



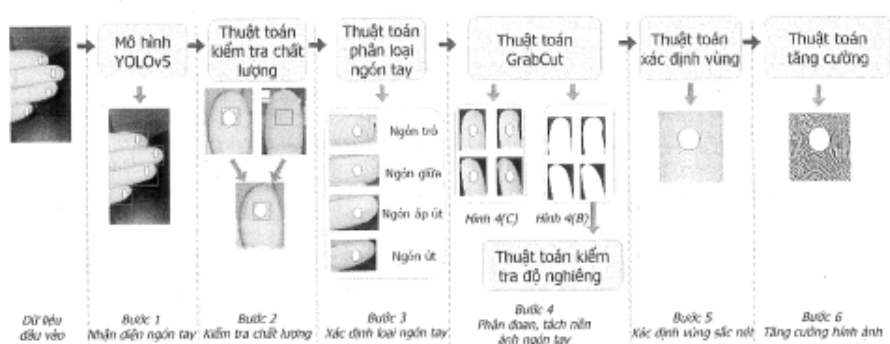
(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) 
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
1-0052673
(51)^{2022.01} G06K 9/62; G06T 7/00; G06V 10/82; (13) B
G06N 3/04

(21) 1-2023-03988 (22) 16/06/2023
(45) 27/10/2025 451 (43) 25/09/2023 426A
(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)
Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hoà, quận Cầu Giấy, thành phố Hà
Nội
(72) TRẦN MẠNH TÙNG (VN); NGUYỄN MẠNH QUÝ (VN); LÊ HUY DƯƠNG
(VN); NGUYỄN TRỌNG HẢI (VN); NGUYỄN HOÀNG DƯƠNG (VN).
(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP TỰ ĐỘNG GHI NHẬN VÀ TĂNG CƯỜNG CHẤT LƯỢNG
HÌNH ẢNH VÂN TAY KHÔNG CHẠM

(21) 1-2023-03988

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp tự động ghi nhận, tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm với độ chính xác cao và thời gian tối ưu. Để thực hiện được phương pháp theo như sáng chế, cần trải qua các bước: bước 1: phát hiện ngón tay trong từng khung hình; bước 2: kiểm tra chất lượng hình ảnh vân tay trong khung hình; bước 3: xác định loại ngón tay; bước 4: phân đoạn, tách từng hình ảnh ngón tay ra khỏi khung nền; bước 5: xác định vùng có chất lượng vân tay tốt nhất trên bức ảnh ngón tay; bước 6: tăng cường hình ảnh.



Hình 1

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm sử dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo kết hợp với những phương pháp xử lý hình ảnh. Cụ thể, phương pháp được đề cập sử dụng trong lĩnh vực thu nhận và định danh vân tay.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Phương pháp tự động ghi nhận, tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm sử dụng camera trên các thiết bị di động (*touchless device*) được áp dụng trong các sản phẩm liên quan tới định danh người dùng điện tử (eKYC - electronic Know Your Customer) của các dịch vụ viễn thông, ngân hàng, tổ chức tín dụng, v.v. Thông thường, công việc ghi nhận hình ảnh vân tay sử dụng các thiết bị vật lý (máy quét vân tay) yêu cầu người dùng phải chạm vào máy quét. Tuy nhiên, gần đây với sự bùng nổ của các thiết bị di động thông minh với chất lượng hình ảnh từ camera khá tốt, có thể chụp được hình ảnh vân tay sắc nét. Ngoài ra, với sự xuất hiện của dịch bệnh Covid-19, người dùng rất hạn chế hoặc không mong muốn sử dụng những thiết bị chạm (*touch device*), do đó, phương pháp tự động ghi nhận, tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm đóng góp trong việc hạn chế lây lan dịch bệnh qua đường hô hấp, tiết kiệm nhân lực, chi phí đầu tư trang thiết bị vật lý.

Việc tự động ghi nhận hình ảnh vân tay gặp một số khó khăn nhất định bao gồm việc nhận diện ngón tay bằng những thuật toán xử lý ảnh truyền thống vẫn chưa hiệu quả, thiếu tập dữ liệu huấn luyện đa dạng do đây là dữ liệu bảo mật cá nhân. Gần đây, cùng với sự phát triển của công nghệ trí tuệ nhân tạo, đã có một số phương pháp nhận diện vật thể ra đời sử dụng các kỹ thuật học máy (*machine learning*) và học sâu (*deep learning*) đã tối ưu cho việc sử dụng trên các thiết bị di động. Trong sáng chế này, chúng tôi đề xuất một phương pháp mới sử dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo cho vấn đề tự động ghi nhận, tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay cải thiện được các khó khăn hiện có để đạt được độ chính xác cao hơn, thời gian xử lý tối ưu hơn.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay phục vụ cho các hệ thống xác minh danh tính với độ chính xác cao và thời gian tối ưu. Để đạt được mục đích trên, phương pháp này gồm các bước:

Bước 1: phát hiện ngón tay trong từng khung hình; bước này được thực hiện dựa trên mô hình học sâu Yolov5 (mô hình này đã được huấn luyện lại với dữ liệu riêng và được chuyển đổi cấu trúc để phù hợp với những thiết bị di động).

