

Xử lý ảnh

Hoàng Văn Hiệp
Bộ môn Kỹ thuật máy tính
Viện Công nghệ thông tin và Truyền thông
Email: hiephv@soict.hut.edu.vn

1

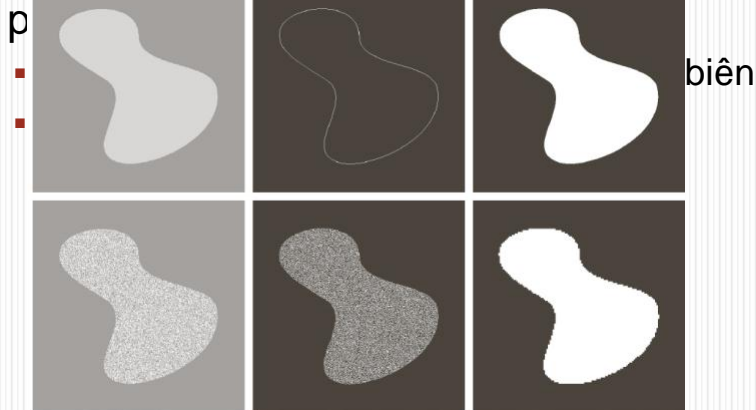
Nội dung

- ❑ Chương 1. Giới thiệu chung
- ❑ Chương 2. Thu nhận & số hóa ảnh
- ❑ Chương 3. Cải thiện & phục hồi ảnh
- ❑ Chương 4. Phát hiện tách biên, phân vùng ảnh
- ❑ Chương 5. Trích chọn các đặc trưng trong ảnh
- ❑ Chương 6. Nén ảnh
- ❑ Chương 7. Lập trình xử lý ảnh bằng Matlab và C

2

Chương 4. Phân vùng ảnh

- Hai phương pháp chính áp dụng trong



3

Phương pháp phân vùng dựa trên biên

- Phát hiện sự không liên tục (biến đổi bất thường)
 - Phát hiện điểm ảnh
 - Phát hiện đường thẳng
 - Phát hiện biên
- Các phương pháp nối biên
- Các phương pháp làm mảnh đường biên đến 1 pixel

4

Phát hiện điểm ảnh

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9$$

$$= \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

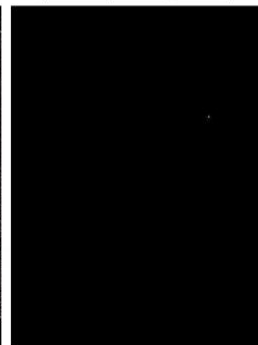
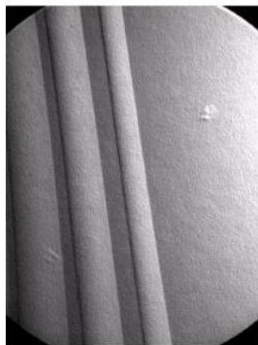
$$|R| \geq T$$

5

Phát hiện điểm ảnh

**T = 90% giá trị
max của mức xám**

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



6

Phát hiện đường thẳng

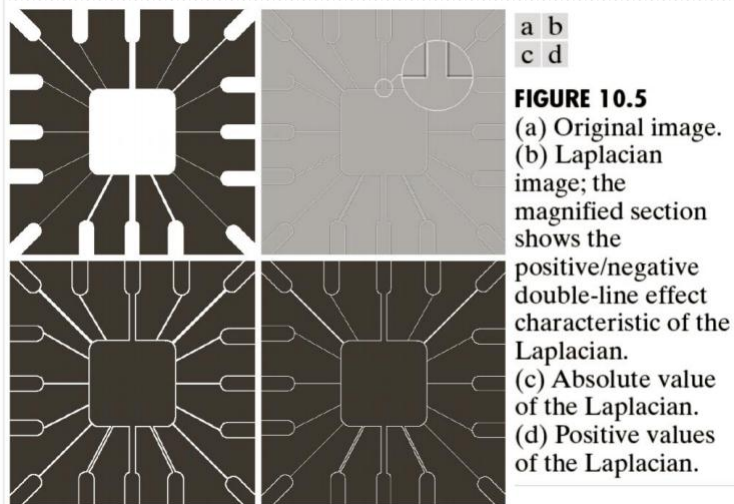
- ❑ Chọn mặt nạ thích hợp để phát hiện
- ❑ Lấy ngưỡng (thresholding)

$$\text{Line } i: |R_i| \geq |R_j|, \forall j$$

-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2
2	2	2	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1
-1	-1	-1	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1

