

MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA PHÉP TOÁN HÌNH THÁI VÀ ỨNG DỤNG TRONG PHÁT HIỆN BIÊN

PHẠM VIỆT BÌNH

Khoa Công nghệ thông tin, ĐH Thái Nguyên

Abstract. The edge detection problem plays an important role in image processing and pattern recognition, because there are many methods extracting features based on edges and contours. In practical, there exist two basic approaches for edge detection including direction and indirection edge detecting. This paper deals with a new edge detection algorithm based on morphological techniques approximating upper and lower limits of image objects.

Tóm tắt. Biên là vấn đề quan trọng trong xử lý ảnh và nhận dạng, vì các đặc điểm trích chọn trong quá trình nhận dạng chủ yếu dựa vào biên. Trong thực tế người ta thường dùng hai phương pháp phát hiện biên cơ bản là: Phát hiện biên trực tiếp và gián tiếp. Báo cáo này đề cập đến một tiếp cận mới trong phát hiện biên dựa vào các phép toán hình thái thông qua các kỹ thuật xấp xỉ trên và xấp xỉ dưới đối tượng.

1. GIỚI THIỆU

Biên là một vấn đề chủ yếu trong phân tích ảnh vì các đặc điểm trích chọn trong quá trình phân tích ảnh chủ yếu dựa vào biên. Về mặt toán học, biên được xem như là nơi có sự thay đổi đột ngột về mức xám, xuất phát từ cơ sở này người ta thường sử dụng hai phương pháp phát hiện biên cơ bản:

- *Phát hiện biên trực tiếp:* Phương pháp này làm nổi biên dựa vào sự biến thiên mức xám của ảnh. Kỹ thuật chủ yếu dùng để phát hiện biên ở đây là kỹ thuật lấy đạo hàm. Nếu lấy đạo hàm bậc nhất của ảnh ta có kỹ thuật Gradient, nếu lấy đạo hàm bậc hai của ảnh ta có kỹ thuật Laplace.
- *Phát hiện biên gián tiếp:* Nếu bằng cách nào đó ta phân được ảnh thành các vùng thì ranh giới giữa các vùng đó gọi là biên. Kỹ thuật dò biên và phân vùng ảnh là hai bài toán đối ngẫu nhau vì dò biên để thực hiện phân lớp đối tượng mà khi đã phân lớp xong nghĩa là đã phân vùng được ảnh và ngược lại, khi đã phân vùng ảnh đã được phân lớp thành các đối tượng, do đó có thể phát hiện được biên.

Phương pháp phát hiện biên trực tiếp tỏ ra khá hiệu quả và ít chịu ảnh hưởng của nhiễu, song nếu sự biến thiên độ sáng không đột ngột, phương pháp tỏ ra kém hiệu quả, phương pháp dò biên trực tiếp tuy khó cài đặt, song lại áp dụng khá tốt trong trường hợp này.

Phần còn lại của bài báo được trình bày như sau: Mục 2 là các phép toán hình thái học và các tính chất. Mục 3 là biên và phương pháp phát hiện biên dựa vào các phép toán hình thái. Mục 4 là thực nghiệm về phát hiện biên nhờ phép toán hình thái cuối cùng là kết luận về phương pháp đề xuất.

2. Các phép toán hình thái và tính chất

2.1. Phép giãn nở và phép co

Hình thái là thuật ngữ chỉ sự nghiên cứu về cấu trúc hay hình học topo của đối tượng trong ảnh. Phần lớn các phép toán của “Hình thái” được định nghĩa từ hai phép toán cơ bản là phép “giãn nở” (Dilation) và phép “co” (Erosion) ([1, 3]).

Các phép toán này được định nghĩa như sau: Giả thiết ta có đối tượng X và phần tử cấu trúc (mẫu) B trong không gian Euclide hai chiều. Kí hiệu B_x là dịch chuyển của B tới vị trí x .

Định nghĩa 1. (Dilation) Phép “giãn nở” của X theo mẫu B là tập hợp của tất cả các điểm x sao cho B_x chạm tới X :

$$X \oplus B = \{x : B_x \cap X \neq \Phi\}.$$

Trong thực tế để có thể cài đặt thuận lợi và chứng minh được các tính chất của các phép toán hình thái chúng tôi đưa ra một dạng hạn chế của phép toán là: $X \oplus B = \bigcup_{x \in X} B_x$.

