



Tìm kiếm biên cạnh và đặc trưng trong ảnh

NHẬP MÔN THỊ GIÁC MÁY TÍNH

Trình bày: TS Trần Thái Sơn; Email: ttson@fit.hcmus.edu.vn

Nội dung

- Các loại ảnh.
- Nhiều trong ảnh.
- Phát hiện biên cạnh – edge detection.
- Mô hình đường bao – contour.

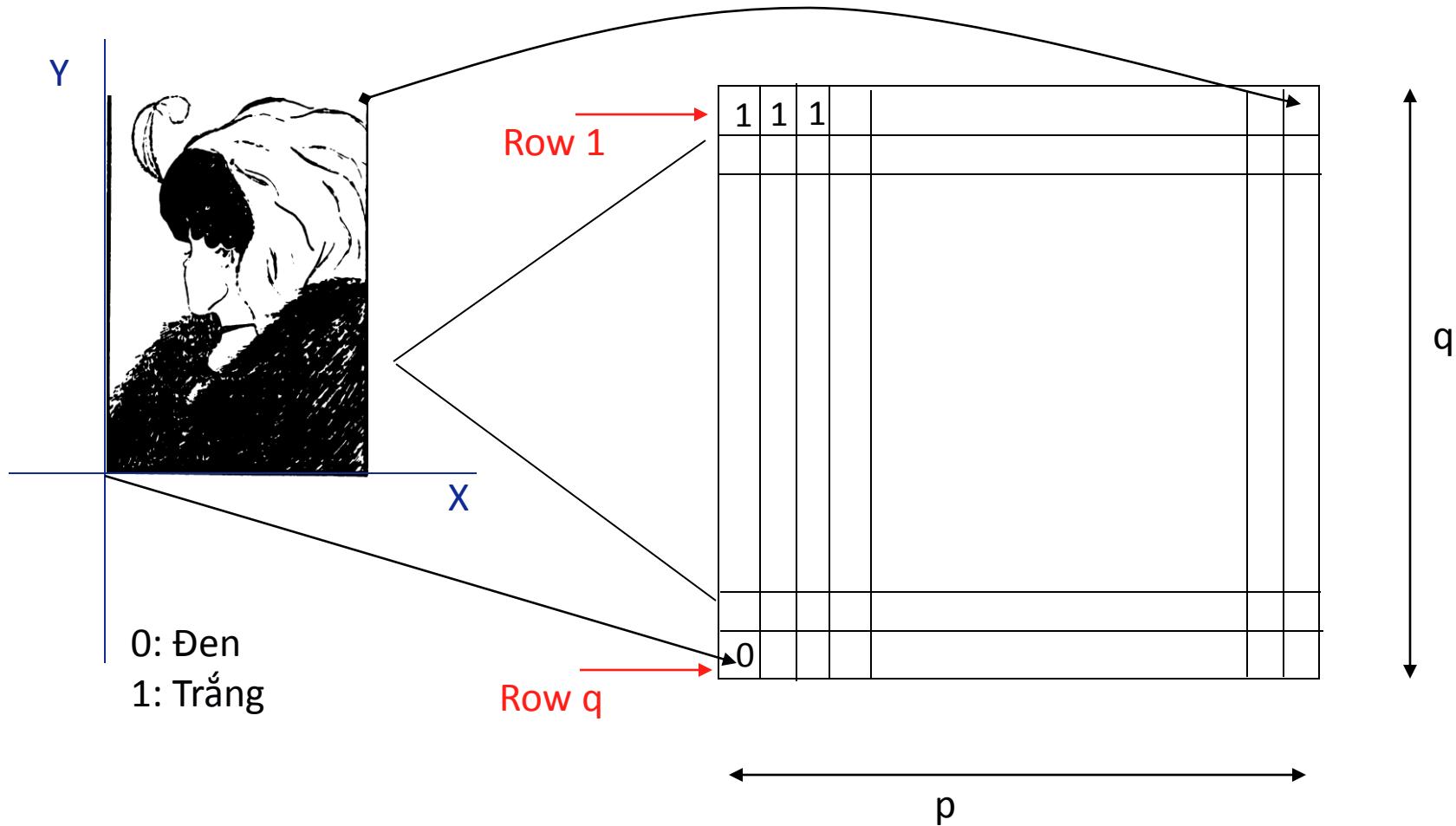


Các loại ảnh

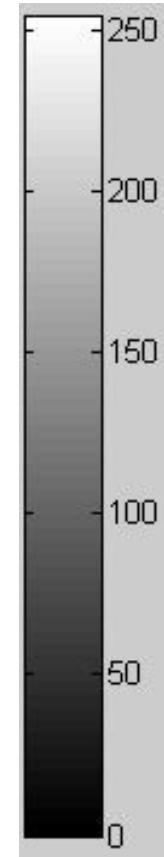
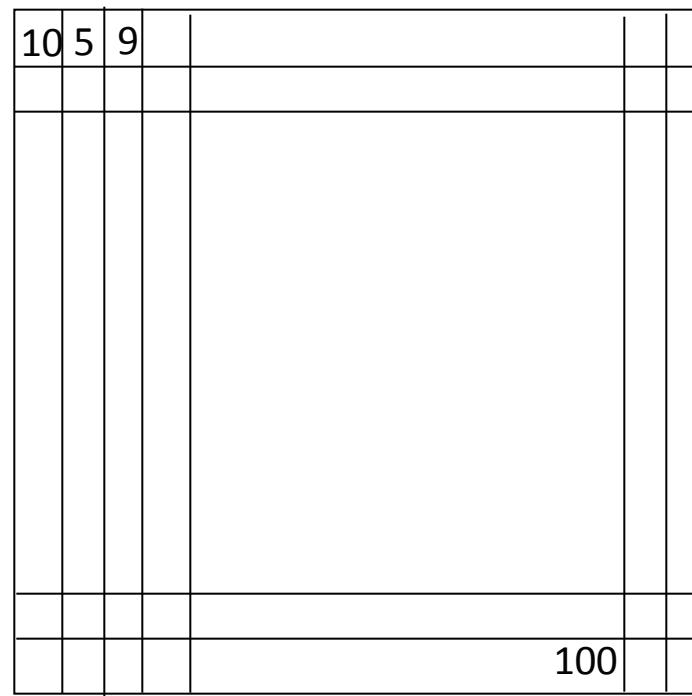
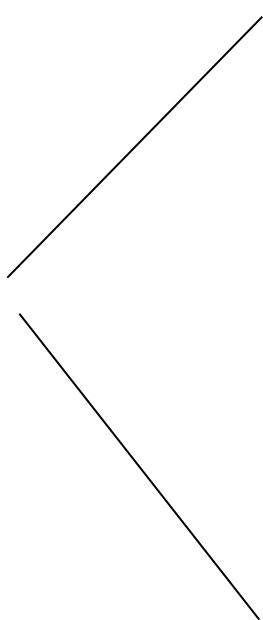
- Ảnh nhị phân – binary.
- Ảnh trắng đen – gray scale.
- Ảnh màu – color.



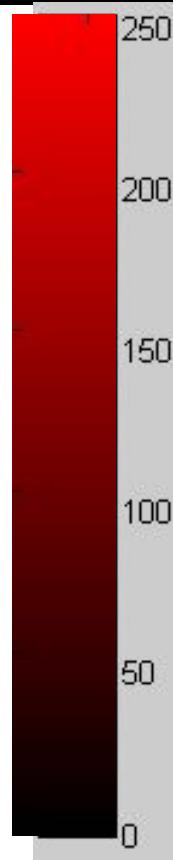
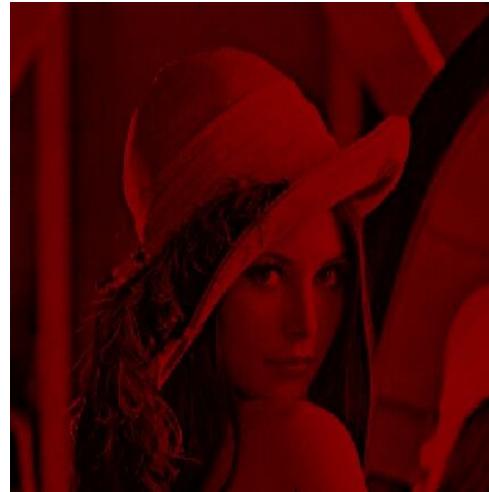
Ảnh nhị phân



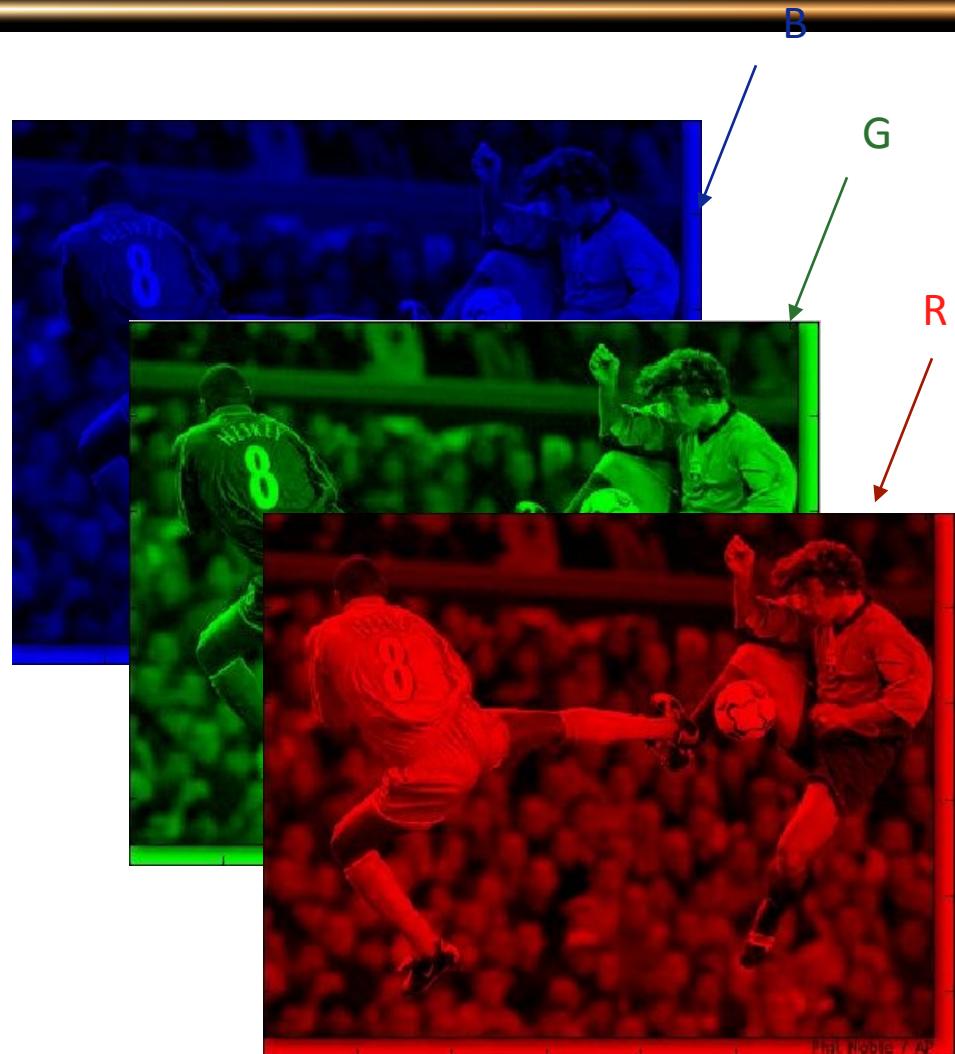
Ảnh đen trắng



Ảnh đen trắng



Ảnh màu (RGB)



$$C=(x,y); I'(x,y)=0.3R+0.59G+0.11B$$



Lược đồ màu

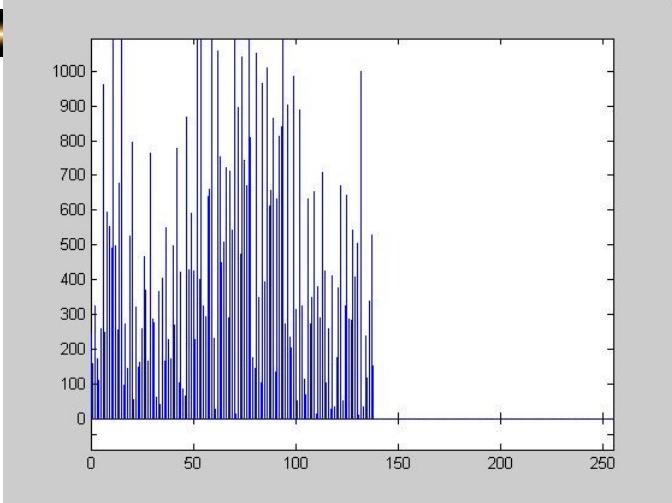
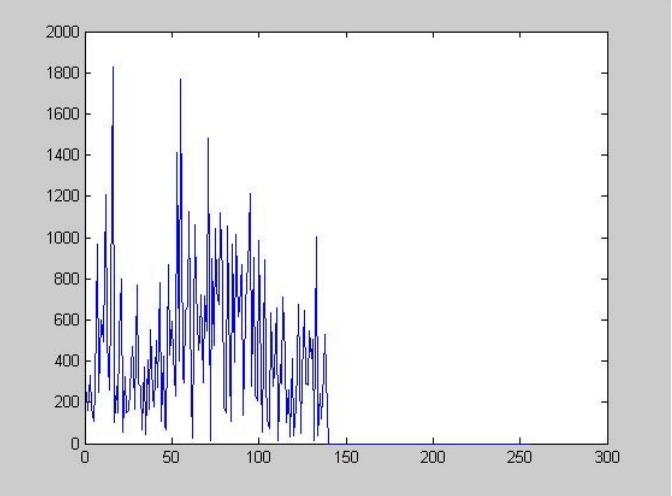


