

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

---

**NGUYỄN THỊ HƯƠNG THỦY**

**MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ  
HỆ THỐNG NHẬN DẠNG VÂN TAY**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**

Hà Nội – 2013

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

---

NGUYỄN THỊ HƯƠNG THỦY

**MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ**  
**HỆ THỐNG NHẬN DẠNG VÂN TAY**

Chuyên ngành: Khoa học Máy tính

Mã số: 62.48.01.01

LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: 1. PGS.TS HOÀNG XUÂN HUẤN  
2. TS. NGUYỄN NGỌC KỶ

Hà Nội – 2013

## **Lời cam đoan**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các nội dung được viết chung với các tác giả khác đều được sự đồng ý của đồng tác giả trước khi đưa vào luận án. Các kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong các công trình nào khác.

Tác giả

Nguyễn Thị Hương Thủy

## **Lời cảm ơn**

Luận án được thực hiện tại trường Đại học Công nghệ - ĐHQG Hà Nội, dưới sự hướng dẫn của PGS.TS Hoàng Xuân Huân và TS. Nguyễn Ngọc Kỳ.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới thầy Hoàng Xuân Huân, thầy Nguyễn Ngọc Kỳ, những người đã hướng dẫn, đưa ra những định hướng giúp tôi thành công trong việc nghiên cứu của mình. Các thầy cũng đã chỉ bảo và động viên tôi vượt qua khó khăn để hoàn thành bản luận án này. Tôi cũng chân thành cảm ơn thầy Nguyễn Thanh Thủy, thầy Lê Sỹ Vinh, thầy Lê Anh Cường và thầy Nguyễn Phương Thái đã cho tôi nhiều lời khuyên quý báu để hoàn thiện các nội dung khoa học của luận án.

Tôi xin cảm ơn tới các Thầy, các Cô thuộc Khoa Công nghệ thông tin – Đại học Công nghệ đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình làm nghiên cứu sinh tại Khoa. Tôi cũng xin cảm ơn Nhóm nghiên cứu đề tài KC.01.11/06-10 thuộc Đại học Bách Khoa Hà Nội, Nhóm nghiên cứu sản phẩm C@FRIS thuộc Phòng Thí nghiệm Mô phỏng và Tích hợp hệ thống, Tổng cục IV, Bộ Công an, đã cung cấp tài liệu, cơ sở dữ liệu, thiết bị và tạo mọi điều kiện thuận lợi trong quá trình nghiên cứu, cài đặt, thử nghiệm thuật toán.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới gia đình, bạn bè nơi đã cho tôi điểm tựa vững chắc để tôi có được kết quả như ngày hôm nay.

## MỤC LỤC

Lời cam đoan.....	1
Lời cảm ơn .....	4
MỤC LỤC .....	5
Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt .....	8
Danh mục các bảng .....	10
Danh mục các hình vẽ, đồ thị.....	11
MỞ ĐẦU .....	14
Chương 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC HỆ NHẬN DẠNG VÀ TRUY NGUYÊN VÂN TAY .....	20
1.1. Vân tay và bài toán nhận dạng cá nhân dùng vân tay .....	20
1.1.1. Đặc tính sinh trắc của vân tay .....	20
1.1.2. Bài toán nhận dạng vân tay và ứng dụng.....	21
1.1.3. Các khái niệm cơ bản.....	24
1.2. Hệ thống nhận dạng vân tay tự động.....	35
1.3. Tình hình nghiên cứu, ứng dụng các hệ nhận dạng vân tay tự động .....	38
1.4. Kết luận.....	42
Chương 2. THUẬT TOÁN PHÂN ĐOẠN VÂN TAY TỪ MẪU CHỈ BÀN MƯỜI NGÓN.....	44
2.1. Bài toán phân đoạn ảnh vân tay tự động .....	44
2.1.1. Khái niệm phân đoạn ảnh.....	44
2.1.2. Bài toán phân đoạn tự động ảnh vân tay từ mẫu chỉ bàn vân tay 10 ngón..	45
2.1.3 Một số thuật toán phân đoạn liên quan.....	50
2.2. Thuật toán mới xử lý phân đoạn vân tay từ mẫu ảnh chỉ bàn 10 ngón.....	51
2.2.1. Thuật toán phân đoạn thô.....	51
2.2.2. Thuật toán phân đoạn mịn.....	53
2.3. Kết quả thực nghiệm.....	58
2.4. Kết luận.....	61

Chương 3. PHƯƠNG PHÁP ĐỐI SÁNH VÂN TAY DỰA TRÊN MÔ HÌNH NẮN CHỈNH ĐỊA PHƯƠNG.....	63
3.1. Bài toán đối sánh vân tay và một số vấn đề liên quan .....	63
3.1.1. Bài toán đối sánh vân tay và lược đồ đối sánh dựa trên ĐTCT .....	63
3.1.2. Mô hình nắn chỉnh TPS .....	66
3.2. Phương pháp nắn chỉnh từng phần.....	68
3.2.1. Cấu trúc vân rãnh liên thuộc và tạo sinh các điểm giả ĐTCT .....	69
3.2.2. Phân miền đối sánh TPS và chọn các cặp điểm không chế .....	71
3.2.3. Mô tả thuật toán P-TPS.....	72
3.3. Kết quả thực nghiệm.....	74
3.4. Kết luận.....	76
Chương 4. TỔ CHỨC DỮ LIỆU VÀ BẢO VỆ AN NINH AN TOÀN HỆ THỐNG .76	
4.1. Tổ chức dữ liệu phục vụ phương pháp truy nguyên vân tay tự động .....	78
4.1.1. Bài toán đối sánh vân tay cao tốc .....	79
4.1.2. Mô hình xử lý song song trong nhận dạng vân tay .....	80
4.2. Đề xuất giải pháp tổ chức cơ sở dữ liệu hiệu quả cho đối sánh truy nguyên vân tay theo từng yêu cầu.....	82
4.3. Giải pháp bảo vệ an ninh an toàn hệ thống.....	87
4.3.1. Giải pháp bảo vệ truy cập mạng dựa trên BioPKI .....	87
4.3.2. Bài toán bảo vệ hệ thống nhận dạng vân tay C@FRIS qua môi trường mạng.....	89
4.3.3. Một số yêu cầu bảo vệ đối với hệ nhận dạng vân tay tự động.....	90
4.4. Đề xuất giải pháp bảo vệ hệ thống nhận dạng vân tay C@FRIS.....	92
4.4.1. Bảo vệ phân hệ “Nhập chuyển đổi số hóa chỉ bản” .....	92
4.4.2. Bảo vệ phân hệ “Biên tập và kiểm tra chất lượng” .....	93
4.4.3. Bảo vệ phân hệ “Tổ chức cơ sở dữ liệu” .....	94
4.4.4. Bảo vệ phân hệ “Tra tìm, đối sánh” .....	94
4.5. Kết quả thực nghiệm.....	95
4.6. Kết luận.....	99

Chương 5. KIẾN TRÚC ĐA TẦNG CHO TRUY NGUYÊN VÂN TAY HIỆN TRƯỜNG.....	101
5.1. Hệ truy nguyên vân tay hiện trường và một số vấn đề liên quan .....	102
5.1.1. Hệ nhận dạng vân tay hiện trường.....	102
5.1.2. Đoán nhận ngón tay dựa trên cơ sở dấu vân tay .....	104
5.1.3. Phân loại vân tay.....	105
5.2. Đề xuất kiến trúc kiểu bậc thang cho hệ truy nguyên vân tay hiện trường.....	106
5.2.1. Các thành phần và sơ đồ bậc thang của hệ truy nguyên vân tay hiện trường	106
5.2.2. Tổ chức dữ liệu.....	109
5.2.3. Giải pháp đối sánh song song.....	109
5.3. Kết quả thực nghiệm.....	111
5.4. Kết luận.....	113
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP .....	115
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN.....	118
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	120

## Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt

AFIS	<i>Automated Fingerprint Identification System</i> (Hệ thống truy nguyên vân tay tự động)
AFR	<i>Automated Fingerprint Recognition</i> (Nhận dạng vân tay tự động)
AFRIS	<i>Automated Fingerprint Recognition and Identification System</i> (Hệ thống truy nguyên và đồng nhất vân tay tự động)
CSDL	<i>Cơ sở dữ liệu</i>
DB	<i>Database</i> (Cơ sở dữ liệu)
DCB	<i>Dạng cơ bản</i>
ĐS-affine	<i>Đối sánh affine</i>
ĐTCT	<i>Đặc trưng chi tiết</i>
EER	<i>Equal Error Rate</i> (Tỷ lệ cân bằng lỗi)
FAR	<i>False Acceptance Rate</i> ( Tỷ lệ chấp nhận sai)
FMR	<i>False Matched Rate</i> (Tỷ lệ chấp nhận sai)
FNMR	<i>False Non Matched Rate</i> (Tỷ lệ từ chối sai)
FRR	<i>False Rejection Rate</i> (Tỷ lệ từ chối sai)
FVC	<i>Fingerprint Verification Competition</i> (Cuộc thi thẩm định vân tay của quốc tế)
G-TPS	<i>Global Thin Plate Spline</i>



	(Thuật toán nắn chỉnh TPS toàn phần)
HKTT	<i>Hệ khẩu thường trú</i>
LAN	<i>Local Area Network</i> (Mạng nội bộ)
LP/TP	<i>Latent Print/Ten Print</i> (Đối sánh vân ấn (hiện trường) với chỉ bản 10 ngón)
NSD	<i>Người sử dụng</i>
P-TPS	<i>Partial Thin Plate Spline</i> (Thuật toán nắn chỉnh TPS từng phần)
ROC	<i>Receive Operating Curve</i> (Đường cong đặc trưng)
TCĐTCT	<i>Trích chọn đặc trưng chi tiết</i>
TP/TP	<i>Ten Print/Ten Print</i> (Đối sánh vân tay cả bộ 10 ngón với 10 ngón)
TPS	<i>Thin Plate Spline</i> (Hàm làm trơn dạng tấm mỏng)
VF	<i>Verifinger</i> (Thuật toán của Verifinger)
WSQ	<i>Wavelet Scalar Quantization</i> (Phương pháp nén vân tay WSQ)
YC	<i>Yêu cầu</i>

## Danh mục các bảng

Bảng 1.1: Kết quả tra tìm dấu vân tay hiện trường năm 1991 tại nước Anh. ....	24
Bảng 1.2: Tần suất xuất hiện dạng cơ bản [2] .....	33
Bảng 1.3: Tần suất xuất hiện một số tổ hợp các dạng vân tay cơ bản .....	34
Bảng 3.1: So sánh độ chính xác nắn chỉnh trên CSDL FVC 2004 DB.....	75
Bảng 3.2 : So sánh thời gian và bộ nhớ của hai phương pháp trên CSDL FVC2004 DB	75
Bảng 4.1: Bảng đánh giá các tính năng đạt được của phân hệ “Tạo lập CSDL” .....	97
Bảng 4.2: Bảng đánh giá các tính năng đạt được của phân hệ “Mã hoá ĐTCT tự động” .....	98
Bảng 4.3: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Biên tập và kiểm tra chất lượng” .....	98
Bảng 4.4: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Tổ chức cơ sở dữ liệu” .....	98
Bảng 4.5: Bảng đánh giá các tính năng đạt được của phân hệ “Tra tìm, đối sánh” .	99
Bảng 4.6: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Tiếp nhận, xử lý và trả lời các yêu cầu” .....	99
Bảng 5.1: Bảng độ tin cậy đoán nhận ngón dựa theo dạng cơ bản và số đếm vân.	104
Bảng 5.2: Kết quả tìm kiếm thực nghiệm 64 dấu vân tay trên CSDL 2.500.000 chỉ bản 1 ngón.....	112

## Danh mục các hình vẽ, đồ thị

Hình 1.1: Mẫu chỉ bản vân tay mười ngón dùng trong Ngành Công an nước ta .....	25
Hình 1.2: Ảnh vân tay mực, (a) ảnh vân tay lăn, (b) ảnh vân tay ấn .....	26
Hình 1.3: Ảnh vân tay ấn thu trực tiếp từ thiết bị thu nhận vân tay sống .....	26
Hình 1.4: Ảnh dấu vân tay thu thập từ hiện trường vụ án .....	27
Hình 1.5: Cấu trúc đường vân .....	27
Hình 1.6: Mức xám của ảnh vân tay theo mặt cắt ngang so với hướng đường vân (V) là điểm chính giữa của đường rãnh, (R) là điểm chính giữa của đường vân .....	28
Hình 1.7: Các vùng vân với chất lượng khác nhau .....	29
Hình 1.8: Một số dạng vân tay thường gặp .....	29
Hình 1.9: Mô tả đường bao và vùng vân trung tâm .....	30
Hình 1.10: Một số ví dụ về tam phân điểm .....	31
Hình 1.11: Một số ví dụ về tâm điểm .....	31
Hình 1.12: Số đếm vân .....	31
Hình 1.13: Mô tả loại vân hình cung .....	32
Hình 1.14: Mô tả loại vân hình quai .....	32
Hình 1.15: Mô tả loại vân hình xoáy .....	33
Hình 1.16: Minh họa điểm đặc trưng chi tiết .....	34
Hình 1.17: Một số dạng vân đặc biệt .....	35
Hình 1.18: Sơ đồ khối tổng quát một hệ AFIS .....	36
Hình 2.1: Mẫu chỉ bản vân tay 10 ngón .....	46
Hình 2.2: Mẫu chỉ bản vân tay 10 ngón bị nhiễu .....	48
Hình 2.3: Kết quả xử lý cắt tương tác khung hình 10 ngón lăn thành 10 ảnh riêng rẽ ..	48

Hình 2.4: Minh họa bộ đặc điểm chi tiết của 2 vân tay trước và sau phân đoạn.....	49
Hình 2.5: (a) Ảnh vân tay ban đầu, (b) Ảnh vân tay sau phân đoạn thô.....	49
Hình 2.6: Mẫu chỉ bản 10 ngón được phân đoạn thô bằng kỹ thuật chuẩn hóa, làm tron, chuyển đổi nhị phân và dò biên, định vị hình chữ nhật ngoại tiếp để cắt ảnh.	52
Hình 2.7: Một ảnh được phân đoạn lý tưởng, vùng vân chất lượng cao được tách chính xác.	55
Hình 2.8: Mật độ đoạn vân ngắn, phương sai hướng cao, độ cong thay đổi đột ngột là những đặc trưng có giá trị để nhận biết vùng vân chất lượng thấp.....	58
Hình 2.9: Kết quả phân đoạn một số ảnh chỉ bản chất lượng thấp, chọn từ CSDL FVC2004.	59
Hình 2.10: Kết quả phân đoạn một số ảnh chỉ bản chất lượng thấp chọn từ CSDL C@FRIS DB.....	60
Hình 3.1: Đối sánh vân tay dựa vào tập điểm ĐTCT là xác định tập các cặp điểm ĐTCT tương ứng giữa hai tập $M_t$ và $M_q$ được trích chọn từ hai ảnh vân tay $I_t$ và $I_q$ .	65
Hình 3.2: Các ĐTCT trên đường vân (đậm) có ĐTCT đối ngẫu trên rãnh (mảnh)..	69
Hình 3.3: (a) Đoạn vân ngắn dạng đảo (Island) có đường rãnh đối ngẫu hình hồ nước; (b) đoạn vân hình nhánh có đường rãnh đối ngẫu hình nhánh với hướng ngược lại; (c) Đối ngẫu với đoạn vân hình cầu nối là hai đường vân gặp nhau; (d) Đường vân đứt nét hay đường rãnh dính nét không phải là ĐTCT nên không có ĐTCT đối ngẫu.....	70
Hình 3.4: Các điểm giả ĐTCT được tạo sinh ở điểm $m_j$ với bước lượng hoá $l_0$ .....	70
Hình 3.5: Mô tả thuật toán P-TPS.....	73
Hình 3.6: So sánh đường ROC của phương pháp G-TPS và phương pháp P-TPS trên CSDL FVC2004 DB1, DB3. ....	75
Hình 4.1: Màn hình điều phối hoạt động trên các node .....	86
Hình 4.2: Giải pháp bảo mật truy cập trên nền hệ thống BioPKI-KC [59].....	88
Hình 4.3: Người sử dụng ký xác nhận trách nhiệm lên các trường của CSDL.....	93

Hình 4.4: Biên tập đặc điểm chi tiết và ký sinh trắc vào bản ghi trước khi lưu vào CSDL...	94
Hình 4.5: Kết quả tra tìm, đối sánh TP-TP được ký sinh trắc, lưu vào CSDL kết quả tìm kiếem.	95
Hình 4.6: Mô hình thử nghiệm hệ C@FRIS có tích hợp giải pháp BioPKI .....	97
Hình 5.1: Sơ đồ kiến trúc hệ truy nguyên vân tay hiện trường. ....	108

## MỞ ĐẦU

Cùng với quá trình công nghiệp hóa trên qui mô toàn thế giới, từ hàng trăm năm nay đặc điểm sinh trắc học vân tay nhờ có tính bền vững và cá biệt cao đã được đưa vào ứng dụng rộng rãi trong các hoạt động pháp lý và an sinh để xác thực căn cước cá nhân. Nhiều kỹ thuật lấy dấu vân tay được nghiên cứu và sử dụng, nhiều hệ thống tàng trữ vân tay căn cước công dân và căn cước cán phạm đã được thiết lập ở các nước để phục vụ cho công tác đảm bảo và truy nguyên danh tính. Mặc dù sinh trắc học hiện đại đã phát hiện ra nhiều đặc trưng mới, bền vững, như tĩnh mạch, tròng mắt, DNA,... nhưng việc thu thập mẫu và đối sánh còn rất phức tạp và đắt đỏ. Vì vậy, vai trò ứng dụng rộng rãi của vân tay vẫn chưa có đặc điểm sinh trắc học nào thay thế được.

Để xây dựng một hệ thống truy nguyên vân tay tự động (*Automatic Fingerprint Identification System: AFIS*), cần phải giải quyết một loạt vấn đề nhưng vấn đề đối sánh vân tay (*fingerprint matching*) có ý nghĩa mấu chốt nhất và cũng là khó khăn nhất. Chúng ta biết rằng việc đối sánh trực tiếp ảnh hai ảnh vân tay không thể mang lại kết quả tin cậy do ảnh vân tay của cùng một người qua mỗi lần lăn tay vẫn cho kết quả sai khác nhau và rất nhạy cảm với các thiết bị thu nhận, điều kiện chiếu sáng, vết bụi bẩn, vết sẹo, với sự xô dịch vị trí hay sự biến dạng trong quá trình lăn tay. Vì vậy, mặc dù hàng năm trên các hội nghị quốc tế cũng như trên các tạp chí chuyên ngành có hàng nghìn công trình nghiên cứu mới xuất hiện tìm nhiều cách thức khác nhau để cải tiến, nâng cao hiệu quả thuật toán đối sánh vân tay nhưng vẫn còn xa mới thay thế được khả năng đối sánh trực quan của con người. Một trong những giải pháp hiệu quả để giải quyết vấn đề này là ứng dụng các kỹ thuật xử lý ảnh để bắt chước hành vi của giám định viên, xử lý, phân tích và trích chọn từ ảnh vân tay một tập các điểm đặc trưng, gọi là điểm đặc trưng chi tiết (*minutiae*). Các điểm đặc trưng chi tiết này chính là những điểm cụt (*end*), điểm rẽ nhánh (*bifurcation*) phân bố tương đối ngẫu nhiên trên ảnh vân tay, được đặc trưng bởi thể loại, vị trí và hướng của chúng. Với các bộ điểm đặc trưng chi tiết này, thay

vì phải đối sánh trực tiếp hai ảnh vân tay với nhau, ta chỉ cần đối sánh hai tập các điểm đặc trưng chi tiết tương ứng của chúng.

Hiện nay trên thế giới, do nhu cầu trong công tác an sinh xã hội rất lớn nên công nghệ AFIS trên thị trường thường được bán với giá rất đắt và kỹ thuật xây dựng chúng được giữ bản quyền nghiêm mật. Nhiều thuật toán đối sánh vân tay của các hãng nổi tiếng trên thế giới được đưa ra thi đấu tại các cuộc thi FVC2000 - FVC2006 nhưng không công bố phương pháp và thuật toán. Các tài liệu công bố công khai rất nhiều nhưng thường tập trung vào các phương pháp luận, mang tính chất thử nghiệm các tìm tòi mới. Việc học tập, tiếp thu tri thức cộng đồng là hết sức quan trọng nhưng để chuyển từ phương pháp đến thuật toán rồi từ thuật toán đến sản phẩm phần mềm hãy còn là chặng đường hết sức phức tạp, không thể không cần đến quá trình chủ động phát triển, cải tiến, nâng cấp.

Về mặt chuyên môn, luận án này tập trung cải tiến nâng cấp một số nội dung cần thiết nhất như sau:

1) Phân đoạn ảnh chỉ bản vân tay mười ngón: Công đoạn này nhằm mục đích nâng cao kỹ thuật tự động hóa của phân hệ nhập liệu chuyển đổi thông tin số hóa hiện đang được thực hiện bằng tương tác thủ công dựa trên việc xây dựng thuật toán xử lý cắt tách tự động ảnh chỉ bản 10 ngón thành các ảnh vân tay thành từng ngón, kết hợp tiền xử lý trích chọn một số thông tin cơ bản như: bản đồ hướng vân, bản đồ chất lượng, bản đồ đường biên của từng vân, xác định vùng trung tâm, xác định chiều hướng chỉ bản. Hiện tại công đoạn này trên C@FRIS và các hệ khác như: SAGEM MORPHO AFIS, NEC AFIS, AFIX TRACKER còn phải tương tác thủ công, tốc độ nhập liệu chậm, trong khi khối lượng chỉ bản cần nhập lên đến hàng chục triệu.

2) Đối sánh vân tay: Công đoạn này nhằm nâng cấp công nghệ lõi, cần thay thế phương pháp đối sánh vân tay truyền thống (đang dùng phổ biến hiện nay) dựa trên phép biến đổi affine vốn nhạy cảm với biến dạng để thay bằng thuật toán đối sánh hiệu quả hơn, có khả năng đối sánh hiệu quả cả các loại vân tay có độ biến dạng cao như vân tay ẩn hay vân tay hiện trường với vân tay lặn.

3) Tổ chức dữ liệu: Để hỗ trợ cho quá trình xây dựng hệ thống, chuẩn bị dữ liệu phục vụ đối sánh, truy nguyên góp phần đẩy nhanh tốc độ xử lý và bảo vệ an ninh an toàn hệ thống.

4) Truy nguyên vân tay hiện trường: Để cải tiến, nâng cấp chiến lược tra cứu, truy nguyên vân tay hiện trường nhằm đáp ứng hiệu quả hơn, kịp thời hơn yêu cầu điều tra.

Theo từng chủ đề nêu trên, các kết quả nghiên cứu chính đạt được của luận án được trình bày từ Chương 2 đến Chương 5 với những nội dung cụ thể như sau:

1) **Phân đoạn chỉ bản vân tay mười ngón**: Luận án đề xuất hai thuật toán phân đoạn thô và phân đoạn mịn để tự động hóa việc nhập liệu do hiện nay còn nhiều hệ AFIS đang phải xử lý tương tác thủ công. Thuật toán phân đoạn thô nhằm cắt tách riêng cách ảnh vân tay từ ảnh chỉ bản 10 ngón (trên đó bao gồm 10 vân tay lãn và 10 vân tay ấn) thành 20 ảnh ngón riêng rẽ dựa trên kỹ thuật tiền xử lý ảnh như chuẩn hóa, làm trơn, chuyển đổi nhị phân và sau đó tiến hành dò biên, định vị tọa độ cắt ảnh. Thuật toán phân đoạn mịn nhằm phân loại ảnh vân tay thành ba vùng: vùng nền, vùng vân chất lượng cao và vùng nhiễu (tức là lập bản đồ chất lượng). Luận án không dựa trên cách tiếp cận truyền thống theo khối dữ liệu (*blockwise*) mà đề xuất mới một số dấu hiệu dựa trên cách tiếp cận phân tích độ cong đường biên của đường vân (*linewise*). Nhờ bản đồ chất lượng này, các đặc trưng chi tiết được phân loại thành 3 loại: (1) tốt, nếu nó thuộc vùng vân tay chất lượng cao, (2) xấu, nếu nó thuộc vùng nhiễu, (3) loại bỏ, nếu nó thuộc vùng nền... Kết quả phân đoạn phù hợp với kết quả phân đoạn 2 lớp của thuật toán Verifinger [87] nhưng phân đoạn 3 lớp mịn hơn so với thuật toán Verifinger đánh đồng tất cả các ĐTCT, từ đó đưa ra thuật toán đối sánh hiệu quả hơn nhờ dựa trên tập điểm không chế có độ tin cậy cao.

2) **Đối sánh vân tay 1:1**: Để đáp ứng yêu cầu về độ chính xác của Hệ AFIS, luận án đề xuất giải pháp cải tiến phương pháp đối sánh vân tay truyền thống bằng cách tăng cường thêm thông tin mô tả cấu trúc đường vân xung quanh các đặc trưng chi tiết gọi là cặp vân-rãnh liên thuộc và dùng kỹ thuật nắn chỉnh biến dạng và làm



tron TPS (*Thin Plate Spline*) địa phương để khử hiện tượng méo phi tuyến. Sau khi xác định tập các cặp điểm đặc trưng chi tiết (ĐTCT) tương ứng ban đầu giữa hai vân tay nhờ thuật toán truyền thống dựa trên phép biến đổi affine, một tập các cặp điểm giả ĐTCT (*pseudo-minutiae*) tương ứng được tạo sinh bổ sung vào tập ban đầu dựa trên cấu trúc cặp vân rãnh liên thuộc với từng ĐTCT có độ tin cậy cao (dựa trên bản đồ chất lượng) trong tập các cặp ĐTCT tương ứng. Các điểm giả ĐTCT mới bổ sung này được kết hợp với các cặp điểm tương ứng ban đầu để chọn ra các tập con các điểm khống chế (*control points* hay *landmark points*) thích hợp cho việc nắn chỉnh biến dạng TPS trên 9 miền con của các ảnh vân tay. Kết hợp với quá trình nắn chỉnh trên từng miền con, thuật toán tìm bổ sung các cặp điểm ĐTCT tương ứng mới. Quá trình này được lặp lại cho đến khi hoặc không còn phát hiện thêm các cặp điểm tương ứng mới hoặc số lượng các cặp điểm tương ứng đã tới ngưỡng quyết định. Kết quả thực nghiệm trên cơ sở dữ liệu FVC2004 cho thấy thuật toán đề xuất cải thiện đáng kể hiệu quả đối sánh so với phương pháp mới của Li và Tulyakov sử dụng mô hình tương quan mức xám kết hợp nắn chỉnh TPS toàn phần (xem [52]).

3) **Tổ chức và bảo vệ dữ liệu:** Luận án đề xuất giải pháp tổ chức CSDL dựa trên việc kết hợp các kỹ thuật đánh chỉ số phân cấp theo mã ngón, dạng vân cơ bản, số đếm vân và giải pháp song song hóa thuật toán nhằm tăng tốc độ truy nguyên vân tay, đáp ứng yêu cầu cơ bản thứ hai của hệ AFIS về tốc độ truy nguyên.

Để bảo vệ hệ C@FRIS khỏi sự tấn công phá hoại khi triển khai trên mạng, luận án đề xuất sử dụng và cài đặt công nghệ BioPKI cho hệ C@FRIS bao gồm các công đoạn: kiểm soát xác thực chủ thể bằng vân tay trước khi đăng nhập hệ thống, truy cập CSDL. Ngoài ra còn bổ sung tính năng dùng chữ ký số và xác thực chữ ký, tính năng mã hóa/giải mã trên đường truyền và các quá trình trao đổi dữ liệu.

4) **Truy nguyên vân tay hiện trường (đối sánh 1:n):** Để cải tiến chiến lược truy nguyên vân tay hiện trường, luận án đề xuất một kiến trúc lọc đa tầng nhằm phát huy sức mạnh tổ hợp của các phương pháp khác nhau đã trình bày ở các Chương trước, theo cách phân tầng kiểu bậc thang để cho ra kết quả tốt hơn với thời

gian truy nguyên trung bình ngắn nhất, tiết kiệm đáng kể thời gian công sức tra cứu. Tuy nhiên, phương pháp tổ hợp phân tầng có nhiều đòi hỏi rất khắt khe. Để hạn chế sai số sót lọt, các thuật toán tham gia vào quá trình truy nguyên phải được chọn lựa sao cho các tầng trên có độ chính xác cao hơn tầng dưới sao cho các đối tượng "giả danh" lần lượt bị loại ra từ các tầng trên, chỉ một số ít đối tượng có khả năng "chính danh" cao mới cần lọc đến tầng cuối cùng. Trong khi đó các thuật toán đoán nhận ngón và phân loại vân tay tự động lại chưa đạt được độ chính xác cần thiết. Để vượt qua khó khăn này, luận án đã đề xuất dùng kỹ thuật mờ hóa dựa trên việc sắp thứ tự danh sách tra cứu theo độ ưu tiên của các ngón tay, dạng vân cơ bản đoán nhận được và theo độ giống giữa hai bộ đặc trưng chi tiết. Để thể hiện ưu thế của giải pháp đề xuất, thuật toán cải tiến sẽ được so sánh với thuật toán truyền thống tiêu biểu là thuật toán truy nguyên kiểu "*brute force*" dựa trên thuật toán đối sánh 1:1 của Verifinger, vốn chỉ thích hợp cho CSDL qui mô nhỏ.

Việc cải tiến, nâng cấp công nghệ nhận dạng vân tay thành công có ý nghĩa khoa học, công nghệ và thực tiễn rất lớn. Về khoa học, việc nghiên cứu đề xuất một loạt giải pháp mới, được thử nghiệm có kết quả, cùng nhiều bài báo đã công bố, luận án đã có đóng góp cụ thể, có giá trị bổ sung, phát triển và làm phong phú thêm cho lý luận đối sánh vân tay, đặc biệt là đối sánh vân tay biến dạng phi tuyến và truy nguyên vân tay hiện trường. Về mặt thực tiễn, việc cải tiến các công đoạn nhập liệu, phân đoạn, tiền xử lý, nâng cấp và làm chủ thuật toán đối sánh vân tay biến dạng, đưa vào ứng dụng để tra cứu, truy nguyên vân tay hiện trường hiệu quả là một kết quả cải tiến công nghệ quan trọng để tiếp tục nâng cấp độ chính xác đối sánh và tăng tốc độ truy nguyên, tiến tới nâng cấp sản phẩm để đảm nhận một số công việc quan trọng, đang có nhiều đòi hỏi cấp thiết, đó là điện tử hóa các tàng thư vân tay căn cước can phạm, căn cước công dân với khoảng 70 triệu chỉ bản trên qui mô cả nước. Điện tử hóa thành công hệ thống tàng thư căn cước công dân sẽ tạo điều kiện cho việc kết nối các hệ căn cước, nhân hộ khẩu, hộ tịch với nhiều hệ chuyên ngành khác trên cơ sở số căn cước được đảm bảo tính duy nhất bằng vân tay là nội dung quan trọng nhất để xây dựng CSDL dân cư quốc gia trong thời gian tới.

Các kết quả chính của luận án được công bố trong hai bài báo của tạp chí có uy tín trong nước [17,19], một bài báo gửi tạp chí đã qua vòng phản biện thứ 2, hai báo cáo hội nghị quốc tế và bốn báo cáo tại các hội thảo quốc gia [9,10,15,16].

Ngoài phần kết luận, luận án được tổ chức như sau. Chương 1 giới thiệu một số khái niệm cơ bản về nhận dạng vân tay và những vấn đề cơ bản của hệ truy nguyên tự động vân tay tự động liên quan cần dùng cho phần sau. Chương 2 trình bày các thuật toán tiền xử lý bao gồm phân đoạn thô, phân đoạn mịn, lập bản đồ chất lượng vân và trích chọn các đặc điểm tổng thể bao gồm các điểm dị thường (tâm điểm, tam phân điểm), dạng cơ bản, bản đồ hướng vân, ... để phục vụ cho Chương 3. Chương 3 trình bày một giải pháp hiệu quả để đối sánh thẩm định vân tay 1:1 được tăng cường thêm tính năng khử méo phi tuyến dựa trên mô hình nắn chỉnh biến dạng địa phương kết hợp sàng lọc đặc trưng chi tiết theo cấu trúc cặp vân rãnh liên thuộc. Chương 4 trình bày các giải pháp tổ chức dữ liệu, đánh chỉ số và bảo vệ hệ thống chuẩn bị cho Chương 5. Chương 5 sử dụng tổng hợp các kết quả các chương trước để giải quyết một chiến lược đối sánh truy nguyên 1:N khó nhất, đó là đối sánh vân tay hiện trường, dựa trên kiến trúc sàng lọc tổ hợp đa tầng có sử dụng các kỹ thuật mờ hóa, sắp thứ tự dữ liệu để phân cấp khai thác các đặc trưng vân tay từ thô đến mịn, từ tổng quát đến chi tiết nhằm đạt hiệu quả truy nguyên cao nhất.

## Chương 1. TỔNG QUAN VỀ CÁC HỆ NHẬN DẠNG VÀ TRUY NGUYÊN VÂN TAY

Ngày nay, vân tay được thừa nhận rộng rãi trên thế giới như một căn cứ tin cậy và hiệu quả nhất để truy nguyên danh tính con người. Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin, đặc biệt là sự ra đời của các phần mềm nhận dạng và truy nguyên vân tay tự động cùng các thiết bị đọc vân tay sống, vân tay đã và đang trở thành một phương tiện nhận dạng sinh trắc học thông dụng nhất.

Trước khi đi vào các chủ đề chi tiết ở các chương sau, chương này giới thiệu bài toán nhận dạng vân tay, các khái niệm cơ bản sẽ sử dụng trong nhận dạng vân tay, mô hình hệ truy nguyên vân tay tự động và những khái niệm liên quan cần dùng về sau, chi tiết hơn có thể xem [33,40,43,44,56,63].

### 1.1. Vân tay và bài toán nhận dạng cá nhân dùng vân tay

#### 1.1.1. Đặc tính sinh trắc của vân tay

Vân tay là những vết lằn tạo nên các hoa văn trên bề mặt da đầu các ngón tay, chúng tạo nên hệ thống các đường cong uốn lượn mà ta quen gọi là các dòng đường vân. Từ rất sớm, người ta đã biết vân tay của mỗi người bất biến suốt đời và rất khác nhau, kể cả ở các cặp sinh đôi. Vì vậy chúng có thể dùng để phân biệt các cá nhân, và dấu vân tay đã được dùng thay cho chữ ký trong các văn tự.

Ngày nay người ta biết được mỗi vân tay có xác suất trùng lặp là  $10^{-9}$ . Như vậy xác suất để hai người có vân tay ở 10 ngón tay trùng nhau coi như bằng không. Vân tay của mỗi người là không thay đổi từ khi sinh ra cho đến lúc chết. Kể cả trường hợp bị chấn thương ở vùng vân tay thì sau khi lành vết thương, cấu trúc vân tay vẫn được khôi phục lại như trước.

Dấu vân tay dễ lấy, dễ bảo quản và so sánh thủ công nên mặc dù ngày nay người ta biết được nhiều đặc trưng sinh trắc có thể dùng để phân biệt các cá nhân như giọng nói (*speech*), ảnh mống mắt (*iris scan*), tĩnh mạch, DNA... nhưng dấu vân tay vẫn là phương tiện được sử dụng phổ biến nhất trong công tác điều tra và là “khóa” bảo vệ tin cậy trong các hệ thông tin.

Cùng với sự phát triển của công nghiệp, các hệ nhận dạng vân tay được ứng dụng rộng rãi trong các hoạt động pháp lý và dân sự. Nhiều kỹ thuật lấy dấu vân tay

được nghiên cứu và sử dụng, các tàng thư vân tay được thiết lập ở các nước để phục vụ cho công tác an sinh xã hội.

### **1.1.2. Bài toán nhận dạng vân tay và ứng dụng**

#### **a) Phát biểu bài toán**

Trong các hoạt động pháp lý và dân sự, bài toán nhận dạng vân tay tổng quát phát biểu như sau:

*Bài toán tổng quát:* Cho một cơ sở dữ liệu (hay hồ sơ) gồm các ảnh vân tay lưu trữ và một ảnh vân tay truy vấn, ta cần tìm trong CSDL này có ảnh vân tay nào cùng một ngón sinh ra với ảnh truy vấn hay không? Nếu có thì chỉ ra ảnh này.

Trong lĩnh vực pháp lý, bài toán này được dùng với hai mục đích chính:

- + Xác minh danh tính hay truy nguyên căn cước của những người đang điều tra.
- + Truy tìm thủ phạm gây án theo dấu vân tay thu được từ hiện trường.

Bài toán này được phân thành hai bài toán con: *truy nguyên (identification)* và *thẩm định (verification)*.

*Truy nguyên* là tìm ra các ảnh nhiều khả năng cùng ngón với ảnh truy vấn.

*Thẩm định* là kiểm tra lại trong số các ảnh tìm được của giai đoạn truy nguyên cái nào đúng thực là cùng ngón với ảnh truy vấn.

Khi áp dụng làm khóa bảo vệ, ta có *bài toán xác thực (authentication)* vân tay như sau:

*Bài toán xác thực:* Có một ảnh vân tay lưu trữ đã đăng ký và một ảnh đăng nhập, cần xác định xem hai ảnh này có phải cùng một ngón sinh ra hay không? Để thấy rằng bài toán này là trường hợp riêng của bài toán tổng quát.

Dưới đây giới thiệu một số ứng dụng của nhận dạng vân tay.

#### **b) Các ví dụ ứng dụng**

*Xác minh một công dân đã được cấp chứng minh nhân dân (CMND) hay chưa:*

Để đảm bảo tính duy nhất của số CMND, tức là một công dân chỉ được cấp một số CMND duy nhất, hệ thống CMND cần tra cứu kiểm tra vân tay của đối tượng xin cấp CMND với tàng thư hay CSDL của những công dân đã được cấp. Nếu không tìm thấy thì hệ thống cấp số CMND lần đầu cho công dân và nếu tìm thấy thì cấp lại đúng số cũ đã cấp cho công dân đó. Do chỉ tra cứu theo vân tay nên

hệ thống có khả năng phát hiện các trường hợp công dân không hợp tác, cố tình thay đổi họ tên để che dấu danh tính hay mất khả năng cung cấp danh tính (người tâm thần, tử thi).

*Xác định danh tính của những người bị bắt giữ:*

Có một nghi can bị bắt giữ, cần phải tìm kiếm chỉ bản (sẽ nói rõ hơn trong mục sau) vân tay mười ngón của người này với tàng thư chỉ bản để xác minh xem nghi can đó đã có tên trong hồ sơ cảnh sát hay không. Nếu có thì số căn cước can phạm là bao nhiêu, họ tên gốc là gì và tiền án, tiền sự của nghi can đó.

Ở nước ta và hầu hết các nước cũng vậy, công việc này thuộc trách nhiệm của *Trung tâm căn cước can phạm trung ương và địa phương*. Ở đây người ta thường xuyên phân loại, tìm kiếm đối chiếu chỉ bản vân tay 10 ngón của nghi can với tàng thư vân tay 10 ngón được phân loại, sắp xếp và lưu trữ theo công thức phân loại của Galton-Henry hay của Juan Vucetich.

Chẳng hạn, năm 1990, Trung tâm căn cước của Bộ Nội vụ Anh lưu trữ khoảng 4,2 triệu thẻ chỉ bản vân tay mười ngón, gọi là *Tàng thư chỉ bản vân tay quốc gia*, và mỗi ngày tàng thư này phải giải quyết khoảng 2.400 yêu cầu tìm kiếm. Đến năm 2005, số lượng của hồ sơ lưu trữ đã lên tới khoảng 6 triệu thẻ và mỗi ngày cần phải tìm kiếm khoảng 4.500 yêu cầu.

