



# Multimedia Database

Image database

*Le Thi Lan*  
**MICA**

**International Research Center MICA**  
Multimedia, Information, Communication & Applications  
UMI 2954

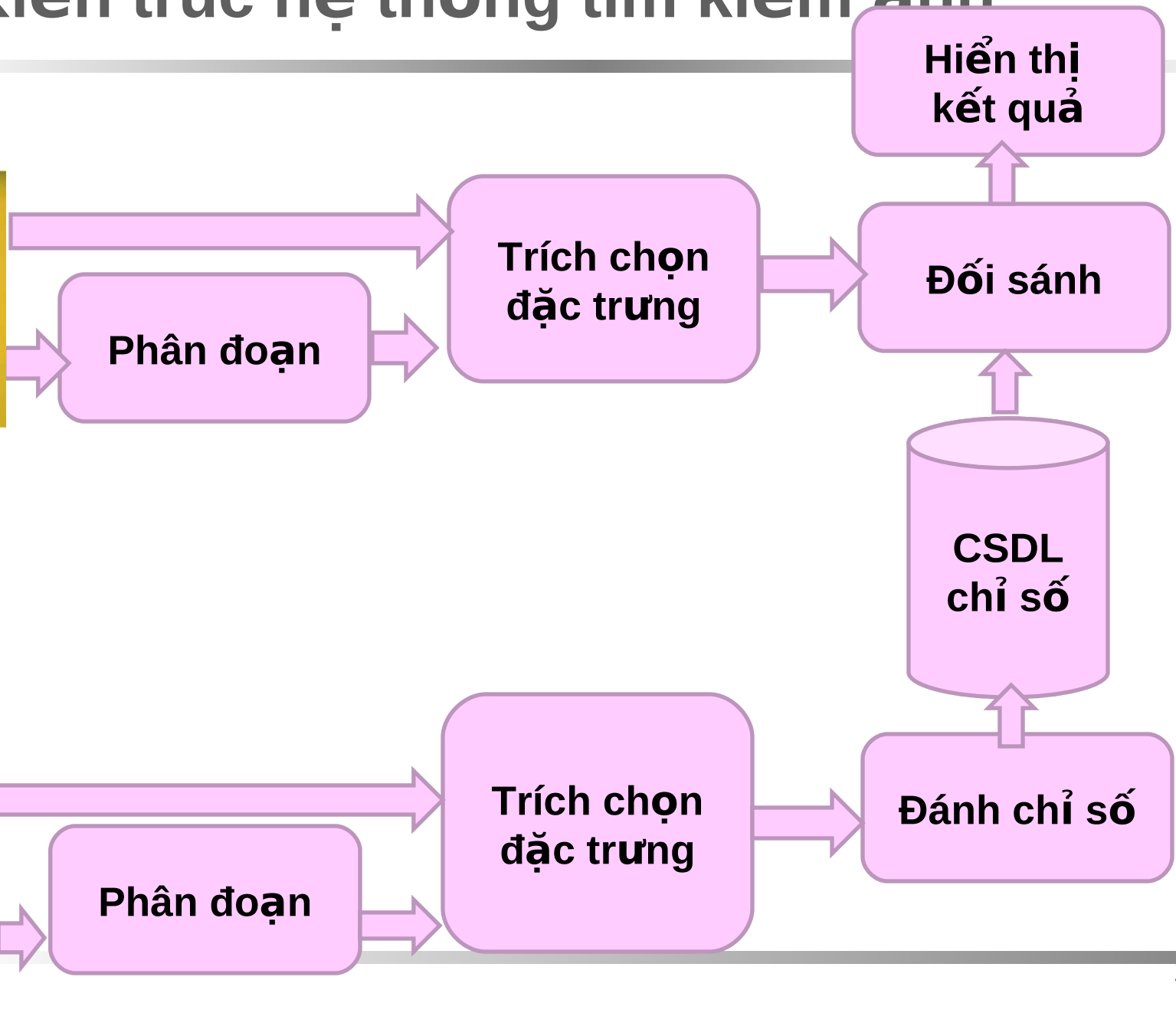
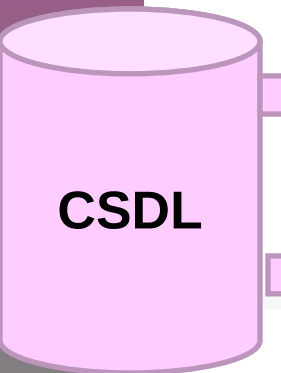
Hanoi University of Technology  
1 Dai Co Viet - Hanoi - Vietnam

# Nội dung

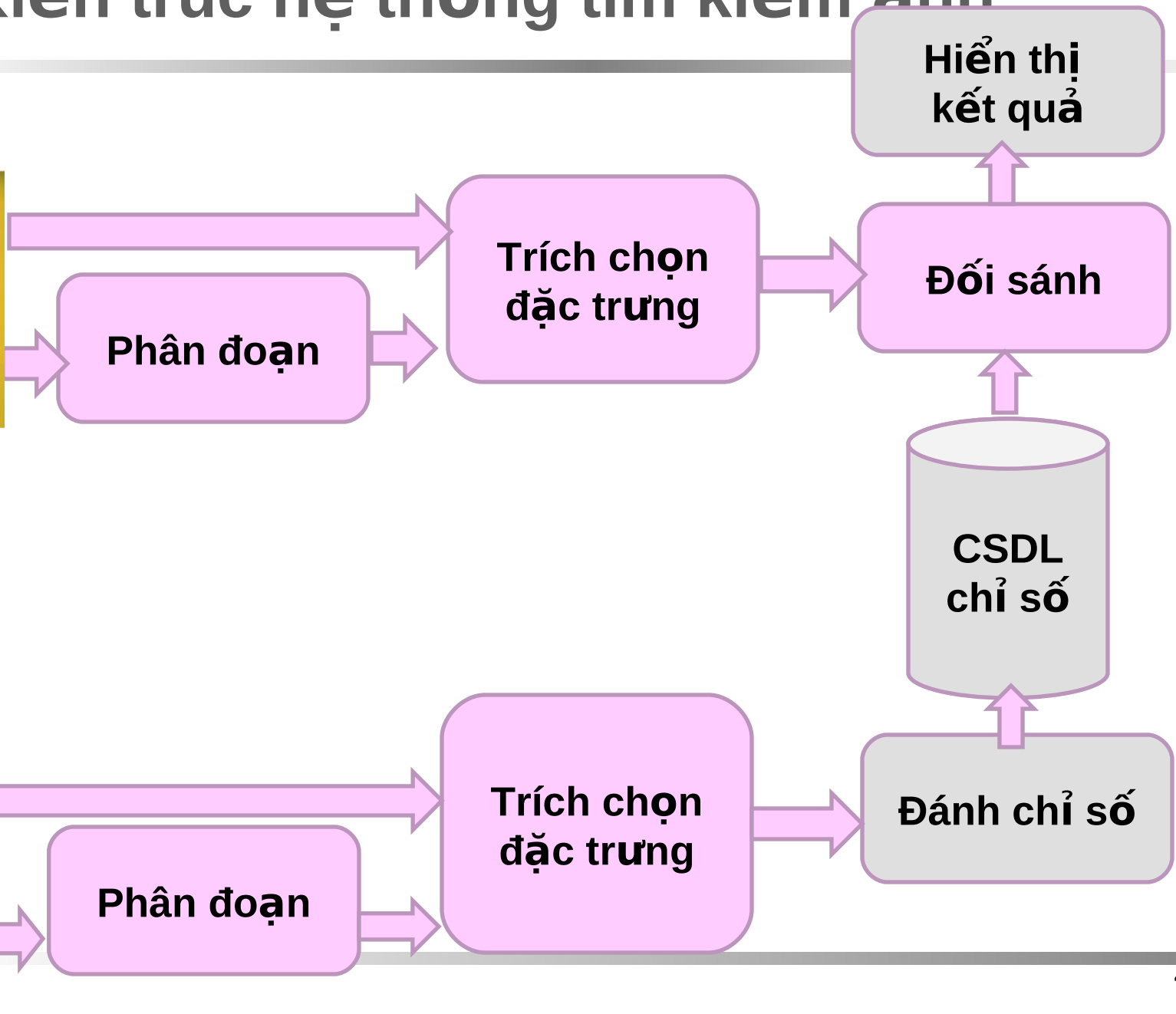
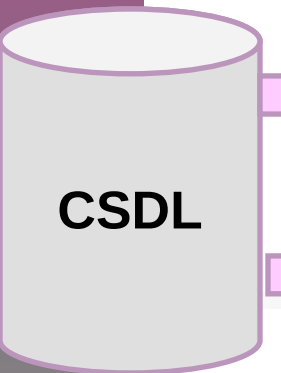
---

- Kiến trúc của hệ thống tìm kiếm ảnh theo nội dung
- Ảnh và biểu diễn ảnh
- Phân đoạn ảnh

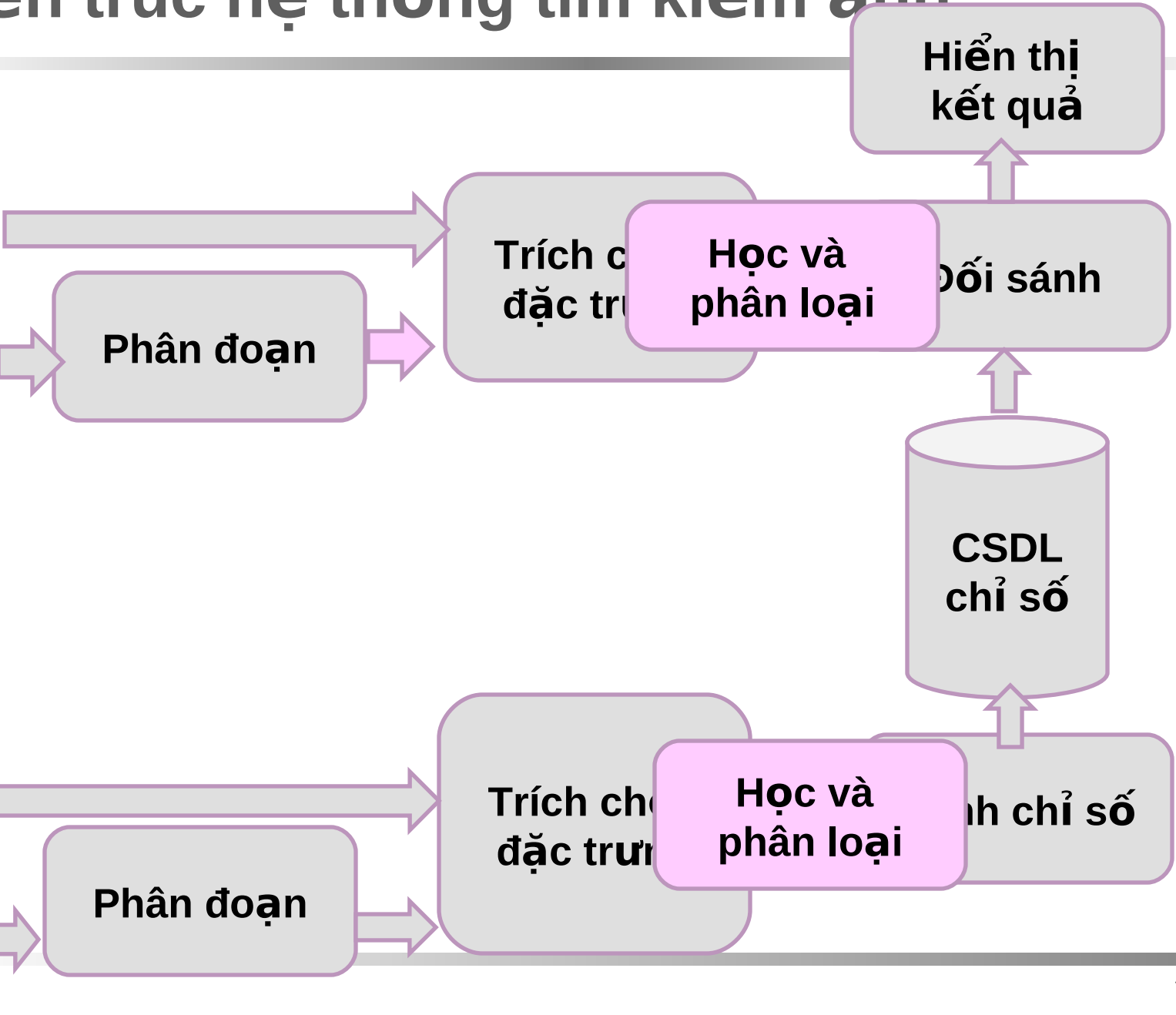
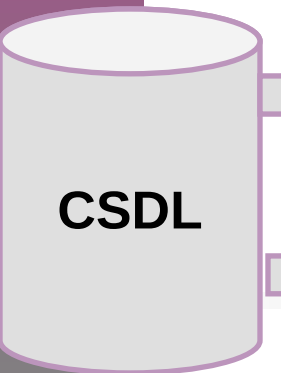
# Kiến trúc hệ thống tìm kiếm ảnh



# Kiến trúc hệ thống tìm kiếm ảnh



# Kiến trúc hệ thống tìm kiếm ảnh

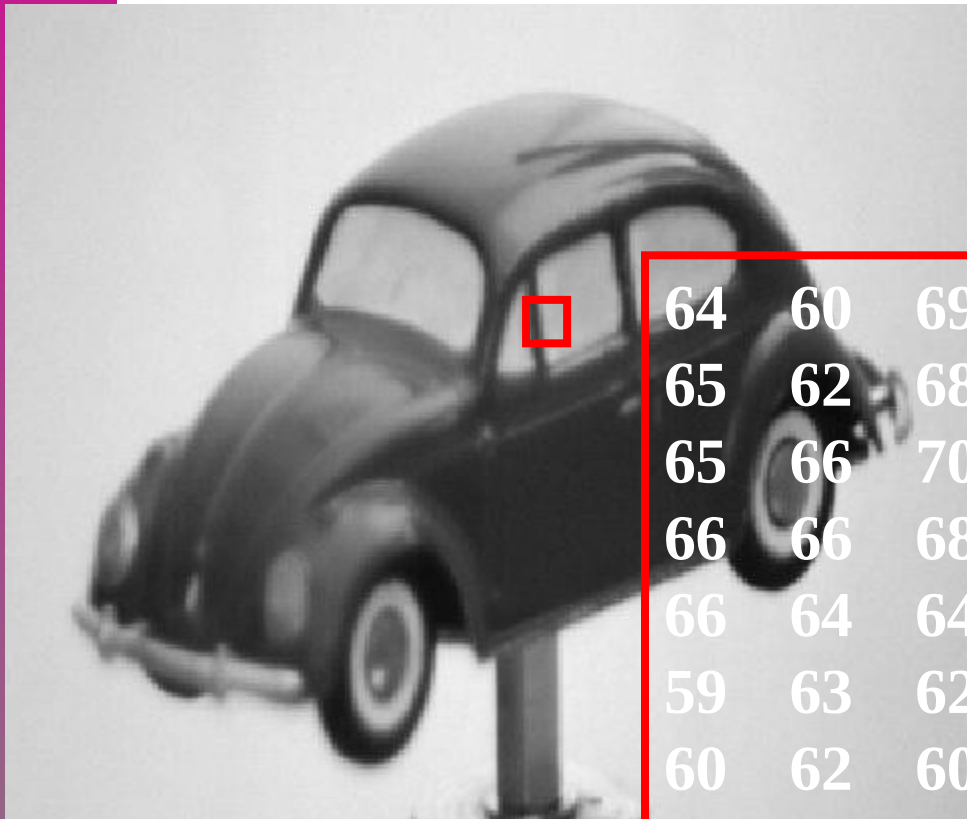


# Nội dung

---

- Kiến trúc của hệ thống tìm kiếm ảnh theo nội dung
- **Ảnh và biểu diễn ảnh**
- Phân đoạn ảnh
- Chiến lược đối sánh

