

การแบ่งประเภทภาพและหาจุดอ้างอิงจากทิศทางเส้นลายนิ้วมือ
โดยใช้เวฟเล็ตทรานฟอร์ม

FINGERPRINT CLASSIFICATION AND CORE SEEKING
FROM RIDGE DIRECTIONAL BY USING WAVELET TRANSFORM

นพพล เลิศชูวงศ์
NOPPON LERTCHUWONGSA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-63-2

การแบ่งประเภทภาพและหาจุดอ้างอิงจากทิศทางเส้นลายนิ้วมือ
โดยใช้เวฟเล็ตทรานฟอร์ม

FINGERPRINT CLASSIFICATION AND CORE SEEKING
FROM RIDGE DIRECTIONAL BY USING WAVELET TRANSFORM



นพพน เลิศชูวงศา
NOPPON LERTCHUWONGSA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....59972
วัน,เดือน,ปี..... 20 ส.ย. 2549



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-63-2

**FINGERPRINT CLASSIFICATION AND CORE SEEKING
FROM RIDGE DIRECTIONAL BY USING WAVELET TRANSFORM**

NOPPON LERTCHUWONGSA

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

2004

ISBN 974-9709-63-2

COPYRIGHT 2004

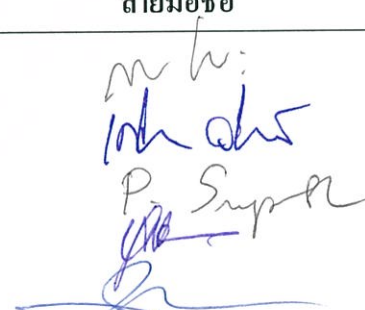
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแบ่งประเภทภาพและหาจุดอ้างอิงจากทิศทางเส้นลายนิ้วมือโดยใช้เวฟเล็ต
ทรานฟอร์ม
FINGERPRINT CLASSIFICATION AND CORE SEEKING FROM
RIDGE DIRECTIONAL BY USING WAVELET TRANSFORM

ชื่อนักศึกษา นายณพพล เลิศชูวงศา
รหัสประจำตัว 42061078
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.สมยศ จุณณะปิยะ	
ผศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์	
ดร.พรชัย ททรัพย์นธิ	
รศ.ดร.ยุทธพงษ์ รังสรรค์เสรี	
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 17 พฤษภาคม 2547 เวลา 9.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น 4 (E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๑๑ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๔๗

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแบ่งประเภทภาพและการหาจุดอ้างอิงจากทิศทางเส้น ลายนิ้วมือโดยใช้เวฟเล็ททรานฟอร์ม
นักศึกษา	นายณพพนธ์ เลิศชูวงศา
รหัสประจำตัว	42061078
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

บทคัดย่อ

การจดจำและการแบ่งประเภท สามารถกระทำโดยการดึงข้อมูลตัวแทนกลุ่มป้อนเข้าสู่หน่วยการแบ่งประเภท เทคนิคหน่วยของหน่วยการแบ่งประเภทใหม่ๆที่ซึ่งนำมาใช้ปรับปรุงผลการระบุลายนิ้วมือเป็นที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยในปัจจุบัน จากเดิมนี้ไปการพัฒนาผลการระบุแยกแยะมีความลำบากถ้าผลนั้นขึ้นกับหน่วยการแบ่งประเภทต่างๆเช่น นิวรอล ฟิชชี และกระบวนการเงินเนติก

ข้อมูลตัวแทนกลุ่ม โดยทั่วไปที่เก็บจากสเปซเวกเตอร์โดเมน เช่น การเทียบเพิ่มเฟลต การทำลายเส้นบาง การใช้การประมวลผลเกรเดียนเป็นต้น มีปัญหามากมายเช่น การเปลี่ยนแปลงของการหมุน ขนาด การเลื่อน, กระบวนการที่ซับซ้อนและไวต่อสัญญาณรบกวน

ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ใหม่ๆเช่น กาบอร์ทิศทางและการวิเคราะห์เวฟเล็ท ข้อมูลตัวแทนกลุ่มลักษณะเฉพาะสามารถค้นพบเพื่อความง่ายต่อการเข้าใจและประสิทธิภาพสำหรับการประมวลผลลายนิ้วมือ

วิทยานิพนธ์วิเคราะห์ในโดเมนความถี่ และเสนอข้อมูลตัวแทนกลุ่มทิศทางจากกาบอร์ทิศทาง การค้นหาจุดเปลี่ยนแปลงบนสนามเวกเตอร์ทิศทางที่ซึ่งไม่สามารถกระทำได้โดยตรงเพื่อการค้นหาจุดอ้างอิงโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท กระบวนการตัดสินใจสำหรับหน่วยการแบ่งประเภทบนภาพที่มีการหมุน เลื่อน กระบวนการเวฟเล็ทที่ถูกนำมาใช้การปรับปรุงข้อมูลตัวแทนกลุ่มและระดับรัศมีต่างๆสำหรับการปรับปรุงข้อมูลตัวแทนกลุ่มของภาพลายนิ้วมือ

Thesis Title	Fingerprint Classification and Core Seeking from Ridge Directional by Using Wavelet Transform
Student	Mr.Noppon Lertchuwongsa
Student ID.	42061078
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Sutthichai Noppanakepong

ABSTRACT

Recognition and classification are done by extracting essential features to feed classifier. Recently many up-to-date techniques of classifier algorithm, which are used to improve fingerprint verification results, are interesting research topics. From now on, it is difficult to make a progress if the verification results depend on different classifier like neural, fuzzy and genetic algorithms

Traditional features which are collected by spatial domain processing ex. template matching, thinning, gradient operator etc, has many problems such as rotation scale shift variance, complex algorithms, and sensitive to noise.

With new mathematic model such as direction gabor and wavelet analysis, characteristic feature can be discovered for easily understanding and effective fingerprint processing.

The thesis analyzes on frequency domain and presents directional features from directional gabor, transition searching on directional field ,which can't done on directly, for detecting core point by using wavelet, a decision method for fingerprint classifiers on rotation and shifting image, wavelet transform which is used to improve feature for classifier and multi-radiant scale for improve fingerprint features.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากคำแนะนำและความช่วยเหลือทั้งด้านงานวิจัยและการศึกษาจากท่าน ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาถิพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณบริษัท พีเอิร์ตซ์ คอมมิวนิเคชั่น จำกัดที่เข้าใจและสนับสนุนการวิจัย การบริการด้านเครื่องมือซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่เป็นกำลังใจต่อผู้วิจัยที่ติดตลอดมา

นพพน เลิศชูวงศา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีระบบการจดจำรูปแบบ.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ระบบการจดจำเบื้องต้น.....	5
2.3 การนำเข้าข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล.....	6
2.4 ตัวแทนกลุ่มข้อมูล.....	6
2.5 ส่วนการตัดสินใจ.....	7
2.5.1 การตัดสินใจแบ่งข้อมูลแบบกำหนดไว้ล่วงหน้า (Supervised classificaion).....	7
2.5.1.1 ฟังก์ชันการตัดสินใจ (Decision function).....	7
2.5.1.1.1 ฟังก์ชันในการแยกแยะ (Discriminant function).....	7
2.5.1.1.2 ระยะห่างน้อยที่สุด (Minimum distance function).....	8
2.5.1.2 กระบวนการตัดสินใจ (Decision algorithm).....	8
2.5.1.2.1 การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ (Bayes classifier).....	8
2.5.1.2.2 การแบ่งประเภทแบบต้นไม้ (Tree classifier).....	10
2.5.1.2.3 นิตรอลเน็ตเวิร์ค (Neural network).....	12
2.5.1.2.4 ระบบการตัดสินใจแบบคลุมเครือ (Fuzzy function).....	13
2.5.2 การตัดสินใจแบ่งข้อมูลแบบไม่กำหนดไว้ล่วงหน้า	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
(Unsupervised classification).....	14
2.5.2.1 ฟังก์ชัน Minkowsky metric.....	14
2.5.2.2 ฟังก์ชัน Quadratic.....	15
2.5.2.3 ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming distance).....	15
2.5.2.4 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม (Clustering algorithm).....	15
2.6 การระบุหรือจดจำโดยใช้ส่วนประกอบของ ร่างกาย (Biometric verification).....	16
2.7 ระบบการจดจำลายนิ้วมือ.....	18
2.7.1 การพัฒนาวิธีการนำสัญญาณลายนิ้วมือมาวิเคราะห์.....	20
2.7.2 ศัพท์เฉพาะสำหรับการวิเคราะห์ในระบบลายนิ้วมือ.....	21
2.7.3 การพัฒนาระบบการแยกแยะบุคคล.....	22
2.7.4 พัฒนาระบบการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ.....	23
2.7.5 วิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ.....	24
2.7.5.1 วิธีการแบบโมเดล (Model-based).....	24
2.7.5.2 วิธีการแบบโครงสร้าง (Structure-based).....	25
2.7.5.3 วิธีการที่พัฒนาการใช้ตัวแทนกลุ่มใน แกนความถี่ (Frequency-based).....	25
2.7.5.4 Syntactic.....	26
2.7.5.5 Hybrid.....	26
2.7.6 ขั้นตอนของระบบการจดจำลายนิ้วมือ โดยทั่วไป.....	26
2.8 สรุป.....	28
บทที่ 3 กระบวนการจัดเตรียมภาพลายนิ้วมือและการแบ่งประเภท.....	29
3.1 กล่าวนำ.....	29
3.2 รูปแบบของสัญญาณรบกวนและแนวทางการแก้ไขเบื้องต้น.....	31
3.2.1 ลักษณะการรบกวน.....	31
3.2.2 บริเวณพื้นที่ภาพที่สนใจ.....	31
3.3 รูปแบบภาพในงานปรับปรุงภาพ.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การปรับปรุงภาพ 2 ระดับ (Binarization image enhancement).....	32
3.3.2 การปรับปรุงภาพบน 256 ระดับภาพ.....	33
3.4 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ.....	34
3.4.1 คำนิยามในกระบวนการปรับปรุงภาพ.....	34
3.4.2 ระบบหน้าต่างต่าง (Window) ของการปรับปรุง ภาพทั่วไป.....	35
3.5 การปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization).....	36
3.5.1 สมการการปรับแต่งความสว่างของภาพ.....	37
3.5.2 สมการการปรับปรุงด้านความชัดเจนของภาพ.....	39
3.5.3 สมการการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization).....	39
3.6 กระบวนการหาทิศทางภาพ.....	40
3.6.1 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้ม (Gradient of intensity).....	40
3.6.2 กระบวนการหาทิศทางวิธีทั่วไปสำหรับ ภาพลายนิ้วมือ.....	42
3.7 ภาพความถี่เส้นลายนิ้วมือ (Ridge frequency image).....	45
3.8 การจำแนกพื้นที่ภาพ (Region mask).....	47
3.9 การปรับปรุงภาพโดยการใช้การกรองความถี่.....	48
3.10 การค้นหาจุดอ้างอิงภาพลายนิ้วมือ โดยวิธีทั่วไป.....	48
3.10.1 วิธีที่ใช้เพิ่มเพลตและการรวมค่ารอบจุด ในการค้นหา.....	49
3.10.2 การใช้เพิ่มเพลตที่จำลองทิศทางตำแหน่ง จุดอ้างอิง.....	49
3.10.3 วิธีการคำนวณของพอยต์แคร์อินเดกซ์ (Point care index).....	50
3.11 การแบ่งประเภทภาพโดยวิธีทั่วไป.....	51
3.11.1 การใช้หลักการทางตรรกะทางพีชชีระหว่าง	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
จำนวนจุดอ้างอิงและเคลด้า.....	51
3.11.2 การนำค่าทิศทางที่เป็นองศาของจุดอ้างอิงไปคำนวณโดยใช้ ฟังก์ชันตัดสินใจ.....	51
3.11.3 การกระทำโดยใช้ภาพจากการประมวลด้วยส่วนกรองกาบอร์.....	52
3.12 สรุป.....	53
บทที่ 4 ภาพลายนิ้วมือกับการกระทำในโดเมนความถี่	54
4.1 กล่าวนำ.....	54
4.2 นิยามเบื้องต้นใน โดเมนความถี่.....	54
4.3 สมการคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงความถี่ของภาพ.....	55
4.4 รูปแบบการกรองสัญญาณภาพในแกนความถี่ (Image spectral domain filtering).....	58
4.5 การปรับปรุงภาพทางความถี่ของภาพลายนิ้วมือ.....	59
4.6 การออกแบบส่วนกรองความถี่ที่ใช้กับภาพลายนิ้วมือ.....	61
4.7 ลักษณะของส่วนกรองลายนิ้วมือใน โดเมนความถี่.....	62
4.8 สรุป.....	64
บทที่ 5 ระบบที่นำเสนอ.....	65
5.1 กล่าวนำ.....	65
5.2 การปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization).....	67
5.3 ระบบการปรับปรุงลายนิ้วมือด้วยชุดการกรองกาบอร์ (Gabor basis).....	68
5.4 การค้นหาทิศทางของลายเส้นลายนิ้วมือ.....	73
5.5 การปรับปรุงภาพทิศทางลายนิ้วมือ.....	74
5.6 การค้นหาจุดอ้างอิงของลายนิ้วมือ (Core and delta).....	76
5.6.1 เวฟเล็ตเบื้องต้น.....	76
5.6.2 ระบบการค้นหาจุดอ้างอิงและการแปลงค่าที่ได้ จากทิศทางให้เป็นตัวแทนข้อมูล.....	81
5.6.3 เปรียบเทียบข้อดีในระบบการค้นหาจุดอ้างอิง	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เทียบกับวิธีทั่วไป.....	82
5.7 การแบ่งประเภทภาพลายนิ้วมือ.....	83
5.8 ฟังก์ชันการตัดสินใจ.....	85
5.9 สรุป.....	86
บทที่ 6 ผลการทดลอง.....	88
6.1 ลักษณะวิธีการทดลอง.....	88
6.1.1 ลักษณะของข้อมูลป้อนเข้า.....	88
6.1.2 หน้าต่างดำเนินการย่อย 4 แบบ.....	89
6.1.3 ฟังก์ชันหลักที่ในการระบุประเภทลายนิ้วมือ.....	89
6.1.4 หัวข้อใหญ่ผลการทดลอง.....	90
6.2 ผลของขั้นตอนการดำเนินการให้ภาพเข้าสู่สมดุล.....	90
6.2.1 สัญญาณภาพตัดขวาง 2 มิติ.....	91
6.2.2 แสดงรายละเอียดของสัญญาณภายในพื้นที่ ส่วนหนึ่งของภาพ.....	92
6.2.3 การใช้ส่วนการปรับความสมดุลกับภาพทั้งหมด.....	92
6.3 ผลการทดลองคุณลักษณะต่างๆของส่วนกรองกาบอร์.....	93
6.3.1 คุณลักษณะกาบอร์กับความถี่.....	93
6.3.2 กาบอร์กับคุณลักษณะทางความกว้าง.....	94
6.3.3 กาบอร์กับทิศทาง.....	96
6.4 การประยุกต์ใช้งานกาบอร์.....	97
6.4.1 ในด้านการปรับปรุงเส้นลายนิ้วมือ.....	97
6.4.1.1 สัญญาณภาคตัดขวาง 1 D ก่อนและหลัง การปรับปรุง.....	97
6.4.1.2 สัญญาณภาพ 2D-ในแกนภาพที่ถูกขยาย และแกนความถี่.....	99
6.4.2 ในด้านการค้นหาทิศทางเส้นลายนิ้วมือและมินูเชีย.....	101
6.5 การใช้ Mask.....	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.6 การค้นหาจุดอ้างอิง.....	110
6.6.1 การแทนค่าทิศทาง.....	111
6.6.2 การแปลงเวฟเล็ตสำหรับระบบทิศทางสำหรับ การค้นหาจุดอ้างอิง.....	112
6.6.2.1 ที่มุมปกติ.....	112
6.6.2.2 ที่มุม 45 องศาวนเข็มนาฬิกา.....	114
6.6.2.3 ที่มุม 180 องศา.....	116
6.6.2.4 การใช้ db1 ,db2	119
6.6.2.5 ผลการค้นหาจุดอ้างอิง.....	121
6.7 การจัดประเภทภาพลายนิ้วมือ.....	122
6.7.1 ลักษณะตัวแทนข้อมูลที่เลือกใช้.....	122
6.7.2 การปรับปรุงตัวแทนกลุ่มข้อมูล.....	126
6.7.3 ผลจากการใช้ฟังก์ชันตัดสินใจ.....	127
 บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	 130
 เอกสารอ้างอิง.....	 132
 ประวัติผู้เขียน.....	 131

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ลักษณะของเท็มเพลตที่ใช้หาความใกล้เคียง.....	42
3.2 เท็มเพลตสำหรับการค้นหาอ้างอิง.....	49
5.1 ค่าลักษณะความไม่ต่อเนื่องของเวฟเล็ตเบสิส.....	78
6.1 ผลของการแปลงภาพลายนิ้วมือในแต่ละประเภทลายนิ้วมือ เทียบกับเบสิสของเวฟเล็ตแบบต่าง.....	121
6.2 ผลการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ มีการคัดแยกภาพที่ไม่สามารถ ดำเนินการได้ออกไปก่อน(ภาพที่เสียหายมาก).....	128

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของระบบจดจำ.....	5
2.2 การแบ่งกลุ่มด้วยฟังก์ชันแบบเชิงเส้นใดๆแล้วไม่มีการเหลื่อมล้ำกัน.....	8
2.3 ลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่สามารถแยกได้โดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น และข้อมูลระหว่างกลุ่มไม่มีการเหลื่อมล้ำ.....	9
2.4 ลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่สามารถแยกได้โดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น และข้อมูลระหว่างกลุ่มมีการเหลื่อมล้ำ.....	9
2.5 ฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มเชิงเส้นที่ทำให้เกิดการเหลื่อมล้ำ.....	9
2.6 การเหลื่อมล้ำไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้ฟังก์ชันที่ไม่ใช่เชิงเส้น.....	10
2.7 การใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น f_1, f_2 ร่วมกับการแบ่งประเภทแบบ ต้นไม้ (Tree classify) ในการแก้ไข.....	11
2.8 การแบ่งแยกกลุ่มที่เหลื่อมล้ำโดยการใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นร่วม กับการแบ่งประเภทเป็นต้นไม้โดยการพิจารณาแบบลำดับขั้น.....	11
2.9 ระบบการแปลงค่าและจดจำแบบนิลรอล (Neural) อย่างง่าย	12
2.10 ตัวอย่างระบบค่าสมาชิกแบบฟัซซี่(Fuzzy) ที่ซึ่งแสดงความ สัมพันธ์ในแกนอวกาศและแกนสมาชิกภาพ $u(x)$	14
2.11 ระบบการจดจำจากร่างกายมนุษย์.....	16
2.12 ระบบการจดจำรายนิ้วมือโดยรวม.....	19
2.13 ตัวอย่างภาพหลายนิ้วมือจากการป้อนเข้าแบบต่างๆ.....	20
2.14 ลักษณะเส้นนูนและเส้นร่องบนภาพลายนิ้วมือ.....	21
2.15 ลักษณะตำแหน่งซิงกูล่าบนภาพลายนิ้วมือ.....	21
2.16 ลักษณะของตำแหน่งมินูเชียบนลายนิ้วมือ เป็นคุณลักษณะ ที่ใช้ในการจดจำภาพ.....	22
2.17 ภาพลายนิ้วมือที่มาจากบุคคลคนเดียวกัน.....	22
2.18 ประเภทของลายนิ้วมือที่ได้กำหนดคมาตามจากผู้เชี่ยวชาญ.....	24
2.19 ขั้นตอนการประมวลผลภาพลายนิ้วมือ โดยเน้นที่การเก็บตัวแทนกลุ่ม สำหรับภาพลายนิ้วมือ.....	27
2.20 ระบบการเก็บตัวแทนกลุ่มที่น่าเสนอ.....	27
3.1 ตำแหน่งมินูเชียสำหรับการจดจำภาพ.....	29

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2	สิ่งรบกวนแบบต่างๆในภาพลายนิ้วมือ.....30
3.3	บริเวณพื้นที่ต่างๆในรูปลายนิ้วมือ.....32
3.4	ลักษณะของเส้นลายนิ้วมือในรูป 3 มิติ.....33
3.5	ฟังก์ชันของขั้นตอนละเอียดช่วยในการการปรับปรุงลายนิ้วมือ.....35
3.6	ภาพลายนิ้วมือที่มีการกระจายของระดับความเข้มไม่สม่ำเสมอ อันเนื่องมาจากการนำหนักของการกดขณะพิมพ์ลายนิ้วมือ.....37
3.7	ระดับความเข้มภาพ.....38
3.8	ระดับความเข้มภาพ.....38
3.9	ความถี่ไขว้ของของเส้นลายนิ้วมือ.....45
3.10	เพิ่มเพลตที่จำลองลักษณะของจุดอ้างอิง.....50
3.11	หลักการในการทำกระบวนการพอนต์แคร์อินเดคซ์.....50
3.12	พื้นที่รอบจุดอ้างอิงสำหรับการจดจำ.....52
4.1	หลักการแปลงฟูเรียร์.....55
4.2	ระบบการแปลงฟูเรียร์ของภาพ 2 มิติ.....55
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับแกนความถี่.....57
4.4	ลักษณะสัญญาณภาพทางซ้ายมือกับผลตอบสนองทางความถี่.....58
4.5	ภาพลายนิ้วมือต้นแบบทางซ้ายกับภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุงทางความถี่.....59
4.6	ภาพลายนิ้วมือกับผลตอบสนองทางความถี่.....61
4.7	ภาพบนแสดงเส้นลายนิ้วมือในสัญญาณรบกวนลักษณะต่างๆกับภาพ และผลตอบสนองต่อความถี่ในภาพด้านล่าง.....62
4.8	ภาพในโดเมนเชิงขั้วของเส้นลายนิ้วมือ.....64
5.1	ขั้นตอนการกระทำในวิทยานิพนธ์.....67
5.2	ความถี่เวฟเล็ทกาบอร์.....68
5.3	ลักษณะของการตอบสนองความถี่ของเวฟเล็ทกาบอร์.....69
5.4	ความสัมพันธ์ของตัวแทนทิศทางกับข้อมูลภาพในแต่ละพื้นที่ย่อย.....69
5.5	ลักษณะชุดกรองความถี่กาบอร์ในทิศทางต่างๆ.....71
5.6	ภาพลายนิ้วมือกับการเปลี่ยนแปลงของทิศทางบริเวณจุดอ้างอิง.....75
5.7	การแปลงเวฟเล็ท.....77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ลำดับชั้นของการแปลงเวฟเล็ต.....	79
5.9 ลักษณะเบสิสของเวฟเล็ตที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป.....	80
5.10 ระบบทิศทาง.....	82
5.11 รหัสนิ้วมือ.....	83
5.12 ขนาดที่ได้จากการหาผลคูณภายในระหว่างเวกเตอร์ v1 กับ v2	86
6.1 ขั้นตอนการแบ่งประเภทลายนิ้วมือในวิทยานิพนธ์.....	88
6.2 ขั้นตอนการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล.....	90
6.3 สัญญาณภาคตัดขวางของภาพก่อนดำเนินการปรับปรุง.....	91
6.4 สัญญาณภาคตัดขวางของภาพหลังดำเนินการปรับปรุง.....	91
6.5 ภาพก่อนและหลังการปรับปรุง.....	92
6.6 ภาพก่อน(ซ้าย) และหลังกระบวนการปรับสภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล.....	93
6.7 ลักษณะของส่วนกรองภาพแบบภาพ 3 มิติกับผลตอบสนองด้านความถี่.....	93
6.8 มีการปรับความถี่เพิ่มขึ้นสังเกตการเปลี่ยนรูปร่างและผลตอบสนองย่านความถี่.....	93
6.9 เมื่อมีการปรับความถี่เพิ่มขึ้นสังเกตการเปลี่ยนรูปร่างและผลตอบสนองย่านความถี่.....	93
เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านลักษณะหน้าต่างเกาส์เซียนเพิ่มขึ้น โดยที่ยังคงความ กว้างด้านการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไชนูซอยด์ สังเกตผลตอบสนองความถี่ของ แกนแนวตั้ง.....	94
6.10 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านลักษณะหน้าต่างเกาส์เซียนลดลง โดยที่ยังคงความกว้าง ด้านการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไชนูซอยด์ สังเกตผลตอบสนองความถี่ของแกนตั้ง.....	95
6.11 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านรูปแบบสัญญาณไชนูซอยด์ลดลงขึ้น โดยคงค่าความกว้าง ด้านลักษณะหน้าต่างเกาส์เซียน สังเกตผลตอบสนองความถี่ของแกนนอน.....	95
6.12 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านรูปแบบสัญญาณไชนูซอยด์เพิ่มขึ้น โดยคงค่าความกว้าง ด้านลักษณะหน้าต่างเกาส์เซียน สังเกตผลตอบสนองความถี่ของแกนนอน.....	95
6.13 ลักษณะของสัญญาณภาพกับผลตอบสนองในทิศทางทำมุม -45 กับแกนนอน.....	96
6.14 ลักษณะของสัญญาณภาพกับผลตอบสนองในทิศทางทำมุมในแนวกับแกนตั้ง.....	96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.15 ลักษณะของสัญญาณลายนิ้วมือภาคตัดขวางสัญญาณนี้แสดงการเปลี่ยนแปลงของเส้นนูนและเส้นร่องภาพด้านขวาแสดงการตอบสนองความถี่ของสัญญาณ.....	97
6.16 ลักษณะของสัญญาณภาพออร์ภาคตัดขวางภาพด้านขวาแสดงการตอบสนองความถี่ของสัญญาณ.....	97
6.17 ลักษณะของสัญญาณลายนิ้วมือภาคตัดขวางหลังจากผ่านการประมวลผลส่วนกรองความถี่กาบอร์.....	97
6.18 สัญญาณภาพขยายของเส้นลายนิ้วมือในพื้นที่บางส่วนก่อนการปรับปรุงด้วยส่วนกรองกาบอร์และผลตอบสนองด้านความถี่.....	98
6.19 สัญญาณภาพขยายของเส้นลายนิ้วมือในพื้นที่บางส่วนหลังการปรับปรุงด้วยส่วนกรองกาบอร์และผลตอบสนองด้านความถี่.....	98
6.20 ภาพ 2 มิติของเส้นลายนิ้วมือกับชุดกรองกาบอร์ในทิศทางต่างๆ.....	99
6.21 ภาพเส้นลายนิ้วมือก่อนและหลังการปรับปรุง สังเกตความชัดเจนของที่มีความคมชัดของลายเส้นเพิ่มขึ้น.....	100
6.22 ขั้นตอนการหาทิศทางภาพลายนิ้วมือ.....	101
6.23 การค้นหาทิศทางภาพลายนิ้วมือโดยวิธีการของ Rao A.....	102
6.24 การค้นหาทิศทางภาพลายนิ้วมือโดยวิธีการของ Lin H.....	103
6.25 ภาพทิศทางจากค่าการปรับแต่งชุดแรก.....	104
6.26 ภาพขยายทิศทางเส้นลายนิ้ว.....	105
6.27 ระดับความเข้มแทนทิศทางของภาพ สังเกตตำแหน่งวงกลมเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีของจุดภาพ และเป็นตำแหน่งเดียวกับมินูเซีย.....	106
6.28 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้การกำหนดค่าชุดที่เหมาะสมกับการแบ่งกลุ่ม.....	107
6.29 กระบวนการแก้ไขภาพลายนิ้วมือ.....	108
6.30 ภาพลายนิ้วมือก่อนการดำเนินการจัดกลุ่มทิศทาง.....	107
6.31 ภาพลายนิ้วมือหลังการดำเนินการจัดกลุ่มทิศทาง.....	107
6.32 ภาพลายนิ้วมือหลังการเลือกส่วนที่ดีของข้อมูลและจัดรายละเอียดของข้อมูลใหม่.....	108

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.33 กระบวนการค้นหาจุดอ้างอิง.....	110
6.34 การแทนค่ามุมด้วยระบบเลข.....	111
6.35 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 และมีการเลื่อน 10×10 ที่มุมปกติ.....	112
6.36 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 ที่มุมปกติ.....	112
6.37 ผลการแปลงเวฟเล็ดบนพื้นที่ทิศทาง โดยตรงแสดงจุดอ้างอิงของภาพลายนิ้วมือ ที่มุมปกติ.....	113
6.38 ผลการแปลงเวฟเล็ดบนพื้นที่ทิศทางขนาด 480×512 แสดงจุดอ้างอิง ของภาพลาย- นิ้วมือนิ้วที่มุมปกติ.....	113
6.39 ตำแหน่งจุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสินใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลง เวฟเล็ดที่มุมปกติ.....	114
6.40 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 และมีการเลื่อน 10×10 ที่มุม 45 องศาทวนเข็มนาฬิกา.....	114
6.41 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 ที่มุมปกติที่มุม 45 องศาทวน เข็มนาฬิกา.....	115
6.42 การแปลงเวฟเล็ดบนพื้นที่ทิศทาง โดยตรงแสดงจุดอ้างอิงที่มุม 45 องศาทวนเข็ม.....	115
6.43 การแปลงเวฟเล็ดบนภาพทิศทางขนาด 480×512 และจุดอ้างอิงที่มุม 45 องศา ทวนเข็ม.....	116
6.44 จุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสินใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดที่มุม 45 องศาทวนเข็มนาฬิกา.....	116
6.45 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 และมีการเลื่อน 10×10 ที่มุม 180 องศา.....	116
6.46 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 ที่มุมปกติที่มุม 180 องศา.....	117
6.47 การแปลงเวฟเล็ดบนพื้นที่ทิศทาง โดยตรงแสดงจุดอ้างอิงที่มุม 180 องศาทวนเข็ม.....	118
6.48 แปลงเวฟเล็ดบนภาพทิศทางขนาด 480×512 จุดอ้างอิงที่มุม 180 องศาทวนเข็ม.....	118
6.49 จุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสินใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดที่มุม 45 องศา.....	118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.50 จุดอ้างอิงหลังที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดเบสิส db2.....	119
6.51 จุดอ้างอิงหลังที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดเบสิส db2 และสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทาง.....	119
6.52 จุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสินใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ด db2.....	120
6.53 ลายเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเส้นลายนิ้วมือที่สามารถคำนวณได้จากเบสิสแบบ db2.....	120
6.54 ขั้นตอนการแบ่งประเภทภาพ.....	122
6.55 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือวนซ้าย.....	123
6.56 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือวนซ้ายที่ได้รับการปรับเข้าสู่สภาพสมดุล.....	123
6.57 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือวนขวา.....	124
6.58 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือก้นหอย.....	124
6.59 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือเด่นท์.....	125
6.60 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมืออาร์ช.....	125
6.61 การปรับปรุงภาพตามสมมุติฐานการแทนที่ด้วยข้อมูลรัศมีจากจุดอ้างอิงน้อยกว่าที่มุมเดียวกันรวมกับพื้นที่ข้างเคียงด้วยดังกล่าว.....	126
6.62 กระบวนการปรับปรุงพีเจอร์.....	126
6.63 ตัวอย่างการนำสัญญาณเข้าสู่เวฟเล็ด แล้วเลือกสเกลที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่กระบวนการตัดสินใจ.....	127
6.64 ตัวอย่างภาพที่เสียหายแบบอาร์ชไม่นำเข้าประมวลผลการแบ่งลายนิ้วมือ.....	128
6.65 ภาพที่เสียหายแบบวนซ้ายและไม่นำเข้าประมวลผลการแบ่งลายนิ้วมือ.....	129
6.66 ภาพที่นำเข้าประมวลผลและตัดสินใจพลาดในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือโดยตัดสินใจเป็นภาพอาร์ชแทนภาพวนซ้าย.....	129

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์หลายนิ้วมือในปัจจุบันมีการพัฒนาความแม่นยำไปมากจนสามารถใช้ในระบบฐานข้อมูลราชการ การพาณิชย์ และด้านการเงินเป็นต้น ระบบการวิเคราะห์หลายนิ้วมือนับว่าเป็นระบบการจดจำรูปแบบที่น่าศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการจดจำที่มีประสิทธิภาพต่อไป

จากการศึกษาระบบการจดจำลายนิ้วมือ ความสำคัญของการจดจำลายนิ้วมือนั้นนอกจากที่เทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดแวร์ที่พัฒนาไปมากในปัจจุบันเช่น อุปกรณ์เก็บข้อมูล หน่วยประมวลผล เป็นต้นและการพัฒนาในด้านซอฟต์แวร์ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยต่างๆในปัจจุบัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจดจำลายนิ้วมือ ส่วนใหญ่เป็นการใช้เทคโนโลยีทางระบบการเรียนรู้แบบใหม่เช่น นิวรอลเน็ตเวิร์ค ฟัซซี่ เจนเนติกเป็นต้น แต่ระบบหรือขั้นตอนการจดจำนั้นยังคงรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความซับซ้อนและยุ่งยากเช่น การค้นหาทิศทาง การค้นหาจุดอ้างอิง หรือการระบุตำแหน่งมินูเซียสำหรับการจดจำแล้วนำข้อมูลตัวแทนกลุ่มแบบเก่าเข้าสู่ระบบการจดจำแบบใหม่ ทำให้ผลที่ได้ดีขึ้นมา ดังนั้นการพัฒนาในระบบลายนิ้วมือจึงยากที่จะทำให้ดีขึ้นกว่าเดิมเนื่องจากการใช้ระบบการจดจำที่เป็นเทคโนโลยีล่าสุดในปัจจุบันแล้ว

จากที่กล่าวมา คณะผู้จัดทำได้นั้นการศึกษาลักษณะตัวแทนกลุ่มข้อมูลภาพลายนิ้วมือแบบใหม่ที่บ่งบอกลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ สำหรับการใช้กับระบบการจดจำที่ดีมากแล้ว

จากบทความวิจัย (Anil J.1999) [1] ได้ค้นหาการนำเวกเตอร์ในแกนความถี่มาใช้ในการจดจำและแบ่งประเภทภาพลายนิ้วมือแทนการใช้ตำแหน่งมินูเซีย บทความนี้ได้เป็นแรงจูงใจให้ผู้จัดทำพัฒนาระบบการจดจำในโดเมนอื่นๆและบทความล่าสุด [2] ได้ยืนยันความสำเร็จการใช้ตัวแทนกลุ่มทางแกนความถี่สำหรับการจดจำภาพ

อีกทั้งในปัจจุบันนี้บทความวิจัยมีการค้นหาสมการคณิตศาสตร์ใหม่ๆหรือขั้นตอนใหม่ๆที่เหมาะสมกับการประมวลผลทางภาพที่นำมาใช้ในการจดจำภาพลายนิ้วมือ

1.2 วัตถุประสงค์ในงานวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาลักษณะการเลือกใช้ตัวแทนกลุ่มข้อมูลแบบความถี่และการดำเนินการบนเวกเตอร์ทิศทาง เพื่อใช้ในระบบการหาจุดอ้างอิงและแบ่งประเภทภาพ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การจดจำภาพคือ การแยกภาพออกเป็นองค์ประกอบย่อยๆที่มีในภาพ แล้วพิจารณาจากสัมประสิทธิ์องค์ประกอบเช่น ภาพใบหน้าประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยดวงตา จมูก ปาก ใบหน้าที่ซึ่งคนมีอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์เหล่านี้ไม่เท่ากัน แสดงสมการตัวอย่างได้ดังสมการที่ (1.1) เช่นเดียวกับเวฟเล็ดในการแยกสัญญาณเป็นองค์ประกอบย่อยที่เหมาะสมกับการประมวลผล แล้วพิจารณาจากขนาดและเวลา และเช่นเดียวกับการแปลงฟูเรียร์ในการแยกสัญญาณให้อยู่ในองค์ประกอบของคาบไซนูซอยด์เพื่อเหมาะกับการกรองสัญญาณ โดยพิจารณาจากขนาดและความถี่

$$y = f(x) \quad (1.1)$$

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 \quad (1.2)$$

โดยที่ x_1 เป็นหน่วยเวกเตอร์หรือเบสิสดวงตา

x_2 เป็นหน่วยเวกเตอร์หรือเบสิสจมูก

x_3 เป็นหน่วยเวกเตอร์หรือเบสิสปาก

การจดจำภาพในสเปซเชิงโดเมน ความยากลำบากอยู่ที่การพัฒนาระบบการหารูปร่าง องค์ประกอบย่อยที่ต้องการในภาพ ซึ่งรูปร่างนั้นๆมีการเปลี่ยนไปตามการเลื่อน การหมุน ขนาดที่ไม่ตายตัวและสัญญาณรบกวน

การจดจำภาพลายนิ้วมือในแกนความถี่ สามารถชดเชยปัญหาบางอย่างได้ เช่นไม่จำเป็นต้องมีเทมเพลตที่ตายตัวในการค้นหา ไม่จำเป็นต้องทำขั้นตอนการแปลงภาพ 2 ระดับที่ซึ่งในกรณีที่ภาพมีสัญญาณรบกวน การแปลงทำให้ใกล้เคียงภาพเดิมยากและมีการสูญเสียข้อมูลการทำลายเส้นให้บาง และอื่นๆอีกมากมาย แต่ประเด็นสำคัญคือต้องหาความหมายของข้อมูลที่ได้ในแกนความถี่สำหรับองค์ประกอบย่อยให้ได้

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงพยายามศึกษาการแยกภาพลายนิ้วมือเป็นองค์ประกอบย่อย ที่มีความหมายและง่ายต่อการค้นหา ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการค้นหาความหมายจากลักษณะในแกนความถี่

1.4 ขอบเขตงานวิจัยและขั้นตอนการดำเนินการ

ขอบเขตและการดำเนินการในงานวิจัย

1. งานวิจัยได้ดำเนินการทดลองในส่วนความหมายทิศทางการกับภาพในแกนความถี่

2. พิจารณาองค์ประกอบของความถี่ในพื้นที่ดำเนินการย่อยที่เป็นมิനുเซีย
3. พิจารณาการแบ่งพื้นที่ดำเนินการที่ย่อยให้เป็นขนาดเล็กที่สุด เพื่อให้สามารถใช้เวกเตอร์ทิศทางในการระบุตำแหน่งมิനുเซีย
4. เสนอการใช้หน้ากาบอร์ทิศทางในการคำนวณทิศทางภาพ และปรับปรุงความถูกต้องด้วยสมการไม่เป็นเชิงเส้น
5. เสนอรูปแบบการดำเนินการบนเวกเตอร์ทิศทางในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ทิศทางภาพที่ซึ่งไม่สามารถดำเนินการด้วยฟูเรียร์ หรือเวฟเล็ตโดยตรง โดยปกติมีเพียงการหาค่าความเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณภาพ
6. ศึกษาลักษณะเฉพาะของเวฟเล็ตในการตรวจจับสัญญาณที่ต้องการ การนำเวฟเล็ตมาใช้งานยังทำให้สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ง่ายขึ้น
7. เสนอการวิเคราะห์เวกเตอร์ทิศทางรูปจุดอ้างอิงแบบหลายระดับชั้น กับฟังก์ชันพิเศษสำหรับการแบ่งประเภทภาพลายนิ้วมือที่สามารถเลื่อนและหมุนได้
8. ประยุกต์การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ
 - แบบหลายระดับขนาด
 - แบบหลายระดับชั้นรอบจุดอ้างอิง
 - การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากเวฟเล็ต

บทที่ 2

ทฤษฎีระบบการจดจำรูปแบบ

2.1 กล่าวนำ

การออกแบบระบบการจดจำต้องการศึกษาในส่วนประกอบ [3] ที่สำคัญดังต่อไปนี้

- ความหมายของแต่ละรูปแบบประเภท (Definition of pattern class)
- ความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม (Sensing environment)
- ตัวแทนกลุ่มข้อมูล (Pattern representation)
- การแยกแยะและการเลือกส่วนประกอบสำคัญในการจดจำ (Feature extraction)
- การพิจารณาการแบ่งกลุ่มเป็นส่วนๆ (Cluster analysis)
- การออกแบบส่วนการแบ่งประเภทและการเรียนรู้ (Classifier design)
- การเลือกวิธีการสอน (Selection of training)
- การประเมินประสิทธิภาพ (Performance estimation)

ปัญหาหลักๆในการวิจัยและพัฒนาระบบการจดจำมีทิศทาง ตำแหน่ง หรือขนาดที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยอิสระ ในขณะที่การประยุกต์ใช้งานระบบการจดจำเช่น การค้นหาข้อมูลจากรูปภาพ หรือภาพถ่ายดาวเทียม การจดจำใบหน้า การจดจำตัวอักษรจากลายมือ ต่างก็ต้องการระบบการจดจำที่มีประสิทธิภาพ

เมื่อเวลาผ่านไป เด็กเล็กๆสักประมาณอายุได้ 5 ปี เติบโตพอที่จะเรียนรู้และจดจำสิ่งต่างรูปตัว ไม่ว่าจะตั้งแต่ใบหน้า เสียงของพ่อแม่หรือคนแปลกหน้า จนกระทั่งตัวเลข ตัวอักษรต่างๆ สิ่งเหล่านี้มนุษย์สามารถกระทำได้โดยธรรมชาติจนกระทั่งเมื่อมนุษย์ต้องการให้เครื่องจักรกลสามารถสังเกตสิ่งต่างๆได้บ้าง ทฤษฎีระบบการจดจำได้นำมากำหนดขึ้นและนำมาใช้งาน ทฤษฎีระบบการจดจำกล่าวถึงสิ่งที่เครื่องจักรสามารถแยกแยะวัตถุที่ต้องการจากพื้นหลังได้อย่างไร การตัดสินใจที่มีเหตุผลต่อประเภทของรูปแบบต่างๆที่ต้องการจดจำ

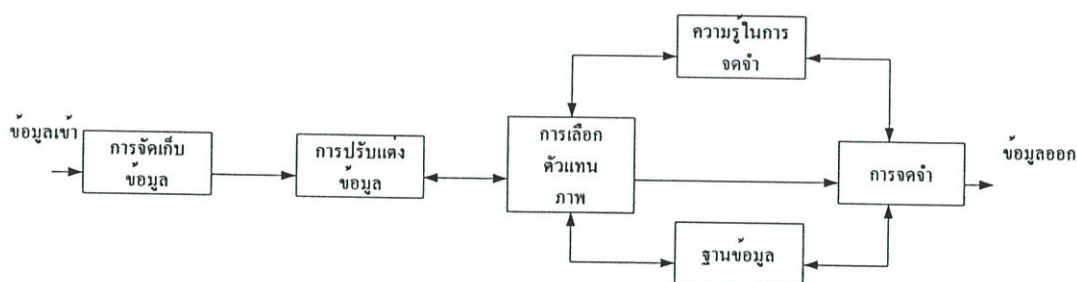
เนื้อหาต่อจากนี้จะเป็นความรู้เบื้องต้นสำหรับทฤษฎีการจดจำและแบ่งประเภท เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจในพื้นฐานการกระทำเกี่ยวกับการแยกแยะโดยใช้หน่วยประมวลผล หัวข้อที่กล่าวถึงในบทนี้มีการเรียงลำดับดังนี้

จากระบบการจดจำเบื้องต้นซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับการนำข้อมูลเข้า การจดจำและเน้นในเรื่องการค้นหาตัวแทนข้อมูล ฟังก์ชันการตัดสินใจ รายละเอียดที่สำคัญของการจดจำจากระบบร่างกายและสร้างพื้นฐานที่สำคัญของภาพลายนิ้วมือ

2.2 ระบบการจดจำเบื้องต้น

การจดจำรูปแบบอัตโนมัติ การแบ่งประเภทของรูปแบบ การจัดกลุ่มรูปแบบเป็นปัญหาสำคัญในวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ เช่น ชีววิทยา ด้านการแพทย์ ด้านการตลาด ด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ ด้านการเรียนรู้แบบฉลาดและด้านการตรวจสอบระยะไกล แต่ทว่าอะไรล่ะคือรูปแบบ Wanatabe [4] ได้กล่าวไว้ถึงรูปแบบไว้ว่าสิ่งที่ไม่สับสน สามารถเห็นชัดเจน แต่อาจยังมีความคลุมเครืออยู่บ้าง และสามารถกำหนดชื่อได้ ตัวอย่างเช่น รูปแบบอาจเป็นภาพลายมือคน ตัวอักษรที่คนเขียน ใบหน้าคน สัญญาณคำพูด เป็นต้น จากรูปแบบที่ได้รับ การแบ่งประเภทหรือการจดจำประกอบด้วย 1 ใน 2 อย่างของงานต่อไปนี้ คือกำหนดคุณสมบัติในกลุ่มล่องหน้ากับคุณสมบัติของกลุ่มที่ไม่รู้ล่องหน้า

การเติบโตของระบบประมวลผล ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นทำให้มีการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับระบบการจดจำมากมาย เช่น การแบ่งประเภทเอกสาร (โดยการค้นหาคำในเอกสาร) การพยากรณ์ระบบการเงิน การจัดการและใช้งานระบบมัลติมีเดีย ระบบการจดจำ Biometric (การระบุตัวบุคคลจากส่วนประกอบต่างๆ ในร่างกายของคนๆ นั้น เช่น การจดจำใบหน้า เสียง ดวงตา ลายนิ้วมือ เป็นต้น) แต่อย่างไรก็ตามไม่มีวิธีการจดจำวิธีที่เดียวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานทั้งหมด ดังนั้นจึงได้มีการวิจัย และศึกษาส่วนประกอบที่ได้กล่าวถึงในระบบการจดจำเพื่อพัฒนาระบบการจดจำต่อไป



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบจดจำ

ระบบจดจำโดยทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การนำข้อมูลเข้าและทำการเตรียมพร้อมก่อนการประมวลผล (Data acquisition)
2. การหาตัวแทนกลุ่มข้อมูล (Feature extraction)
3. ส่วนการตัดสินใจ (Classifier)

ในงานวิจัยนี้ก็ได้ทำการศึกษาถึงส่วนประกอบต่างๆ ในการจดจำซึ่งเน้นไปที่การแยกแยะและการเลือกส่วนต่างๆ หรือตัวแทนข้อมูลที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ เพื่อมาใช้งานในการจดจำ

ลายนิ้วมือ โดยพยายามให้ข้อมูลตัวแทนมีความสัมพันธ์ภายในกลุ่มมากที่สุดและความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มแตกต่างกันมากที่สุด

2.3 การนำข้อมูลเข้าหรือขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

สิ่งที่ต้องพิจารณาคือแหล่งของข้อมูลป้อนเข้า สภาพแวดล้อมของสัญญาณเข้ากับสัญญาณรบกวน ซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการปรับปรุงเพื่อให้ภาพอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมเพื่อที่นำหาตัวแทนกลุ่มที่เหมาะสมต่อไป

2.4 ตัวแทนกลุ่มข้อมูล

การเลือกตัวแทนกลุ่มข้อมูลของรูปภาพคือการค้นหาลักษณะเฉพาะที่ซ่อนอยู่ภายในภาพของวัตถุนั้นๆ ตัวแทนที่ได้มาถูกใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของวัตถุก่อนที่นำไปประมวลผลในระบบจดจำข้อมูลหรือแบ่งประเภทต่อไป สิ่งที่ได้มาคือโครงสร้างของวัตถุในเชิงคณิตศาสตร์ที่สามารถประมวลผลได้

ปัญหาของการเลือกตัวแทนกลุ่มข้อมูลคือ จากตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่ให้มาจำนวน d ทำการหาจำนวนประเภทกลุ่ม m ที่นำไปสู่ความผิดพลาดของการแบ่งกลุ่มน้อยที่สุด ความยากง่ายของการเลือกตัวแทนกลุ่มของแต่ละวัตถุมาจากสภาพของอุปกรณ์ที่ทำการเก็บข้อมูลมีความหลากหลายและลักษณะวัตถุเอง

ข้อสำคัญในการเลือกตัวแทนกลุ่มคือ

1. เป็นการลดขนาดการประมวลผล ประมวลผลตัวแทนกลุ่มแทนที่ภาพทั้งภาพ
2. ลดความซับซ้อนของภาพและขั้นตอนในการประมวลผล
3. เลือกตัวแทนกลุ่มที่มีความชัดเจนในการแสดงถึงลักษณะคุณสมบัติของวัตถุ
4. ทำให้การประมวลผลแบ่งกลุ่มสามารถตัดสินใจได้ง่าย และถูกต้องโดยความสัมพันธ์ของตัวแทนกลุ่มในแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์กันสูง และความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มต่ำ
5. ลดความเลื่อมล้ำสำหรับค่าขอบเขตในแต่ละกลุ่มได้ ถ้ามีการเลือกใช้ตัวแทนกลุ่มที่เหมาะสม ปัญหาการเลื่อมล้ำถือว่าเป็นปัญหาใหญ่ในขั้นตอนการจัดแบ่งกลุ่มดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4

เนื่องจากปัจจุบันมีบทความจำนวนมากในการพัฒนาการประมวลผลการจดจำและแบ่งกลุ่มเช่นระบบนิวรอลในแบบต่างๆ ตั้งแต่ Fuzzy, Radial neural, Fuzzy neuro, Wavelet neural ดังนั้นในบทความนี้จึงได้เห็นในการหาตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ โดยพยายามใช้ลักษณะทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณมาเป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูล โดยได้มีการคาดหวังว่าสามารถหาตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสมและแสดงเอกลักษณ์ของลายนิ้วมือในแต่ละประเภทออกมาให้

มากที่สุด ซึ่งให้ตัวแทนกลุ่มที่ดีคือมีความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มต่ำและในกลุ่มสูง และเมื่อนำไปรวมกับระบบการประมวลผลที่พัฒนานำไปสู่การพัฒนาการจดจำลายนิ้วมือ

2.5 ส่วนการตัดสินใจ

ขั้นตอนการแบ่งประเภทเพื่อแปลงค่า (Mapping) จากตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสมให้เข้าไปอยู่ในกลุ่มที่เหมาะสม ส่วนการตัดสินใจของระบบการจดจำ [4] คือการแปลงค่าเข้าไปแล้วแทนที่เป็นการเทียบกับกลุ่มที่มีอยู่แต่เป็นการเทียบกับฐานข้อมูลแทน

ขั้นตอน (Algorithm) การแปลงค่ากลุ่มข้อมูล (Mapping function) นี้มีหลายวิธีการเช่น การใช้กฎพื้นฐาน (Rule-based) ค่าทางสถิติ (Statistic model) นีลรอล (Neural) ฟัซซี่ (Fuzzy) - ขั้นตอนการจดจำเมื่อแยกวิธีสอนสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

ขั้นตอนสำหรับการจดจำที่มีการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยให้ข้อมูลป้อนเข้าจัดในกลุ่มที่กำหนดคุณสมบัติล่วงหน้าได้ใกล้เคียงที่สุดไว้ก่อนเรียกว่า Supervised

ส่วนขั้นตอนสำหรับ Unsupervised ข้อมูลได้รับการแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยไม่มีการสอนล่วงหน้าหรือคุณสมบัติของข้อมูลในแต่ละกลุ่มไม่มีการกำหนดตายตัวไว้ล่วงหน้า คุณสมบัติของกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ

2.5.1 การตัดสินใจแบ่งข้อมูลแบบกำหนดไว้ล่วงหน้า (Supervised classification)

เราสามารถแยกหัวข้อในการกล่าวเป็น 2 หัวข้อที่สำคัญ

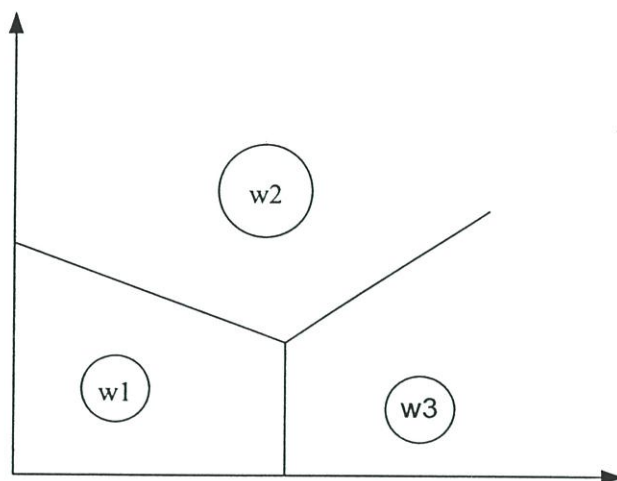
2.5.1.1 ฟังก์ชันการตัดสินใจ (Decision function)

ฟังก์ชันการตัดสินใจในการแบ่งกลุ่มข้อมูลในที่นี้คือ X ให้เข้ากับกลุ่มที่มีการกำหนดคุณสมบัติล่วงหน้า w_i โดยใช้ฟังก์ชันการแปลง g_i เพื่อหาความสัมพันธ์ การหาค่าที่มีความสัมพันธ์ ค่าตัวแทนกลุ่ม X ถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่ม w_i เมื่อ $g_i > g_j$ ลักษณะของฟังก์ชันการตัดสินใจและตัวแทนกลุ่มข้อมูลแสดงในรูปที่ 2.2 รูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 ฟังก์ชันการตัดสินใจพื้นฐาน [5] มีดังนี้

2.5.1.1.1 ฟังก์ชันในการแยกแยะ (Discriminant function)

$$g_i(x) = w_{i1}x_1 + w_{i2}x_2 + \dots + w_{in}x_n \quad (2.1)$$

โดยที่ w_i ฟังก์ชันเวกเตอร์ของกลุ่ม x_i เป็นข้อมูลป้อนเข้า ลักษณะการคำนวณเหมือนการหาค่าผลคูณภายในของเวกเตอร์ (Inner product) โดยค่าผลคูณภายในมีค่าสูงสุดเมื่อลักษณะฟังก์ชันเวกเตอร์นั้นคล้ายกันมากที่สุด ค่าตัวแทนกลุ่ม X จัดให้กลุ่มที่มีค่าการแปลงสูงสุด



รูปที่ 2.2 การแบ่งกลุ่มด้วยฟังก์ชันแบบเชิงเส้นใดๆแล้วไม่มีการเหลื่อมล้ำกัน

2.5.1.1.2 ระยะห่างน้อยที่สุด (Minimum distance function)

$$\|x - r_i\| = [(x - r_i)^T (x - r_i)]^{1/2} \quad (2.2)$$

โดยที่ r_i เป็นฟังก์ชันเวกเตอร์ของกลุ่ม ลักษณะการคำนวณเปรียบเหมือนหาค่าความแตกต่างหรือระยะทางยูคลิดีียน (Euclidean distance) ระหว่าง 2 ฟังก์ชัน ค่าตัวแทนกลุ่ม X จัดให้กลุ่มที่มีค่าระยะห่างน้อยที่สุด

2.5.1.2 กระบวนการตัดสินใจ (Decision algorithm)