Ở nước ta, chỉ tính riêng Công an Hà Nội, tàng thư căn cước can phạm lưu trữ khoảng 300.000 chỉ bản vân tay 10 ngón và hàng năm tìm kiếm khoảng 30.000 yêu cầu từ xác minh căn cước can phạm của các đối tượng bị bắt giữ, xử lý, xác minh các tử thi chưa có người nhận, tìm kiếm dấu vân tay hiện trường thu thập từ các vụ án đến xác minh lý lịch tư pháp công dân.

Trong đại đa số trường hợp (khoảng 75%), các nhân viên cảnh sát địa phương đều có thể xác minh được danh tính của các nghi can bằng cách kiểm tra các thông tin cá nhân thông thường nhất (dùng số căn cước, họ tên, ngày tháng năm sinh) nhờ tra thẻ theo họ tên hoặc bằng công cụ tìm kiếm trên hệ thống máy tính của cơ quan cảnh sát. Trong trường hợp này, sau khi tìm kiếm theo họ tên, các chuyên gia vân tay chỉ cần thẩm định hay đối sánh một - một (1:1), tức là đối sánh 1 mẫu

vân tay của nghi can với 1 mẫu vân tay tìm thấy. Nếu hai mẫu là đồng nhất thì đối tượng đó đã có trong hồ sơ tội phạm và nhân viên tìm kiếm tiến hành thông báo kết quả, bổ sung, cập nhật hồ sơ.

Đối với những nghi can chưa xác định được danh tính (khoảng 25%) bằng phương pháp xác minh thông tin thông thường thì phương pháp tìm kiếm theo chỉ bản vân tay mới cần đến để tra tìm theo vân tay trên tàng thư căn cước. Việc này tốn kém, tiêu phí nhiều công sức và thời gian vì phải xác định, kiểm tra vân tay của tất cả các ngón trên chi bản 10 ngón hoặc phải quét nhập, phân loại, mã hóa và tra tìm trên CSDL đã có.

#### *Truy tìm tội phạm:*

Khác với việc xác minh danh tính nghi can bị bắt giữ được thực hiện chủ yếu bằng cách tìm kiếm trên cơ sở dữ liệu trung tâm hay tàng thư căn cước, việc truy tìm tội phạm thường phải tiến hành ngay tại địa phương. Ở đây những dấu vân tay thu được tại hiện trường vụ án hay từ các tài liệu thường được các cơ quan điều tra gửi đến các cơ quan giám định vân tay của địa phương để xem xét. Khi chưa tin học hóa, các giám định viên vân tay tìm mọi cách tốt nhất có thể để xác định xem chúng thuộc ngón nào, loại nào. Trong hầu hết các trường hợp người ta chỉ thu được dấu vân tay của một hoặc hai ngón tay và chúng thường có chất lượng rất thấp.

Để tránh phải tìm kiếm trên toàn bộ tàng thư quốc gia, người ta tìm cách giảm thiểu danh sách kết quả tìm kiếm đưa ra. Cách thứ nhất là sàng lọc theo địa lý, tức là chỉ tìm kiếm các bản ghi của tội phạm tại một vài địa phương nào đó. Ý nghĩa của việc giới hạn địa phương là có thể hạn chế tìm trong một vài địa phương có khả năng cao trước, sau đó mở rộng dần đến nhiều địa phương khác tùy thuộc mức độ quan trọng của vụ án. Một cách sàng lọc khác là theo loại tội phạm hay tội danh, chẳng hạn như dấu vân tay từ một vụ trộm cắp thì chỉ nên tìm kiếm trong số tội danh “trộm”.

Khi cảnh sát chỉ quan tâm đến một số đối tượng nghi vấn cụ thể, chuyên gia vân tay chỉ phải thực hiện việc xác minh dấu vân tay trong một số lượng nhỏ các phép đối sánh có thể. Chỉ những trường hợp không tìm thấy thì họ mới phải tiến

hành hàng trăm thậm chí hàng nghìn phép đối sánh (đối với các vụ án quan trọng). Cách thức tìm kiếm như thế thường được gọi là tìm kiếm nguội (*cold search*). Trong công việc tra tìm và đối sánh, các chuyên gia vân tay thường không thể sắp xếp danh sách đầu ra theo một trật tự ưu tiên nào. Chẳng hạn, trong trụ sở cảnh sát hồ sơ thường được lưu trữ, sắp xếp theo thứ tự số hồ sơ tội phạm. Thứ tự này không hề có mối liên quan nào đến tầm quan trọng vụ án.

Nội dung của Bảng 1.1 cho ta thấy tỉ lệ thành công của việc tra tìm dấu vân tay hiện trường năm 1991 tại nước Anh. Có khoảng 350.000 vụ có thu được dấu vân tay hiện trường (thường là một số vụ có nhiều hơn một dấu vân tay) trên 1 triệu vụ được khám nghiệm. Trong đó gần 33.000 trường hợp đối sánh thành công được thực hiện qua việc tìm kiếm với đối tượng nghi vấn nóng. Và hơn 27.000 vụ đối sánh thành công bằng phương pháp tìm kiếm nguội (*cold searching*)

**Bảng 1.1: Kết quả tra tìm dấu vân tay hiện trường năm 1991 tại nước Anh**

	Dấu vân tay hiện trường	Không phải dấu vân tay hiện trường	Tổng số vụ
Số vụ án có thu dấu vân tay	300.000	46.000	350.000
Tìm kiếm với đối tượng nghi vấn tại chỗ (nóng)	23.000	9.700	33.000
Tìm kiếm (nguội)	23.200	4.400	27.000

Về sau, nếu không gây nên nhầm lẫn, ta dùng từ *vân tay* thay vì *ảnh vân tay* cho gọn. Để giới thiệu các hệ nhận dạng vân tay, ta cần chính xác hóa một số khái niệm.

### 1.1.3. Các khái niệm cơ bản

#### *Chỉ bản*

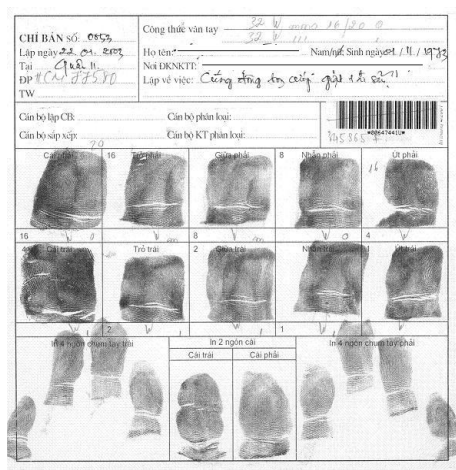
Chỉ bản *giấy* (xem Hình 1.1, để đơn giản về sau gọi là chỉ bản) là một thẻ bằng giấy in vân tay thu được ở cả 10 ngón của một người theo mẫu định sẵn, bao gồm cả vân tay lăn (*rolled*) và vân tay ấn (*plain*) được lấy vào các vị trí định trước cho mỗi ảnh.

Hình 1.1(a) là mẫu A7 ban hành theo quyết định số 04 /QĐ-BCA(C11) ngày 4/1/1999 hợp thức hóa các mẫu tương tự được dùng thống nhất cả nước ta từ năm 1976. Hình 1.1(b) là mẫu mới ban hành theo Thông tư số 27/2012/TT-BCA, ngày 16/5/2012 của Bộ Công an. Các vân tay tương ứng (xem Hình 1.2) thu được bằng

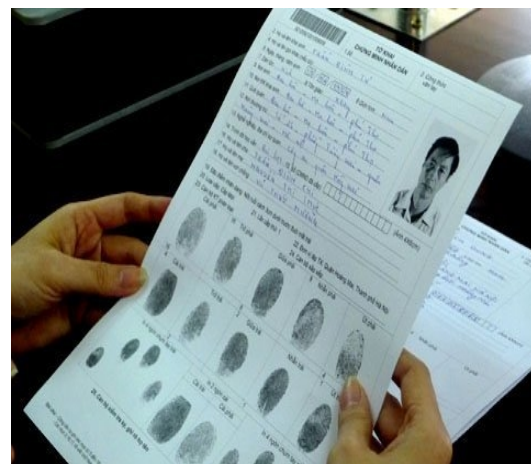


cách lăn hay ấn các đầu ngón tay (đốt cuối) đã được tẩm mực. Vùng giữa của chỉ bản dùng để chứa 10 dấu vân tay của 10 ngón tay cần được thu nhận bằng cách lăn tay, tức là mỗi đầu ngón tay sau khi tẩm một lớp mực mỏng sẽ được lăn lên giấy và để lại vết lăn có độ trải rộng từ gờ móng tay bên này sang đến gờ móng tay bên kia. Còn bốn vùng dưới của chỉ bản dùng để chứa các dấu vân tay ấn, bao gồm: 2 dấu vân tay ấn đồng thời của 2 ngón tay cái, dấu ấn 4 ngón chụm của tay trái và dấu ấn 4 ngón chụm của tay phải. Mặc dù độ trải rộng của dấu vân tay ấn không rộng bằng dấu vân tay lăn nhưng nó thường thể hiện rõ hơn các đặc điểm chi tiết trên các đầu mút ngón tay. Các vùng vân tay ấn còn được dùng để kiểm tra các dấu vân tay đã được lăn trên 10 ô chỉ bản có đúng vị trí hay không (*sequence check*).

Quan sát mẫu chỉ bản 10 ngón mới ban hành (xem Hình 1.1(b)) ta dễ thấy rằng ngoài việc gộp phần danh bản chứa thông tin nhân thân, mẫu mới này vẫn giữ nguyên các ô chứa vân tay tương tự như Mẫu A7. Song nhìn kỹ ta thấy có điểm khác căn bản là vân tay trên mẫu mới ban hành toàn là vân tay ấn, vì vậy nó không hoàn toàn tương thích với mẫu A7 truyền thống. Hệ lụy của sự không tương thích này là các chỉ bản mới ban hành không thể tra cứu trên các tầng thư truyền thống vì vân tay lăn không thể hiện đầy đủ các tam phân điểm, nên không thể phân loại thủ công một cách đầy đủ. Mặt khác, nó cũng làm suy giảm hiệu quả do việc đối sánh 2 vân tay khác loại bao giờ cũng kém hiệu quả hơn 2 vân tay cùng loại.

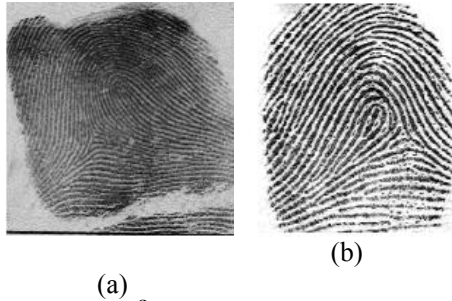


(a) Mẫu A7, dựa theo chuẩn FBI



(b) Mẫu mới ban hành 2012

**Hình 1.1: Mẫu chỉ bản vân tay mười ngón dùng trong Ngành Công an nước ta**



(a)  
**Hình 1.2: Ảnh vân tay mực, (a) ảnh vân tay lăn, (b) ảnh vân tay ấn**

### **Vân tay sống**

*Vân tay sống* là vân tay thu được nhờ các thiết bị quang điện tử trực tiếp số hóa và lưu trữ một cách trực tiếp, không cần giai đoạn trung gian in lên giấy. Hiện nay, các hệ thống thu nhận vân tay sống đang được phổ biến rộng rãi ở các nước công nghiệp, các CSDL vân tay công khai hiện nay phần lớn thuộc loại này. Để thu trực tiếp ảnh vân tay trên máy thu vân tay sống ta chỉ cần ấn đầu ngón tay trực tiếp lên cửa sổ thu nhận của máy và thực hiện một số thao tác điều khiển phần mềm.

Chất lượng của ảnh vân tay sống phụ thuộc vào điều kiện thu nhận, ví dụ: chất lượng của máy, tay sạch hay bẩn, tay khô hay ướt, .... Tuy nhiên, do thu nhận trực tiếp nên ta có thể quan sát trực tiếp vân tay được thu nhận, do đó có thể điều chỉnh, kiểm soát được chất lượng của ảnh vân tay.

Ảnh vân tay sống nói chung là có chất lượng tốt hơn so với ảnh lăn mực và ảnh thu thập từ hiện trường vụ án. Hình 1.3 cho thấy ảnh vân tay sống có chất lượng tốt hơn so với vân tay ở Hình 1.2. Tuy hiện nay việc thu vân tay sống đang phát triển nhưng chỉ bản vẫn đang được sử dụng rộng rãi vẫn là một thực tế còn kéo dài rất nhiều năm. Nói riêng, do hiện nay trong Ngành Công an nước ta còn có cả một hệ thống tàng trữ từ Trung ương đến địa phương với hàng chục triệu chỉ bản bằng giấy nên việc duy trì cả hai phương pháp thu nhận vân tay vẫn rất cần thiết.



**Hình 1.3: Ảnh vân tay ấn thu trực tiếp từ thiết bị thu nhận vân tay sống**

### ***Vân tay hiện trường***

Khi một ngón tay tiếp xúc vào một vật nào đó thì nó có thể để lại dấu vân tay lên bề mặt của vật đó. Dấu vân tay để lại đó được gọi là *vân tay hiện trường (latent fingerprint)* hay còn gọi là dấu vân tay ẩn do thường chưa rõ dấu vân tay đó do người nào để lại. Vân tay hiện trường được hình thành do những lớp mỡ hoặc lớp mồ hôi mỏng trên bề mặt da ngón tay để lại sau khi ngón tay tiếp xúc với các vật thể nhẵn bóng, có khi trên các tài liệu hay tấm séc thanh toán. Vân tay hiện trường thường được thu thập và xử lý bởi các phương pháp hóa lý khác nhau nhằm làm cho chúng hiện lên rõ hơn, dễ quan sát hơn và có thể chụp được ảnh. Hình 1.4 minh họa một ảnh vân tay hiện trường đã được xử lý.

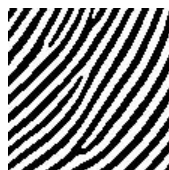


**Hình 1.4: Ảnh dấu vân tay thu thập từ hiện trường vụ án**

Đặc trưng cơ bản của vân tay hiện trường là nó thường không đầy đủ, phần lớn các trường hợp chỉ để lại dấu vân tay của một phần ngón tay, nhiều khi bị mờ, nhòe, bị đè lên vết bẩn hoặc các hoa văn và đặc biệt là bị biến dạng theo mặt cong của đồ vật. Tuy vậy, trong nhiều trường hợp vẫn còn nhiều đặc điểm chi tiết đủ để truy nguyên chính xác đối tượng đã để lại những dấu vân tay đó.

### ***Cấu trúc ảnh vân tay***

Ảnh vân tay có cấu trúc bề mặt khá đặc biệt. Một cấu trúc đường vân lý tưởng bao gồm các dòng đường vân và các dòng đường rãnh chạy xen kẽ nhau, “*song song*” với nhau, một đường vân bị kẹp giữa hai đường rãnh, và ngược lại, một đường rãnh bị kẹp giữa hai đường vân (xem Hình 1.5).



**Hình 1.5: Cấu trúc đường vân**

Xét về kết cấu bề mặt, ảnh vân tay là một kết cấu có hướng. Hướng ở đây chính là hướng của các dòng đường vân với sự thay đổi tương đối chậm.

Trong một ảnh vân tay đa mức xám, xét trong một lân cận, mức xám của các điểm thuộc đường vân và các điểm thuộc đường rãnh trên một mặt cắt vuông góc với đường vân biến đổi theo dạng gần như hình sin như minh họa ở Hình 1.6.



**Hình 1.6: Mức xám của ảnh vân tay theo mặt cắt ngang so với hướng đường vân (V) là điểm chính giữa của đường rãnh, (R) là điểm chính giữa của đường vân**

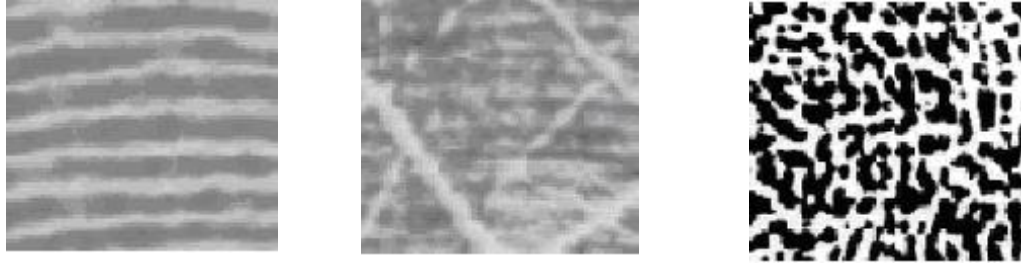
Khi một vân tay bị phá hủy, các cấu trúc đường vân và đường rãnh cũng bị phá hủy theo. Tuy nhiên, dù có sự xuất hiện của nhiễu, một chuyên gia về vân tay vẫn có thể khôi phục lại các cấu trúc đường vân bằng cách sử dụng tính định hướng và tính sóng của đường vân để phán đoán và suy diễn.

Về mặt chất lượng, có thể phân chia một dấu vân tay bất kỳ thành 3 loại:

*Vùng có cấu trúc rõ ràng* là vùng mà mỗi đường vân và đường rãnh phân biệt một cách rõ ràng với các đường vân và các rãnh khác (xem Hình 1.7(a)), và do đó việc trích chọn đặc trưng để đảm bảo chính xác.

*Vùng bị phá hủy nhưng có thể khôi phục lại được* là vùng mà các đường vân và các rãnh bị phá hủy bởi một số lượng nhỏ các vết gấp, các nhát cắt, ..., nhưng chúng ta vẫn có thể xác định và vẽ lại được các vùng vân lân cận cùng các thông tin hữu ích về cấu trúc các đường vân (xem Hình 1.7(b)).

*Vùng bị phá hủy không thể khôi phục được:* là vùng mà các đường vân và các đường rãnh bị phá hủy bởi một số lượng lớn các nhiễu (xem Hình 1.7(c)). Các đường vân và các đường rãnh này là không thể xác định được, các vùng lân cận cũng không cung cấp được thông tin gì đáng kể để có thể khôi phục lại cấu trúc các đường vân.



(a) Cấu trúc vân tay rõ ràng      (b) Vùng bị phá hủy nhưng có thể khôi phục lại được      (c) Vùng bị phá hủy nặng, không thể khôi phục lại được

**Hình 1.7: Các vùng vân với chất lượng khác nhau**

Chúng ta gọi hai loại đầu là vùng có thể khôi phục lại được và vùng thứ ba là vùng không thể khôi phục lại được. Trong bài toán nhận dạng vân tay, chúng ta chỉ sử dụng vùng có thể khôi phục được, vùng không thể khôi phục được xếp vào loại “vùng không xác định”. Các đặc trưng chi tiết do máy phát hiện trên các vùng không xác định thường không được xét đến.

***Đặc trưng của vân tay***

Quan sát các dấu vân tay trong Hình 1.8, chúng ta thấy có nhiều hình dạng rất phong phú, song vẫn có thể phân loại chúng theo các lớp khác nhau. Có những lớp ở đó đường vân chạy từ một phía, đến giữa nhô lên rồi lại chạy tiếp sang phía bên kia tạo thành một mẫu vân có hình dáng như những chiếc cung chồng lên nhau Hình 1.8(a). Song cũng có những dòng vân sau khi chạy nhô lên ở giữa rồi lại quay trở về nơi xuất phát ban đầu Hình 1.8(b). Lại có những dòng đường vân chạy vòng quanh một điểm, giống như những dòng nước xoáy khi chảy qua một chướng ngại vật nào đó Hình 1.8(c).

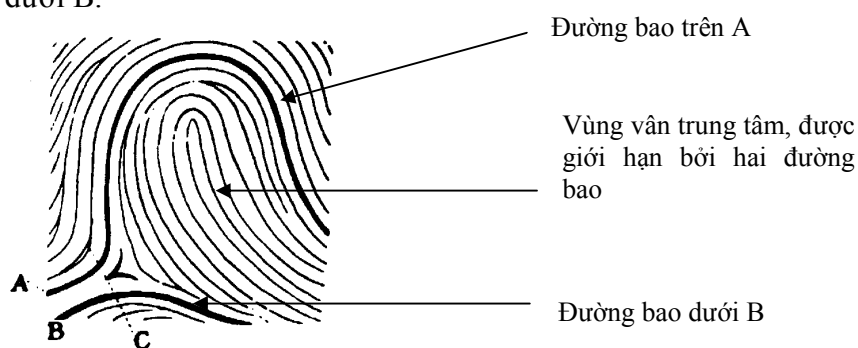


(a) Hình cung      (b) Hình quai      (c) Hình xoáy

**Hình 1.8: Một số dạng vân tay thường gặp**

Để thuận tiện cho phân loại người ta quy ước với nhau một số khái niệm cơ bản:  
*Đường bao và vùng vân trung tâm:*

Vùng vân trung tâm dùng để phân loại là vùng vân nằm chính giữa một dấu vân tay được giới hạn bởi đường bao trên và đường bao dưới. Các đường bao là các đường vân bao vùng vân trung tâm, được quy ước là một cặp đường vân lúc đầu chạy song song với nhau sau đó đến tam phân điểm bên ngoài nhất (có thể ở bên trái hay bên phải) thì chạy tách ra, một chạy lên phía trên, một chạy xuống phía dưới và cùng bao bọc lấy vùng trung tâm. Khi dò theo nét vân, người ta qui ước nếu gặp điểm cắt, phải chuyển ngay sang đường vân liền ngoài để tiếp tục. Hình 1.9 dưới cho ta thấy ví dụ về vùng vân trung tâm được giới hạn bởi các đường bao trên A và đường bao dưới B.

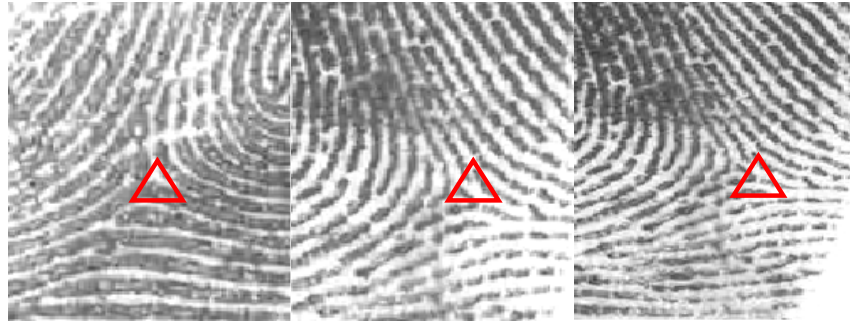


**Hình 1.9: Mô tả đường bao và vùng vân trung tâm**

*Điểm kỳ dị (Singular point):*

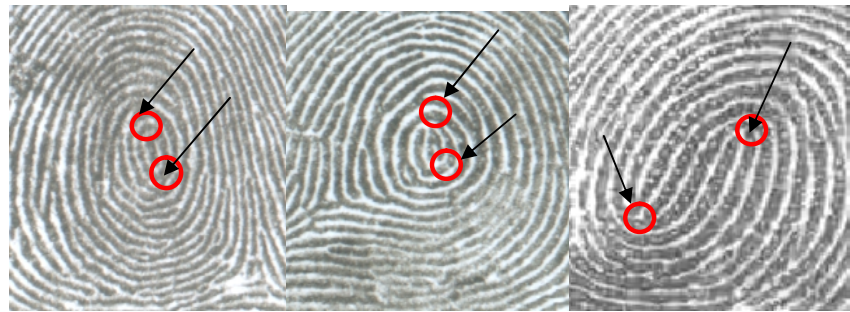
Trên nhiều mẫu vân tay, chúng ta dễ thấy có những điểm đặc biệt có thể quy ước lấy làm điểm tham chiếu (*reference points*) để phân loại. Những điểm đó thường nằm trên vùng tam giác chỗ giao nhau của ba dòng vân hoặc điểm quay gấp của một dòng đường vân nào đấy chúng tương ứng được gọi là *tam phân điểm* và *tâm điểm*. Một vân tay có thể có hai, ba, có khi bốn điểm như thế, song cũng có vân tay chẳng có điểm nào.

*Tam phân điểm* (Delta) là điểm gặp nhau của ba dòng vân khác nhau hoặc là điểm phân kỳ của đường bao trên và đường bao dưới khi ta xét từ trái sang phải và từ phải sang trái. Nếu vân tay có nhiều tam phân điểm thì ta ưu tiên chọn tam phân điểm ngoài cùng để giới hạn vùng trung tâm. Tam phân điểm có thể định vị bởi điểm đầu tiên rẽ nhánh, điểm kết thúc, điểm giao nhau, điểm chấm hay đoạn vân ngắn nằm trên vùng phân kỳ. Hình 1.10 mô tả một số ví dụ về tam phân điểm.



**Hình 1.10: Một số ví dụ về tam phân điểm**

*Tâm điểm (Core)* là điểm mà quanh nó có một dòng vân chạy vòng quanh, nằm gần vị trí trung tâm của vân tay. Trong vân tay, tâm điểm được qui ước chọn điểm nằm trên đường vân mà tại đó độ cong của đường vân là lớn nhất. Một vân tay có thể có nhiều tâm điểm. Hình 1.11 cho minh họa một số ví dụ về tâm điểm.



**Hình 1.11: Một số ví dụ về tâm điểm**

**Số đếm vân**

Là số đường vân cắt đoạn thẳng nối hai điểm mốc (xem Hình 1.12). Điểm mốc có thể là tâm điểm (*core*), tam phân điểm (*delta*) hay điểm đặc trưng chi tiết.



**Hình 1.12: Số đếm vân**

**Các dạng cơ bản của vân tay**

Vân tay được phân loại thành các dạng cơ bản căn cứ vào cách sắp xếp chung của các dòng đường vân. Có ba dạng cơ bản chủ yếu đó là dạng hình cung, dạng hình quai và dạng hình xoáy. Mỗi dạng này còn có thể chia chi tiết



hơn nữa, thậm chí có thể phân loại mịn hơn bằng việc đưa thêm số đếm vân. Bởi vì có một mức độ độc lập nhất định giữa các dạng cơ bản trên mười đầu ngón tay, phương pháp phân loại vân tay theo dạng cơ bản khi áp dụng cho cả 10 ngón sẽ có giá trị phân một tập chỉ bản thành nhiều nhóm nhỏ, mỗi nhóm nhỏ bao gồm những người có cùng một tổ hợp dạng cơ bản như nhau. Như vậy, việc phân nhóm theo dạng cơ bản sẽ rất hữu ích vì nó cho phép giảm số lượng các phép đối sánh khi ta đối sánh một chỉ bản vân tay với một tập chỉ bản cho trước nào đó.

- Dạng vân hình cung (*ARCH* xem hình 1.13): Chiếm khoảng 3,6% tổng số vân tay.
- Dạng vân hình quai (*LOOP* xem hình 1.14): Dạng vân hình quai là loại thường gặp nhất trong các mẫu vân tay, chiếm khoảng 49,5% số vân tay.
- Dạng vân hình xoáy (*WHORL* xem hình 1.15): Loại vân hình xoáy còn được gọi là hoa tay, chiếm khoảng 46,4% trong số các vân tay. Ở loại này, có ít nhất một đường vân tạo thành một vòng tròn đóng hay một đường vân hình chữ S.

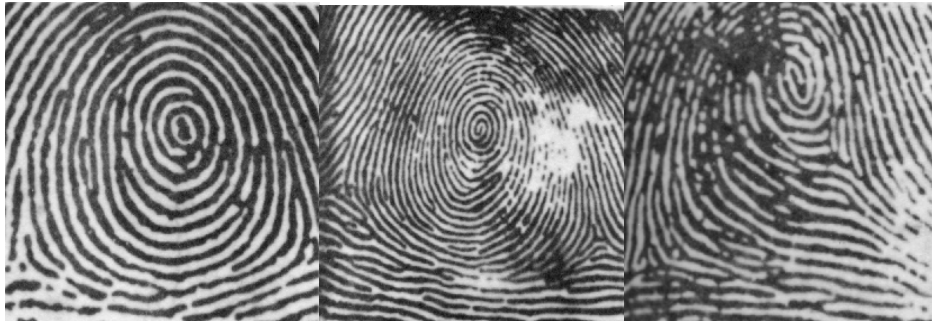


**Hình 1.13: Mô tả loại vân hình cung**



**Hình 1.14: Mô tả loại vân hình quai**





**Hình 1.15: Mô tả loại vân hình xoáy**

Bảng 1.2 sau đây chỉ ra cho ta tần suất xuất hiện các dạng cơ bản của vân tay trên 10 đầu ngón tay.

**Bảng 1.2: Tần suất xuất hiện dạng cơ bản [2]**

DCB\Ngón	CP	TP	GP	NP	UP	CT	TT	GT	NT	UT	Cộng
<b>Cung</b>	0.204	0.81	0.35	0.15	0.18	0.25	0.75	0.46	0.22	0.25	<b>3.624</b>
<b>Quai trái</b>	0.08	1.5	0.16	0.094	0.23	3.13	4.001	5.32	3.23	7.05	<b>24.795</b>
<b>Quai phải</b>	3.301	3.15	5.32	3.41	7.56	0.17	1.008	0.09	0.183	0.5	<b>24.692</b>
<b>Xoáy</b>	6.413	4.49	4.13	6.33	2.02	6.54	4.197	4.11	6.35	1.85	<b>46.43</b>
<b>Cụt, Sẹo</b>	0.003	0.05	0.04	0.016	0.01	0.01	0.044	0.02	0.017	0.35	<b>0.56</b>

Trong đó CP, TP, GP, NP, UP lần lượt là các ngón tay cái, trỏ, giữa, nhẫn và út của bàn tay phải còn CT, TT, GT, NT, UT là các ngón tay cái, trỏ, giữa, nhẫn và út của bàn tay trái. Qua bảng này ta thấy chỉ có 0.204% dạng cơ bản hình cung trên ngón cái phải trong khi đó có 6.35% dạng cơ bản hình xoáy trên ngón đeo nhẫn trái.

Bảng 1.3 chỉ ra cho ta thấy mười hai tổ hợp các dạng vân tay cơ bản trên hai bàn tay có tần suất xuất hiện cao nhất. Cột thứ nhất chỉ ra các tổ hợp dạng cơ bản của 10 ngón tay bắt đầu từ ngón cái phải và kết thúc là ngón út trái. Những chữ cái R, L, W và A kí hiệu tương ứng cho các dạng cơ bản quai phải, quai trái, xoáy và cung. Cột thứ hai chỉ ra số phần trăm. Tổ hợp phổ biến nhất, ước tính khoảng 3,545% số chỉ bản có 5 ngón tay phải đều có dạng quai phải và 5 ngón tay trái đều có dạng quai trái.

Do vậy, bằng cách kiểm tra dạng cơ bản của mười ngón tay, một chuyên gia vân tay có thể phân loại một người cụ thể vào một lớp nào đó (có cùng tổ hợp dạng cơ bản). Tuy nhiên, mỗi nhóm này vẫn còn bao gồm rất nhiều người. Để tăng tốc độ

truy nguyên trên CSDL dung lượng lớn, cần thiết phải dùng kỹ thuật đánh chỉ số CSDL vân tay không chỉ theo dạng cơ bản mà còn theo những đặc điểm khác nữa.

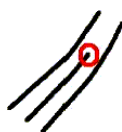
**Bảng 1.3: Tần suất xuất hiện một số tổ hợp các dạng vân tay cơ bản**

Tổ hợp dạng cơ bản	Tần suất xuất hiện
RRRRR LLLLL	3.545
WWWWW WWWWW	1.86
WWWWR WWWWL	1.68
RLRRR LRLLL	1.64
RRRRR LRLLL	1.53
WRRRR WLLLL	1.45
RRRWR LLLLL	1.41
RLRRR LLLLL	1.36
RRRRR LALLL	1.26
WRRRR LLLLL	1.12
RARRR LALLL	1.02
RRRWR LLLWL	0.96

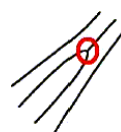
### **Điểm đặc trưng chi tiết**

Trong mỗi dấu vân tay có một số đường vân đang chạy liên tục rồi đến một vị trí nào đó hoặc bị phân ra hai, ba nhánh (điểm rẽ nhánh) hoặc có khi bị đột ngột kết thúc (điểm cụt). Các điểm kết thúc hay rẽ nhánh này phân bố tương đối ngẫu nhiên trên một dấu vân tay và được gọi là những đặc trưng chi tiết (*minutiae*). Dưới đây là một số kiểu điểm đặc trưng chi tiết (ĐTCT).

*Điểm cụt*: Hình 1.16(a) cho ta thấy điểm kết thúc đường vân (*ridge ending*) hay còn gọi là điểm cụt xuất hiện khi đường vân đột ngột kết thúc.



(a) Điểm cụt



(b) Điểm rẽ nhánh

**Hình 1.16: Minh họa điểm đặc trưng chi tiết**

*Điểm rẽ nhánh* là điểm tại đó đường vân rẽ ra làm hai nhánh (xem Hình 1.16(b)).

Tuy nhiên các cách tổ hợp khác nhau của hai loại ĐTCT này cũng tạo ra nhiều biến thể khác nhau được gọi chung là đặc điểm thứ cấp (*secondary feature*)

như các chấm cô lập, các đoạn đường vân ngắn, đường vân hình mắt (lòng hồ), hình móc, cầu nối, hai đường vân cắt gấp nhau.

- *Những chấm nhỏ cô lập (dot)*: gồm một số điểm đen gộp lại thành một dấu chấm cô lập.
- *Đoạn đường vân ngắn hay đảo (island)*: là một đoạn đường vân ngắn như trong Hình 1.17(a), nhưng không quá ngắn để có thể coi là một điểm, cũng là tổ hợp hai điểm cắt liên thông, nằm gần sát nhau và ngược chiều nhau.



(a) *Đoạn vân ngắn dạng đảo*      (b) *Đoạn vân hình mắt*      (c) *Nhánh móc*      (d) *Đoạn cầu nối*

### Hình 1.17: Một số dạng vân đặc biệt

- *Đường hình mắt hay hồ (lake)*: Một đường vân rẽ ra làm hai nhánh sau đó khép lại tạo thành một vòng kín như trong Hình 1.17(b), chúng là tổ hợp hai điểm rẽ nhánh, gần nhau và ngược chiều nhau.
- *Nhánh móc (spur)*: Đường vân tách ra như một cái móc ngắn (xem Hình 1.17(c)).
- *Đoạn cầu nối (crossover)*: Do một móc kéo dài làm thành cầu nối hai đường vân kề nhau (xem Hình 1.17(d)).

Những điểm ĐTCT này phân bố rải rác trong mối tương quan lẫn nhau, mỗi điểm ĐTCT được biểu diễn bởi thể loại, vị trí và hướng xác định. Trừ khi một ngón tay bị phá hủy nặng để lại sẹo, các điểm ĐTCT nhìn chung sẽ vẫn không thay đổi đối với một người trong suốt cả cuộc đời từ khi sinh ra cho đến khi qua đời.

Một thực tế được thừa nhận rộng rãi là hai dấu vân tay cùng có bộ ít nhất từ 10 đến 13 đặc điểm ĐTCT cùng các tương quan vị trí tương ứng giống nhau thì coi như chúng được để lại từ cùng một ngón tay. Hai ngón tay khác nhau luôn tạo ra những dấu vân tay chứa tập các điểm ĐTCT phân bố khác nhau. Do vậy, ngón tay để lại dấu vân tay có thể truy nguyên nhờ đối sánh các điểm ĐTCT.

## 1.2. Hệ thống nhận dạng vân tay tự động

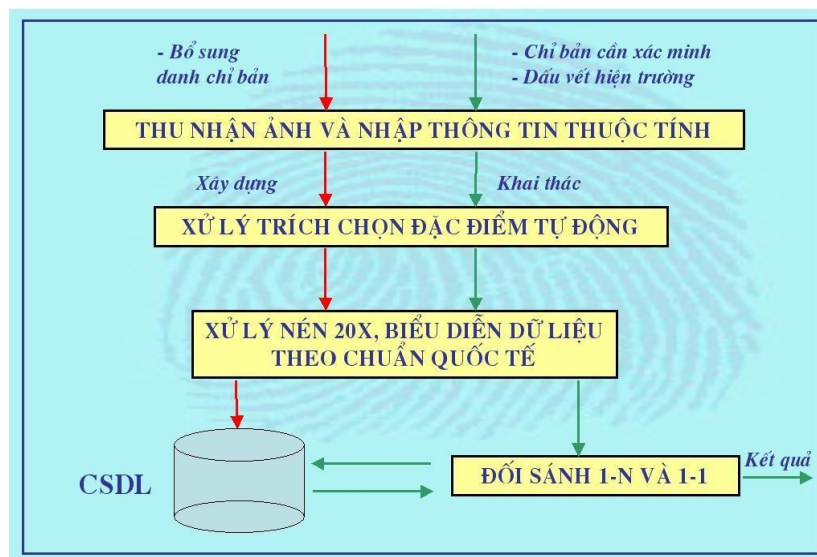
Ở nước ta hiện nay, tại hầu hết các địa phương cấp tỉnh đều xây dựng hệ thống tàng trữ vân tay căn cước công dân và căn cước can phạm, công việc phân

loại và tìm kiếm vân tay chủ yếu vẫn còn phải thực hiện bằng các phương pháp thủ công. Các chuyên gia phải phân loại, xem xét, so sánh các chỉ bản vân tay bằng mắt thường với các dụng cụ như: kính lúp, bút chì, compa, thước kẻ, .... Việc tổ chức các bộ thẻ và tra tìm, đối sánh thủ công như vậy mất nhiều thời gian và công sức, do đó thường không đạt được hiệu quả mong muốn.

Hiện nay, các ứng dụng tự động nhận dạng vân tay ra đời cho phép tìm kiếm vân tay trong một cơ sở dữ liệu lớn với thời gian nhanh và độ chính xác cao.

Một hệ thống nhận dạng vân tay tự động thông thường phải có hai chức năng cơ bản: xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL) và truy nguyên vân tay. Xây dựng CSDL vân tay tức là thực hiện các công việc: Thu thập chỉ bản của các đối tượng quản lý, quét chỉ bản, nhập thông tin thuộc tính (số đối tượng, họ tên, năm sinh, nơi sinh, ...), phân loại vân tay theo các đặc điểm cơ bản, xử lý trích chọn tự động các ĐTCT, lưu và tổ chức CSDL. Truy nguyên vân tay là xác định xem đối tượng có vân tay đó đã có trong cơ sở dữ liệu hay chưa, số hồ sơ đối tượng đăng ký là bao nhiêu. Khi xây dựng CSDL vân tay cũng như khi truy nguyên đều đòi hỏi phải phân loại và trích chọn các điểm ĐTCT trước khi tiến hành đối sánh. Hình 1.18 mô tả sơ đồ khối tổng quát của hệ thống nhận dạng vân tay tự động.

MÔ HÌNH HOẠT ĐỘNG CỦA MỘT HỆ AFIS



Hình 1.18: Sơ đồ khối tổng quát một hệ AFIS

*Thu nhận ảnh, nhập thông tin thuộc tính và tiền xử lý:* Khâu này có ý nghĩa rất lớn trong mô hình nhận dạng vân tay tự động. Ảnh vân tay thu nhận có chất lượng khác nhau. Ảnh lấy mẫu trên các máy lăn tay sống chuyên dụng thường có chất lượng tốt hơn ảnh quét từ chỉ bản lăn mực. Tiền xử lý ảnh là chuyển ảnh vân tay sang một dạng phù hợp, có chất lượng tốt để phục vụ cho pha trích chọn đặc trưng.

*Phân loại vân tay tự động:* Phân loại vân tay tự động là xây dựng thuật toán phân tích ảnh vân tay để phân chia chúng thành một số dạng cơ bản. Phân loại là bước lọc thô, bởi vì hai vân tay thuộc hai loại khác nhau được coi là khác nhau, không cần phải đối sánh nữa. Với việc phân loại vân tay, khâu đối sánh chỉ phải thực hiện trên các vân tay cùng một loại. Điều này làm cho thời gian tìm kiếm vân tay trên một cơ sở dữ liệu giảm đi rất nhiều.