# Ảnh và lưu trữ



Mức xám - 8 bits:

0 - đen

255 - trắng

64	60	69	100	149	151	176	182	179
65	62	68	97	145	148	175	183	181
65	66	70	95	142	146	176	185	184
66	66	68	90	135	140	172	184	184
66	64	64	84	129	134	168	181	182
59	63	62	88	130	128	166	185	180
60	62	60	85	127	125	163	183	178
62	62	58	81	122	120	160	181	176
63	64	58	78	118	117	159	180	176

# Ảnh và lưu trữ



		x =														
		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67					
y =	41	210	209	204	202	197	247	143	71	64	80					
	42	206	196	203	197	195	210	207	56	63	58					
	43	201	207	192	201	198	213	156	69	65	57					
	44	216	206	211	193	202	207	208	57	69	60					
	45	221	206	211	194	196	197	220	56	63	60					
	46	209	214	224	199	194	193	204	173	64	60					
	47	204	212	213	208	191	190	191	214	60	62					
	48	214	215	215	207	208	180	172	188	69	72					
	49	209	205	214	205	204	196	187	196	86	62					
	50	208	209	205	203	202	186	174	185	149	71	63	55	55	45	50
	51	207	210	211	199	217	194	183	177	209	90	62	64	52	93	52
	52	208	205	209	209	197	194	183	187	187	239	58	68	61	51	56
	53	204	206	203	209	195	203	188	185	183	221	75	61	58	60	60
	54	200	203	199	236	188	197	183	190	183	196	122	63	58	64	66
	55	205	210	202	203	199	197	196	181	173	186	105	62	57	64	63



# Ảnh và lưu trữ

---

- Ảnh là tín hiệu 2D  $(x,y)$
- **Về mặt toán học:**
  - Ảnh là một ma trận biểu diễn tín hiệu
- **Đối với người dùng:**
  - Ảnh chứa các thông tin về ngữ nghĩa

# Phân loại ảnh

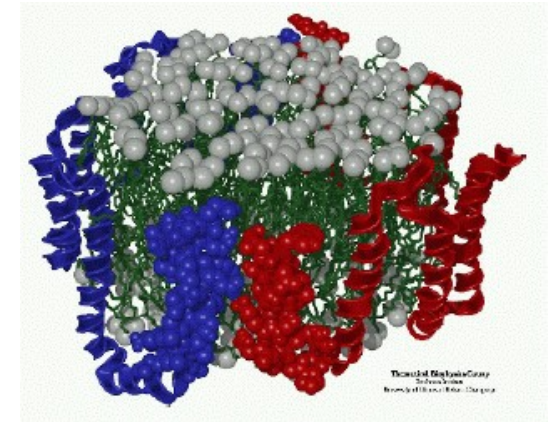
- **Ảnh tự nhiên** – thu nhận từ các thiết bị
  - camera, microscope, tomography, infrared, satellite, ...
- **Ảnh nhân tạo** –
  - Đồ họa máy tính (computer graphics), thực tại ảo (virtual reality)



Ảnh tự nhiên

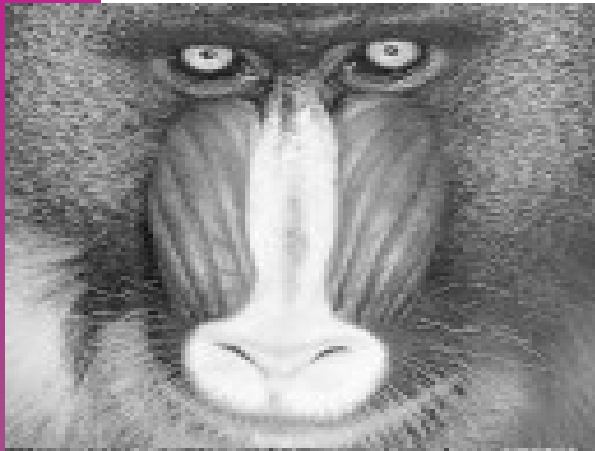


ảnh nhân tạo



Ảnh nhân tạo

# Phân loại ảnh



Ảnh mức xám

$$I(x,y) \in [0..255]$$



Ảnh nhị phân

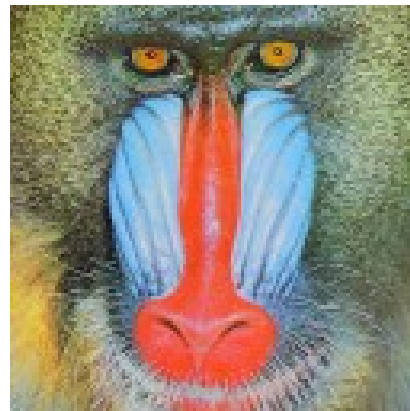
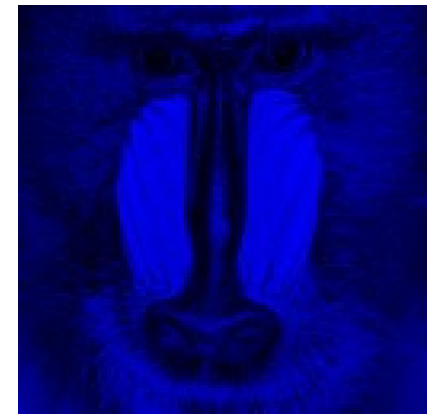
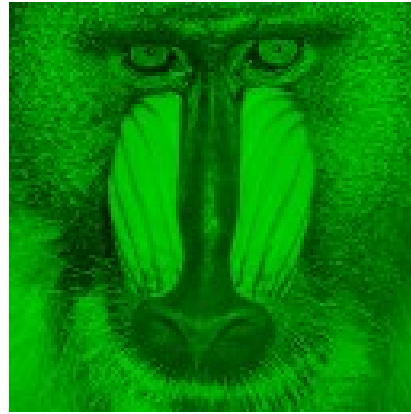
$$I(x,y) \in \{0, 1\}$$



Ảnh màu

$$I(x,y) \in \{R(x,y), G(x,y), B(x,y)\}$$

# Ảnh màu trong hệ tọa độ RGB



*Bên cạnh hệ tọa độ màu RGB ta còn có các hệ tọa độ màu khác*

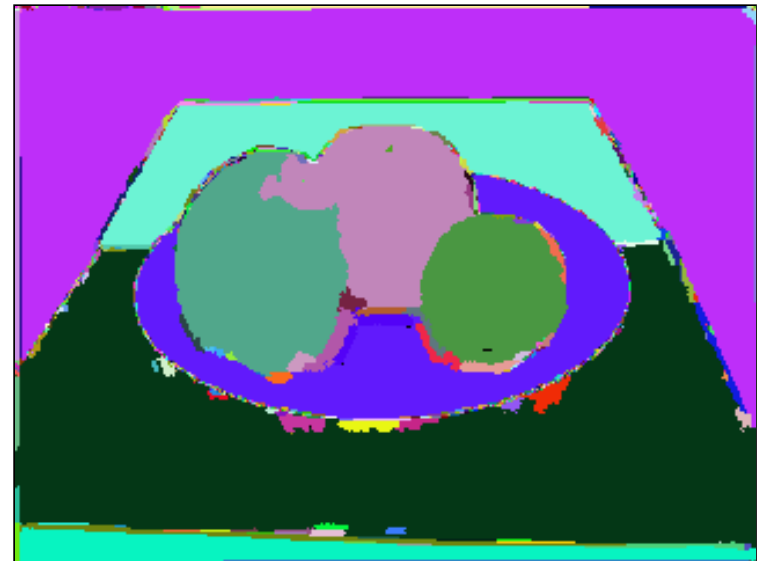
# Nội dung

---

- Ảnh và biểu diễn ảnh
- **Phân đoạn ảnh**
- Tìm kiếm ảnh dựa vào nội dung

# Phân đoạn ảnh là gì?

- Phân đoạn ảnh cho phép chia một ảnh thành một (một số) vùng
  - *Các vùng tương ứng với các đối tượng trong ảnh*
- Phân đoạn có liên quan đến nhận dạng
  - *Xác định đối tượng nào có ở trong ảnh?*



# Mục tiêu của phân đoạn ảnh

- Trích chọn các thành phần trong ảnh
  - *Ứng dụng cho các sử lý sau*
  - *Phân tích nội dung của ảnh*
- Các mặt nạ cho ảnh thường được xây dựng
- Một mặt nạ và một thành phần liên thông



# Lợi ích của mặt nạ phân đoạn

- Mặt nạ (vùng hoặc đối tượng) cho phép phân tích nội dung của ảnh dễ hơn
  - *Phân tích nội dung của từng vùng*





# Phân đoạn

- **Phân đoạn dựa vào:**
  - *Sự không liên tục: tương ứng với các cạnh*
    - Thay đổi đột ngột, biên giữa các vùng...
  - *Đồng nhất: tương ứng với các vùng*
    - Cùng màu sắc, kết cấu, mức xám, ...
- **Phân đoạn nhằm chia một ảnh thành các vùng và/hoặc biên**
- **Một biên khép kín tương ứng với một vùng**

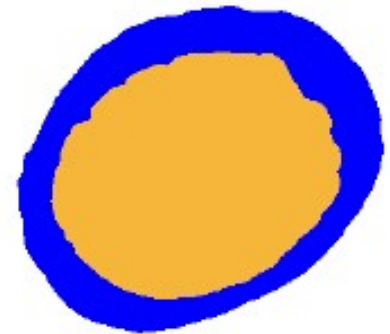
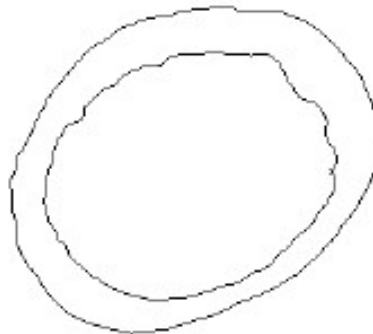
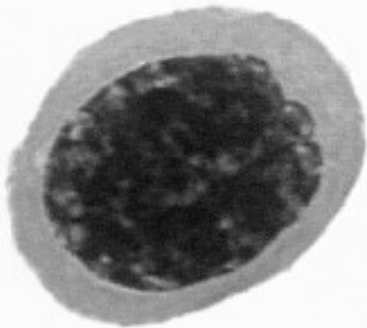
# Phân đoạn

---

- **Cách tiếp cận vùng (Region approach)**
  - Tìm các vùng đồng nhất trong ảnh
- **Cách tiếp cận theo biên (Edge approach)**
  - Phát hiện sự không liên tục trong ảnh
- **Cách kết hợp**

# Cách tiếp cận kết hợp

*Một biên khép kín tương đương với 1 vùng*



---

# Ngưỡng (Thresholding)

# Phân đoạn dựa trên ngưỡng

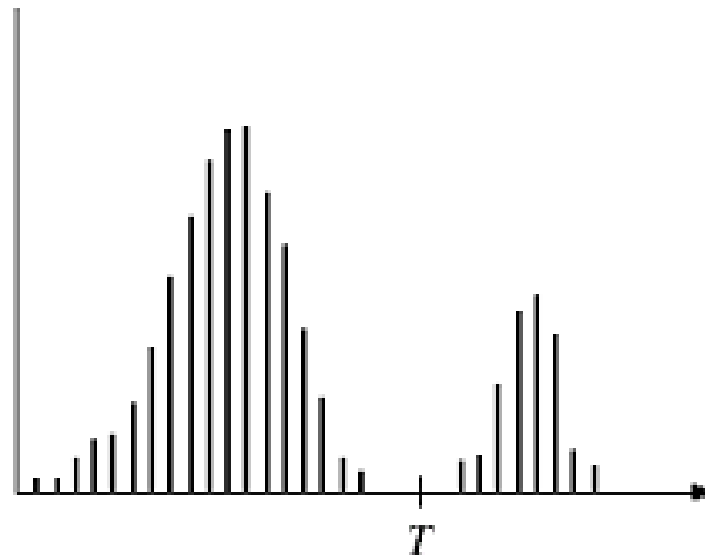
- Là phương pháp đơn giản và thường được sử dụng cho phân đoạn các đối tượng trong ảnh
- **Không thuộc vào cách tiếp cận vùng**
  - *Dựa trên điểm ảnh*
  - *Thường sử dụng để xác định các vùng*
    - *Cần một số thao tác xử lý thêm sau khi phân đoạn*
- **Ngưỡng**
  - *Toàn cục*: một ngưỡng cho toàn bộ ảnh
  - *Cục bộ*: một ngưỡng cho 1 vùng của ảnh
  - *Thích nghi*: ngưỡng được lựa chọn phù hợp với từng ảnh hoặc từng vùng của ảnh

# Phân đoạn dựa trên ngưỡng

- Ý tưởng chính:
  - *IF value(pixel)  $\geq$  threshold THEN value(pixel) = 1*
  - *IF value(pixel)  $<$  threshold THEN value(pixel) = 0*
- Kết quả là ảnh nhị phân
- Có thể chọn n ngưỡng để chia ảnh thành n+1 lớp
- **Vấn đề: Lựa chọn ngưỡng**