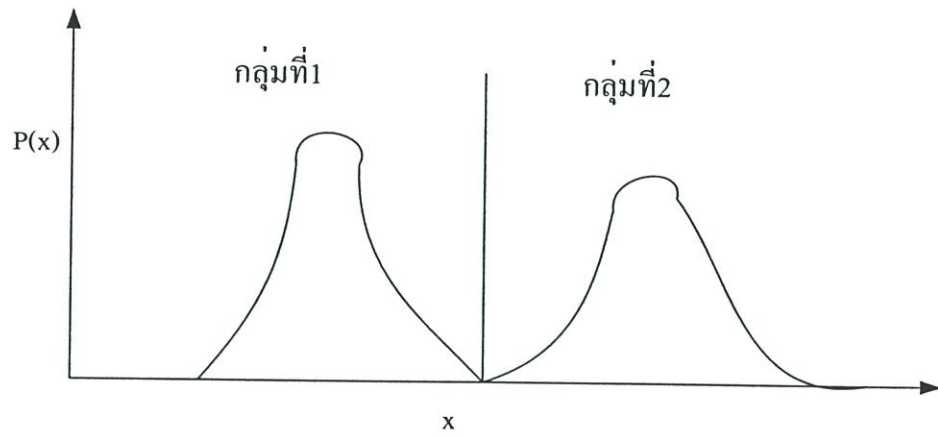
เป็นกระบวนการที่ใช้ร่วมกับฟังก์ชันการตัดสินใจ เพื่อปรับปรุงการจัดกลุ่มให้ดีขึ้น เนื่องจากขอบเขตของกลุ่มที่ต้องการจัดแบ่งอาจมีการเหลื่อมล้ำกัน กระบวนการตัดสินใจที่ดีต้องมีค่าการเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่มมากกว่าค่าการเบี่ยงเบนภายในกลุ่มมากๆ กระบวนการที่ใช้เช่น

2.5.1.2.1 การแบ่งกลุ่มแบบเบย์ (Bayes classifier)

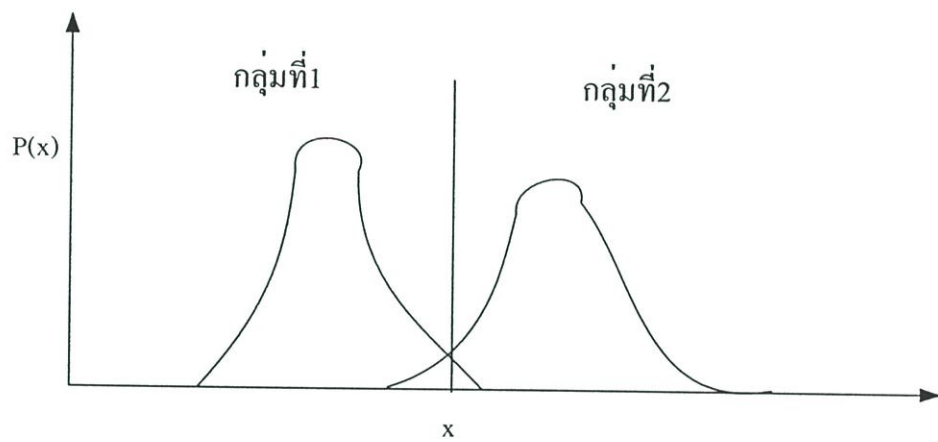
เป็นกระบวนการโดยใช้สมการคณิตศาสตร์เพื่อลดความเหลื่อมล้ำระหว่างกลุ่มสำหรับเวกเตอร์ x ให้เข้ากับกลุ่มที่มีการกำหนดคุณสมบัติล่วงหน้า w_i ในกรณีนี้

$$p(w_i | x) \geq p(w_j | x) \quad (2.3)$$

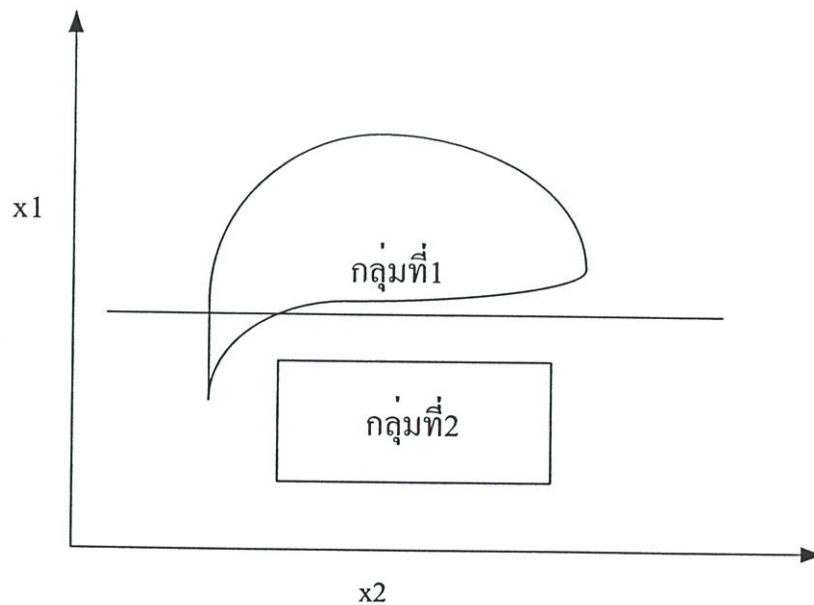
โดยที่ w_i ฟังก์ชันเวกเตอร์ของกลุ่ม x เป็นเวกเตอร์ข้อมูลป้อนเข้า



รูปที่ 2.3 ลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่สามารถแยกได้โดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นและข้อมูลระหว่างกลุ่มไม่มีการเหลื่อมล้ำ



รูปที่ 2.4 ลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่สามารถแยกได้โดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นและข้อมูลระหว่างกลุ่มมีการเหลื่อมล้ำ



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชันการแบ่งกลุ่มเชิงเส้นที่ทำให้เกิดการเหลื่อมล้ำ

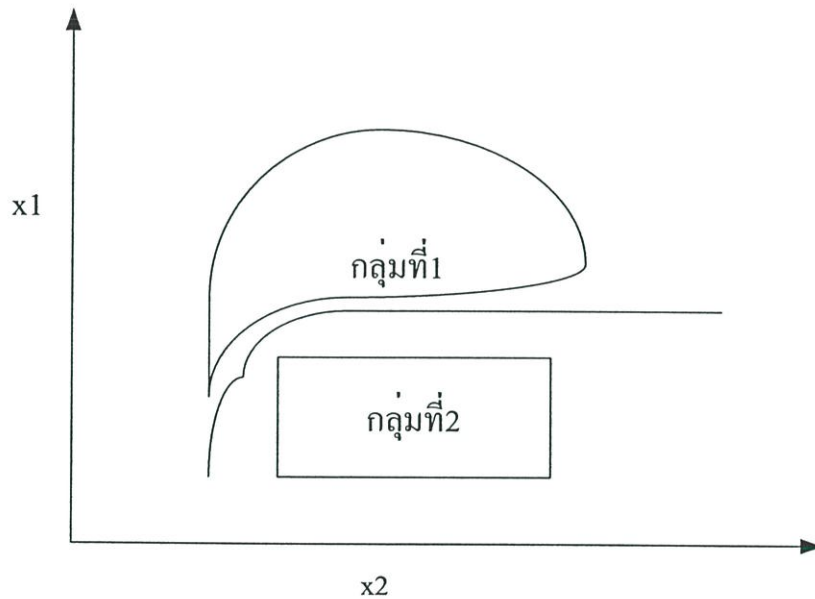
และเมื่อมีการใช้ Cost function หรือฟังก์ชันสำหรับแต่ละกลุ่มสมการจัดรูปเป็น

$$c_i p(x | w_i) p(w_i) > c_j p(x | w_j) p(w_j) \quad \text{สำหรับค่า } j = 1, 2, \dots, M, i \neq j \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า c_i เป็นค่า Cost function สำหรับกลุ่ม w_i และ M เป็นจำนวนกลุ่ม การใช้ฟังก์ชันการจัดกลุ่มเช่นค่าเฉลี่ยเข้ามาประยุกต์ ทำให้สมการของ Bayes classifier [5] เป็น

$$F_k(x_i) = \ln|D_k| + (x_i - m_k)^T D_k^{-1} (x_i - m_k) \quad (2.5)$$

โดยที่ x_i เป็นเวกเตอร์ที่ได้รับการจัดเข้ากับกลุ่ม k ในกรณีที่ค่า F_k มีค่าน้อยที่สุด D_k เป็นค่าความแปรปรวนร่วมของเมตริกซ์ที่สอดคล้องกับกลุ่ม k



รูปที่ 2.6 การเหลื่อมล้ำไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้ฟังก์ชันที่ไม่ใช่เชิงเส้น

2.5.1.2.2 การแบ่งประเภทแบบต้นไม้ (Tree classifier)

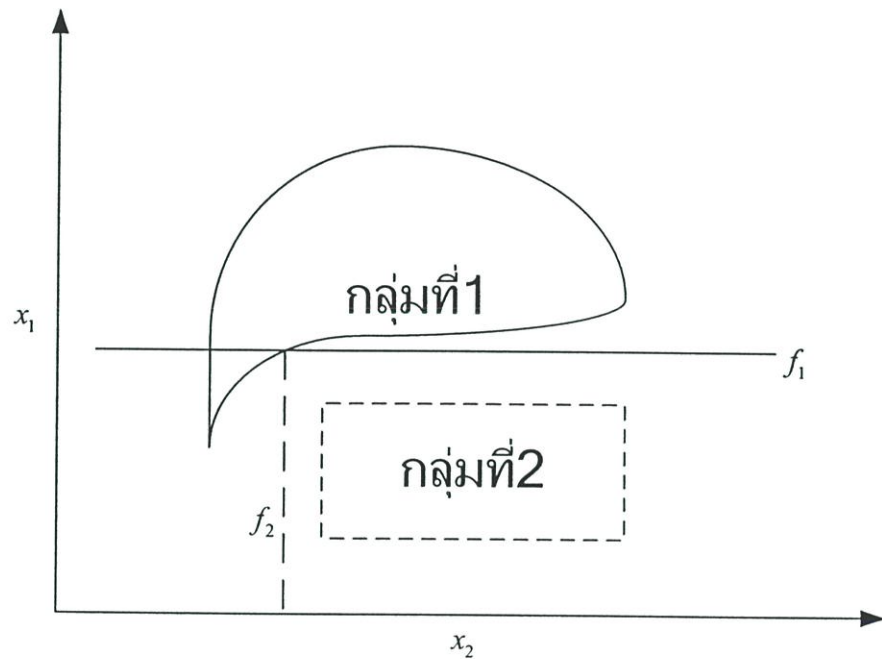
เป็นขั้นตอนการใช้ฟังก์ชันการตัดสินใจในหลายระดับชั้น เพื่อลดความเหลื่อมล้ำที่อาจเกิดขึ้นมาจากการตัดสินใจในครั้งเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 โดยในแต่ละหน่วย (Node) การตัดสินใจสามารถมีฟังก์ชันการตัดสินใจและตัวแทนกลุ่มที่เป็นอิสระ ขั้นตอนของ Tree classification เป็นดังนี้

1. เริ่มแบ่งกลุ่มในหน่วยการตัดสินใจแรก พิจารณาว่าสามารถแบ่งกลุ่มได้อีกไหม เช่น การใช้ค่าเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ พิจารณาค่าเฉลี่ยค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังนี้

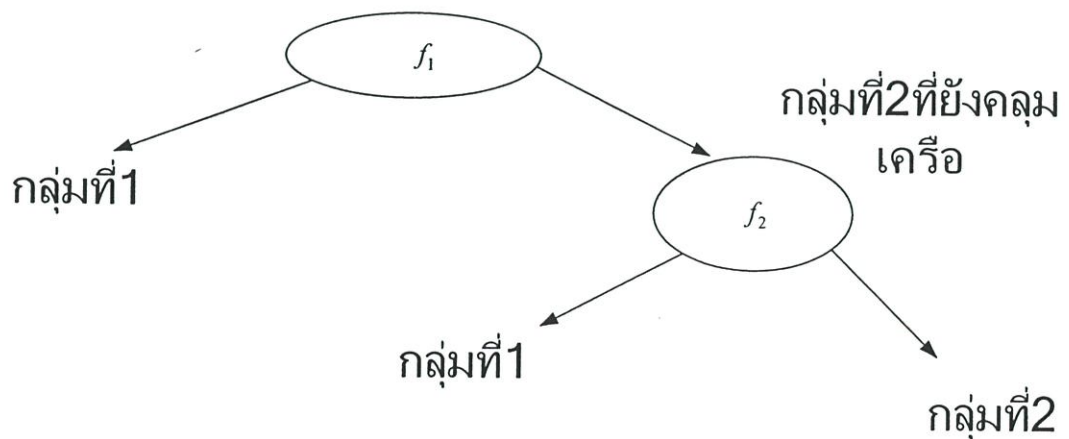
$$\varepsilon = (u_1 - u'_1)^T (u_2 - u'_2) \quad (2.6)$$

โดยที่ u_1 เป็นเฉลี่ยของกลุ่มหนึ่งครั้งแรก u_2 เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มสองครั้งแรก u'_1 เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มหนึ่งครั้งที่สอง u'_2 เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มสองในการกระทำครั้งที่สอง

2. ถ้าค่า ε ที่ได้มากกว่าค่ากำหนด ให้เริ่มแบ่งต่อไปเรื่อยๆจนกว่าค่า ε น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่ต้องการ

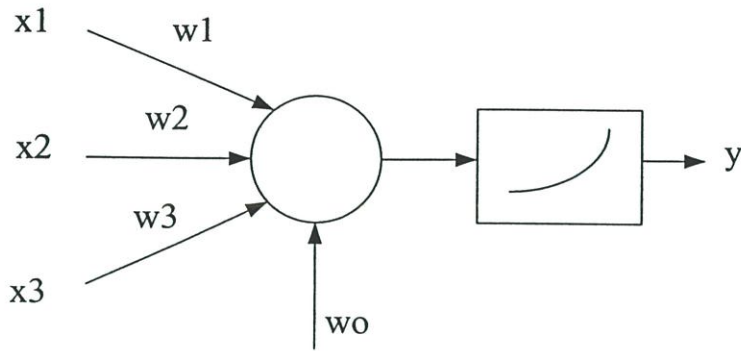


รูปที่ 2.7 การใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น f_1, f_2 ร่วมกับการแบ่งประเภทแบบต้นไม้ (Tree classify) ในการแก้ไข



รูปที่ 2.8 การแบ่งแยกกลุ่มที่เหลื่อมล้ำโดยการใช้ฟังก์ชันเชิงเส้นร่วมกับการแบ่งประเภทเป็นต้นไม้ โดยการพิจารณาแบบลำดับขั้น

2.5.1.2.3 นีลรอลเนตเวอค (Neural network)



รูปที่ 2.9 ระบบการแปลงค่าและจดจำแบบนิวรอล (Neural) อย่างง่าย

$$y_i = F_n \left(\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j \right) \quad (2.7)$$

ระบบการตัดสินใจและจดจำแบบนิวรอลแสดงในรูปที่ 2.9 โดยมีการตัดสินใจ F_n (Activation function) เพิ่มขึ้นมา ลักษณะของ Activate function ที่เป็นไม่เชิงเส้น สามารถทำให้เหมาะกับการตัดสินใจที่ไม่ใช่เชิงเส้น

ขั้นตอนการเรียนรู้คือ

1. หาค่าการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติตัวแทนกลุ่ม

$$\Delta w_{ij} = \alpha (y_i' - y_i) x_{ij} \quad (2.8)$$

โดยที่ค่า y_i' เป็นค่าสัญญาณขาออกสำหรับการจัดกลุ่มที่ต้องการ

y_i เป็นค่าสัญญาณค่าออกจริง

α เป็นอัตราในการปรับค่าคุณสมบัติของกลุ่มที่ได้จากการเรียนรู้

สังเกตว่าค่า Activate function มีผลต่อค่าสัญญาณขาออก

2. ปรับปรุงค่าคุณสมบัติตัวแทนกลุ่ม

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} \quad (2.9)$$

โดยที่ t เป็นจำนวนครั้งในการเรียนรู้

ระบบนิรอลที่ขกตัวอย่างเป็นแบบพื้นฐาน ระบบที่ใช้งานประยุกต์จริงมีลำดับชั้นจำนวนมาก และการป้อนกลับแบบต่างๆ

2.5.1.2.4 ระบบการตัดสินใจแบบคลุมเครือ (Fuzzy function)

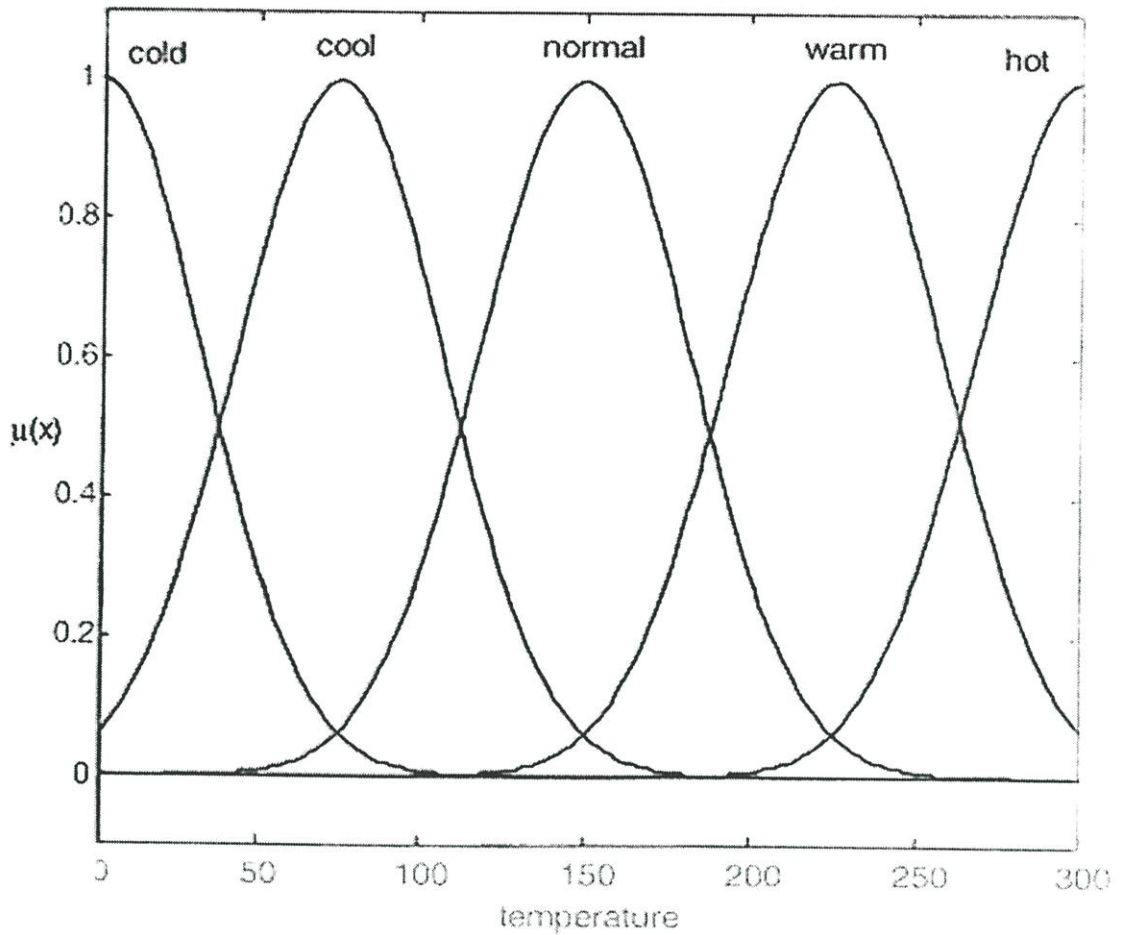
เป็นการสร้างกระบวนการตัดสินใจ ที่ใช้ตรรกะจำลองความคิดของมนุษย์ในการตัดสินใจ รวมถึงการกำหนดค่าสำหรับเวกเตอร์ตัวแทนกลุ่มหนึ่งๆ สามารถมีความสัมพันธ์กับทุกๆกลุ่มอาจมีมากหรือน้อย ซึ่งมีผลกับการตัดสินใจแบบตรรกะ จากแบบเดิมที่เวกเตอร์ตัวแทนกลุ่มต้องอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น ซึ่งแบบดั้งเดิมมีการตัดสินใจที่ผิดพลาดจากการเชื่อมล้าของบริเวณขอบของกลุ่ม แต่ในระบบฟัซซี่ที่เวกเตอร์กลุ่มสามารถมีอยู่ได้ในหลายกลุ่ม ทำให้ค่าตัวแทนกลุ่มสามารถอยู่ในกลุ่มที่เหลื่อมล้าทั้ง 2 กลุ่มได้และสามารถใช้ค่าอื่นๆเป็นส่วนช่วยสร้างเงื่อนไขกับกระบวนการตัดสินใจแบบตรรกะ ทำให้สามารถจัดตัวแทนกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มเป้าหมายที่ถูกต้องด้วยสมการคณิตศาสตร์ [3] สำหรับค่าสมาชิกของกลุ่มที่ชัดเจนในกระบวนการตัดสินใจทั่วไป

$$u_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.10)$$

โดยที่ $u_A(x)$ เป็นค่าสมาชิกภาพในกลุ่ม A ของพีเจอร์ x
ส่วนสมการคณิตศาสตร์สำหรับค่าความคลุมเครือในระบบฟัซซี่แสดงได้ดังนี้

$$u_A(x) = [0,1] \quad (2.11)$$

ค่าสมาชิกภาพสำหรับกลุ่มอยู่ในช่วง 0 ถึง 1



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างระบบค่าสมาชิกแบบฟัซซี่(Fuzzy) ที่ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในแกนอุณหภูมิและแกนสมาชิกภาพ $u(x)$ [5]

2.5.2 การตัดสินใจแบ่งข้อมูลแบบไม่กำหนดไว้ล่วงหน้า (Unsupervised classification)

เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลโดยไม่ได้มีการพิจารณากำหนด หรือสอนคุณสมบัติของแต่ละกลุ่มก่อนล่วงหน้า ข้อมูลถูกแยกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยฟังก์ชันการตัดสินใจและขั้นตอนในการแบ่งกลุ่ม ฟังก์ชันการตัดสินใจและกระบวนการใช้ร่วมที่พบบ่อย

2.5.2.1 ฟังก์ชัน Minkowsky metric

$$d(x_i, x_j) = \left[\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

โดยที่ x แสดงตัวแทนข้อมูล i และตัวแทนข้อมูล j ที่นำมากระทำโดยพิจารณาจากองค์ประกอบภายใน k

2.5.2.2 ฟังก์ชัน Quadratic

$$d(x_i, x_j) = (x_i - x_j)^T W (x_i - x_j) \quad (2.13)$$

โดยที่ค่า W เป็นเมตริกซ์เชิงบวก (Positive definite matrix)
ฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่ถูกรับ (Normalized correlation)

$$d(x_i, x_j) = \frac{(x_i^T x_j)}{[(x_i^T x_i)(x_j^T x_j)]^{1/2}} \quad (2.14)$$

โดยที่ x แสดงตัวแทนข้อมูล i และตัวแทนข้อมูล j ที่นำมากระทำ

2.5.2.3 ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming distance) [5]

$$d(x_i, x_j) = N - \sum_{k=1}^N x_{ik} - x_{jk} \quad (2.15)$$

โดยที่ x_{ik} และ x_{jk} เป็นแต่ละค่าในเวกเตอร์ x_i และ x_j

2.5.2.4 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม (Clustering algorithm)

ขั้นตอนหรือกระบวนการที่นิยมมีมากมายเช่น แบ่งแยกแล้วรวม (Split-and-merge), k-mean, Isodata ในที่นี้ขอกล่าวถึง K-means clustering
การแบ่งกลุ่มแบบวิธี-เค (K-means clustering)

1. เลือกค่าเวกเตอร์คุณสมบัติเริ่มต้นโดยการสุ่ม $m_1(0), m_2(0), \dots, m_k(0)$

โดยที่ k เป็นจำนวนกลุ่ม

$m(l)$ หมายถึงค่าเริ่มต้นในการทำซ้ำครั้งที่ l

2. คำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลตัวแทนป้อนเข้ากับคุณสมบัติเริ่มต้นในกลุ่มต่างๆ แล้วจัดกลุ่มให้เวกเตอร์ตัวแทนกลุ่มป้อนเข้าเป็นอยู่ในกลุ่ม w_j ถ้า

$$\|m_j(k) - x_i\| < \|m_i(k) - x_i\| \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, 3, \dots, k, i \neq j \quad (2.16)$$

โดยที่

$$\|x\| = \left[\sum_{i=q}^n x_i^2 \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

3. คำนวณหาตัวแทนกลุ่มใหม่

$$m_j(k+1) = \frac{1}{n} \sum_{x \in w_j} x_i \quad (2.18)$$

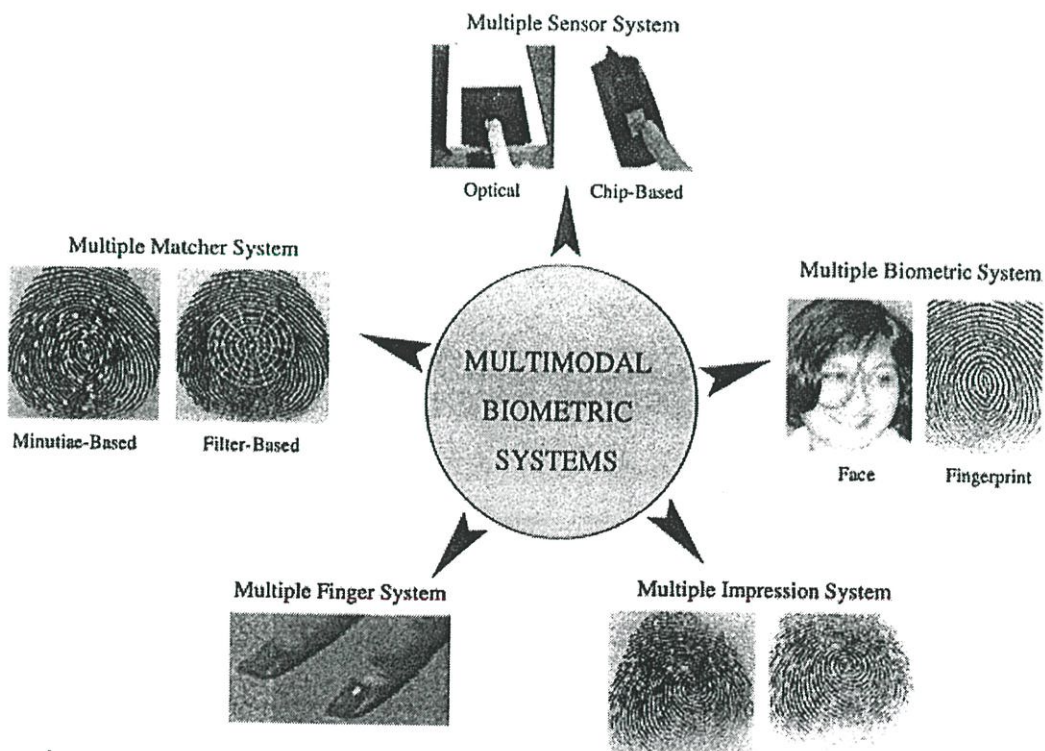
4. ตรวจสอบค่าการดูเข้า ถ้ายังไม่ดูเข้าก็มีการทำซ้ำใหม่

$$m_j(k+1) = m_j(k) \quad \text{สำหรับ } j = 1, 2, 3, \dots, k \quad (2.19)$$

ข้อเสียการแบ่งกลุ่มแบบวิธี-เค

- จำนวนกลุ่มเริ่มต้น ค่าคุณสมบัติตัวแทนกลุ่มเริ่มต้นมีผลกับการกระทำ
- ไม่มีการพิสูจน์ว่าสามารถดูเข้าได้ทุกกรณี

2.6 การระบุหรือจดจำโดยใช้ส่วนประกอบของร่างกาย (Biometric verification)



รูปที่ 2.11 ระบบการจดจำจากร่างกายมนุษย์ [3]

การจดจำแบบใช้ส่วนต่างๆของร่างกายแสดงในรูปที่ 2.11 มีความน่าเชื่อถือกว่าระบบการจดจำโดยทั่วไปเช่น การป้อนรหัสผ่านหรือบัตรผ่าน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพหรือท่าทางของบุคคลมีความเป็นสากลโดยทั่วไป มีความชัดเจนในการแยกแยะ ประสิทธิภาพและการจัดเก็บ (เช่น ลายนิ้วมือ เสียง หน้าตา เป็นต้น)

ความน่าเชื่อถือของระบบการจดจำบุคคลเป็นส่วนสำคัญสำหรับการใช้งานในกระบวนการยุติธรรม สังคม หรือด้านการค้าเช่น การตรวจสอบผู้กระทำผิด บัตรประชาชนหรือใบขับขี่ การเข้าถึงสถานที่บางแห่ง เครดิตการ์ด ระบบโทรศัพท์มือถือและเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในปัจจุบัน ระบบการจดจำนี้นอกจากเป็นการจดจำลักษณะทางกายภาพของบุคคลเช่น ตา หน้า ลายนิ้วมือ มือ ยังรวมถึงลักษณะท่าทางเฉพาะของแต่ละบุคคล สาเหตุที่ระบบการจัดเก็บลักษณะทางกายภาพของบุคคลดีกว่าเนื่องมาจากการหลงลืมของบุคคลนั่นเอง ระบบการจัดเก็บแบบทางกายภาพของบุคคลแยกได้ 2 แบบ [4] คือ

1. การระบุตัวบุคคล(Verification) เป็นการระบุหรือตรวจสอบตัวบุคคลว่าใช่หรือไม่
2. การจดจำตัวบุคคล(Recognition) เป็นการจดจำตัวบุคคลจากกลุ่มผู้ใช้งาน

การจดจำตัวบุคคลเป็นปัญหาที่ยากกว่าการระบุตัวบุคคลมาก เนื่องจากต้องแยกแยะจากจำนวนกลุ่มผู้ใช้จำนวนมาก

ระบบการจดจำตัวบุคคลสามารถเขียนเป็นสมการดังต่อไปนี้ โดยให้ S แสดงข้อมูลที่เก็บไว้และ I แสดงสัญญาณข้อมูลที่ป้อนเข้าเพื่อทำการตรวจสอบ แล้วเงื่อนไขข้อสมมุติฐานเป็นดังต่อไปนี้

$H_0 : I \neq S$, ข้อมูลป้อนเข้าไม่เหมือนกับในฐานข้อมูล

$H_1 : I = S$, ข้อมูลป้อนเข้าเหมือนกับในฐานข้อมูล

ผลการตัดสินใจเป็นดังต่อไปนี้

D_0 : ข้อมูลไม่ถูกต้อง

D_1 : ข้อมูลถูกต้อง

ค่า D_0, D_1 มาจากการเปรียบเทียบข้อมูลป้อนเข้ากับกลุ่มฐานข้อมูลโดยวัดระยะความเหมือน กรณีที่คะแนนความเหมือนสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ T ส่วนประมวลผลตัดสินใจเป็น D_0 กรณีต่ำกว่าเป็น D_1

เมื่อต้องการแยกข้อมูลจากสัญญาณรบกวน H_0 เป็นสัญญาณที่เป็นสัญญาณรบกวนอย่างเดียวคือข้อมูลที่ป้อนเข้าไม่มีในฐานข้อมูล ในขณะที่ H_1 เป็นสัญญาณข้อมูลรวมกับสัญญาณรบกวน ดังนั้นความผิดพลาดที่ได้มี 2 รูปแบบ

1. การยอมรับผิดพลาด (False acceptance) ตรวจสอบว่าใช่แต่สัญญาณข้อมูลไม่มีในฐานข้อมูล

2. การปฏิเสธผิดพลาด (False rejection) ตรวจสอบว่าไม่ใช่ในขณะที่สัญญาณป้อนเข้าอยู่ในฐานข้อมูล

ค่าความน่าจะเป็นในกรณีแรก เป็นการยอมรับผิดพลาด (False acceptance) หรือค่า FAR และในกรณีที่ 2 เป็นการปฏิเสธผิดพลาด (False rejection) หรือค่า FRR ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$FAR = P(D_1 | w_0) \quad (2.20)$$

$$FRR = P(D_0 | w_1) \quad (2.21)$$

โดยที่ w_0 เป็นกลุ่มข้อมูลที่ $H_0 = true$ และ w_1 เป็นกลุ่มข้อมูลที่ $H_1 = true$

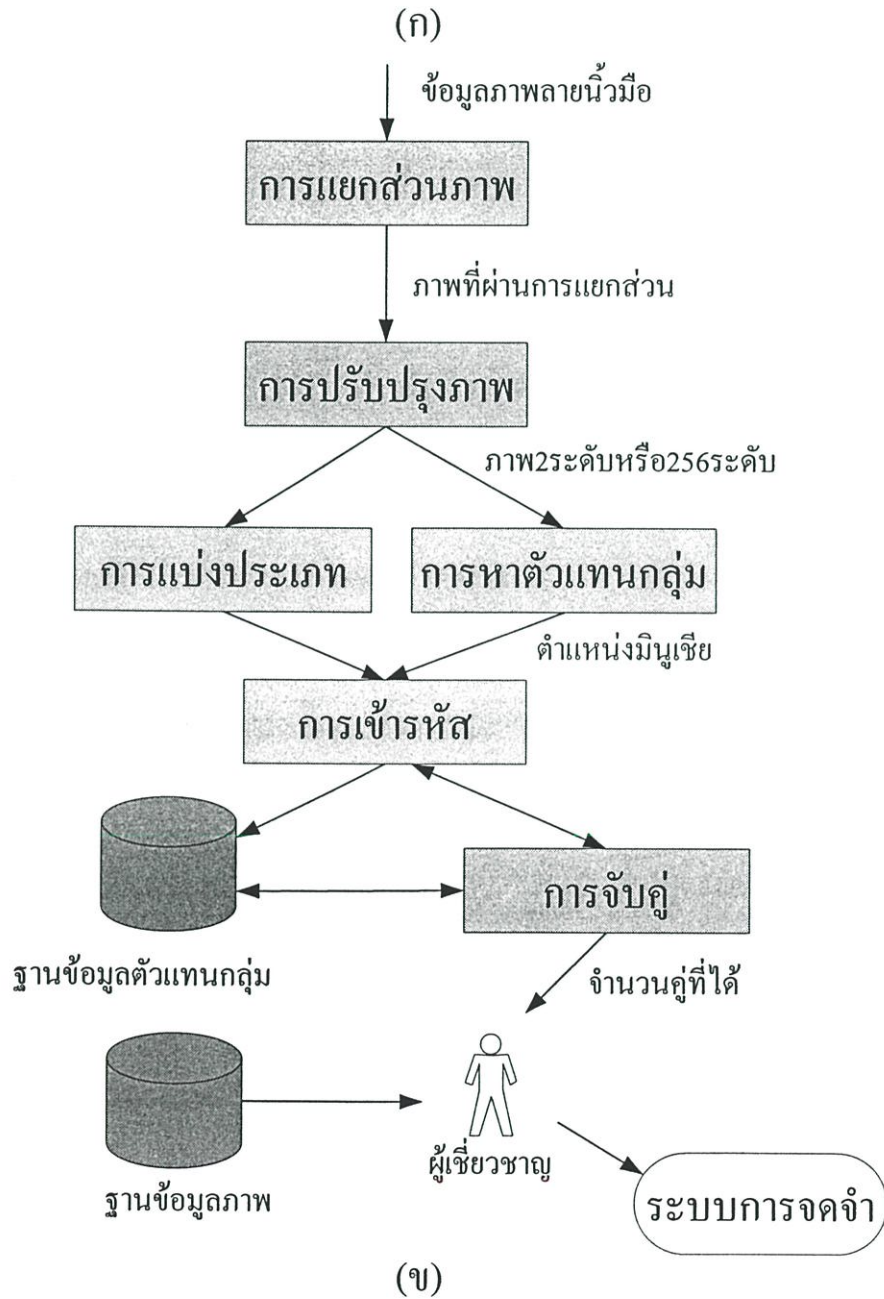
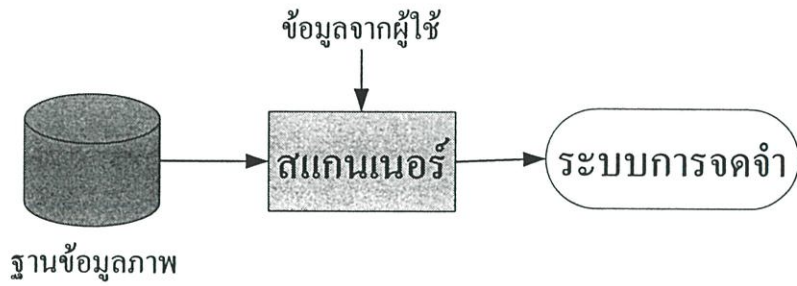
ค่า FAR และค่า FRR เป็นค่าที่สำคัญในการปรับแต่งส่วนประมวลผลในการตัดสินใจของข้อมูลซึ่งจะขึ้นกับการใช้งานระบบการจดจำเช่น ในกรณีที่ต้องการความปลอดภัยสูงต้องการเงื่อนไขที่ค่อนข้างต่ำสำหรับ FAR ซึ่งอาจนำไปสู่ค่า FRR ที่สูงขึ้น ในกระบวนการยุติธรรมจึงต้องการข้อมูลทั้ง FAR และ FRR

2.7 ระบบการจดจำลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือเป็นลักษณะทั้งภาพที่สามารถมองในลักษณะจุดภาพหรือกราฟฟิค โดยมองจากการเดินทางของเส้นลายนิ้วมือที่มีอยู่บนนิ้วของมนุษย์ การจดจำระบบลายนิ้วมือมีมานานหลายศตวรรษ ความชัดเจนของลายนิ้วมือที่สามารถนำมาจดจำบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพและเทคโนโลยีปัจจุบันเมื่อนำมาใช้ในระบบการจดจำลายนิ้วมือยิ่งทำให้สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือ การจดจำลายนิ้วมือเป็นที่ยอมรับในระบบยุติธรรมเป็นหลักฐานที่ใช้ระบุผู้นำสงสัยและงานด้านตำรวจอื่นๆ นอกเหนือจากนี้การจดจำลายนิ้วมือยังมีความนิยมในด้านการจัดการพลเมืองของประเทศเช่น ใช้ในการเข้าถึงสถานที่บางแห่ง หรือเกี่ยวกับด้านความปลอดภัยทางการเงินหรือใบอนุญาตการขับขี่

โดยทั่วไประบบการจดจำลายนิ้วมือได้พัฒนามาจากการแยกแยะโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำโดยการนำลายนิ้วมือที่ได้ใส่รหัสลายพิมพ์นิ้วมือเรียกว่าระบบเฮนดรี (Hendry System) ต่อมาได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยใช้มาตรฐาน NIST และตามมาตรฐาน FBI อย่างไรก็ตามการแยกแยะตรวจสอบลายนิ้วมือนี้เป็นงานที่ละเอียดอ่อน ช้า ซ้ำซ้อน และน่าเบื่อ อีกทั้งต้องใช้เวลามากและค่าใช้จ่ายที่สูงและไม่สอดคล้องกับการใช้งานด้านเอกชนในปัจจุบัน ดังนั้นระบบการจดจำแบบอัตโนมัติโดยใช้หน่วยประมวลผลทำการประมวลข้อมูลที่ได้รับตามวิธีการและตัดสินใจแทนมนุษย์จึงมีความสำคัญมาก ถึงแม้ระบบการจดจำลายนิ้วมือแบบอัตโนมัติได้มีการพัฒนามานาน ระบบ

ประมวลผลที่รวดเร็วในปัจจุบัน และเทคโนโลยีการตัดสินใจในต่างๆในปัจจุบันที่มีประสิทธิภาพ เช่น



รูปที่ 2.12 ระบบการจดจำรายนิ้วมือโดยรวม

การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) การใช้ระบบฟัซซี่ (Fuzzy logic) แต่ยังคงขาดประสิทธิภาพและความแม่นยำที่เกิดมาจากการพัฒนาทางด้านการเลือกใช้ตัวแทนกลุ่มใหม่ๆ ซึ่งนำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ รูปที่ 2.12 แสดงการจดจำลายนิ้วมือ รูป 2.12 ก แสดงการป้อนข้อมูลแล้วทำการจดจำโดยเทียบฐานข้อมูลภาพ ส่วนรูป 2.12 ข แสดงขั้นตอนต่างๆเพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบการจดจำลายนิ้วมือ โดยเริ่มจากการแยกส่วนภาพที่ใช้งาน ปรับปรุงภาพ ทำการแบ่งประเภท และหาตัวแทนกลุ่มข้อมูลเพื่อทำการเก็บเป็นฐานข้อมูลไว้จดจำ รายละเอียดต่างๆในแต่ละขั้นตอนได้แยกกล่าวเป็นหัวข้อย่อยๆในบทนี้

2.7.1 การพัฒนาวิธีการนำสัญญาณลายนิ้วมือมาวิเคราะห์

วิธีการนำภาพลายนิ้วมือมาวิเคราะห์ แหล่งที่มาของภาพ อาจมาจากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงเช่น สแกนเนอร์ อุปกรณ์สำหรับเก็บลายนิ้วมือโดยตรงเป็นต้น หรือได้มาจากการพิมพ์จากหมึก หรือการเก็บมาจากผู้เชี่ยวชาญด้านอาชญากรรม การใช้นิ้วกดลงบนหมึกก่อนที่จะนำมาพิมพ์ภาพลงบนกระดาษ สัญญาณที่ได้จากลายนิ้วมือที่มาจากหมึกยังคงนิยมกันอยู่ในปัจจุบันเนื่องจากการใช้งานมายาวนานและเป็นการจัดเก็บที่เป็นมาตรฐานมากกว่า 100 ปี จากช่วงเวลาที่ผ่านมจนถึงปัจจุบันสามารถสรุปการเก็บลายนิ้วมือที่ได้จากหมึกเป็น 2 ประเภท

ประเภทที่ 1 นำนิ้วมือไปกดลงบนหมึก ก่อนนำมาประทับ โดยมีการหมุนนิ้วมือจากซ้ายไปขวาจากขอบด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เพื่อป้องกันการขาดหายของตำแหน่งสำคัญ

ประเภทที่ 2 เป็นการกดลายนิ้วมือลงไปในที่ที่ต้องการเก็บ (กระดาษ) แสดงในรูปที่ 2.13

เห็นได้จากขั้นตอนดังกล่าวไม่สะดวกและสิ้นเปลืองเวลาในการจัดเก็บสำหรับการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ ปัจจุบันนี้ได้มีการจัดเก็บลายนิ้วมือที่พัฒนาขึ้นมาโดยไม่ใช้หมึกเนื่องจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีการจัดเก็บภาพทางแสงวิธีการจัดเก็บภาพก่อนที่นำมาทำการวิเคราะห์



(ก)

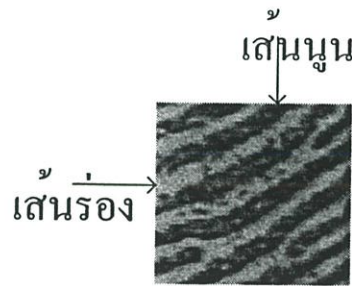


(ข)

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างภาพลายนิ้วมือจากการป้อนเข้าแบบต่างๆ (ก) ภาพลายนิ้วมือที่ได้จากเครื่องสแกน (ข) ภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการประทับหมึกลงบนกระดาษ

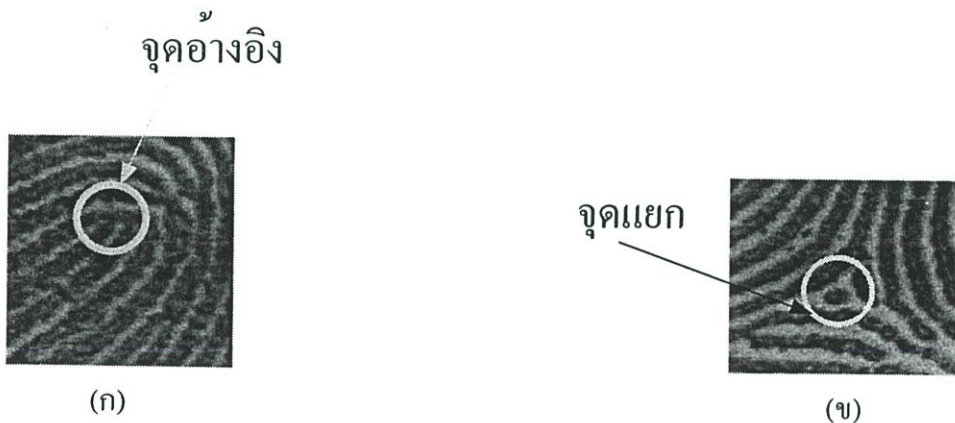
2.7.2 ศัพท์เฉพาะสำหรับการวิเคราะห์ในระบบลายนิ้วมือ

ก่อนที่กล่าวถึงระบบการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือ จำเป็นต้องเข้าใจศัพท์ต่างๆที่ใช้แทนโครงสร้างสำหรับภาพลายนิ้วมือ คำศัพท์เฉพาะในระบบการจดจำลายนิ้วมือมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 ลักษณะเส้นนูนและเส้นร่องบนภาพลายนิ้วมือ

- ก. เส้นนูน (Ridge) คือ การเกิดการนูนที่อยู่สูงขึ้นมาจากผิวหนังส่วนนอก
- ข. เส้นร่อง (Valley or furrow) คือ รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน



รูปที่ 2.15 ลักษณะตำแหน่งซึ่งจุดลุ่มบนภาพลายนิ้วมือ

- (ก) ลักษณะจุดอ้างอิงที่มีความโค้งของเส้นลายนิ้วมือมากกว่าบริเวณอื่นของภาพ
- (ข) ลักษณะจุดแยกเป็นบริเวณที่เส้นลายนิ้วมือมีการแยกออกจากกันในรูปแบบลักษณะสามเหลี่ยมเคลดต้า

ค. จุดอ้างอิงลายนิ้วมือ (Core) ดังรูปที่ 2.15 ก. คือ ตำแหน่งของลายนิ้วมือที่ใช้อ้างอิงในการจดจำ และแบ่งประเภทลายนิ้วมือ วิธีทั่วไปที่นิยมใช้มี 2 แบบ

1. จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและอยู่ในเส้นการเปลี่ยนแปลงด้านในสุด จุดนี้ได้มาจากการวิเคราะห์โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ หรือการวิเคราะห์ไปตามเส้นลายนิ้วมือโดยตรง โดยโปรแกรมพิจารณาไปตามเส้นนูนหรือเส้นร่องของลายนิ้วมือ

2. จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางของลายนิ้วมือมากที่สุด โดยพยายามเลือกโดยใช้จุดที่โค้งที่สุดและตำแหน่งต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์ วิธีการวิเคราะห์แบบนี้มาจากการคำนวณจาก

ทิศทางของเส้นลายนิ้วมือในแต่ละพื้นที่ภาพขนาดย่อยๆ แทนที่พิจารณาไปตามเส้นลายนิ้วมือโดยตรง

ง. จุดแยก (Delta) ดังรูปที่ 2.15 ข. คือ จุดที่ลายนิ้วมือมีทิศทางแยกออกรอบตำแหน่งนั้นเป็น 3 ทิศทาง โดยทั่วไปสามารถเรียกตำแหน่งจุดอ้างอิงกับจุดแยกรวมกันว่าจุดซิงกูล่า (Singular point) เพื่อความสะดวกในการแทนตำแหน่งเหล่านี้

จ. ลักษณะพิเศษของเส้นลายนิ้วมือ (Ridge ending, Ridge bifurcation) เป็นลักษณะพิเศษของเส้นลายนิ้วมือแสดงในรูปที่ 2.16

1. เส้นจบ (Ridge ending) ลักษณะพวกนี้เป็นจุดที่เป็นตำแหน่งปลายของเส้นลายนิ้วมือ
2. เส้นแตก (Ridge bifurcation) เส้นแตกของเส้นลายนิ้วมือ

จุดเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับขั้นตอนการจดจำบุคคลในปัจจุบัน โดยเก็บตำแหน่งและทิศทางของจุดที่มีลักษณะพิเศษเทียบกับจุดอ้างอิง สามารถเรียกตำแหน่งเส้นจบหรือตำแหน่งเส้นแยกว่ามินูเชีย (Minutia)



(ก)



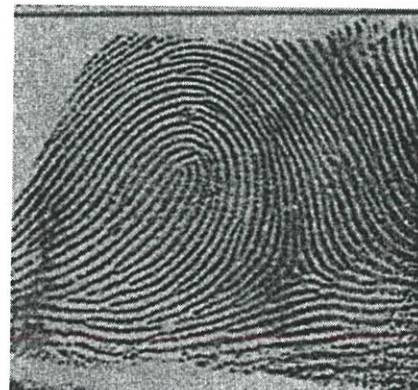
(ข)

รูปที่ 2.16 ลักษณะของตำแหน่งมินูเชียบนลายนิ้วมือ เป็นคุณลักษณะที่ใช้ในการจดจำภาพ

(ก) เส้นแยก

(ข) เส้นจบ

2.7.3 การพัฒนาระบบการแยกแยะบุคคล



รูปที่ 2.17 ภาพลายนิ้วมือที่มาจากบุคคลคนเดียวกัน

เป็นการพิจารณาว่าบุคคลดังกล่าวมาจากคนๆเดียวกันหรือคนละคน โดยมีสมมุติฐานที่ว่า ถ้าลายนิ้วมือ 2 ภาพมาจากบุคคลเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.17 ลักษณะของตำแหน่งมินูเชียเทียบกับจุดอ้างอิงอยู่ในทิศทางและตำแหน่งเดียวกัน โดยการใช้ตำแหน่งมินูเชียทำให้การจดจำลายนิ้วมือในปัจจุบันจากการจดจำตำแหน่งจุดภาพทั้งหมดเปลี่ยนมาเป็นการจดจำตำแหน่งมินูเชีย โดยการนับตำแหน่งมินูเชียระหว่างภาพ 2 ภาพที่สอดคล้องกัน โดยมีค่าขีดระดับเป็นฐานเปรียบเทียบ ถ้าจำนวนที่ตำแหน่งจุดสอดคล้องแสดงว่าภาพลายนิ้วมือ 2 ภาพมาจากบุคคลเดียวกัน สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

(1) ชดเชยค่าการเลื่อน การหมุน และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการกดของนิ้วบนอุปกรณ์รับข้อมูล

(2) การตรวจสอบจุดมินูเชียของภาพป้อนเข้ากับฐานข้อมูล

(3) นับจำนวนมินูเชียที่สอดคล้องและตัดสินใจ

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ไม่สามารถรับรู้ภาพที่สอดคล้องกันระหว่างภาพป้อนเข้ากับฐานข้อมูล

(1) มีการเปลี่ยนแปลงโดยการเลื่อนตำแหน่งเมื่อวางนิ้วลงบนอุปกรณ์รับข้อมูล

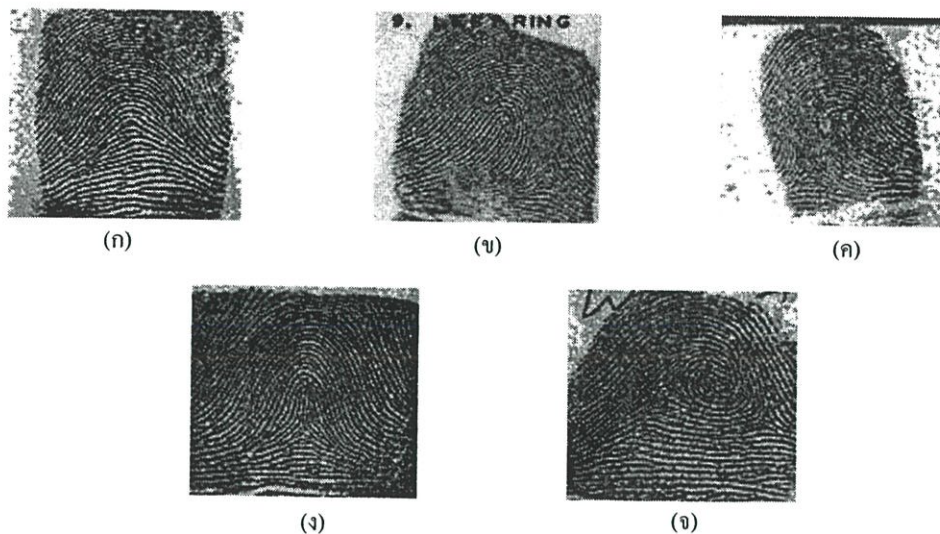
(2) และมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้เป็นเชิงเส้น เนื่องจากน้ำหนักการกดของนิ้วลงบนอุปกรณ์รับข้อมูลในแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน ทำให้ผิวชั้นนอกมีการยืดหยุ่น

(3) ตำแหน่งของมินูเชียบนภาพลายนิ้วมือ 2 ภาพ สามารถถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนต่างๆเนื่องมาจากสถานที่เก็บลายนิ้วมือ หรือน้ำหนักหมึก บางตำแหน่งอาจหายไปสภาพต่างๆเหล่านี้ยากแก่การชดเชยให้สมดุล

2.7.4 พัฒนาระบบการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ

เป้าหมายของการพัฒนาด้านการแบ่งประเภทลายนิ้วมือคือ การจัดกลุ่มภาพลายนิ้วมือป้อนเข้าให้อยู่ในกลุ่มที่กำหนดไว้ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะโครงร่างลายนิ้วมือ จุดประสงค์หลักของการจัดกลุ่มภาพลายนิ้วมือคือ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการกลุ่มข้อมูลปริมาณมากๆและเพื่อเพิ่มความเร็วการประมวลผลจดจำบุคคล โดยที่สามารถคัดเลือกข้อมูลป้อนเข้าเทียบกับประเภทลายนิ้วมือก่อนทำการเปรียบเทียบข้อมูลป้อนเข้ากับข้อมูลทั้งหมดต่อไป

ระบบการแบ่งกลุ่มลายนิ้วมือมีมานานตั้งแต่เริ่มจากการใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ระบบที่รู้จักกันแพร่หลายคือระบบ Hendry และต่อมาได้มีการเพิ่มเติมกลุ่ม โดย FBI



รูปที่ 2.18 ประเภทของลายนิ้วมือที่ได้กำหนดมานานจากผู้เชี่ยวชาญ

- (ก) ประเภทอาร์ช
- (ข) ประเภทลูบซ้าย
- (ค) ประเภทลูบขวา
- (ง) ประเภทเต็นท์
- (จ) ประเภทก้นหอย

ในวิทยานิพนธ์เป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในงานวิจัยมีทั้งหมด 5 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 2.18

1. อาร์ช (Arch) ลักษณะของกลุ่มนี้มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางเส้นด้ารอบจุดอ้างอิงเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า
2. เต็นท์ (Tent) ลักษณะของกลุ่มนี้ การเปลี่ยนแปลงของทิศทางเส้นโค้งสูง และมีจุดแยกอยู่ล่างจุดที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งสูงสุด
3. ก้นหอย (Whorl) ลักษณะของกลุ่มนี้ การเปลี่ยนแปลงของทิศทางเส้นโค้งเป็นรูปก้นหอย
4. ลูบซ้าย (Left loop) ลักษณะของกลุ่มนี้เป็นเส้นโค้ง จุดโค้งสูงสุดอยู่ด้านขวา จุดแยกอยู่ด้านขวา
5. ลูบขวา (Right loop) ลักษณะของกลุ่มนี้เป็นเส้นโค้ง จุดโค้งสูงสุดอยู่ด้านซ้าย จุดแยกอยู่ด้านซ้าย

