XỬ LÝ HÌNH THÁI HỌC TRÊN ẢNH VÀ ỨNG DỤNG

✍ **ThS. Hồ Đức Lĩnh**

Khoa Công nghệ Thông tin – Đại học Đông Á

TÓM TẮT

Hiện nay, các kỹ thuật xử lý ảnh số trên máy tính đang được rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và phát triển, trong đó có xử lý hình thái học trên ảnh. Bởi vì xử lý hình thái học trên ảnh cung cấp cho chúng ta những mô tả định lượng về cấu trúc và hình dạng hình học của các đối tượng trong ảnh dựa trên những lý thuyết trong toán học như lý thuyết tập hợp, hình học tôpô, xác suất, .v.v. và nó đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng như phát hiện biên, phân đoạn đối tượng, giảm nhiễu, tìm xương ảnh .v.v. Trong các ứng dụng thị giác máy tính, xử lý hình thái học có thể được sử dụng để nhận dạng đối tượng, nâng cao chất lượng ảnh, phân đoạn ảnh và kiểm tra khuyết điểm trên ảnh. Các phép toán xử lý hình thái học được thực hiện chủ yếu trên ảnh nhị phân và ảnh xám. Trong bài bào này tôi giới thiệu các phép toán xử lý hình thái học trên ảnh nhị phân và ảnh xám, một số ứng dụng của xử lý hình thái học đang được ứng dụng rộng rãi hiện nay.