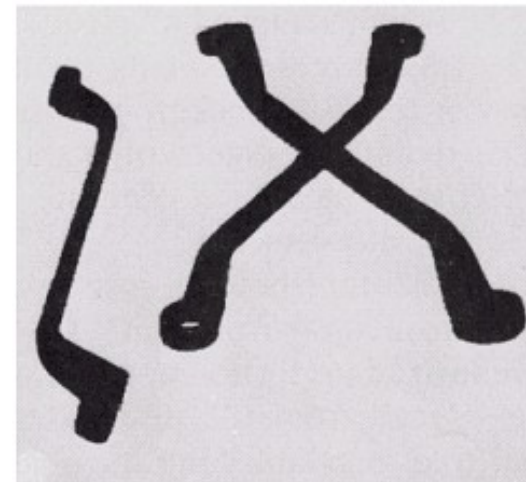
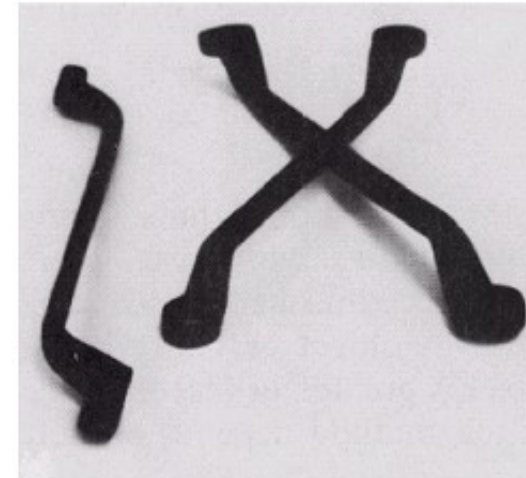
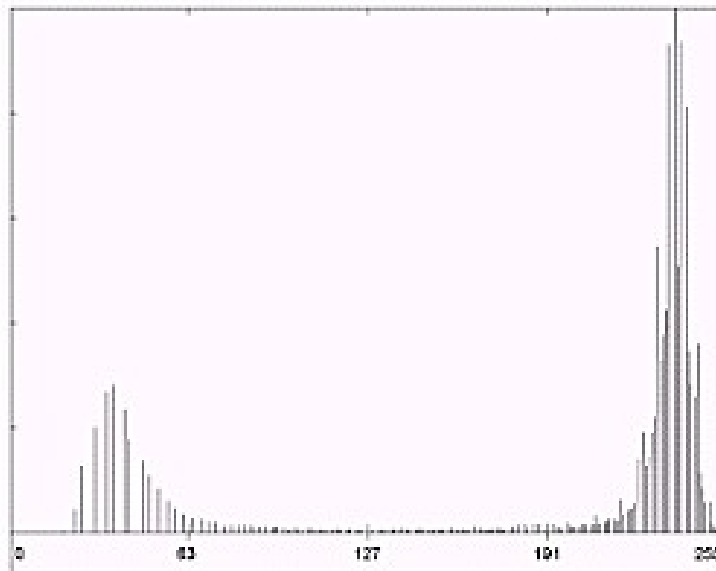
# Ngưỡng dựa trên phân bố

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases}$$



# Ngưỡng dựa trên phân bố

- Ngưỡng toàn cục
  - Giá trị trung bình
    - Môi trường ổn định
    - Trong các ứng dụng công nghiệp





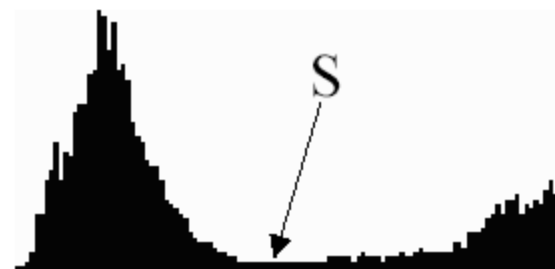
# Ngưỡng dựa trên phân bố

## ■ Ưu điểm

- Đơn giản, nhanh

## ■ Nhược điểm

- Biết trước số lớp
- Các vùng không phù hợp sẽ xuất hiện (không có ràng buộc về không gian)

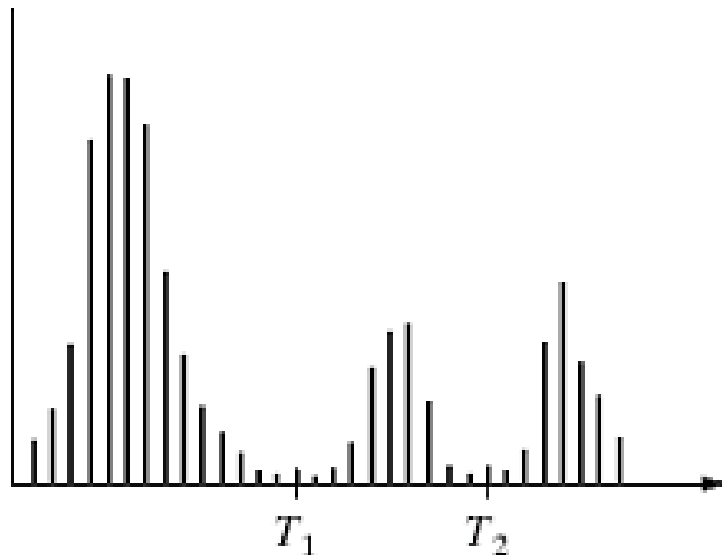


# Đa ngưỡng

- $n$  ngưỡng cho phép chia ảnh thành  $n+1$  lớp:
  - *IF*  $value(pixel) < threshold_1$ 
    - *THEN*  $value(pixel) = 0$
  - *IF*  $value(pixel) \geq threshold_1 \ \&\& \ value(pixel) < threshold_2$ 
    - *THEN*  $value(pixel) = 1$
  - ...
  - *IF*  $value(pixel) \geq threshold_n$ 
    - *THEN*  $value(pixel) = n$
- **Vấn đề: Cần bao nhiêu ngưỡng**

# Đa ngưỡng dựa trên histogram

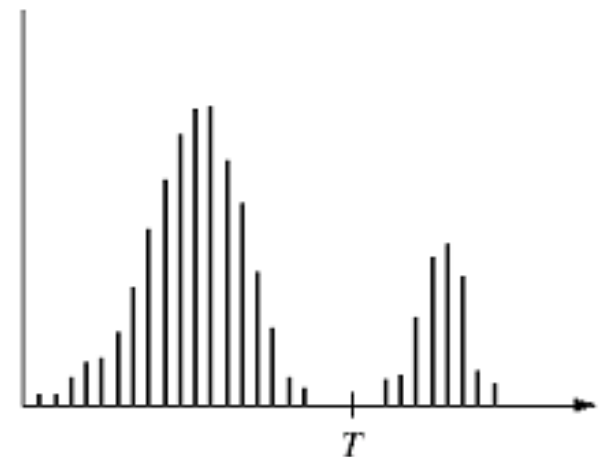
$$g(x, y) = \left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ if } f(x, y) > T_2 \\ 1 \text{ if } f(x, y) \leq T_2 \wedge f(x, y) > T_1 \\ 0 \text{ if } f(x, y) \leq T_1 \end{array} \right\}$$



# Giá trị của ngưỡng

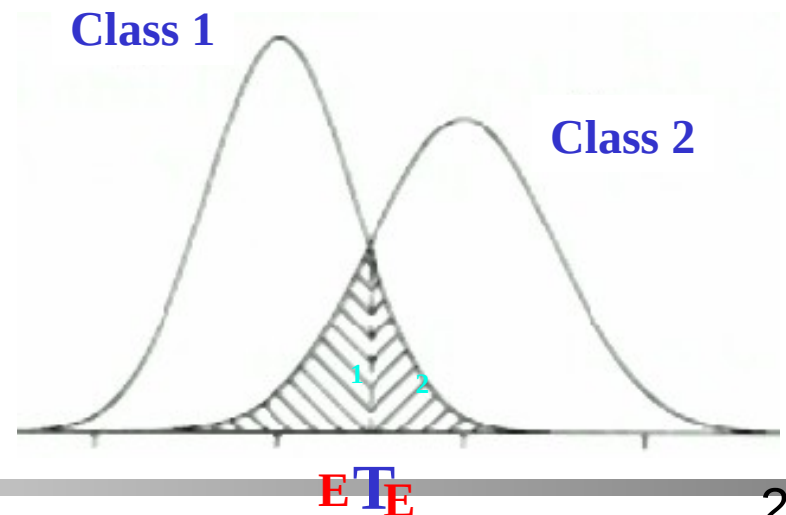
## ■ Ngưỡng toàn cục

- Làm thế nào để xác định giá trị của  $T$  ?
  - Bằng thử nghiệm
  - Giá trị trung bình mức xám
  - Giá trị trung bình giữa giá trị max và min
  - Giá trị cho phép cân bằng các vùng của phân bố
- xác định ngưỡng tự động



# Lựa chọn ngưỡng

- 2 phân bố cho ảnh và đối tượng (ví dụ phân bố Gaussian)
- Xác định lỗi trong lớp 1 và lớp 2
- Tìm ngưỡng  $T$  để cho lỗi là bé nhất



# Ví dụ

## ■ Giải thuật:

- Khởi tạo giá trị  $T$  (trung bình, điểm giữa, ...)
- Xác định 2 nhóm điểm ảnh  
 $G_1$  nếu  $f(x,y) > T$  và  $G_2$  nếu  $f(x,y) \leq T$
- Tính trung bình về mức xám của  $G_1$  và  $G_2 \rightarrow \mu_1$  và  $\mu_2$
- Tính giá trị mới của  $T$   
 $T = 1/2 (\mu_1 + \mu_2)$
- Lặp lại cho đến khi  $T$  ổn định

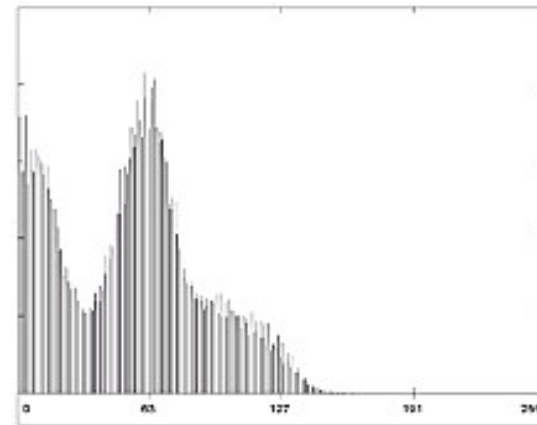
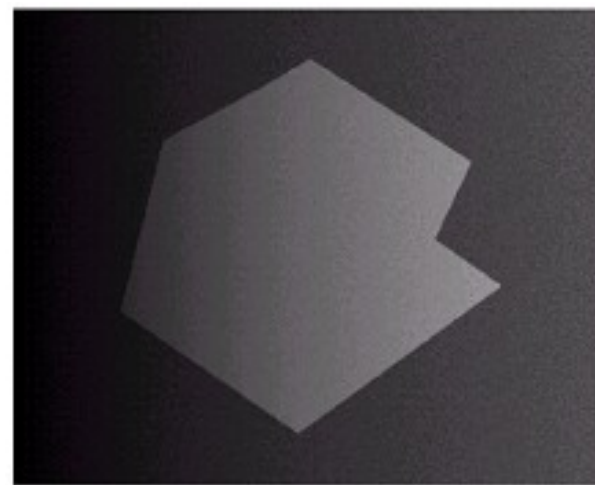
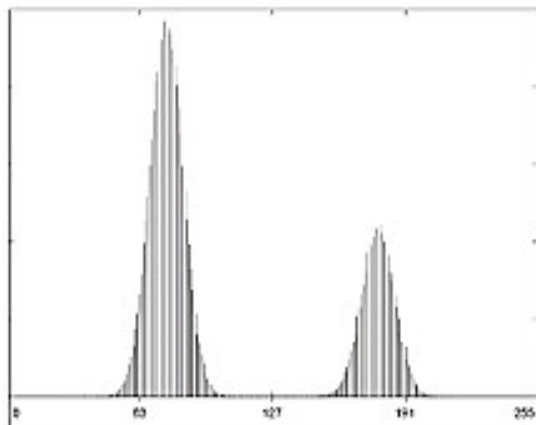
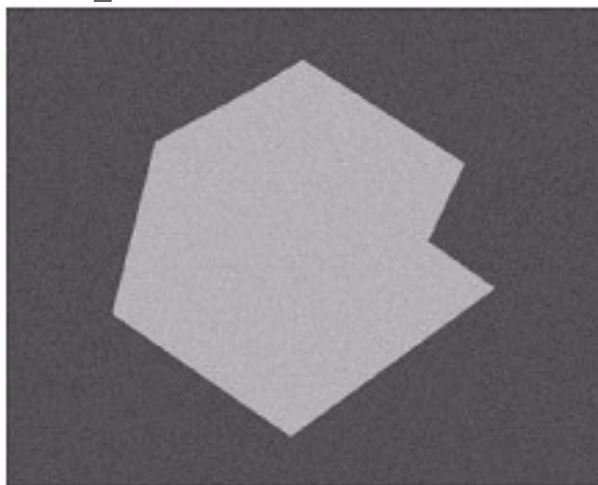
## ■ Các giải thuật khác (k-means). Không có giải thuật duy nhất cho tất cả các ứng dụng