*Trích chọn đặc trưng tự động:* Các vân tay phân biệt nhau bởi một số thuộc tính đặc trưng để phục vụ cho bài toán nhận dạng, chẳng hạn các điểm DTCT, tâm điểm, tam phân điểm... Cần phải tìm ra được thuật toán hiệu quả để tự động trích chọn các đặc trưng chi tiết này.

*Tổ chức Cơ sở dữ liệu:* CSDL lưu ảnh vân tay cùng các thông tin thuộc tính (số đối tượng, họ tên, ngày sinh, địa phương, ...) của đối tượng, thông tin hình học như dạng cơ bản và các điểm đặc trưng chi tiết của vân tay. Để tra cứu nhanh, CSDL ảnh vân tay gốc và CSDL các đặc điểm trích chọn cần được tổ chức hợp lý. Thông thường CSDL vân tay gốc được sắp xếp theo số căn cước còn CSDL các thông tin thuộc tính bao gồm các đặc điểm vân tay được sắp xếp, đánh chỉ số, chẳng hạn theo dạng cơ bản và một số thông tin phụ trợ khác như địa phương, năm sinh, giới tính, tuổi, ...

*Đối sánh:* Đối sánh tự động là so sánh tự động hai tập đặc trưng trích chọn được của vân tay thay cho đối sánh trực tiếp hai ảnh đa cấp xám của chúng để đưa ra độ giống làm căn cứ để kết luận chúng có đồng nhất với nhau hay không và nếu có thì với sai số là bao nhiêu.

### 1.3. Tình hình nghiên cứu, ứng dụng các hệ nhận dạng vân tay tự động

Hệ thống nhận dạng vân tay tự động nói chung trên thế giới đã được nghiên cứu phát triển từ khá lâu. Ngay từ những năm sáu mươi của thế kỷ trước nhiều hệ thống đã được đưa vào hoạt động tại hàng trăm cơ quan cảnh sát trên thế giới. Phổ biến nhất vẫn là sản phẩm của ba công ty lớn, đó là MORPHO của Pháp, NEC của Nhật, và PRINTRAK của Mỹ. Nhiều ứng dụng được triển khai theo nhiều qui mô khác nhau, từ hàng triệu bản ghi (NEWYORK, TOKYO, Cảnh sát CANADA) đến các hệ qui mô nhỏ hàng nghìn bản ghi. Ngoài các hãng lớn trên, ở nhiều nước, người ta cũng đã tự xây dựng các hệ AFIS dùng riêng cho cơ quan cảnh sát của họ.

Ở nước ta, từ những năm 90, cơ quan cảnh sát cũng đã nhập, và đưa vào sử dụng hệ thống nhận dạng vân tay Morpho AFIS của hãng SAGEM của Pháp. Qua 10 năm sử dụng đã xây dựng và đưa vào khai thác một cơ sở dữ liệu qui mô 1,3 triệu chỉ bản, trong khi nhu cầu thực tế ở Trung ương phải xây dựng được CSDL khoảng 3 triệu chỉ bản. Gần đây Bộ Công an lại nhập tiếp hệ NEC AFIS của Nhật và hệ COGENT AFIS, hệ AFIX Tracker của Mỹ. Còn tại hầu hết các địa phương, công việc phân loại và tìm kiếm vân tay tội phạm chủ yếu hiện nay vẫn phải thực hiện bằng phương pháp thủ công. Việc mở rộng hệ thống để ứng dụng cho qui mô cả nước sẽ cần phải đầu tư tiếp rất nhiều ngoại tệ và chắc chắn nếu tiếp tục nhập ngoại sẽ càng ngày càng bị lệ thuộc nhiều hơn vào công nghệ nước ngoài.

Để nâng cao tính chủ động công nghệ, Bộ Công an đã chủ trương và tạo điều kiện cho *Phòng Thí nghiệm Mô phỏng và Tích hợp hệ thống* phát huy nội lực để tự xây dựng cho Công an Việt Nam một sản phẩm AFIS dùng cho toàn ngành. Được tạo điều kiện về cơ sở vật chất khá thuận lợi, Nhóm tác giả thuộc *Phòng Thí nghiệm Mô phỏng và Tích hợp hệ thống* đã cho ra đời một sản phẩm AFIS mang tên C@FRIS.

Sản phẩm C@FRIS được xây dựng dựa trên các nguyên lý phổ biến của một hệ nhận dạng vân tay, có đầy đủ tính năng cơ bản như:

- *Truy nguyên, đối sánh chỉ bản 10 ngón trên CSDL chỉ bản 10 ngón, để dùng cho mục đích xác minh căn cước, đảm bảo cấp số căn cước duy nhất cho các đối tượng thuộc diện quản lý.*

- Truy nguyên, đối sánh dấu vân tay hiện trường theo các chế độ: dấu vân tay với chỉ bản, chỉ bản với dấu vân tay và dấu vân tay với dấu vân tay để dùng cho mục đích điều tra các vụ án.

Ngoài ra, sản phẩm này cho phép trao đổi dữ liệu vân tay số hóa với hệ MORPHO AFIS của hãng SAGEM cũng như với các hệ AFIS nổi tiếng khác. Nhờ tính chất phù hợp chuẩn này, nhiều kết quả trung gian của các hệ AFIS có thể chuyển đổi qua lại cho nhau và mỗi sản phẩm thành phần của nó cũng là một sản phẩm có thể tham gia hội nhập quốc tế.

Sản phẩm C@FRIS đã được đưa vào ứng dụng thực tế tại Công an Hà Nội từ năm 2004 đến năm 2008, đã điện tử hóa thành công tàng thư căn cước can phạm qui mô 250.000 đối tượng chỉ trong thời gian 6 tháng. Trong thời gian thử nghiệm, hệ thống C@FRIS đã giúp Công an Hà Nội hàng năm tra cứu hàng chục nghìn yêu cầu xác minh căn cước và đã trực tiếp tra cứu phát hiện 38 đối tượng gây án của 38 vụ trộm cướp. Sản phẩm C@FRIS đã được Hội đồng khoa học Bộ Công an nghiệm thu, đánh giá xuất sắc và đã vinh dự được trao giải thưởng Sáng tạo khoa học Việt Nam 2008 (*VIFOTEC 2008*).

Hiện nay C@FRIS đang đặt ra yêu cầu được tiếp tục cải tiến và nâng cấp theo hướng nâng cao hơn nữa các tính năng kỹ thuật và qui mô hệ thống. Sau đây là một số nội dung cần cải tiến nâng cấp cụ thể.

**i) Về nhập liệu:** Nhóm C@FRIS đã xây dựng phần mềm nhập liệu C@FRIS Scan.

*Tính năng:*

- Cho phép người sử dụng điều khiển scanner, quét nhập chỉ bản 10 ngón, độ phân giải 500 dpi.
- Cắt ảnh tương tác phần 10 ngón và phân thành 10 ảnh con cho 10 ngón, nén ảnh theo chuẩn WSQ(phương pháp nén vân tay WSQ (*Wavelet Scalar Quantization*)).

- Nhập thông tin thuộc tính như số căn cước đối tượng, họ tên, ngày tháng năm sinh, giới tính, địa phương cư trú và dạng cơ bản. (Chưa phân loại tự động vân tay theo dạng cơ bản).
- Công suất nhập liệu: 500 chỉ bản/ 1 ngày công (8 giờ) trên 1 trạm PC.

*Nhu cầu nâng cấp:*

- Phân đoạn 10 ngón; không chỉ lưu ảnh 10 ngón vân tay lăn mà cả 10 ngón vân tay ấn. Xử lý nén và lưu vào CSDL ảnh chỉ bản gốc.
- Thực hiện chức năng kiểm tra tính hợp lệ của thứ tự ngón (*sequence check*).
- Nhận dạng dạng cơ bản, tính số đếm vân, trích chọn bản đồ hướng, bản đồ mật độ.

**ii) Về trình độ làm chủ kỹ thuật đối sánh vân tay tự động:** Đã triển khai thành công một số thuật toán quan trọng.

**Về tiền xử lý:**

*Tính năng:*

- Thuật toán ước lượng ma trận hướng (trường hướng hay bản đồ hướng vân);
- Thuật toán chuyển đổi ảnh từ dạng 256 cấp xám sang dạng nhị phân dùng ngưỡng địa phương. Kết quả thu được là ảnh vân hoặc ảnh rãnh dạng nhị phân. Tuy nhiên, vùng vân gần điểm dị thường chưa đạt.
- Thuật toán dò biên, vectơ hóa ảnh biên và ảnh khung xương;
- Thuật toán làm mảnh, lọc xương đường vân, đường rãnh.

**Về trích chọn đặc trưng:**

*Tính năng:*

- Thuật toán trích chọn và định vị điểm dị thường (*deltas, cores*);
- Thuật toán trích chọn đặc trưng chi tiết trên cơ sở phân tích độ cong đường biên;
- Thuật toán trích chọn ĐTCT từ bản đồ khung xương dạng vectơ.

*Nhu cầu nâng cấp:*



- Trích chọn và định vị điểm dị thường để làm điểm tham chiếu (*reference point*);
- Đánh giá ĐTCT theo luật đối ngẫu (3 lớp: tin cậy cao, tin cậy và giả ĐTCT);
- Phân đoạn mịn: tính bản đồ chất lượng (1: vùng chất lượng đảm bảo; 0: vùng nhiễu và nền);
- Kết hợp thuật toán đối sánh ĐTCT có điểm tham chiếu và không có điểm tham chiếu ban đầu, tức là theo ĐTCT theo kiểu phân tầng.

### **Về thuật toán đối sánh ĐTCT:**

#### *Tính năng:*

- Thuật toán đối sánh ĐTCT trong trường hợp có 1, 2, 3 điểm tham chiếu;
- Thuật toán đối sánh vân tay theo sâu các khoảng cách;
- Thuật toán đối sánh ĐTCT dùng phép biến đổi affine.

#### *Nhu cầu nâng cấp:*

- Đưa thêm cấu trúc cục bộ để nâng cao khả năng phân biệt cho các ĐTCT;
- Nâng cao hiệu quả thuật toán đối sánh vân tay theo hướng khử biến dạng phi tuyến.

**iii) Về tổ chức dữ liệu và an ninh an toàn hệ thống:** Đã xây dựng mô đun phần mềm C@FRIS DB.

#### *Tính năng:*

- Để phục vụ tra cứu TP/TP (đối sánh vân tay cả bộ 10 ngón với 10 ngón (*Ten Print/ Ten Print*)): Đã triển khai phương pháp đánh chỉ số theo bộ dạng cơ bản 10 ngón;
- Đã đưa vào ứng dụng phương pháp tìm kiếm TP/TP tuần tự, theo DCB và theo ĐTCT 2 ngón trở, đạt tốc độ trung bình 30s trên CSDL 250.000 chỉ bản 10 ngón;
- Để tra cứu dấu vết vân tay LP/TP (đối sánh vân tay ản (hiện trường) với chỉ bản 10 ngón (*Latent Print/ Ten Print*)): Đã triển khai phương pháp đánh chỉ số theo DCB của từng ngón. Áp dụng phương pháp tìm kiếm tuần tự, dùng

mã phụ ngang hàng, danh sách kết quả tracứ chỉ sắp xếp theo độ giống giữa các bộ ĐTCT. Tốc độ tra cứu đạt được: 50 phút/1 dấu vết.

*Nhu cầu nâng cấp:*

- Đánh chỉ số theo số đếm vân, theo mật độ đường vân;
- Tra cứu song song trên cụm máy tính 5 nodes. Tốc độ mong muốn: khoảng 5-10 phút/1 yêu cầu trên CSDL 2.500.000 ngón (tỷ lệ thuận với số nodes đưa vào xử lý).
- Bảo vệ, đảm bảo an ninh an toàn hệ thống.

#### **iv) Về phương pháp truy nguyên vân tay tự động:**

*Tính năng:*

- Trường hợp đối sánh TP/TP: Dùng mã phụ DCB ngang hàng, chưa sắp theo thứ tự. Chưa tổ chức tra cứu song song. Danh sách kết quả: sắp xếp theo độ giống;
- Trường hợp đối sánh LP/TP: Dùng mã phụ Mã ngón, DCB ngang hàng, chưa sắp theo thứ tự. Chưa tổ chức tra cứu song song. Danh sách kết quả: Sắp xếp theo độ giống. Danh sách kết quả tra cứu vân tay hiện trường còn dài, công thẩm định thủ công còn cao.

*Nhu cầu nâng cấp:*

Phát triển phương pháp đối sánh tổng hợp, đa thể thức theo kiểu kết hợp tổ hợp phân tầng và song song hóa.

### **1.4. Kết luận**

Nhận dạng vân tay là một bài toán có nhiều ứng dụng thiết thực, thu hút sự quan tâm sâu sắc của rất nhiều nhà khoa học tại các trung tâm nghiên cứu hàng đầu thế giới. Cho đến nay, mặc dù đã có nhiều sản phẩm AFIS trên thị trường nhưng việc xây dựng và làm chủ các hệ thống nhận dạng và truy nguyên vân tay có độ tin cậy cao vẫn là nội dung sôi động đang thu hút rất nhiều nỗ lực của các nhà khoa học trên thế giới.

Ngành Công an nước ta có nhu cầu ứng dụng hệ thống nhận dạng vân tay rất lớn. Việc nhập ngoại các sản phẩm công nghệ cao trong thời gian qua đã bộc lộ

nhiều bất cập, đặc biệt là các sản phẩm liên quan đến nghiệp vụ công an mang tính hệ thống, cần liên tục nâng cấp, cải tiến, kết nối, tích hợp với các hệ thống nghiệp vụ khác. Thực tế cho thấy việc nghiên cứu làm chủ công nghệ, nâng cấp sản phẩm để nâng cao giá trị khoa học cũng như hiệu quả ứng dụng thực tế là một đòi hỏi có tính bức thiết, thường xuyên và liên tục.

Trên cơ sở phân tích các kết quả nghiên cứu đạt được trong quá trình nghiên cứu và triển khai ứng dụng hệ C@FRIS, cũng như những nội dung cần tiếp tục cải tiến, luận án đề xuất tiếp tục nghiên cứu phát triển các nội dung cụ thể như sau:

- Phân đoạn chỉ bản để tách ảnh và đánh giá vân tay tự động.
- Tổ chức dữ liệu hợp lý để tăng tốc độ truy nguyên.
- Bảo vệ hệ thống khi hệ được dùng chung trên mạng.
- Phát triển các thuật toán đối sánh nhanh và chính xác cho các loại vân tay.
- Hoàn thiện phương pháp truy nguyên vân tay hiện trường trên CSDL qui mô lớn.

Phần còn lại của luận án sẽ dành để trình bày các đóng góp của luận án cho các chủ đề này.

## **Chương 2. THUẬT TOÁN PHÂN ĐOẠN VÂN TAY TỪ MẪU CHỈ BẢN MƯỜI NGÓN**

Trong các hệ thống nhận dạng ảnh nói chung, phân đoạn ảnh (*image segmentation*) là một bước xử lý sơ bộ nhằm loại bỏ bớt dư thừa và xác định vùng quan tâm trên ảnh. Đối với các hệ AFIS, phân đoạn vân tay giữ vị trí rất quan trọng, trực tiếp góp phần nâng cao kỹ thuật tự động hóa, hiệu năng của phân hệ nhập chuyển đổi thông tin số hóa. Yêu cầu đặt ra cụ thể là rút ngắn thời gian điện tử hóa các tàng thư chỉ bản qui mô hàng triệu chỉ bản hiện nay tại các địa phương của nước ta xuống trong phạm vi 1 năm.

Chương này đề xuất thuật toán phân đoạn vân tay từ ảnh mẫu chỉ bản mười ngón. Thuật toán này bao gồm hai công đoạn: 1) Công đoạn thô, xử lý cắt tách ảnh mẫu chỉ bản mười ngón trên đó có 10 vân tay lấn và 10 vân tay ấn thành hai mươi ảnh ngón riêng rẽ chỉ chứa vùng vân quan tâm; 2) Công đoạn mịn, xử lý tách vùng vân chất lượng cao khỏi vùng nền và vùng nhiễu trên từng ảnh vân tay.

### **2.1. Bài toán phân đoạn ảnh vân tay tự động**

#### **2.1.1. Khái niệm phân đoạn ảnh**

##### ***Phân đoạn ảnh tổng quát:***

Phân đoạn ảnh (*image segmentation*) là một quá trình thực hiện việc tách từ vùng ảnh thành một hay một số vùng các điểm ảnh cùng thỏa mãn một số tính chất chung nào đấy như theo màu sắc, mức xám, kết cấu bề mặt, chiều hướng, .... Mỗi vùng thường được biểu diễn bằng một tập các điểm ảnh liên thông cùng thỏa mãn một tiêu chí nhận biết. Tiêu chí này phụ thuộc vào mục tiêu cụ thể của từng loại ứng dụng. Sau khi phân đoạn mỗi điểm ảnh chỉ thuộc về một trong hai lớp: vùng quan tâm và vùng không quan tâm.

Một cách tổng quát, có thể coi phân đoạn là bài toán nhận dạng các điểm (*pixel*) ảnh để phân thành hai lớp: lớp quan tâm và lớp không quan tâm, trong đó các tập mẫu học có thể cho trước (học có thầy) hoặc không cho trước (học không có thầy hay học tự động).

### ***Phân đoạn ảnh vân tay:***

Phân đoạn ảnh là quyết định phần ảnh nào thuộc vùng cần quan tâm, vùng ảnh nào là vùng nền bao quanh và vùng nào là biên hay nhiễu của ảnh. Việc xác định vùng vân chính xác không chỉ đơn thuần là thu nhỏ kích thước ảnh, giảm thiểu bộ nhớ mà còn góp phần vào việc đánh giá các điểm ĐTCT trích chọn được trên ảnh. Hầu hết các thuật toán trích chọn các điểm ĐTCT đều trích chọn sai khi gặp vùng nhiễu và vùng biên của ảnh. Bởi vậy, các thuật toán phân đoạn hoạt động tốt sẽ góp phần loại bỏ được các sai sót đó. Nhờ loại được các ĐTCT trích chọn sai, hiệu quả đối sánh sẽ được nâng lên.

Phân đoạn ảnh chỉ bản vân tay 10 ngón mà chương này đề cập là một trường hợp ứng dụng cụ thể phức tạp hơn của kỹ thuật phân đoạn ảnh nói chung. Nhiệm vụ của nó là phát hiện và cắt ảnh các đầu ngón tay ra khỏi vùng nền trên các ô của chỉ bản 10 ngón (Hình 2.1) gồm 10 ảnh vân tay lãn và 10 ảnh vân tay ấn. Sau đó tiến hành phân đoạn ảnh vân tay từng ngón để xác định vùng vân quan tâm. Công việc này là rất cần thiết, một mặt nhằm thay thế thao tác thủ công trong khi quét ảnh, cắt ảnh để nâng cao công suất nhập liệu, mặt khác nhằm thu hẹp vùng xử lý trên ảnh vân tay. Nhờ đó, vừa có thể giảm thiểu được thời gian nén, thời gian truyền ảnh cũng như dung lượng lưu trữ trong cơ sở dữ liệu, vừa có cơ sở để đánh giá và tuyển chọn các ĐTCT trích chọn trên vùng ảnh quan tâm. Việc phân đoạn ảnh tốt góp phần nâng cao độ chính xác, tăng hiệu quả của thuật toán trích chọn ĐTCT và đối sánh. Hơn nữa, kỹ thuật phân đoạn khi được áp dụng để phân vùng chỉ bản giấy có thể dùng để phân đoạn các ảnh thu nhận vân tay sống theo phương pháp ấn đồng thời hai bộ 4 ngón tay trái và tay phải và một bộ 2 ngón cái, góp phần nâng cao kỹ thuật tự động hóa, tăng năng suất nhập liệu và cuối cùng là đem lại hiệu quả chung cho toàn hệ thống.

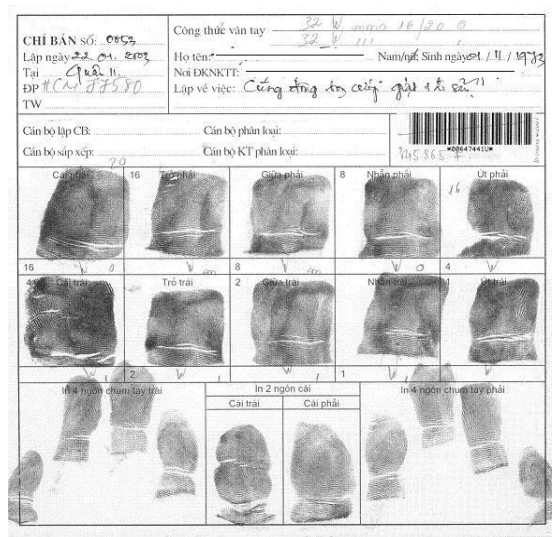
#### **2.1.2. Bài toán phân đoạn tự động ảnh vân tay từ mẫu chỉ bản vân tay 10 ngón**

Bài toán phân đoạn tự động ảnh vân tay được phát biểu như sau: Cho một chỉ bản vân tay 10 ngón như trong Hình 2.1. Cần xây dựng thuật toán tự động định vị

và tách từ chỉ bản vân tay 10 ngón thành 20 vùng quan tâm riêng rẽ như sau: 10 vùng ảnh cho 10 vân tay lặn, 10 vùng cho 10 vân tay ẩn.

Trên thực tế các chỉ bản được in ra chỉ dựa theo chuẩn nhưng không tuân thủ chính xác nên xuất hiện với nhiều mẫu thiết kế sai khác nhau, kích thước sai khác nhau và chất lượng giấy cũng khác nhau. Có nhiều loại giấy cũ, thậm chí có những chỉ bản dùng giấy nền màu tím, màu xanh (xem Hình 2.2), trên đó còn nhiều vết nhiễu như: các số hiệu phân loại, vết mực bản, các vết linh tinh khác,...

Không những đối với chỉ bản giấy truyền thống, mà ngay cả với chỉ bản thu nhận bằng thiết bị vân tay sống, bài toán phân đoạn cũng đang là một vấn đề thời sự đang được thế giới quan tâm (xem [38,67,77,79,81]). Nội dung của những bài toán phân đoạn này nhằm tách phần 2 ngón cái và phần 4 ngón lặn đồng thời thành từng ngón riêng rẽ khi lập chỉ bản vân tay sống tại các trạm đăng ký, kiểm tra thị thực nhập cảnh. Holdvà các cộng sự [38] đã đề xuất giải pháp cho bài toán phân đoạn này nhằm tách phần 4 ngón vân tay ẩn đồng thời thành từng ngón riêng rẽ để cài đặt phần mềm lập vân tay sống trang bị cho các trạm đăng ký, kiểm tra thị thực nhập cảnh. Tuy nhiên, so với bài toán phân đoạn chỉ bản vân tay sống, bài toán phân đoạn trên chỉ bản giấy phức tạp hơn do sự đa dạng của các loại mẫu mà chỉ bản giấy đưa vào sử dụng, đặc biệt là các loại mẫu chỉ bản giấy phi chuẩn, lệch chuẩn (Mẫu A7 và tựa A7) của thực tế nước ta.



**Hình 2.1: Mẫu chỉ bản vân tay 10 ngón**

Các tài liệu công bố liên quan đến bài toán cắt thô ảnh chỉ bản 10 ngón thành 20 ngón riêng rẽ hiện nay rất ít. Trên Internet có thể tìm được một số bằng sáng chế của Mỹ đề cập đến chủ đề này (chẳng hạn:[35,54]), nhưng những sáng chế này chỉ trình bày nguyên lý hoạt động của thiết bị, không tìm thấy tài liệu nào đưa ra phương pháp và thuật toán xử lý cắt ảnh từ mẫu chỉ bản 10 ngón. Thực tế, hiện nay hầu hết các hệ thống nhận dạng vân tay tự động trên thế giới, trong đó có một số hệ đã được thương mại hóa và nhập vào sử dụng ở nước ta như hệ MORPHO AFIS, hệ AFIX TRACKER, NEC AFIS hay COGENT AFIS chủ yếu vẫn đang dùng phương pháp tương tác trực tiếp trên màn hình để cắt ảnh chỉ bản vân tay thành các ảnh riêng rẽ. Hệ MORPHO AFIS yêu cầu người sử dụng phải dùng chuột để định vị các tâm vân tay còn hệ AFIX TRACKER thì hiển thị mặc định 10 khung hình cho 10 ngón để người sử dụng tiếp tục chỉnh sửa tương tác thủ công. Do phải cắt ảnh chậm, tốc độ nhập liệu của các hệ này còn rất thấp (chỉ đạt công suất dưới mức 200 chỉ bản/ngày/trạm).

Phân đoạn vân tay là chủ đề có tính thời sự nóng hổi. Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Mỹ đã đưa ra đặc tả kỹ thuật để kêu gọi các nhà khoa học tham gia nghiên cứu và thi đánh giá các thuật toán phân đoạn các ngón vân tay chụm (4 ngón ấn đồng thời) [38]. Giải quyết được bài toán phân đoạn 4 ngón chụm đồng nghĩa với việc rút ngắn được thời gian đăng ký vân tay vào hệ thống cũng như thời gian nhập liệu xác minh danh tính. Hiện nay hệ AFIS quản lý xuất nhập cảnh của Mỹ US-VISIT đang dùng phương pháp này để thu nhận vân tay những người xin nhập cảnh vào Mỹ với 3 lần nhập: Ấn đồng thời 4 ngón chụm tay phải, 4 ngón chụm tay trái và hai ngón cái với thời gian chỉ dưới 1 phút/người, trong khi nếu dùng phương pháp lăn truyền thống phải mất ít nhất 5 phút /người.

So với bài toán phân đoạn chỉ bản 4 ngón chụm vân tay sống, bài toán phân đoạn chỉ bản vân tay trên giấy phức tạp hơn. Do đó, nếu giải quyết được vấn đề phân đoạn tự động ảnh vân tay trên giấy thì cũng sẽ giải quyết được vấn đề phân đoạn các ngón chụm vân tay sống.



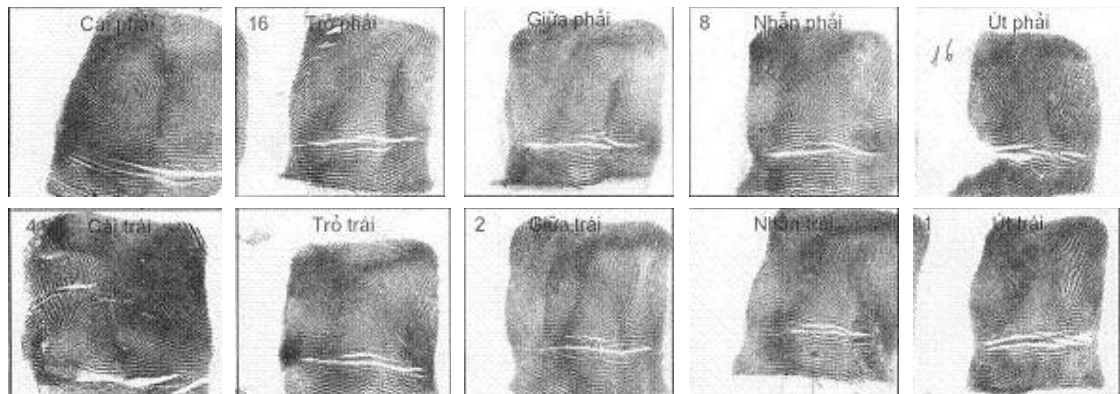
**Hình 2.2: Mẫu chỉ bản vân tay 10 ngón bị nhiễu**

Hiện thời, đa số phần mềm quét nhập chỉ bản thường hoạt động theo các bước sau:

- Dùng Scanner quét chỉ bản vân tay 10 ngón, kết quả thu được là một ảnh số 256 mức xám, độ phân giải chuẩn 500 dpi (Hình 2.1).

- Từ ảnh chỉ bản vân tay đó, nhân viên mã hóa thường phải xử lý định vị thủ công khung hình chung để cắt tách ảnh 10 dấu vân tay lẫn trên chỉ bản vân tay.

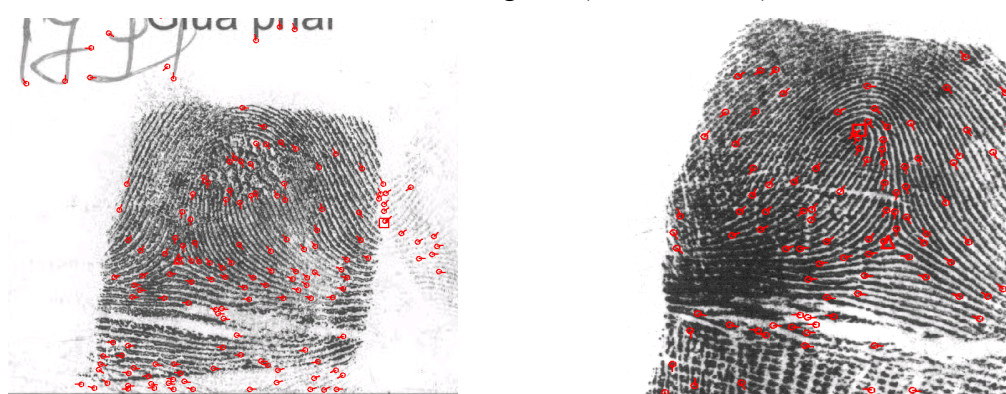
Ảnh của phần mười ngón lẫn trên chỉ bản thường được xử lý tách thủ công tương tác một cách ước lệ cả khung hình phần 10 ngón lẫn thành 10 ảnh từng ngón riêng biệt để lưu trữ vào cơ sở dữ liệu. Nhưng việc tách này vẫn được thực hiện bằng cách chia đều vùng 10 ngón trên thành 2 hàng, mỗi hàng 5 ô. Kết quả là các vân tay lẫn trên chỉ bản được thể hiện sau khi cắt như Hình 2.3.



**Hình 2.3: Kết quả xử lý cắt tương tác khung hình 10 ngón lẫn thành 10 ảnh riêng rẽ**



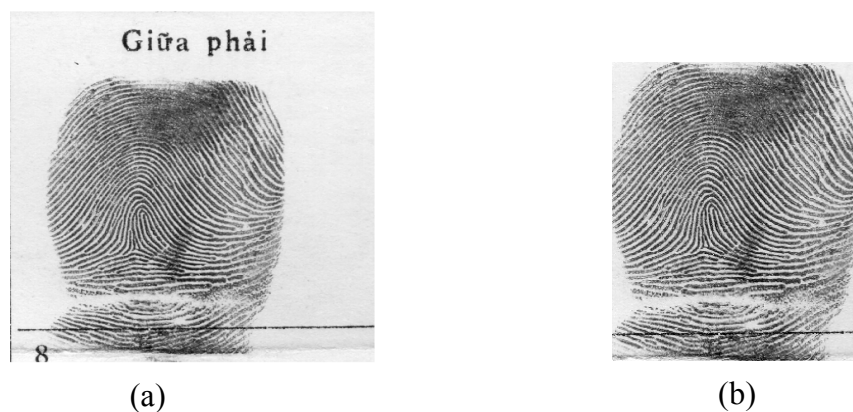
Hầu hết các hệ thống nhận dạng vân tay tự động trên thế giới đều phân tách ảnh chỉ bản vân tay theo cách thức trên hoặc đặt sẵn 10 khung hình cho 10 ngón để chỉnh thủ công (ví dụ: hệ AFIX TRACKER, SAGEM MORPHO). Như ta thấy, cách cắt ảnh này vẫn còn nhiều hạn chế, nó để lại nhiều vùng nền ảnh dư thừa, trên đó thường có nhiều vết nhiễu tạp không mong muốn như: chữ, số in sẵn, viết thêm, vết bẩn, ... Nếu đưa ra được cách cắt ảnh hợp lý hơn, chỉ bao gồm vùng vân quan tâm thì không chỉ góp phần tiết kiệm được bộ nhớ mà còn trực tiếp nâng cao chất lượng bộ điểm ĐTCT trích chọn được nhờ loại bỏ được nhiều trên vùng nền (xem Hình 2.4).



(a) Ảnh vân tay chưa phân đoạn có nhiều ĐTCT "rác" trên nền ảnh

(b) Ảnh vân tay sau phân đoạn với bộ ĐTCT mong muốn

**Hình 2.4: Minh họa bộ đặc điểm chi tiết của 2 vân tay trước và sau phân đoạn**



(a)

(b)

**Hình 2.5: (a) Ảnh vân tay ban đầu, (b) Ảnh vân tay sau phân đoạn thô**

Do vậy, cần phải cải tiến công đoạn cắt ảnh theo hướng ứng dụng các phương pháp phân đoạn để tự động phân vùng và tách các ngón trên chỉ bản 10 ngón sao cho với mỗi ảnh của một ngón tay riêng rẽ thì vùng ảnh quan tâm được tách khỏi vùng nền (xem Hình 2.5).

### 2.1.3. Một số thuật toán phân đoạn liên quan

Do sự đa dạng của các loại phương tiện thu nhận vân tay cũng như các loại hình ứng dụng, chủ đề phân đoạn vẫn đang thu hút sự quan tâm của nhiều nhóm nghiên cứu [21,24,49,84]. Với mức độ cao hơn, phân đoạn vân tay hiện nay không dừng lại ở việc chỉ tìm vùng vân quan tâm mà tiến tới xác định vùng chất lượng cao hay bản đồ chất lượng cũng đang là một chủ đề được tập trung nghiên cứu [27,28,53,72,78]. Trên cơ sở vùng chất lượng vân tay được xác định, người ta có thể tiến hành đánh giá độ tin cậy của các điểm ĐTCT dựa trên thực tế là các điểm ĐTCT trích chọn được trên vùng vân rõ nét thường có độ tin cậy cao hơn so với trên vùng vân tay nhiễu và trên vùng nền. Việc lập bản đồ chất lượng cho mỗi vân tay còn là thông tin quan trọng giúp cho quá trình đối sánh hiệu quả hơn nhờ chỉ tập trung vào các ĐTCT có độ tin cậy cao trên miền giao chung của hai vân tay.

Hiện nay đã có rất nhiều bài báo quan tâm đến vấn đề phân đoạn ảnh và có nhiều thuật toán được đề xuất (xem [21,39,70,74,80]). Chẳng hạn, thuật toán phân đoạn ảnh của Yang [80] dựa trên năng lượng của các ảnh sau khi lọc Gabor, thuật toán phân đoạn của Tabassi [70] dựa trên sự biến đổi của trường hướng trong các ô vuông, thuật toán phân đoạn ảnh của Hong [39] dựa trên độ chắc chắn của trường hướng, Wang [74], dựa trên moment Gaussian-Hermite... Trong các thuật toán đã có, mỗi thuật toán đều có ưu điểm riêng nhưng nhược điểm chung của chúng là sử dụng cách tiếp cận raster, phải xử lý cả mảng pixel để trích chọn đặc trưng, nên thời gian xử lý chậm.

Với tầm quan trọng nói trên, có nhiều công trình nghiên cứu với nhiều thuật toán phân đoạn để tách vùng vân chất lượng cao được đề xuất (xem [53,72,78]). Các thuật toán phân đoạn nhìn chung đều tập trung giải quyết bài toán nhận dạng hai lớp (lớp nền và lớp vùng vân quan tâm) theo hướng khai thác các thuộc tính ở mức pixel như tính giá trị trung bình, phương sai mức xám và độ hợp hướng (*coherence*), sau đó dùng các bộ phân loại tuyến tính hai lớp để tách vùng [27]. Tuy nhiên, các đánh giá đưa ra đều chủ yếu dùng các kết quả phân tích các điểm ảnh và vùng cửa sổ lân cận dựa theo hướng tiếp cận raster. Nhược điểm của hướng tiếp cận này là độ phức tạp tính toán lớn do phải truy cập và phân tích tất cả các điểm ảnh trong từng cửa sổ ảnh (*block*), nhạy cảm với sự đa dạng của

nhiều cục bộ và phần lớn mới chỉ tiến hành trên các mẫu vân tay đơn lẻ, thu nhận từ thiết bị thu nhận vân tay sống có phần nền có nhiều điểm khác với phần nền trên chỉ bản giấy nên khi đưa vào cài đặt để phân đoạn chỉ bản giấy của nước ta thì xuất hiện nhiều lỗi, đặc biệt là đối với các chỉ bản có nền giấy chất lượng xấu (màu xanh, màu tím, màu ghi sẫm).

## 2.2. Thuật toán mới xử lý phân đoạn vân tay từ mẫu ảnh chỉ bản 10 ngón

### 2.2.1. Thuật toán phân đoạn thô

Ý tưởng chủ đạo của thuật toán này dựa trên việc dùng kỹ thuật tiền xử lý phổ dụng như chuẩn hóa, làm trơn ảnh và chuyển đổi ảnh chỉ bản về dạng nhị phân sao cho các điểm thuộc vùng vân quan tâm có giá trị bằng 1 còn các điểm nền còn lại có giá trị bằng 0. Sau đó tiến hành dò biên để tách các vùng vân tay ra khỏi phần nền chỉ bản.

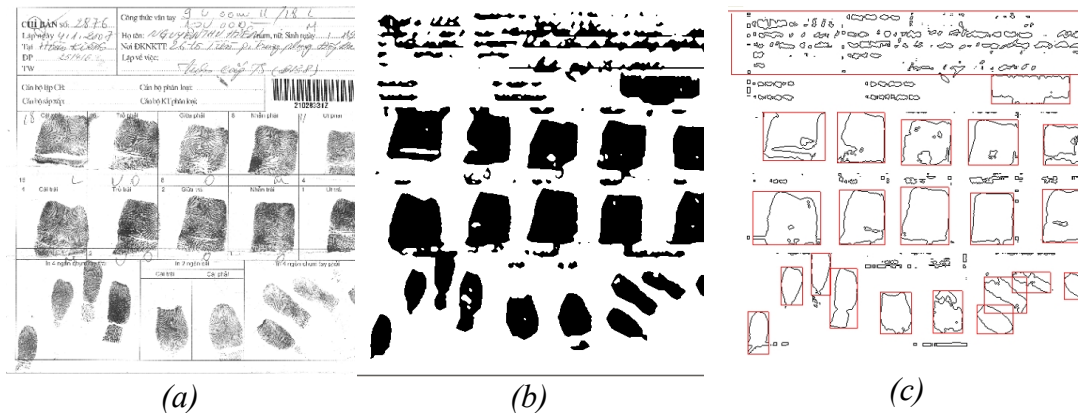
Để thực thi ý tưởng trên, luận án đề xuất thuật toán làm trơn và dò biên theo các bước sau:

*Bước 1:* Xử lý chuẩn hoá và làm trơn ảnh đầu vào (ảnh chỉ bản mười ngón).

1.1. Xử lý chuẩn hoá mức xám ảnh: Do ảnh vân tay thu nhận ban đầu với nhiều loại scanner khác nhau với mức độ chiếu sáng khác nhau nên thường có mức xám phân bố không thuần nhất, có một số vùng trên chỉ bản lặn mực quá đậm, quá đen, có số khác lại quá nhạt, quá sáng nên cần phải dùng kỹ thuật chuẩn hóa ảnh địa phương [39], tức là thay đổi mức xám ban đầu  $I(x,y)$  trong từng cửa sổ ảnh bằng mức xám mới  $N(x,y)$  như sau:

$$N(x,y) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_0 * (I(x,y) - M)^2}{V}}, & \text{cho } I(x,y) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_0 * (I(x,y) - M)^2}{V}}, & \text{cho } I(x,y) \leq M \end{cases} \quad (2.1)$$

Trong đó,  $I(x,y)$  là mức xám ban đầu tại điểm  $(x,y)$ ;  $M = (1/w^2) \sum_w (I)$ ,  $V = (1/w^2) \sum_w (I-M)^2$  lần lượt là mức xám trung bình và phương sai mức xám ước lượng trên cửa sổ kích thước  $w \times w$  (phần thực nghiệm chọn  $w=32$ );  $M_0$ ,  $V_0$  lần lượt là mức xám trung bình và phương sai mức xám cần chuẩn hoá;  $N(x,y)$  là mức xám mới sau chuẩn hoá. ( $M_0$ ,  $V_0$  có thể chọn tùy ý, nhưng phần thực nghiệm chọn  $M_0=V_0=100$ ). (Cần lưu ý rằng: Nếu 1 cửa sổ vân tay bất kỳ có  $M=M_0$ ,  $V=V_0$ , tức là đã đạt giá trị chuẩn, thì  $N(x,y)=I(x,y)$ ).



