



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0002945

(51)⁷ **G06F 9/00**

(13) **Y**

(21) 2-2019-00202

(22) 06/06/2019

(30) 1-2018-03549 13/08/2018 VN

(45) 25/06/2022 411

(43) 25/07/2019 376A

(73) Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội (VN)
Nhà E3, 144 đường Xuân Thủy, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Trần Xuân Tú (VN); Nguyễn Ngọc Sinh (VN); Bùi Duy Hiếu (VN).

(54) PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ HÌNH ẢNH DỰA TRÊN LƯỢC ĐỒ GRADIENT CÓ HƯỚNG (HOG) SỬ DỤNG QUY TRÌNH XÁC ĐỊNH HAI GRADIENT ĐẶC TRƯNG CỦA ĐIỂM ẢNH TỪ GRADIENT THEO CHIỀU DỌC VÀ CHIỀU NGANG CỦA ĐIỂM ẢNH

(57) Giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp xử lý hình ảnh dựa trên lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) sử dụng quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh. Phương pháp này khác biệt ở chỗ, quy trình thực hiện xác định hai góc đặc trưng bằng việc so sánh tỷ số của gradient theo chiều dọc trên gradient theo chiều ngang lần lượt với giá trị $\tan$ của các góc đặc trưng. Sau đó, giá trị biên độ của hai gradient đặc trưng được xác định bằng các công thức (11)-(12). Bên cạnh đó, giải pháp hữu ích đưa ra phương pháp biểu diễn các giá trị $\tan$ bằng các phân số lân cận gần nhất để phù hợp với các hệ thống máy tính nhúng và thiết kế phần cứng.

Gradient theo hai phương
ngang và dọc
 d_x, d_y

Chuyển gradient dọc và
ngang lên phía trên trục Ox
 $d_y^* = |d_y|$
 $d_x^* = \text{sign}(d_y) * d_x$

Tìm hai góc đặc trưng trong
tập hợp góc đặc trưng
 $\tan(\theta_i) < \frac{d_y^*}{d_x^*} \leq \tan(\theta_{i+1})$

Xác định biên độ của hai gradient đặc trưng
 $B_i = d_x^* \times \sin(\theta_{i+1}) - d_y^* \times \cos(\theta_{i+1})$
 $B_{i+1} = d_y^* \times \cos(\theta_i) - d_x^* \times \sin(\theta_i)$

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến phương pháp xử lý hình ảnh dựa trên lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) sử dụng quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh. Giải pháp theo giải pháp hữu ích được ứng dụng rộng rãi trong các ứng dụng như thị giác máy, xử lý ảnh để phát hiện đối tượng, vật thể.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Lược đồ gradient có hướng HOG là kỹ thuật mô tả đặc trưng của ảnh, được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng như thị giác máy, xử lý ảnh; cụ thể, ví dụ phát hiện đối tượng như khuôn mặt hay người. Lược đồ gradient có hướng HOG được công bố trong báo cáo “Histograms of oriented gradients for human detection” của nhóm tác giả N. Dalal và B. Triggs, tại hội nghị IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05).

HOG có được định lượng của các đặc trưng mạnh từ sự thay đổi hình dạng của vật thể bằng cách chia miền cục bộ thành nhiều khối và tạo ra độ dốc của mỗi lược đồ. Trên thực tế, các đặc trưng HOG đạt được mức độ chính xác rất cao, với tỷ lệ phát hiện lên tới 96,6% với 20,7% tỷ lệ lỗi dương. Do đó, nó đóng vai trò quan trọng trong nhiều ứng dụng bao gồm robot, giám sát an ninh và tự động hóa. Tuy nhiên, mức độ phức tạp của HOG là vấn đề khó khăn nhất khi sử dụng HOG trong các hệ thống nhúng có tài nguyên hạn chế hoặc khi triển khai HOG trên phần cứng.

Trong lược đồ gradient có hướng HOG, mỗi điểm ảnh đều có một gradient duy nhất biểu diễn sự biến đổi xung quanh điểm ảnh. Để giảm thiểu số lượng loại gradient cần lưu trữ, gradient của điểm ảnh được biểu diễn bằng hai gradient đặc trưng khác nhau. Gradient đặc trưng là gradient có hướng nằm trong tập hợp góc

đã được định nghĩa sẵn. Lược đồ HOG là tổng hợp của các gradient đặc trưng trong cùng một khu vực, khu vực này được gọi là tế bào hay cell.

