, obtained using the Sobel mask in Fig. 10.14(f) to filter the image.
(c) $|g_y|$, obtained using the mask in Fig. 10.14(g).
(d) The gradient image, $|g_x| + |g_y|$.

Làm trơn trước khi tính đạo hàm



a b
c d

FIGURE 10.18
Same sequence as in Fig. 10.16, but with the original image smoothed using a 5×5 averaging filter prior to edge detection.

Không làm trơn
trước tính đạo hàm



a b

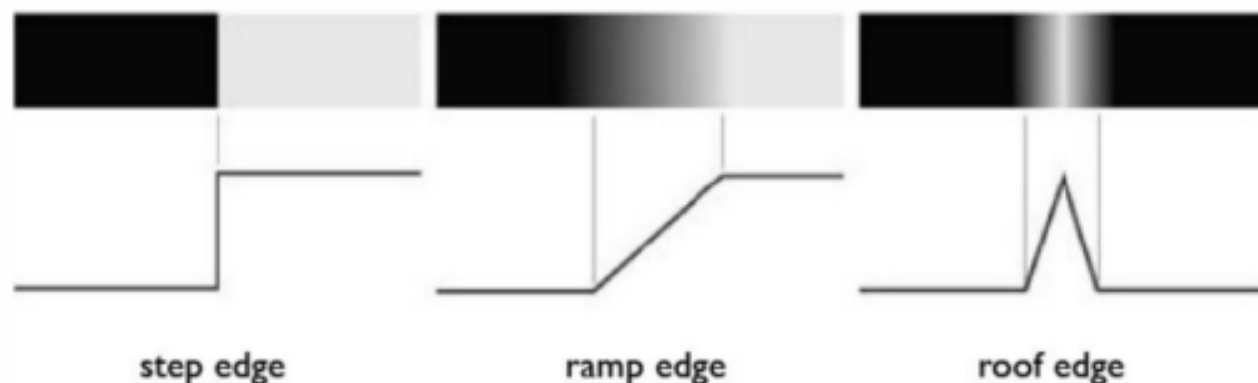
Làm trơn
trước tính đạo hàm



FIGURE 10.20 (a) Thresholded version of the image in Fig. 10.16(d), with the threshold selected as 33% of the highest value in the image; this threshold was just high enough to eliminate most of the brick edges in the gradient image. (b) Thresholded version of the image in Fig. 10.18(d), obtained using a threshold equal to 33% of the highest value in that image.

Vấn đề

- Vị trí không chính xác (biên dày)
- Giá trị ngưỡng ưu ái cạnh theo 1 vài hướng hơn là các hướng khác
 - Có thể thiếu các đường biên chéo hơn là biên ngang hoặc dọc → bỏ sót biên



Một số mặt nạ khác

- Để tránh ưu ái cạnh theo 1 vài hướng → sử dụng kỹ thuật la bàn:
 - Nhân chụp ảnh với 8 mặt nạ theo 8 hướng (0, 45, 90, ..)
 - Cộng kết quả nhận chụp lại

$$H_1 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_5 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

$$H_7 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_4 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix}$$

$$H_6 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

$$H_8 = \begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

Một số mặt nạ khác

- Mặt nạ Prewitt, Sobel cho phát hiện biên chéo

0	1	1	-1	-1	0
-1	0	1	-1	0	1
-1	-1	0	0	1	1

Prewitt

0	1	2	-2	-1	0
-1	0	1	-1	0	1
-2	-1	0	0	1	2

Sobel

a	b
c	d

FIGURE 10.15
Prewitt and Sobel
masks for
detecting diagonal
edges.

Một số mặt nạ khác

- Mặt nạ Sobel cho phát hiện biên chéo



a b

FIGURE 10.19

Diagonal edge detection.

(a) Result of using the mask in Fig. 10.15(c).

(b) Result of using the mask in Fig. 10.15(d). The input image in both cases was Fig. 10.18(a).

PHÁT HIỆN BIÊN VỚI ĐẠO HÀM BẬC 2

Next week