**Hình 2.6: Mẫu chỉ bản 10 ngón được phân đoạn thô bằng kỹ thuật chuẩn hóa, làm tròn, chuyển đổi nhị phân và dò biên, định vị hình chữ nhật ngoại tiếp để cắt ảnh.**

1.2. Dùng cửa sổ  $w \times w$  diểm ảnh quét lần lượt từ trái qua phải từ trên xuống dưới để thay thế giá trị mức xám ảnh hiện tại bằng giá trị trung bình của các điểm ảnh trên cửa sổ. Chuyển đổi ảnh về dạng nhị phân, dùng ngưỡng là giá trị mức xám trung bình địa phương, tính trên cửa sổ  $w \times w$ . Kết quả xử lý này được minh họa trên Hình 2.6(b).

1.3. Tiến hành dò biên bằng thuật toán dò biên 8-liên thông và xử lý xấp xỉ tuyến tính từng đoạn để biểu diễn các đường biên thành những đa tuyến biên khép kín dùng giải thuật [2,5]. Để tăng hiệu quả thuật toán dò biên phát hiện vùng vân, cần chọn bước lưới phù hợp để lọc lấy các vùng vân, loại bớt các vùng nhiễu nhỏ. Phần thực nghiệm ta sẽ giả định vùng vân bé nhất có kích thước  $8 \times 8 \text{mm}$  và vùng vân lớn nhất có kích thước  $20 \times 20 \text{mm}$  nên bước lưới thích hợp được chọn là  $8 \text{mm}$ .

*Bước 2:* Xử lý kết quả dò biên, xác định vùng vân và đa giác ngoại tiếp vùng vân cần cắt.

2.1. Tính bao lồi của tập đỉnh đa tuyến biên vùng được chọn bằng thuật toán Graham [34]. Sau đó tính khung hình chữ nhật ngoại tiếp bao lồi  $(X_{\min}, Y_{\min}, X_{\max}, Y_{\max})$  để xác định cửa sổ cắt ảnh.

2.2. Kiểm tra cửa sổ ảnh với các điều kiện ràng buộc: diện tích tối thiểu ( $\geq 1/3$  diện tích mỗi ô chứa vân ngón tay), diện tích tối đa ( $\leq$  diện tích mỗi ô

chứa vân ngón tay), vị trí tương đối của khung hình so với mẫu chỉ bản (thỏa mãn điều kiện cần: phải chứa tâm ô chứa vân ngón tay).

2.3. Kiểm tra thứ tự ngón: Dùng thuật toán đối sánh vân tay đề xuất [16,60] để tiến hành đối sánh từng vân tay 10 ngón ấn vùng dưới với từng vân tay 10 ngón lăn vùng giữa chỉ bản để đưa ra kết luận vị trí các ngón được lăn có đúng thứ tự biểu mẫu qui định hay không dựa trên thứ tự các ngón vân tay ấn. Nếu thứ tự không đúng thì hiển thị chỉ bản để thẩm định lại cả kết quả lăn tay và kết quả phân đoạn. Nếu thứ ấn đúng (trong đa số trường hợp) thì có thể kết luận chỉ bản vân tay được thu nhận và phân đoạn đạt yêu cầu.

2.4. Trên cơ sở các giá trị góc quay thu được qua đối sánh từng cặp vân tay lăn với vân tay ấn, tiến hành quay ảnh các vân tay ấn theo chiều thẳng đứng. Tính lại các giá trị  $X_{\min}$ ,  $Y_{\min}$ ,  $X_{\max}$ ,  $Y_{\max}$  của các đỉnh bao lồi đường biên sau khi quay, tức là hình chữ nhật ngoại tiếp để định vị tọa độ khung cắt lần 2 cho các ngón vân tay.

2.5. Hiển thị và xử lý tương tác các trường hợp đặc biệt như các chỉ bản lăn thiếu ngón, lăn sai quy cách không thỏa mãn điều kiện thẩm định.

*Bước 3:* Hiển thị kết quả định vị khung cắt để thẩm định bằng mắt thường và chuyển sang đoạn tương tác. Kết quả đầu ra của giải thuật phân đoạn thô được minh họa trong Hình 2.6(c), bao gồm 20 khung hình cho các vân ngón tay (10 ảnh của 10 vân tay lăn, 10 ảnh của 10 vân tay ấn) và 1 khung hình chứa mã vạch, 1 khung hình chứa phần ảnh đầu chỉ bản.

### 2.2.2. Thuật toán phân đoạn mịn

Phương pháp phân đoạn mịn được đề xuất dựa trên một số nhận xét dưới đây:

- Ảnh các dòng đường nét rõ ràng có tính xen kẽ giữa vân và rãnh như vân tay thường tuân thủ luật cân bằng trắng đen, tức là nếu ta phân ngưỡng địa phương thích hợp thì tổng số điểm trên rãnh vân cũng gần xấp xỉ với số điểm trên đường vân. Ngược lại, trên các vùng vân không rõ, có nhiều vết bụi bản thì đường vân thường dính nhau và qui luật cân bằng trên không còn đúng

nữa. Điều này gợi ý cho ta tiến hành biến đổi ảnh vân tay đa cấp xám thành ảnh vân tay nhị phân dùng ngưỡng địa phương.

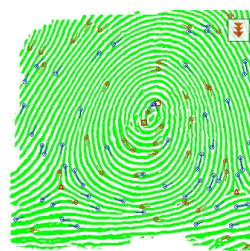
- Nếu dùng thuật toán dò biên để véc tơ hóa đường biên của đường vân ảnh nhị phân và xấp xỉ tuyến tính từng đoạn các đường biên dò được ta sẽ thu được vân tay dưới dạng vẽ thể hiện bằng tập đường cong tham số dưới dạng đa tuyến (*polyline*). Các vùng nhiễu thường thể hiện bằng các đoạn đường biên phức tạp, có nhiều đoạn ngắn chạy ngoằn ngoèo thay đổi hướng nhanh. Còn các vùng vân chất lượng tốt thường có các đoạn biên dài, thẳng hoặc nhiều đoạn kế tiếp nhau đổi hướng đồng đều và chậm. Vì vậy, nếu kết hợp vừa véc tơ hóa đường biên, vừa xấp xỉ tuyến tính từng đoạn rồi sau đó tính hướng, tính góc đổi hướng cho từng đoạn đường biên chúng ta vừa trích chọn được các điểm ĐTCT như đã thực hiện trong [2,5] vừa kết hợp đánh giá chất lượng tại các vùng mà đường biên đi qua. Các đoạn biên trên vùng vân tốt là đoạn đường cong đủ dài (trên một ngưỡng xác định, 3 bước vân chẳng hạn) hoặc nhiều đoạn kế tiếp nhau đổi hướng đều và chậm hoặc chuyển hướng đột ngột tại vị trí có ĐTCT. Ngược lại, trên các vùng vân xấu, các đoạn biên chạy ngoằn ngoèo, chuyển hướng nhanh.
- Bằng kỹ thuật tính vùng đệm cho các đoạn biên tốt theo một bán kính chừng 1 bước vân ta có thể lần lượt phân loại và gán nhãn cho từng pixel hay cho từng khối (*block*) trên ảnh vân tay thuộc vùng vân tốt hay không. Phương pháp này còn giúp cập nhật được hướng vân cho ma trận hướng. Như vậy, cùng lúc thuật toán vừa cho ra tập các ĐTCT ban đầu, vừa cho ra miền chất lượng và miền hướng vân. Đây là những đầu ra rất hữu ích cho các bước đánh giá ĐTCT và đối sánh về sau (xem Hình 2.7).

Như đã nói ở trên, kết quả xử lý do công đoạn thứ nhất xuất ra các ảnh vân tay được cắt ra theo từng ngón dưới dạng "vùng quan tâm". Vấn đề tiếp theo cần giải quyết là đề xuất thuật toán phân đoạn mịn từng ảnh vân đầu ngón tay được cắt bóc tách ra khỏi mẫu chỉ bản 10 ngón để xác định vùng chất lượng cao, cùng các thông tin liên quan như đường biên của từng vân, ma trận hướng. Ý tưởng chủ đạo

của thuật toán phân đoạn mịn là phân tích, tìm các thuộc tính có giá trị để nhận biết, đánh giá chất lượng các vùng vân chất lượng cao để từ đó đưa ra kết quả dưới dạng một bản đồ chất lượng với giá trị 1 tại các khối (*block*) wxw đạt chất lượng cao và giá trị 0 tại các khối (*block*) wxw nền và nhiễu.



(a) Vân tay gốc



(b) Vân tay sau khi phân đoạn

**Hình 2.7: Một ảnh được phân đoạn lý tưởng, vùng vân chất lượng cao được tách chính xác.**

Trước hết ta cần làm rõ thế nào là vùng vân chất lượng cao. Một cách trực quan, đó là các vùng vân trên đó có thể phân biệt rõ các dòng vân và dòng rãnh xen kẽ chạy song song với nhau. Nhận biết khối (*block*) vân chất lượng cao là bài toán phân loại hai lớp, nội dung chủ yếu của bài toán phân đoạn mịn đã được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu. Gần đây nhất, Helfroush [37] đã khảo sát một loạt các phương pháp như phương pháp nhận biết vùng vân quan tâm dùng hai thuộc tính giá trị mức xám trung bình và phương sai, phương pháp phân đoạn theo bao lồi ảnh biên, phương pháp dùng ngưỡng động và phương pháp thích nghi, sau đó đề xuất thuật toán trên cơ sở cải biên phương pháp kết hợp sử dụng các thuộc tính như độ hợp hướng (*coherence*), giá trị mức xám trung bình, phương sai và cường độ mức xám của Bazén [24] bằng cách thay thế thuộc tính hợp hướng (*coherence*) bằng một thuộc tính khác tương tự là hướng chủ đạo của đường vân trên cửa sổ wxw. Cách tiếp cận này tuy đã có cải tiến hơn trước nhưng vẫn dùng lại ở cách tiếp cận raster, chỉ tập trung xử lý từng điểm ảnh (*pixel*) mà không khai thác hết đặc trưng hướng của các dòng vân rãnh xen nhau.

Một tính chất quan trọng của vùng vân chất lượng cao là sau khi xử lý vectơ hoá đường biên hoặc khung xương của vân tay và xấp xỉ tuyến tính từng đoạn, kết quả thu được là các đa tuyến gồm các đoạn thẳng thành phần có độ dài lớn hơn so với bước vân, đổi hướng chậm và ổn định. Ngược lại, các vùng vân chất lượng thấp,

thường cho ra kết quả là những đa tuyến gồm các đoạn thẳng thành phần ngắn, thay đổi hướng nhanh. Từ kết quả phân tích trên, ngoài các thuộc tính truyền thống như giá trị trung bình mức xám  $M$ , phương sai mức xám  $V$  ta đề xuất bổ sung thêm ba chỉ tiêu mới để nhận dạng các khối vùng vân chất lượng thấp. Chỉ tiêu mới thứ nhất là mật độ  $D$ , chỉ tiêu mới thứ hai là tổng độ cong  $C$  và chỉ tiêu thứ ba là năng lượng  $E$  thể hiện sự thay đổi độ cong của các đỉnh điểm của các đa tuyến trên cửa sổ  $w \times w$ .

Mật độ  $D$  là mật độ các đỉnh của các đoạn ngắn của các đa tuyến đường vân đi qua khối  $w \times w$ , được đặc trưng bằng số lượng đỉnh trong khối đó.

Độ cong tại một đỉnh đa tuyến được đo bằng giá trị góc đổi hướng của đa tuyến tại đỉnh đó. Độ cong  $C$  của khối bằng tổng độ cong của các đỉnh trong khối đó.

Năng lượng tại một đỉnh đa tuyến được đo bằng giá trị chênh lệch độ cong của đa tuyến tại đỉnh đó so với đỉnh ngay trước nó. Năng lượng  $E$  của khối bằng tổng năng lượng của các đỉnh trong khối đó.

Giả sử ta có đa tuyến  $\{P\}_1^N = \{(x_1, y_1, \alpha_1), (x_2, y_2, \alpha_2), \dots, (x_n, y_n, \alpha_n)\}$ , khi đó độ cong tại đỉnh  $P_i$  và độ cong của khối  $w \times w$  được định nghĩa như sau:

$$C(P_i) = (\alpha_i - \alpha_{i-1}), \quad i=2..N. \quad (2.2)$$

$$C_{w \times w} = \sum_{w \times w} C(P_i). \quad (2.3)$$

Và năng lượng tại đỉnh  $P_i$  và năng lượng của khối  $w \times w$  được định nghĩa như sau:

$$E(P_i) = C(P_i) - C(P_{i-1}), \quad i=2..N. \quad (2.4)$$

$$E_{w \times w} = \sum_{w \times w} E(P_i). \quad (2.5)$$

Như vậy, mỗi khối  $w \times w$  được biểu diễn bằng một vector gồm 5 thành phần như sau:

$$X_{w \times w} = (M, V, D, C, E) \quad (2.6)$$

Để phân loại từng cửa sổ  $w \times w$  thuộc lớp  $\omega_1$  “vùng chất lượng cao” hay lớp  $\omega_2$  “vùng chất lượng thấp và nền”, ta dùng Bộ phân loại Bayes, dùng qui tắc quyết định tối ưu với hàm phân biệt sau:  $g(\omega_i) = P(\omega_i) \cdot P(X/\omega_i)$ ,  $i=1,2$ . (2.7)

Qui tắc phân lớp cụ thể như sau:

$$\text{IF } (g(\omega_1) > g(\omega_2)) \text{ THEN } (X_{w \times w} \in \omega_1) \text{ ELSE } (X_{w \times w} \in \omega_2) \quad (2.8)$$



Ở đây,  $P(\omega_2) = 1 - P(\omega_1)$ ;  $P(\omega_1)$  là tần suất xuất hiện cửa sổ vân tay chất lượng cao và  $P(\omega_2)$  là tần suất xuất hiện cửa sổ vân tay chất lượng thấp.

Công thức ước lượng các phân bố xác suất này như sau:

$$P(\omega_1) = (\text{Tổng các } wxw \text{ vân tay chất lượng cao}) / (\text{tổng các } wxw \text{ toàn vân tay}) \quad (2.9)$$

$P(X/\omega_i) = (\text{Tần suất xuất hiện vector thuộc tính } X \text{ trên lớp } \omega_i, i = 1,2)$  được xác định qua giai đoạn ước lượng thống kê hay học trên CSDL các khối vân chất lượng khác nhau trích chọn từ CSDL mẫu chỉ bản thử nghiệm. Công thức ước lượng như sau:

$$P(X/\omega_i) = (\text{Tổng các } wxw \text{ có } X_{wxw} = X) / \text{tổng số } wxw \text{ thuộc } \omega_i, i = 1,2. \quad (2.10)$$

Từ đó ta có thuật toán phân đoạn mịn được đề xuất như sau:

*Bước 1:* Tiếp nhận ảnh vân tay đầu vào, là kết quả xuất ra từ phân đoạn thô:

Tiếp nhận ảnh đầu vào là ảnh vân đầu ngón tay cùng các thông tin phụ trợ liên quan như đường bao, vùng trung tâm, chiều hướng (trên/dưới).

*Bước 2:* Chuẩn hóa, làm trơn và chuyển đổi nhị phân:

Dùng ngưỡng địa phương và chuyển đổi ảnh về dạng nhị phân.

*Bước 3:* Dò biên, vector hoá ảnh nhị phân và xấp xỉ tuyến tính từng đoạn:

Xử lý dò biên đường vân, xấp xỉ tuyến tính từng đoạn bằng thuật toán đã đề xuất ở [2,4-6]. Kết hợp tính độ cong, năng lượng trên từng đỉnh đa tuyến, và tính các thuộc tính D, C, E.

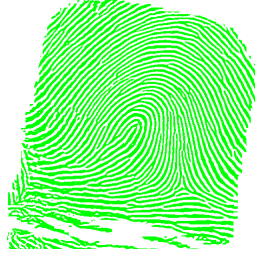
*Bước 4:* Phân loại các khối pixel  $w \times w$ .

4.1. Dùng cửa sổ kích thước phù hợp  $w \times w = 32 \times 32$  điểm ảnh để duyệt ảnh gốc và tính các giá trị M, V để xây dựng vector biểu diễn:  $X_{wxw} = (M, V, D, C, E)$ .

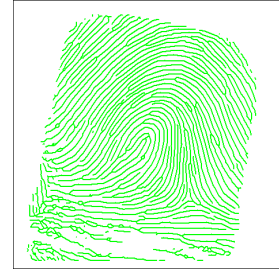
4.2. Dùng qui tắc quyết định tối ưu Bayes để xếp  $X_{wxw}$  vào lớp tương ứng.

4.3. Kết quả cho ra mật nạ chất lượng, là dạng ảnh nhị phân có giá trị 1 tại khối vùng vân chất lượng cao, giá trị 0 tại nền và vùng vân chất lượng thấp.

Kết quả phân đoạn mịn cho thấy nếu mật độ đoạn vân ngắn, phương sai hướng cao, độ cong thay đổi đột ngột thì đây là vùng vân chất lượng thấp (xem Hình 2.8).



(a) Ảnh chỉ bản sau khi làm trơn  
chuyển đổi về dạng nhị phân



(b) Chỉ bản sau khi vector hoá  
chuyển về dạng đa tuyến.

**Hình 2.8: Mật độ đoạn vân ngắn, phương sai hướng cao, độ cong thay đổi đột ngột là những đặc trưng có giá trị để nhận biết vùng vân chất lượng thấp**

### 2.3. Kết quả thực nghiệm

#### *Kịch bản:*

- Chọn các mẫu chỉ bản tiêu biểu từ tầng thư căn cước can phạm và tầng thư căn cước công dân để lập thành CSDL C@FRIS DB gồm 1000 mẫu chỉ bản phục vụ thử nghiệm thuật toán phân đoạn thô.
- Chọn CSDL 500 kết quả phân đoạn thô từ CSDL C@FRIS DB để thử nghiệm thuật toán phân đoạn mịn. Chọn CSDL FVC2004 DB2 bao gồm 500 ảnh vân tay để thử nghiệm thuật toán phân đoạn mịn.
- So sánh kết quả phân đoạn của thuật toán đề xuất với các thuật toán truyền thống chỉ dùng các thuộc tính M, V và Coherence, và với kết quả phân đoạn của phần mềm thương mại Verifinger của hãng Neurotechnology [87].

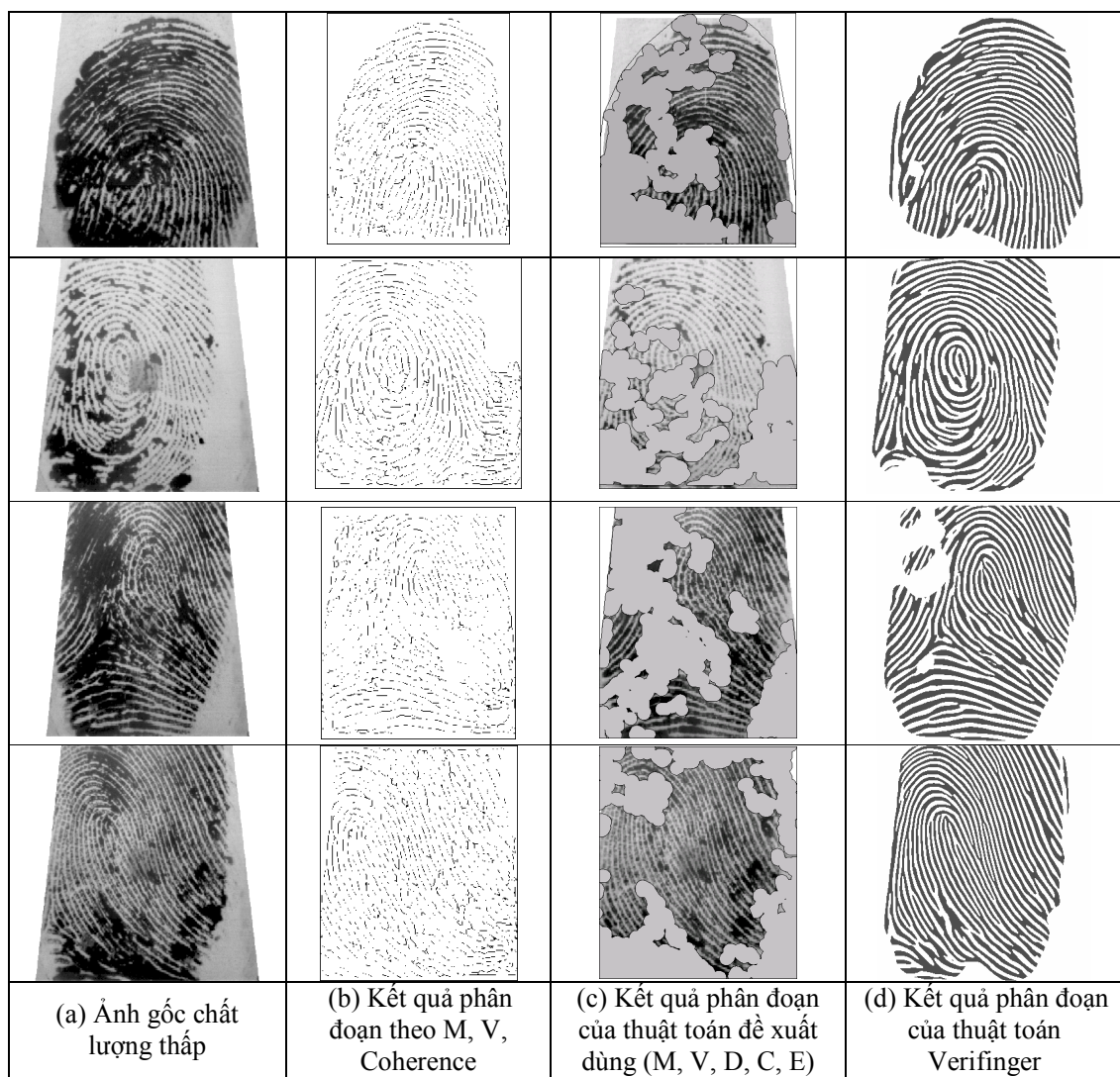
#### *Kết quả thử nghiệm thuật toán phân đoạn thô:*

- Số lượng chỉ bản phân đoạn tốt, không cần sự can thiệp của con người: 973/1000.
- Số chỉ bản đúng qui cách nhưng thuật toán trả lại không phân đoạn được: 0/1000.
- Số chỉ bản sai qui cách phải trả lại: 27/1000, trong đó 22 chỉ bản dùng giấy nền quá tối, 5 chỉ bản có các vân tay lẫn chồng lên nhau, chồng lên khung.

#### *Kết quả thử nghiệm thuật toán phân đoạn mịn:*

Thuật toán phân đoạn mịn được đánh giá trên 500 chỉ bản CSDL FVC2004 DB2 và 500 chỉ bản từ CSDL C@FRIS DB được cắt ra từ giai đoạn phân đoạn thô.

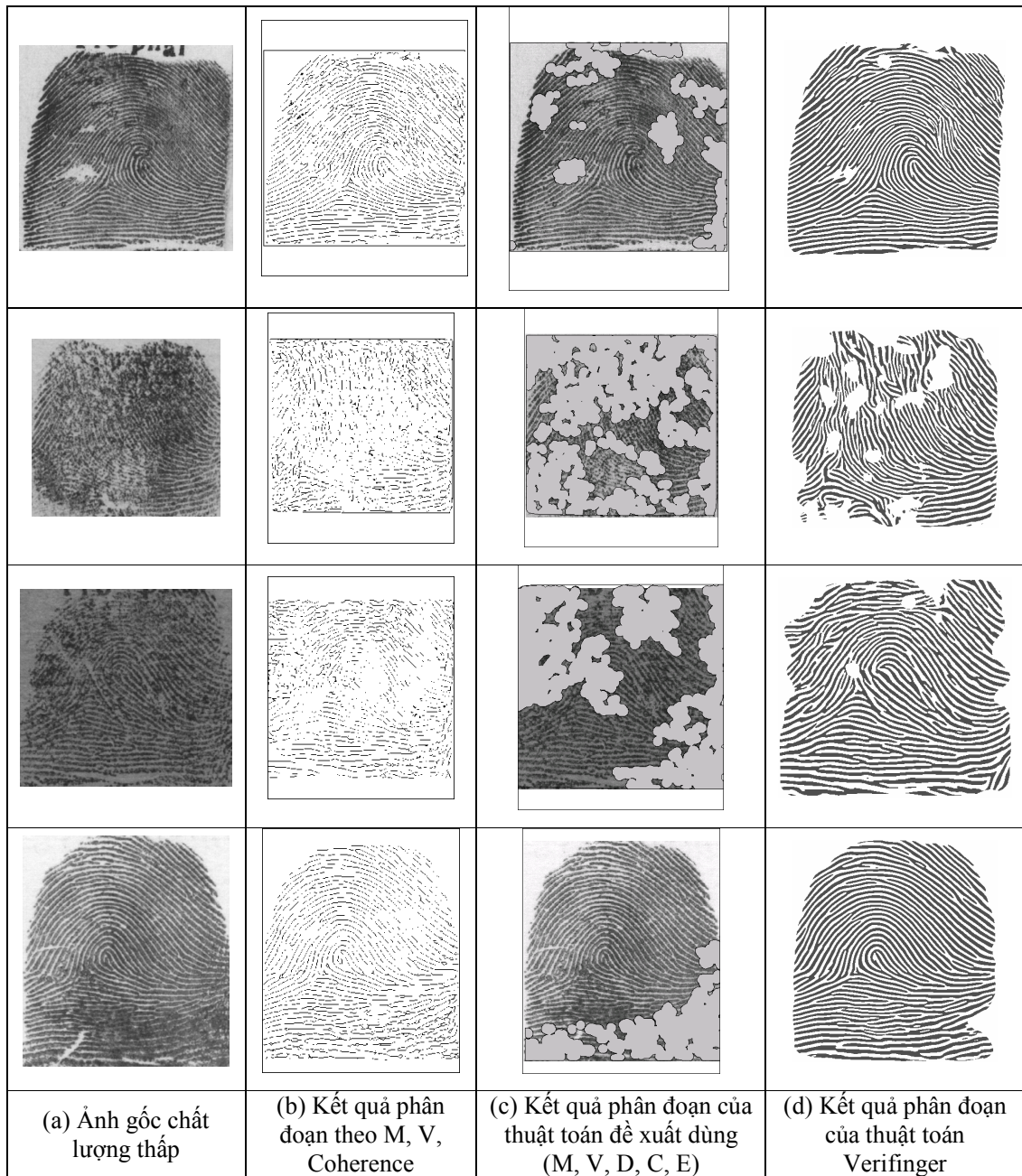
Để huấn luyện thuật toán phân đoạn, từng vân tay trên CSDL thử nghiệm được phân chia thành các khối điểm ảnh kích thước 32x32 để tính bộ 5 các dấu hiệu đặc trưng. Để đơn giản cho việc ước lượng phân bố xác suất, từng dấu hiệu được phân khoảng giá trị như sau: Dấu hiệu M, V: 100 khoảng; D: [0, 20]; Dấu hiệu C, E: [-60 khoảng, +60 khoảng], mỗi khoảng 3 độ.



**Hình 2.9: Kết quả phân đoạn một số ảnh chỉ bản chất lượng thấp, chọn từ CSDL FVC2004**

Hình 2.9 minh họa một số kết quả xử lý phân đoạn mịn tiêu biểu các mẫu vân tay chất lượng thấp chọn từ CSDL FVC2004 DB2.

Hình 2.10 minh họa một số kết quả xử lý phân đoạn mịn tiêu biểu các mẫu vân tay chất lượng thấp chọn từ CSDL C@FRIS DB.



**Hình 2.10: Kết quả phân đoạn một số ảnh chỉ bản chất lượng thấp chọn từ CSDL C@FRIS DB**

**Nhận xét:** Qua so sánh với phần mềm Verifinger [87] thuộc top 5 dẫn đầu thế giới hiện nay trên một số mẫu vân tay chất lượng thấp lấy từ CSDL FVC2004 và từ CSDL C@FRIS DB, so sánh 2 vùng kết quả phân đoạn ta thấy: vùng quan tâm và vùng không quan tâm của từng trường hợp trên tập mẫu ảnh vân tay lấy từ

CSDL FVC2004 để đưa ra thử nghiệm, có thể nhận thấy các kết quả phân đoạn là hoàn toàn phù hợp với kết quả phân đoạn 2 lớp của thuật toán Verifinger. Ngoài ra, thuật toán đề xuất còn đưa ra kết quả phân đoạn 3 lớp mịn hơn so với thuật toán Verifinger (đánh đồng tất cả các ĐTCT), vì nó đưa ra giải pháp phân loại tiếp vùng vân quan tâm thành hai lớp: Vùng chất lượng thấp và vùng chất lượng cao. Đây là những thông tin quan trọng để đánh giá độ tin cậy của các đặc trưng chi tiết trích chọn được trên mỗi vùng, từ đó đưa ra thuật toán đối sánh hiệu quả hơn nhờ chọn được tập điểm không chế tin cậy hơn để nắn chỉnh biến dạng. Những vùng thuật toán đề xuất đánh giá chất lượng cao thì phần mềm Verifinger cũng đánh giá cao. Các ảnh vân tay phân đoạn của Verifinger rõ nét hơn chủ yếu là nhờ khâu tiền xử lý ảnh trước khi tiến hành vectơ hóa không thuộc phạm vi xử lý của thuật toán phân đoạn.

#### **2.4. Kết luận**

Thuật toán tự động phân đoạn ảnh chỉ bản 10 ngón theo hai giai đoạn thô và mịn là hai phương pháp mới cùng dựa trên hướng tiếp cận vectơ và sử dụng kết hợp hai thuộc tính truyền thống (*Mean, Variance*) và ba thuộc tính đề xuất mới đó là mật độ các đoạn ngắn, độ cong và chỉ số năng lượng của các đỉnh chu tuyến (*Density, Curvature, Energie*).

Kết quả thực nghiệm cho thấy thuật toán phân đoạn thô để phân đoạn chỉ bản 10 ngón trên CSDL chỉ bản giấy tiêu biểu đạt được độ chính xác cao, tốc độ xử lý nhanh, số chỉ bản phải trả lại để can thiệp thủ công rất ít, chiếm tỷ lệ chỉ dưới 2,7%.

Giai đoạn phân đoạn mịn dùng kỹ thuật dò biên và nhận biết chất lượng vùng vân dựa trên việc đưa thêm thuộc tính mật độ đoạn vân ngắn, độ cong và chỉ số năng lượng đường biên rồi sau đó dùng qui tắc quyết định tối ưu Bayes để phân lớp chất lượng vùng vân là một hướng tiếp cận mới thể hiện được tính hiệu quả vượt trội so với các thuật toán khác chỉ dùng giá trị trung bình mức xám  $M$ , phương sai  $V$  và độ hợp hướng Coherence. Thực nghiệm so sánh với Verifinger cho kết quả tin cậy.

Các kết quả phân đoạn thô và mịn đạt được, bao gồm các thông tin cơ bản như đường biên, tâm ô chỉ bản, ma trận chất lượng và ma trận hướng là những tham số rất quan trọng dùng để đánh giá độ tin cậy các điểm ĐTCT và nâng cao hiệu quả thuật toán đối sánh trong chương 3, chương 5. Các thuật toán đề xuất bước đầu đã được dùng để cài đặt nâng cấp hệ nhập liệu cho hệ nhận dạng vân tay tự động C@FRIS của Phòng Thí nghiệm Mô phỏng và Tích hợp hệ thống thuộc Tổng cục Hậu cần – Kỹ thuật, Bộ Công an nhằm nâng công suất nhập liệu hiện nay 500 chỉ bản/ngày lên 5000 chỉ bản/ngày.

## **Chương 3. PHƯƠNG PHÁP ĐỐI SÁNH VÂN TAY DỰA TRÊN MÔ HÌNH NẮN CHỈNH ĐỊA PHƯƠNG**

Một trong những thách thức đối với vấn đề đối sánh vân tay là hiện tượng méo phi tuyến giữa các ảnh vân tay do cùng một ngón in ra. Trong chương này, luận án giới thiệu một phương pháp đối sánh vân tay 1:1 nhờ kỹ thuật nắn chỉnh sử dụng biến đổi ghép trơn tấm mỏng (*Thin-Plate-Spline: TSP*) địa phương để xử lý hiện tượng biến dạng phi tuyến. Sau khi xác định các cặp điểm ĐTCT tương ứng giữa hai ảnh vân tay xác định nhờ một phép biến đổi affine, một tập các cặp điểm giả ĐTCT tương ứng được tạo sinh dựa trên cấu trúc vân rãnh địa phương của chúng. Các điểm này được kết hợp với các cặp điểm tương ứng đã biết để chọn ra các cặp điểm không chế thích hợp cho các nắn chỉnh TPS trên 9 miền con của các ảnh vân tay để tìm thêm các cặp điểm tương ứng mới sau khi nắn chỉnh. Quá trình này được lặp lại đến khi hoặc không còn phát hiện thêm các cặp điểm tương ứng mới hoặc số lượng các cặp điểm tương ứng đã tới ngưỡng quyết định được. Kết quả thực nghiệm trên cơ sở dữ liệu FVC2004 cho thấy thuật toán đề xuất cải thiện đáng kể hiệu quả nhận dạng so với phương pháp sử dụng mô hình tương quan và nắn chỉnh TPS toàn phần do Li và cộng sự đề xuất [52].

### **3.1. Bài toán đối sánh vân tay và một số vấn đề liên quan**

Mục này, luận án giới thiệu tóm tắt phương pháp đối sánh ĐTCT, mô hình nắn chỉnh TPS.

#### **3.1.1. Bài toán đối sánh vân tay và lược đồ đối sánh dựa trên ĐTCT**

Bài toán đối sánh vân tay có thể phát biểu như sau: Cho trước hai ảnh vân tay truy vấn (*query*)  $I_q$  và vân tay mẫu (*template*)  $I_t$ , cần trả lời xem hai ảnh này có phải là do cùng một ngón tay in ra hay không? Câu trả lời trước hết được thể hiện qua kết quả tính điểm độ giống (*similarity*) giữa hai vân tay.

Các phương pháp đối sánh thường được phân theo một trong ba cách tiếp cận sau (xem [56]) hoặc là kết hợp giữa chúng: dựa trên ĐTCT, dựa trên cấu trúc bề mặt (*texture*) và dựa trên tương quan mức xám (*greyscale correlation*). Trong đó, phương pháp dựa trên ĐTCT là phương pháp đơn giản và hiệu quả nên được sử



dụng rộng rãi nhất (xem[32,42-46,56,71,75]). Dưới đây giới thiệu tóm tắt lược đồ của phương pháp này, chi tiết hơn xem [44,56].

### ***Các điểm ĐTCT (Minutiae)***

Trong mục 1.1.3 đã giới thiệu khái niệm các điểm ĐTCT của ảnh vân tay, các điểm này là các điểm bất thường biểu thị tính không liên tục địa phương của cấu trúc vân địa phương như điểm cụt, rẽ nhánh... và có thể làm đặc trưng cho vân tay để xác định chúng có cùng ngón sinh ra hay không.

Để biểu diễn vân tay dưới dạng tập các điểm ĐTCT, các ảnh vân tay  $I_q$  và  $I_t$  trước hết phải được xử lý qua các khâu tiền xử lý và trích chọn, đánh giá đặc trưng. Ký hiệu  $M_q$  và  $M_t$  tương ứng là tập ĐTCT của hai ảnh vân tay  $I_q, I_t$ :

$$M_q = \{m_1, m_2, \dots, m_M\}; \text{ với } m_i = (x_i, y_i, \theta_i), i = 1, \dots, M. \quad (3.1)$$

trong đó  $(x_i, y_i)$  là tọa độ của  $m_i$  trên mặt phẳng ảnh  $R^2$  của  $I_q$ , còn  $\theta_i$  là hướng vân tại điểm  $m_i$ ;

$$M_t = \{m_1', m_2', \dots, m_N'\}; \text{ với } m_i' = (x_i', y_i', \theta_i'), i = 1-N, \quad (3.2)$$

trong đó  $(x_i', y_i')$  là tọa độ của  $m_i'$  trên mặt phẳng ảnh  $R^2$  của  $I_t$ , còn  $\theta_i'$  là hướng vân tại điểm  $m_i'$ .

Tùy theo thuật toán đối sánh mà người ta có thể quan tâm tới hướng vân hoặc không.

### ***Lược đồ đối sánh dựa trên ĐTCT***

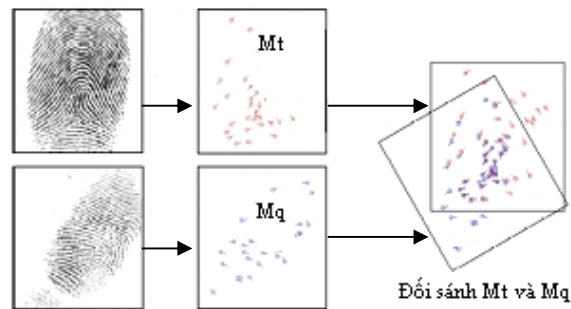
Người ta sẽ tìm phép biến đổi “chồng ảnh” thích hợp từ mặt phẳng ảnh của  $I_q$  vào mặt phẳng ảnh của  $I_t$  để xác định các *cặp điểm tương ứng* của  $M_q$  và  $M_t$ . Cặp điểm  $m_i (M_q)$  và  $m_j' (M_t)$  gọi là *tương ứng nếu ảnh  $m_i$*  của  $m_i$  qua phép biến đổi này thuộc vào lân cận bán kính  $r$  đủ bé của  $m_j'$ , trong trường hợp này ta nói  $m_i$  “*trùng khớp*” với  $m_j'$  (xem Hình 3.1). Khi hai ảnh  $I_q$  và  $I_t$  là cùng do một ngón cụ thể in ra (*genuine*: chính danh), thì thường phát hiện được nhiều cặp điểm ĐTCT tương ứng hơn so với trường hợp chúng là do các ngón khác nhau in ra (*imposter*: giả danh). Trên thực tế, do hiện tượng biến dạng phi tuyến và nhiễu ảnh nên khi hai ảnh là chính danh thì cũng khó tìm được để các điểm ĐTCT tương ứng từng đôi một.



Giả sử ta tìm được  $n$  cặp điểm tương ứng của hai ảnh,  $n_q$  và  $n_t$  tương ứng là số điểm ĐTCT trong mỗi ảnh  $I_q$  và  $I_t$ , độ giống nhau của hai ảnh vân tay được đặc trưng bằng độ đo  $S(I_t, I_q)$  được cho bởi công thức:

$$S(I_t, I_q) = n^2 / n_t \times n_q, \quad (3.3)$$

Với các giá trị ngưỡng  $S_{max}$  và  $S_{min}$  chọn trước, nếu  $S(I_t, I_q) \geq S_{max}$  ta kết luận hai vân tay này là trùng khớp và có nhiều khả năng là vân tay của cùng một ngón, còn nếu  $S(I_t, I_q) < S_{min}$  thì chúng không trùng khớp với xác suất sai gần bằng không. Đối với cặp vân tay có độ giống  $S(I_t, I_q)$  nằm trong khoảng  $[S_{min}, S_{max}]$  quyết định được đưa ra dựa theo ngưỡng  $S_t \in [S_{min}, S_{max}]$  với xác suất sai loại I ( $FAR$ ) và sai loại II ( $FRR$ ). Vì vậy, để cải tiến giải thuật, hạn chế sai sót, những cặp vân tay có độ giống nằm trong khoảng này cần được tiếp tục nắn chỉnh biến dạng để cải thiện độ giống (sẽ nói chi tiết ở phần sau).



**Hình 3.1:** Đối sánh vân tay dựa vào tập điểm ĐTCT là xác định tập các cặp điểm ĐTCT tương ứng giữa hai tập  $M_t$  và  $M_q$  được trích chọn từ hai ảnh vân tay  $I_t$  và  $I_q$ .

