

Chương 3:

BIÊN VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN BIÊN

3.1. GIỚI THIỆU

Biên là vấn đề quan trọng trong trích chọn đặc điểm nhằm tiến tới hiểu ảnh. Cho đến nay chưa có định nghĩa chính xác về biên, trong mỗi ứng dụng người ta đưa ra các độ đo khác nhau về biên, một trong các độ đo đó là độ đo về sự thay đổi đột ngột về cấp xám. Ví dụ: Đối với ảnh đen trắng, một điểm được gọi là điểm biên nếu nó là điểm đen có ít nhất một điểm trắng bên cạnh. Tập hợp các điểm biên tạo nên biên hay đường bao của đối tượng. 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 dựa vào sự biến đổi cấp xám theo hướng. Cách tiếp cận theo đạo hàm bậc nhất của ảnh dựa trên kỹ thuật Gradient, nếu lấy đạo hàm bậc hai của ảnh dựa trên biến đổi gia 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 phát hiện biên gián tiếp tuy khó cài đặt, song lại áp dụng khá tốt trong trường hợp này.

3.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÁT HIỆN BIÊN TRỰC TIẾP

3.2.1. Kỹ thuật phát hiện biên Gradient

Theo định nghĩa, gradient là một vectơ có các thành phần biểu thị tốc độ thay đổi giá trị của điểm ảnh, ta có:

$$\begin{cases} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = f_x \approx \frac{f(x + dx, y) - f(x, y)}{dx} \\ \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = f_y \approx \frac{f(x, y + dy) - f(x, y)}{dy} \end{cases}$$

Trong đó, dx, dy là khoảng cách (tính bằng số điểm) theo hướng x và y.

* *Nhận xét:*

Tuy ta nói là lấy đạo hàm nhưng thực chất chỉ là mô phỏng và xấp xỉ đạo hàm bằng các kỹ thuật nhân chập (cuộn theo mẫu) vì ảnh số là tín hiệu rời rạc nên đạo hàm không tồn tại.

Ví dụ: Với dx = dy = 1, ta có:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x} \approx f(x + 1, y) - f(x, y) \\ \frac{\partial f}{\partial y} \approx f(x, y + 1) - f(x, y) \end{cases}$$

Do đó, mặt nạ nhân chập theo hướng x là A = $\begin{pmatrix} -1 & 1 \end{pmatrix}$

và hướng y là B = $\begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix}$

Chẳng hạn:

$$I = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 3 \\ 0 & 3 & 3 & 3 \\ 0 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

Ta có,

$$I \otimes A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & * \\ 3 & 0 & 0 & * \\ 3 & 0 & 0 & * \\ * & * & * & * \end{pmatrix}; I \otimes B = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 3 & * \\ 0 & 0 & 0 & * \\ 0 & 0 & 0 & * \\ * & * & * & * \end{pmatrix}$$

$$I \otimes A + I \otimes B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & * \\ 3 & 0 & 0 & * \\ 3 & 0 & 0 & * \\ * & * & * & * \end{pmatrix}$$

3.2.1.1. Kỹ thuật Prewitt

Kỹ thuật sử dụng 2 mặt nạ nhập chập xấp xỉ đạo hàm theo 2 hướng x và y là:

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$
$$H_y = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Các bước tính toán của kỹ thuật Prewitt

+ **Bước 1:** Tính $I \otimes H_x$ và $I \otimes H_y$

+ **Bước 2:** Tính $I \otimes H_x + I \otimes H_y$

Ví dụ:

$$I = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$I \otimes H_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -10 & -10 & * & * \\ 0 & 0 & -15 & -15 & * & * \\ 0 & 0 & -10 & -10 & * & * \\ 0 & 0 & -5 & -5 & * & * \\ * & * & * & * & * & * \\ * & * & * & * & * & * \end{pmatrix}$$
$$I \otimes H_y = \begin{pmatrix} 15 & 15 & 10 & 5 & * & * \\ 0 & 0 & 0 & 0 & * & * \\ -15 & -15 & -10 & -5 & * & * \\ -15 & -15 & -10 & -5 & * & * \\ * & * & * & * & * & * \\ * & * & * & * & * & * \end{pmatrix}$$

$$I \otimes H_x + I \otimes H_y = \begin{pmatrix} 15 & 15 & 0 & -5 & * & * \\ 0 & 0 & -15 & -15 & * & * \\ -15 & -15 & -20 & -15 & * & * \\ -15 & -15 & -15 & -10 & * & * \\ * & * & * & * & * & * \\ * & * & * & * & * & * \end{pmatrix}$$