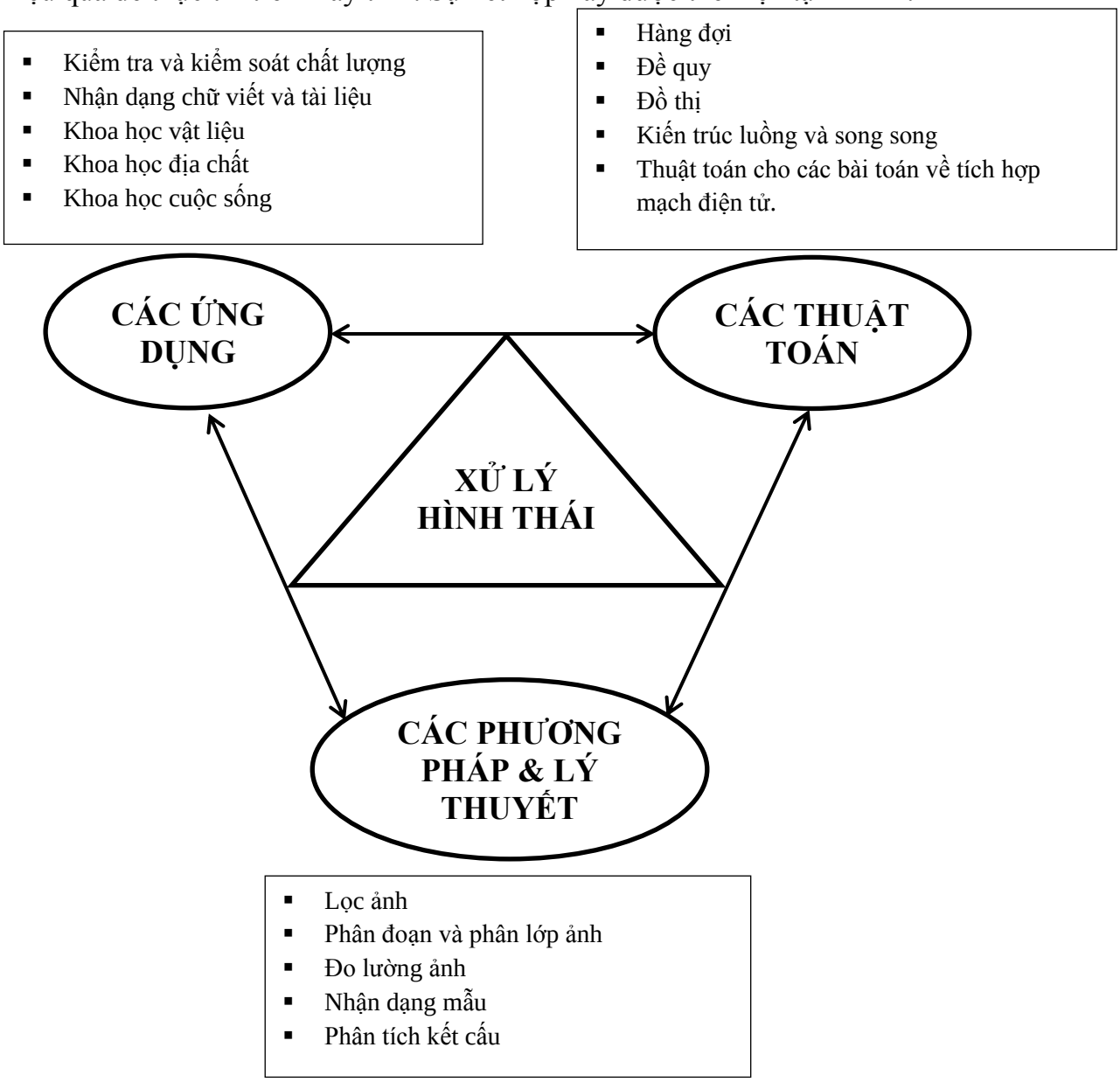
ABSTRACT

In curentlly, image processing techniques on the computer is being tremenduosly and development by a lot of research, and among them, mathematical morphological have been continously receiving attention. It is because methermatical morphology provides quantitative description of geometric structure and shape of objects in image based on mathermatical theories such as set theory, topology, probability, etc and has been applied widely too many applications such as edge detection, object segmentation, noise suppression, skeleton and so on [6][7]. In industrial vision applications, mathermatical morphology can be use to implement object reconization, image enhancement, segmentation, and defect inspection[1]. Morphological operations processing carried out mainly on binary and gray images. In this paper, I introduction the mathematical operations processing on binary images and gray images and some applications of morphological processing are widely used nowadays.

Keywords: *Image processing, Mathematical morphology, Morphological image analysis, Binary Morphological, Grayscale morphology, image processing and recognization.*

1. Giới thiệu

Các kỹ thuật xử lý ảnh số trên máy tính đang được rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm và phát triển. Sự phát triển của hình thái học là sự kiết hợp giữa lý thuyết, ứng dụng, phương pháp và các thuật toán [1]. Trong đó, các phương pháp mới được đưa ra nhằm giải quyết những vấn đề trong thực tế, lý thuyết kiểm chứng tính chính xác của các phương pháp, và phát triển các thiết bị phần cứng chuyên dụng hoặc các thuật toán hiệu quả để thực thi trên máy tính. Sự kết hợp này được thể hiện tại hình 1.



Hình 1. Sự phát triển của xử lý hình thái được đặc trưng bởi sự kết hợp kiết hợp giữa lý thuyết, ứng dụng, phương pháp và các thuật toán

Trong các ứng dụng thị giác máy tính, xử lý hình thái học có thể được sử dụng để nhận dạng đối tượng, nâng cao chất lượng ảnh, phân đoạn ảnh và kiểm tra khuyết điểm trên ảnh [2]. Các phép toán xử lý hình thái học được thực hiện chủ yếu trên ảnh nhị phân và ảnh xám.

Ảnh nhị phân hay còn được gọi là ảnh đen trắng tương ứng với hai giá trị 0 (màu trắng) và 1 (màu đen). Ảnh xám là ảnh mà tại mỗi điểm ảnh có giá trị cường độ sáng nằm trong khoảng [0, 255].

2. Các thuật toán xử lý hình thái học

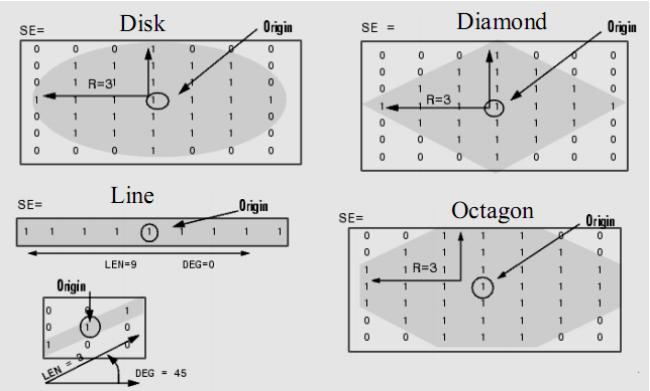
Phần lớn các phép toán hình thái học được định nghĩa từ hai phép toán cơ bản là phép toán co ảnh (Erosion) và giãn ảnh (Dilation). Yếu tố quan trọng trong các phép toán này là lựa chọn một phần tử cấu trúc có hình dáng phù hợp.