# Ví dụ 2: Giải thuật Otsu (bài tập lớn)

---

# Các vấn đề đối với ngưỡng toàn cục

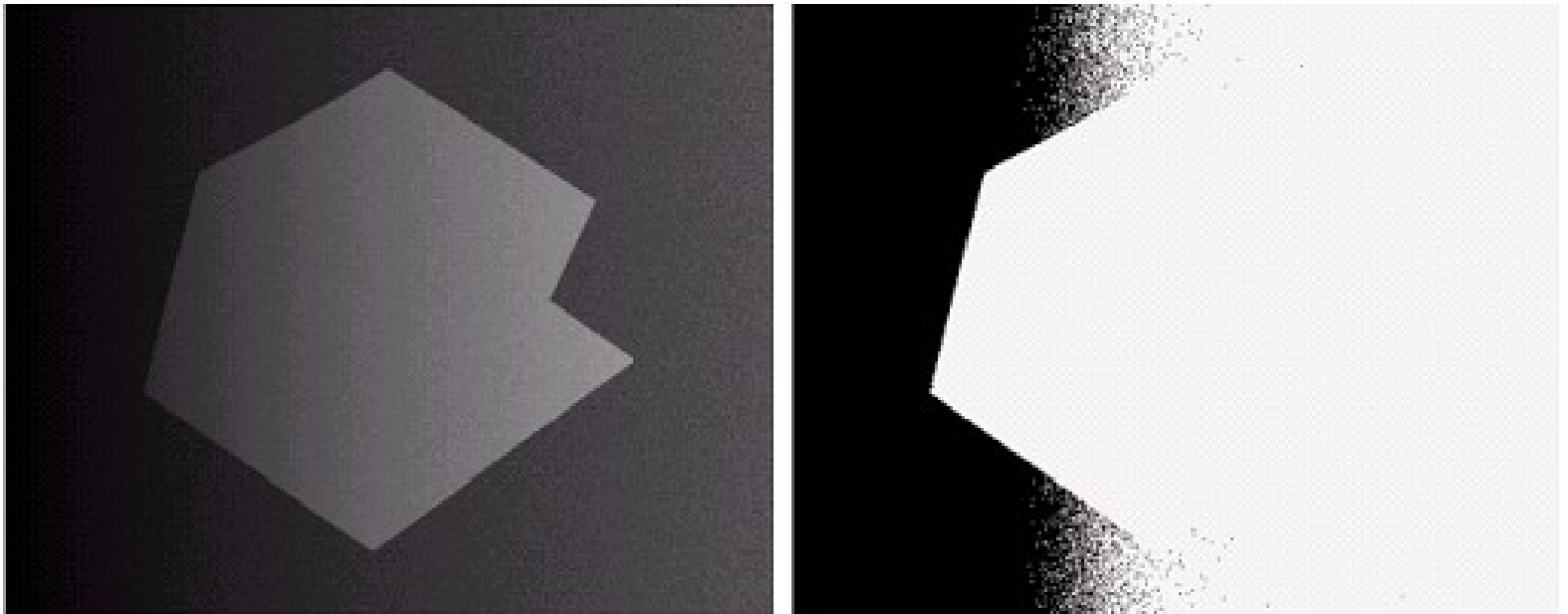
- Thay đổi về ánh sáng





# Các vấn đề đối với ngưỡng toàn cục

- Sử dụng ngưỡng cục bộ thích nghi

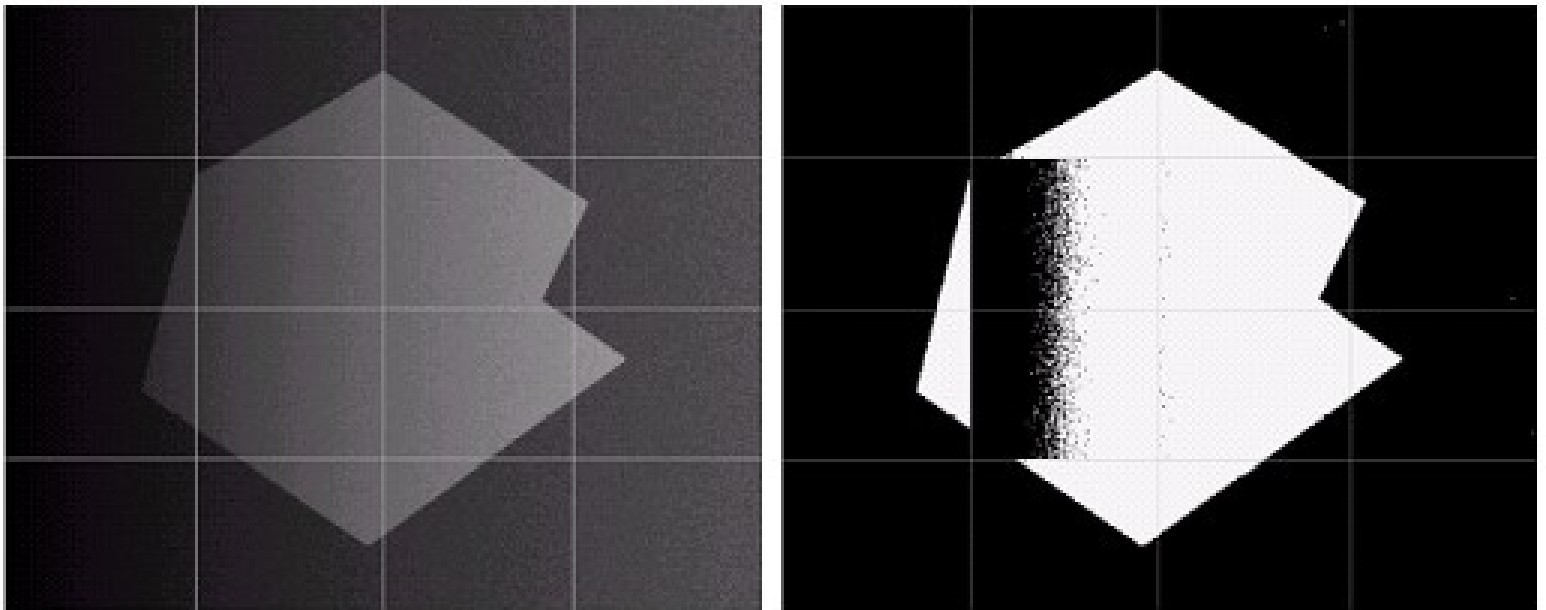


# Ví dụ về ngưỡng thích nghi

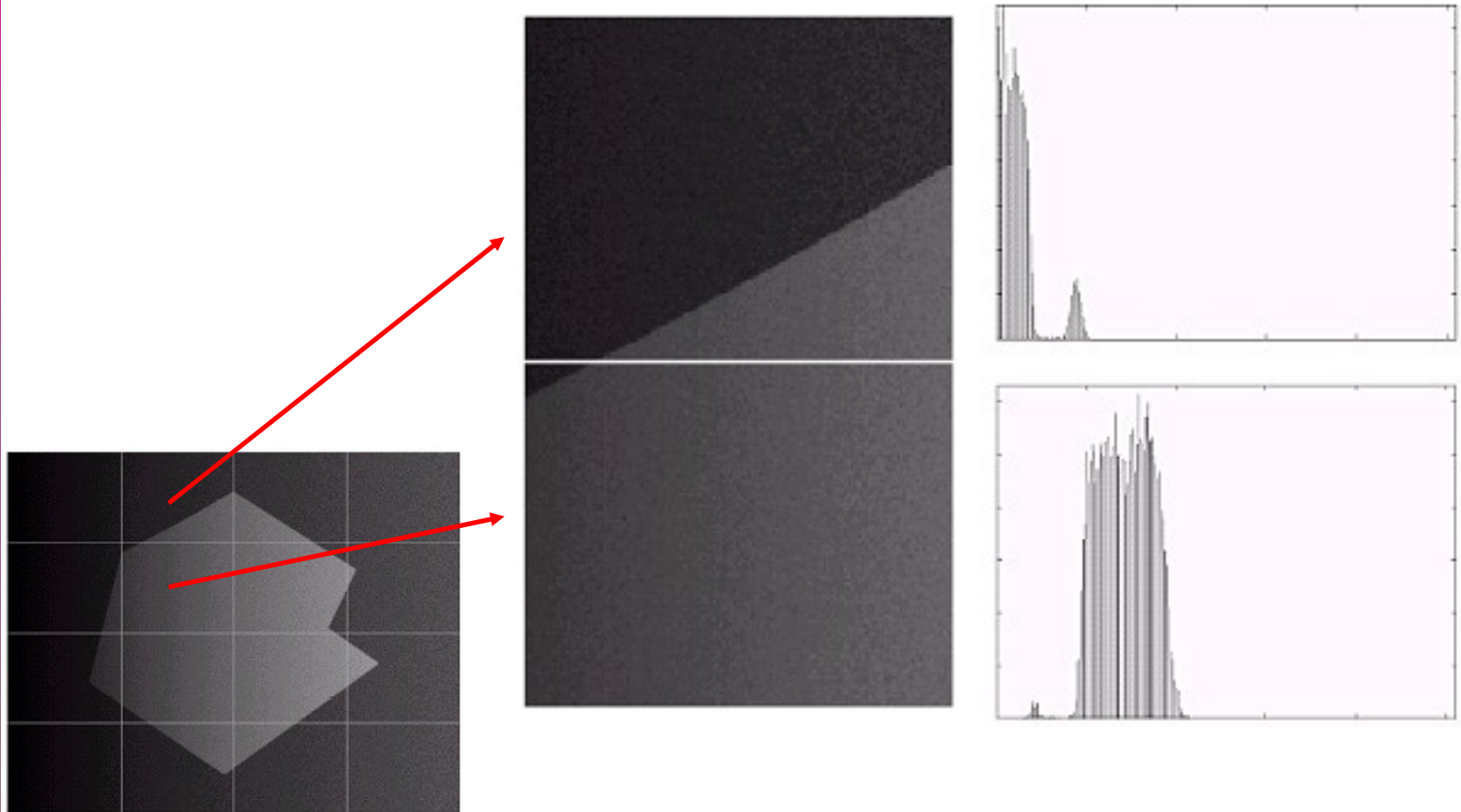
- Chia một ảnh thành các ảnh nhỏ và lựa chọn ngưỡng cho từng ảnh
- Xác định kích thước của ảnh nhỏ
- Trước khi chia, kiểm tra giá trị phương sai để xác định ảnh được chia có ít nhất 2 vùng
  - Ví dụ: nếu  $\text{variance} < 100$  thì không xác định ngưỡng

# Ví dụ về ngưỡng thích nghi

Tất cả 4 vùng ảnh trong 4 góc không cần xác định ngưỡng vì  $variance < 100$



# Ví dụ về ngưỡng thích nghi



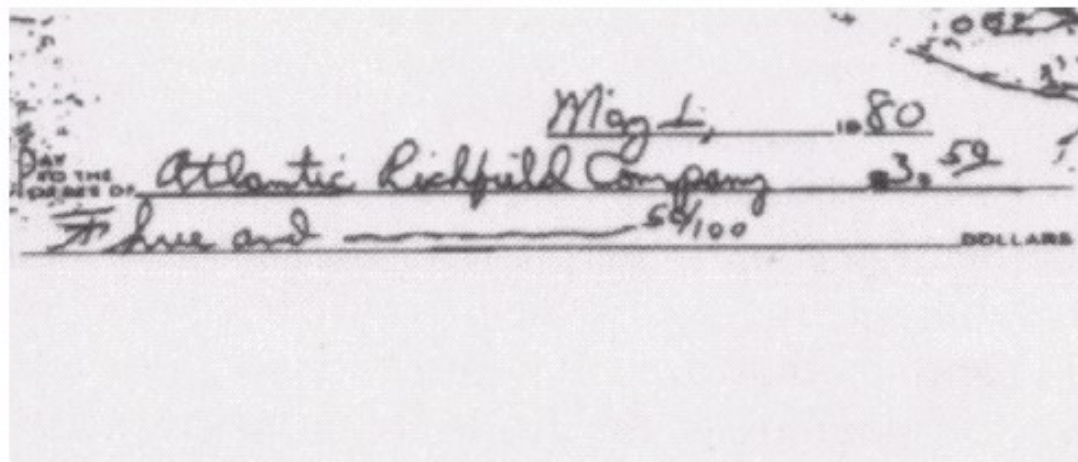
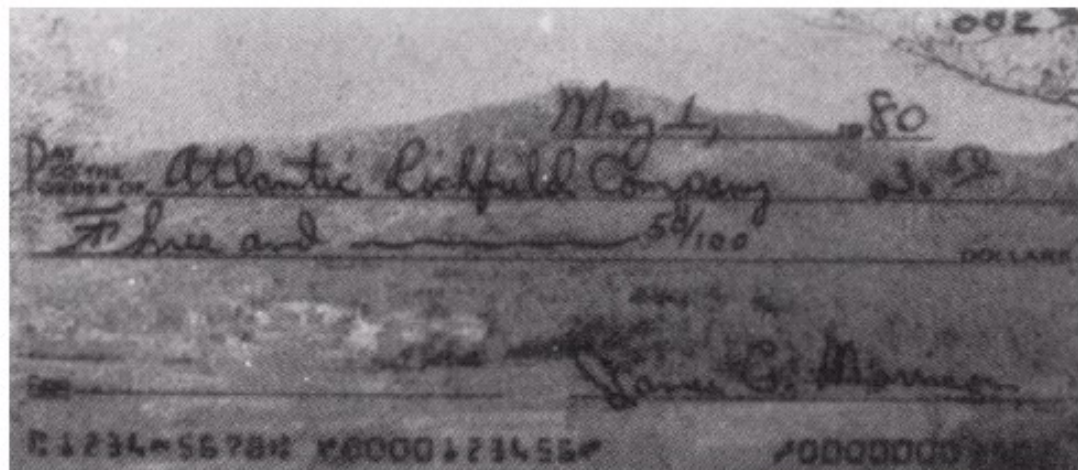
# Ví dụ về ngưỡng thích nghi

a

b

**FIGURE 10.37**

(a) Original image. (b) Image segmented by local thresholding. (Courtesy of IBM Corporation.)

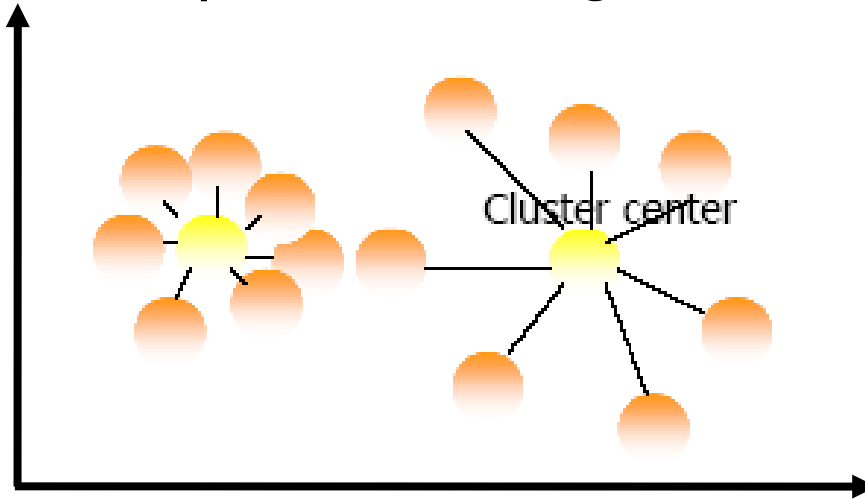


---

# Giải thuật K-means

# k-means

- Chia các điểm thành k nhóm (*clusters*)
  - k là cố định và đã được xác định trước
  - Xác định tâm của nhóm là giá trị trung bình của tất cả các phần tử trong nhóm



