

Xử lý ảnh số

Phân tích ảnh

Phân vùng ảnh (Segmentation)

Chương trình dành cho kỹ sư CNTT

Nguyễn Linh Giang

Phân vùng ảnh

- Khái niệm vùng ảnh và phân vùng ảnh;
- Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng;
- Phân vùng ảnh dựa trên đường biên;
- Phân vùng ảnh dựa trên các miền;
- Đối sánh;
- Các hướng tiếp cận tiên tiến

Vùng ảnh và phân vùng ảnh

- Bài toán phân vùng ảnh:
 - Phân tách ảnh thành những tập hợp điểm không giao nhau (phân hoạch)
 - Mục đích: phục vụ bài toán nhận dạng ảnh, hiểu ảnh và những bài toán liên quan tới xử lý vùng;
 - Phân vùng ảnh là bài toán xác định yếu (ill-defined):
 - Việc xác định các vùng ảnh phụ thuộc vào ngữ cảnh.

Vùng ảnh và phân vùng ảnh

Khái niệm vùng ảnh:

- Xác định toán tử P là phép toán xác định trên vùng ảnh. Điểm ảnh x được coi là nằm trong vùng ảnh xác định qua toán tử P : $P(x) = \text{true}$ nếu điểm ảnh x thỏa mãn những tính chất xác định.
- Ví dụ về các toán tử vùng:
 - Các giá trị mức xám trong một khoảng (ngưỡng)
 - Gradient của các giá trị mức xám trong một khoảng (biên)
 - Phân bố thống kê như nhau (kết cấu bề mặt)
- Sau khi áp dụng các toán tử xác định vùng, ảnh trở thành ảnh nhị phân. Sử dụng các định nghĩa về tính liên thông, ta có thể xác định được các vùng ảnh.

Vùng ảnh và phân vùng ảnh

Các phương pháp phân vùng ảnh

– Phân vùng dựa trên đường biên:

- Xác định đường ranh giới giữa những vùng lân cận;

– Phân vùng dựa trên ngưỡng:

- Tìm các vùng ảnh bằng cách nhóm các điểm có giá trị mức xám tương tự nhau;