Định nghĩa 2. (Erosion) Phép “co” của X theo B là tập hợp tất cả các điểm x sao cho B_x nằm trong X :

$$X \ominus B = \{x : B_x \subseteq X\}$$

Ví dụ, ta có tập X như sau

$$X = \begin{pmatrix} 0 & x & 0 & x & x \\ x & 0 & x & x & 0 \\ 0 & x & x & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & x & 0 \\ 0 & x & x & x & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \otimes | x$$

$$X \oplus B = \begin{pmatrix} 0 & x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x & x \\ 0 & x & x & x & 0 & 0 \\ 0 & x & x & x & x & 0 \\ 0 & x & x & x & x & 0 \\ 0 & x & x & x & x & 0 \end{pmatrix}, \quad \text{và} \quad X \ominus B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & x \\ 0 & 0 & x & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & x & 0 \end{pmatrix}$$

Định nghĩa 3. (OPEN) Phép toán mở (OPEN) của X theo cấu trúc B là tập hợp các điểm của ảnh X sau khi đã co và giãn nở liên tiếp theo B .

$$\text{OPEN}(X, B) = (X \ominus B) \oplus B.$$

Ví dụ: Với tập X và B trong ví dụ trên thì

$$\text{OPEN}(X, B) = (X \ominus B) \oplus B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & x & x \\ 0 & 0 & x & x & 0 \\ 0 & x & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & x & x & 0 \end{pmatrix}$$

Định nghĩa 4. (CLOSE) Phép toán đóng (CLOSE) của X theo cấu trúc B là tập hợp các điểm của ảnh X sau khi đã giãn nở và co liên tiếp theo B .

$$\text{CLOSE}(X, B) = (X \oplus B) \ominus B.$$

Theo ví dụ trên ta có:

$$\text{CLOSE}(X, B) = (X \oplus B) \ominus B = \begin{pmatrix} 0 & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x \\ 0 & x & x & 0 & 0 \\ 0 & x & x & x & 0 \\ 0 & x & x & x & 0 \end{pmatrix}$$

2.2. Một số tính chất của phép biến đổi hình thái

Mệnh đề 1. (Tính gia tăng)

$$(i) \quad X \subseteq X' \Rightarrow \begin{cases} X \ominus B \subseteq X' \ominus B & \forall B \\ X \oplus B \subseteq X' \oplus B & \forall B \end{cases}$$

$$(ii) \quad B \subseteq B' \Rightarrow \begin{cases} X \ominus B \supseteq X \ominus B' & \forall X \\ X \oplus B \supseteq X \oplus B' & \forall X \end{cases}$$

Chứng minh:

$$(i) \quad X \oplus B = \bigcup_{x \in X} B_x \subseteq \bigcup_{x \in X'} B_x = X' \oplus B$$

$$X \ominus B = \{x/B_x \subseteq X\} \subseteq \{x/B_x \subseteq X'\} = X' \ominus B$$

$$(ii) \quad X \oplus B = \bigcup_{x \in X} B_x \subseteq \bigcup_{x \in X} B'_x = X \oplus B'$$

Theo định nghĩa:

$$X \ominus B' = \{x/B'_x \subseteq X\} \subseteq \{x/B_x \subseteq X\} = X \ominus B. \quad \blacksquare$$

Mệnh đề 2. (Tính phân phối với phép \cup)

$$(i) \quad X \oplus (B \cup B') = (X \oplus B) \cup (X \oplus B')$$

$$(ii) \quad X \ominus (B \cup B') = (X \ominus B) \cap (X \ominus B')$$

Chứng minh:

$$(i) \quad X \oplus (B \cup B') = (X \oplus B) \cup (X \oplus B'), \text{ ta có: } B \cup B' \supseteq B.$$

Từ đó suy ra $X \oplus (B \cup B') \supseteq (X \oplus B)$ (tính gia tăng).

Tương tự: $X \oplus (B \cup B') \supseteq (X \oplus B')$

$$\Rightarrow X \oplus (B \cup B') \supseteq (X \oplus B) \cup (X \oplus B'),$$

Mặt khác, $\forall y \in X \oplus (B \cup B') \Rightarrow \exists x \in X$ sao cho $y \in (B \cup B')_x$

$$\Rightarrow \begin{cases} y \in B_x \\ y \in yB'_x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y \in X \oplus B \\ y \in X \oplus B' \end{cases}$$

suy ra $y \in (X \oplus B) \cup (X \oplus B')$, do đó

$$X \oplus (B \cup B') \subseteq (X \oplus B) \cup (X \oplus B'). \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta thu được kết quả: $X \oplus (B \cup B') = (X \oplus B) \cup (X \oplus B')$.