7

Phát hiện đường thẳng



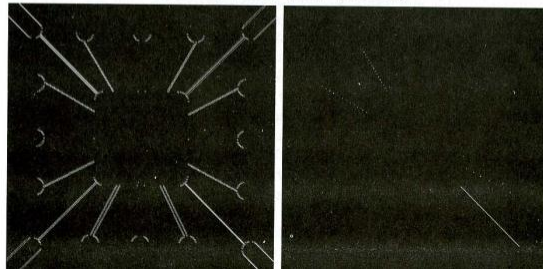
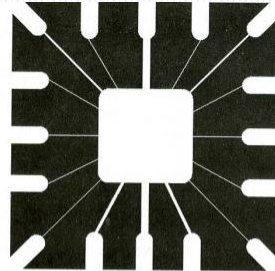
8

Phát hiện đường thẳng

□ Giả sử muốn hướng -45°

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

-45°



9

Phát hiện biên

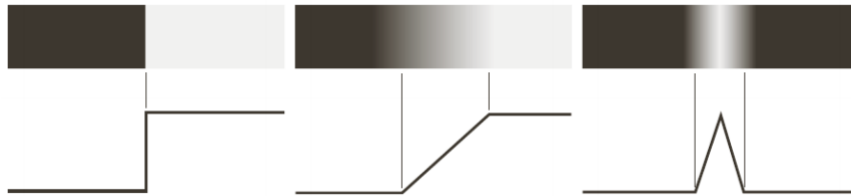
□ Xấp xỉ đạo hàm cấp 1, và cấp 2

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \begin{cases} f(x+1, y) - f(x, y) \\ f(x, y) - f(x-1, y) \\ 0.5(f(x+1, y) - f(x-1, y)) \end{cases}$$

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

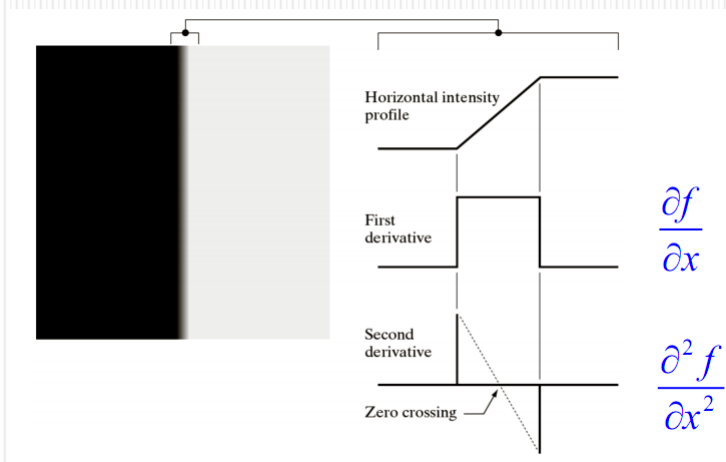
10

Phát hiện biên (tiếp)



13

Phát hiện biên (tiếp)



14

Phát hiện biên (tiếp)

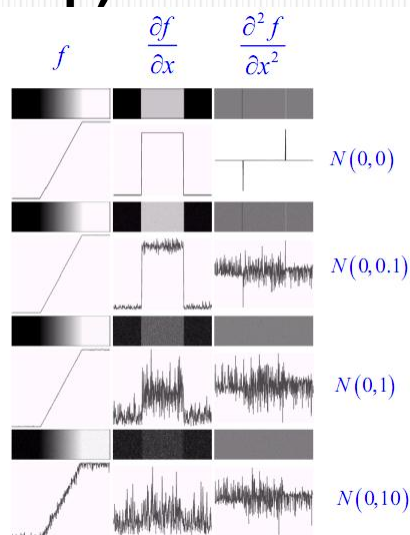
□ Nhận xét

- Độ lớn của đạo hàm cấp 1: có thể xác định một điểm có nằm trên biên hay không
- Dấu trong đạo hàm cấp 2 cho biết điểm ảnh nằm ở vùng sáng hay vùng tối của biên
 - Đạo hàm cấp 2 luôn có 2 giá trị khác dấu ứng với các điểm trên biên
 - Điểm cắt 0 có ý nghĩa trong việc tìm biên mỏng

15

Phát hiện biên (tiếp)

- Ảnh hưởng của nhiễu đến đạo hàm
- Ảnh gốc + nhiễu Gaussian (mean = 0, delta = 0, 0.1 1, 10)



16

Phát hiện biên (tiếp)

□ Ảnh hưởng nhiễu

- Nhận xét:
 - Nhiễu trên ảnh gốc nhỏ
 - Ảnh hưởng trên các đạo hàm rất lớn
 - → Các phép lọc làm trơn ảnh (lọc nhiễu, làm mờ ảnh) thường được áp dụng trước khi lấy đạo hàm
- Phát hiện biên
 - Đạo hàm cấp 1: toán tử gradient
 - Đạo hàm cấp 2: toán tử laplacian

17

Toán tử gradient

□ Gradient của ảnh $f(x, y)$ tại vị trí (x, y) được định nghĩa

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad \nabla f = [g_x \quad g_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T$$

$$M(x, y) = |\nabla f| = \left[(g_x)^2 + (g_y)^2 \right]^{1/2} \xrightarrow{\approx} |g_x| + |g_y|$$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{g_y}{g_x} \right)$$