a. Phần tử cấu trúc

Đối với ảnh nhị phân, phần tử cấu trúc là một ảnh có kích thước nhỏ gồm có hai giá trị 0 và 1, các giá trị bằng 0 được bỏ qua trong quá trình tính toán, gọi H(i, j) là phần tử cấu trúc của ảnh nhị phân và được thể hiện như sau [4]:

$$H(i, j) \in \{0,1\}$$

Một số hình dáng của phần tử cấu trúc thường được sử dụng trên ảnh nhị phân: dạng đường theo chiều ngang và dọc, hình vuông, hình ellipse,...[3].



Hình 2. Một số hình dáng của phần tử cấu trúc phẳng.

Đối với ảnh xám, phần tử cấu trúc là không phẳng, tức là các phần tử cấu trúc sử dụng các giá trị 0 và 1 để xác định phạm vi của phần tử cấu trúc trong mặt phẳng x và mặt phẳng y và thêm giá trị độ cao để xác định chiều thứ ba.Cấu trúc phần tử không phẳng gồm có hai phần [5]:

Phần thứ nhất: Một mảng hai chiều gồm có các giá trị 0 và 1, trong đó giá trị bằng 1 xác định hàng xóm của phần tử cấu trúc.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Hình 3. Một mặt nạ xác định hàng xóm của phần tử cấu trúc không phẳng.

Phần thứ hai: Một mảng hai chiều có kích thước bằng với kích thước của mảng hai chiều ở phần thứ nhất nhưng chứa các giá trị thực của phần tử cấu trúc.

0	1.4996	0
1.4996	2.9992	1.4996
0	1.4996	0

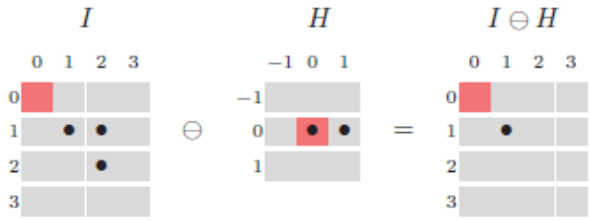
Hình 4. Ma trận giá trị thực tương ứng với hàng xóm trong phần tử cấu trúc không phẳng.

b. *Phép co ảnh – Erosion*

Xét tập hợp A và tập hợp B (Phần tử cấu trúc), **phép co ảnh nhị phân** của tập hợp A bởi phần tử cấu trúc B được kí hiệu A⊖B và viết dưới dạng công thức như sau:

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_Z \subseteq A\}$$

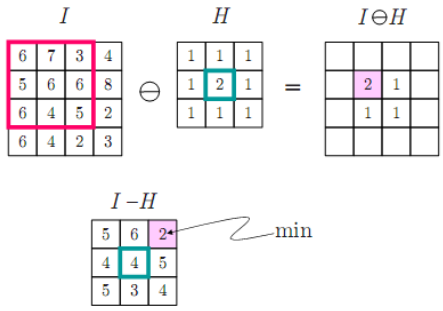
Phép co ảnh nhị phân của tập hợp A bởi phần tử cấu trúc B là tập hợp các điểm z (z nằm ở tâm điểm của phần tử cấu trúc B) sao cho B_z là tập con của A.



Hình 5. Ví dụ về phép toán co ảnh nhị phân với phần tử cấu trúc phẳng.

Phép toán co ảnh của ảnh xám I với cấu trúc phần tử không phẳng H tại vị trí (x, y) của ảnh I được xác định như sau[1][2][4][5][6]::

$$(I \ominus H)(x, y) = \min(I(x+i, y+j) - H(i, j) \mid (i, j) \in D_H)$$



Hình 6. Ví dụ về phép toán co ảnh trên ảnh xám với phần tử cấu trúc không phẳng.