Image histogram



Nhiễu trong ảnh

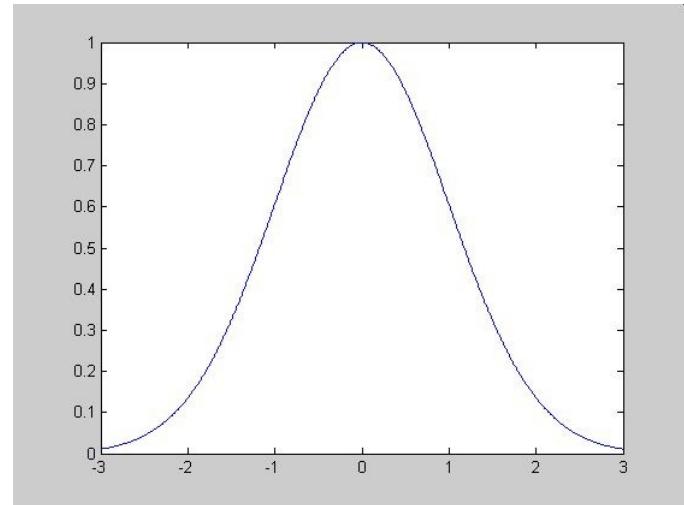
- Đặt $I(i,j)$ là giá trị thực của điểm ảnh và $n(i,j)$ là phần nhiễu thêm vào điểm (i,j) .

$$\hat{I}(i,j) = I(i,j) + n(i,j) \quad (\text{Additive White Noise})$$



Nhiễu Gaussian (White Noise)

$$n(i, j) = e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}$$



Nhiều hạt tiêu

$$\hat{I}(i, j) = \begin{cases} I(i, j) & t < l \\ s_{\min} + r(s_{\max} - s_{\min}) & t \geq l \end{cases} \quad \text{Với } \text{ngưỡng } l$$

$p, q \in [0,1]$ Phân phối đều của biến ngẫu nhiên t



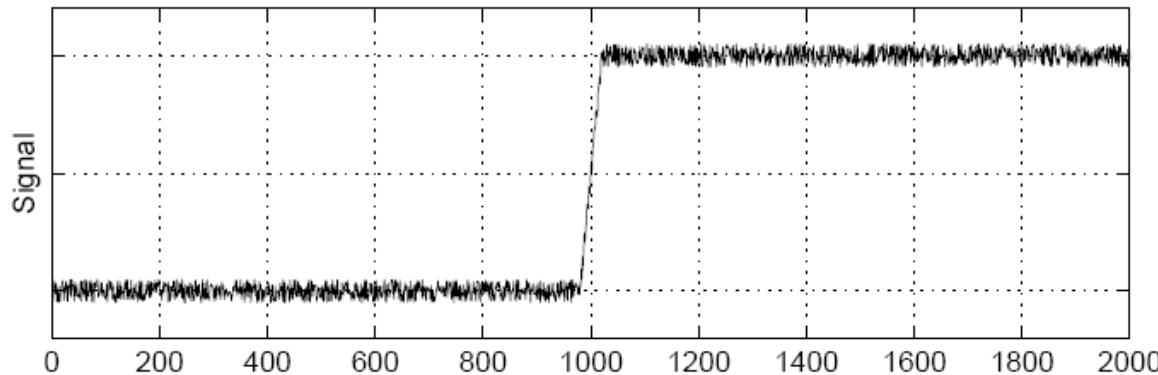
Biểu diễn biên cạnh và đường bao

- Biên cạnh (edges): biểu diễn sự thay đổi giá trị cục bộ trong ảnh, xuất hiện ở lề giữa 2 vùng khác nhau trong một ảnh.
- Đường bao (contour): biểu diễn đường liên kết giữa các biên cạnh cho viền của một vùng.
 - Đóng: tương ứng với đường viền của vùng, thuật toán tô màu xác định được những điểm ảnh trong vùng.
 - Mở:
 - Thành phần của viền một vùng, những vùng hở do ngưỡng cao hoặc độ tương phản thấp.
 - Xuất hiện khi các đoạn thẳng bị phân mảnh được nối lại với nhau, như trong vẽ hoặc viết tay.
- Biểu diễn đường bao:
 - Bằng danh sách có thứ tự của các biên cạnh.
 - Bằng phương trình đường cong (tập các đường thẳng hay các đường spline).

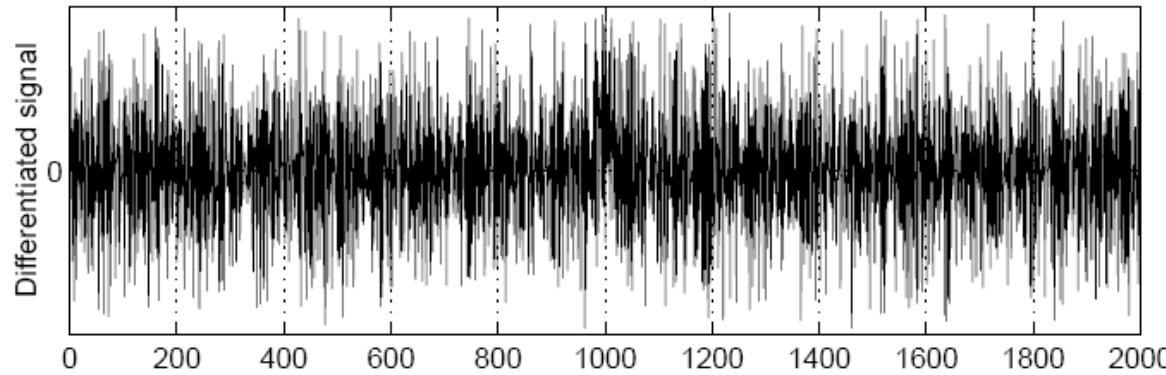


Tìm biên cạnh

- Xét một tín hiệu 1D: $I(x)$



- Chiến lược: tìm điểm cực tiểu hay cực đại của $I'(x)$:

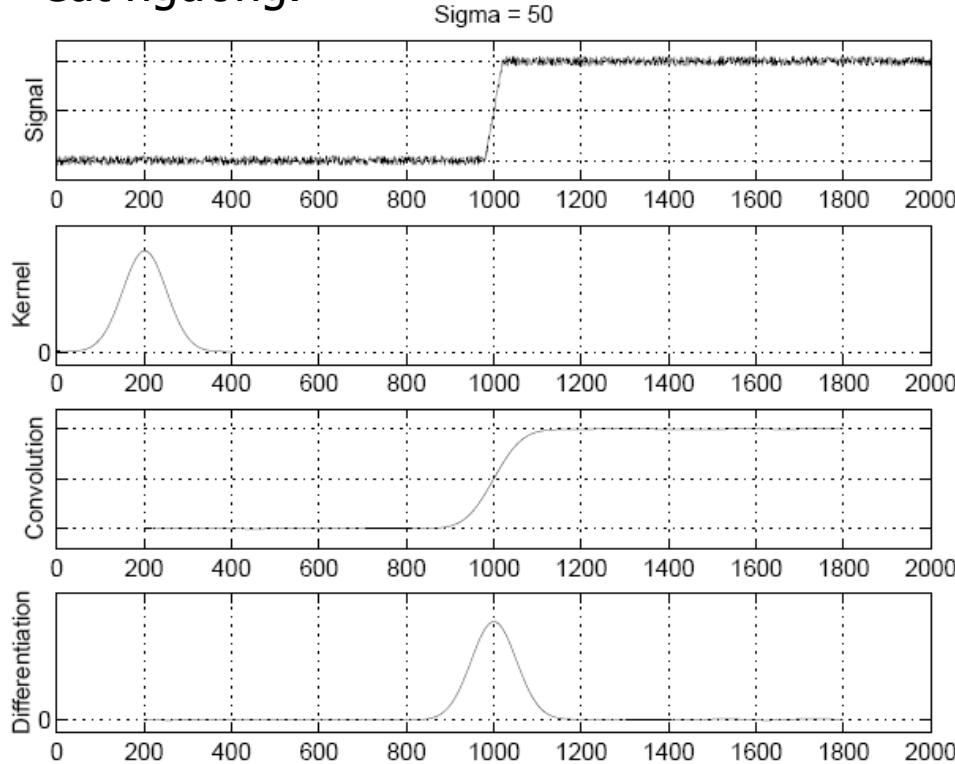


- Cần mịn hơn để xác định được nhiều.



Tìm biên cạnh 1-D

- Tính tích chập của tín hiệu 1-D với một nhân Gaussian để có $s(x)$.
- Tính đạo hàm của kết quả tín hiệu đã mịn để có $s'(x)$.
- Tìm cực đại / cực tiểu của $s'(x)$.
- Cắt ngưỡng.



$$g_\sigma(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\begin{aligned} s(x) &= g_\sigma(x) * I(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} g_\sigma(u)I(x-u) du \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} g_\sigma(x-u)I(u) du \end{aligned}$$



Tìm biên cạnh 1-D

- Tích chập rời rạc ở không gian 1-D:

$$y(t) = \dots + x(0)h(t-0) + x(\Delta)h(t-\Delta) + \dots$$

$$y(t) = \dots + x(0)h(t-0) + x(\Delta)h(t-\Delta) + \dots$$

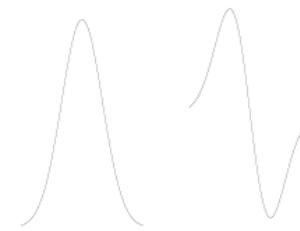
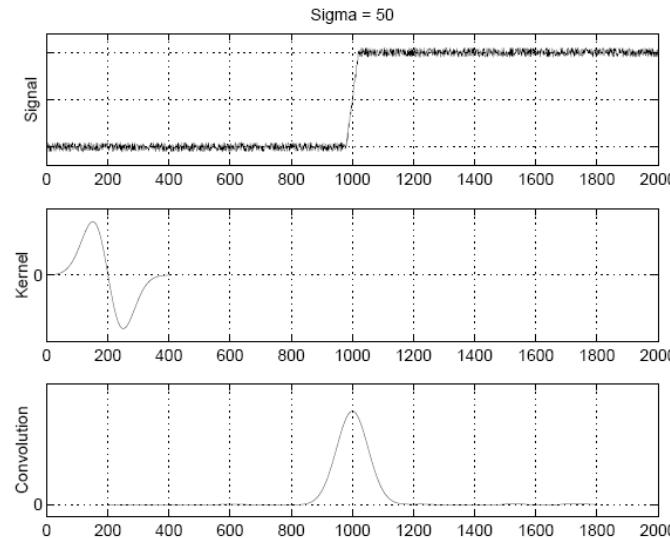
$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta)h(t-k\Delta)$$

