

การระบุตัวบุคคลด้วยลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการสามเหลี่ยม Delaunay
FINGER PRINT IDENTIFICATION USING DELAUNAY TRIANGULATION
ALGORITHM

สุนันท์ ตันทาชุน
SUNUN TANTACHUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การระบุตัวบุคคลด้วยลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการสามเหลี่ยม Delaunay

FINGER PRINT IDENTIFICATION USING DELAUNAY TRIANGULATION
ALGORITHM



สุนันท์ ตันทชุน

SUNUN TANTACHUN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**FINGER PRINT IDENTIFICATION USING DELAUNAY TRIANGULATION
ALGORITHM**

SUNUN TANTACHUN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การระบุตัวบุคคลด้วยลายนิ้วมือโดยใช้วิธีการสามเหลี่ยม Delaunay
นักศึกษา	นายสุนันท์ ตันทชุน
รหัสนักศึกษา	48060416
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์

บทคัดย่อ

ลักษณะทางชีวภาพอย่างเช่น ลายนิ้วมือ มือ ใบหน้า และเสียงนั้นเป็นทางเลือกที่ใช้ในการระบุหรือคัดแยกบุคคลที่เชื่อถือได้ซึ่งการพิสูจน์ลายนิ้วมือนั้นจะมีความเหมาะสมในการคัดแยกทางชีวภาพในระบบการรักษาความปลอดภัยในระดับต่ำจนถึงระดับกลางในการวิจัยนี้เกี่ยวกับการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือที่ได้มาโดยใช้วิธีการที่เชื่อถือได้เพื่อช่วยการระบุตัวบุคคลพวกเราได้ทำการปรับปรุงระบบโดยเริ่มจากภาพที่ได้จากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ ทำการสแกนลายนิ้วมือออกมาโดยจะได้เป็นภาพลายนิ้วมือสองมิติโดยเราจะใช้กาบอร์ฟิลเตอร์ทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือที่ได้มาทำการหาลักษณะเฉพาะจากภาพลายนิ้วมือที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อนำลักษณะเฉพาะเหล่านี้ไปทำการตรวจสอบในขั้นตอนต่อไป ในขั้นตอนการระบุตัวบุคคลนั้นใช้พื้นฐานของการไม่ผันแปรทางเรขาคณิตมาทำการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยจะนำลักษณะเฉพาะที่ได้นำมาสร้างสามเหลี่ยมด้วยวิธีการของ Delaunay แล้วทำการหาพื้นที่แล้วทำการเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ค่าที่ได้จะเป็นคุณสมบัติเฉพาะบุคคลเท่านั้นเรานำค่าที่ได้มาทำการเรียงลำดับหาอัตราส่วน (อัตราส่วนนี้คืออัตราส่วนของพื้นที่สามเหลี่ยมที่ได้มาจากจุดสำคัญที่หามาได้) ค่าความผิดพลาดระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ ที่นำมาเปรียบเทียบนี้จะนำมาใช้สำหรับการระบุตัวบุคคล

Thesis Title	Fingerprint Identification Using Delaunay Triangulation Algorithm
Student	Mr.Sunun Tantachun
Student ID	48060416
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasil
Thesis Co-Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chuchart Pintavirooj

ABSTRACT

Biometrics such as fingerprints, hand geometry, face and voice biometrics provide a reliable alternative for identity verification and are gaining industry and citizen acceptance. Among these, fingerprint verification has emerged as the most suitable biometric modality for medium and low security application due to its speed and unobtrusive nature. The on-going active research on fingerprint biometrics is to improve the performance, reliability and consuming time to identify person. Our improved fingerprint systems use an optical scanner to capture two dimensional images of the finger print. We then purpose the gabor filter to enhance the fingerprint features which later used in classification step. Our classification scheme is based on geometric invariance which is the area bound by three features points. Our proposed technique demonstrates the promising results.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากบุคคลหลายๆ ท่าน ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความสนับสนุนด้านทุนการศึกษาตลอดจนคำแนะนำ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มนัสสังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ซึ่งคอยให้คำปรึกษา และให้ความสนับสนุนทางด้านความรู้และแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงเอื้อเฟื้อสนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัย ซึ่งผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาของท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัยรวมถึงไปถึงวิธีการนำเสนองานวิจัย สถานที่ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ยุทธนา กิจใจเดียว ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาในเรื่องของงานวิจัย และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

และสุดท้าย ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องวิจัยที่ได้แบ่งปันความรู้หลายๆ อย่าง ตลอดจนช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุนันท์ ตันทชุน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 แนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ภาพลักษณ์ทางกายภาพ.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ระบบจดจำภาพลักษณ์ทางกายภาพ(Biometric Systems).....	4
2.3 การเปรียบเทียบระบบจดจำภาพลักษณ์ทางกายภาพ.....	6
2.4 วิธีการวัดความแม่นยำของระบบ.....	8
บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ.....	9
3.1 ลักษณะของจุดต่างๆบนลายนิ้วมือ.....	9
3.1.1 จุดกึ่งกลาง (Core).....	9
3.1.2 ลักษณะสำคัญ (Minutiae).....	10
3.2 ชนิดและรูปแบบลายนิ้วมือ.....	11
3.2.1 กลุ่มเส้นโค้ง.....	11
3.2.2 กลุ่มมัดหวน (Loop).....	12
3.2.2.1 กลุ่มมัดหวนเดี่ยว (Single Loop).....	12
3.2.2.2 กลุ่มมัดหวนคู่ (Double Loop).....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 กลุ่มก้นหอย (Whorl).....	14
3.2.4 กลุ่มซบซ้อน (Accidental Whorl)	15
บทที่ 4 ทฤษฎีและหลักการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ.....	16
4.1 หลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ	16
4.1.1 หลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือโดยทั่วไป	16
4.2 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ โดยใช้ไครเรชันฟิลเตอร์แบงก์ (Directional Filter Bank: an Application for Fingerprint Enhancement).....	16
4.2.1 ไครเรชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB)	18
4.2.1.1 การออกแบบฟิลเตอร์สองมิติที่เฟสมีค่าเป็นศูนย์ (2D Zero-Phase FIR Filter Design).....	21
4.2.1.2 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ.....	25
4.3 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor filter an application for fingerprint enhancement).....	26
4.3.1 การประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing)	26
4.3.1.1 นอร์มัลไลเซชัน Normalization.....	26
4.3.1.2 ภาพทิศทาง (Orientation Image)	27
4.3.1.3 การกรองลดสัญญาณรบกวน (Filtering)	29
บทที่ 5 การประมวลผลหลัง (Post processing)	31
5.1 การตัดระดับเทรชโฮลด์ (Thresholding).....	31
5.2 การทำให้บาง (Thinning)	31
5.3 การหาลักษณะสำคัญของลายนิ้วมือ (Minutiae Extraction)	35
5.4 การหารูปทรงสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ	36
5.4.1 ขั้นตอนการสร้างรูปสามเหลี่ยมจากกลุ่มข้อมูลของจุดลักษณะเฉพาะ โดยใช้ DT (Delaunay Triangulation Algorithm).....	36
5.5 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ	42
5.5.1 การหาพื้นที่สามเหลี่ยม.....	42
5.5.2 การเรียงลำดับของค่าตัวเลขแบบ (Selection Sort)	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5.3 การทำฐานข้อมูล (Template Database)	44
5.6 การเปรียบเทียบหรือการตรวจสอบลายนิ้วมือ	46
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	48
6.1 บทนำ.....	48
6.2 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ไครเรชันฟิลเตอร์แบบคัสและการหาลักษณะเฉพาะ ของลายนิ้วมือ.....	48
6.3 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์.....	57
6.3.1 การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization)	57
6.3.2 ภาพทิศทางของลายนิ้วมือ (Orientation Image).....	61
6.3.3 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ฟิลเตอร์แบบกาบอร์	65
6.3.4 การหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ.....	69
6.4 กระบวนการทดสอบหาสามเหลี่ยมจากจุดที่จำลองขึ้นมา	72
6.5 ผลแสดงการตรวจสอบลายนิ้วมือ.....	76
บทที่ 7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	77
เอกสารอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	80
ประวัติผู้เขียน	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	จะเป็นตารางการเปรียบเทียบทางเทคโนโลยีของกายภาพ7
6.1	การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุท, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ.....49
6.2	ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือจากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน.....57
6.3	ทำการหาภาพทิสทางจากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน โดยผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว61
6.4	ผลการปรับปรุงของภาพลายนิ้วมือ การทำไบนารี และการทำให้บาง.....65
6.5	แสดงผลการหาจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) และกลุ่มของสามเหลี่ยมที่หาได้69
6.6	แสดงผลอัตราส่วนของพื้นที่เมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการหมุน (Rotate) ไปในทิศทางต่างๆ.....72
6.7	แสดงผลอัตราส่วนของพื้นที่เมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการย่อขยาย (Scale) ในขนาดต่างๆ.....73
6.8	แสดงรูปผลการหาสามเหลี่ยมเมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการ หมุน (Rotate) ในขนาดต่างๆ.....74
6.9	แสดงรูปผลการหาสามเหลี่ยมเมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการย่อขยาย (Scale) ในขนาดต่างๆ.....75
6.10	แสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจสอบลายนิ้วมือ76

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการเก็บฐานข้อมูล,ระบบของการพิสูจน์ (Verification System) และระบบการบ่งชี้ (Identification System)	5
2.2 แสดงการประยุกต์ใช้งานต่างๆของลักษณะทางกายภาพเพื่อใช้ในการพิสูจน์ (Verification) หรือการบ่งชี้ (Identification).....	6
2.3 แสดงอัตราการใช้ลักษณะทางกายภาพในแต่ละชนิดในปี2002	8
3.1 แสดงลายนูน (Ridges) และร่อง (Valleys or Furrows)	9
3.2 แสดงบริเวณที่มีลักษณะรูปแบบเป็นจุดกึ่งกลาง (Core).....	10
3.3 แสดงจุดแยกของลายนูน (Ridge Bifurcation).....	10
3.4 แสดงจุดปลายของลายนูน (Ridge Ending)	11
3.5 แสดงกลุ่มโค้งราบ (Arch).....	12
3.6 แสดงลักษณะของรูปแบบเส้นโค้งกระโจม (Tented Arch).....	12
3.7 แสดงลักษณะของกลุ่มมัดหอยเอียงขวา (Right Loop)	13
3.8 แสดงลักษณะของกลุ่มมัดหอยเอียงซ้าย (Left Loop)	13
3.9 แสดงลักษณะรูปแบบของกลุ่มมัดหอยคู่ (Double Loop)	14
3.10 แสดงลักษณะรูปแบบของกลุ่มก้นหอย (Whorl).....	14
3.11 แสดงลักษณะรูปแบบของกลุ่มซบซ้อน (Accidental Whorl).....	15
4.1 ความสอดคล้องของการหมุนในสเปซโดเมน(spatial-domain) และโดเมนความถี่ (frequency-domain)	17
4.2 แสดงแผนผังไดอะแกรมของ DFB	19
4.3 แสดงตัวอย่างผลของการทำ quincunx down sampling ซึ่ง (a) คือภาพอินพุต และ (b) ได้ผ่านการ การทำ quincunx down sampling แล้ว	20
4.4 ผลของภาพที่ได้ผ่าน Diamond-conversion matrices. เป็นพาสแบนด์มีสี่แบบ	20
4.5 รูปต้นแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ที่ต้องการทำการออกแบบ	23
4.6 รูปต้นแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ส่วนที่หนึ่ง	24
4.7 แสดงผลการออกแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) (a) $H_0(\omega_1, \omega_2)$ และ (b) $H_1(\omega_1, \omega_2)$	25
4.8 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชันแล้ว a) รูปต้นแบบ b) รูปที่ผ่าน การนอร์มัลไลเซชันแล้ว.....	27
4.9 หน้ากาก Sobel Convolution	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงภาพทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ	29
4.11 แสดงเส้นลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการกรองแล้ว.....	30
5.1 แสดงการหา hit and miss transform (a) ภาพต้นฉบับ(เซต A), (b) เทมเพลตที่ใช้หาตำแหน่งมุมด้านขวาบน, (c) เป็น complement ของ (b), (d) erosion ของ (a) ด้วย (b), (e) เป็น complement ของ (a), (f) ผลที่ได้จาก 'miss', (g) ผลที่ได้จาก hit and miss transform	32
5.2 แสดงกระบวนการทำ thinning (a) ชุดของเทมเพลตที่ใช้ (b) ภาพต้นฉบับ(เซต A) (c) ผลจากการ thinning ด้วยเทมเพลต B^1 (d)-(i) ผลจากการ thinning ด้วยเทมเพลต $B^2 - B^8$ (j) ผลที่ได้เมื่อทำซ้ำเทมเพลต $B^1 - B^3$ อีกรอบ (k) ผลลัพธ์เมื่อเสร็จกระบวนการ (l) ผลลัพธ์สุดท้ายของการทำ thinning ภาพ A.....	33
5.3 แสดงภาพเส้นลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการทำเส้นลายนิ้วมือให้บางแล้ว	34
5.4 หน้าต่างตัวอย่างที่ใช้หาจุดสำคัญ a) ทางผ่านของลายเส้นนิ้ว, b) จุดแยกของลายเส้นนิ้ว และ c) จุดปลายของลายเส้นนิ้ว.....	35
5.5 แสดงจุดสำคัญที่ได้จากภาพลายนิ้วมือ.....	36
5.6 แสดงการหาจุดเริ่มต้นของการสร้างสามเหลี่ยม.....	38
5.7 แสดงขั้นตอนการสร้างเส้นเริ่มต้นของสามเหลี่ยม.....	39
5.8 แสดงการหาข้อมูลในเซลล์ที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม	39
5.9 แสดงขั้นตอนการสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ.....	40
5.10 แสดงผลของการหาจากจุดลักษณะเฉพาะบนลายนิ้วมือ a) แสดงจุดลักษณะเฉพาะของ ลายนิ้วมือ และ b) แสดงสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างจากจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ	41
5.11 การหาพื้นที่สามเหลี่ยมจากจุดสามจุด.....	42
5.12 ขั้นตอนการเรียงลำดับด้วย selection sort.....	43
5.13 แสดงตัวอย่างการเรียงลำดับพื้นที่สามเหลี่ยม	45
5.14 จำนวนลำดับที่เรียงจากน้อยไปมาก	45
5.15 แสดงอัตราส่วนที่หาได้จากพื้นที่สามเหลี่ยม (a) อินพุท(พื้นที่สามเหลี่ยม) และ (b) ผลที่ได้ จากการหาอัตราส่วนของอินพุท.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีในยุคดิจิทัล เพื่อสื่อสำหรับติดต่อกับธนาคาร การสื่อสารสัมพันธ์กับราชการ การรักษาความปลอดภัยในที่ทำงาน การป้องกันเครื่องคอมพิวเตอร์ ใบอนุญาตขับขี่รถยนต์ บัตรเครดิต อีกทั้งยังเป็นกุญแจที่จะไขเข้าไปยังสำนักงาน บ้าน หรือคอนโดมิเนียม การใช้ร่างกายเป็นรหัสผ่านนี้เรียกว่า ไบโอมेटริก (Biometric) โดยอาจจะใช้ส่วนใดส่วนหนึ่ง เช่น ใช้นิ้วมือ โครงสร้างของดวงตา ลายนิ้วมือ เสียง เหล่านี้ล้วนเป็นส่วนหนึ่งของระบบดิจิทัลที่จะใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีไบโอมेटริก (Biometrics) เป็นวิทยาการที่ใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะทางพฤติกรรมหรือทางกายภาพในการจดจำเฉพาะบุคคล โดยเทคโนโลยีนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่ การจดจำใบหน้า (Faces), เยื่อภายในลูกตา (Retina), ม่านตา (Iris), ลายนิ้วมือ (Fingerprints) และมือ (Hand geometry) เป็นต้น ส่วนคุณลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioral characteristics) ได้แก่ ลายเซ็น (Handwritten signatures) และลักษณะของเสียง (Voiceprints) เป็นต้น ในระบบไบโอมेटริก ลักษณะที่มีความเชื่อถือได้และมีการวิจัยอย่างแพร่หลาย ได้แก่ เยื่อภายในลูกตา, ม่านตา และลายนิ้วมือ ในหลากหลายวิธีนี้ การระบุตัวบุคคลด้วยลายนิ้วมือที่ใช้งานกันมานานหลายทศวรรษเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือได้มากที่สุด และระบบการระบุลายนิ้วมืออัตโนมัติ (Automatic Fingerprint Identification Systems or AFIS) เป็นระบบที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การควบคุมการเข้าถึง (Access control), การประยุกต์ใช้งานด้านความปลอดภัยโดยเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลขนาดเล็ก รวมถึงการระบุทางด้านอาชญากรรมด้วยฐานข้อมูลขนาดใหญ่

1.2 วัตถุประสงค์

1. ปรับปรุงภาพลายนิ้วมือเพื่อให้ง่ายในการค้นหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือหรือจุดเด่นของลายนิ้วมือ (Feature)
2. เพื่อศึกษาและนำเสนอวิธีการหาลักษณะพิเศษของลายนิ้วมือและวิธีการบ่งชี้
3. เพื่อทำการตรวจสอบลายนิ้วมือ

1.3 สมมติฐานในการทำวิจัย

จากการทำวิจัยเบื้องต้น พบว่าการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือของบุคคล โดยทั่วไปนั้นจะเริ่มจากการนำภาพลายนิ้วมือของแต่ละบุคคล มาทำการหาลักษณะเฉพาะที่สำคัญ โดยการที่จะทำการหาลักษณะเฉพาะที่สำคัญให้ได้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และถูกต้องมากยิ่งขึ้น นั้น จะต้องนำภาพลายนิ้วมือมาผ่านการปรับปรุงภาพก่อนแล้วจึงทำการหาลักษณะเฉพาะที่สำคัญได้ เพราะภาพลายนิ้วมือที่ได้มาตั้งแต่แรกนั้นอาจมีความไม่ชัดเจน พร่าเลือน ซึ่งอาจจะส่งผล ให้กระบวนการประมวลผลภาพในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง เป็นไปด้วยความยากลำบากหรืออาจทำไม่ได้เลย ซึ่งข้อมูลภาพที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพมาแล้วจะช่วยให้การประมวลผลภาพมีความสมบูรณ์ มีความถูกต้องและง่ายขึ้น

1.4 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ โดยจะใช้คุณสมบัติไม่ผันแปรของรูปทรงเรขาคณิตมาทำการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ โดยเริ่มจากนำภาพลายนิ้วมือมาทำการปรับปรุงให้ดีขึ้นแล้วทำการหาลักษณะเฉพาะที่สำคัญ แล้วจึงนำลักษณะเฉพาะที่สำคัญนี้มาทำการหาคุณสมบัติไม่ผันแปรของรูปทรงเรขาคณิต โดยจะอาศัยคุณสมบัติที่ไม่ผันแปรของรูปทรงเรขาคณิตที่ได้จากลายนิ้วมือเหล่านี้ มาทำการตรวจสอบลายนิ้วมือ

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้้นำภาพลายนิ้วมือมาทำการปรับปรุง ทำการหาลักษณะเฉพาะที่สำคัญ เพื่อที่จะใช้ลักษณะเฉพาะที่สำคัญเหล่านั้นมาทำการหาคุณสมบัติที่ไม่ผันแปรของรูปทรงเรขาคณิต แล้วทำการหาอัตราส่วนซึ่งจะนำค่าที่ได้นี้มาทำการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ

1.6 โครงร่างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ตลอดจนสมมติฐานที่ใช้และขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงไบโอเมตริก (Biometric) ระบบไบโอเมตริก (Biometric System) รวมถึงการเปรียบเทียบระบบการรู้จำรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่

บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลายนิ้วมือ แนะนำให้รู้จักลักษณะต่าง ๆ ของลายนิ้วมือ การแบ่งประเภทของลายนิ้วมือ รวมถึงจุดสำคัญต่าง ๆ ของลายนิ้วมือและจุดลักษณะเฉพาะที่สำคัญ

บทที่ 4 ทฤษฎีและหลักการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ จะกล่าวถึงการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ สองแบบ แบบแรกเป็นการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงค์ (Directional Filter Bank Enhancement) และแบบที่สองเป็นการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter Enhancement) ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ของทั้งสองวิธีนี้

บทที่ 5 เป็นการประมวลผลภาพภายหลังคือ การทำภาพให้เป็นภาพไบนารี, การทำให้บาง, การหาจุดลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของลายนิ้วมือ

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง แสดงผลลัพธ์ของการทดลอง การหาจุดลักษณะเฉพาะที่สำคัญและการตรวจสอบลายนิ้วมือ

บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ภาพลักษณ์ทางกายภาพ

2.1 บทนำ

ไบโอเมตริก (Biometrics) เป็นศาสตร์ด้านหนึ่งในการนำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์ หรือวิธีการทางสถิติ มาใช้ในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาด้านชีววิทยาต่างๆ เช่น การใช้วิธีทางสถิติวิเคราะห์ผลกระทบของมลพิษที่มีผลต่อสุขภาพของบุคคล, การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศที่มีผลต่อการเพาะปลูก เป็นต้น แต่ความหมายของไบโอเมตริกซ์ที่กล่าวมาข้างต้นไม่ใช่ความหมายหลักที่งานวิจัยฉบับนี้กล่าวถึง แต่เป็นอีกความหมายหนึ่งของไบโอเมตริกซ์ ซึ่งเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ในการระบุตัวบุคคลหรือ ตรวจสอบตัวบุคคลโดยอัตโนมัติ โดยใช้ลักษณะทางกายภาพ ที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคลมาอ้างอิง ซึ่งนานมากกว่าศตวรรษแล้วที่มีการนำเอาภาพลักษณ์ทางกายภาพมาใช้วิเคราะห์แก้ไขปัญหาลักษณะที่เกี่ยวข้องกับอาชญากรรม

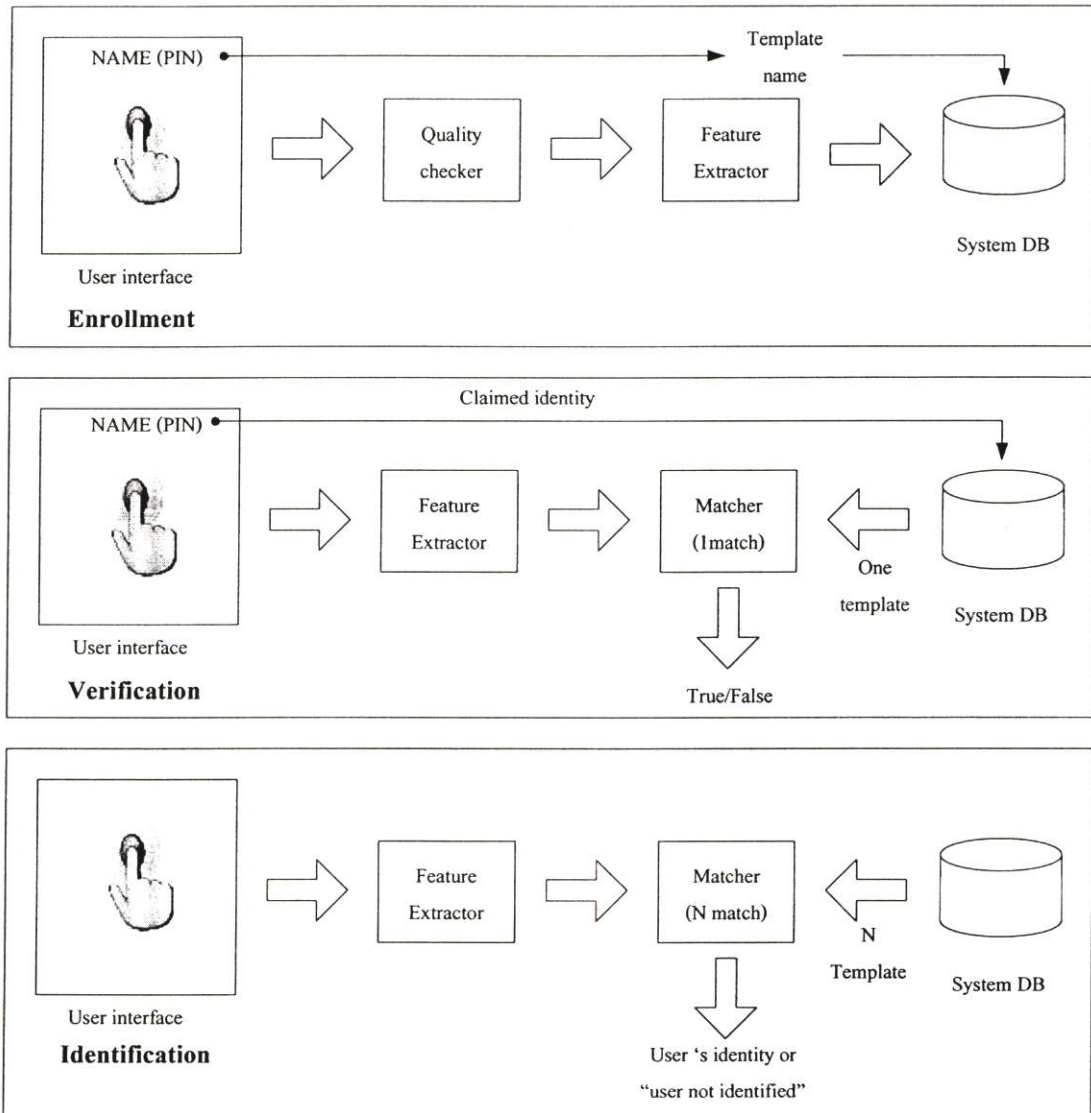
2.2 ระบบจดจำภาพลักษณ์ทางกายภาพ(Biometric Systems)

