

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN



NHẬN DẠNG
BÁO CÁO SEMINAR

FINGERPRINT RECOGNITION

-- Giảng viên lý thuyết --

Lê Hoàng Thái

-- Giảng viên hướng dẫn thực hành --

Nguyễn Ngọc Thảo, Lê Thanh Phong

TP Hồ Chí Minh, tháng 6 năm 2021

MỤC LỤC

I. THÔNG TIN NHÓM.....	3
II. NỘI DUNG BÁO CÁO	3
1. Giới thiệu	3
1.1. Đặc điểm vân tay.....	3
1.2. Giới thiệu bài toán	3
1.3. Động lực nghiên cứu	4
2. Kiến thức trong sách	4
2.1. Lịch sử và ứng dụng	4
2.2. Cảm biến vân tay	5
2.3. Rút trích đặc trưng.....	6
2.4. Đối sánh	13
3. Một số phương pháp state-of-the-art (paper)	16
3.1. Robust Minutiae Extractor: Integrating Deep Networks and Fingerprint Domain Knowledge.....	16
3.2. Partial Fingerprint Matching Using Minutiae and Ridge Shape Features for Small Fingerprint Scanners	17
3.3. PoreNet: CNN-based Pore Descriptor for High-resolution Fingerprint Recognition	19
4. Thực nghiệm và đánh giá.....	20
4.1. Phương pháp thực nghiệm.....	20
4.2. Datasets sử dụng	21
4.3. Kết quả thực nghiệm:.....	21
4.4. Đối chiếu kết quả với các phương pháp khác:.....	22
III. TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	23

I. THÔNG TIN NHÓM

STT	MSSV	Họ và tên
1	18120097	Đinh Hữu Phúc Trung
2	18120359	Nguyễn Văn Hậu
3	18120649	Nguyễn Phạm Phúc Việt

II. NỘI DUNG BÁO CÁO

1. Giới thiệu

1.1. Đặc điểm vân tay

Những kết quả nghiên cứu của giải phẫu học cho biết chỉ những phần không có lông của cơ thể như lòng bàn tay và gan bàn chân được bao phủ bởi các mẫu vân được hình thành từ những lần nổi tạo ma sát. Các vân này hình thành đầy đủ từ trong bào thai 7 tháng và không thay đổi cho đến khi chết.

Các mẫu vân được xác định bởi nhiều phần tử khác nhau bên dưới (chẳng hạn các tuyến mồ hôi, dây thần kinh, mạch máu...). Các vết cắt sâu có thể nằm chèn lên mẫu vân nhưng phần còn lại của mẫu vân không thay đổi. Tóm lại dấu vân tay có những đặc điểm riêng biệt mang tính cá thể rất cao như sau:

- Dấu vân tay là dấu ấn riêng biệt của mỗi người.
- Tuyệt đối không thể có 2 dấu vân tay trùng nhau. Xác suất để hai cá thể trùng nhau về dấu vân là $1/64$ tỷ. Kể cả trường hợp đồng sinh cùng trứng cũng không xuất hiện sự trùng khớp.
- Dấu hiện nhận dạng vân tay sẽ vĩnh viễn không thay đổi trừ những tác động nghiêm trọng của môi trường như tai nạn.

1.2. Giới thiệu bài toán

Nhờ các đặc tính trên mà dấu vân tay trở thành một đề tài nhận dạng sinh trắc học hấp dẫn.

Nhận dạng vân tay là quá trình so sánh hai mẫu vân ma sát từ ngón tay để xác định xem những dấu vân này có thể đến từ cùng một cá nhân hay không.

- Input: Dấu vân tay cần kiểm chứng và dấu vân tay mẫu.
- Output: Kết quả xác thực (kết luận hai dấu vân tay có cùng từ một ngón tay hay không).

1.3. Động lực nghiên cứu

Về khoa học:

- Tăng độ chính xác và tốc độ xử lý.
- Thúc đẩy sự phát triển trong lĩnh vực sinh trắc học.

Về thực tiễn:

- Nâng cao bảo mật và hạ giá thành các sản phẩm.
- Đẩy nhanh quá trình truy vết tội phạm.

2. Kiến thức trong sách

2.1. Lịch sử và ứng dụng

Dấu vân tay của con người đã được phát hiện trên rất nhiều các hiện vật khảo cổ. Mặc dù những phát hiện này đã cho thấy người cổ đại đã nhận thức được tính riêng biệt của vân tay, nhưng mãi đến cuối thế kỷ thứ XVI, kỹ thuật khoa học hiện đại về dấu vân tay mới bắt đầu được khởi xướng. Năm 1686, Marcello Malpighi, một giáo sư giải phẫu học tại trường đại học Bologna, đã ghi chú lại trong các bài viết của mình về các đường vân của vân tay. Kể từ đó, rất nhiều nhà nghiên cứu đã đầu tư rất nhiều công sức cho việc nghiên cứu dấu vân tay. Năm 1880, Henry Fauld, là người đầu tiên đề xuất tính riêng biệt của dấu vân tay dựa trên một quan sát thực nghiệm. Những phát hiện này là nền tảng của công cuộc nghiên cứu nhận dạng dấu vân tay hiện đại. Những năm cuối của thế kỷ XIX, Sir Francis Galton đã tiến hành nghiên cứu sâu về dấu vân tay; ông ấy đã khai sinh ra khái niệm điểm đặc trưng của vân tay vào năm 1888. Một bước tiến quan trọng của nhận dạng vân tay là vào năm 1899, Edward Henry đã sáng lập ra “Henry system” cho việc phân loại vân tay.

Đầu của thế kỉ XX, nhận dạng vân tay chính thức được chấp nhận là một phương thức nhận dạng cá nhân hợp lệ và trở thành một tiêu chuẩn trong pháp y. Các cơ quan nhận dạng vân tay được thành lập trên toàn thế giới và cơ sở dữ liệu dấu vân tay tội phạm cũng được thành lập. Các kỹ thuật nhận dạng vân tay khác nhau, bao gồm thu thập dấu vân tay, phân loại dấu vân tay và đối sánh dấu vân tay đã được phát triển. Năm

1924, bộ phận nhận dạng vân tay của FBI đã được thành lập với cơ sở dữ liệu gồm 810000 thẻ vân tay. Với sự phát triển nhanh chóng của nhận dạng vân tay trong pháp y, cơ sở dữ liệu vân tay đã phát triển lớn đến mức nhận dạng vân tay thủ công không còn khả thi; chẳng hạn, tổng số thẻ vân tay trong cơ sở dữ liệu dấu vân tay của FBI là hơn 200 triệu và vẫn đang tăng liên tục. Với hàng nghìn yêu cầu được gửi tới hằng ngày, ngay cả một nhóm hơn 1300 chuyên gia về dấu vân tay cũng không thể đưa ra phản hồi kịp thời cho những yêu cầu này. Từ đầu những năm 1960, FBI, Bộ Nội vụ của Vương quốc Anh và Sở Cảnh sát Paris bắt đầu đầu tư rất nhiều công sức vào việc phát triển Hệ thống nhận dạng dấu vân tay tự động (AFISs). Dựa trên những quan sát về cách các chuyên gia nhận dạng vân tay, ba vấn đề chính trong việc thiết kế AFISs là: thu thập dấu vân tay kỹ thuật số, trích xuất đường vân cục bộ, và đối sánh đặc trưng của đường vân. Những nỗ lực này đã đạt được thành công, ngày nay, hầu hết mọi cơ quan thực thi pháp luật trên thế giới đều sử dụng hệ thống AFISs. Các hệ thống này đã cải thiện đáng kể năng suất hoạt động của các cơ quan thực thi pháp luật và giảm chi phí thuê và đào tạo các chuyên gia về dấu vân tay.