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \hat{x}(k\Delta)h(t-k\Delta) \bullet \tau)h(t-\tau)d\tau$$



Tìm biên cạnh 1-D

- Chú ý: $s'(x) = \frac{d}{dx} [g_\sigma(x) * I(x)] = g'_\sigma(x) * I(x)$

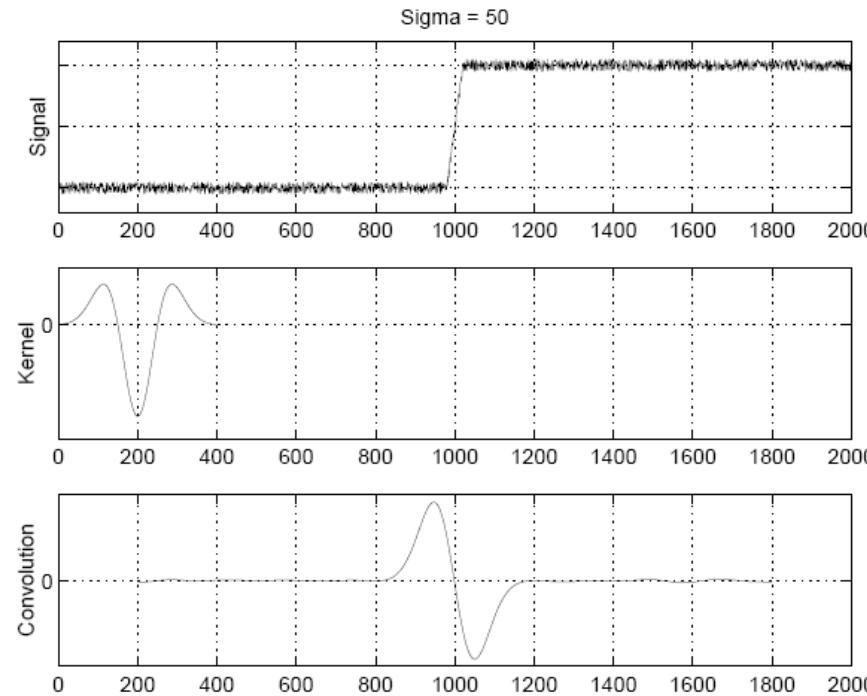


$$s''(x) = g''_\sigma(x) * I(x)$$



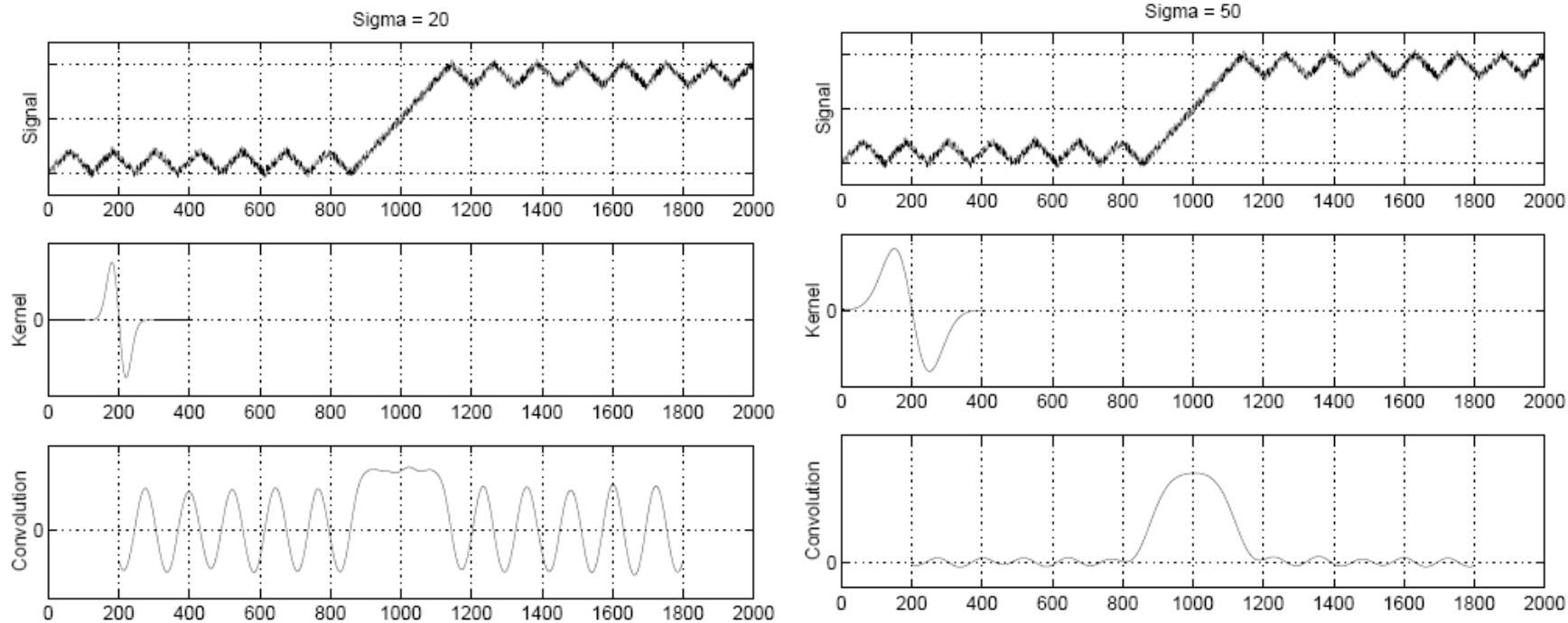
Tìm biên cạnh 1-D

- Tìm điểm cực tiểu / cực đại của $s'(x)$ giống như tìm điểm có giá trị 0 trên $s''(x)$, nên ta nhân tích chập $s(x)$ với công thức Laplacian của Gaussian $g_{\sigma}''(x)$:



Tìm biên cạnh 1-D đa tỉ lệ

- Khi σ tăng, độ mịn cũng tăng lên nên chỉ biên cạnh chính còn tồn tại



Phát hiện gián đoạn

- Các cách phát hiện điểm:
 - Áp dụng bộ lọc tần số cao (a high-pass filter).
 - Áp dụng ngưỡng: một điểm được phát hiện nếu giá trị của nó lớn hơn một giá trị ngưỡng dương.
- Ý tưởng là độ xám của một điểm tách biệt sẽ rất khác biệt với giá trị độ xám của các điểm xung quanh nó.

$$|R| > T$$

Threshold



Phát hiện gián đoạn

- Phát hiện điểm:

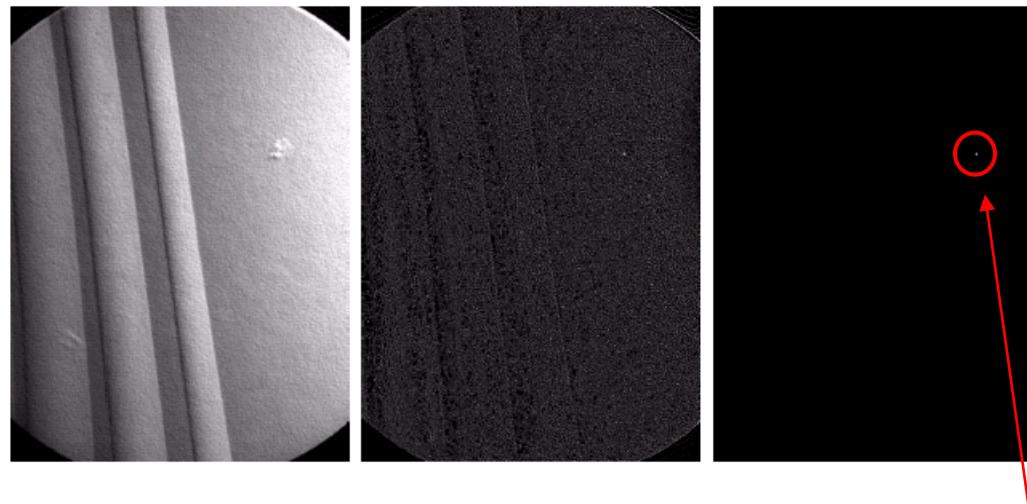
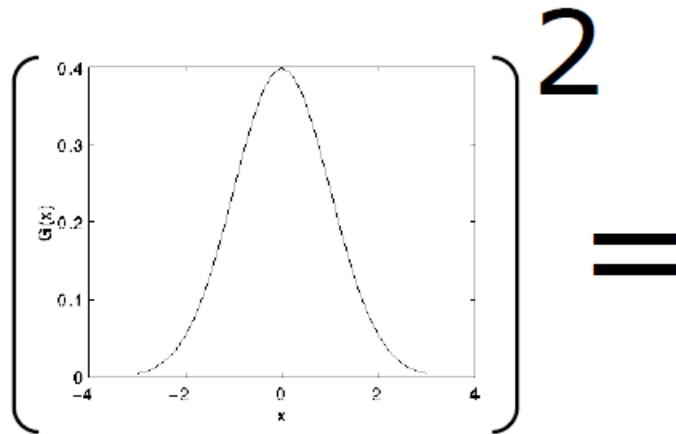


FIGURE 10.2
(a) Point detection mask.
(b) X-ray image of a turbine blade with a porosity.
(c) Result of point detection.
(d) Result of using Eq. (10.1-2).
(Original image courtesy of X-TEK Systems Ltd.)



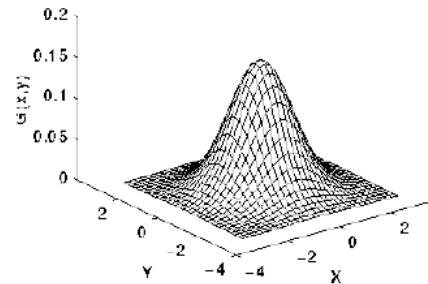
Tích chập 2D rời rạc

Bộ lọc mờ 2D Gaussian



$$\begin{aligned} g(n, m) &= f(n, m) * h(n, m) \\ &= \sum_i \sum_j f(i, j) h(n-i, m-j) \end{aligned}$$

Continuous 2D Function



Bộ lọc Gaussian 2D rời rạc

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

$$\frac{1}{273}$$



Phát hiện gián đoạn

- Ví dụ phát hiện đường thẳng:

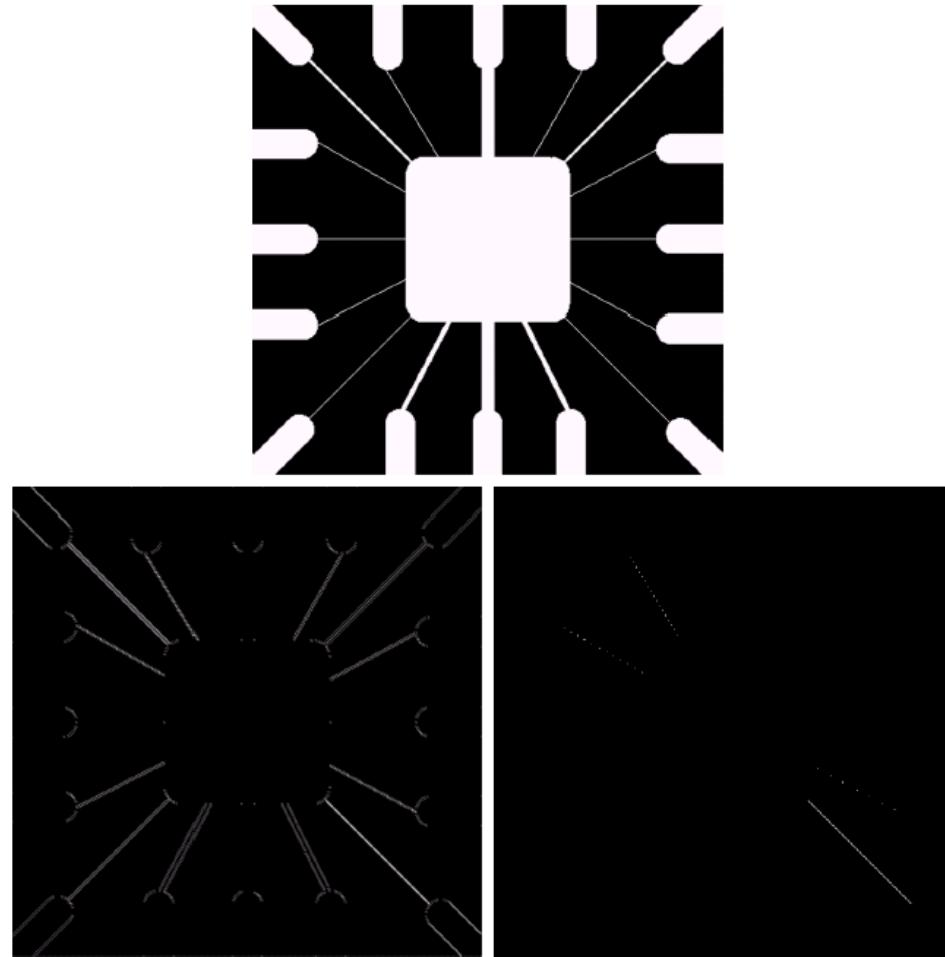
FIGURE 10.3 Line masks.