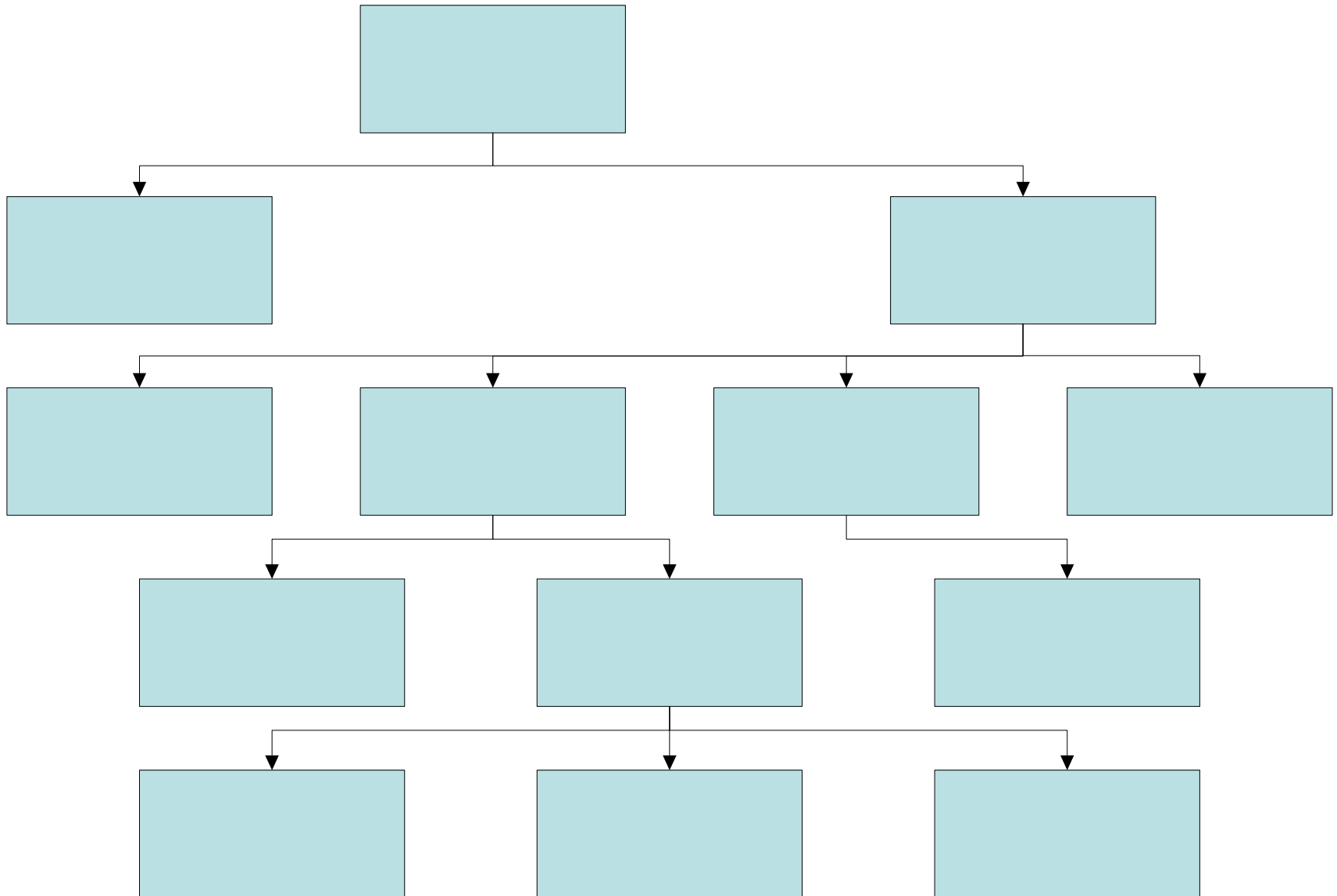
– Phân vùng ảnh dựa trên các miền:

- Xác định trực tiếp các vùng ảnh dựa trên việc gia tăng hoặc phân chia vùng;

– Phân vùng dựa trên chuyển động:

- Xác định vùng dựa trên việc so sánh các khung video liên tiếp trong một chuỗi video để xác định các vùng tương ứng với đối tượng chuyển động;

Vùng ảnh phân vùng ảnh



Vùng ảnh phân vùng ảnh

Biểu diễn vùng ảnh:

- Biểu diễn bằng mã loạt dài (run-length code)
 - Vùng trên ảnh nhị phân là chuỗi các giá trị 0 và 1;
- Biểu diễn bằng các miền và cây tứ phân

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Cơ sở phương pháp

- Khi đối tượng và nền được nhóm lại trong các vùng

- Lựa chọn ngưỡng T để phân tách vùng:

- Điểm ảnh $p(x, y)$:

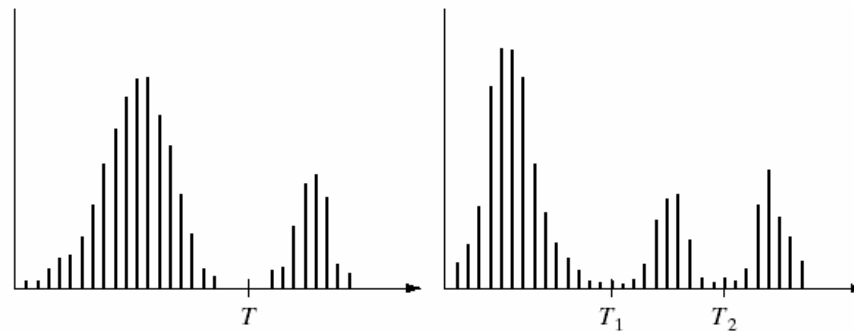
- Nếu: $F(x, y) > T \Rightarrow p(x, y)$ thuộc đối tượng;

- Nếu: $F(x, y) < T \Rightarrow p(x, y)$ thuộc nền.