# k-means

---

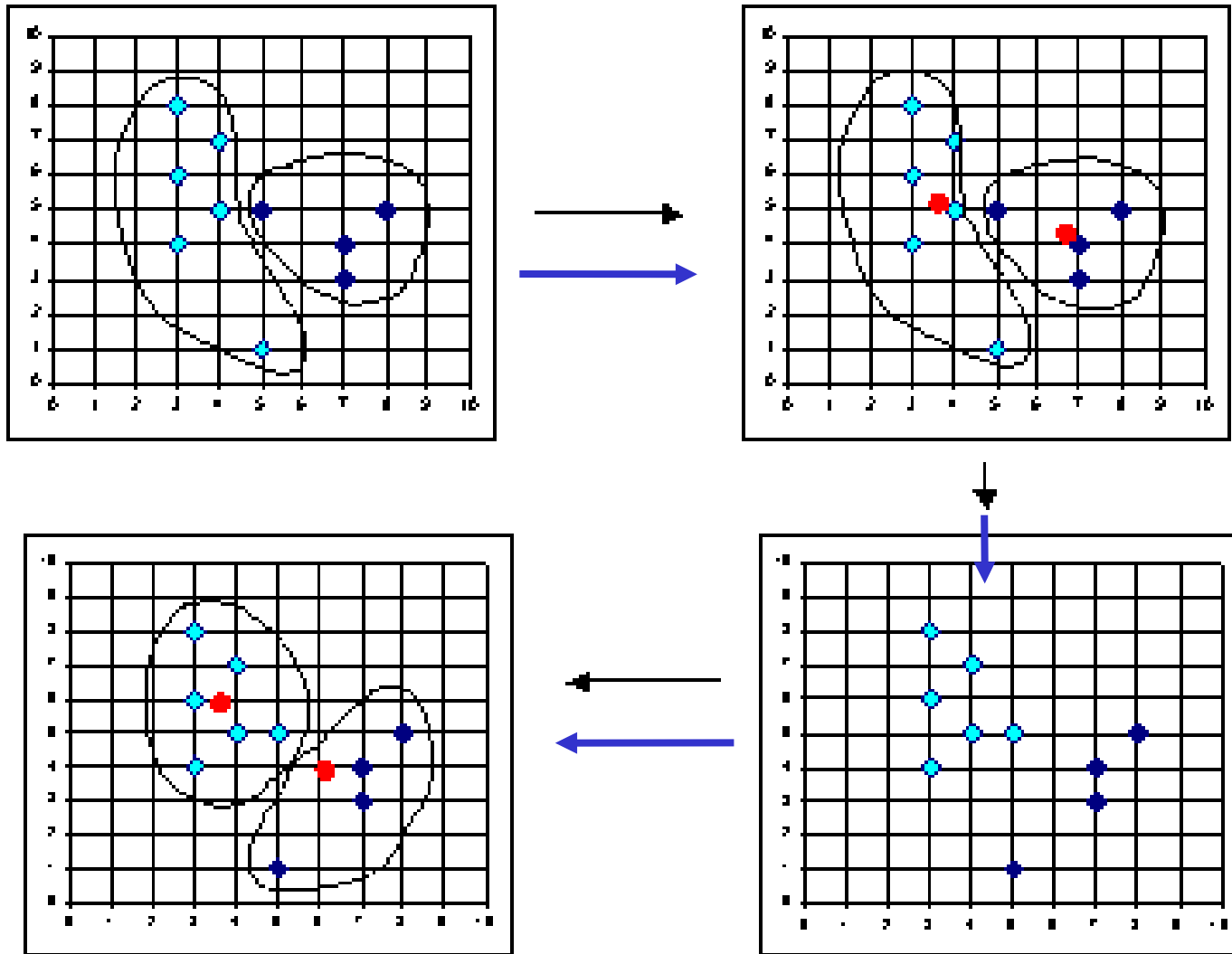
## 4 bước:

1. Chia dữ liệu thành k tập không rỗng
2. Tính tâm của các nhóm
3. Đưa dữ liệu vào nhóm gần nhất
4. Quay lại bước 2

*Giải thuật dừng khi tất cả các nhóm ổn định*



# Ví dụ



# Phân đoạn sử dụng k-means



Ảnh đầu vào



K-means trên  
ảnh mức xám



K-means trên  
ảnh màu

Kmeans áp dụng trên mức xám hoặc màu

# Phân đoạn sử dụng k-means



Ảnh đầu vào

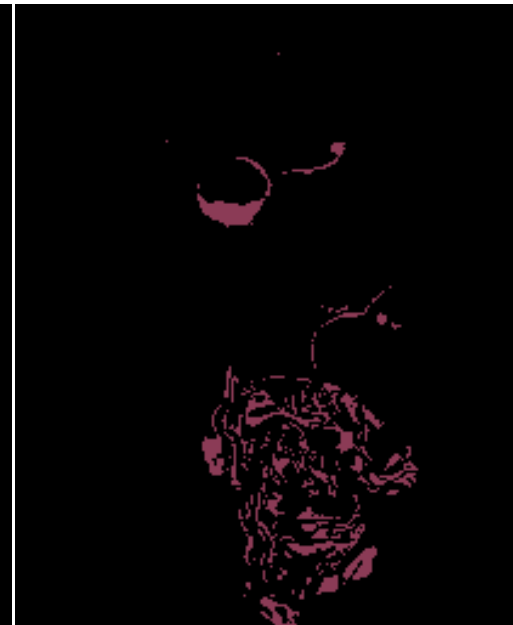
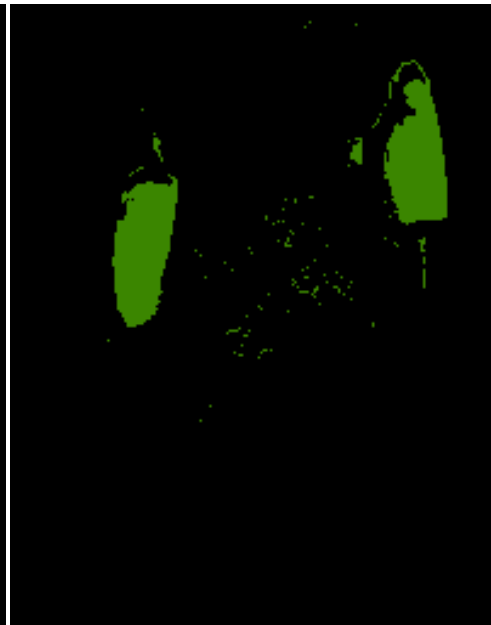


K-means trên  
màu

K-means với 11 nhóm

# Tiếp theo...

K-means trên màu  
cho 11 nhóm



# Phân đoạn dựa trên điểm ảnh hay trên vùng

- Các phương pháp phân đoạn dựa trên ngưỡng chủ yếu dựa trên điểm ảnh
  - *Không đưa ra được các vùng liên thông*
- Để xác định được các vùng
  - *Xóa các điểm ảnh rời rạc*

---

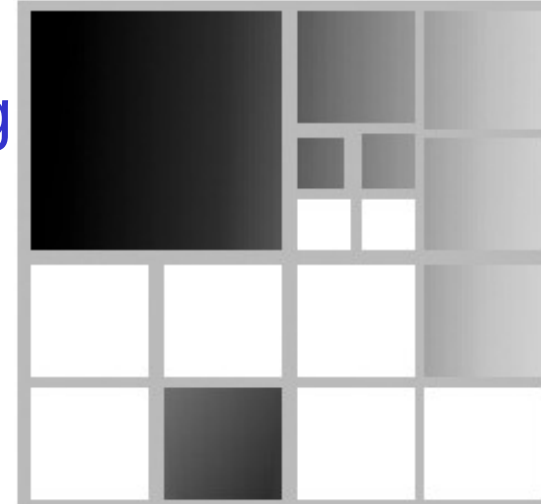
# Phân đoạn dựa trên vùng

Chia và hợp (Split-and-merge)

# Chia và hợp

## ■ Chia (bước 1)

- Chia đệ quy các vùng không đồng nhất theo một tiêu chuẩn nào đó (phương sai, max,min) thành các vùng nhỏ hơn
- Chia một vùng thành 4 vùng con
- Tính chất của vùng con được tính toán

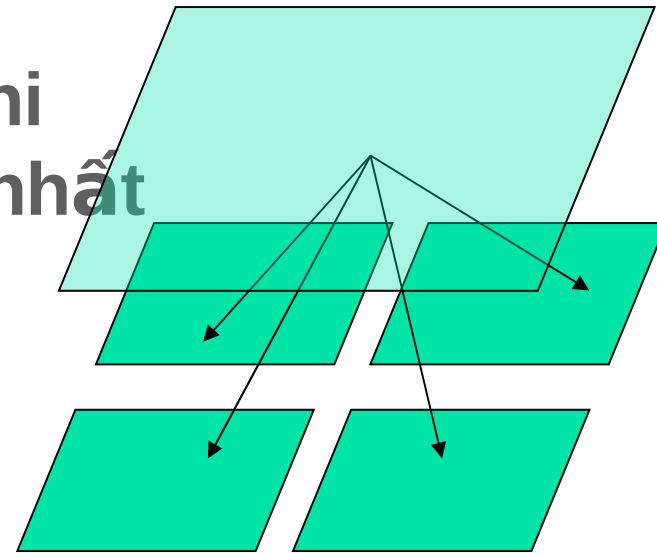


## ■ Kết hợp (bước 2)

- Gộp các vùng đồng nhất lân cận nhau theo một tiêu chuẩn nào đó

# Bước chia

- Ảnh có thể biểu diễn thành 1 cây
  - Nút gốc là toàn bộ ảnh
- Mỗi nút lá  $F$  được chia thành 4 phần nếu  $F$  không đồng nhất
- 4 phần này sẽ trở thành lá của  $F$
- Giải thuật tiếp tục cho đến khi không còn vùng không đồng nhất nào





# Bước chia

Đồng nhất được tính dựa trên phương sai hoặc chênh lệch giữa max và min

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

Đầu vào

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

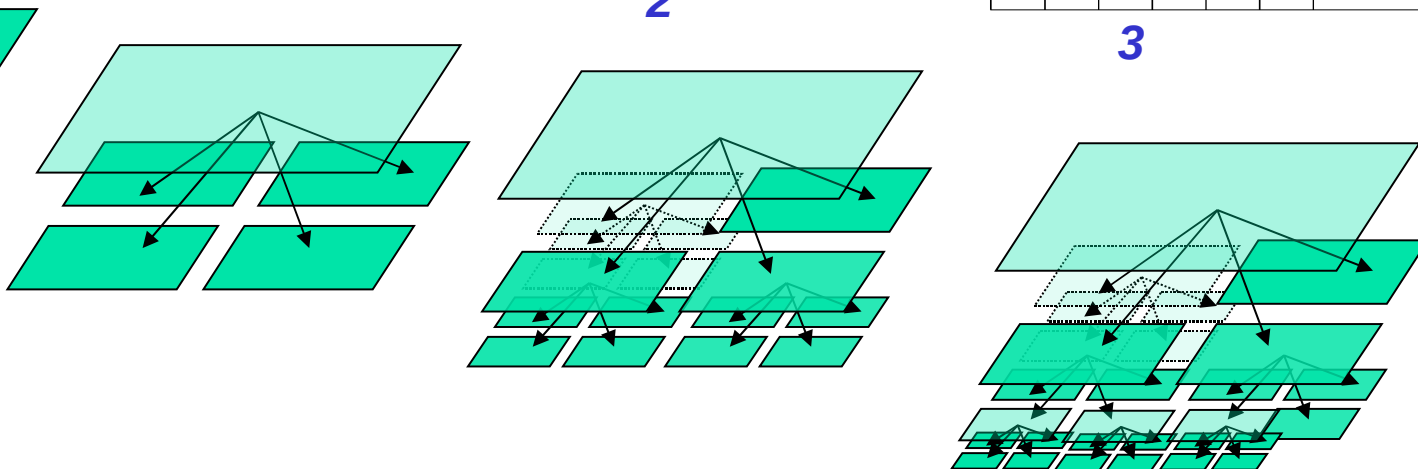
1

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

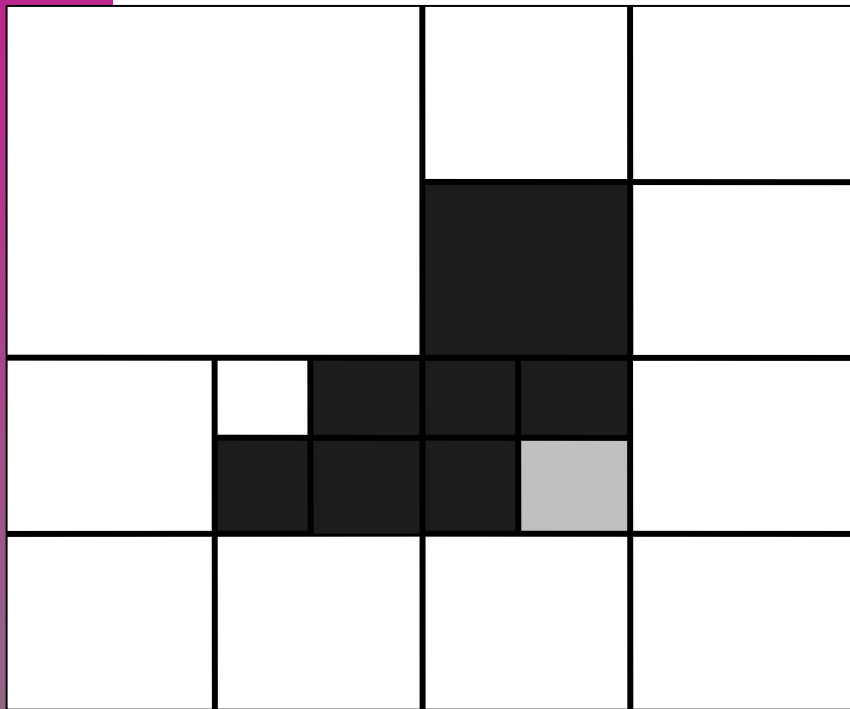
2

0	1	0	0	7	7	7	7
1	0	2	2	7	7	7	7
0	2	2	2	7	7	7	7
4	4	2	2	7	7	7	7
0	0	1	1	3	3	7	7
1	1	2	2	3	7	7	7
2	4	3	0	5	7	7	7
2	3	3	5	5	0	7	7