ระบบจดจำภาพลักษณ์ทางกายภาพนี้มีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับกระบวนการรู้จำ โดยใช้ลักษณะเฉพาะของสรีระร่างกาย และ/หรือ พฤติกรรมเพื่อในการระบุตัวบุคคล และนั่นคือสิ่งสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อการนำมาออกแบบระบบการรู้จำทางกายภาพที่เหมาะสม ระบบการจดจำทางกายภาพอาจจะเรียกได้ทั้งสองแบบคือ การตรวจสอบ (Verification) และการระบุตัวบุคคล (Identification) ,การตรวจสอบ (Verification) นั้นจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างคุณลักษณะทางกายภาพของตนเองกับข้อมูลของตนเอง ส่วนการระบุตัวบุคคล (Identification) จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอินพุตหนึ่งอันกับเทมเพลตหลาย ๆ อัน โดยเป็นการเปรียบเทียบว่าตรงกับเทมเพลตอันใดหรือเหมือนกับอันใดบ้างเหมือนกับการหาว่าฉันเป็นใคร ในรูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบของการพิสูจน์ (Verification System) และระบบการบ่งชี้ (Identification System) โดยแสดงให้เห็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งแสดงการเก็บฐานข้อมูลหรือจดทะเบียน (Enrollment) ส่วนที่สองคือแสดงระบบการพิสูจน์ข้อมูล (Verification System) และในส่วนสุดท้ายแสดงระบบการบ่งชี้ข้อมูล (Identification System)

การเก็บฐานข้อมูลหรือจดทะเบียน (Enrollment) นั้น จะทำการเก็บข้อมูลเฉพาะส่วนบุคคลในฐานข้อมูลเป็นเทมเพลต (Template) เอาไว้โดยขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน โดยสามารถเก็บไว้ในคาร์ทแบบสหรือฐานข้อมูลส่วนกลาง หรือจะทำการบันทึกเอาไว้ในการ์ดแม่เหล็ก (Magnetic Card) หรือ สมาร์ทการ์ด (Smart Card) ส่วนของการพิสูจน์ข้อมูล (Verification System) ในการพิสูจน์แบบนี้จะมีการถามชื่อหรือรหัสเฉพาะบุคคลเสียก่อนถึงจะทำการตรวจสอบต่อไป ในระบบการ

ระบบตัวบุคคล (Identification System) นั้นจะไม่มีการเตรียมรหัสหรือชื่อไว้ สำหรับในระบบนี้จะทำการเปรียบเทียบตรวจสอบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ไปเรื่อย ๆ เพื่อทำการตรวจสอบและถ้าไม่สามารถหาฐานข้อมูลที่เข้ากันได้ระบบจะมีข้อความปฏิเสธออกมา (User not identified) เพราะระบบนี้จะเป็นระบบที่มีฐานข้อมูลใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดจำนวนเทมเพลตเพื่อไม่ให้เวลาที่ใช้สิ้นเปลืองเกินไป

รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการเก็บฐานข้อมูล,ระบบของการพิสูจน์ (Verification System) และระบบการบ่งชี้ (Identification System)



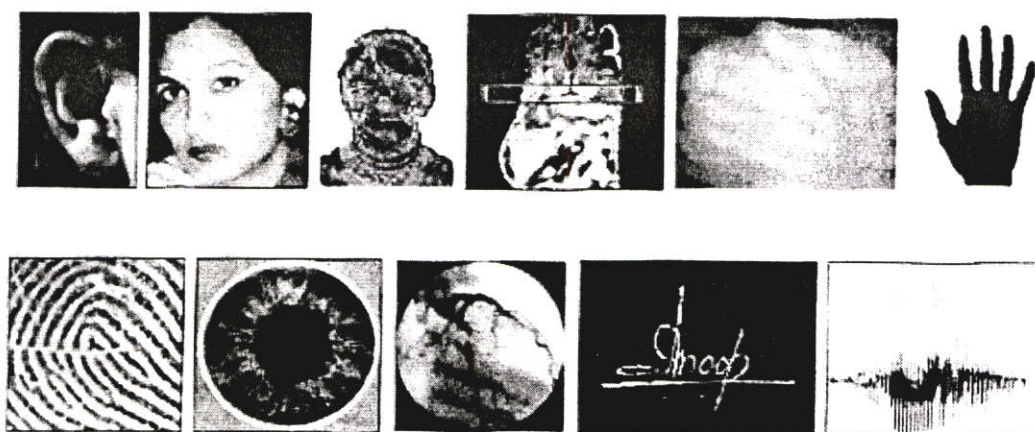
2.3 การเปรียบเทียบระบบจดจำภาพลักษณ์ทางกายภาพ

คุณลักษณะทางสรีระ และ/หรือ พฤติกรรมของมนุษย์ที่จะสามารถนำมาใช้ทำการบ่งชี้บุคคลได้นั้น จำเป็นจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดเหล่านี้

- ในแต่ละคน โดยเฉลี่ยแล้วต้องมีคุณสมบัตินั้น ๆ
- ต้องมีลักษณะที่แตกต่างกัน
- ต้องมีความคงทนถาวรไม่ว่าเวลาจะเปลี่ยนไป
- สามารถวัดออกมาเป็นปริมาณตัวเลขได้
- สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้คือมีความถูกต้อง, ความเร็ว, ความทนทาน
- ขอบเขตจำนวนของผู้คนที่จะสามารถรองรับ หรือจำนวนของผู้คนที่สามารถตอบสนองได้

ระบบการจดจำภาพลักษณ์ทางกายภาพนั้นควรจะมีความแม่นยำ ความรวดเร็ว ความปลอดภัย ต่อผู้ใช้และเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไป ยากต่อการถูกหลอกหลวงหรือปลอมแปลง

ในรูปที่ 2.2 แสดงการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ของลักษณะทางกายภาพเพื่อใช้ในการพิสูจน์ (Verification) หรือ การบ่งชี้ (Identification) ลักษณะทางกายภาพแต่ละสิ่งนั้นจะมีทั้งข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่จะนำไปใช้ และไม่มีลักษณะทางกายภาพใดที่จะสามารถนำมาใช้ได้ในทุก ๆ งานหรือทุก ๆ แอปพลิเคชัน โดยการเลือกใช้จะต้องเลือกตามความเหมาะสมของงาน

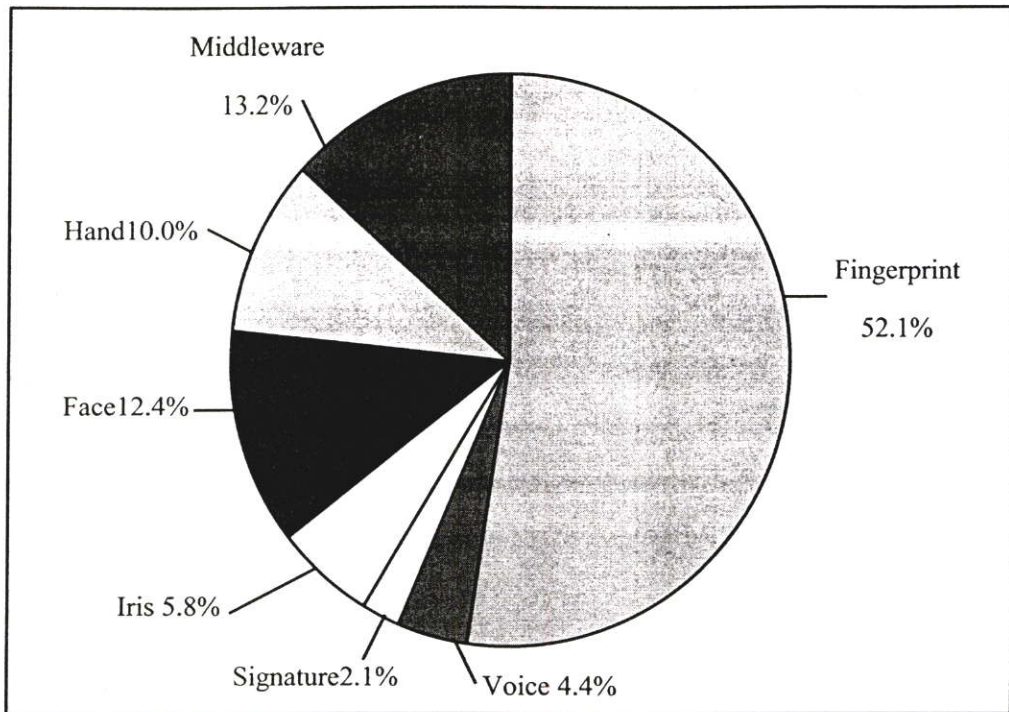


รูปที่ 2.2 แสดงการประยุกต์ใช้งานต่างๆของลักษณะทางกายภาพเพื่อใช้ในการพิสูจน์ (Verification) หรือ การบ่งชี้ (Identification)

ลักษณะทางกายภาพ (Physiological Biometrics) จะประกอบไปด้วยหลายส่วน เช่น ลักษณะทางใบหู (Ear Shape) ลักษณะใบหน้า (Facial) ท่าทางการเดิน (Gait) มือและนิ้วมือ (Hand and Finger) ม่านตา (Iris) กลิ่น (Odor) เยื่อภายในลูกตา (Retinal) ลายเซ็น (Signature) เสียง (Voice) เป็นต้น ในตารางที่ 2.1 จะเป็นตารางการเปรียบเทียบของเทคโนโลยีทางกายภาพที่ใช้ในการบ่งชี้บุคคล และในรูปที่ 2.3 แสดงอัตราการใช้ลักษณะทางกายภาพ

ตารางที่ 2.1 จะเป็นตารางการเปรียบเทียบของเทคโนโลยีทางกายภาพ [6]

Biometric identifier	Universality	Distinctiveness	Permanence	Collect ability	Performance	Acceptability	Circumvention
DNA	H	H	H	L	H	L	L
Ear	M	M	H	M	M	H	M
Face	H	L	M	H	L	H	H
Facial thermo gram	H	H	L	H	M	H	L
Fingerprint	M	H	H	M	H	M	M
Gait	M	L	L	H	L	H	M
Hand Geometry	M	M	M	H	M	M	M
Hand vein	M	M	M	M	M	M	L
Iris	H	H	H	M	H	L	L
Keystroke	L	L	L	M	L	M	M
Odor	H	H	H	L	L	M	L
Retina	H	H	M	L	H	L	L
Signature	L	L	L	H	L	H	H
Voice	M	L	L	M	L	H	H



รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการใช้ลักษณะทางกายภาพในแต่ละชนิดในปี 2002 [6]

2.4 วิธีการวัดความแม่นยำของระบบ

ความแม่นยำของระบบไบโอเมตริกสามารถจะถูกรวัดได้ค่าต่อไปนี้

- 1) False Rejection Rate : FRR คือ อัตราการปฏิเสธการผ่านกับผู้ใช้งานที่ถูกต้อง
- 2) False Acceptance Rate : FAR คือ อัตราการหลอกรอดของผู้ปลอมปลอมจากการตรวจจับ

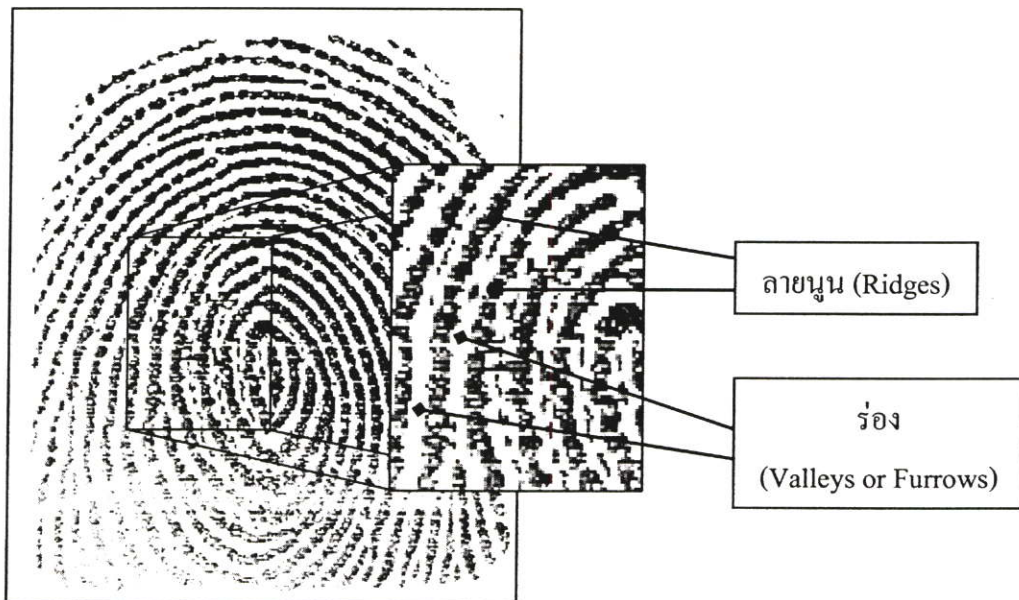
โดยทั่วไปค่า FRR และ FAR เป็นค่าที่ค้ำซึ่งกันและกันอยู่ เพราะเมื่อ FAR มีค่าสูง FRR ก็จะมีค่าต่ำไปโดยอัตโนมัติ

ในระบบรักษาความปลอดภัยด้วยลายนิ้วมือนี้ ค่า FRR และ FAR จะเป็นค่าที่สามารถถูกปรับได้ตามความต้องการของผู้ติดตั้งระบบว่าต้องการให้มีความปลอดภัยอยู่อย่างน้อยเพียงใด

บทที่ 3

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ

เมื่อเราหงายฝ่ามือขึ้นและสังเกตไปที่นิ้วมือแต่ละนิ้ว จะพบว่านิ้วนั้นมีลักษณะเป็นลายอยู่ เมื่อมองเข้าไปใกล้ ๆ จะเห็นว่าลายนิ้วมือจะมีลักษณะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เป็นลายนูน (Ridges) และร่อง (Valleys or Furrows) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 วังวนเป็นลักษณะส่วนโค้งไปรอบ ๆ ช่วงปลายนิ้วมือสลับกันไประหว่างร่องและลายนูน ทำให้เกิดเป็นลายขึ้นมา ลายดังกล่าวนี้จะมีส่วนของจุดที่เป็น จุดเฉพาะ (Singular Point) คือ จุดกึ่งกลาง (Core) และสันดอน (Delta) รวมทั้งลักษณะสำคัญ (Minutiae) ซึ่งก็คือ จุดปลายของลายนูน (Ridge Ending) และจุดแยกของลายนูน (Ridge Bifurcation) รูปแบบของลายนิ้วมือจะมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงลายนูน (Ridges) และร่อง (Valleys or Furrows)

3.1 ลักษณะของจุดต่างๆบนลายนิ้วมือ

3.1.1 จุดกึ่งกลาง (Core)

จุดบนเส้น โค้งของลายนูนต้องมีลักษณะเป็น โค้งขึ้น และเริ่มที่จะกลับตัว หรือเริ่มที่จะกลายเป็น โค้งลง แล้วจึงวิ่งสวนทางกลับกันกับในตอนแรกก่อนที่จะ โค้งขึ้น เส้น โค้งลายนูนนี้ต้องเป็น โค้งลายนูนที่อยู่ชั้น ในที่สุดของบริเวณที่มีลักษณะรูปแบบเป็นจุดกึ่งกลางนั้น เป็นลักษณะของ

เส้นโค้งที่โค้งขึ้นมาซ้อนๆกันหลายๆเส้น ในลักษณะของรูปมัดหวายจากโค้งวงกว้างลดลงมาเรื่อยๆ จนโค้งเล็กสุด (เส้นที่อยู่ในที่สุดอาจไม่เป็นเส้นโค้งก็ได้) ลักษณะของรูปแบบเส้นโค้งที่อยู่ในบริเวณที่มีลักษณะรูปแบบเป็นจุดกึ่งกลาง

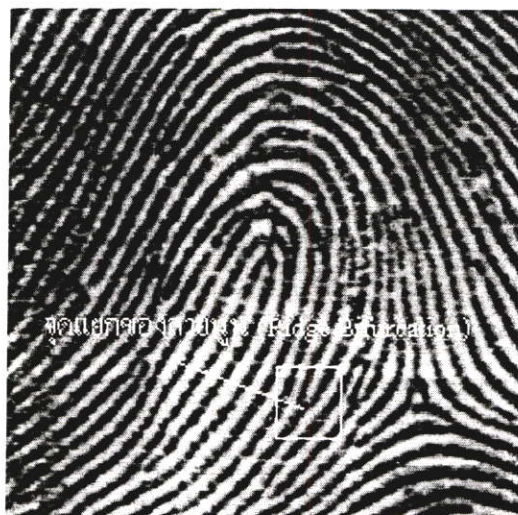


รูปที่ 3.2 แสดงบริเวณที่มีลักษณะรูปแบบเป็นจุดกึ่งกลาง (Core)

3.1.2 ลักษณะสำคัญ (Minutiae)

เป็นลักษณะสำคัญในรูปลายนิ้วมือ ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ชนิด ได้แก่

- จุดแยกของลายนิ้ว (Ridge Bifurcation) เป็นจุดที่อยู่บนลายนิ้ว ที่เกิดการแยกจากหนึ่งเส้นทางเป็นสองเส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงจุดแยกของลายนิ้ว (Ridge Bifurcation)

- จุดปลายของลายนิ้ว (Ridge Ending) เป็นจุดที่อยู่บนลายนิ้ว ในบริเวณปลายสุดของลายนิ้ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงจุดปลายของลายนิ้ว (Ridge Ending)

3.2 ชนิดและรูปแบบลายนิ้วมือ

รูปแบบลายนิ้วในภาพลายนิ้วมือที่จับกลุ่มกันเป็นรูปแบบ สามารถแบ่งได้หลายชนิด ดังต่อไปนี้

3.2.1 กลุ่มเส้นโค้ง

ลักษณะของรูปแบบในภาพลายนิ้วมือมีลักษณะการวิ่งของลายนิ้วจากลักษณะที่ขนานกับพื้นราบแล้วพุ่งโค้งขึ้น แล้วจึงมีการวิ่งในลักษณะขนานกับพื้นราบอีกครั้ง

รูปแบบของกลุ่มเส้นโค้งนั้นมี 2 รูปแบบ คือ

- กลุ่มเส้นโค้งราบ (Arch)
- กลุ่มเส้นโค้งกระโจม (Tented Arch)

โดยกลุ่มเส้นโค้งทั้งสองจะแตกต่างกันที่ลักษณะความสูงของส่วนโค้ง ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 แสดงกลุ่มโค้งราบ (Arch)



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของรูปแบบเส้นโค้งกระโจม (Tented Arch)

3.2.2 กลุ่มมัดหวาย (Loop)

3.2.2.1 กลุ่มมัดหวายเดี่ยว (Single Loop)

- กลุ่มมัดหวายเอียงขวา (Right Loop)

มีลักษณะของการวิ่งของลายนิ้วจากบริเวณด้านซ้ายมาที่บริเวณกลางนิ้วมือแล้ววิ่งโค้งขึ้นไปด้านบน แล้วจึงโค้งลงและวิ่งวนกลับไปตามทางเดิมที่ได้วิ่งมา เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าเมื่อมีการจับกลุ่มเป็นรูปแบบคล้ายกับมัดหวาย แล้วจะเอนเอียงไปทางด้านขวา จึงได้เรียกว่า “กลุ่มมัดหวายเอียงขวา” และมีสันคองอยู่ทางด้านขวาของรูปแบบ



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของกลุ่มมัดหยาบเอียงขวา (Right Loop)

- กลุ่มมัดหยาบเอียงซ้าย (Left Loop)

รูปแบบจะคล้ายลักษณะของกลุ่มมัดหยาบเอียงขวา คือ มีการวิ่งของลายนิ้วจากทางด้านขวาที่บริเวณตรงกลางของนิ้วมือ จากนั้นจะวิ่งขึ้นไปด้านบนแล้วโค้ง และวิ่งกลับไปตามทางเดิมที่วิ่งมา เมื่อทำการสังเกตจะพบว่ามีลักษณะรูปแบบคล้ายกับมัดหยาบ และรูปแบบดังกล่าวจะมีการเอียงตัวไปทางด้านซ้าย เราจึงเรียกว่า “กลุ่มมัดหยาบเอียงซ้าย” ปกติจะมีสันคอนอยู่ทางด้านซ้ายของรูปแบบเช่นกัน



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของกลุ่มมัดหยาบเอียงซ้าย (Left Loop)

3.2.2.2 กลุ่มมัดหยาบคู่ (Double Loop)

เป็นกลุ่มของรูปแบบที่เกิดจากการรวมกันของกลุ่มมัดหยาบเดี่ยวสองกลุ่มรวมตัวกันเป็นรูปแบบเดียว โดยลักษณะการวิ่งของลายนิ้วอาจมาจากทางเดียวกันแล้วรวมตัวกันเป็นลักษณะของกลุ่มมัดหยาบเดี่ยวสองกลุ่ม โดยที่กลุ่มหนึ่งจะมีรูปแบบเป็นลักษณะของโค้งขึ้นและกลุ่มมัดหยาบ

อีกกลุ่มหนึ่งจะมีลักษณะโค้งลง เมื่อรวมกันเป็นกลุ่มมัดหยาบคู่รูปแบบดังกล่าวอาจมีการเอียงซ้ายหรือเอียงขวา



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะรูปแบบของกลุ่มมัดหยาบคู่ (Double Loop)

3.2.3 กลุ่มก้นหอย (Whorl)

ลักษณะการวิ่งของลายนิ้วมือมีรูปแบบเป็นลักษณะเส้นโค้งเป็นรูปวงกลมจากวงใหญ่ค่อยๆ เล็กลงไปเรื่อยๆ จนเหลือวงกลมวงเล็กที่สุด



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะรูปแบบของกลุ่มก้นหอย (Whorl)

3.2.4 กลุ่มซัซซัน (Accidental Whorl)

ลายนิ้วมือที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่จัดเข้าเป็นลายนิ้วมือชนิดใด โดยเฉพาะ ประกอบด้วย ลายนิ้วมือ 2 แบบมาผสมกัน และมีสันคอน 2 สันคอน หรือมากกว่า เช่นกรณีที่ไม่สามารถเข้ากับ ลายนิ้วมือกลุ่มที่กล่าวมาแล้วข้างต้นไม่ได้เลย โดยมีความยุ่งเหยิง และเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะรูปแบบกลุ่มซัซซัน (Accidental Whorl)

บทที่ 4

ทฤษฎีและหลักการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ

4.1 หลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ

4.1.1 หลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือโดยทั่วไป

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือของบุคคลโดยทั่วไปนั้น จะเริ่มด้วยการนำลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลแต่ละนิ้วมาหาจุดลักษณะเฉพาะที่สำคัญ