18

Toán tử gradient (tiếp)

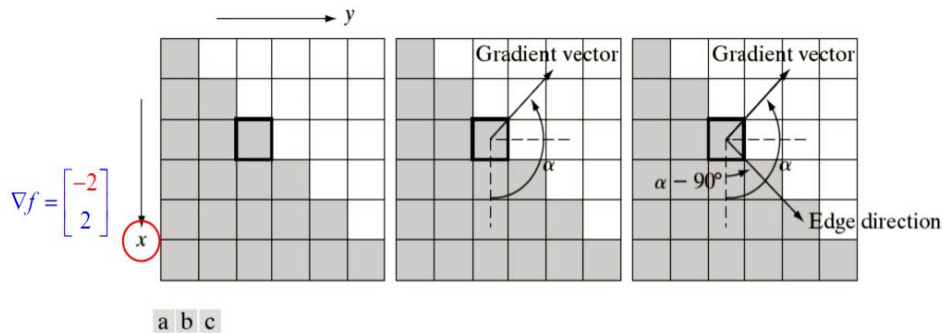


FIGURE 10.12 Using the gradient to determine edge strength and direction at a point. Note that the edge is perpendicular to the direction of the gradient vector at the point where the gradient is computed. Each square in the figure represents one pixel.

19

Toán tử gradient (tiếp)

Các toán tử gradient

- Roberts
- Prewitt
- Sobel

$$\begin{bmatrix} z_9 - z_5 \\ z_8 - z_6 \end{bmatrix}$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

-1	0	0	-1
0	1	1	0

Roberts

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

Prewitt

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

$$\begin{bmatrix} (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \\ (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \\ (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \end{bmatrix}$$

2

Toán tử gradient (tiếp)

☐ Toán tử gradient đường chéo

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

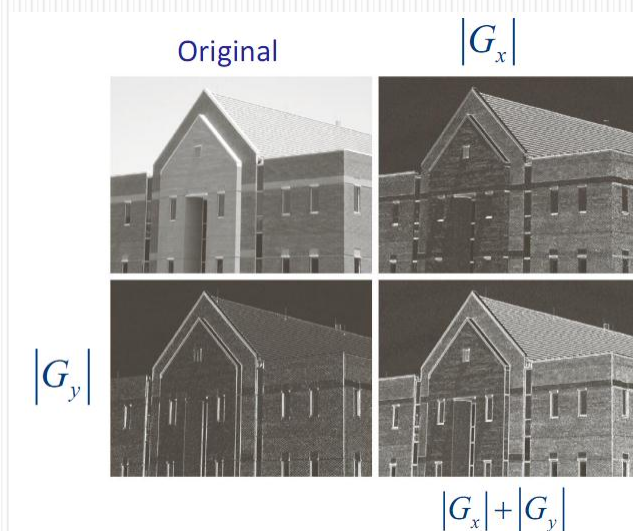
Prewitt

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

Sobel

21

Toán tử gradient (tiếp)



22

Toán tử gradient (tiếp)

– 5×5 averaging filter

Original

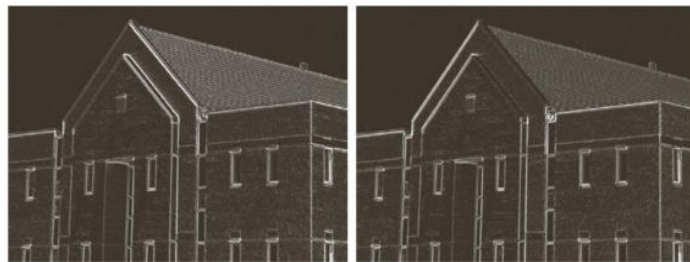
$|G_x|$

$|G_y|$

$|G_x| + |G_y|$

23

Toán tử gradient (tiếp)



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

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

-45° and +45° lines

24

Toán tử gradient (tiếp)

- Để xác định một điểm ảnh có nằm trên biên hay không
 - Tính gradient
 - So sánh với ngưỡng

25

Toán tử Laplacian

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

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

26

Toán tử Laplacian (tiếp)

- Toán tử laplacian thường không được áp dụng trực tiếp để tìm biên
 - Đạo hàm cấp 2 nhận 2 giá trị tại các điểm trên biên
 - Rất nhạy với nhiễu
 - Laplacian không tìm được hướng của biên
- Áp dụng Laplacian
 - Smoothing ảnh
 - Sử dụng thuộc tính cắt 0 (zero-crossing)
 - Laplacian of Gaussian