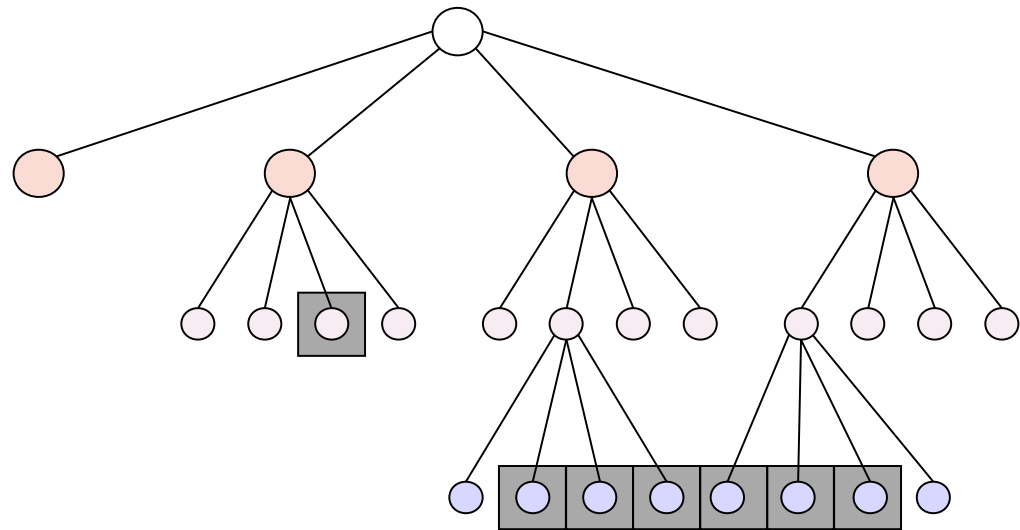
3



# Bước kết hợp

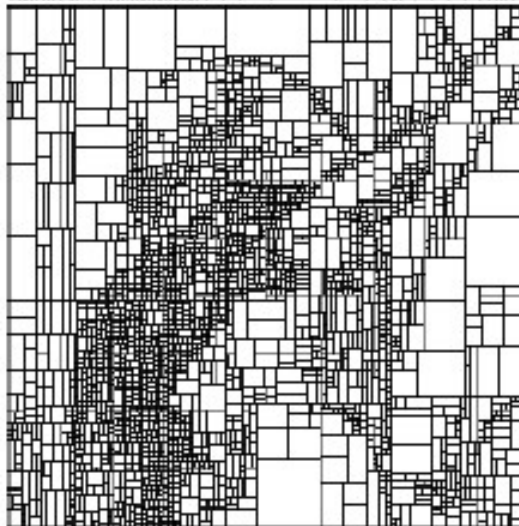
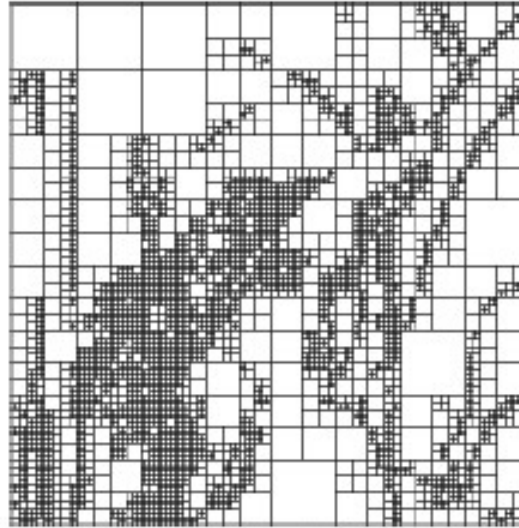


Cây tứ phân

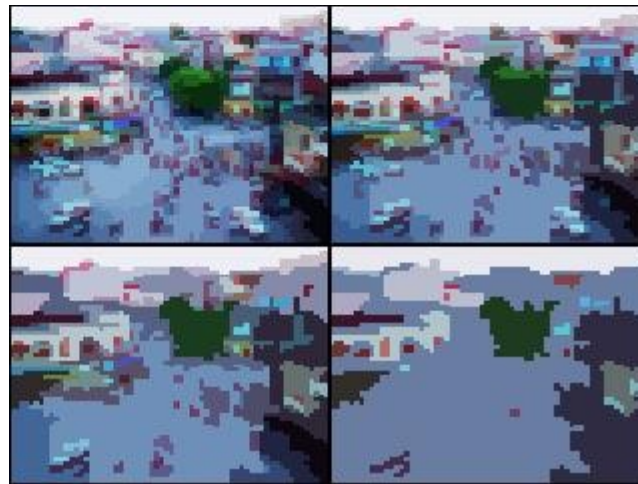


*Nối các vùng đồng nhất lân cận*

# Ví dụ về phân đoạn chia-kết hợp



# Ví dụ về phân đoạn chia-kết hợp



**Sử dụng nhiều ngưỡng xác định sự đồng nhất**

---

# Phân đoạn dựa trên vùng

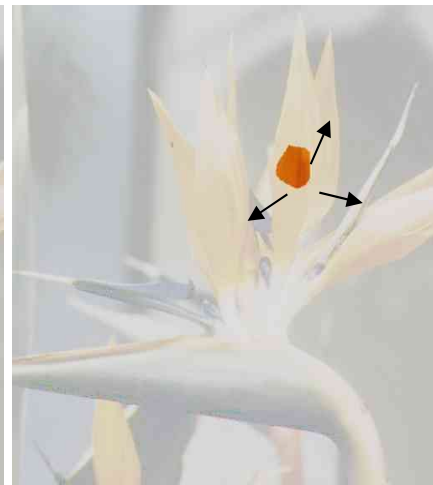
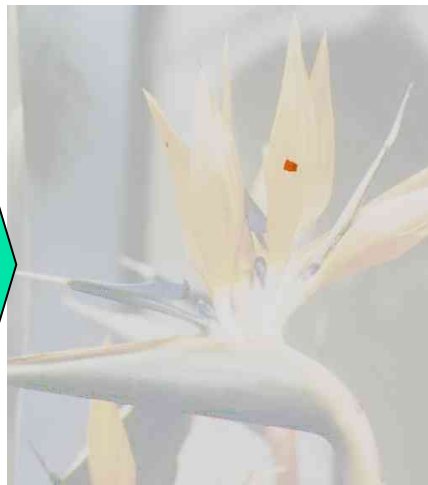
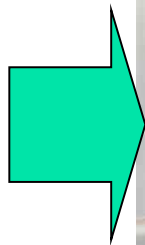
Phát triển vùng (Region growing)

# Phát triển vùng

- Giải thuật bắt đầu với 1 điểm ảnh và lựa chọn các điểm ảnh lân cận theo tiêu chuẩn:
  - Phương sai nhỏ
  - Mức xác dưới 1 ngưỡng
- Điểm ảnh khởi tạo được gọi là hạt giống
- Vùng sẽ được phát triển từ hạt giống
- Các hiểu biết về ảnh cần phân đoạn được sử dụng để lựa chọn hạt giống tốt

# Phát triển vùng

- Bắt đầu từ một hạt giống và thêm các điểm ảnh lân cận theo một tiêu chuẩn
- Hạt giống được chọn thủ công hoặc tự động
  - Ví dụ: tự động lựa chọn hạt giống trong vùng có độ đồng nhất cao



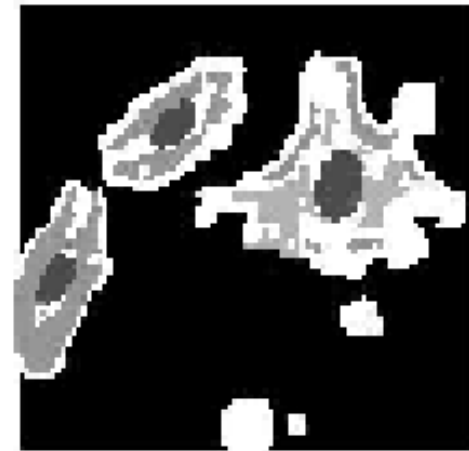
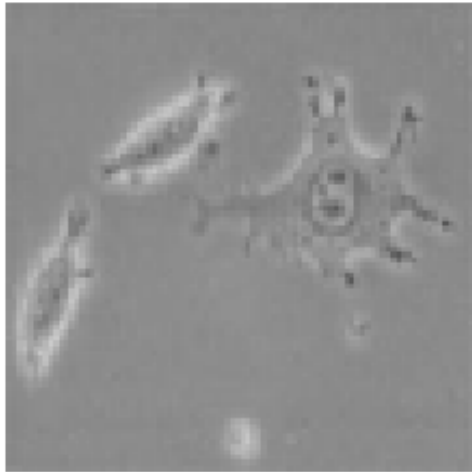
Ảnh

Hạt giống

Phát triển vùng

Vùng cuối cùng

# Phát triển vùng với nhiều «hạt giống»





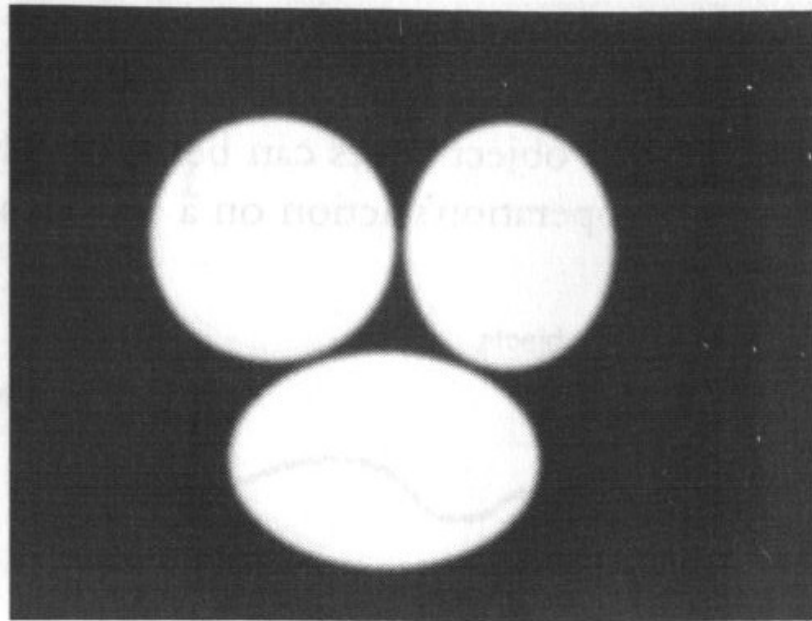
---

# Phân đoạn dựa trên vùng

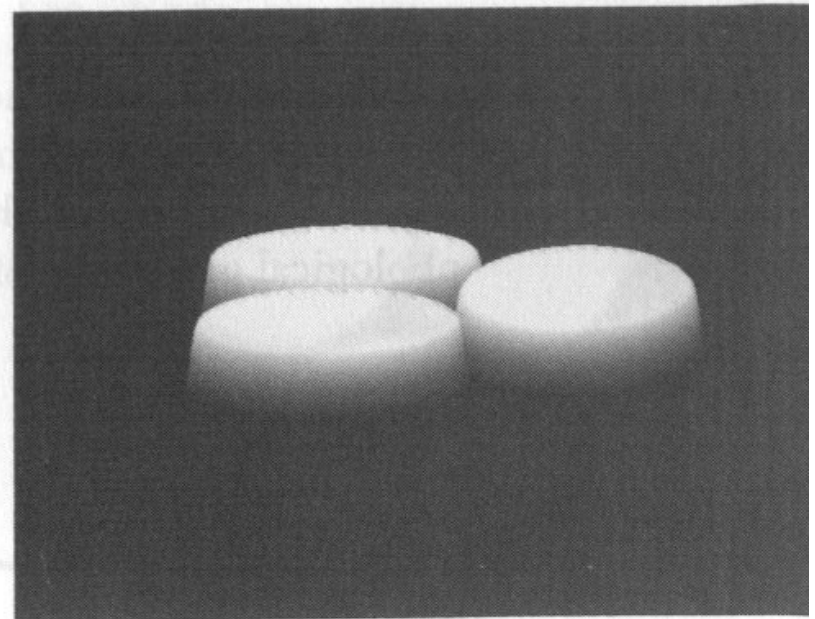
Watershed

# Phân đoạn Watershed

Xem ảnh như hình dạng 3D bằng cách sử dụng mức xám như chiều thứ 3



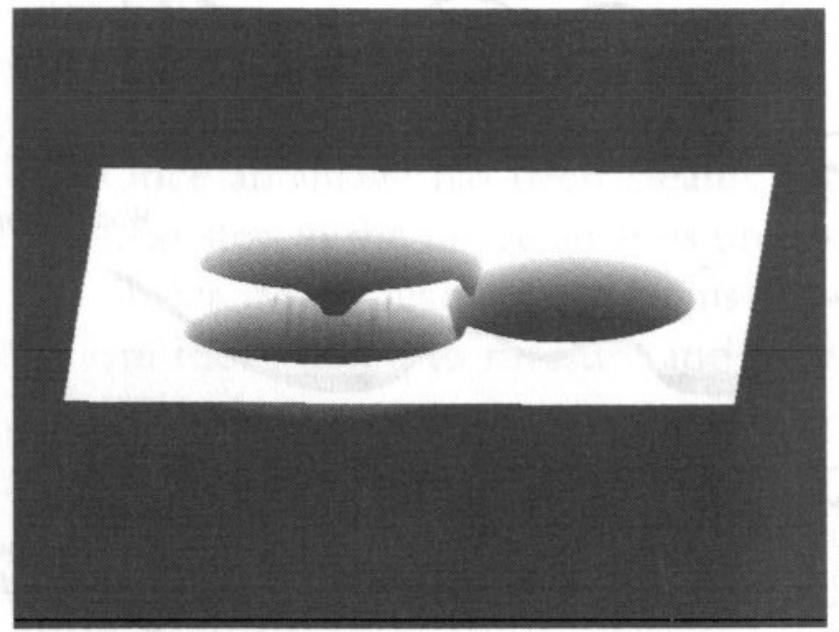
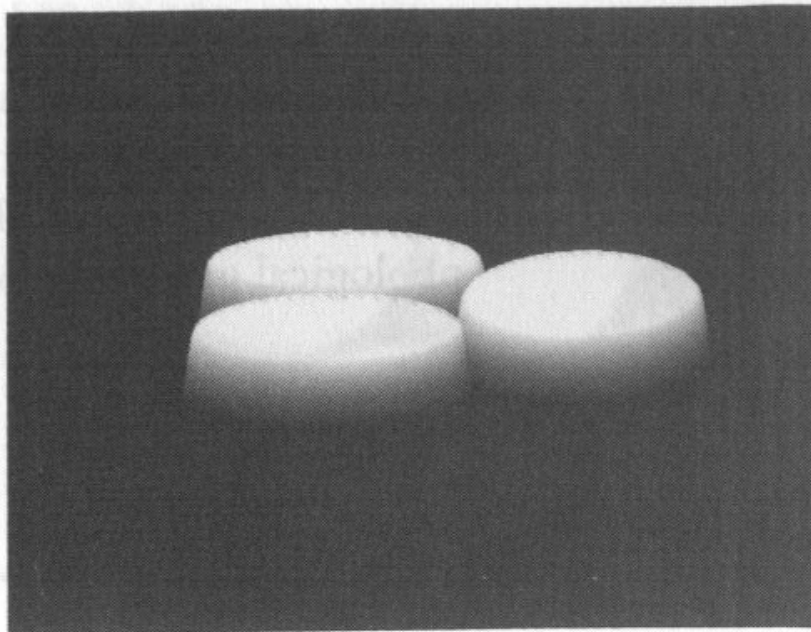
Ảnh 2D