Hình 1 trình bày quy trình xác định hai gradient đặc trưng của một điểm ảnh từ gradient theo chiều ngang và dọc của điểm ảnh trong kỹ thuật tính toán HOG truyền thống. Để xác định được hai gradient đặc trưng của một điểm ảnh, thực hiện tuần tự các bước sau:

Công đoạn 1 xác định góc α và độ lớn gradient $\vec{M}$ của một điểm ảnh.

Việc xác định được thực hiện bằng hai công thức (1) và (2):

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{d_y}{d_x}\right) \quad (1)$$

$$|\vec{M}| = \sqrt{(d_x)^2 + (d_y)^2} \quad (2)$$

trong đó, d_x, d_y là gradient theo chiều ngang và dọc của điểm ảnh.

Công đoạn 2 xác định hai góc đặc trưng liên kế θ_i, θ_{i+1} , hai góc là hai góc đặc trưng của điểm ảnh khi và chỉ khi thỏa mãn điều kiện (3):

$$\theta_i < \alpha < \theta_{i+1}, \quad \theta \in \Theta \quad (3)$$

trong đó, Θ là tập hợp các góc đặc trưng;

Công đoạn 3 xác định biên độ của hai gradient đặc trưng dựa trên khoảng cách giữa các góc $\theta_1, \alpha, \theta_2$:

$$w = \theta_{i+1} - \theta_i \quad (4)$$

$$B_i = |\vec{M}| \times \frac{\theta_{i+1} - \alpha}{w} \quad (5)$$

$$B_{i+1} = |\vec{M}| \times \frac{\alpha - \theta_i}{w} \quad (6)$$

trong đó, w là hằng số khoảng cách giữa hai góc đặc trưng liên tiếp.

Xuất phát từ sự phức tạp trong tính toán gradient $\vec{M}$ của điểm ảnh, các phương pháp tính toán xấp xỉ góc α và độ lớn của gradient $\vec{M}$ đã được đề xuất.

Tác giả Kenta Takagi và cộng sự đã sử dụng thuật toán CORDIC để đơn giản hóa việc tính toán góc α và sử dụng phương pháp tính xấp xỉ căn bậc 2 của

Newton trong báo cáo “A sub-100-milliwatt dual-core HOG accelerator VLSI for real-time multiple object detection” tại hội nghị *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* năm 2013, trang 2533–2537.

Phương án so sánh tỷ số $\frac{dy}{dx}$ với giá trị xấp xỉ của hàm $\tan(\theta)$ cho phép xác định trực tiếp hai góc đặc trưng θ_i, θ_{i+1} của điểm ảnh. Các công bố sử dụng phương án này cho phép giảm thiểu đáng kể sự phức tạp trong xác định góc đặc trưng. Tuy nhiên, mỗi công trình lại đưa ra những giá trị xấp xỉ của hàm $\tan$ khác nhau. Đi kèm với phương án này là những kỹ thuật tính xấp xỉ độ lớn của gradient $\vec{M}$ và kết hợp với việc chia đều độ lớn $\vec{M}$ cho hai gradient đặc trưng có góc θ_i, θ_{i+1} , $B_i = B_{i+1} = \frac{|\vec{M}|}{2}$ thay vì chia theo tỷ lệ giữa $\theta_{i+1} - \alpha$ và $\alpha - \theta_i$. Một số công trình tiêu biểu có thể kể đến như sau:

- Tác giả Pei-Yin Chen, Chien-Chuan Huang, Chih-Yuan Lien, và Yu-Hsien Tsai với báo cáo “An Efficient Hardware Implementation of HOG Feature Extraction for Human Detection” tại *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, tập 15, số 2, trang 656–662, tháng 4 năm 2014;

- Tác giả A. Suleiman và V. Sze, “An Energy-Efficient Hardware Implementation of HOG-Based Object Detection at 1080HD 60 fps with Multi-Scale Support” tại tạp chí *Journal of Signal Processing Systems*, tập 84, số 3, trang 325–337, tháng 9 năm 2016;

- Tác giả S.-F. Hsiao, J.-M. Chan, và C.-H. Wang, “Hardware design of histograms of oriented gradients based on local binary pattern and binarization”, tại hội nghị *2016 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 2016, trang 433–435;

- Tác giả M. C. Munteanu và V. Georgescu với giải pháp hữu ích “A Method for Producing a Histogram of Oriented Gradients”, WO/2016/083002, ngày 3 tháng 6 năm 2016;

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích này đề xuất phương pháp xử lý hình ảnh dựa trên lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) sử dụng quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh.