- Mở rộng: lấy đa ngưỡng:

- Khi có nhiều vùng ảnh phân tách, có thể lấy nhiều ngưỡng $T_1, T_2, T_3,$

...



a b

FIGURE 10.26 (a) Gray-level histograms that can be partitioned by (a) a single threshold, and (b) multiple thresholds.

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

– Lấy ngưỡng có thể coi là bài toán xác định hàm T :

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)]$$

- $f(x, y)$: biểu diễn mức xám của điểm (x, y) ;
- $p(x, y)$: là hàm mô tả thuộc tính cục bộ của điểm ảnh;
 - Ví dụ: $p(x, y)$ là mức xám trung bình trong lân cận điểm (x, y) ;

– Ảnh sau khi lấy ngưỡng là:

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

– Nếu:

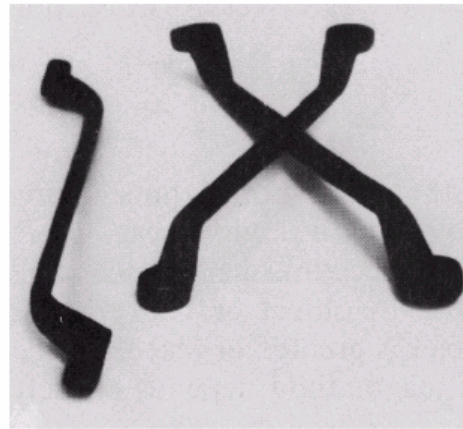
- Ngưỡng T chỉ phụ thuộc $f(x, y)$: ngưỡng toàn cục;
- Ngưỡng T phụ thuộc vào cả $f(x, y)$ và $p(x, y)$: ngưỡng cục bộ
- Ngưỡng T phụ thuộc vào các tọa độ x, y : ngưỡng động

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Kết quả phương pháp:

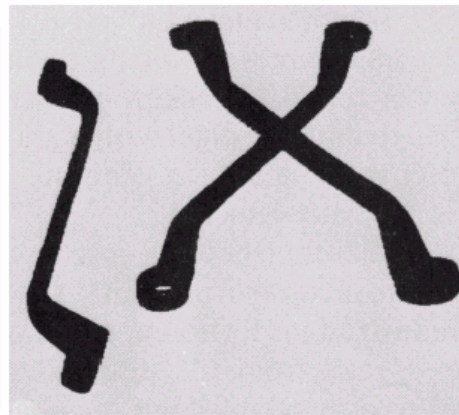
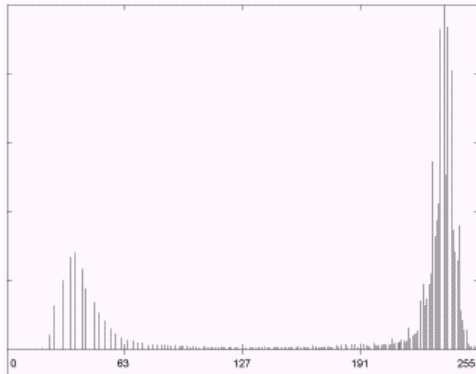
$$R = \bigcup_{i=1}^n R_i, \quad R_i \cap R_j = \emptyset, \quad i \neq j$$

- Ví dụ lấy ngưỡng toàn cục:



a
b c

FIGURE 10.28
(a) Original image. (b) Image histogram. (c) Result of global thresholding with T midway between the maximum and minimum gray levels.