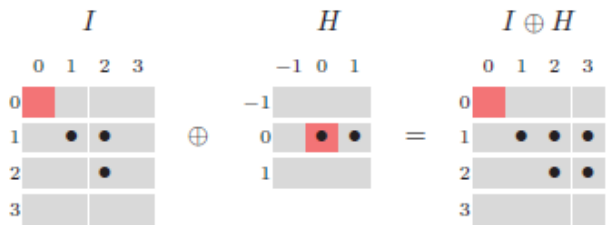
Trong đó, D_H là không gian ảnh của phần tử cấu trúc không phẳng H.

c. *Phép giãn ảnh – Dialtion*

Gọi A là ảnh gốc, B là một phần tử cấu trúc. ***Phép giãn nhị phân*** của ảnh A với phần tử cấu trúc B được kí hiệu $A \oplus B$ và chúng ta có thể biểu diễn phép toán co ảnh dưới dạng phép toán tổ hợp như sau:

$$A \oplus B = \left\{ z \,\middle|\, \left[\left(\hat{B} \right)_z \cap A \right] \subseteq A \right\}$$

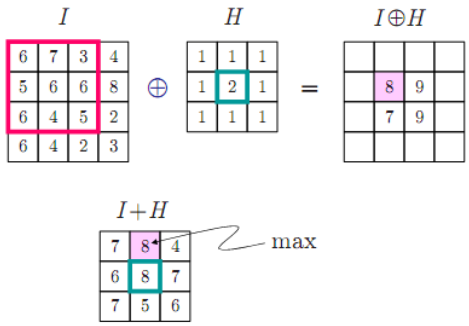
Phép giãn ảnh nhị phân của tập A bởi phần tử cấu trúc B là tập hợp của các điểm z (z là tâm của phần tử cấu trúc B trên tập A) sao cho phản xạ của B_z giao với tập A tại ít nhất một điểm.



Hình 7. Ví dụ về phép giãn nhị phân trên ảnh với phần tử cấu trúc phẳng.

Phép toán giãn ảnh của ảnh xám I với cấu trúc phần tử không phẳng H tại vị trí (x, y) của ảnh I được xác định như sau [1][2][4][5][6]:

$$(I \oplus H)(x, y) = max(I(x+i, y+j)+H(i, j) \mid (i, j) \in D_H)$$



Hình 8. Phép toán giãn ảnh trên ảnh xám với phần tử cấu trúc không phẳng.

Trong đó, D_H là không gian ảnh của phần tử cấu trúc không phẳng H.

d. Phép mở ảnh – Openning

Gọi A là hình ảnh gốc và B là phần tử cấu trúc, (○) là ký hiệu của phép mở ảnh giữa tập hợp A và phần tử cấu trúc B, phép mở ảnh được xác định bởi công thức:

$$A \bigcirc B = (A \ominus B) \oplus B$$

e. Phép đóng ảnh – Closing

Với tập hợp *A* là ảnh gốc, *B* là phần tử cấu trúc. $(\bullet)$ là ký hiệu phép đóng ảnh. Khi đó phép đóng ảnh của tập hợp *A* bởi phần tử cấu trúc *B*, kí hiệu là $(A \bullet B)$, xác định bởi:

$$(A \bullet B) = (A \oplus B) \ominus B$$

Hình 11 dưới đây là một ví dụ minh họa các phép toán xử lý hình học trên ảnh. Trong đó, áp dụng các phép toán xử lý ảnh nhị phân với phần tử cấu trúc có hình dáng ở hình 9; với ảnh xám sử dụng cấu trúc phần tử không phẳng có hình dáng hàng xóm và giá trị như hình10.