Bước 2: kiểm tra chất lượng hình ảnh vân tay trong khung hình; bước này được thực hiện dựa trên bộ lọc Gaussian kết hợp với thuật toán Canny cho đầu ra điểm sắc nét. Điểm sắc nét này sẽ được sử dụng để ghi nhận hình ảnh có chất lượng tốt nhất.

Bước 3: xác định loại ngón tay (là ngón cái, ngón trỏ, ngón giữa, ngón áp út hay ngón út); bước này được thực hiện dựa trên vị trí của từng ngón tay với mục đích phục vụ quá trình so khớp với hệ thống cơ sở dữ liệu vân tay.

Bước 4: phân đoạn ngón tay, tách từng ngón tay ra khỏi khung hình nền; bước này được thực hiện dựa trên thuật toán GrabCut, sau đó thực hiện một thuật toán nhằm xác định ngón tay bị nghiêng để gửi cảnh báo đến người dùng và có thể yêu cầu thực hiện lại quá trình ghi nhận hình ảnh.

Bước 5: xác định vùng có chất lượng hình ảnh vân tay tốt nhất trên bức ảnh ngón tay; bước này được thực hiện dựa trên một thuật toán xác định khối có mật độ cạnh lớn nhất sử dụng thuật toán Canny kết hợp của số trượt có trọng số không gian.

Bước 6: tăng cường hình ảnh; bước này được thực hiện dựa trên một bộ lọc thông lọc nhiễu kết hợp với cân bằng lược đồ điểm ảnh (*local histogram normalization*) để làm nổi bật các đường vân tay.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: hình ảnh mô tả các bước trong phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm sử dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo.

Hình 2: hình ảnh mô tả bước phát hiện ngón tay trong khung hình.

Hình 3: hình ảnh mô tả bước kiểm tra chất lượng hình ảnh vân tay trong khung hình.

Hình 4: hình ảnh mô tả bước phân đoạn ngón tay, tách từng ngón tay ra khỏi khung hình nền.

Hình 5: hình ảnh mô tả bước xác định vùng có chất lượng hình ảnh vân tay tốt nhất trên bức ảnh ngón tay.

Mô tả chi tiết sáng chế

Các bước và trình tự các bước của phương pháp tự động ghi nhận, tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay phục vụ cho các hệ thống định danh người dùng điện tử được mô tả trong Hình 1. Dữ liệu đầu vào là hình ảnh bàn tay được người dùng đưa ra trước camera của thiết bị di động.

Tuy nhiên, cũng cần phải nói thêm rằng trong sáng chế này, các thuật ngữ “YOLOv5”, “GrabCut”, “Canny”, “Gaussian”, “bitwise”, “AND”, “Wavelet”, “GaussianBlur” là các danh từ riêng (tên của mô hình, thuật toán, hàm số, v.v) chưa có từ tiếng Việt thay thế nên xin được để ở dạng chuẩn quốc tế.

Các bước của phương pháp được đề cập trong sáng chế được thực hiện như sau:

Bước 1: phát hiện ngón tay trong từng khung hình;

Ảnh đầu vào chụp từ thiết bị bao gồm hai ảnh: thứ nhất là ảnh chụp một ngón cái riêng, thứ hai là ảnh chụp bốn ngón tay còn lại cùng một lúc, do ngón cái ở vị trí riêng biệt so với bốn ngón tay còn lại. Việc chụp bốn ngón tay còn lại cùng một lúc để thuận tiện cho việc ghi nhận hình ảnh, giảm số lượt phải chụp nhiều lần.

Nhiệm vụ của bước 1 là tìm kiếm được vùng chứa từng ngón tay trong khung hình, và cắt ra vùng chứa ngón tay đó. Mô hình học sâu YOLOv5 được huấn luyện trên bộ dữ liệu đã gán nhãn ngón tay được chụp từ các thiết bị di động. Để phù hợp với thiết bị di động, mô hình nhận diện được tối ưu bằng cách chuyển sang dạng mã nhị phân nhằm giảm thiểu kích thước mô hình. Ngoài ra, để giảm thời gian dự đoán của mô hình, khung hình đầu vào sẽ được thay đổi kích thước xuống còn 192×192 .