3.2.1.2. Kỹ thuật Sobel

Tương tự như kỹ thuật Prewitt kỹ thuật Sobel sử dụng 2 mặt nạ nhân chập theo 2 hướng x, y là:

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H_y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Các bước tính toán tương tự Prewitt

+ **Bước 1:** Tính $I \otimes H_x$ và $I \otimes H_y$

+ **Bước 2:** Tính $I \otimes H_x + I \otimes H_y$

3.2.1.3. Kỹ thuật la bàn

Kỹ thuật sử dụng 8 mặt nạ nhân chập theo 8 hướng $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$

$$H_1 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \quad H_2 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \quad H_4 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix}$$

$$H_5 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix} \quad H_6 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

$$H_7 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{pmatrix} \quad H_8 = \begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

Các bước tính toán thuật toán La bàn

+ **Bước 1:** Tính $I \otimes H_i$; $i = 1, 8$

+ **Bước 2:** $\sum_{i=1}^8 I \otimes H_i$

3.2.2. Kỹ thuật phát hiện biên Laplace

Các phương pháp đánh giá gradient ở trên làm việc khá tốt khi mà độ sáng thay đổi rõ nét. Khi mức xám thay đổi chậm, miền chuyển tiếp trải rộng, phương pháp cho hiệu quả hơn đó là phương pháp sử dụng đạo hàm bậc hai Laplace.

Toán tử Laplace được định nghĩa như sau:

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

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right) \approx \frac{\partial}{\partial x} (f(x+1, y) - f(x, y))$$

$$\begin{aligned} &\approx [f(x+1, y) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-1, y)] \\ &\approx f(x+1, y) - 2f(x, y) + f(x-1, y) \end{aligned}$$

Tương tự,

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right) \approx \frac{\partial}{\partial y} (f(x, y+1) - f(x, y))$$

$$\begin{aligned} &\approx [f(x, y+1) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x, y-1)] \\ &\approx f(x, y+1) - 2f(x, y) + f(x, y-1) \end{aligned}$$

Vậy: $\nabla^2 f = f(x+1, y) + f(x, y+1) - 4f(x, y) + f(x-1, y) + f(x, y-1)$

Dẫn tới:

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Trong thực tế, người ta thường dùng nhiều kiểu mặt nạ khác nhau để xấp xỉ rời rạc đạo hàm bậc hai Laplace. Dưới đây là ba kiểu mặt nạ thường dùng:

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad H_2 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad H_3 = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{VD:} \quad I = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3.3. PHÁT HIỆN BIÊN GIÁN TIẾP

3.3.1 Một số khái niệm cơ bản

*Ảnh và điểm ảnh

Ảnh số là một mảng số thực 2 chiều (I_{ij}) có kích thước ($M \times N$), trong đó mỗi phần tử I_{ij} ($i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N$) biểu thị mức xám của ảnh tại (i, j) tương ứng.

Ảnh được gọi là ảnh nhị phân nếu các giá trị I_{ij} chỉ nhận giá trị 0 hoặc 1.

Ở đây ta chỉ xét tới ảnh nhị phân vì ảnh bất kỳ có thể đưa về dạng nhị phân bằng kỹ thuật phân ngưỡng. Ta ký hiệu $\mathfrak{S}$ là tập các điểm vùng (điểm đen) và $\bar{\mathfrak{S}}$ là tập các điểm nền (điểm trắng).