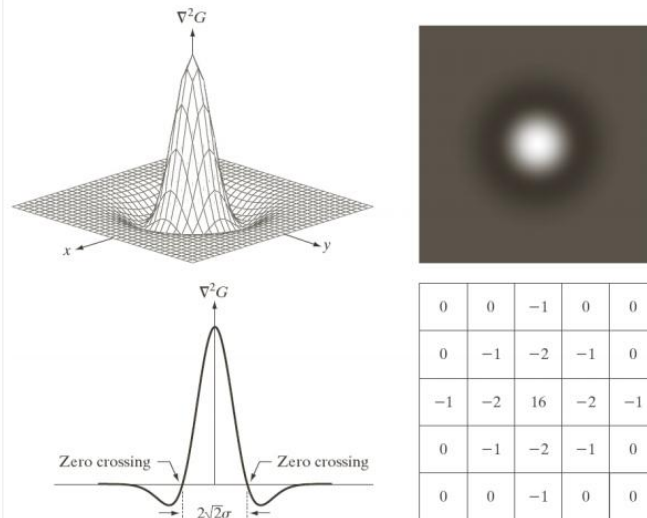
27

Laplacian of Gaussian

$$\begin{aligned}
 G(x, y) &= \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \\
 \nabla^2 G(x, y) &= \frac{\partial^2 G(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G(x, y)}{\partial y^2} \\
 \nabla^2 G(x, y) &= \left[\frac{x^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2}\right] G(x, y) + \left[\frac{y^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2}\right] G(x, y) \\
 \nabla^2 G(x, y) &= \left[\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4}\right] G(x, y) \\
 \nabla^2 G(x, y) &= \pm \left[\frac{r^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4}\right] \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)
 \end{aligned}$$

28

Laplacian of Gaussian (tiếp)



29

Laplacian of Gaussian (tiếp)

□ Áp dụng LoG để phát hiện biên

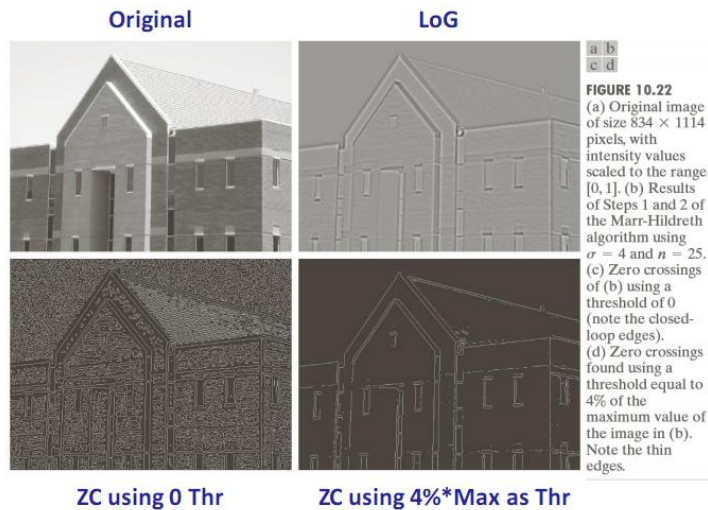
- Tính LoG của ảnh

$$g(x,y) = [\nabla^2 G(x,y)] \star f(x,y) = \nabla^2 [G(x,y) \star f(x,y)]$$

- Tìm các điểm cắt 0 (zero crossing)
 - Áp dụng 3 x 3 cho mỗi pixel
 - Điểm cắt 0 là những điểm có 2 lân cận đối diện nhau trái dấu

30

Laplacian of Gaussian (tiếp)



31

Laplacian of Gaussian (tiếp)

□ Tính xấp xỉ LoG

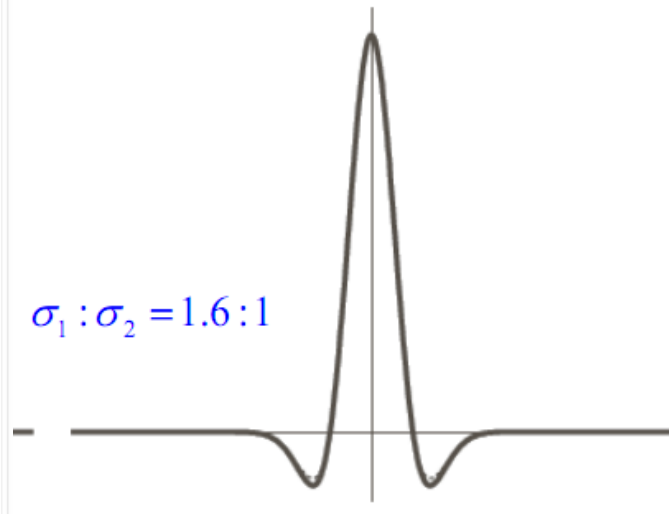
- Có thể xấp xỉ LoG bằng DoG (different of gaussian)

$$\text{DoG}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_1^2}\right) - \frac{1}{2\pi\sigma_2^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_2^2}\right), \quad \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