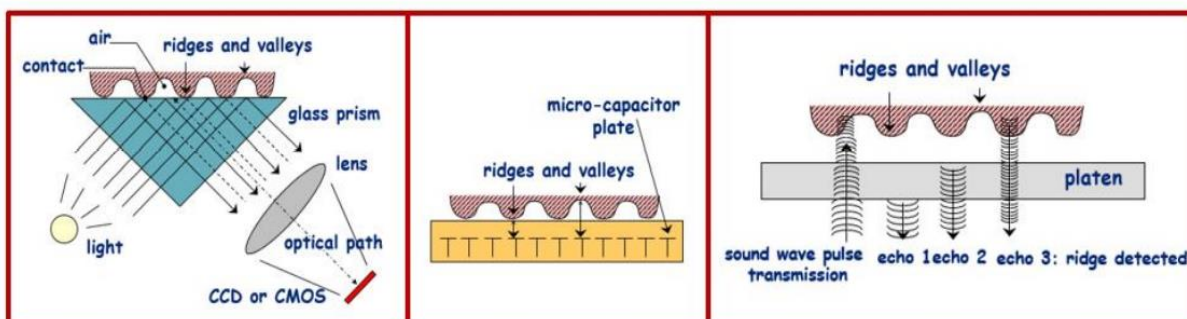
Công nghệ nhận dạng vân tay không dừng lại chỉ cho mục đích pháp lý. Nó đã được sử dụng một cách chính thức cho mục đích kinh doanh. Vân tay ngày nay đang được sử dụng như là một phương pháp nhận dạng hiệu quả và chắc chắn trong nhiều lĩnh vực, bao gồm tài chính, y học, kinh tế điện tử, ứng dụng điều khiển truy nhập và khóa cửa... Ứng dụng hiện đại nhất của công nghệ vân tay là nhờ vào phần lớn của sự phát triển của mắt đọc vân tay dạng nén một cách phi thường. Nhờ hiệu suất nhận dạng tốt và các thiết bị thu thập vân tay ngày càng phát triển, các hệ thống sinh trắc học dựa trên dấu vân tay đã trở nên rất phổ biến và đang được triển khai trong một loạt các ứng dụng, chẳng hạn như: đăng nhập PC, laptop, smartphone, ATM, máy chấm công...

2.2. Cảm biến vân tay

Trước đây, trong các ứng dụng thực thi pháp luật, việc thu thập dấu vân tay được thực hiện bằng cách sử dụng “ink-technique”: ngón tay của một người được phết mực đen và ép vào thẻ giấy; thẻ này sau đó được quét bằng cách sử dụng máy quét giấy thông thường, sau đó tạo ra hình ảnh kỹ thuật số cuối cùng. Quy trình này gọi là quy trình thu thập dấu vân tay ngoại tuyến hay cảm biến ngoại tuyến.

Ngày nay, hầu hết các AFIS dân sự và hình sự đều chấp nhận hình ảnh kỹ thuật số quét trực tiếp bằng máy quét vân tay điện tử. Phương pháp này không còn cần dùng mực như trước nữa, một người chỉ cần đơn giản ấn ngón tay của mình lên bề mặt của máy quét vân tay điện tử. Bộ phận quan trọng nhất của máy quét này là bộ phận cảm biến.

Cảm biến vân tay là một hệ thống có khả năng chụp và lưu bản in vân tay của người sử dụng một cách nhanh chóng. Cảm biến vân tay có 3 loại chính phổ biến hiện nay là: cảm biến quang học (Hình 2.2a), cảm biến điện dung (Hình 2.2b) và cảm biến sóng siêu âm (Hình 2.2c).



Hình 2.2a

Hình 2.2b

Hình 2.2c

- *Cảm biến quang học* sử dụng nguyên lý phản xạ toàn phần (những phần được vân tay chạm vào sẽ hấp thụ ánh sáng, những phần không được chạm sẽ phản xạ lại) để ghi lại hình ảnh bề mặt lồi lõm của ngón tay.
- *Cảm biến điện dung* hoạt động dựa trên nguyên lý thay đổi điện dung của cảm biến phát ra khi có sự tác động của môi chất. Cảm biến điện dung hoạt động tương tự như cách màn hình cảm ứng hoạt động, tuy nhiên độ nhạy và độ chi tiết cao hơn rất nhiều.
- *Cảm biến sóng siêu âm* sử dụng sóng siêu âm để quét bề mặt của ngón tay và thu về hình ảnh 3D của dấu vân tay. Cảm biến sóng siêu âm vẫn hoạt động tốt với ngón tay bị ướt, 2 loại còn lại thì không.

2.3. Rút trích đặc trưng

Trong ảnh vân tay, đường vân có màu tối và các đường rãnh có màu sáng. Đường vân và đường rãnh thường song song với nhau (Hình 2.3a). Mẫu vân tay bao gồm một

hoặc nhiều vùng chứa các đường vân có hình dạng đặc biệt. Những vùng này (còn được gọi là vùng kỳ dị - singularity) có thể được phân loại thành 3 kiểu: loop, delta và whorl (Hình 2.3b).

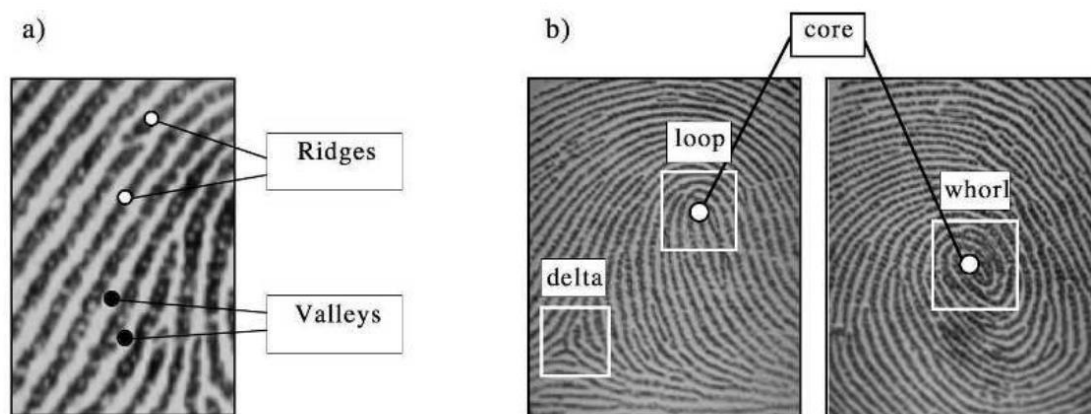
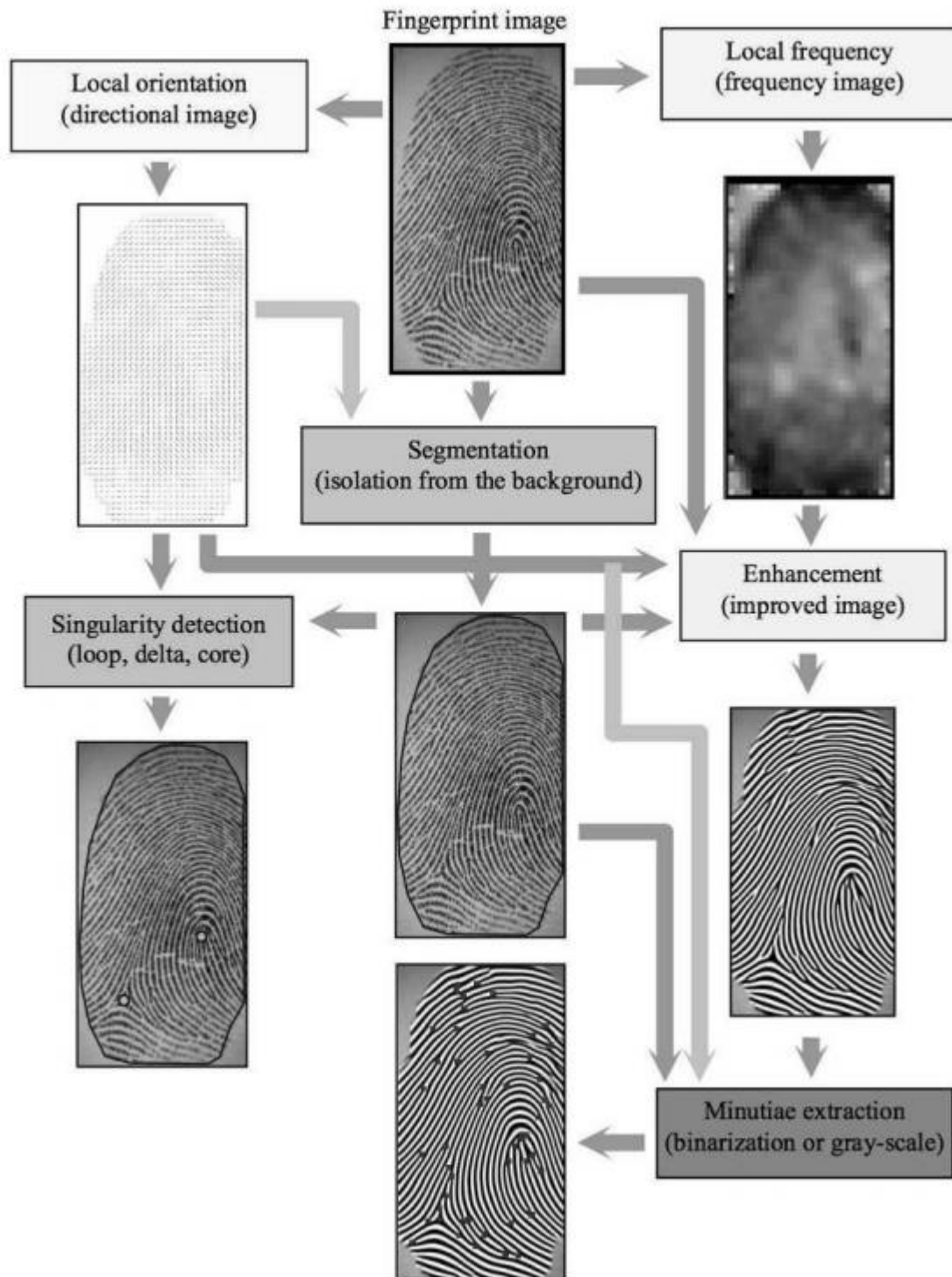


Fig. 2.3. a) Ridges and valleys in a fingerprint image; b) singular regions (white boxes) and core points (circles) in fingerprint images.