Bước 2: kiểm tra chất lượng hình ảnh vân tay trong khung hình;

Nhiệm vụ của bước này là kiểm tra độ sắc nét của những đường vân tay trong ảnh đầu vào (chính là hình ảnh ngón tay đã được cắt ra từ ở bước 1). Trình tự của bước này bao gồm ba bước nhỏ được mô tả trong Hình 3, cụ thể như sau:

Bước 2.1: xác định vị trí hình vuông kích thước 100×100 (tham chiếu Hình 3a) nằm ở trung tâm bức ảnh đầu vào. Sau đó, kiểm tra chất lượng vân tay trên hình vuông này thay vì ảnh gốc nhằm giảm thiểu thời gian xử lý của thuật toán.

Bước 2.2: loại bỏ nhiễu trên hình ảnh đầu vào như Hình 3a bằng cách sử dụng bộ lọc Gaussian. Dựa vào thí nghiệm thực tế trên bộ dữ liệu nghiên cứu, bộ lọc Gaussian với cấu hình cửa sổ dịch chuyển có kích thước $ksize = 3 \times 3$, mức độ mờ $\sigma = 1,2$ cho kết quả loại bỏ nhiễu tốt nhất.

Bước 3.2: sử dụng thuật toán Canny nhằm làm rõ các cạnh đường vân với cấu hình ngưỡng dưới $threshold1 = 0$ và ngưỡng trên $threshold2 = 50$ (ngưỡng

này được chọn dựa trên thí nghiệm thực tế trên bộ dữ liệu riêng và cho kết quả tốt nhất); bức ảnh với đường vân sắc nét sau khi qua thuật toán Canny sẽ có mật độ điểm ảnh nổi bật rất cao so với những bức ảnh bị mờ, một ngưỡng phân loại sẽ được đặt ra để dự đoán Hình 3A đạt đủ điều kiện. Trong sáng chế này, ngưỡng được đề xuất dựa trên các đo đạc thí nghiệm thực tế là 2000, tương ứng 20% số lượng điểm ảnh vùng 100×100 .

Bước 3: xác định loại ngón tay;

Dựa trên vị trí của từng ngón tay được xác định trong bước 1, sáng chế đề xuất thuật toán xác định từng loại ngón tay (trong hình ảnh chứa bốn ngón tay, do ngón cái đã được chụp riêng biệt) dựa trên vị trí vật lý thông thường như sau (tham chiếu Hình 6):

- Xác định vị trí ngón trỏ, thông thường sẽ có tọa độ theo trục Oy ($y_{\max}$) là lớn nhất.
- Xác định vị trí ngón giữa, thông thường sẽ có tọa độ theo trục Ox ($x_{\max}$) là lớn nhất.
- Xác định vị trí ngón út, thông thường sẽ có tọa độ theo trục Oy ($y_{\min}$) là nhỏ nhất.
- Ngón áp út là ngón ở vị trí còn lại.

Bước 4: phân đoạn ngón tay, tách từng ngón tay ra khỏi khung hình nền;

Trình tự bước này được mô tả trong Hình 4. Đầu vào sẽ sử dụng hình ảnh ngón tay được cắt ra từ bước 1, để tăng cường chất lượng của thuật toán phân đoạn, hình ảnh ngón tay sẽ được chuẩn hóa về theo trục dọc (tham chiếu Hình 4a).

Tiếp theo, thuật toán GrabCut được sử dụng trên đầu vào hình ảnh như Hình 4a để phân đoạn hình ảnh, tại bước này, sẽ áp dụng một số kỹ thuật tăng độ chính xác, bao gồm:

- Khởi tạo hình chữ nhật ban đầu chứa hình ảnh ngón tay với tọa độ điểm góc trên bên trái $(4, 4)$, tọa độ điểm góc dưới bên phải $(w - 2, h)$ trong đó w, h là chiều rộng, chiều cao khung hình.
- Xác định điểm chắc chắn là nền, vật thể; điểm nền là những điểm có tọa độ từ $(0, h/2 - 40)$ đến $(0, h/2 + 40)$, từ $(w - 2, hw - 40)$ đến $(w - 2, hw - 40)$, từ $(w/2 - 40, 4)$ đến $(w/2 + 40, 4)$; điểm là vật thể có tọa độ từ $(w/2, hw/40)$ đến $(w/2, hw/40)$, từ $(w/2 - 40, hw/40)$ đến $(w/2 + 40, hw/40)$ trong đó w, h là chiều rộng, chiều cao khung hình.

Với những cấu hình như trên, thuật toán GrabCut sẽ cho ra phân đoạn của Hình 4a như trong tham chiếu Hình 4b; sử dụng phép toán “bitwise AND” với hai Hình 4a và Hình 4b sẽ cho ra kết quả như tham chiếu Hình 4c (đã tách nền của hình 4a).