0	1	0
1	1	1
0	1	0

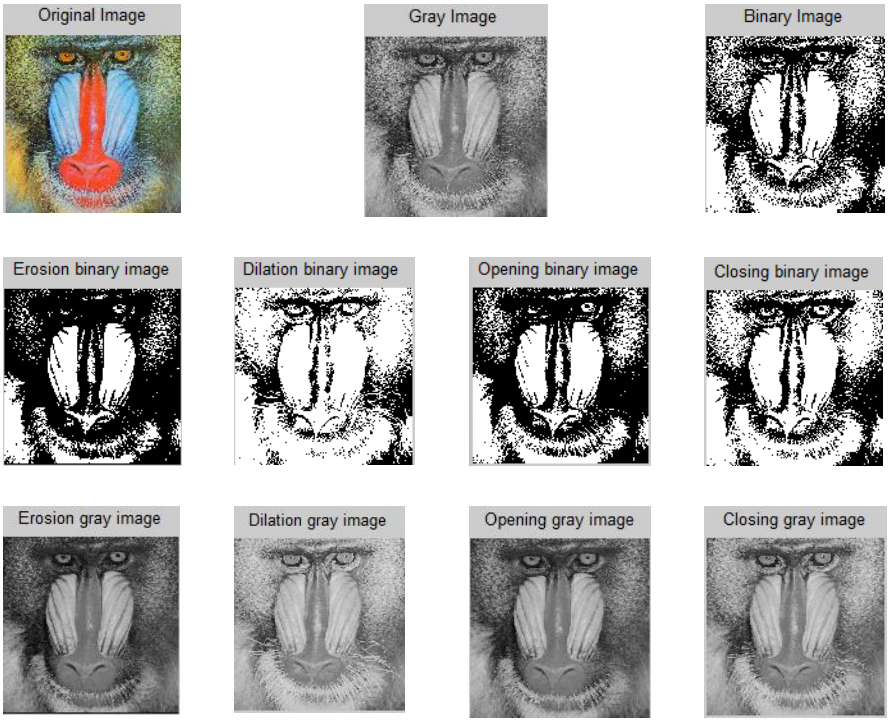
Hình 9. Phần tử cấu trúc phẳng

1	1	1
1	1	1
1	1	1

,

0	1.4996	0
1.4996	2.9992	1.4996
0	1.4996	0

Hình 10 . Hình dáng hàng xóm và ma trận giá trị tương ứng của phần tử cấu trúc không phẳng



Hình 11. Kết quả của một số phép biến đổi trên ảnh nhị phân và ảnh xám

3. Các ứng dụng

3.1. Trích lọc biên ảnh – Boundary extraction

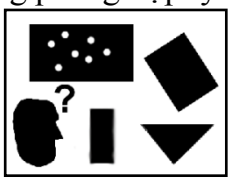
Để trích lọc biên của ảnh nhị phân A, chúng ta thực hiện hai bước sau:

- Đầu tiên, thực hiện phép ăn mòn/phép co ảnh với phần tử cấu trúc B
- Sau đó, thực hiện khử nền của ảnh A bằng cách lấy ảnh gốc A trừ cho ảnh đã thực hiện ở bước 1.

Như vậy, chúng ta có thể trích lọc biên của ảnh A, ký hiệu là A_p với một phần tử cấu trúc B bằng công thức sau [5][8]:

$$A_p = A - (A \ominus B)$$

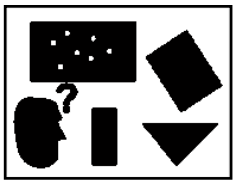
Yếu tố quan trọng trong việc trích lọc biên của ảnh nhị phân là đưa ra được phần tử cấu trúc không phẳng hợp lý.



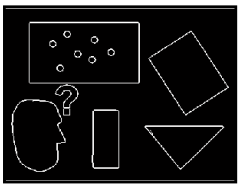
(a)

0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0

(b)



(c)



(d)

Hình 12. Trích lọc biên của đối tượng: (a) ảnh gốc, (b) hình dáng của phần tử cấu trúc, (c) ảnh sau khi thực hiện phép co ảnh với phần tử cấu trúc, (d) ảnh kết quả theo công thức trích lọc biên.

3.2. Tô đầy vùng – Region fill

Ảnh nhị phân thường là kết quả của các phép thực hiện phân ngưỡng hoặc phân đoạn ảnh xám hoặc ảnh màu đầu vào. Những phép biến đổi này rất hiểm khi "hoàn hảo" do những nhân tố bên ngoài mà trong quá trình lấy mẫu ảnh chúng ta không kiểm soát được như cường độ sáng hay độ chói xuất hiện trong ảnh và nó có thể để lại những "lỗ hổng" sau khi thực hiện lấy ngưỡng hoặc phân đoạn ảnh. Sử dụng các phép xử lý hình thái học để lấp đầy các lỗ hổng thực sự rất hiệu quả.