Mô hình trong 3D

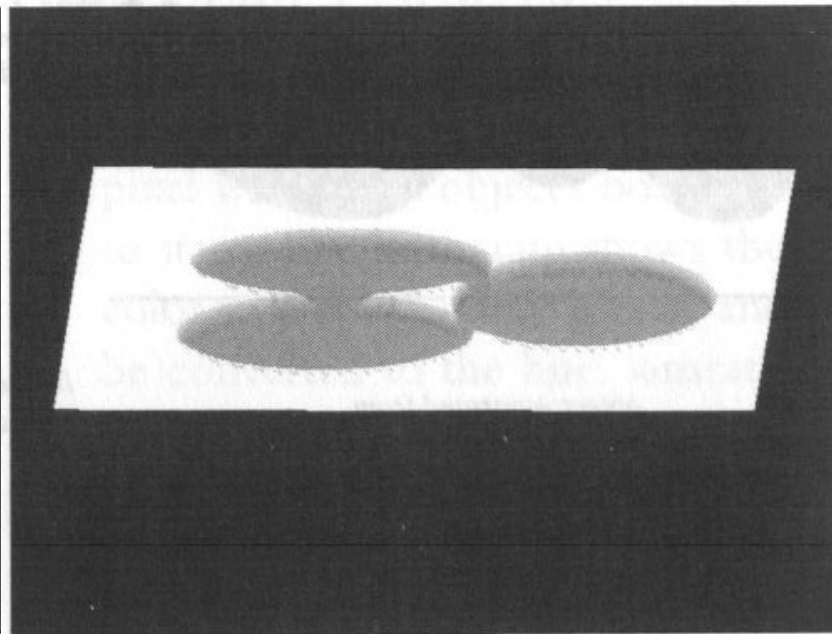
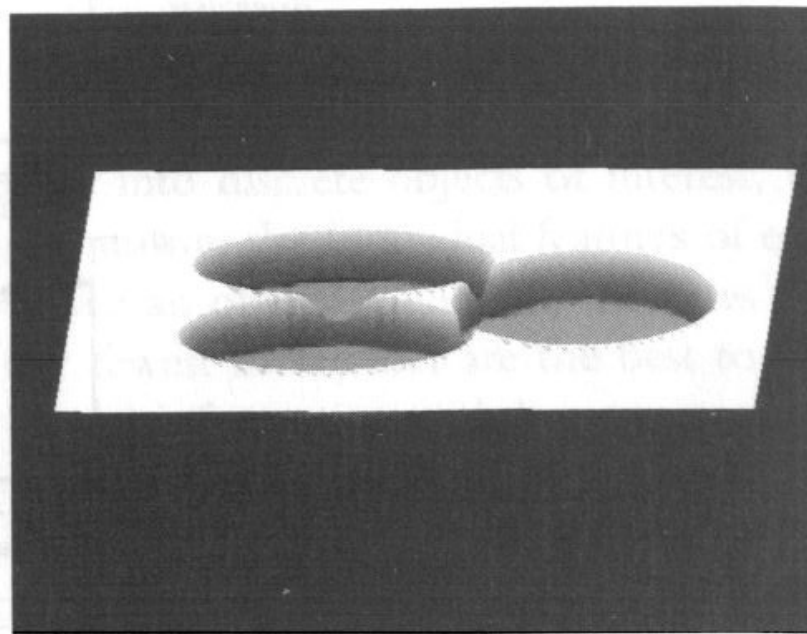
# Phân đoạn Watershed

Lật ngược để tạo các «hộc»

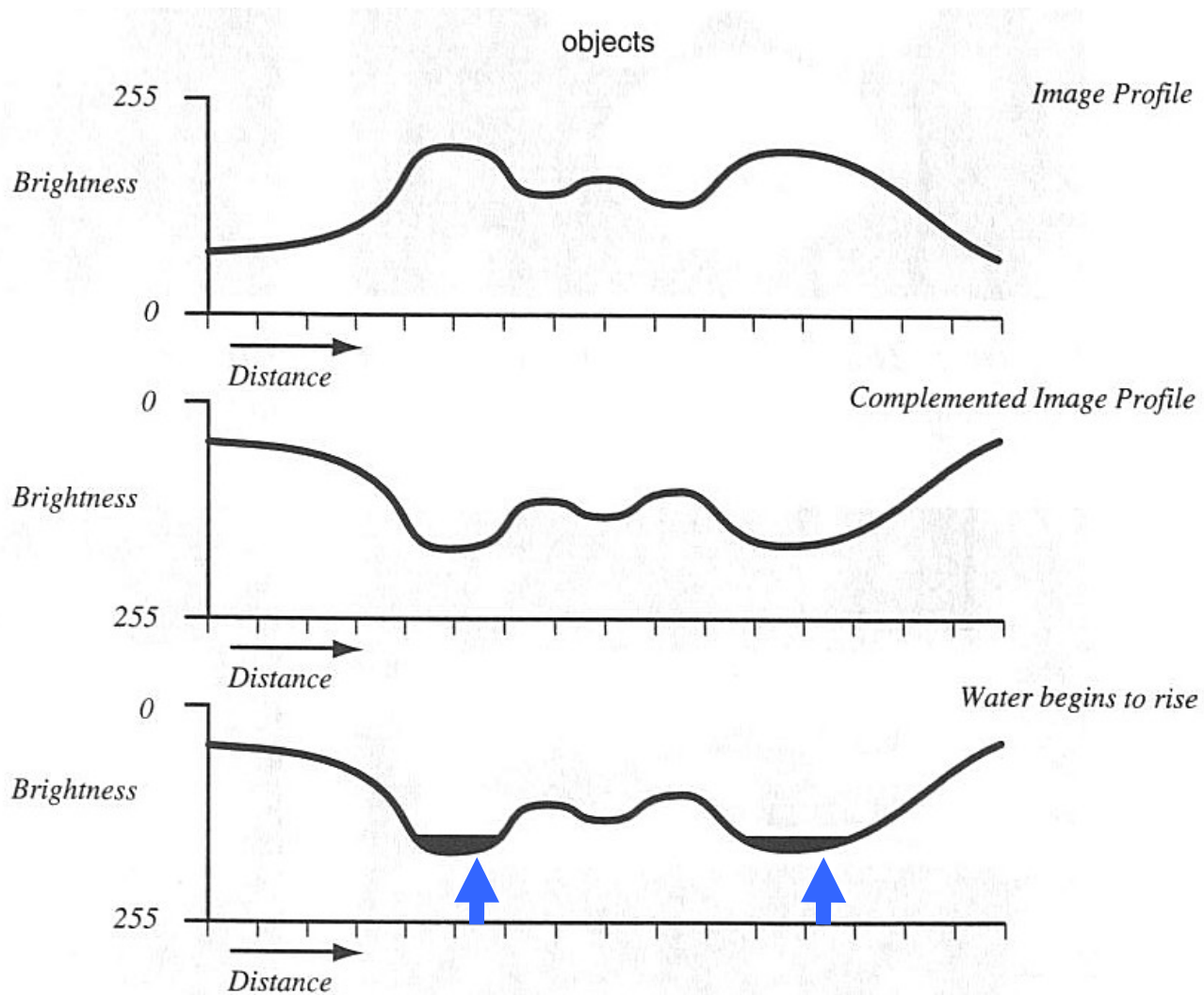


# Phân đoạn Watershed

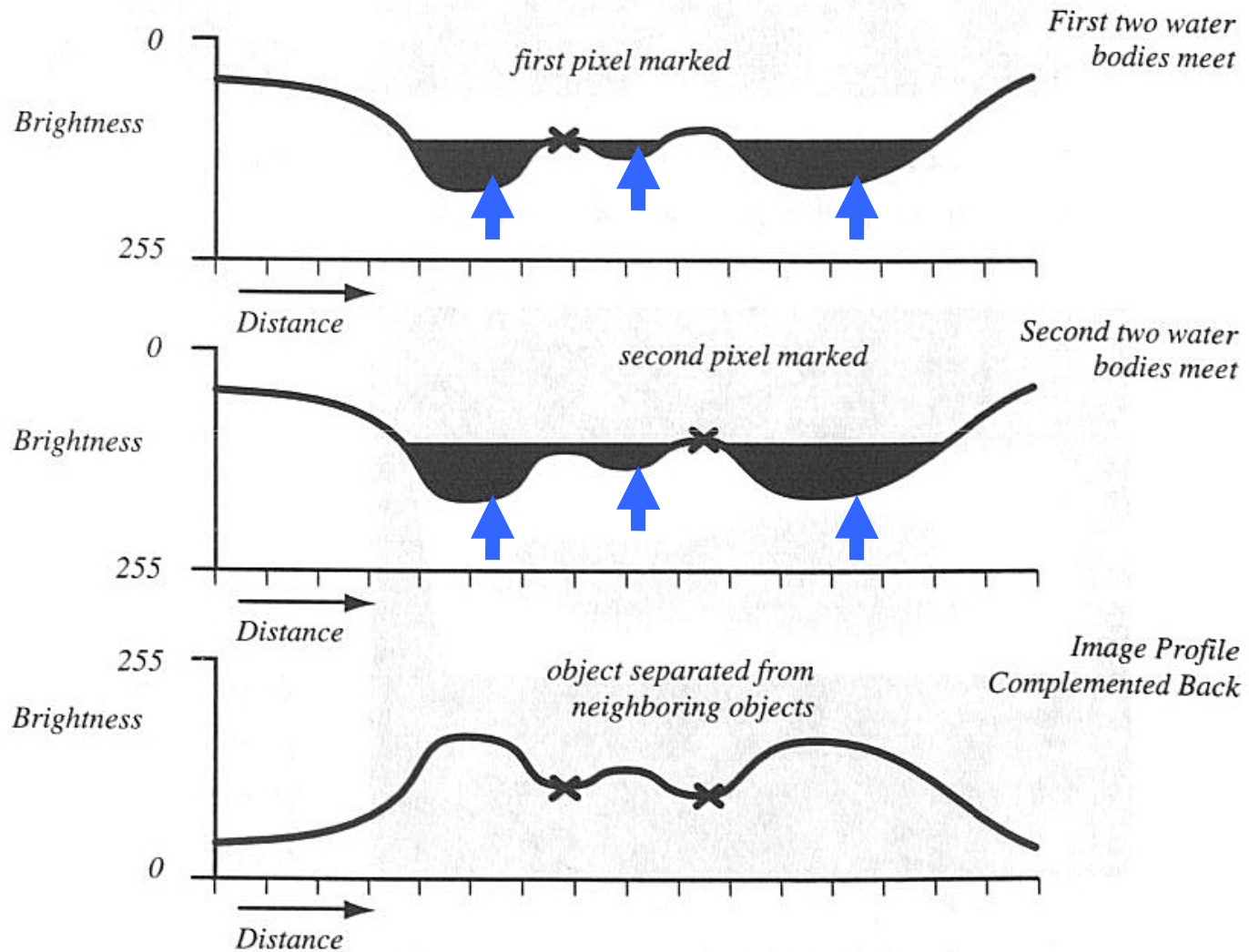
Đổ đầy nước vào các «hộc»



# Phân đoạn Watershed



# Phân đoạn Watershed



# Tiêu chuẩn, tham số

## ■ Tất cả các giải thuật đều cần tiêu chuẩn, tham số

- *Không có tham số chung, phải lựa chọn tùy vào ứng dụng*

### **Ngưỡng**

- Giá trị cố định (hằng số)
- Giá trị tương đối (% , trung bình, ...)
- Giá trị được tính toán bằng thuật toán

# Lời khuyên cho bài toán phân đoạn

- Bài toán phân đoạn hiện tại vẫn chưa được giải quyết hoàn chỉnh
  - Không có phương pháp chung cho tất cả các ảnh
- Nếu ứng dụng cho phép tránh bài toán phân đoạn thì không thực hiện phân đoạn
- Các bước tiền xử lý, lựa chọn thiết bị, kiểm soát các điều kiện về ánh sáng, môi trường phù hợp cho phép phân đoạn thực hiện dễ và hiệu quả hơn



# Lời khuyên cho bài toán phân đoạn

- **Đánh giá kết quả phân đoạn khó và không khách quan**
- **Xác định mục đích của phân đoạn: Các thành phần mà ta muốn nhìn thấy trong ảnh?**
  - Vùng toàn cục hay các chi tiết nhỏ?
- **Xác định trước ứng dụng của kết quả phân đoạn**
  - Cho phép xác định mức độ chính xác

# Cách chúng ta quan sát 1 ảnh



		x =														
		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67					
y =	41	210	209	204	202	197	247	143	71	64	80					
	42	206	196	203	197	195	210	207	56	63	58					
	43	201	207	192	201	198	213	156	69	65	57					
	44	216	206	211	193	202	207	208	57	69	60					
	45	221	206	211	194	196	197	220	56	63	60					
	46	209	214	224	199	194	193	204	173	64	60					
	47	204	212	213	208	191	190	191	214	60	62					
	48	214	215	215	207	208	180	172	188	69	72					
	49	209	205	214	205	204	196	187	196	86	62					
	50	208	209	205	203	202	186	174	185	149	71	63	55	55	45	50
	51	207	210	211	199	217	194	183	177	209	90	62	64	52	93	52
	52	208	205	209	209	197	194	183	187	187	239	58	68	61	51	56
	53	204	206	203	209	195	203	188	185	183	221	75	61	58	60	60
	54	200	203	199	236	188	197	183	190	183	196	122	63	58	64	66
	55	205	210	202	203	199	197	196	181	173	186	105	62	57	64	63

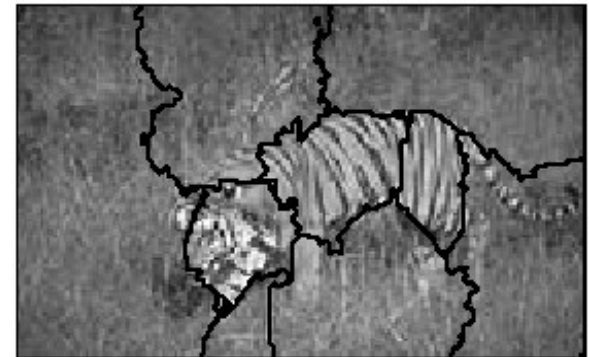
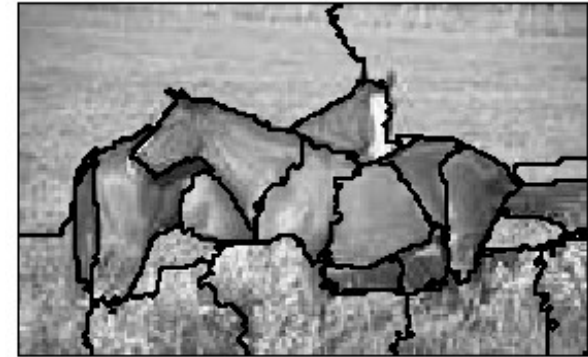
# Hạn chế của phân đoạn

*Phân đoạn ảnh  
không cho phép  
tìm được tất cả cả  
đối tượng*



# Phân đoạn và nhóm


Ngày nay người ta ít nói về **phân đoạn ảnh** (chia 1 ảnh thành các vùng) mà nói nhiều đến **nhóm điểm ảnh** (nhóm các điểm ảnh tương tự nhau mà không quan tâm đến nội dung của vùng)



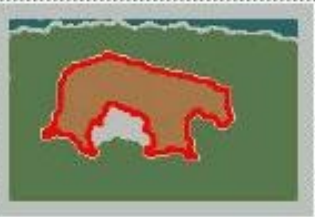
*Source : [Malik 2001].*

Netscape: Blobworld Query Results: Image #108019 (Prefiltered)

File Edit View Go Communicator Help



Query image: 108019


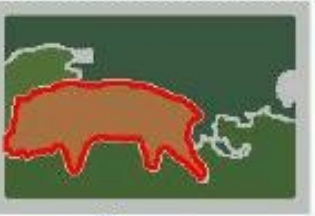
















Query blobs

feature importance:					
	overall	color	texture	location	shape
blob	very	very	somewhat	not	not
background	somewhat	very	not	not	not

Querying from 35000 images (2000 returned by the filter).