Nói chung việc quyết định theo ngưỡng  $S_t$  có thể phạm sai lầm. Giải thuật phạm sai lầm loại I tức là "tiếp nhận sai" ( $FAR$ : *False Acceptance Rate*) khi kết luận hai vân tay "giả danh" là trùng khớp. Và ngược lại, cũng có thể phạm sai lầm loại II tức là "từ chối sai" ( $FRR$ : *False Rejection Rate*) khi kết luận hai vân tay chính danh là không trùng khớp. Thông thường thì hai loại sai số trên phụ thuộc vào ngưỡng độ giống  $S_t$  và bởi vậy chúng cũng phụ thuộc lẫn nhau.

Phép biến đổi “chồng ảnh” đơn giản và thông dụng nhất là biến đổi affine, kết hợp các phép biến đổi tuyến tính: tịnh tiến, quay và tỷ lệ (*scale*). Tuy nhiên, do có hiện tượng biến dạng phi tuyến khi lấy ảnh vân tay nên hiệu quả của phương

pháp này không cao và thường chỉ được dùng để xác định các cặp tương ứng ban đầu cho các phương pháp tăng cường tiếp theo [42-44,50,56,64,65,75]. Một phép biến đổi được nhiều người sử dụng là nắn chỉnh TPS [20,23,52].

Các giá trị ngưỡng  $S_{max}$  và  $S_{min}$  thường được xác định qua quá trình học như sau. Với hai tập mẫu học gồm tập chính danh: các cặp ảnh vân tay biết trước là cùng ngón (*genuine*) và tập giả danh: các cặp ảnh vân tay biết trước là khác ngón (*imposter*) đã cho, ta dùng giải thuật đối sánh bằng phép biến đổi affine để đối sánh từng cặp và ước lượng các phân bố Genuine và Imposter để từ đó xác định tỷ lệ sai số chấp nhận sai (*FAR*) và tỷ lệ sai số từ chối sai (*FRR*) như là hai hàm số của độ giống  $S$ . Khi đó  $S_{max}$  là giá trị nhỏ nhất để  $FAR(s) = 0$  còn  $S_{min}$  là giá trị lớn nhất của  $s$  để  $FRR(s)=0$ . Giá trị  $s$  tại đó  $FAR(s)=FRR(s)$  được gọi là ngưỡng cân bằng sai số và sai số khi đó được gọi là sai số cân bằng *EER* (*Equal Error Rate*).

### 3.1.2. Mô hình nắn chỉnh TPS

Mục này giới thiệu tóm tắt phương pháp nắn chỉnh TPS [23] và phương pháp đối sánh TPS toàn cục [52], chi tiết hơn xem [23,52].

#### *Nắn chỉnh TPS*

Do có sự biến dạng phi tuyến và nhiều khi lấy ảnh vân tay, việc dùng biến đổi affine để đối sánh ĐTCT cho hiệu quả thấp nên cần có phương pháp tăng cường để tính độ giống. Một số tác giả (xem [43,44,83]) đã dùng thêm các đặc trưng thứ cấp (*secondary feature*) hoặc lỗ mờ hôi (*pore*) cho mục đích này. Tuy vậy cách tiếp cận này chỉ thích hợp cho các ảnh vân tay có chất lượng tốt mà không có hiệu quả cho đối sánh vân tay thu từ chỉ bản giấy.

Một cách tiếp cận hiệu quả là sử dụng biến đổi TPS [20,23,32,64,65] để nắn chỉnh toàn cục nhằm khắc phục hiện tượng méo phi tuyến. Theo phương pháp này, sau khi xác định được  $n$  cặp điểm tương ứng bằng phép biến đổi affine và dùng chúng làm tập điểm không chế, người ta tiếp tục nắn chỉnh ảnh nhờ phép nội suy TPS (xem [23,32,56]). Biến đổi TPS [23,32] là kết hợp biến đổi affine với hàm bán kính:

$$f(x,y) = a_1 + a_x x + a_y y + \sum_{i=1}^n w_i U(\|P_i - (x,y)\|) \quad (3.4)$$

trong đó  $U(r) = r^2 \log r$ ,  $\|(u, v)\| = \sqrt{u^2 + v^2}$  và quy ước  $U(0)=0$ ;  $P_i$  là các điểm không chế, còn ba số hạng đầu mô tả biến đổi affine toàn cục với các tham số affine  $a_1, a_x, a_y$  và các hệ số  $w_i$  là các giá trị trọng số cần tìm sao cho các điểm không chế trùng khớp. Các hệ số này được xác định nhờ giải hệ phương trình tuyến tính bậc  $2n+6$ . Trong đó 6 tham số của phép biến đổi affine (2 thành phần  $x, y$  của 3 vector  $a_1, a_x, a_y$ ) và  $2n$  tham số biến đổi phi tuyến (2 thành phần  $x, y$  của  $n$  vector trọng số  $w_i$ ).

Nhờ kết quả nắn chỉnh này, nếu hai ảnh vân tay là chính danh, thì có nhiều khả năng phát hiện thêm các cặp điểm tương ứng mới để tính lại độ giống. Trên thực tế, trong quá trình xác định các cặp điểm tương ứng theo dung sai, thường xảy ra các trường hợp tương ứng nhập nhằng. Để khắc phục sự tương ứng nhập nhằng, trong [62,75] các tác giả dùng công cụ đồ thị hai phía và thuật toán Ford – Fulkerson để khẳng định sự tương ứng. Theo hướng áp dụng đối sánh tăng cường này, Li [52] đã đề xuất sử dụng tương quan mức xám địa phương để tính điểm độ giống giữa các cặp điểm tương ứng.

#### ***Phương pháp đối sánh TPS toàn cục***

Li [52] đề xuất phương pháp đối sánh mà chúng tôi gọi là global TPS như là phương pháp lai giữa đối sánh ĐTCT và tương quan mức xám. Trong phương pháp này, sau khi dùng tất cả các cặp điểm ĐTCT tương ứng ban đầu (xác định nhờ giải thuật đối sánh truyền thống dùng phép biến đổi affine) làm tập điểm không chế để xây dựng phép biến đổi toàn phần TPS, người ta tiến hành nắn chỉnh tọa độ và phát hiện thêm các cặp điểm ĐTCT tương ứng mới. Sau đó tính độ giống tổng thể của hai vân tay dựa trên độ giống từng cặp điểm ĐTCT tương ứng dựa trên tương quan mức xám địa phương, gồm độ tương quan vùng lân cận kích thước  $21 \times 21$  pixels bao quanh ĐTCT và độ tương quan dọc hai cạnh đến 2 ĐTCT láng giềng gần nhất. Cuối cùng dựa trên độ giống tổng thể này người ta đưa ra quyết định nhận dạng. Thực nghiệm cho thấy nó cải thiện thực sự hiệu quả đối sánh khi chỉ sử dụng nắn chỉnh TPS. Về sau ta ký hiệu phương pháp này là G-TPS.

### 3.2. Phương pháp nắn chỉnh từng phần

Phương pháp nắn chỉnh G-TPS là một giải pháp tốt để khắc phục hiện tượng biến dạng phi tuyến khi đối sánh nhưng chúng vẫn còn các nhược điểm sau:

i) Nếu chấp nhận toàn bộ tập các cặp điểm tương ứng ban đầu làm tập điểm không chế mà không dùng thông tin địa phương để chọn lọc thì rất dễ phạm sai lầm khi đưa vào một số điểm không chế sai. Còn khi dùng tương quan mức xám địa phương để chọn lọc thì tương quan lân cận trên cửa sổ  $21 \times 21$  xung quanh mỗi ĐTCT có ưu điểm không nhạy với biến dạng nhưng độ phân biệt không cao, nhạy cảm với nhiễu, còn tương quan dọc cạnh tuy phản ánh thông tin kết cấu (*texture*) tốt nhưng nhạy cảm với vùng nhiễu và biến dạng. Sau nắn chỉnh và dùng tương quan lân cận và dọc cạnh thì khử được các đối sánh giả danh nhưng phải phí công nắn chỉnh thừa cho các đối sánh vụn tay giả danh.

ii) Các điểm không chế do được phát hiện bằng phép biến đổi affine nên thường phân bố tập trung vào vùng vụn tay ít biến dạng phi tuyến, không phân bố đồng đều trên toàn bộ vùng giao nhau của hai vụn tay  $I_t$  và  $I_q$ , do đó những điểm ĐTCT nằm xa các điểm không chế có biến dạng phi tuyến rất dễ bị bỏ sót. Gây ra nghịch lý là những vùng ít biến dạng thì có quá thừa điểm không chế còn những vùng xa biến dạng nhiều cần nắn chỉnh thì lại thiếu điểm không chế. Mặc dù mục tiêu đưa ra là nắn chỉnh toàn phần nhưng trên thực tế trong nhiều trường hợp chỉ nắn chỉnh được một vùng khi tập điểm không chế tập trung vào một vùng.

iii) Về độ phức tạp tính toán, công đoạn nắn chỉnh đòi hỏi phải giải hệ phương trình tuyến tính  $2n+6$  biến với độ phức tạp tính toán thời gian  $\Theta(n^3)$  mà lời giải thường có sai số lớn, trong khi trên thực tế thì hiện tượng biến dạng da đầu ngón tay lại có tính địa phương, những điểm gần nhau thì mức độ biến dạng ít khác nhau hơn. Về bộ nhớ, việc tính tương quan dọc cạnh đến hai láng giềng gần nhất của từng ĐTCT đòi hỏi hoặc phải quay lại ảnh gốc hoặc phải tính trước cho tất cả các khoảng cách trên các bộ đặc trưng thứ cấp của từng ĐTCT nên tiêu phí rất nhiều bộ nhớ.

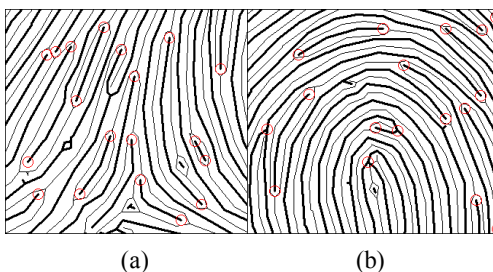
Để khắc phục nhược điểm thứ nhất, luận án đề xuất sử dụng cấu trúc địa phương tương ứng với từng ĐTCT được gọi là cặp vân rãnh liên thuộc để tăng thêm thông tin cho đối sánh. Để khắc phục nhược điểm thứ hai, phương pháp mới này đề xuất kỹ thuật bổ sung tăng cường tập điểm ĐTCT theo hướng khai thác thêm các điểm lượng hóa nằm trên cặp vân rãnh liên thuộc này, sẽ gọi là giả ĐTCT, để tìm thêm các cặp khớp chế mới cho nắn chỉnh TPS. Cuối cùng, để khắc phục nhược điểm thứ ba, chương này đề xuất thay thế phương pháp nắn chỉnh TPS toàn phần bằng phép nắn chỉnh TPS trên các miền con.

### 3.2.1. Cấu trúc vân rãnh liên thuộc và tạo sinh các điểm giả ĐTCT

Phương pháp mới dựa trên sử dụng thông tin địa phương ở các cặp vân rãnh liên thuộc của các cặp điểm tương ứng tìm được. Trước khi đi sâu giới thiệu thuật toán, ta cần nói rõ khái niệm này.

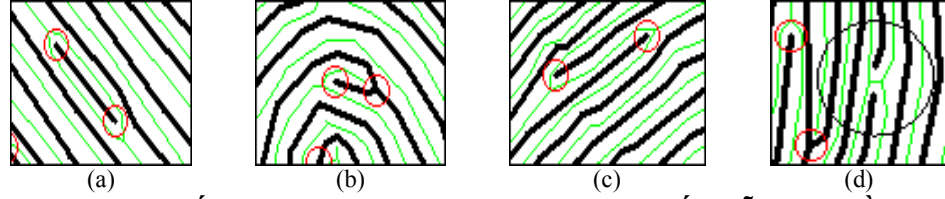
#### *Cấu trúc vân rãnh liên thuộc*

Vì các thành phần vị trí và hướng của ĐTCT không đủ thể hiện cấu trúc địa phương nên Ross [65] đã đề xuất dùng thông tin cấu trúc đường vân liên thuộc để so sánh các cặp điểm tương ứng. Để mở rộng thông tin *xa hơn* ở quanh các điểm này luận án xét thêm *đường rãnh đối ngẫu* của đường vân liên thuộc. Chẳng hạn, đối diện với một ĐTCT kiểu rẽ nhánh trên đường vân bao giờ cũng có một ĐTCT kiểu cụt trên đường rãnh và đối diện với một ĐTCT kiểu cụt trên đường vân bao giờ cũng có một ĐTCT kiểu rẽ nhánh trên đường rãnh, ngược lại cũng đúng đối với ảnh rãnh (âm bản). Như vậy, cặp *vân rãnh liên thuộc* của một ĐTCT được cấu thành từ *đường vân liên thuộc* với ĐTCT này và *đường rãnh đối ngẫu* của nó ở đó. Hình 3.2 minh họa một số điểm ĐTCT trên ảnh vân và các ĐTCT đối ngẫu trên ảnh rãnh.



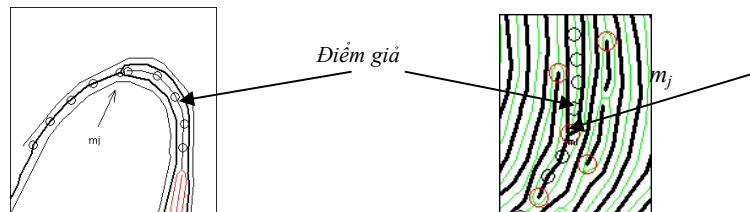
**Hình 3.2:** Các ĐTCT trên đường vân (đậm) có ĐTCT đối ngẫu trên rãnh (mảnh).

Một số tổ hợp cấu hình ĐTCT cùng cặp vân rãnh liên thuộc của chúng được minh họa trong Hình 3.3.



**Hình 3.3:** (a) Đoạn vân ngang dạng đảo (*Island*) có đường rãnh đôi ngẫu hình hồ nước; (b) đoạn vân hình nhánh có đường rãnh đôi ngẫu hình nhánh với hướng ngược lại; (c) Đối ngẫu với đoạn vân hình cầu nối là hai đường vân gặp nhau; (d) Đường vân đứt nét hay đường rãnh dính nét không phải là ĐTCT nên không có ĐTCT đối ngẫu.  
**Tạo sinh các điểm trên cặp vân rãnh liên thuộc và bổ sung các cặp điểm tương ứng:**

Ký hiệu  $l_0$  là độ dài (thường được chọn  $\sim 2$  bước vân) và  $l_{\max}=4l_0$ . Tập các điểm giả ĐTCT được tạo sinh trên cấu trúc vân rãnh liên thuộc của các cặp điểm tương ứng như sau: Với mỗi điểm ĐTCT, ta dò từ điểm này trên ảnh vân và từ điểm ĐTCT đối ngẫu trên ảnh rãnh để xác định các điểm lượng hóa cách đều nhau với bước  $l_0$  cho đến khi gặp điểm biên hoặc độ dài vượt quá ngưỡng  $l_{\max}$  thì dừng. Các điểm này gọi là giả ĐTCT. Đối với một cặp điểm ĐTCT tương ứng chính danh thì hai cặp vân rãnh liên thuộc của chúng cũng tương ứng với nhau. Vì vậy, sau khi đối sánh trên hệ tọa độ riêng của các điểm giả ĐTCT này sẽ chọn được những cặp giả ĐTCT tương ứng để bổ sung vào tập dùng làm các cặp điểm khống chế. Hình 3.4 minh họa các điểm giả ĐTCT được tạo sinh với bước dò được lượng hóa  $l_0$ . Khi phân bố các cặp điểm giả ĐTCT này không phù hợp, tức là không thể dùng kỹ thuật chọn thêm điểm khống chế cho nắn chỉnh TPS địa phương ở mục sau thì ta xem chúng không là cặp tương ứng nữa. Như vậy phương pháp này cho phép tăng khả năng phát hiện cặp vân giả danh.



**Hình 3.4:** Các điểm giả ĐTCT được tạo sinh ở điểm  $m_j$  với bước lượng hoá  $l_0$

Các cặp vân rãnh được trích chọn và lưu cùng bộ ĐTCT trong giai đoạn trích chọn và đánh giá ĐTCT dưới dạng đa tuyến, kết quả của thuật toán xấp xỉ tuyến tính đường vân và đường rãnh. Do chỉ lưu các đỉnh đa tuyến nên bộ nhớ lưu trữ cặp vân rãnh liên thuộc được tiết kiệm tối đa.

Để đối sánh hai ĐTCT được giả định là tương ứng  $m_i$  và  $m_j$  cùng các cặp vân rãnh liên thuộc của chúng, ta chỉ cần chồng hai ĐTCT trùng khít lên nhau rồi lần lượt kiểm tra các cặp giả ĐTCT tương ứng trên vân và trên rãnh có trùng khớp với nhau hay không. Độ giống giữa hai ĐTCT tương ứng  $S(m_i, m_j)$  cũng được tính tương tự như độ giống giữa hai vân tay dùng công thức (3.3), tức là bằng bình phương số cặp giả ĐTCT trùng khớp trên tích các số lượng giả ĐTCT phát hiện được của từng  $m_i, m_j$ .

Khi cài đặt thực nghiệm, cặp ĐTCT tương ứng được coi là tin cậy (không bị loại) nếu có ít nhất 4/8 cặp giả ĐTCT của chúng là trùng khớp.

### **3.2.2. Phân miền đối sánh TPS và chọn các cặp điểm không chế**

Để thực hiện đối sánh TPS từng phần ta cần phân ảnh thành 9 miền con và chọn các điểm không chế trên cho biến đổi TPS của mỗi miền.

#### ***Phân miền đối sánh TPS***

Với mỗi tập cặp điểm tương ứng đã biết, ta xác định bao lồi của chúng trên mỗi mặt phẳng ảnh theo kỹ thuật đề xuất trong[34]. Đường kính lớn nhất của bao lồi sẽ được dùng làm trục hoành của mặt phẳng ảnh tương ứng và tâm là trung điểm của nó. Chia mặt phẳng thành tám phần bằng các tia quét từ gốc tọa độ với bước  $45^\circ$ . Tách miền trung tâm ở gốc có bán kính  $R_0$  (chọn trước=4mm), phía ngoài là 8 miền được phân theo tia quét. Như vậy ảnh vân tay được chia làm 9 miền con để đối sánh ĐTCT.

#### ***Chọn các cặp điểm không chế cho biến đổi TPS***

Trên mỗi miền con đang xét, xác định lưới vuông với bước  $h=4\text{mm}$  với cỡ ảnh chuẩn. Trên mỗi ô ta lấy nhiều nhất một điểm không chế (nếu có) trong tập điểm ĐTCT tương ứng hoặc giả ĐTCT theo thứ tự ưu tiên: điểm ĐTCT, gần tâm ô

nhất, theo thứ tự trái sang phải và trên xuống dưới. Do cách tạo sinh ở mục 3.2.1, tập các điểm không chế này sẽ được xác định theo từng cặp. Nếu trên miền này có quá ít cặp điểm không chế thì ghép với miền liền kề để tìm biến đổi TPS.

Bây giờ ta mô tả thuật toán nắn chỉnh từng phần (P-TPS) để đối sánh vân tay nhờ nắn chỉnh TPS từng phần sử dụng cấu trúc điểm đã nêu.

### 3.2.3. Mô tả thuật toán P-TPS

Với hai ảnh vân tay  $I_q, I_t$ , các tập ĐTCT lần lượt là  $M_q, M_t$ , biến đổi affine ban đầu cho phép tìm được các cặp điểm tương ứng  $M_1$  và cặp các điểm vân rãnh liên thuộc  $M_1^*$  đã được xác định, phương pháp *đối sánh TPS từng phần* áp dụng thuật toán P-TPS được mô tả trong Hình 3.5.

Trong thuật toán này, dựa vào các cặp điểm tương ứng ban đầu, một tập các cặp điểm ĐTCT phụ tương ứng được tạo sinh từ cặp vân rãnh liên thuộc của chúng để tăng cường và sàng lọc, chọn ra tập điểm không chế cho từng miền để nắn chỉnh TPS từng phần. Trên cơ sở kết quả nắn chỉnh địa phương, thuật toán phát hiện thêm các cặp điểm ĐTCT tương ứng mới trên từng miền và sau đó tính lại điểm độ giống tổng thể giữa hai ảnh. Việc tính điểm độ giống ở công thức (3.3) xét  $n_q, n_t$  là số lượng các ĐTCT thuộc vùng giao của hai vân tay được ước lượng tại mỗi bước từ bao lồi của tập điểm không chế mở rộng. Thủ tục này được lặp cho đến khi đủ điều kiện quyết định hoặc tập cặp điểm tương ứng không mở rộng được nữa.

<p><b>Dữ liệu vào:</b> Tập ĐTCT <math>M_b, M_q</math>; Số ĐTCT <math>n_b, n_q</math>; Tập các cặp ĐTCT tương ứng ban đầu <math>M_1</math> với <math>n</math> cặp [7-11,87], tập <math>n^*</math> các cặp ĐTCT mở rộng tương ứng <math>M_1^*</math> (trích chọn từ các cặp vân rãnh liên thuộc). Ngưỡng nắn chỉnh <math>s_{min}, s_{max}</math>; Bước lưới: <math>step</math>;</p> <p><b>Dữ liệu ra:</b> Số điểm tương ứng sau nắn chỉnh <math>n'</math> và độ giống tổng thể của hai vân tay <math>s</math>.</p>
<p>1. Sàng lọc tập các cặp điểm ĐTCT tương ứng theo cặp vân rãnh liên thuộc: (<math>n</math> là số cặp ĐTCT ban đầu, <math>n' \leq n</math> là kết quả sàng lọc theo cặp vân rãnh liên thuộc).</p> <p>2. Tính độ giống <math>s = n'^2 / (n_t * n_q)</math>. Nếu <math>s \notin [s_{min}, s_{max}]</math>, chuyển sang 6;</p> <p>3. Tăng dày tập các cặp điểm tương ứng bằng cách bổ sung thêm các điểm lượng hoá trên cặp vân-rãnh liên thuộc:</p> <p>3.1. Bổ sung các cặp điểm lượng hoá tương ứng trên các cặp vân rãnh liên thuộc</p>



vào tập  $M_l$ , kết quả là tập  $M_1^*$ .

( $n^* \geq n'$  là số lượng các cặp ĐTCT mở rộng tương ứng).

3.2. Dùng thuật toán [34] tính bao lồi của  $M_1^*$ .

4. Chọn lọc tập ĐTCT tương ứng  $n^*$  mở rộng:

4.1. Xây dựng lưới sàng tuyến vuông với bước lưới *step* và chia lưới từ gốc tọa độ được chọn là điểm giữa đường kính lớn nhất nối hai đỉnh của bao lồi.

4.2. Chọn tập  $m$  điểm đại diện trên  $m$  ô lưới// nếu không tương thích thì loại.

4.3. Phân hoạch 9 vùng, gồm 1 vùng trung tâm với tâm là gốc tọa độ, giới hạn bởi bao lồi và 8 vùng phân tám chia bởi 8 tia quét từ tâm theo góc  $45^\circ$  nằm ngoài bao lồi.

4.4. Nắn chỉnh từng phần trên từng phân hoạch và tính số cặp điểm tương ứng  $n'$  mới,  $M_1$  mới, độ giống mới:  $s = n'^2 / (n_t^* n_q)$ .

5. Nếu ( $n' = n$ ) hoặc ( $s > s_{max}$ ) chuyển sang 6 nếu không:

5.1.  $n \leftarrow n'$ ;

5.2. Quay lại 2;

6. Kết thúc.

### Hình 3.5: Mô tả thuật toán P-TPS.

Ưu điểm nổi bật của thuật toán P-TPS thể hiện trên các điểm sau:

- Việc đề xuất dùng cặp vân rãnh liên thuộc để sinh các giả ĐTCT dùng để sàng lọc có ưu thế hơn hẳn về độ phức tạp tính toán và độ phân biệt so với G-TPS phải quay lại ảnh gốc để tính các tương quan mức xám lân cận xung quanh ĐTCT và dọc cạnh đến 2 ĐTCT láng giềng gần nhất. Việc sàng lọc này giúp phát hiện các cặp tương ứng "nhầm" trong trường hợp giả danh và loại trước khi nắn chỉnh nên loại được rất nhiều phép nắn chỉnh thừa.
- Việc khai thác thêm các điểm giả ĐTCT để tăng dày tập điểm khống chế để từ đó chọn ra tập điểm khống chế phân bố đồng đều hơn nên cho phép nắn chỉnh đạt độ chính xác hơn, hiệu quả hơn. (Về thực chất phương pháp P-TPS không chỉ dùng tập các cặp ĐTCT tương ứng để nắn chỉnh mà còn mở rộng dùng thêm thông tin đường vân và đường rãnh nên đạt hiệu quả nắn chỉnh cao hơn so với G-TPS).

- Việc đề xuất giải pháp phân hoạch không gian dựa trên miền giao chung của 2 vân tay để tiến hành nắn chỉnh từng phần sử dụng tập điểm không chế phân bố đồng đều đem lại hiệu quả cao hơn, nhờ thay vì phải hệ phương trình tuyến tính nhiều biến ta chỉ giải một số ít các hệ phương trình ít biến hơn, đồng thời cũng đạt độ chính xác nắn chỉnh cao hơn nhờ khử được sai số lũy tích.

Kết quả thực nghiệm dưới đây sẽ phản ánh được phần nào các nhận xét trên.

### 3.3. Kết quả thực nghiệm

Để so sánh hiệu quả giữa hai phương pháp P-TPS và G-TPS, luận án đề xuất kịch bản thử nghiệm cài đặt cả hai thuật toán và so sánh hiệu quả đối sánh. Với từng phép đối sánh, cả hai thuật toán P-TPS và G-TPS đều sử dụng chung tập các cặp ĐTCT ban đầu được xác định nhờ thuật toán VF (*Verifinger 4.2*) [87].

Mặc dù kết quả thực nghiệm của luận án tiến hành trên CSDL chỉ bản C@FRIS DB của Công an Hà Nội và hệ C@FRIS [10,11] cho thấy phương pháp mới tốt hơn so với phương pháp G-TPS [52], song để khách quan, mục này trình bày kết quả thử nghiệm của hai thuật toán trên CSDL FVC2004 (DB1, DB3) [86]. Hai CSDL này có nhiều vân tay biến dạng rất đáng kể, mỗi CSDL chứa 800 ảnh vân tay của 100 ngón khác nhau, mỗi ngón in 8 lần, DB1 bao gồm các mẫu vân tay được thu nhận bằng bộ cảm biến quang học «CrossMatch V300», DB3 được thu nhận bằng thiết bị cảm ứng nhiệt «FingerChip FCD4B14CB» của hãng Amtel.

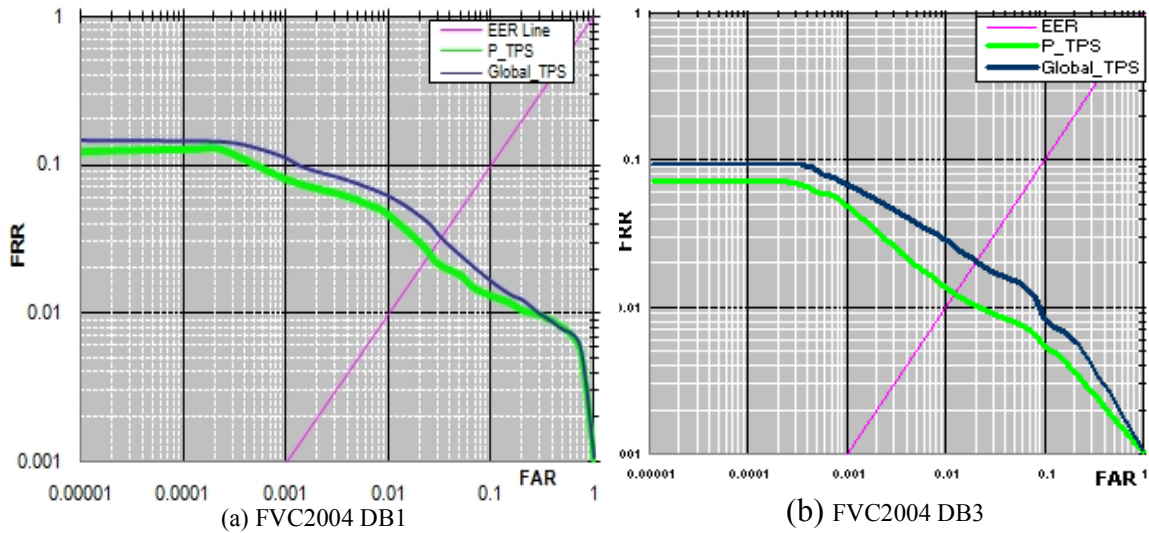
Trên từng DB, quá trình thực nghiệm được tiến hành như thể lệ của cuộc thi FVC2004 [86], đó là: Cho chạy kiểm tra  $(8 \cdot 7/2) \cdot 100 = 2800$  phép đối sánh các cặp vân tay do cùng một ngón in ra và chạy kiểm tra  $100 \cdot 99/2 = 4950$  lần lặp để đối sánh các cặp vân tay khác ngón in ra để ước lượng đường phân bố điểm số (*score*): Chính danh và giả danh, các đường phân bố các sai số theo ngưỡng độ giống  $S_t$ , FAR( $S_t$ ), FRR( $S_t$ ). Dựa trên các phân bố ước lượng được, ta xây dựng đường ROC (*Receive Operating Curve*) phản ánh mối quan hệ phụ thuộc lẫn nhau của hai loại sai số FAR và FRR. Từ đường cong ROC có thể dễ dàng đọc được các tham số cơ bản phản ánh khách quan nhất độ chính xác của thuật toán, đó là: EER, FAR100,

FAR1000, zeroFAR, zeroFRR. Từ các phân bố trên, ngưỡng  $S_{min}$  là giá trị ngưỡng lớn nhất mà  $FRR(S) = 0$ , và  $S_{max}$  là giá trị ngưỡng nhỏ nhất mà  $FAR(S) = 0$ .

**Bảng 3.1: So sánh độ chính xác nắn chỉnh trên CSDL FVC 2004 DB**

FVC2004 DB	EER(%)			FAR100(%)			FAR1000(%)			ZeroFAR(%)		
	VF	G-TPS	P-TPS	VF	G-TPS	P-TPS	VF	G-TPS	P-TPS	VF	G-TPS	P-TPS
DB1	3.91	3.24	2.48	7.11	5.89	4.68	12.43	11.47	7.76	17.96	14.70	12.13
DB3	4.03	1.97	1.25	7.43	3.16	2.22	12.64	7.59	5.47	14.32	9.18	7.19
Trung bình	3.97	2.61	1.87	7.27	4.26	3.45	12.54	9.53	6.62	16.14	11.94	9.66

**Ghi chú:** FAR100 (phần trăm FRR nhỏ nhất khi  $FAR \leq 1\%$ ), FAR1000 (phần trăm FRR nhỏ nhất khi  $FAR \leq 0.1\%$ ), ZeroFAR (phần trăm FRR nhỏ nhất khi  $FAR = 0\%$ ).



**Hình 3.6: So sánh đường ROC của phương pháp G-TPS và phương pháp P-TPS trên CSDL FVC2004 DB1, DB3.**

**Bảng 3.2: So sánh thời gian và bộ nhớ của hai phương pháp trên CSDL FVC 2004 DB**

FVC2004 DB	Chính danh				Giả danh			
	Thời gian (ms)		Bộ nhớ (Kbytes)		Thời gian (ms)		Bộ nhớ (Kbytes)	
	G-TPS	P-TPS	G-TPS	P-TPS	G-TPS	P-TPS	G-TPS	P-TPS
DB1	83.4	78.33	307.56	1.79	83.37	47.06	306.66	0.91
DB3	60.7	46.65	144.46	2.35	53.25	34.18	142.11	1.08
Trung bình	72.05	62.49	226.02	2.07	68.31	40.62	224.39	0.95

Kết quả thử nghiệm hai phương pháp nắn chỉnh được thể hiện trong Bảng 3.1, kết quả so sánh hai đường cong ROC trên CSDL DB1 thể hiện trên Hình 3.6(a) còn CSDL DB3 trên Hình 3.6(b).

Kết quả thử nghiệm so sánh thời gian đối sánh và bộ nhớ sử dụng của phương pháp đề xuất P-TPS với phương pháp G-TPS trên CSDL DB1, DB3 FVC2004 được thể hiện trong Bảng 3.2

Kết quả thử nghiệm trên cùng một CSDL cho thấy phương pháp nắn chỉnh P-TPS đạt độ chính xác cao hơn trên tất cả các tham đánh giá so với phương pháp nắn chỉnh G-TPS. Cụ thể về độ chính xác, trung bình EER của P-TPS là 1.87% thấp hơn phương pháp G-TPS 2.61%. Về thời gian đối sánh trung bình của phương pháp P-TPS là 62.49ms cho đối sánh chính danh và 40.62ms cho đối sánh giả danh giảm hơn so với phương pháp G-TPS là 72.05ms cho đối sánh chính danh và 68.31ms cho đối sánh giả danh. Về bộ nhớ sử dụng trong quá trình thực hiện chương trình, phương pháp P-TPS chỉ sử dụng 2.07 Kbytes cho đối sánh chính danh và 0.95 Kbytes cho đối sánh giả danh ít hơn rất nhiều hơn so với phương pháp G-TPS là 226.02 Kbytes cho đối sánh chính danh và 224.39 Kbytes cho đối sánh giả danh thực hiện trên cùng một máy Intel Pentium 4, 2.8 GHz.

### **3.4. Kết luận**

Trên đây luận án đã đề xuất một phương pháp mới để đối sánh vân tay dùng mô hình nắn chỉnh TPS từng phần kết hợp sử dụng cấu trúc thông tin về vân rãnh cục bộ là cặp vân rãnh liên thuộc. Ưu điểm nổi trội của phương pháp đề xuất so với phương pháp G-TPS được thể hiện trên nhiều mặt:

Thứ nhất, đưa vào sử dụng các điểm lượng hóa trên cặp vân rãnh liên thuộc gọi là giả ĐTCT vừa dùng như nguồn thông tin cục bộ có độ tin cậy cao để thẩm định lại tập các cặp điểm ĐTCT tương ứng tìm được mà không đòi hỏi tính toán phức tạp. So với phương pháp G-TPS phương pháp P-TPS giúp giảm độ giống đối với các cặp vân tay giả danh trước khi nắn chỉnh nên hạn chế được rất nhiều phép nắn chỉnh thừa vừa có giá trị tăng nhanh tốc độ đối sánh vừa cải thiện thêm phân bố giả danh (*Imposter*).

Thứ hai, trong khi phương pháp G-TPS chọn tất cả các cặp ĐTCT làm điểm không chế thì phương pháp P-TPS đề xuất vừa bổ sung thêm các điểm giả ĐTCT để tăng khả năng lựa chọn, vừa đưa ra phương án sàng lọc bớt các điểm không chế trùng thừa, giúp xác được tập điểm không chế phân bố đồng đều hơn trên mặt phẳng ảnh, giúp mở rộng thêm vùng nắn chỉnh và nắn chỉnh hiệu quả hơn.

Thứ ba, việc đề xuất dùng kỹ thuật nắn chỉnh từng phần thay cho kỹ thuật nắn chỉnh toàn phần giúp nắn chỉnh chính xác hơn nhờ phản ánh sát hơn các thông tin biến dạng địa phương, khắc phục được hiện tượng sai số lũy tích nên cho lời giải chính xác hơn. Do đạt hiệu quả nắn chỉnh toàn cục cao, xác định được nhiều hơn số cặp điểm ĐTCT tương ứng cho các cặp vân tay chính danh, nên phương pháp P-TPS cải thiện được đường phân bố Genuine tốt hơn.

Kết quả thực nghiệm trên các CSDL FVC 2004 (DB1, DB3) cho thấy các khẳng định nêu trên là có căn cứ thực tế. So với phương pháp G-TPS, phương pháp mới P-TPS cải tiến được cả phân bố chính danh và phân bố giả danh, từ đó giảm thiểu được đồng thời cả hai loại sai số FAR và FRR, nâng cao rõ rệt hiệu quả đối sánh mà thời gian và bộ nhớ sử dụng cũng đồng thời được giảm xuống nhiều hơn.

## **Chương 4. TỔ CHỨC DỮ LIỆU VÀ BẢO VỆ AN NINH AN TOÀN HỆ THỐNG**

Kỹ thuật phân đoạn trong Chương 2 giúp ta xây dựng CSDL ảnh vân tay lưu trữ, phương pháp đối sánh vân tay trong Chương 3 giúp ta tổ chức và bảo vệ an ninh dữ liệu. Chương này đề xuất một số giải pháp tổ chức dữ liệu thuận tiện cho tra cứu và bảo vệ an ninh, ngăn ngừa các phương thức tấn công phá hoại hệ thống.

### **4.1. Tổ chức dữ liệu phục vụ phương pháp truy nguyên vân tay tự động**

Hiện nay ở nước ta, Ngành Công an đã đưa vào sử dụng các hệ nhận dạng vân tay tự động AFIS. Thực tế hiện nay nhiều hệ thống AFIS trên thế giới đã nhập và đưa vào sử dụng ở nước ta, chủ yếu vẫn đang xử lý tra tìm bằng phương pháp đối sánh tuần tự nên thời gian tìm kiếm rất chậm chạp. Để truy nguyên 1 dấu vân tay hiện trường trên CSDL 1,5 triệu chỉ bản 10 ngón hệ SAGEM MORPHO AFIS (Pháp) thông thường phải mất hàng giờ mới cho ra kết quả. Hệ AFIX TRACKER (Mỹ) chỉ dùng để truy nguyên dấu vân tay trên CSDL nhỏ dưới 10.000 chỉ bản, nhưng tốc độ truy nguyên cũng lên đến 10 phút/1 yêu cầu.

Trong cách hệ AFIS, các yêu cầu về độ chính xác và tốc độ truy nguyên, đối sánh là những tiêu chí đánh giá quan trọng nhất. Để truy nguyên, đối sánh vân tay với CSDL vân tay đăng ký, thường các hệ AFIS đều tiến hành theo hai công đoạn: Công đoạn đối sánh theo thông tin thuộc tính ảnh cơ bản (dạng vân cơ bản, các số đếm vân trích chọn được trên cơ sở định vị điểm dị thường và mật độ đường vân); Công đoạn đối sánh theo ĐTCT (các điểm kết thúc, điểm rẽ nhánh phân bố ngẫu nhiên trên bề mặt ảnh vân tay) [56,63]. Nhờ kỹ thuật đánh chỉ số phân cấp theo các thuộc tính cơ bản của ảnh, một số lượng lớn chỉ bản thuộc nhóm phân loại khác so với chỉ bản truy vấn bị loại từ đầu nên công đoạn thứ nhất được thực hiện rất nhanh chóng và hiệu quả. Riêng công đoạn đối sánh theo ĐTCT, hệ thống không có cách nào khác là phải đối sánh vân tay truy vấn với tất cả các vân tay trên danh sách đầu ra của công đoạn thứ nhất.

Đối với hệ AFIS qui mô nhỏ, việc đối sánh theo ĐTCT bằng phương pháp xử lý tuần tự trong nhiều trường hợp vẫn đạt được kết quả mong muốn trong

khoảng thời gian chấp nhận được. Tuy nhiên, khi cơ sở dữ liệu ảnh lớn đến hàng triệu, thậm chí hàng chục triệu chỉ bản, chúng đòi hỏi không gian lưu trữ rất lớn, hàng terabyte hay hàng chục terabyte, thì thời gian xử lý truy nguyên, truyền dữ liệu trên mạng bởi vậy cũng tăng lên rất đáng kể nên giải pháp đối sánh tuần tự không còn tác dụng.