*Các điểm 4 và 8-láng giềng

Giả sử (i, j) là một điểm ảnh, các điểm 4-láng giềng là các điểm kề trên, dưới, trái, phải của (i, j) :

$$N_4(i, j) = \{(i', j') : |i - i'| + |j - j'| = 1\},$$

và những điểm 8-láng giềng gồm:

$$N_8(i, j) = \{(i', j') : \max(|i - i'|, |j - j'|) = 1\}.$$

Trong Hình 1.2 biểu diễn ma trận 8 láng giềng kề nhau, các điểm P_0, P_2, P_4, P_6 là các 4-láng giềng của điểm P , còn các điểm $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$ là các 8-láng giềng của P .

P_3	P_2	P_1
P_4	P	P_0
P_5	P_6	P_7

Hình 1.3. Ma trận 8-láng giềng kề nhau

*Đối tượng ảnh

Hai điểm $P_s, P_e \in E$, $E \subseteq \mathfrak{T}$ hoặc $\overline{\mathfrak{T}}$ được gọi là 8-liên thông (hoặc 4-liên thông) trong E nếu tồn tại tập các điểm được gọi là **đường đi** $(i_0, j_0) \dots (i_n, j_n)$ sao cho $(i_0, j_0) = P_s$, $(i_n, j_n) = P_e$, $(i_r, j_r) \in E$ và (i_r, j_r) là 8-láng giềng (hoặc 4-láng giềng tương ứng) của (i_{r-1}, j_{r-1}) với $r = 1, 2, \dots, n$

Nhận xét: Quan hệ ***k-liên thông trong E*** ($k=4,8$) là một quan hệ phản xạ, đối xứng và bắc cầu. Bởi vậy đó là một quan hệ tương đương. Mỗi lớp tương đương được gọi là một thành phần k -liên thông của ảnh. Về sau ta sẽ gọi mỗi thành phần k -liên thông của ảnh là một đối tượng ảnh.

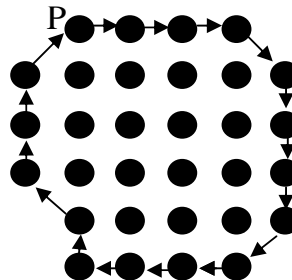
3.3.2. Chu tuyến của một đối tượng ảnh

Định nghĩa 3.1: [Chu tuyến]

Chu tuyến của một đối tượng ảnh là dãy các điểm của đối tượng ảnh $P_1, \dots, P_n$ sao cho P_i và P_{i+1} là các 8-láng giềng của nhau ($i=1, \dots, n-1$) và P_1 là 8-láng giềng của P_n , $\forall i \exists Q$ không thuộc đối tượng ảnh và Q là 4-láng giềng của P_i (hay nói cách khác $\forall i$ thì P_i là biên 4). Kí hiệu $\langle P_1 P_2 \dots P_n \rangle$.

Tổng các khoảng cách giữa hai điểm kế tiếp của chu tuyến là độ dài của chu tuyến và kí hiệu $Len(C)$ và hướng $P_i P_{i+1}$ là hướng chắn nếu P_i và P_{i+1} là các 4 – láng giềng (trường hợp còn lại thì $P_i P_{i+1}$ là hướng lẻ).

Hình 3.1 dưới đây biểu diễn chu tuyến của ảnh, trong đó, P là điểm khởi đầu chu tuyến.



Hình 3.1. Ví dụ về chu tuyến của đối tượng ảnh

Định nghĩa 3.2 [Chu tuyến đối ngẫu]

Hai chu tuyến $C = \langle P_1 P_2 \dots P_n \rangle$ và $C^\perp = \langle Q_1 Q_2 \dots Q_m \rangle$ được gọi là đối ngẫu của nhau nếu và chỉ nếu $\forall i \exists j$ sao cho:

- (i) P_i và Q_j là 4-láng giềng của nhau.
- (ii) Các điểm P_i là vùng thì Q_j là nền và ngược lại.