<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	-1	-1	-1	2	2	2	-1	-1	-1	Horizontal	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	-1	-1	2	-1	2	-1	2	-1	-1	+45°	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr></table>	-1	2	-1	-1	2	-1	-1	2	-1	Vertical	<table border="1"><tr><td>2</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>2</td></tr></table>	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	2	-45°
-1	-1	-1																																									
2	2	2																																									
-1	-1	-1																																									
-1	-1	2																																									
-1	2	-1																																									
2	-1	-1																																									
-1	2	-1																																									
-1	2	-1																																									
-1	2	-1																																									
2	-1	-1																																									
-1	2	-1																																									
-1	-1	2																																									
R_1		R_2		R_3		R_4																																					



Phát hiện gián đoạn

- Ví dụ phát hiện đường thẳng:

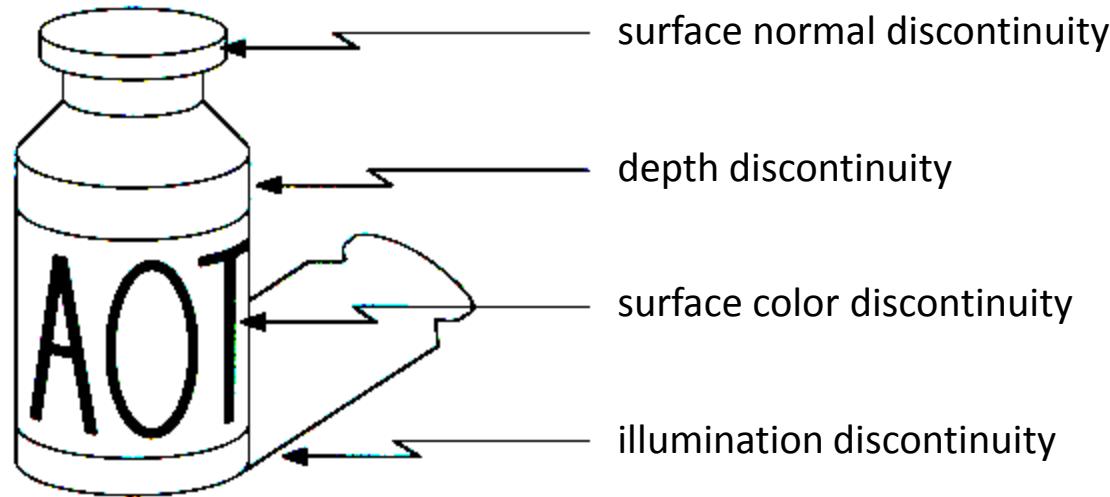


Phát hiện gián đoạn

- Phát hiện biên cạnh:
 - Một biên cạnh là một đường biên giữa 2 vùng với giá trị độ xám tương đối cách xa nhau.
 - Các phương pháp phát hiện biên cạnh đa số dựa trên phát hiện sự sai khác về giá trị độ xám. Lý do là những điểm tách biệt và những đường mảnh không thường xuyên xuất hiện trong nhiều trường hợp thực tế.
 - Ý tưởng của nhiều thuật toán phát hiện biên cạnh dựa trên tính toán đạo hàm.



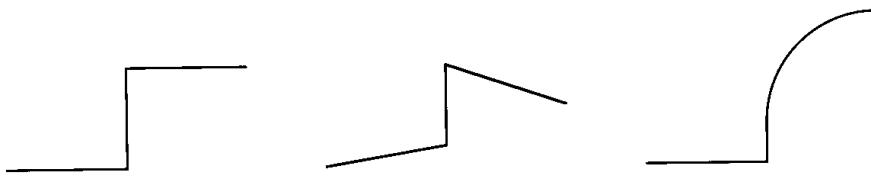
Nguồn gốc của biên cạnh



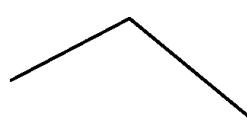
- Một biên cạnh có thể được tạo nên từ nhiều yếu tố khác nhau.



Các loại biên cạnh



Step Edges



Roof Edge



Line Edges



Đạo hàm ảnh

- Công thức đạo hàm ảnh:

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$

- Những điểm đạo hàm nằm trong hướng giảm nhanh nhất giá trị điểm ảnh

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, 0 \right]$$

$$\nabla f = \left[0, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$

- Hướng giảm đạo hàm:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x} \right)$$

- Cường độ biên cạnh được tính bởi giá trị của đạo hàm theo từng hướng.

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



Công thức đạo hàm rời rạc

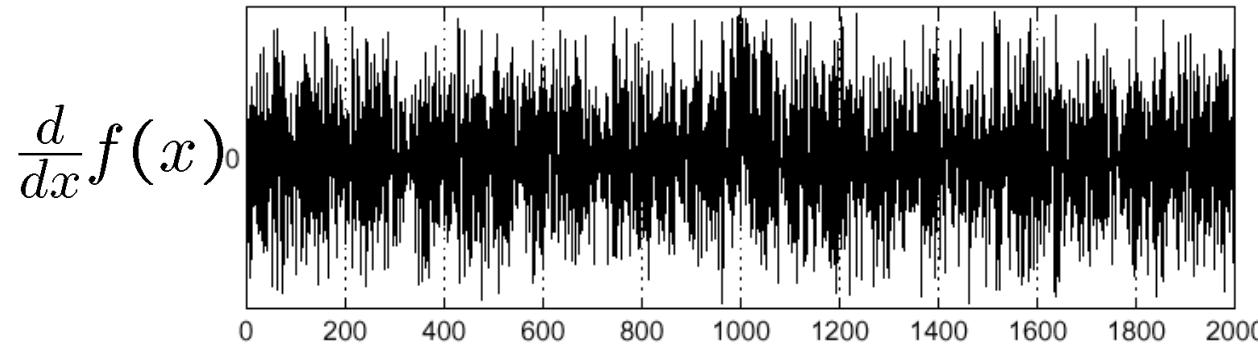
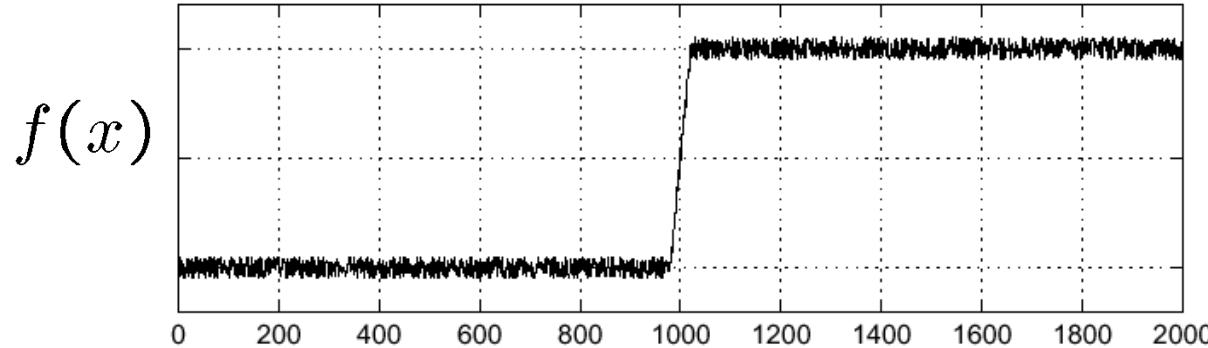
- Cách để tính đạo hàm của một ảnh số $f[x,y]$?
 - Cách 1: xây dựng một ảnh liên tục và tính đạo hàm.
 - Cách 2: tính theo công thức đạo hàm rời rạc.

$$\frac{\partial f}{\partial x}[x, y] \approx f[x + 1, y] - f[x, y]$$



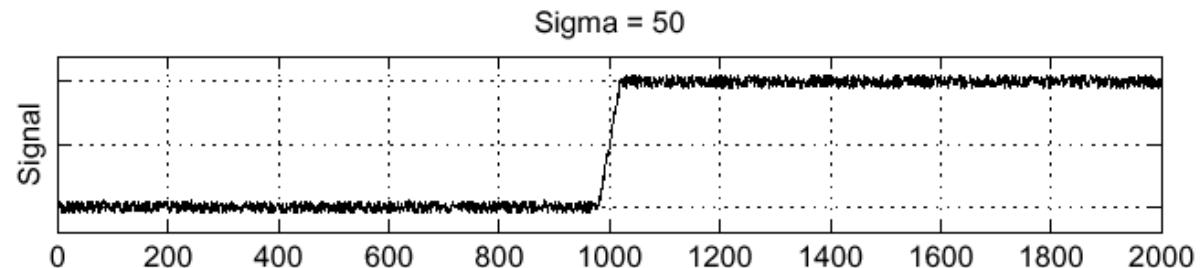
Ảnh hưởng của nhiễu

- Xét trên một cột hay một dòng của ảnh.
 - Vẽ đồ thị cường độ như một hàm tín hiệu.