Để giải quyết vấn đề đặt ra, nhằm đạt được tốc độ đối sánh vân tay hiệu năng cao, cần phải thay thế giải pháp đối sánh tuần tự bằng giải pháp song song để đảm nhận các nhiệm vụ trên. Chương này không đề cập lại thuật toán và độ chính xác đối sánh vân tay cụ thể được cài đặt trên các nút, vì vấn đề này đã trình bày chi tiết trong Chương 3 [16,60], mà chỉ tập trung vào thiết kế cấu hình cụm máy tính kết nối mạng, phương pháp tổ chức CSDL ảnh, đánh chỉ số ảnh, giải pháp tổ chức đối sánh song song hóa dựa trên việc phân phối năng lực tính toán cho các nút xử lý song song, cũng như giám sát quá trình tính toán và tập hợp danh sách kết quả cuối cùng. Kết quả của giải pháp này đã được công bố trong hội thảo khoa học quốc gia [18].

Để đánh giá, CSDL C@FRIS gồm 2,5 triệu bản ghi lưu ảnh vân ngón tay thu nhận từ tầng thư căn cước can phạm được dùng để thử nghiệm giải pháp đề xuất. Kết quả thử nghiệm cho thấy thuật toán đề xuất hoạt động hiệu quả, đạt độ chính xác cao và được đưa vào ứng dụng thực tế để xây dựng phương pháp truy nguyên vân tay cao tốc nhằm nâng cấp phân hệ phần mềm tìm kiếm, đối sánh của hệ C@FRIS trước đây đã dùng phương pháp đối sánh tuần tự. Chi tiết về phương pháp truy nguyên vân tay cao tốc sẽ được trình bày trong Chương 5.

Mục này sẽ trình bày mô hình tổ chức dữ liệu phục vụ xử lý song song để truy nguyên vân tay trên CSDL dung lượng lớn.

#### **4.1.1. Bài toán đối sánh vân tay cao tốc**

Bài toán đối sánh vân tay cao tốc, được phát biểu vắn tắt như sau:

Cho hệ thống cơ sở dữ liệu ảnh vân tay lưu trữ dung lượng lớn, gồm hàng triệu chỉ bản 10 ngón (chẳng hạn C@FRIS DB), hãy xây dựng giải pháp truy nguyên một dấu vân tay trên cơ sở dữ liệu đó sao cho thời gian cho ra kết quả trong khoảng thời gian xác định, chẳng hạn trong phạm vi dưới 1 phút.

Vấn đề chung của các ứng dụng trên CSDL ảnh dung lượng lớn là sự công kênh, kém hiệu quả vì chúng đòi hỏi không gian lưu trữ rất lớn, hàng terabyte hay hàng chục terabyte, thời gian xử lý đối sánh trên các máy trạm và thời gian truyền dữ liệu trên mạng bởi vậy cũng tăng lên rất đáng kể.

Với hệ thống nhận dạng vân tay C@FRIS, để tìm kiếm một chỉ bản vân tay 10 ngón trên CSDL 250.000 chỉ bản, gọi là đối sánh 1:N, ta chỉ mất thời gian 30 giây. Khi CSDL tăng lên 10 lần thì ngoài việc phải đảm bảo đủ dung lượng bộ nhớ và tốc độ truyền dữ liệu, thời gian tìm kiếm tuần tự chắc chắn sẽ phải tăng 10 lần, tức là khoảng 300s (5 phút).

Một tình huống tương tự khác, có phần phức tạp hơn, để tìm kiếm một dấu vân tay 1 ngón, không xác định ngón, trên CSDL 2,5 triệu chỉ bản 1 ngón, hệ thống C@FRIS phải mất thời gian khoảng 50 phút (không tính thời gian thẩm định). Nếu CSDL tăng lên 10 lần, tức là lên tới 25 triệu chỉ bản 1 ngón thì thời gian tìm kiếm tuần tự sẽ phải tăng 10 lần, tức là 500 phút.

Nhiệm vụ đặt ra là làm thế nào để rút ngắn thời gian tìm kiếm trên CSDL 2,5 triệu chỉ bản?

#### **4.1.2. Mô hình xử lý song song trong nhận dạng vân tay**

##### ***Mô hình song song hóa thuật toán đối sánh 2 vân tay***

Trong thuật toán đối sánh 2 vân tay, về nguyên tắc ta có thể tiến hành song song hoá các pha: cải thiện ảnh, trích chọn đặc điểm, phân loại ảnh cũng như pha đối sánh.

Đặc biệt là, do các ảnh vân tay được biểu diễn dưới dạng ma trận, nên các thuật toán xử lý ảnh rất dễ tiến hành song song hoá (xem [50]). Tuy nhiên, trong các hệ AFIS, việc tiền xử lý và trích chọn đặc điểm trong pha tra cứu, lại chỉ được thực hiện 1 lần cho 1 yêu cầu nhận dạng. Còn trong pha xây dựng hệ thống, một máy PC trong 1 ngày 24 giờ có thể tự động mã hóa được đến 10.000 chỉ bản nên người ta thường dùng nhiều trạm xử lý theo đơn vị cả chỉ bản 10 ngón của đối tượng mà ít khi phân phối chỉ 1 vân tay cho nhiều nút cùng xử lý. Trên thực tế, do thời gian đối sánh 2



vân tay theo 2 bộ mã của chúng đã rất nhanh, chỉ trong vòng 2-3 giây, nên mô hình song song hoá thuật toán đối sánh 2 vân tay theo 2 bộ ĐTCT có rất ít ứng dụng.

Như vậy việc song song hóa thuật toán ít hứa hẹn đem lại hiệu quả tốt nên luận án tập trung vào song song hóa dữ liệu.

### ***Mô hình song song hóa quá trình truy nguyên theo gói nhiều yêu cầu***

Mô hình song song hoá này thường được áp dụng cho bài toán nhận dạng vân tay dựa trên việc phân hoạch CSDL. Theo mô hình này CSDL tổng thể được lưu trên máy chủ, được phân hoạch thành các CSDL con đều nhau, chẳng hạn phân hoạch theo giới tính, theo khoảng số thứ tự bản ghi (*RowId*), theo mã ngón tay. Khi có nhiều yêu cầu đối sánh dưới dạng mã vân tay được gửi tới máy chủ CSDL, máy chủ sẽ tiến hành căn cứ vào các thuộc tính cơ bản chẳng hạn như giới tính, mã ngón, dạng cơ bản, số đếm vân rồi phân phối yêu cầu đến các nút xử lý song song (thực chất là 1 PC hay 1 bladeserver) để tra cứu trên CSDL con do máy chủ chỉ định. Quá trình đối sánh được thực hiện trên các nút đó lần lượt theo từng đơn vị là 1 yêu cầu. Sau cùng, máy chủ tổng hợp kết quả lại, trả về cho người yêu cầu để tiến hành thẩm định.

Thông thường, mô hình song song hoá này được cài đặt theo kiến trúc mạng phân tán có truyền thông tập trung. Ưu điểm của hệ thống này là tính đơn giản, độ tăng tốc của thuật toán lớn, giảm đáng kể thời gian xử lý, lại không yêu cầu cấu hình các nút lưu trữ mạnh, dẫn đến giá thành của hệ thống rẻ, phù hợp với nhiều người sử dụng, đặc biệt đối với những ứng dụng thương mại và pháp lý có nhu cầu giải quyết cùng lúc hàng loạt rất nhiều yêu cầu. Tuy nhiên, hạn chế của mô hình phân hoạch CSDL là do từng nút xử lý theo đơn vị 1 yêu cầu trên CSDL riêng nên khó phân phối cân bằng tải được các nút khi tham gia tra cứu chỉ một số ít yêu cầu. Chẳng hạn khi tra cứu một hay một số ít dấu vết vân tay thì có nút hoàn thành quá nhanh do có ít đối tượng tìm thấy trên CSDL con được phân công và có nút hoàn thành quá chậm, nên tổng thời gian để hoàn thành 1 yêu cầu bị gia tăng. Hiện tượng này rất thường gặp nhất là khi các CSDL con được quét nhập từ kho chỉ bản đã

phân loại. Ví dụ: khi tra dấu vết hiện trường có dạng cơ bản là vân quai thì nút nào được phân công tra cứu trên CSDL con chứa nhiều vân tay dạng vân quai sẽ phải làm việc nhiều nhất, còn các nút tra cứu trên CSDL con chứa toàn cung thường sẽ hoàn thành nhanh và sẽ phải nghỉ nếu không có yêu cầu khác. Để khắc phục hạn chế này, luận án đề xuất phương pháp không dựa trên việc phân hoạch trước CSDL mà phân công nhiều nút cùng tra cứu truy nguyên 1 yêu cầu trên 1 CSDL chung, gọi là song song hóa quá trình truy nguyên từng yêu cầu.

#### **4.2. Đề xuất giải pháp tổ chức cơ sở dữ liệu hiệu quả cho đối sánh truy nguyên vân tay theo từng yêu cầu**

Ý tưởng chủ đạo của giải pháp đề xuất dựa trên hai công đoạn là: Công đoạn thứ nhất là tổ chức đánh chỉ số phân cấp theo các thuộc tính vân tay cơ bản để rút ngắn thời gian tìm kiếm theo nhóm phân loại; Công đoạn thứ hai là phân chia danh sách cần đối sánh theo ĐTCT thành các gói nhỏ, phân công nhiệm vụ tính toán cho các nút đối sánh song song, giám sát quá trình tính toán và đưa ra danh sách kết quả cuối cùng để rút ngắn thời gian đối sánh theo ĐTCT.

Để thực thi ý tưởng trên, ta tiến hành các công đoạn như sau:

##### ***Tổ chức đánh chỉ số phân cấp CSDL theo các thuộc tính ảnh vân tay cơ bản:***

Đánh chỉ số là kỹ thuật quen thuộc đối với các bài toán quản lý CSDL. Thông thường cần tra tìm theo trường nào thì người ta sẽ tiến hành đánh chỉ số theo trường đó, mục đích là tránh phải tìm kiếm theo kiểu vét cạn, tức là duyệt danh sách từ đầu đến cuối. Tuy nhiên, đối với ảnh vân tay vấn đề nan giải là ở chỗ số thuộc tính cơ bản này (dạng cơ bản) rất khó trích chọn, thường có độ tin cậy không cao do chất lượng ảnh khác nhau gây ra sự nhập nhằng trong định vị và phân loại.

Trong ứng dụng cho các hệ căn cước công dân và căn cước can phạm, mỗi vân tay được biểu diễn dưới dạng một bản ghi gồm các trường cơ bản sau:

- Số căn cước đối tượng quản lý;
- Các trường về thông tin nhân thân (họ tên, năm sinh, giới tính, địa phương);
- Mã số ngón;
- Dạng vân tay cơ bản;

- Số đếm vân trái, số đếm vân giữa, số đếm vân phải, mật độ đường vân;
- Bộ ĐTCT;
- Ảnh vân tay (độ phân giải chuẩn 500 dpi, khoảng 5 MB cho cả bộ 10 ngón).

Để đánh chỉ số phục vụ tra tìm chỉ bản 10 ngón với chỉ bản 10 ngón (TP/TP), giải pháp đề xuất là dùng kỹ thuật đánh chỉ số phân cấp theo tổ hợp dạng cơ bản 10 ngón do hệ thống tự động trích chọn và trong từng tổ hợp, tiếp tục đánh chỉ số theo các số đếm vân và mật độ đường vân của các ngón. Đối với ứng dụng tìm kiếm dấu vân tay hiện trường (LP/TP), giải pháp đề xuất dùng các trường: mã ngón, dạng cơ bản, các số đếm vân và mật độ vân để đánh chỉ số.

Việc nghiên cứu trích chọn từ ảnh vân tay các thuộc tính cơ bản với độ tin cậy cao hơn dùng để đánh chỉ số vẫn còn là một bài toán mở [25,26,44,61]. Để giảm thiểu sót lọt trong quá trình tìm kiếm, tức là giảm thiểu sai số từ chối sai (FRR), luận án đề xuất giải pháp tìm kiếm mở theo cách dùng cả mã chính và các mã phụ để mã các thuộc tính nhập nhằng, có độ tin cậy thấp. Chẳng hạn, một vân tay dạng xoáy nhưng do số đếm vân ít nên có thể bị phân loại nhầm sang dạng vân hình quai, ta cần tìm kiếm theo cả vân xoáy và vân quai, mã chính là xoáy tìm trước, mã phụ là quai tìm sau. Tương tự, đối với số đếm vân cũng vậy, do chất lượng vân kém nên mỗi lần đếm, hệ thống có thể cho kết quả khác nhau nên khi tìm kiếm ta cần tìm kiếm theo khoảng số đếm vân. Vấn đề là nếu xử lý chính/phụ quá nhiều thì danh sách đầu ra sẽ lớn theo. Trong trường hợp đối sánh 1:N, giải pháp đánh chỉ số và sắp xếp kết quả tra cứu theo thứ tự ưu tiên phân cấp theo thuộc tính và cuối cùng theo độ giống là cách thức hiệu quả nhất để rút ngắn thời gian và danh sách tìm kiếm trung bình trên thực tế, mà vẫn giảm thiểu được đồng thời hai loại sai số từ chối sai và tiếp nhận sai (FAR) vì sai số  $FAR_N = N * FAR$  [51]. Tuy nhiên, đây chính là một lợi thế của giải pháp tra cứu song song có thể mang lại: Lấy tốc độ để bù cho độ tin cậy, tức là lấy số lượng bù cho chất lượng.

#### ***Phân chia danh sách cần đối sánh theo đặc điểm chi tiết thành các gói nhỏ:***

Khi xử lý một khối lượng lớn công việc, "chia để trị" là nguyên lý cơ bản thường được lựa chọn nhất. Một máy không làm nổi thì nhiều máy hợp lại, nhưng

phân chia thế nào và số máy hợp lại nhiều đến bao nhiêu là đủ. Trên thực tế, số nút song song thường không thể mở rộng tùy ý, mà chỉ giới hạn bởi nhu cầu từng bài toán cụ thể, bởi kinh phí đầu tư hoặc bởi số bản quyền (*license*) phần mềm hạn chế được trang bị.

Cách tiếp cận ở đây là dùng kỹ thuật phân chia yêu cầu xử lý trên CSDL dung lượng lớn theo phương thức mà người ta vẫn tiến hành phân phối công việc trong một Trung tâm tiếp nhận cuộc gọi Call Center của Cảnh sát 113. Nếu chỉ có một máy điện thoại trực thì tại một thời điểm Cảnh sát 113 chỉ xử lý được 1 cuộc gọi. Nếu có cuộc gọi thứ hai, máy sẽ báo bận. Khi có nhiều vụ việc xảy ra dồn dập, Trung tâm 113 với một máy sẽ không đáp ứng được yêu cầu. Để khắc phục, người ta dùng Call Center, một tổ hợp các máy điện thoại được kết nối với nhau thành một tổng đài con, có khả năng tiếp nhận đồng thời nhiều cuộc gọi và phân phối điều chuyển công việc lẫn nhau một cách linh hoạt. Với trung tâm xử lý cuộc gọi như vậy, Cảnh sát 113 cùng lúc có thể xử lý song song nhiều công việc và hiệu quả hệ thống bởi vậy được đo bằng số cuộc gọi đồng thời được tiếp nhận, xử lý. Để chuyên môn hóa, người ta còn dùng kỹ thuật phân nhóm để xử lý. Mỗi nhóm chỉ chuyên trách xử lý một lớp yêu cầu. Việc điều phối trong Nhóm và giữa các nhóm cũng được đảm bảo một cách linh hoạt tương tự như giữa các máy.

Để xây dựng giải pháp đối sánh song song cho cụm máy tính ta tổ chức hệ thống cụm máy tính theo các chức năng như sau:

***Máy chủ tiếp nhận yêu cầu và tìm kiếm theo thuộc tính cơ bản, phân chia danh sách thành các gói nhỏ và phân phối nhiệm vụ:***

Máy chủ làm nhiệm vụ tiếp nhận đồng thời nhiều yêu cầu tìm kiếm từ các máy trạm gửi đến. Một máy chủ sẵn sàng cao, hoàn toàn có khả năng đảm nhận chức năng tiếp nhận, phân gói và phân phối yêu cầu một cách hiệu quả. Nhiệm vụ của máy chủ này là tìm kiếm yêu cầu theo các thuộc tính ảnh cơ bản thường được thể hiện dưới dạng một câu truy vấn SQL. Kết quả là máy chủ đưa ra một danh sách các chỉ bản thỏa mãn yêu cầu truy vấn, sẽ được gọi là danh sách tìm kiếm theo nhóm.

Trên cơ sở danh sách kết quả tìm kiếm theo nhóm, máy chủ tiến hành phân chia danh sách kết quả tìm kiếm thành nhiều gói, với số lượng đồng đều trong mỗi gói để giao cho mỗi nút hay nhóm nút xử lý song song tiến hành xử lý theo nguyên tắc cân bằng năng lực: Nhóm/nút xử lý nhanh nhận được nhiều, Nhóm/nút xử lý chậm nhận được ít. Cân bằng nhiệm vụ theo năng lực là sự phân phối yêu cầu xử lý giữa các nút xử lý sao cho không xảy ra hiện tượng chờ đợi, tránh tình trạng có một số nút thì không làm hết công suất, còn một số nút khác thì quá tải. Trường hợp lý tưởng là tất cả các nút nhất loạt tham gia đối sánh và nhất loạt kết thúc. Độ chênh thời gian của cả hệ thống chỉ sai khác nhau một khoảng thời gian bằng thời gian 1 nút xử lý 1 gói.

***Các nút xử lý song song nhận nhiệm vụ và tiến hành đối sánh:***

Mỗi nút này có thể là một máy trạm PC thông thường (không cần bàn phím hay màn hình) hay để tiết kiệm không gian và tăng hiệu năng xử lý có thể chọn một hay một số giàn máy chủ phiên mỏng (*bladeservers*), được cài đặt phần mềm đối sánh theo ĐTCT để làm nhiệm vụ xử lý các yêu cầu do máy chủ tìm kiếm điều phối. Các nút thành viên được cân bằng nhiệm vụ theo cách mỗi thành viên tự báo trạng thái thể hiện mức độ sẵn sàng nhận việc, bao gồm:

- Sẵn sàng: Chờ nhận nhiệm vụ xử lý, nút xử lý chưa nhận việc hoặc sau khi hoàn thành được tự động chuyển sang trạng thái này để chờ nhận công việc mới.
- Bận: Đang xử lý, xử lý xong chuyển sang trạng thái sẵn sàng.
- Lỗi: Đang gặp sự cố (lỗi kỹ thuật), gặp sự cố này hệ thống hủy việc, giao gói việc mà nút lỗi vừa nhận cho nút khác sẵn sàng.
- Dừng (ngắt do cố ý): Không giao nhiệm vụ cho nút này.

Để phân phối việc, máy chủ tìm kiếm tiến hành điếm danh để biết những nút nào tham gia xử lý công việc và tùy theo trạng thái để tiến hành giao việc hay hủy việc giao cho nút khác theo từng gói nhỏ công việc. Như vậy, việc phân phối sẽ chiều theo năng lực, nếu nút nào xử lý nhanh hơn sẽ được làm việc nhiều hơn, nút nào xử lý chậm hơn sẽ được phân công ít hơn. Hình 4.1 minh họa màn hình giám sát trạng thái các nút xử lý và theo dõi kết quả tìm kiếm với dòng trên cùng là mã số yêu cầu cần tìm kiếm và số bản ghi cần đối sánh theo ĐTCT (144750), cột thứ nhất

là mã số nút (*ComputerId*), sau đó là thời gian (Tg) bắt đầu và khối lượng bản ghi xử lý trên mỗi nút, cuối cùng là cột trạng thái các nút (*Status*).

ComputerID	Tg	GroupID	ResultID	Status	Tablename	RequestID	ErrorID	BaseType1	BaseType2	BaseType3
		144/50		Start	YCHI 40/anhao3	7	111101111	5	7	
9	812	5000		ready...						
11	812	10000		ready...						
3	812	15000		ready...						
7	809	20000		ready...						
4	809	25000		ready...						
10	809	30000		ready...						

**Hình 4.1: Màn hình điều phối hoạt động trên các node**

Nhờ việc phân gói CSDL được tổ chức một cách "động" theo năng lực tương tự như kiểu phân luồng trên xa lộ, nên hệ thống được đảm bảo khai thác tối đa năng lực các nút tham gia xử lý, cùng phối hợp tìm kiếm yêu cầu và nhanh chóng đưa ra danh sách kết quả cuối cùng.

***Các máy trạm nhận kết quả tìm kiếm từ các nút trả về để làm nhiệm vụ thẩm định:***

Sau khi tìm kiếm các yêu cầu gửi đến từ các máy trạm, kết quả danh sách đầu ra được lưu trên máy chủ, được sắp xếp lại theo thứ tự mã ngôn, mã dạng vân cơ bản, số đếm vân, độ giống của chỉ bản tìm thấy so với chỉ bản truy vấn. Các máy trạm tiếp nhận danh sách kết quả từ máy chủ và tiến hành thẩm định. Trong quá trình thẩm định, máy trạm truy cập đến CSDL ảnh vân tay gốc lưu trên máy chủ đó (hoặc có thể là máy chủ khác) để tải các ảnh chỉ bản gốc thuộc danh sách tìm thấy về máy trạm phục vụ thẩm định.

Tổng thời gian đối sánh song song hóa T một yêu cầu trên hệ thống cụm máy tính như vậy bao gồm thời gian đối sánh theo nhóm ( $t_1$ ), thời gian phân gói, điều phối nhiệm vụ ( $t_2$ ), thời gian đối sánh theo ĐTCT ( $t_3$ ) và thời gian gửi kết quả trở lại các máy trạm yêu cầu để tiến hành thẩm định ( $t_4$ ).

Giải pháp đối sánh đề xuất đã đưa ra phương pháp đánh chỉ số theo các thuộc tính mã ngôn và dạng vân tay cơ bản để rút ngắn thời gian tìm kiếm theo nhóm ( $t_1$ ), đưa ra phương pháp đối sánh theo bộ ĐTCT song song trên các nút, để rút ngắn k lần thời gian đối sánh so với phương pháp đối sánh ĐTCT tuần tự, với k là số nút xử lý song song ( $t_3$  được giảm xuống k lần, tức là còn  $t_3/k$ ). Do phần lớn thời gian tìm kiếm là công đoạn đối sánh theo ĐTCT, các thời gian khác là rất ngắn nên tổng

thời gian tìm kiếm được giảm xuống khoảng  $k$  lần (tỷ lệ thuận với số nút đưa vào xử lý song song). Lưu ý rằng giải pháp đối sánh song song chỉ giải quyết được vấn đề thời gian, không rút ngắn được danh sách tìm kiếm. Tuy nhiên như đã nói ở trên, do lợi thế “lấy tốc độ bù độ tin cậy”, giải pháp đối sánh song song có thể mở rộng danh sách tìm kiếm theo hướng dùng thêm mã phụ để hạn chế sai số  $FAR_N$ .

### **4.3. Giải pháp bảo vệ an ninh an toàn hệ thống**

Hiện nay vấn đề nghiên cứu các giải pháp nhằm đảm bảo an toàn thông tin, bảo mật dữ liệu trong các giao dịch điện tử qua môi trường mạng luôn là vấn đề thời sự được tất cả các quốc gia và các tổ chức quốc tế quan tâm cả về phương diện pháp lý cũng như phương diện kỹ thuật và công nghệ (xem [12,33,56,59]). Nhiều công trình nghiên cứu đã được đưa ra liên quan đến sinh trắc học (*Biometric*) (xem [33,36,66]). Hệ thống an ninh, bảo mật sinh trắc học (*Biometric based Security System*) dựa trên sự nhận biết hoặc thẩm định các đặc trưng về thể chất hay về hành vi con người để nhận dạng, xác thực từng chủ thể (xem [31,33,56,69]). Hướng tiếp cận giải pháp an ninh dựa trên các dấu hiệu sinh trắc học kết hợp với hạ tầng khóa công khai thành BioPKI là một trong các hướng nghiên cứu mới đang được thế giới quan tâm phát triển (xem [36,68,73]). Giải pháp BioPKI trên mạng cho phép bảo mật dựa trên cơ chế đảm bảo cho người sử dụng được ký sinh trắc và được xác thực sinh trắc truy cập bảo mật từ xa tới máy chủ thông qua mạng, đồng thời được phép kiểm soát các tiến trình giao dịch, kiểm soát truy cập đến các tệp tin, biết được ai, cái gì, khi nào, ở đâu, tác động như thế nào với các tệp tin và các giao dịch đó. Trong một thời gian dài, công nghệ này mới chỉ được đề cập trên phương diện lý thuyết, và gần đây nó mới được hiện thực hóa (xem [59,66]).

#### **4.3.1. Giải pháp bảo vệ truy cập mạng dựa trên BioPKI**

##### ***Giới thiệu hệ thống BioPKI***

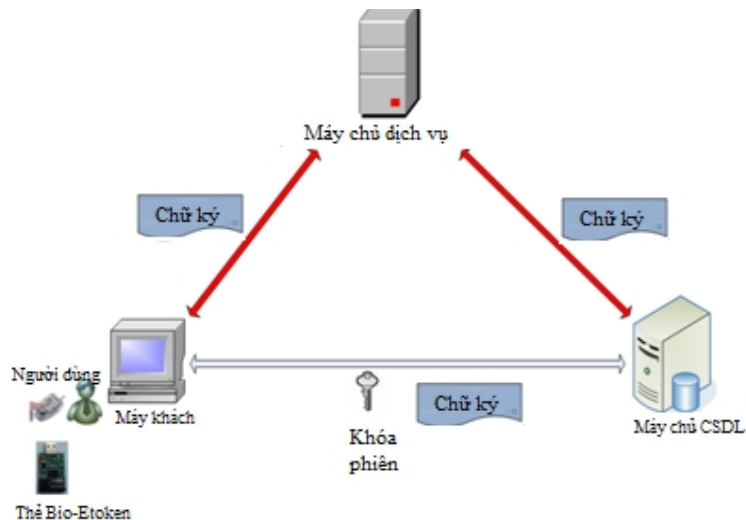
Hệ thống an ninh thông tin BioPKI-KC là sản phẩm của đề tài KC.01.11/06-10 “Nghiên cứu xây dựng hệ thống kiểm soát truy cập mạng và an ninh thông tin dựa trên sinh trắc học sử dụng công nghệ nhúng”. Hệ thống nền BioPKI-KC là một cơ sở hạ tầng khóa công khai tích hợp với hệ xác thực đa sinh trắc chủ thể người dùng

sử dụng công nghệ nhúng (thẻ sinh trắc Bio-Etoken) để bảo vệ khóa cá nhân và các thông tin của người dùng [12].

### ***Giải pháp bảo mật truy cập từ xa trên nền BioPKI-KC***

Trong hạ tầng hệ thống BioPKI-KC, nhóm tác giả [59] đã đề xuất một giải pháp bảo mật truy cập từ xa để bảo vệ các truy xuất vào một CSDL qua mạng. Mô hình của giải pháp này được trình bày trong Hình 4.2, bao gồm:

- Người dùng (*User*): một người dùng có quyền truy cập vào máy chủ CSDL. Người này đồng thời cũng là một user của hệ thống BioPKI, có một chứng thư số hợp lệ và một thẻ nhúng Bio-Etoken đã được cấp phát bởi trung tâm phát hành chứng thư số (CA) từ trước.
- Máy khách (*Client*): Máy khách mà từ đây User sẽ truy cập từ xa vào máy chủ CSDL. Trên máy này sẽ được cài đặt một mô đun client của hệ thống bao gồm các chức năng chính sau: đọc thẻ và xác thực sinh trắc trực tuyến; thiết lập kết nối với thành phần máy chủ dịch vụ (*RA Application Server: RAAS*) và máy chủ CSDL (DB Server); tạo và xác thực chữ ký số; mã hóa và giải mã dữ liệu bằng thuật toán AES...



**Hình 4.2: Giải pháp bảo mật truy cập trên nền hệ thống BioPKI-KC [59]**

- Máy chủ dịch vụ (*RA Application Server: RAAS*): Máy chủ ứng dụng là một thành phần trong trung tâm dịch vụ (*Certificate Service Center*) của hệ thống



BioPKI-KC. Nó cung cấp các chức năng chính sau: thẩm định, xác thực sinh trắc và chứng thư số; sinh, quản lý và phân phối khóa phiên tới các máy khách client và máy chủ CSDL (DB Server).

- Máy chủ CSDL(*DB Server*): Trên máy chủ này cài đặt mô đun server của hệ thống, bao gồm các chức năng sau: đọc thẻ Bio-Etoken và xác thực sinh trắc trực tuyến; kết nối với RAAS; quản lý user và các hoạt động của họ đối với các CSDL được cài đặt trên máy chủ này; tạo log hệ thống; tạo và xác thực chữ ký số; mã hóa và giải mã dữ liệu bằng thuật toán AES...

*Điều kiện tiên quyết:*

Cả người dùng của ứng dụng truy cập từ xa và máy chủ dịch vụ đều được coi là các người dùng của hệ thống BioPKI, như vậy họ đều phải được cấp một chứng thư số và một thẻ nhúng sinh trắc Bio-Etoken từ trước. Hệ thống BioPKI cung cấp các chứng thư, thẻ nhúng sinh trắc và các dịch vụ liên quan như kiểm tra, xác thực chứng thư,... RAAS chịu trách nhiệm sinh và quản lý khóa phiên.

#### **4.3.2. Bài toán bảo vệ hệ thống nhận dạng vân tay C@FRIS qua môi trường mạng**

Giả thiết vấn đề xây dựng và ứng dụng hệ C@FRIS để điện tử hóa hệ thống căn cước công dân (CCCD)/căn cước can phạm (CCCP) dùng mô hình mạng Client-Server truyền thống đã cơ bản giải quyết xong. Hệ C@FRIS đã triển khai cài đặt đầy đủ các tính năng từ khâu thu nhận, đăng ký chỉ bản thông tin đầu vào để xây dựng CSDL đến khâu kiểm tra chất lượng dữ liệu, tổ chức dữ liệu đến khâu tìm kiếm, khai thác hệ thống.

Nhiệm vụ đặt ra là tổ chức thiết kế và cài đặt bổ sung cho hệ C@FRIS các tính năng bảo mật dùng công nghệ BioPKI. Để cài đặt các tính năng bảo mật, cần phải xem xét toàn diện tất cả các khâu của hệ thống trên cơ sở một chính sách bảo vệ nhất quán, luận án không có tham vọng trình bày hết toàn bộ giải pháp bảo vệ mà chỉ một số kết quả cài đặt cho những công đoạn quan trọng nhất. Trên mô hình truyền thống của một hệ thống căn cước, có hai tiến trình chính hoạt động: tiến trình xây dựng và tiến trình khai thác.

Đối với tiến trình xây dựng, tức là đăng ký từ đầu hay đăng ký bổ sung đối tượng mới vào CSDL, hệ thống sau khi nhập dữ liệu đầu vào, cần kiểm tra đảm bảo chất lượng dữ liệu, sau đó tiến hành tìm kiếm đối tượng đăng ký mới để kiểm tra đối tượng đã được cấp số căn cước hay chưa, nếu đã được cấp thì giải quyết cấp lại căn cước với số căn cước cũ và đồng thời cập nhật mới số liệu, nếu chưa được cấp thì giải quyết cấp số căn cước mới.

Đối với tiến trình khai thác, hệ thống tiếp nhận yêu cầu tìm kiếm từ xa trên mạng để xác minh căn cước. Có hai dạng yêu cầu cơ bản: Dạng thứ nhất là tìm kiếm chứng minh nhân dân (CMND) theo các trường dữ liệu cơ bản như: số căn cước, họ và tên, năm sinh, tên bố, tên mẹ, rồi thẩm định (1:1) theo vân tay 2 ngón trỏ; Dạng thứ hai là truy nguyên danh tính đối tượng (1:N) chỉ theo chỉ bản 10 ngón (TP/TP). Các yêu cầu khai thác đều được diễn đạt dưới dạng các câu hỏi truy vấn (SQL) có sử dụng các hàm đối sánh vân tay theo bộ điểm ĐTCT.

#### **4.3.3. Một số yêu cầu bảo vệ đối với hệ nhận dạng vân tay tự động**

Để triển khai các ứng dụng trên, hệ thống “hậu trường” cần đáp ứng được hai yêu cầu: Vừa xử lý nhanh chóng, đảm bảo yêu cầu nghiệp vụ hành chính vừa phải đảm bảo an ninh an toàn cho hệ thống. Việc xây dựng giải pháp đảm bảo an ninh an toàn cho hệ thống cần tập trung ngăn ngừa các phương thức tấn công điển hình trên mạng sau đây:

- Kiểu tấn công làm đình trệ hoặc ngừng hẳn dịch vụ (*Denial of Service*): Ngăn hoặc đình lại không cho người sử dụng hợp pháp truy cập được vào hệ thống.
- Kiểu tấn công thay thế (*Circumvention*): Giả danh người sử dụng hợp pháp để truy cập bất hợp pháp vào hệ thống.
- Kiểu tấn công chối bỏ (*Repudiation*): Phủ nhận, chối bỏ trách nhiệm sau khi đã thực hiện một hành vi nào đó.
- Kiểu tấn công lây nhiễm hoặc lấy trộm (*Contamination hay covert acquisition*): Sao chép lại mật khẩu, làm giả vân tay, khuôn mặt,... để đăng nhập hệ thống.
- Kiểu tấn công thông đồng với người sử dụng hợp pháp (*Collusion*).
- Kiểu tấn công cưỡng bức.

Tất cả các phương thức tấn công nói trên đều có thể xảy ra mọi lúc mọi nơi trong quá trình hoạt động của hệ thống, từ khâu thu nhận vân tay đầu vào, trao đổi dữ liệu đến các quá trình xử lý trích chọn ĐTCT, đối sánh, lưu vào CSDL và thông báo kết quả đầu ra.

Đối với khâu thu nhận, các phương thức tấn công điển hình thường là kiểu phá hoại, làm ngưng dịch vụ (chẳng hạn đập phá scanner), dùng vân tay giả mạo, lưu sẵn vân tay trong bộ nhớ scanner, trong các chip,... Đối với các kênh truyền tin, thường có các kiểu tấn công núp lấy dữ liệu để dùng lại (*replay*). Đối với các khâu trích chọn ĐTCThay đối sánh, có thể bị các chương trình kiểu Trojan Horse thay thế, làm thay đổi kết quả.

Để đối phó với các kiểu tấn công dùng Trojan Horse, ta kết hợp dùng kỹ thuật mật mã hóa để bảo vệ tính toàn vẹn của dữ liệu và dùng kỹ thuật chữ ký số để xác thực nguồn gốc dữ liệu, chống chối bỏ trách nhiệm. Để đối phó với kiểu tấn công lấy cắp đặc trưng sinh trắc trên đường truyền (*replay*), ta kết hợp dùng kỹ thuật mật mã và kỹ thuật kiểu “đố-đáp” (*challenge-response*) hay “đóng dấu thời gian” để xác thực.

Việc ứng dụng công nghệBioPKI để cài đặt các tính năng bảo vệ hệ C@FRIS, cần đáp ứng một số yêu cầu cơ bản sau:

- Thực hiện việc kiểm soát thẩm quyền truy cập dùng vân tay để đảm bảo đúng danh tính chủ thể, xác thực mật mã hai chiều cho mỗi phiên làm việc để đảm bảo sự toàn vẹn dữ liệu, dùng chữ ký số và chữ ký số sinh trắc để đảm bảo nguồn gốc xuất xứ, ngăn ngừa trường hợp chối bỏ trách nhiệm. Việc mật mã hóa dữ liệu không chỉ trong quá trình vận chuyển, truyền trên mạng mà còn trong các khâu xử lý, khai thác và vận hành hệ thống nhằm bảo mật chặt chẽ CSDL tránh bị lợi dụng, xâm nhập trái phép, kể cả khi bị sao chép hay bị lọt ra ngoài.
- Hệ thống phải có khả năng tự động lập nhật ký hệ thống, kiểm soát các tiến trình giao dịch, kiểm soát truy cập đến các tệp tin, biết được ai, cái gì, khi

nào, ở đâu, tác động như thế nào với các tệp tin và các giao dịch đó, đảm bảo dễ dàng truy cứu trách nhiệm khi cần.

#### **4.4. Đề xuất giải pháp bảo vệ hệ thống nhận dạng vân tay C@FRIS**

##### **4.4.1. Bảo vệ phân hệ “Nhập chuyển đổi số hóa chỉ bản”**

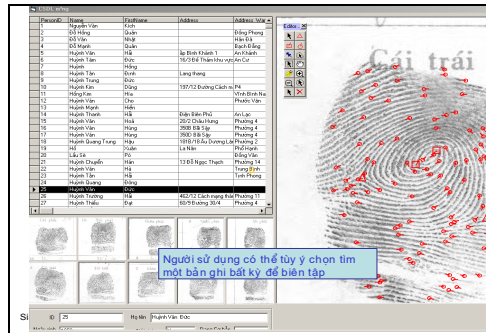
Phân hệ phần mềm nhập chuyển đổi số hóa chỉ bản (C@FRIS Scan) của hệ C@FRIS được cài đặt trên các máy trạm Client của mạng LAN được kết nối với máy chủ CSDL. Người sử dụng được đăng ký và cấp thẩm quyền với vai trò nhân viên nhập chuyển đổi thông tin số hóa có các quyền sau:

- Được kết nối với máy chủ CSDL, khởi tạo bảng CSDL, điều khiển máy quét scanner nhập chuyển đổi số hóa chỉ bản và lưu kết quả vào CSDL.
- Được tiến hành nhập thông tin thuộc tính về nhân thân đối tượng (số hồ sơ, họ tên, giới tính, năm sinh, nơi đăng ký HKTT,... của đối tượng). Tiếp đó là nhập các thông tin về vân tay như: Dạng cơ bản, số đếm vân,... và tự động cắt ảnh chỉ bản thành mười ngón riêng rẽ.
- Được dùng bộ duyệt CSDL (*BROWSER*) để truy cập, chỉnh sửa, bổ sung các bản ghi dữ liệu thuộc tính.
- Được nhập CSDL hợp chuẩn ANSI/NIST từ các hệ AFIS khác.
- Được xuất CSDL C@FRIS sang dạng chuẩn ANSI/NIST để nhập vào hệ AFIS khác.

*Tính năng bảo vệ được cài đặt bổ sung:*

- Kiểm soát đăng nhập phần mềm C@FRIS Scan;
- Kiểm soát truy cập máy chủ CSDL;
- Người sử dụng với vai trò là nhân viên chuyển đổi thông tin số hóa cần ký vào các trường, (hay để rút gọn có thể ký chung cho tổ hợp một số trường dữ liệu) do mình tạo ra, cụ thể là các trường: số căn cước đối tượng, họ tên, giới tính, năm sinh, địa phương, mã số ngón, dạng cơ bản, số đếm vân, ảnh vân tay đối tượng;





Hình 4.4: Biên tập đặc điểm chi tiết và ký sinh trặc vào bản ghi trước khi lưu vào CSDL

#### 4.4.3. Bảo vệ phân hệ “Tổ chức cơ sở dữ liệu”

Phân hệ này đảm bảo chức năng quản lý và tổ chức CSDL cài đặt trên máy chủ của một mạng LAN tổ chức theo mô hình Client-Server để phục vụ khai thác.

Người sử dụng được cấp thẩm quyền tổ chức CSDL được phép truy cập CSDL trên máy chủ, được phân loại, tổ chức thành nhiều bảng dẫn xuất, được đánh chỉ số phân cấp nhằm tăng tốc truy xuất dữ liệu. Các kết quả tổ chức CSDL đều được ký sinh trặc bởi quản trị viên và bởi hệ thống.

Trên các máy trạm, người được cấp thẩm quyền tổ chức CSDL được phép truy vấn CSDL bằng câu lệnh SQL, xử lý kết nối các bảng, đánh chỉ số, lập báo cáo, thống kê, kiểm kê hệ thống.