Các điểm đặc trưng (minutiae) có thể tìm thấy trong mẫu vân tay. Điểm đặc trưng là những điểm khác nhau mà đường vân bị ngắt quãng. Ví dụ, đường vân có thể đột ngột kết thúc (termination) hoặc có thể chia thành hai đường vân mới (bifurcation) (Hình 2.3c). Thông thường chỉ có hai loại điểm đặc trưng này được sử dụng trong việc nhận dạng vân tay.



Hình 2.3c. Termination (màu trắng) và bifurcation (màu xám)

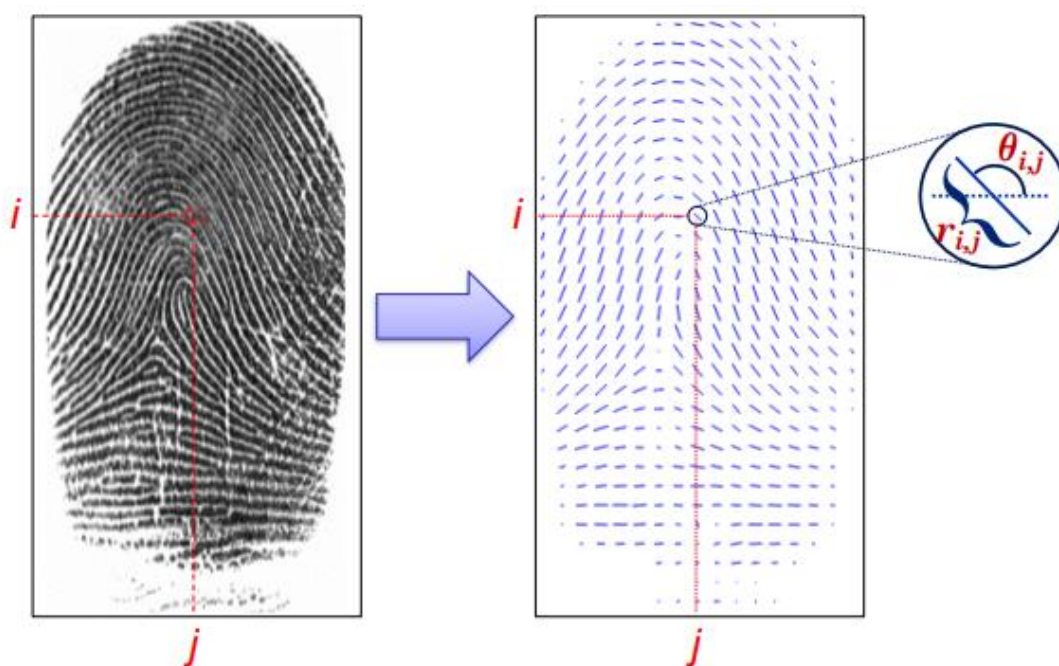


Hình 2.3d. Các bước rút trích đặc trưng của ảnh vân tay

Hình trên (Hình 2.3d) biểu diễn các bước trong quá trình rút trích đặc trưng của ảnh vân tay, sau đây ta sẽ đi vào cụ thể từng bước:

2.3.1. Hướng cục bộ của đường vân

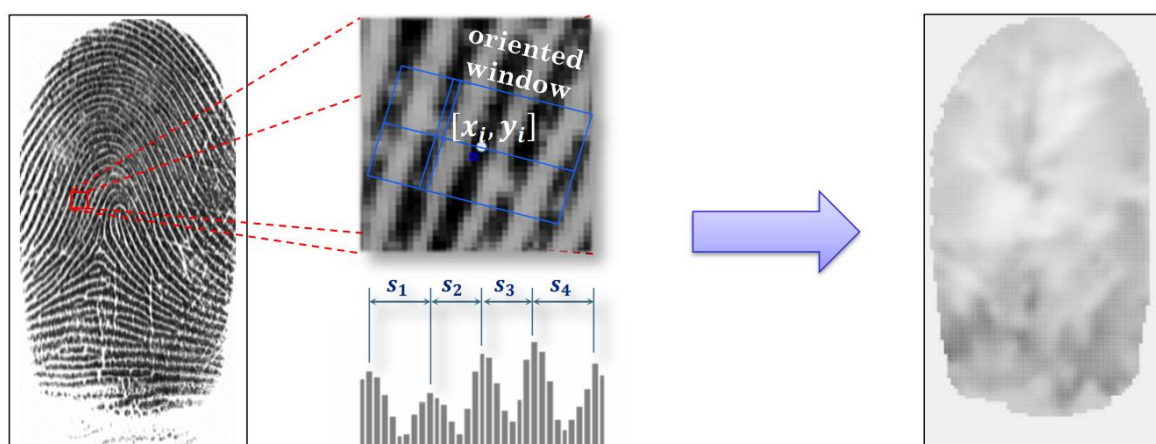
Hướng cục bộ của đường vân tại điểm (i, j) là góc $\theta_{i,j}$ tạo bởi đường vân đi qua một lân cận nhỏ bất kì có tâm là (i, j) với trục hoành (Hình 2.3.1a). Cách tiếp cận đơn giản nhất để trích xuất các hướng cục bộ của đường vân là dựa trên tính toán góc pha gradient, đã được đề xuất bởi Donahue và Rokhlin; Ratha, Chen và Jain; Bazen và Gerez.



Hình 2.3.1a

2.3.2. Tần số cục bộ của đường vân

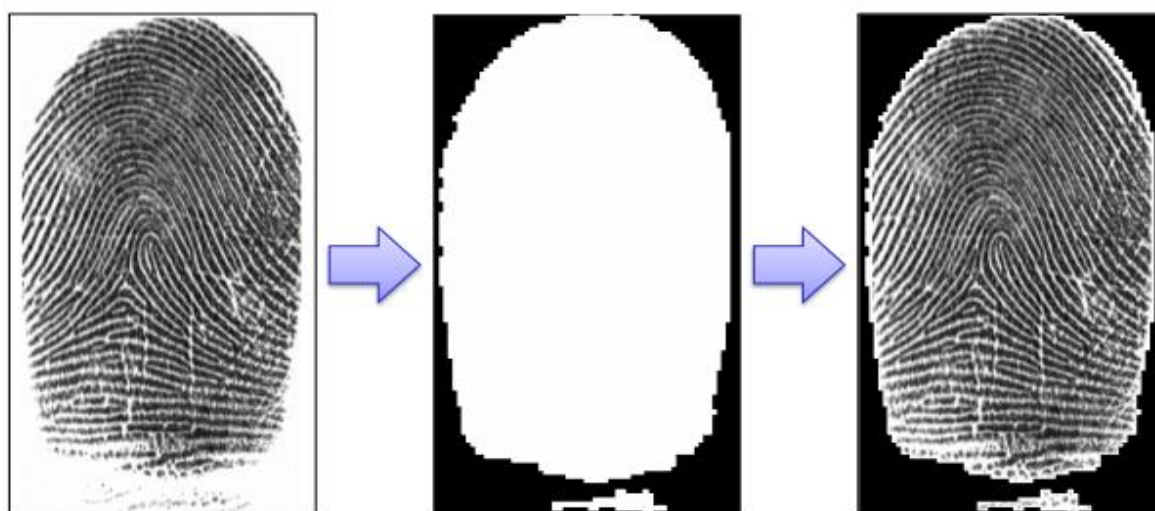
Tần số cục bộ của đường vân f_{xy} tại điểm (x, y) là số lượng đường vân trên một đơn vị chiều dài dọc theo một đoạn có trung điểm tại (x, y) và vuông góc với hướng cục bộ của đường vân θ_{xy} (Hình 2.3.2a). Một phương pháp khả thi là đếm số lượng pixel trung bình giữa hai đỉnh liên tiếp của mức xám dọc theo hướng bình thường của hướng cục bộ.