(ii) Vì $B \cup B' \supseteq B$ nên $X \ominus (B \cup B') \subseteq (X \ominus B)$ (tính gia tăng).

Trong tự: $X \ominus (B \cup B') \subseteq (X \ominus B')$

$$\Rightarrow X \ominus (B \cup B') \subseteq (X \ominus B) \cap (X \ominus B') \quad (3)$$

Mặt khác, $\forall x \in (X \ominus B) \cap (X \ominus B')$, suy ra

$$\begin{cases} x \in X \ominus B \Rightarrow B_x \subseteq X \\ x \in X \ominus B' \Rightarrow B'_x \subseteq X \end{cases}$$

vì $(B \cup B')_x \subseteq X$ nên $x \in (B \ominus B')$.

Do đó,

$$X \ominus (B \cup B') \supseteq (X \ominus B) \cap (X \ominus B'). \quad (4)$$

Từ (3) và (4) ta có:

$$X \ominus (B \cup B') = (X \ominus B) \cap (X \ominus B')$$

■

Ý nghĩa: Ta có thể phân tích các mẫu phức tạp trở thành các mẫu đơn giản thuận tiện cho việc cài đặt.

Mệnh đề 3. (Tính phân phối với phép \cap)

$$(X \cap Y) \ominus B = (X \ominus B) \cap (Y \ominus B)$$

Chứng minh:

Ta có, $X \cap Y \subseteq X \Rightarrow (X \cap Y) \ominus B \subseteq X \ominus B$

Trong tự: $(X \cap Y) \ominus B \subseteq X \ominus B$

$$\Rightarrow (X \cap Y) \ominus B \subseteq (X \ominus B) \cap (Y \ominus B) \quad (5)$$

Mặt khác, $\forall x \in (X \ominus B) \cap (Y \ominus B)$. Suy ra

$$\begin{cases} x \in X \ominus B \\ x \in Y \ominus B \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} B_x \subseteq X \\ B_x \subseteq Y \end{cases}$$

$$\Rightarrow B_x \subseteq Y$$

$$\Rightarrow x \in (X \cap Y) \ominus B$$

$$\Rightarrow (X \cap Y) \ominus B \supseteq (X \ominus B) \cap (Y \ominus B) \quad (6)$$

Từ (5) và (6) ta có: $(X \cap Y) \ominus B = (X \ominus B) \cap (Y \ominus B)$. ■

Mệnh đề 4. (Tính kết hợp của phép toán cơ, giãn nở)

$$(i) (X \oplus B) \oplus B' = X \oplus (B \oplus B')$$

$$(ii) (X \ominus B) \ominus B' = X \ominus (B \oplus B')$$

Chứng minh:

(i) Ta có,

$$(X \oplus B) \oplus B' = \left(\bigcup_{x \in X} B_x \right) \oplus B' = \bigcup_{x \in X} (B_x \oplus B') = \bigcup_{x \in X} (B \oplus B')_x = X \oplus (B' \oplus B).$$

(ii) Trước hết ta đi chứng minh: $B'_x \subseteq X \ominus B \Leftrightarrow (B \oplus B')_x \subseteq X$.

Thật vậy, do $B'_x \subseteq X \ominus B$ nên $\forall y \in B'_x$ từ đó ta có $y \in X \ominus B$.

Suy ra $B_y \subseteq X$ hay $\bigcup_{y \in B'_x} B_y \subseteq X \Rightarrow (B' \oplus B)_x \subseteq X$.

Mặt khác, $(B' \oplus B)_x \subseteq X \Leftrightarrow \bigcup_{y \in B'_x} B_y \subseteq X$

$\Rightarrow \forall y \in B'_x$ ta có $B_y \subseteq X$

\Rightarrow hay $\forall y \in B'_x$ ta có $y \in X \ominus B$.