2.7.5 วิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ

สามารถแยกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.7.5.1 วิธีการแบบโมเดล (Model-based)

เทคนิคการแบ่งประเภทโดยวิธีการนี้ใช้ตำแหน่งของจุดซิงกูล่า (จุดอ้างอิงและจุดแยก) ในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือลงในประเภทต่างๆที่ได้กำหนดไว้ โดยวิธีการแบบโมเดลพยายามใช้กฎที่สร้างโดยผู้เชี่ยวชาญการแบ่งประเภทลายนิ้วมือที่กระทำกันโดยมนุษย์ สามารถใช้ตามกฎของผู้เชี่ยวชาญซึ่งทำให้ข้อมูลเข้าใจง่ายและพัฒนาต่อไปโดยมนุษย์ได้ง่าย

2.7.5.2 วิธีการแบบโครงสร้าง (Structure-based)

วิธีการนี้นำลักษณะการจัดเรียงของทิศทางลายนิ้วมือ มาใช้ในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ ผลลัพธ์ [19]

2.7.5.3 วิธีการที่พัฒนาการใช้ตัวแทนกลุ่มในแกนความถี่ (Frequency-based)

วิธีการทางความถี่นี้ มาจากการพิจารณาสัญญาณในรูปแบบของคลื่นความถี่ของสัญญาณ ได้เน้นการใช้ทฤษฎีทางความถี่ในเนื้อหาเกี่ยวกับการสื่อสารข้อมูลเช่น การใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fourier transform) การใช้เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม (Wavelet transform) หรือการกระทำในช่วงความถี่ที่ต้องการ (Selective frequency) แทนการกระทำบนภาพที่เห็นโดยตรง (Template matching) วิธีนี้ได้นิยมมากในช่วงหลังทั้งนี้เนื่องจากการพัฒนาของการกรองความถี่แบบ 2 มิติ ในบริเวณเล็กๆที่ต้องการ โดยใช้การกรองความถี่แบบกาบอร์ (Gabor) ที่มาจากสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการคูณกับเกาส์เซียนวินโดว์ (Gaussian Window) และมีคุณสมบัติของการแยกแยะทิศทางด้วย

จากที่กล่าวผ่านมา วิธีการหลักในการจดจำลายนิ้วมือใช้ตำแหน่งมินูเชียในการจดจำโดยตรง วิธีการทางความถี่นี้ได้ประยุกต์หลักการคุณสมบัติที่ได้รับจากการแปลงความถี่มาแทนการจดจำลายนิ้วมือจากตำแหน่งและทิศทางของมินูเชียและลักษณะเส้นนูนกับเส้นร่อง ระยะห่างระหว่างเส้นลายนิ้วมือ และทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ ซึ่งมาจากสมมุติฐานที่ว่าคุณลักษณะต่างๆนี้ให้ค่าในแกนความถี่ที่ต่างกัน และดังนั้นจากสมมุติฐานจึงกล่าวได้ว่าในพื้นที่แต่ละแห่งของลายนิ้วมือตอบสนองต่อการกรองความถี่ที่ต่างกัน

ในการจดจำความถี่ถ้ามีการใช้ชุดตัวกรองความถี่ที่เหมาะสม หรือเบสิสที่เหมาะสม เช่น เวฟเล็ตเบสิสหรือกาบอร์เบสิสที่เหมาะสม ค่าที่ได้จากชุดกรองมีคุณลักษณะของลายนิ้วมือในแต่ละพื้นที่อยู่ด้วยทำให้สามารถใช้ค่าที่ได้จากการกรองพิจารณาตำแหน่งมินูเชียหรือองค์ประกอบหรือลักษณะของเส้นนูนเส้นร่องในพื้นที่นั้นๆ

และถ้าเบสิสของชุดกรองความถี่ที่ใช้มีคุณสมบัติอโทกอนัลกันคือ แต่ละเบสิสมีลักษณะการกรองที่ไม่ทับซ้อนกัน หรือไม่มีความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างเบสิสเลย ทำให้องค์ประกอบที่ได้เหมาะสมต่อการนำไปจดจำข้อมูลอย่างมาก เนื่องจากสามารถพิจารณาองค์ประกอบต่างๆได้ชัดเจน

บทความที่ใช้ตัวแทนกลุ่มในการจดจำลายนิ้วมือเช่น การใช้รหัสนิ้วมือ (Finger code) ซึ่งเป็นพีเจอร์ที่พัฒนาจากโคเร็กซ์แนลเกาส์เซียน (Directional Gaussian) [3] หรือการใช้กาบอร์เบสิส (Gabor basis) ชุดความถี่กาบอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในการจดจำ และมีอีกหลายบทความที่มุ่งมั่นในการหาตัวแทนกลุ่มจากองค์ประกอบทางแกนความถี่ในเชิงคณิตศาสตร์ ในวิทยานิพนธ์นี้การพยายามเลือกค่าตัวแทนกลุ่มได้พิจารณาโดยใช้วิธีนี้เช่นกัน

2.7.5.4 Syntactic

วิธีนี้ใช้ไวยากรณ์ในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ

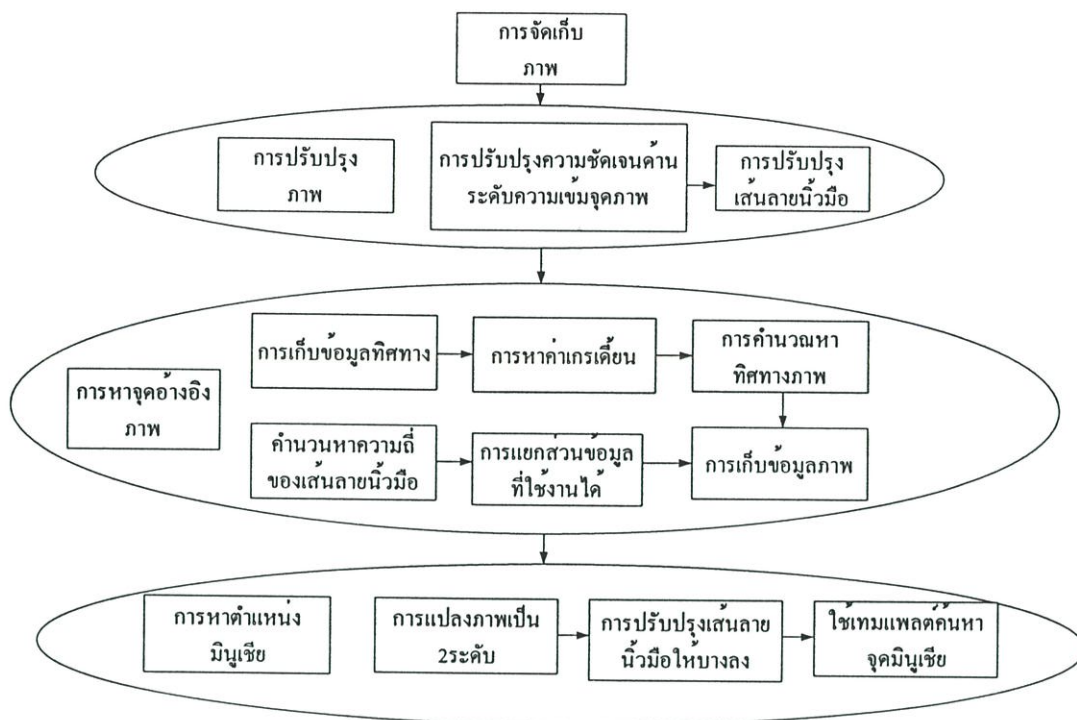
2.7.5.5 Hybrid

เป็นวิธีการที่ใช้วิธีการที่กล่าวมามากกว่า 1 ข้อรวมกันเพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุด[20]

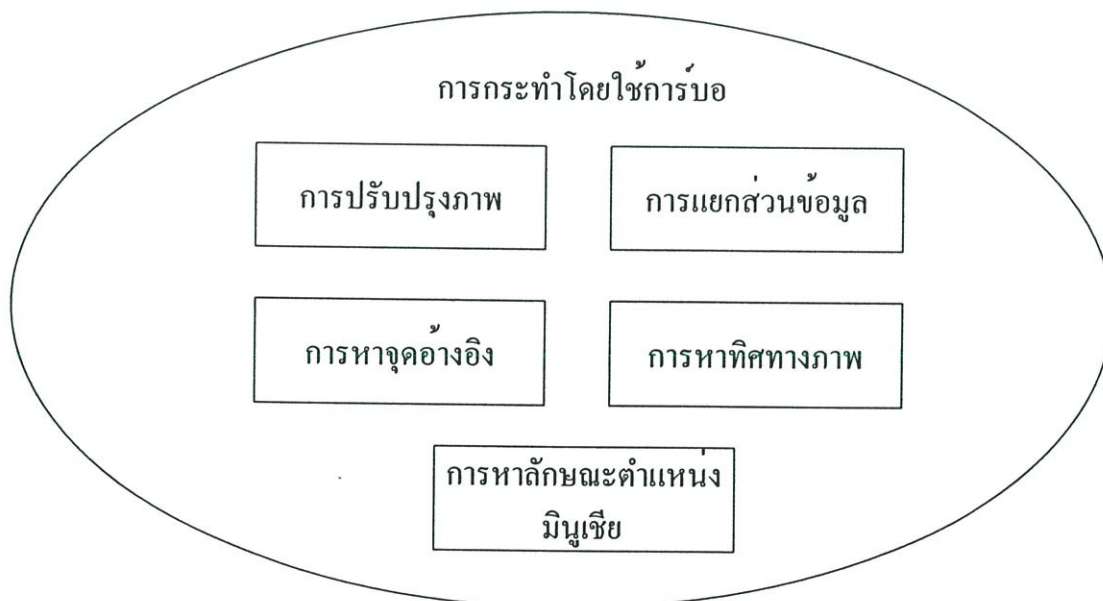
2.7.6 ขั้นตอนของระบบการจดจำลายนิ้วมือโดยทั่วไป

ในระบบการจดจำลายนิ้วมือโดยทั่วไปแล้วแสดงในรูปที่ 2.19 สามารถสรุปขั้นตอนกระบวนการต่างๆ ได้ดังนี้

1. การนำภาพเข้ามาประมวลผล
2. การปรับปรุงความชัดเจนด้านความสว่างของภาพ
3. การปรับปรุงความชัดเจนในลายเส้นของภาพ
4. การหาทิศทางลายนิ้วมือ
5. การหาจุดอ้างอิงลายนิ้วมือ
6. การหาทำลายเส้นให้บางลง
7. การหาจุดมินูเชีย
8. การแบ่งประเภทหรือจดจำภาพ



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายลายนิ้วมือโดยเน้นที่การเก็บตัวแทนกลุ่มสำหรับภาพถ่ายลายนิ้วมือ



รูปที่ 2.20 ระบบการเก็บตัวแทนกลุ่มที่นำเสนอประกอบด้วย

1. การนำภาพเข้ามาประมวลผล
2. การปรับปรุงความชัดเจนภาพ
3. การใช้โคเร็กชันเนลเกาส์เซียนหาทิศทาง
4. การหาจุดอ้างอิง
5. การแบ่งประเภท

เนื่องจากในบทนี้เป็นการเสนอภาพรวมของระบบการจดจำลายนิ้วมือ ดังนั้นรายละเอียดต่างๆได้นำไปกล่าวในบทต่อไป ส่วนขั้นตอนของระบบการจดจำในวิทยานิพนธ์มีภาพรวมดังแสดงในรูปที่ 2.20

2.8 สรุป

บทความวิทยานิพนธ์บทนี้เกี่ยวเนื่องกับการนำเสนอโครงสร้างของระบบการจดจำเบื้องต้น และจากที่กล่าวมาแล้วระบบโดยรวมของการจดจำเบื้องต้นมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้

1. ระบบการเก็บข้อมูล
2. การเลือกกลุ่มข้อมูล
3. การจับกลุ่มข้อมูล

และเนื่องจากบทความวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบส่วนตัดสินใจการแยกแยะ หรือจับกลุ่มข้อมูลมีจำนวนมากและพัฒนาไปมากแล้วและได้แนะนำฟังก์ชันในการตัดสินใจที่น่าสนใจ เมื่อพิจารณาจากฟังก์ชันในการตัดสินใจเช่น ระบบนิเวศหรือพีชคณิตที่มีการพัฒนาไปไกลในปัจจุบัน แต่งานวิจัยในปัจจุบันทางด้านการเลือกตัวแทนกลุ่มข้อมูลแบบใหม่ยังมีน้อยมาก และจากหัวข้อการตัดสินใจที่ผ่านมาเห็นว่า กลุ่มข้อมูลตัวแทนที่ไม่เหมาะสมกับฟังก์ชันการตัดสินใจก่อให้เกิดความซ้ำซ้อนระหว่างกลุ่มหรือการเหลื่อมล้ำของกลุ่มซึ่งนำมาสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาด วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอในการเลือกตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่ให้เอกลักษณ์ของภาพลายนิ้วมือให้มากที่สุดเพื่อลดความซ้ำซ้อนของตัวแทนกลุ่มข้อมูลในการกระทำการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังมีรายละเอียดความรู้พื้นฐานของการจดจำภาพลายนิ้วมือที่เป็นลักษณะการจดจำทางสเปซเชียล (Spatial domain) ของภาพโดยการจำตำแหน่งกับทิศทางของตำแหน่งมินูเชียเทียบกับจุดอ้างอิงในภาพลายนิ้วมือ และยังคงกล่าวในส่วนระบบการจดจำโดยใช้ตัวแทนกลุ่มจากการแปลงความถี่ ซึ่งกล่าวอย่างละเอียดในบทต่อไป

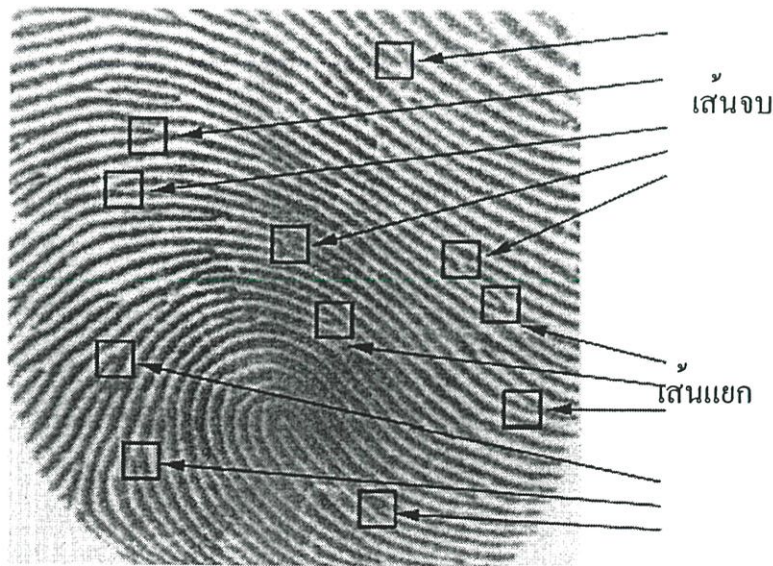
บทที่ 3

กระบวนการจัดเตรียมภาพถ่ายนิ้วมือและการแบ่งประเภท

3.1 กล่าวนำ

จากที่กล่าวมาในบทก่อนหน้าเห็นว่าแต่ละบุคคลมีลายนิ้วมือที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ โดยเอกลักษณ์ของลายนิ้วมือเหล่านี้ได้มีการพบมานานมากกว่า 100 ปี ในการตรวจสอบลายนิ้วมือโดยผู้เชี่ยวชาญ เริ่มแรกระบบการจดจำลายนิ้วมือโดยผู้เชี่ยวชาญใช้ลักษณะเด่นของเส้นนูนลายนิ้วมือที่เป็นตำแหน่งมินูเชียดังแสดงในรูปที่ 3.1 คือ ตำแหน่งเส้นแตกแยก (Bifurcation) และเส้นจบ (Ending) ที่สามารถประกอบเป็นรูปแบบต่างๆถึง 150 แบบเช่น ลักษณะคล้ายเกาะ (Island) ลักษณะวงปิด (Enclosure) เป็นต้นในการจดจำหรือระบุบุคคล แต่ลักษณะเอกลักษณ์ของภาพถ่ายลายนิ้วมือสามารถรบกวนโดยสัญญาณรบกวนได้ง่ายจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงภาพก่อนทำการเก็บคุณลักษณะของภาพถ่ายลายนิ้วมือที่สามารถใช้แทนสำหรับแต่ละบุคคล

รายละเอียดในบทนี้เกี่ยวกับลักษณะสัญญาณรบกวนของภาพถ่ายลายนิ้วมือและขั้นตอนในการปรับปรุงภาพ การค้นหาตัวแทนกลุ่มอ้างอิงต่างๆเช่น การค้นหาทิศทางภาพ และจุดอ้างอิงภาพ รวมทั้งรูปแบบเบื้องต้นของการจดจำลายนิ้วมือที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน



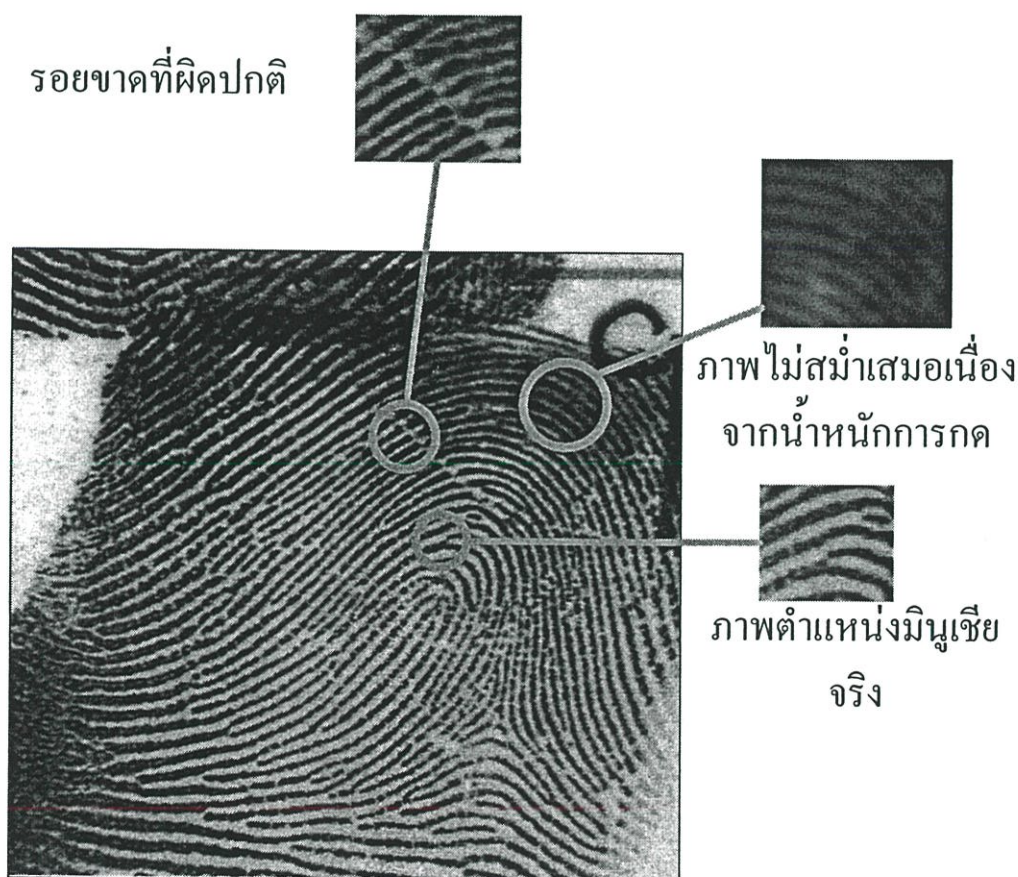
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งมินูเชียสำหรับการจดจำภาพ

ภาพถ่ายลายนิ้วมือในทางทฤษฎี เส้นนูนแต่ละเส้นในลายนิ้วมือมีระยะห่างที่คงที่และเป็นเส้นในทิศทางเดียวกัน ตำแหน่งมินูเชียเป็นตำแหน่งเดิวกว่าที่นั่นที่มีการผิดปกติในการ

เปลี่ยนแปลงเส้นลายนิ้วมือ ในกรณีดังกล่าวนี้ทำให้มีการค้นหาตำแหน่งมินูเซียหรือสามารถจดจำลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลได้ง่ายดาย ในการจดจำในแกนความถี่เป็นการนำลักษณะเด่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นลายนิ้วมือหรือตำแหน่งเส้นลายนิ้วมือที่ผิดปกติในแต่ละพื้นที่มาจดจำ

ขั้นตอนที่สำคัญก่อนการประมวลผลเพื่อการตัดสินใจต่างๆเช่น การหาจุดอ้างอิง การแบ่งประเภทของภาพลายนิ้วมือ หรือการค้นหาตำแหน่งมินูเซีย เพื่อการจดจำและแยกแยะบุคคลคือ การเตรียมความพร้อมภาพลายนิ้วมือ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประมวลผลของภาพเนื่องมาจากภาพลายนิ้วมือที่นำมาป้อนเข้าระบบมีคุณภาพที่แตกต่างกันอีกทั้งมีสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการปะปนมาด้วย

นอกจากนี้ลักษณะต่างๆของเส้นนูนยังเปลี่ยนแปลงตามแรงกระทำระหว่างพิมพ์ภาพลายนิ้วมือ นอกจากนี้การใช้กระดาษยังทำให้เกิดสิ่งรบกวนจำนวนมากเช่น ข้อความตัวอักษร ลายเส้นต่างๆบนกระดาษ หรือลายพื้นหลัง อีกทั้งภาพอาจเกิดการสูญเสียจากหมึกเช่น ปริมาณน้ำหมึกที่มากหรือน้อยเกินไป ความไม่ชัดเจนจากน้ำหนักการประทับนิ้วลงบนกระดาษหรือเกิดจากระหว่างการหมุนนิ้วระหว่างการประทับลายดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สิ่งรบกวนแบบต่างๆในภาพลายนิ้วมือ

3.2 รูปแบบของสัญญาณรบกวนและแนวทางการแก้ไขเบื้องต้น

ดังนั้นในกรณีทางปฏิบัติ ภาพลายนิ้วมือเป็นภาพลายนิ้วมือมีสัญญาณรบกวนปะปน ทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งมินูเซีย หรือไม่สามารถระบุลักษณะเฉพาะในพื้นที่นั้นๆ ทำให้มีการคาดเคลื่อนซึ่งเกิดมาจากปัญหาต่างๆเหล่านี้

1. มินูเซียมีปริมาณมากและไม่ได้มาจากลายนิ้วมือของบุคคลนั้นๆ แต่เกิดจากสัญญาณรบกวนภาพทำให้มีการจดจำลักษณะในบริเวณนั้นผิดพลาด

2. ตำแหน่งมินูเซียจริงที่มีสัญญาณรบกวนทำให้ไม่สามารถระบุตำแหน่งนั้นได้

3. การเปลี่ยนแปลงของลักษณะเส้นนูนเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน

เพื่อความแน่นอนระบบการจดจำลายนิ้วมือจึงต้องการกระบวนการปรับปรุงภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการจดจำบุคคลเพื่อเพิ่มความชัดเจน และจัด หรือบรรเทาสัญญาณรบกวนไปจากภาพลายนิ้วมือ

ผู้เชี่ยวชาญลายนิ้วมือมีความสามารถในแก้ไขภาพอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนบางอย่างเช่น ลายเส้นต่างๆ บนกระดาษ หรือในบางกรณีที่สัญญาณรบกวนไม่มากเกินไปโดยใช้สภาพแวดล้อมในบริเวณของเส้นลายนิ้วมือเช่น ความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือ การต่อเนื่องแนวโน้มทิศทางของเส้นลายนิ้วมือมาใช้ในการตัดสินใจกับสัญญาณรบกวน เพื่อปรับปรุงภาพลายนิ้วมือนั้นๆ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ในการกำหนดขั้นตอนกระบวนการที่อาศัยใช้สภาพแวดล้อมในบริเวณของเส้นลายนิ้วมือมาทำการปรับปรุงภาพจากสัญญาณรบกวนโดยอัตโนมัติ

3.2.1 ลักษณะการรบกวน

1. สัญญาณรบกวนที่ยากต่อการแยกแยะเนื่องจากคล้ายกับสัญญาณภาพเส้นลายนิ้วมือ
2. สัญญาณรบกวนที่มากจนทำให้ไม่เห็นเค้าโครงลายเส้นลายนิ้วมือเดิม

3.2.2 บริเวณพื้นที่ภาพที่สนใจ

บริเวณพื้นที่ย่อยของภาพที่สนใจกับลักษณะสัญญาณรบกวนสามารถแบ่งเป็น 3 บริเวณ [6] ดังต่อไปนี้

1. บริเวณภาพที่ดี เป็นที่เส้นนูนและเส้นร่องของลายนิ้วมือมีความชัดเจน ในบริเวณนี้ระบบการเรียนรู้และจดจำสามารถเก็บคุณลักษณะจากเส้นลายนิ้วมือได้สมบูรณ์
2. บริเวณภาพที่แย่มากแต่สามารถกู้คืนมาได้ เส้นนูนและเส้นร่องของลายนิ้วมือถูกรบกวนซึ่งเป็นลักษณะการรบกวนที่สามารถกู้คืนมาได้โดยวิธีต่างๆในการปรับปรุงภาพ
3. บริเวณที่เลวร้ายจนไม่สามารถกู้คืนมาได้ บริเวณนี้เส้นลายนิ้วมือถูกรบกวน ซึ่งเป็น การรบกวนที่ไม่สามารถกู้คืนได้

ในบทความวิทยานิพนธ์ได้จัด 2 ประเภทแรกว่าเป็นพื้นที่ที่สามารถประมวลผลได้ และประเภทหลังเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถประมวลผลได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป้าหมายหลักในกระบวนการปรับปรุงภาพคือ เพิ่มความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือ เพื่อให้ระบบการจดจำสามารถเก็บคุณลักษณะบริเวณนั้นไปประมวลผลจดจำ

และสิ่งที่สำคัญในกระบวนการปรับปรุงภาพคือ ผลจากการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือไม่ควรทำให้มีการสูญเสียข้อมูลสำคัญๆในบริเวณนั้น หรือมีการทำให้โครงสร้างลายนิ้วมือเปลี่ยนแปลงไป หรือการสร้างสิ่งแปลกปลอมขึ้นมา



รูปที่ 3.3 บริเวณพื้นที่ต่างๆในรูปลายนิ้วมือ

3.3 รูปแบบภาพในงานปรับปรุงภาพ

กระบวนการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือกระทำบน

1. ภาพแบบเส้นนูนเส้นร่อง 2 ระดับ
2. ภาพแบบ 256 ระดับภาพ

3.3.1 การปรับปรุงภาพ 2 ระดับ (Binarization image enhancement)

ภาพลายนิ้วมือแบบ 2 ระดับหรือบรรยายลักษณะการโค้งของเส้นลายนิ้วมือโดยเส้นนูนของลายนิ้วมือถูกกำหนดด้วยค่าระดับเป็น 1 และส่วนที่ไม่ใช่เส้นนูนลายนิ้วมือถูกกำหนดเป็นค่าระดับ 0 ทำให้สะดวกในการพัฒนากระบวนการในการหาตำแหน่งมินูเชีย

กระบวนการทำภาพให้เป็น 2 ระดับโดยมากใช้วิธีการเทียบกับค่าระดับคงที่ค่าหนึ่ง T (Threshold) เพื่อใช้ในการจัดระดับลายนิ้วมือให้มีค่าเพียง 2 ระดับ

$$g(x, y) = \begin{cases} 1; & f(x, y) \geq T \\ 0; & f(x, y) < T \end{cases} \quad (3.1)$$

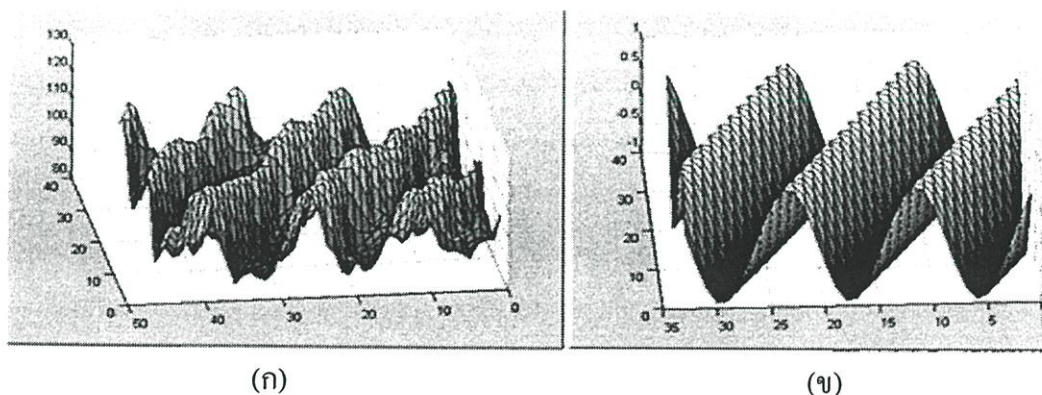
โดย $g(x, y)$ เป็นสัญลักษณ์ที่แสดงภาพที่ถูกกระทำแบ่ง 2 ระดับจากภาพจริง $f(x, y)$

ในภาพที่มีความชัดเจนของภาพมาก การหาค่า T ในกระบวนการแบ่งระดับภาพนั้นง่ายตาย แต่ในภาพที่สัญญาณรบกวนหรือมีความคลุมเครือเช่น ลายนิ้วมือ กระบวนการหาค่า T นั้นสำคัญมากเพราะอาจทำให้ภาพสูญเสียข้อมูลลักษณะของเส้นลายนิ้วมือบริเวณนั้นได้ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้กระทำการปรับปรุงภาพใน 256 ระดับซึ่งเป็นภาพที่จัดเก็บมาโดยตรง

3.3.2 การปรับปรุงภาพบน 256 ระดับภาพ

ในภาพ 256 ระดับ เส้นนูนและเส้นร่องของลายนิ้วมือในพื้นที่ขนาดเล็กๆหนึ่งๆมีการสลับไปมาเหมือนคลื่นไซน์ซอซอด (Sinusoidal) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ที่มีความถี่และทิศทางที่ค่อนข้างแน่นอน ได้มีกระบวนการหลายแบบ ที่ใช้ลักษณะโครงสร้างนี้ของลายนิ้วมือมาเป็นสมมุติฐานในการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือเอง

ในทางปฏิบัติจริงเส้นลายนิ้วมือไม่ได้เป็นไปตามสมมุติฐาน ทำให้ต้องมีกระบวนการปรับปรุงลายนิ้วมือ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้แนะนำขั้นตอนที่ใช้ในการปรับปรุงภาพและเทคนิคที่ประยุกต์เข้ากับขั้นตอนเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ



รูปที่ 3.4 ลักษณะของเส้นลายนิ้วมือในรูป 3 มิติ (ก) ส่วนหนึ่งของภาพลายนิ้วมือในระดับสี่เทา (ข) ภาพลายนิ้วมือในลักษณะทางทฤษฎีในอุดมคติ

3.4 การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ

ขั้นตอนการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือคือ การรับสัญญาณลายนิ้วมือป้อนเข้าแล้วผ่านเข้าสู่ขั้นตอนต่างๆและสุดท้ายได้รับสัญญาณภาพป้อนออกที่ถูกปรับปรุงแล้ว เพื่อการอธิบายขั้นตอนการปรับปรุงลายนิ้วมือ เริ่มต้นโดยอธิบายสัญลักษณ์และคำนิยามพื้นฐานบางอย่างพื้นฐานบางอย่าง

3.4.1 คำนิยามในกระบวนการปรับปรุงภาพ

ภาพลายนิ้วมือ 256 ระดับ, I , กำหนดด้วยเมตริกซ์ขนาด $N \times N$ โดยที่ $I(i, j)$ แสดงลักษณะความเข้มของสัญญาณภาพที่แถว (row) i และหลัก (column) j กำหนดให้ภาพทั้งหมดถูกป้อนของจากแหล่งกำเนิดทางแสงที่รายละเอียด 500 จุดต่อตารางนิ้ว (dpi) ที่ซึ่งเป็นรายละเอียดของสัญญาณภาพที่แนะนำโดย FBI ค่าเฉลี่ย $M(I)$ และค่าเบี่ยงเบน $VAR(I)$ ของภาพสามารถเขียนในรูป

$$M(I) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i, j) \quad (3.2)$$

$$VAR(I) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i, j) - M(I))^2 \quad (3.3)$$

ตามลำดับ

ภาพทิศทางของลายนิ้วมือ (Directional image), O , สำหรับภาพขนาด $N \times N$ โดยที่ $O(i, j)$ แสดงทิศทางของเส้นลายนิ้วมือที่ตำแหน่ง (i, j) ทิศทางของเส้นลายนิ้วมือเฉพาะแห่งโดยทั่วไปถูกกำหนดมาจากพื้นที่เล็กๆมากกว่ามาจากจุดภาพ ภาพได้ถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็กๆขนาด $w \times w$ ที่ไม่ซ้อนทับกันและแต่ละพื้นที่มีเพียงทิศทาง 1 ทิศทาง ข้อสังเกตสำหรับภาพลายนิ้วมูทิศทางเส้นลายนิ้ว 90 องศาและทิศทางเส้นลายนิ้วมือ 270 องศา ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากเส้นลายนิ้วมือไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดปลาย ทิศทางจากล่างขึ้นบนในแนว 90 องศาไม่มีความแตกต่างจากทิศทางจากบนลงล่าง 270 องศา

ภาพความถี่ (Frequency image) F เป็นภาพขนาด $N \times N$ โดยที่ $F(i, j)$ แสดงความถี่ของเส้นลายนิ้วมือเฉพาะแห่ง

สภาพพื้นที่ (Region mask) R สำหรับแบ่งแยกจุดภาพของพื้นที่เฉพาะแห่งเป็น 2 ประเภท

1. พื้นที่ที่ที่แน่นอนไม่สามารถแก้ไขได้ ไม่สามารถนำข้อมูลจากภาพลายนิ้วมือในพื้นที่เฉพาะแห่งมาปรับปรุงจนสามารถให้ข้อมูลของโครงสร้างลายนิ้วมือในพื้นที่เฉพาะแห่งนั้นๆ

2. พื้นที่ที่หรือพื้นที่ที่สามารถแก้ไขได้ สามารถนำข้อมูลจากภาพลายนิ้วมือในพื้นที่เฉพาะแห่งมาปรับปรุงจนสามารถให้ข้อมูลของโครงสร้างลายนิ้วมือในพื้นที่เฉพาะแห่งนั้นๆ

3.4.2 ระบบหน้าต่าง (Window) ของการปรับปรุงภาพทั่วไป

การปรับปรุงภาพคือการประมวลผลสัญญาณ 2 มิติเชิงดิสครีต (2-D Discrete signal processing) การประมวลผลเชิงดิสครีตเช่น การคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งไม่ขอกถาวรรายละเอียดในวิทยานิพนธ์ แต่ขอกถาวรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลทางภาพ ในกระบวนการประมวลผลทางภาพได้ใช้ความรู้พื้นฐานทางระบบสัญญาณเชิงเส้นร่วมกับการใช้ขอบเขตพื้นที่ (Window) แบบต่างๆในการกระทำการแปลงสัญญาณ (Mapping function) โดยมีขอบเขตพื้นที่ทั้งหมด 5 แบบในการประมวลผลทางภาพที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ ป้อนเข้าไปสู่สัญญาณป้อนออก

1. การประมวลจุดภาพ (Pixel operation) แต่ละจุดภาพได้ถูกแยกการประมวลผลจากสัญญาณภาพ
2. การประมวลผลทั้งหมด (Global operation) ใช้ลักษณะสัญญาณภาพทั้งหมด (ลักษณะทางสถิติ) ในการประมวลค่าจุดภาพ
3. การประมวลผลภาพจากพื้นที่ข้าง (Neighborhood operation) ใช้ลักษณะสัญญาณภาพพื้นที่ข้าง (ลักษณะทางสถิติ) ในการประมวลค่าจุดภาพ
4. การประมวลผลทางเชิงเรขาคณิต (Geometric operation) ใช้ลักษณะสัญญาณ โครงสร้างเชิงเรขาคณิตของภาพ (ลักษณะทางสถิติ) ในการประมวลค่าจุดภาพ
5. การประมวลผลเชิงเฟรมของภาพ (Frame-based operation) ใช้ลักษณะสัญญาณเฟรมภาพต่าง ๆ มาคำนวณค่าจุดภาพ



รูปที่ 3.5 ผังงานของขั้นตอนละเอียดย่อยในการการปรับปรุงลายนิ้วมือ

ขั้นตอนหลักๆในการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ โดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.5 สามารถแยกองค์ประกอบเป็นหัวข้อต่อไปนี้

1. การทำภาพให้เข้าสู่สภาพที่เหมาะสม (Normalization) เนื่องจากภาพลายนิ้วมือมาจากการประทับตราลายนิ้วมือ ทำให้ภาพที่ได้แต่ละภาพมีลักษณะทางขนาดและความชัดเจนที่ไม่สมดุล กระบวนการนี้ทำหน้าที่ปรับพื้นที่เฉพาะแห่งของภาพให้เข้าสู่ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

2. การค้นหาทิศทางของพื้นที่เฉพาะแห่ง (Local orientation estimation) ภาพทิศทางลายนิ้วมือได้มาจากภาพที่ถูกปรับให้เข้าสู่สภาพที่เหมาะสม

3. การพิจารณาความถี่เฉพาะแห่ง (Local frequency estimation) ภาพแสดงความถี่ได้มาจากภาพที่ถูกปรับให้เข้าสู่สภาพสมดุลกับภาพทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ

4. การพิจารณาสภาพพื้นที่ (Region mask) สภาพพื้นที่ได้จากการจัดประเภทของแต่ละพื้นที่จากภาพที่ถูกปรับเข้าสู่สภาพที่เหมาะสมไปเป็นพื้นที่ที่ดี หรือพื้นที่ที่ไม่สามารถแก้ไขได้

5. การปรับปรุงภาพทางความถี่ กลุ่มของส่วนกรองความถี่กบอร์ที่ได้ตั้งค่าเข้ากับความถี่ของเส้นลายนิ้วมือ ซึ่งการตั้งค่านี้นขึ้นอยู่กับรายละเอียดทางจุดภาพของภาพป้อนเข้า เพื่อปรับปรุงความคมชัดของเส้นลายนิ้วมือ

รายละเอียดของแต่ละกระบวนการได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่างๆในบทนี้

3.5 การปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization)

การปรับปรุงภาพสามารถแก้ไขความผิดพลาดให้เข้าสู่ภาพที่ต้องการ โดยการปรับปรุงภาพเพื่อให้อยู่ในสภาพสมดุลเป็นกระบวนการที่เน้นในการปรับแต่งค่าความชัดเจนเนื่องจากระดับความเข้มภายในภาพ

ปัญหาเกี่ยวกับความชัดเจนเนื่องจากระดับความเข้มภายในภาพที่แสดงในรูปที่ 3.6 มีดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มภายในภาพที่ไม่เท่ากันในแต่ละส่วนของพื้นที่ของภาพ

2. ระดับความเข้มที่มากเกินไปของภาพ

3. ระดับความเข้มที่น้อยเกินไปของภาพ

4. การกระจายตัวของระดับความเข้มของจุดภาพ ถ้าระดับความเข้มของจุดภาพไม่มีการกระจายตัวที่เหมาะสมทำให้ความชัดเจนของภาพต่ำลง

ก่อนที่เราจะกล่าวถึงสมการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ เราขอกล่าวถึงสมการที่เกี่ยวข้องได้แก่



รูปที่ 3.6 ภาพลายนิ้วมือที่มีการกระจายของระดับความเข้มไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากการนำหนักของการกดขณะพิมพ์ลายนิ้วมือ

3.5.1 สมการการปรับแต่งความสว่างของภาพ

การปรับปรุงนี้สามารถทำได้โดยการพิจารณาจากภาพฮิสโตแกรม (Histogram) ที่ซึ่งแสดงจำนวนค่าระดับของภาพว่าค่าระดับของภาพนั้นอยู่ในช่วงใดบ้าง การปรับค่าชัดเจนเพิ่มขึ้นหรือลดลงทำได้โดยการใส่ค่าคงที่ให้กับภาพ ทำให้ค่าระดับของภาพมีการเปลี่ยนแปลง เช่นสว่างขึ้นหรือมืดลง แสดงได้จากสมการดังต่อไปนี้

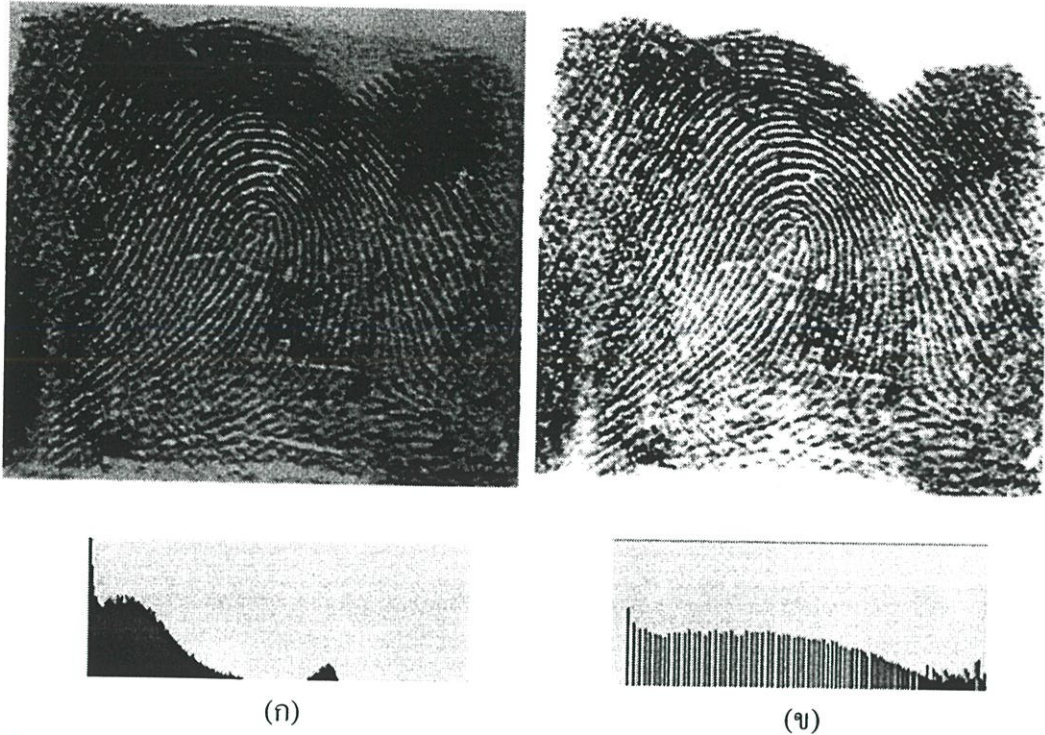
$$G(i, j) = I(i, j) + k \quad (3.4)$$

โดยที่

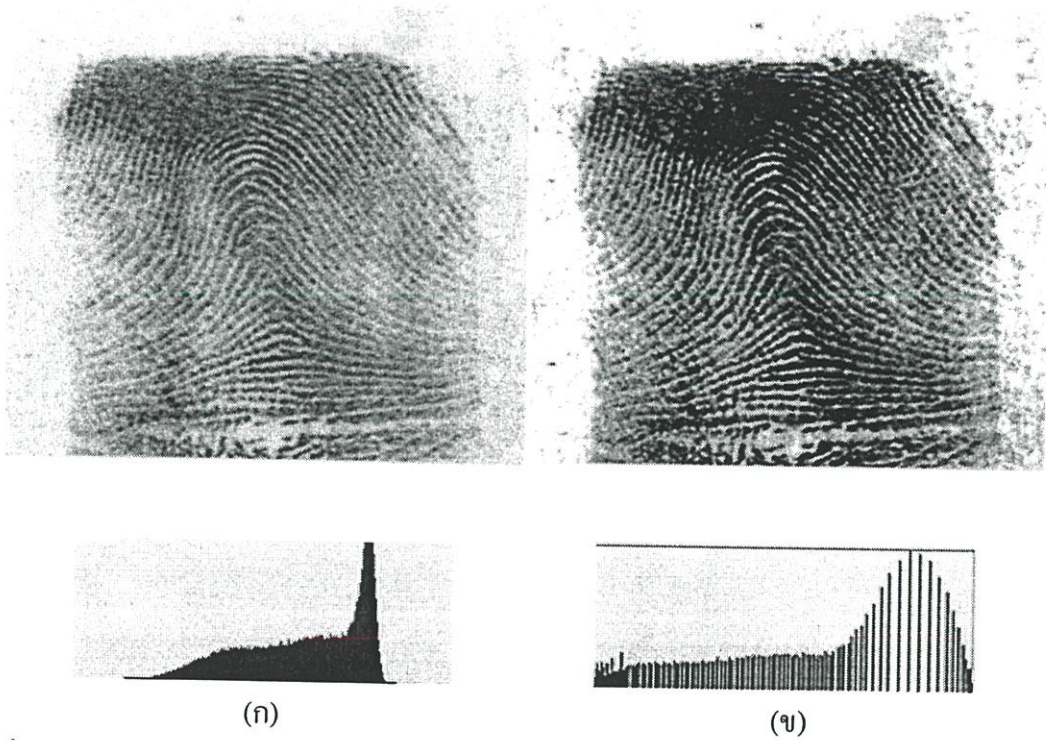
$G(i, j)$ แสดงถึงจุดภาพหลังการปรับปรุงความเข้ม

$I(i, j)$ แสดงจุดภาพป้อนเข้า

k ค่าคงที่เพื่อปรับระดับความเข้มของจุดภาพ



รูปที่ 3.7 ระดับความเข้มภาพ (ก) ความเข้มของภาพรวมกันอยู่ที่ระดับค่อนข้างต่ำ (ข) การกระจายความเข้มเฉลี่ยโดยใช้ฮิสโตแกรมอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.8 ระดับความเข้มภาพ (ก) ความเข้มของภาพรวมกันอยู่ที่ระดับค่อนข้างสูง (ข) การกระจายความเข้มเฉลี่ยโดยใช้ฮิสโตแกรมอิเล็กทรอนิกส์

3.5.2 สมการการปรับปรุงด้านความชัดเจนของภาพ

การปรับปรุงความสว่างที่กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้ว ไม่สามารถปรับปรุงความชัดเจนได้ เนื่องจากการเลื่อนตำแหน่งช่วงระดับความเข้มภาพด้วยค่าคงที่ การปรับปรุงด้านความชัดเจนสามารถกระทำโดยขยายช่วงของค่าระดับจุดภาพโดยสมการการคูณเพื่อให้ค่าระดับจุดภาพครอบคลุมช่วงระดับจุดภาพมากที่สุด แสดงได้จากสมการต่อไปนี้

$$G(i, j) = I(i, j) \times k / I_{\max} \quad (3.5)$$

โดยที่ค่า $G(i, j)$ แสดงถึงจุดภาพหลังการปรับปรุงความเข้ม

$I(i, j)$ แสดงจุดภาพป้อนเข้า

k ค่าคงที่เพื่อปรับระดับความเข้มของจุดภาพเพื่อให้ค่าสูงสุดเป็นค่า k

I_{\max} แสดงค่าระดับจุดภาพป้อนเข้าสูงสุด

นอกจากนี้ยังมีกระบวนการอื่นๆที่ใช้ขยายความชัดเจนของภาพ และเป็นที่ยอมรับกันในการปรับปรุงภาพเช่น การใช้เทคนิคฮิสโทแกรมอีเคไลเซชันแสดงในรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นการปรับจำนวนค่าจุดภาพของฮิสโทแกรมใหม่ให้มีค่าเฉลี่ยการกระจายเท่ากันทั้งภาพหรือใกล้เคียง (Flat or uniform histogram) ซึ่งการขยายขนาดโดยวิธีฮิสโทแกรมทำให้สามารถเห็นลักษณะของความชัดเจนทั้งภาพ และยังสามารถแสดงสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพอย่างชัดเจนเหมาะกับการประยุกต์ใช้งานด้านการแพทย์หรือภาพที่ต้องการเห็นรายละเอียดทุกจุด แต่ในภาพลายนิ้วมืออาจก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ

3.5.3 สมการการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization)

เมื่อทราบถึงวิธีการเปลี่ยนความเข้มของค่าระดับจุดภาพ และค่าความชัดเจนของค่าระดับจุดภาพต่อไปได้กล่าวถึงการนำกระบวนการทั้ง 2 อย่างนี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือที่ยอมรับใช้กันในปัจจุบัน

เป้าหมายหลักการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization) คือ การกำหนดค่าความเปลี่ยนแปลงในค่าใน 256 ระดับภาพโดยการปรับค่าเฉลี่ยของแต่ละเขตพื้นที่ดำเนินการให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมและมีค่าเบี่ยงเบนเนื่องจากระดับจุดภาพในบริเวณเขตพื้นที่คงที่ สิ่งที่ได้รับคือ

1. การลดระดับการเปลี่ยนแปลงภายในภาพ เป็นการลดระดับการเปลี่ยนแปลงในภาพที่มีมากเกินไป เนื่องจากน้ำหนักการประทับลายนิ้วมือที่มีค่าน้ำหนักจากการกดที่ไม่เท่ากันทั้งนิ้วมือ ทำให้พื้นที่เขตบางพื้นที่ภายในภาพมีค่าความเข้มหมึกสูงหรือค่าความสว่างต่ำ ในขณะที่บางพื้นที่มีค่าความสว่างสูง และค่าเบี่ยงเบนที่เกี่ยวข้องกับค่าของมาจากสัญญาณรบกวนในพื้นที่นั้นๆ ในบางพื้นที่ที่มีความชัดเจนสูงคือ การเปลี่ยนแปลงระดับค่าจุดภาพสูงแต่มีผลต่อความเข้ม

ของสัญญาณรบกวนภายในเขตพื้นที่นั้นๆ ในขณะที่บางเขตพื้นที่มีความชัดเจนต่ำเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับค่าจุดภาพในเขตพื้นที่นั้นๆ มีผลทำให้ความชัดเจนของเส้นนูนต่ำ

2. การลดระดับการเปลี่ยนแปลงระหว่างภาพทุกภาพที่นำมาประเมินผล เนื่องจากระดับภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการประทับตราลายนิ้วมือแต่ละครั้งมีน้ำหนักการประทับที่แตกต่างกัน อีกทั้งที่มาจากสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่มาจากแหล่งการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง เป็นการปรับระดับค่าและความชัดเจนของทุกๆ ภาพที่นำมาประมวลให้อยู่เกณฑ์ที่เหมาะสมของลายนิ้วมือ

เพื่อของการให้ $I(i, j)$ แทนภาพ 256 ระดับ $M(I)$ และ $VAR(I)$ เป็นค่าเฉลี่ยและ ค่าเบี่ยงเบนของระดับในจุดภาพ I ตามลำดับและ $G(i, j)$ เป็นภาพที่ได้รับการปรับการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล สมการแสดงกระบวนการปรับปรุงภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล

$$G(i, j) = \begin{cases} M_o + \sqrt{\frac{VAR_o(I(i, j) - M)^2}{VAR}} & , \text{ if } I(i, j) > M \\ M_o - \sqrt{\frac{VAR_o(I(i, j) - M)^2}{VAR}} & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3.6)$$

โดยที่ M_o และ VAR_o เป็นระดับค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนที่กำหนดไว้ตามลำดับ

รายละเอียดของภาพที่ได้จากสมการนี้ได้นำไปแสดงไว้ในส่วนผลการทดลอง เนื่องจากการปรับปรุงภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุลเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนระบบการแบ่งประเภทของภาพลายนิ้วมือที่นำเสนอ

3.6 กระบวนการหาทิศทางภาพ

ทิศทางภาพของลายนิ้วมือแสดงลักษณะที่ซ่อนเร้นของภาพลายนิ้วมือและพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มของภาพลายนิ้วมืออันเนื่องมาจากการเปลี่ยนของเส้นนูนและเส้นร่องลายนิ้วมือ วิธีการต่างๆ ได้นำใช้ในการค้นหาการเปลี่ยนแปลงของภาพ

โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงความเข้มระดับอธิบายได้โดยฟังก์ชันขั้นบันได หรือในรูปแบบความชันในสภาวะแวดล้อมจริงที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนหรือภาพที่เบลอไม่ชัดเจน

3.6.1 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้ม (Gradient of intensity)

วิธีพื้นฐานสำหรับการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มคือ การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงใน 2 ทิศทางที่ตั้งฉากกันแกน x และแกน y โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญคือ

- การคำนวณเกรเดียน (Gradient) ที่ได้จากการทฤษฎีแคลคูลัส (Calculus) ซึ่งเป็นการคำนวณการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตาม (ระดับความเข้ม) เทียบกับตัวแปรต้น (ตำแหน่งจุดภาพ) โดยให้ $f(x, y)$ เป็นฟังก์ชัน 2 มิติที่ต่อเนื่องทางคณิตศาสตร์ [7]

- พาเชียลเดริเวทีฟ (Partial derivative) เป็นหลักการการหาค่าเดริเวทีฟเทียบกับค่าตัวแปรต้น 2 ค่า เนื่องจากการหาเกรเดียนของทั้ง 2 แกนที่ซึ่งคือแกน x และแกน y สมการเกรเดียนสำหรับเวกเตอร์ (Vector) ของ $f(x, y)$ ที่ตำแหน่งตำแหน่ง (x_o, y_o) คือ

$$\nabla f(x_o, y_o) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}(x_o, y_o), \frac{\partial f}{\partial y}(x_o, y_o) \right) \quad (3.7)$$

คำนวณขนาดของสมการเกรเดียนหาได้จากสมการ

$$\|\nabla f(x, y)\| = \sqrt{f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y)} \quad (3.8)$$

และมุมของเกรเดียนที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับค่าเข้ม โดยเป็นมุมที่อ้างอิงกับแกน x ในทิศทางที่สวนทางกับเข็มนาฬิกาหาได้จากสมการ

$$\phi\{\nabla f(x, y)\} = \arctan\left\{ \frac{f_y(x, y)}{f_x(x, y)} \right\} \quad (3.9)$$

โดยสมการค่าความเปลี่ยนแปลงทางแกน x ในแง่การประมวลผลทางภาพ

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x, y) \approx \Delta_x f(x, y) = f(x, y) - f(x-1, y) \quad (3.10)$$

โดยสมการค่าความเปลี่ยนแปลงทางแกน y ในแง่การประมวลผลทางภาพ

$$\frac{\partial f}{\partial y}(x, y) \approx \Delta_y f(x, y) = f(x, y) - f(x, y-1) \quad (3.11)$$

วิธีการทั่วไปสำหรับการค้นหาความไม่ต่อเนื่องของระดับความเข้มในภาพ โดยการเลื่อนหน้าต่างการกระทำ (Mask) บนภาพ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากหน้าต่างการกระทำคือ แสดงถึงค่า

ความชันที่ได้จากหน้าตาของการกระทำสำหรับการหาทิศทางในแกน x หรือ y และยังมีพัฒนาชุดหน้าดำเนินการต่างๆ เช่น

- ชุดหน้าตาต่าง Prewitt ที่ประกอบด้วยชุดหน้าตาต่างที่แสดงสำหรับทิศทางย่อยๆ ด้วยฟังก์ชันขั้นบันไดโดยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์คอนโวลูชัน