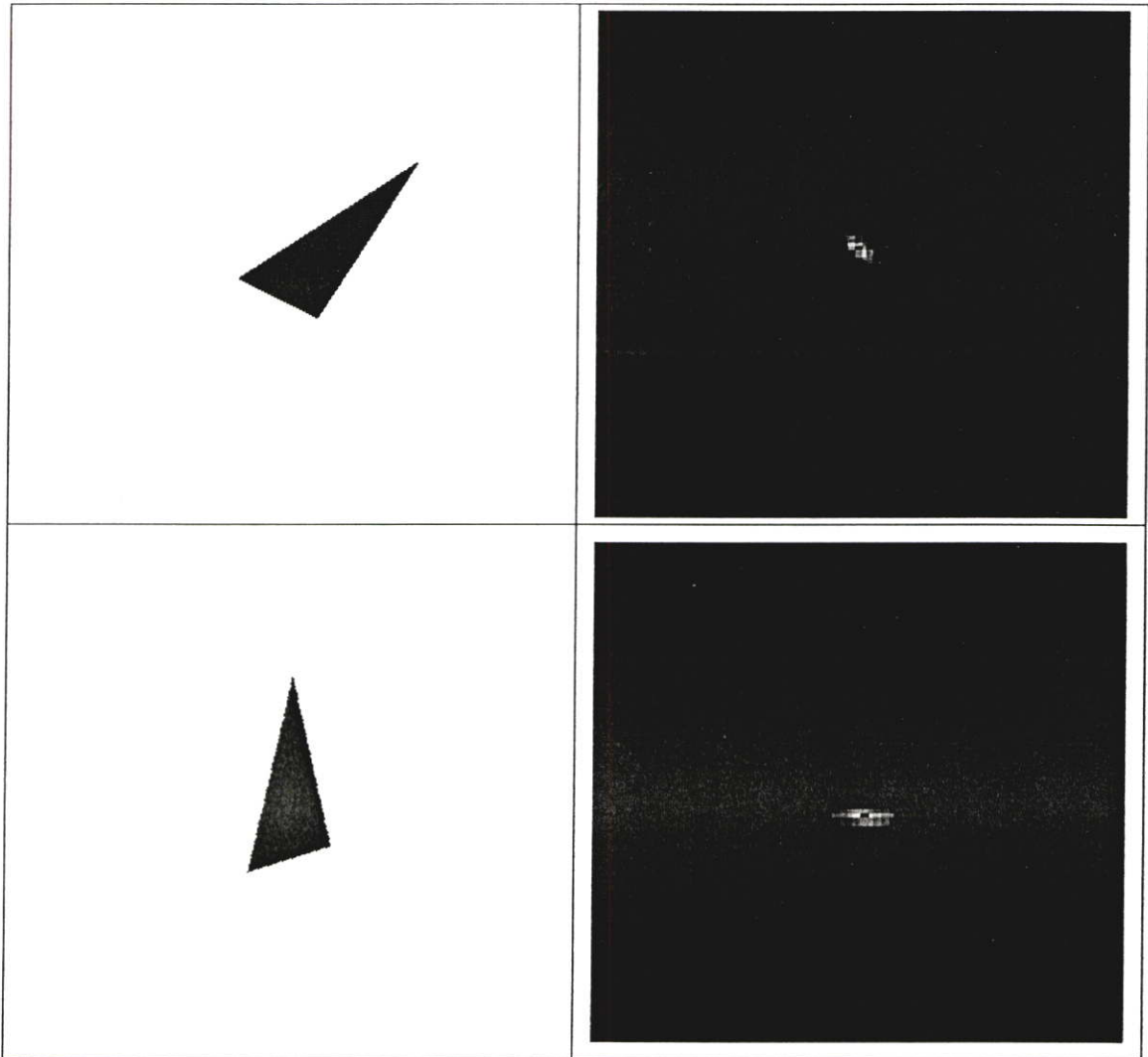
กระบวนการแรกเริ่มของการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือคือ การอ่านภาพลายนิ้วมือเข้ามาเก็บไว้ในฐานข้อมูล (Data base) โดยข้อมูลที่อ่านหรือสแกนเข้ามานั้นจะนำมาผ่านการประมวลผล (Processing) ก่อนแล้วจึงเก็บข้อมูลนั้นไว้เป็นต้นแบบหรือรหัสของผู้ใช้แต่ละคน

จากที่กล่าวมาแล้ว ก่อนที่จะนำลายนิ้วมือเข้าไปเก็บในฐานข้อมูลนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) และการประมวลผลภายหลัง (Postprocessing) ก่อน ในกระบวนการนี้จะทำให้ภาพที่ได้รับจากการสแกนเข้ามาเกิดความสมบูรณ์มากขึ้น เพราะเมื่อเครื่องสแกนได้รับการสแกนภาพเข้ามาแล้ว ภาพที่อ่านได้อาจไม่ชัดเจน พร่าเลือน ก็จะทำให้การประมวลผลในขั้นตอนถัดไปทำได้ด้วยความยากลำบากหรือทำไม่ได้ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้ก็อาจไม่ถูกต้องตามที่ควรจะเป็น เมื่อเกิดปัญหาเช่นนี้ในกระบวนการนี้จึงได้มีการกระทำหลายกระบวนการด้วยกัน สำหรับในบทนี้ จะกล่าวถึง การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือแบบไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (Directional Filter Bank) และ การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือแบบกาบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter)

4.2 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (Directional Filter Bank: AN APPLICATION FOR FINGERPRINT ENHANCEMENT)

ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB) ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดยนาย Bamberger และ Smith[3] ตั้งแต่นั้น ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB) ได้ถูกทำการพิสูจน์ถึงผลในกระบวนการภาพ (ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB) สามารถที่จะนำภาพต้นฉบับมาพิจารณาแยกส่วนในแต่ละทิศทางได้) และสามารถนำภาพที่มีกลับมารวมให้เป็นภาพที่สมบูรณ์ได้อีกครั้ง จากภาพโดยรวมนั้นจะมีจุดเด่นต่างๆอยู่มาก แต่เมื่อทำการแยกภาพออกมาในแต่ละทิศทางแล้วจุดเด่นที่พบในแต่ละทิศทางก็จะมีเป็นบางส่วนเท่านั้น หัวข้อนี้จะได้นำเสนอการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือด้วยวิธีไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB) เทคนิคนี้เหมาะสมมากสำหรับใช้ในการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือและมีเหตุผลอยู่สองข้อคือ หนึ่ง เทคนิคไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB) นี้สามารถใช้ได้ดีกับภาพที่ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนเช่นภาพลายนิ้วมือที่ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นพื้นหลังและส่วนที่เป็นตอนหน้าเท่านั้น เหตุผลอีกข้อ

คือภาพถ่ายนิ้วมือโดยธรรมชาตินั้นจะมีจุดเด่นที่สัมพันธ์กับทิศทางลายนิ้วมือ ซึ่งในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันระหว่างการหมุนในสเปซโดเมน (spatial-domain) กับการหมุนในโดเมนความถี่ (frequency-domain) ในพื้นฐานของการปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคไดเรกชันฟิลเตอร์แบงค์นี้ (DFB) ก็จะเริ่มจากการแยกภาพถ่ายนิ้วมือออกเป็นแปดทิศทางจากนั้นจึงใช้พื้นฐานในการปรับปรุงภาพเหล่านี้ก่อนที่จะทำการกลับคืนภาพถ่ายนิ้วมือให้เหมือนเดิม ในหัวข้อนี้เราได้กล่าวถึงหลักการของไดเรกชันฟิลเตอร์แบงค์นี้ (DFB)



รูปที่ 4.1 ความสอดคล้องของการหมุนในสเปซโดเมน (spatial-domain) และ โดเมนความถี่ (frequency-domain)

4.2.1 ไคเรชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB)

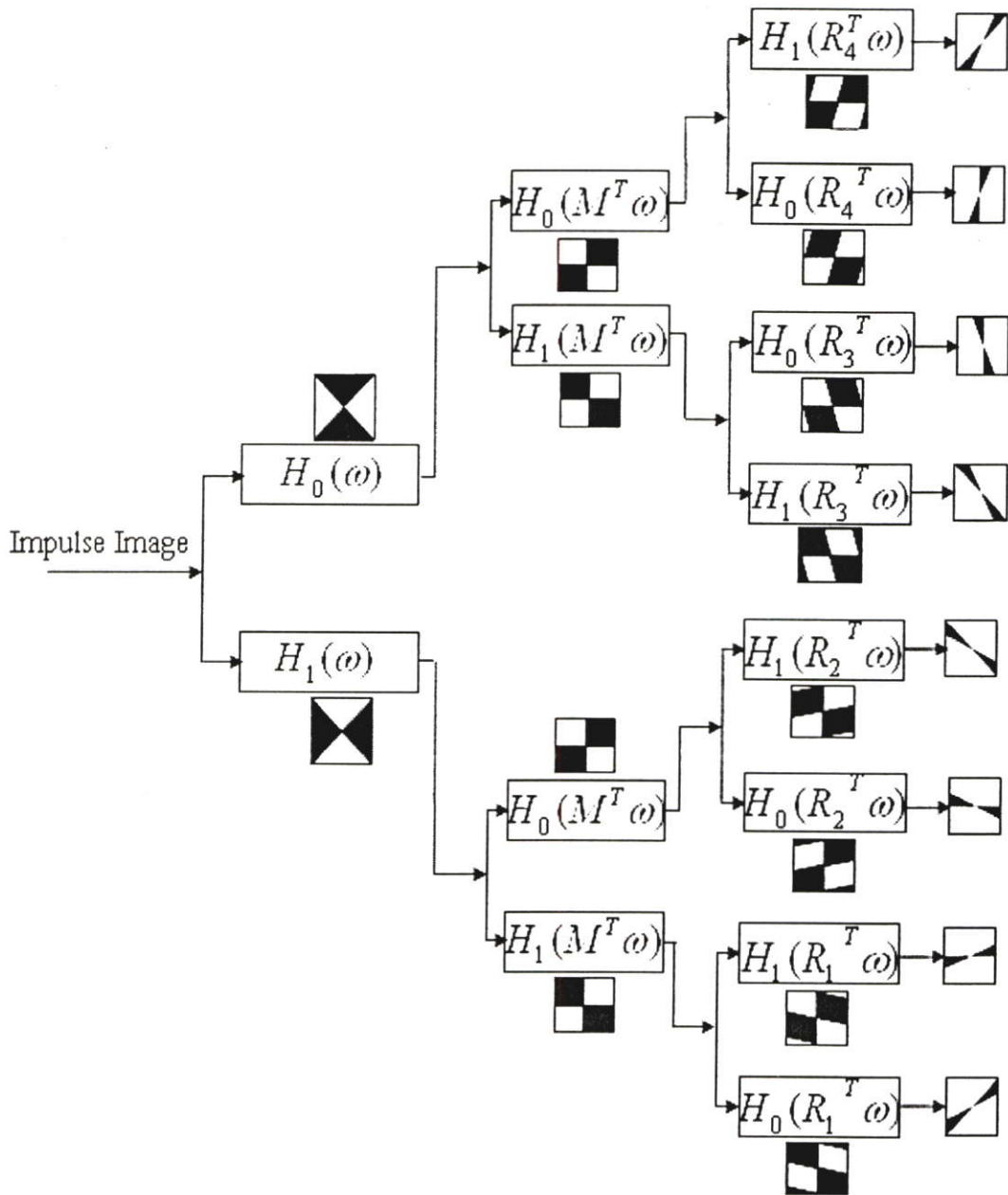
ในหัวข้อนี้เราได้กล่าวถึงหลักการของไคเรชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB) ซึ่ง DFB นั้นได้ผ่านการนำเสนอโดยนาย Bamberger และ Smith [3] นั่นคือการแยกย่านความถี่ 2D โดยใช้การฟิลเตอร์ออกจากรูปแบบความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นแปดแบนด์ซึ่งแสดงโครงสร้างในภาพที่สอง ส่วนประกอบพื้นฐานของ DFB นั้นจะประกอบด้วย fan filter จะมี $\mathbf{H}_0(\omega_1, \omega_2)$ และ $\mathbf{H}_1(\omega_1, \omega_2)$ ซึ่ง $\mathbf{H}_1(\omega_1, \omega_2)$ นี้จะถูกนำมาเข้ากระบวนการ quincunx down sampler $\mathbf{H}_0(M^T \omega)$ กำหนดให้ \mathbf{M} คือ

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

ผลของการ down sampled และการหมุนของ $\mathbf{H}_0(\omega_1, \omega_2)$ จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3 ส่วน diamond conversion matrices (\mathbf{R}) จะทำการเปลี่ยนฟิลเตอร์ $\mathbf{H}_0(\omega_1, \omega_2)$ โดยที่ \mathbf{R} นั้นมีคุณสมบัติของพาสแบนด์มีรูปร่างเหมือนกับสี่เหลี่ยมด้านขนานมีสี่แบบ $\mathbf{R}_i^1(\omega_1, \omega_2)$, $i = 1, 2, 3$ และ 4 แสดงในรูปที่ 4.4

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} & \mathbf{R}_2 &= \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{R}_3 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} & \mathbf{R}_4 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.2)$$

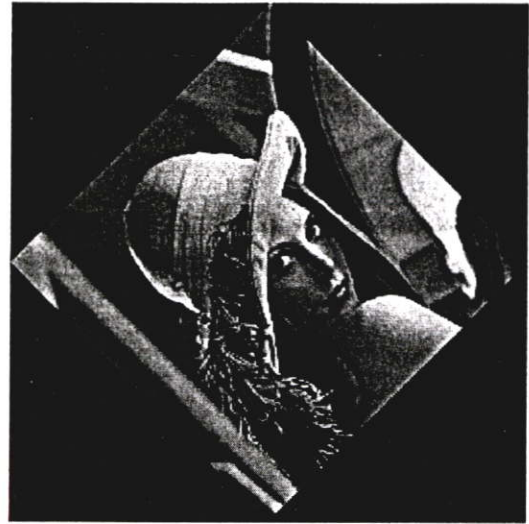
ในขั้นตอนแรกของไคเรชันฟิลเตอร์แบงก์ ภาพอินพุตจะถูกทำการฟิลเตอร์โดย $\mathbf{H}_0(\omega_1, \omega_2)$ และ $\mathbf{H}_1(\omega_1, \omega_2)$ ผลที่ได้ทั้งสองแบนด์จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3 ในส่วนที่สองนั้นจากสองแบนด์ที่ได้นั้นจะผ่านการแบ่งออกเป็นสี่แบนด์โดยทั้งสี่ส่วนนี้แต่ละส่วนมาจาก $\mathbf{H}_0(\omega_1, \omega_2)$ และ $\mathbf{H}_1(\omega_1, \omega_2)$ ผ่านการ quincunx และ down sample (M) ผลที่ได้จากส่วนที่สองนี้จะถูกส่งต่อไปยังในส่วนที่สามต่อมาในส่วนนี้จะมีกระบวนการที่คล้ายกับกระบวนการในส่วนที่สองแต่จะไม่มีการทำ quincunx และ down sample (M) คือจะเปลี่ยนหรือแทนที่ด้วย diamond conversion matrices (\mathbf{R}) ซึ่งเมทริกซ์ (\mathbf{R}) นี้จะถูกแบ่งออกเป็นแปดส่วนซึ่งในแต่ละส่วนนั้นจะมีทิศทางที่แตกต่างกันซึ่งทั้งแปดทิศทางนี้เราสามารถนำมาทำการกลับคืนให้เป็นภาพเหมือนเดิมได้ รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังไดอะแกรมของไคเรชันฟิลเตอร์แบงก์ (DFB)



รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังของ DFB

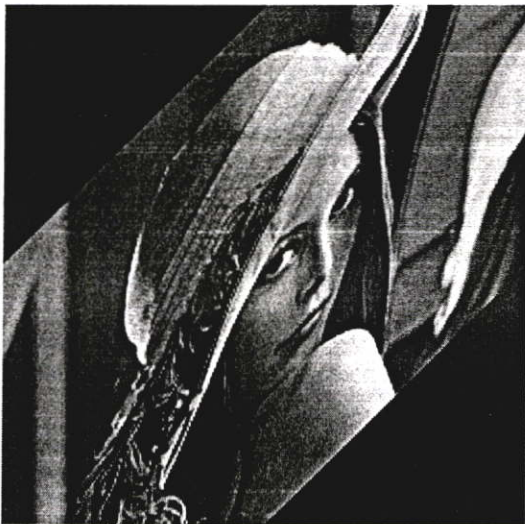


(a)



(b)

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างผลของการทำ quincunx down sampling ซึ่ง (a) คือภาพอินพุต และ (b) ได้ผ่านการทำ quincunx down sampling แล้ว

(a) $R^1_0(\omega)$ (b) $R^2_0(\omega)$

รูปที่ 4.4 ผลของภาพที่ได้ผ่าน Diamond-conversion matrices. เป็นพาสแบนด์มีสี่แบบ

(c) $R^3_0(\omega)$ (d) $R^4_0(\omega)$

รูปที่ 4.4 ผลของภาพที่ได้ผ่าน Diamond-conversion matrices. เป็นพาสแบนด์มีสี่แบบ(ต่อ)

4.2.1.1 การออกแบบฟิลเตอร์สองมิติที่เฟสมีค่าเป็นศูนย์ (2D Zero-Phase FIR Filter

Design)

ปัญหาของการออกแบบฟิลเตอร์สองมิตินั้นจะใช้พื้นฐานในการออกแบบของ $h(n_1, n_2)$ หรือ $H(\omega_1, \omega_2)$ เราจะมาทำการเจาะจงพิจารณาการออกแบบซึ่งการออกแบบฟิลเตอร์จะมีมาตรฐานหลักๆอยู่ที่แบบคือ วิธี window, frequency sampling, frequency transform และ optimal filter design โดยได้ทำการเลือกวิธี frequency transform ครอบคลุมการนี้จะดีกว่า window และ frequency sampling แม้ว่า optimal filter design จะให้ประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ดีกว่าแต่จะใช้งานคำนวณที่ยุ่งยาก ครอบคลุมการของการออกแบบจะใช้คุณสมบัติของ fan filter กับวิธี frequency transform ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

- ออกแบบฟิลเตอร์หนึ่งมิติ Zero - phase ที่มีความสมมาตร โดยอยู่ในช่วง $2N+1$

$$H(\omega) = \sum_{n=-N}^N h(n)e^{-j\omega n} = h(0) + \sum_{n=-N}^{-1} h(n)e^{-j\omega n} + \sum_{n=1}^N h(n)e^{-j\omega n}$$

$$= h(0) + \sum_{n=1}^N h(n)[e^{j\omega n} + e^{-j\omega n}]$$

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) \cos \omega n \quad (4.3)$$

โดยที่

$$a(n) = \begin{cases} h(0), & n = 0 \\ 2h(n), & 1 \leq n \leq N \end{cases} \quad (4.4)$$

แทน $\cos \omega n$ ลงในสมการที่ (4.3) ด้วย Chebyshev polynomial ดังนั้นจะได้

$$\cos \omega n = T_n(\cos \omega) \quad (4.5)$$

โดยที่

$$T_n(x) = n^{\text{th}} \text{ Chebyshev polynomial} \quad (4.6)$$

$$T_0(x) = 1 \quad (4.7)$$

$$T_1(x) = x \quad (4.8)$$

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x), -1 \leq x \leq 1 \quad (4.9)$$

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) \cos \omega n \quad (4.10)$$

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) T_n(\cos \omega) \quad (4.11)$$

จากคุณสมบัติของ

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A+B) + \frac{1}{2} \cos(A-B) \quad (4.12)$$

โดยกำหนดให้

$$A = \omega \text{ และ } B = (n-1)\omega \quad (4.13)$$

ดังนั้นจะได้

$$2 \cos \omega \cos(n-1)\omega = \cos n\omega + \cos(n-2)\omega \quad (4.14)$$

หรือ

$$\cos n\omega = 2 \cos \omega \cos(n-1)\omega + \cos(n-2)\omega \quad (4.15)$$

$$T_n(\cos \omega) = 2 \cos \omega T_{n-1}(\cos \omega) - T_{n-2}(\cos \omega) \quad (4.16)$$

$$T_n(x) = 2xT_{n-1}(x) - T_{n-2}(x) \quad (4.17)$$

-ใช้ McClellan transformation เราก็สามารถทำการหาฟิลเตอร์สองมิติที่มีเฟสเป็นศูนย์ (FIR filter) ถ้าเราทำการแทน $\cos \omega$ ลงในสมการที่ (4.11) ด้วย $F(\omega_1, \omega_2)$ ดังนั้นจะได้

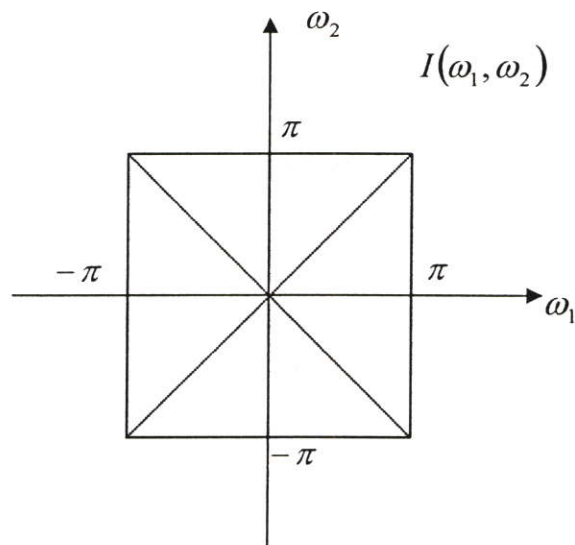
$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) \cos \omega n$$

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) T_n(\cos \omega)$$

$$H(\omega_1, \omega_2) = \sum_{n=0}^N a(n) T_n[F(\omega_1, \omega_2)] \quad (4.18)$$

โดยที่ $F(\omega_1, \omega_2)$ คือเม็พมิงฟังก์ชันและจะมีค่าเฟสเป็นศูนย์ (Zero-phase) และ $|F(\omega_1, \omega_2)| \leq 1$ หรือ $-1 \leq F(\omega_1, \omega_2) \leq 1$

จากที่ได้กล่าวมาสามารถนำมาทำการออกแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ได้ ในรูปที่ 4.5 คือรูปต้นแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ที่ต้องการทำการออกแบบโดยกำหนดให้แต่ละหนึ่งในสี่ (quadrant) มีความสมมาตรกัน



รูปที่ 4.5 รูปต้นแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ที่ต้องการทำการออกแบบ

ดังนั้น $F(\omega_1, \omega_2)$ จะได้

$$F(\omega_1, \omega_2) = \sum_{q=0}^Q \sum_{r=0}^R t_{qr} \cos(q\omega_1) \cos(r\omega_2) \quad (4.19)$$

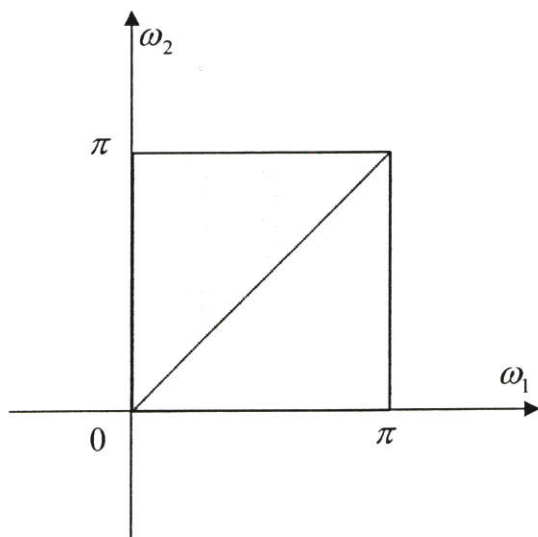
$$F(\omega_1, \omega_2) = t_{00} + t_{10} \cos \omega_1 + t_{01} \cos \omega_2 + t_{11} \cos \omega_1 \cos \omega_2 \quad (4.20)$$

เมื่อ

t_{qr} คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ที่ต้องการหา

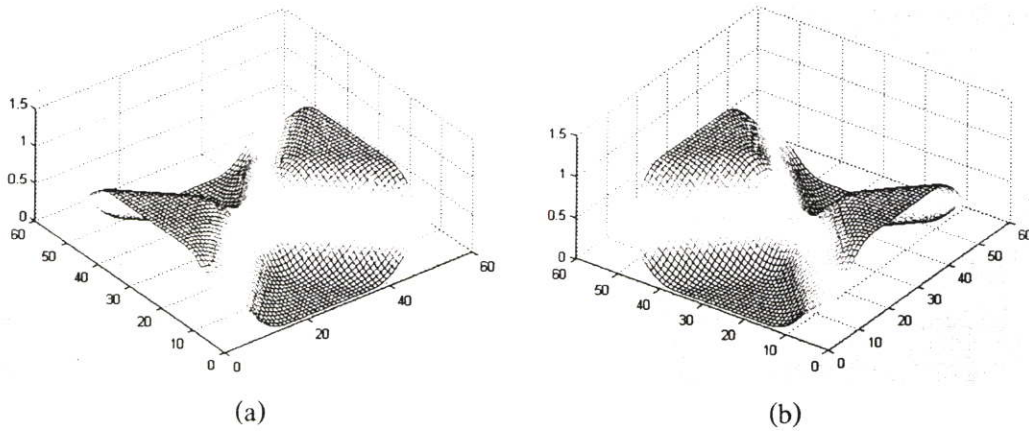
เนื่องจากฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ทั้งสี่ส่วนนั้นมีความสมมาตรกันจึงทำการเลือกพิจารณาเพียงแค่ส่วนเดียวเท่านั้น ดังนั้นจะได้ค่าแมบปิงฟังก์ชันของฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) คือ

$$F(\omega_1, \omega_2) = 0.5 \cos \omega_1 - 0.5 \cos \omega_2 \quad (4.21)$$



รูปที่ 4.6 รูปต้นแบบฟิลเตอร์แบบแฟน (Fan Filter) ส่วนที่หนึ่ง

$H_0(\omega_1, \omega_2)$ นั้นคือผลที่ได้จากการออกแบบนั้นจะแสดงให้ดูในรูปที่ 4.7 และ $H_1(\omega_1, \omega_2)$ นั้นคือผลที่ได้จากการออกแบบมาเช่นกัน



รูปที่ 4.7 แสดงผลการออกแบบฟิลเตอร์แบบเฟน (Fan Filter) (a) $H_0(\omega_1, \omega_2)$ และ (b) $H_1(\omega_1, \omega_2)$

4.2.1.2 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ

เมื่อทำการฟิลเตอร์ภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB ออกเป็นแปดแบนด์แล้วนั้นในขั้นตอนต่อมาจะเป็นการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือซึ่งมีขั้นตอนสองขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 ทำการกำจัดสิ่งรบกวน(noise)เริ่มจากการคำนวณหาบล็อกละดับล็อกในแต่ละทิศทางโดยใช้บล็อกพลังงาน(directional energy) ดังสมการ

$$E_k(X, Y) = \sum_{x=0}^{m_k} \sum_{y=0}^{n_k} |f_k(X, Y; x, y)| \quad (4.22)$$

เมื่อ

- f_k คือภาพทิศทาง
- X, Y คือทิศทางของบล็อกล็อก
- x, y คือพิกเซลของภาพแต่ละทิศทาง

$$I_k = \begin{cases} 0 & \text{if } E_k(X, Y) > T \\ f_k(X, Y; x, y) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.23)$$

ขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือและทำการกลับคืนภาพลายนิ้วมื่อดังสมการ

$$E_{\max}(x, y) = \max_{1 \leq k \leq 8} I_k(x, y) \quad (4.24)$$

จากสมการนั้นจะทำการเลือกผลที่ได้จากทั้งแปดแบนด์บนพื้นฐานพลังงานบนทิศทางที่มีค่าสูงสุด(maximum directional energy)

4.3 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์ (GABOR FILTER AN APPLICATION FOR FINGERPRINT ENHANCEMENT)

ขั้นตอนของการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือที่ใช้ในหัวข้อนี้จะประกอบด้วยส่วนของการประมวลผลเบื้องต้น(Preprocessing) และการประมวลผลภายหลัง (Postprocessing) คือ การทำ Normalization, การหาทิศทางภาพ (Orientation), การกรองสัญญาณ (Gabor Filter)

4.3.1 การประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing)

4.3.1.1 นอร์มัลไลเซชัน Normalization

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือที่ได้รับมาแต่ละภาพนั้น มีค่าเฉลี่ยของความสว่างของภาพไม่เท่ากัน เพื่อให้ทุกภาพมีค่าเฉลี่ยของระดับความสว่างของภาพที่เท่ากัน จึงต้องมีการนอร์มัลไลเซชันภาพเสียก่อนซึ่งภาพที่ได้จะง่ายต่อการฟิลเตอร์ภาพต่อไป

ให้ $I(i,j)$ แสดงถึงค่าระดับสีเทาที่กำหนดตำแหน่งพิกเซล(i,j) , M และ VAR แสดงถึงค่าเฉลี่ยโดยประมาณและการเปลี่ยนแปลงของ I และ $G(i,j)$ แสดงถึงค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่งพิกเซล (i,j) ซึ่งผ่านการนอร์มัลไลเซชันแล้วได้ดังต่อไปนี้

$$G(i, j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{VAR_0(I(i, j) - M)^2}{VAR}} & ,if \quad I(i, j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{VAR_0(I(i, j) - M)^2}{VAR}} & ,otherwise \end{cases} \quad (4.25)$$

โดย

$I(i, j)$	เป็นค่าระดับเทา (gray-level value) ที่พิกเซล (i, j)
M	เป็นค่า mean ของภาพ
VAR	เป็นค่า variance ของภาพ
$G(i, j)$	เป็นค่า normalized ที่พิกเซล (i, j)
M_0 และ VAR_0	เป็นค่า mean และค่า variance ที่ต้องการตามลำดับ

การนอร์มัลไลเซชันเป็นการกระทำในระดับพิกเซลซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงความชัดเจนของโครงสร้างเส้นนูนและร่องของภาพ



รูปที่ 4.8 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชันแล้ว a) รูปต้นแบบ และ b) รูปที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชันแล้ว

4.3.1.2 ภาพทิศทาง (Orientation Image)

การกำหนดทิศทางของภาพจะแสดงถึงลักษณะที่สำคัญของภาพลายนิ้วมือและการกำหนดค่าตำแหน่งที่คงที่สำหรับสันและร่องในบริเวณที่ใกล้เคียง โดยการพิจารณารายละเอียดของทิศทางของภาพลายนิ้วมือโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ทำการคำนวณค่าเกรเดียนท์ $\partial_x(i, j)$ และ $\partial_y(i, j)$ ของแต่ละพิกเซล (i, j) ซึ่งในรายงานนี้ได้ใช้วิธีการหาขอบภาพด้วยวิธีของSobel (Sobel Edge Detection) โดยการใช้หน้ากากขนาด 3×3 ไปทำการ convolution กับภาพของเรา ดังนี้

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Gx

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Gy

รูปที่ 4.9 หน้ากาก Sobel Convolution

2. ทำการประมาณทิศทางการกำหนดทิศทางบริเวณใกล้เคียงของแต่ละศูนย์กลางของแต่ละพิกเซล (i,j) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} 2\partial_x(u, v)\partial_y(u, v) \quad (4.26)$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{w}{2}}^{i+\frac{w}{2}} \sum_{v=j-\frac{w}{2}}^{j+\frac{w}{2}} (\partial_x^2(u, v)\partial_y^2(u, v)) \quad (4.27)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (4.28)$$

โดยที่ $\theta(i, j)$ เป็นค่าประมาณของทิศทางที่ใกล้เคียง ณ ตำแหน่ง (i,j)

3. เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นกับลายนิ้วมือได้แก่ โครงสร้างของเส้นนูนและร่องมีส่วนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น ลักษณะหลายอื่น ๆ ทำให้การประมาณทิศทางของสันบริเวณใกล้เคียง $\theta(i, j)$ ไม่ถูกต้องเสมอไป เนื่องจากการกำหนดทิศทางของสันบริเวณใกล้เคียงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ในบริเวณที่ใกล้เคียงโดยไม่มีจุดเด่นปรากฏขึ้น ฟิเลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถที่จะใช้ในการปรับปรุงทิศทางที่ไม่ถูกต้องของสันบริเวณใกล้เคียงได้ ในการใช้ฟิเลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านนั้น ภาพที่กำหนดทิศทางแล้วจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนกลับไปในรูปแบบของเวกเตอร์ที่ต่อเนื่อง ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

$$\phi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (4.29)$$

$$\phi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (4.30)$$

โดย ϕ_x เป็น vector field ในแกน x

ϕ_y เป็น vector field ในแกน y

ฟิเลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถเขียนได้ดังนี้

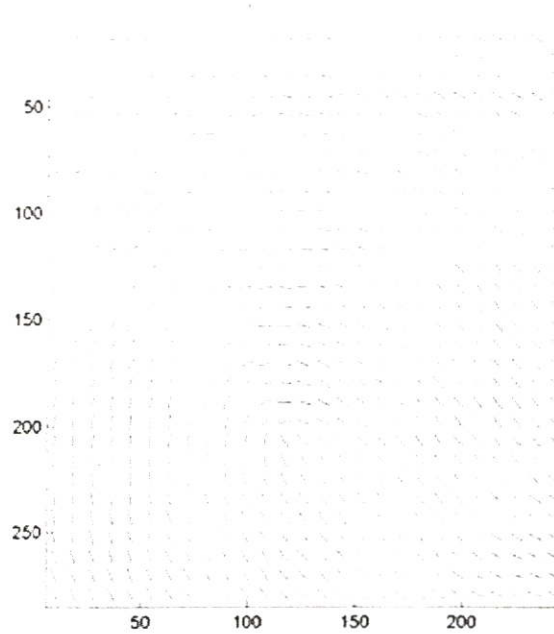
$$\Phi_z'(i, j) = \sum_{u=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} \sum_{v=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} W(u, v)\Phi_x(i-uw, j-vw) \quad (4.31)$$

$$\Phi_y'(i, j) = \sum_{u=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} \sum_{v=-w_\phi/2}^{w_\phi/2} W(u, v)\Phi_y(i-uw, j-vw) \quad (4.32)$$

โดย W คือ ฟิเลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านแบบ 2 มิติโคไซน์จำนวนเต็มและ $w_\phi \times w_\phi$ คือขนาดของฟิเลเตอร์เพื่อให้งานทำให้ภาพออกมาเรียบที่สุด ขนาดของฟิเลเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็น 5x5

4. คำนวณทิศทางของเส้นที่อยู่ใกล้กัน ณ ตำแหน่ง (i,j) โดยใช้

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan\left(\frac{\Phi_y(i, j)}{\Phi_x(i, j)}\right) \quad (4.33)$$



รูปที่ 4.10 แสดงภาพทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ

4.3.1.3 การกรองลดสัญญาณรบกวน (Filtering)

เพื่อที่จะเอาสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป และแสดงส่วนเส้นบนและร่องของเส้นลายนิ้วมือให้เด่นชัดขึ้น จึงทำการกรองภาพลายนิ้วมือให้ทิศทางที่แตกต่างกัน โดยการใช้ Gabor filter ซึ่งเป็นแบบคัพาสฟิลเตอร์ ซึ่งสามารถที่จะทำการเลือกหรือกำหนดคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางและความถี่ได้และมีความแน่นอนของการเชื่อมต่อที่ดีที่สุดในโดเมนของที่ว่างและความถี่ สำหรับภาพลายนิ้วมือที่มีร่องและสันที่ขนานกัน คุณสมบัติการปรับค่าของ Gabor filter สามารถที่จะเอาสัญญาณรบกวนออกได้ และรักษาโครงร่างของร่องและสันที่แท้จริงเอาไว้ และการแบ่งข้อมูลจะจำกัดทิศทางที่จำเพาะของภาพ โดย Gabor filter มีสมการดังนี้

$$h(x, y : \phi, f) = \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{x_\phi^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\phi^2}{\delta_y^2} \right]\right\} \cos(2\pi f x_\phi) \quad (4.34)$$

$$x_\phi = x \cos \phi + y \sin \phi \quad (4.35)$$

$$y_\phi = -x \sin \phi + y \cos \phi \quad (4.36)$$

โดยที่	ϕ	เป็นทิศทางของ Gabor filter
	f	เป็นความถี่ของระนาบคลื่น sine
	δ_x	เป็นค่าคงที่ของ Gaussian ตามแนวแกน x
	δ_y	เป็นค่าคงที่ของ Gaussian ตามแนวแกน y



รูปที่ 4.11 แสดงเส้นลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการกรองแล้ว

บทที่ 5

การประมวลผลหลัง (Post processing)

5.1 การตัดระดับเทรชโฮลด์ (Thresholding)

การตัดระดับเทรชโฮลด์ (Thresholding) เป็นวิธีการเช็กแมนเดชั่นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน เพื่อแยกส่วนที่เป็นวัตถุและพื้นหลังออกจากกัน มีวิธีการคือ นำจุดภาพใดๆ บนภาพต้นฉบับ $f(x, y)$ มาเปรียบเทียบกับค่าแบ่งระดับความเข้ม T หรือเรียกว่าค่า Threshold ถ้าจุดภาพต้นฉบับมีค่าความเข้มมากกว่าหรือเท่ากับค่าแบ่งระดับความเข้ม จะกำหนดให้ภาพผลลัพธ์ $f'(x, y)$ มีค่าเป็น '1' นอกจากนั้นจะให้ค่าเป็น '0' ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.1

$$f'(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{if } f(x, y) < T \end{cases} \quad (5.1)$$

โดยที่

$f'(x, y)$ คือ จุดภาพผลลัพธ์ชนิดความเข้มสองระดับ

T คือ ค่าเทรชโฮลด์

$f(x, y)$ คือ จุดภาพต้นฉบับ

ภาพความเข้มสองระดับจะให้ค่า '1' แทนวัตถุ หรือ เนื้อภาพ (Foreground) และให้ค่า '0' แทนส่วนที่เป็นพื้นหลัง (Background) เนื่องจากการแทนค่าความเข้มด้วยตัวเลขของภาพชนิดนี้ใช้เพียงสองค่าเท่านั้น จึงเรียกภาพชนิดนี้ว่า ภาพไบนารี (Binary Image) คุณภาพของภาพไบนารีขึ้นอยู่กับค่าเทรชโฮลด์ที่ใช้ ปกติการเลือกค่าเทรชโฮลด์จะได้อาจมาจากค่า ฮิสโตแกรมของภาพ (Histogram)

5.2 การทำให้บาง (Thinning)

การทำให้บาง (Thinning) คือการกระทำกับภาพโดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ (Morphology) เพื่อให้ภาพนั้นบางลงโดยไม่ขาดออกจากกัน การทำให้บางนั้นสามารถนิยามโดยเขียนในรูปแบบของ hit และ miss transform ได้ตามสมการที่ 5.2

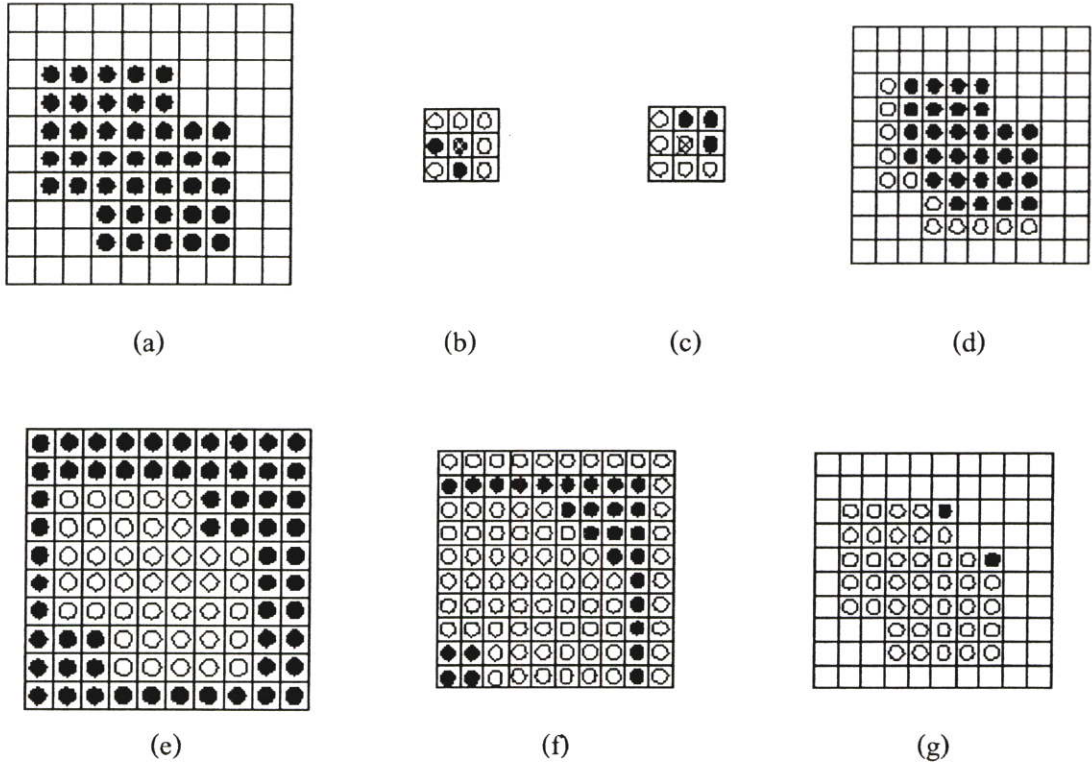
$$\begin{aligned} A \otimes B &= A - (A * B) \\ &= A \cap (A * B)^c \end{aligned} \quad (5.2)$$

โดยที่

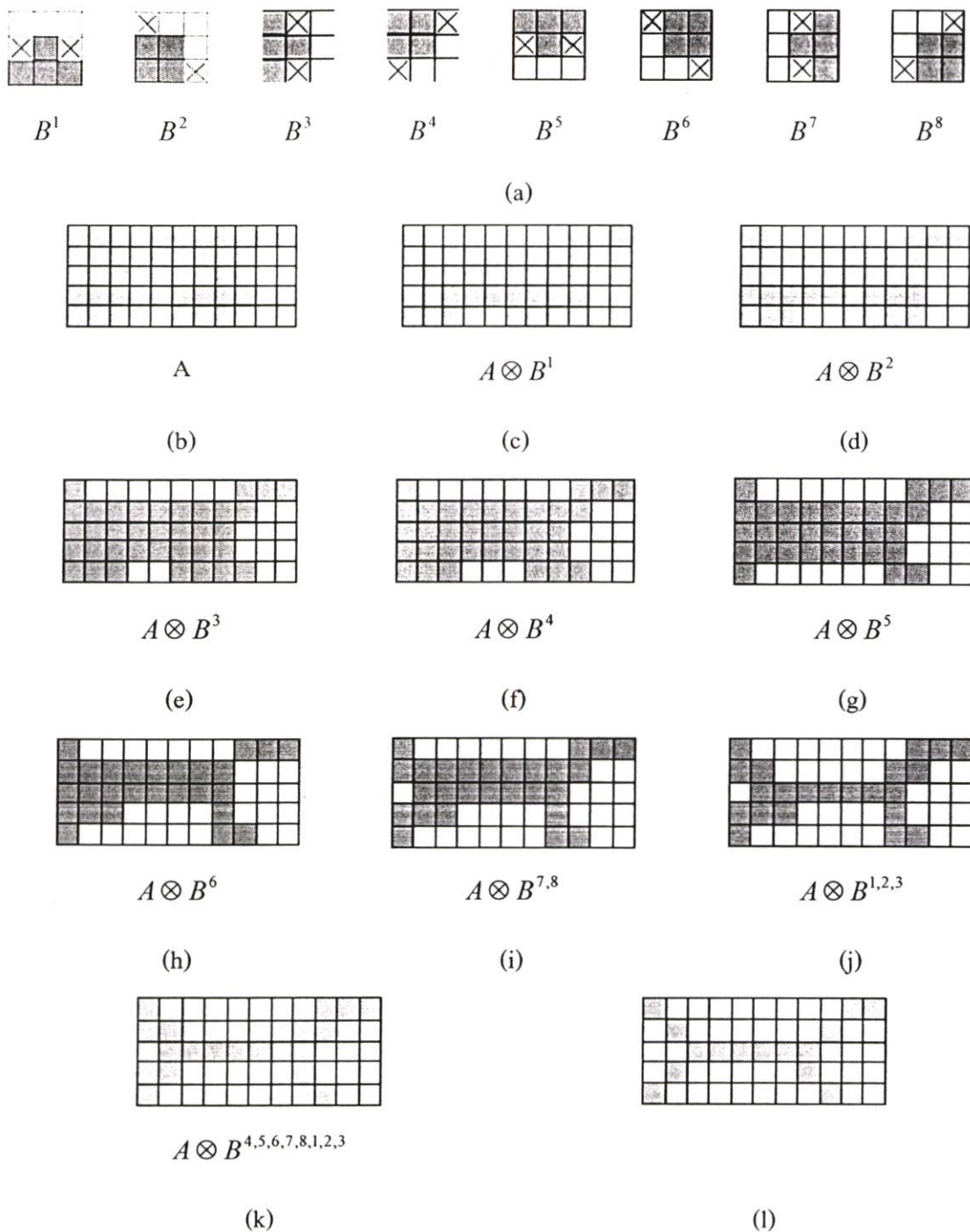
A คือ เซตของภาพที่นำมาทำให้บาง (Thinning)

B คือ เซตของเทมเพลตที่นำมาใช้

ซึ่ง hit และ miss transform คือการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ (Morphology) ที่ใช้ในการหาคำแหน่งของรูปภาพที่ต้องการ



รูปที่ 5.1 แสดงการหา hit and miss transform (a) ภาพต้นฉบับ(เซต A), (b) เทมเพลตที่ใช้หาคำแหน่งมุมด้านขวาบน, (c) เป็น complement ของ (b), (d) erosion ของ (a) ด้วย (b), (e) เป็น complement ของ (a), (f) ผลที่ได้จาก 'miss', (g) ผลที่ได้จาก hit and miss transform



รูปที่ 5.2 แสดงกระบวนการทำ thinning (a) ชุดของเทมเพลตที่ใช้ (b) ภาพต้นฉบับ(เซต A) (c) ผลจากการ thinning ด้วยเทมเพลต B^1 (d)-(i) ผลจากการ thinning ด้วยเทมเพลต $B^2 - B^8$ (j) ผลที่ได้เมื่อทำซ้ำเทมเพลต $B^1 - B^3$ อีกรอบ (k) ผลลัพธ์เมื่อเสร็จกระบวนการ (l) ผลลัพธ์สุดท้ายของการทำ thinning ภาพ A

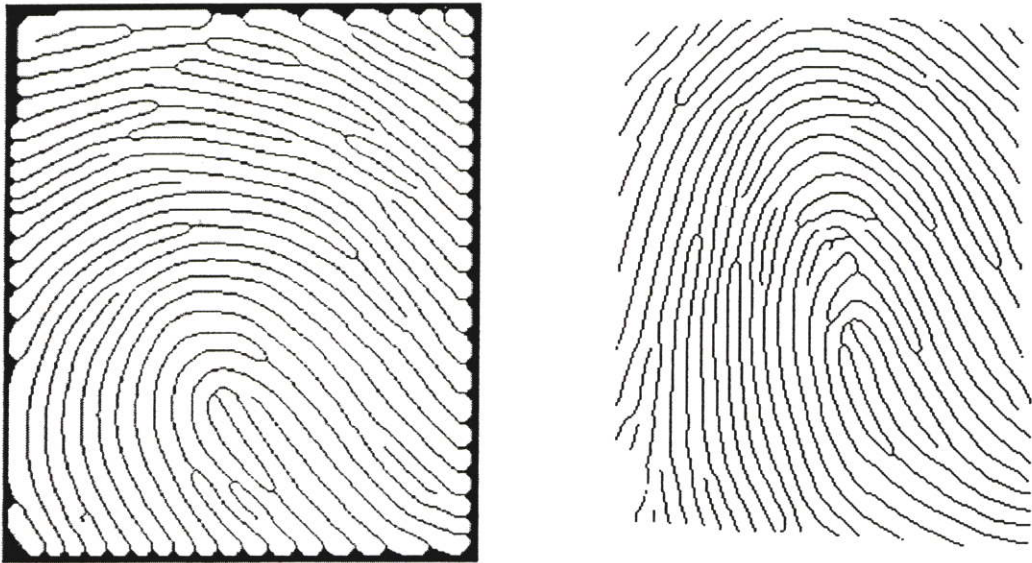
โดยทั่วไปแล้วการทำให้บาง (Thinning) แบบสมมาตรของภาพ A จะนิยมใช้ชุดของเทมเพลต

$$\{B\} = \{B^1, B^2, B^3, \dots, B^n\} \quad (5.3)$$

เมื่อ B^i ได้จากการหมุนเทมเพลต B^{i-1} จากแนวคิดนี้สามารถนิยามการทำให้บาง (Thinning) โดยใช้ชุดของเทมเพลต คือ

$$A \otimes \{B\} = (((((A \otimes B^1) \otimes B^2) \dots) \otimes B^n)) \quad (5.4)$$

สมการที่ 5.4 หมายถึง การทำภาพ A ให้บาง ในรอบแรกด้วยเทมเพลต B^1 จากนั้นผลที่ได้จะถูกทำให้บางด้วย เทมเพลต B^2 ทำต่อไปเรื่อยๆ จนถึง B^n และทำซ้ำจนกระทั่งภาพ A ที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง



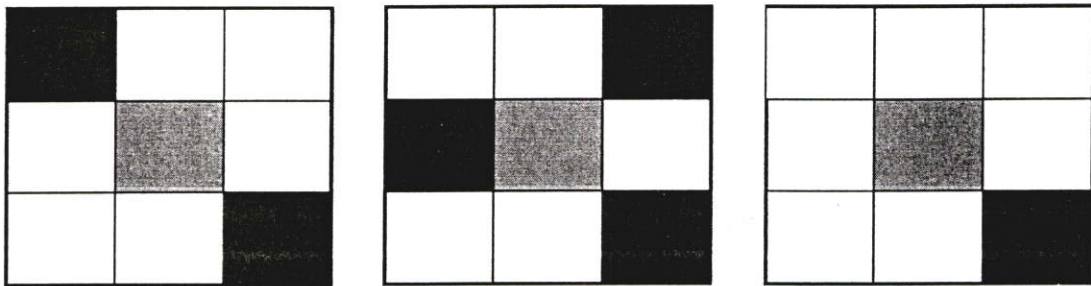
รูปที่ 5.3 แสดงภาพเส้นลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการทำเส้นลายนิ้วมือให้บางแล้ว

5.3 การหาลักษณะสำคัญของลายนิ้วมือ (Minutiae Extraction)

นำภาพที่ได้จากการ Thinning มาหาลักษณะสำคัญ (Minutiae) ตามสมการ

$$cn(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1..8} |val(p_{i \bmod 8}) - val(p_{i-1})| \quad (5.5)$$

ซึ่ง p_0, p_1, \dots, p_7 เป็นพิกเซลข้างเคียง 8 พิกเซล ของ p
 $Val(p)$ เป็นค่าของพิกเซล



a) $cn(p)=2$

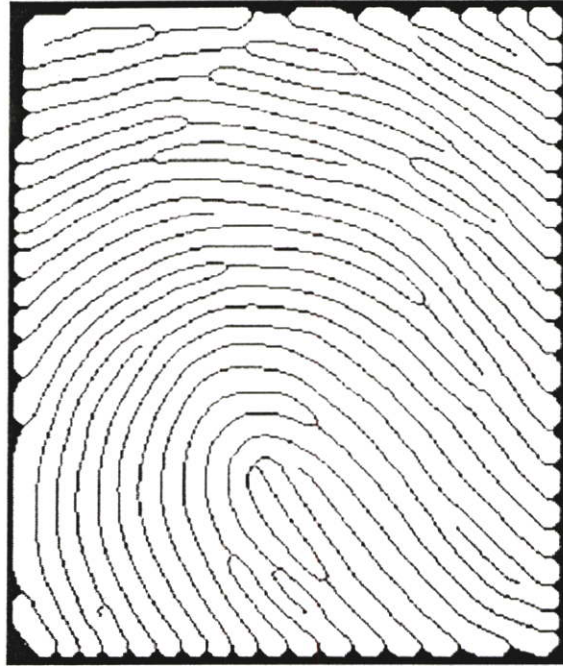
b) $cn(p)=3$

c) $cn(p)=1$

รูปที่ 5.4 หน้าต่างตัวอย่างที่ใช้หาจุดสำคัญ a) ทางผ่านของลายเส้นนูน, b) จุดแยกของลายเส้นนูน และ c) จุดปลายของลายเส้นนูน

