

MỘT VÀI KHÍA CẠNH LÝ THUYẾT CỦA CÁC THUẬT TOÁN DÒ BIÊN

NGUYỄN NGỌC KỶ

Viện Tin học, Viện KHVN

1. MỞ ĐẦU

Trong xử lý ảnh nhị phân người ta thường biến ảnh về dạng biểu diễn cô đọng hơn - chỉ bao hàm những điểm nằm trên ranh giới giữa ảnh và nền - được gọi là ảnh biên. Ảnh biên chứa đựng nhiều thông tin đặc trưng nhất về cấu trúc của ảnh ban đầu và được xử lý như một ảnh đường nét. Thông thường ảnh được tiếp tục xử lý theo các bước sau:

- Xấp xỉ tuyến tính từng phần các đường nét trên ảnh (đa giác hóa, hay còn gọi là véc tơ hóa).

- Định vị các điểm đặc trưng trên ảnh như: điểm xuất phát hay kết thúc, điểm góc, điểm giao nhau ... và biểu diễn ảnh dưới dạng một văn phạm cấu trúc hay đồ thị quan hệ.

Một trong những khâu xử lý cơ bản của các bước trên là dò biên, tức là sắp thứ tự các điểm biên trên toàn ảnh và vẫn giữ được quan hệ láng giềng giữa chúng. Trong bài này chúng tôi cố gắng đưa ra một số tiêu chuẩn của một thuật toán dò biên; tìm điều kiện cần và đủ để một thuật toán dò biên thỏa mãn tiêu chuẩn đưa ra. Trên cơ sở đó, một số thuật toán dò biên phổ biến hiện có đã được kiểm tra. Đồng thời chúng tôi cũng đề xuất một thuật toán dò biên mới.

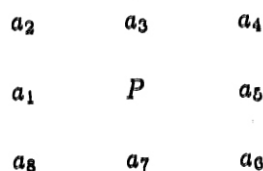
2. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1. Ảnh số nhị phân

Định nghĩa 1: Một ảnh số được gọi là nhị phân nếu các giá trị a_{ij} của nó chỉ nhận giá trị 0 hoặc 1. Một ảnh số bất kỳ đều có thể đưa về dạng nhị phân bằng phép cắt ngưỡng. Ta ký hiệu FF là tập các điểm 1 và $\text{not}(FF)$ là tập các điểm 0 của ảnh.

2. Tính liên thông của ảnh số nhị phân

Các điểm láng giềng của điểm $P(i,j) \in FF$ là 8 điểm bao quanh nó như trên hình 1: a_1, a_2, \dots, a_8 .



Hình 1

Trong đó $a_i, i = 1, 2, \dots, 8$ gọi là 8-láng giềng và $a_i, i = 1, 3, 5, 7$ gọi là 4-láng giềng của điểm P .

Để tránh một số nghịch lý có thể xảy ra, người ta phân biệt hai định nghĩa láng giềng khác nhau trên FF và trên $\text{not}(FF)$.

Định nghĩa 2: Hai điểm thuộc tập con E của FF [hay $\text{not}(FF)$] được gọi là liên thông trong E nếu tồn tại tập các điểm thuộc đường đi từ (i_0, j_0) đến (i_n, j_n) sao cho $(i_0, j_0) = P_1, (i_n, j_n) = P_2, (i_r, j_r) \in E$ và (i_r, j_r) là 8-láng giềng (hay 4-láng giềng của (i_{r-1}, j_{r-1})) với $r = 1, 2, \dots, n$.

Quan hệ "liên thông trong E " là một quan hệ phản xạ, đối xứng và bắc cầu bởi vậy là một quan hệ tương đương. Các lớp tương đương của nó làm thành các thành phần liên thông của ảnh.

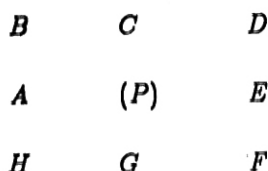
Quan hệ láng giềng của một điểm

a) Chúng ta gọi "láng giềng thực" bậc $2m - 1$ của điểm P có tọa độ (k, l) là tập các điểm được định nghĩa như sau:

$$V_{2m-1}(P) = \{a(-a_{ij})/d(P, a) \leq m - 1, \forall m = 1, 2, \dots\}$$

$V_{2m-1}(P)$ được biểu diễn bởi hình vuông có cạnh $2m - 1$ nhận P làm tâm.