Theo một phương án của giải pháp hữu ích, phương pháp xử lý hình ảnh dựa trên lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) sử dụng quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh, trong đó quy trình xác định hai gradient đặc trưng của một điểm ảnh gồm ba công đoạn:

- (i) xác định góc α và độ lớn gradient $\vec{M}$ của một điểm ảnh;
- (ii) xác định hai góc đặc trưng liên kế θ_i, θ_{i+1} ; và
- (iii) xác định biên độ của hai gradient đặc trưng dựa trên khoảng cách giữa các góc $\theta_1, \alpha, \theta_2$,

trong đó, quy trình này khác biệt ở chỗ, quy trình sử dụng cách biểu diễn các giá trị $\tan$ của các góc đặc trưng bằng các phân số lân cận gần nhất, những giá trị này thay thế việc biểu diễn giá $\tan$ bằng các số thập phân, thường là những số thập phân vô hạn không tuần hoàn, sự biểu diễn này cho phép xác định chính xác hai góc đặc trưng của mỗi điểm ảnh.

Theo một phương án ưu tiên của giải pháp hữu ích, quy trình nêu trên xác định rõ các phân số lân cận cho hai tập hợp góc đặc trưng phổ biến dùng cho ảnh 8-bit.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Để hiểu rõ hơn về giải pháp hữu ích, các hình vẽ và sơ đồ được mô tả và giải thích vắn tắt như sau:

Hình 1 trình bày quy trình xác định hai gradient đặc trưng của một điểm ảnh từ gradient theo chiều ngang và dọc của điểm ảnh trong quy trình tính toán HOG truyền thống;

Hình 2 trình bày quy trình đề xuất xác định hai gradient đặc trưng của một điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và ngang của điểm ảnh trong kỹ thuật tính toán HOG;

Hình 3 trình bày các giá trị lân cận gần nhất $N(\theta)$ và $L(\theta)$ với hai tập hợp góc đặc trưng phổ biến được sử dụng trong lược đồ gradient có hướng HOG đối với ảnh 8 bit: $\{10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170\}$ và $\{20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180\}$;

Hình 4 trình bày một ví dụ về sử dụng $L(\theta)$ trong quy trình xác định hai gradient đặc trưng với tập hợp góc đặc trưng là $\{10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170\}$.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Như đã trình bày ở trên, lược đồ gradient có hướng HOG là kỹ thuật mô tả đặc trưng của ảnh, được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng như thị giác máy, xử lý ảnh; cụ thể, ví dụ phát hiện đối tượng như khuôn mặt hay người.

Các tác giả của giải pháp hữu ích đề xuất quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh trong lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG). Một trong các ứng dụng cụ thể ở đây là phương pháp xử lý hình ảnh dựa trên lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) sử dụng quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh.

Để giúp hiểu rõ hơn về giải pháp hữu ích, phần mô tả chi tiết sẽ được trình bày theo các khía cạnh của giải pháp hữu ích và dựa vào các hình vẽ kèm theo. Cụ thể như sau:

Hình 2 trình bày quy trình đề xuất xác định hai gradient đặc trưng của một điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và ngang của điểm ảnh trong kỹ thuật tính toán HOG. Quy trình đề xuất bao gồm ba công đoạn. Công đoạn 1 chuyển gradient theo chiều dọc và ngang của điểm ảnh lên phía trên trục Ox . Công đoạn 2 thực

hiện xác định hai góc đặc trưng θ_i, θ_{i+1} . Công đoạn 3 xác định độ lớn của hai gradient đặc trưng có góc lần lượt là θ_i, θ_{i+1} .

Công đoạn 1 thực hiện chuyển gradient theo chiều dọc và ngang lên nửa trên của hệ tọa độ Đề-các (trục Ox và phía trên trục Ox).

$$d_y^* = |d_y| \quad (7)$$

$$d_x^* = \text{sign}(d_y) * d_x \quad (8)$$

trong đó:

d_x, d_y là gradient theo chiều ngang và dọc;

d_x^*, d_y^* là gradient theo chiều ngang và dọc sau khi chuyển đổi lên phía trên trục Ox ;

Xác định lại gradient theo hai phương xuất phát từ thực tế các góc sử dụng trong HOG chỉ nằm ở phần trên của trục Ox , điều này tương đương với gradient theo chiều dọc là luôn dương. Công thức (7) – (8) là phép lấy đối xứng các gradient theo chiều dọc và ngang qua tâm O nếu $d_y < 0$;