- Với tỉ lệ: 1.6:1 thì DoG có thể xấp xỉ với LoG

32

Laplacian of Gaussian



33

Bộ dò biên Canny

- ❑ Là bộ dò biên cho kết quả rất tốt (so với Prewitt, sobel, LoG...)
- Tỷ lệ lỗi thấp
- Phân vùng các điểm trên biên
- Trả về biên mỏng (đơn điểm)

34

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Các bước thực hiện

- Bước 1. Smoothing
- Bước 2. Tính Gradients
- Bước 3. Loại những điểm không cực đại
- Bước 4. Dò các điểm trên biên bằng **2 ngưỡng**

35

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Bước 1. Smoothing

- Sử dụng bộ lọc Gaussian

$$f_s(x, y) = G(x, y) \star f(x, y)$$

$$G(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad \sigma = 1.4$$

- Cài đặt

$$G(x, y) = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

36

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Bước 2. Tính Gradient

- Sử dụng bất kỳ mặt nạ Gradient nào

$$g_x(x, y) = w_x(x, y) \star f_s(x, y)$$

$$g_y(x, y) = w_y(x, y) \star f_s(x, y)$$

- Cài đặt

Sobel Kernel

$$w_x(x, y) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad w_y(x, y) = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

37

Bộ dò biên Canny (tiếp)

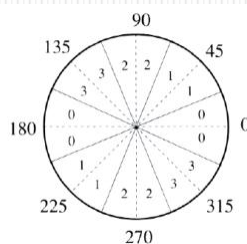
□ Bước 3. Loại những điểm không cực đại

- Tính độ lớn và góc của vector gradient

$$M(x, y) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \approx |g_x| + |g_y|$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{g_y}{g_x} \right)$$

- Quantize góc của vector gradient về góc 45 độ gần nhất

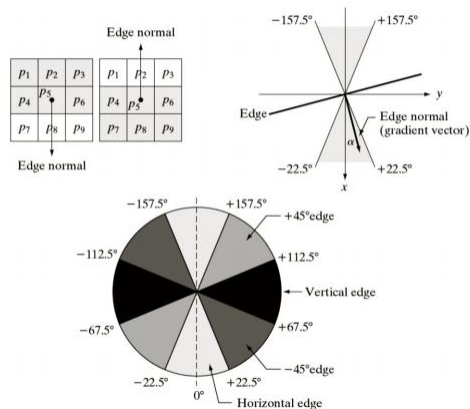


38

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Bước 3 (tiếp)

– Quantization:



39

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Bước 3 (tiếp)

- So sánh $M(x, y)$ với $M(x', y')$ theo hướng dương và âm của hướng gradient
 - Nếu $M(x, y) > M(x', y')$ theo cả hai hướng \rightarrow giữ nguyên: $g_N(x, y) = M(x, y)$
 - Ngược lại: \rightarrow loại bỏ: $g_N(x, y) = 0$
- Nếu: $\theta_Q(x, y) = 0^\circ$ thì xét điểm $(x+1, y)$ và $(x-1, y)$
- Nếu: $\theta_Q(x, y) = 90^\circ$ thì xét điểm $(x, y+1)$ và $(x, y-1)$
- Nếu: $\theta_Q(x, y) = 45^\circ$ thì xét điểm $(x+1, y+1)$ và $(x-1, y-1)$
- Nếu: $\theta_Q(x, y) = 135^\circ$ thì xét điểm $(x+1, y-1)$ và $(x-1, y+1)$

40

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Bước 4. Dò biên

- Lựa chọn 2 giá trị ngưỡng (T_H và T_L): $T_H = kT_L$
- Tính 2 ảnh dựa trên 2 ngưỡng này

$$g_{NH}(x, y) = \begin{cases} 1 & g_N(x, y) \geq T_H \\ 0 & g_N(x, y) < T_H \end{cases} \quad \text{Fewer and Strong Edge}$$

$$g_{NL}(x, y) = \begin{cases} 1 & g_N(x, y) \geq T_L \\ 0 & g_N(x, y) < T_L \end{cases} \quad \text{More and Weak/Strong Edge}$$

$$g_{NL}(x, y) = g_{NL}(x, y) - g_{NH}(x, y)$$

- Loại bỏ những điểm nằm trên biên “mạnh”

41

Bộ dò biên Canny (tiếp)

□ Bước 4 (tiếp)

- Những điểm nằm trên biên “mạnh”, g_{NH} được đánh dấu
- Những điểm trên biên “yếu”, g_{NL}
 - Step 1. Duyệt qua từng điểm p trong g_{NH}
 - Step 2. Đánh dấu những điểm biên “hợp lệ” trong g_{NL} nếu điểm đó liên thông với p (8 liên thông)
 - Step 3. Nếu tất cả các điểm khác 0, p trong g_{NH} đều đã được thăm \rightarrow step 4, ngược lại \rightarrow step 1
 - Step 4. Gán 0 tất cả những điểm trong g_{NL} không được đánh dấu biên “hợp lệ”
 - Step 5. Thêm những điểm khác 0 trong g_{NL} vào kết quả biên