Hình 2.3.2a

2.3.3. Phân đoạn ảnh

Một ảnh vân tay thường bao gồm các vùng khác nhau như: vùng không chứa đường vân, vùng chứa đường vân rõ và vùng chứa đường vân bị mờ. Phân đoạn vân tay là quá trình loại bỏ vùng không chứa đường vân và các vùng chứa đường vân bị mờ không có khả năng khôi phục để tránh việc phát hiện sai các đặc trưng (Hình 2.3.3a).



Hình 2.3.3a

2.3.4. Phát hiện vùng kỳ dị (singularity)

Hầu hết các phương pháp phát hiện singularity được đề xuất trong tài liệu đều hoạt động dựa trên ảnh hưởng của dấu vân tay. Phương pháp được biết đến nhiều nhất là phương pháp dựa vào chỉ số Poincare (Kawagoe và Tojo). Một số hướng tiếp cận khác cũng đã được đề xuất bao gồm các loại chủ yếu sau: 1) các phương pháp dựa trên đặc

điểm cục bộ của ảnh định hướng, 2) các phương pháp dựa trên phân vùng, 3) các phương pháp phát hiện lỗi dấu vân tay.

2.3.5. Tăng cường ảnh

Hiệu suất của thuật toán rút trích đặc trưng và kỹ thuật nhận dạng vân tay phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng hình ảnh đầu vào của dấu vân tay. Trong thực tế, khoảng 10% hình ảnh dấu vân tay có chất lượng kém do ảnh hưởng bởi các yếu tố như tình trạng da (ướt hoặc khô, vết cắt, vết bầm), nhiễu cảm biến, áp lực ngón tay không chính xác hay ngón tay có chất lượng thấp sẵn (như ở người cao tuổi, người lao động chân tay thường xuyên).

Mục tiêu của tăng cường ảnh là cải thiện chất lượng của ảnh vân tay ở các vùng có thể khôi phục và đánh dấu các vùng không thể khôi phục (vùng nhiễu) để xử lý thêm. Kỹ thuật thường xuyên được sử dụng nhất là kỹ thuật dựa trên các bộ lọc theo ngữ cảnh (contextual filters). Các đặc tính của bộ lọc theo ngữ cảnh cục bộ được xác định bởi hướng cục bộ của đường vân và tần số cục bộ của đường vân. Một bộ lọc thích hợp điều chỉnh theo tần số và hướng cục bộ của đường vân có thể loại bỏ hiệu quả các vùng nhiễu và giữ lại cấu trúc chính xác của dấu vân tay.

2.3.6. Rút trích các điểm đặc trưng (minutiae)

Hầu hết các phương pháp rút trích đặc trưng được đề xuất yêu cầu ảnh vân tay phải chuyển đổi từ dạng gray-scale sang hình ảnh nhị phân. Các hình ảnh nhị phân thu được từ quá trình nhị phân hóa được chuyển đến giai đoạn làm mỏng, giai đoạn này giảm độ rộng của đường vân còn 1 pixel. Cuối cùng, bằng một phép quét hình ảnh đơn giản, ta có thể phát hiện các pixel tương ứng với các điểm đặc trưng. (Như trong hình bên dưới)

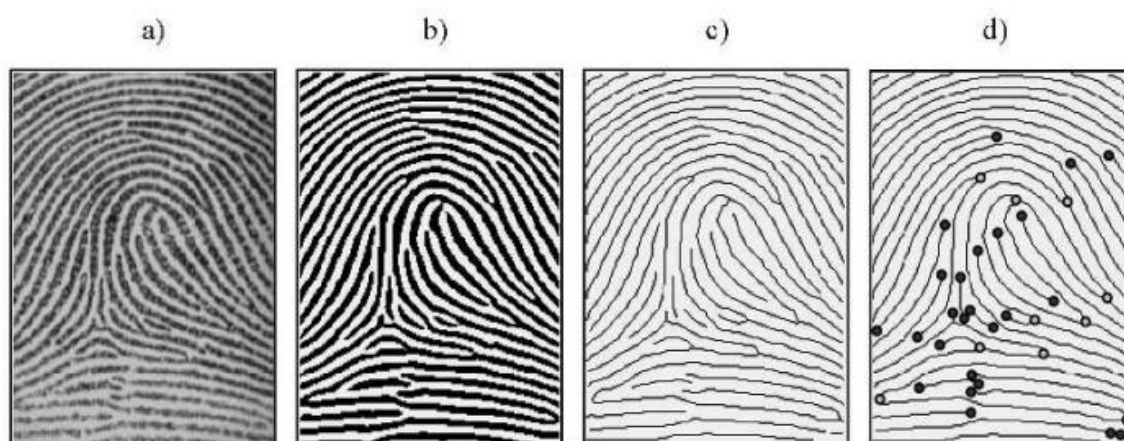


Fig. 2.6. a) A fingerprint gray-scale image; b) the image obtained after enhancement and binarization; c) the image obtained after thinning; d) termination and bifurcation minutiae detected through the pixel-wise computation of the crossing number.

Một số phương pháp rút trích đặc trưng khác sử dụng trực tiếp ảnh dạng gray-scale mà không nhị phân hóa và làm mỏng. Các phương pháp này được phát triển để khắc phục các vấn đề như: i) một lượng thông tin có thể bị mất trong quá trình nhị phân hóa, ii) quá trình làm mỏng có thể tạo ra nhiều điểm đặc trưng giả, iii) hầu hết các kỹ thuật nhị phân hóa không cho ra kết quả tốt khi áp dụng với ảnh có chất lượng thấp. Maio và Maltoni đề xuất một kỹ thuật rút trích đặc trưng trực tiếp trên ảnh gray-scale, với ý tưởng cơ bản là theo dấu các đường vân trong ảnh gray-scale, tức là lần theo hướng cục bộ của đường vân.

Giai đoạn hậu xử lý (được gọi là giai đoạn lọc điểm đặc trưng) thường hữu ích trong việc loại bỏ các điểm đặc trưng giả trong các vùng bị nhiễu hoặc được tạo ra bởi các bước xử lý trước.

Một trong những thuật toán phát hiện các điểm minutiae được sử dụng là **Crossing Number** (CN) [9]. Thuật toán dùng một cửa sổ kích thước 3×3 pixel, lấy tất cả các điểm ảnh trong cửa sổ, sau đó khảo sát giá trị logic của các điểm ảnh xung quanh điểm ảnh $[i, j]$ ở chính giữa cửa sổ đó. Tùy vào kết quả tính toán của biểu thức CN thì kết luận: điểm $[i, j]$ đang xét là một điểm phân nhánh, điểm cụt hay đang nằm trên một đường vân. Công thức tính như sau:

$$cn(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |p_i - p_{i+1}| \quad p_9 = p_1$$

Ảnh sử dụng phát hiện các minutiae phải là ảnh nhị phân, do đó $val(p) \in \{0, 1\}$, các biến p_1, p_2, \dots, p_8 thứ tự tạo thành các điểm lân cận điểm giữa cửa sổ đang khảo sát xét theo một chiều thuận hoặc ngược kim đồng hồ. Khi đó định nghĩa điểm $[i, j]$ đang xét là:

- Điểm nằm trên đường vân nếu $cn(p) = 2$.
- Điểm kết thúc (termination minutiae) nếu $cn(p) = 1$.
- Điểm rẽ nhánh (bifurcation minutiae) nếu $cn(p) = 3$.

0	0	1
0	1	0
0	0	0

a) $cn(p)=1$

1	0	0
0	1	0
0	0	1

b) $cn(p)=2$

1	0	1
0	1	0
0	1	0

c) $cn(p)=3$

Hình 2.3.6. a) điểm kết thúc; b) điểm trên đường vân; c) điểm rẽ nhánh

2.4. Đối sánh

Việc đối sánh các dấu vân tay có chất lượng cao không khó và mọi thuật toán hợp lý đều có thể thực hiện với độ chính xác cao. Tuy nhiên, khi đối sánh các dấu vân tay có chất lượng thấp, quá trình có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như: i) phép dịch chuyển và phép xoay, ii) biến dạng phi tuyến tính, iii) áp lực và tình trạng da khác nhau, iv) lỗi trích xuất đặc trưng.