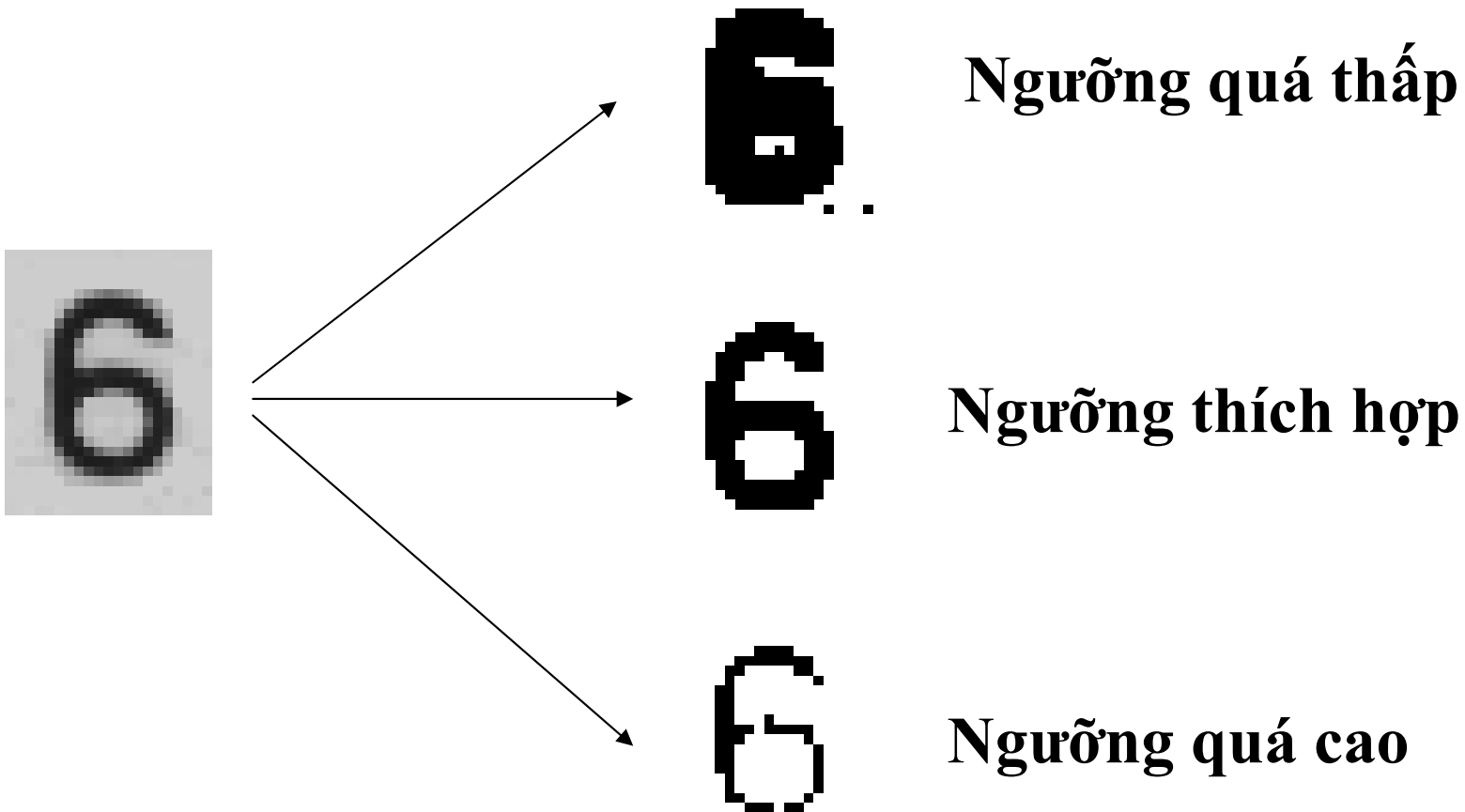


Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Các tiêu chuẩn lựa chọn ngưỡng:
 - Xác suất lỗi cực tiểu
 - Giá cực tiểu
 - Phương sai trong nhóm cực tiểu
 - Kiểm tra bằng mắt

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Ví dụ lấy ngưỡng:



Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

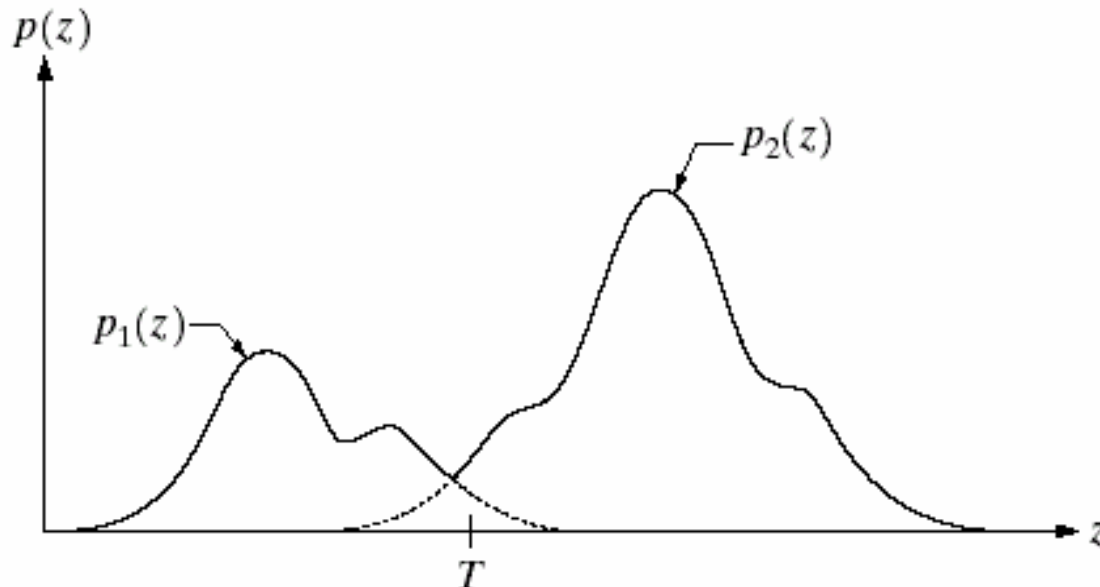
Lấy ngưỡng theo kiểm chứng

- Đặt vấn đề: điểm (x,y) với cường độ sáng u nằm trong vùng hay không ?
- Hai khả năng:
 - H_0 : không nằm trong vùng;
 - H_1 : nằm trong vùng;
- Các xác suất:
 - Xác suất tiên nghiệm: $P_1 = p(z \in H_0)$, $P_2 = p(z \in H_1)$
 - Hàm khả năng: $p(z|z \in H_0) = p_1(z)$, $p(z| z \in H_1) = p_2(z)$

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Các tiêu chuẩn xác định ngưỡng:
 - Khả năng cực đại (Maximum likelihood):
 - Điểm (x, y) có giá trị z nằm trong vùng nếu:
$$p(z|H_1) > p(z|H_0)$$
 - Luật Bayes:

$$P_2 p(z|H_1) > P_1 p(z|H_0)$$



Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Ví dụ trường hợp phân bố Gauss:

- Cho
$$p_i(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-(z - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

- Xác định ngưỡng T, giải phương trình:

$$P_1 p_1(T) = P_2 p_2(T)$$

- Lấy logarithm cả hai vế ta đưa về phương trình:

$$AT^2 + BT + C = 0$$

$$A = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \qquad B = 2(\mu_1\sigma_2^2 - \mu_2\sigma_1^2)$$

$$C = \sigma_1^2\mu_2^2 - \sigma_2^2\mu_1^2 + 2\sigma_1^2\sigma_2^2 \ln\left(\frac{\sigma_2 P_1}{\sigma_1 P_2}\right)$$

$$\text{If } \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma, \text{ then } T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Phương pháp sử dụng phân nhóm:
 - Mỗi điểm tương ứng với một vector đặc trưng:
$$s = [s_1, s_2, \dots, s_n]$$
 - Các đặc trưng có thể có:
 - Các giá trị đa phổ;
 - Giá trị các thành phần màu sắc;
 - Các độ đo các lân cận điểm như trung bình trong các cửa sổ chạy;
 - Độ lệch tiêu chuẩn
 - Phân nhóm các điểm với những đặc trưng gần giống nhau vào cùng một phân nhóm.