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของเทมเพลตที่ใช้หาความใกล้เคียงในข้อมูลภาพ

a_3	a_2	a_1
a_4	i, j	a_0
a_5	a_6	a_7

โดย

$$\frac{\partial f}{\partial x}(i, j) = f_x(i, j) = (a_5 + a_6 + a_7) - (a_1 + a_2 + a_3) \quad (3.12)$$

และ

$$\frac{\partial f}{\partial y}(i, j) = f_y(i, j) = (a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + a_4 + a_5) \quad (3.13)$$

- ชุดหน้าตาต่าง Sobel ที่ไม่ได้เป็นการปรับปรุงเชิงเส้น

$$\frac{\partial f}{\partial x}(i, j) = f_x(i, j) = (a_5 + 2a_6 + a_7) - (a_1 + 2a_2 + a_3) \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial f}{\partial y}(i, j) = f_y(i, j) = (2a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + 2a_4 + a_5) \quad (3.15)$$

เป็นต้น

3.6.2 กระบวนการหาทิศทางวิธีทั่วไปสำหรับภาพลายนิ้วมือ

การมองภาพลายนิ้วมือให้อยู่ลักษณะโครงสร้างหยาบๆ (Texture) ด้วยภาพทิศทางเส้นลายนิ้วมือที่ซึ่งสามารถหาได้จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเส้นนูนและเส้นร่อง วิธีทั่วไปที่นิยมใช้คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองที่น้อยที่สุดของการประเมินทิศทาง (Least mean square orientation)

โดยให้ภาพลายนิ้วมือที่ได้มาจากภาพที่ผ่านการปรับปรุงในขั้นตอนแรก G กระบวนการหลักมีเป็นดังนี้

1. แบ่งภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุง G เป็นพื้นที่ดำเนินการย่อยๆ ขนาด $w \times w$ (16×16)

2. คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มระดับจุดภาพ $\partial_x(i, j)$ และ $\partial_y(i, j)$ สำหรับแต่ละจุดภาพ (i, j) หน้าต่างดำเนินการของ Prewitt หรือหน้าต่างดำเนินการ Sobel เนื่องจากเป็นการพิจารณาทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับมากที่สุด ดังนั้นจึงตั้งฉากกับทิศทางเส้นลายนิ้วมือ

3. ประเมินค่าทิศทางของภาพเส้นลายนิ้วมือของแต่ละพื้นที่ย่อย ที่จากการรวบรวมค่าการเปลี่ยนแปลงจากระดับความเข้มจุดภาพ (i, j) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2f_x(u, v)f_y(u, v) \quad (3.16)$$

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} f_x^2(u, v)f_y^2(u, v) \quad (3.17)$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_y(i, j)}{V_x(i, j)} \right) \quad (3.18)$$

โดยที่ $\theta(i, j)$ เป็นค่ากำลังสองน้อยที่สุดที่คำนวณได้จากทิศทางเส้นลายนิ้วมือในพื้นที่ที่มีจุดศูนย์กลาง (i, j) ในทางคณิตศาสตร์ทิศทางของพื้นที่นั้นๆ เป็นทิศทางที่คำนวณจากสมมุติฐานที่ว่าทิศทางนั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มมากที่สุด หรือในภาพลายนิ้วมือทิศทางที่ตั้งฉากกับเส้นลายนิ้วมือเนื่องจากทิศทางนี้มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นนูน และเส้นร่อง

4. เนื่องจากเป็นการคำนวณในลักษณะของแต่ละจุดภาพ บนพื้นที่การกระทำหาทิศทางแบบ Prewitt หรือ Sobel ที่มีขนาดเพียง 3×3 ดังนั้นจึงไวต่อค่าสัญญาณรบกวนที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงหรืออาจเนื่องมาจากเส้นลายนิ้วมือที่ผิดปกติตามธรรมชาติเช่นบริเวณมิมูเซีย ดังนั้นจึงมีกระบวนการปรับปรุงเพื่อให้ค่าที่ได้ถูกต้องมากขึ้น จากสมมุติฐานที่ว่าเส้นลายนิ้วมือมีการเปลี่ยนระหว่างเส้นนูนและเส้นร่องซ้ำว่าการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสัญญาณรบกวนดังนั้นจึงมีการใช้ส่วนกรองความถี่ต่ำ แต่ก่อนหน้านั้นจำเป็นต้องนำค่าทิศทางที่ได้ผ่านกระบวนการปรับภาพทิศทางลายนิ้วมือให้อยู่ในลักษณะสัญญาณต่อเนื่องด้วยวิธีการดังนี้

$$\varphi_x(i, j) = \cos(2\theta(i, j)) \quad (3.19)$$

และ

$$\varphi_y(i, j) = \sin(2\theta(i, j)) \quad (3.20)$$

โดยที่ค่า φ_x และ φ_y เป็นส่วนประกอบของสนามเวกเตอร์ x และ y ตามลำดับ จากค่าในสนามเวกเตอร์ทำให้ผลที่ได้จาก φ_x และ φ_y สามารถนำไปผ่านส่วนกรองความถี่ต่ำตามสมการดังนี้

$$\varphi'_x(i, j) = \sum_{u=w_x/2}^{w\varphi/2} \sum_{v=w_x/2}^{w\varphi/2} w(u, v) \varphi_x(i - uw, j - vw) \quad (3.21)$$

$$\varphi'_y(i, j) = \sum_{u=w_x/2}^{w\varphi/2} \sum_{v=w_x/2}^{w\varphi/2} w(u, v) \varphi_y(i - uw, j - vw) \quad (3.22)$$

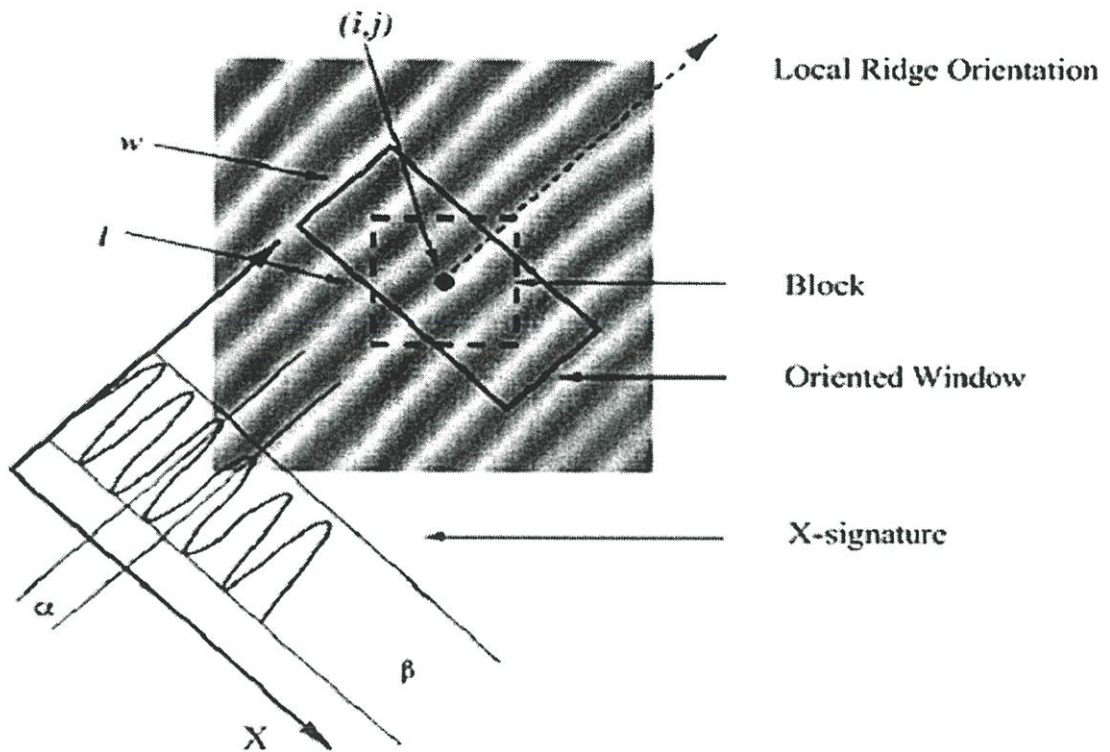
โดยที่ค่า $\varphi'_x(i, j)$ และค่า $\varphi'_y(i, j)$ เป็นส่วนประกอบของสนามเวกเตอร์ x และ y หลังผ่านการกรองความถี่ต่ำตามลำดับ $w(u, v)$ เป็นส่วนกรองความถี่ต่ำ 2 มิติที่มีผลรวมได้ภาพเท่ากับ 1 และ $w_\varphi \times w_\varphi$ เป็นขนาดของส่วนกรองความถี่ต่ำ สังเกตว่าการกรองความถี่กระทำในระดับพื้นที่โดยมีขนาดมาตรฐานทั่วไป 5×5

5. คำนวณทิศทางเส้นลายนิ้วมือ $O(i, j)$ ที่ตำแหน่ง (i, j) โดยใช้สมการ

$$O(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\varphi'_y(i, j)}{\varphi'_x(i, j)} \right) \quad (3.23)$$

ขั้นตอนโดยทั่วไปที่กล่าวถึงเป็นกระบวนการหาทิศทางลายนิ้วมือที่มีความยุ่งยาก และซับซ้อนอีกทั้งยังไวต่อสัญญาณรบกวนต้องมีการใช้การกรองความถี่ต่ำ $w(u, v)$ สำหรับเส้นลายนิ้วมือซึ่งทำให้ทิศทางเส้นลายนิ้วมือที่ได้มาเป็นค่าเฉลี่ยจากทิศทางจริง ทำให้การแทนตำแหน่งทิศทางของเส้นลายนิ้วมือบริเวณตำแหน่งมีนุษย์เสียไม่ได้ จึงไม่สามารถพัฒนาต่อไปสำหรับการจดจำลายนิ้วมือแบบเทกเจอร์ได้ แต่เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิธีการหาทิศทางต่อไป

ขั้นตอนการคำนวณทิศทางที่วิทยานิพนธ์ได้นำเสนอ มาจากการกระทำในแกนความถี่โดยใช้ชุดกรอกกาบอร์ซึ่งให้ผลที่ละเอียดมาก และเหมาะสมในการประยุกต์ใช้สำหรับการจดจำแบบเทกเจอร์ต่อไป ภาพการเปรียบเทียบได้แสดงไว้ให้เห็นในบทผลการทดลองเพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล



รูปที่ 3.9 ความถี่ไซน์ของรอยนิ้วมือ

3.7 ภาพความถี่เส้นลายนิ้วมือ (Ridge frequency image)

เป็นขั้นตอนหนึ่งสำหรับการค้นหาส่วนที่สามารถกู้คืนสัญญาณกลับได้ และส่วนที่มีสัญญาณรบกวนจนกู้คืนไม่ได้ ในอุดมคติพื้นที่ที่เส้นลายนิ้วมือไม่มีตำแหน่งผิดปกติกล่าวคือเส้นลายนิ้วมือเป็นลักษณะภาพตัดขวางเส้นนูน และเส้นร่องของลายนิ้วมือในทิศทางที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว สามารถจำลองเป็นสัญญาณคลื่นแบบไซน์ซอซอดัล (Sinusoidal) ดังรูปที่ 3.9 ดังนั้นความถี่ของเส้นลายนิ้วมือในแต่ละพื้นที่ย่อยสามารถใช้เป็นคุณสมบัติเฉพาะอย่างหนึ่งของภาพลายนิ้วมือนั้นๆ

ให้ G เป็นภาพที่ได้ผ่านการปรับปรุงและ O เป็นภาพทิศทางเส้นลายนิ้วมือ แล้วขั้นตอนการคำนวณหาความถี่เป็นดังนี้

1. แบ่งภาพที่ผ่านการปรับปรุงเป็นพื้นที่ย่อยขนาด $w \times w$ (16×16)
2. สำหรับแต่ละพื้นที่ดำเนินการย่อยที่จุดภาพ (i, j) คำนวณหาพื้นที่ดำเนินการที่ถูกกำหนดทิศทางขนาด (Oriented window) ขนาด $l \times w$ (32×16)
3. สำหรับแต่ละพื้นที่ดำเนินการที่จุดภาพ (i, j) คำนวณหาค่าลายเซ็น X (X-signature) ที่มีลักษณะเป็น $X[0], X[1], \dots, X[l-1]$ จากเส้นนูนและเส้นร่องของลายนิ้วมือภายในพื้นที่ดำเนินการที่ถูกกำหนดทิศทาง โดยที่

$$X[k] = \frac{1}{w} \sum_{d=0}^{w-1} G(u, v), \quad k = 0, 1, \dots, l-1 \quad (3.24)$$

$$u = i + \left(d - \frac{w}{2}\right) \cos O(i, j) + \left(k - \frac{l}{2}\right) \sin O(i, j) \quad (3.25)$$

$$v = j + \left(d - \frac{w}{2}\right) \sin O(i, j) + \left(\frac{l}{2} - k\right) \cos O(i, j) \quad (3.26)$$

ในกรณีที่ไม่มีตำแหน่งมินูเชีย (Minutia) หรือซิงกูล่า (Singular) ปรากฏในพื้นที่ดำเนินการที่ถูกกำหนดทิศทางที่ซึ่งเป็นรูปแบบ X-signature ของสัญญาณคลื่นไซน์ขอยด์ความถี่เดียวกับความถี่ของเส้นลายนิ้วมือ ดังนั้นความถี่ของเส้นลายนิ้วมือที่เกิดจากเส้นขนและเส้นร่องสลับกันไปสามารถพิจารณาได้จาก X-signature

โดยให้ $T(i, j)$ ค่าเฉลี่ยของจุดภาพระหว่างเส้นขน 2 เส้นที่อยู่ติดกันใน X-signature แล้วค่าความถี่ $\Omega(i, j)$ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Omega(i, j) = 1/T(i, j) \quad (3.27)$$

สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถหาค่าสูงสุดที่อยู่ติดกันใน X-signature ได้ ค่า -1 ถูกกำหนดให้กับความถี่ในพื้นที่ดำเนินการนั้นๆ เพื่อให้เกิดความแตกต่างจากความถี่ในบริเวณอื่นๆ

4. สำหรับภาพลายนิ้วมือที่ได้รับจากการสแกนที่ความละเอียดคงที่ ค่าความถี่ของเส้นขนและเส้นร่องอยู่ในช่วงที่แน่นอนเช่น สำหรับรายละเอียดภาพ 500 dpi ค่าในช่วงเป็น $[1/3, 1/25]$ ดังนั้นค่าประเมินของความถี่ที่อยู่นอกช่วงนี้ในความละเอียดภาพขนาด 500 dpi ช่วงความถี่ถูกกำหนดเป็นค่า -1 เพื่อระบุว่าไม่สามารถหาค่าความถี่ที่เหมาะสมกับภาพได้

5. พื้นที่ดำเนินการที่มีตำแหน่งมินูเชียหรือซิงกูล่าอันเนื่องมาจากจุดอ้างอิง หรือจุดเคลด้าของภาพลายนิ้วมือ ค่าความถี่สำหรับพื้นที่ดำเนินการเหล่านี้เนื่องจากค่า X-signature ไม่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ขอยด์ ดังนั้นค่าความถี่ของพื้นที่เหล่านี้ถูกเติมด้วยค่าที่ได้มาจากพื้นที่ข้างเคียงโดยรอบ ขั้นตอนการเติมเป็นดังนี้

5.1 ค่าความถี่ตำแหน่งมินูเชีย $\Omega'(i, j)$ สำหรับพื้นที่ดำเนินการที่จุดศูนย์กลาง (i, j)

$$\Omega'(i, j) = \begin{cases} \Omega(i, j) & , \quad \text{if } \Omega(i, j) \neq -1 \\ \frac{\sum_{u=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} \sum_{v=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} w_g(u, v) u(\Omega(i-uw, j-vw))}{\sum_{u=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} \sum_{v=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} w_g(u, v) \delta(\Omega(i-uw, j-vw)+1)} & , \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.28)$$

โดยที่

$$u(x) = \begin{cases} 0 & , \quad \text{if } x \leq 0 \\ x & , \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.29)$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 0 & , \quad \text{if } x \leq 0 \\ 1 & , \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.30)$$

W_g เป็นรูปลักษณะเกาส์เซียน (Gaussian kernel) ที่มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนเป็น 0 และ 9 ตามลำดับ และค่า $w_\Omega = 7$ เป็นขนาดของลักษณะเกาส์เซียน (Gaussian kernel)

5.2 ในกรณีที่อย่างน้อยพื้นที่หนึ่งที่มีค่าความถี่เป็น -1 ให้เปลี่ยนค่า Ω กับ Ω' แล้วกลับไปยังขั้นตอน (5.1)

6. ค่าระยะห่างระหว่างเส้นนูนลายนิ้วมือ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ในพื้นที่ข้างเคียง ส่วนกรองความถี่ต่ำสามารถใช้ในการกำจัดค่าขอบใน Ω' ด้วยวิธีการดังนี้

$$F(i, j) = \sum_{u=-w_f/2}^{w_f/2} \sum_{v=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} W_f(u, v) \Omega'(i-uw, j-vw) \quad (3.31)$$

โดยที่ F เป็นภาพหลังกำจัดค่าขอบ W_f เป็นส่วนกรองความถี่ต่ำที่มีพื้นที่ได้กราฟเป็น 1 และ $w_f = 7$ เป็นขนาดของส่วนกรองความถี่สำหรับ 500 dpi

3.8 การจำแนกพื้นที่ภาพ (Region mask)

จากที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ภาพลายนิ้วมือที่นำมาประมวลผลสามารถพิจารณาแยกแยะเบื้องต้นก่อนว่าบริเวณพื้นที่นั้นๆสามารถนำมาปรับปรุงภาพเพื่อคำนวณในขั้นตอนการจดจำภาพลายนิ้วมือได้หรือไม่ การกำหนดประเภทของพื้นที่ต่างๆของภาพเป็น

1. ส่วนที่ดี สามารถกู้คืนด้วยการปรับปรุงภาพแล้วเข้าสู่การการจดจำต่อไปได้
2. ส่วนที่แย ไม่สามารถนำมากู้คืนด้วยการปรับปรุงภาพ แล้วเข้าสู่การประมวลผลการจดจำต่อไปได้

ขั้นตอนการแบ่งประเภทนี้คือส่วนหนึ่งของวิธีการจำแนกภาพเป็นส่วนๆ (Segmentation) ซึ่งเราเก็บไว้กล่าวรายละเอียดในภายหลัง สำหรับขั้นตอนการจำแนกภาพลายนิ้วมือวิธีทั่วไปที่ใช้กันคือ การพิจารณาจากลักษณะของไขนุชอยด์ที่ได้จาก X-signature เช่น α แสดงถึงขนาดของสัญญาณไขนุชอยด์ β แสดงค่าความถี่ของไขนุชอยด์และค่าการเบี่ยงเบน γ โดยให้ $X[1]$ $X[2]$ $X[l]$ เป็นค่า X-signature ของพื้นที่ดำเนินการที่มีจุดศูนย์กลาง (i, j) ค่าตัวแทนกลุ่มที่สอดคล้องกับพื้นที่ดำเนินการที่มีจุดศูนย์กลาง (i, j) สามารถคำนวณได้โดยวิธีการต่อไปนี้

1. ค่า α หาได้จากค่าเฉลี่ยความสูงของเส้นนูนในพื้นที่นั้นๆ
2. $\beta = 1/T(i, j)$ โดยที่ค่า $T(i, j)$ เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนจุดภาพระหว่างเส้นนูนสองเส้นติดกัน
3. คำนวณ

$$\gamma = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \left(X[i] - \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l X[i] \right) \right)^2 \quad (3.32)$$

ภาพจำแนกคุณภาพลายนิ้วมือ R ที่ได้มีลักษณะดังนี้ ที่จุดกึ่งกลางพื้นที่ดำเนินการ (i, j) ถ้าบริเวณพื้นที่ดำเนินการนั้นสามารถแก้ไขปรับปรุง เพื่อเป็นข้อมูลป้อนเข้าสู่ส่วนจดจำต่อไปแล้ว $R(i, j) = 1$ ถ้าไม่ใช่ $R(i, j) = 0$ และในกรณีที่พื้นที่ที่ไม่สามารถกู้กลับคืนได้เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ภาพป้อนเข้านั้นได้ถูกปฏิเสธในระบบการจดจำลายนิ้วมือ

3.9 การปรับปรุงภาพโดยการใช้การกรองความถี่

จากลักษณะองค์ประกอบของเส้นลายนิ้วมือที่ประกอบด้วยการสลับกันระหว่างเส้นนูนและเส้นร่องเหมือนกับสัญญาณไขนุชอยด์ที่มีองค์ประกอบทางความถี่ค่าหนึ่ง ส่วนสัญญาณรบกวนคือสัญญาณที่ไม่ต้องการที่มีความถี่ต่างไปจากความถี่ของเส้นลายนิ้วมือ ทำให้สามารถใช้การกรองความถี่ในการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือได้ รายละเอียดทางทฤษฎีขอยกไปกล่าวในบทต่อไป

3.10 การค้นหาจุดอ้างอิงภาพลายนิ้วมือโดยวิธีทั่วไป

กระบวนการค้นหาจุดอ้างอิงที่มีใช้กันทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ในภาพลายนิ้วมือ

3.10.1 วิธีการใช้เพิ่มเพลดและการรวมค่ารอบจุดในการค้นหา

ตารางที่ 3.2 เพิ่มเพลดสำหรับการค้นหาอ้างอิง

4	3	2
1	C	1
2	3	4

เพิ่มเพลดนี้ใช้ในการค้นหาทิศทางและใช้เป็นค่าคำนวณรอบจุดอ้างอิง [8] โดยมีสมการดังนี้

สมการสำหรับการค้นหาจุดแยก (Delta) โดยที่ C เป็นตำแหน่ง x และ y ที่ทำการคำนวณ

$$16 \leq \sum_c P(x, y) \leq 20 \quad (3.33)$$

สมการสำหรับการค้นหาจุดอ้างอิง (Core)

$$\sum_c P(x, y) \geq 20 \quad (3.34)$$

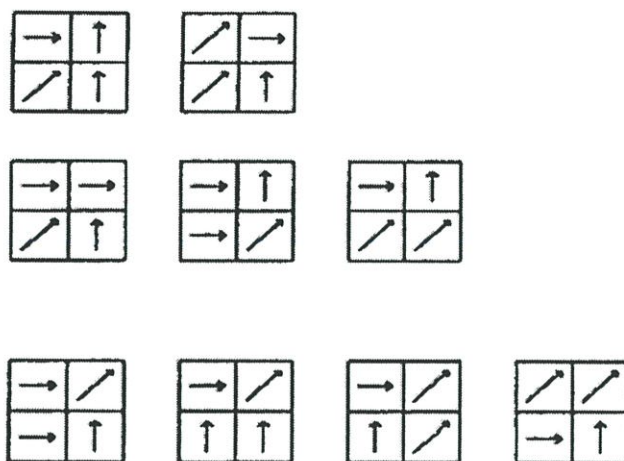
โดยที่ $P(x, y)$ เป็นค่าที่ได้จากเพิ่มเพลดทิศทางรอบจุดที่คิดว่าเป็นจุดอ้างอิงหรือจุดแยก

การใช้เพิ่มเพลดแบบนี้ สัญญาณรบกวนมีผลต่อค่าการคำนวณมาก ดังนั้นภาพทิศทางที่นำมาใช้คำนวณต้องเป็นค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากทิศทางเส้นลายนิ้วมือในบริเวณปกคตัวอย่างเดียว ไม่รวมถึงค่าทิศทางที่ตำแหน่งมีนูนซึ่งอาจทำให้การค้นหาทิศทางผิดพลาด นอกจากนี้มีการใช้เพิ่มเพลดอื่นๆ เช่น Meltem [9] และการใช้ R92 อัลกอริทึม [10] ซึ่งเป็นการใช้เพิ่มเพลดขนาดใหญ่ ซึ่งซับซ้อนกว่าและการคำนวณที่มากกว่า

3.10.2 การใช้เพิ่มเพลดที่จำลองทิศทางตำแหน่งจุดอ้างอิง

การใช้เพิ่มเพลดที่จำลองทิศทางตำแหน่งจุดอ้างอิง แล้วนำไปทำการหาค่าความสัมพันธ์โดยตรง

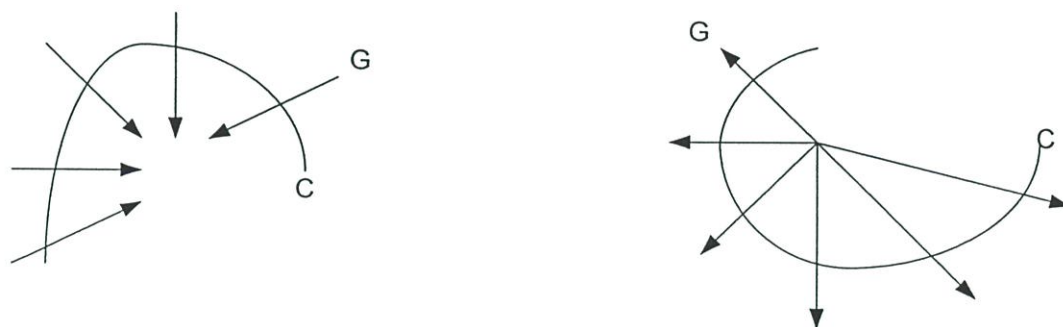
วิธีนี้ต้องใช้เพิ่มเพลดจำนวนมากเนื่องจากต้องแทนทิศทางที่อาจเป็นจุดอ้างอิงได้ทั้งหมดที่มีโอกาสเกิดขึ้น ไม่ว่าหมุมภาพในแนวไหนก็ตาม วิธีนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถใช้กับลายนิ้วมือที่มีความซับซ้อนทางเส้นทางลายนิ้วมือ ปริมาณเพิ่มเพลดจำนวนมาก และผลเนื่องจากสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.10 เพิ่มเฟลตต์ที่จำลองลักษณะของจุดอ้างอิง [11] สามารถนำไปเปรียบเทียบความเหมือน

3.10.3 วิธีการคำนวณของพอนต์แคร์อินเดกซ์ (Point care index)

เป็นวิธีการคำนวณหาจุดอ้างอิงจากองศาของทิศทางเส้นลายนิ้วมือโดยตรง



รูปที่ 3.11 หลักการในการทำกระบวนการพอนต์แคร์อินเดกซ์

หลักการของพอนต์แคร์อินเดกซ์ (Point care index) จากรูปให้ G เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับเส้นสัมผัสเส้นโค้ง C แล้วค่า Point care index $P_{G,c}$ เป็นการอธิบายผลรวมการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ G รอบเส้นโค้ง C สามารถแสดงในสมการสำหรับการประมวลผลดังนี้

$$P_{G,c}(i, j) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=0}^{N-1} \Delta(k) \quad (3.35)$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \delta(k) & , \text{if } |\delta(k)| < 2/\pi \\ \pi + \delta(k) & , \text{if } |\delta(k)| < -2/\pi \\ \pi - \delta(k) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.36)$$

$$\delta(k) = \theta(X(k'), Y(k')) - \theta(X(k), Y(k)) \quad (3.37)$$

$$k' = (k + 1) \bmod N \quad (3.38)$$

โดยที่ $\theta(i, j)$ เป็นทิศทางของเส้นลายนิ้วมือที่ได้จากการคำนวณหาค่าทิศทาง $X(k)$, $Y(k)$ เป็นตำแหน่งของพื้นที่ดำเนินการ

ในกรณีที่มีค่า Point care index เป็น $1/2$ แล้วพื้นที่ดำเนินการนั้นคือตำแหน่งอ้างอิง (Core point) ในกรณีที่มีตำแหน่งอ้างอิงมากกว่า 2 ตำแหน่งให้ย้อนกลับไปทำขั้นตอนแรกใหม่

3.11 การแบ่งประเภทภาพโดยวิธีทั่วไป

หลักการในการจัดประเภทลายนิ้วมือทั่วไปคือ พยายามนำโครงสร้างของทิศทางเส้นลายนิ้วมามาประมวลผลด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

3.11.1 การใช้หลักการทางตรรกะทางพีชคณิตระหว่างจำนวนจุดอ้างอิงและเคลด้า

เช่น ถ้าจำนวนเคลด้าน้อยและจำนวนจุดอ้างอิงน้อยและทิศทางของภาพโดยรวมน้อย และทิศทางจุดอ้างอิงน้อยและเคลด้าอยู่ข้างขวาแล้วก็ค่าสมาชิก L สำหรับภาพลูบซ้ายมีค่าเป็น 0.9 เป็นต้น [8]

3.11.2 การนำค่าทิศทางที่เป็นองศารอบจุดอ้างอิงไปคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันตัดลินิก

ในการเปรียบเทียบกับค่าทิศทางแม่แบบในรูปแบบที่ 3.12 ที่ผ่านการเรียนรู้มาก่อน ขั้นตอนการดำเนินการโดยใช้การกระทำแบบรวมกลุ่ม ขอกล่าวสรุปในที่นี้ เห็นได้ว่าตัวแทนกลุ่มสำหรับใช้ในการแยกแยะคือ องศาของทิศทางเส้นรายนิ้วมือโดยตรง

- พิจารณาจากรูปได้แบ่งพื้นที่ดำเนินการเป็น 48 ส่วนไม่นับรวมพื้นที่จุดอ้างอิง
- สร้างกลุ่มไว้ 9 กลุ่มเริ่มต้น โดยให้ค่าเฉลี่ยเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มเป็น 0
- พิจารณาความห่างของค่าเฉลี่ยแม่แบบกับเวกเตอร์ป้อนเข้าแล้วคำนวณค่าเฉลี่ยกลุ่มใหม่
- ทำซ้ำจนมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยน้อยกว่าที่กำหนด

ข้อสังเกต คุณสมบัติการไม่แปรผันต่อการเลื่อนและการหมุนของภาพลายนิ้วมือมาจากลักษณะการจัดเรียงของเวกเตอร์จากอาร์เรย์ภาพ 2 มิติ



รูปที่ 3.12 พื้นที่รอบจุดอ้างอิงสำหรับการจดจำ [12]

3.11.3 การกระทำโดยใช้ภาพจากการประมวลด้วยส่วนกรองกาบอร์

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

1. นำค่ารหัสลายนิ้วมือ [1] หรือค่าเบี่ยงเบนที่ได้จากการกระทำโดยใช้ส่วนกรองกาบอร์ ซึ่งมีชุดภาพ 8 ชุด สำหรับ ชุดกรองกาบอร์ที่ประกอบด้วยเป็นทิศทางย่อยๆ 8 ทิศทาง
2. นำมาหาค่าตัดสินใจโดยใช้การเปรียบเทียบแบบสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างรูปแบบแม่แบบสำหรับแต่ละประเภทกับรูปป้อนเข้า ฟังก์ชันที่ให้ค่าสำหรับนำไปเปรียบเทียบคือ

$$U_{TQ} = \sum_{\theta} \left\{ \mathfrak{I}^{-1} \left(\mathfrak{I}(S_{\theta}^Q) \mathfrak{I}(S_{\theta}^T) \right) \right\} \quad (3.39)$$

ค่า U_{TQ} เป็นค่าที่นำไปใช้ในการตัดสินใจ โดยทำการรวมผลจากการหาค่าความสัมพันธ์ในแกนความถี่ของทุกๆภาพที่ได้ชุดมุมจากการกรองแบบกาบอร์

S_{θ}^Q เป็นภาพแม่แบบ

S_{θ}^T เป็นภาพป้อนเข้า

3. แล้วพิจารณาค่าระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean distance) เทียบกับแม่แบบต่างๆ สังเกตว่าการประมวลผลสำหรับวิธีการนี้กับไม่รองรับการหมุนของลายนิ้วมือ นอกเสียจากการเพิ่มแม่แบบสำหรับการหมุนเข้าไปด้วย แต่มีคุณสมบัติทางด้าน การเลื่อนอันเนื่องมาจากการเป็นคุณสมบัติของฟังก์ชันสัมพันธ์ (Correlation)

3.12 สรุป

ในบทนี้ผู้อ่านได้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการกระทำบนภาพลายนิ้วมือ ก่อนอื่นต้องมีการแยกสัญญาณรบกวนออกจากภาพ ซึ่งแบ่งพื้นที่เป็นบริเวณที่ใช้ได้และไม่ได้ วิธีการแยกสัญญาณรบกวนคือ เริ่มจากปรับค่าความชัดเจนของภาพ และใช้ตัวกรองภาพซึ่งกล่าวรายละเอียดในบทที่ 4 และ 5

หลังจากนั้นได้มีการหาทิศทางภาพ ซึ่งตัวแทนกลุ่มข้อมูลจากทิศทางภาพที่ได้สามารถนำไปใช้

1. คัดแยกส่วนดี-เลวของภาพ
2. การแบ่งประเภทภาพ
3. การค้นหาจุดอ้างอิงของภาพ

จากวิธีการค้นหาทิศทางภาพที่นำเสนอในบทนี้ เป็นทิศทางที่ผ่านการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้ขาดรายละเอียดในส่วนของตำแหน่งมโนเขี้ยว แต่ในกรณีที่ไม่มีการกรองสัญญาณภาพผลของทิศทางภาพที่ได้รับแย่ เนื่องจากใช้ระบบเกรเดียนในการหาค่าการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทุกบนจุดของพื้นที่หนึ่งๆ ค่าเกรเดียนไวต่อค่าการเปลี่ยนแปลงมาก ยกตัวอย่างให้เห็นภาพได้เช่น ในกรณีที่บริเวณพื้นที่นั้นไม่มีการเปลี่ยนระดับของเส้นลายนิ้วมือ ค่าเกรเดียนที่คำนวณได้จึงมาจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวน โดยตรงที่ได้จึงมาจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวน

ในบทต่อไปได้นำเสนอระบบการคำนวณหาทิศทางจากชุดความถี่ในแกนความถี่ ที่ซึ่งตัดปัญหาการไวต่อสัญญาณรบกวนที่มาจากค่าเกรเดียน เพราะใช้การเปรียบเทียบลักษณะความถี่ของเส้นลายนิ้วมือ 1 คาบกับสำหรับความถี่กลางที่ใช้โดยชุดกรอง และสามารถนำผลนั้นมาใช้ในการจดจำลายนิ้วมือได้

บทที่ 4

ภาพลายนิ้วมือกับการกระทำในโดเมนความถี่

4.1 กล่าวนำ

การกระทำประมวลผลสัญญาณภาพลายนิ้วมือที่กล่าวไป ส่วนใหญ่เป็นการกระทำบนระบบสเปซโดเมนของภาพ ไม่ว่าจะการทำให้เข้าสู่สภาพสมดุล การค้นหาทิศทาง การค้นหาจุดอ้างอิง ในบทนี้ได้กล่าวเกี่ยวกับการประมวลผลภาพลายนิ้วมือในโดเมนของความถี่โดยเริ่มจากการปูพื้นฐานเบื้องต้นของความสัมพันธ์ภาพกับความถี่ เนื่องจากภาพลายนิ้วมือเน้นการเปลี่ยนแปลงของทิศทางเส้นลายนิ้วมือในการจดจำทำให้นำไปสู่การวิเคราะห์ทิศทางภาพกับความถี่ และการทำความเข้าใจในระบบเชิงขั้วที่มีตัวแปรอิสระเป็นขนาดความถี่กับทิศทาง

4.2 นิยามเบื้องต้นในโดเมนความถี่

ได้มีการใช้งานการประมวลผลสัญญาณภาพในแกนความถี่มากมาย การประมวลผลเกี่ยวกับสัญญาณภาพเช่น

- การจัดการพิกัดสัญญาณรบกวนเนื่องจากการขจัดสัญญาณรบกวนคือ การคัดค่าความถี่สูงๆที่น่าจะเกิดจากสัญญาณรบกวนออกไป

- การเพิ่มความคมชัดที่บริเวณขอบภาพเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขอบภาพเป็นลักษณะทันทีทันใดในรูปแบบฟังก์ชันขั้นบันได การทำให้สัญญาณบริเวณขอบภาพชัดเจนขึ้นคือการขยายสัญญาณในช่วงความถี่สูง

- การหาโครงร่างภาพ

- การปรับภาพให้ดูมีน้ำหนักหรือภาพความนุ่มนวลของภาพ

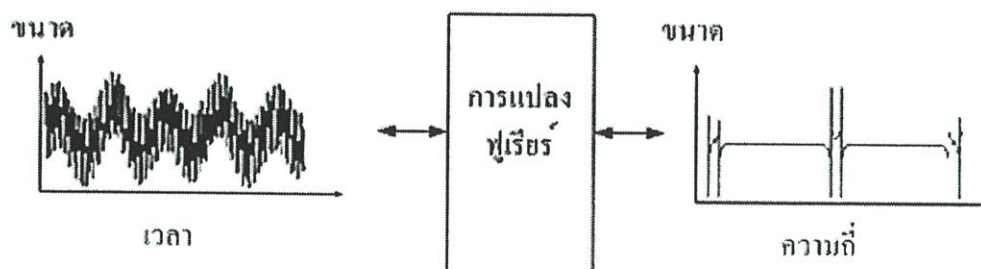
เนื่องจากการกระทำในโดเมนความถี่มีซับซ้อนจึงใช้การคอนโวลูชันกับเทมเพลตสำหรับความถี่ต่างๆในแกนของภาพจริงหรือสเปซโดเมน (Spatial domain) ที่ซึ่งเปรียบเสมือนการคูณกันในแกนความถี่ของระบบ แต่เนื่องจากเทมเพลตทั้งหมดที่ใช้ในแกนภาพจริง ไม่อาจหาคะแนนรายละเอียดทางความถี่ที่ซับซ้อน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานด้านความถี่ที่ซับซ้อนยังคงต้องพึ่งพาการกระทำภาพในโดเมนความถี่โดยตรง

การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) แสดงดังรูปที่ 4.1 เป็นหนึ่งในวิธีการที่สำคัญมากในการประมวลผลทางภาพ เป็นการประมวลผลภาพโดยเปลี่ยนจากโดเมนการกระทำในสเปซโดเมนไปเป็นโดเมนความถี่ การกระทำในลักษณะของความถี่ของสัญญาณเช่น การกรองความถี่ภาพ (Filtering) การปรับปรุงภาพ (Enhancement) การเข้ารหัสภาพ (Encoding) การบีบอัดภาพ (Compression) การกู้คืนภาพ (Restoration) การวิเคราะห์ทางโครงร่างภาพ (Texture analysis)

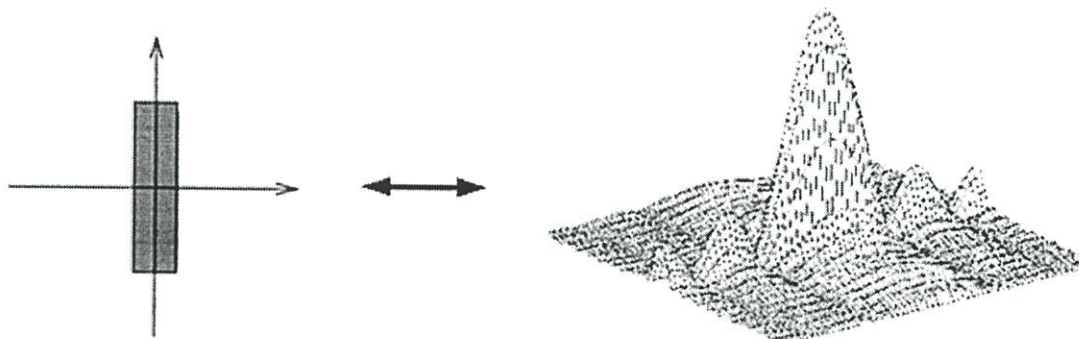
และกระบวนการเรียนรู้จดจำ (Classification and recognition) เป็นต้น สำหรับการประมวลผล สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง สมการของคู่กระบวนการแปลงฟูเรียร์เป็น

$$\hat{a}(j) = [\mathcal{F}(a)](j) = \sum_{k=0}^{n-1} a(k)e^{-2\pi jki/n} \quad (4.1)$$

$$a(k) = [\mathcal{F}^{-1}(\hat{a})](j) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} \hat{a}(j)e^{2\pi jki/n} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.1 หลักการแปลงฟูเรียร์



รูปที่ 4.2 ระบบการแปลงฟูเรียร์ของภาพ 2 มิติ

4.3 สมการคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงความถี่ของภาพ

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือเป็นลักษณะสัญญาณ 2 มิติ สมการการแปลงฟูเรียร์จึงเปลี่ยนเป็นการดำเนินการแบบ 2 มิติ รูปที่ 4.2 แสดงการแปลงในลักษณะสัญญาณ 2 มิติ จากภาพลายนิ้วมือ $f(x, y)$ ที่มีขนาดเป็น $M \times N$

โดยที่ $a(k)$ เป็นค่าจากจุดภาพและ $\hat{a}(j)$ เป็นค่าในแกนความถี่ สำหรับการแปลงฟูเรียร์ 2 มิติเขียนได้เป็น [13]

$$F(u, v) = [\mathfrak{F}(x, y)](u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (4.3)$$

ผลที่ได้จากการดำเนินการแปลงฟูรีเยร์ $F(u, v)$ มีค่าเป็นระบบเลขเชิงซ้อนเป็นผลรวมของค่าจำนวนจริง (Real) และเลขจินตภาพ (Imaginary)

$$F(u, v) = R(u, v) + jI(u, v) \quad (4.4)$$

โดยที่ขนาด (Amplitude) เฟส (Phase) ของค่าความถี่ และความหนาแน่นของกำลังเชิงสเปกตรัม (Power spectrum or spectral density) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)} \quad (4.5)$$

$$\phi(u, v) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right] \quad (4.6)$$

และนิยาม $P(u, v)$ เป็น

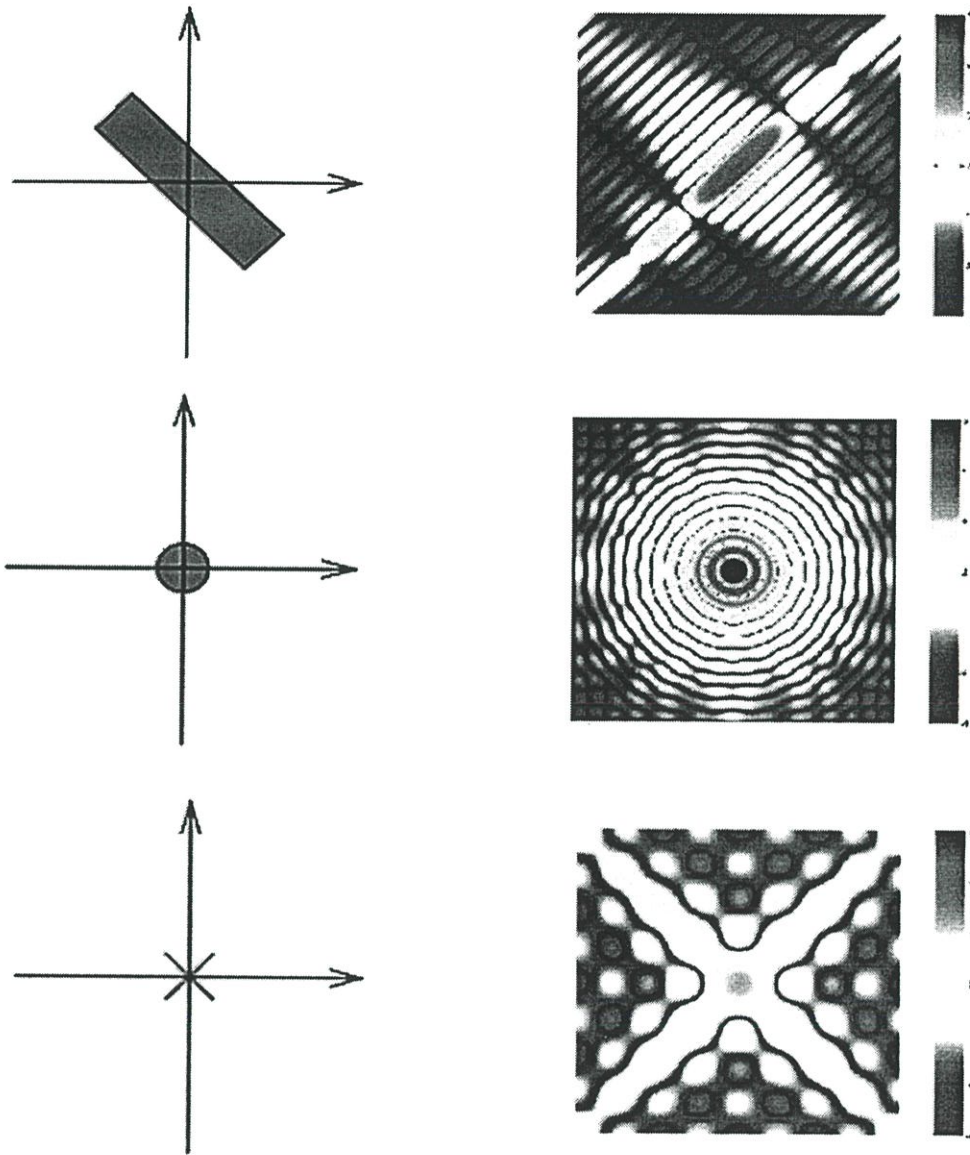
$$P(u, v) = |F(u, v)|^2 \quad (4.7)$$

$$P(u, v) = R^2(u, v) + I^2(u, v) \quad (4.8)$$

และการแปลงค่าฟูรีเยร์กลับสามารถกระทำโดยสมการนี้

$$F(x, y) = [\mathfrak{F}^{-1}(u, v)](x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} f(u, v) e^{j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (4.9)$$

ในแกนความถี่ u แสดงค่าความถี่จากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มภาพในแกน x และ v แสดงค่าความถี่จากการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มภาพในแกน y โดยค่าที่ได้ในแกนความถี่ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มจุดภาพนั่นเอง



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับแกนความถี่

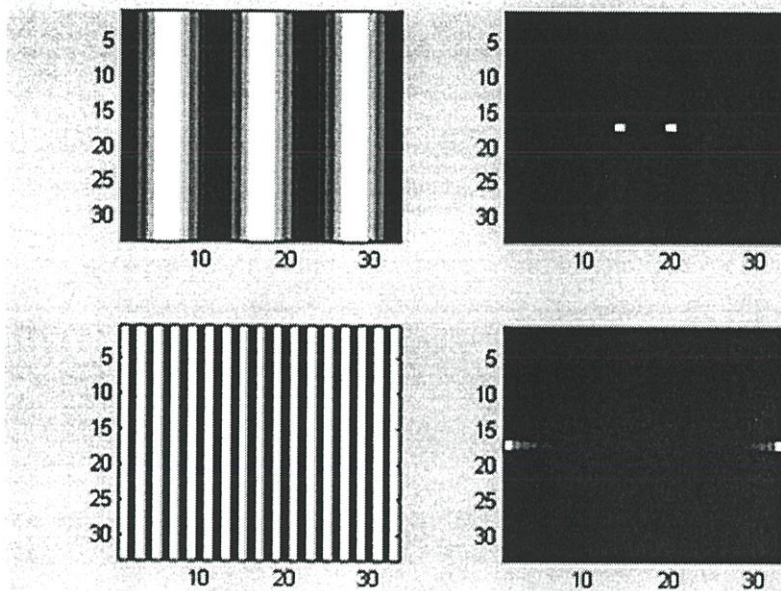
เพื่อให้เข้าใจการกระทำในแกนความถี่ การตีความหมายจากภาพความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ที่ได้กับลักษณะที่สอดคล้องกับภาพลายนิ้วมือจริง แต่ละค่าในจุดภาพความถี่แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นหน่วยรอบต่อความกว้างของภาพ ที่จุดอ้างอิงภาพ (0,0) กลางภาพความถี่ที่ได้รับ การจัดลำดับใหม่ เป็นค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบ DC ของสัญญาณหรือค่าเฉลี่ยของสัญญาณนั่นเอง ค่าจุดภาพถัดไปจากจุดอ้างอิงในโดเมนความถี่ไปทางขวาแสดงค่าความถี่ 1 รอบต่อความกว้างภาพและค่าจุดภาพถัดไปอีกในโดเมนความถี่ไปทางขวาอีกครั้งแสดงค่าความถี่ 2 รอบต่อความกว้างภาพและต่อไป ค่าถัดไปอีกยังเป็นค่าความถี่ที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามแกนค่าความถี่ตั้งฉากกับทิศทางเส้นลายนิ้วมือ เนื่องจากค่าที่ได้ในแกนความถี่ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันขั้นบันไดของขอบของเส้นลายนิ้วมือ

4.4 รูปแบบการกรองสัญญาณภาพในแกนความถี่ (Image spectral domain filtering)

กระบวนการกรองความถี่ภาพสามารถทำได้ในสเปซเชิงโคไซน์ โดยใช้คอนโวลูชันฟังก์ชัน (Convolution) เช่นเดียวกับการคูณกันของฟังก์ชัน 2 ฟังก์ชันในแกนความถี่ ขั้นตอนของการกรองความถี่ในแกนความถี่สามารถสรุปเป็นดังต่อไปนี้

1. แปลงภาพข้อมูลไปในแกนความถี่โดยใช้การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (FFT)
2. ทำการคูณความถี่ภาพกับช่วงความถี่ของส่วนกรองสัญญาณ
3. แปลงความถี่กลับไปในสเปซเชิงโคไซน์

ลักษณะของส่วนกรองความถี่สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 4.4 ลักษณะสัญญาณภาพทางซ้ายมือกับผลตอบสนองทางความถี่ในด้านขวามือ

1. ส่วนกรองความถี่ต่ำแสดงในรูปที่ 4.4 ภาพบน สามารถอธิบายได้โดยฟังก์ชันการแปลงความถี่ $H(u, v)$ ที่มีค่าต่ำที่จุดภาพความถี่ห่างไกลออกไปจากจุดอ้างอิง (มีค่าการถ่ายโอนที่ต่ำสำหรับแกนความถี่สูง) ส่วนกรองความถี่นี้รักษาช่วงสัญญาณความถี่ต่ำและขจัดค่าในช่วงความถี่สูง การกระทำของส่วนกรองสัญญาณเป็นการทำค่าเฉลี่ยหรือทำให้เรียบ และลดทอนช่วงขอบภาพที่ชัน

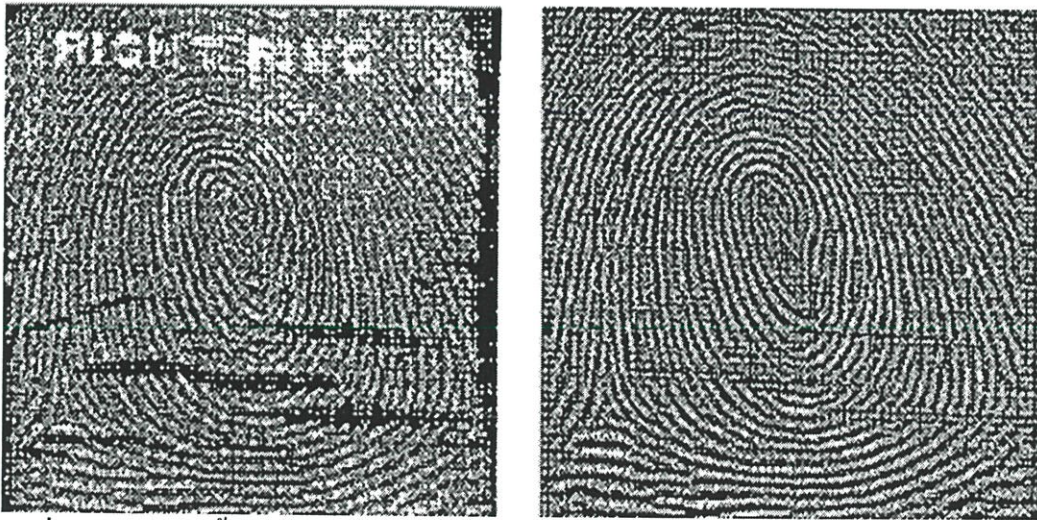
2. ส่วนกรองความถี่สูงแสดงในรูปที่ 4.4 ภาพล่าง สามารถอธิบายได้โดยฟังก์ชันการแปลงความถี่ $H(u, v)$ ที่มีค่าต่ำที่จุดภาพความถี่ใกล้จุดอ้างอิง (มีค่าการถ่ายโอนที่ต่ำสำหรับแกนความถี่สูง) ส่วนกรองความถี่นี้รักษาช่วงสัญญาณความถี่สูงและขจัดค่าในช่วงความถี่ต่ำ การกระทำของส่วนกรองสัญญาณขยายสัญญาณช่วงขอบภาพที่ชัน

3. ส่วนกรองความถี่ในช่วงที่ต้องการอธิบายได้โดยฟังก์ชันการแปลงความถี่ $H(u, v)$ เป็นการเลือกขยายหรือรักษาช่วงความถี่สัญญาณที่ต้องการ การกระทำของส่วนกรองขยายสัญญาณในช่วงที่ต้องการและลดทอนสัญญาณในช่วงอื่น

4. ส่วนกรองกำจัดสัญญาณในช่วงความถี่ที่ต้องการ อธิบายได้โดยฟังก์ชันการแปลงความถี่ $H(u, v)$ เป็นการเลือกลดทอนช่วงความถี่สัญญาณที่ต้องการ การกระทำของส่วนกรองลดทอนสัญญาณในช่วงที่ต้องการ

ปัญหาของการปรับปรุงภาพโดยทั่วไปรวมถึงปัญหาการลดทอนสัญญาณรบกวน การปรับปรุงขอบภาพและกำจัดโครงสร้างสัญญาณรบกวน สัญญาณรบกวนส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของความถี่สูงเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวนสามารถใช้ส่วนกรองความถี่ต่ำ อย่างไรก็ตามทำให้องค์ประกอบความถี่สูงที่สำคัญของข้อมูลภาพทั้งหมดที่อาจไม่ใช่สัญญาณรบกวน ดังนั้นเพื่อที่สามารถลบโครงสร้างสัญญาณรบกวนจำเป็น ต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโครงสร้างของสัญญาณรบกวนจากข้อมูลภาพและจากลักษณะของภาพในแกนความถี่ หรือจากโครงสร้างภาพในแกนความถี่

4.5 การปรับปรุงภาพทางความถี่ของภาพลายนิ้วมือ



รูปที่ 4.5 ภาพลายนิ้วมืองั้นแบบทางซ้ายกับภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุงทางความถี่[14]

การแปลงค่าความถี่ภาพคือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มจุดภาพภาพในสเปซเชิงโดเมน (Spatial domain) ไปเป็นค่าองค์ประกอบของความถี่ภาพในโดเมนความถี่ (Frequency domain) องค์ประกอบทางความถี่แสดงให้เห็นถึง ค่าความถี่ในการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มจุดภาพ ทิศทางการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ และขนาดของแต่ละความถี่สำหรับภาพหนึ่งๆ จากคุณสมบัติต่างๆในโดเมนความถี่นี้เห็นได้ว่าสามารถบ่งบอกลักษณะของวัตถุบนภาพใดๆ ได้ดี ดังนั้นได้มี

หลายๆบทความทำการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือในแกนความถี่ โดยมีสมมุติฐานอยู่ที่ว่าเราสามารถใช้อ็องค์ประกอบทางความถี่เหล่านี้แทนค่าส่วนสำคัญในภาพลายนิ้วมือเช่น อ็องค์ประกอบของความถี่แทนพื้นที่จุดอ้างอิง (Core) อ็องค์ประกอบของความถี่แทนตำแหน่งจุดทิศทางแยก (Delta) อ็องค์ประกอบทางความถี่ที่อธิบายเกี่ยวกับลักษณะสำคัญของเส้นลายนิ้วมือในแต่ละบุคคล เมื่อเรารู้ค่าอ็องค์ประกอบทางความถี่เหล่านี้ การประมวลผลภาพลายนิ้วมือสามารถกระทำได้ง่าย เช่น เมื่อขยายขนาดของอ็องค์ประกอบทางความถี่ที่อธิบายเส้นลายนิ้วมือในแกนความถี่ สิ่งที่ได้รับคือ เมื่อแปลงฟูเรียร์กลับไปในสเปซเชิงโดเมนแล้วทำให้ความชัดเจนทิศทางของเส้นลายนิ้วมือนั้นๆมากขึ้นผลแสดงในรูปที่ 4.5

การปรับปรุงภาพในแกนความถี่สามารถคัดกรองเฉพาะสิ่งที่ต้องการ และขจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นหรือสัญญาณรบกวนออกไปจากภาพ

สัญญาณรบกวนสำหรับภาพลายนิ้วมือสามารถกล่าวได้ใน 2 ลักษณะคือ

1. เป็นสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะซ้ำๆเช่น ลายของกระดาษที่พิมพ์ลายนิ้วมือลงไปหรือข้อความต่างๆที่ไม่เกี่ยวข้องและไม่ต้องการ สำหรับสัญญาณรบกวนในรูปแบบแรก การกำจัดในสเปซเชิงโดเมนนั้นยากมาก แต่ถ่ายคยสำหรับการประมวลในแกนความถี่ ดังนั้นจึงทำการกำจัดอ็องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณรบกวนนั้นๆออกไปแล้วแปลงกลับมาในสเปซเชิงโดเมน

2. เป็นสัญญาณแบบสุ่ม เป็นสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต่างๆ อุปกรณ์การจับเก็บ สัญญาณรบกวนมีลักษณะเป็นจุดๆ ตำแหน่งที่เกิดสุ่มค่าขึ้นมา

ไม่เพียงสามารถพิจารณาอ็องค์ประกอบความถี่ทั้งภาพดังแสดงในรูปที่ 4.6 ยังสามารถพิจารณาในพื้นที่ดำเนินการย่อยๆที่ซึ่งทำให้กระบวนการปรับปรุงภาพทำได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น คุณสมบัติของภาพลายนิ้วมือบางอย่างสามารถพบได้ดีกว่าเมื่อพิจารณาในอ็องค์ประกอบทางความถี่ แต่ว่าคุณสมบัติที่สำคัญของลายนิ้วมือนั้นๆอยู่ในบางตำแหน่งของภาพลายนิ้วมือ การค้นหาตำแหน่งเหล่านี้ และเก็บค่าคุณสมบัตินั้นๆไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนขึ้นอยู่กับกระบวนการและรูปภาพที่ป้อนเข้า

การปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้มาจากการขยายสัญญาณของอ็องค์ประกอบความถี่ที่ต้องการที่มีสามารถเป็นข้อมูลสำคัญของลายนิ้วมือก่อนที่นำไปเข้าส่วนกรองความถี่อื่นๆต่อไป นอกจากการปรับปรุงในรายละเอียดที่สำคัญของภาพลายนิ้วมือ แล้วส่วนอื่นๆของภาพยังคงเดิมผู้เชี่ยวชาญในการทำงานด้านแยกแยะ

การรักษาข้อมูลสำคัญของภาพลายนิ้วมือให้แยกออกจากภาพพื้นหลังที่ไม่จำเป็น การขยายหรือเน้นความถี่ที่มีข้อมูลสำคัญทำให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถทำงานได้ดี รวดเร็ว และแม่นยำขึ้น โดยเฉพาะการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือในสเปซเชิงโดเมนอย่างเดียวไม่สามารถให้ผลที่ดีพอ การกระทำในแกนความถี่สามารถให้ผลการปรับปรุงที่ดีขึ้น



รูปที่ 4.6 ภาพลายนิ้วมือกับผลคอบสนองทางความถี่ [13]

4.6 การออกแบบส่วนกรองความถี่ที่ใช้กับภาพลายนิ้วมือ

การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือในแกนความถี่ได้ใช้ข้อมูลที่มีอยู่ทางแกนความถี่ของภาพลายนิ้วมือ เนื่องจากลักษณะของภาพลายนิ้วมือมีทิศทางและความถี่ในช่วงพื้นที่ดำเนินการย่อยที่สามารถประมาณได้ว่าเป็นค่าเดียวกัน การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือคือการปรับปรุงหรือขยายสัญญาณในช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับข้อมูลจากภาพลายนิ้วมือในช่วงพื้นที่ดำเนินการย่อย และลดทอนข้อมูลความถี่ที่ไม่ต้องการ การออกแบบส่วนกรองความถี่ของภาพลายนิ้วมือมีประเด็นหลัก 2 ประการ

1. ค่าช่วงความถี่ที่กำหนดในส่วนการกรองสัญญาณ
2. ค่าทิศทางที่สามารถเลือกขยายเฉพาะทิศทางของลายเส้นลายนิ้วมือที่ต้องการ

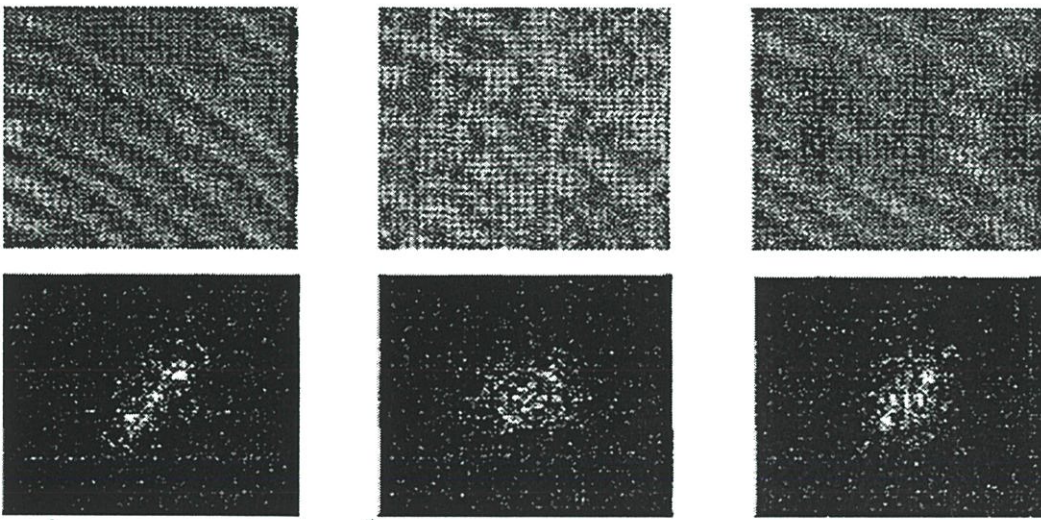
การปรับปรุงสัญญาณภาพในแกนความถี่ตามที่ได้อธิบายไว้ จึงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของความถี่และทิศทางบนพื้นฐานของหลักการพลังงาน (Energy principle) ก่อนการพิจารณาในส่วนของการออกแบบกรองความถี่ในรูปของฟังก์ชันดังกล่าว สิ่งสำคัญที่ต้องเข้าใจก่อนคือ ลักษณะสัญญาณภาพลายนิ้วมือกับคุณสมบัติองค์ประกอบในย่านความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ลักษณะของลายเส้นลายนิ้วมือเมื่อพิจารณาในพื้นที่ดำเนินการย่อย ประกอบไปด้วยเส้นขนานและเส้นร่องที่ขนานกันไปในทิศทางหนึ่ง จากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาพลายนิ้วมือในสเปซเฟสโดเมนกับภาพลายนิ้วมือในแกนความถี่ และจากภาพในโดเมนความถี่ ตำแหน่งที่เป็นค่าสูงสุดมีลักษณะเป็นจุดยอดมีค่าระดับความเข้มสูง 2 ตำแหน่ง นอกเหนือจากสัญญาณค่าคงที่ (Dc component) จากการอธิบายไปในหัวข้อก่อนหน้านี้เกี่ยวกับการพิจารณาภาพในโดเมนความถี่ ตำแหน่งของค่าที่มีความเข้มสูง 2 ค่านี้สามารถบอกค่าความถี่และทิศทางของภาพในสเปซเฟสโดเมนได้ดังนี้

1. ค่าความถี่สามารถพิจารณาจากระยะทางจากจุดอ้างอิงหรือจุดกำเนิด (Original point) ไปยังตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดเกิดขึ้น

2. ค่าทิศทางสามารถพิจารณาจากทิศทางของตำแหน่งจากจุดกำเนิดมายังค่าสูงสุด ที่ทางดังกล่าวสื่อความหมายถึง ทิศทางที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มในสเปกตรัมโดเมนของเส้นลายนิ้วมือ นั้นหมายความว่าตั้งฉากกับทิศทางจริงที่เกิดขึ้น

ซึ่งทำให้การปรับปรุงภาพในแกนความถี่สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแยกแยะลักษณะตำแหน่งของสัญญาณที่ได้จากเส้นลายนิ้วมือกับลักษณะตำแหน่งของสัญญาณของสัญญาณรบกวน และกรองขยายส่วนประกอบที่เกิดจากภาพลายนิ้วมือในขณะเดียวกันเป็นการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 4.7 ภาพบนแสดงเส้นลายนิ้วมือในสัญญาณรบกวนลักษณะต่างๆกับภาพและผลตอบสนองต่อความถี่ในภาพด้านล่าง

4.7 ลักษณะของส่วนกรองลายนิ้วมือในโดเมนความถี่

จากลักษณะของเส้นลายนิ้วมือดังกล่าว การออกแบบส่วนกรองความถี่ที่ใช้กับเส้นลายนิ้วมือจึงควรมีลักษณะต่อไปนี้

1. ลักษณะของส่วนกรองความถี่ ควรสอดคล้องกับเส้นลายนิ้วมือที่พิจารณาดังที่กล่าวมา เนื่องจากเส้นลายนิ้วมือมีทิศทางต่างๆที่หลากหลายขึ้นกับพื้นที่ดำเนินการ นอกจากนี้ความถี่ของเส้นลายนิ้วมือในแต่ละพื้นที่ก็มีการเปลี่ยนไป

2. ส่วนกรองความถี่ควรผ่าน หรือขยายช่วงความถี่ที่มีค่าระดับของการขมให้ผ่านบริเวณสูงสุดของเส้นลายนิ้วมือและลดทอนส่วนอื่นๆที่ไม่ต้องการ ซึ่งทำให้เกิดความคมชัดของเส้นลายนิ้วมือที่มากขึ้นและลดส่วนประกอบสัญญาณรบกวน

3. ช่วงความถี่กรองผ่านของส่วนกรองความถี่ จำเป็นต้องได้รับการกำหนดค่าต่างๆที่เหมาะสม โดยสามารถพิจารณาได้จากความคมชัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ ส่วนกรองความถี่ที่ดีสามารถปรับปรุงรายละเอียดความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือ และเมื่อเลือกใช้ค่าที่ไม่เหมาะสมสามารถทำให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการเช่น การรวมตัวของเส้นนูน 2 เส้นที่อยู่ติดกัน หรือมีการสร้างเส้นนูนขึ้นมาใหม่

4. ค่าองค์ประกอบทางค่าเฉลี่ยหรือสัญญาณกระแสตรง (DC) และองค์ประกอบทางความถี่ต่ำควรได้รับการกำจัดหรือลดทอน เนื่องจากค่าพวกนี้ไม่เกี่ยวกับข้อมูลของทิศทางและความถี่ของเส้นลายนิ้วมือ

เพื่อให้สะดวกในการพิจารณาองค์ประกอบทางทิศทาง และความถี่ของภาพลายนิ้วมือ สมการในระบบเลขเชิงขั้วได้ถูกนำมาใช้

$$H(u, v) = H(\rho, \phi) = H_{radial}(\rho) \times H_{directional}(\phi) \quad (4.10)$$

โดยค่า (ρ, ϕ) เป็นค่าแสดงในระบบเลขเชิงขั้วสำหรับภาพในโดเมนความถี่จากค่าในแกนคาร์ทีเซียนไปเป็น $(u, v) = (\rho \cos \phi, \rho \sin \phi)$ ในแกนระบบเลขเชิงขั้ว ส่วนประกอบ ρ ที่หมายถึงความถี่ของส่วนกรองความถี่และค่า ϕ ที่หมายถึงทิศทางของสัญญาณสำหรับภาพ 2 มิติที่ได้รับการกรอง สามารถแยกกันคำนวณโดยอิสระและเห็นได้อย่างชัดเจน สามารถทำให้เราสร้างฟังก์ชันทางความถี่โดยไม่จำเป็นคำนึงถึงทิศทางและแยกพิจารณาส่วนของความถี่ฟังก์ชันทิศทาง โดยในบางบทความได้นำเสนอองค์ประกอบฟังก์ชันสำหรับแกน ρ

$$H_{radial}(\rho | \rho_i, \rho_{min}, \sigma_\rho, c) = \begin{cases} \frac{1}{z} f(\rho | \rho_i, \sigma_\rho, c), & \rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (4.11)$$

โดยที่

$$f(\rho | \rho_i, \sigma_\rho, c) = \frac{1}{\rho + c} \exp\left(-\frac{(\rho - \rho_i)^2}{2\sigma_\rho^2}\right) \quad (4.12)$$

$$z = \int f(\rho | \rho_i, \sigma_\rho, c) d\rho \quad (4.13)$$

โดยที่ ρ_i และ σ_ρ เป็นจุดศูนย์กลางความถี่กับความกว้างช่วงความถี่ของส่วนกรองความถี่ ρ_{min} เป็นค่าความถี่คัทออฟด้านล่าง (Low frequency cut off) และ ρ_{max} ค่าความถี่คัทออฟด้านบน (high

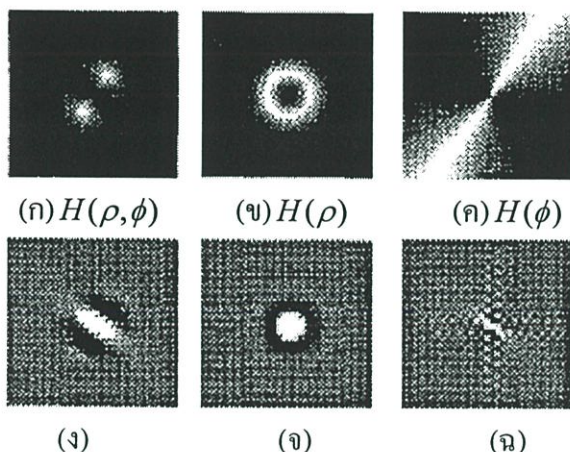
frequency cut off) และให้ความสะดวกมากกว่าเมื่อแปลงเป็นระบบเลขเชิงขั้ว (polar) และฟังก์ชันทางทิศทางเป็น

$$H_{direction}(\phi | \phi_j, \sigma_\phi) = \exp\left(-\frac{\min_n(\phi - \phi_j + n\pi)^2}{2\sigma_\phi^2}\right) \quad (4.14)$$

โดยที่ ϕ_j เป็นทิศทางของส่วนกรองความถี่และ σ_ϕ เป็นความกว้างช่วงความถี่ในทิศทางนั้นๆ การใช้ส่วนกรองความถี่กับภาพลายนิ้วมือเป็นคังสมการ

$$g'(x, y) = \mathfrak{T}^{-1}(H(u, v) \times \mathfrak{T}(g(x, y))) \quad (4.15)$$

$g(x, y)$ เป็นภาพลายนิ้วมือต้นแบบและ $g'(x, y)$ เป็นภาพลายนิ้วมือที่ผ่านส่วนกรองความถี่ที่มีคุณสมบัติ $H(u, v)$



รูปที่ 4.8 ภาพในโดเมนเชิงขั้วของเส้นลายนิ้วมือ โดยที่ (ก) ภาพเชิงขั้ว (ข) องค์ประกอบทางขนาด (ค) องค์ประกอบทิศทางซึ่งทั้งหมดเป็นแกนความถี่ของเส้นลายนิ้วมือ ในขณะที่ (ง), (จ), (ฉ) มาจากการแปลงฟูเรียร์กลับจากภาพบน

4.8 สรุป

การเลือกใช้ขนาดพื้นที่ดำเนินการที่เหมาะสมร่วมกับการกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นต่างๆ ที่สอดคล้อง ทำให้ได้ชุดกรองสำหรับภาพลายนิ้วมือที่ดีที่สุด นอกจากนี้ภาพทางความถี่สามารถให้คุณสมบัติทางด้านการเปลี่ยนแปลงของเส้นลายนิ้วมือ และทิศทางของเส้นลายนิ้วมือซึ่งใช้เป็นคุณสมบัติในการจดจำข้อมูลภาพลายนิ้วมือ ในบทนี้ยังได้นำการวิเคราะห์เชิงขั้วที่ซึ่งเหมาะสมสำหรับการกำหนดคขนาดตัวแปรด้านการตอบสนองทางความถี่ของสัญญาณอิสระจากการออกแบบตัวแปรด้านการตอบสนองทางทิศทาง

บทที่ 5

ระบบที่นำเสนอ

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยและพัฒนาสายนิ้วมือในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการปรับปรุงฟังก์ชันการตัดสินใจที่ใช้ในการแบ่งประเภทหรือจดจำภาพ เช่น ระบบนิลโรฟซซี ระบบนิลรอลแบบต่างๆ ทำให้การพัฒนาความน่าเชื่อถือต่อไปในระบบเดิมเป็นไปได้ยาก เนื่องจากกระบวนการตัดสินใจแบบนิลรอลหรือฟซซีเป็นระบบการตัดสินใจที่ดีเยี่ยมสำหรับปัจจุบัน ในทางตรงกันข้ามในขณะที่คณิตศาสตร์ และความรู้ใหม่ๆต่างๆที่เกิดขึ้นไม่ได้นำไปใช้ในการค้นหาตัวแทนกลุ่มสำหรับกรจดจำภาพลายนิ้วมือใหม่ๆที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงระบบการจดจำนิ้วมือทั่วไปที่มีการพัฒนามานานแล้วและถูกนำไปใช้ในทางการค้า หรือป้องกันความปลอดภัยในบริษัทเอกชนต่างๆ

โดยเริ่มตั้งแต่บทที่ 2 พื้นฐานการจดจำ ส่วนสำคัญในการจดจำนอกจากการเลือกสัญญาณป้อนเข้า การปรับปรุงภาพและระบบการตัดสินใจซึ่งขึ้นกับการเลือกใช้ค่าตัวแทนกลุ่ม บทที่ 3 เป็นขั้นตอนการจดจำที่เกี่ยวข้องกับภาพลายนิ้วมือโดยอาศัยลักษณะเด่นของเส้นลายนิ้วมือ เช่น ขั้นตอนการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ ขั้นตอนการค้นหาทิศทางเส้นลายนิ้วมือ ขั้นตอนการตัดสินใจในการจดจำหรือแบ่งประเภทลายนิ้วมือ และสิ่งสำคัญคือการใช้ตัวแทนกลุ่มแบบทิศทางในระบบจดจำ บทที่ 4 ได้กล่าวถึงพื้นฐานเกี่ยวกับการประมวลผลภาพในแกนความถี่

และในบทนี้เป็นการกระทำในแกนความถี่เป็นส่วนใหญ่ และพยายามพัฒนาระบบการจดจำที่มาจากกรเลือกตัวแทนกลุ่มแบบความถี่แทนระบบมินูเชียเดิม และได้นำเสนอการหาจุดอ้างอิงแบบใหม่จากพื้นที่เปลี่ยนแปลง การปรับปรุงข้อมูลโดยใช้สเกลที่ต่ำกว่าสำหรับการตัดสินใจในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ การปรับปรุงแบบข้อมูลโดยที่รัศมีเดียวกันจากจุดอ้างอิงนำมีทิศทางเดียวกัน รวมถึงทั้งการวิเคราะห์การแบ่งประเภทในภาพลายนิ้วมือโดยใช้ฟังก์ชันการหาความเหมือนแบบเลื่อนที่ได้

ข้อเสียสำหรับระบบการจดจำลายนิ้วมือในบทที่ผ่านมาคือ

- เน้นการกระทำเชิงสเปเชียลโดเมนโดยละเลยการใช้คุณลักษณะสัญญาณทางความถี่
- ระบบการจดจำใช้ตำแหน่งมินูเชียเป็นหลักในการจดจำ ซึ่งขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งมินูเชียกระทำได้ยาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่พบในตำแหน่งมินูเชีย (Minutia) คล้ายๆสัญญาณรบกวนความถี่สูง ทำให้ยากต่อการแยกแยะ

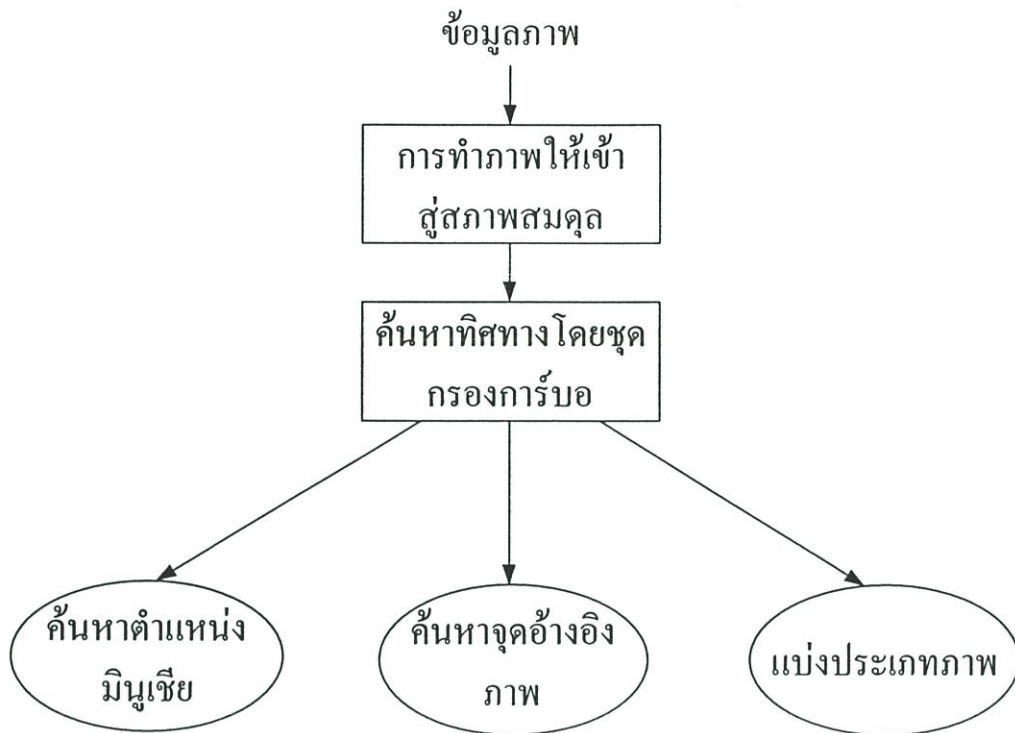
- การค้นหามินูเชียต้องใช้อัลกอริทึมอีกมากที่ไม่ได้กล่าวถึง เช่นการทำให้ลายเส้นบางลง การปรับปรุงลายเส้นที่ขาดหรือเกิน

- บางครั้งไม่สามารถเก็บมินูเซียได้จากทุกตำแหน่งและบางครั้งก็เก็บตำแหน่งอื่นๆที่ไม่ใช่ มินูเซียมา ทำให้กระบวนการจดจำผิดพลาด ทั้งหมดนี้เนื่องจากไม่สามารถกำหนดขนาดตัวแทน กลุ่มที่คงที่ได้นั่นเอง

การกระทำการวิเคราะห์รายละเอียดภาพลายนิ้วมือในแกนความถี่ สามารถใช้ในการ วิเคราะห์รายละเอียดของสัญญาณในการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมากกว่าการกระทำทางสเปเชียล คือ มีความอิสระในการสร้างเพิ่มแพลตฟอร์มที่มีความถี่หรือทิศทางตามที่ต้องการ

ปัจจุบันนี้มีการใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพในแกนความถี่มากมาย แรงจูงใจของวิทยานิพนธ์ นี้เริ่มต้นเมื่อมีการใช้ระบบการวิเคราะห์ในแกนความถี่แบบใหม่คือ การใช้ระบบตัวกรองความถี่ กาบอร์หรือตัวแทนกลุ่มใหม่ที่เรียกว่ารหัสลายนิ้วมือ (Finger code) [1] ซึ่งวิธีนี้ใช้ความคลุมเครือ จากสิ่งที่ในแกนความถี่ที่ซึ่งหมายถึงลักษณะต่างๆในแกนความถี่ที่ได้จากพื้นที่ดำเนินการนั้นมา จดจำ ซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้ที่เราสามารถหาตัวแทนกลุ่มที่สามารถแทนค่ามินูเซียโดยตรงจากการ กระทำทางความถี่แทนการค้นหาในแกนสเปเชียล ได้จากกระทำกับตัวกรองแบบอื่นๆ ซึ่งทำ ให้การค้นหาลายนิ้วมือสามารถกระทำได้ง่ายและถูกต้องมากขึ้นกับตัวแทนกลุ่มแบบนี้และ บทความที่ได้เกิดขึ้นใหม่ในปี [2] (2004) ได้นำเสนอความเกี่ยวข้องในแกนความถี่กับตำแหน่ง มินูเซียโดยการใช้ระบบการกรองทางทิศทาง (Directional filter bank) เป็นสิ่งยืนยันว่ามีโอกาสที่ สามารถกระทำได้จริงอนาคต นอกจากการแทนค่าพีเจอร์สำหรับตำแหน่งมินูเซียเพื่อการจดจำใน แกนความถี่ยังมีอีกหลายบทความที่กล่าวถึงการค้นหาตำแหน่งมินูเซียโดยทางอ้อม [15]

วิทยานิพนธ์นี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์รหัสที่ได้จากแกนความถี่โดยนำรหัสนั้นๆ มาค้นหาทิศทาง การค้นหาจุดอ้างอิง และการแบ่งประเภท โดยการนำเทคนิคทางเวฟเล็ตที่มี ลักษณะทางแต่ละแห่งพื้นที่ และแต่ละช่วงความถี่ ทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางความถี่ ได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติทางเวฟเล็ตที่เกี่ยวข้องกับเวนิซิ่งโมเมนต์ (Vanishing moment) และค่าไม่ต่อเนื่อง (Irregular) ในการเพิ่มความชัดเจนของตำแหน่งอ้างอิง



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการกระทำในวิทยานิพนธ์

รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างขั้นตอนที่น่าเสนอ รายละเอียดในด้านการปฏิบัติจะถูกแสดงไว้ในส่วนผลการทดลอง โครงสร้างของบทที่ 5 จึงเป็นรายละเอียดทางทฤษฎีแยกเป็นหัวข้อดังนี้

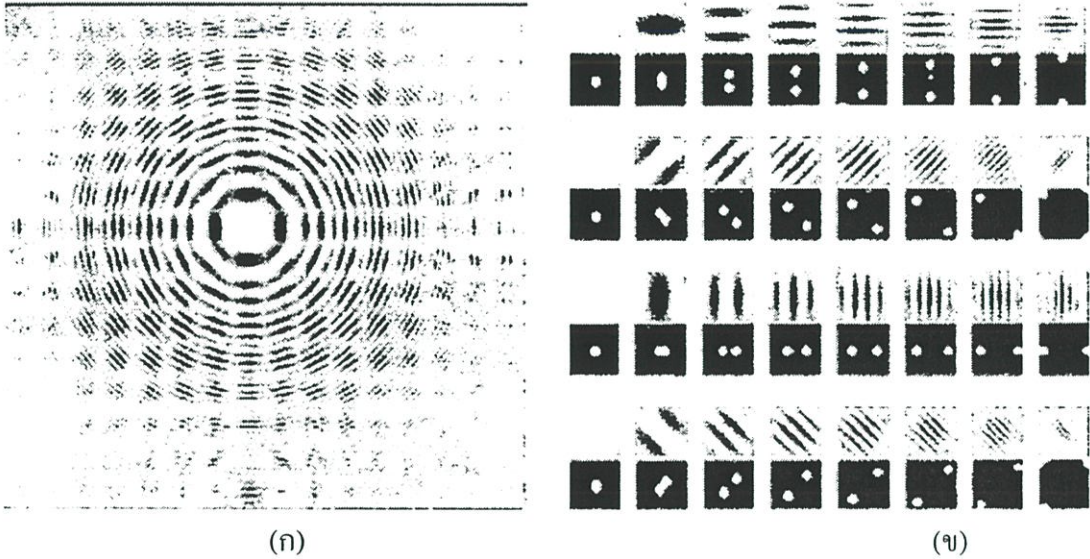
1. ระบบการปรับปรุงภาพและการค้นหาทิศทางลายนิ้วมือที่ใช้ในวิทยานิพนธ์
2. การจัดกลุ่มภาพลายนิ้วมือและการสร้างระบบการคำนวณค้นหาจุดอ้างอิงจากทิศทางลายนิ้วมือที่ได้รับการจัดกลุ่มที่น่าเสนอ
3. การแบ่งประเภทภาพลายนิ้วมือโดยใช้ฟังก์ชันการตัดสินใจที่น่าเสนอ

5.2 การปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล (Normalization)

เป็นการปรับปรุงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของจุดภาพในพื้นที่ดำเนินการเริ่มแรกก่อนนำเข้าสู่การประมวลผล สมการและทฤษฎีได้กล่าวไว้แล้วในบทที่แล้วส่วนผลที่ได้อยู่ในส่วนผลการทดลองจึงไม่ขอกล่าวในบทนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อนของเนื้อหา ระบบที่วิทยานิพนธ์นำเสนอได้ใช้การกระทำนี้ในการปรับปรุงภาพเช่นกัน

5.3 ระบบการปรับปรุงลายนิ้วมือด้วยชุดการกรองกาบอร์ (Gabor basis)

จากการประมวลผลในทางความถี่ที่ผ่านมา ทำให้สามารถเข้าใจความหมายของภาพในแกนความถี่ ที่ซึ่งนอกจากให้คุณสมบัติทางด้านความถี่ของการเปลี่ยนแปลงเส้นลายนิ้วมือ ยังสามารถระบุทิศทางที่มีการเปลี่ยนในพื้นที่ดำเนินการย่อยนั้นๆ ได้ด้วย



รูปที่ 5.2 ความถี่เวฟเลตกาบอร์ (ก) ลักษณะความถี่ของชุดกาบอร์เวฟเลต (ข) แบ่งชุดกาบอร์เป็นลักษณะเบสิสฟังก์ชันย่อยๆ เพื่อความชัดเจนของผลตอบสนองความถี่ในแต่ละเบสิส

เนื่องจากระบบเวฟเลตกาบอร์ (Wavelet gabor) ที่แสดงในรูปที่ 5.2 มีคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น ความสามารถด้านการจัดการในพื้นที่ที่ต้องการ (Localized) ด้านเลือกทิศทางของสัญญาณที่ต้องการ ด้านความถี่ ด้านความสัมพันธ์ทางเฟสและยังมีระบบนิเวศที่รองรับอันเนื่องมาจากแต่ละเบสิสของกาบอร์เหมาะกับเบสิสหรือหน่วยของนิเวศเช่น ใน Radial neural, Wavelet neural และคุณสมบัติของเวฟเลตเองที่เหมาะสมสำหรับการแตกภาพเป็นองค์ประกอบย่อยๆ ที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ภาพ สมการของระบบเวฟเลตกาบอร์เป็นดังนี้

$$\psi_{u,v}(z) = \frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{|k_{u,v}|^2 |z|^2}{2\sigma^2}\right) \left(e^{ik_{u,v} \cdot z} - e^{-\frac{\pi^2}{2}} \right) \quad (5.1)$$

โดยที่ค่า u v ระบุทิศทางและขนาด (เทียบกับขนาดกาบอร์เบสิส) เปรียบเสมือนความถี่ในแกนความถี่เพียงการความถี่หรือรอบของคลื่นเทียบกับกาบอร์เบสิส $z = (x, y)$ และ $\| \cdot \|$ เป็นเครื่องหมายแทนการกระทำนอร์ม (normalization)

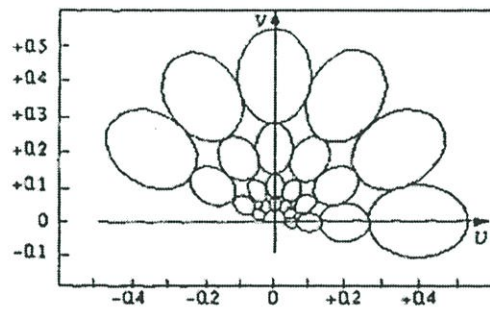
โดยที่เวกเตอร์ของคลื่น $k_{u,v}$ สามารถอธิบายจากสมการ

$$k_{u,v} = k_v e^{i\phi_u} \quad (5.2)$$

$$k_v = k_{\max} / f^v \quad (5.3)$$

$$\phi_u = \pi u / 8 \quad (5.4)$$

โดยที่ k_{\max} มาจากค่าความถี่สูงสุด และ f เป็นค่าหน่วยระยะห่างระหว่างเบสิสในแกนความถี่



รูปที่ 5.3 ลักษณะของการตอบสนองความถี่ของเวฟเล็ดกาบอร์

ลักษณะของเวฟเล็ดกาบอร์ที่มีทิศทางและขนาดความถี่เป็นตัวแปรดังแสดงในรูปที่ 5.3 จึงเหมาะกับการใช้ในการประมวลผลภาพที่ต้องการทั้งทิศทางและขนาดความถี่ต่างกันเช่น ใบหน้าหรือตำแหน่งมินูเชียในลายนิ้วมือ ในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้เน้นมากนักในส่วนของมินูเชียจึงขอข้ามรายละเอียดเกี่ยวกับเวฟเล็ดกาบอร์ไป เพราะการกระทำในการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือทั่วไปนั้นได้ตั้งค่าสมมุติฐานว่า ความถี่อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเส้นลายนิ้วมือมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเน้นในการเสนอกาบอร์เบสิสในสเกลหรือความถี่ของเส้นลายนิ้วมือเท่านั้น

เนื่องจากเราต้องนำทิศทางของเส้นลายนิ้วมือไปวิเคราะห์หารายละเอียดของภาพลายนิ้วมือ (Minutiae) เราจึงแทนค่าทิศทางของเส้นลายนิ้วมือของแต่ละพื้นที่ย่อย (Sub window) ให้เล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้คือประกอบด้วยสัญญาณของเส้นลายนิ้วมืออย่างน้อย 1 คาบ (1 ยอดสูง (Peak) 1 ยอดต่ำ (Valley)) ซึ่งพื้นที่เล็กที่สุดในข้อมูลภาพแบบ NIST คือ 16×16 ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และทิศทางของเส้นลายนิ้วมือที่แบ่งเป็น 8 ทิศทางเพื่อการแสดงรายละเอียดของภาพ (Minutiae)



(a)



(b)

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของตัวแทนทิศทางกับข้อมูลภาพในแต่ละพื้นที่ย่อย

รูปแบบของสมการชุดกรองกาบอร์ (Gabor set) หรือโคเร็กชันเนลเกาส์เซียน (Directional Gaussian) เป็นดังนี้

$$G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{x'^2}{\delta_x^2} + \frac{y'^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi f_c x') \quad (5.5)$$

โดยที่

$$x' = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (5.6)$$

$$y' = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (5.7)$$

δ_x และ δ_y เป็นค่าความกว้างของโครงสร้างหน้าต่างเกาส์เซียน

และเนื่องจากการใช้โครงสร้างสมการเป็นไซน์หรือโคไซน์ สิ่งที่แตกต่างกันคือการเลื่อนตำแหน่งของเฟสของผลลัพธ์ภาพที่ได้เป็น 90 เนื่องจากจุดประสงค์ของการคอนโวลูชันที่ต้องการคือ ค่าทางความถี่โดยไม่ต้องการการเลื่อนตำแหน่งจากเฟส เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ขององค์ประกอบทางความถี่ในการระบุตำแหน่งที่แม่นยำขึ้น สมการที่น่าเสนอเป็น

$$G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{x'^2}{\delta_x^2} + \frac{y'^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \times C \quad (5.8)$$

โดยที่

$$C = \cos(2\pi f_c x') + j \sin(2\pi f_c x' + \pi) \quad (5.9)$$

สมการที่ได้จากระบบเชิงซ้อนสามารถเขียนในรูปสมมาตรของเชิงคู่และคี่

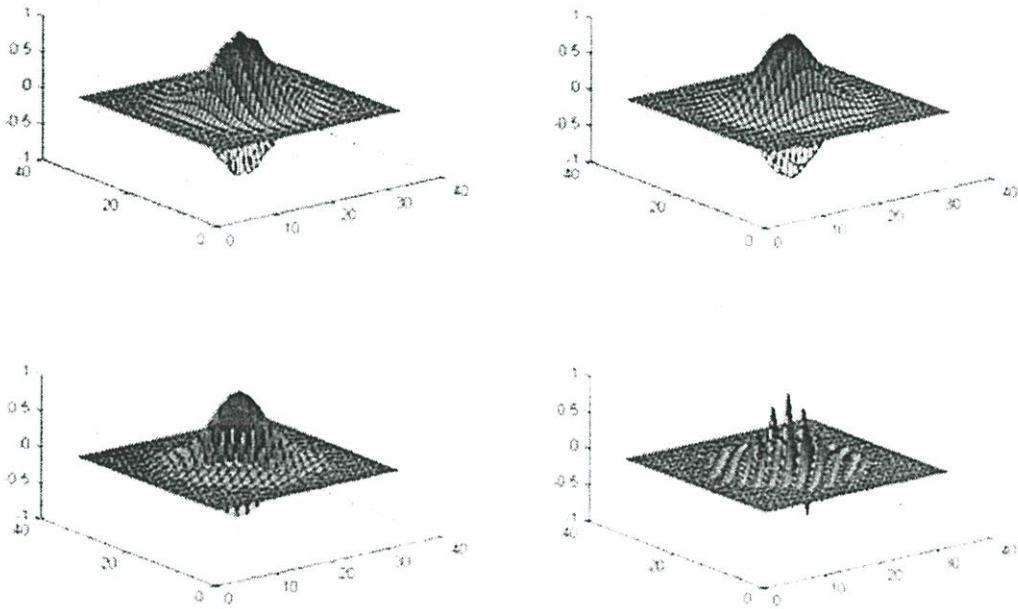
$$h = h_{\text{even}} + j h_{\text{odd}} \quad (5.10)$$

$$h_{\text{even}} = G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{x'^2}{\delta_x^2} + \frac{y'^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \cos(2\pi f_c x') \quad (5.11)$$

$$h_{\text{odd}} = G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{x'^2}{\delta_x^2} + \frac{y'^2}{\delta_y^2}\right]\right\} \sin(2\pi f_c x') \quad (5.12)$$

และเพื่อการแยกให้เห็นอย่างความชัดเจนมากขึ้นขององค์ประกอบความถี่ในช่วงที่ต้องการค่าที่ได้จากกรองความถี่ (น่าจะมีค่าสูง) กับองค์ประกอบความถี่สัญญาณรบกวนหรือสัญญาณอื่นๆ ที่ต้องการกำจัดไป (น่าจะมีค่าต่ำ) โดยการใช้สมการไม่เป็นเชิงเส้นเช่นยกกำลัง (Power) หรือค่าล็อก (Log) ขยายช่วงความถี่ในที่นี้ได้ใช้สมการยกกำลัง 3 สมการสำหรับการประมวลผลภาพใหม่เป็น

$$Y_\theta = I(x, y) * G(x, y, f, \theta)^3 \quad (5.13)$$



รูปที่ 5.5 ลักษณะชุดกรองความถี่กบอร์ในทิศทางต่างๆ

พิจารณาจากสมการกบอร์ที่กล่าวมา เห็นได้ว่าชุดกรองความถี่กบอร์เป็นการกรองความถี่ (Band pass filter) ที่ซึ่งมีลักษณะเป็นการเลือกความถี่ในทิศทางที่ต้องการกรองซึ่งสะดวกและจำเป็นมากสำหรับภาพ 2 มิติแสดงในรูปที่ 5.5 โดยการปรับแต่งค่าคงที่ต่างๆในส่วนกรองกบอร์ให้เหมาะกับภาพลายนิ้วมือ โครงสร้างของภาพลายนิ้วมือเช่นเส้นนูนและเส้นร่องมีความคมชัดขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับสัญญาณอื่นๆ

สิ่งที่จะต้องมีการปรับแต่งในสมการชุดกรองกบอร์คือ

1. f_c ช่วงความถี่ที่ต้องการกรองหรือขยาย จากที่กล่าวมาแล้วเส้นของลายนิ้วมือในทิศทางหนึ่งๆเปรียบเสมือนสัญญาณไซน์ซอซด์ที่มีค่าความถี่เท่ากันได้ เพื่อจัดรูปลักษณะจากกบอร์เวฟเล็ดให้ง่ายขึ้น การหาค่า f_c กระทำได้โดย

$$f_c = 1/k \quad (5.14)$$

โดยที่ค่า k เป็นระยะห่างระหว่างเส้นขนานของลายนิ้วมือหรือสัญญาณไซน์ 1 คาบ ดังนั้นสามารถกระทำได้โดยการนับจำนวนจุดภาพระหว่างเส้นขนาน 2 เส้นที่อยู่ติดกัน

ในกรณีที่ค่า f_c มีค่าน้อยเกินไปการกรองความถี่ของชุดกรองคาบอร์ต่ำลง ทำให้เกิดการสร้างสัญญาณคล้ายความถี่ต่ำขึ้นเนื่องจากการกีดสัญญาณ (ที่ซึ่งมีทุกองค์ประกอบความถี่) ความถี่สูงขยายสัญญาณความถี่ต่ำหรือภาพมีการเบลอ เช่นเส้นขนานลายนิ้วมือ 2 เส้นที่อยู่ติดกันหลอมรวมตัวเป็นเส้นเดียว

ในกรณีที่ค่า f_c มีค่ามากเกินไปการกรองความถี่ของชุดกรองคาบอร์ต่ำลง ทำให้เกิดการสร้างสัญญาณคล้ายความถี่สูงเนื่องจากการกีดความถี่ต่ำขยายความถี่สูงขึ้น หรือภาพมีการแตกเส้นลายนิ้วมือเป็นเส้นย่อยๆ

2. δ_x และ δ_y เป็นค่าความกว้างของโครงสร้างหน้าต่างเกาส์เซียน ในความหมายทางสถาปัตยกรรมหมายถึง ขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการประมวลผลการกรองสัญญาณ ขนาดยิ่งกว้างพื้นที่นำมาประมวลผลยิ่งกว้างขึ้นตามไปด้วย ขนาดของความกว้างหน้าต่างควรครอบคลุมมากกว่า 1 รอบระยะความถี่คลื่นที่ต้องการ ซึ่งหมายถึงค่าช่วงความถี่ที่ผ่านได้ (Bandwidth) ควรระวังว่าความกว้างของโครงสร้างหน้าต่างเกาส์เซียนไม่ควรมากกว่าความกว้างพื้นที่ดำเนินการ ซึ่งอาจนำมาลักษณะสู่ลักษณะของรูปแบบส่วนกรองคาบอร์ที่ไม่สมบูรณ์

ในความหมายทางแกนความถี่ สมการการแปลงฟูเรียร์ของเกาส์เซียน

$$f(t) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-t^2/2\sigma^2} \Leftrightarrow \mathfrak{F}(w) = e^{-w^2/2\sigma^2} \quad (5.15)$$

พิจารณาจากสมการดังกล่าวเห็นได้ว่า ค่าความกว้างในแกนความเวลามีผลกับค่าช่วงความถี่ที่ต้องการกรองด้วยตามกฎของผลคูณช่วงความกว้างเวลา-ความถี่ (Time-frequency bandwidth product) โดยลักษณะของโครงสร้างเกาส์เซียนให้ค่านี้ที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมการค่าความกว้างในแกนเวลาของหน้าต่างเกาส์เซียนยิ่งมาก ทำให้ช่วงกว้างความถี่ในแกนความถี่น้อยลง ผลทำให้มีความเข้มสูงในความถี่นั้นๆ ทำให้ผลคูณที่น้อยและมีความละเอียดสูง การเลือกค่า δ_x และ δ_y ที่ดีขึ้นอยู่กับรายละเอียดภาพ ในระบบที่นำเสนอไม่ต้องการผลการปรับปรุงภาพที่ได้จากระบบการกรองชุดคาบอร์ที่ได้นำเสนอในสมการที่ผ่านมา แต่สิ่งที่ต้องการคือทิศทางของลายเส้นพื้นที่นั้นๆ ซึ่งกล่าวในหัวข้อต่อไป

5.4 การค้นหาทิศทางของลายเส้นลายนิ้วมือ

จากสมการการประมวลผลการกรองความถี่ภาพด้วยชุดกาบอร์ที่ผ่านมา นอกจากสิ่งที่ได้รับคือ ความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือที่มีมากขึ้น ผลที่ได้รับควบคู่ไปด้วยกันคือ สามารถค้นหาทิศทางเส้นลายนิ้วมือของภาพในพื้นที่นั้นๆ โดยพิจารณาจากมุมของส่วนกรองความถี่กาบอร์ที่เลือกใช้แล้วให้ค่าความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือสูงสุดได้จากที่ในระบบการค้นหา

ถึงแม้ว่ายังไม่มีสมการใดที่แสดงถึงค่าปริมาณถึงความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือที่ได้แต่ยังมีสมการที่ใช้กับความชัดเจนของภาพทั่วไปในพื้นที่หนึ่งๆซึ่งก็คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดความเข้มของภาพหรือค่าการเบี่ยงเบน เนื่องจากส่วนกรองกาบอร์นอกจากมีลักษณะทางการตอบสนองต่อทางความถี่ที่กำหนดไว้ยังสามารถตอบสนองต่อทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ เมื่อใช้ทิศทางของชุดกรองกาบอร์ที่ถูกต้องย่อมสามารถส่งผลให้ภาพบริเวณนั้นมีความชัดเจนมากขึ้น สมการความชัดเจนนี้เองที่ใช้เป็นตัวแทนกลุ่มสำหรับการเลือกทิศทางของเส้นลายนิ้วมือในพื้นที่หนึ่งๆโดยที่ชุดกรองกาบอร์ที่วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ประกอบด้วยทิศทางต่างๆ 8 ทิศทางดังนี้

$$\theta \in [0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ,] \quad (5.16)$$

และเซตของพารามิเตอร์ที่ใช้หรือรหัสลายนิ้วมือ (Finger code) ในการพิจารณาเป็น

$$V_{i\theta} = \frac{1}{n_i} \left(\sum \left| Y_{i\theta}(x, y) - M_{i\theta} \right| \right) \quad (5.17)$$

$Y_{i\theta}$ เป็นกลุ่มภาพย่อยขนาด 16×16 จุดภาพของ Y_0

$M_{i\theta}$ เป็นค่าเฉลี่ยในพื้นที่ดำเนินการย่อยของภาพที่ได้จากส่วนกรองมุม θ

n_i เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดในพื้นที่ย่อยๆนั้น

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ในหนึ่งพื้นที่ดำเนินการย่อยสามารถแตกให้อยู่ในรูปกาบอร์เบสิสที่ทิศทางต่างๆ ซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบบรรยายคุณลักษณะของเส้นลายนิ้วมือ เมื่อมีการพัฒนาทางด้านเบสิสที่ใช้โดยลดความซ้ำซ้อนของแต่ละเบสิส (Orthogonal) และปรับเปลี่ยนสมการแสดงความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือ อาจทำให้สามารถพิจารณาค่าแห่งมินูเซียจากชุดเบสิสได้

ในบางบทความ [1], [9] ใช้ชุดตัวแทนกลุ่มที่ได้จากสมการดังกล่าวในการจดจำภาพลายนิ้วมือ ส่วนวิทยานิพนธ์นี้ได้หาทิศทางจากตัวแทนกลุ่มในสมการดังกล่าวโดยทิศทางที่เลือกของพื้นที่นั้นๆคือ

$$D_i = \theta_s | V_{i\theta_{\max}} \quad ; \theta_s \in \theta \quad (5.18)$$

จากสมการกล่าวได้ว่าค่าทิศทาง D_i คือค่า θ_s ที่เข้ากับเงื่อนไขที่ให้ค่า $V_{i\theta}$ สูงสุด

ข้อดีของการคัดเลือกทิศทางด้วยกระบวนการนี้คือ

1. ลดความซับซ้อนในการประมวลผลสัญญาณภาพลายนิ้วมือ เพราะระบบการจดจำภาพลายนิ้วมือด้วยวิธีการทั่วไป ได้มีที่ใช้ตัวกรองภาพในการปรับปรุงภาพอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณหาทิศทางเพิ่ม

2. เป็นกระบวนการหาทิศทางที่หาทิศทางเส้นลายนิ้วมือ จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นลายนิ้วมือจริง และใช้พื้นที่ดำเนินการขนาดที่เพียงพอต่อความกว้าง 1 คาบของความถี่เส้นลายนิ้วมือ เมื่อเทียบกับกระบวนการทั่วไปที่คำนวณการเปลี่ยนแปลงของระดับแต่ละจุดภาพด้วยเทมเพลตทางสเปเชียลซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระดับแต่ละจุดภาพนั้นอาจเกิดเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนทำให้มีผลที่ไวต่อสัญญาณรบกวนต่างๆ

3. เนื่องจากเป็นการคำนวณทางเทมเพลตที่คำนวณหาค่าทิศทางได้จากการเปลี่ยนแปลงในแกน x และ y เมื่อเทียบกับการกระทำในแกนความถี่ที่มีอิสระต่อทิศทางมากกว่า ผลที่ได้รับทำให้ตอบสนองต่อทิศทางได้ดีกว่า

4. ในอนาคต ถ้าสามารถปรับปรุงฟังก์ชันที่ใช้ในการตัดสินใจความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือและระบบที่ไม่ซับซ้อนของเบสิส อาจทำให้สามารถใช้ค่าตัวแทนกลุ่มที่ได้มาจากความถี่ต่างๆแทนค่าตำแหน่งมินูเชียทันที

5.5 การปรับปรุงภาพทิศทางลายนิ้วมือ

วิธีการปรับปรุงที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ การทำตัดแยกและแบ่งกลุ่มภาพ (Segmentation) เนื่องจากภาพทิศทางที่ได้จากตัวแทนกลุ่มรหัสลายนิ้วมือในสมการที่ 5.18 มีความผิดพลาดแบ่งได้เป็นประเด็นใหญ่ๆ 3 ประเด็นคือ

1. การผิดพลาดนอกภาพลายนิ้วมืออันเนื่องมาจากบริเวณนั้นไม่ใช่ภาพลายนิ้วมือ อาจเป็นภาพพื้นหลัง ข้อความ หรือเส้นต่างๆซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการใช้

2. การผิดพลาดในภาพลายนิ้วมืออันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่ทำให้ภาพที่เก็บได้ไม่ชัดเจน เช่นภาพลายนิ้วมือที่ได้จากงานสืบสวนในที่เกิดเหตุ หรือหมึกที่มากหรือน้อยเกินไปจนเส้นลายนิ้วมือขาดความคมชัดหรือรวมเป็นเส้นเดียวกัน นอกจากนี้อาจเกิดได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บ บาดแผลเป็นต้น

3. การผิดพลาดในภาพลายนิ้วมืออันเนื่องมาจากพื้นที่ดำเนินการย่อยนั้นๆ มีโครงสร้างลายนิ้วมือที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอย่างตำแหน่งมินูเชีย

เมื่อสามารถแบ่งพื้นที่ลายนิ้วมือที่ไม่ต้องการได้เป็น 3 ข้อ ทางวิทยานิพนธ์จึงเสนอการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการในแต่ละข้อ

1. สัญญาณภาพที่ไม่ต้องการที่ไม่ใช่ภาพลายนิ้วมือ การกำจัดสัญญาณบริเวณนี้ด้วยการพิจารณาจากค่าการเบี่ยงเบนความเข้มระดับในแต่ละพื้นที่ดำเนินการย่อย โดยภาพพื้นหลังของภาพลายนิ้วมือ ข้อความมีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มต่ำ

$$Mask1 = \begin{cases} 1, & std(B_i) > t_1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5.19)$$

โดย B_i คือตำแหน่งพื้นที่ดำเนินการ

t_1 คือค่าระดับในการตัดสินใจ

2. สัญญาณรบกวนเป็นส่วนหนึ่งในสัญญาณภาพลายนิ้วมือ การกำจัดสัญญาณรบกวนบริเวณนี้ได้จากการพิจารณาองค์ประกอบของรหัสลายนิ้วมือที่ได้ในมุมต่างๆ โดยมีวิธีการดังนี้ พิจารณาจากค่าสูงสุดในองค์ประกอบของรหัสลายนิ้วมือ

$$Mask1 = \begin{cases} 1, & V_{i0\max} > t_2 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5.20)$$

การพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดกับองค์ประกอบในทิศทางอื่นๆ สามารถใช้ร่วมกับวิธีแรกในกรณีที่ค่าสูงุณน้อยกว่าเกณฑ์

ค่าขีดระดับ (Threshold) สามารถใช้หลักการของค่าขีดระดับที่สอดคล้องการการจัดกลุ่มภาพคือ การทำให้ค่าเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่มสูงกว่าค่าเบี่ยงเบนภายในกลุ่มให้มากที่สุด

3. จัดการปรับปรุงทิศทางลายนิ้วมือโดยใช้ค่าจากพื้นที่ใกล้เคียงแบบ 2 ระดับสเกลร่วม

1. หาพื้นที่ที่เกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้น โดยพิจารณาเทียบกับพื้นที่ข้างเคียง ในกรณีที่จำนวนพื้นที่ที่เกิดความไม่ต่อเนื่องนี้มีน้อยกว่าค่าหนึ่งให้ถือว่าเกิดจากสัญญาณรบกวน ในที่นี้พื้นที่ต่อเนื่องน้อยกว่า 3 แห่งโดยขนาดพื้นที่ๆใช้เป็น 10×10 จุดภาพ

ในกรณีที่ 1 พื้นที่ข้างเคียงรอบเป็นค่าเดียวกันหมดแปลว่า พื้นที่เกิดสัญญาณรบกวนอยู่ในกลุ่มของพื้นที่ทิศทางความถี่ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาโดยใช้พื้นที่ข้างเคียง

ในกรณีที่ 2 พื้นที่ข้างเคียงรอบไม่เป็นค่าเดียวกันแปลว่า พื้นที่เกิดสัญญาณรบกวนอยู่ในช่วงขอบของกลุ่มทิศทางเส้นลายนิ้วมือ ซึ่งแก้ปัญหาโดยการแบ่งพื้นที่ในการหาทิศทางเป็น 2 ระดับ