Đa phần các phương pháp đối sánh vân tay được chia làm 3 loại chính: i) đối sánh dựa trên sự tương quan, ii) đối sánh dựa vào các điểm đặc trưng, iii) đối sánh dựa vào đặc trưng của đường vân. Dấu vân tay có được trong quá trình thu thập dữ liệu được biểu thị là mẫu (T) và dấu vân tay cần được so khớp được biểu thị là đầu vào (I). Trong trường hợp không trích xuất được đặc trưng, biểu diễn vân tay trùng với ảnh vân tay dạng gray-scale.

2.4.1. Đối sánh dựa trên sự tương quan

Đặt $I^{(\Delta x, \Delta y, \theta)}$ biểu thị cho phép xoay ảnh đầu vào I một góc θ và dịch chuyển Δx và Δy theo trục hoành và trục tung. Độ giống nhau giữa hai ảnh vân tay T và I được tính bằng công thức:

$$S(T, I) = \max_{\Delta x, \Delta y, \theta} CC(T, I^{(\Delta x, \Delta y, \theta)}) \quad (1)$$

Trong đó, $CC(T, I) = T^T I$ là tương quan chéo giữa T và I . Tương quan chéo là một thước đo nổi tiếng về độ giống nhau của hình ảnh và việc tối đa hóa trong (1) giúp chúng ta tối ưu kết quả. Tuy nhiên, việc áp dụng trực tiếp công thức (1) hiếm khi dẫn đến kết quả có thể chấp nhận được, chủ yếu là do những nguyên nhân sau đây:

- Sự biến dạng phi tuyến tính làm cho các ảnh của cùng 1 dấu vân tay khác nhau đáng kể, việc sử dụng các kỹ thuật tương quan cục bộ có thể giải quyết được vấn đề này.
- Tình trạng da và lực ấn của ngón tay khi thu thập vân tay khiến độ sáng, độ tương phản và độ rộng của đường vân thay đổi đáng kể trong các lần hiển thị khác nhau. Việc sử dụng các phương pháp tương quan phức tạp hơn có thể giải quyết cho vấn đề này.
- Ứng dụng trực tiếp của công thức (1) thường rất tốn kém. Tương quan cục bộ và tương quan trong miền Fourier có thể cải thiện vấn đề này.

2.4.2. Đối sánh dựa vào điểm đặc trưng (minutiae)

Đây là kỹ thuật phổ biến và được sử dụng rộng rãi nhất, là cơ sở của việc so sánh vân tay do các chuyên gia thực hiện. Các điểm đặc trưng được trích xuất từ hai dấu vân tay và được lưu lại dưới dạng tập hợp các điểm trong mặt phẳng 2 chiều. Trong các tài liệu về đối sánh điểm đặc trưng, vấn đề này còn có tên gọi khác là đối sánh mẫu điểm. Các thuật toán đối sánh điểm đặc trưng phổ biến nhất coi mỗi điểm đặc trưng là một bộ ba $m = (x, y, \theta)$ trong đó (x, y) là tọa độ của điểm đặc trưng, và góc đặc trưng θ :

$$T = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}; \quad m_i = (x_i, y_i, \theta_i), \quad i = 1..m$$

$$I = \{m'_1, m'_2, \dots, m'_n\}; \quad m'_j = (x_j, y_j, \theta_j), \quad j = 1..n$$

trong đó m và n tương ứng là số các đặc trưng trong T và I .

Một đặc trưng m'_j trong I và một đặc trưng m_i trong T được xem là đối sánh với nhau nếu khoảng cách không gian (sd) giữa chúng là nhỏ hơn mức mức độ sai (tolerance) cho trước r_0 và sự khác nhau về hướng (dd) giữa chúng là nhỏ hơn góc độ sai θ_0 :

$$sd(m'_j, m_i) = \sqrt{(x'_j - x_i)^2 + (y'_j - y_i)^2} \leq r_0 \quad (2)$$

$$dd(m'_j, m_i) = \min(|q'_j - q_i|, 360^\circ - |q'_j - q_i|) \leq q_0 \quad (3)$$

Biểu thức (3) lấy giá trị nhỏ nhất của $|q'_j - q_i|$ và $360^\circ - |q'_j - q_i|$ bởi vì tính chu kỳ của góc (sự lệch góc nhau giữa 2° và 358° chỉ là 4°). Độ sai r_0 và θ_0 được định để bù vào các lỗi không thể tránh khỏi do các thuật toán trích đặc trưng và các nhiễu mềm dẻo làm cho vị trí các đặc trưng thay đổi.

Một số phương pháp đối sánh cục bộ các điểm đặc trưng cũng được đề xuất, phương pháp này so sánh các điểm đặc trưng của 2 dấu vân tay ở mức cục bộ; cấu trúc cục bộ được đặc trưng bởi tính bất biến đối với phép xoay và phép chuyển dịch, do đó phù hợp để đối sánh mà không cần bất kỳ sự căn chỉnh toàn cục nào. Việc so sánh dấu vân tay chỉ dựa trên cấu trúc cục bộ sẽ khiến các mối quan hệ toàn cục của vân tay vốn rất khác biệt ít có tính kết nối hơn, do đó giảm lượng thông tin có sẵn để phân biệt các dấu vân tay. Đối sánh toàn cục có tính phân biệt cao, còn đối sánh cục bộ đơn giản, có độ phức tạp trong tính toán thấp và khả năng chịu biến dạng cao (các phép xoay, dịch chuyển). Gần đây, các nhà nghiên cứu có xu hướng kết hợp các ưu điểm của cả hai phương pháp đối sánh này với nhau.

2.4.3. Đối sánh dựa vào đặc trưng của đường vân

Ba lý do chính khiến các nhà nghiên cứu tìm kiếm các đặc điểm phân biệt dấu vân tay khác, bên cạnh các điểm đặc trưng là: (1) việc trích xuất đặc trưng từ dấu vân tay chất lượng thấp là không đáng tin cậy, (2) rút trích đặc trưng tốn rất nhiều thời gian, (3) những đặc điểm mới có thể kết hợp cùng điểm đặc trưng để tạo nên một hệ thống chính xác và ưu việt hơn. Jain et al. đã đề xuất một kỹ thuật phân tích kết cấu cục bộ, trong đó khu vực liên quan đến điểm lõi của vân tay được chia nhỏ. Một vector đặc trưng (được gọi là Mã ngón tay – FingerCode) bao gồm một bảng liệt kê có thứ tự các đối

tượng được trích xuất từ các phần được chia nhỏ. Do đó, các yếu tố đặc trưng nắm giữ thông tin kết cấu cục bộ và việc liệt kê có thứ tự các phần nhỏ giúp nắm bắt được mối quan hệ toàn cục của các phần nhỏ trong vân tay. Việc đối sánh hai dấu vân tay trở thành việc đối sánh các FingerCodes của chúng, được thực hiện đơn giản bằng cách tính khoảng cách Euclid giữa hai FingerCodes.

Một số phương pháp khác gần đây được đề xuất sử dụng mối quan hệ không gian của các đường vân, hướng cục bộ hay tần số cục bộ, được sử dụng cùng với điểm đặc trưng để cải thiện hiệu suất của hệ thống.