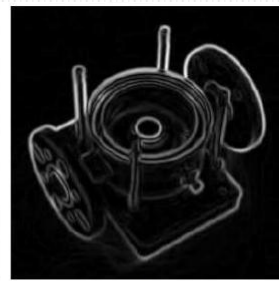
42



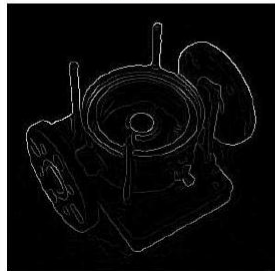
(a) Original



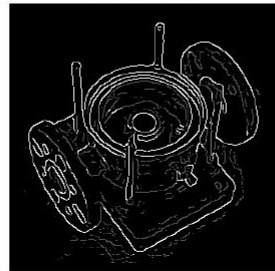
(b) Smoothed



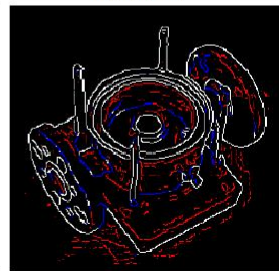
(c) gradient



(d) Edges after non-maximum suppression



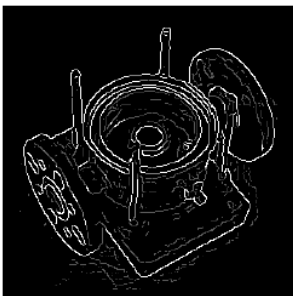
(e) Double thresholding



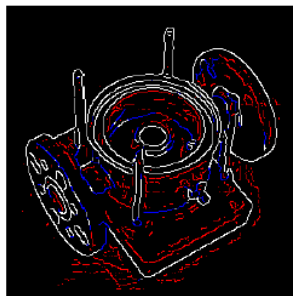
(f) Edge tracking by hysteresis

43

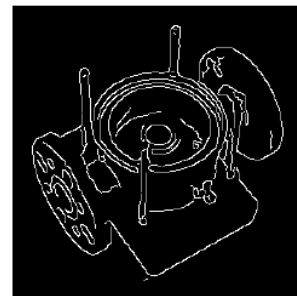
Bộ dò Canny (tiếp)



(a) Double thresholding



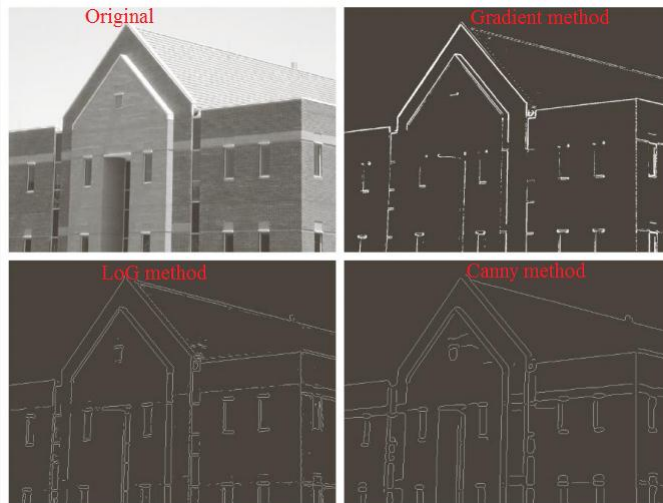
(b) Edge tracking by hysteresis



(c) Final output

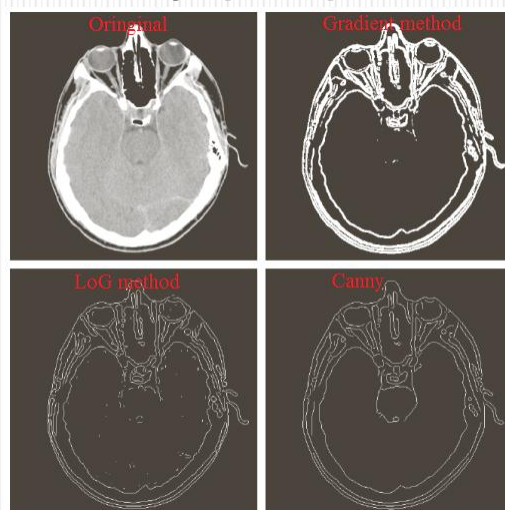
44

Bộ dò Canny (tiếp)



45

Bộ dò Canny (tiếp)



46

Phương pháp phân vùng dựa trên biên

- ☐ Phát hiện sự không liên tục (biến đổi bất thường)
 - Phát hiện điểm ảnh
 - Phát hiện đường thẳng
 - Phát hiện biên
- ☐ Các phương pháp nối biên
- ☐ Các phương pháp làm mảnh đường biên đến 1 pixel