1. ระดับหยาบ ใช้ขอบเขตของส่วนรองความถี่ที่กว้างกว่า ในส่วนของหน้าตาส่วนรองความถี่สามารถประมวลผลจากสัญญาณลายนิ้วมือในพื้นที่นี้มากกว่า 1 คาบสัญญาณที่ซึ่งเกิดจากเส้นลายนิ้วมือ (ประมาณ 2-3 คาบสัญญาณ)

2. ระดับรายละเอียด ใช้ขอบเขตความกว้างของส่วนรองความถี่เท่าที่จำเป็น เพื่อให้ได้รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของเส้นลายนิ้วมือในภาพรวมให้มากที่สุด ในส่วนของหน้าตาส่วนรองความถี่สามารถประมวลผลจากสัญญาณลายนิ้วมือในพื้นที่นี้เป็น 1 คาบสัญญาณที่ซึ่งเกิดจากเส้นลายนิ้ว-มือ โดยประมาณ

วิธีนี้ให้พิจารณาจากระดับสเกลที่สูงกว่าในการช่วยตัดสินใจ เนื่องจากค่าที่ไม่ต่อเนื่องในส่วนละเอียด อาจเป็นเพราะขนาดพื้นที่ของหน้าตาในระดับละเอียดมีความแปรปรวนสูงกว่าผลกระทบเนื่องจากตำแหน่งมินูเซียมีมากกว่าขนาดพื้นที่ขนาดใหญ่จากระดับหยาบ เพราะเส้นลายนิ้วมือจำนวนมากเฉลี่ยค่าที่มาจากความแปรปรวนนี้ สังเกตได้ว่าที่ตำแหน่งมินูเซียมีความแปรปรวนสูงในความถี่สูง ทำให้สามารถใช้ประเด็นนี้ในการพัฒนาการค้นหาค่าตำแหน่งมินูเซียในแกนความถี่ต่อไป

5.6 การค้นหาจุดอ้างอิงของลายนิ้วมือ (Core and delta)



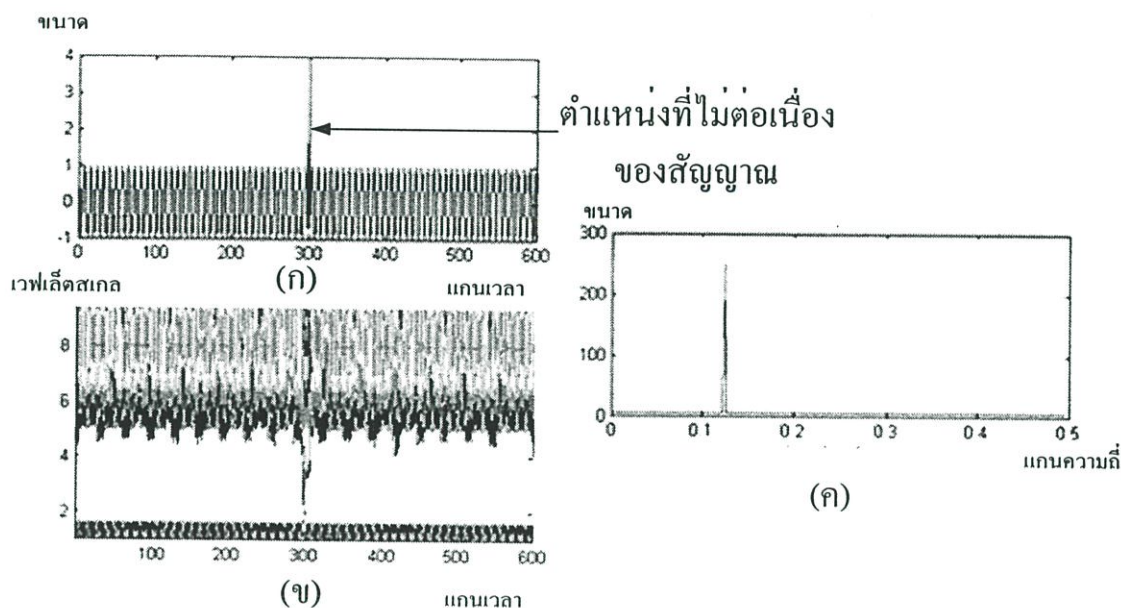
รูปที่ 5.6 ภาพลายนิ้วมือกับการเปลี่ยนแปลงของทิศทางบริเวณจุดอ้างอิง

เนื่องจากในระบบการค้นหาจุดอ้างอิงที่นำเสนอใช้ฟังก์ชันการกรองแบบเวฟเล็ต ก่อนที่กล่าวถึงขั้นตอนการค้นหาที่นำเสนอ ขอก้าวในรายละเอียดของการกระทำแบบเวฟเล็ต

5.6.1 เวฟเล็ตเบื้องต้น

ในโดเมนเวฟเล็ตได้กล่าวถึงรายละเอียดของความสัมพันธ์ในแกนของขนาดของเบสิสและสเปซ (อาจหมายถึงเวลาหรือตำแหน่งสำหรับรูปภาพ) เนื่องจากเป็นความสัมพันธ์ดังที่กล่าวมาทำให้เวฟเล็ตมีข้อดีในเชิงความสามารถในการกำหนดลักษณะขนาด ที่ซึ่งมาจากลักษณะของเบสิสเป็นไปตามความพอใจ เช่นเดียวกับฟูเรียร์ที่ให้ค่าความถี่สูงเมื่อสัญญาณมีองค์ประกอบในความถี่นั้นจำนวนมาก เวฟเล็ตมีค่าขนาดสูงเมื่อสัญญาณนั้นสามารถเมื่อกระจายในรูปของชุดเบสิส

และเบสิสนั้นมีจำนวนมากหรือมีค่าสูงนั่นเอง แต่ข้อที่ดีกว่าของเวฟเล็ตคือข้ามขอบเขตของโดเมนความถี่ที่ขนาดในแต่ละความถี่ที่มาจากสัญญาณองค์ประกอบไซน์ซอซด์



รูปที่ 5.7 การแปลงเวฟเล็ต (ก) สัญญาณที่มีความไม่ต่อเนื่อง (ข) การแปลงสัญญาณไปบนเวฟเล็ตโดเมนทำให้สามารถสังเกตตำแหน่งไม่ต่อเนื่องได้ (ค) การแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณ

จากทฤษฎีของการแปลงฟูเรียร์สัญญาณโดยทั่วไป สามารถกระจายให้อยู่ในรูปของความถี่ของสัญญาณไซน์ซอซด์ และการพิจารณากระทำได้โดยในการแยกสัญญาณในแต่ละช่วงความถี่จากทฤษฎีการสื่อสาร

ทฤษฎีของเวฟเล็ตคือ การแยกสัญญาณให้อยู่ในรูปเบสิสย่อยๆ เบสิสก็คือหน่วยซึ่งสามารถเป็นอะไรก็ได้ที่รองรับรูปแบบของสัญญาณนั้น แล้วสามารถนำค่าที่ได้จากการกระจายไปใช้งานจริงเช่น การกระจายสัญญาณภาพที่ประกอบด้วยบ้าน ทะเล ต้นมะพร้าว ให้อยู่ในหน่วยของบ้าน ทะเลและต้นมะพร้าวนั้นเอง แต่โดยทั่วไปแล้วเบสิสที่ดีควรมีลักษณะของออร์ทोगอนัลคือ เมื่อมีการนำชุดเบสิสมาทำอินเนอร์โปรดักต์ (Inner product) แล้วเป็น 0

$$x = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \quad (5.21)$$

$$\langle x_i, x_j \rangle = 0 \text{ เมื่อ } i \neq j \quad (5.22)$$

โดยที่ชุด $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}$ เป็นขนาดที่ได้จากเบสิส และค่า $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ เป็นเบสิส

การที่เวฟเล็ดมีลักษณะของเบสิสที่เลือกได้ หรือไม่จำเป็นต้องเป็นคาบของสัญญาณไซนูซoidal (Regularity) การเลือกเบสิสที่มีความหมายให้เวฟเล็ด ทำให้สามารถจัดการหรือกระทำกับข้อมูลนั้นๆ ได้ดีขึ้น

การนำเวฟเล็ดไปใช้ในการบีบอัดภาพ โดยทำให้เบสิสนั้นมีความหมายหรือเหมาะสมกับข้อมูลภาพ ข้อมูลภาพจึงรวมกันอยู่ในเบสิสช่วงหนึ่งๆ และตัดเบสิสที่ไม่ใช้ทิ้งไป

เนื่องจากเบสิสของเวฟเล็ดเป็นแบบที่ไม่ใช่ลักษณะเป็นคาบๆ (Irregular) ทำให้เหมาะสมสำหรับการระบุตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงภาพในภาพ หรือสัญญาณรบกวน ซึ่งการใช้งานนี้มีการกระทำกันอย่างแพร่หลายและในวิทยานิพนธ์ได้นำเวฟเล็ดมาใช้งานในลักษณะนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าลักษณะความไม่ต่อเนื่องของเวฟเล็ดเบสิส

ψ	db1	db2	db3	db4	db5	db7
เร็กกูลาริตี้	ไม่ต่อเนื่อง	0.5	0.9	1.2	1.5	2.1

เนื่องจากระบบแกนเวฟเล็ดมาจากเบสิสที่มีความหมาย จึงนิยมนำเวฟเล็ดมาใช้ในด้านการวิเคราะห์สัญญาณด้วยเช่น โดยปกติการวิเคราะห์สัญญาณเสียงสำหรับการจดจำเราใช้กรอบของการแปลงฟูเรียร์ในช่วงสั้นๆ (STFT) ซึ่งลักษณะของหน้าต่าง (Window) ที่จำกัดรูปแบบทำให้เกิดการลดทอนและสูญเสียข้อมูลที่ขอบหน้าต่าง จึงได้มีการนำฟังก์ชันกาบอร์ (Gabor) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของเวฟเล็ดที่มีผลคูณของหน้าต่างเป็นเกาส์เซียนกับสัญญาณโคไซน์ ที่เหมาะสมกับหน่วยที่ต้องการใช้สำหรับการวิเคราะห์เสียงคือความถี่หรือใช้สัญญาณ โคไซน์นั่นเอง

$$y(t, a) = e^{-(t/a)^2} \cos(t/a) \quad (5.23)$$

t เป็นฟังก์ชันแกนเวลาหรือระยะหน้าต่าง

a เป็นฟังก์ชันในส่วนสเกล ในที่นี้คือส่วนกลับของความถี่

และเนื่องจากเวฟเล็ดเบสิสสามารถเลือกเป็นค่าใดๆ ทำให้ใช้เบสิสที่มีคุณสมบัติของเวนิซิ่งโมเมนต์ในการกระจายสัญญาณได้ด้วย โดยโมเมนต์คือลักษณะการกระจายในทางสถิติในกลุ่มตัวแปรสุ่ม เขียนสมการ โมเมนต์ได้ดังนี้

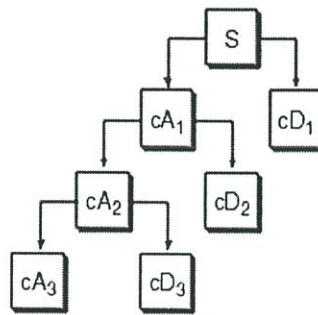
$$u_n = \langle x^n \rangle \quad (5.24)$$

โดยที่

$$\langle f(x) \rangle = \begin{cases} \sum f(x)P(x) & \text{discrete distribution} \\ \int f(x)P(x) & \text{continuous distribution} \end{cases} \quad (5.25)$$

ซึ่งค่า n_1 คือค่าเฉลี่ย n_2 คือค่าการเปลี่ยนแปลง และโมเมนต์อันดับอื่นๆอีกมากมาย การใช้งานเบสิสที่มีคุณสมบัติของเวนิซซึ่งโมเมนต์เช่น ค่าโมเมนต์อันดับ 1 หรือค่าเฉลี่ยเป็น 0 ค่าที่ได้จากเบสิสนั้นๆไม่ส่วนเกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ของเวฟเล็ตเป็นการแยกสัญญาณเป็นส่วนประมาณค่า cA กับส่วนรายละเอียดค่า cD ในเชิงของลำดับชั้นแบบปิรามิด J



รูปที่ 5.8 ลำดับชั้นของการแปลงเวฟเล็ต

$$cA_{j-1} = cA_j + cD_j \quad (5.26)$$

$$f(t) = cA_j + \sum_{j < J} cD_j \quad (5.27)$$

โดยมี φ , ψ แทนสเกลลิงฟังก์ชันที่ใช้ในการหาส่วนประมาณค่า กับเวฟเล็ตฟังก์ชันที่ใช้ในการหาส่วนรายละเอียดตามลำดับและเราสามารถเขียน $cA_j = \sum_{j < J} cD_j$ ได้สมการของเวฟเล็ตส่วนใหญ่พบจึงเป็น

$$f(t) = \sum_{j,k} a_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (5.28)$$

เพื่อแสดงการเลื่อนระหว่างระดับชั้นและการเลื่อนไปตามเวลา

$$f(t) = \sum_{j,k} a_{j,k} 2^{j/2} \psi_{j,k}(2^j t - k) \quad (5.29)$$

โดยที่

$$a_{j,k} = \langle \psi_{j,k}, f(t) \rangle \quad (5.30)$$

ในกรณีนี้เราได้ใช้เบสิส $\frac{1}{\sqrt{a_1 a_2}} \psi\left(\frac{x-k_1}{a_1}, \frac{y-k_2}{a_2}\right)$

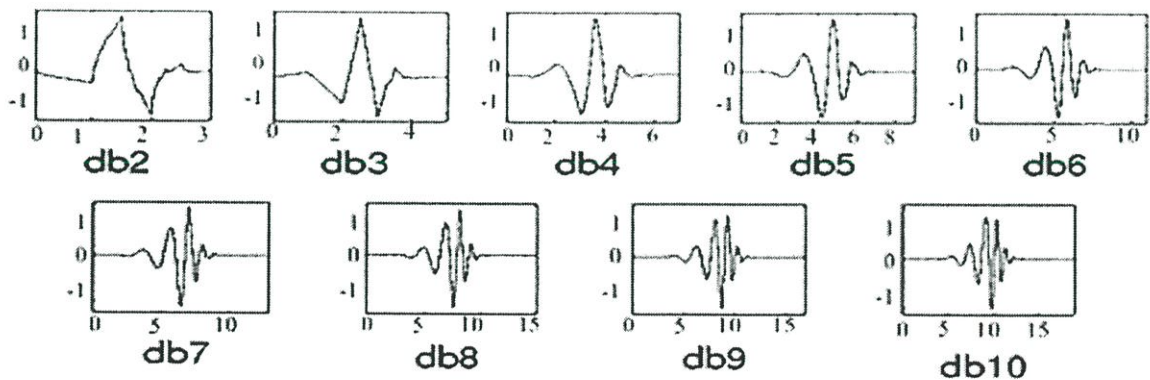
คุณสมบัติทางออร์ทोगอนัลลิตี้ของเวฟเล็ต และสเกลลิงฟังก์ชันทำให้แต่ละส่วนที่แยกออกมานั้นชัดเจนไม่คลุมเครือ $D_j \perp D_k, j \neq k$

คุณสมบัติเวนิซซึ่งโมเมนต์ที่มี $k+1$ โมเมนต์เป็น 0

$$\int_{\mathbb{R}} t^j \psi(t) dt = 0, j = 0, \dots, k \quad (5.31)$$

$$s(t) = \sum_{0 \leq j \leq k} a_j t^j \quad (5.32)$$

สมการที่ (5.32) มีค่าส่วนประกอบเวฟเล็ตเป็น 0 คุณสมบัติเรกกูลาริตีที่ให้อัญญาณที่ราบเรียบขึ้นเราแสดงค่าความเป็นเรกกูลาริตีในตารางที่ 5.1 [21]



รูปที่ 5.9 ลักษณะเบสิสของเวฟเล็ตที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป

5.6.2 ระบบการค้นหาจุดอ้างอิงและการแปลงค่าที่ได้จากทิศทางให้เป็นตัวแทนข้อมูล

จากรูปภาพทิศทางเส้นลายนี้นิ้วมือที่ได้รับการปรับปรุงให้สอดคล้องกับภาพมากที่สุด ตามกระบวนการที่ผ่านมา สังเกตได้ว่าตำแหน่งจุดอ้างอิงคือ ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดซึ่งการหาจุดอ้างอิงโดยวิธีนี้ การหมุนหรือการเลื่อนของภาพลายนี้นิ้วมือไม่มีผลต่อการค้นหาจุดอ้างอิงเลย

จากที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว การแปลงเวฟเล็ดเหมาะสมกับการกระทำในการค้นหาสัญญาณรบกวน หรือช่วงที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากลักษณะเบสิสของเวฟเล็ดเองที่ไม่ใช่เป็นคาบๆแบบโคไซน์ แต่เป็นลักษณะที่คล้ายสัญญาณรบกวนที่มีค่าความถี่ของโคไซน์รวมกันคล้ายสัญญาณรบกวน ทำให้เป็นเบสิสที่มีความหมายเหมาะกับการค้นหาสัญญาณรบกวน

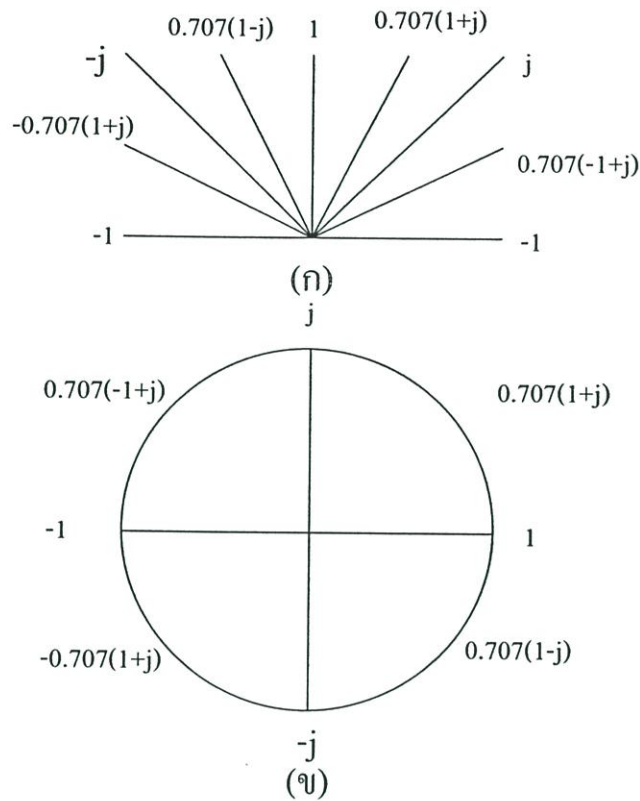
แต่เนื่องจากระบบตัวเลขที่ใส่ทั่วไปสำหรับการกระทำการแปลงสัญญาณมีค่าตั้งแต่ $-\alpha$ ถึง α ซึ่งไม่เหมือนกับระบบทิศทางของลายนี้นิ้วมือที่เป็นตัวเลขเชิงวงกลมรอบจุด ค่าต่ำสุด 0 องศา กับค่าสูงสุด 360 องศา มีค่าเท่ากัน และสิ่งที่ต้องการหาในภาพลายนี้นิ้วมือจากการแปลงระบบเวฟเล็ดคือตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดเนื่อง ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมที่เท่ากันควรให้ผลจากการแปลงเวฟเล็ดเท่ากันเช่น จากมุม 360 องศาไปยังมุม 15 องศา มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงจาก 345 องศาไปยัง 0 องศา

และนอกจากนี้มุมที่ได้จากทิศทางเส้นลายนี้นิ้วมือเป็นมุมที่ไม่มีทิศทางแบบจุดเริ่ม เช่นค่ามุม 90 องศาเท่ากับค่ามุมที่ 270 องศา ค่ามุม 45 องศาเท่ากับค่ามุม 225 องศา ค่ามุม 135 เท่ากับค่ามุม 315

ดังนั้นขั้นตอนการแปลงระบบเลขในลายนี้นิ้วมือคือ

1. แปลงค่าระบบเลขแบบเดิมให้อยู่ในรหัสเชิงวงกลมที่ค่า จุดเริ่ม กับจุดปลายอยู่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงที่จุดปลายและจุดเริ่มต้นของระบบตัวเลข
2. แปลงค่ามุมในระบบทิศทางเดิมให้มีค่า 2 เท่า เพื่อชดเชยผลอันเนื่องมาจากมุมที่ไม่มีทิศทางเริ่มต้น

สิ่งที่ได้จากการกระทำดังกล่าวคือ ระบบเลขเชิงซ้อนค่าหนึ่งแทนมุมเส้นลายนี้นิ้วมือ 8 จำนวน ที่มีค่า $1+0j, 0.707(1+j), 0+j, 0.707(-1+j), -1+0j, 0.707(-1-j), -j, 0.707(1-j)$ แทนค่าทิศทางของเส้นลายนี้นิ้วมือที่มุม 90, 67.5, 45, 22.5, 0, -22.5, -45, -67.5 ค่าความแตกต่างระหว่างทิศทางต่างๆ เท่ากันเนื่องจากสัมประสิทธิ์ในส่วนจำนวนจริงและจำนวนเชิงซ้อนมีการชดเชยกันทางด้านขนาดด้วยระบบมุมที่นำเสนอทำให้สามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงจากเบสิสของเวฟเล็ดได้



รูปที่ 5.10 ระบบทิศทาง (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางเส้นลายนี้นี้มีกับระบบเลขเชิงซ้อน (ข) ความสัมพันธ์ของระบบเลขในเชิงกลมที่ไม่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุด

5.6.3 เปรียบเทียบข้อดีในระบบการค้นหาจุดอ้างอิงเทียบกับวิธีทั่วไป

ข้อดี

1. ลดกระบวนการซับซ้อน สามารถกระทำได้ง่ายโดยใช้ตัวแทนกลุ่มจากชุดกรองทิศทางกาบอร์
2. ค่าการหมุนและการเลื่อนไม่มีผลต่อจุดเปลี่ยนแปลงของภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเก่าที่ใช้จุดที่โค้งที่สุดที่อยู่ตำแหน่งสูงสุดด้านในสุดซึ่งอาจเกิดความผิดพลาด อันเนื่องมาจากค่าว่าสูงสุดในด้านในสุด
3. สามารถนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้กับภาพต่างๆ ไม่จำเป็นต้องเป็นภาพลายนิ้วมือเพื่อสะดวกในการหาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงความเข้ม (การเปลี่ยนค่าความเข้มได้ทิศทาง) เช่น การค้นหาตำแหน่งดวงตา จมูกบนภาพใบหน้า สีแยกถนน

ข้อเสีย

ไวต่อสัญญาณรบกวน แต่สามารถชดเชยได้ด้วยเบสิสและเวฟเล็ตสเกลต่างๆ

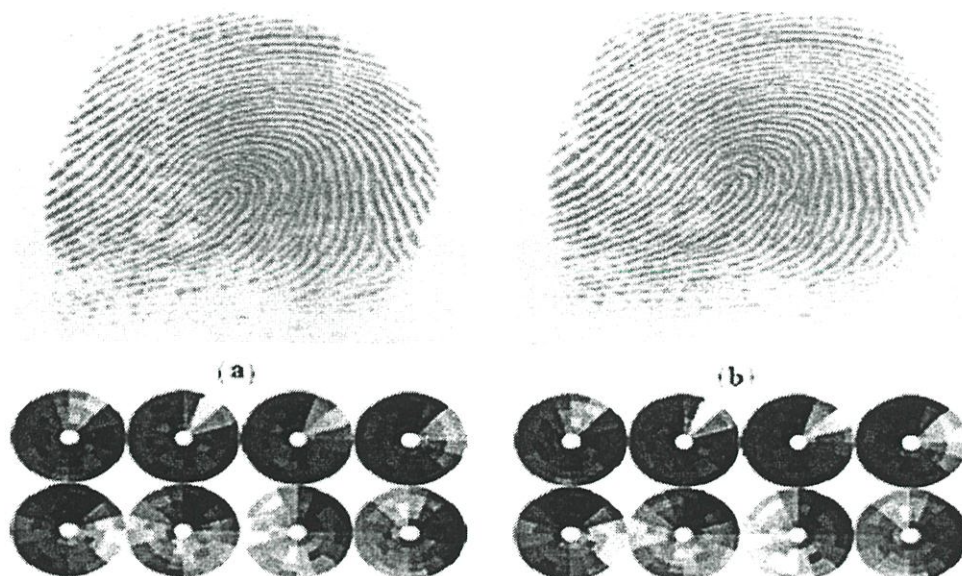
5.7 การแบ่งประเภทภาพลายนิ้วมือ

การจัดประเภทได้กล่าวทฤษฎีเริ่มต้นไว้ในบทที่ 2 กลุ่มภาพลายนิ้วมือและหลักการการจัดประเภทแบบโมเดล (model-base) โดยการสร้างกฎสำหรับโมเดล แบบโครงสร้าง (structure – base) โดยการใช้ทิศทางภาพคำนวณ และแบบการใช้ตัวแทนกลุ่มจากความถี่ บทที่ 3 ได้เริ่มกล่าวรายละเอียดคร่าวๆ ในวิธีการแบ่งประเภทลายนิ้วมือที่น่าสนใจ และเป็นความคิดเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาการค้นหาจุดอ้างอิงและแบ่งประเภทในวิทยานิพนธ์นี้ ข้อมูลในบทที่ 3 เช่น

- การกระทำโดยใช้กฎทางตรรกะระหว่างความสัมพันธ์ของจุดอ้างอิง (Core) และจุดแยก (Delta) เช่น จุดแยกอยู่ด้านซ้ายหรือขวา ซึ่งไม่สนับสนุนการหมุนภาพ

- การกระทำโดยใช้ทิศทางที่ได้จากการหาทิศทางเส้นภาพลายนิ้วมือโดยตรงรอบจุดอ้างอิงในสเปซเชิงโดเมน ซึ่งเป็นการเทียบระหว่างจุดในฐานข้อมูลต่อจุดในภาพป้อนเข้ามีการสแกนจากซ้ายไปขวาที่ไม่เหมาะกับการหมุน

- การกระทำแบบใช้ภาพความถี่ของแต่ละทิศทางเทียบกัน โดยตรง (Finger code) วิธีเหมาะกับการจดจำตัวบุคคลแสดงในรูปที่ 5.11 ฐานข้อมูลมีภาพทิศทาง 8 ภาพ นำข้อมูลภาพป้อนเข้าแปลงเป็นภาพทิศทาง 8 ภาพในชุด (a) แล้วเทียบกับภาพในฐานข้อมูลในชุด (b) โดยมีค่าการเทียบทั้งหมดเป็น 64 ครั้ง วิธีการแบบนี้การจดจำประเภทต่างๆ ไม่แปรผันต่อการหมุน แต่มีปริมาณข้อมูลที่มากและการเปรียบเทียบที่มากและมีการใช้ซิลรอลช่วย



รูปที่ 5.11 รหัสนิ้วมือ(Finger Code)

จากวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมา งานวิจัยได้พัฒนาต่อจากการกระทำในความถี่ โดยตัวแทนกลุ่มที่ใช้มีการเปลี่ยนค่าเป็นทิศทางเส้นลายนิ้วมือ ที่ได้แปรรูปมาจากตัวแทนกลุ่ม Finger code ขึ้นตอนมีดังนี้

1. เปลี่ยนรูป Finger code เป็นทิศทางทำให้เป็นการลดจำนวนตัวแทนกลุ่มที่ต้องใช้ เหมือนกับรวมภาพ 8 ภาพเป็นภาพเดียว (นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้ Finger code กับมินูเชีย)
2. หาจุดอ้างอิงจากภาพทิศทางเส้นลายนิ้วมือโดยใช้ระบบเลขทิศทางเชิงขั้ว
3. คำนวณเวกเตอร์รอบจุดอ้างอิงเป็น $V(r, \theta)$ โดยที่ r รัศมีรอบจุดอ้างอิง θ เป็นมุมรอบจุดอ้างอิง โดยคำนวณค่ารัศมีทั้ง 7 ระดับจากระดับที่ 3 ถึง 10 ระยะห่างในแต่ละระดับเป็น 10 จุดภาพ และมีองค์ประกอบในแต่ละระดับเป็น 360 สำหรับ 360 องศา และเวกเตอร์เป็นองค์ประกอบของเชิงซ้อนแทนทิศทาง เพราะเหมาะสมในการปรับแต่งภาพด้วยเวฟเล็ตและเติมเต็มบริเวณที่ไม่สมบูรณ์บริเวณ
4. ด้วยการคาดเดาโดยอาศัยแนวคิดที่ว่าทิศทางในรัศมีเดียวกันน่าจะมีคล้ายคลึงกัน ดังนั้นภาพขอบที่ไม่มีข้อมูลได้รับการแทนที่ข้อมูลด้วยข้อมูลจากรัศมีจากจุดอ้างอิงต่ำกว่า และจากพื้นที่ใกล้เคียง มาใช้ในการปรับปรุงตัวแทนกลุ่มที่มีส่วนที่มีการมาส์ก (Mask) ไว้ว่าไม่ดี
5. แปลงเวฟเล็ตเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนอีกครั้ง โดยเลือกจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงที่เหมาะสมที่เหมาะสม
6. ทำการนอร์มัลไลซ์ค่าตัวแทนกลุ่มที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ในลักษณะของค่าเฉลี่ยและค่าการเบี่ยงเบน โดยสมการ[7]

$$\hat{f}(i, j) = \frac{f(i, j) - \mu_j}{\sigma_j} \quad (5.33)$$

โดยที่ค่า μ_j เป็นค่าเฉลี่ยและ σ_j เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

7. นำเวกเตอร์ทิศทางของฐานข้อมูลมาเทียบด้วยฟังก์ชันตัดสินใจเฉพาะที่ปรับปรุงสำหรับภาพลายนิ้วมือกับเวกเตอร์ที่ได้จากภาพป้อนเข้า โดยการเทียบกันทุกระดับชั้น เช่น ชั้นที่ 3 ของข้อมูลป้อนเข้าเทียบกับทุกระดับชั้นของฐานข้อมูล เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากลักษณะลายนิ้วมือเองที่มีขนาดต่างกัน

วิธีการที่นำเสนอ ต้องการเน้นในส่วนของการพัฒนาตัวแทนกลุ่ม เพื่อให้เห็นภาพการแยกแยะด้วยตัวแทนกลุ่มที่นำเสนอ จึงไม่ได้ใช้กระบวนการเรียนรู้หรือการตัดสินใจต่างๆเช่น นีลรอล เป็นต้น

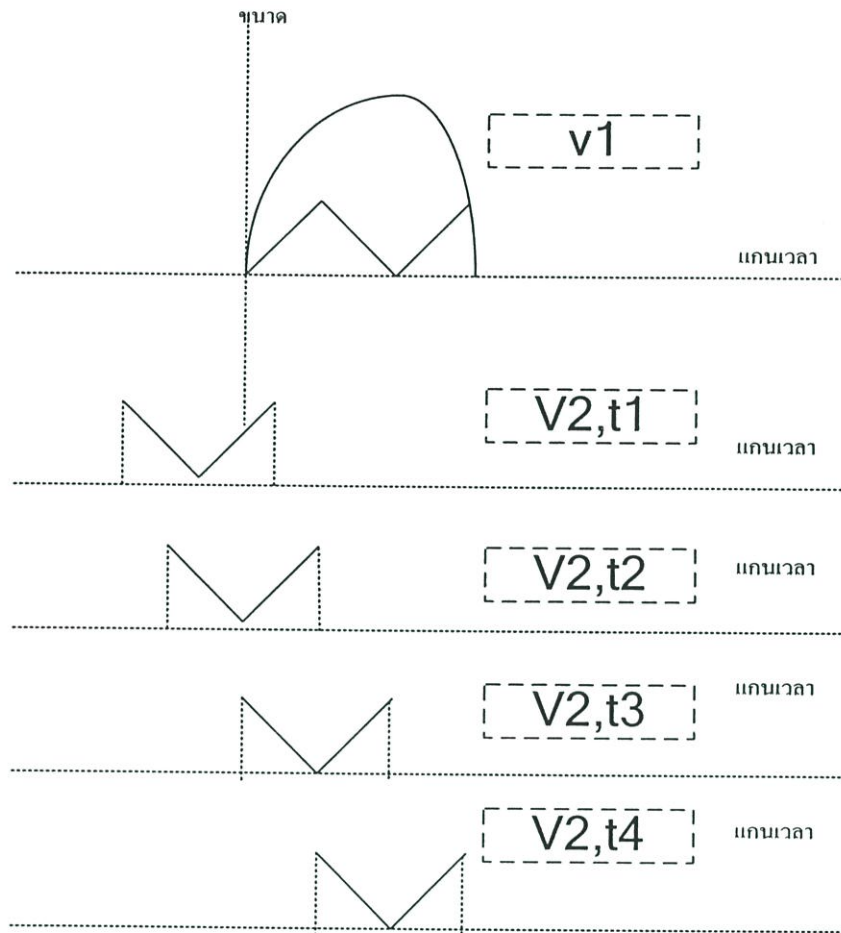
5.8 ฟังก์ชันการตัดสินใจ

การตัดสินใจเป็นการนำข้อมูลป้อนเข้ามาเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้เป็นแม่แบบเพื่อค้นหาความคล้ายคลึงของการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเวกเตอร์รอบจุดอ้างอิง และเนื่องจากฟังก์ชันการตัดสินใจโดยการใช้ฟังก์ชันระยะทาง (Distance function) ที่คำนวณความต่างจุดภาพโดยตรงไม่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแทนกลุ่มที่สามารถเปลี่ยนแปลง โดยการเลื่อน (shifting) ได้เช่นเดียวกับการหาผลคูณภายใน

วิธีการตัดสินใจที่น่าเสนอเป็นดังนี้

1. จากพีเจอร์เวกเตอร์รอบจุดอ้างอิงที่ได้จากในหัวข้อที่ผ่านมา นำมาคัดเลือกลักษณะพีเจอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละประเภทของภาพลายนิ้วมือ โดยพิจารณาจากภาพลายนิ้วมือ เพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มข้อมูล เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ต้องการความถูกต้องที่ได้จากพีเจอร์โดยตรงและไม่ต้องการทำการเรียนรู้กลุ่มข้อมูลที่จะนำมาตัดสินใจ จึงหลีกเลี่ยงการเรียนรู้ตัวแทนกลุ่มข้อมูล
2. ตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่ทำกรคัดเลือก ได้เพิ่มขนาดเวกเตอร์อีกครั้งคาบ เพื่อให้สามารถจดจำตัวแทนกลุ่มที่มีการเลื่อนได้ โดยที่พีเจอร์รอบจุดอ้างอิง 1 รอบถือเป็นข้อมูล 1 คาบ
3. ทำการจดจำโดยใช้การหาผลคูณภายใน เพื่อหาความสอดคล้องของการเปลี่ยนแปลงภายในเวกเตอร์
4. ค้นหาค่าสูงสุดเพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เวกเตอร์แม่แบบกับเวกเตอร์ข้อมูลป้อนเข้า มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันที่สุด
5. นำค่าที่ได้จากการหาผลคูณภายในระหว่างแต่ละแม่แบบ มาพิจารณาค่าสูงสุดแสดงว่าข้อมูลป้อนเข้ามีลักษณะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของแม่แบบนั้นมากที่สุด และเป็นข้อมูลประเภทนั้นๆ

ลักษณะฟังก์ชันการตัดสินใจที่ใช้คล้ายกับการทำคอนโวลูชันเพราะเป็นการหาผลคูณภายในโดยมีการเลื่อนแต่ตำแหน่งการเริ่มกับสิ้นสุดไม่เหมือนกัน และแม่แบบในการกระทำมีการเพิ่มความยาวอีกครั้งคาบ แสดงขั้นตอนการกระทำในรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ขนาดที่ได้จากการหาผลคูณภายในระหว่างเวกเตอร์ v_1 กับ v_2 ที่แปลงค่าพร้อมการนำไปทำ การคอทหรือหาผลคูณภายใน t_4 เป็นตำแหน่งที่มีค่าภาพเงาของ 2 เวกเตอร์สูงสุด โดยมีการสร้างคาบเวลาของเวกเตอร์ฐานข้อมูล v_1 เพิ่มอีกครั้งคาบเพื่อชัดเจนเนื่องจาก การหมุนของรูปหรือการเลื่อนของเวกเตอร์รอบจุดอ้างอิง

5.9 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนตั้งแต่เริ่มแรกในการแบ่งประเภทภาพ รายละเอียดวิธีการต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ เช่น

1. การค้นหาตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางมากที่สุดเพื่อหาจุดอ้างอิง ซึ่งวิธีดังกล่าวไม่เหมือนวิธีทั่วไปที่หาจุดเปลี่ยนแปลงจากระดับความเข้มของภาพ สามารถนำไปประยุกต์ในงานอื่นๆ ได้รวมถึงการหาขอบการเปลี่ยนของเวกเตอร์ทิศทาง ทำให้สามารถนำไปใช้ในงานอื่นๆ เช่น จดจำใบหน้าได้

2. การปรับปรุงภาพแบบหลายระดับ เหมาะสมในการปรับปรุงข้อมูลเสียหายที่บริเวณนั้นมีการเปลี่ยนของข้อมูล ไม่สามารถอาศัยการคาดเดาจากพื้นที่ใกล้เคียง โดยใช้ภาพที่ระดับหยาบกว่าและความถูกต้องมากกว่า

3. การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือโดยใช้จุดอ้างอิงเป็นจุดกำเนิด พื้นที่ที่มีรัศมีต่างๆที่อยู่ในมุมเดียวกันกับจุดอ้างอิงน่ามีค่าใกล้เคียงกัน เหมาะสำหรับการปรับปรุงในบริเวณของขอบภาพลายนิ้วมือ เนื่องจากจากขอบภาพลายนิ้วมือ น้ำหนักการประทับค่อนข้างเบาหรือเสียหายมาก ในวิทยานิพนธ์นี้จึงทำการตัดขอบภาพทิ้งไปแล้วปรับปรุงหรือสร้างใหม่ด้วยวิธีรัศมี

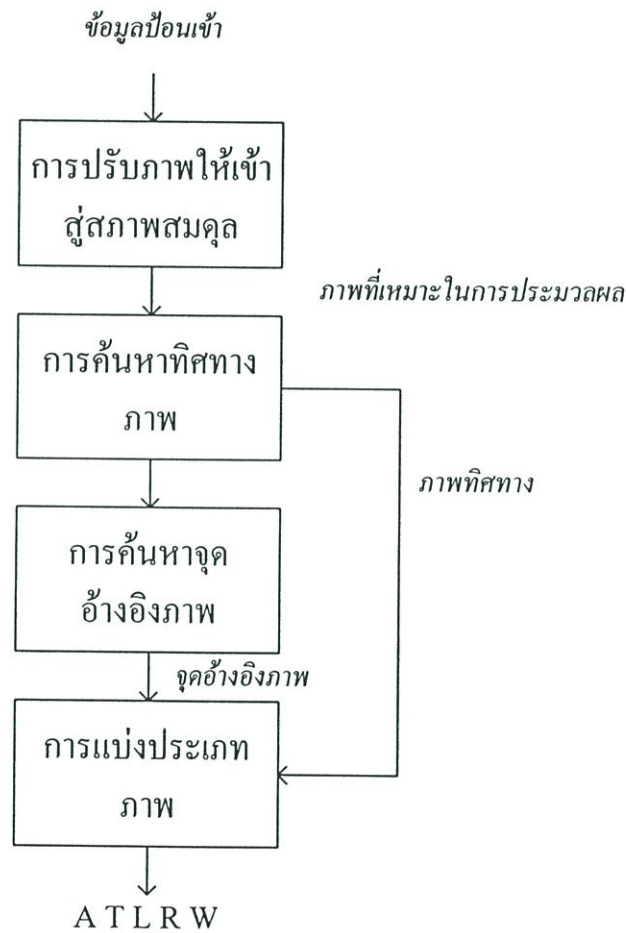
4. ฟังก์ชันการตัดสินใจที่นำเสนอโดยอาศัยหลักการหาค่าความคล้ายคลึงแบบผลคูณภายในที่เลื่อนตำแหน่งได้

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 ลักษณะวิธีการทดลอง

ในบทนี้เกี่ยวกับการทดลองจากบทต่างๆที่กล่าวมา ก่อนที่กล่าวส่วนการทดลองขอกล่าวถึงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ค่าตัวแปรสำคัญๆสำหรับการทำการทดลองในงานวิจัย รูปขั้นตอนการแบ่งประเภทลายนิ้วมือแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการแบ่งประเภทลายนิ้วมือในวิทยานิพนธ์

6.1.1 ลักษณะของข้อมูลป้อนเข้า

ข้อมูลป้อนเข้าแยกเป็น 2 ประเภท เป็น

1. ตัวอย่างฐานข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเด่นๆในลักษณะต่างๆจากฐานข้อมูล NIST-4 ทั้งหมด ฐานข้อมูลตัวอย่างมีข้อมูลภาพทั้งหมด 24 คู่หรือ 48 ภาพ ข้อมูลเป็นแบบราสเตอร์ สแกนจากซ้ายไปขวา เมื่อแปลงเป็นภาพได้ภาพขนาด 480×512 จุดภาพ
2. ข้อมูลที่เกิดจากการนำข้อมูลบางส่วนในข้อแรกทำการปรับเปลี่ยนค่ามุมใหม่ โดยการหมุนไปที่ 45 องศา 90 องศา 180 องศาสำหรับแต่ละประเภทภาพรวม 15 ภาพ

6.1.2 หน้าต่างดำเนินการย่อย 4 แบบ

1. พื้นที่ดำเนินการ 32×32
 2. พื้นที่ดำเนินการ 16×16
 3. พื้นที่ดำเนินการ 32×32 และมีระยะการเลื่อนจุดการคำนวณเป็น 10×10
 4. พื้นที่ดำเนินการ 16×16 และมีระยะการเลื่อนจุดการคำนวณเป็น 10×10
- พื้นที่ดำเนินการแต่ละแบบเหมาะสมสำหรับขั้นตอนที่ต่างกันในส่วนต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เป็นการคำนวณแบบที่ 3 เป็นส่วนใหญ่ซึ่งเหมาะกับลักษณะแบ่งประเภท

6.1.3 ฟังก์ชันหลักที่ในการระบุประเภทลายนิ้วมือ

1. ฟังก์ชันการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล
2. ฟังก์ชันในการคำนวณทิศทางภาพโดยใช้กาบอร์ฟังก์ชัน
 - ฟังก์ชันกาบอร์
 - ฟังก์ชันการหาค่าตัวแทนกลุ่มจากภาพทิศทางกาบอร์ 8 ทิศทาง
3. ฟังก์ชันในการปรับปรุงทิศทางภาพ
 - ฟังก์ชันการค้นหาทิศทาง
 - ฟังก์ชันในการแยกแยะส่วนดีและไม่ดี
 - ฟังก์ชันการเลือกจุดแทนที่ด้วยพื้นที่ข้างเคียง
 - ฟังก์ชันการเลือกจุดแทนที่ด้วยภาพที่หยาบกว่า
 - ฟังก์ชันการแทนที่ทิศทางเพื่อการแสดงผลในรูปลายเส้น
4. ฟังก์ชันในการหาจุดอ้างอิง
 - ฟังก์ชันการแปลงค่าทิศทางกับตัวเลขเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มในการหาจุดอ้างอิง
 - ฟังก์ชันเวฟเล็ต
 - ฟังก์ชันการปรับปรุงภาพที่ได้และเลือกจุดอ้างอิง
5. ฟังก์ชันในการแบ่งประเภท
 - ฟังก์ชันการแปลงทิศทางเป็นค่าตัวแทนกลุ่มในการแบ่งประเภท
 - ฟังก์ชันการปรับปรุงข้อมูลตัวแทนกลุ่มที่ถูกมาส์กและการเลือกค่าสัมประสิทธิ์

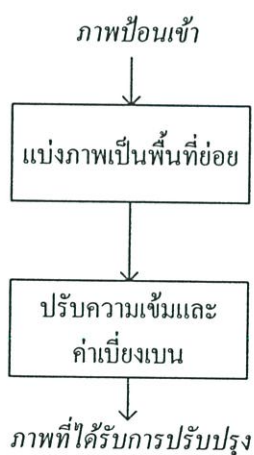
เวฟเล็ตที่เหมาะสม

- ฟังก์ชันตัดสีใจ
- 6. ฟังก์ชันอื่นๆสำหรับการวิเคราะห์
 - ฟังก์ชันการอ่านไฟล์ข้อมูล NIST
 - ฟังก์ชันการแสดงผลภาพความถี่
 - ฟังก์ชันการแสดงผลภาพความสเกลกับเวลาเพื่อการวิเคราะห์เวฟเล็ต
 - ฟังก์ชันการแปลงกลับพื้นที่ย่อยๆ 2-3 พื้นที่ที่เป็นภาพให้เหมาะกับการวิเคราะห์
 - ฟังก์ชันอื่นๆเช่นการตัดสีใจ การเลือกทิศทางแบบอื่นเพื่อเป็นการอ้างอิง

6.1.4 หัวข้อใหญ่ผลการทดลอง

- การปรับภาพเข้าสู่สมดุค
- การปรับแต่งค่ากabor
- การประยุกต์ใช้งานกabor
- การค้นหาจุดอ้างอิง
- การแบ่งประเภทภาพลายนิ้วมือ

6.2 ผลของขั้นตอนการดำเนินการให้ภาพเข้าสู่สมดุค



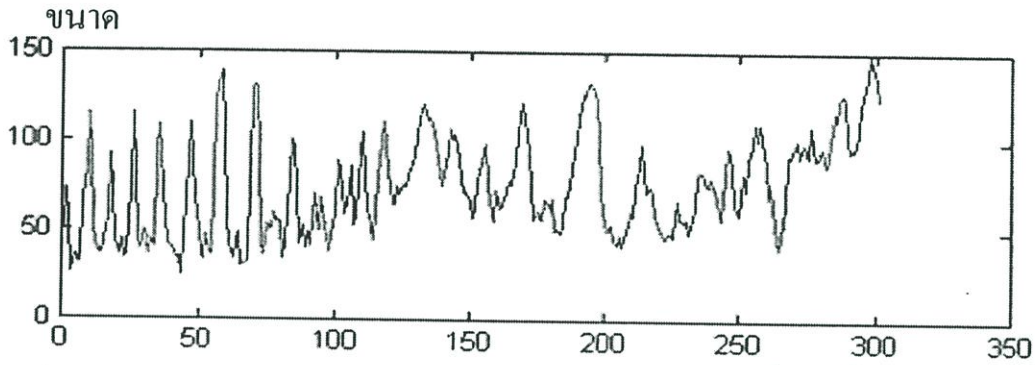
รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุค

กระบวนการปรับปรุงภาพแสดงในรูปที่ 6.2 เริ่มต้นโดยการนำภาพที่เป็นข้อมูลขนาด 480×512 จุดภาพแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยขนาด 32×32 จุดภาพ หลังจากนั้นนำแต่ละพื้นที่ย่อยผ่านสมการที่ 3.7 ที่ได้แสดงไปในบทที่ 3 เพื่อดำเนินการปรับปรุง การปรับภาพให้เข้าสู่สมดุคทำการปรับค่าตัวแปรสำคัญภายในพื้นที่ดำเนินการย่อยของภาพ 2 ค่าให้เท่ากันคือ 1 ค่าเฉลี่ย โดยค่าเฉลี่ยหลังการปรับปรุงในแต่ละพื้นที่ย่อยเป็น 100 2. ค่าการเปลี่ยนแปลง โดยค่าการเบี่ยงเบนหลังการปรับปรุงในแต่ละพื้นที่ย่อยเป็น 10

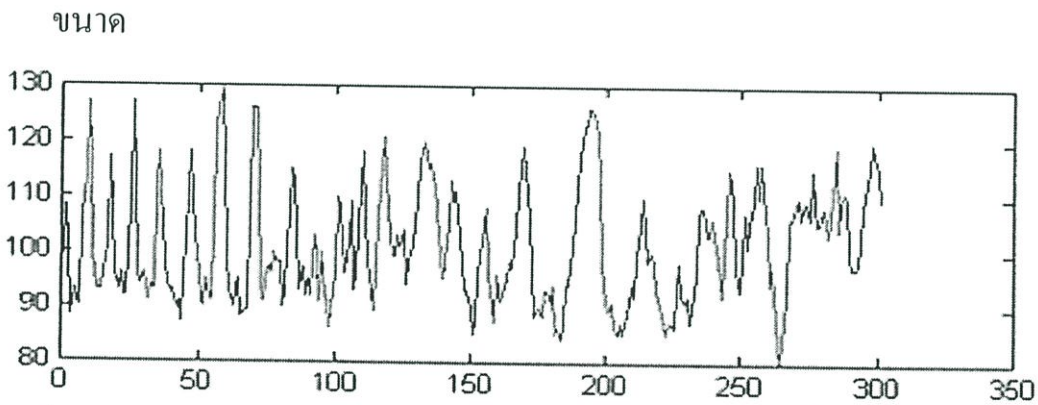
การแสดงผลการทดลองได้แบ่งรายละเอียดเป็น 4 ส่วน

- แสดงรายละเอียดของสัญญาณภาคตัดขวาง
- แสดงรายละเอียดของสัญญาณภายในพื้นที่ส่วนหนึ่งของภาพ
- แสดงการปรับขุดการใช้ส่วนการปรับความสมดุลกับภาพทั้งหมด

6.2.1 สัญญาณภาคตัดขวาง 2 มิติ



รูปที่ 6.3 สัญญาณภาคตัดขวางของภาพก่อนดำเนินการปรับปรุง ตำแหน่งจุดภาพภาคตัดขวาง



รูปที่ 6.4 สัญญาณภาคตัดขวางของภาพหลังดำเนินการปรับปรุง ตำแหน่งจุดภาพภาคตัดขวาง

จากรูปที่ 6.3 สัญญาณก่อนการดำเนินการปรับให้เข้าสู่สภาพสมดุล

- ในด้านขนาดเฉลี่ยกับความสัมพันธ์ในแกนตำแหน่งมีค่าไม่เท่ากัน สังเกตได้ว่าช่วงปลายสัญญาณ (250 ขึ้นไป) มีการยกระดับสูงขึ้น
- ในด้านค่าการเบี่ยงเบนช่วงกลางมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณน้อย(120-160)

จากรูปที่ 6.4 สัญญาณหลังการดำเนินการปรับให้เข้าสู่สภาพสมดุล

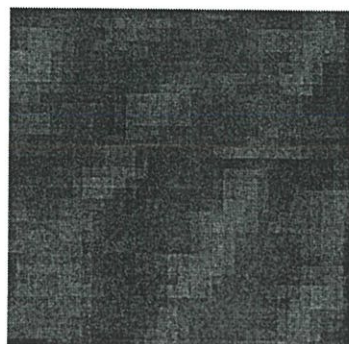
- ในด้านขนาดเฉลี่ยกับความสัมพันธ์ในแกนตำแหน่งมีค่าเท่ากัน สังเกตได้ว่าช่วงปลายสัญญาณ (250 ขึ้นไป) มีการเปลี่ยนแปลง

- ในด้านค่าการเบี่ยงเบนช่วงกลางมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณมากขึ้น(120-160)

6.2.2 แสดงรายละเอียดของสัญญาณภายในพื้นที่ส่วนหนึ่งของภาพ



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.5 ภาพก่อนและหลังการปรับปรุง (ก) สัญญาณภาพภายในพื้นที่ดำเนินการก่อนการปรับปรุง (ข) สัญญาณภาพภายในพื้นที่ดำเนินการหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 6.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มและความชัดเจนของภาพในแต่ละพื้นที่ที่ย่อยก่อนและหลังการทำการปรับภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล ภาพพื้นที่ที่ได้รับการปรับสภาพให้สมดุล ค่าเฉลี่ยของความเข้มสีเป็นค่าเดียวกันแสดงได้ในรูป 6.5 ข

6.2.3 การใช้ส่วนการปรับความสมดุลกับภาพทั้งหมด

จากรูปที่ 6.6 เป็นผลการทดลองจากที่ได้จากการปรับความสมดุลของภาพ สังเกตภาพป้อนเข้าแต่ละภาพก่อนดำเนินการปรับภาพให้เข้าสู่สภาวะสมดุล เนื่องจากน้ำหนักการประทับตราลายนิ้วมือของทั้งแต่ภาพไม่เท่ากัน แม้กระทั่งน้ำหนักภายในภาพจากการประทับตราครั้งเดียวกันก็มีค่าไม่เท่ากัน รูปด้านขวาแสดงภาพที่ได้รับการปรับให้เข้าสู่สภาพสมดุลเรียบร้อยแล้ว ความเข้มและค่าการเบี่ยงเบนของทั้งแต่ภาพเท่ามีค่าเฉลี่ยกัน สังเกตภาพด้านขวาทั้ง 2 ภาพมีค่าเฉลี่ยและค่าการเบี่ยงเบนที่เท่ากัน ซึ่งค่าตัวแปรที่เลือกใช้ในการปรับค่าขึ้นกับการกระทำในกระบวนการต่อไป

นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยความเข้มของระดับสีภาพในแต่ละพื้นที่ย่อยได้รับการปรับให้เท่ากัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากค่าความเข้มภายในภาพ น้ำหนักเนื่องจากการกดที่ไม่สม่ำเสมอและลักษณะนิ้วมือที่ไม่ใช่เป็นแผ่นแบนราบอีกทั้งมีความยืดหยุ่น



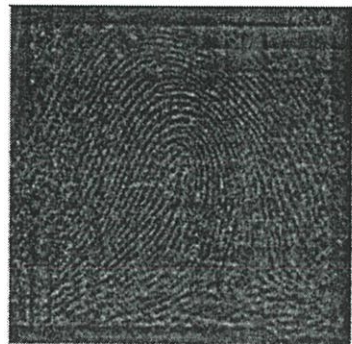
(ก)



(ข)



(ค)



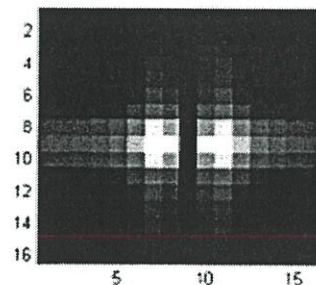
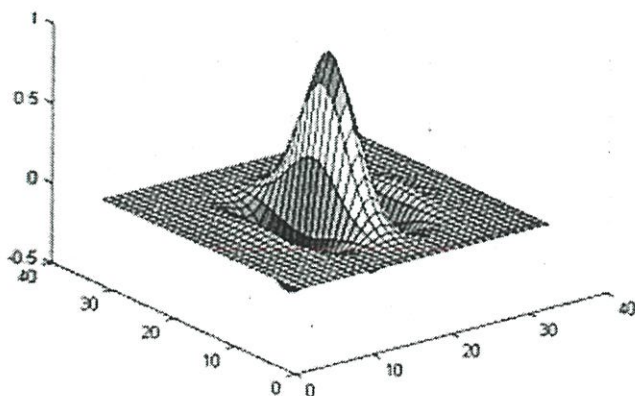
(ง)