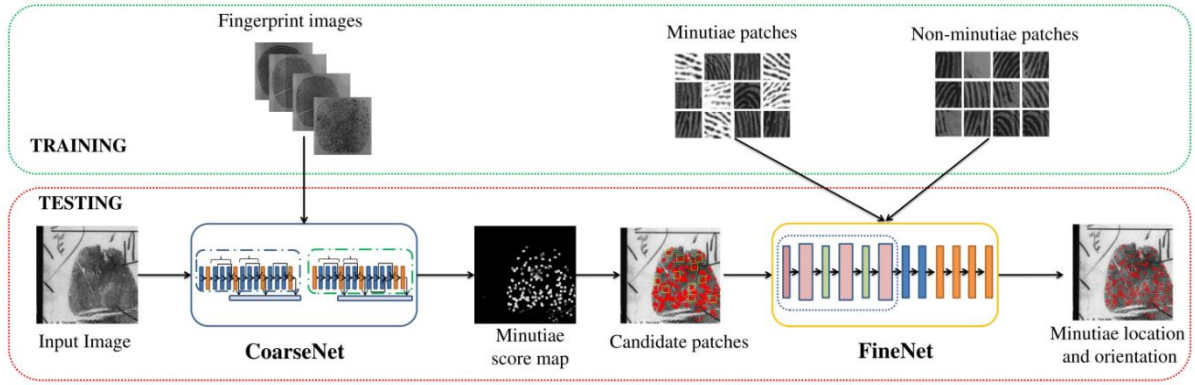
3. Một số phương pháp state-of-the-art (paper)

Ở phần này nhóm em sẽ trình bày sơ bộ (key method và performance) 3 phương pháp state-of-the-art trong chủ đề đang tìm hiểu, cụ thể là 3 phương pháp sau:

- Robust Minutiae Extractor: Integrating Deep Networks and Fingerprint Domain Knowledge
- Partial Fingerprint Matching Using Minutiae and Ridge Shape Features for Small Fingerprint Scanners
- PoreNet: CNN-based Pore Descriptor for High-resolution Fingerprint Recognition

3.1. Robust Minutiae Extractor: Integrating Deep Networks and Fingerprint Domain Knowledge

Phương pháp này được đề xuất bởi nhóm nghiên cứu của trường đại học Michigan, USA vào tháng 12-2017 [6]. Đây là một phương pháp trích xuất điểm đặc trưng tự động, được gọi là MinutiaeNet, dựa trên mạng neural sâu với tính năng nhỏ gọn để so sánh nhanh các tập điểm đặc trưng. Cụ thể, đầu tiên, một mạng, được gọi là CoarseNet, sẽ ước tính score map của điểm đặc trưng cùng với hướng của các điểm đặc trưng dựa trên mạng neural tích tụ (CNN) và domain knowledge của dấu vân tay (bao gồm ảnh tăng cường, ảnh định hướng và ảnh phân đoạn). Sau đó, một mạng khác, được gọi là FineNet, lọc các điểm đặc trưng ứng viên dựa trên score map. Mô hình này chứng minh sự hiệu quả của việc kết hợp domain knowledge của dấu vân tay với các mạng sâu.



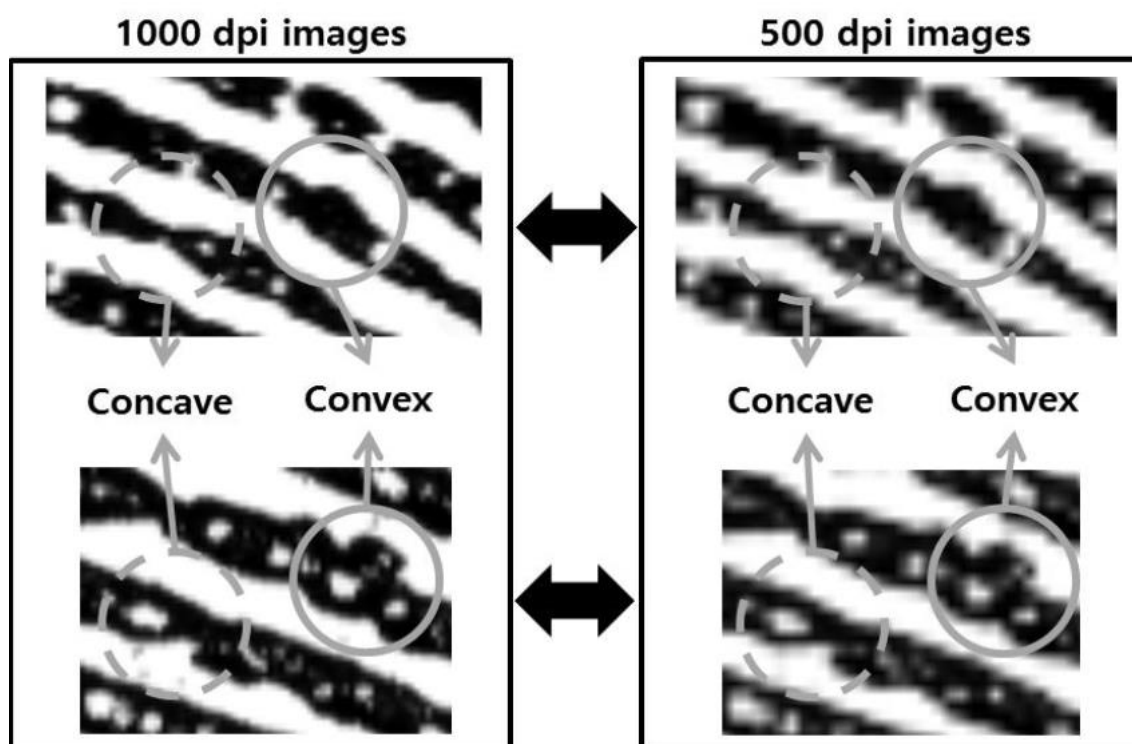
Kết quả thực nghiệm trên cả 2 tập dữ liệu NIST SD27 và FVC 2004 cho thấy độ hiệu quả của phương pháp. Hơn nữa, phương pháp này cho ra kết quả có precision lẫn recall cao hơn so với các phương pháp state-of-the-art đương đại trên 2 tập dữ liệu này.

Dataset	Methods	Setting 1 ($\mathcal{D} = 8, \mathcal{O} = 10$)			Setting 2 ($\mathcal{D} = 12, \mathcal{O} = 20$)			Setting 3 ($\mathcal{D} = 16, \mathcal{O} = 30$)		
		Precision	Recall	F1 score	Precision	Recall	F1 score	Precision	Recall	F1 score
NIST SD27	MINDTCT [24]	8.3%	14.7%	0.106	10.0%	16.4%	0.124	11.2%	18.9%	0.141
	VeriFinger [23]	3.6%	40.1%	0.066	5.3%	47.9%	0.095	7.6%	58.3%	0.134
	Gao <i>et al.</i> [5]	-	-	-	-	-	-	23.5%	8.7%	0.127
	Sankaran <i>et al.</i> [18]	-	-	-	-	-	-	26.4%	63.1%	0.372
	Tang <i>et al.</i> [21]	-	-	-	-	-	-	53.0%	53.4%	0.532
	FingerNet [22]	53.2%	49.5%	0.513	58.0%	58.1%	0.58	63.0%	63.2%	0.631
	Proposed method	69.2%	67.7%	0.684	70.5%	72.3%	0.714	71.2%	75.7%	0.734
FVC 2004	MINDTCT [24]	30.8%	64.3%	0.416	37.7%	72.1%	0.495	42.1%	79.8%	0.551
	VeriFinger [23]	39.8%	69.2%	0.505	45.6%	77.5%	0.574	51.8%	81.9%	0.635
	Gao <i>et al.</i> [5]	-	-	-	-	-	-	48.8%	82.7%	0.614
	FingerNet [22]	68.7%	62.1%	0.643	72.9%	70.4%	0.716	76.0%	80.0%	0.779
	Proposed method	79.0%	80.1%	0.795	83.6%	83.9%	0.837	85.9%	84.8%	0.853

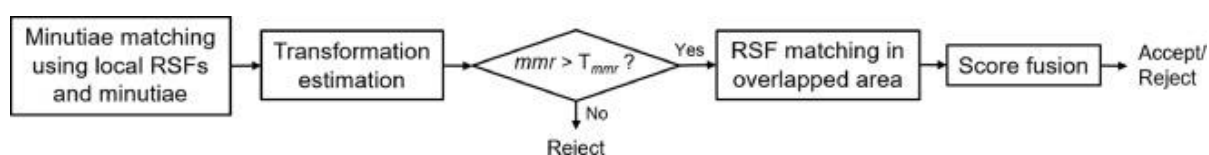
Với tính ưu việt trong quá trình trích xuất đặc trưng, phương pháp này hữu ích cho việc train các thuật toán đối sánh dấu vân tay dựa trên mạng cũng như để phục vụ cho việc đối sánh vân tay quy mô lớn.

3.2. Partial Fingerprint Matching Using Minutiae and Ridge Shape Features for Small Fingerprint Scanners

Phương pháp này được đề xuất bởi nhóm nghiên cứu của trường đại học Yonsei tại Hàn Quốc vào tháng 6-2017 [7]. Đây là một phương pháp đối sánh dấu vân tay từng phần mới. Phương pháp này kết hợp thêm đặc điểm hình dạng của đường vân (RSFs) ngoài việc sử dụng các điểm đặc trưng thông thường. Các RSFs này đại diện cho các đoạn đường vân nhỏ nơi đường vân có các đặc điểm cụ thể (lỗm và lồi) được quan sát. Các RSFs này có thể được phát hiện trong các hình ảnh 500dpi thông thường.