47

Các phương pháp nối biên

- ☐ Phương pháp xử lý nối biên cục bộ
- ☐ Phương pháp xử lý toàn cục

48

Phương pháp xử lý nổi biên cục bộ

□ Tổng quát

- Tính độ lớn và góc của vector gradient
 - $M(x, y)$ và $\alpha(x, y)$
 - Áp mặt nạ (3x 3, hoặc 5 x 5) cho mỗi điểm ảnh (x, y) và kiểm tra

$$|M(s, t) - M(x, y)| \leq E \quad \text{and} \quad |\alpha(s, t) - \alpha(x, y)| \leq A$$

- Nếu cả 2 điều kiện cùng thỏa mãn \rightarrow nối 2 điểm với nhau
- \rightarrow Chi phí tính toán lớn

49

Phương pháp xử lý nổi biên cục bộ (tiếp)

□ Thuật toán đơn giản hơn

- Tính độ lớn và góc của vector gradient
 - $M(x, y)$ và $\alpha(x, y)$
- Tạo ảnh nhị phân $g(x, y)$

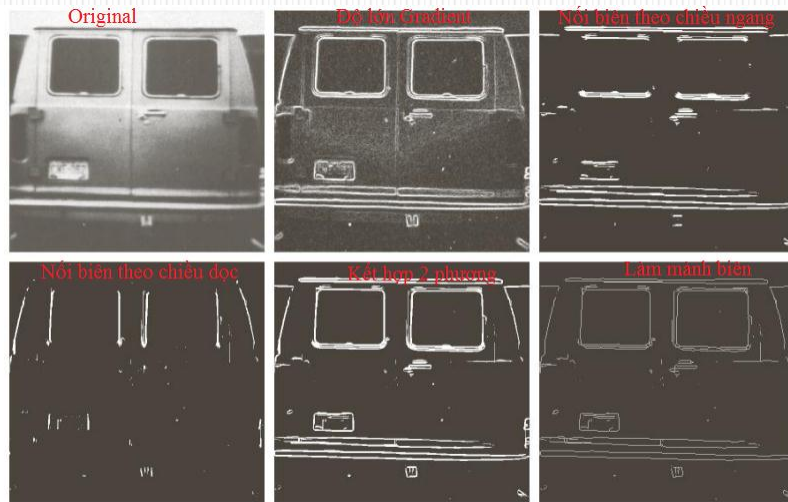
$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & M(x, y) > T_M \quad \text{and} \quad \alpha(x, y) = A \pm T_A \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

T_M : Threshold, A : Specified *angle* direction, $\pm T_A$: acceptable *direction* margin

- Duyệt các dòng của g và điền (nối liền) các khoảng trắng có độ dài $< K$
- Duyệt tất cả các hướng θ , bằng cách
 - Quay g một góc θ áp dụng quét dòng như trên
 - Quay g một góc $-\theta$

50

Phương pháp xử lý nổi biên cục bộ (tiếp)



51

Phương pháp xử lý nổi biên toàn cục

□ Tổng quát

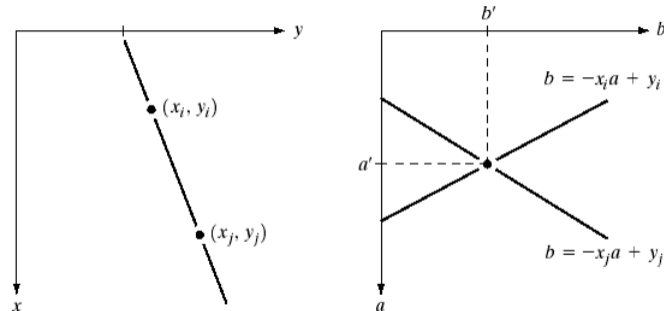
- Tìm tất cả các đường thẳng tạo bởi 2 điểm bất kỳ
- Tìm tất cả các tập điểm nằm trên (gần nằm trên) đường thẳng đó
- Độ phức tạp
 - $n(n-1)/2$ đường thẳng
 - Số phép so sánh $n(n-1)/2 \sim n^3$

52

Phương pháp xử lý nổi biên toàn cục

□ Biến đổi Hough (Hough transform)

- Xét điểm (x_i, y_i) , đường thẳng đi qua (x_i, y_i) có dạng: $y = ax + b \Rightarrow y_i = ax_i + b$
- Có thể viết dưới dạng: $b = -x_i a + y_i$

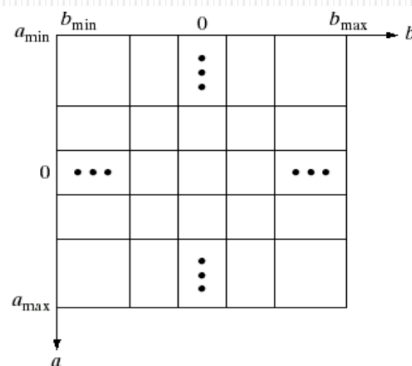
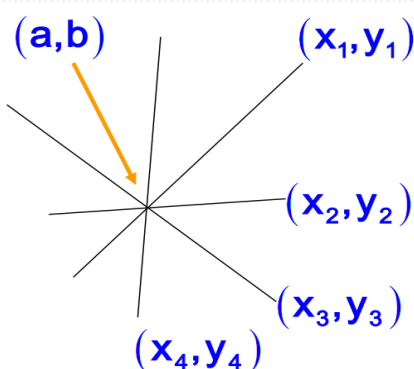