Công đoạn 2 tìm hai góc đặc trưng θ_i, θ_{i+1} . Công đoạn này thực hiện so sánh $\frac{d_y^*}{d_x^*}$ lần lượt với giá trị $\tan$ của các góc đặc trưng (10). Một điểm ảnh có hai góc đặc trưng là θ_i, θ_{i+1} khi và chỉ khi thỏa mãn công thức (10)

$$\theta_i < \alpha \leq \theta_{i+1} \quad (9)$$

$$\Leftrightarrow \tan(\theta_i) \leq \frac{d_y^*}{d_x^*} \leq \tan(\theta_{i+1}) \quad (10)$$

Công đoạn 3 thực hiện xác định lần lượt giá trị biên độ B_i, B_{i+1} bằng hai công thức (11) và (12) như sau:

$$B_i = d_x^* \times \sin(\theta_{i+1}) - d_y^* \times \cos(\theta_{i+1}) \quad (11)$$

$$B_{i+1} = d_y^* \times \cos(\theta_i) - d_x^* \times \sin(\theta_i) \quad (12)$$

Hai công thức (11) - (12) là hai nghiệm của hệ phương trình (15) nhân với hằng số $\sin(w)$, w là hằng số khoảng các giữa hai góc đặc trưng liên tiếp. Hệ phương trình (15) biểu diễn sự bằng nhau giữa

gradient $\vec{M}$ với tổng của hai gradient đặc trưng $\vec{B}_i, \vec{B}_{i+1}$ khi chiếu lần lượt lên hai trục Ox và Oy trong hệ tọa độ Đề-các.

$$\vec{B}_i + \vec{B}_{i+1} = \vec{d}_x^* + \vec{d}_y^* = \vec{M} \quad (13)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \vec{B}_i \times \sin(\theta_i) + \vec{B}_{i+1} \times \sin(\theta_{i+1}) = \vec{d}_x^* \\ \vec{B}_i \times \cos(\theta_i) + \vec{B}_{i+1} \times \cos(\theta_{i+1}) = \vec{d}_y^* \end{cases} \quad (14)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} B_i \times \sin(\theta_i) + B_{i+1} \times \sin(\theta_{i+1}) = d_y^* \\ B_i \times \cos(\theta_i) + B_{i+1} \times \cos(\theta_{i+1}) = d_x^* \end{cases} \quad (15)$$

Trong thực tế, khi áp dụng lên các máy tính nhúng hay thiết kế các phần cứng để trích xuất đặc trưng HOG, việc biểu diễn các số thập phân vô hạn không tuần hoàn như giá trị của hàm $\tan$ hay tỷ số $\frac{d_y^*}{d_x^*}$ sẽ làm tăng độ phức tạp của toàn bộ quá trình. Do vậy, giải pháp hữu ích này đề xuất biểu diễn các hàm $\tan$ dưới dạng các phân số, mỗi giá trị $\tan$ được biểu diễn bằng hai phân số như công thức (16), lần lượt được gọi là lân cận trái gần nhất N (nhỏ hơn và gần nhất) và lân cận phải gần nhất L (lớn hơn và gần nhất). Hai phân số này có tử số nằm trong tập hợp giá trị của d_y^* và mẫu số nằm trong tập hợp các giá trị của d_x^* . Điều này có nghĩa là không tồn tại bất cứ giá trị $\frac{d_y^*}{d_x^*}$ nào nằm trong khoảng $(N(\theta) : \tan(\theta))$ và $(\tan(\theta) : L(\theta))$. Khi đó việc so sánh giá trị d_y^*/d_x^* với giá trị $\tan$ tương đương với công thức (17)

$$N(\theta) < \tan(\theta) < L(\theta) \quad (16)$$

$$\Rightarrow N(\theta_i) < L(\theta_i) \leq \frac{d_y^*}{d_x^*} \leq N(\theta_{i+1}) < L(\theta_{i+1}) \quad (17)$$

trong đó,

- $N(\theta)$ là phân số lân cận trái gần nhất của $\tan(\theta)$ với tử số nằm trong khoảng D_y^* , mẫu số nằm trong khoảng D_x^*
- $L(\theta)$ là phân số lân cận phải gần nhất hoặc bằng $\tan(\theta)$ với tử số nằm trong khoảng D_y^* , mẫu số nằm trong khoảng D_x^* ;
- D_y^* là tập hợp các giá trị d_y^*
- D_x^* là tập hợp các giá trị d_x^* ;

- Đối với ảnh 8-bit, $D_x^* \in [-255:255]$, $D_y^* \in [0:255]$.