Do đó, $B'_x \subseteq X \ominus B$

Ta có,

$$\begin{aligned} (X \ominus B) \ominus B' &= \{x/B_x \subseteq X\} \ominus B' \\ &= \{x/B'_x \subseteq X \ominus B\} \\ &= \{x/(B' \oplus B)_x \subseteq X\} \quad (\text{do chứng minh ở trên}) \\ &= X \ominus (B \oplus B'). \end{aligned}$$

■

Định lý 2.1. (X bị chặn bởi các cận OPEN và CLOSE) *Giả sử, X là một đối tượng ảnh, B là mẫu. Khi đó, X sẽ bị chặn trên bởi tập CLOSE của X theo B và bị chặn dưới bởi tập OPEN của X theo B . Ta có, $(X \oplus B) \ominus B \supseteq X \supseteq (X \ominus B) \oplus B$.*

Chứng minh:

Ta có: $\forall x \in X \Rightarrow B_x \subseteq X \oplus B$ (vì $X \oplus B = \bigcup_{x \in X} B_x$)

$\Rightarrow x \in (X \oplus B) \ominus B$ (theo định nghĩa phép co)

$\Rightarrow (X \oplus B) \ominus B \supseteq X$.

Mặt khác, $\forall y \in (X \ominus B) \oplus B$.

Suy ra $\exists x \in X \ominus B$ sao cho $y \in B_x$ (vì $(X \ominus B) \oplus B = \bigcup_{x \in X \ominus B} B_x$)

$\Rightarrow B_x \subseteq X \Rightarrow y \in X$. Suy ra:

$$X \supseteq (X \ominus B) \oplus B \tag{8}$$

Từ (7) và (8) ta có điều phải chứng minh

Hệ quả 2.1. (Tính bất biến)

(i) $((X \oplus B) \ominus B) \oplus B = X \oplus B$

(ii) $((X \ominus B) \oplus B) \ominus B = X \ominus B$

Chứng minh:

Thật vậy, từ Định lý 2.1 ta có $X \subseteq (X \oplus B) \ominus B$

$$\Rightarrow X \oplus B \subseteq ((X \oplus B) \ominus B) \oplus B \quad (\text{do tính chất gia tăng}) \tag{9}$$

Mặt khác, cũng từ Định lý 2.1, ta có $(X \ominus B) \oplus B \subseteq X \forall X$.

Do đó, thay X bởi $X \oplus B$, ta có,

$$((X \oplus B) \ominus B) \oplus B = X \oplus B \tag{10}$$

Từ (9) và (10) ta có: $((X \oplus B) \ominus B) \oplus B = X \oplus B$

Trong tự ta có, $((X \ominus B) \oplus B) \ominus B = X \ominus B$. ■

3. PHÁT HIỆN BIÊN DỰA VÀO PHÉP TOÁN HÌNH THÁI

3.1. Biên và các kỹ thuật phát hiện biên

Biên (hay đường biên) có thể hiểu đơn giản là các đường bao của các đối tượng trong ảnh. Đường biên được tạo thành từ các điểm biên. Về mặt toán học người ta gọi điểm biên của ảnh là điểm có sự biến đổi đột ngột về mức xám. Trong ảnh nhị phân, một điểm có thể gọi là biên nếu nó là điểm đen và có ít nhất một điểm trắng lân cận.

Xuất phát từ đặc điểm sự biến thiên giữa các điểm ảnh thường là nhỏ trong khi sự biến thiên độ sáng của điểm biên (khi qua biên) lại khá lớn. Hiện nay, để phát hiện biên người ta thường sử dụng một trong hai phương pháp:

Phương pháp phát hiện biên trực tiếp: phương pháp này làm nổi biên dựa vào sự biến thiên về giá trị độ sáng của điểm ảnh. Kỹ thuật chủ yếu dùng phát hiện biên ở đây là kỹ thuật đạo hàm. Các kỹ thuật đạo hàm được sử dụng phổ biến bao gồm kỹ thuật Gradient (đạo hàm bậc nhất) và kỹ thuật Laplace (đạo hàm bậc hai).

Phương pháp phát hiện biên gián tiếp: bằng cách phân ảnh thành các vùng thì đường phân ranh giữa các vùng đó được coi là biên. Việc phân vùng này thường dựa vào kết cấu bề mặt của ảnh.

Kỹ thuật dò biên và phân vùng ảnh là 2 bài toán đối ngẫu nhau. Dò biên là để thực hiện phân lớp đối tượng, một khi đã phân lớp xong có nghĩa là đã phân vùng được ảnh. Và ngược lại, khi đã phân vùng, ảnh được phân lập thành các đối tượng, ta có thể phát hiện được biên. Điều này nói lên tầm quan trọng của việc tìm biên trong phân tích ảnh vì để phân lớp các đối tượng thì hầu hết chúng ta phải tìm biên hoặc phân vùng ảnh, tuy nhiên phân vùng ảnh lại cũng có thể thực hiện được thông qua việc tìm biên.