Cho một ảnh nhị phân A gồm có: các điểm ảnh là biên của đối tượng được gán nhãn bằng 1 và các điểm ảnh không phải là biên được gán nhãn bằng 0. Đặt B là cấu trúc phần tử và x_0 là một điểm ảnh bất kì nằm trong lỗ hổng được bao bọc bởi biên của đối tượng (điểm xuất phát). Việc làm đầy đối tượng được thực hiện bằng cách lặp đi lặp lại biểu thức sau đây [2][4][5][8]:

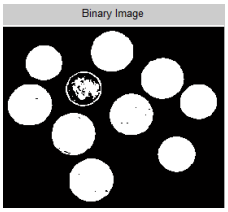
$x_0 = 1$;

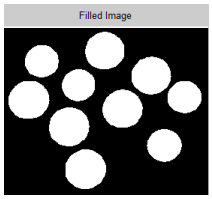
Do

$x_k = (x_{k-1} \oplus B) \cap A$, với k = 1,2,3,....

Until $x_k = x_{k-1}$.

Kết quả vùng đối tượng được lấp đầy cuối cùng chúng ta có được là $H = A \cup x_k$



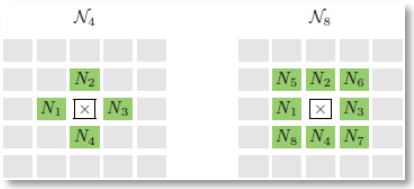


(a) (b)

Hình 13. Kết quả của việc thực hiện lấp đầy vùng ảnh: (a) ảnh nhị phân với các "lỗ hổng", (b) ảnh sau khi được lấp đầy.

3.3. Trích lọc các thành phần liên thông – Extracting connected components

Tập hợp tất cả các điểm ảnh kết nối tới một điểm ảnh nào đó gọi là các thành phần kết nối của điểm ảnh đó [5]. Một nhóm các giá trị điểm ảnh được kết nối với nhau phân biệt với các nhóm điểm ảnh khác thông qua việc gán nhãn khác nhau cho các nhóm. Các nhãn này là các số nguyên, trong đó nền có giá trị bằng 0, các vùng ảnh/nhóm các điểm ảnh liên thông với nhau được gán nhãn từ 1 trở đi.



Hình 14. Hình dáng 4 hàng xóm (N_4) và 8 hàng xóm (N_8)

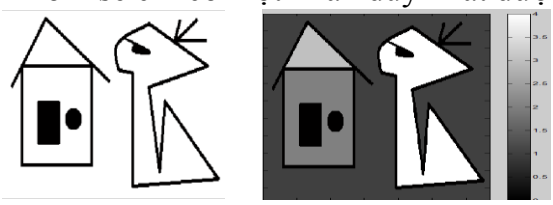
Thuật toán gán nhãn các thành phần liên thông với số hàng xóm là 8 (N_8) thực hiện như sau:

- Quét ảnh đầu vào tuần tự theo hàng từ trên xuống cho đến khi gặp một điểm p bất kì (p=1, nếu là ảnh nhị phần) trong ảnh.
- Kiểm tra các hàng xóm p.

Dựa trên những thông tin đó, việc đánh nhãn sẽ được thực hiện như sau:

- Nếu tất cả 4 hàng xóm của p đều bằng 0, thì gán một nhãn mới cho p, ngược lại
- Nếu chỉ một hàng xóm của p có giá trị bằng 1, gán nhãn cho p, ngược lại
- Nếu có nhiều hơn một hàng xóm của p có giá trị bằng 1, gán một nhãn trong các nhãn cho p và ghi chú thích tương tự.

Sau khi hoàn tất quá trình quét, các cặp nhãn tương ứng đã được sắp xếp vào các nhóm tương ứng và mỗi nhóm sẽ chỉ có một nhãn duy nhất được gán.



(a) (b)

Hình 15. Kết quả của thực hiện trích lọc thành phần liên thông trong ảnh

3.4. Làm mỏng đối tượng trong ảnh – Thinning

Để làm mỏng đối tượng trong ảnh A với phần tử cấu trúc B được xác định như sau [2][5][8]:

$$Thin(A,B) = A \cap (\overline{A \otimes B}) = A \cap (\overline{(A \ominus B_1) \cap (A \ominus B_2)})$$

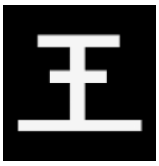
Trong đó B = (B1, B2), B_1 và B_2 không có gì khác nhau, B_2 chính là phần tử B_1 được thay đổi vị trí các giá trị 1 (số vị trí có giá trị bằng 1 không đổi).