ถ้า $cn(p) = 1$ จะถือว่าเป็นจุดปลายของลายเส้นนูน (Ridge endings)
 $cn(p) = 2$ จะถือว่าเป็นทางผ่านของลายเส้นนูน (Intra-Ridge)
 $cn(p) = 3$ จะถือว่าเป็นจุดแยกของลายเส้นนูน (Ridge bifurcations)

ในรูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างของการหาจุดสำคัญ (minutiae) จากภาพลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการต่างๆจนถึงการทำไบนารีและการทำให้บาง



รูปที่ 5.5 แสดงจุดสำคัญที่ได้จากภาพลายนิ้วมือ

5.4 การหารูปทรงสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ

กลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือที่ได้ทำการหาโดยผ่านกระบวนการต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถที่จะนำมาพิจารณาในการนำมาทำการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือได้ โดยจะเห็นว่าจุดเหล่านั้นจะกระจายกันอยู่บนระนาบและจะใช้จุดเหล่านั้นทำการหารูปทรงสามเหลี่ยม ซึ่งสามเหลี่ยมที่ได้สร้างขึ้นเหล่านี้จะใช้เป็นเครื่องมือและมีประสิทธิภาพมากในการจัดการกับกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะที่กระจัดกระจายกัน สามเหลี่ยมเหล่านี้สามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ คือสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจสอบลายนิ้วมือได้ โดยในการวิจัยนี้ได้นำกระบวนการของ DT (Delaunay Triangulation) มาทำการหารูปทรงสามเหลี่ยม

5.4.1 ขั้นตอนการสร้างรูปสามเหลี่ยมจากกลุ่มข้อมูลของจุดลักษณะเฉพาะโดยใช้ DT (Delaunay Triangulation Algorithm)

กระบวนการของ DT [4] ที่สร้างรูปทรงสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) ในรูปที่ 5.9 นั้นแสดงขั้นตอนการสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ และในรูปที่ 5.10 แสดงผลของการหาจากจุดลักษณะเฉพาะบนลายนิ้วมือ โดยที่กระบวนการที่ทำนั้นถูกออกเป็นสี่ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

ทำการคำนวณหารูปแบบของกริดจะเริ่มจากหาค่าต่ำสุด-สูงสุดของกรอบสี่เหลี่ยมจากกลุ่มข้อมูลที่มืออยู่จากนั้นทำการขยายกรอบของกลุ่มข้อมูล โดยทำการเพิ่มค่าออฟเซต คือค่า TOL

$$\begin{aligned}
 x_{\min} &= x_{\min} - TOL \\
 x_{\max} &= x_{\max} + TOL \\
 y_{\min} &= y_{\min} - TOL \\
 y_{\max} &= y_{\max} + TOL
 \end{aligned}
 \tag{5.6}$$

โดยที่

x_{\min} คือค่าของข้อมูลที่มีค่าต่ำสุดในทางแกน x

x_{\max} คือค่าของข้อมูลที่มีค่าสูงสุดในทางแกน x

y_{\min} คือค่าของข้อมูลที่มีค่าต่ำสุดในทางแกน y

y_{\max} คือค่าของข้อมูลที่มีค่าสูงสุดในทางแกน y

TOL คือค่าออฟเซทที่ต้องการ

ทำการคำนวณหาขนาดของกริด โดย

$$size = \sqrt{\frac{(x_{\max} - x_{\min}) (y_{\max} - y_{\min})}{n}}
 \tag{5.7}$$

$$x_{res} = \left\lceil \frac{x_{\max} - x_{\min}}{size} \right\rceil + 1
 \tag{5.8}$$

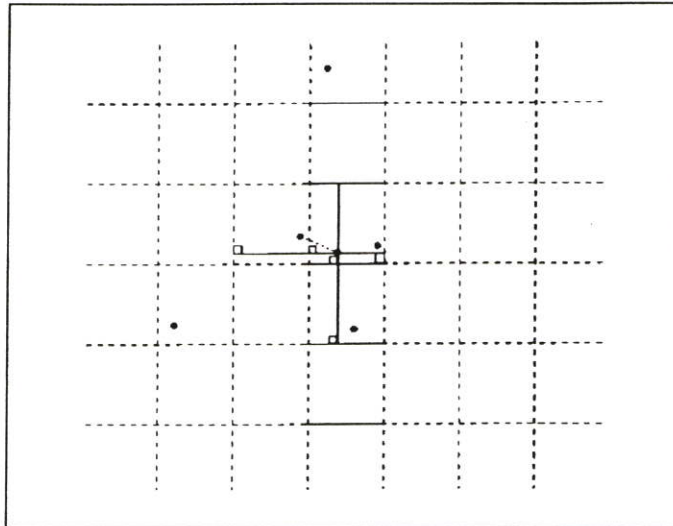
$$y_{res} = \left\lceil \frac{y_{\max} - y_{\min}}{size} \right\rceil + 1
 \tag{5.9}$$

โดยที่

n คือจำนวนของจุดข้อมูลที่มี

2. ทำการหาจุดเริ่มต้นและเส้นเริ่มต้น

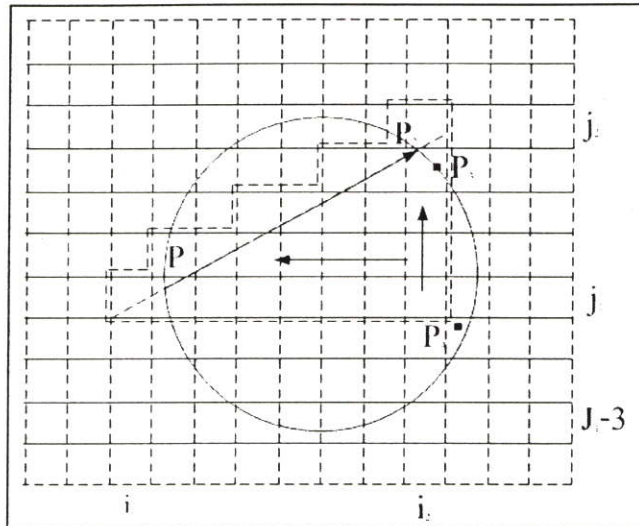
ทำการหาจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) ที่จะนำมาทำเป็นจุดเริ่มต้น โดยจะต้องทำการหาจากส่วนที่อยู่ตรงกลางของกริดหรือทำการหาจุดจากบริเวณนั้นต่อจากนั้นทำการหาจุดลักษณะเฉพาะจุดที่สองซึ่งจุดๆนี้จะต้องมีความใกล้ชิดหรือมีระยะใกล้กับจุดๆแรกมากที่สุดของจุดข้างเคียงที่อยู่ใกล้กับจุดเริ่มต้น ต่อจากนั้นทำการเชื่อมต่อดูจุดลักษณะเฉพาะจุดนี้เข้ากับจุดๆแรกดังรูปที่ 5.6 หลังจากได้ทำการเลือกจุดเริ่มต้น P_1 แล้วทำการหาเส้นเริ่มแรกโดยทำการหาจุดที่มีตำแหน่งใกล้ที่สุด P_2 ต่อมาทำการเชื่อมเส้น $\langle P_1, P_2 \rangle$ เพื่อใช้สำหรับสร้างสามเหลี่ยมเริ่มต้น



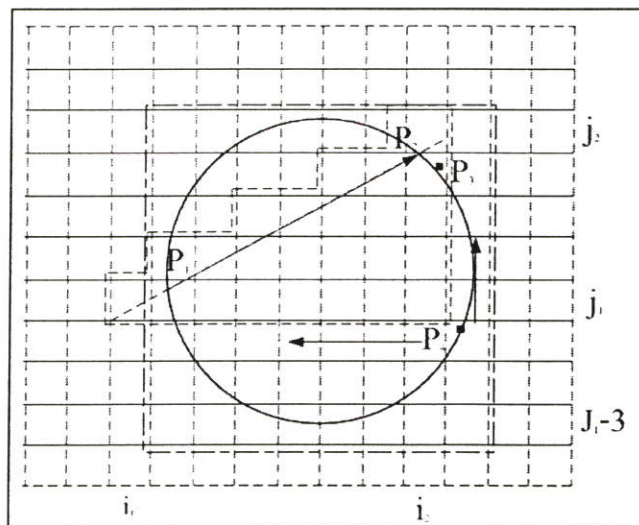
รูปที่ 5.6 แสดงการหาจุดเริ่มต้นของการสร้างสามเหลี่ยม

3. ทำการสร้างสามเหลี่ยม

กระบวนการต่อมาทำการค้นหาจุดทางด้านขวามือของ P_1, P_2 หาเซลล์จากตำแหน่ง (i_1, j_1) และ (i_2, j_2) ทั้งสองในเซลล์เหล่านี้สามารถมีจุดในด้านขวามือของ P_1, P_2 หาตำแหน่งเซลล์ที่ตัดผ่านเส้น i_1 ในทำนองเดียวกันหาตำแหน่งที่ตัดผ่าน j_2 ที่อยู่ทางขวามือของ P_2 ต่อมาทำการสร้างสามเหลี่ยมโดยมีพื้นที่ปกคลุมแต่ละเซลล์ของจุดจาก (i_1, j_1) , (i_2, j_1) และ (i_2, j_2) ดังแสดงในรูปที่ 5.7 ทำการเลือกเซลล์ทุกเซลล์ที่ P_1, P_2 ตัดผ่านหลังจากนั้นทำการตรวจสอบข้างในเซลล์แต่ละเซลล์หาจุดที่มีค่ามุมมากที่สุดที่สามารถเป็นไปได้ เมื่อได้ทำการหาจุดที่มีค่ามุมมากที่สุดพบแล้วนั้นทำการสร้างวงกลมที่กำหนดโดย P_1, P_2 แล้วทำการกำหนดค่าต่ำสุด-สูงสุดของกรอบสี่เหลี่ยมของวงกลมดังแสดงในรูปที่ 5.8 หาข้อมูลที่อยู่ข้างในแถวและหลักเมื่อเสร็จสิ้นให้ทำเหมือนกับกระบวนการที่ผ่านมาและจะหยุดทำการหาเมื่อไม่มีการพบข้อมูลข้างในแถวและหลักในกรอบ



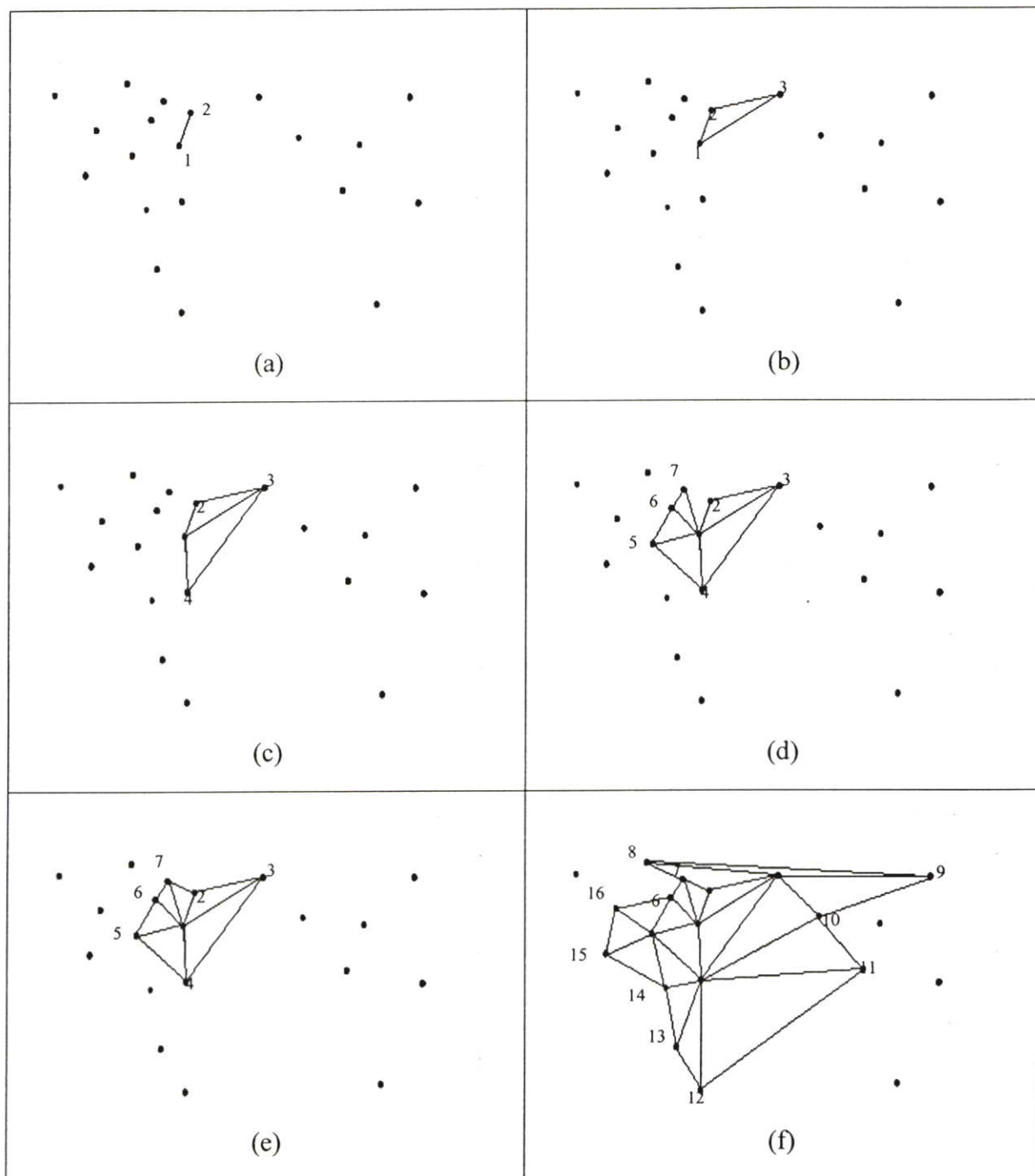
รูป 5.7 แสดงขั้นตอนการสร้างเส้นเริ่มต้นของสามเหลี่ยม



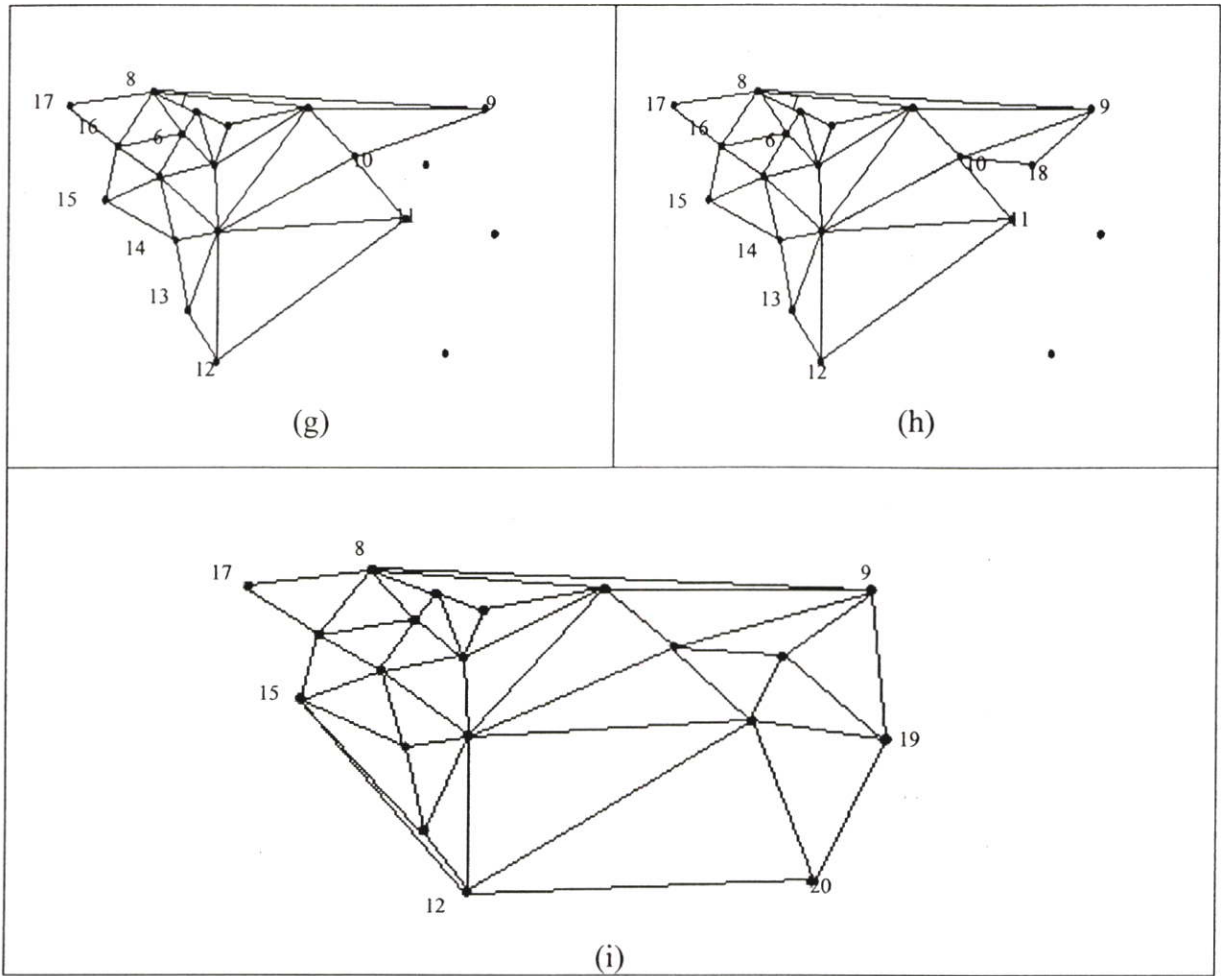
รูปที่ 5.8 แสดงการหาข้อมูลในเซลล์ที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม

4. ทำการวางสามเหลี่ยมเข้าด้วยกัน

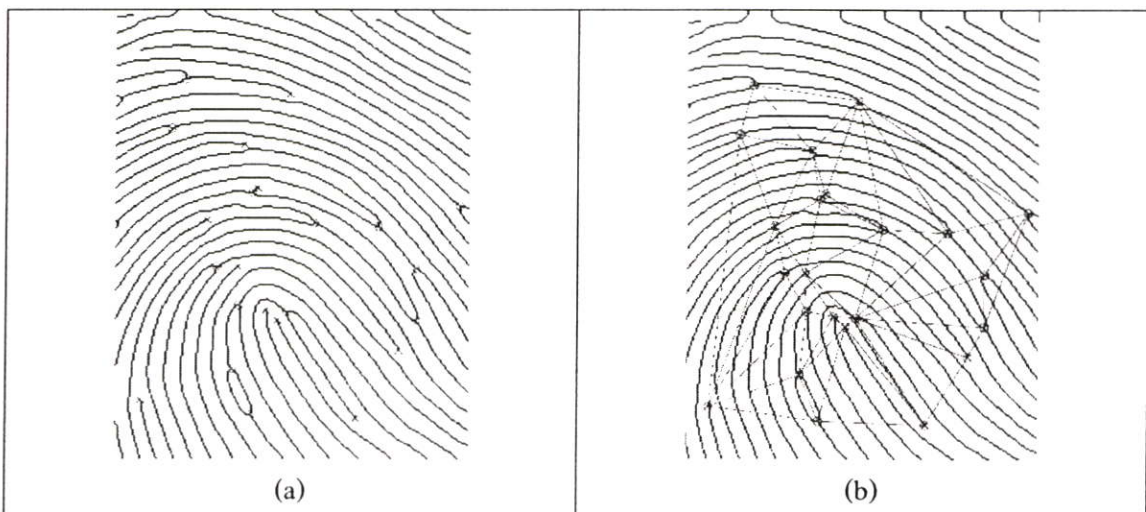
เมื่อทำตามกระบวนการต่างๆจนสร้างสามเหลี่ยมเรียบร้อยแล้วดังนั้นในการเชื่อมต่อสามเหลี่ยมจากกระบวนการทั้งหลายนั้นจะง่ายไม่ซับซ้อนจะไม่เกิดช่องว่างและการข้ามของจุดเกิดขึ้น ทำการตรวจสอบกระบวนการทุกๆกระบวนการที่ได้ดำเนินการไปว่าสามเหลี่ยมเหล่านั้นเรียบร้อยและถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนการสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ



รูปที่ 5.9 แสดงขั้นตอนการสร้างสามเหลี่ยมจากกลุ่มของจุดลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



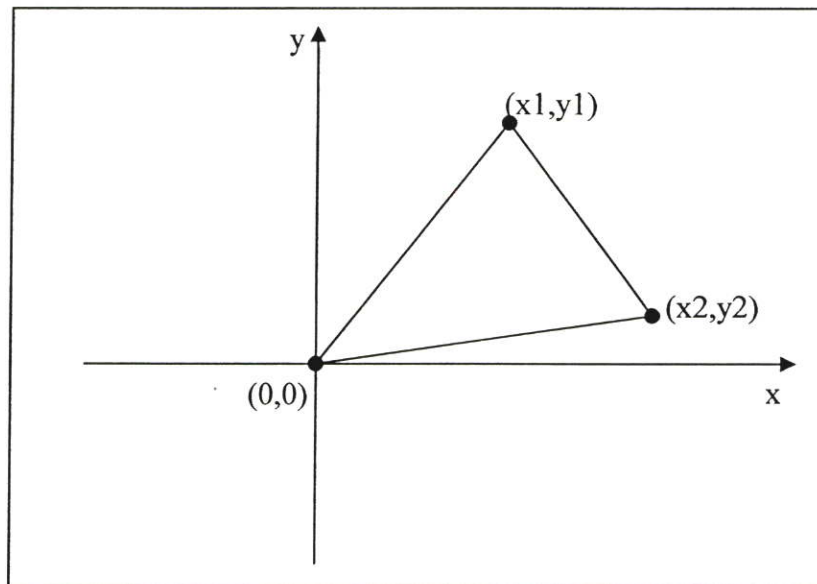
รูปที่ 5.10 แสดงผลของการหาจากจุดลักษณะเฉพาะบนลายนิ้วมือ a) แสดงจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ และ b) แสดงสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างจากจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ

5.5 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

หลังจากทำการนำภาพลายนิ้วมือมาเพื่อทำการปรับปรุงเพื่อให้ภาพลายนิ้วมือนั้นมีความสมบูรณ์ขึ้น เพื่อง่ายต่อการหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ ต่อจากนั้นทำการหาสามเหลี่ยมโดยใช้วิธีการของ DT ซึ่งในการวิจัยนี้จะใช้รูปทรงสามเหลี่ยมที่ทำการหามาได้นำมาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบลายนิ้วมือต่อไป

5.5.1 การหาพื้นที่สามเหลี่ยม

รูปทรงสามเหลี่ยมนั้นจะประกอบไปด้วยด้านทั้งสามด้านและจะมีมุมสามมุมซึ่งในการสร้างรูปทรงสามเหลี่ยมที่ผ่านมานั้นทุกๆสามเหลี่ยมจะถูกจุดสามจุดประกอบกันขึ้นมาต่อหนึ่งสามเหลี่ยมและในการหาพื้นที่นี้ จะนำจุดทั้งสามจุดในแต่ละสามเหลี่ยมมาหาพื้นที่สามเหลี่ยมแต่ละอัน โดยในการหานี้ต้องทำการเลื่อนจุดให้จุดใดจุดหนึ่งให้มาอยู่ที่จุดกำเนิด (origin) ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การหาพื้นที่สามเหลี่ยมจากจุดสามจุด