Thí dụ: $V_3(P)$ của P (hình 2):



Hình 2: $V_3(P)$ với A, \dots, H nhận giá trị 0 hoặc 1

Định nghĩa 3: (cặp điểm nền-điểm vùng)

Giả sử b là điểm nền, r là điểm vùng. Ta gọi cặp (b, r) là một cặp điểm nền-điểm vùng kề nhau nếu b là 4-láng giềng của r . Ta ký hiệu tập tất cả các cặp (b, r) là $NV = Nb \times Vb$.

Biên của một dạng FF có thể chọn theo 3 cách:

- Tập những điểm thuộc FF có ít nhất một 4-láng giềng thuộc $\text{not}(FF)$ - tức là tập Vb .
- Tập những điểm thuộc $\text{not}(FF)$ có ít nhất một 4-láng giềng thuộc FF - tức là tập Nb .
- Tập những điểm ảo nằm giữa cặp nền-vùng.

Trong bài này chúng tôi chọn theo cách thứ nhất. Tuy nhiên, hành vi của thuật toán không phụ thuộc vào cách chọn.

3. TIÊU CHUẨN VÀ ĐIỀU KIỆN

Do định nghĩa khác nhau về điểm biên, quan hệ liên thông, nên các thuật toán dò biên hiện tại mang các sắc thái khác nhau (hình 3), song khung dồ chung của chúng đều dựa trên các thủ tục sau:

- Xác định điểm xuất phát.
- Dự báo và xác định điểm tiếp theo.
- Xác định điều kiện dừng.

Trong đó thủ tục thứ hai thực hiện chức năng của một toán tử, được gọi là toán tử dò biên. Kết quả tác động của toán tử dò biên lên một điểm biên r_n là điểm biên r_{n+1} , 8-láng giềng của r_n . Ở đây ta sẽ mở rộng khái niệm toán tử dò biên sang tập tích $NV = Nb \times Vb$ là tập con của $\text{not}(FF) \times FF$.

Định nghĩa 4: Ta gọi toán tử dò biên T là một ánh xạ 1-1 thỏa mãn điều kiện:

$$T : NV \rightarrow NV : (b_{n+1}, r_{n+1}) = T(b_n, r_n)$$

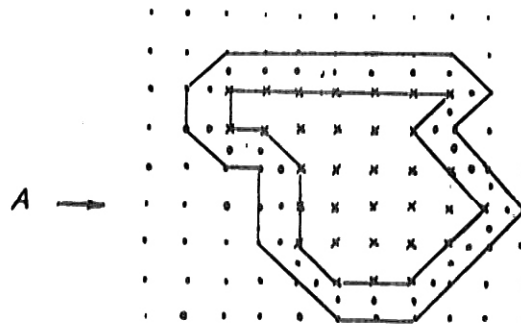
Ở đây: $r_{n+1} \in V_3(r_n)$.

Toán tử dò biên T được gọi là chỉnh nếu nó có thêm các tính chất sau:

- b_{n+1} và b_n là liên thông trên $V_3(r_n)$.
- T là một song ánh.

Thí dụ 1: Matson [2] đã đề xuất một thuật toán dò biên. Nội dung thuật toán này có thể tóm tắt như sau:

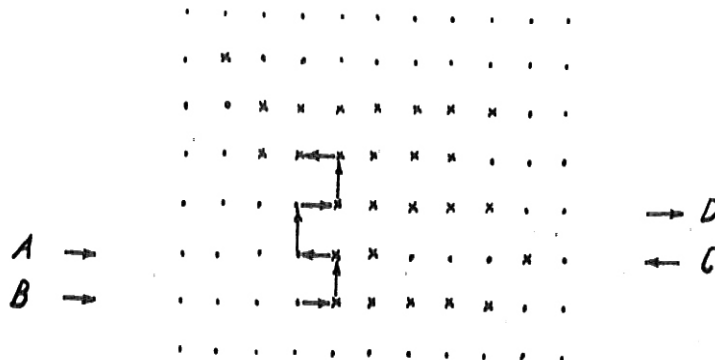
- Chọn điểm xuất phát: duyệt lần lượt các dòng ảnh cho tới khi gặp điểm biên đầu tiên.
- Nếu điểm hiện tại thuộc F thì điểm tiếp theo sẽ là điểm bên trái, nếu không sẽ là điểm bên phải. Điểm biên tiếp theo sẽ là điểm ở đây có sự thay đổi giá trị.
- Dừng khi gặp lại điểm 8-láng giềng của điểm xuất phát.