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \rightarrow \quad B_1 \begin{matrix} & 1 & \\ 1 & \boxed{1} & 1 \\ & 1 & \end{matrix} \quad B_2 \begin{matrix} 1 & & 1 \\ & \boxed{} & \\ 1 & & 1 \end{matrix}$$

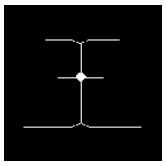
(a)

(b)

Hình 16. Kết quả làm mỏng đối tượng: (a) ảnh gốc, (b) ảnh kết quả làm mỏng.



(c)



(d)

Hình 17. Kết quả làm mỏng đối tượng: (c) ảnh gốc, (d) ảnh kết quả làm mỏng.

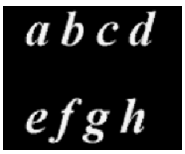
3.5. Làm dày đối tượng trong ảnh – Thickening

Làm dày đối tượng tương tự như phép giãn ảnh, nhưng nó không sát nhập/gộp các đối tượng không kết nối với nhau. Nó được sử dụng để làm to các đối tượng bị lõm và có thể biểu diễn qua công thức sau [2][8]:

$$A \odot B = A \cup (A \circledast B)$$

Quá trình làm dày đối tượng được biểu diễn như sau:

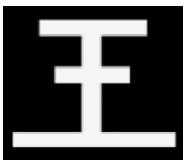
$$A \odot \{B\} = (\cdots((A \odot B^1) \odot B^2) \cdots) \odot B^n$$



(a)

(b)

Hình 18. Kết quả làm dày đối tượng: (a) ảnh gốc, (b) ảnh kết quả làm dày.



(c)

(d)

Hình 19. Kết quả làm dày đối tượng: (a) ảnh gốc, (b) ảnh kết quả làm dày.

3.6. Tìm xương đối tượng trong ảnh – Skeletons

Thuật toán tìm xương của đối tượng tương tự như phép làm mỏng đối tượng, nhưng nó cho chúng ta biết nhiều thông tin của một đối tượng, nó nhấn mạnh một số đặc tính của hình ảnh: độ cong, đường viền tương ứng với tính chất hình học của bộ xương [2].

Nếu A là ảnh nhị phân và B là phần tử cấu trúc (thường có kích thước 3x3). Phép tìm xương của đối tượng trong ảnh A, ký hiệu là S(A) được xác định như sau [1][2][8]:

$$S(A) = \bigcup_{k=0}^{K} S_k(A)$$

Trong đó,

$$S_k(A) = \bigcup_{k=0}^{K} \{(A \ominus kB) - [(A \ominus kB) \circ B]$$

Với *k* là số lần áp dụng phép làm mỏng đối tượng A và *K* làn lần làm mỏng cuối cùng trước khi A suy biến thành tập rỗng.

$$K = \max\{k \mid (A \ominus kB) \neq \varnothing\}$$

(a) (b)

Hình 20. Ảnh (a) là ảnh gốc, ảnh (b) là ảnh kết quả sử dụng phép biến đổi tìm xương của đối tượng trong ảnh gốc.

3.7. Cắt tỉa đối tượng trong ảnh – pruning

Xương của một mẫu đối tượng sau khi thực hiện làm mỏng thường xuất hiện những nhánh nhiễu ngắn trong ảnh, vì vậy xương ảnh cần phải được "làm sạch" trước khi đưa vào khâu xử lý tiếp theo trong mô hình xử lý ảnh tổng quát. Quá trình làm sạch này gọi là cắt tỉa ảnh. các bước cắt tỉa ảnh được thực hiện qua các bước sau [8]:

B1: Thực hiện làm mỏng đối tượng.

$$X_1 = A \otimes \{B\}$$

B2: Khôi phục lại ảnh gốc sau khi đã loại bỏ các điểm cuối.

$$X_2 = \bigcup_{k=1} (X_1 \circledast B^k)$$

B3: Thực hiện giãn các điểm cuối.

$$X_3 = (X_2 \oplus H) \cap A$$

B4: Kết quả của việc cắt tỉa ảnh A được thực hiện thông qua lấy hợp của X_1 với X_3.