Hình 3 trình bày các giá trị lân cận gần nhất $N(\theta)$ và $L(\theta)$ với hai tập hợp góc đặc trưng phổ biến được sử dụng trong lược đồ gradient có hướng HOG đối với ảnh 8 bit: $\{10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170\}$ và $\{20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180\}$

Hình 4 trình bày một ví dụ về sử dụng $L(\theta)$ trong quy trình xác định hai gradient đặc trưng với tập hợp góc đặc trưng là $\{10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170\}$. Để xác định được hai gradient đặc trưng của điểm ảnh, ta lần lượt thực hiện các bước sau:

Công đoạn 1 chuyển gradient của điểm ảnh theo hai phương x và y lên phía trên trục Ox như công thức (7) và (8): d_x^*, d_y^*

Công đoạn 2 xác định hai góc θ_i, θ_{i+1} đặc trưng theo các bước nhỏ sau:

Bước 2.1. nếu $4 \times |d_y^*| \geq 11 \times |d_x^*|$ thì hai góc đặc trưng lần lượt là 70, 90 độ và chuyển sang Công đoạn 3, ngược lại chuyển sang Bước 2.2;

Bước 2.2. nếu $73 \times |d_y^*| \geq 87 \times |d_x^*|$ thì hai góc đặc trưng lần lượt là 50, 70 độ và chuyển sang Công đoạn 3, ngược lại chuyển sang Bước 2.3;

Bước 2.3. nếu $168 \times |d_y^*| \geq 97 \times |d_x^*|$ thì hai góc đặc trưng lần lượt là 30, 50 độ và chuyển sang Công đoạn 3, ngược lại chuyển sang Bước 2.4;

Bước 2.4. nếu $17 \times |d_y^*| \geq 3 \times |d_x^*|$ thì hai góc đặc trưng lần lượt là 10, 30 độ và chuyển sang Công đoạn 3, ngược lại chuyển sang Bước 2.5;

Bước 2.5. trả về hai góc đặc trưng lần lượt là 170 và 10, đồng thời chuyển qua Công đoạn 3.

Công đoạn 3 xác định độ lớn của hai gradient đặc trưng được xác định từ Công đoạn 2 theo hai công thức (18) – (19);

$$B_i = |d_x^*| \times \sin(\theta_{i+1}) - |d_y^*| \times \cos(\theta_{i+1}) \quad (18)$$

$$B_{i+1} = |d_y^*| \times \cos(\theta_i) - |d_x^*| \times \sin(\theta_i) \quad (19)$$

Công đoạn 4 xác định lại hai góc đặc trưng theo công thức

$$\theta = \begin{cases} 180 - \theta, & d_x^* < 0 \\ \theta, & d_x^* \geq 0 \end{cases} \quad (20)$$

Trong quy trình ở Hình 4, xuất phát từ thực tế các góc đặc trưng đối xứng với nhau qua trục Oy , điều này cho phép thực hiện xác định góc đặc trưng tạm thời trong góc phần tư thứ I (góc từ 0 độ đến 90 độ) và độ lớn của hai gradient này, sau đó việc chuyển đổi hai góc tạm thời sang góc phần tư thứ II (góc từ 90 độ đến 180 độ) sẽ được thực hiện bằng phép lấy đối xứng qua trục Oy như công thức (20). Như vậy, ta có thể lược giản số lần thực hiện phép so sánh như công thức (10) để tìm ra góc đặc trưng.

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Về khía cạnh ứng dụng trên thuật toán phần mềm để xử lý hình ảnh, việc ứng dụng giải pháp cho phép giảm độ phức tạp tính toán các gradient đặc trưng của điểm ảnh lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) vì thay thế phép tính $\arctan$ đơn giản bằng các phép toán so sánh đơn giản. Ngoài ra, về khía cạnh ứng dụng phần cứng, khi ứng dụng giải pháp, có thể dùng phép dịch bit và so sánh để xác định góc teta gần đúng do đó rất thuận tiện cho việc tính toán bằng phần cứng với tốc độ tính toán nhanh hơn.