Cuối cùng, thuật toán kiểm tra độ nghiêng của ngón tay được thực hiện trên đầu vào của Hình 4c (tham chiếu Hình 4d). Đầu tiên, xác định được vị trí tọa độ các điểm $E1, E2, F1, F2$ là giao của hai đường thẳng $y = h/4$, $y = 2 * h/3$ với phân đoạn như mô tả trong Hình 4d. Sau đó, xác định vị trí trung điểm $M1, M2$ của hai đoạn thẳng $E1E2$ và $F1F2$. Độ nghiêng của ngón tay được xác định là góc θ giữa hai đường thẳng $M1M2$ và trục Oy theo công thức sau:

$$\cos(\theta) = \frac{M_1M_2 * O_y}{||M_1M_2|| ||O_y||}$$

Trong đó $\cos(\theta)$ là chỉ số cô-sin. Trong sáng chế này, với $\theta > 15^\circ$, ngón tay được dự đoán là bị nghiêng.

Bước 5: xác định vùng có chất lượng ảnh vân tay tốt nhất trên bức ảnh ngón tay;

Nhiệm vụ của bước này là tìm được vùng có chất lượng tốt nhất trên bức ảnh chứa ngón tay từ Hình 4c, trình tự của bước này được mô tả trên Hình 5, cụ thể như sau:

- Bước 5.1: từ ảnh đã phân đoạn (Hình 5a), loại bỏ các phần nền và phần ở viền bằng ngưỡng màu sắc và vị trí, thu được kết quả như Hình 5b.
- Bước 5.2: sử dụng thuật toán Canny với ngưỡng Otsu để tính mật độ cạnh thu được kết quả như Hình 5c.
- Bước 5.3: tìm vùng quan tâm (region of interest – ROI) có mật độ cạnh lớn nhất trên Hình 5c với thuật toán tìm khối có mật độ cạnh lớn nhất sử dụng của số trượt kết hợp trọng số không gian.

Chia Hình 5b thành 16×16 ô hình chữ nhật, trọng số mỗi ô được tính bằng công thức:

$$\text{score}_{ij} = D_{ij} * w_{ij}, \text{ với } 0 \leq i, j \leq 15$$

Trong đó:

- Mật độ cạnh D_{ij} thể hiện độ sắc nét tại đó:

$$D_{ij} = \sum_{p \text{ hiện độ}} (|p| > 10), \text{ với } |p| \text{ là giá trị điểm ảnh tại ô } (i, j).$$

- Hệ số vị trí w_{ij} thể hiện vùng càng trung tâm thì có trọng số càng cao:

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{nếu } i \leq 1 \text{ hoặc } j \leq 1 \text{ hoặc } i \geq 14 \text{ hoặc } j \geq 14 \\ 2^{-0.2 * \frac{(\max(|i-8|, |j-8|))}{8}}, & \text{nếu } 2 \leq i, j \leq 13 \end{cases}$$

- Tìm khối kích thước 11×11 ô có trọng số lớn nhất với thuật toán có độ phức tạp $O(n^2)$, với $n = 16$ là số ô.
- Áp dụng thuật toán tìm vùng quan tâm trên Hình 5b ta thu được kết quả như Hình 5d.

Bước 6: tăng cường hình ảnh;

Nhiệm vụ của bước này là chuyển đổi ảnh đầu vào từ bước 5 sang dạng xám giống ảnh đầu ra của máy quét vật lý.

Tại bước xử lý đầu, ảnh được cho qua một bộ lọc thông thấp GaussianBlur với kích thước $kernel_size = 15$ và $variance = 15$ để thu được ảnh thông thấp. Ảnh đồng thời được đưa qua một bộ lọc thông cao, là nghịch đảo của bộ lọc thông thấp GaussianBlur ($kernel_size = 3, variance = 3$) thu được ảnh thông cao. Từ hai ảnh thông thấp và thông cao, tính ra ảnh thông dải của ảnh đầu vào. Sau đó, đưa ảnh thông dải qua bộ cân bằng độ tương phản lược đồ xám với ngưỡng cắt tương tương phản là 230, kích thước $tile_grid = 17$ cho ra ảnh kết quả cuối cùng. Dựa vào thí nghiệm thực tế trên bộ dữ liệu nghiên cứu, các kích thước và ngưỡng trên được lựa chọn vì đưa ra kết quả tốt nhất.