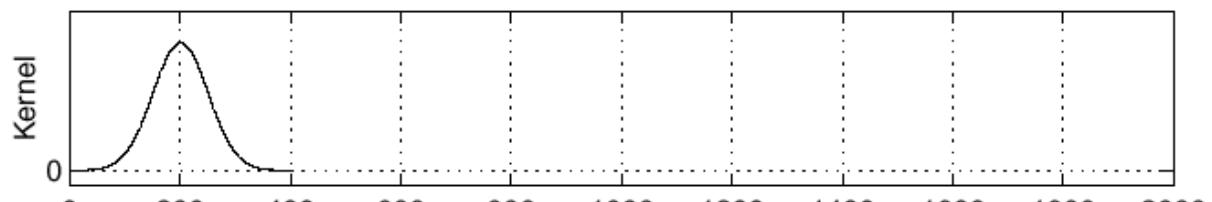


Giải pháp: Làm trơn

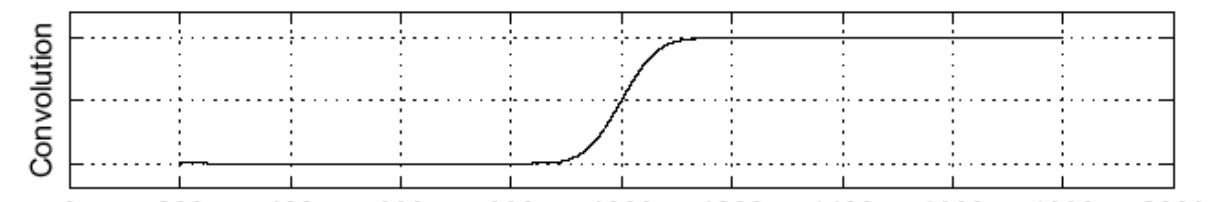
f



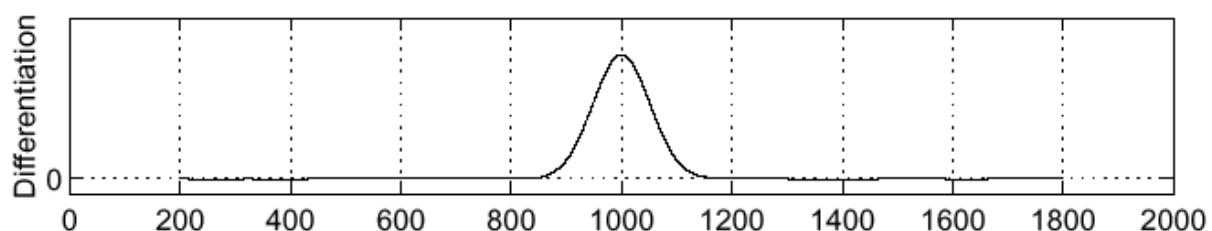
h



$h \star f$



$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f)$



Tìm đỉnh trong

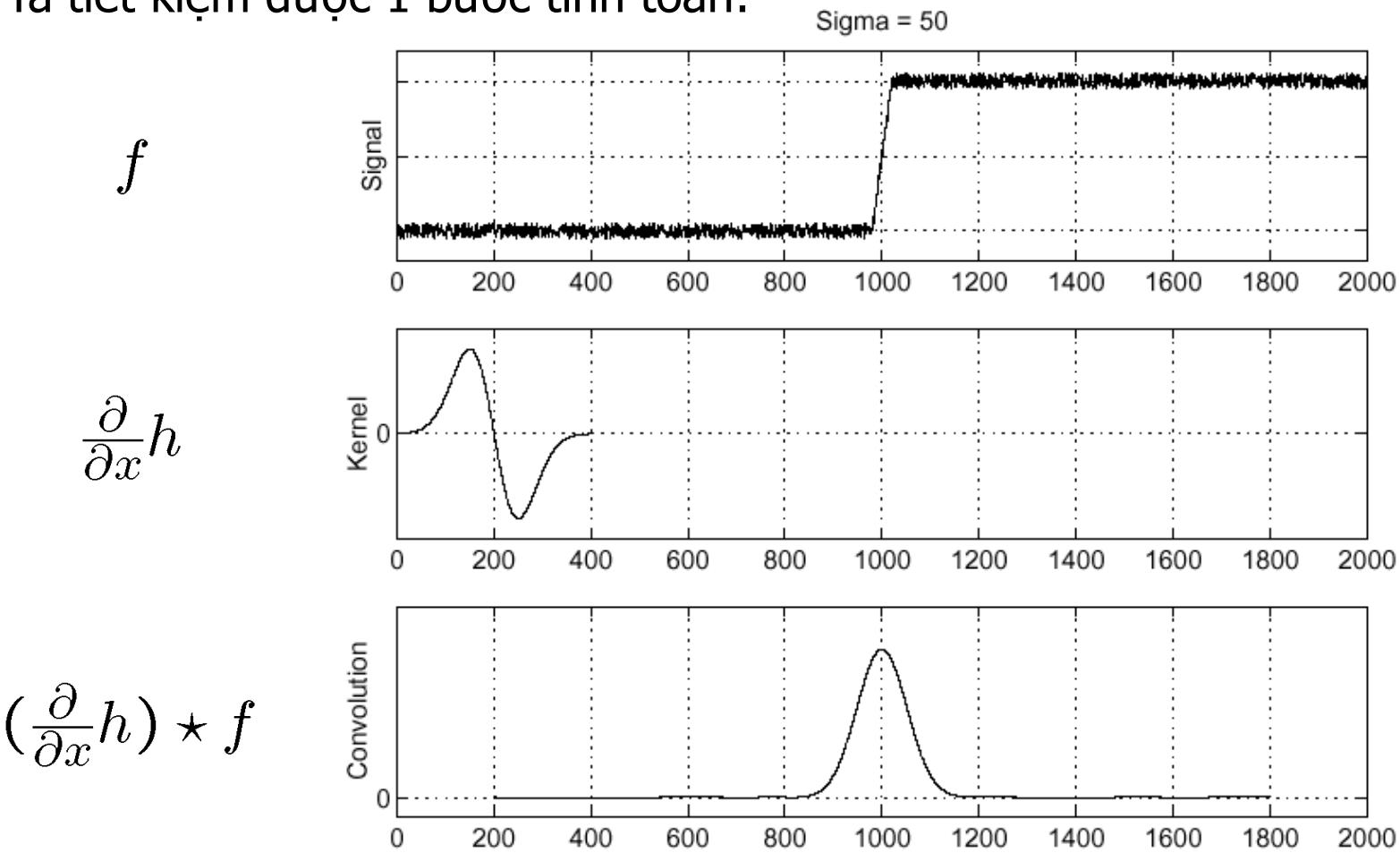
$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f)$



Định lý đạo hàm tích chập

$$\frac{\partial}{\partial x}(h \star f) = (\frac{\partial}{\partial x}h) \star f$$

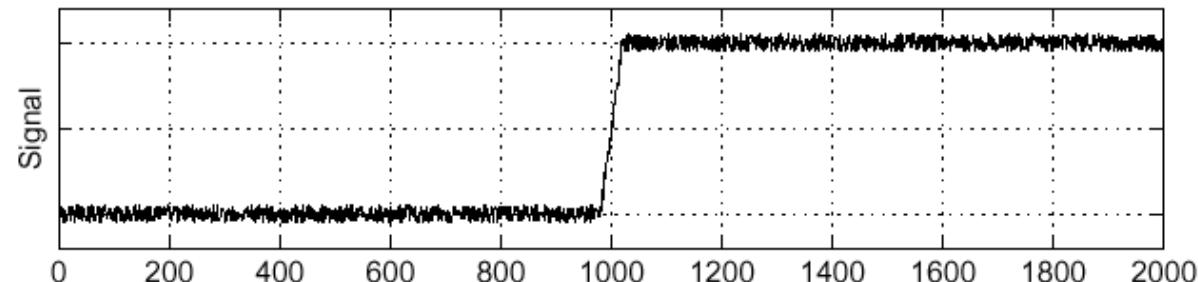
- Ta tiết kiệm được 1 bước tính toán:



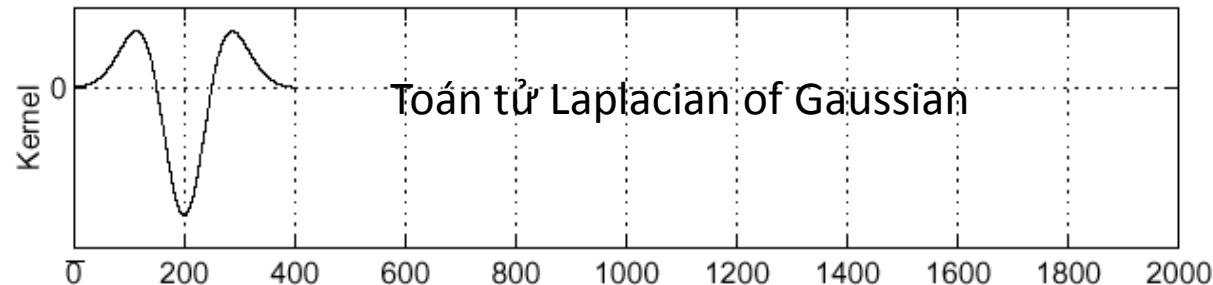
Laplacian của Gaussian

- xem $\frac{\partial^2}{\partial x^2}(h * f)$

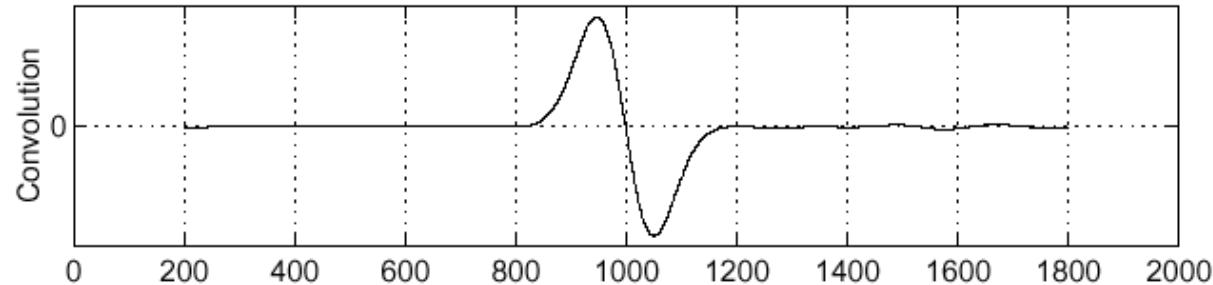
f



$\frac{\partial^2}{\partial x^2} h$



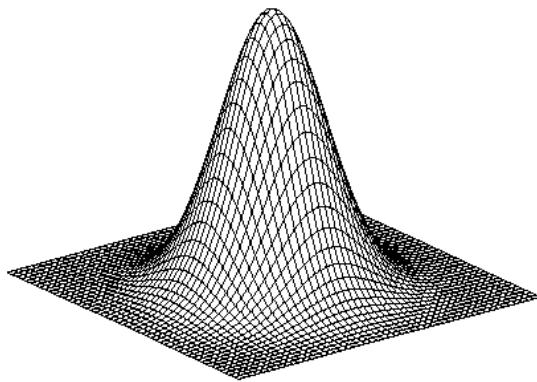
$(\frac{\partial^2}{\partial x^2} h) * f$



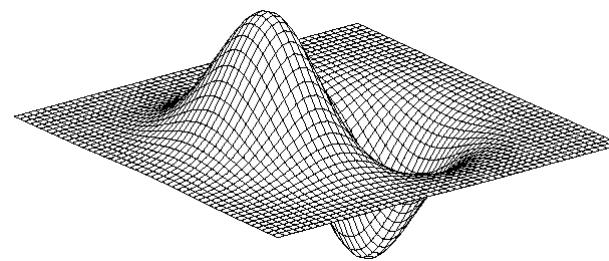
Vị trí đồ thị cắt qua giá trị 0 (zero-crossing)



Bộ lọc tìm biên cạnh 2D



Gaussian

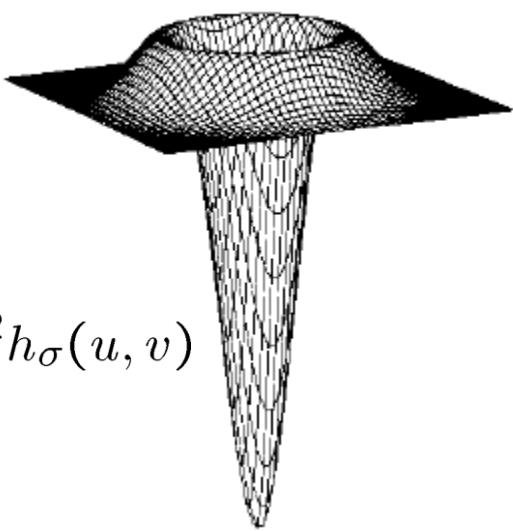


Đạo hàm bậc 1 của Gaussian

$$h_\sigma(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} h_\sigma(u, v)$$

$$\nabla^2 h_\sigma(u, v)$$



Laplacian của Gaussian

- ∇^2 là toán tử **Laplacian**:

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



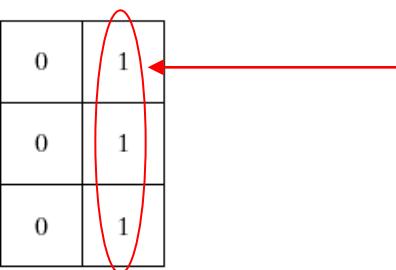
Phát hiện biên cạnh

- Các bộ lọc có thể để tìm đạo hàm ảnh theo hướng trực tung và trực hoành:

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

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

Prewitt



Tính trung bình nhiều

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

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

Sobel

Tính trung bình nhưng trọng số điểm trung tâm được cho quan trọng hơn



Phát hiện biên cạnh

a	b
c	d

FIGURE 10.10

- (a) Original image. (b) $|G_x|$, component of the gradient in the x -direction.
(c) $|G_y|$, component in the y -direction.
(d) Gradient image, $|G_x| + |G_y|$.