Các tác giả đã đưa ra các giá trị thập phân gần đúng của $\tan \theta$ $i, i+1$ từ các giá trị $\sin/\cos$ và tính trên thực nghiệm để đưa ra các giá trị gần đúng tối ưu vừa đơn giản cho việc tính toán và vừa đảm bảo độ chính xác chấp nhận được.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp xử lý hình ảnh dựa trên lược đồ gradient có hướng (Histogram of Oriented Gradient - HOG) sử dụng quy trình xác định hai gradient đặc trưng của điểm ảnh từ gradient theo chiều dọc và chiều ngang của điểm ảnh, trong đó quy trình này bao gồm các công đoạn:

công đoạn 1: thực hiện chuyển gradient theo chiều dọc và ngang lên nửa trên của hệ tọa độ Đề-các (trục Ox và phía trên trục Ox)

$$d_y^* = |d_y|$$

$$d_x^* = \text{sign}(d_y) * d_x$$

trong đó:

d_x, d_y là gradient theo chiều ngang và dọc,

d_x^*, d_y^* là gradient theo chiều ngang và dọc sau khi chuyển đổi lên phía trên trục Ox ;

công đoạn 2: tìm hai góc đặc trưng θ_i, θ_{i+1} trong tập hợp góc đặc trưng thỏa mãn điều kiện:

$$\tan(\theta_i) \leq \frac{d_y^*}{d_x^*} \leq \tan(\theta_{i+1});$$

công đoạn 3 xác định biên độ của hai gradient đặc trưng, việc xác định biên độ này được thực hiện theo công thức:

$$B_i = d_x^* \times \sin(\theta_{i+1}) - d_y^* \times \cos(\theta_{i+1})$$

$$B_{i+1} = d_y^* \times \cos(\theta_i) - d_x^* \times \sin(\theta_i);$$

trong đó, ở công đoạn 2, mỗi giá trị $\tan$ đều được biểu diễn bằng hai phân số lân cận gần nhất cho phép giảm thiểu sự phức tạp trong việc biểu diễn và so sánh tỷ số $\frac{d_y^*}{d_x^*}$ với giá trị $\tan$ như sau:

$$N(\theta) < \tan(\theta) < L(\theta)$$

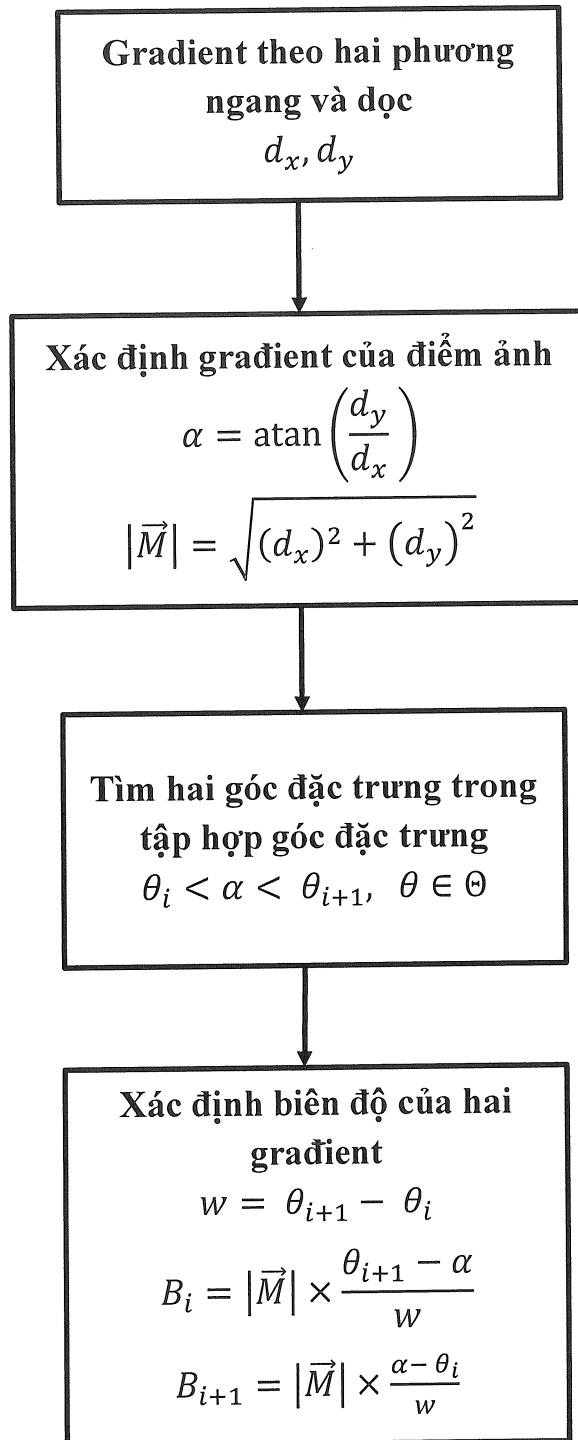
$$\Rightarrow N(\theta_i) < L(\theta_i) \leq \frac{d_y^*}{d_x^*} \leq N(\theta_{i+1}) < L(\theta_{i+1})$$

trong đó:

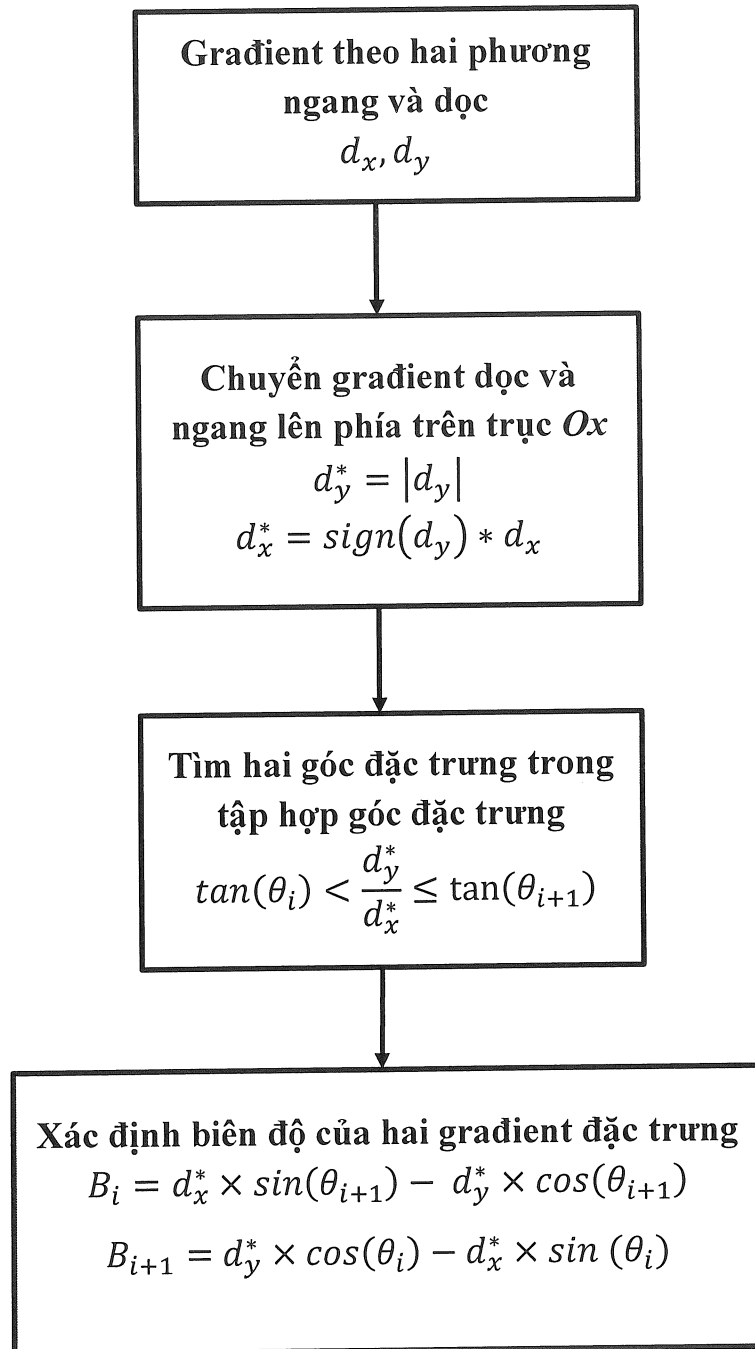
- $N(\theta)$ là phân số lân cận trái gần nhất của $\tan(\theta)$ với tử số nằm trong khoảng D_y^* , mẫu số nằm trong khoảng D_x^* ,
- $L(\theta)$ là phân số lân cận phải gần nhất hoặc bằng $\tan(\theta)$ với tử số nằm trong khoảng D_y^* , mẫu số nằm trong khoảng D_x^* ,
- D_y là tập hợp các giá trị d_y^* ,
- D_x là tập hợp các giá trị d_x^* ,
- $D_x \in [-255:255], D_y \in [0:255]$, và

các phân số lân cận gần nhất được sử dụng cho hai bộ góc đặc trưng phổ biến của HOG đối với ảnh 8-bit được xác định như bảng sau:

$N(\theta)$	θ	$L(\theta)$	$N(\theta)$	θ	$L(\theta)$
43/244	10	3/17	4/11	20	91/250
56/97	30	97/168	73/87	40	193/230
230/193	50	87/73	168/97	60	97/56
250/91	70	11/4	17/3	80	244/43
255	90	-255	244/-43	100	17/-3
11/-4	110	250/-91	97/-56	120	168/-97
87/-73	130	230/-193	193/-230	140	73/-87
97/-168	150	56/-97	91/-250	160	4/-11
3/-17	170	43/-244	-0	180	+0