Hình 3. Các loại điểm biên khác nhau

Ta xây dựng toán tử dò biên T_1 của thuật toán trên như sau:

Tại mỗi thời điểm chuyển đổi giá trị từ F sang $\text{not}(FF)$ hay ngược lại ta ghi nhận một cặp điểm nên–điểm biên. Bằng cách đó ta thu được một toán tử dò biên như là một ánh xạ từ NV đến NV . Chú ý rằng kết quả toán tử phụ thuộc vào hướng chuyển đổi giá trị.



Hình 4. Thể hiện hoạt động của thuật toán Matson

Thí dụ 2: Giả sử sau khi duyệt ảnh từng dòng ta gặp cặp giá trị 0-1 đầu tiên (cặp điểm nền-điểm biên xuất phát). Theo thuật toán đi qua ngã tư, cặp điểm nền-điểm biên tiếp theo được xác định trên cơ sở cặp hiện tại như sau (toán tử T_2):

x	y
b_n	r_n

x	y	b_{n+1}	r_{n+1}	hướng
-	0	y	r_n	rẽ phải
0	1	x	y	đi thẳng
1	1	b_n	x	rẽ trái

Thí dụ 3: Trên cơ sở cải tiến các toán tử ở thí dụ 1 và 2 ta đề xuất một toán tử dò biên mới như sau (T_3):

x	y	b_{n+1}	r_{n+1}	hướng
0	0	y	r_n	rẽ phải
0	1	x	y	đi thẳng
1	1	b_n	x	rẽ trái
1	1	b_n	x	rẽ trái

Khác với toán tử T_1 , quá trình dò ở đây không rẽ trái một góc 90 độ khi gặp điểm vùng mà chỉ 45 độ.

Thí dụ 4: Ta xét P ở hình 2, P là điểm biên nếu ít nhất có một giá trị trong số A, C, E, G bằng không. Mỗi giá trị bằng không này kết hợp với điểm biên làm thành một cặp điểm nền-điểm biên. Nếu duyệt các điểm 8-láng giềng của P theo chiều kim đồng hồ ta sẽ được các loạt giá trị 0. Giá trị 0, 4-láng giềng xuất hiện đầu tiên của loạt làm thành với P một cặp điểm nền-điểm biên trái nhất (của mỗi loạt). Ta ký hiệu NB là tập tất cả các cặp điểm nền-điểm biên trái nhất; NB là tập con của tập tích NV .

Ta có thể xây dựng T_4 là toán tử dò biên, ánh xạ NB lên NB như sau:

Giả sử $(b_0, r_0) \in NB$; $T_4(b_0, r_0) = (b_1, r_1)$; Ở đây

- r_1 là điểm $\in FF$ xuất hiện đầu tiên, khi ta duyệt các 8-láng giềng của r_0 theo chiều kim đồng hồ, kể từ vị trí b_0 ; sau đó trở về b_0 và tới r_0 .
- b_1 là điểm $\in \text{not}(FF)$ nằm ngay trước r_1 .

Hình 5 minh họa toán tử dò biên nêu trên:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & 0 & & 0 & & 0 & \longleftarrow b_i \\
 & & & & & & & \\
 b_0 & \longrightarrow & 0 & & r_0 & & 1 & \longleftarrow r_i \\
 & & & & & & & \\
 & & 1 & & 1 & & 1 &
 \end{array}$$

Hình 5. Toán tử dò biên $T4$

Phù hợp với cách chọn điểm biên là điểm vùng r_1 , toán tử $T4$ có thể được xây dựng từ toán tử $T3$ như sau:

$T4 : (b_{j+1}, r_{j+1}) = T4(b_j, r_j)$; tương đương với

$$i := j - 1$$

Repeat

$$i := i + 1$$

$$(b_{i+1}, r_{i+1}) = T3(b_i, r_i)$$

Until $(r_{i+1} \neq r_i)$

$$(b_{j+1}, r_{j+1}) := (b_{i+1}, r_{i+1})$$

Định nghĩa 5: Giả sử R là một vùng 8-liên thông đơn giản; N là lực lượng của NV . Ta gọi thuật toán dò biên TT là chính nếu khi áp dụng liên tiếp N lần toán tử T nó thỏa mãn đồng thời các điều sau:

- $T(N)(b_0, r_0) = (b_0, r_0)$ với (b_0, r_0) là một cặp xuất phát bất kỳ.
- Mỗi cặp (b_n, r_n) , $n = 1, 2, \dots, N$ xuất hiện đúng một lần.
- b_{n+1}, r_{n+1} lần lượt liên thông với b_n, r_n trên $V_3(r_n)$.