รูปที่ 6.6 ภาพตัวอย่างก่อน (ซ้าย) และหลังกระบวนการปรับสภาพให้เข้าสู่สภาพสมดุล

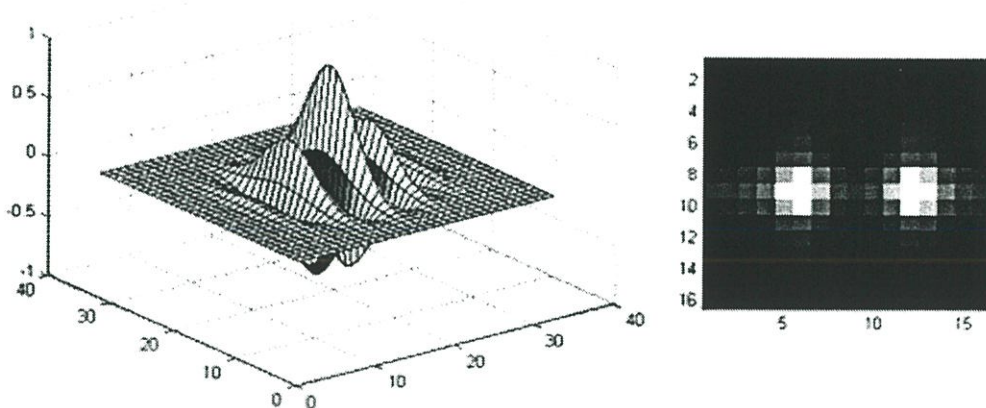
6.3 ผลการทดลองคุณลักษณะต่างๆของส่วนกรองกาบอร์

การเลือกลักษณะพารามิเตอร์ต่างๆของส่วนกรองกาบอร์ แบ่งการทดลองเป็น 5 ส่วน

6.3.1 คุณลักษณะกาบอร์กับความถี่



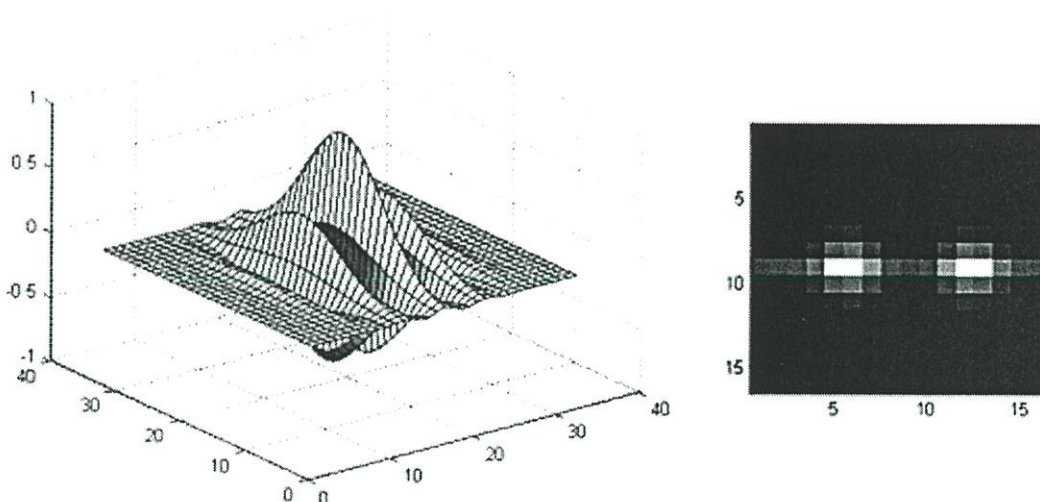
รูปที่ 6.7 ลักษณะของส่วนกรองกาบอร์แบบภาพ 3 มิติกับผลตอบสนองด้านความถี่



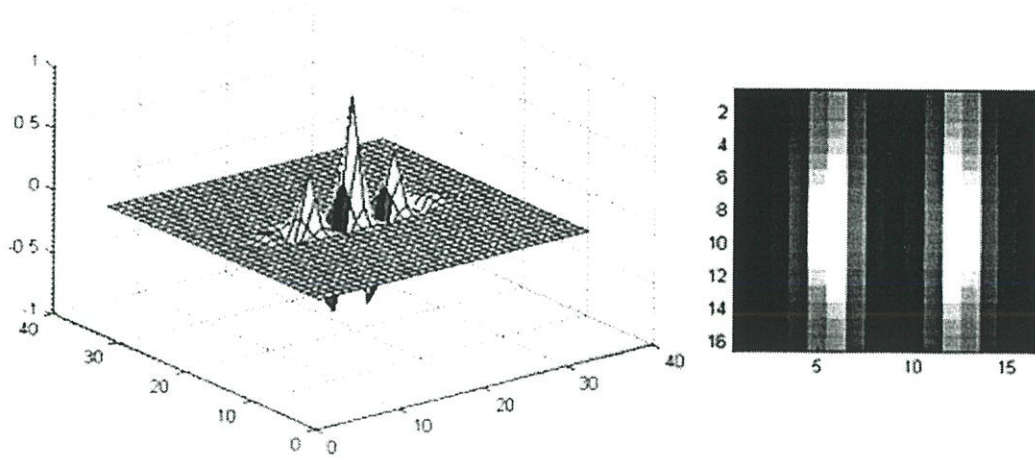
รูปที่ 6.8 เมื่อมีการปรับความถี่เพิ่มขึ้นสังเกตการเปลี่ยนรูปร่างและผลตอบสนองย่านความถี่

จากรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8 แสดงให้เห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ความถี่รูปร่างของโคเร็กซ์เนลเกาส์เซียน การทดลองในส่วนนี้เพื่อปรับค่าความถี่ให้เหมาะสมกับภาพถ่ายนิ้วมือ

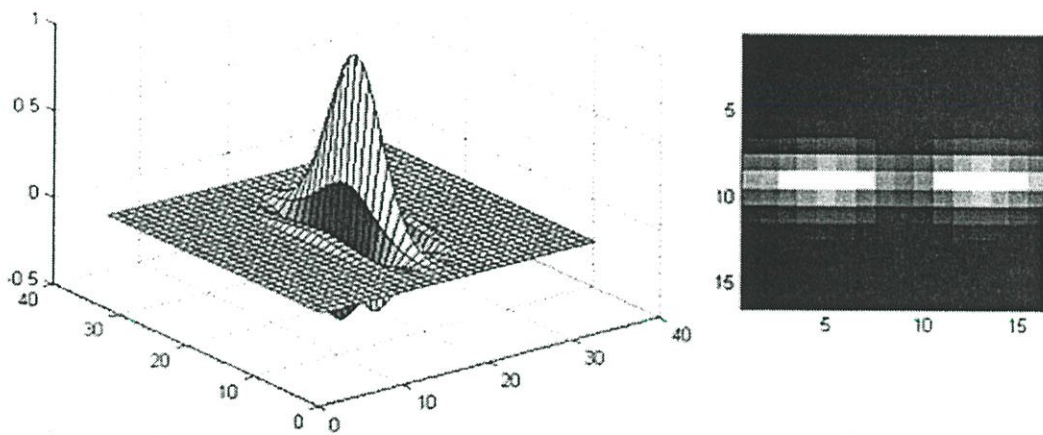
6.3.2 กาบอรักับคุณลักษณะทางความกว้าง



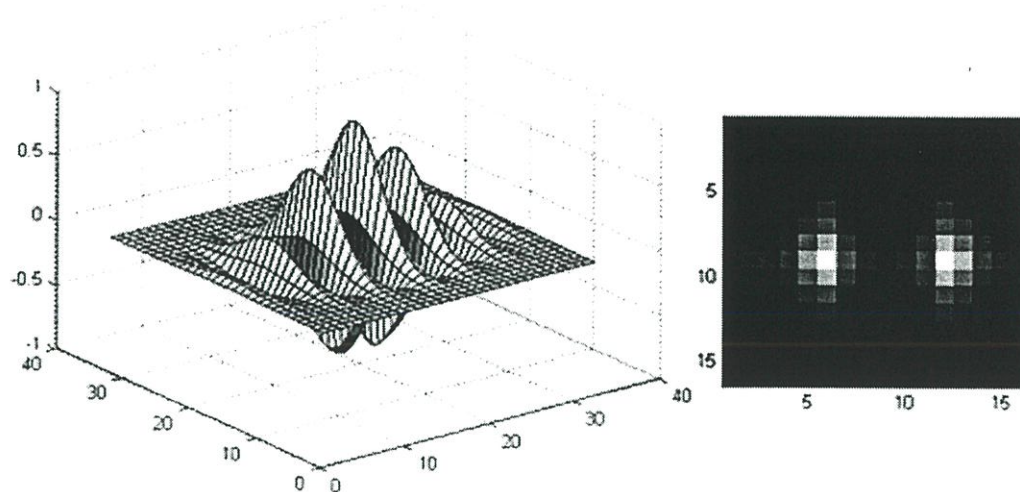
รูปที่ 6.9 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านลักษณะหน้าตาต่างเกาส์เซียนเพิ่มขึ้น โดยที่ยังคงความกว้างด้านการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไซนูซอยด์ สังเกตผลตอบสนองความถี่ของแกนแนวตั้ง



รูปที่ 6.10 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านลักษณะหน้าต่างเกาส์เซียนลดลง โดยที่ยังคงความกว้างด้าน การเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณไซน์ซอซด์ สังกะผลตอบสนองความถี่ของแกนตั้ง



รูปที่ 6.11 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านรูปแบบสัญญาณไซน์ซอซด์ลดลงขึ้น โดยคงค่าความกว้างด้านลักษณะหน้าต่างเกาส์เซียน สังกะผลตอบสนองความถี่ของแกนนอน

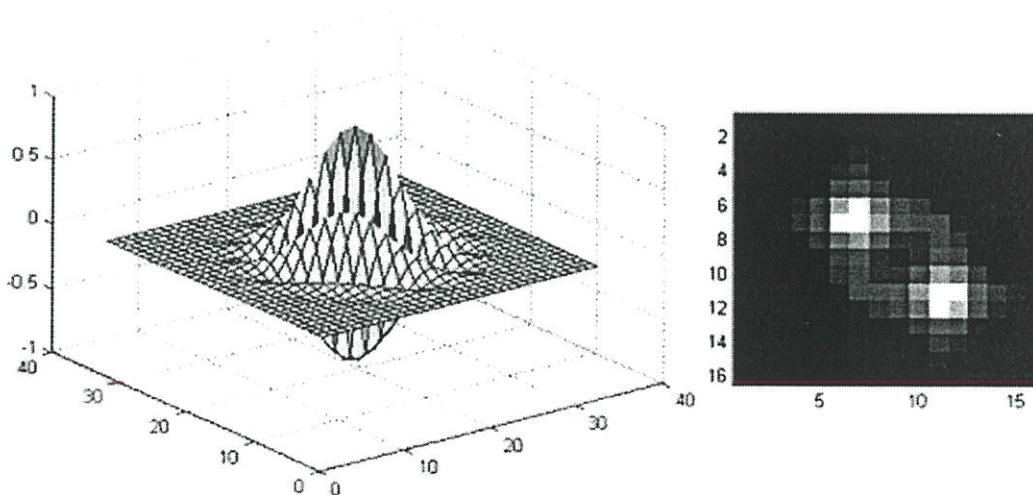


รูปที่ 6.12 เมื่อปรับค่าความกว้างในด้านรูปแบบสัญญาณไซน์ชอยด์เพิ่มขึ้น โดยคงค่าความกว้างด้านลักษณะหน้าตาต่างเกาส์เซียน สังเกตผลตอบสนองความถี่ของแกนนอน

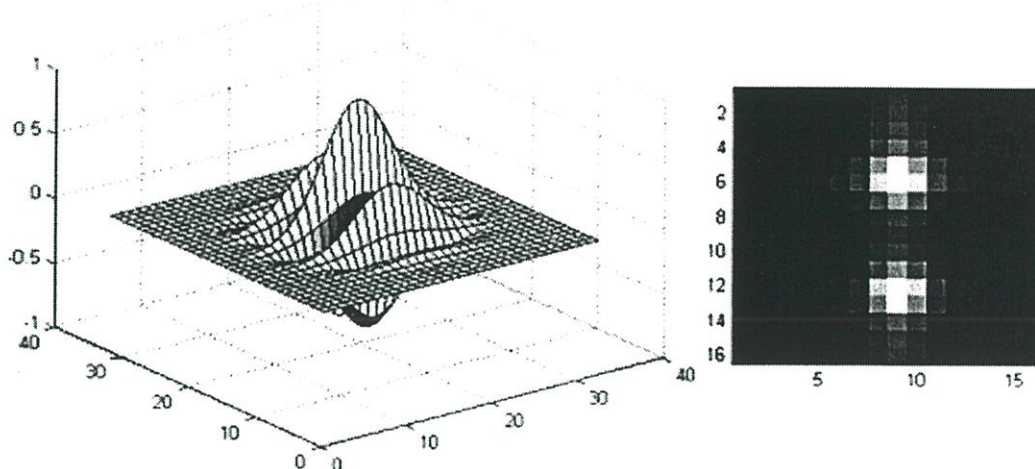
จากรูป 6.9 รูปที่ 6.10 รูปที่ 6.11 และรูปที่ 6.12 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ δ_x และ δ_y เป็นค่าความกว้างของโครงสร้างหน้าตาต่างเกาส์เซียนจากสมการที่ 5.5 เพื่อแสดงให้เห็นค่าความกว้างที่เหมาะสมกับภาพลายนิ้วมือ

จากผลการทดลองทั้งหมดได้เลือกค่า δ_x และ δ_y เป็นค่า 2 f_c ความถี่ของไซน์ชอยด์ในสมการที่ 5.5 เป็น 0.1824 และ f_s เป็นค่า 2

6.3.3 กาบอริกซ์ทิศทาง



รูปที่ 6.13 ลักษณะของสัญญาณกาบอริกซ์ทิศทางกับผลตอบสนองในทิศทางทำมุม -45 กับแกนนอน



รูปที่ 6.14 ลักษณะของสัญญาณคาบอร์ทิศทางกับผลตอบสนองในทิศทางทำมุมในแนวกับแกนตั้ง

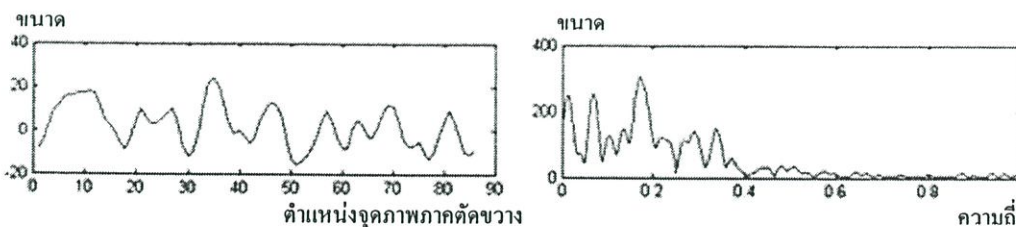
จากรูปที่ 6.13 และรูปที่ 6.14 เป็นตัวอย่างของชุดคาบอร์ทิศทางในมุม 45 กับ 90 องศา เป็นผลที่ได้มาจากการปรับค่ามุม θ ในสมการที่ 5.6 และ 5.7

6.4 การประยุกต์ใช้งานคาบอร์

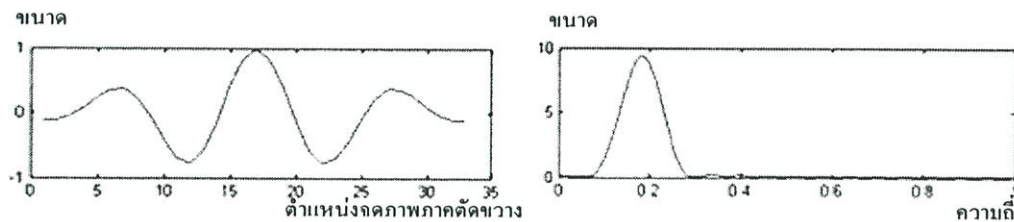
จากที่บอกไว้ในบทที่ 5 เกี่ยวกับลักษณะคุณสมบัติเฉพาะของชุดกรองคาบอร์ทั้งด้านความถี่และในด้านทิศทาง ทำให้มีการนำชุดกรองคาบอร์ไปใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพลายนิ้วมือ และวิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้สำหรับงานค้นหาทิศทางลายนิ้วมือและระบุตำแหน่งมินูเชีย ในหัวข้อนี้จึงกล่าวเกี่ยวกับการนำคาบอร์ไปใช้งานต่างๆดังนี้

6.4.1 ในด้านการปรับปรุงเส้นลายนิ้วมือ

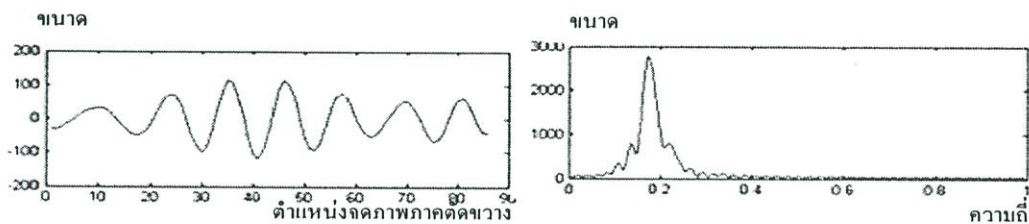
6.4.1.1 สัญญาณภาคตัดขวาง 1 D ก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 6.15 ลักษณะของสัญญาณลายนิ้วมือภาคตัดขวางสัญญาณนี้แสดงการเปลี่ยนแปลงของเส้นนูน และเส้นร่องภาพด้านขวาแสดงการตอบสนองความถี่ของสัญญาณ



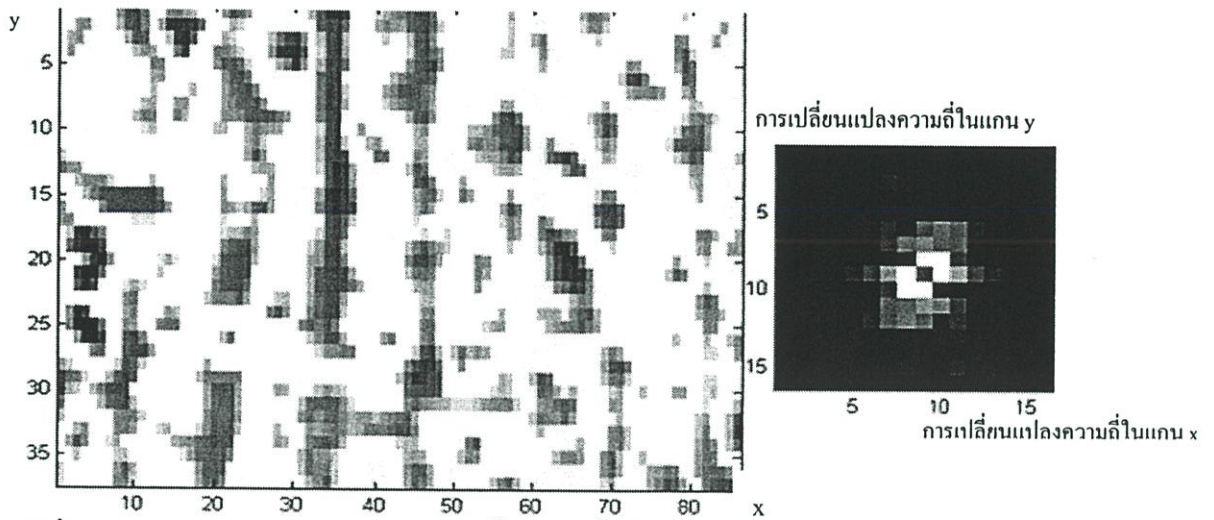
รูปที่ 6.16 ลักษณะของสัญญาณภาพออร์ภาคตัดขวางและภาพด้านขวาแสดงการตอบสนองความถี่ของสัญญาณ



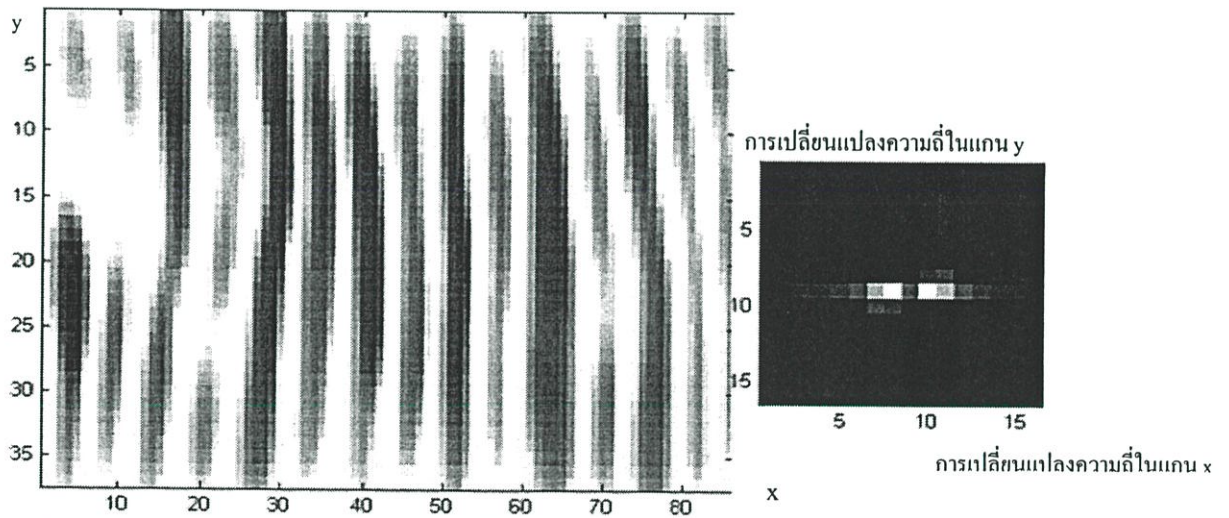
รูปที่ 6.17 ลักษณะของสัญญาณลายนิ้วมือภาคตัดขวางหลังจากผ่านการประมวลผลส่วนกรองความถี่กึ่งแบนด์ สัญญาณนี้แสดงการเปลี่ยนแปลงของเส้นนูนและเส้นร่องและภาพด้านขวาแสดงการตอบสนองความถี่ของสัญญาณ

รูปที่ 6.15 ถึงรูปที่ 6.17 แสดงลักษณะการกรองสัญญาณในภาคตัดขวางของภาพลายนิ้วมือ แสดงลักษณะของโครงสร้างของลายนิ้วมือที่เกิดขึ้นจริงในรูปสัญญาณ 1 มิติเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ การกรองสัญญาณและเลือกค่าความถี่ของชุดกึ่งแบนด์ทิศทางที่เหมาะสมกับภาพลายนิ้วมือ รูปที่ 6.15 เป็นภาพลายนิ้วมือก่อนการกรองความถี่ รูปที่ 6.16 เป็นชุดกรองความถี่กึ่งแบนด์ในทิศทางเดียวกับโครงสร้างลายนิ้วมือ และรูปที่ 6.17 แสดงถึงลักษณะสัญญาณที่ผ่านการกรอง ความชัดเจนของเส้นนูนและเส้นร่อง

6.4.1.2 สัญญาณภาพ 2D ในแกนภาพที่ถูกขยายและแกนความถี่



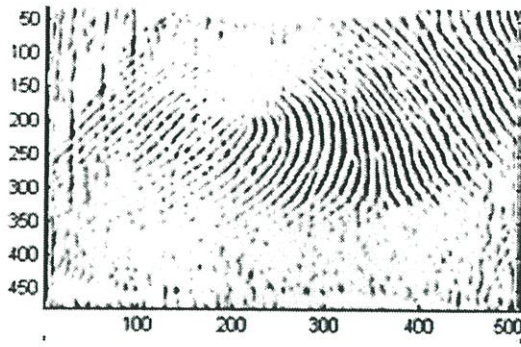
รูปที่ 6.18 สัญญาณภาพขยายของเส้นลายนิ้วมือในพื้นที่บางส่วนก่อนการปรับปรุงด้วยส่วนกรองกบอร์และผลตอบสนองด้านความถี่



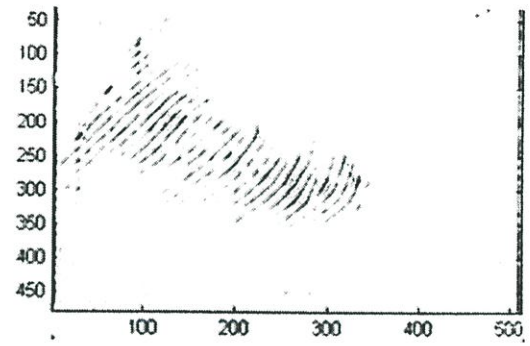
รูปที่ 6.19 สัญญาณภาพขยายของเส้นลายนิ้วมือในพื้นที่บางส่วนหลังการปรับปรุงด้วยส่วนกรองกบอร์และผลตอบสนองด้านความถี่

เป็นผลการใช้ชุดกรองกบอร์ทิศทางในทิศทางเดียวกับเส้นลายนิ้วมือ และลักษณะภาพที่ได้รับมีการปรับปรุงด้านความชัดเจนของเส้นนูนและเส้นร่องของภาพลายนิ้วมือ

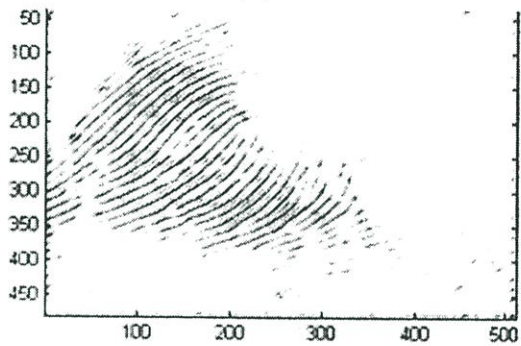
รูปที่ 6.20 แสดงภาพที่ได้จากชุดกรองกบอร์ทิศทางในทิศทางต่างๆ โดยมีภาพป้อนเข้าเป็น 480×512 ภาพพวกนี้ได้ถูกแบ่งย่อยเพื่อทำการหาตัวแทนทิศทางในแต่ละพื้นที่ย่อยต่อไปและรูปที่ 6.21 แสดงภาพการปรับปรุงที่ได้จากการทิศทางกบอร์ที่นิยมใช้กันทั่วไป



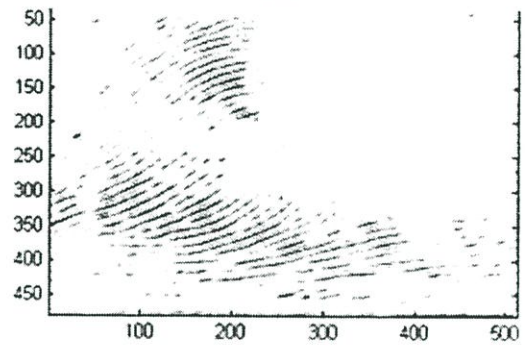
(ก)



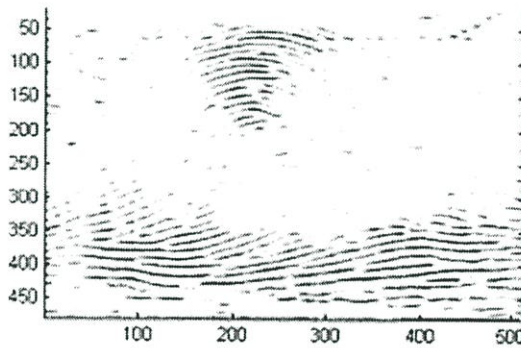
(ข)



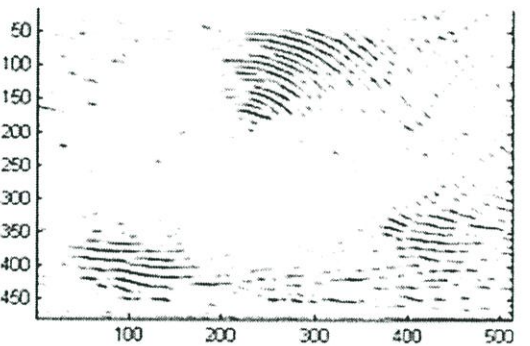
(ค)



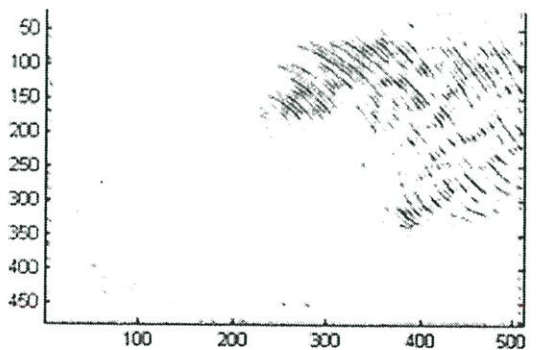
(ง)



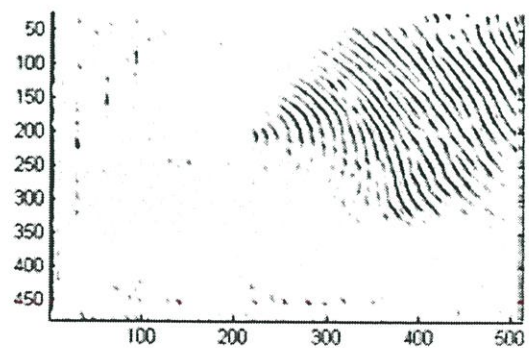
(จ)



(ฉ)



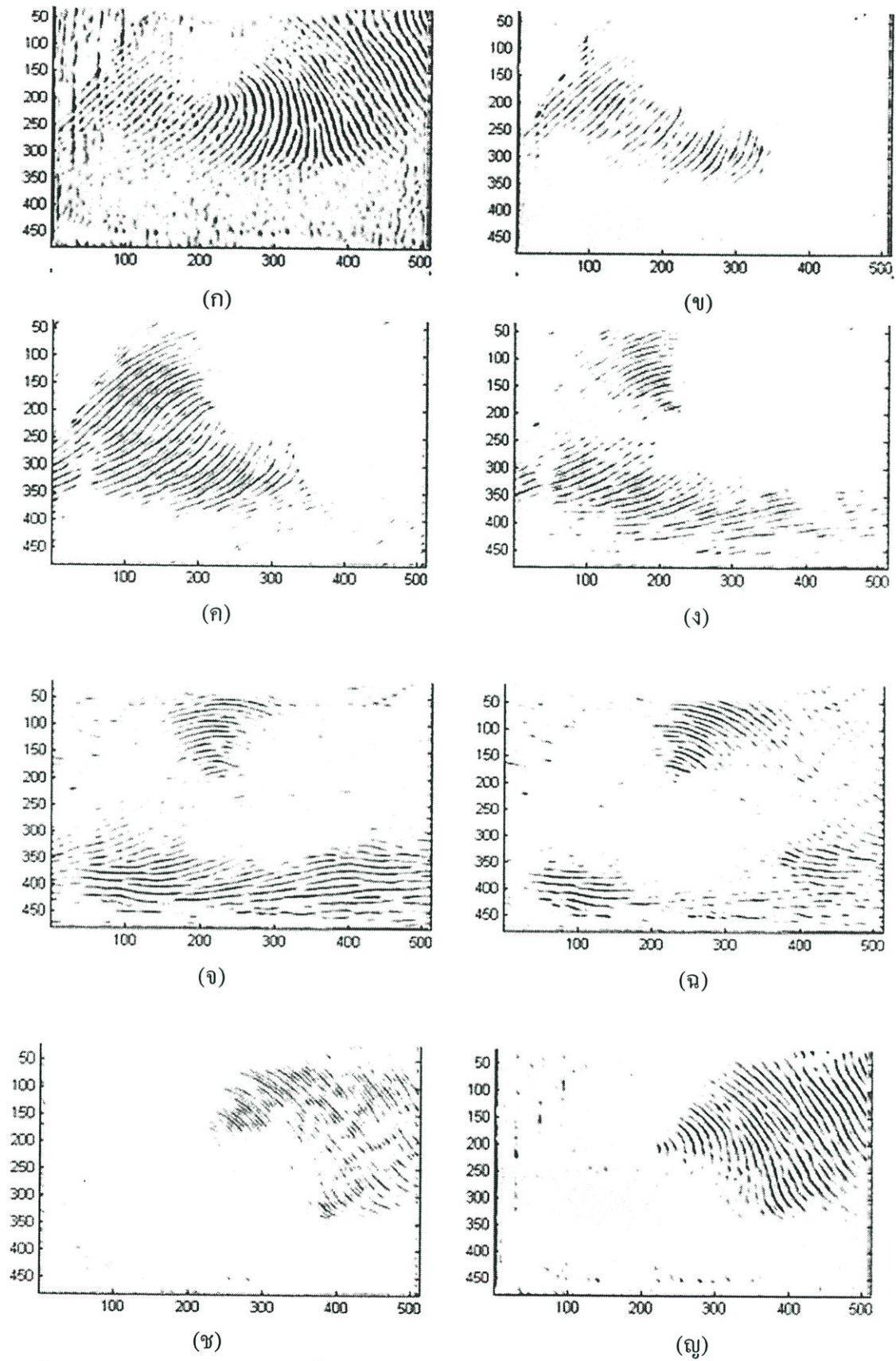
(ช)



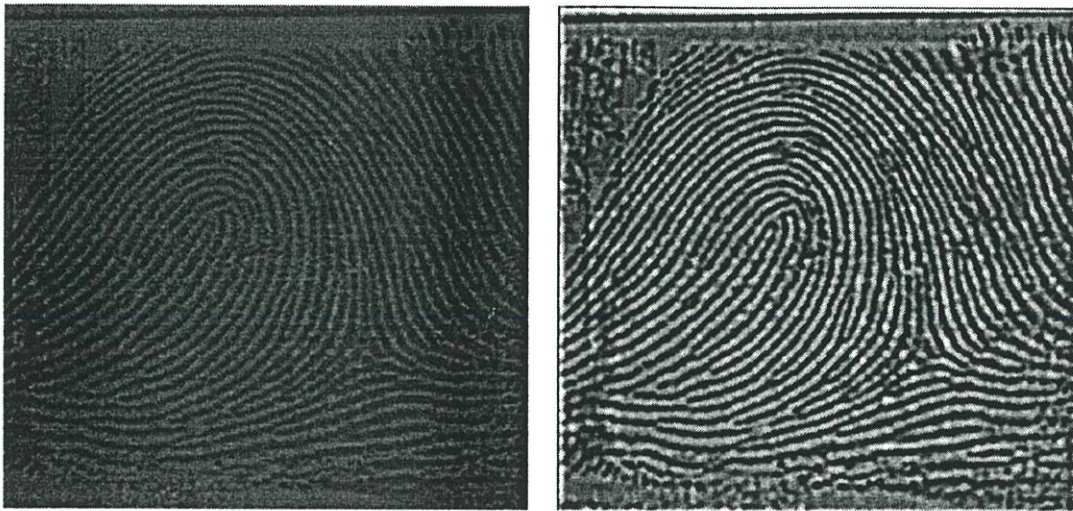
(ญ)

รูปที่ 6.20 ภาพ 2 มิติของเส้นลายนิ้วมือกับชุดกรงกาบอร์ในทิศทางต่างๆ (ก) 90 องศา (ข) 22.5

องศา (ค) 45 องศา (ง) 72.5 องศา (จ) 90 องศา (ฉ) 102.5 องศา (ช) 135 องศา (ญ) 172.5

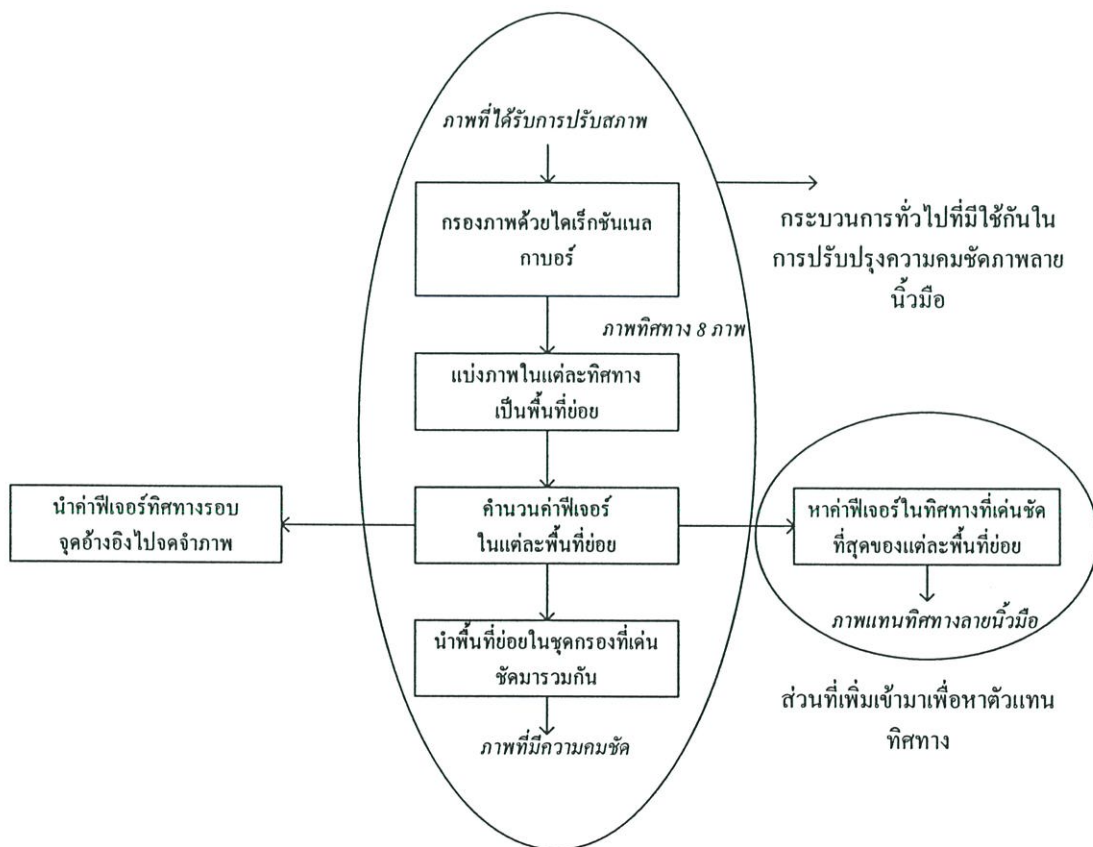


รูปที่ 6.20 ภาพ 2 มิติของเส้นลายนิ้วมือกับชุดกรองคาบอร์ในทิศทางต่างๆ (ก) 90 องศา (ข) 22.5 องศา (ค) 45 องศา (ง) 72.5 องศา (จ) 90 องศา (ฉ) 102.5 องศา (ช) 135 องศา (ฌ) 172.5 องศา



รูปที่ 6.21 ภาพเส้นลายนิ้วมือก่อนและหลังการปรับปรุง สังเกตความชัดเจนของเส้นลายนิ้วมือที่มีความคมชัดของลายเส้นเพิ่มขึ้น

6.4.2 ในด้านการค้นหาทิศทางเส้นลายนิ้วมือและมินูเชีย



รูปที่ 6.22 ขั้นตอนการหาทิศทางภาพลายนิ้วมือและภาพที่มีความคมชัดของเส้นลายนิ้วมือ

รูปที่ 6.22 แสดงขั้นตอนการกระทำในการหาทิศทางโครงสร้างภาพลายนิ้วมือที่น่าเสนอในบทความวิทยานิพนธ์ วิธีนี้เริ่มจากนำภาพป้อนเข้าที่ผ่านการปรับสภาพสมมูลที่มีขนาด 480×512 มา

ผ่านชุดกรองโคเร็กซ์เนลกาบอร์ทิศทางๆ ทั้งหมด 8 ทิศทาง แล้วนำภาพที่ได้ในแต่ละทิศทางมารวมกันเป็นการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือแสดงในรูปที่ 6.21 ซึ่งนิยมใช้กันในการปรับปรุงความคมชัดของภาพลายนิ้วมือเพื่อนำไปประมวลผลในขั้นต่อไปเช่นการแปลงเป็น 2 ระดับภาพและหาลายเส้นภาพ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้พีเจอร์เดียวกับการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือเพื่อค้นหาทิศทางตัวแทนในแต่ละพื้นที่ย่อยโดยวิธีการคำนวณแสดงในสมการที่ 5.17 เป็นการกระทำที่รวดเร็วเนื่องจากเป็นการนำพีเจอร์ที่ต้องใช้ในการปรับปรุงภาพมาประมวลผลหาทิศทางโดยตรงและให้ลักษณะภาพตัวแทนทิศทางที่สมบูรณ์และละเอียด มีบางบทความที่นำพีเจอร์เหล่านี้ไปจดจำภาพลายนิ้วมือ [1] การใช้งานชุดกรองกาบอร์จากคุณลักษณะเฉพาะของความสามารถด้านทิศทางของกาบอร์ กระบวนการได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 หรือหนังสืออ้างอิง [17]

ในส่วนนี้เป็นการใช้วิธีการของวิทยานิพนธ์เทียบกับวิธีการค้นหาทิศทางทั่วไป



รูปที่ 6.23 การค้นหาทิศทางภาพลายนิ้วมือโดยวิธีการของ Rao A.[20] โดยใช้การหาค่าเกรเดียนจากเกรเดียนเทมเพลตแล้วหาทิศทางรวม

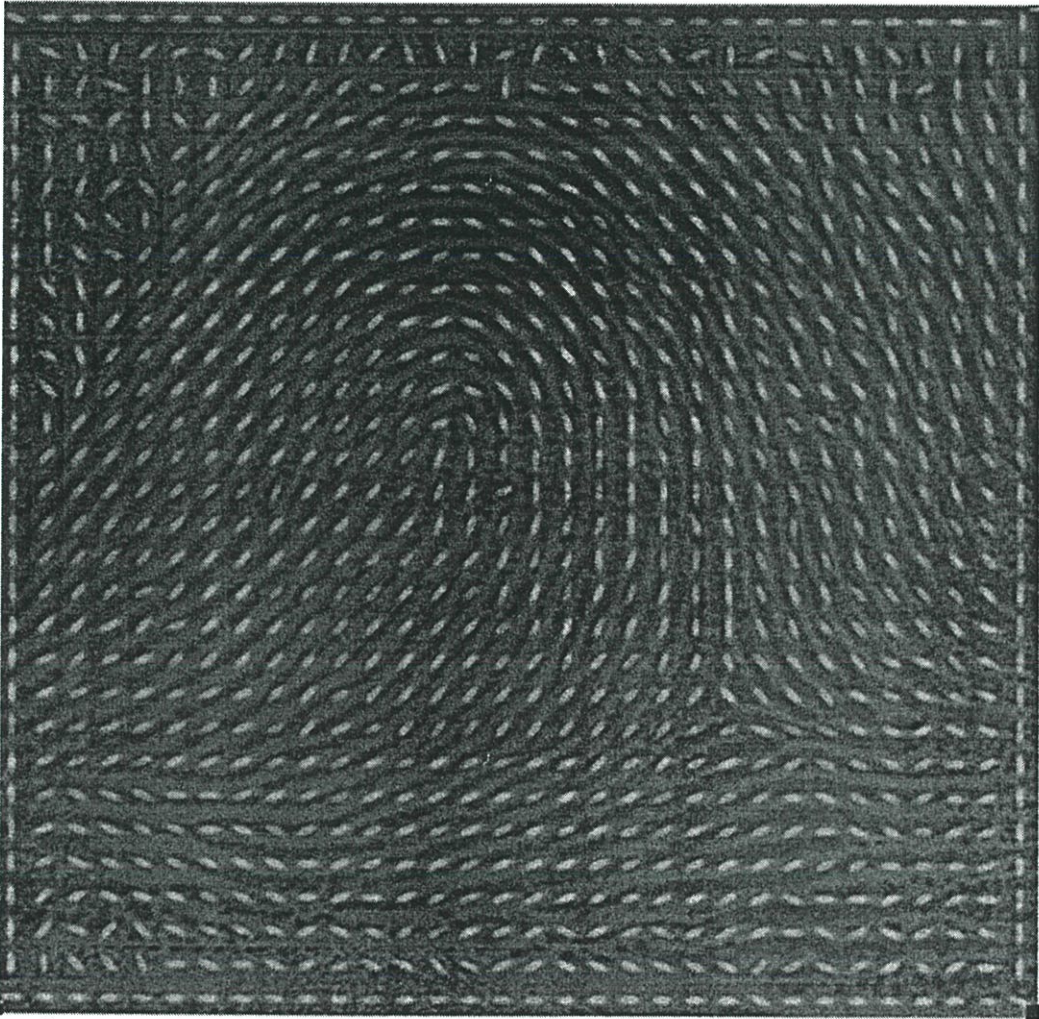


รูปที่ 6.24 การค้นหาทิศทางภาพลายนิ้วมือโดยวิธีการของ Lin H.[4] โดยใช้การหาค่าเกรเดียนจากเกรเดียนเทมเพลตแล้วหาทิศทางรวม แล้วมีการใช้ส่วนกรองความถี่ต่ำในจากเวกเตอร์ไซนูซอยด์

รูปที่ 6.23 และ 6.24 เป็นรูปร่างอิงของการทดลองการค้นหาทิศทางแบบ Rao A. และ Lin H. ตามลำดับ สังเกตว่าการหาทิศทางแบบ Rao A. ค่อนข้างสับสน ส่วนการปรับปรุงทิศทางแบบ Lin H. การปรับปรุงทิศทางถูกปรับปรุงโดยใช้ลักษณะส่วนกรองความถี่ต่ำไซนูซอยด์ ทำให้ขาดรายละเอียดสำหรับการค้นหา minutiae หรือรายละเอียดบางส่วนของจุดอ้างอิง (สังเกตในตำแหน่งจุดอ้างอิง ซึ่งในกรณีที่ภาพมีการหมุน การเปลี่ยนแปลงของทิศทางมีการเปลี่ยนไป ทำให้ตำแหน่งการค้นหาจุดอ้างอิงมีโอกาสผิดพลาดสูง รายละเอียดดังกล่าวและแสดงในหัวข้อการค้นหาจุดอ้างอิงที่ระดับรายละเอียดภาพขนาดต่างๆ)

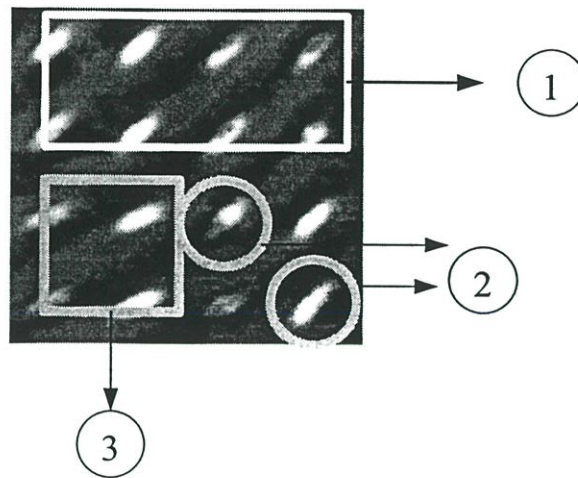
ในวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอได้ปรับหน้าต่าง การเลื่อนของหน้าต่าง รวมทั้งค่าคุณลักษณะเฉพาะสำหรับการปรับส่วนกรองกabor 2 ชุด

1. เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาการค้นตำแหน่ง minutiae ทิศทางภาพที่ได้จากหน้าต่างแบบนี้ค่อนข้างอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของทิศทางเส้นลายนิ้วมือ
2. เพื่อใช้สำหรับการค้นหาจุดอ้างอิง ทิศทางภาพที่ได้ยังคงรักษาความละเอียดแต่เพิ่มความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของทิศทางเส้นลายนิ้วมือ



รูปที่ 6.25 ภาพทิศทางจากค่าการปรับแต่งชุดแรก ค่าไวต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางเล็กน้อย เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงที่มาจากมินูเซีย แต่การเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมาะสมคือ เปลี่ยนมากกว่า ± 25 องศาควรได้รับการแก้ไข (ภาพนี้ยังไม่ได้แสดงการแก้ไข เนื่องจากการแก้ไขแสดงหลังจากการแยกส่วนข้อมูลที่ดีหรือแย่)

รูปที่ 6.25 เป็นภาพทิศทางที่ได้จากชุดเวกเตอร์กานอร์ที่นำเสนอโดยการภาพทิศทางที่เลือก ลงบนแต่ละพื้นที่ย่อยที่ทำการค้นหาเห็นได้ว่าตัวแทนทิศทางเส้นลายนิ้วมือที่ได้ไปในทิศทาง เดียวกับโครงสร้างทิศทางเส้นลายนิ้วมือ ยกเว้นภาพพื้นหลังและบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมาก การแก้ไขได้กล่าวในหัวข้อต่อไปและในรูปที่ 6.26 แสดงให้เห็นในกรณีที่เลือกหน้าต่างการประมวลผลที่มีความละเอียดสูง โดยมีพื้นที่ดำเนินการ 16×16 และมีระยะการเลื่อนจุดการคำนวณ เป็น 10×10 ในบางตำแหน่งสามารถค้นหาตำแหน่งมินูเซียได้จากภาพทิศทางโดยตรงซึ่งไม่สามารถทำได้จากกระบวนการของ Rao A. และ Lin H.