Mặc dù các mô tả nêu trên chứa nhiều chi tiết cụ thể, chúng không được coi là giới hạn về phương án thực thi sáng chế, mà chỉ nhằm mục đích minh họa một số phương án thực thi được ưu tiên.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm, bao gồm các bước sau:

bước 1: phát hiện từng ngón tay trong khung hình;

tại bước này, sử dụng mô hình học sâu yolov5 để tìm kiếm ra vùng chứa ngón tay (hai ảnh đầu vào, một ảnh chụp ngón cái riêng biệt, một ảnh chụp đồng thời bốn ngón tay còn lại), sau đó sẽ cắt vùng chứa từng ngón tay; ngoài ra để giảm thiểu chi phí tính toán, phù hợp với thiết bị di động, mô hình nhận diện sẽ được chuyển sang mã nhị phân;

bước 2: kiểm tra chất lượng hình ảnh vân tay trong khung hình;

tại bước này, thuật toán canny được áp dụng kết hợp với bộ lọc gaussian trên hình vuông kích thước 100×100 tại trung tâm bức ảnh ngón tay cho ra điểm sắc nét sau đó kết hợp với ngưỡng 2000 điểm ảnh nhằm dự đoán hình ảnh đường vân “đủ điều kiện” hay “không đủ điều kiện” để ghi nhận;

bước 3: xác định loại ngón tay;

tại bước này, thuật toán xác định loại ngón tay trên ảnh chụp bốn ngón tay đồng thời, dựa trên vị trí vật lý được sử dụng giúp tìm ra ngón trỏ, ngón giữa, ngón áp út và ngón út;

bước 4: phân đoạn, tách từng hình ảnh ngón tay ra khỏi khung hình nền;

tại bước này, thuật toán grabcut được áp dụng: đầu vào là hình ảnh ngón tay từ bước 3 được chuẩn hóa về theo trục dọc, đầu ra là hình ảnh phân đoạn và tách nền từng ngón tay; cuối cùng thuật toán kiểm tra độ nghiêng sẽ tìm ra góc lệch giữa ngón tay và trục dọc, kết hợp với ngưỡng phân loại để dự đoán hình ảnh ngón tay “đủ điều kiện” hay “không đủ điều kiện”;

bước 5: xác định vùng có chất lượng hình ảnh vân tay tốt nhất trên bức ảnh ngón tay;

tại bước này, một thuật toán lần đầu tiên đề xuất trong sáng chế này được sử dụng dựa trên thuật toán canny kết hợp cửa sổ trượt có trọng số không gian;

bước 6: tăng cường hình ảnh;

tại bước này, một bộ lọc thông lọc nhiễu (kết hợp từ một bộ lọc thông thấp và một bộ lọc thông cao) được sử dụng, tiếp đó cân bằng lược đồ điểm ảnh (local histogram normalization) để làm nổi bật các đường vân tay.

2. Phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm theo điểm 1, trong đó:

ở bước 2, để thu được hình ảnh ngón tay với đường vân sắc nét; một thuật toán dự đoán gồm ba bước nhỏ được sử dụng với các tham số như sau: bước 2.1, xác định vị trí hình vuông kích thước 100×100 điểm ảnh ở trung tâm bức ảnh chứa ngón tay được xác định ở bước 1, bước 2.2 sử dụng bộ lọc gaussian với cấu hình cửa sổ dịch kích thước $ksize = 3 \times 3$, mức độ mờ $\sigma = 1,2$, bước 2.3 sử dụng thuật toán Canny nhằm làm rõ các cạnh đường vân với cấu hình ngưỡng dưới $threshold1 = 0$ và ngưỡng trên $threshold2 = 50$.

3. Phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm theo điểm 1, trong đó:

ở bước 4, để thu được hình ảnh ngón tay phân đoạn, tách khỏi khung hình nền, thuật toán grabcut được sử dụng với các tham số như sau: hình chữ nhật khởi tạo ban đầu chứa hình ảnh ngón tay với tọa độ điểm góc trên bên trái $(4,4)$, tọa độ điểm góc dưới bên phải $(w-2, h)$, điểm nền có tọa độ từ $(0, h/2 - 40)$ đến $(0, h/2 + 40)$, từ $(w-2, hw-40)$ đến $(w-2, hw)$, từ $(w/2 - 40, 4)$ đến $(w/2 + 40, 4)$; điểm là vật thể có tọa độ từ $(w/2, hw/40)$ đến $(w/2, hw)$, từ $(w/2 - 40, hw/40)$ đến $(w/2 + 40, hw/40)$ trong đó w, h là chiều rộng, chiều cao khung hình.

4. Phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm theo điểm 1, trong đó:

ở bước 4, thuật toán kiểm tra độ nghiêng của ngón tay được thực hiện như sau: đầu tiên, xác định vị trí tọa độ các điểm $E1, E2, F1, F2$ là giao của hai đường thẳng $y = h/4, y = 2 \times h/3$ với phân đoạn như hình, sau đó, xác định vị trí trung điểm $M1, M2$ của hai đoạn thẳng $E1E2$ và $F1F2$, độ nghiêng ngón tay được xác định là góc θ giữa hai đường thẳng $M1M2$ và trục Oy theo công thức sau:

$$\cos(\theta) = \frac{M_1 M_2 \cdot O_y}{\|M_1 M_2\| \|O_y\|}$$

trong đó $\cos(\theta)$ là chỉ số cô-sin; trong sáng chế này, với $\theta > 15^\circ$, ngón tay được dự đoán là bị nghiêng.

5. Phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm theo điểm 1, trong đó:

ở bước 5, để tìm được vùng có chất lượng ảnh tốt nhất trên bức ảnh chứa ngón tay, bước này sử dụng ba bước nhỏ như sau:

bước 5.1: từ ảnh đã phân đoạn, loại bỏ các phần nền và phần ở viền bằng ngưỡng màu sắc và vị trí;

bước 5.2: sử dụng thuật toán canny với ngưỡng otsu để tính mật độ cạnh;

bước 5.3: tìm vùng ROI có mật độ cạnh lớn nhất với thuật toán tìm khối có mật độ cạnh lớn nhất sử dụng cửa sổ trượt kết hợp trọng số không gian; chia ảnh thành 16×16 ô hình chữ nhật, trọng số mỗi ô được tính bằng công thức:

$$\text{score}_{ij} = D_{ij} * w_{ij}, \text{ với } 0 \leq i, j \leq 15$$

trong đó:

mật độ cạnh D_{ij} thể hiện độ sắc nét tại đó:

$$D_{ij} = \sum_{p \text{ hiện độ}} (|p| > 10), \text{ với } |p| \text{ là giá trị điểm ảnh tại ô } (i, j);$$

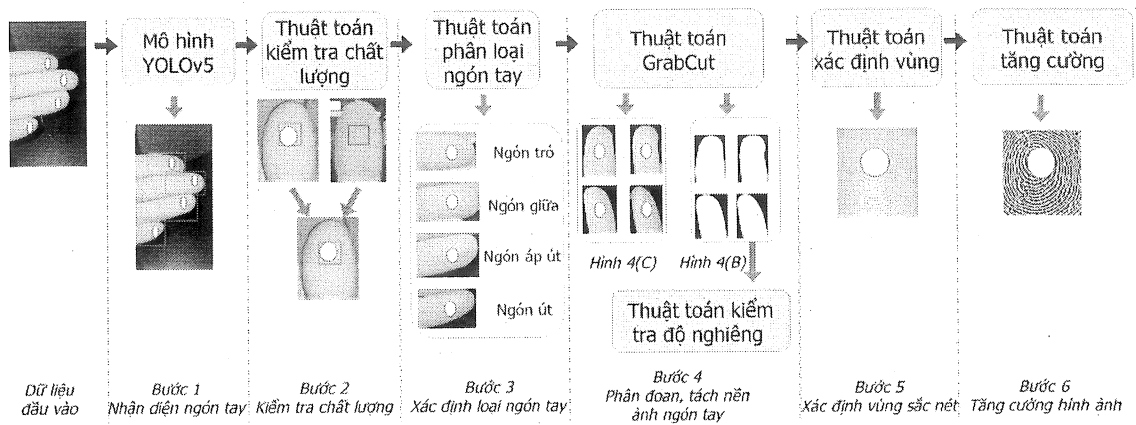
hệ số vị trí w_{ij} thể hiện vùng càng trung tâm thì có trọng số cao:

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ nếu } i \leq 1 \text{ hoặc } j \leq 1 \text{ hoặc } i \geq 14 \text{ hoặc } j \geq 14 \\ 2^{-0.2 * \frac{(\max(|i-8|, |j-8|))}{8}}, \text{ nếu } 2 \leq i, j \leq 13 \end{cases};$$