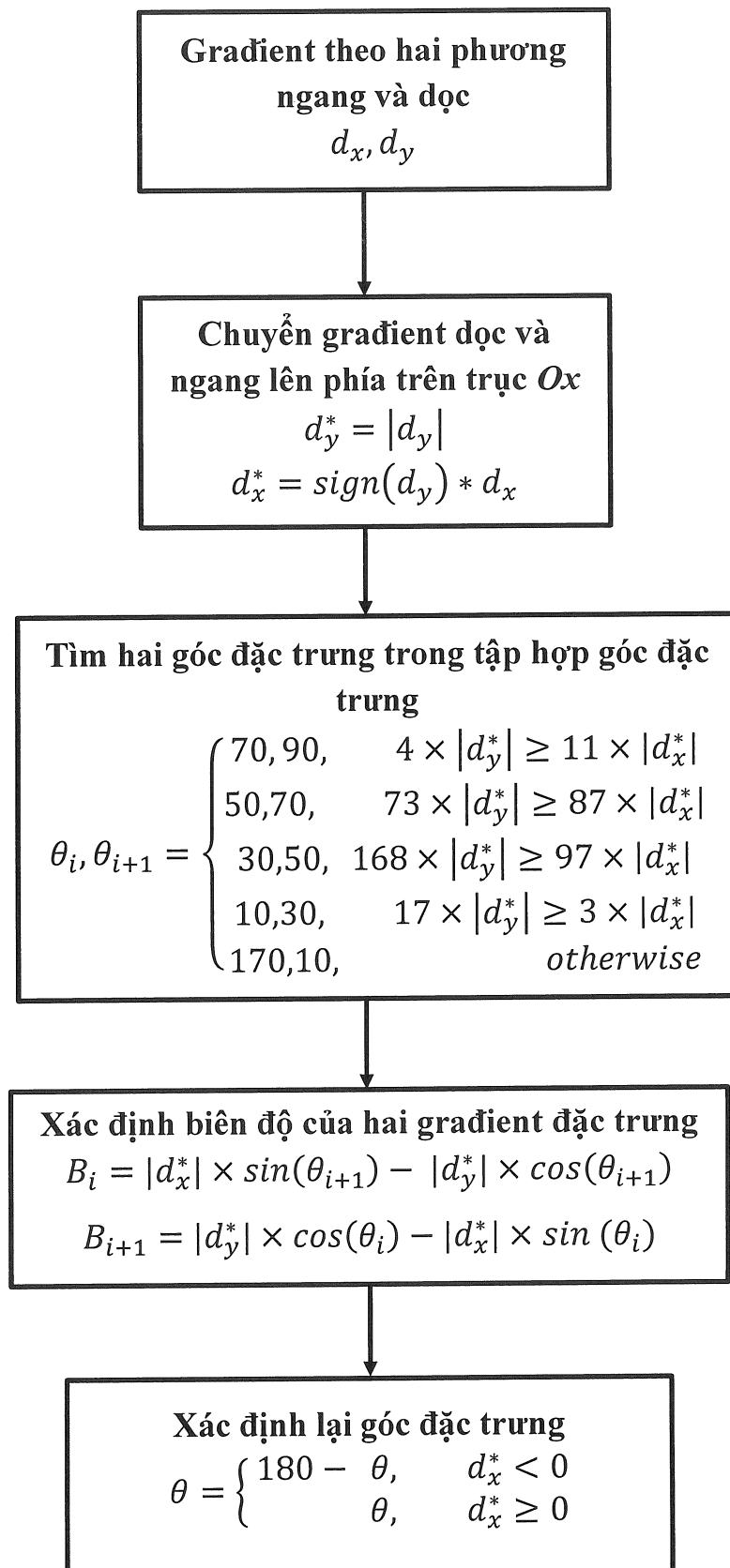
Hình 1



Hình 2

$N(\theta)$	θ	$L(\theta)$	$N(\theta)$	θ	$L(\theta)$
43/244	10	3/17	4/11	20	91/250
56/97	30	97/168	73/87	40	193/230
230/193	50	87/73	168/97	60	97/56
250/91	70	11/4	17/3	80	244/43
255	90	-255	244/-43	100	17/-3
11/-4	110	250/-91	97/-56	120	168/-97
87/-73	130	230/-193	193/-230	140	73/-87
97/-168	150	56/-97	91/-250	160	4/-11
3/-17	170	43/-244	-0	180	+0

Hình 3



Hình 4