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

– Bài toán phân nhóm:

- Cho tập các vector: $\{s_k; 1 \leq k \leq K\}$,
- Xác định M phân nhóm với các tâm $\{w(i); 1 \leq i \leq c\}$, sao cho các vector s_k được đưa vào một phân nhóm thỏa mãn điều kiện tối thiểu hóa sai số khoảng cách:

$$D = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^K I(x_k, i) d(x_k, W(i))$$

– Trong đó

- $I(s_k, i) = 1$ nếu s_k được gán vào phân nhóm i với trọng tâm $w(i)$;
- $I(s_k, i) = 0$ trong những trường hợp khác.

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

- Các thuật toán phân nhóm: K-means, ISODATA
- Thuật toán K-means:
 - Số phân lớp – K , số điểm: n ;
 - B1: Lựa chọn bất kỳ K tâm các phân nhóm;
 - B2: Phân loại n điểm vào K phân lớp theo tiêu chuẩn khoảng cách gần nhất;
 - B3: Tính lại các tâm phân nhóm theo luật trung bình; Quay lại bước phân loại
 -
 - Lần phân loại thứ $i+1$: nếu tâm các phân nhóm ở lần thứ $i+1$ không dịch chuyển so với lần thứ i : dừng thuật toán.

Phân vùng ảnh dựa trên ngưỡng

– Thuật toán ISODATA:

- Cải tiến so với K-means:

- Thay đổi số phân nhóm một cách tự động:
- Nếu một phân nhóm quá tản mạn thì được tách làm 2;
- Nếu hai phân nhóm khá gần nhau thì nhập làm một.
- Bổ sung thêm:
 - » Tính khoảng cách trung bình giữa những phần tử trong một phân nhóm C_i với tâm z_i ;
 - » Tính khoảng cách trung bình của tất cả các phần tử trong các phân nhóm đến các tâm;
 - » Tính độ lệch tiêu chuẩn trung bình giữa các phần tử trong phân nhóm với tâm theo từng chiều
- Các giá trị này phục vụ quá trình phân tách và kết hợp các phân nhóm.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

Các phương pháp dựa trên vùng thích hợp trong trường hợp ảnh có nhiều và xác định đường biên giữa các vùng khá phức tạp.

Tiêu chuẩn xác định tính đồng nhất của vùng đóng vai trò quan trọng trong các phương pháp dựa trên miền;

Một số tiêu chuẩn tính đồng nhất:

- Theo giá trị mức xám;
- Theo màu sắc, kết cấu bề mặt; color, texture
- Theo hình dạng;
- Theo mô hình;
- Các phương pháp khác.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Vị từ xác định vùng ảnh:
 - Xác định các vùng trực tiếp
 - Quá trình phân vùng chia ảnh thành các miền $\{R_i\}$ thỏa mãn:

$$R = \bigcup_{i=1}^n R_i, \quad R_i \cap R_j = \emptyset, \quad i \neq j$$

- Các vùng ảnh được xác định theo vị từ P sao cho:
 - $P(R_i) = \text{TRUE}$ nếu tất cả các điểm trong vùng thỏa mãn những thuộc tính xác định;
 - $P(R_i \cap R_j) = \text{FALSE}$ đối với $i \neq j$.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Các phương pháp:
 - Phương pháp gia tăng vùng (Region-Growing)
 - Quá trình bắt đầu từ những điểm hạt giống
 - Quá trình gia tăng thực hiện bao quanh điểm hạt giống bằng cách gắn những điểm lân cận có cùng tính chất với vùng ảnh.
 - Phân chia và kết hợp vùng
 - Áp dụng vị từ xác định vùng cho những vùng con;
 - Nếu vị từ cho giá trị TRUE, dừng quá trình phân chia;
 - Nếu vị từ cho giá trị FALSE, phân chia vùng;
 - Cây tứ phân là một phương pháp chí vùng;
 - Những vùng con có cùng một tính chất (xác định theo vị từ P) sẽ được hợp lại.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Phương pháp kết hợp vùng
 - Thuật toán cơ sở:
 - Xác định phương pháp phân chia ảnh thành những vùng nhỏ thỏa mãn điều kiện $P(R_i) = \text{TRUE}$;
 - Xác định tiêu chuẩn hợp hai miền liền kề;
 - Kết hợp các miền liền kề thỏa mãn điều kiện hợp. Nếu không có hai miền nào có thể hợp mà không phá vỡ điều kiện vùng, dùng thuật toán.
 - Các phương pháp hợp vùng ảnh khác nhau ở quá trình xác định vùng ban đầu và tiêu chuẩn hợp;
 - Kết quả hợp vùng phụ thuộc vào trình tự hợp của các vùng.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Phương pháp đơn giản nhất bắt đầu bằng cách sử dụng vùng ảnh kích thước 2×2 , 4×4 hoặc 8×8 điểm;
- Các vùng được mô tả bằng các thuộc tính thống kê mức xám;
- Các biểu diễn vùng được so sánh với điều kiện liên kề.
 - Nếu điều kiện liên kề được thỏa mãn, các vùng này được kết hợp lại thành vùng lớn hơn và thuộc tính vùng mới được xác định;
 - Nếu điều kiện này không được thỏa mãn, các vùng được đánh dấu là không tương hợp;
- Quá trình hợp các vùng liên kề được thực hiện giữa tất cả các lân cận, kể cả những vùng lân cận mới được tạo ra;
- Nếu một vùng không thể hợp với bất kỳ vùng lân cận nào, vùng sẽ được đánh dấu là kết thúc và quá trình hợp vùng dừng lại khi tất cả các vùng được đánh dấu là kết thúc.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Cấu trúc lưới chứa thông tin phục vụ quá trình hợp vùng 4-liên thông sử dụng các giá trị biên.

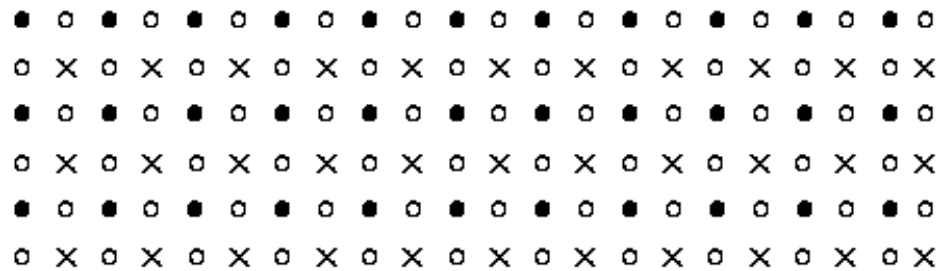


Figure 5.41 *Supergrid data structure: × - image data, ○ - crack edges, ● - unused.*

- Một số neurisuc:
 - Hai vùng liền kề có thể kết hợp lại nếu phần lớn biên chung chứa các điểm biên yếu;
 - Hai vùng liền kề có thể kết hợp lại nếu phần lớn biên chung chứa các điểm biên yếu nhưng trong trường hợp này không tính đến độ dài tổng cộng của đường biên của vùng.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Tính quan trọng của biên được tính theo hệ thức:

$$v_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if } s_{i,j} < T_1 \\ 1, & \text{if } s_{i,j} > T_1 \end{cases}$$

Trong đó $v_{ij} = 1$ có nghĩa là điểm biên quan trọng

$v_{ij} = 0$ chỉ biên yếu

T_1 ngưỡng cho trước

s_{ij} là giá trị biên và bằng $s_{ij} = |f(x_i) - f(x_j)|$

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

– Thuật toán kết hợp vùng qua đường biên:

- Xác định các vùng với mức xám không đổi. Xây dựng cấu trúc lưới chứa thông tin giá trị biên;
- Loại bỏ các điểm biên có giá trị biên nhỏ hơn ngưỡng;
- Loại bỏ các biên chung giữa hai miền liền kề R_i, R_j bằng đệ quy nếu

$$\frac{W}{\min(l_i, l_j)} \geq T_2$$

Trong đó W là số lượng các điểm biên yếu trên đường biên chung, l_i và l_j là độ dài chu vi ngoài của các vùng R_i, R_j , T_2 là ngưỡng;