Các RSFs được sử dụng hiệu quả trong các giai đoạn đối sánh điểm đặc trưng và đối sánh đặc điểm hình dạng đường vân. Trong giai đoạn đối sánh điểm đặc trưng, các cặp điểm đặc trưng tương ứng được xác định bằng cách so sánh các RSFs cục bộ và các điểm đặc trưng liền kề với mỗi điểm đặc trưng. Trong giai đoạn đối sánh đặc điểm hình dạng đường vân, các RSFs trong vùng chồng lên nhau của hai hình ảnh được so sánh kỹ hơn để nâng cao độ chính xác của phép đối sánh. Điểm đối sánh có được bằng cách kết hợp các điểm số từ hai giai đoạn đối sánh.

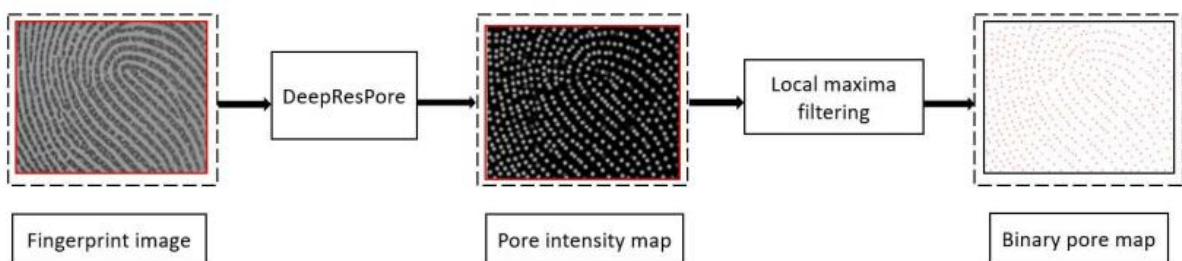


Phương pháp được thực nghiệm trên các bộ dữ liệu FVC2002, FVC2004 và BERC (tự xây dựng). Kết quả thực nghiệm cho thấy phương pháp cải thiện độ chính xác của nhận dạng vân tay, đặc biệt là để triển khai trên các thiết bị di động nơi cảm biến vân tay có kích thước nhỏ. Bên dưới là bảng so sánh kết quả thực nghiệm của phương pháp được đề xuất với các phương pháp hiện có:

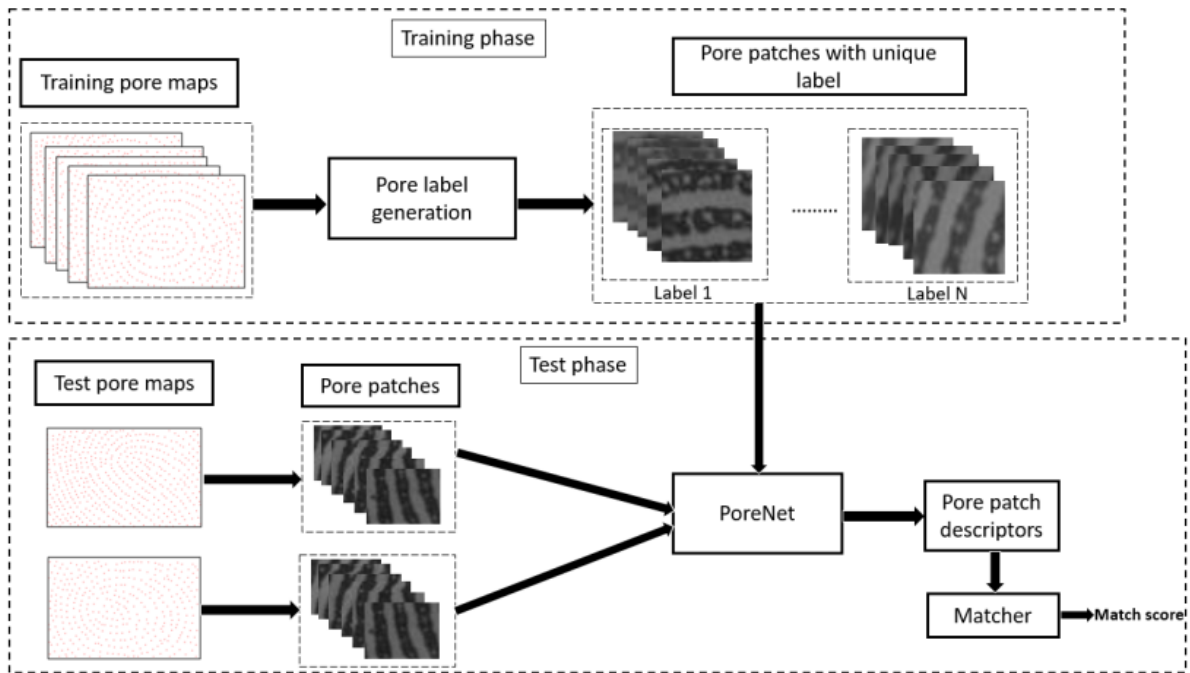
Simulated DB		FVC2004 DB1 ($6.9 \times 6.9 \text{ mm}^2$)			FVC2004 DB2 ($6.5 \times 6.5 \text{ mm}^2$)		
# of enrolled impressions		10	15	20	10	15	20
EER (%)	CMM	9.88	8.30	6.02	10.94	9.10	7.04
	MCC	24.28	21.11	19.20	30.90	27.18	25.42
	RRP	11.63	9.73	8.36	10.59	8.93	7.73
	HoG	8.35	6.82	5.23	8.23	7.21	5.65
	A-KAZE	18.88	17.24	15.80	29.64	27.60	25.70
	PM	7.61	5.80	3.35	7.04	5.73	3.85

3.3. PoreNet: CNN-based Pore Descriptor for High-resolution Fingerprint Recognition

Phương pháp này được đề xuất bởi Vijay Anand và Vivek Kanhangad vào tháng 8-2019 [8]. Đây là một phương pháp nhận dạng vân tay dựa trên lỗ chân lông. Phương pháp này sử dụng mô hình mạng neural phức hợp (CNN), DeepResPore, để phát hiện các lỗ chân lông trong hình ảnh dấu vân tay đầu vào.



Sau đó, một bộ mô tả dựa trên CNN được tính toán cho mỗi patch xung quanh mỗi lỗ chân lông được phát hiện. Cụ thể, phương pháp này thiết kế một residual learning-based CNN được gọi là PoreNet để học cách biểu diễn tính năng đặc biệt từ các lỗ chân lông. Matching score được tính bằng cách so sánh các bộ mô tả lỗ chân lông thu được từ một cặp hình ảnh dấu vân tay, bằng cách sử dụng khoảng cách Euclide.



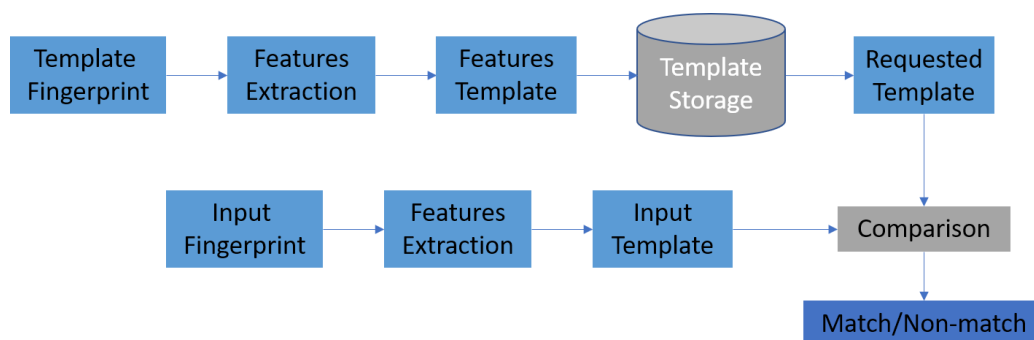
Phương pháp nhận dạng vân tay độ phân giải cao này đạt được tỉ lệ lỗi (EER) lần lượt là 2,91% và 0,57% trên DBI và DBII của bộ dữ liệu PolyU HRF chuẩn, thấp hơn hầu hết các phương pháp state-of-the-art đương đại.