53

Biến đổi Hough

□ Cách tính toán

- Với mỗi giá trị (x, y) trên miền không gian, quét và điền giá trị trên miền tham số



Biến đổi Hough (tiếp)

- ❑ Giá trị a_{\min} , a_{\max} , b_{\min} , b_{\max} tùy thuộc vào giá trị các điểm (x, y)
- ❑ Thuật toán:
 - Bước 1. Xây dựng mảng chỉ số tích lũy $H[a, b]$ và gán giá trị 0 ban đầu
 - Bước 2. Với mỗi giá trị (x_i, y_i) , với mỗi a , tính b theo $b = -x_i * a + y_i$. $H[a, b] += 1$
 - Bước 3. Tìm giá trị lớn nhất \max của $H[a, b]$, nếu $\max/N > \text{ngưỡng}$ \rightarrow kết luận N điểm đã cho cùng nằm trên 1 đường thẳng

55

Biến đổi Hough (tiếp)

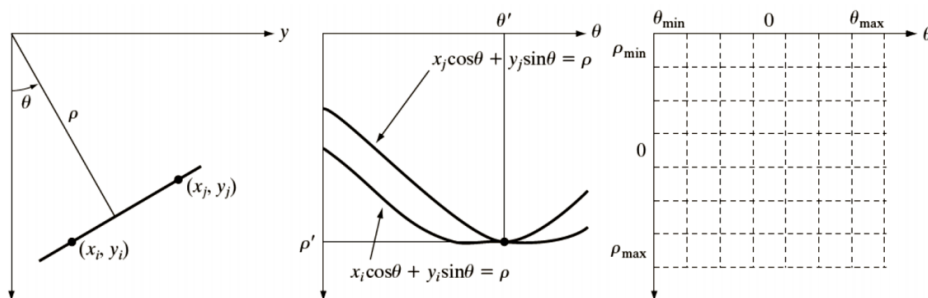
- ❑ Ví dụ: cho 5 điểm $(0, 1)$; $(1, 3)$; $(2, 5)$; $(3, 5)$; $(4, 9)$, ngưỡng = 80%. Kiểm tra xem 5 điểm trên có nằm trên 1 đường thẳng hay không? Pt đường thẳng nếu có

56

Biến đổi Hough trong hệ tọa độ cực

$$(x_i, y_i) \text{ \& } x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \Rightarrow x_i \cos \theta + y_i \sin \theta = \rho$$

All (x_i, y_i) 's on a sin intersect each other at (ρ, θ)



57

Biến đổi Hough (tiếp)

Chú ý:

- Biến đổi Hough còn có thể áp dụng cho hình tròn, elipse hay bất cứ hàm nào có dạng
 - $F(v, c) = 0$
 - Trong đó: v là vector tọa độ
 - c là vector tham số

58

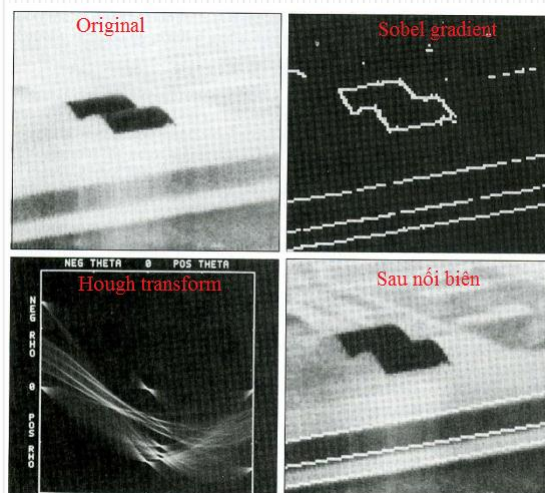
Biến đổi Hough (tiếp)

□ Áp dụng cho bài toán nổi biên

- Giả sử biên được tìm bằng cách tính toán gradient và lấy ngưỡng
- Xây dựng mảng chỉ số tích lũy trên miền tham số $[\rho, \theta]$, thiết lập các phần tử bằng 0 ban đầu
- Với mỗi điểm trên miền không gian, cập nhật mảng chỉ số tích lũy số trên miền tham số
- Xác định mối quan hệ giữa các pixel trong ảnh biên (có thể liên kết với nhau không?)
 - Liên kết nếu: các pixel cùng có giá trị mảng chỉ số tích lũy lớn
 - Giới hạn về khoảng cách giữa các pixel

59

Biến đổi Hough (tiếp)



60

Bài tập

☐ Sobel

☐ Canny