Ví dụ

 <p>1: 108044 (score = 0.99)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>	 <p>2: 108023 (score = 0.98)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>
 <p>3: 108006 (score = 0.98)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>	 <p>4: 108029 (score = 0.98)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>
 <p>5: 108051 (score = 0.98)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>	 <p>6: 108084 (score = 0.97)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>
 <p>7: 108037 (score = 0.97)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>	 <p>8: 108004 (score = 0.97)</p>	 <p><a href="#">New query</a></p>

---

# Cách tiếp cận Gestalt

# Cách tiếp cận Gestalt

---

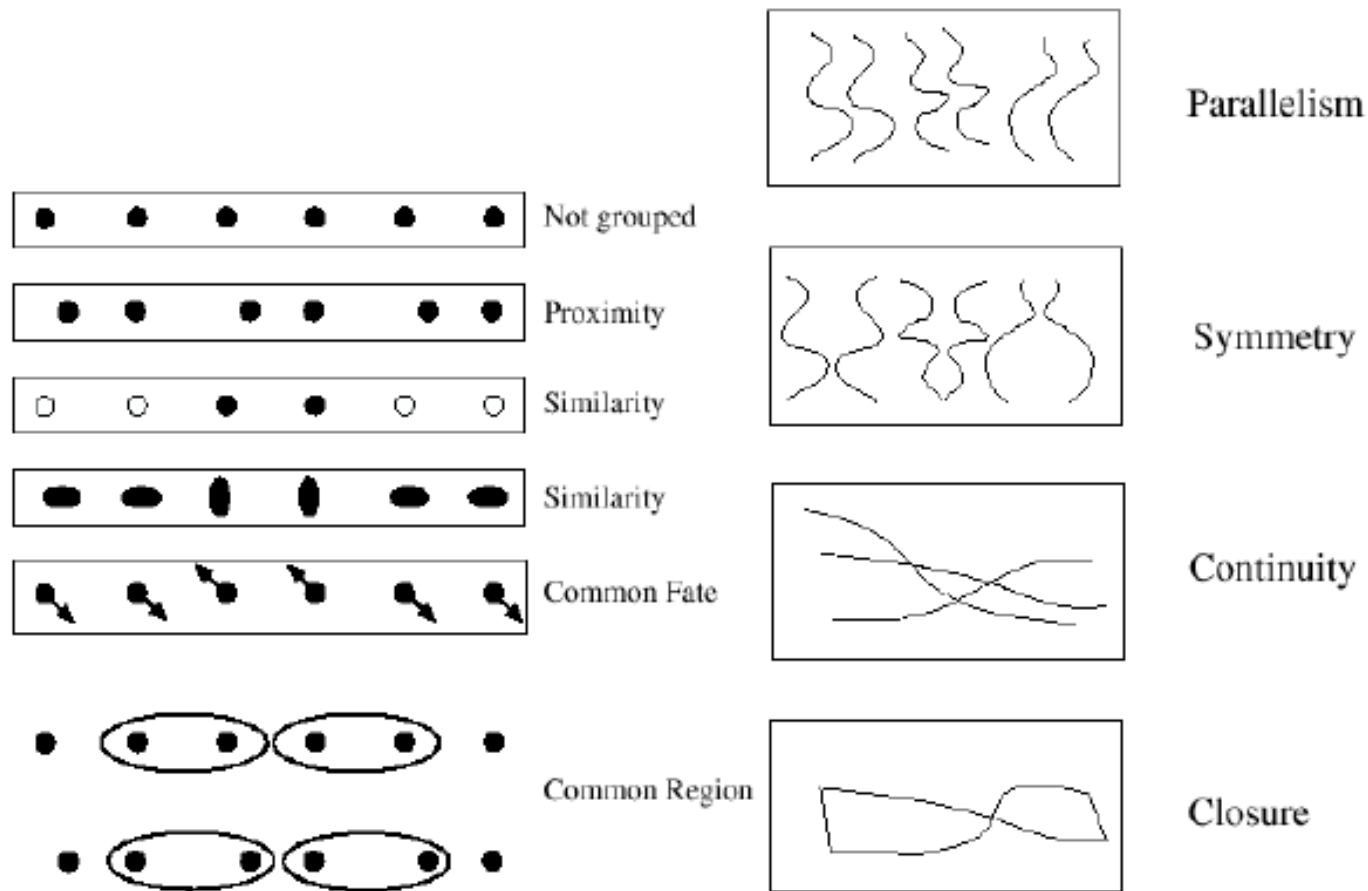
- Dựa trên nghiên cứu về quá trình quan sát của con người
- Các thông tin về ngữ cảnh xung quanh là quan trọng

# Cách tiếp cận Gestalt

- **Các tiêu chuẩn nhóm:**
- **Proximity:** các đối tượng gần nhau
- **Similarity:** các đối tượng giống nhau
- **Common faith:** các đối tượng có kiểu di chuyển giống nhau
- **Common region:** các đối tượng trong cùng 1 vùng
- **Parallel:** các đường song song
- **Closing:** các cung và đối tượng có hình dạng đóng
- **Symmetry:** các cung và đối tượng đối xứng
- **Continuity:** các cung và đối tượng kéo dài



# Cách tiếp cận Gestalt



**Figure 16.4.** Examples of Gestalt factors that lead to grouping (which are described in greater detail in the text). *figure from Gordon, Theories of Visual Perception, page 67 in the fervent hope that permission will be granted*

# Cách tiếp cận Gestalt

---

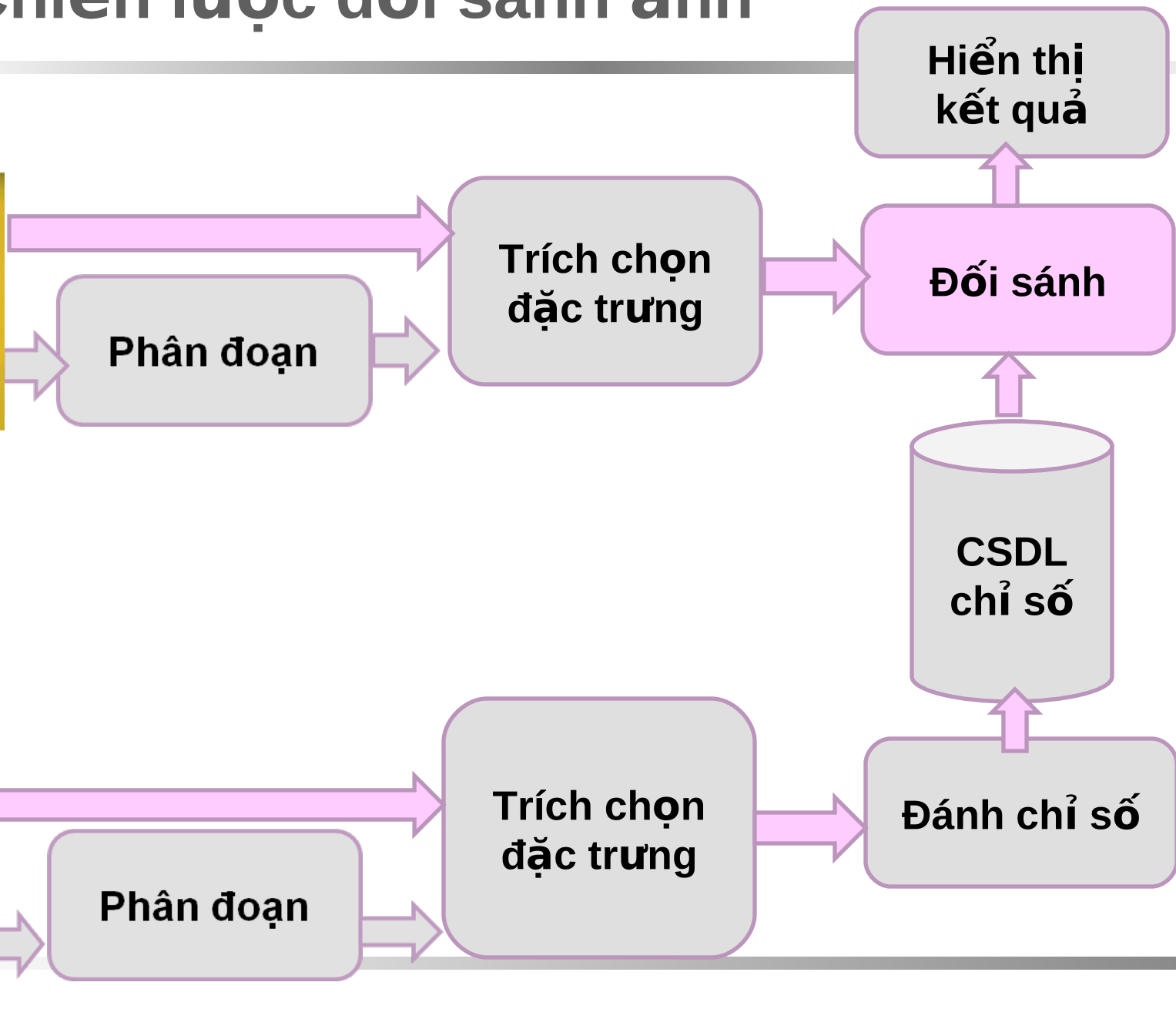
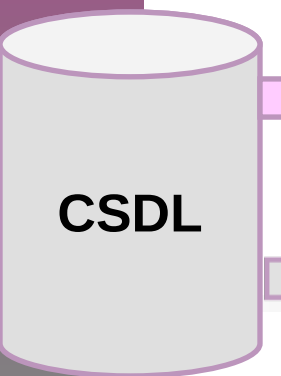
- **Các câu hỏi đặt ra trong cách tiếp cận Gestalt:**
  - Đặt các luật vào trong giải thuật?
  - Làm thế nào để sinh các giả thuyết cho đối tượng?

# Nội dung

---

- Ảnh và cách lưu trữ ảnh
- Phân đoạn ảnh
- Các chiến lược đối sánh ảnh

# Chiến lược đối sánh ảnh



# Chiến lược đối sánh ảnh

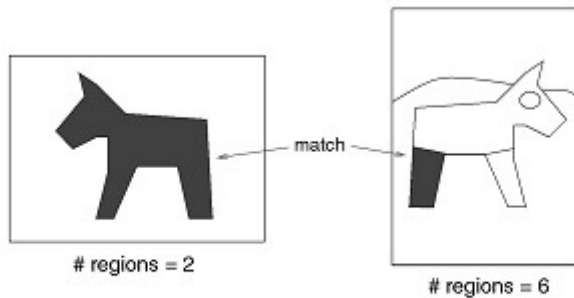
Điều kiện	Chiến lược so sánh
Ảnh không phân đoạn, vector đặc trưng toàn cục	So sánh dựa trên độ đo phù hợp với đặc trưng
Ảnh không phân đoạn, một số vector đặc trưng cục bộ được tính (ví dụ keypoints và đặc trưng SIFT)	Chiến lược so sánh kết hợp (IRM, EMD,...) dựa trên khoảng cách từng cặp vector đặc trưng của các điểm trên 2 ảnh
<b>Ảnh phân đoạn, không xác định concept, một đoạn sử dụng vector đặc trưng</b>	<b>Chiến lược so sánh kết hợp (IRM, EMD,...) dựa trên khoảng cách từng cặp vector của các vùng trên 2 ảnh</b>
Ảnh có xác định concept	Sử dụng độ đo tương tự giữa các concept

# Blobworld

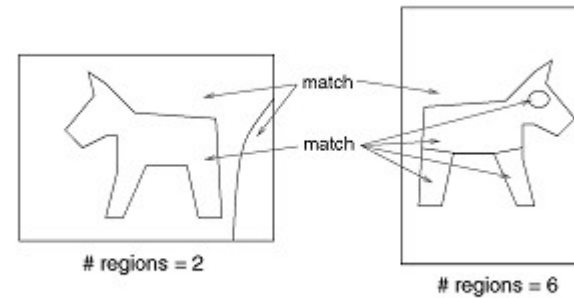
- Truy vấn dạng “like-blob-1”

1. For each blob  $b_j$  in the database image (with feature vector  $\mathbf{v}_j$ ):
  - (a) Find the Mahalanobis distance between  $\mathbf{v}_i$  and  $\mathbf{v}_j$ :  $d_{ij} = (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j)^T \Sigma (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j)$ .
  - (b) Measure the similarity between the two blobs using  $\mu_{ij} = e^{-\frac{d_{ij}}{2}}$ . This score is 1 if the blobs are identical in all relevant features; it decreases as the match becomes less perfect.
2. Take  $\mu_i = \max_j \mu_{ij}$ .

# IRM



single region matching



Integrated Region Matching (IRM)

# EMD

$$d(I_1, I_2) \approx \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij} d(R_i, R_j)$$

$$f_{ij} \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^N f_{ij} \leq w_j$$

$$\sum_{j=1}^M f_{ij} \leq w_i$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij} = \min\left(\sum_{i=1}^N w_i, \sum_{j=1}^M w_j\right)$$

$$d_{EMD}(I_1, I_2) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij}^* d(R_i, R_j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_{ij}^*}$$



# Kiến trúc hệ thống tìm kiếm ảnh