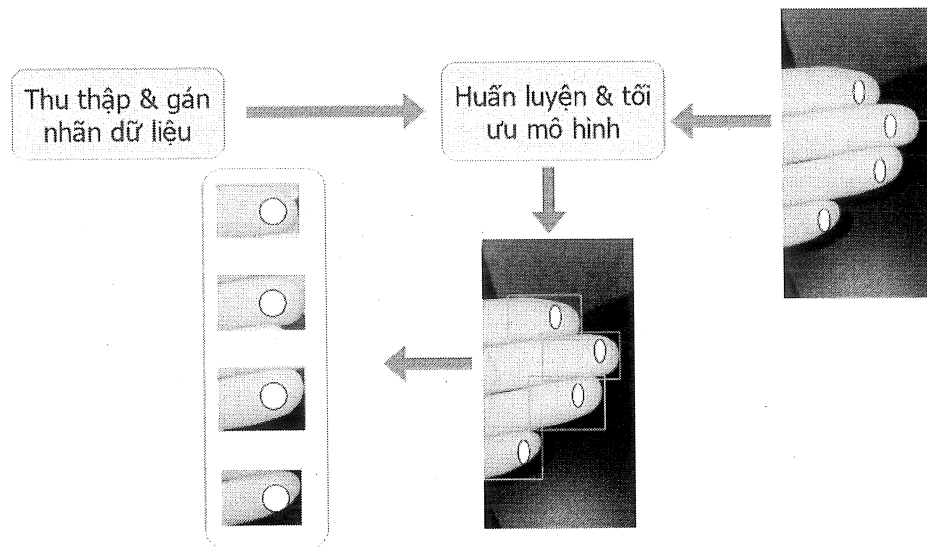
tìm khối kích thước 11×11 ô có trọng số lớn nhất với thuật toán có độ phức tạp $O(n^2)$, với $n = 16$ là số ô.

6. Phương pháp tự động ghi nhận và tăng cường chất lượng hình ảnh vân tay không chạm theo điểm 1, trong đó:

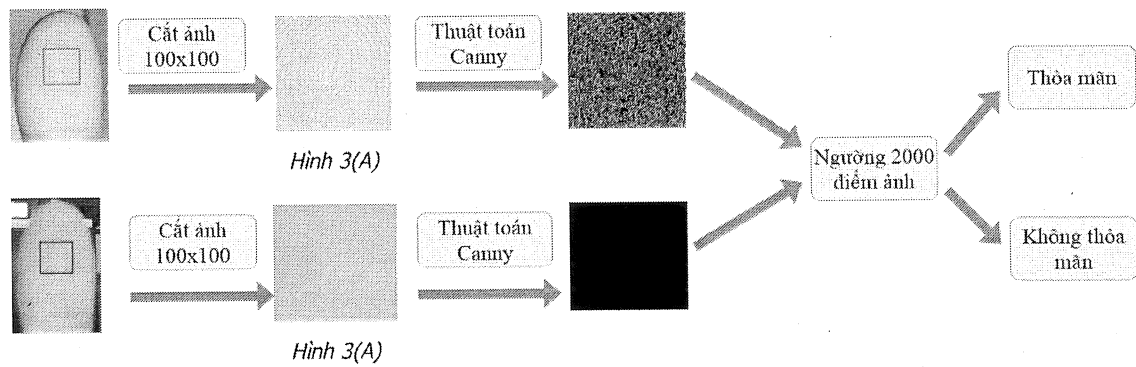
ở bước 6, để thu được ảnh đầu ra giống ảnh của máy quét vật lý, sử dụng hai bộ lọc thông thấp gaussianBlur và thông cao gaussianblur với kích thước $\text{kernel_size} = 15$ và $\text{variance} = 15$ để thu được ảnh thông dải của ảnh đầu vào; cuối cùng, đưa ảnh thông dải qua bộ cân bằng độ tương phản lược đồ xám với ngưỡng cắt tương phản là 230, kích thước $\text{tile_grid} = 17$ cho ra ảnh kết quả cuối cùng.