Phát hiện biên cạnh

- Toán tử Laplacian của một ảnh $f(x,y)$ là đạo hàm bậc 2 được định nghĩa:

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

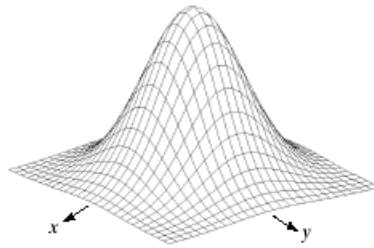
Tính toán xấp xỉ:

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

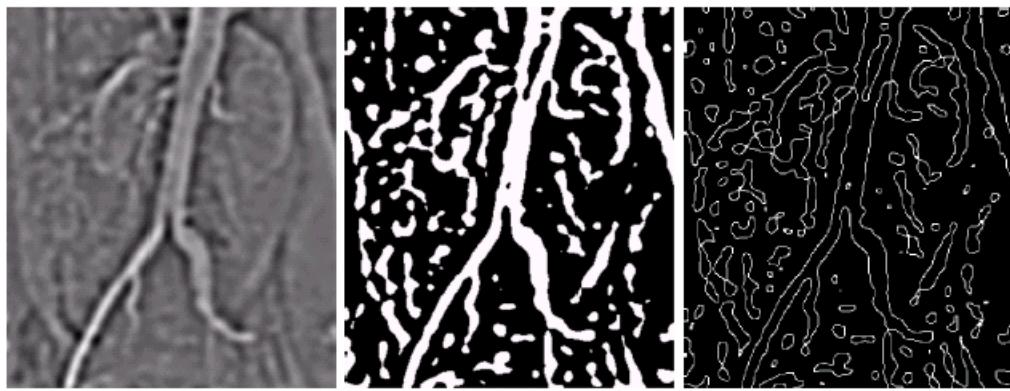
-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



Phát hiện biên cạnh



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



Một phương pháp đơn giản để tìm điểm zero-crossing là đặt ngưỡng:

1. Đặt tất cả các giá trị pixel > 0 là trắng.
2. Đặt tất cả các giá trị pixel < 0 là đen.
3. Xác định vùng chuyển giao giữa đen và trắng.

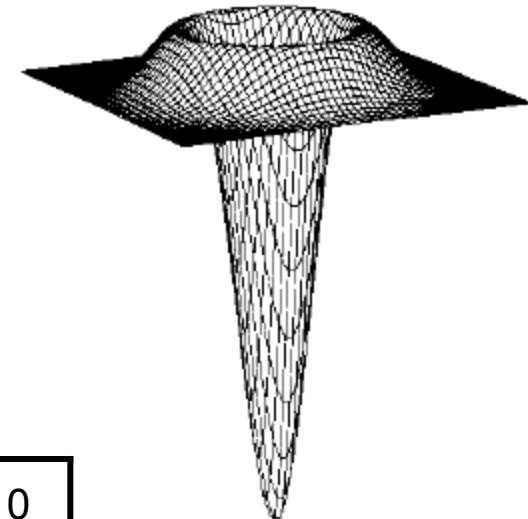
So sánh:

- Các biên cạnh trong ảnh xác định điểm zero-crossing thì mảnh hơn ảnh đạo hàm bình thường.
- Các biên cạnh trong ảnh xác định điểm zero-crossing có được nhiều đường khép kín hơn.



Phát hiện biên cạnh

- Bộ lọc Laplacian của Gaussian:



Công thức xấp xỉ:

0	0	1	0	0
0	1	2	1	0
1	2	-16	2	1
0	1	2	1	0
0	0	1	0	0



Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp Canny



- Hình mẫu (Lena)



Các bước thuật toán Canny

- Làm trơn ảnh.
- Tính đạo hàm ảnh.
- Tính tìm hướng biên cạnh.
- Non-maximum suppression.
- Hysteresis.



Làm trơn ảnh

- Giảm nhiễu trong ảnh có thể dẫn đến đầu ra sai.
- Được tính bằng tích chập của ảnh đầu vào với bộ lọc Gaussian.

1
—
159

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

$$\sigma=1.4$$

Tính toán đạo hàm

- Xác định độ chênh lệch cường độ ảnh.
- Sự chênh lệch cao biểu thị biên cạnh.
- Được tính bằng tích chập của ảnh đã trơn với các mặt nạ (mask) để tính đạo hàm theo chiều ngang và chiều dọc.

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

1	2	1
0	0	0
1	2	1

- Hướng đạo hàm được xác định bằng cách thêm X và Y vào ảnh đạo hàm:
 ∇_x ∇_y

$$|\nabla| = |\nabla_x| + |\nabla_y|$$



Tính hướng biên cạnh

- Hướng biên cạnh được xác định bằng tính dựa trên đạo hàm theo chiều X và Y của ảnh:

$$\Theta_{x,y} = \tan^{-1} \frac{\nabla_x}{\nabla_y}$$

- Hướng biên cạnh được chia ra thành 4 nhóm góc chính 0,45,90,135 độ.



Non-maximum Suppression

- Được sử dụng để định vị biên cạnh.
- Sử dụng sự phân chia hướng biên cạnh và giá trị cường độ đạo hàm.
- Với mỗi pixel, xác định nó có lớn hơn về độ lớn với tất cả điểm láng giềng vuông góc với nó.
- Tất cả các điểm không phải là cực đại cục bộ sẽ được gán giá trị độ lớn là 0.



Hysteresis

- Xác định biên cạnh cuối sử dụng ngưỡng cao và thấp.
- Duyệt qua từng điểm ảnh để tìm điểm với giá trị đạo hàm lớn hơn ngưỡng cao.
- Những điểm tìm được ở trên được thêm vào biên cạnh đầu ra .
- Tất cả các điểm láng giềng của các điểm mới được thêm vào được quét lại và thêm vào danh sách biên cạnh đầu ra nếu các giá trị đạo hàm các điểm đó nằm dưới ngưỡng dưới.



Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp Canny



- Đạo hàm đã được chuẩn hóa.



Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp Canny



■ Đặt ngưỡng



Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp Canny



- Làm mảnh (thinning)



Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp trừ



Hình gốc



Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp trừ



Làm trơn (5x5 Gaussian)



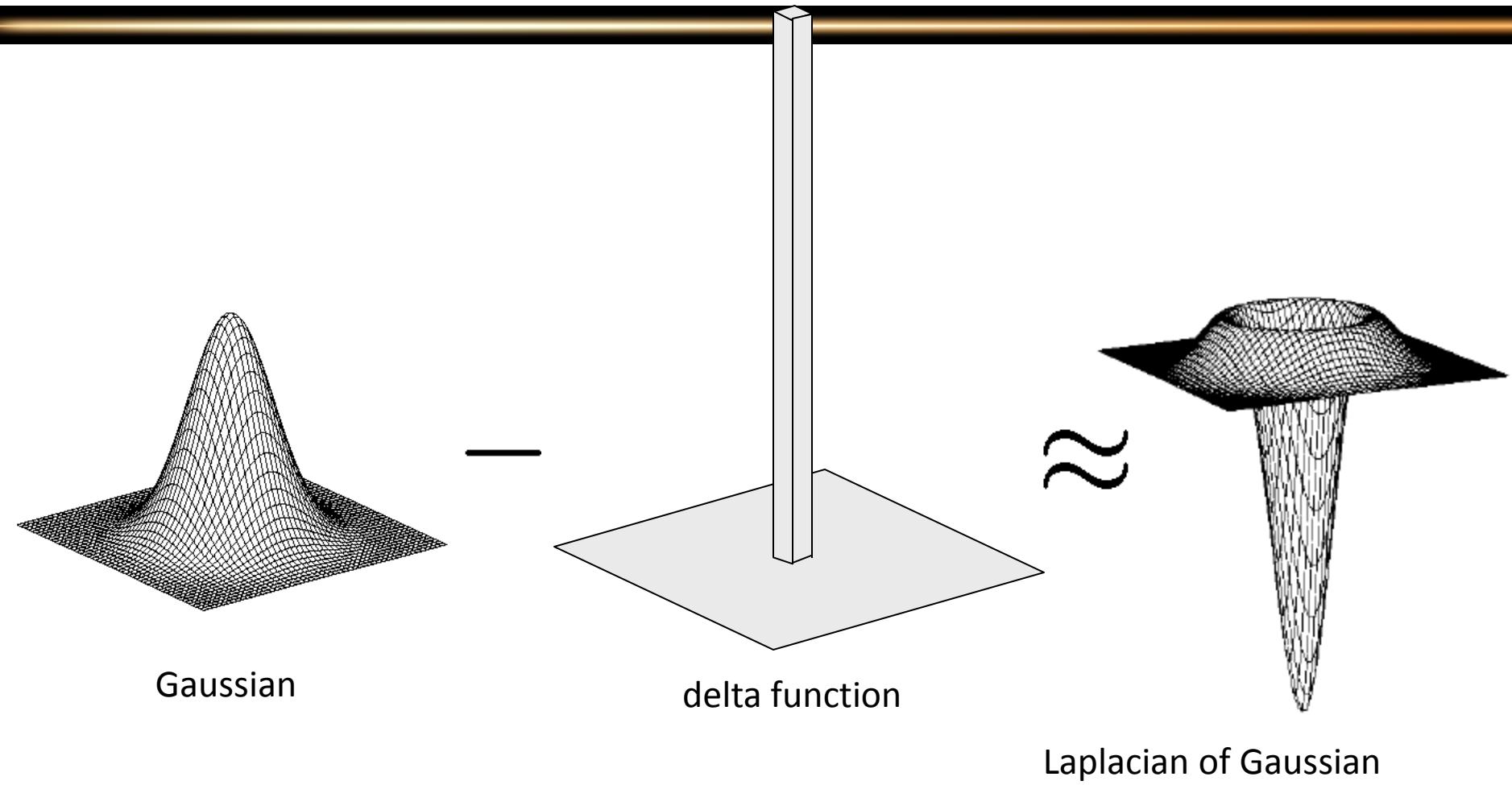
Phát hiện biên cạnh bằng phương pháp trừ



Ảnh đã được làm trơn – ảnh gốc



Gaussian – bộ lọc ảnh



Đường bao - Contour



Tiêu chuẩn đường bao

- Tính hiệu quả: đơn giản, biểu diễn cô đọng.
- Tính chính xác: khớp với các đặc điểm của ảnh.
- Tính hiệu dụng: phù hợp với các thao tác trên ảnh cho các ứng dụng lớn.
- Tính hiệu quả được định nghĩa:
 - Dạng của đường cong để biểu diễn đường bao.
 - Hiệu quả của thuật toán So khớp đường cong.
 - Độ chính xác của ước lượng vị trí biên cạnh.



Biểu diễn đường bao

- Cách biểu diễn đường bao đơn giản nhất là một danh sách có thứ tự của các biên cạnh.
- Tính chính xác: bằng độ chính xác của ước lượng vị trí của biên cạnh.
- Tính hiệu quả: không hiệu quả, không đơn giản và cô đọng.
- Tính hiệu dụng: không cao khi phân tích các chuỗi ảnh.



Biểu diễn đường bao

- Một biểu diễn hiệu quả hơn là khớp với một đường cong.
- Tính chính xác: ↑ (lỗi ở xác định vị trí biên cạnh được giảm thông qua sự trung bình).
- Tính hiệu quả: ↑ (cung cấp một biểu diễn cô đọng hơn).
- Tính hiệu dụng: ↑ (biểu diễn hợp lý hơn cho các thao tác trên chuỗi ảnh).



Khái niệm về đường bao

- Một đường bao là một chuỗi có các điểm ảnh đảm bảo liên kết 8 với nhau (8-connected) trong một ảnh mà trong đó mỗi điểm ảnh có thể đến được từ những điểm khác trên đường bao. Một đường bao mở có 2 điểm ảnh cuối, mỗi điểm này chỉ có 1 điểm lân cận trong đường biên, và có 0 hoặc nhiều hơn điểm bên trong, mỗi điểm đó thì có 2 điểm lân cận. Một đường bao đóng không có điểm cuối và tất cả các điểm trong đó có chính xác 2 điểm lân cận.
- Chiều dài của đường bao được tính bằng tổng khoảng cách giữa 2 điểm ảnh liền kề trong đường bao. Tất cả các điểm liền kề mà nằm chung trên một đường ngang hay đường dọc thì khoảng cách ≥ 1 điểm ảnh. Phần còn lại được xem ≥ 2 điểm ảnh.