- Loại bỏ các biên chung giữa hai miền liền kề R_i, R_j bằng đệ quy nếu

$$\frac{W}{l} \geq T_3$$

hoặc $W \geq T_3$

trong đó l là độ dài đường biên chung và T_3 là ngưỡng

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

- Phân chia vùng ảnh
 - Phân chia vùng là bài toán ngược với hợp vùng;
 - Quá trình phân chia bắt đầu từ toàn bộ ảnh như một vùng lớn và không thỏa mãn điều kiện đồng nhất;
 - Các vùng ảnh được phân chia tuần tự để thỏa mãn các điều kiện đồng nhất;
 - Quá trình phân chia vùng không cho cùng một kết quả thậm chí cả khi sử dụng cùng một tiêu chí đồng nhất;
 - Bài toán phân chia vùng sử dụng cùng một tiêu chuẩn đồng nhất như trong phương pháp hợp vùng. Điểm khác biệt: hướng ứng dụng.

Phân vùng ảnh dựa trên miền ảnh

Phương pháp kết hợp: phân chia và hợp vùng:

- Xác định các vùng khởi tạo, các điều kiện đồng nhất, cấu trúc tứ diện;
- Nếu vùng R trong cấu trúc tứ diện không đồng nhất ($H(R)=FALSE$), chia vùng thành 4 vùng con; Nếu 4 vùng con có cùng một cha có thể kết hợp thì kết hợp thành một;
- Nếu hai vùng liền kề không cùng cha và thỏa mãn điều kiện đồng nhất, hợp hai vùng này lại.

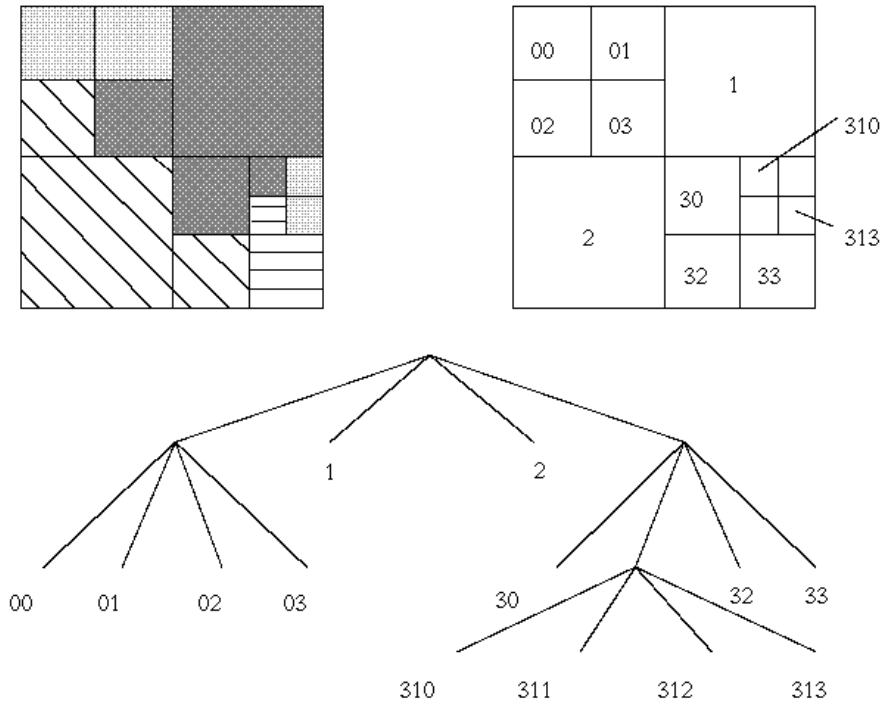


Figure 5.45 Segmentation quadtree.

pyramid levels or do not have the same parent) that can be merged into a homogeneous region, merge them.

4. Merge small regions with the most similar adjacent region if it is necessary to remove small-size regions.