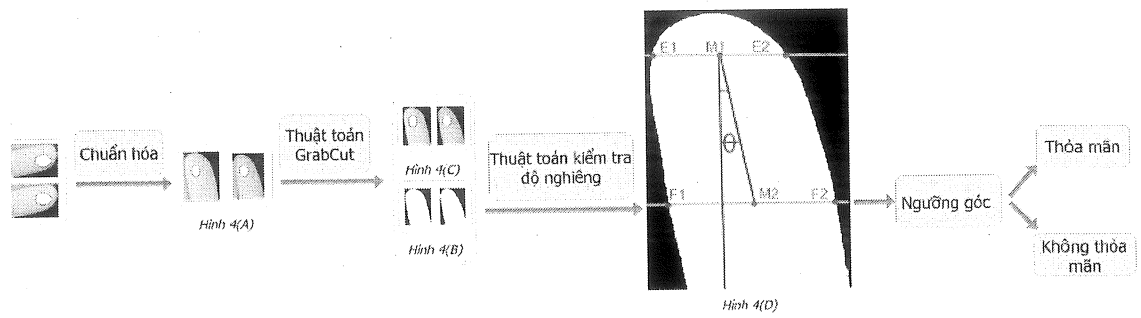
Hình 1



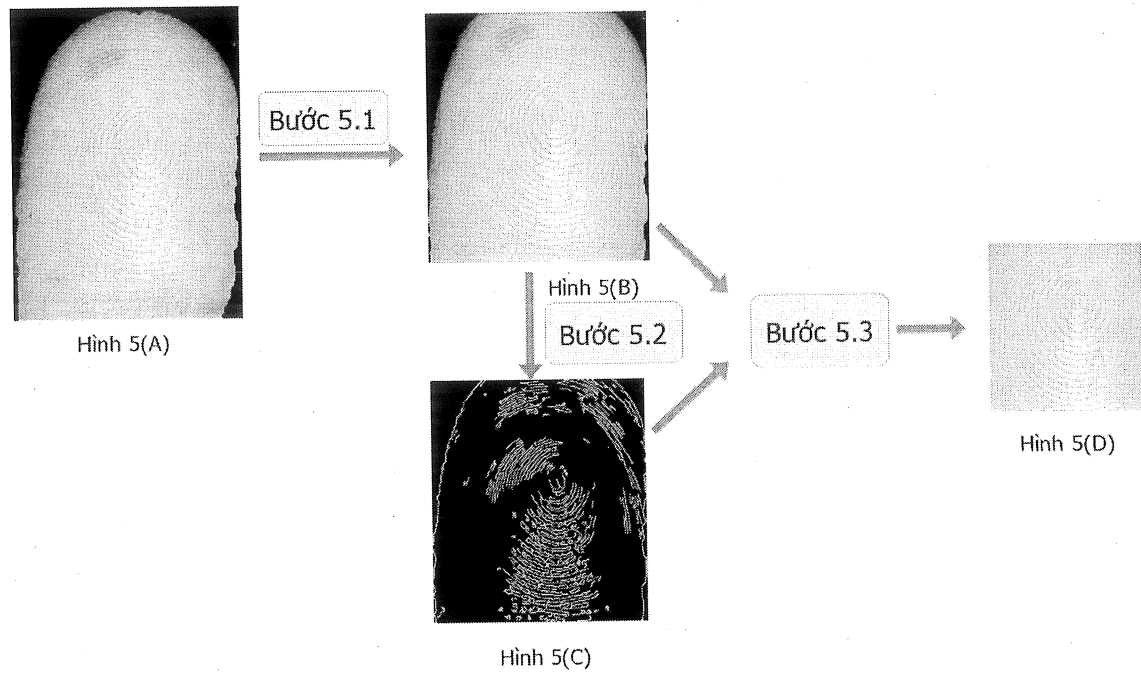
Hình 2



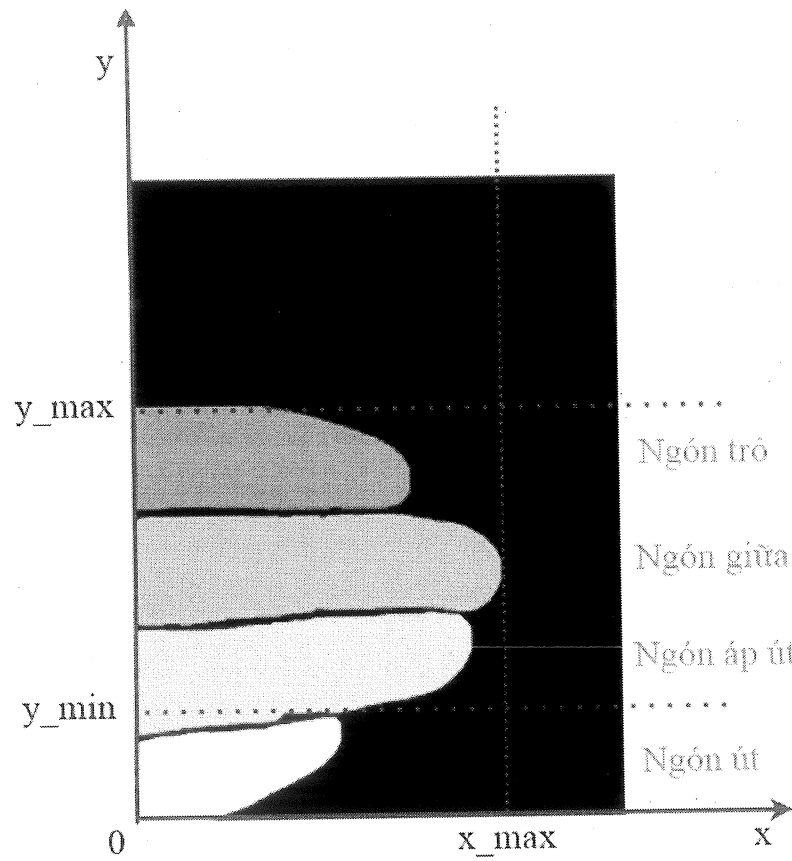
Hình 3



Hình 4



Hình 5



Hình 6