โดยที่

$$area = \frac{|\Delta|}{2} \quad (5.10)$$

จาก

$$\Delta = \begin{vmatrix} x1 & y1 \\ x2 & y2 \end{vmatrix} \quad (5.11)$$

$$\Delta = |(x1 * y1) - (x2 * y2)| \quad (5.12)$$

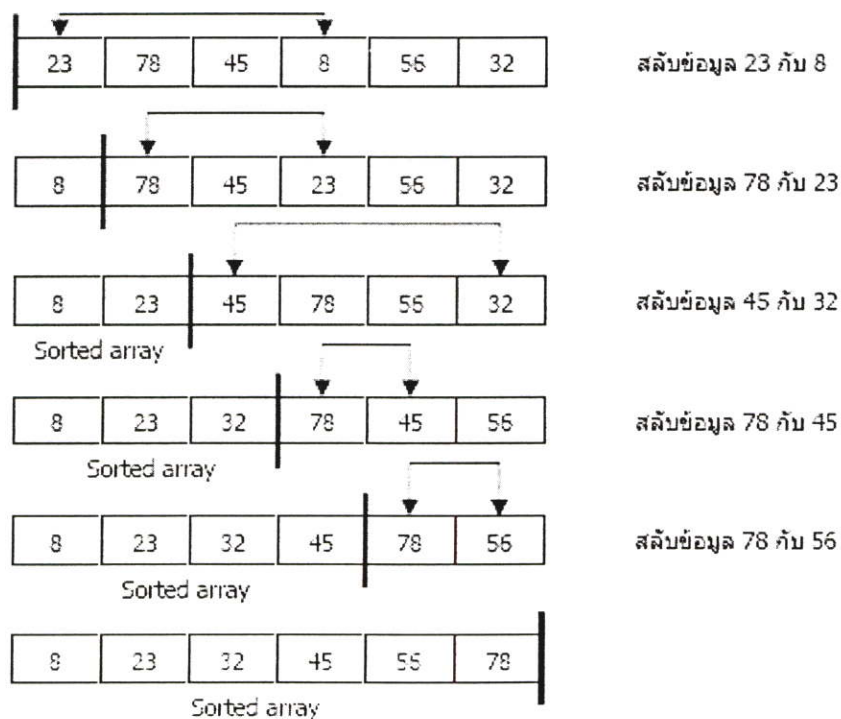
ในสมการที่(5.10) เป็นสมการหาพื้นที่สามเหลี่ยม โดยมีจุดใดจุดหนึ่งอยู่บนจุดกำเนิด

5.5.2 การเรียงลำดับของค่าตัวเลขแบบ (Selection Sort)

การทำงานของ selection sort เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลที่อยู่ซ้ายสุดในแถว กับข้อมูลทางด้านขวาที่เล็กที่สุดในแถว ซึ่งถ้ามีข้อมูลนี้อยู่ ก็สลับข้อมูลนี้กับข้อมูลตัวแรกสุด จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่เล็กที่สุดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว เมื่อได้แล้วเราก็เลื่อนไปทางขวาหนึ่งตำแหน่งและทำการเปรียบเทียบข้อมูล ณ ตำแหน่งนี้กับข้อมูลตัวที่เล็กที่สุดที่อยู่ในแถวทางด้านขวา ถ้ามีเราก็สลับตำแหน่ง ของข้อมูล ถ้าไม่มี แสดงว่าข้อมูลนี้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว เราจะทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะหมดข้อมูลในแถว โดยสามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

1. หาข้อมูลที่เล็กที่สุดทางด้านขวาของข้อมูลตัวแรก
2. สลับตำแหน่งของข้อมูลถ้าหาเจอ
3. เลื่อนไปทางขวาหนึ่งตำแหน่ง
4. ทำขั้นตอนทั้งสามจนกว่าจะหมดข้อมูลในแถว

ดังตัวอย่างภาพที่แสดงขั้นตอนที่เกิดขึ้นของการ sort ด้วยการ ใช้ selection sort



รูปที่ 5.12 ขั้นตอนการเรียงลำดับด้วย selection sort

จากรูปที่ 5.12 เราเริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบ 23 กับ ข้อมูลที่เล็กที่สุดทางขวา ซึ่งก็คือ 8 แล้วจึงสลับข้อมูลทั้งสอง เสร็จแล้วเราก็เลื่อนไปทางขวาหนึ่งตำแหน่ง เปรียบเทียบ 78 กับข้อมูลที่เล็กที่สุดทางขวาอีก ซึ่งก็คือ 23 สลับ ตำแหน่งของ 23 และ 78 เลื่อนไปทางขวาอีกหนึ่งตำแหน่ง เปรียบเทียบ 45 แล้วจึงสลับตำแหน่งของ 45 กับ 32 เราทำการเปรียบเทียบและสลับข้อมูลในลักษณะนี้ไปจนกระทั่งเราเสร็จสิ้นการสลับตำแหน่งของ 78 กับ 56 ซึ่งเป็นข้อมูลคู่สุดท้ายที่มีการสลับตำแหน่ง

5.5.3 การทำฐานข้อมูล (Template Database)

จากกระบวนการที่ผ่านมาเราจะได้ข้อมูลของพื้นที่สามเหลี่ยม ทำการจัดเรียงลำดับค่าน้อยไปมากดังรูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการเรียงค่าพื้นที่สามเหลี่ยมจากลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ (minutiae) การนำพื้นที่สามเหลี่ยมมาใช้เนื่องจากพื้นที่สามเหลี่ยมเป็นค่าที่ไม่ผันแปรแบบสัมพัทธ์ (Relative Invariance) ดังนั้นค่าที่ไม่ผันแปรสัมพัทธ์ของสามเหลี่ยมคั่นฉบับคือ

$$I = \Delta I \quad (5.13)$$

เมื่อ

I คือพารามิเตอร์สำหรับการแปลง

Δ คืออัตราส่วนระหว่างค่าที่ไม่ผันแปรแบบสัมพัทธ์

ค่าที่ไม่ผันแปรแบบสมบูรณ์ (Absolute Invariance) นั้นจะหาได้จากการกำจัดแฟกเตอร์ Δ ของค่าที่ไม่ผันแปรแบบสัมพัทธ์สองค่า เช่น

$$I_1 = \Delta I'_1 \quad (5.14)$$

$$I_2 = \Delta I'_2 \quad (5.15)$$

จะได้ค่าที่ไม่ผันแปรแบบสมบูรณ์เป็น

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I'_2}{I'_1} \quad (5.16)$$

โดยค่าอัตราส่วนที่ได้นี้สามารถนำมาตรวจสอบได้ว่าเป็นสามเหลี่ยมซุดเดียวกันหรือไม่

162.5	32	46	672.5	-----	80	92	380	144
(a) ข้อมูลพื้นที่สามเหลี่ยมที่ต้องการทำการเรียงลำดับ								
32	46	64	78	-----	1266.5	1503	1725	3221
(b) การเรียงลำดับพื้นที่สามเหลี่ยมจากน้อยไปมาก								

รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการเรียงลำดับพื้นที่สามเหลี่ยม

เมื่อได้ทำการเรียงลำดับค่าพื้นที่สามเหลี่ยมจากน้อยไปมากเรียบร้อยแล้วนำค่าที่ได้มาทำการหาอัตราส่วนดังแสดงในรูปที่ 5.14 ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็ค่าที่นำไปเปรียบเทียบตรวจสอบกับค่าอินพุทอื่นอันอื่นว่าใช่หลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่

Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	-----	Y_{m-1}	Y_m
-------	-------	-------	-------	-------	-----------	-------

รูปที่ 5.14 จำนวนลำดับที่เรียงจากน้อยไปมาก

คังนั้นจะได

$$X_1 = \frac{Y_2}{Y_1} \tag{5.17}$$

$$X_2 = \frac{Y_3}{Y_2} \tag{5.18}$$

$$X_3 = \frac{Y_4}{Y_3} \tag{5.19}$$

ทำการหาไปจนถึง

$$X_n = \frac{Y_{n+1}}{Y_n} \tag{5.20}$$

โดยที่สมการที่(5.20) เป็นสมการที่ใช้ทำการหาอัตราส่วนของพื้นที่สามเหลี่ยม

32	46	64	78	-----	1266.5	1503	1725	3221
(a)								
0.69565	0.71875	0.82051	0.975	-----	0.8713	0.53555		
(b)								

รูปที่ 5.15 แสดงอัตราส่วนที่หาได้จากพื้นที่สามเหลี่ยม (a) อินพุต(พื้นที่สามเหลี่ยม) และ (b) ผลที่ได้จากการหาอัตราส่วนของอินพุต

5.6 การเปรียบเทียบหรือการตรวจสอบลายนิ้วมือ

นำค่าเทมเพลต (Template) กับอินพุต (Input) ที่ได้ทำการเตรียมไว้แล้วมาทำการหาค่าความผิดพลาดโดยที่ค่าความผิดพลาดนั้นจะต้องมีการตั้งระดับเทรชโฮลด์ไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าความผิดพลาดโดยจะมีขั้นตอนการตรวจสอบดังนี้

1. ทำการหาค่าความผิดพลาดระหว่างค่าอัตราส่วนของเทมเพลต (Template) กับอัตราส่วนของอินพุต (Input) ที่นำมาเปรียบเทียบคือ

$$error = \left(\frac{ratio_T - ratio_I}{ratio_T} \right) \times 100\% \quad (5.21)$$

โดยที่

$ratio_T$ คืออัตราส่วนของเทมเพลต

$ratio_I$ คืออัตราส่วนของอินพุต

โดยจะต้องทำการหาค่าความผิดพลาดของทั้งหมด

2. ทำการตั้งระดับค่าความผิดพลาดเพื่อทำการตรวจสอบหาค่าความผิดพลาดที่ได้ในแต่ละตำแหน่งว่ายอมรับได้หรือไม่ ต้องทำการตรวจสอบทีละตำแหน่ง

3. หาความยาวของตำแหน่งของค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้และติดกันมากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่กำหนดไว้ ต่อจากนั้นทำการนำค่าผิดพลาดในช่วงนั้นมาทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาด

4. เมื่อทำขั้นตอนทั้งสามเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้นจะต้องทำการเลื่อนตำแหน่งของค่าอัตราส่วนของอินพุตหรือทำการหมุนวนแล้วทำตามขั้นตอนที่ผ่านมา จะหยุดก็ต่อเมื่อตำแหน่งที่เลื่อนหรือหมุนวนไปนั้นกลับมามีค่าที่ตำแหน่งเดิม

5. นำค่าความยาวของทั้งหมดที่ได้มานำมาหาค่าความยาวที่มากที่สุดพร้อมกับนำค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในช่วงนั้นมาทำการตรวจสอบว่าใช่หรือไม่ใช่ดังสมการ

$$m = \begin{cases} \text{yes}, & \text{error_long} \geq T_l \ \& \ \text{error_mean} < T_e \\ \text{no}, & \text{error_long} < T_l \end{cases} \quad (5.22)$$

เมื่อ

error_long	คือค่าความยาวของค่าความผิดพลาดของอัตราส่วนพื้นที่ ที่ยอมรับได้ติดต่อกันมากที่สุด
error_mean	คือค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจาก error_long
T_l	คือค่าเทรชโฮลด์ของค่าความยาวของอัตราส่วน
T_e	คือค่าเทรชโฮลด์ของค่าความผิดพลาดเฉลี่ย

บทที่ 6

ผลการทดลอง

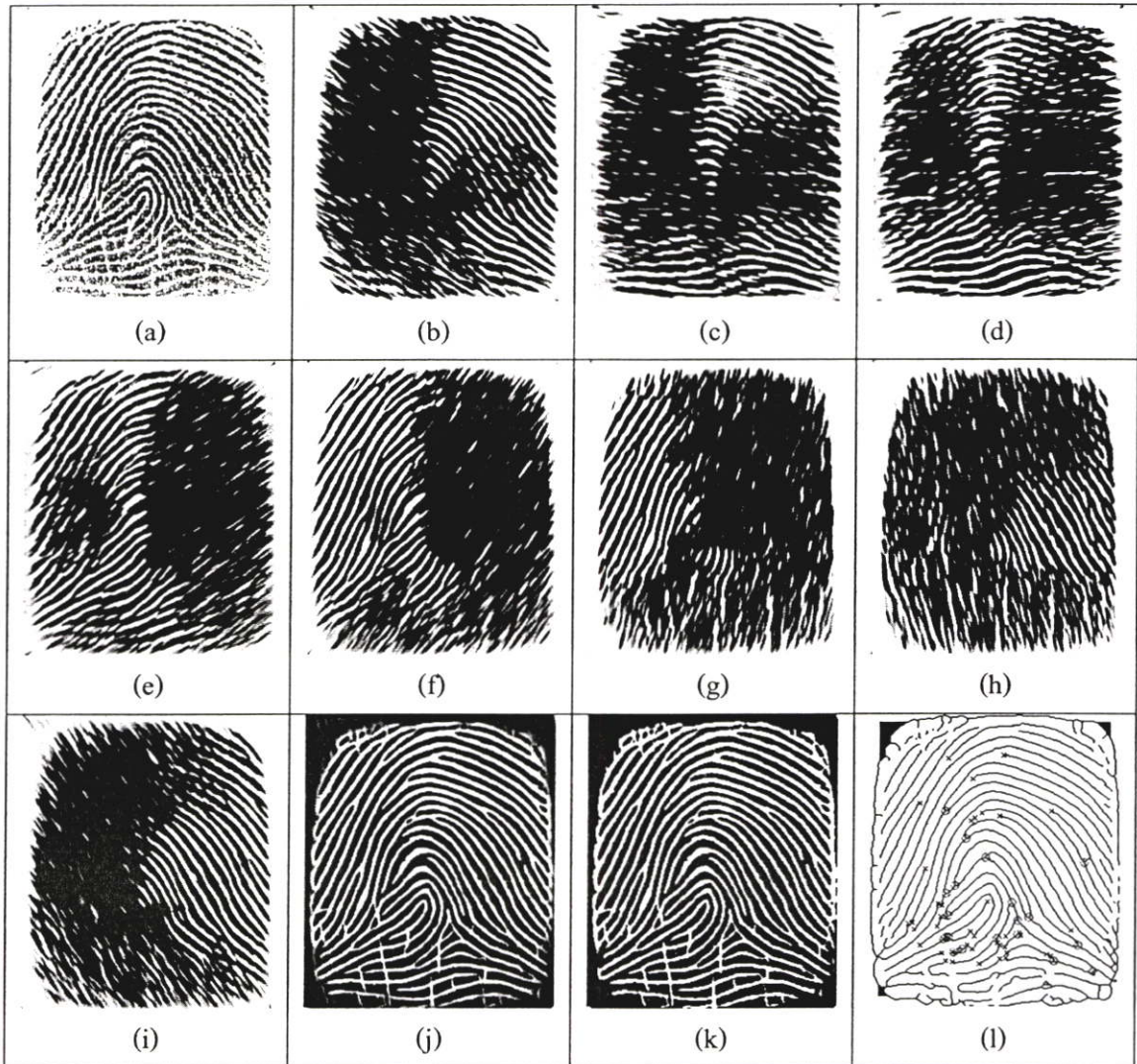
6.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาและทดสอบเทคนิคและอัลกอริทึมต่างๆ ดังที่กล่าวมาในบทที่ 4 ถึงบทที่ 5 โดยใช้โปรแกรม Matlab version 6.1 โดยทดลองกับภาพลายนิ้วมือ (ภาพระดับสีเทา) การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ 1. การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือการหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ ซึ่งจะทำการทดลองปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์(DFB) และการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ โดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์โดยการปรับปรุงของกาบอร์นี้แบ่งย่อยออกเป็นการทำนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ การหาภาพทิศทางของภาพลายนิ้วมือ การปรับปรุงของภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์ การทำให้บาง การหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ และการหาสามเหลี่ยมจากจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ 2. การตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ

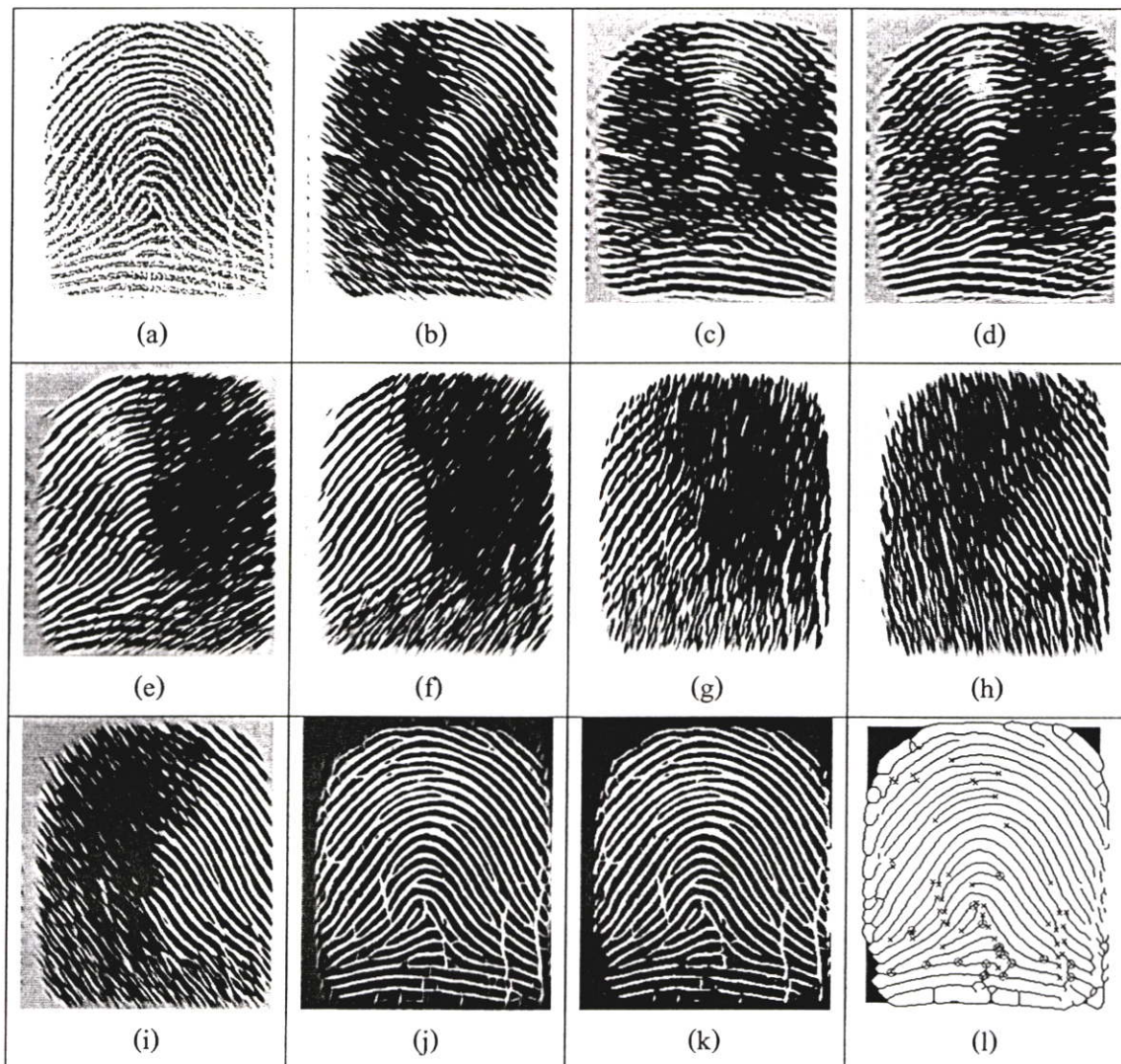
6.2 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์และการหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ

การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือนี้จะเริ่มจากการนำภาพลายนิ้วมือมาทำการฟิลเตอร์โดยภาพลายนิ้วมือนั้นจะถูกทำการแยกออกเป็นแปดส่วนหรือแปดทิศทาง โดยจะทำการพิจารณาหรือทำการปรับปรุงทีละส่วนทำการปรับปรุงโดยใช้ฟิลเตอร์พื้นฐานคือเกาส์เซียนฟิลเตอร์และทำการนอร์มัลไลเซชันผลที่ได้หลังจากนั้นนำภาพที่ถูกทำการปรับปรุงแล้วทั้งแปดส่วนกลับมารวมให้เป็นภาพที่สมบูรณ์ ทำไบนารี ทำให้บาง(thinning) และทำกาหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ(minutiae)

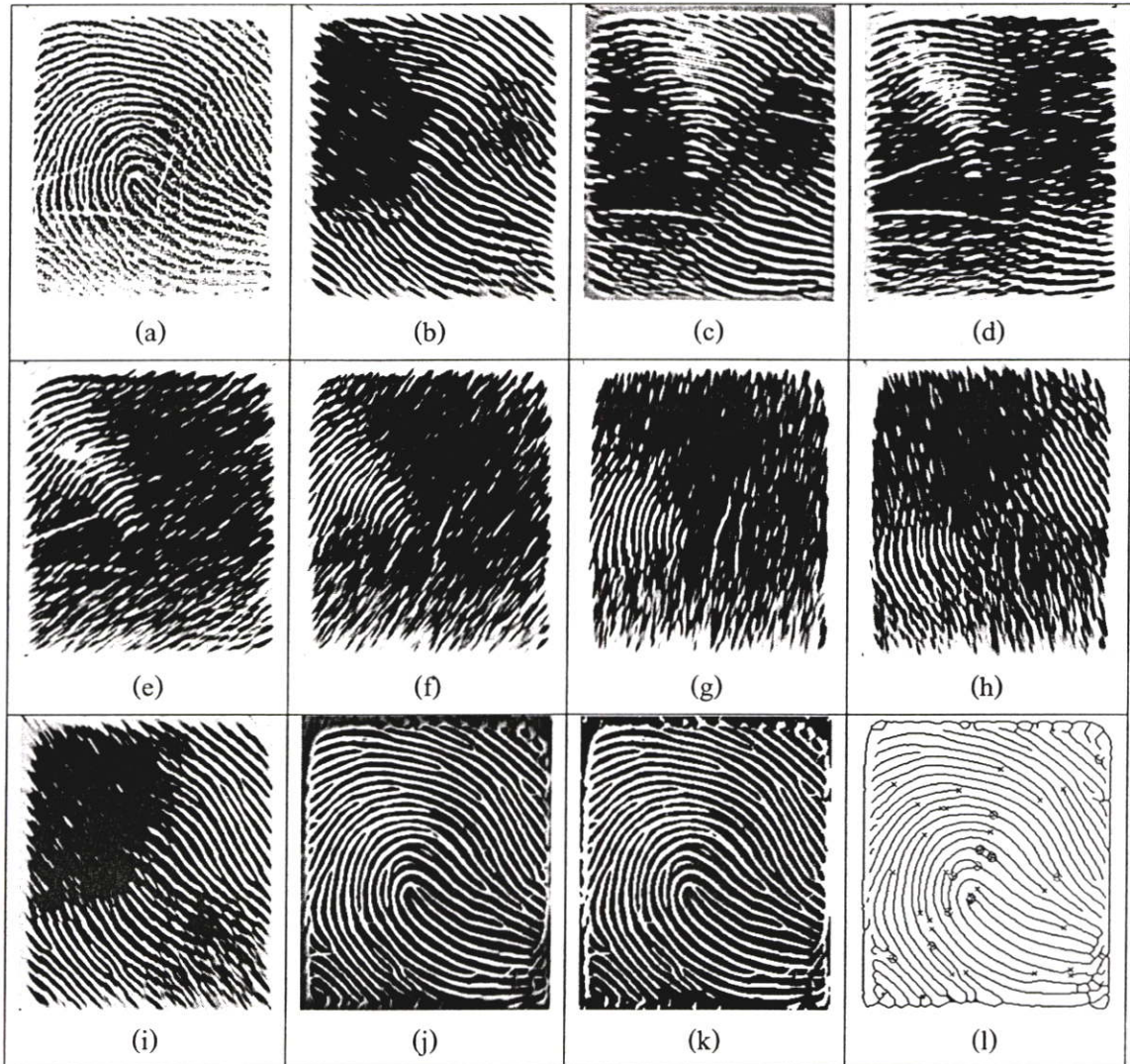
ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุท, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ



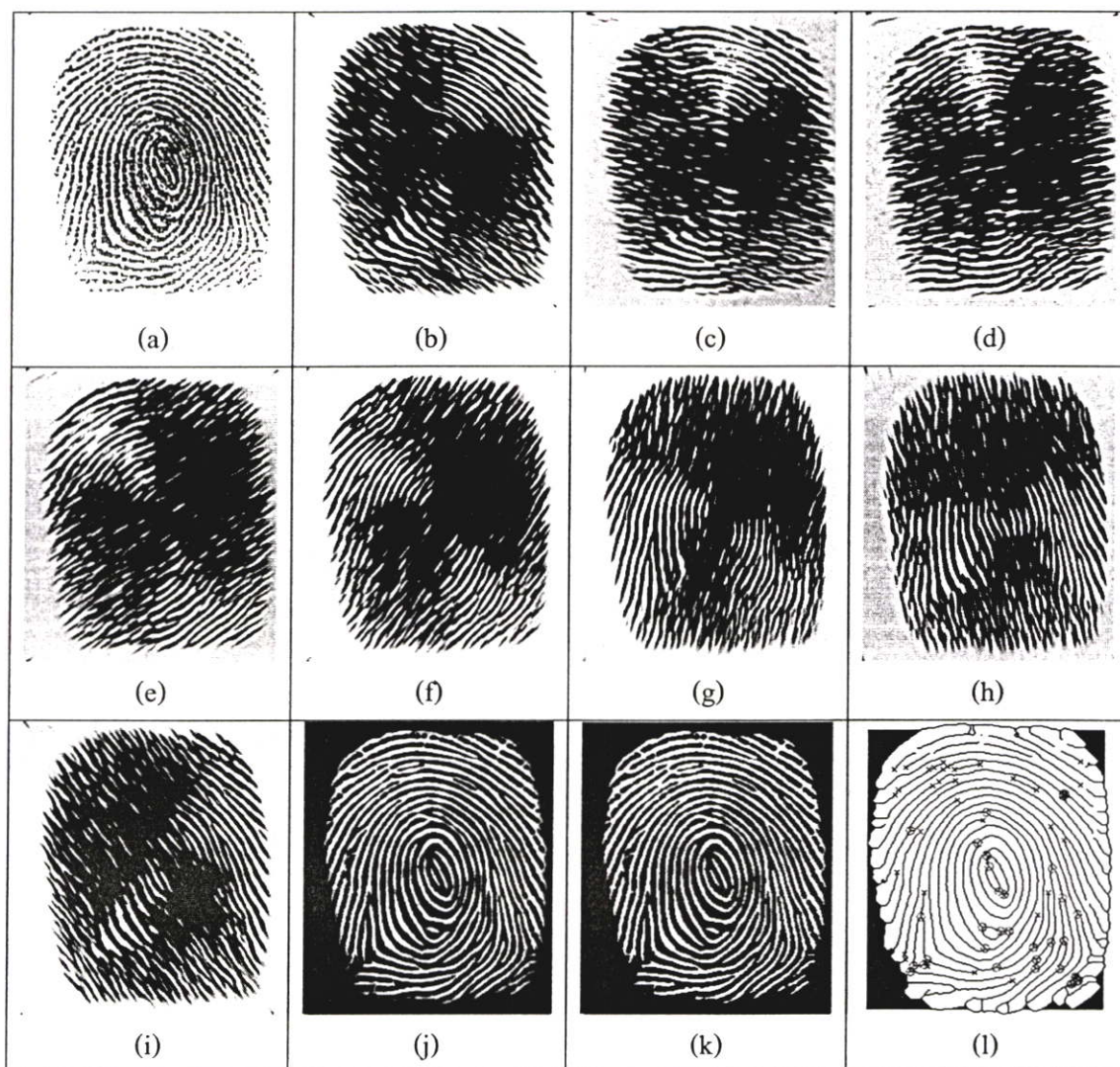
ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุต, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