Ngoài ra, trong [2, 4] cũng đã đề cập đến kỹ thuật phát hiện biên dựa vào phép toán hình thái. Nhưng các kỹ thuật phát hiện biên trực tiếp, gián tiếp và dựa vào hình thái kể trên đều xuất phát từ quan điểm biên của đối tượng là một tập hợp con của đối tượng. Trong thực tế, chúng ta thường hiểu đường biên là khu vực ranh giới bao gồm cả hai phần thuộc đối tượng và không thuộc đối tượng. Ở phần dưới đây chúng tôi đề xuất một kỹ thuật phát hiện biên dựa vào phép toán hình thái theo quan niệm này xuất phát từ cơ sở Định lý 2.1 đã được chứng minh ở trên.

3.2. Phát hiện biên nhờ các phép toán hình thái

Biên (hay đường biên) có thể hiểu đơn giản là các đường bao của các đối tượng trong ảnh chính là ranh giới giữa đối tượng và nền. Việc xem ranh giới là phần được tạo lập bởi các điểm thuộc đối tượng và thuộc nền cho phép ta xác định biên dựa trên các phép toán hình thái.

Theo Định lý 2.1 ta có,

$$(X \oplus B) \ominus B \supseteq X \forall B$$

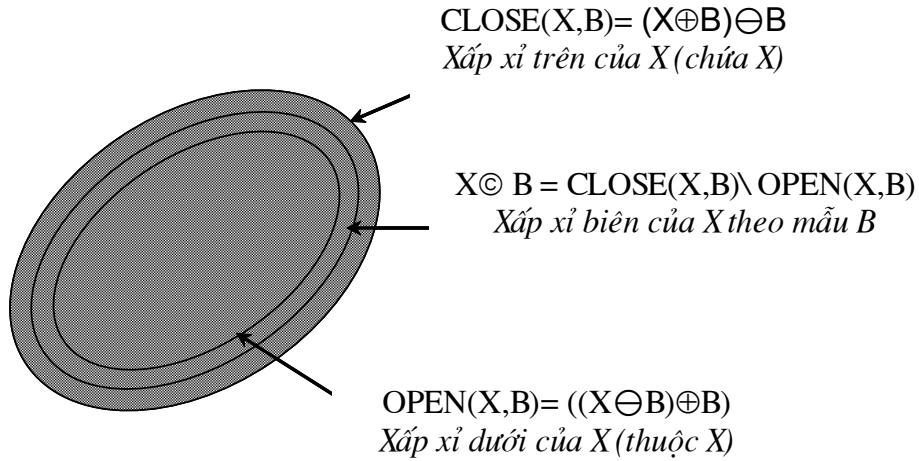
Như vậy, tập $CLOSE(X, B) = (X \oplus B) \ominus B$ có thể được xem như là xấp xỉ trên của tập X theo mẫu B .

Cũng theo Định lý 2.1 ta có,

$$(X \ominus B) \oplus B \subseteq X \forall B$$

Do vậy, tập $OPEN(X, B) = (X \ominus B) \oplus B$ có thể được xem như là xấp xỉ dưới của tập X theo mẫu B .

Từ đó, tập $CLOSE(X, B) \setminus OPEN(X, B)$ có thể được xem như là xấp xỉ biên của tập X theo mẫu B và quá trình xấp xỉ biên của X theo mẫu B kí hiệu là $X \odot B$.



Hình 1. Biểu diễn $CLOSE(X,B) \setminus OPEN(X,B)$ là xấp xỉ biên của ảnh theo mẫu B

Để có được kết quả chính xác, việc xác định biên cần phải được thực hiện một cách đối xứng. Do đó, người ta thường định nghĩa dãy các phần tử cấu trúc $\{B\} = \{B_i, 1 \leq i \leq n\}$, trong đó B_i nhận được từ B_{i-1} bằng cách quay đi một góc nào đó và được sử dụng lần lượt theo trình tự.

$$X \odot \{B\} = \bigcup_{i=1}^n (X \odot B_i)$$

Thuật toán phát hiện biên dựa vào phép toán hình thái

Vào : Ma trận ảnh X và dãy mẫu $B = \{B_i, 1 \leq i \leq n\}$;