Định nghĩa

- Một đường cong nội suy là một tập điểm nếu đường cong chạy qua tập điểm đó.
- Phép xấp xỉ là khớp một đường cong đi qua tập điểm với độ chính xác cao nhưng không nhất thiết là phải khớp toàn bộ.
- Một tập biên cạnh là một tập có thứ tự các điểm biên cạnh hay các đoạn.
- Một đường bao là một tập biên cạnh hay một đường cong biểu diễn tập biên cạnh đó.
- Một đường biên là một đường bao đóng bao quanh một vùng.



Nội suy và xấp xỉ



interpolation



approximation



Hình học của đường cong

- Biểu diễn đường cong 2 chiều:
 - Công thức rõ ràng : $y = f(x)$.
 - Công thức ngầm hiểu : $f(x,y) = 0$.
 - Dạng tham số : $(x(u),y(u))$ với u là một tham số.
- Độ dài của đường cong được tính bằng chiều dài cung:

$$\int_{u1}^{u2} \sqrt{\left(\frac{dx}{du}\right)^2 + \left(\frac{dy}{du}\right)^2} du$$

- Đường tiếp tuyến đơn vị:
$$t(u) = \frac{p'(u)}{|p'(u)|} \quad p(u) = (x(u), y(u))$$
- Đường trực giao của đường cong là đạo hàm của tiếp tuyến:

$$n(u) = p''(u)$$



Biểu diễn số hóa đường cong

- Đặt $p_i = (x_i, y_i)$ là tọa độ của biên cạnh “i” trong tập biên cạnh.
 - Ước lượng độ nghiêng sử dụng các biên cạnh không liền kề:
 - Left k-slope: direction from p_{i-k} to p_i
 - Right k-slope: direction from p_i to p_{i+k}
 - K-curvature: difference between the left and right k-slopes.
 - Length of digital curve $S = \sum_{i=2}^n \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$
-
- Distance between end points $D = \sqrt{(y_n - y_1)^2 + (x_n - x_1)^2}$



Chain Code

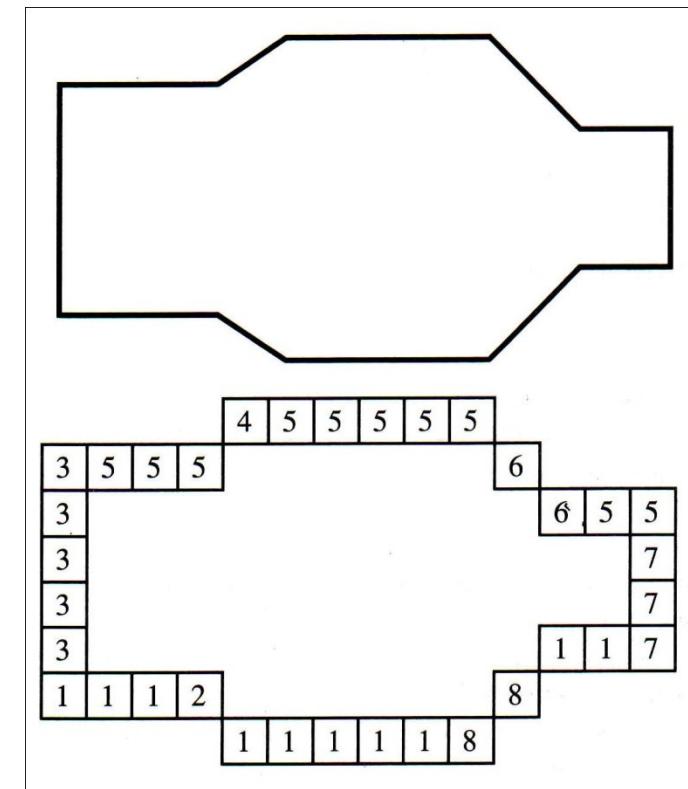
- Một khái niệm để ghi nhớ danh sách biên cạnh trên đường bao.
- đường bao có một hướng nhất định tại mỗi biên cạnh trong danh sách.
- Các hướng được định lượng lại thành tập 8 hướng.
- Bắt đầu từ biên cạnh đầu tiên trong danh sách và đi theo hướng chiều kim đồng hồ xung quanh đường bao, hướng của biên cạnh tiếp theo được xác định dựa trên một trong 8 chain code. Hướng là chain code cho 8-láng giềng của biên cạnh.
- Biểu diễn một danh sách biên cạnh bởi tọa độ của biên cạnh đầu tiên và danh sách của chain code dẫn đến một chuỗi các biên cạnh.



Ví dụ: Chain Code

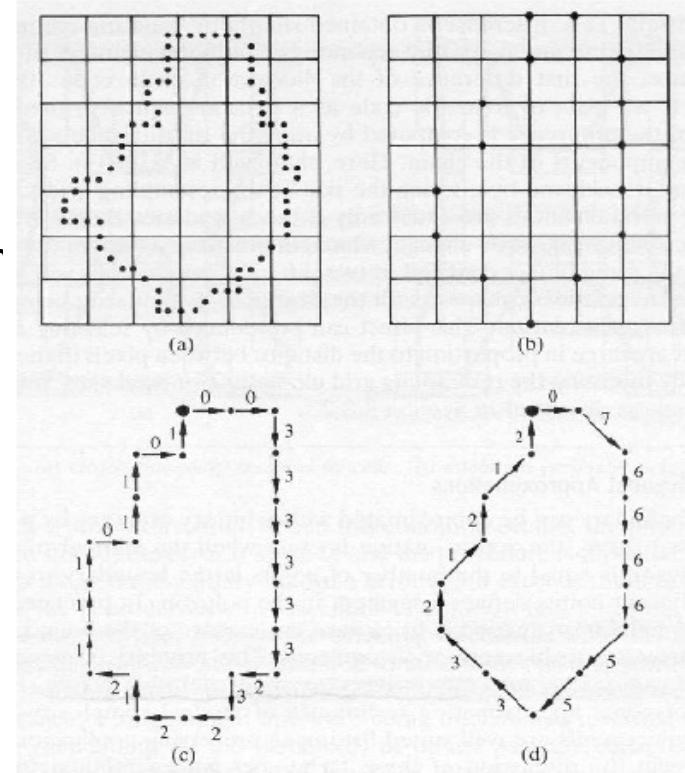
- Một đường cong và chain code của nó.

2	3	4
1	.	5
8	7	6



Chain Code

- Thuật toán:
 1. Bắt đầu từ một điểm biên bất kỳ A.
 2. Tìm biên cạnh gần nhất và mã hướng của Trong trường hợp bằng nhau, chọn biên cạnh có giá trị mã hướng nhỏ nhất (lớn nhất).
 3. Tiếp tục đến khi không còn điểm ảnh nào trên biên.
- Chain code của một biên phụ thuộc vào điểm bắt đầu.
- Tập giới hạn các hướng.
- Nhạy với nhiễu.

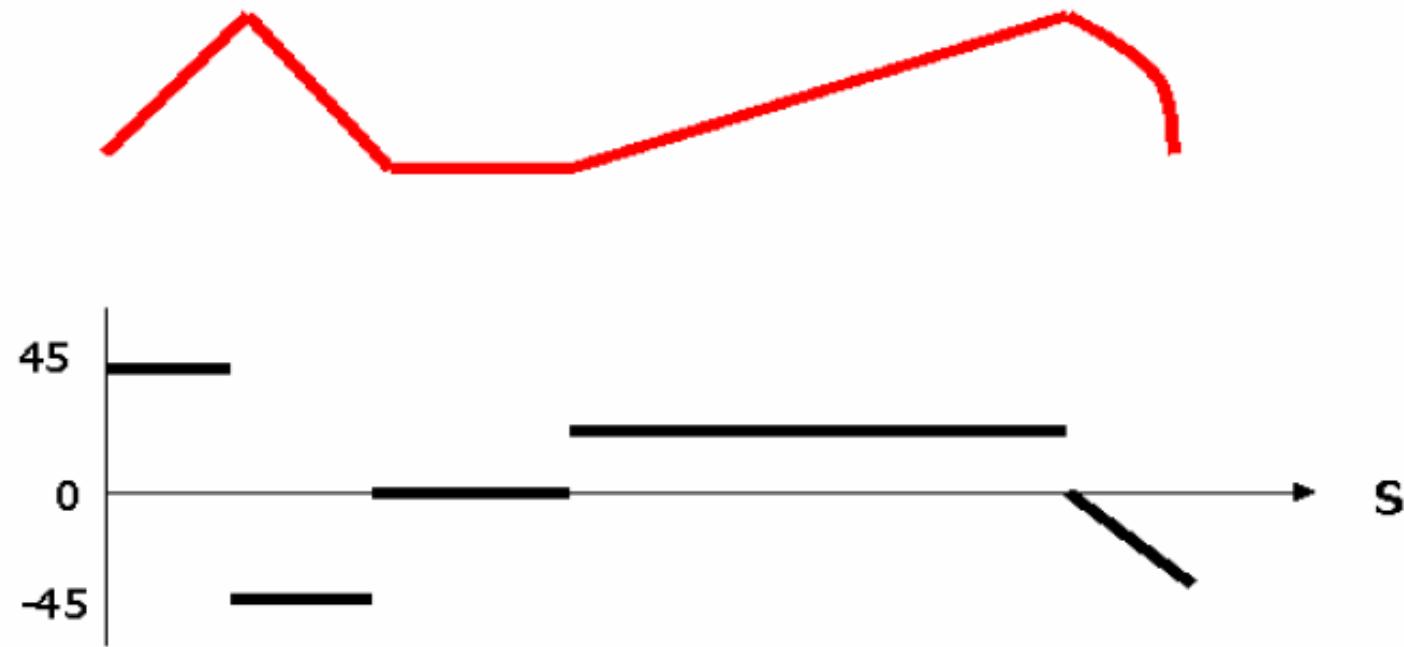


Biểu diễn độ nghiêng (Ψ -s plot)

- Keyword: Slope Representation.
- Một biểu diễn liên tục của chain code.
- Dùng cho biểu diễn đường bao sử dụng bất kỳ hướng nào, hơn là một tập giới hạn các hướng trong chain code.
- Biểu diễn hình dạng đường bao / một mô tả rút gọn của hình dạng đường bao.
- Những điểm khởi đầu khác nhau dẫn đến một sự chênh lệch ở trục s.
- Phép quay gây ra sự chênh lệch ở trục Ψ .
- Không tránh được quá nhiều nhiễu.
- Với một đường bao kín thì biểu diễn trên là tuần hoàn.



Biểu diễn độ nghiêng



Biểu diễn độ nghiêng

- Bắt đầu ở điểm đầu tiên và đi theo chiều kim đồng hồ xung quanh đường bao.
- Ước lượng độ nghiêng Ψ và chiều dài cung s .
- Vẽ đồ thị độ nghiêng với chiều dài cung.



Hàm mật độ nghiêng

- Biểu đồ của các độ nghiêng (góc tiếp tuyến) theo một đường biên.
- Hướng của đối tượng có thể được xác định bằng sự tương quan của biểu đồ của mô hình đường biên với hình ảnh đường biên.
- Có thể rất hữu dụng cho bài toán nhận dạng đối tượng.



Mô hình so khớp đường cong

- Ta tiếp tục xấp xỉ một đường bao để có được biểu diễn cô đọng hơn. Ta bắt đầu với một đường thẳng, sau đó di chuyển đến cung tròn hay nhiều hay hình cơ sở phức tạp khác.
- Có 4 mô hình so khớp đường cong:
 - Đoạn đường thẳng.
 - Cung tròn.
 - Các đường conic.
 - Spline bậc 3.