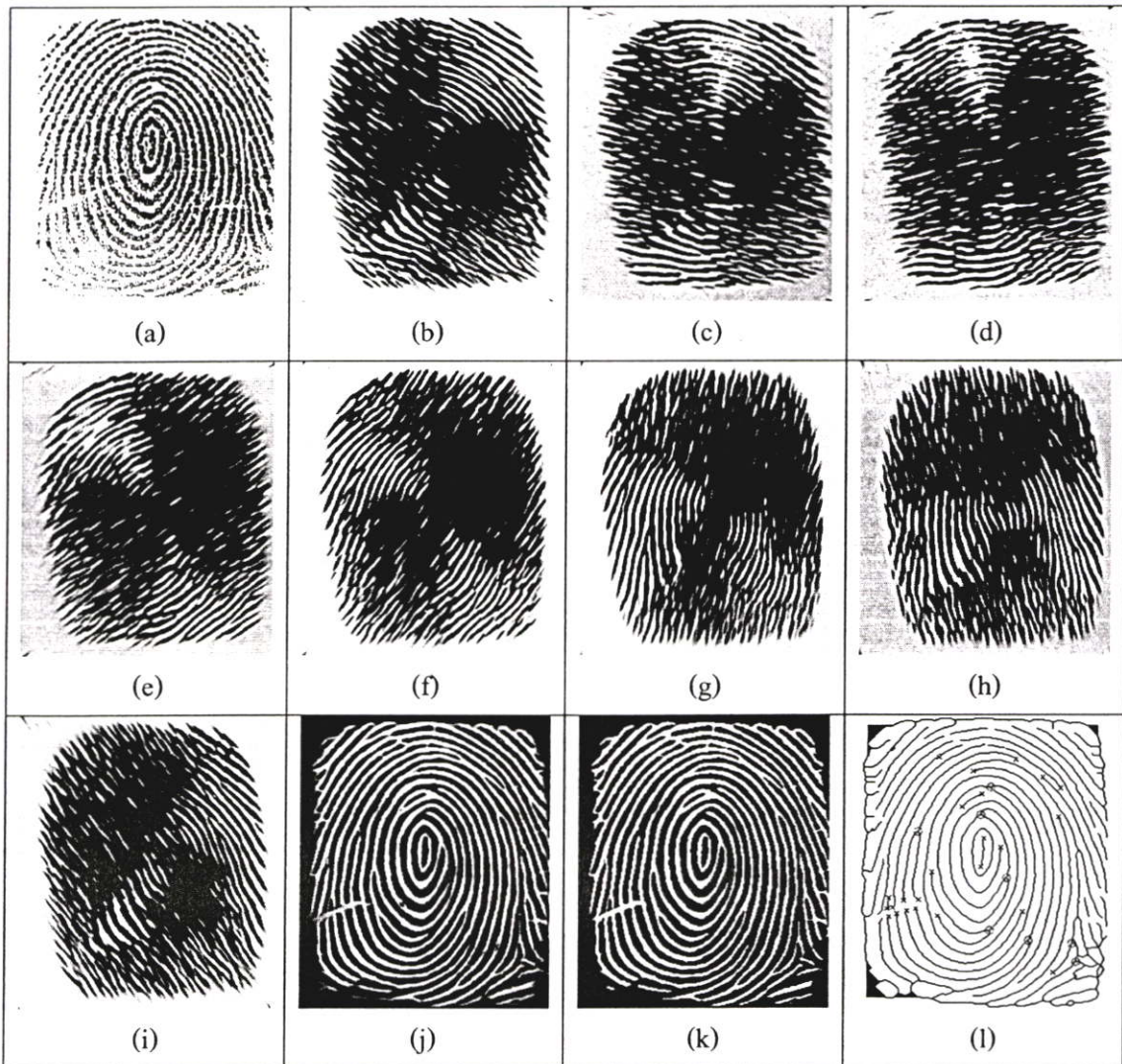
ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุต, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



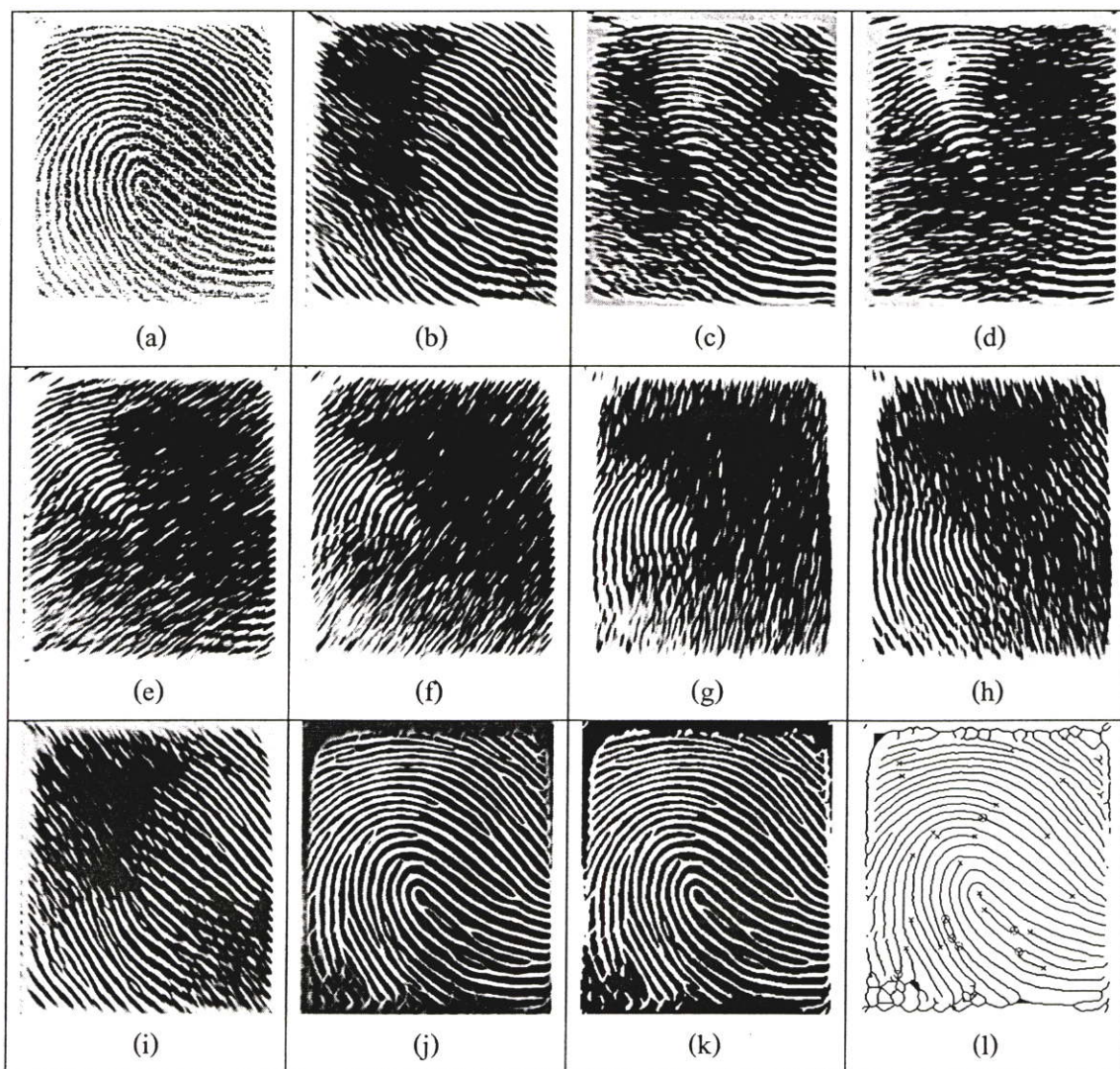
ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุท, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



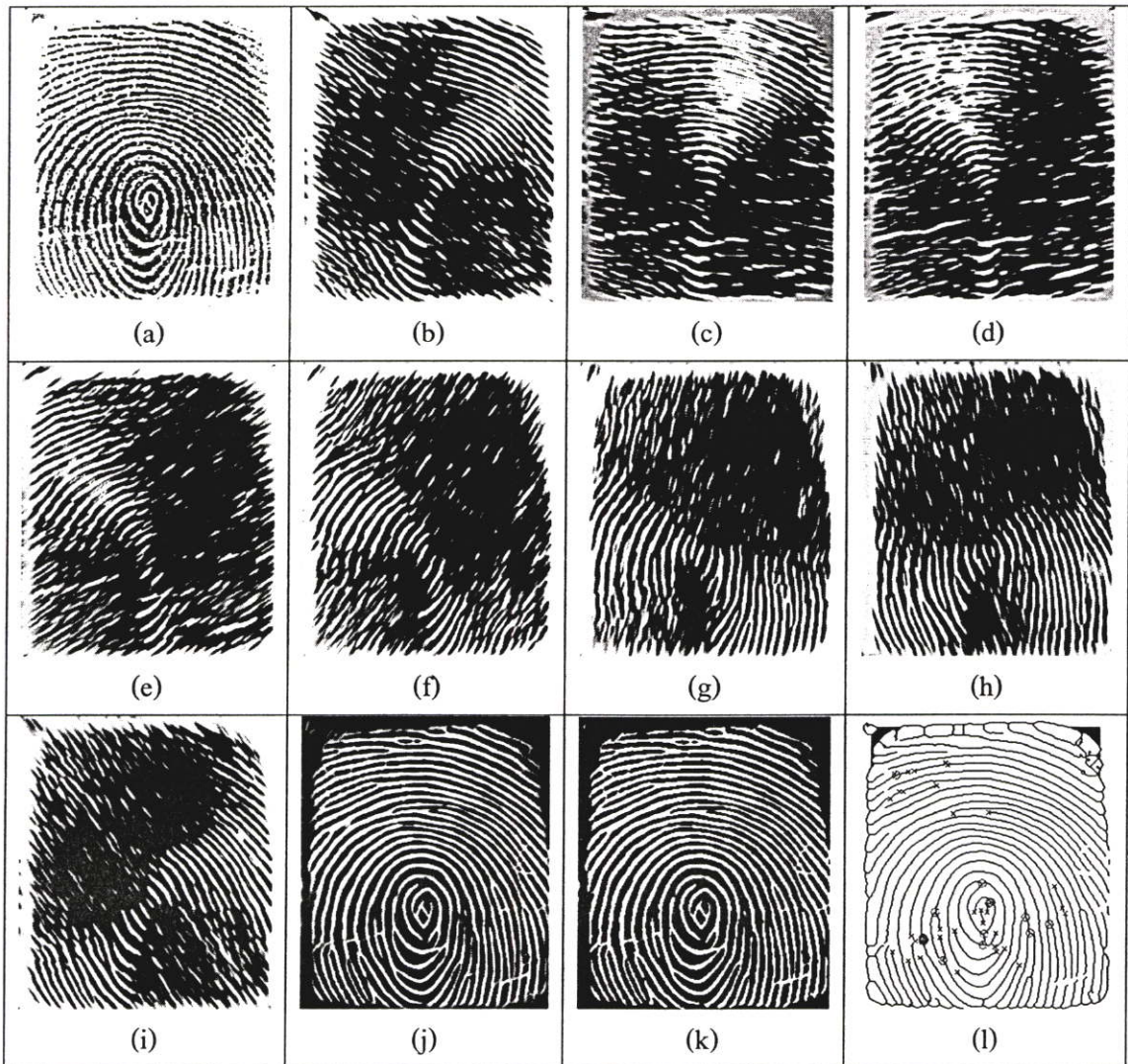
ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุต, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



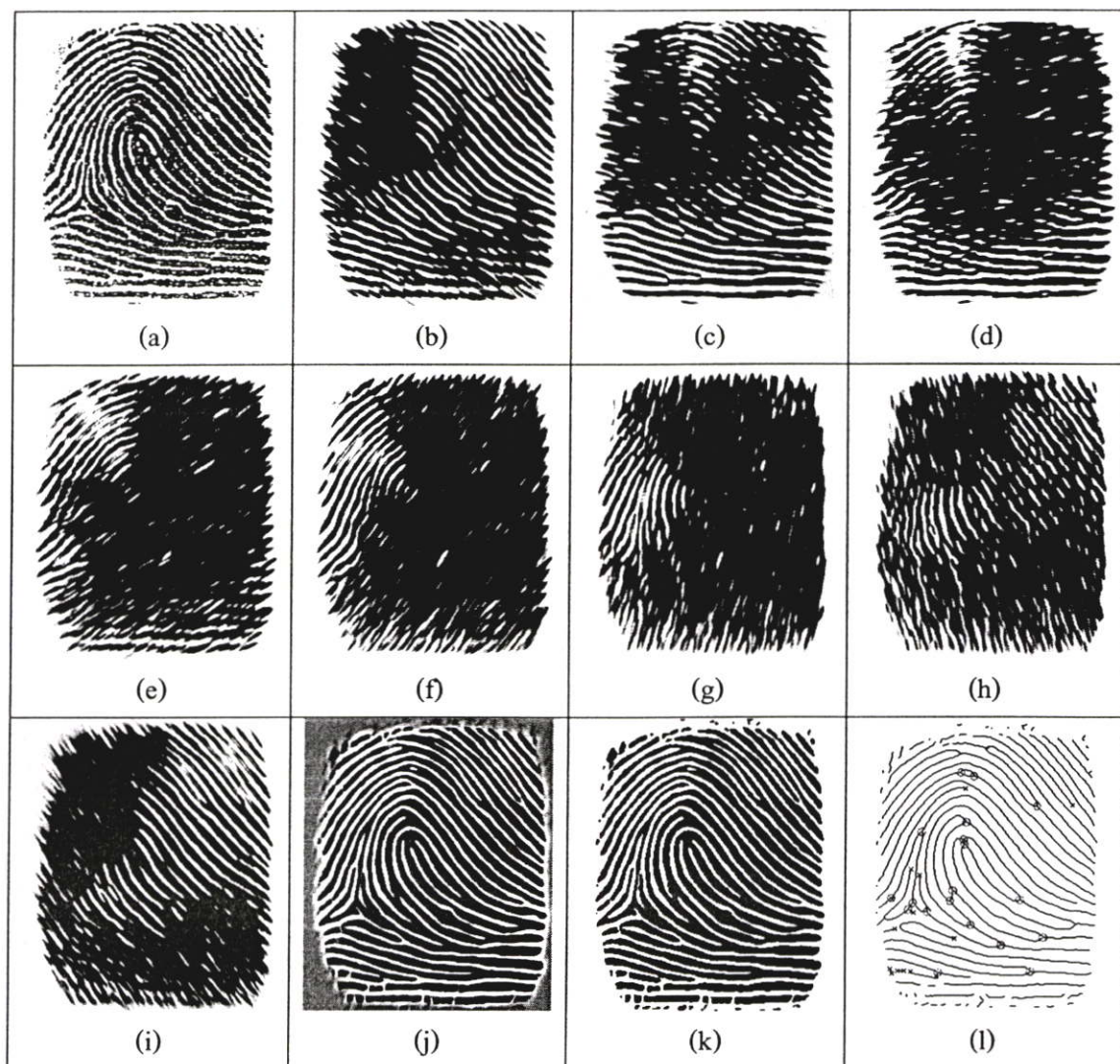
ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุต, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุต, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)



ตารางที่ 6.1 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ DFB จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันการทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือเมื่อ (a) ภาพอินพุท, (b) แบนด์ที่1, (c) แบนด์ที่2, (d) แบนด์ที่3, (e) แบนด์ที่4, (f) แบนด์ที่5, (g) แบนด์ที่6, (h) แบนด์ที่7, (i) แบนด์ที่8, (j) ผลการปรับปรุง, (k) ผลการทำไบนารีและ (l) การทำให้บางและการหาลักษณะเฉพาะ (ต่อ)







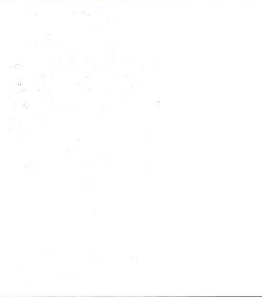



6.3 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์

ในการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์นี้จะประกอบไปด้วยการนอร์มัลไลซ์ การหาภาพทิศทางของลายนิ้วมือ การปรับปรุงด้วยกาบอร์ฟิลเตอร์ การทำให้บาง การหา ลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ และการหาพื้นที่สามเหลี่ยมจากลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ

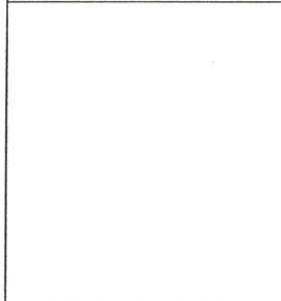















6.3.1 การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization)

การนอร์มัลไลเซชันเป็นการกระทำในระดับพิกเซลซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงความชัดเจนของ โครงสร้างเส้นนูนและร่องของภาพ การทดลองนี้ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ จาก ภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน จากภาพลายนิ้วมืออินพุตในตารางที่ 6.2 ซึ่งจะใช้ ค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันก็คือค่า M_0 และ VAR_0 จากสมการที่ (4.22) เป็นค่า mean และค่า variance ที่ต้องการตามลำดับ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 6.2





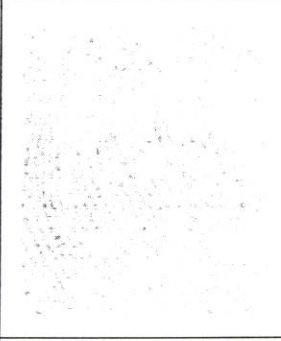











ตารางที่ 6.2 ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่ แตกต่างกัน

ภาพอินพุต	นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)		
	$M_0 = 0, VAR_0 = 1$	$M_0 = 0, VAR_0 = 10$	$M_0 = 10, VAR_0 = 100$
			
			

















ตารางที่ 6.2 ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ภาพอินพุต	นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)		
	$M_0=0, VAR_0=1$	$M_0=0, VAR_0=10$	$M_0=10, VAR_0=100$
			
			
			
			





ตารางที่ 6.2 ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ภาพอินพุต	นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)		
	$M_0 = 0, VAR_0 = 1$	$M_0 = 0, VAR_0 = 10$	$M_0 = 10, VAR_0 = 100$
			
			
			
			

ตารางที่ 6.2 ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ภาพอินพุท	นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)		
	$M_0 = 0, VAR_0 = 1$	$M_0 = 0, VAR_0 = 10$	$M_0 = 10, VAR_0 = 100$
			
			
			
			




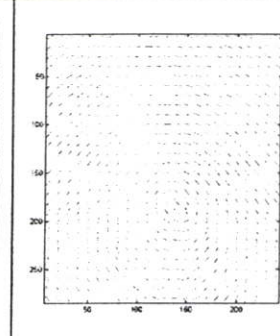



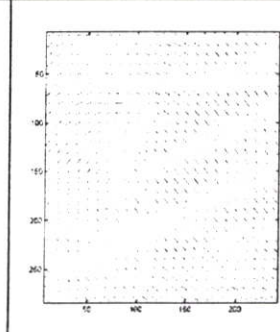
ตารางที่ 6.2 ทำการนอร์มัลไลเซชันของภาพลายนิ้วมือ จากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน (ต่อ)

ภาพอินพุท	นอร์มัลไลเซชัน (Normalization)		
	$M_0 = 0, VAR_0 = 1$	$M_0 = 0, VAR_0 = 10$	$M_0 = 10, VAR_0 = 100$
			

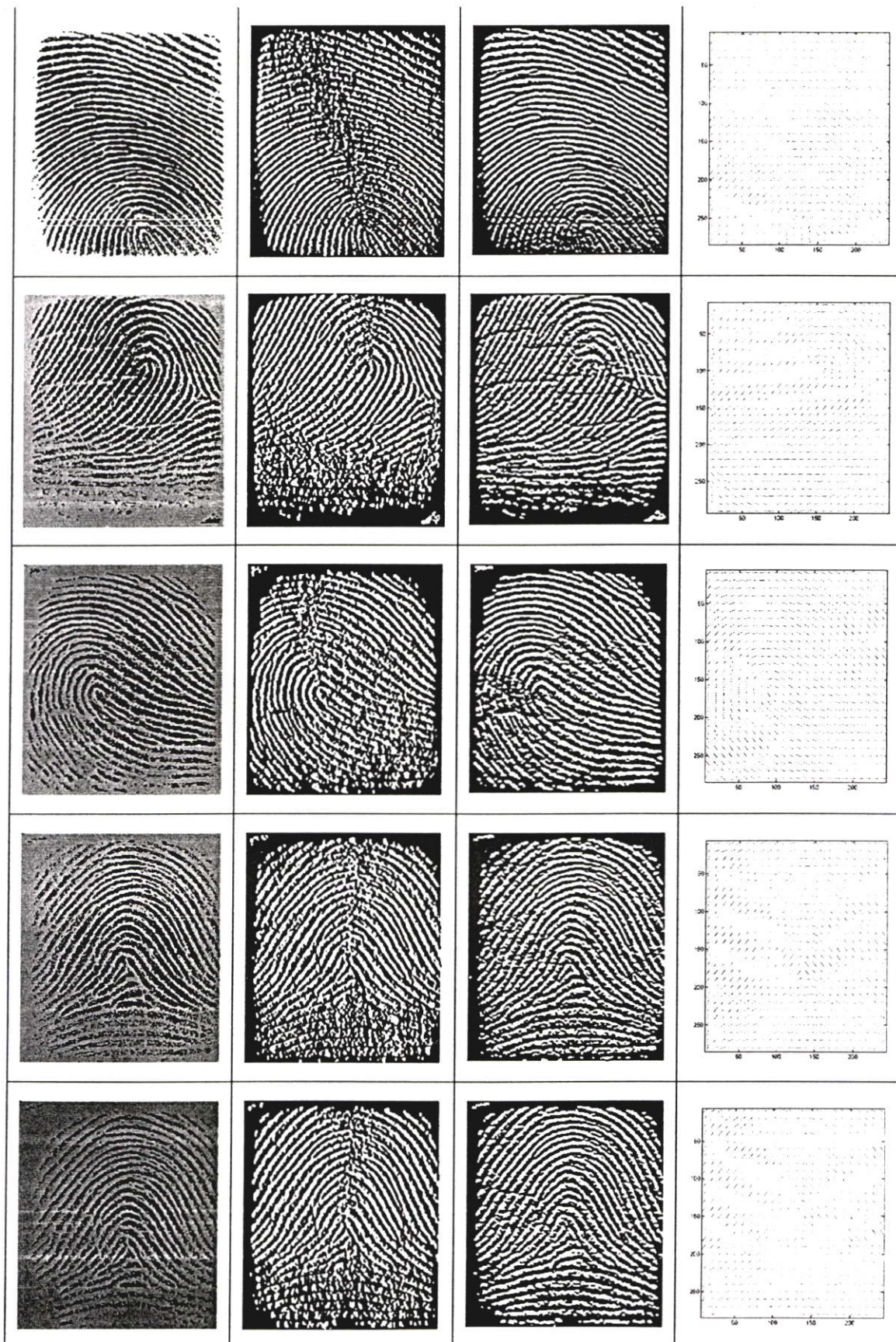
6.3.2 ภาพทิศทางของลายนิ้วมือ (Orientation Image)

เมื่อทำการนอร์มัลไลซ์ภาพลายนิ้วมือได้แล้วนั้นทำการหาเกรเดียนต์ของแกนเอ็กซ์และวาย (G_x, G_y) โดยผลที่ได้นี้จะนำมาทำการหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือโดยใช้สมการที่ (4.30) ทำการหาภาพทิศทางของลายนิ้วมื่อดังแสดงในตารางที่ 6.3