Hai điều kiện đầu đảm bảo điều kiện chu trình đơn. Điều kiện cuối khắc phục được các nhược điểm của các thuật toán trước là bỏ sót điểm biên hoặc hoạt động không ổn định.

Định lý. Thuật toán dò biên TT chính khi và chỉ khi toán tử dò biên T là chính.

Chứng minh:

a/ TT chính $\Rightarrow T$ chính:

Bằng cách áp dụng liên tiếp N lần toán tử dò biên, theo giả thiết ta thu được một chu trình đơn. Vì chu trình đơn không có hai đỉnh trùng nhau nên toán tử dò biên là một đơn ánh. Hơn nữa chu trình đi qua tất cả các đỉnh nên T là một ánh xạ lên (tràn ánh); bởi vậy T là một song ánh. Điều kiện cuối cùng có thể suy trực tiếp từ giả thiết. Vậy T là chính.

b/ T chính $\Rightarrow TT$ chính:

Vì T là một song ánh, NV hữu hạn nên mỗi cặp điểm nền-điểm vùng đều có và chỉ có một cặp đúng liền trước và liền sau nó. Bởi vậy, T sẽ xác định trên NV một số hữu hạn chu trình đơn. Ta biết rằng mỗi chu trình phân chia ảnh thành hai phần: phần trong và phần ngoài chu trình. Số chu trình do đó chỉ có thể là một vì R theo giả thiết là một vùng liên thông đơn giản.

4. MỘT SỐ HỆ QUẢ

Để kiểm tra thấy rằng các toán tử ở thí dụ 3 và 4 là chính, còn các toán tử ở thí dụ 1 và 2 không chính.

Hình 4 thể hiện một tình huống toán tử $T1$ hoạt động không ổn định. $T2$ bỏ sót điểm góc. Còn $T3, T4$ cho ta một đường biên chính.

Hình 4, điểm $x[2,2]$ có thể bị bỏ sót. Tùy thuộc điểm xuất phát là A hay B . Nếu điểm ra ở D thuật toán sẽ bị quẩn.

* Điều kiện dừng:

Các điều kiện sau đây là tương đương:

$$a/ (b_{N+1}, r_{N+1}) = (b_0, r_0)$$

$$b/ (r_0, r_1) = (r_{N+1}, r_{N+2})$$

$$c/ (b_0, b_1) = (b_{N+1}, b_{N+2})$$

* Giả sử có một ảnh nhị phân bất kỳ với a là số vùng nền 4-liên thông, b là số vùng ảnh 8-liên thông. Khi đó số đường biên chính p được tính bởi :

$$p = \max(a, b)$$

5 - KẾT LUẬN

Xuất phát từ yêu cầu thực tế tính toán độ cong của đường biên chúng tôi đã đưa ra một tiêu chuẩn về tính chính của một thuật toán dò biên, xây dựng các toán tử dò biên và tìm điều kiện cần và đủ để kiểm tra tính chính của một thuật toán dò biên. Trên cơ sở cải tiến thuật toán của Matson, chúng tôi đã đề xuất một thuật toán dò biên mới. Toán tử mới ($T3$) giữ được ưu điểm của $T1$ về tốc độ tính toán vì tiết kiệm được số phép tính kiểm tra trên các 8-láng giềng. Ngoài ra nó còn cho phép tính được các đường biên chính, lựa chọn các loại điểm cho phù hợp với từng tình huống ứng dụng cụ thể.

Nhận ngày 5-8-1990

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Rosenfeld A., Picture Processing by Computer. New-York 1969.
2. Duda Hart, Pattern classification and scene analysis, 1973.
3. Y. Shirai, Three-dimensional Computer Vision. Springer-Verlage, 1987.
4. J. C. Simon, Some advances in character recognition. Seconde International Symposium on Computer and Information Sciences. Istanbul, 1987.

ABSTRACT

One of most important stages of image processing is bound following - In this paper we present a new criterion of correctness of one bound following algorithm, the necessary and sufficient condition of correctness is found. Some bound following operators have been considered and verified.