Định nghĩa 3.3 [Chu tuyến ngoài]

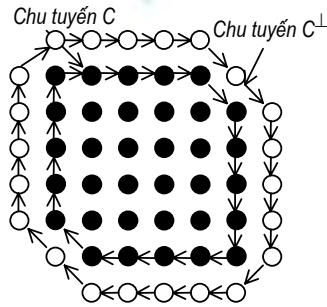
Chu tuyến C được gọi là chu tuyến ngoài (Hình 3.2a) nếu và chỉ nếu

- (i) Chu tuyến đối ngẫu $C^\perp$ là chu tuyến của các điểm nền
- (ii) Độ dài của C nhỏ hơn độ dài $C^\perp$

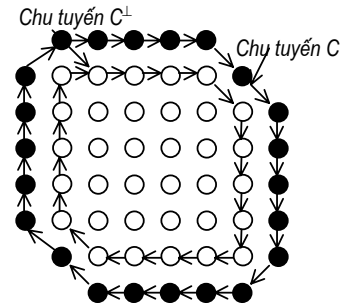
Định nghĩa 3.4 [Chu tuyến trong]

Chu tuyến C được gọi là chu tuyến trong (Hình 3.2b) nếu và chỉ nếu:

- (i) Chu tuyến đối ngẫu $C^\perp$ là chu tuyến của các điểm nền
- (ii) Độ dài của C lớn hơn độ dài $C^\perp$



a) Chu tuyến ngoài



b) Chu tuyến trong

Hình 3.2. Chu tuyến trong, chu tuyến ngoài

Định nghĩa 3.5 [Điểm trong và điểm ngoài chu tuyến]

Giả sử $C = \langle P_1 P_2 \dots P_n \rangle$ là chu tuyến của một đối tượng ảnh và P là một điểm ảnh. Khi đó:

- (i) Nếu nửa đường thẳng xuất phát từ P sẽ cắt chu tuyến C tại số lẻ lần, thì P được gọi là điểm trong chu tuyến C và kí hiệu $in(P, C)$
- (ii) Nếu $P \notin C$ và P không phải là điểm trong của C , thì P được gọi là điểm ngoài chu tuyến C và kí hiệu $out(P, C)$.

Bổ đề 3.1 [Chu tuyến đối ngẫu]

Giả sử $E \subseteq \mathfrak{I}$ là một đối tượng ảnh và $C = \langle P_1 P_2 \dots P_n \rangle$ là chu tuyến của E , $C^\perp = \langle Q_1 Q_2 \dots Q_m \rangle$ là chu tuyến đối ngẫu tương ứng. Khi đó:

- (i) Nếu C là chu tuyến trong thì $in(Q_i, C) \forall i (i=1, \dots, m)$

(ii) Nếu C là chu tuyến ngoài thì $\text{in}(P_i, C^\perp) \forall i (i=1, \dots, n)$

Bổ đề 3.2 [Phần trong/ngoài của chu tuyến]

Giả sử $E \subseteq \mathfrak{S}$ là một đối tượng ảnh và C là chu tuyến của E . Khi đó:

- (i) Nếu C là chu tuyến ngoài thì $\forall x \in E$ sao cho $x \notin C$, ta có $\text{in}(x, C)$
- (ii) Nếu C là chu tuyến trong thì $\forall x \in E$ sao cho $x \notin C$, ta có $\text{out}(x, C)$

Định lý 3.1 [Tính duy nhất của chu tuyến ngoài]

Giả sử $E \subseteq \mathfrak{S}$ là một đối tượng ảnh và C_E là chu tuyến ngoài của E . Khi đó C_E là duy nhất.

3.3.3. Thuật toán dò biên tổng quát

Biểu diễn đối tượng ảnh theo chu tuyến thường dựa trên các kỹ thuật dò biên. Có hai kỹ thuật dò biên cơ bản. Kỹ thuật thứ nhất xét ảnh biên thu được từ ảnh vùng sau một lần duyệt như một đồ thị, sau đó áp dụng các thuật toán duyệt cạnh đồ thị. Kỹ thuật thứ hai dựa trên ảnh vùng, kết hợp đồng thời quá trình dò biên và tách biên. Ở đây ta quan tâm cách tiếp cận thứ hai.

Trước hết, giả sử ảnh được xét chỉ bao gồm một vùng ảnh 8-liên thông $\mathfrak{S}$, được bao bọc bởi một vành đai các điểm nền. Dễ thấy $\mathfrak{S}$ là một vùng 4-liên thông chỉ là một trường riêng của trường hợp trên.