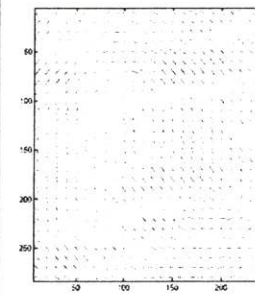



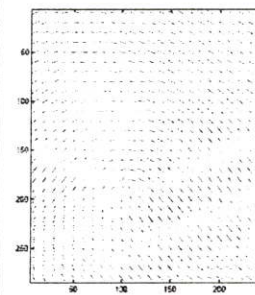



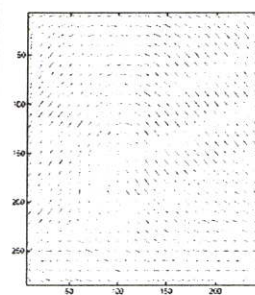



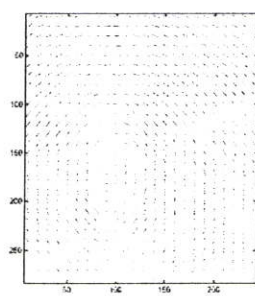
ตารางที่ 6.3 ทำการหาภาพทิศทางจากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน โดยผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว

ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว	G_x	G_y	ภาพทิศทางของลายนิ้วมือ
			
			




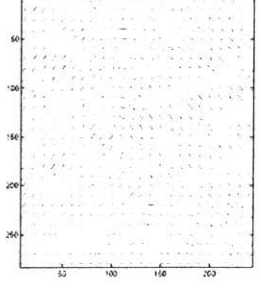



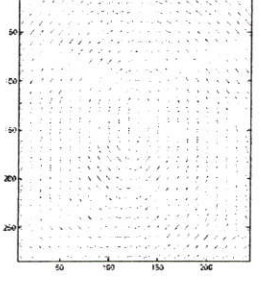



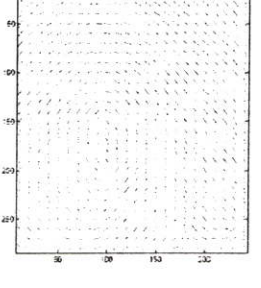



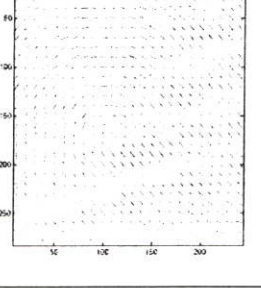
ตารางที่ 6.3 ทำการหาภาพทิศทางจากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน โดยผ่านการ
นอร์มัลไลซ์แล้ว (ต่อ)



ตารางที่ 6.3 ทำการหาภาพทิศทางจากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน โดยผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว (ต่อ)

ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว	Gx	Gy	ภาพทิศทางของลายนิ้วมือ
			
			
			
			





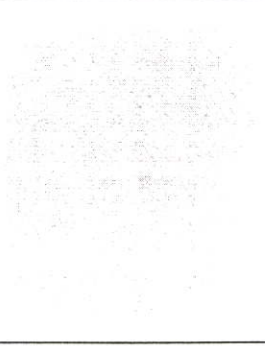







ตารางที่ 6.3 ทำการหาภาพทิศทางจากภาพลายนิ้วมือที่มีระดับความเข้มที่แตกต่างกันโดยผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว (ต่อ)

ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว	Gx	Gy	ภาพทิศทางของลายนิ้วมือ
			
			
			
			

















6.3.3 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้ฟิลเตอร์แบบกาเบอร์ (Gabor Filtering)

กระบวนการนี้ทำเพื่อที่จะเอาสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป และแสดงส่วนเส้นนูนและร่องของเส้นลายนิ้วมือให้เด่นชัดขึ้น จึงทำการกรองภาพลายนิ้วมือให้ทิศทางที่แตกต่างกัน โดยใช้ Gabor filter ซึ่งเป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ โดยจะใช้สมการที่ (4.31) ทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือและจากนั้นจะนำภาพที่ได้มาทำการไบนารีให้อยู่ในรูปของ 0 และ 1 และทำภาพลายนิ้วมือให้บางซึ่งผลที่ได้นั้นจะแสดงดังตารางที่ 6.4

















ตารางที่ 6.4 ผลการปรับปรุงของภาพลายนิ้วมือ การทำไบนารี และการทำให้บาง

อินพุท	ปรับปรุง	ไบนารี	ทำให้บาง
			
			
			

















ตารางที่ 6.4 ผลการปรับปรุงของภาพลายนิ้วมือ การทำไบนารี และการทำให้บาง (ต่อ)

อินพุท	ปรับปรุง	ไบนารี	ทำให้บาง
			
			
			
			

ตารางที่ 6.4 ผลการปรับปรุงของภาพลายนิ้วมือ การทำไบนารี และการทำให้บาง (ต่อ)

อินพุท	ปรับปรุง	ไบนารี	ทำให้บาง
			
			
			
			








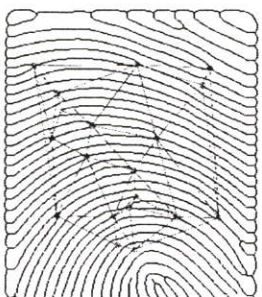



ตารางที่ 6.4 ผลการปรับปรุงของภาพลายนิ้วมือ การทำไบนารี และการทำให้บาง (ต่อ)

อินพุท	ปรับปรุง	ไบนารี	ทำให้บาง
			
			
			
			
















6.3.4 การหาจุดลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ

เมื่อเราได้ทำภาพลายนิ้วมือให้บาง (thinning) แล้วนั้นก็จะต้องทำการหาจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) โดยจะนำจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) ที่ได้นี้ไปทำการหาสามเหลี่ยมและพื้นที่สามเหลี่ยมต่อไปเพื่อใช้ในการตรวจสอบลายนิ้วมือ ในตารางที่ 6.5 แสดงจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) และแสดงกลุ่มของสามเหลี่ยมที่หาได้จากจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae)
















ตารางที่ 6.5 แสดงผลการหาจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) และกลุ่มของสามเหลี่ยมที่หาได้

อินพุท (Input)	จุดลักษณะเฉพาะ (minutiae)	กลุ่มของสามเหลี่ยม
		
		
		
		

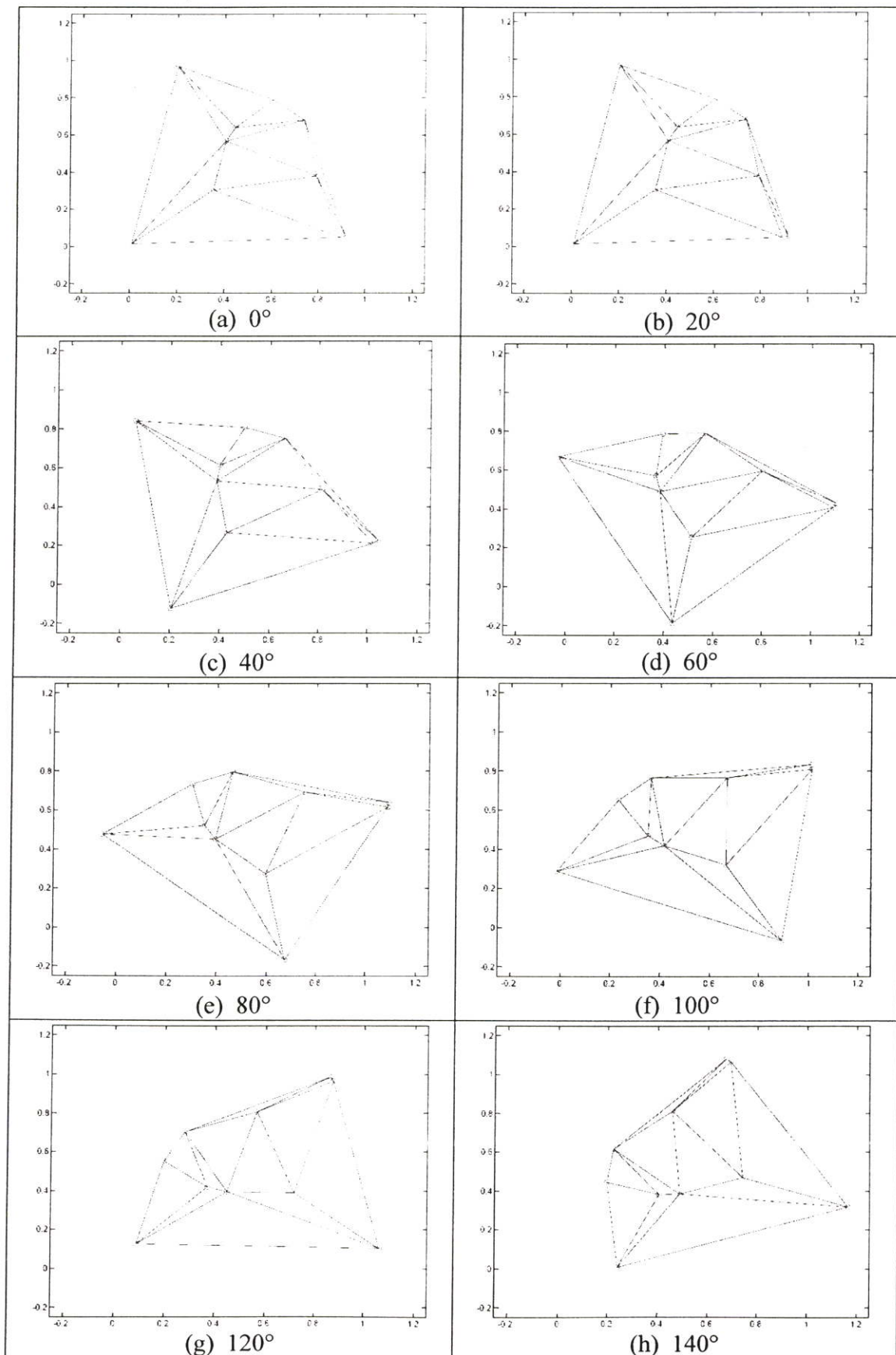
ตารางที่ 6.5 แสดงผลการหาจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) และกลุ่มของสามเหลี่ยมที่หาได้ (ต่อ)

อินพุท (Input)	จุดลักษณะเฉพาะ (minutiae)	กลุ่มของสามเหลี่ยม
		
		
		
		
		

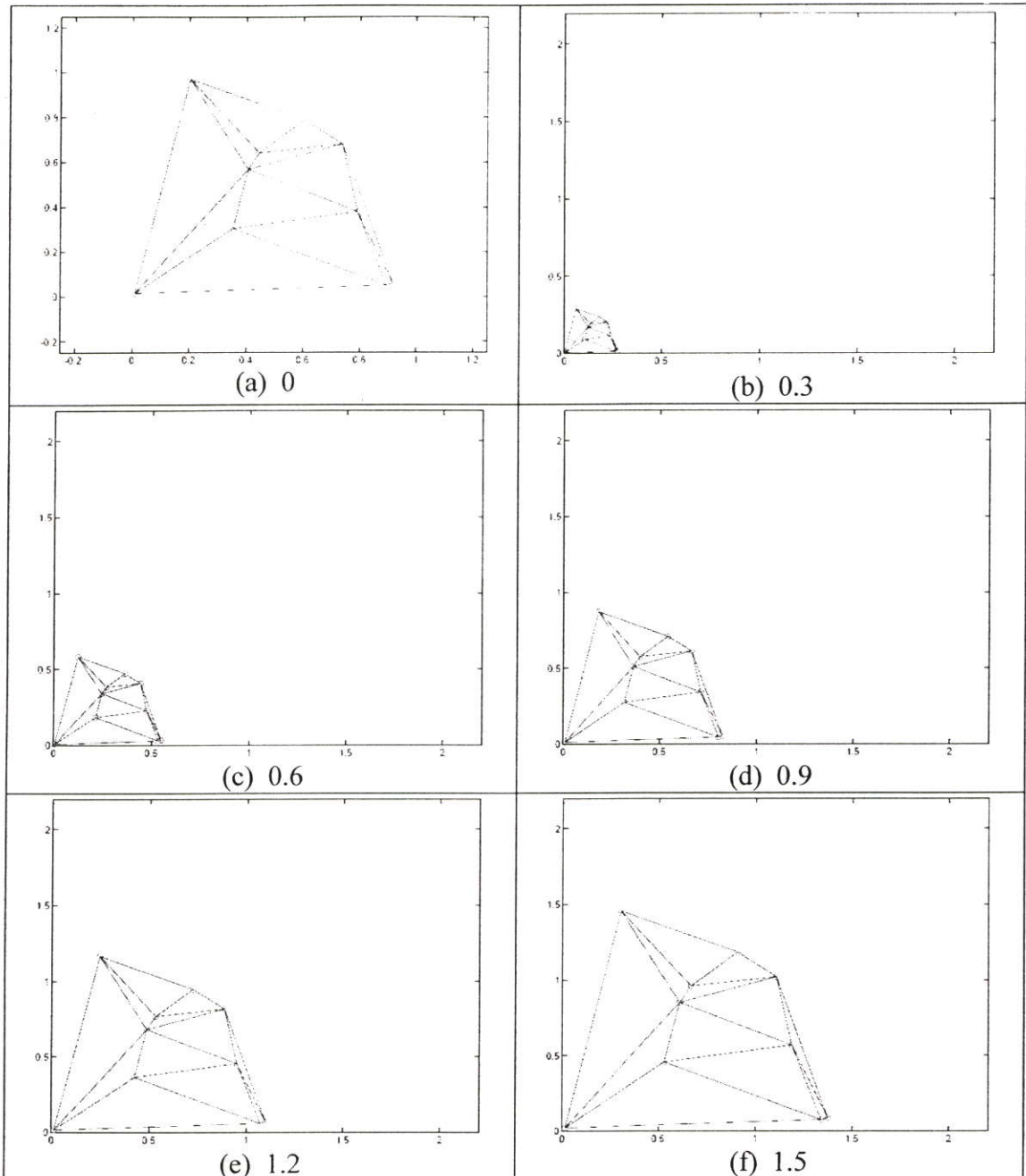
ตารางที่ 6.5 แสดงผลการหาจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) และกลุ่มของสามเหลี่ยมที่หาได้ (ต่อ)

อินพุท (Input)	จุดลักษณะเฉพาะ (minutiae)	กลุ่มของสามเหลี่ยม
		
		
		
		
		

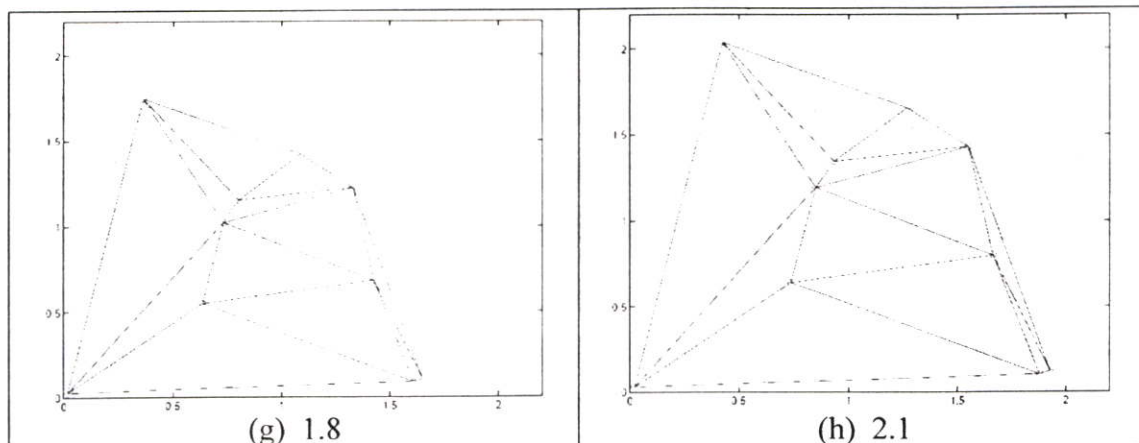
ตารางที่ 6.8 แสดงรูปผลการหาสามเหลี่ยมเมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการ หมุน (Rotate) ในขนาด
ต่างๆ



ตารางที่ 6.9 แสดงรูปผลการหาสามเหลี่ยมเมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการย่อขยาย (Scale) ในขนาด
ต่างๆ



ตารางที่ 6.9 แสดงรูปผลการหาสามเหลี่ยมเมื่อจุดลักษณะเฉพาะได้ทำการย่อขยาย (Scale) ในขนาดต่างๆ (ต่อ)



6.5 ผลแสดงการตรวจสอบลายนิ้วมือ

ในการตรวจสอบลายนิ้วมือในแต่ละบุคคลนั้นจะใช้ข้อมูลของพื้นที่สามเหลี่ยมมาทำการหาอัตราส่วนซึ่งอัตราส่วนที่ได้ในในแต่ละบุคคลจะมีความแตกต่างกันดังนั้นจึงสามารถใช้อัตราส่วนของพื้นที่นี้มาทำการเปรียบเทียบหรือตรวจสอบได้โดยจากการทดลองจะใช้ค่าเทรซโซลด์ของความยาวมีค่าเท่ากับ 15 (ค่าเทรซโซลด์นี้ได้มาจากการทดลองแล้วหาค่าที่ดีที่สุด) ในตารางที่ 6.10 นั้นจะแสดงค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ที่ได้มาค่าผิดพลาดของอัตราส่วนที่ยอมรับได้ติดต่อกันมากที่สุด

ตารางที่ 6.10 แสดงค่าความผิดพลาดของการตรวจสอบลายนิ้วมือ

Template									
		A	B	C	D	E	F	G	H
Input	A	0.423	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	0.566	-	-	1.466	-	1.157	0.868
	C	-	-	0.565	-	-	1.041	-	0.882
	D	-	-	-	0.493	-	-	-	-
	E	-	0.999	1.106	-	0.456	-	1.186	1.020
	F	-	-	-	-	0.941	0.406	0.874	0.752
	G	1.014	-	-	-	-	0.826	0.182	-
	H	-	-	-	-	0.967	0.952	0.856	0.567

*หมายเหตุ - คือค่าความยาวของอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าค่าเทรซโซลด์ที่กำหนดไว้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยใช้คุณสมบัติไม่แปรผันเชิงเรขาคณิตของลายนิ้วมือ โดยในกระบวนการที่ทำนั้นจะต้องทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ เพื่อให้กระบวนการตรวจสอบมีค่าความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในบทความวิจัยนี้ จึงได้นำเอาหลักการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ โดยใช้การปรับปรุงภาพแบบไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ (Directional Filter Bank: DFB) และ กาบอร์ฟิลเตอร์ ซึ่งกระบวนการต่าง ๆ นั้นได้กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากการทดลองเมื่อเรานำภาพลายนิ้วมือมาทำการปรับปรุงภาพก่อนนำภาพลายนิ้วมือนั้นไปประมวลผล ในการทดลองนั้นได้ทำการทดลองปรับปรุงภาพลายนิ้วมือสองวิธีการคือการปรับปรุงโดยใช้ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์(DFB)และอีกวิธีก็คือการปรับปรุงโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์ ผลของไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์นั้นจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงด้วยวิธีนี้ตามกระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วจากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าวิธีนี้ยังไม่สามารถทำการเชื่อมต่อรอยขาดของเส้นสันนูนของลายนิ้วมือหรือรอยขุ่นของเส้นสันนูนได้ เมื่อนำผลภาพลายนิ้วมือที่ได้ทำการปรับปรุงด้วยวิธีการนี้ไปหาลักษณะเฉพาะก็จะส่งผลทำให้ลักษณะเฉพาะที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนไป แต่ในส่วนของ การปรับปรุงโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์วิธีนี้จะทำการเชื่อมต่อรอยขาดและรอยขุ่นของเส้นสันนูนของลายนิ้วมือที่ขาดให้เชื่อมถึงกันเมื่อหาลักษณะเฉพาะก็จะส่งผลทำให้ลักษณะเฉพาะที่ได้มีผลที่ดีกว่า ดังแสดงในผลการทดลอง

ในส่วนของ การตรวจสอบลายนิ้วมือเป็นการนำภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการปรับปรุงโดยใช้กาบอร์ฟิลเตอร์เนื่องจากผลที่ได้จากการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือด้วยวิธีการนี้ให้ผลที่ดีกว่าการปรับปรุงโดยใช้ไดเรกชันฟิลเตอร์แบงก์ เมื่อภาพลายนิ้วมือได้ทำการปรับปรุงแล้วนำภาพมาทำให้บาง(thinning)ทำการหาลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ(minutiae) หาสามเหลี่ยมจากกลุ่มลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือที่หามาได้โดยใช้วิธีการของ Delaunay ในการทำการสร้างสามเหลี่ยมหาพื้นที่จากสามเหลี่ยมที่หามาได้ ทำการเรียงลำดับพื้นที่จากน้อยไปมากต่อมาทำการหาอัตราส่วนของพื้นที่เพื่อทำการกำจัดแฟกเตอร์ที่ไม่ต้องการออกไปแล้วนำค่าที่ได้มาทำการตรวจสอบกับเทมเพลตที่มีอยู่ ข้อดีของการนำลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือมาทำการสร้างรูปสามเหลี่ยมแล้วหาอัตราส่วนของพื้นที่คือจะทำให้สามารถตรวจสอบคุณสมบัติที่ไม่ผันแปรแบบสมบูรณ์ของลายนิ้วมือมาทำการตรวจสอบได้ มีความง่ายและความไวในการตรวจสอบ ข้อเสียของการตรวจสอบแบบนี้ก็คือเมื่อในขณะที่ลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือมีจำนวนมาๆจะทำให้สามเหลี่ยมที่ถูกรวมมีจำนวนมากขึ้นอัตราส่วนของพื้นที่ที่มีความยาวเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลทำให้การตรวจสอบอาจเกิดการผิดพลาดได้

การทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือจากกลุ่มตัวอย่าง ผลที่ได้ออกมาจากการทดลองมีผลที่ดี
ดังแสดงในตารางการทดลอง

การพัฒนาต่อไปนั้นถ้าสามารถกำจัดกิ่งก้านที่ไม่จำเป็นของลายนิ้วมือออกไปได้หมด ก็จะทำให้ลดความผิดพลาดของการตรวจสอบลายนิ้วมือลงได้ ทำให้มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำ
มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] จตุรธร ชีรพัฒนกุล. “การคัดแยกโครโมโซมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [2] มนภาพร เลาหบุตร, วรณะ วงษ์กิติคุณ และสิริกานต์ วรชิวัน “เครื่องสแกนลายนิ้วมือ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2548.
- [3] Bamberger, R.H.; Smith, M.J.T., “A filter bank for the directional decomposition of images: theory and design.” *Signal Processing, IEEE Transactions on [see also Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE Transactions on]* Volume 40, April 1992 ,pp. 882 – 893
- [4] Ning Liu., Yilong Yin. and Hongwei Zhang., “A fingerprint matching algorithm on delaunay triangulation net” *The Fifth International Conference on Computer and Information Tecnology., Proceedings of the 2005 IEEE*, pp591-595
- [5] Lin Hong, Student Member, Yifei Wan, and Anil Jain, Fellow, “Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation”, *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 20, NO. 8, AUGUST 1998*,pp. 777-789
- [6] Davide Maltoni, Dario Maio, ANIL K.KAIN, Salil Prabhakar,2003 “Handbook of Fingerprint Recognition”, New York : Springer.
- [7] Chul-Hyun Park, Joon-Jae Lee, Mark J. T. Smith, *Fellow, IEEE*, Sang-il Park, and Kil-Houm Park, “Directional filter bank-based fingerprint feature extraction and matching” *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE*, Jan. 2004, pp. 74- 85.
- [8] Dr. M. Asmatullah Khan, M. Khalid Khan, M. Aurangzeb Khan. “Improved Fingermkt Identification using Directional Filter Banks” *Proceedings IEEE INMIC 2003*, pp. 49-54.
- [9] Sang-Il Park; Smith, M.J.T.; Mersereau, R.M.; “Improved structures of maximally decimated directional filter Banks for spatial image analysis” *Image Processing, IEEE Transactions on Volume 13, Issue 11, Nov. 2004* ,pp. 1424 - 1431

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่รับการตีพิมพ์

1. S. Tantachun, W. Narkbuakaew, C. Pintavirooj, M. Sangworasil, "DIRECTIONAL FILTER BANK: AN APPLICATION FOR FINGERPRINT ENHANCEMENT," The 12th International Conference on Biomedical Engineering 7 - 10 December 2005, Singapore,
2. S. Tantachun, C. Pintavirooj, M. Sangworasil, Y. Kitjaidure "DIRECTIONAL FILTER BANK: AN ENHANCEMENT FOR FINGERPRINT FEATURE DETECTION" The 1st IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA'2006) will be held from 24th May to 26th May 2006, Singapore., pp. 1267-1271

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุนันท์ ดันทขุน
วัน เดือน ปีเกิด	10 มีนาคม 2525
ที่อยู่	80/1 ม.8 ค.ศาลเจ้าโรงทอง อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง 14110
ประวัติการศึกษา	2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบัน เทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