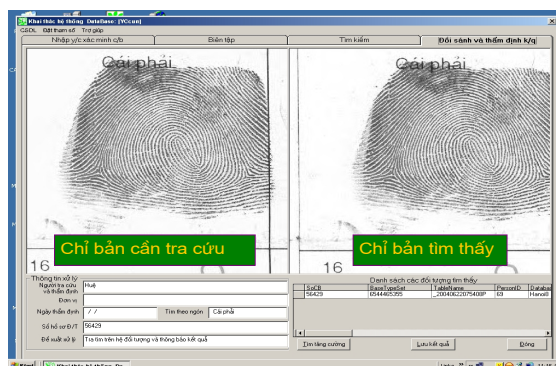
Tất cả các giao tác của quản trị viên được hệ thống tự động lưu vào CSDL nhật ký hệ thống.

#### 4.4.4. Bảo vệ phân hệ “Tra tìm, đối sánh”

Người được cấp thẩm quyền tra tìm, đối sánh để xác minh căn cước, được phép đăng nhập phần mềm, truy cập đến máy chủ CSDL để tiến hành hai dạng yêu cầu chủ yếu sau:

- Tìm kiếm theo chỉ bản vân tay 10 ngón.
- Tìm kiếm theo số căn cước, họ tên, ngày tháng năm sinh, sau đó thẩm định theo vân tay 2 ngón trở.

Người sử dụng với vai trò tìm kiếm, đối sánh được yêu cầu ký xác nhận lập yêu cầu tìm kiếm, xác nhận việc nhận kết quả tìm kiếm. Hệ thống ký xác nhận đã tiếp nhận yêu cầu, đã tìm kiếm và cung cấp kết quả (xem Hình 4.5).



**Hình 4.5: Kết quả tra tìm, đối sánh TP-TP được ký sinh trức, lưu vào CSDL kết quả tìm kiếm**

#### **4.5. Kết quả thực nghiệm**

##### ***Giải pháp tổ chức dữ liệu phục vụ phương pháp truy nguyên vân tay tự động:***

Phương pháp truy nguyên vân tay song song hoá đã được đưa vào ứng dụng để xây dựng bộ đối sánh cao tốc cho hệ nhận dạng vân tay tự động C@FRIS và đã được đưa vào ứng dụng thử nghiệm trên thực tế tại Công an Hà Nội đạt được hiệu quả cao. Sau đây là một số số liệu cơ bản của hệ thống thử nghiệm và kết quả đạt được:

##### ***Cấu hình thử nghiệm cơ bản***

Một mạng máy tính gồm 01 máy chủ, 06 máy trạm PC cấu hình tốt, 01 máy quét ảnh và các thiết bị mạng Gigabit được lắp đặt để phục vụ thử nghiệm. Cụ thể:

- 01 máy chủ CSDL được cài đặt phần mềm C@FRIS DB làm nhiệm vụ tiếp nhận và tìm kiếm yêu cầu, quản lý cơ sở dữ liệu 2.500.000 chỉ bản 1 ngón, được đánh chỉ số theo dạng mã số ngón và vân cơ bản để phục vụ tìm kiếm dấu vân tay hiện trường.
- 01 máy PC được cài đặt phân hệ phần mềm tìm kiếm, đối sánh C@FRIS S&M làm nhiệm vụ quét nhập chỉ bản yêu cầu, xử lý phân loại, trích chọn ĐTCT, biên tập và gửi yêu cầu tìm kiếm đến máy chủ tìm kiếm. Trên máy trạm này được cài phần mềm đối sánh theo giải pháp tuần tự để phục vụ thử nghiệm.
- 05 máy PC cấu hình tốt, được cài đặt phần mềm C@FRIS S&M Node để làm các nút xử lý song song.

*Thử nghiệm truy nguyên vân tay hiện trường dùng phương pháp đối sánh tuần tự theo bộ đặc điểm chi tiết*

- Chọn ngẫu nhiên 50 yêu cầu trong số 300 yêu cầu tìm kiếm dấu vân tay thu thập được trên địa bàn TP Hà Nội từ năm 2004 đến năm 2009.
- Tiến hành tìm kiếm lần lượt từng yêu cầu với giả định chưa biết trước mã ngón.
- Lập bảng thống kê và đánh giá tốc độ, thời gian tìm kiếm cho từng trường hợp trong số 50 dấu vân tay (chưa biết rõ mã ngón, biết mã dạng cơ bản, có dùng mã phụ).

Sau khi dùng 1 máy trạm Pentium IV, 2,4 GHz, 1GB RAM nối mạng Gigabit, được cài đặt phần mềm tìm kiếm, đối sánh tuần tự để tiến hành tìm kiếm lần lượt từng dấu vân tay trong số 50 dấu vân tay trên CSDL 2,5 triệu bản ghi, thời gian tìm kiếm trung bình tính trên 50 yêu cầu là 47 phút/yêu cầu. Thời gian tính từ khi phát lệnh tìm kiếm đến khi nhận kết quả trả về từ máy chủ, không tính thời gian xử lý mã hóa, trích chọn ĐTCT, lập yêu cầu và thời gian thẩm định.

*Thử nghiệm truy nguyên vân tay hiện trường dùng phương pháp đối sánh song song hóa theo bộ đặc điểm chi tiết*

- Chọn 300 yêu cầu tìm kiếm dấu vân tay thu thập được trên địa bàn TP Hà Nội từ năm 2004 đến năm 2009.
- Tiến hành tìm kiếm lần lượt từng yêu cầu với giả định chưa biết trước mã ngón.
- Lập bảng thống kê và đánh giá tốc độ, thời gian tìm kiếm cho từng trường hợp trong số 300 dấu vân tay (chưa biết rõ mã ngón, biết mã dạng cơ bản, có dùng mã phụ).

Quá trình thử nghiệm dùng cấu hình 5 máy trạm Pentium IV, 2,4 GHz, 1GB RAM nối mạng Gigabit để làm các nút xử lý tìm kiếm song song trên CSDL 2,5 triệu bản ghi. Thời gian tìm kiếm trung bình đạt được tính trên 300 yêu cầu là: 9,5 phút/yêu cầu. Như vậy, đúng như tính toán lý thuyết thời gian tìm kiếm trên thực tế đã giảm tỷ lệ thuận với số nút tham gia tìm kiếm.

Tuy nhiên, khi dùng 5 bladeservers Pentium IV, 2,4 GHz, 1GB RAM (cấu hình như nhau) nối mạng cáp quang 4Gbit tốc độ tìm kiếm giảm xuống trung bình



chỉ 5 phút/yêu cầu. Khi bổ sung thêm 05 nút bladeservers nữa, nâng số nút đối sánh song song lên 10 nút, thời gian tìm kiếm rút xuống chỉ còn 2,5 phút /yêu cầu.

Kết quả tìm kiếm thực tế 300 yêu cầu nói trên đã kết luận chính xác đối tượng để lại dấu vân tay của 38 vụ trộm cướp, giúp Công an Hà Nội kết luận 02 trường hợp đối tượng là “người nhà” và 36 trường hợp đối tượng tìm thấy chính là thủ phạm gây ra các vụ trộm cướp nói trên.

***Giải pháp bảo vệ an ninh an toàn hệ thống:***

Sơ đồ mô hình thử nghiệm hoạt động của hệ C@FRIS có tích hợp giải pháp BioPKI được trình bày trong Hình 4.6.



**Hình 4.6: Mô hình thử nghiệm hệ C@FRIS có tích hợp giải pháp BioPKI**

**Bảng 4.1: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của Phân hệ “Tạo lập CSDL”**

STT	Các tính năng	Hệ C@FRIS cũ	Hệ C@FRIS mới
1	Kiểm soát thẩm quyền tạo lập CSDL, quét nhập, mã hoá và cập nhật chỉ bản 10 ngón	Dùng password	Dùng chữ ký số vân tay
2	Kiểm soát thẩm quyền tạo lập CSDL	Không có	Ký lên file CSDL
3	Lưu bảo mật ảnh và kiểm tra tính hợp lệ (thứ tự) ảnh các ngón tay trên chỉ bản.	Không có	Ký lên ảnh nén
4	Nhập thông tin thuộc tính, dạng cơ bản,...	Không có	Ký lên các trường tương ứng
5	Duyệt browser CSDL	Không có	Xác thực thẩm quyền sử dụng xác thực chứng thư số
6	Biên tập CSDL	Không có	Xác thực thẩm quyền sử dụng xác thực chứng thư số
7	Nhập/ xuất CSDL hợp chuẩn ANSI/NIST của các hệ AFIS khác	Không có	Xác thực thẩm quyền sử dụng xác thực chứng thư số

Đánh giá các kết quả thử nghiệm hệ thống C@FRIS trước và sau khi tích hợp giải pháp bảo mật BioPKI.

Bảng 4.1 minh họa các tính năng đạt được của phân hệ tạo lập CSDL, Bảng 4.2 minh họa các tính năng đạt được của phân hệ mã hoá ĐTCT tự động, Bảng 4.3 minh họa các tính năng đạt được của phân hệ biên tập và kiểm tra chất lượng sau khi tích hợp giải pháp bảo mật BioPKI.

**Bảng 4.2: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Mã hoá ĐTCT tự động”**

STT	Các tính năng	Hệ C@FRIS cũ	Hệ C@FRIS mới
1	Kiểm soát thẩm quyền mã hoá dữ liệu	Dùng password	Dùng chữ ký số vân tay
2	Theo dõi và quy trách nhiệm	Không có	Có
3	Lưu bảo mật bộ đặc điểm chi tiết	Không có	Có
4	Bảo mật đường truyền trong quá trình truyền/ nhận dữ liệu	Không có	Có

**Bảng 4.3: Bảng đánh giá các tính năng đạt được của phân hệ “Biên tập và kiểm tra chất lượng”**

STT	Các tính năng	Hệ C@FRIS cũ	Hệ C@FRIS mới
1	Kiểm soát thẩm quyền biên tập	Không có	Có
2	Theo dõi và quy trách nhiệm	Không có	Có
3	Bảo mật bộ đặc điểm chi tiết	Không có	Có
4	Bảo đảm tính toàn vẹn dữ liệu	Không có	Có
5	Bảo mật đường truyền trong quá trình truyền/ nhận dữ liệu	Không có	Có
6	Phục hồi bản ghi bị xoá gần nhất	Không có	Có

Bảng 4.4 minh họa các tính năng đạt được của phân hệ tổ chức CSDL sau khi tích hợp giải pháp bảo mật.

**Bảng 4.4: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Tổ chức cơ sở dữ liệu”**

STT	Các tính năng	Hệ C@FRIS cũ	Hệ C@FRIS mới
1	Kiểm soát thẩm quyền	Không có	Dùng chữ ký số vân tay
2	Bảo mật các bảng dẫn xuất	Không có	Có
3	Bảo đảm tính toàn vẹn dữ liệu	Không có	Có
4	Bảo mật đường truyền trong quá trình truyền/ nhận dữ liệu	Không có	Có

Bảng 4.5 minh họa các tính năng đạt được của phân hệ tra tìm đối sánh sau khi tích hợp giải pháp bảo mật.

**Bảng 4.5: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Tra tìm, đối sánh”**

STT	Các tính năng	Hệ C@FRIS cũ	Hệ C@FRIS mới
1	Kiểm soát thẩm quyền đăng nhập, tạo lập CSDL quản lý YC	Không có	Dùng vân tay và chữ ký số
2	Lưu bảo mật ảnh và kiểm tra tính hợp lệ (thứ tự) ảnh các ngón tay trên chi bản vào CSDL YC.	Không có	Ký lên ảnh nén
3	Nhập và bảo mật đường truyền trong quá trình truyền/nhận dữ liệu	Không có	Có
4	Nhập thông tin thuộc tính, dạng cơ bản,... cho CSDL YC	Không có	Ký lên các trường tương ứng.
5	Duyệt browser CSDL YC	Không có	Xác thực thẩm quyền sử dụng xác thực chứng thư số
6	Biên tập CSDL YC	Không có	Xác thực thẩm quyền sử dụng xác thực chứng thư số
7	Gửi YC tìm kiếm	Không có	Ký vào bản ghi YC
8	Nhận và phân phối YC tìm kiếm	Không có	Có

Bảng 4.6 so sánh các tính năng đạt được của phân hệ tiếp nhận, xử lý và trả lời các yêu cầu trước và sau khi tích hợp giải pháp bảo mật.

**Bảng 4.6: Bảng đánh giá so sánh các tính năng đạt được của phân hệ “Tiếp nhận, xử lý và trả lời các yêu cầu”**

STT	Các tính năng	Hệ C@FRIS cũ	Hệ C@FRIS mới
1	Xác thực YC	Không có	Xác thực chữ ký số
2	Bảo mật kết quả	Không có	Ký lên ảnh nén
3	Bảo mật đường truyền trong quá trình truyền dữ liệu	Không có	Có

#### 4.6. Kết luận

Trên đây đề xuất phương pháp truy nguyên song song hóa bao gồm phương pháp tổ chức CSDL dung lượng lớn theo hướng ứng dụng các kỹ thuật đánh chỉ số cơ sở dữ liệu ảnh dựa trên các thuộc tính vân tay cơ bản và phương pháp phân phối động các gói dữ liệu đối sánh cho các nút xử lý trên cụm máy tính. Ưu điểm căn

bản của giải pháp đề xuất không chỉ giúp kiểm soát, rút ngắn thời gian tìm kiếm phù hợp với qui mô hệ thống mà còn cung cấp một giải pháp rất linh hoạt, rất dễ thay đổi cấu hình, dễ nâng cấp, mở rộng cho phù hợp với nhiều qui mô ứng dụng thực tế.

Giải pháp đề xuất đã có đủ cơ sở lý luận và thực tiễn để giải quyết bài toán ứng dụng qui mô lớn hơn là điện tử hóa tàng thư chứng minh nhân dân với qui mô từ hàng triệu đến hàng chục triệu chỉ bản. Phương thức tổ chức dữ liệu này cũng thuận tiện cho ứng dụng kỹ thuật truy nguyên vân tay hiện trường được đề xuất trong Chương 5.

Ngoài ra, chương này còn đề xuất tích hợp giải pháp bảo mật kiểm soát truy cập CSDL qua mạng dựa trên hệ thống BioPKI để triển khai thử nghiệm các tính năng đề xuất cho hệ C@FRIS [13,15,19]. Kết quả thử nghiệm đạt được nhiều triển vọng ứng dụng trong thực tế. Nhờ ứng dụng các tính năng của giải pháp BioPKI, việc bảo vệ hệ C@FRIS sẽ được đảm bảo chặt chẽ mà vẫn giữ được tính dễ dùng trong các khâu xây dựng, khai thác và vận hành hệ thống trên thực tế.

## Chương 5. KIẾN TRÚC ĐA TẦNG CHO TRUY NGUYÊN VÂN TAY HIỆN TRƯỜNG

Một trong những thách thức đối với các hệ truy nguyên vân tay tự động AFIS là độ chính xác và thời gian truy nguyên các vân tay hiện trường vốn có chất lượng thấp, chỉ xuất hiện từng phần và có độ biến dạng cao.

Hiện nay việc truy nguyên dấu vết vân tay trên Hệ C@FRIS cũng như nhiều hệ AFIS nhập ngoại vào Việt Nam đang dùng phổ biến phương pháp truy nguyên đơn giản kiểu "*brute force*". Các yêu cầu tra cứu đang dùng mã chính, mã phụ (Mã ngón, DCB) ngang hàng, chưa sắp theo thứ tự. Chưa tổ chức tra cứu song song. Danh sách kết quả chỉ được sắp xếp theo độ giống s (kết quả của thuật toán đối sánh). Vì vậy, khi truy nguyên vân tay hiện trường, đối tượng tìm thấy (chiếm khoảng 7-10% số vụ) thường không xuất hiện ở phần đầu danh sách kết quả tra cứu. Còn lại 90-93% số vụ, thẩm định viên phải thẩm định từ đầu đến cuối danh sách kết quả chỉ để đưa ra câu trả lời "không tìm thấy".

Vì vậy, việc phát triển chiến lược đối sánh tổng hợp, đa thể thức theo hướng tổ hợp nhiều phương pháp khác nhau (xem [22,47,85]) theo kiến trúc phân tầng và song song hóa nhằm tăng tốc và rút ngắn danh sách kết quả tra cứu là hết sức cần thiết.

Chương này của luận án đề xuất một giải pháp tổ hợp nhiều thuật toán để nâng cao hiệu quả phương pháp truy nguyên vân tay hiện trường dựa trên việc ứng dụng kỹ thuật tổ hợp đa tầng. Với tầng thứ nhất vân tay yêu cầu được phân loại và sàng lọc theo mã ngón và ở tầng thứ hai được tiếp tục sàng lọc theo dạng cơ bản, số đếm vân. Tầng thứ 3 tiếp tục sàng lọc theo ĐTCT chuẩn dùng thuật toán đối sánh affine nhằm xác định tập các cặp điểm ĐTCT tương ứng giữa vân tay. Tại tầng này phần lớn vân tay được quyết định chắc chắn là trùng khớp hoặc không trùng khớp. Chỉ còn lại một số ít có độ giống thuộc khoảng nhập nhằng  $[S_{\min}, S_{\max}]$  được chuyển sang tầng tiếp theo. Tầng thứ 4 thẩm định lại tập các cặp tương ứng nhờ khai thác thêm cấu trúc cục bộ và dùng thuật toán P-TPS để nắn chỉnh biến dạng nhằm tìm thêm các cặp điểm tương ứng cho các cặp vân tay chính danh. Để tổ hợp đa tầng,

trong mỗi phân tầng luận án đều đề xuất giải pháp thích hợp để tăng độ chính xác của các thuật toán và tổ chức sắp xếp các tầng từ tổng thể đến chi tiết, từ thô đến mịn nhằm tối thiểu hóa đồng thời cả hai loại lỗi: *lỗi sai* (chấp nhận sai) và *lỗi sót* (loại bỏ sai). Nếu như hai tầng trên đều tập trung khai thác các kỹ thuật "mờ hóa" để tăng độ chính xác thuật toán phân loại giúp truy nguyên nhanh chóng đến nhóm đối tượng cần tìm thì hai tầng còn lại tập trung vào các kỹ thuật sàng lọc phân tầng theo độ giống của ĐTCT nhằm rút ngắn danh sách kết quả tìm kiếm.

### **5.1. Hệ truy nguyên vân tay hiện trường và một số vấn đề liên quan**

Mục này giới thiệu tóm tắt về hệ truy nguyên vân tay hiện trường và một số nội dung cần dùng về sau như đoán nhận ngón, phân loại vân tay.

#### **5.1.1. Hệ nhận dạng vân tay hiện trường**

##### ***Truy nguyên vân tay trong công tác điều tra***

Ngày nay, trong giao dịch dân sự, người ta thường cần đến các hệ xác thực vân tay. Trong các hệ này, cần kiểm tra thẩm định 1:1 xem vân tay của người đăng nhập và vân tay lưu trữ (tra cứu theo id) có độ giống vượt ngưỡng cho trước hay không? Ngưỡng độ giống cho trước được xác định dựa trên sự chấp nhận các xác suất quyết định sai FAR và FRR. Các hệ này dễ xây dựng hơn, vì một mặt do chất lượng ảnh vân tay sống nhìn chung tốt hơn và mặt khác do CSDL đối tượng đăng ký thường không lớn nên không cần tới cơ chế sàng lọc trước khi thẩm định.

Khó nhất trong nhận dạng vân tay là truy nguyên vân tay hiện trường. Bài toán truy nguyên vân tay hiện trường trong công tác điều tra có thể tóm tắt như sau: Cho một ảnh vân tay điều tra  $I_q$ , cần tìm trong hồ sơ vân tay lưu trữ (CSDL) vân tay các đối tượng đăng ký một ảnh vân tay đồng nhất với vân tay này. Ảnh vân tay hiện trường  $I_q$  thường có chất lượng xấu và không đầy đủ như vân tay lăn hoặc vân tay ấn. CSDL lưu trữ thường rất lớn, có thể chứa hàng triệu đến hàng trăm triệu ảnh vân tay được lưu trữ tập trung hay phân tán, có thể có nhiều ảnh lấy từ một ngón của một đối tượng do đối tượng đó có thể có nhiều tiền sự ở nhiều nơi nhưng thẩm định viên thường dừng lại khi xác định được đối tượng đồng nhất đầu tiên (*first match*),

vì khi biết số căn cước cụ thể của đối tượng thì có thể in luôn thông tin nhân thân cùng danh mục tiền án tiền sự của đối tượng đó.

Quá trình nhận dạng vân tay hiện trường gồm hai giai đoạn: giai đoạn truy nguyên và giai đoạn thẩm định truy nguyên [56]. Giai đoạn truy nguyên là tìm các ảnh vân tay trong CSDL lưu trữ những ảnh nhiều khả năng đồng nhất với  $I_q$ , ngày nay giai đoạn này được thực hiện tự động bởi một AFIS. Thẩm định truy nguyên là xác định trong số các ảnh tìm được của giai đoạn truy nguyên có ảnh nào đồng nhất thực sự với ảnh điều tra  $I_q$  hay không. Giai đoạn này thường được các chuyên gia vân tay thực hiện để đảm bảo độ chính xác gần như 100%.

### ***Hệ truy nguyên vân tay hiện trường***

Nếu như các hệ nhận dạng và truy nguyên vân tay tự động thực hiện khá tốt đối với vân tay lặn/ấn thì việc truy nguyên vân tay hiện trường vẫn là một thách thức và thu hút nhiều nỗ lực nghiên cứu [41,43,44]. Do nhu cầu cao trong bảo mật công nghệ điều tra nên các hệ có chất lượng tốt thường có giải pháp bảo mật công nghệ và sở hữu trí tuệ chặt chẽ. Với các tài liệu đã được công bố công khai, chúng ta chỉ có thể xây dựng được các hệ mang tính thử nghiệm, đáp ứng được các yêu cầu tối thiểu. Vì vậy, việc nghiên cứu xây dựng sản phẩm và cải tiến và nâng cấp từng bước bằng các giải pháp riêng để làm chủ công nghệ là rất cần thiết và có tính cơ bản, lâu dài.

Một AFIS cho điều tra vân tay hiện trường tốt phải đảm bảo các yêu cầu:

1. Độ chính xác cao, tức là ít lỗi từ chối sai (lỗi sót) và chấp nhận sai (lỗi sai).
2. Thời gian tìm kiếm nhanh, cung cấp kết quả kịp thời.
3. Có giải pháp trợ giúp cho giai đoạn thẩm định của chuyên gia.

Để giải quyết bài toán truy nguyên vân tay hiện trường đáp ứng các yêu cầu nêu trên, luận án đề xuất sử dụng các giải pháp sau:

1. Kết hợp kiểu phân cấp bậc thang, sử dụng các phương pháp thô nhưng thời gian quyết định nhanh, chẳng hạn các phương pháp phân lớp (xem [48,55,76,82]) trước khi sử dụng phương pháp đối sánh chính xác hơn.

2. Tổ chức dữ liệu lưu trữ hợp lý, có tính trước và lưu trữ sẵn các đặc điểm phù hợp với các thuật toán đối sánh được cài đặt để rút ngắn thời gian tìm kiếm (xem [25,61]).
3. Song song hóa quá trình truy nguyên.
4. Đoán nhận lớp vân tay có nhiều khả năng cùng mã ngón với ảnh điều tra để xử lý trước, các ngón ít khả năng hơn xử lý sau. Giải pháp này cũng áp dụng cho phân lớp dạng cơ bản và số đếm vân, không loại bỏ các lớp có khả năng thấp mà sắp xếp chúng theo thứ tự ưu tiên giảm dần.

### 5.1.2. Đoán nhận ngón tay dựa trên cơ sở dấu vân tay

Để sớm đưa kết quả ra thẩm định, N.N. Kỳ [2,3] đề xuất sử dụng phương pháp thống kê theo quy tắc quyết định xác suất hậu nghiệm cực đại Bayes để đoán nhận ngón dựa vào dấu vân tay hiện trường. Phương pháp này sử dụng số liệu thống kê về các thuộc tính chủ yếu như: dạng vân cơ bản, số đếm vân trái, số đếm vân giữa, số đếm vân phải từ 300 dấu vân tay hiện trường và 10.000 chỉ bản vân tay rút ngẫu nhiên từ tàng thư căn cước can phạm nhưng theo đúng tần suất xuất hiện ngón trên hiện trường.

Kết quả thực nghiệm (Bảng 5.1) cho thấy hầu như chắc chắn phương pháp này đoán đúng năm ngón sinh ra ảnh vân đó. Bảng đoán nhận bộ thứ tự 5 ngón và 10 ngón đầy đủ trên cơ sở dạng vân cơ bản và số đếm vân được trình bày chi tiết trong [2].

**Bảng 5.1: Bảng độ tin cậy đoán nhận ngón dựa theo dạng cơ bản và số đếm vân.**

Kết quả đoán nhận	Độ chính xác (%)	Khả năng bỏ sót (%)
Chỉ ra 1 ngón cụ thể	40	60
Chỉ ra thứ tự 2 ngón	62	38
Chỉ ra thứ tự 3 ngón	82	18
Chỉ ra thứ tự 4 ngón	94	6
Chỉ ra thứ tự 5 ngón	97	3
Chỉ ra thứ tự 6 ngón	98	2
...	...	...
Chỉ ra thứ tự 10 ngón	100	0

Áp dụng phương pháp đoán nhận này, quá trình truy nguyên vân tay không cần phải tiến hành tuần tự trên tất cả các ngón mà có thể thực hiện theo thứ tự ngón



đoán nhận được. Do danh sách kết quả tìm kiếm được sắp theo độ giống từ cao đến thấp trên tất cả các tầng nên trung bình rút ngắn được đáng kể thời gian tìm kiếm so với trường hợp không sắp xếp theo ngón.

### 5.1.3. Phân loại vân tay

Để giúp cho truy nguyên nhanh, các ảnh vân tay thường được phân lớp dựa trên các đặc điểm đường vân và các điểm kỳ dị của chúng [14,48,55,76,82]. Chẳng hạn, theo FBI, ảnh vân tay được phân loại thành 3 loại cơ bản: vân cung, vân quai và vân xoáy, trong đó mỗi loại lại chia thành các lớp chi tiết hơn như: vân cung thường, vân cung trời, vân quai trái, vân quai phải, vân quai búp trái, vân quai búp phải, vân xoáy thường, vân xoáy đôi quai, vân xoáy bất thường. Nếu bổ sung thêm lớp không xác định do sẹo, hay do vân tay bị hủy hoại, bị cụt (vĩnh viễn) nữa thì sẽ có tất cả là 10 lớp.

Do việc phân tích các dòng vân và xác định tự động các điểm dị thường khó khăn nên phân loại vân tay là bài toán có bản chất nhập nhằng. Ngay cả con người phân loại cũng không đưa ra kết quả nhất quán. Để nâng cao hiệu quả phân lớp, Karu(xem [48,56]), đã đề xuất phương pháp phân loại vân tay dùng tiêu chuẩn chỉ số Poincaré để phát hiện điểm dị thường và dựa vào sự phân bố vị trí kết hợp với số lượng của chúng để phân loại vân tay thành các lớp cơ bản (*basic ridge pattern*). Phương pháp này khá hiệu quả, giúp phát hiện nhanh điểm dị thường từ đó đưa ra kết quả phân loại chính xác nhưng có hạn chế là đòi hỏi vân tay khá đầy đủ, và hướng các dòng vân tại các vùng tâm điểm, tam phân điểm phải xác định chính xác. Đây là đòi hỏi quá cao vì vân tay in thường bị thiếu các tam phân điểm vốn nằm xa vùng vân trung tâm, đặc biệt là đối với vân tay hiện trường và các loại vân tay thu nhận trực tiếp trên các thiết bị thu nhận vân tay sống, dùng kỹ thuật ấn tay chứ không phải lăn tay.

Khắc phục nhược điểm trên, Wang [76] đã đề xuất thuật toán phân loại vân tay chỉ dựa vào tâm điểm và trường hướng xung quanh tâm điểm. Phương pháp này rất hiệu quả và đạt độ chính xác lên đến 91,5 %. Tuy nhiên, nó đòi hỏi phải xác định chính

xác tâm điểm. Trong các trường hợp vùng vân trung tâm kém chất lượng, thuật toán không phân biệt được vân cung trời, vân xoáy, vân quai có số đếm vân bé.

Để nâng cao độ tin cậy khi phân lớp, luận án đề xuất giải pháp kết hợp của cả hai phương pháp trên, dựa trên việc phân loại vân tay theo sở trường của từng phương pháp, nghĩa là nếu bản đồ chất lượng chứa vùng trung tâm thì dùng phương pháp của Wang [76], còn nếu không thì kiểm tra các tam phân điểm như của Karu [48]. Ngoài ra, nếu vùng trung tâm cũng như các tam phân điểm không xuất hiện rõ ràng thì ta đề xuất dùng thêm đường vân cơ bản để khẳng định cho trường hợp nhập nhằng. Phương pháp này khắc phục được các trường hợp vân tay xuất hiện không đầy đủ và rõ nét tại các vùng vân chứa các điểm dị thường và sẽ được nói rõ hơn trong phần sau.

## **5.2. Đề xuất kiến trúc kiểu bậc thang cho hệ truy nguyên vân tay hiện trường**

### **5.2.1. Các thành phần và sơ đồ bậc thang của hệ truy nguyên vân tay hiện trường**

#### ***Lược đồ thực hiện:***

*Quá trình truy nguyên trong hệ được thực hiện tuần tự theo các bước sau:*

*Bước 1:* Sau khi thu nhận, ảnh vân tay điều tra  $I_q$  được tiền xử lý, phân loại, tính số đếm vân và đoán nhận ngón để quyết định thứ tự tìm kiếm theo ngón trong CSDL lưu trữ (đã được tổ chức dữ liệu dùng phương pháp đã trình bày tại Chương 4). Do vân tay hiện trường có chất lượng xấu, khó trích chọn tự động nên cần thiết phải có sự can thiệp của con người để chỉnh sửa, biên tập tương tác với sự trợ giúp của một bộ biên tập đồ họa. Theo thứ tự mã ngón này, các mã biểu diễn của ảnh vân tay (*template*)  $I_t$  (được phân loại và trích chọn tự động từ trước ở giai đoạn xây dựng CSDL) sẽ được lọc ra từ CSDL.

*Bước 2:* Ở bước này, dạng vân cơ bản của  $I_q$  được xác định tự động hoặc tương tác, nếu có nhập nhằng thì các dạng cơ bản nhập nhằng này đều được dùng để tìm kiếm đối sánh theo thứ tự ưu tiên của độ tin cậy (sẽ nói ở dưới). Sau đó  $I_q$  được đưa vào mô đun trích chọn ĐTCT (TCĐTCT).

Cũng trong bước này, mã biểu diễn của  $I_q$  gồm các điểm ĐTCT và cấu trúc vân-rãnh liên thuộc (như đã trình bày chi tiết ở Chương 3) cùng bản đồ chất lượng

được xác định bằng biện pháp biên tập tương tác để đưa sang mô đun Đối sánh. Nếu chất lượng  $I_q$  quá xấu, không thể trích chọn đủ ĐTCT thì dừng (thông báo  $I_q$  không đủ điều kiện kết luận trên danh sách kết quả).

*Bước 3:* Trong mô đun DS-affine, các mã biểu diễn của vân tay  $I_t$  ở CSDL lần lượt được lấy ra để đối sánh với mã biểu diễn của  $I_q$  để tính tập ĐTCT tương ứng ban đầu và độ giống  $S(I_t, I_q)$ .

4.1. Nếu  $S(I_t, I_q) < S_{\min}$  thì bỏ qua, không bổ sung vào danh sách đầu ra, quá trình đọc tiếp mẫu  $I_t$  tiếp theo.

4.2. Nếu  $S(I_t, I_q) > S_{\max}$  thì bổ sung  $I_t$  vào danh sách kết quả. Trường hợp còn lại, tức là  $S(I_t, I_q) \in [S_{\min}, S_{\max}]$  thì trao tập các cặp ĐTCT tương ứng cùng các cặp vân rãnh liên thuộc của chúng cho bước đối sánh P-TPS.

*Bước 4:* Đối sánh P-TPS nhưng chỉ nắn chỉnh một lần để tiết kiệm thời gian xử lý và tính lại độ giống tổng thể như đã trình bày chi tiết ở Chương 3. Quá trình tiếp tục cho đến khi tất cả các mã biểu diễn trong CSDL có mã ngón phù hợp với mã ngón của  $I_q$  được đối sánh hết.

*Bước 5:* Dựa trên danh sách kết quả sắp xếp theo thứ tự ưu tiên: mã ngón, mã dạng vân cơ bản, số đếm vân, độ giống, giám định viên tiến hành giám định và thông báo kết quả.

Ở danh sách đầu ra, các cặp ĐTCT tương ứng, các cặp vân rãnh liên thuộc được hiển thị lần lượt từng cặp ảnh 2 ảnh vân tay  $I_q, I_t$  được sắp xếp lại theo thứ tự độ giống giảm dần trong từng phân nhóm (theo mã ngón, dạng vân cơ bản, số đếm vân) trên màn hình máy tính, được trang bị nhiều công cụ tiện lợi để hỗ trợ chuyên gia tiến hành thẩm định kết quả.

Quá trình truy nguyên mô tả ở trên, hai bước đầu cũng có thể xử lý song song nhưng lượng thời gian tiết kiệm được sẽ không đáng kể. Vì vậy, luận án chỉ đề xuất ứng dụng giải pháp đối sánh song song hóa cho bước 3 và bước 4. Đây là 2 bước đối sánh vân tay theo ĐTCT tiêu phí nhiều thời gian nhất, nên được triển khai song song hóa trên cụm máy tính với nhiều nút xử lý song song như đã trình bày chi tiết ở Chương 4.

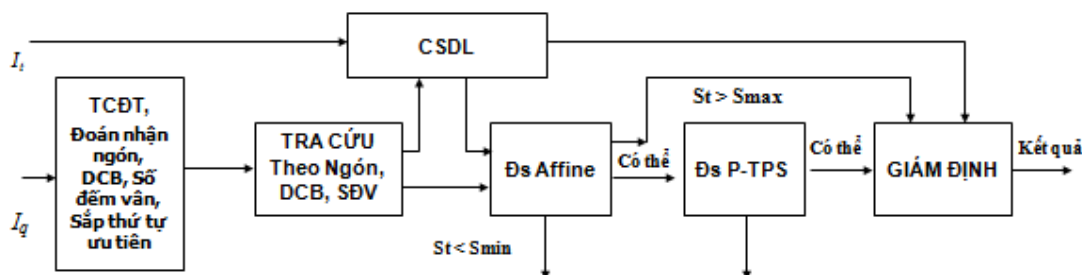
### Mô đun phân lớp

Để phân loại vân tay đăng ký trên CSDL hệ thống thành 10 lớp, ngoài việc kết hợp hai phương pháp (xem [14,48,56,61,76,82]) như đã nói ở mục 5.1.3, để nâng cao hơn nữa độ chính xác phân lớp, các thông tin bổ sung về đường vân cơ bản được sử dụng cho các trường hợp có nhập nhằng, cụ thể là:

- Đối với vân cung thường, không có đường vân quai và xoáy;
- Đối với dạng vân quai, phải có ít nhất hai đường vân hình quai lồng nhau;
- Đối với dạng vân hình xoáy thường, phải có ít nhất hai đường vân xoáy lồng nhau;
- Đối với dạng vân hình xoáy đôi quai, phải có hai đường vân hình chữ S;
- Đối với dạng vân xoáy bất thường phải có hai dạng vân khác nhau cùng xuất hiện;
- Đối với dạng vân không thỏa mãn các điều kiện trên, xếp vào cung trôi.

Việc xác định các đường vân cơ bản rất dễ thực hiện trên cơ sở phân tích độ cong của đường vân đã được biểu diễn dưới dạng vectơ. Bằng cách bổ sung thêm yêu cầu này, độ chính xác phân lớp được nâng lên đến 95% nhưng vẫn chưa đủ để ứng dụng kỹ thuật tổ hợp đa tầng. Để nâng cao hơn nữa độ tin cậy, đối với trường hợp còn nhập nhằng, kỹ thuật nhận dạng mờ loại II được áp dụng bổ sung. Cụ thể là kết quả phân loại không đưa ra 1 lớp cụ thể mà là một thứ tự các lớp, tức là đưa ra tập con các lớp sắp xếp giảm dần theo độ tin cậy. Bằng cách này, tầng phân loại luôn chuyển kết quả cho tầng sau với độ tin cậy kiểm soát được, từ 95 đến 99,99 %.

Với các mô đun và quá trình truy nguyên như trên, sơ đồ của kiến trúc kiểu bậc thang được mô tả trong Hình 5.1, trong đó các bước 3, 4 và mô đun tương ứng được thực hiện đối sánh song song.



Hình 5.1: Sơ đồ kiến trúc hệ truy nguyên vân tay hiện trường.

### 5.2.2. Tổ chức dữ liệu

Để tìm kiếm và đối sánh nhanh, dữ liệu lưu trữ cần được xử lý và tổ chức hợp lý. Công đoạn thứ nhất là tổ chức đánh chỉ số phân cấp theo các thuộc tính mã ngôn và dạng văn cơ bản để rút ngắn thời gian tra tìm theo nhóm phân loại và công đoạn thứ hai là phân chia danh sách cần đối sánh theo ĐTCT thành các gói nhỏ, phân công nhiệm vụ tính toán cho các nút đối sánh song song, giám sát quá trình tính toán và đưa ra danh sách kết quả cuối cùng để rút ngắn thời gian đối sánh theo ĐTCT. Các công đoạn tổ chức dữ liệu, đã trình bày chi tiết trong mục 4.2 của Chương 4.

### 5.2.3. Giải pháp đối sánh song song

Để xây dựng giải pháp đối sánh song song cho cụm máy tính ta tổ chức hệ thống cụm máy tính theo các chức năng như đã mô tả chi tiết trong Chương 4:

- 1) Máy chủ tiếp nhận yêu cầu và tìm kiếm theo thuộc tính cơ bản, phân chia danh sách thành các gói nhỏ và phân phối nhiệm vụ cho các nút xử lý song song để đối sánh theo ĐTCT.
- 2) Các nút xử lý song song nhận nhiệm vụ và tiến hành đối sánh, trả lại kết quả dưới dạng danh sách kết quả tìm kiếm cho máy chủ.
- 3) Các máy trạm nhận kết quả tìm kiếm từ máy chủ trả về để làm nhiệm vụ thẩm định.

Tổng thời gian đối sánh song song hóa T một yêu cầu trên hệ thống cụm máy tính như vậy bao gồm thời gian đối sánh theo nhóm ( $t_1$ ), thời gian phân gói, điều phối nhiệm vụ ( $t_2$ ), thời gian đối sánh theo ĐTCT ( $t_3$ ) và thời gian gửi kết quả trả lại các máy trạm yêu cầu để tiến hành thẩm định ( $t_4$ ).

Giải pháp đối sánh đề xuất đã đưa ra phương pháp đánh chỉ số theo các thuộc tính mã ngôn và dạng văn tay cơ bản để rút ngắn thời gian tìm kiếm theo nhóm ( $t_1$ ), đưa ra phương pháp đối sánh theo bộ đặc điểm chi tiết song song trên các nút. Với việc song song hóa dữ liệu trong đối sánh văn tay, để rút ngắn k lần thời gian đối sánh so với phương pháp đối sánh đặc điểm chi tiết tuần tự cần k số nút xử lý song song ( $t_3$  được giảm xuống k lần, tức là còn  $t_3/k$ ). Do phần lớn thời gian tìm kiếm là công đoạn đối sánh theo đặc điểm chi tiết, các thời gian khác là rất ngắn nên tổng thời gian tìm kiếm được giảm xuống khoảng k lần (tỷ lệ thuận với số nút đưa vào xử lý song song). Lưu ý rằng giải pháp đối sánh song song chỉ giải quyết được vấn

đề thời gian, không có giá trị rút ngắn được danh sách tìm kiếm. Tuy nhiên như đã nói ở trên, do lợi thế “lấy tốc độ bù độ tin cậy”, giải pháp đối sánh song song sau khi mở rộng danh sách tìm kiếm theo hướng dùng thêm các mã phụ để hạn chế sai số  $FAR_N$  đã đề xuất sắp các mã chính, mã phụ theo thứ tự ưu tiên nên kết quả là danh sách đầu ra trên thực tế được rút ngắn đáng kể so với trường hợp sử dụng ngang hàng, không sắp xếp.