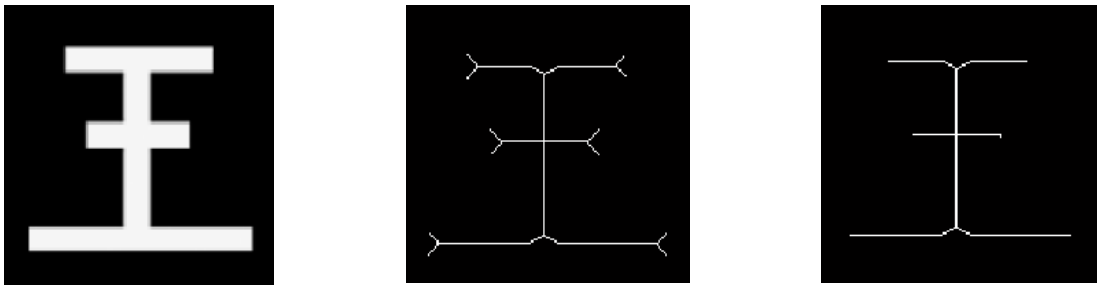
$$X_4 = X_1 \cup X_3$$

Trong đó, {B}= {B_1, B_2, B_3,... B_8} là phần tử cấu trúc có hình dạng như sau (các giá trị mang dấu x trong phần tử cấu trúc là phần tử chúng ta không quan tâm):

$$B^1 = \begin{bmatrix} \times & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ \times & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^2 = \begin{bmatrix} \times & 1 & \times \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \times \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \times \end{bmatrix}, \quad B^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \times & 1 & \times \end{bmatrix}$$

$$B^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B^7 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B^8 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Và H là phần tử cấu trúc có kích thước 3x3 với giá trị bằng 1.



(a) (b) (c)

Hình 21. Kết quả của phép cắt tỉa ảnh: (a) ảnh gốc, (b) ảnh gốc sau khi thực hiện tìm xương ảnh, (c) kết quả sau khi thực hiện cắt tỉa ảnh xương đối tượng

4. Kết luận

Trong lĩnh vực xử lý và phân tích ảnh, một trong những công việc quan trọng là trích lọc được những đặc trưng của đối tượng, mô tả hình dáng và nhận dạng mẫu. Một trong những nhiệm vụ thường đề cập đến khái niệm hình học của đối tượng, ví dụ như kích thước, hình dáng và hướng của đối tượng trong ảnh [2]. Xử lý hình thái học được hình thành từ lý thuyết tập hợp, hình học và hình học topo, ... để phân tích các cấu trúc hình học trong ảnh.

Trong bài báo này, tôi đã giới thiệu những thuật toán cơ sở trong xử lý hình thái học, và đã giới thiệu những thuật toán và ứng dụng phổ biến hiện nay của xử lý hình thái học trên ảnh nhị phân và ảnh xám. Một trong những vấn đề quan trọng trong các thuật toán xử lý hình thái học là tìm và sử dụng cấu trúc phần tử phù hợp để có được kết quả tốt nhất. Hầu hết các thuật toán xử lý hình thái học đều dựa trên những thuật toán cơ bản như phép co ảnh, giãn ảnh, đóng ảnh và mở ảnh.

Hiện nay, xử lý hình thái học đang được nghiên cứu sâu và phát triển, một trong những thành công gần đây có hiệu quả trong xử lý hình thái học là sử dụng logic mờ và lý thuyết tập mở trong các phép toán hình thái học. Logic mờ và lý thuyết mờ cung cấp nhiều giải pháp cho các thuật toán của xử lý hình thái học [6][7].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Pierre Soille (2002), *Morphological image analysis: principles and application 2nd*, Springer.
2. Frank Y. Shih (2010), *Image processing and Pattern recognition: Fundamentals and Techniques*, Wiley.
3. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins (2008), *Digital Image Processing using Matlab*, Gatesmark.
4. Wilhelm Burger, Mark J. Burge (2009), *Principles of igital Image Processing: Fundamental Techniques*, Sprigner.
5. Chris Solomon, Toby Breckon (2011), *Fundamentals of Digital Image Processing:Practical Approach with Examples in Matlab*, Wiley.
6. Yee Yee Htun1, Khaing Khaing Aye (2008), "*Fuzzy Mathematical Morphology approach in Image Processing*", World Academy of Science, Engineering and Technology 18.
7. Satish Pawar and V. K. Banga, "*Morphology Approach in Image Processing*", (ICICS'2012) Jan. 7-8, 2012 Dubai.
8. Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods (2008), "*Digital image processing 2nd*", Prentice Hall.