Method	EER (%)	
	DBI	DBII
Jain <i>et al.</i> [8]	30.45%	7.83%
Zhao <i>et al.</i> [9]	15.42%	7.05%
Liu <i>et al.</i> [12]	6.59%	0.97%
Liu <i>et al.</i> [13]	3.25%	0.53%
Segundo and Lemes [15]	3.74%	0.76%
Dahia and Segundo [19]	4.18%	1.14%
Xu <i>et al.</i> [21]	1.73%	0.51%
Proposed approach	2.91%	0.57%

4. Thực nghiệm và đánh giá

4.1. Phương pháp thực nghiệm

Quá trình thực nghiệm được xây dựng dựa trên mô hình sau:



Trong đó, quá trình tăng cường ảnh sử dụng bộ lọc Gabor theo phương pháp được đề xuất trong [11], quá trình trích xuất đặc trưng sử dụng thuật toán Crossing Number, và quá trình đối sánh mẫu đặc trưng sử dụng phương pháp đối sánh cấu trúc đặc trưng cục bộ và toàn cục được đề xuất trong [12]. Toàn bộ quá trình được cài đặt bằng ngôn ngữ python trên Jupyter Notebook.

4.2. Datasets sử dụng

Quá trình thực nghiệm sử dụng 2 bộ dataset: FVC2004 [5], và The Hong Kong Polytechnic University Contactless 2D to Contact-based 2D Fingerprint Images Database (PolyU) [4].

4.2.1. FVC2004

Bộ dataset bao gồm 4 dataset nhỏ, được kí hiệu là DB1, DB2, DB3, và DB4. Mỗi dataset nhỏ bao gồm 80 ảnh, được lấy từ 10 ngón tay, mỗi ngón tay 8 ảnh. Kích thước mỗi ảnh trong dataset như sau: DB1: 640*480, DB2: 328*364, DB3: 300*480, DB4: 288*384. Về loại cảm biến được sử dụng trong quá trình lấy mẫu: DB1 sử dụng cảm biến quang học V300 của CrossMatch, DB2 sử dụng cảm biến quang học U.are.U 4000 của Digital Persona, DB3 sử dụng cảm biến quét nhiệt FingerChip FCD4B14CB của Atmel, DB4 sử dụng ảnh vân tay nhân tạo từ phần mềm SFinGe v3.0.

4.2.2. PolyU

Bộ dataset bao gồm 2 phần: Contactless 2D Fingerprints và Contact-based Fingerprints (Quá trình thực nghiệm chỉ sử dụng phần Contact-based Fingerprints). Phần Contact-based Fingerprints bao gồm 2016 ảnh vân tay, được lấy từ 336 ngón tay (mỗi ngón tay 6 ảnh). Kích thước mỗi ảnh: 328*356 pixel. Quá trình thu thập dataset sử dụng cảm biến U.are.U 4000 của Digital Persona.

4.3. Kết quả thực nghiệm:

Đối với dataset FVC2004, ta thực hiện matching giữa tất cả các cặp vân tay trong mỗi dataset con (6400 lần matching ở mỗi dataset). Đối với dataset PolyU, thay vì tiến hành matching giữa tất cả các cặp vân tay (4,064,256 lần matching), ta chọn ra 100,000 cặp vân tay ngẫu nhiên trong bộ dataset để kiểm tra tính chính xác của thuật toán. Sau khi tiến hành matching, ta chọn threshold sao cho có điểm F1 tốt nhất (để đạt được sự đồng đều giữa Precision và Recall). Kết quả thu được được biểu diễn dưới bảng sau:

	DB1	DB2	DB3	DB4	FVC2004	PolyU
Threshold	26.50	28.00	39.00	29.00	33.50	46.50
Precision	35.05 %	41.59 %	45.08 %	81.95 %	43.39 %	84.93 %
Recall	40.31 %	29.38 %	37.19 %	52.50 %	35.70 %	42.46 %
F1 score	37.5 %	34.43 %	40.75 %	64.00 %	39.18 %	56.62 %

Quan sát kết quả thu được, ta nhận thấy chỉ số đánh giá trên DB1, DB2, DB3 tương đối thấp. Điều này có thể lý giải bởi việc DB1, DB2 và DB3 là 3 bộ dữ liệu thực tế, với các ảnh vân tay bị mất vùng, mờ, nhoè, và bị ảnh hưởng bởi nền tương đối nhiều. Khác với DB4 là bộ dữ liệu nhân tạo, nên việc bị mờ, nhoè, và ảnh hưởng của nền được giảm đến mức tối thiểu, còn với PolyU thì các ảnh đã được qua xử lý, làm sạch nền, giúp giảm sự ảnh hưởng của việc mờ, nhoè, mất vùng, và ảnh hưởng của nền. Điều này thể hiện cho việc quá trình tăng cường ảnh và trích xuất đặc trưng từ ảnh chưa được thực hiện tốt, dẫn đến việc phát hiện thiếu và/hoặc thừa các điểm đặc trưng. Bên cạnh đó, việc chỉ số đánh giá trên dataset PolyU vẫn thấp hơn ở DB4 dù đã được qua xử lý, có khả năng là do chất lượng của quá trình xử lý chưa tốt. Cụ thể, quá trình xử lý đã vô tình khuếch đại kích cỡ của các lỗ thoát mồ hôi trên ngón tay, tạo nên các vị trí termination giả, những vị trí này nếu sót lại sau quá trình lọc minutiae giả sẽ gây ảnh hưởng không nhỏ đến quá trình đối sánh.

Ngoài ra, còn một số lý do khác khiến cho thuật toán đối sánh vân tay không hoạt động tốt với 2 ảnh vân tay trên cùng 1 ngón tay như: (1) Ảnh của cùng một ngón tay nhưng có ít vùng đặc trưng chung. (2) Ảnh vân tay có độ phân giải thấp khiến quá trình rút trích đặc trưng không thuận lợi.

4.4. Đối chiếu kết quả với các phương pháp khác:

Đối chiếu kết quả thu được trên dataset FVC2004:

	MINDTCT	VeriFinger	FingerNet	MinutiaeNet	Our
Precision	42.1%	51.8%	76.0%	85.9%	43.4%
Recall	79.8%	81.9%	80.0%	84.8 %	35.7%
F1 score	0.551	0.635	0.779	0.853	0.392

III. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Jain, Anil K., Flynn, Patrick, Ross, Arun A. (Eds.), “Handbook of Biometrics”
- [2]. Davide Maltoni, Dario Maio, Anil K.Jain, Salil Prabhakar, “Handbook of Fingerprint Recognition”
- [3]. Fingerprint Scanners 101: Capacitive vs. Optical vs. Ultrasonic | Konyse
- [4]. Chenhao Lin, Ajay Kumar, "Matching Contactless and Contact-based Conventional Fingerprint Images for Biometrics Identification," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 27, pp. 2008-2021, April 2018.
- [5]. Maio D., Maltoni D., Cappelli R., Wayman J.L., Jain A.K. (2004) FVC2004: Third Fingerprint Verification Competition. In: Zhang D., Jain A.K. (eds) Biometric Authentication. ICBA 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3072. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-25948-0_1
- [6]. D. Nguyen, K. Cao and A. K. Jain, "Robust Minutiae Extractor: Integrating Deep Networks and Fingerprint Domain Knowledge," 2018 International Conference on Biometrics (ICB), 2018, pp. 9-16, doi: 10.1109/ICB2018.2018.00013.
- [7]. Wonjune Lee, Sungchul Cho, Heeseung Choi, Jaihie Kim, “Partial Fingerprint Matching Using Minutiae and Ridge Shape Features for Small Fingerprint Scanners”, *Expert Systems With Applications*, June 2017.
- [8]. Vijay Anand, Vivek Kanhangad, “PoreNet: CNN-based Pore Descriptor for High-resolution Fingerprint Recognition”, *IEEE Sensors Journal*, Aug 2019.

- [9]. Phan Anh Cang, Trần Hồ Đạt, Phan Thượng Cang, “Nhận dạng vân tay dữ liệu lớn sử dụng Gabor WaveLet và Mapreduce”
- [10]. PGS.TS Nguyễn Quang Hoan, “Nghiên cứu một số giải thuật phân tích đặc trưng của vân tay và thử nghiệm trong nhận dạng vân tay”
- [11]. Lin Hong, Yifei Wan and A. Jain, "Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, Aug. 1998, doi: 10.1109/34.709565.
- [12]. Xudong Jiang and Wei-Yun Yau, "Fingerprint minutiae matching based on the local and global structures," Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition. ICPR-2000, 2000, pp. 1038-1041 vol.2, doi: 10.1109/ICPR.2000.906252.