Vấn đề còn tồn tại cần tiếp tục giải quyết là đưa ra giải pháp rút ngắn thời gian thẩm định ( $t_4$ ) ảnh vân tay điều tra với ảnh vân tay trên CSDL. Đối với các yêu cầu tìm kiếm xác minh căn cước theo chỉ bản 10 ngón, danh sách kết quả tìm kiếm thường rất ngắn (thường chỉ 1-2 chỉ bản trên CSDL 250.000) nên công thẩm định phải bỏ ra rất ít. Riêng đối với yêu cầu tìm kiếm dấu vân tay hiện trường (chỉ bản 1 ngón), danh sách kết quả tìm kiếm dài, thường tỷ lệ thuận với kích cỡ CSDL, nên công thẩm định rất lớn (thường lên đến 200 trên CSDL 2.500.000 chỉ bản 1 ngón). Để rút ngắn thời gian, công sức thẩm định, ta đã đưa vào ứng dụng kết quả chẩn đoán ngón và sử dụng cấu trúc thông tin cục bộ mới là cặp vân rãnh liên thuộc, có tính đặc trưng cao và ổn định, danh sách kết quả tìm kiếm đã rút ngắn đáng kể như phần thực nghiệm dưới đây sẽ chỉ ra cụ thể.

Vấn đề này tuy nhiên đang mở ra một nhiệm vụ nghiên cứu tiếp, đó là xây dựng các thuật toán thẩm định theo nhiều đặc điểm bổ sung mới và tổ chức song song hóa quá trình này trên cụm máy tính để phục vụ hiệu quả hơn công tác điều tra khám phá các vụ án lớn, phức tạp.

Với kiến trúc tổ hợp đa tầng được đề xuất, phương pháp truy nguyên vân tay hiện trường sẽ được cải tiến đáng kể so với phương pháp truy nguyên truyền thống dùng thuật toán đối sánh 1:1 của Verifinger, thể hiện trên các tính năng mới dưới đây:

- Được bổ sung thêm tính năng "chẩn đoán ngón" làm cơ sở để sắp xếp danh sách tra cứu đầu ra theo thứ tự ưu tiên của mã ngón.
- Được bổ sung thêm tính năng phân loại vân tay tự động theo dạng cơ bản, số đếm vân dùng giải pháp kết hợp nhiều thuật toán kiểu đa thể thức để kích

nâng hiệu quả. Sau đó tăng cường thêm kỹ thuật sắp thứ tự danh sách kết quả tra cứu theo thứ tự ưu tiên dạng cơ bản (DCB), số đếm vân (SDV).

- Công đoạn Trích chọn ĐTCT được bổ sung thêm bản đồ chất lượng hỗ trợ đánh giá độ tin cậy các điểm dị thường (tâm điểm và tam phân điểm) và các ĐTCT.
- Bộ biên tập trước đây chỉ có tính năng biên tập ĐTCT nay được tăng cường thêm các tính năng: Chẩn đoán ngón, Định vị điểm dị thường, nhận dạng DCB tự động và tương tác. Được bổ sung thêm công cụ biên tập mới: Vẽ cặp vân rãnh liên thuộc; Vẽ bản đồ hướng, bản đồ chất lượng.
- Về độ chính xác, nhờ kiến trúc tổ hợp đa tầng, tầng trước được chọn tin cậy cao hơn tầng sau (nhờ khai thác các nguồn thông tin từ cơ bản đến chi tiết, từ thô đến mịn). Đảm bảo quá trình sàng lọc hiệu quả, danh sách kết quả tra cứu được giảm thiểu dần từng bước, qua từng tầng nấc: Từ tầng "Nhận dạng ngón" đến "Nhận dạng DCB + Số đếm vân", sau đó đến tầng "Đối sánh theo ĐTCT" đến cuối cùng là tầng "Thẩm định" mà vẫn tối thiểu hóa được đồng thời cả hai loại sai số FRR và FAR.
- Về tốc độ truy nguyên, nhờ đánh chỉ số phân cấp nên công đoạn đối sánh theo Mã ngón, DCB, số đếm vân rất nhanh chóng. Công đoạn chậm nhất là tìm kiếm đối sánh theo ĐTCT thì được song song hóa giảm xuống số lần tỷ lệ thuận với số nút tham gia xử lý nên tổng thời gian kiểm soát được (dưới 1 phút, cho dù CSDL tăng lên hàng chục triệu chỉ bản!).
- Về hiệu quả tổng hợp: Toàn phương pháp truy nguyên hoạt động nhanh chóng, chính xác, tiết kiệm công sức thẩm định đến tối đa.

Phần thực nghiệm dưới đây sẽ phân nào phản ánh được kỳ vọng nêu trên.

### **5.3. Kết quả thực nghiệm**

Mục tiêu thực nghiệm là đánh giá hiệu quả cải tiến quá trình truy nguyên vân tay hiện trường của phương pháp mới đề xuất với phương pháp truyền thống triển khai trên hệ C@FRIS phiên bản 2009 [10,11], ở đó đã dùng các kỹ thuật đánh chỉ mục CSDL theo mã ngón, theo dạng cơ bản (phân loại thủ công) nhưng chưa dùng kỹ thuật sắp thứ tự ưu tiên, tổ hợp đa tầng và đối sánh song song hóa.

Hệ thống phần cứng để tổ chức thực nghiệm bao gồm 1 máy chủ cấu hình trung bình, 5 máy PC kết nối mạng LAN hình sao. CSDL dùng để thử nghiệm là CSDL căn cước can phạm thực tế của hệ C@FRIS ứng dụng tại Công an Hà Nội gồm 2.500.000 chỉ bản vân tay 1 ngón, độ phân giải chuẩn 500 dpi.

Nhiệm vụ thực nghiệm cụ thể là tiến hành truy nguyên thử nghiệm 64 vân tay hiện trường với nhiều mức độ chất lượng khác nhau có chỉ bản đăng ký trên CSDL. Kết quả thực nghiệm được mô tả một phần trong Bảng 5.2.

**Bảng 5.2: Kết quả tìm kiếm thực nghiệm 64 dấu vân tay trên CSDL 2.500.000 chỉ bản 1 ngón.**

STT	File ảnh dấu vân tay	Chất lượng dấu vân tay (thể hiện qua số lượng ĐTCT)	Thời gian đối sánh của thuật toán đề xuất trên 1 PC (phút)	Thời gian đối sánh trên cụm 5 PC (phút)	Độ dài danh sách kết quả tìm kiếm thực tế		
					Trường hợp chưa cải tiến	Trường hợp cải tiến	Tỷ lệ % rút ngắn
1	C528_CP.bmp	27	24.5	5	46	16	65.217
2	C528_TP.bmp	25	21	4	311	108	65.273
3	C528_TT.bmp	14	22	4.5	1	1	0
4	C41134_CP.bmp	21	23	6	69	24	65.217
5	C41134_CT.bmp	29	25	5	18	6	66.667
6	C41134_TP.bmp	18	20	6	560	196	65
7	C41134_TT.bmp	20	22.5	5	743	260	65.006
8	C111543_CP.bmp	27	30	6.5	377	131	65.251
9	C123848_TP.bmp	24	25	4	6081	2103	65.416
...	.....	.....	.....	....	.....	.....	.....
64	C167497_CT.bmp	33	30	7	38	13	65.789
	<b>Giá trị trung bình</b>	<b>23.5</b>	<b>21.5</b>	<b>4.3</b>	<b>374.76</b>	<b>126.6</b>	<b>66.218</b>

*Ghi chú:* Độ dài danh sách kết quả tìm kiếm được sắp xếp theo thứ tự ưu tiên ngón, thứ tự mã dạng cơ bản, thứ tự số đếm vân và trong nhóm thì theo độ giống giảm dần được tính bằng số lượng bản ghi trên danh sách kết quả tìm kiếm. Trên



thực tế, khi thẩm định các dấu vân tay thì chỉ khoảng 7-10% dấu vân tay có khả năng tìm thấy trong CSDL thì độ dài danh sách thực tế bằng số bản ghi nằm trên chỉ bản tìm thấy. Còn 90-93% không tìm thấy là trường hợp dấu vân tay hoặc của người nhà hoặc của các đối tượng chưa có tiền án tiền sự thì thẩm định viên thường mất thêm thời gian để thẩm định tới hết danh sách. Vì vậy, việc sắp xếp thứ tự danh sách kết quả và xác định thực nghiệm độ dài danh sách thực tế tối đa cho cả các trường hợp tìm thấy và không tìm thấy có một ý nghĩa đặc biệt quan trọng.

Kết quả thực nghiệm trong Bảng 5.2 đã chứng tỏ giải pháp đề xuất đạt hiệu quả cao, đảm bảo vừa giảm được đồng thời cả hai loại sai số FAR và FRR, vừa tăng nhanh tốc độ tìm kiếm, vừa rút ngắn đến 66,2 % thời gian thẩm định tính trung bình trên 1 yêu cầu so với trường hợp không ứng dụng giải pháp tổ hợp đa tầng.

#### **5.4. Kết luận**

Chương này đề xuất một giải pháp cải tiến phương pháp truy nguyên và thẩm định vân tay hiện trường dùng kỹ thuật tổ hợp đa tầng và đưa vào ứng dụng thực nghiệm. Với tầng thứ nhất, nhờ xây dựng thành công thuật toán phân loại vân tay cho các trường hợp có xuất hiện đầy đủ và không đầy đủ tâm điểm, tam phân điểm trên cơ sở kết hợp sử dụng hai thuật toán phân loại khác nhau, sử dụng thêm đường vân cơ bản và đề xuất kỹ thuật dùng thêm mã phụ theo thứ tự ưu tiên nên kết quả phân loại đạt được độ chính xác khá cao. Sau đó nhờ bổ sung thêm thuật toán đoán nhận mã ngón, số đếm vân vừa đảm bảo độ tin cậy cao khi chuyển giao kết quả cho tầng tiếp theo, vừa có giá trị rút ngắn đáng kể danh sách kết quả tìm kiếm thực tế. Với tầng thứ hai, kỹ thuật trích chọn đặc trưng theo hướng vectơ hóa cả ảnh vân và ảnh rãnh kết hợp với việc dùng quan hệ đối ngẫu để sàng lọc và đánh giá các điểm ĐTCT cũng là một đóng góp mới. Với tầng 3, phương pháp đối sánh ĐTCT truyền thống được cải tiến theo hướng dùng thêm cấu trúc cục bộ để sàng lọc tập các cặp điểm ĐTCT tương ứng kết hợp với kỹ thuật nắn chỉnh TPS từng phần để khử méo phi tuyến. Hai dạng cấu trúc cục bộ mới được đề xuất là dạng điểm cục bộ và cặp vân rãnh liên thuộc vừa ít nhạy cảm với biến dạng và nhiễu vừa giúp khai

thác thêm các đặc trưng có giá trị phân biệt phục vụ cho khâu thẩm định dấu vân tay hiện trường, nhất là các dấu vân tay có ít ĐTCT.

Kết quả thực nghiệm cũng cho thấy giải pháp đề xuất đã rút ngắn đáng kể thời gian và công sức tìm kiếm, vì vậy có thể đưa vào cài đặt để nâng cấp tiếp mô đun tìm kiếm vân tay hiện trường của hệ C@FRIS, đáp ứng kịp thời yêu cầu truy nguyên vân tay hiện trường mở rộng trên CSDL dung lượng lớn.

## KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP

Luận án đã khảo sát, đề xuất cả về lý thuyết, thuật toán và thực nghiệm một số giải pháp mới, có giá trị nâng cao rõ rệt hiệu quả hệ thống nhận dạng và truy nguyên vân tay tự động C@FRIS. Cụ thể là giải pháp phân đoạn tách vùng ảnh vân tay từ mẫu chỉ bản 10 ngón theo hai giai đoạn thô và mịn, giải pháp tổ chức và bảo vệ truy cập dữ liệu, giải pháp trích chọn đặc điểm toàn cục và cục bộ, giải pháp đối sánh vân tay dùng kỹ thuật nắn chỉnh biến dạng và sàng lọc các cặp ĐTCT theo cấu trúc cục bộ, dùng cho các trường hợp đối sánh vân tay ẩn và vân tay lăn bị méo phi tuyến. Để xử lý vân tay hiện trường vốn có chất lượng thấp, chỉ xuất hiện từng phần và có độ biến dạng cao, luận án cũng đề xuất một kiến trúc đa tầng kiểu bậc thang để kết hợp nhiều giải pháp khác nhau trong quá trình truy nguyên và thẩm định. Các giải pháp đề xuất đã được phân tích, đánh giá, kiểm thử thực nghiệm, so sánh với các hướng tiếp cận khác và đã khẳng định được một mức độ cải tiến, nâng cấp tính năng nổi trội.

Sau đây là các kết quả chính đạt được:

1) Đã khảo sát và đề xuất thuật toán tự động phân đoạn thô ảnh chỉ bản 10 ngón theo nghĩa đã xử lý cắt thành công 10 ảnh vân tay lăn và 10 ảnh vân tay ẩn từ mẫu chỉ bản vân tay 10 ngón. Điểm sáng tạo ở đây là dùng thuật toán đối sánh vừa để kiểm tra thứ tự ngón vừa để kiểm thử, hoàn thiện kết quả phân đoạn. Đã xây dựng thành công thuật toán phân đoạn mịn ảnh vân tay từng ngón, cho ra kết quả dưới dạng các bản đồ hướng vân và bản đồ chất lượng. Kết quả phân đoạn thu được đạt độ chính xác cao, loại bỏ được các bụi bẩn, vùng nền thừa và tiết kiệm trung bình 1/3 dung lượng bộ nhớ so với kích thước ảnh phân đoạn theo phương pháp cắt thô chia đều 10 ô cho 10 ngón. Giải pháp phân đoạn đề xuất đã được đưa vào sử dụng để nâng cấp hiệu năng mô đun nhập chuyên đổi thông tin số hóa, nâng công suất nhập liệu từ 500 chỉ bản/ngày lên chế độ xử lý tự động theo lô đạt công suất 5000 chỉ bản/ngày.

2) Đề xuất mô hình nắn chỉnh TPS từng phần để cải tiến mô đun đối sánh vân tay lăn/ẩn theo hướng khử các hiện tượng méo phi tuyến. Kết quả thực nghiệm

trên các CSDL FVC 2004 (DB1, DB3) cho thấy so với phương pháp TPS toàn phần, phương pháp mới nâng cao rõ rệt hiệu quả đối sánh nhờ áp dụng kỹ thuật nắn chỉnh từng phần, kết hợp dùng cấu trúc vân rãnh liên thuộc, thể hiện qua kết quả cải tiến các phân bố chính danh (*Genuine*) và giả danh (*Imposter*), từ đó giảm thiểu được đồng thời cả hai loại sai số FAR và FRR với thời gian và bộ nhớ sử dụng được giảm xuống đáng kể.

3) Đã khảo sát kỹ và đề xuất xây dựng phương pháp đánh chỉ số dữ liệu ảnh vân tay theo thuộc tính ảnh do hệ thống tự động trích chọn cho cả hai chế độ tìm kiếm TP/TP và LT/TP. Đã đề xuất giải pháp song song hóa quá trình truy nguyên theo từng yêu cầu tra cứu trên CSDL theo hướng phân phối động nhiệm vụ theo năng lực (cân bằng tải) cho nhiều nút xử lý song song có nhiều ưu việt hơn phương pháp phân hoạch CSDL trước và cài đặt giải pháp kiểm soát truy cập CSDL qua mạng dùng công nghệ bảo mật BioPKI. Với giải pháp tổ chức CSDL song song hoá, thời gian tìm kiếm trung bình một yêu cầu trên CSDL dung lượng lớn được rút xuống hàng chục lần, xấp xỉ tỷ lệ thuận với số nút đưa vào xử lý song song. Nhờ ứng dụng các tính năng của giải pháp BioPKI, việc bảo mật trên hệ C@FRIS được đảm bảo chặt chẽ mà vẫn giữ được tính dễ dùng trong các khâu xây dựng, khai thác và vận hành hệ thống.

4) Để hoàn thiện phương pháp tìm kiếm vân tay hiện trường, luận án cũng đề xuất một giải pháp dùng kỹ thuật tổ hợp đa tầng, kết hợp kiểu bậc thang nhiều phương pháp khác nhau và đưa vào thử nghiệm thực tế. Kết quả thử nghiệm cho thấy, giải pháp đề xuất đã phát huy được hiệu quả tổng hợp của nhiều phương pháp, cải thiện rõ rệt độ chính xác, tốc độ truy nguyên và công sức thẩm định vân tay hiện trường trên CSDL qui mô lớn.

Các kết quả chính của luận án được công bố trong hai bài báo của tạp chí có uy tín trong nước [17,19], một bài báo gửi tạp chí đã qua vòng phản biện thứ 2, hai báo cáo hội nghị quốc tế và bốn báo cáo tại các hội thảo quốc gia [9,10,15,16].

*Những nội dung mới cần tiếp tục nghiên cứu:*

Bên cạnh các kết quả đạt được, do hạn chế về thời gian và khả năng, vẫn còn nhiều nội dung nghiên cứu phát sinh vẫn chưa được giải quyết. Sau đây là một số vấn đề còn mở cần tiếp tục nghiên cứu:

1) Tiếp tục cải tiến giải pháp phân đoạn thô để tách 10 ảnh vân tay lặn và 10 ảnh vân tay ấn từ mẫu chỉ bản 10 ngón bằng phương pháp tự động xử lý khôi phục các đường kẻ chia ô trên mẫu thẻ chỉ bản 10 ngón để thay thế các giải pháp phân đoạn phức tạp.

2) Tiếp tục hoàn thiện giải pháp phân đoạn mịn để lập bản đồ hướng vân, bản đồ độ cong, bản đồ chất lượng và tính thêm bản đồ bước sóng và khung xương dưới dạng vector hóa của vân tay.

3) Nâng cao độ chính xác thuật toán trích chọn ĐTCT theo hướng tăng cường các kỹ thuật khử lỗi dính nét, đứt nét, dính rãnh, đứt rãnh sau trích chọn và đánh giá độ tin cậy của từng điểm đặc trưng và triển khai thêm thuật toán khái quát hóa (*generalization*) bộ ĐTCT bằng phương pháp học từ nhiều mẫu vân tay do cùng một ngón in ra.

4) Tiếp tục cải tiến thuật toán đối sánh vân tay biến dạng phi tuyến theo hướng nắn chỉnh từng phần dựa trên kỹ thuật chọn tập các cặp điểm không chế tối ưu phân bố đồng đều trên ảnh vân tay dùng thuật toán "tham lam" để tính phủ tối thiểu.

5) Phát triển thuật toán đối sánh vân tay hiện trường không chỉ dùng ĐTCT mà dùng cả bản đồ độ cong, bản đồ tần số và bản đồ khung xương đường vân. Xây dựng các thuật toán thẩm định song song hóa trên cụm máy tính để phục vụ hiệu quả hơn công tác điều tra khám phá các vụ án lớn, phức tạp.

\*\*\*

## **DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. Nguyễn Ngọc Kỳ, **Nguyễn Thị Hương Thủy**, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Ngọc Minh (2009), “Hệ thống phần mềm nhận dạng vân tay tự động dùng để tự động hóa tàng thư căn cước công dân, căn cước can phạm và tìm kiếm dấu vân tay hiện trường phục vụ công tác quản lý hành chính và điều tra tội phạm”, *Kỷ yếu Lễ trao giải thưởng sáng tạo khoa học công nghệ Việt Nam và giải thưởng WIPO* năm 2008, tr. 169-173.
2. Nguyễn Ngọc Kỳ, **Nguyễn Thị Hương Thủy**, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Ngọc Minh (2009), “Sản phẩm phần mềm nhận dạng vân tay tự động C@FRIS 2009- phiên bản mới dành để điện tử hóa tàng thư căn cước công dân qui mô hàng triệu đến hàng chục triệu chỉ bản”, *Kỷ yếu Hội thảo Sáng tạo khoa học công nghệ với sự nghiệp CNHHDH đất nước*, tr. 185-190.
3. **Nguyễn Thị Hương Thủy**, Nguyễn Ngọc Kỳ, Hoàng Xuân Huân, Nguyễn Ngọc Minh (2010), “Nâng cao hiệu quả thuật toán đối sánh vân tay dùng mô hình nắn chỉnh biến dạng địa phương LTM”, *Kỷ yếu hội thảo FAIR: Nghiên cứu cơ bản Ứng dụng công nghệ thông tin*, tr. 215-227.
4. **Nguyễn Thị Hương Thủy**, Nguyễn Ngọc Minh, Nguyễn Ngọc Kỳ (2010), “Thuật toán phân đoạn ảnh chỉ bản vân tay mười ngón”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* Tập 26 (3), tr. 253-266.
5. **Nguyễn Thị Hương Thủy**, Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hoàng Lan (2010), “Xây dựng giải pháp bảo mật BioPKI và ứng dụng để bảo mật hệ thống nhận dạng vân tay”, *Kỷ yếu hội thảo quốc gia: Một số vấn đề chọn lọc của Công nghệ thông tin và Truyền thông*, tr. 333-346.
6. Nguyễn Văn Toàn, **Nguyễn Thị Hương Thủy**, Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hoàng Lan (2011), “Bảo mật truy cập dựa trên BioPKI và ứng dụng để bảo mật hệ nhận dạng vân tay C@FRIS”, *Chuyên san tạp chí Thông tin, Khoa học công nghệ của Bộ Thông tin và Truyền thông* Kỳ 3 Tập V-1 (6(26)), tr. 183-194.

7. **Nguyen Thi Huong Thuy**, Hoang Xuan Huan and Nguyen Ngoc Ky (2013), “An Efficient Method for Fingerprint Matching Based on Local Point Model”, *Proc. of the International Conference on Computing, Management and Telecommunications* (ComManTEL), pp. 334-339.
8. **Nguyen Thi Huong Thuy**, Hoang Xuan Huan, Nguyen Ngoc Ky and Le Minh Khoi (2013), “An Efficient Cascaded System for Latent Fingerprint Recognition”, *In Proceedings of the 10th IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies*(RIVF 2013), pp. 123-126.
9. **Nguyen Thi Huong Thuy**, Hoang Xuan Huan, Nguyen Ngoc Ky and Le Minh Khoi (2013), “An Efficient Multi-Stage System for Latent Fingerprint Recognition”, *Journal of Computer Science and Cybernetics* (revised).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. Nguyễn Ngọc Kỳ (1992), *Biểu diễn và đồng nhất tự động ảnh đường nét*, Luận án PTS khoa học Toán Lý, Hà Nội.
2. Nguyễn Ngọc Kỳ (1995), *Nghiên cứu, thiết kế và cài đặt Hệ biểu diễn và đồng nhất vân tay CAFRIS*, Báo cáo kết quả nghiên cứu đề tài NCKH cấp Bộ và cấp Nhà nước KC-01-08.
3. Nguyễn Ngọc Kỳ (1997), “Phương pháp đoán nhận ngón tay dựa trên dấu vết vân tay“, *Tạp chí Công an Nhân dân* Số (1), tr. 25-27.
4. Nguyễn Ngọc Kỳ (2000), "Phương pháp biểu diễn cấu trúc ký tự theo hướng tiếp cận vec-tơ", *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* Tập 16 (1), tr. 72-79.
5. Nguyễn Ngọc Kỳ (2000), “Dạng điểm và đối sánh dạng điểm“, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* Tập 16 (3), tr. 1-6.
6. Nguyễn Ngọc Kỳ (2001), "Biểu diễn và đối sánh ảnh đường nét – kết quả nghiên cứu phát triển công nghệ, ứng dụng trong lĩnh vực nhận dạng vân tay, chữ viết và nhập dữ liệu đồ họa", *Kỷ yếu hội nghị CNTT CAND*, tr. 227-231.
7. Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Việt Tiệp (2004), “Kết quả nghiên cứu ứng dụng công nghệ nhận dạng vân tay để tự động hóa các hệ thống căn cước”, *Kỷ yếu Hội nghị CNTT CAND*, tr. 187-189.
8. Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Ngọc Minh (2009), “Hệ phần mềm nhận dạng vân tay tự động C@FRIS”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ & Môi trường Công an nhân dân* Số(01), tr. 19-23.
9. Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Ngọc Minh (2009), “Hệ thống phần mềm nhận dạng vân tay tự động dùng để tự động hóa tàng thư căn cước công dân, căn cước can phạm và tìm kiếm dấu vân tay hiện trường phục vụ công tác quản lý hành chính và điều tra tội phạm”, *Kỷ yếu Lễ trao giải thưởng sáng tạo khoa học công nghệ Việt Nam và giải thưởng WIPO* năm 2008, tr. 169-173.
10. Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Ngọc Minh (2009), “Sản phẩm phần mềm nhận dạng vân tay tự động C@FRIS 2009 - phiên bản mới dành để điện tử hóa tàng thư căn cước công dân qui mô hàng triệu đến



hàng chục triệu chỉ bản”, *Kỷ yếu Hội thảo Sáng tạo khoa học công nghệ với sự nghiệp CNHĐH đất nước*, tr. 185-190.

11. Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Thanh Phương, Nguyễn Ngọc Minh (2009), “Hệ phần mềm nhận dạng vân tay tự động C@FRIS 2009”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ & Môi trường Công an nhân dân* Số (04), tr. 12-15.
12. Nguyễn Thị Hoàng Lan và các cộng sự (2010), *Nghiên cứu ứng dụng hệ thống kiểm soát truy cập mạng và an ninh thông tin dựa trên sinh trắc học sử dụng công nghệ nhúng*, Báo cáo đề tài nghiên cứu KH&CN cấp nhà nước KC.01.11/06-10, Cục Thông tin khoa học và công nghệ quốc gia, số đăng ký: 2011-52-402 /KQNC.
13. Nguyễn Thị Hoàng Lan, Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Văn Toàn (2011), “Hệ phần mềm nhận dạng vân tay tự động”, *Tạp chí Công nghệ thông tin và Truyền thông* Kỳ(2), tr. 45-52.
14. Nguyễn Thị Hương Thủy (2008), *Nghiên cứu xây dựng thuật toán phân mảnh chỉ bản mười ngón dựa trên kỹ thuật vector hóa ảnh đường nét và ứng dụng*, Luận văn Thạc sỹ CNTT, Hà Nội.
15. Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hoàng Lan (2010), “Xây dựng giải pháp bảo mật BioPKI và ứng dụng để bảo mật hệ thống nhận dạng vân tay”, *Kỷ yếu hội thảo quốc gia: Một số vấn đề chọn lọc của Công nghệ thông tin và Truyền thông*, tr.333-346.
16. Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Ngọc Kỳ, Hoàng Xuân Huân, Nguyễn Ngọc Minh (2010), “Nâng cao hiệu quả thuật toán đối sánh vân tay dùng mô hình nắn chỉnh biến dạng địa phương LTM”, *Kỷ yếu hội thảo FAIR: Nghiên cứu cơ bản Ứng dụng công nghệ thông tin*, tr.215-227.
17. Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Ngọc Minh, Nguyễn Ngọc Kỳ (2010), “Thuật toán phân đoạn ảnh chỉ bản vân tay mười ngón”, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* Tập 26 (3), tr.253-266.
18. Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Ngọc Minh, Nguyễn Ngọc Kỳ (2010), *Phương pháp đối sánh vân tay 1:N song song hóa và ứng dụng để xây dựng bộ đối sánh vân tay cao tốc*, Báo cáo Hội thảo Quốc Gia lần thứ 13: Một số vấn đề chọn lọc của công nghệ thông tin và truyền thông, Đại học SPKT Hưng Yên, 19-20/8/2010.
19. Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Thị Hương Thủy, Nguyễn Ngọc Kỳ, Nguyễn Thị Hoàng Lan (2011), “Bảo mật truy cập dựa trên BioPKI và ứng dụng để bảo mật hệ nhận dạng

vân tay C@FRIS”, *Chuyên san tạp chí Thông tin, Khoa học công nghệ của Bộ Thông tin và Truyền thông* Kỳ 3 Tập V-1(6(26)), tr. 183-194.

### **Tiếng Anh**

20. Almansa A. and Cohen L. (2000), “Fingerprint image matching by minimization of a thin-plate energy using a two-step algorithm with auxiliary variables”, *In IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV’00)*, pp. 35-40.
21. Alonso-Fernandez F., Fierrez-Aguilar J., and Ortega-Garcia J. (2005), “An enhanced Gabor filter-based segmentation algorithm for fingerprint recognition systems”, *In Proceedings of the 4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA 2005)*, pp. 239–244.
22. Alpaydm E. (2010), *Introduction to Machine Learning*, Massachusetts Institute of Technology, Second Edition.
23. Bazen A.M. and Gerez S.H. (2003), “Fingerprint matching by thin-plate spline modeling of elastic deformations”, *Pattern Recognition* Vol. 36 (8), pp. 1859–1867.
24. Bazen A. and Gerez S. (2001), “Segmentation of fingerprint images”, *In Proc. Workshop on Circuits Systems and Signal Processing ProRISC*, pp. 276–280.
25. Bore J.D., Bazen A.M. and Gerez S.H. (2001), “Indexing Fingerprint Database Based on Multiple Features”, *ProRISC 2001 Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing*, pp. 300-306.
26. Califano A. and Mohan R. (1994), “Multidimensional Indexing for Recognizing Visual Shapes”, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol. 16 (6), pp. 373–392.
27. Chen X., Tian J., Cheng J., and Yang X. (2004), “Segmentation of fingerprint images using linear classifier”, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, pp. 480–494.
28. Chen Y., Dass S., and Jain A. (2005), “Fingerprint quality indices for predicting authentication performance”, *Audio and Video-Based Biometric Person Authentication (AVBPA)*, pp. 160–170.
29. Cormen T.H., Charles E.L., and Ronald L.R. (1998), *Introduction to algorithms*, McGraw-Hill Book Company.

30. Daramola S.A. and Nwankwo C.N. (2011), “Algorithm for Fingerprint Verification System”, *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)* Vol. 2 (2), pp. 355-359.
31. DelacK., Grgic M. (2004), “A survey of biometric recognition methods”, *46th International Symposium Electronics in Marine*, pp. 1-6.
32. DivyaK., Jeyalatha S. (2011), “Distorted Fingerprint Verification System”, *Informatica Economică* Vol. 15, pp. 13-21.
33. Dražanský M. (2005), *Biometric Security System, Fingerprint Recognition Technology*, PhD. Thesis, Brno University of Technology, Czech Republic.
34. Graham R.L. (1998), “An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar point set”, *Information Processing Letter* Vol. 1, pp. 226-239.
35. Hara (2001), *Fingerprint Image Cutout Processing device for fingerprint card*, US patent No. 6282302.
36. HaoF., AndersonR., Daugman J. (2005), *Combining cryptography with biometrics effectively*, Computer Laboratory - University of Cambridge, No. 640.
37. Helfroush M.S. and Mohse M. (2009), “Fingerprint Segmentation”, *World Applied Sciences Journal* Vol. 6 (3), pp. 303-308.
38. HoldR., RamS., BischoffH., and Birchbauer J.A. (2009), “Slap fingerprint segmentation”, *Computer Vision Winter Workshop 2009 PRIP*, pp. 4-6.
39. HongL., WanY., Jain A.K. (2004), *Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation*, Pattern Recognition and Image Processing Laboratory – Department of Computer Science – Michigan State University, East Lansing, MI 48824.
40. Hoyle K. (2011), *Minutiae Triplet-Based Features with Extended Ridge Information for Determining Sufficiency in Fingerprints*, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Burruss Hall Blacksburg, VA, USA.
41. JainA.K., FengJ. (2011), “Latent fingerprint matching”, *IEEE Trans. Pattern Anal Intell*, pp. 88–100.
42. JainA. K., FengJ., Nandakumar K. (2010), “Fingerprint Matching”, *IEEE Computer* Vol. 43 (2), pp. 36-44.
43. Jea T.Y. and Govindaraju V. (2005), “A minutia-based partial fingerprint recognition system”, *Pattern Recognition* Vol. 38 (10), pp. 1672 – 1684.

44. Jea T.Y. (2005), *Minutiae based partial fingerprint recognition*, PhD. Thesis of the University at Buffalo, the University of New York.
45. Jiang X. and Yau W.Y., Ser W. (2001), "Detecting the Fingerprint Minutiae by Adaptive Tracing the Gray-level Ridge", *Pattern Recognition*, pp. 999-1013.
46. Jiang X. and Yau W.Y. (2000), "Fingerprint Minutiae Matching based on the Local and Global structures", *In International Conference on Pattern Recognition*, pp.1038–1041.
47. Jin Q., Shi Z., Zhao X. and Wang Y. (2004), "Cascading a couple of registration methods for a high accurate fingerprint verification system", *Proceedings of SINOBIOMERTRICS*, pp. 490-497.
48. Karu K. and Jain A. (1996), "Fingerprint classification", *Pattern Recognition* Vol. 29 (3), pp. 389-404.
49. Klein S. (2002), *Fingerprint image segmentation based on hidden markov models*, Master Thesis, Department of Electrical Engineering Chair of Signals & Systems Enschede, University of Twente, The Netherlands.
50. Kwon D., Yun I.D., Kim D.H., Lee S.U. (2006), "Fingerprint Matching Method Using Minutiae Clustering and Warping", *Proc. of The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)* Vol.4, pp.525 – 528.
51. Lee K., Prabhakar S. (2008), "Probabilistic Orientation Field Estimation for Fingerprint Enhancement and Verification", *Proceedings of the 2008 Biometrics Symposium (BSYM)*, pp. 41-46.
52. Li J., Tulyakov S., Zhang Z., Govindaraju V. (2008), "Fingerprint Matching Using Correlation and Thin-Plate Spline Deformation Model", *2nd IEEE Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems (BTAS 08)*, pp. 1 – 4.
53. Lim E., Jiang X., and Yau W. (2002), "Fingerprint quality and validity analysis", *Proceedings of International Conference on Image Processing*, pp. 469–472.
54. Maase (1997), *Device and method for obtaining a plain image of multiple fingerprints*, US patent No. 5650842.
55. Maheswari S.U., Chandra Dr.E. (2012), "A Review Study on Fingerprint Classification Algorithm used for Fingerprint Identification and Recognition", *Proceedings of International Journal of Computer Science and Telecommunications* Vol. 3 (1), pp. 739-744.

56. MaltoniD., MaioD., JainA.K., Prabhakar S. (2009), *Handbook of fingerprint recognition*, Second ed, Springer-Verlag.
57. Medina-PérezM.A., García-BorrotoM., Gutierrez-RodriguezA.E., Altamirano-Robles L. (2012), “Improving Fingerprint Verification Using Minutiae Triplets”, *Sensors* Vol. 12, pp. 3418-3437.
58. MeghaK., Pooja, Banga V.K. (2011), “Selection of an Optimal Algorithm for Fingerprint Matching”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, pp. 667-670.
59. Nguyen Thi Hoang Lan, Nguyen Van Toan (2010), "BioPKI model and Remote Access Control using Bio-Etoken in BioPKI System", *IEEE-RIVF 2010 Addendum Contribution Proceeding*, pp. 50-53.
60. Nguyen T.H.T., Hoang Xuan H. and Nguyen Ngoc K. (2013), “An Efficient Method for Fingerprint Matching Based on Local Point Model”, *Proc. of the International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTEL2013)*, pp. 334-339.
61. RathaN.K., KaruK., Chen S. and Jain A.K. (1996), “A Real-Time Matching System for Large Fingerprint Databases”, *IEEE Trans on. Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol.18(8),pp. 799–813.
62. RattaniA., MarcialisG.L., Roli F. (2008), “Biometric Template Update using the graph min cut algorithm”, *The 2008 Biometrics Symposium (BSYM)*, pp. 23-28.
63. Rawat A. (2009), *A Hierchical Fingerprint Matching System*, Master’s Thesis, Department of Computer Science and Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.
64. RossA., S. Dass, A. Jain (2005), “A Deformable Model for Fingerprint Matching”, *Pattern Recognition* Vol. 38 (1), pp. 95–103.
65. RossA., DassS., Jain A. (2006), “Fingerprint warping using ridge curve correspondences”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol. 28 (1), pp. 19–30.
66. Scheirer W.J. and Boulton T.E. (2008), "Bio-cryptographic protocols with bipartite biotokens", *Biometrics Symposium (BSYM)*, pp. 1-8.
67. ShenL., KotA., and KooW. (2001), “Quality measures of fingerprint images”, *Audio and Video-Based Biometric Person Authentication(AVBPA)*, pp.266–271.

68. Stallings W. (2011), *Cryptography and Network Security*, Principles and Practices, Fifth Edition, Prentice Hall.
69. Stoianov A., Cavoukian A. (2007), *Biometric Encryption: A positive – Sum Technology that Achieves Strong Authentication, Security AND Privacy*, Information and Privacy Commissioner of Ontario.
70. Tabassi E. and Wilson C.L. (2005), “A new approach to fingerprint image quality”, *The International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp.37–40.
71. Tico M., Kuosmanen P. (2003), “Fingerprint Matching Using an Orientation based Minutia Descriptor”, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* Vol. 25 (8), pp. 1009-1014.
72. Uchida K. (2004), “Image-based approach to fingerprint acceptability assessment”, in *Proc. Int. Conf. on Biometric Authentication (ICBA)*, pp. 294–300.
73. Uludag U., Pankatini S., Prabhakara S. and Jain A.K. et al (2004), “Biometric Cryptosystems: Issues and Challenges”, *Proceedings of the IEEE* Vol. 92 (6), pp. 948-960.
74. Wang L., Suo H., and Dai M. (2005), “Fingerprint image segmentation based on Gaussian-Hermite moments”, *In Advanced Data Mining and Applications LNCS3584*, pp. 446–454.
75. Wang C., Gavrilova M., Luo Y., Rokne J. (2006), “An efficient algorithm for fingerprint matching”, *Proc. of The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)* Vol. 1, pp. 1034– 1037.
76. Wang S., Zhang W.W, Wang Y.S. (2002), “Fingerprint Classification by Directional Fields”, *Fourth IEEE International Conference Multimodal Interface*, pp. 395-399.
77. Wu C., Shi Z., and Govindaraju V. (2004), “Fingerprint image enhancement method using directional median filter”, *In Biometric Technology for Human Identification, SPIE* Volume 5404, pp. 66–75.
78. Wu C., Tulyakov S., and Govindaraju V. (2006), “Image quality measures for fingerprint image enhancement”, *In International Workshop on Multimedia Content Representation, Classification and Security (MRCSS)* LNCS 4105, pp. 215–222.
79. Xuefeng A.B., Liang and Asano T. (2004), “A near-linear time algorithm for binarization of fingerprint images using distance transform”, *In Combinatorial Image Analysis*, pp. 197–208.

80. YangJ., LiuL., JiangT., Fan Y. (2003), “A midified Gabor filter design method for fingerprint enhancement”, *Pattern Recognition Letters* 24, pp. 1805-1817.
81. Yuheng Z. and Qinghan X. (2006), “An optimized approach for fingerprint binarization”, *In International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 391–395.
82. ZhangQ., Huang K. and Yan H. (2001), “Fingerprint Classification Based on Extraction and analysis of Sinularities and Pseudoridges“, *Proceedings Selected papers from VIP2001*, pp. 83-87.
83. ZhaoQ., ZhangD., Zhang L. and Luo N. (2010), “Adaptive fingerprint pore modeling and extraction“, *Pattern Recognition* Vol. 43(8), pp 2833-2844.
84. ZhuE., YinJ., HuC., and ZhangG. (2006), “A systematic method for fingerprint ridge orientation estimation and image segmentation”, *Pattern Recognition* Vol. 39(8), pp.1452–1472.
85. ZiaS., SoniS.K., SwetaS., Mokal P. (2011), “A Casscaded Fingerprint Quality Assessment Scheme for Improved System Accuracy”, *International Journal of Computer Science Issues* Vol. 8 Issue 2, pp. 449-455.
86. FVC2004 (2004), The Third International Fingerprint Verification Competition, <http://bias.csr.unibo.it/FVC2004>.
87. Neurotechnology, Inc, Verifinger 4.2 SDK <http://www.neurotechnology.com>