Độ tốt của một so khớp

- Đặt d_i là khoảng cách từ một điểm biên cạnh i từ một đường.
- Tất cả các phương pháp đều dựa trên độ lỗi giữa đường con được so khớp với những điểm ứng viên để dùng khớp đường cong.
- **Độ lỗi tuyệt đối:** tính độ lệch so khớp trong trường hợp xấu nhất.
$$MAE = \max_i |d_i|$$
- **Độ lỗi bình phương:** độ lệch toàn cục của đường cong từ những điểm biên
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2$$



Độ tốt của một so khớp

- **Độ lỗi tuyệt đối chuẩn hóa:** một tỉ lệ của tuyệt đối giá trị độ lỗi và chiều dài của đường cong (độc lập với chiều dài của đường cong).

$$NMAE = \frac{\max_i |d_i|}{L}$$

- Tỉ lệ của chiều dài đường cong đến khoảng cách điểm cuối là một xấp xỉ tốt cho sự phức tạp của đường cong.



Phương pháp so khớp đường cong

- Sử dụng những đoạn đường thẳng (polylines) là phù hợp nếu hình ảnh bao gồm nhiều đường thẳng. Đây là phương pháp khởi đầu cho nhiều mô hình so khớp khác.
- Những cung tròn tốt là biểu diễn tốt cho ước lượng độ cong.
- Các đường conic thuận tiện cho biểu diễn tập các đoạn thẳng và cung tròn. Ví dụ như elliptic hay cung hyperbolic.
- Spline bậc 3 tốt cho mô hình các đường cong đã mịn (smoothed).



Biểu diễn polyline

- Một polyline là một chuỗi các đoạn thẳng kết nối điểm cuối liên tục. Điểm cuối của đường này là điểm đầu của đường kia. Những điểm mà đoạn thẳng kết nối lại với nhau được gọi là đỉnh.
- Tóm tắt:

- Công thức đoạn thẳng đi qua 2 điểm (x_1, y_1) và (x_2, y_2) :

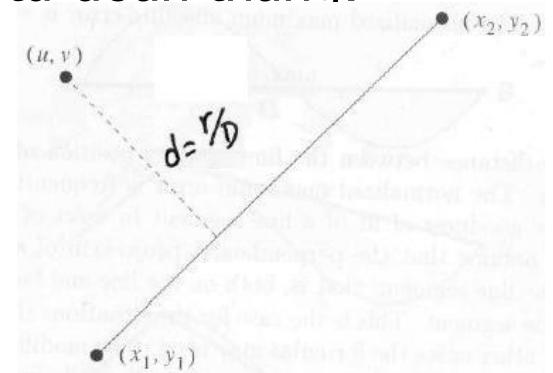
$$x(y_1 - y_2) + y(x_1 - x_2) + y_2x_1 - y_1x_2 = 0$$

- Khoảng cách d từ một điểm biên cạnh (u, v) từ đoạn thẳng:

$$d = \frac{r}{D}$$

$$r = u(y_1 - y_2) + v(x_1 - x_2) + y_2x_1 - y_1x_2$$

- D là khoảng cách giữa (x_1, y_1) và (x_2, y_2) .



Các dạng biểu diễn polyline

- Polylines biểu diễn 'kinh tế' hơn các điểm biên cạnh. Ta có thể làm độ lỗi nhỏ như mong muốn bằng cách cắt đường bao thành các đoạn thẳng bộ phận rất nhỏ.
- Các dạng:
 - Cắt polyline (top-down).
 - Hợp các đoạn thẳng (bottom-up).
 - Cắt và hợp.
 - Giải thuật Hop-Along.



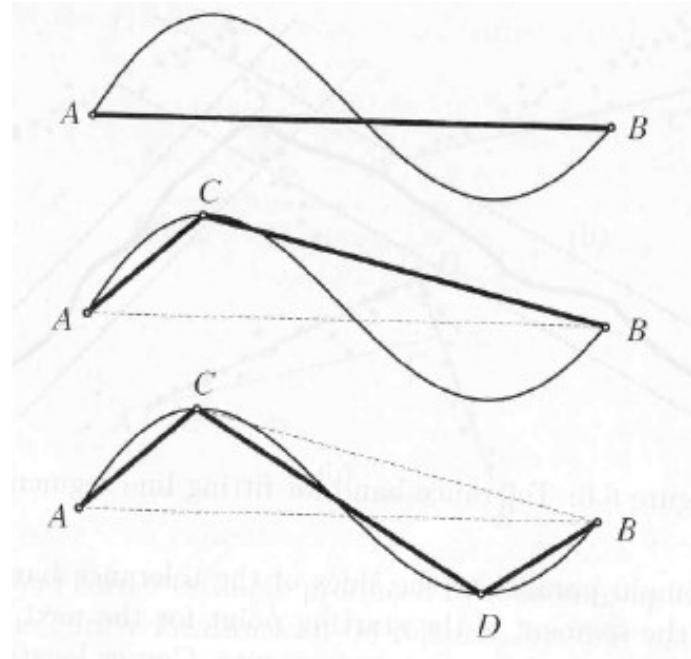
Cắt polyline (top-down)

- Giải thuật:
 - Lấy một đoạn thẳng bộ phận kết nối với điểm cuối của đường bao (nếu đường bao không đóng, xét lấy đoạn thẳng nào kết nối 2 điểm cách xa nhất).
 - Tìm điểm biên cạnh xa nhất từ đoạn thẳng bộ phận đó.
 - Nếu Độ lỗi lớn nhất chuẩn hóa của độ dài khoảng cách từ điểm tìm được ở trên với đoạn thẳng bộ phận ở bước trước lớn hơn một ngưỡng chỉ định thì cắt đoạn thẳng này thành 2 phần ở điểm đó.
 - Lặp thao tác đó cho đến khi độ lỗi của 2 phần đoạn thẳng con là rất nhỏ.

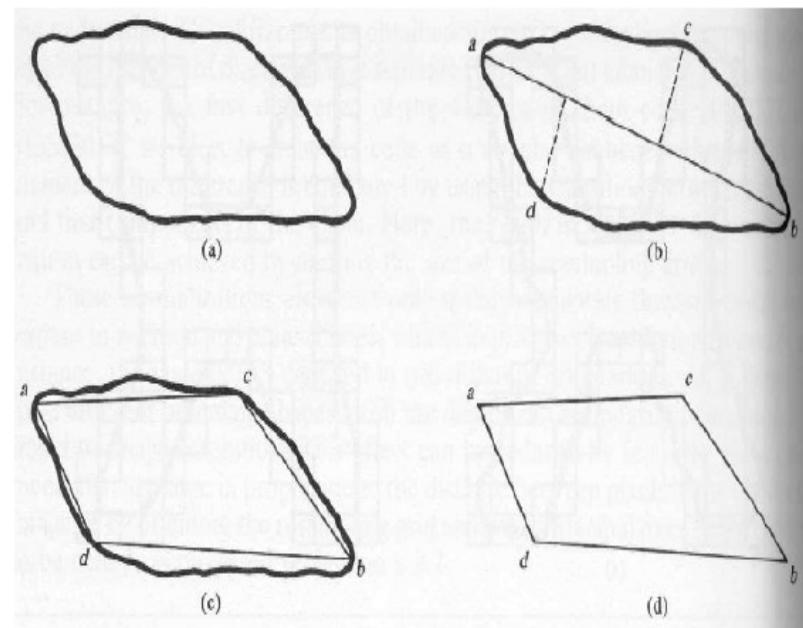


Cắt polyline – ví dụ

Open Contour



Closed Contour



Hợp đoạn thẳng (bottom-up)

- Giải thuật:
 - Sử dụng 2 điểm đầu tiên để định nghĩa 1 đoạn thẳng.
 - Thêm một điểm biên cạnh nếu nó không lệch quá xa từ đoạn thẳng đang xét.
 - Cập nhật tham số của đoạn thẳng sử dụng phương pháp least-squares.
 - Bắt đầu một đoạn thẳng khi các điểm biên cạnh lệch không quá xa từ đoạn đang xét.



Cắt và hợp

- Độ chính xác của xấp xỉ đoạn thẳng có thể được nâng cao dựa vào sự kết hợp của 2 thao tác cắt và hợp.
- Giải thuật:
 - Sau khi hồi quy chia cắt (split), cho phép các đoạn kẽ được thay thế bằng một đoạn thẳng (merge).
 - Luân phiên thực hiện giữa cắt và hợp cho đến khi không biên cạnh nào được hợp hoặc cắt.



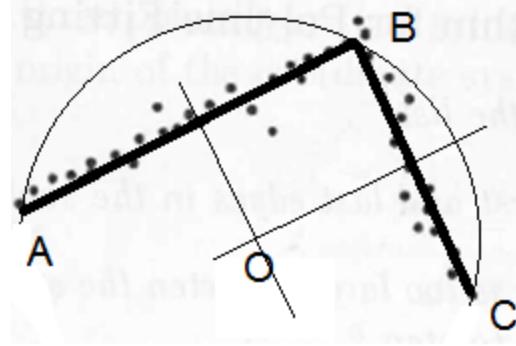
Giải thuật Hop-Along

- Giải thuật:
 1. Bắt đầu với k biên cạnh đầu tiên trong danh sách.
 2. Khớp biên cạnh đầu tiên với biên cạnh đầu tiên và cuối cùng trong danh sách con lấy ra ở bước trước.
 3. Nếu độ lỗi lớn nhất chuẩn hóa là quá lớn, bỏ bớt tập con ở điểm có lỗi lớn nhất. Quay lại bước 2.
 4. Nếu đường thẳng được khớp chính xác, so sánh hướng của đoạn thẳng hiện tại với đoạn trước đó. Nếu 2 đường đó có cùng hướng, thay thế 2 đường đó bằng 1 đường.
 5. Tạo tập con k biên cạnh mới bằng đoạn đang xét, đoạn trước đó và phần tiếp theo của tập biên cạnh. Quay lại bước 2.



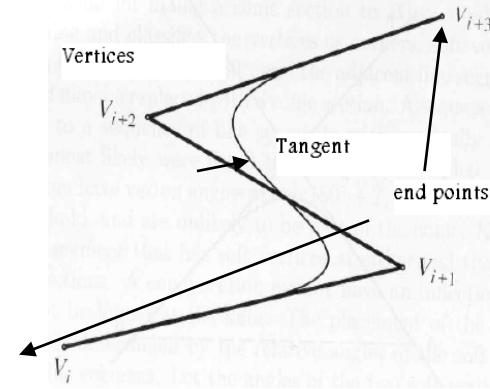
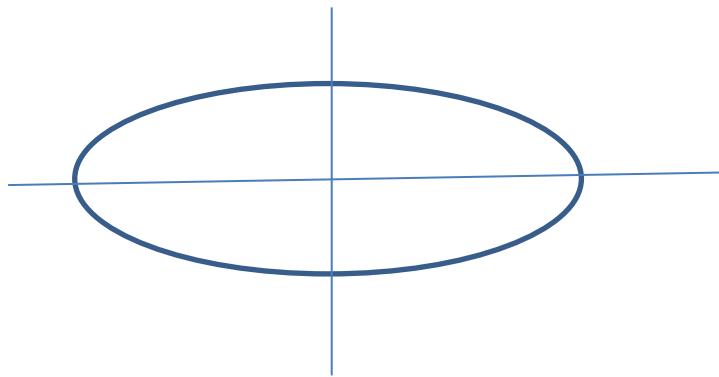
Cung tròn

- Những dây con của tập đoạn thẳng có thể được thay thế bằng những cung tròn.
- Cung tròn là một phép so khớp giữa điểm đầu và điểm cuối với những điểm khác. Có nhiều phương pháp để giải quyết nhưng chủ yếu dựa vào cách các điểm trong cung được chọn.



Các đường Conic và Spline bậc 3

- Các đường Conic bao gồm hyperbolas, parabolas, và ellipses (được gọi là đa thức bậc 2).
- Cubic spline tương ứng với đa thức bậc 3.
- Các đường Conic và Spline bậc 3 cho phép một số đường viền phức tạp được biểu diễn với ít đoạn con hơn.
- Các đường conic có thể khớp với 3 đỉnh trong xấp xỉ polyline.



Tham khảo

- [1] Three Dimension Computer Vision, O. Faugeras, MIT press, 1993.
- [2] CV Course slide, Rob Fergus, New York Univ., <http://cs.nyu.edu/~fergus/teaching/vision/index.html>
- [3] <http://www.ee.uta.edu/Online/Devarajan/EE6358/>
- [4] <http://www.ece.lsu.edu/gunturk/EE4780/EE4780.html>