Về cơ bản, các thuật toán dò biên trên một vùng đều bao gồm các bước sau:

- Xác định điểm biên xuất phát
- Dự báo và xác định điểm biên tiếp theo
- Lặp bước 2 cho đến khi gặp điểm xuất phát

Do xuất phát từ những tiêu chuẩn và định nghĩa khác nhau về điểm biên, và quan hệ liên thông, các thuật toán dò biên cho ta các đường biên mang các sắc thái rất khác nhau.

Kết quả tác động của toán tử dò biên lên một điểm biên r_i là điểm biên r_{i+1} (8-láng giềng của r_i). Thông thường các toán tử này được xây dựng như một hàm đại số Boolean trên các 8-láng giềng của r_i . Mỗi cách xây dựng các toán tử đều phụ thuộc vào định nghĩa quan hệ liên thông và điểm biên. Do đó sẽ gây khó khăn cho việc khảo sát các tính chất của đường biên. Ngoài ra, vì mỗi bước dò biên đều phải kiểm tra tất cả các 8-láng giềng của mỗi điểm nên thuật toán thường kém hiệu quả. Để khắc phục các hạn chế trên, thay vì sử dụng một điểm biên ta sử dụng cặp điểm biên (một thuộc $\mathfrak{S}$, một thuộc $\overline{\mathfrak{S}}$), các cặp điểm này tạo nên tập nền vùng, kí hiệu là NV và phân tích toán tử dò biên thành 2 bước:

- Xác định cặp điểm nền vùng tiếp theo.
- Lựa chọn điểm biên

Trong đó bước thứ nhất thực hiện chức năng của một ánh xạ trên tập NV lên NV và bước thứ hai thực hiện chức năng chọn điểm biên.

Thuật toán dò biên tổng quát

Bước 1: Xác định cặp nền-vùng xuất phát

Bước 2: Xác định cặp nền-vùng tiếp theo

Bước 3: Lựa chọn điểm biên vùng

Bước 4: Nếu gặp lại cặp xuất phát thì dừng, nếu không quay lại bước 2.

Việc xác định cặp nền-vùng xuất phát được thực hiện bằng cách duyệt ảnh lần lượt từ trên xuống dưới và từ trái qua phải rồi kiểm tra điều kiện lựa chọn cặp nền-vùng. Do việc chọn điểm biên chỉ mang tính chất quy ước, nên ta gọi ánh xạ xác định cặp nền-vùng tiếp theo là toán tử dò biên.

Định nghĩa 3.6 [Toán tử dò biên]

Giả sử T là một ánh xạ như sau: $T: NV \rightarrow NV$

$$(b,r) \mapsto (b',r')$$

Gọi T là một toán tử dò biên cơ sở nếu nó thỏa mãn điều kiện: b',r' là các 8-láng giềng của r .

Giả sử $(b,r) \in NV$; gọi $K(b,r)$ là hàm chọn điểm biên. Biên của một dạng $\mathfrak{S}$ có thể định nghĩa theo một trong ba cách:

- Tập những điểm thuộc $\mathfrak{S}$ có mặt trên NV, tức là $K(b,r)=r$
- Tập những điểm thuộc $\overline{\mathfrak{S}}$ có trên NV, tức là $K(b,r)=b$
- Tập những điểm ảo nằm giữa cặp nền-vùng, tức là $K(b,r)$ là những điểm nằm giữa hai điểm b và r .

Cách định nghĩa thứ ba tương ứng mỗi cặp nền-vùng với một điểm biên. Còn đối với cách định nghĩa thứ nhất và thứ hai một số cặp nền-vùng có thể có chung một điểm biên. Bởi vậy, quá trình chọn điểm biên được thực hiện như sau:

$i := 1; (b_i, r_i) := (b_o, r_o);$

While $K(b_i, r_i) \neq K(b_n, r_n)$ **and** $i \leq 8$ **do**

Begin $(b_{i+1}, r_{i+1}) = T(b_i, r_i); i := i+1;$ **End;**

Điều kiện dừng

Cặp nền-vùng thứ n trùng với cặp nền vùng xuất phát: $(b_n, r_n) = (b_o, r_o)$