Ra: Biên của đối tượng theo mẫu B

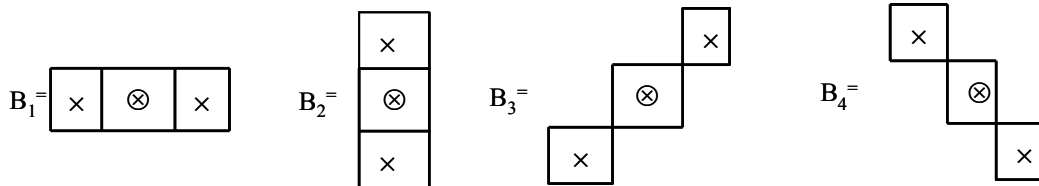
Phương pháp:

Bước 1: Tính $X \odot B_i \forall 1 \leq i \leq n$

Bước 2: Tính $\bigcup_{i=1}^n (X \odot B_i)$

4. THỰC NGHIỆM

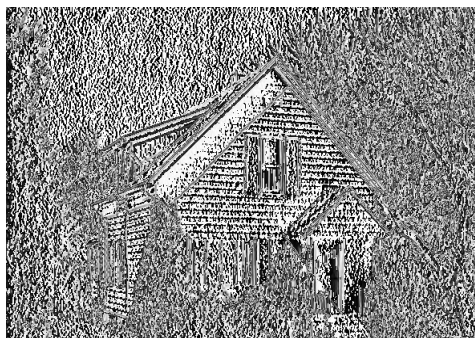
Chúng tôi đã cài đặt thuật toán đề xuất đối với các mẫu tách biên B^i là:



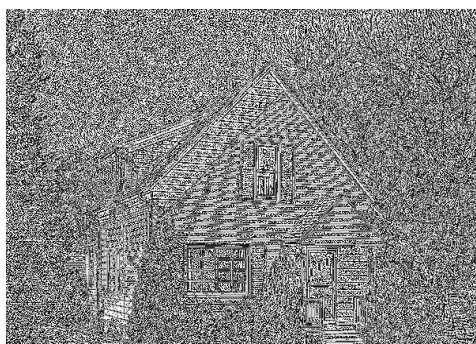
Trong hình 2a dưới đây là ảnh gốc với 256 mức xám, Hình 2b là ảnh biên thu được qua phát hiện biên bằng Sobel, Hình 2c qua Laplace. Hình 2d là ảnh biên kết quả thực hiện bởi thuật toán phát hiện biên bằng thuật toán đề xuất với ngưỡng tách $\theta = 128$.



a) Ảnh gốc đa cấp xám



b) Ảnh biên thu được qua Sobel



c) Ảnh biên thu được qua Laplace



d) Ảnh kết quả

Hình 2. Phát hiện biên bởi thuật toán dựa vào phép toán hình thái

4. KẾT LUẬN

Các phép toán hình thái là vấn đề cơ bản trong toán học đã và đang được ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau như kinh tế, ngôn ngữ, đặc biệt là trong lĩnh vực xử lý ảnh. Các phép toán hình thái là các phép toán liên quan đến cấu trúc hình học của đối tượng và thường được xây dựng trên 2 phép toán cơ bản là phép giãn nở (DILATION), phép co (EROSION), đóng (CLOSE) và mở (OPEN).

Từ việc chính xác hóa lại định nghĩa, chúng tôi đã chứng minh có tính lý thuyết cho các tính chất của các phép toán hình thái. Trên cơ sở đó đề xuất một cách tiếp cận mới trong việc tách biên của đối tượng dựa vào phép toán hình thái dựa trên các tập đóng và mở với tập các mẫu đối xứng khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Francisco Ortiz, Fernando Torres, A new inpainting method for highlights elimination by colour morphology, *Third International Conference on Advances in Pattern Recognition*, ICAPR 2005 (368–376).
- [2] Sameer Singh, Maneesha Singh, Chidanand Apté, Petra Perner (Eds.): Pattern recognition and image analysis, *Third International Conference on Advances in Pattern Recognition*, ICAPR 2005, Bath, UK, August 22-25, 2005.
- [3] Đỗ Năng Toàn, Ngô Quốc Tạo, Kết hợp các phép toán hình thái học và làm mảnh để nâng cao chất lượng ảnh đường nét, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **14** (3) (1998) 23–29.
- [4] F. Guidard, J. M. Morel, *Image Interactive Smoothing and P.D.E'S*, Trimestre IHP, 1998.

Nhận bài ngày 10 - 4 - 2006

Nhận lại sau sửa ngày 7 - 6 - 2006