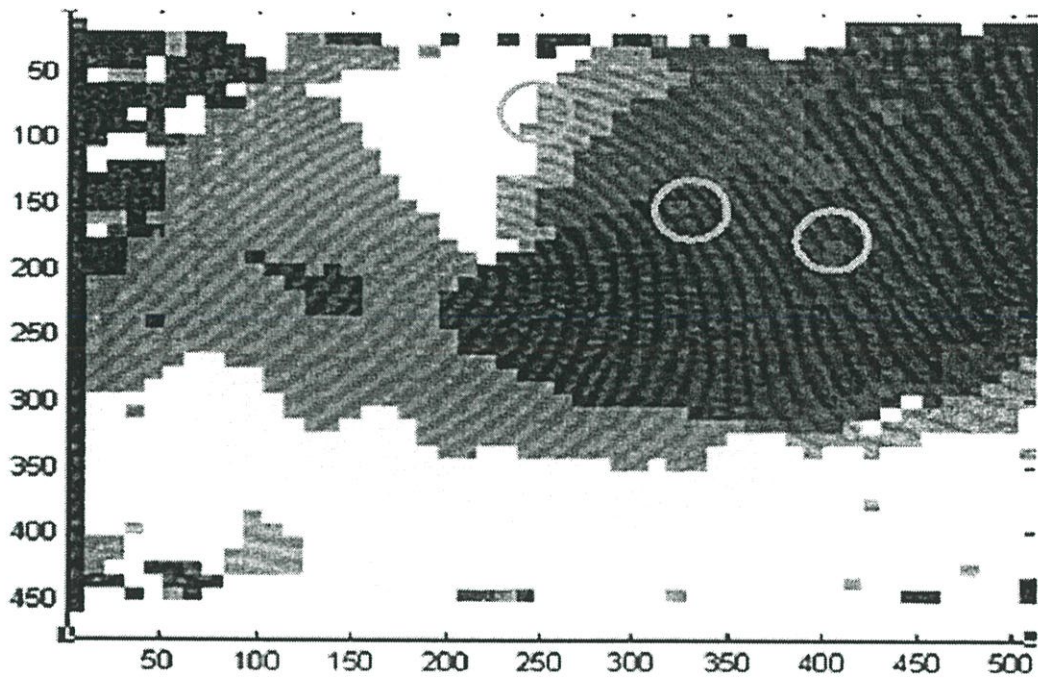


รูปที่ 6.26 ภาพขยายทิศทางเส้นลายนิ้ว ส่วนที่1 เป็นพื้นที่ทิศทาง 45 องศา ส่วนที่2 ตำแหน่งที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางอันเนื่องมาจากเส้นแยกมินูเซีย ส่วนที่3 เป็นพื้นที่ที่มีทิศทาง 22.5 องศา สังเกตได้ว่าสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงของทิศทางน้อยๆที่อาจมาจากมินูเซีย ระบุตำแหน่งมินูเซียเพื่อการจดจำลายนิ้วมือซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปได้(จุดจบเป็นลักษณะเดียวกับจุดแยกเมื่อทำค่ากลับระดับความเข้มจุดภาพ)

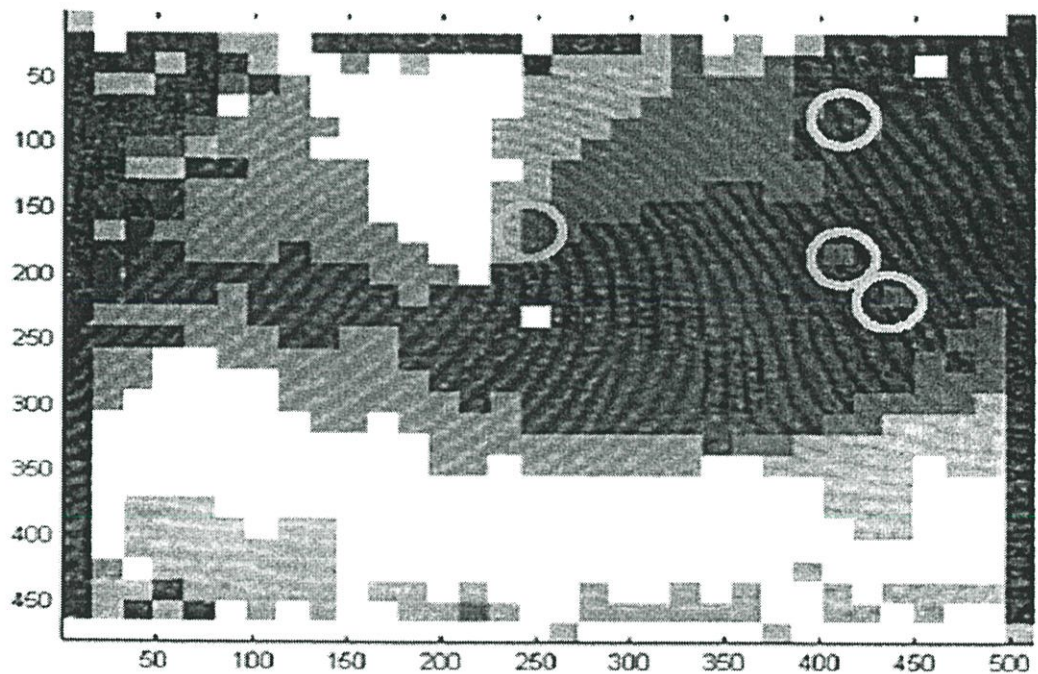
ในบทวิทยานิพนธ์ได้ทำการแทนที่กลุ่มเวกเตอร์ทิศทางในรูปของระดับสีเทาขนาดต่างๆกัน เพื่อให้สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเวกเตอร์ทิศทางได้อย่างชัดเจน รูปที่ 6.27 แสดงโอกาสที่สามารถค้นหาตำแหน่งมินูเซียได้จากเวกเตอร์ทิศทางโดยที่รายละเอียดของเวกเตอร์ทิศทางต้องมีเพียงพอที่สามารถระบุเส้นกึ่งของมินูเซีย เส้นจบ (ridge ending) เมื่อทำการแปลงผกผัน (inverse) ภาพจะกลายเป็นตำแหน่งเส้นกึ่ง ซึ่งสามารถระบุได้

นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ได้ทำการหามินูเซียจากชุดของเวกเตอร์โคเร็กชันเนลเกาส์เซียน โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ในแต่ละเบสิสทิศทาง ซึ่งตำแหน่งที่เป็นมินูเซียสามารถแยกออกจากพื้นที่ธรรมดาได้ที่มีทิศทางเส้นลายนิ้วมือไปยังทิศทางหนึ่งซึ่งมีความเด่นชัดของสัมประสิทธิ์ของเบสิสหนึ่งในเซต 5.16 แต่ยังไม่สามารถแยกตำแหน่งมินูเซียจากสัญญาณรบกวนได้เนื่องจากการเปลี่ยนของเวกเตอร์ทิศทางในตำแหน่งมินูเซีย ทำให้สัมประสิทธิ์ในแต่ละเบสิสไม่ชัดเจนคล้ายบริเวณที่มีสัญญาณรบกวน แต่เป็นงานวิจัยที่มีโอกาสพัฒนาต่อไปได้ ในวิทยานิพนธ์ไม่ได้นำเสนอผลการทดลองในส่วนนี้เนื่องจากเป็นผลการทดลองที่ยังไม่สมบูรณ์

รูปที่ 6.28 เป็นรูปเวกเตอร์ทิศทางในลักษณะความเข้มระดับสีเทาที่นำไปค้นหาจุดอ้างอิงต่อไป รูปนี้เกิดจากการใช้หน้าต่างที่มีความละเอียดน้อยลงมากคือ พื้นที่ดำเนินการ 32×32 และมีระยะการเลื่อนจุดการคำนวณเป็น 10×10

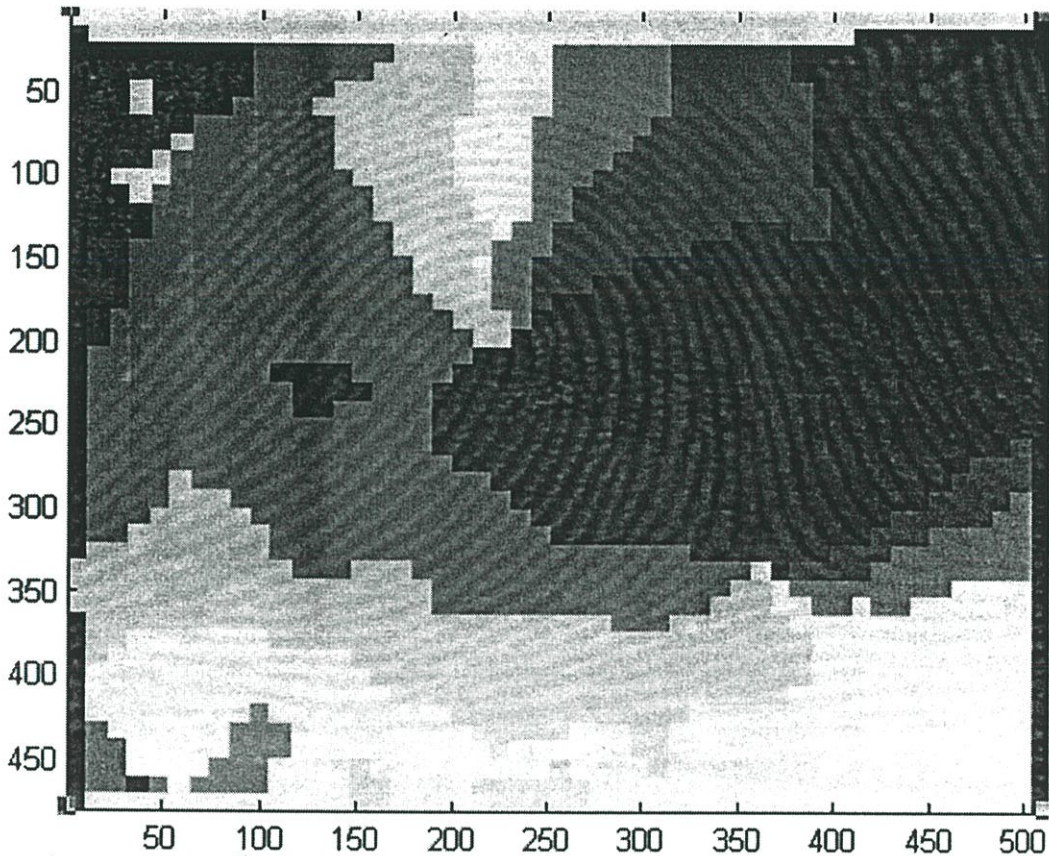


(ก)



(ข)

รูปที่ 6.27 ระดับความเข้มแทนทิศทางของภาพ สังเกตตำแหน่งวงกลมเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีของจุดภาพ และเป็นตำแหน่งเดียวกับมินูเซีย (เส้นแยก) (ก) กับ (ข) เป็นภาพเดียวกันแต่มีการกำหนดค่าตัวแปรให้กับชุดกรองกาบอร์ต่างกัน นอกจากนี้ระดับค่าของความกว้างพื้นที่ดำเนินการย่อยมีผลต่อการระบุจุดมินูเซีย จากภาพทั้ง 2 นี้แสดงให้เห็นถึงการ ใช้กาบอร์ในการระบุตำแหน่งมินูเซียสำหรับการพัฒนาในอนาคต



รูปที่ 6.28 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้การกำหนดค่าชุดที่เหมาะสมกับการแบ่งกลุ่ม สังเกตความต่อเนื่องและรายละเอียดของพื้นที่โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่จุดอ้างอิง

6.5 การใช้ Mask

หลังจากกระบวนการกำหนดทิศทางแทนเส้นลายนิ้วมือ ภาพที่ได้ยังคงไม่เหมาะสมสำหรับการจัดประเภทภาพลายนิ้วมือ เนื่องจากสัญญาณรบกวนรอบๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเลือกบริเวณที่สามารถดำเนินการได้และแก้ไขบริเวณที่ผิดพลาด

เนื่องจากสัญญาณขอบภาพลายนิ้วมือในฐานข้อมูลที่ใช้มักมีสิ่งรบกวน มีการประทับนิ้วที่น้ำหนักเบา และสัญญาณบริเวณขอบภาพไม่เหมาะสมสำหรับการค้นหาจุดอ้างอิงเพื่อการแบ่งประเภทภาพต่อไป ดังนั้นสัญญาณบริเวณขอบภาพได้ตัดทิ้งด้านละ 50 จุดภาพ

การค้นหาบริเวณที่ไม่ดี วิธีการค้นหาได้ตามที่นำเสนอในบทที่ 5 สรุปได้ดังนี้

1. ภาพพื้นหลัง ใช้ค่าเบี่ยงเบนในพื้นที่ย่อย สมการที่ 5.19 โดยตั้งสมมุติฐานว่าภาพพื้นหลังเป็นภาพเนื้อเดียวมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ในกรณีมีเฉพาะสัญญาณรบกวนที่ซึ่งคือพื้นหลัง ดังนั้นพื้นที่บริเวณนี้ไม่จำเป็นต้องมีการแก้ไข แต่มีการทำการมาสก์ไว้ การแก้ไขเกิดขึ้นถ้าเป็นส่วนหนึ่งของค่าตัวแทนกลุ่มที่ต้องใช้ตัดสินใจในการแบ่งประเภท

2. หากค่าเบี่ยงเบนที่ได้จากภาพที่ผ่านส่วนกรองความถี่กึ่งแบนด์ เนื่องจากการค้นหาค่าทิศทางของภาพใช้ค่าจากภาพส่วนที่ผ่านกรองความถี่กึ่งแบนด์แล้วมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังนั้นในกรณีที่ค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดจากภาพชุดกรองทั้งหมดค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ กำหนดให้พื้นที่ดำเนินการย่อขนาดนั้นมีสัญญาณรบกวน สมการที่ 5.20

เนื่องจากการรวมกันระหว่างสัญญาณรบกวนกับสัญญาณภาพจริง ดังนั้นบริเวณนี้สามารถแก้ไขได้โดยวิธีการแก้ไขมีเงื่อนไขและขั้นตอนดังนี้

1. สัญญาณรบกวนมีพื้นที่ไม่เกินค่าๆหนึ่ง ไม่น่าเกินพื้นที่ดำเนินการทิศทางขนาด 6 พื้นที่ย่อย

2. การเปลี่ยนแปลงของทิศทางที่ได้จากสัญญาณรบกวนไม่สับสน หรือเบี่ยงเบนเกินค่าๆหนึ่ง (ไม่น่าเกิน 2-3 ทิศทาง)

เมื่อพิจารณาทิศทางใกล้เคียงโดยรอบ สามารถจัดได้เป็น 2 ประเภท

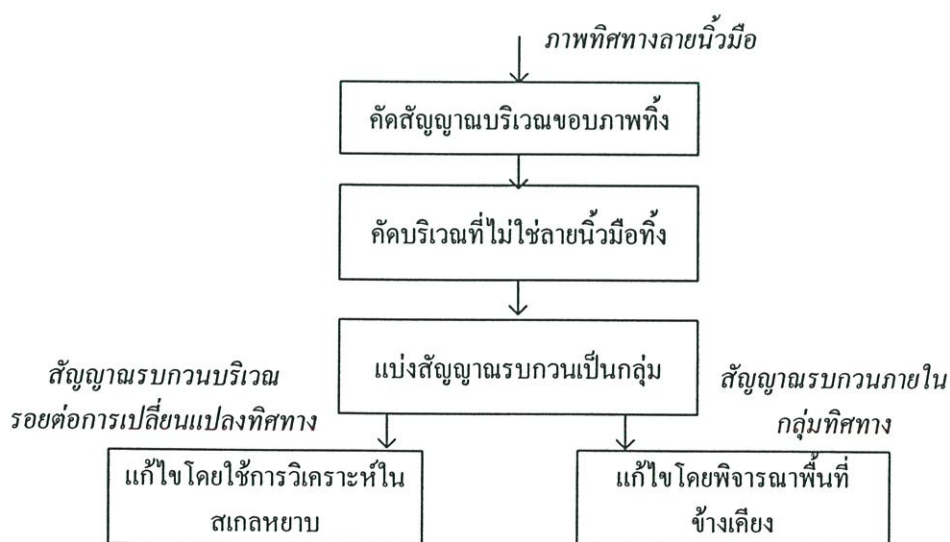
1. ทิศทางโดยรอบเหมือนกันหมด ให้เปลี่ยนพื้นที่ที่ต้องการแก้ไขเป็นค่าทิศทางโดยรอบ วิธีนี้เป็นวิธีเดียวกับการรวมตัว (Merging) ในวิธีการแบ่งกลุ่ม (clustering)

2 ในกรณีที่พื้นที่โดยรอบไม่เหมือนกัน อาจเนื่องมาจากตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ ทำให้ไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยหรือแทนที่ได้ วิธีนี้ใช้การกระทำ 2 ระดับชั้น การทำการหาทิศทางภาพ 2 ระดับชั้น

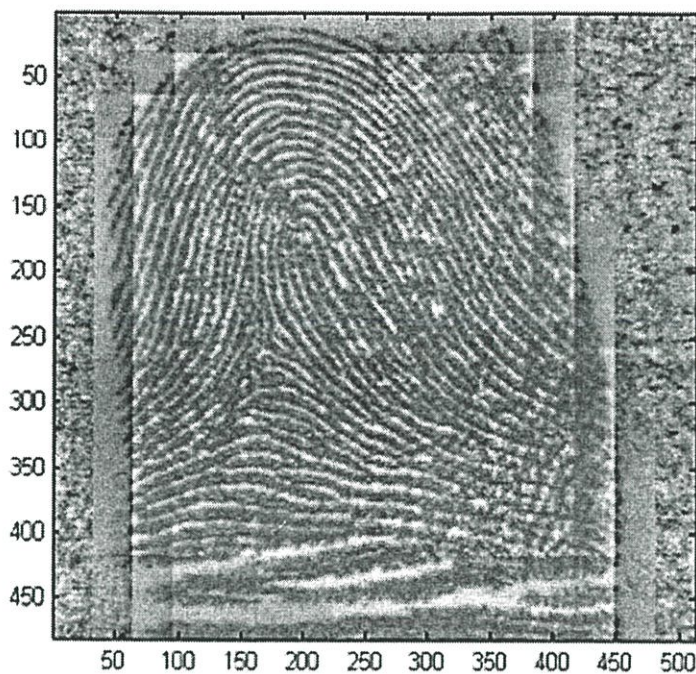
1 ขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อยขนาด 10×10 แต่มีส่วนดำเนินการจริงเป็น 16×16

2.ขนาดพื้นที่ดำเนินการขนาด 32×32

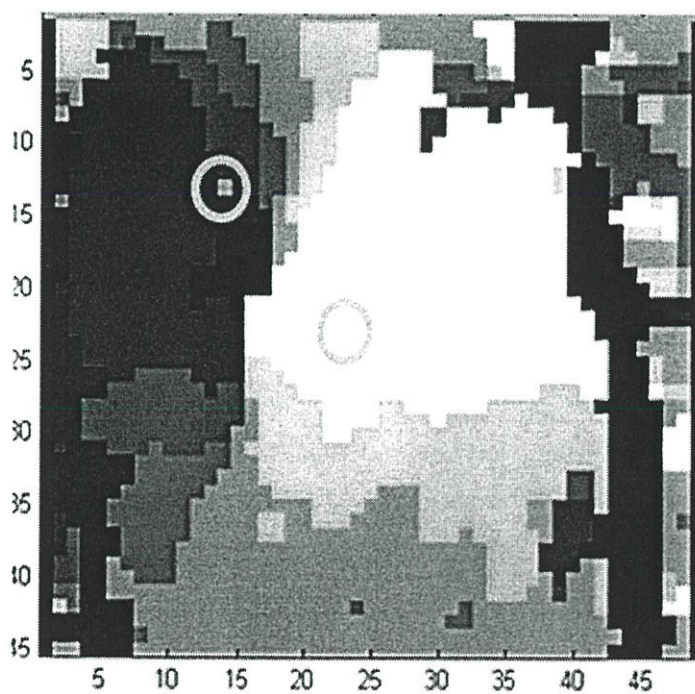
เมื่อระดับชั้นหรือพื้นที่ดำเนินการย่อยแบบละเอียดมีการผิดพลาดค่าที่นำมาแก้ไขนำค่าทิศทาง ณ ตำแหน่งจุดภาพเดียวกันของระดับชั้นสูงกว่ามาช่วยตัดสินใจ



รูปที่ 6.29 กระบวนการแก้ไขภาพลายนิ้วมือ

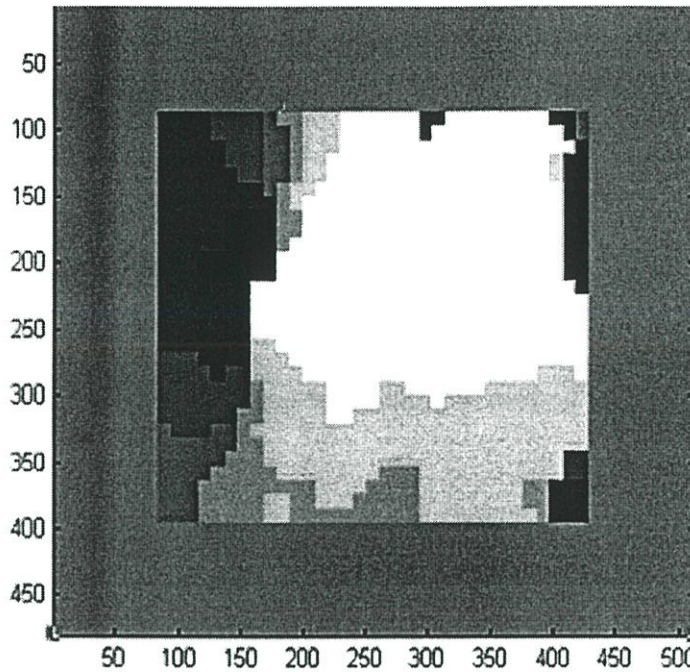


รูปที่ 6.30 ภาพลายนิ้วมือก่อนการดำเนินการจัดกลุ่มทิศทาง



รูปที่ 6.31 ภาพลายนิ้วมือหลังการดำเนินการจัดกลุ่มทิศทาง

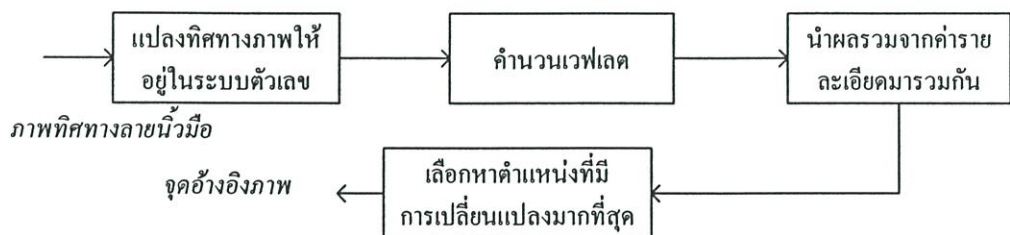
รูปที่ 6.30 แสดงภาพลายนิ้วมือป้อนเข้า รูปที่ 6.31 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ได้จัดกลุ่มทิศทาง และสัญญาณรบกวนที่วงกลมไว้และรูปที่ 6.32 แสดงภาพลายนิ้วมือหลังจากการแก้ไข



รูปที่ 6.32 ภาพลายนิ้วมือหลังการเลือกส่วนที่ดีของข้อมูลและจัดรายละเอียดของข้อมูลใหม่

6.6 การค้นหาจุดอ้างอิง

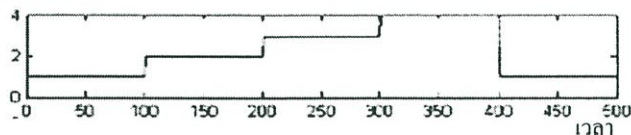
การวิเคราะห์เวฟเล็ตไม่สามารถกระทำบนเวกเตอร์ทิศทางของมุมได้โดยตรง เพื่อการวิเคราะห์ทางเวฟเล็ตจำเป็นต้องมีแปลงค่าตัวแทนกลุ่มทิศทางของเส้นลายนิ้วมือให้อยู่ในระบบของตัวเลขก่อน จากที่ได้กล่าวมาในบทที่ 5 ระบบตัวเลขจำนวนจริงเริ่มจากค่าน้อยสุด $-\alpha$ ไปยังค่ามากที่สุด α ไม่สามารถนำมาแทนที่ทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ เพราะค่าความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงทิศทางระหว่างมุมที่ใกล้เคียงควรมีค่าเท่ากัน แต่ของจุดเริ่มต้นกับจุดปลายของระบบเลขจำนวนจริงมีค่าไม่เท่ากัน เช่น เราให้ 1, 2, 3, 4 แทนทิศทางของลายเส้นของภาพลายนิ้วมือ 90 องศา, 45 องศา, 0 องศา, -45 องศา ค่าความแตกต่างของ 90 องศา กับ -45 องศา เท่ากับ $|1 - 4| = 3$ และค่าความแตกต่างของ 90 องศา กับ 45 องศา เท่ากับ $|1 - 2| = 1$ เห็นได้ว่ามีค่าไม่เท่ากันทั้งๆควรมีค่าความแตกต่างที่เท่ากัน เมื่อแทนค่ามุมด้วยระบบเลขจำนวนจริงทำให้เมื่อแปลงเวฟเล็ตวิเคราะห์หาจุดที่มีการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงบริเวณนี้มีค่ามาก



รูปที่ 6.33 กระบวนการค้นหาจุดอ้างอิง

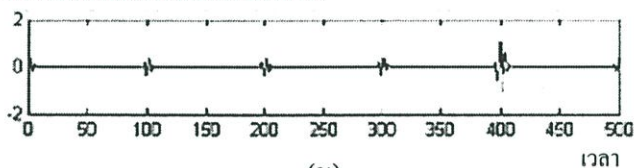
6.6.1 การแทนค่าทิศทาง

ขนาดระบบเลขจำนวนจริง



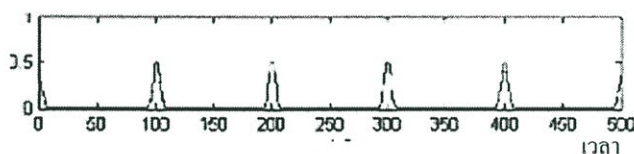
(ก)

ขนาดที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กระบบเลขจำนวนจริง



(ข)

ขนาดที่ได้จากการแปลงเวฟเล็กระบบเลขเชิงซ้อนแทนค่ามุม



(ค)

รูปที่ 6.34 การแทนค่ามุมด้วยระบบเลข (ก) จำนวนจริง โดยมุมมีการเปลี่ยนแปลง 90 องศา, 45 องศา, 0 องศา, -45 องศาแล้วกลับมาที่ 90 องศา (ข) ผลการแปลงเวฟเล็ตเพื่อพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระบบเลขจำนวนจริง (ค) ผลการแปลงเวฟเล็ตเพื่อพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระบบเลขที่อิงกับเชิงซ้อน

รูปที่ 6.34 แสดงการเลือกใช้ระบบตัวเลขที่เหมาะสมในการแทนทิศทางภาพ ดังนั้นสรุปการแทนค่ามุมเป็นดังนี้ รายละเอียดการแปลงได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.6.2

$$-1 + 0j = 0^\circ$$

$$0.707(-1 + j) = 22.5^\circ$$

$$0 + 1j = 45^\circ$$

$$0.707(1 + j) = 77.5^\circ$$

$$1 + 0j = 90^\circ$$

$$0.707(1 - j) = 102.5^\circ$$

$$0 - j = 135^\circ$$

$$-0.707(1 + j) = 157.5^\circ$$

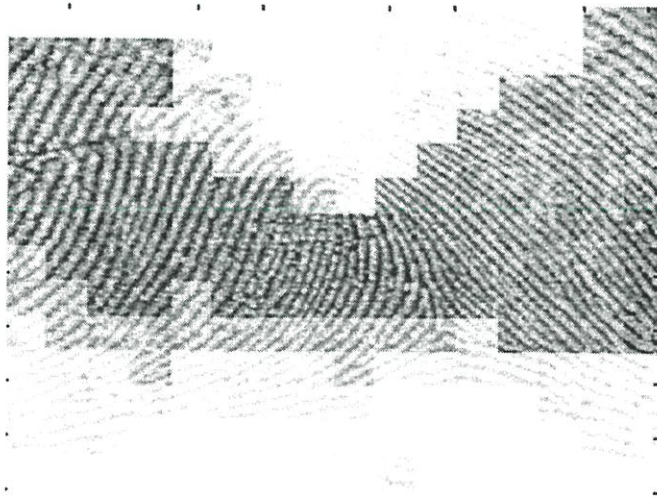
ค่าขนาดของระบบเชิงซ้อนที่อิงกับมูมนี่มีขนาดเป็น 1 เพื่อป้องกันผลกระทบของขนาดกับการแปลงเวฟเล็ต

6.6.2 การแปลงเวฟเล็ตสำหรับระบบทิศทางการค้นหาจุดอ้างอิง

6.6.2.1 ที่มุมปกติ

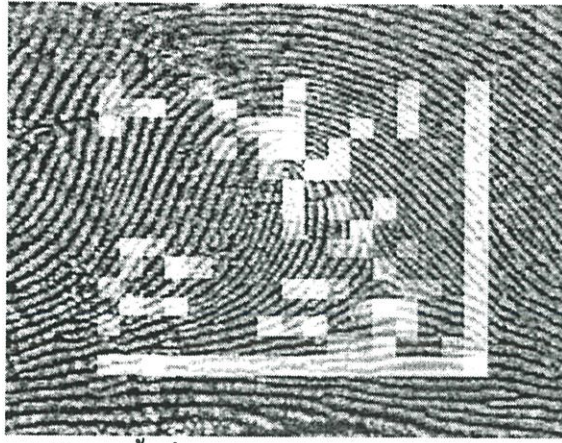


รูปที่ 6.35 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 และมีการเลื่อน 10×10 ที่มุมปกติ



รูปที่ 6.36 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 ที่มุมปกติ

รูปที่ 6.35 และ 6.36 แสดงตัวอย่างกลุ่มทิศทางภาพลายนิ้วมือ โดยรูปที่ทำการค้นหาจุดอ้างอิงเป็นรูปที่ 6.35 ในกรณีที่สัญญาณรบกวนเกิดขึ้นที่ตำแหน่งรอยต่อทิศทางในรูปที่ 6.30 การแก้ไขจะใช้รูปที่ 6.36 ร่วมทำการแก้ไขโดยวิธีการได้กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมา

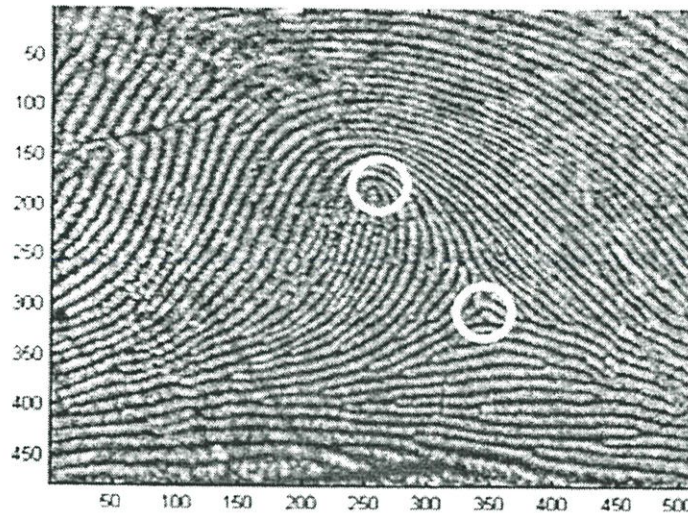


รูปที่ 6.37 ผลการแปลงเวฟเล็ตบนพื้นที่ทิศทางโดยตรงแสดงจุดอ้างอิงของภาพลายนิ้วมือที่มุ่มปกติ



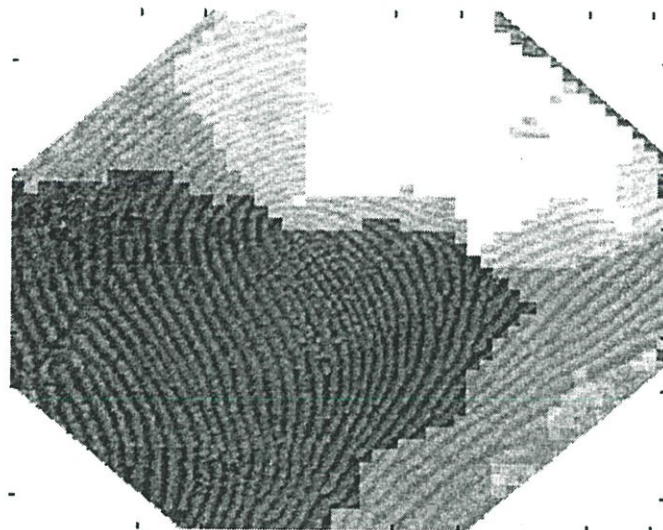
รูปที่ 6.38 ผลการแปลงเวฟเล็ตบนพื้นที่ทิศทางขนาด 480×512 แสดงจุดอ้างอิงของภาพลายนิ้วมือที่มุ่มปกติ

ผลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตและรวมค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนรายละเอียดเบสิสในแนวนอนแนวตั้งและทะแยงมุมในรูปค่าสมบูรณ์ (absolute) แสดงได้ในรูปที่ 6.37 ในกรณีที่เรทำการแปลงขนาดภาพทิศทางให้เป็น 480×512 ก่อนกระทำการแปลงเวฟเล็ตภาพที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 6.38 ส่วนรูปที่ 6.39 แสดงตำแหน่งจุดอ้างอิงที่ทำการเลือกหลังจากการคัดเลือกค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดค่าหนึ่ง (threshold)



รูปที่ 6.39 ตำแหน่งจุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสนใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดที่มุมปกติ

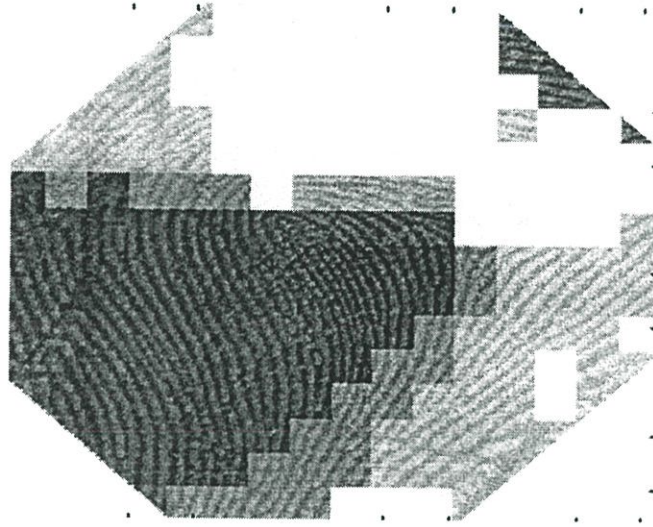
6.6.2.2 ที่มุม 45 องศา ทวนเข็มนาฬิกา



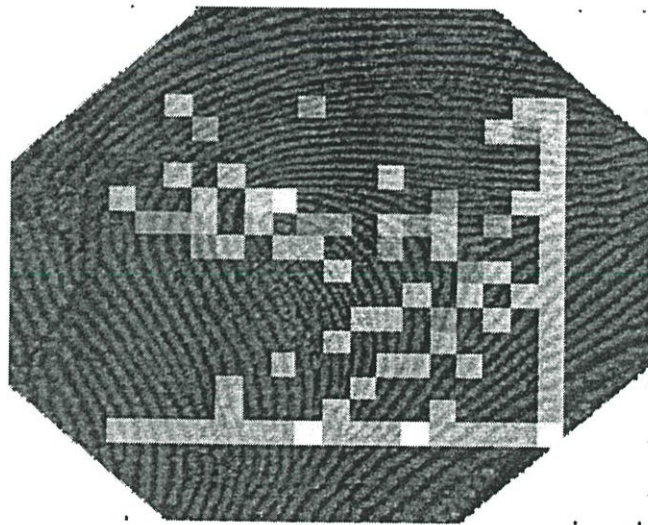
รูปที่ 6.40 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 และมีการเลื่อน 10×10 ที่มุม 45 องศา ทวนเข็มนาฬิกา

รูปที่ 6.40 เป็นผลจากการนำรูปที่ 6.35 มาทำการหมุนโดยที่ขนาดรายละเอียดทางความถี่คงเดิมโดยใช้ฟังก์ชัน `imrotate(x,ang,'crop')` และรูปที่ 6.41 เป็นภาพสเกลขยายของรูปที่ 6.40 และนำภาพทิศทางจากรูป 6.40 ที่ได้ทำการแปลงเวฟเล็ด ผลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดและรวมค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนรายละเอียดเบสิสในแนวนอน แนวตั้งและทะแยงมุมในรูปค่าสมบรูณ์

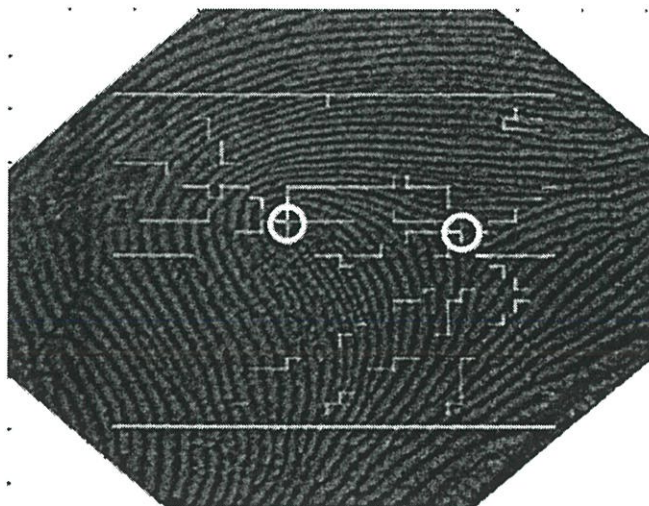
(absolute) แสดงได้ในรูปที่ 6.42 ในกรณีที่เรทำการแปลงขนาดภาพทิศทางให้เป็น 480×512 ก่อนกระทำการแปลงเวฟเล็ดภาพที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 6.43 ส่วนรูปที่ 6.44 แสดงตำแหน่งจุดอ้างอิงที่ทำการเลือกหลังจากการคัดเลือกว่าค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดค่าหนึ่ง (threshold)



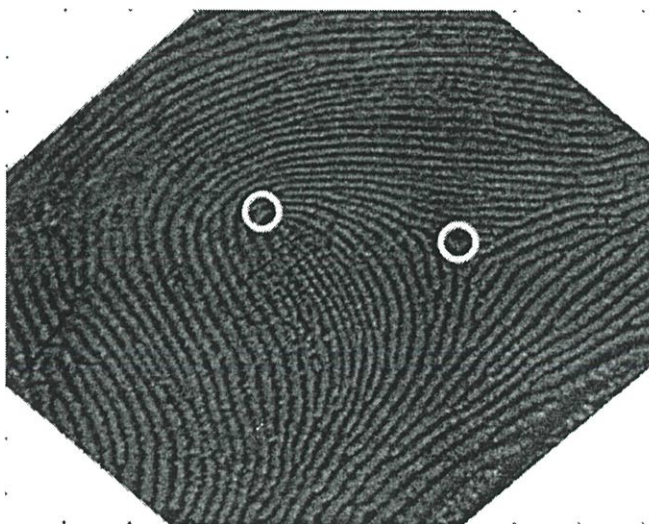
รูปที่ 6.41 ภาพทิศทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 ที่มุมปกติที่มุม 45 องศาทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 6.42 การแปลงเวฟเล็ดบนพื้นที่ทิศทางโดยตรงแสดงจุดอ้างอิงที่มุม 45 องศาทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 6.43 การแปลงเวฟเล็บบนภาพทิศทางขนาด 480×512 และจุดอ้างอิงที่มุม 45 องศาทวนเข็มนาฬิกา

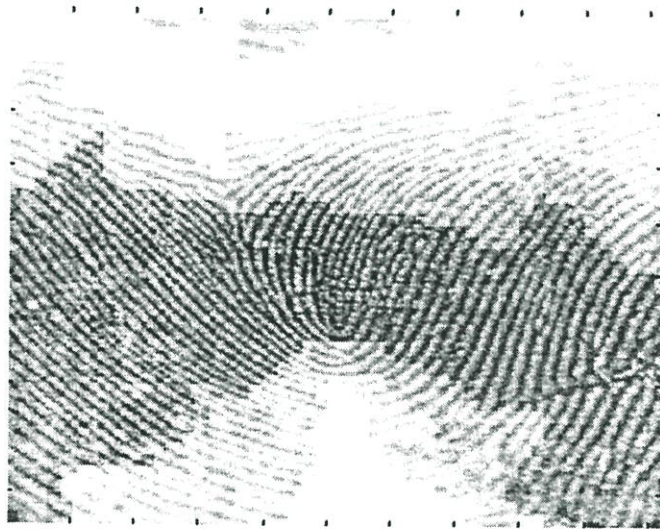


รูปที่ 6.44 จุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสินใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดที่มุม 45 องศาทวนเข็มนาฬิกา

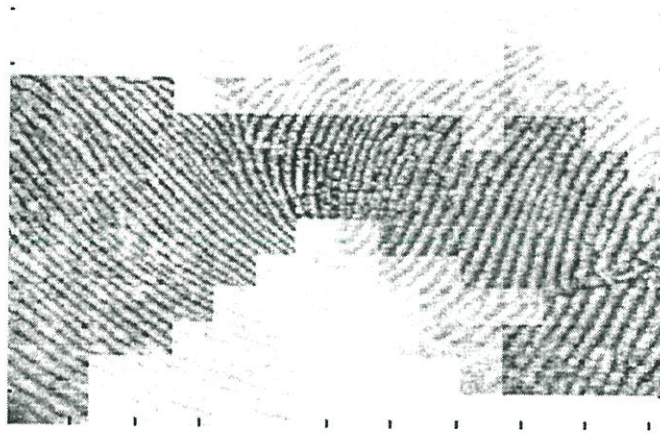
6.6.2.3 ที่มุม 180 องศา

รูปที่ 6.45 เป็นผลจากการนำรูปที่ 6.35 มาทำการหมุน 180 องศาโดยที่ขนาดรายละเอียดทางความถี่คงเดิม โดยใช้ฟังก์ชัน `imrotate(x,ang,'crop')` และรูปที่ 6.46 เป็นภาพสเกลขยายของรูปที่ 6.45 และนำภาพทิศทางจากรูป 6.45 ที่ได้ทำการแปลงเวฟเล็ด ผลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดและรวมค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนรายละเอียดเบสิสในแนวนอน แนวตั้งและทะแยงมุมในรูปค่าสมบูรณ์ (absolute) แสดงได้ในรูปที่ 6.47 ในกรณีที่เรทำการแปลงขนาดภาพทิศทางให้เป็น 480×512

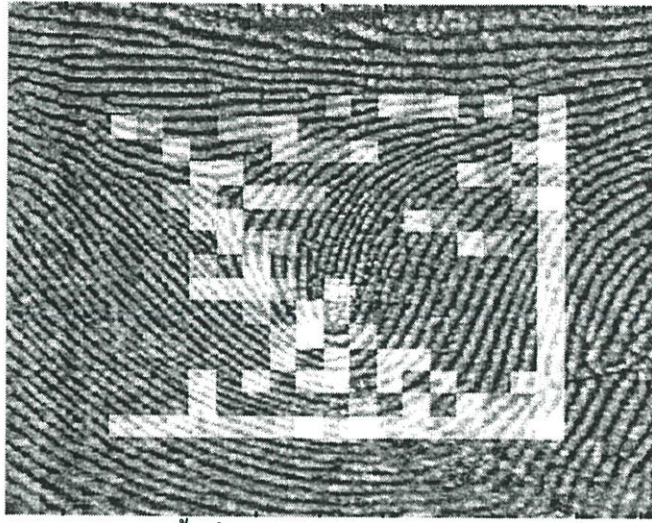
ก่อนกระทำการแปลงเวฟเล็ตภาพที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 6.48 ส่วนรูปที่ 6.49 แสดงตำแหน่งจุดอ้างอิงที่ทำการเลือกหลังจากการคัดเลือกค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดค่าหนึ่ง (threshold)



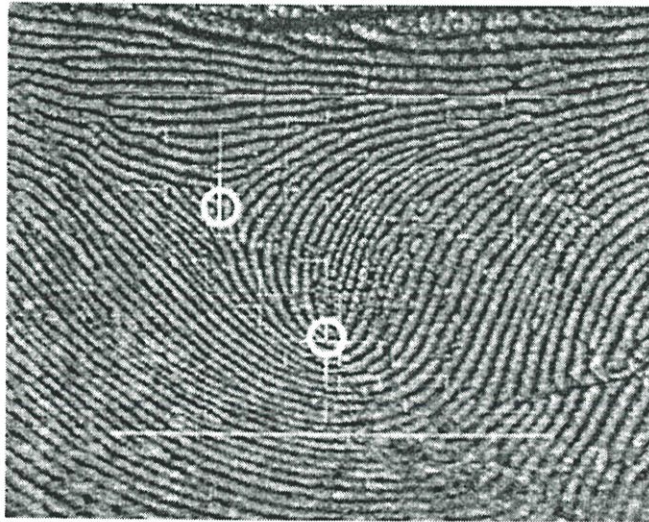
รูปที่ 6.45 ภาพทิสทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 และมีการเลื่อน 10×10 ที่มุม 180 องศา



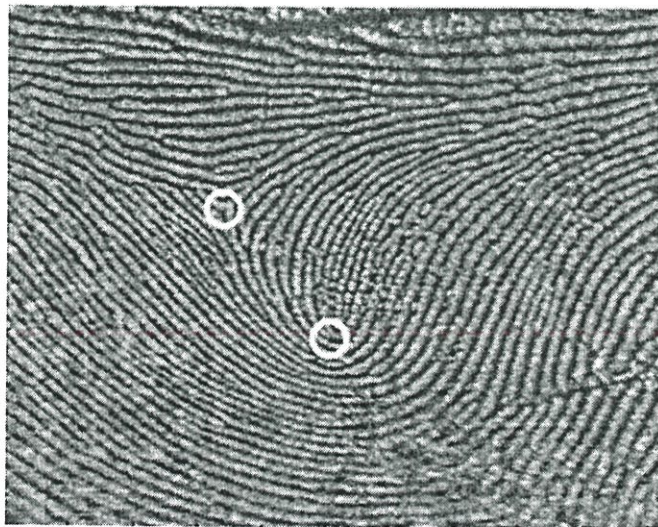
รูปที่ 6.46 ภาพทิสทางขนาดพื้นที่ดำเนินการย่อย 32×32 ที่มุมปกติที่มุม 180 องศา



รูปที่ 6.47 ผลการแปลงเวฟเล็ดบนพื้นที่ทิศทาง โดยตรงแสดงจุดอ้างอิงที่มุม 180 องศาทวนเข็มนาฬิกา



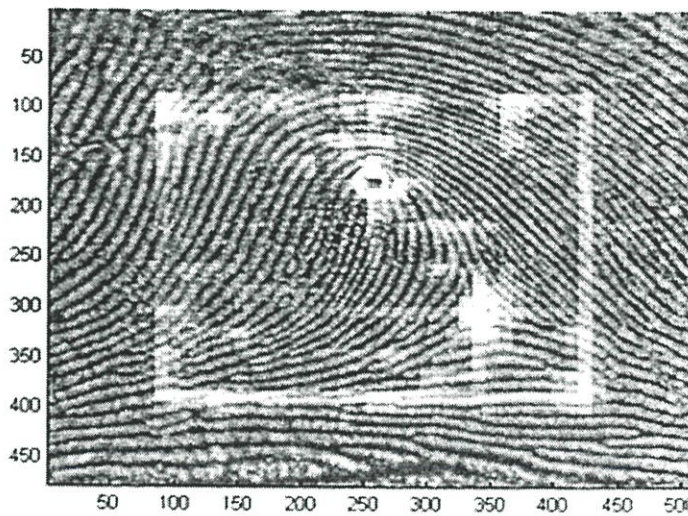
รูปที่ 6.48 การแปลงเวฟเล็ดบนภาพทิศทางขนาด 480×512 จุดอ้างอิงที่มุม 180 องศาทวนเข็มนาฬิกา



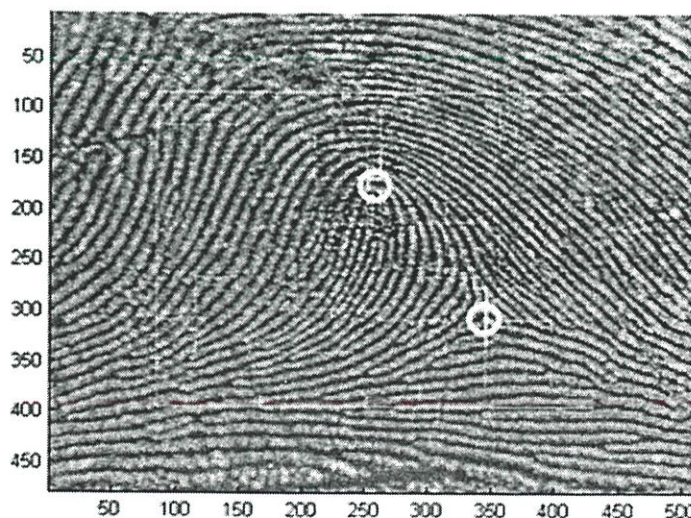
รูปที่ 6.49 จุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสินใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดที่มุม 45 องศา

6.6.2.4 การใช้ db1 ,db2

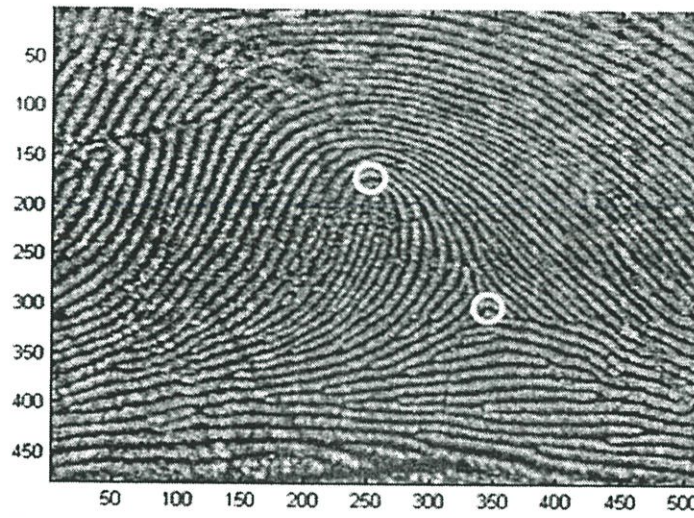
ภาพในส่วนผลการทดลองที่แล้วได้มาจากการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้เบส db1 หรือ Harr ในหัวข้อย่อยนี้เป็นการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้เบสแบบ db2 สังเกตได้ว่า db1 มีความไวต่อสัญญาณการเปลี่ยนแปลงมากกว่ารวมทั้งสัญญาณที่เกิดจากรบกวน ดังนั้นความไวต่อการเปลี่ยนแปลงลดลง แสดงดังในรูปที่ 6.50 และรูปที่ 6.51 ตำแหน่งที่มีค่าสูงจากการเปลี่ยนแปลงเวฟเล็ตเนื่องจากบริเวณสัญญาณรบกวนน้อยลง และเมื่อขยายขนาดภาพทิศทางเป็น 480×512 ก่อนทำการแปลงเส้นขอบการเปลี่ยนแปลงมีความชัดเจนมากแสดงได้ในรูปที่ 6.53 รูปที่ 6.52 แสดงผลหลังผ่านการคัดเลือกหาตำแหน่งจุดอ้างอิงโดยเปรียบเทียบค่าขนาดจากการแปลงเวฟเล็ตกับค่าที่ตั้งไว้



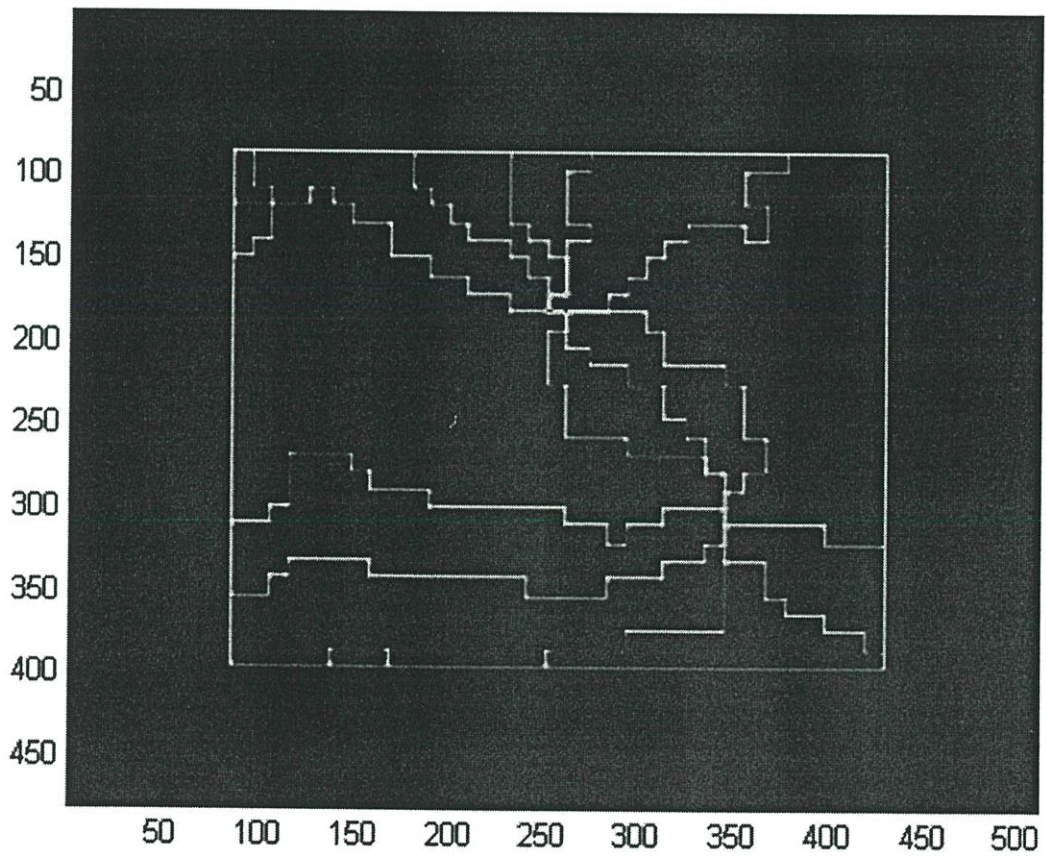
รูปที่ 6.50 จุดอ้างอิงหลังที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตเบส db2



รูปที่ 6.51 จุดอ้างอิงหลังที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตเบส db2 และสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทาง



รูปที่ 6.52 จุดอ้างอิงหลังจากทำการตัดสนใจเลือกจากค่าที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต db2



รูปที่ 6.53 ลายเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเส้นลายนิ้วมือที่สามารถคำนวณได้จากเบสิสแบบ db2

จากรูปผลการทดลองทั้งหมด เกี่ยวกับการคำนวณตำแหน่งจุดอ้างอิงจากภาพทิศทางของลายนิ้วมือโดยใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบ db1 สามารถค้นหาตำแหน่งอ้างอิงได้ถูกต้องโดยไม่ขึ้นกับการเลื่อนและการหมุนของภาพ

ทว่าในบางภาพการแปลงเวฟเล็ดตำแหน่งที่ค้นหาได้อาจเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนทิศทางมากที่สุดอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนด้วย การใช้เบสิสแบบ db2 สามารถลดความไวต่อสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของสัญญาณรบกวน

การประยุกต์ใช้การแทนที่ทิศทางแบบนี้และการตรวจจับตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด สามารถนำไปใช้กับภาพทั่วไปได้ด้วย เช่น ค้นหาตำแหน่ง ดวงตา จมูก และอื่นๆของภาพ

นอกจากนี้การใช้เบสิสแบบ db2 สามารถค้นหาตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางในภาพ วิธีการที่นำเสนอนี้ไม่เหมือนกับการหาค่าเส้นขอบ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนระดับความเข้ม แต่เป็นการนำเวกเตอร์ทิศทางของโครงร่างภาพมาประมวลผล เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงทิศทางที่เกิดขึ้นในภาพ

6.6.2.5 ผลการค้นหาจุดอ้างอิง

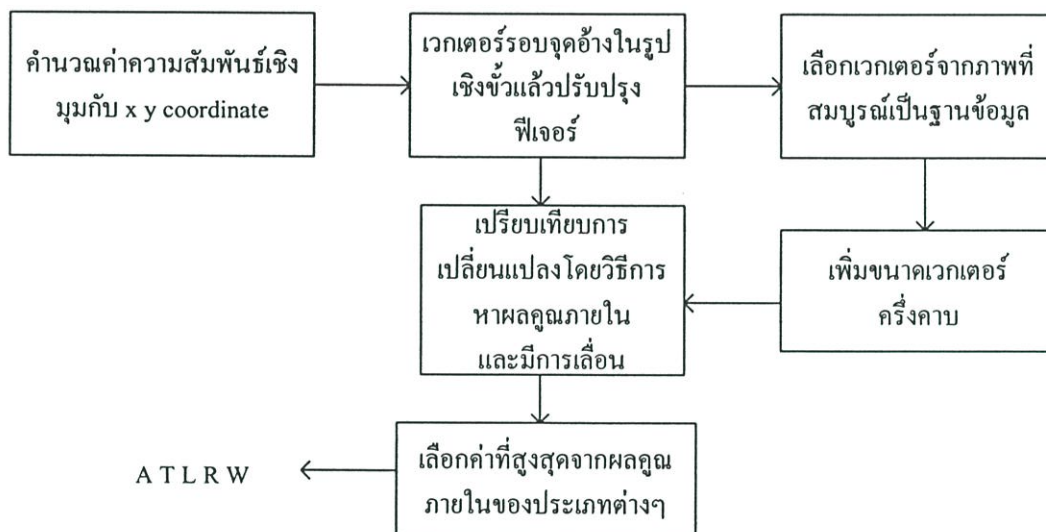
ตารางที่ 6.1 ผลของการแปลงภาพลายนิ้วมือในแต่ละประเภทลายนิ้วมือเทียบกับเบสิสของเวฟเล็ดแบบต่างๆ

รูปแบบ	จำนวนทั้งหมด	จำนวนภาพที่ถูกต้องจากการแปลงเวฟเล็ดด้วย			
		db1	db2	db3	db4
ลูบซ้าย	5	4	5	4	1
ลูบขวา	5	3	4	3	1
วน	5	4	5	4	0
อาร์ช	7	5	7	4	2
เต็นท์	3	3	2	2	0
ผลรวม	25	19	23	17	4
ร้อยละ	100	76	92	68	16

จากตารางที่ 6.1 แสดงผลการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ ซึ่งค่าที่ผิดพลาดอันเนื่องมาจาก
 - ลักษณะของภาพลายนิ้วมือที่นำมาประมวลผล บางภาพสูญเสียมากจนเกินกว่าแก้ไขได้
 -การจัดการกับสัญญาณรบกวนที่สามารถแก้ไขได้ยังไม่ดีพอ

6.7 การจัดประเภทภาพลายนิ้วมือ

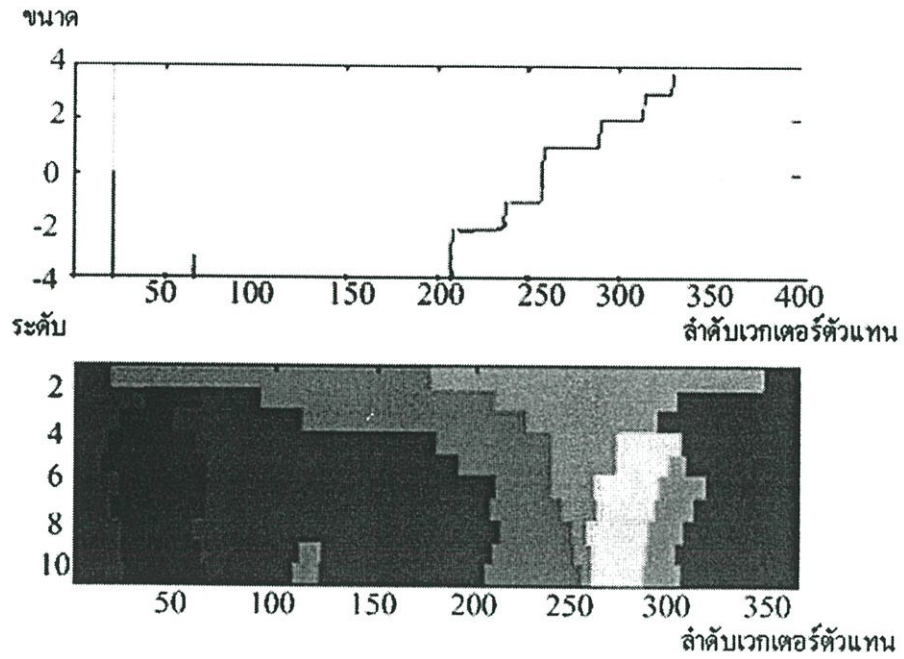
เนื่องจากการทดลองมุ่งหวังพิจารณาความเหมาะสมของลักษณะตัวแทนกลุ่มที่ใช้ ดังนั้นระบบการจดจำเป็นแบบง่ายๆ เพียงการนำข้อมูลเข้าสู่ฟังก์ชันตัดสินใจที่สร้างขึ้นมา (รายละเอียดในบทที่5) แล้วพิจารณาค่าสูงสุด ไม่มีการเรียนรู้ค่าตัวแทนกลุ่มจากข้อมูลที่ใช้ การเลือกใช้ฐานข้อมูลมาจากการสุ่มจากตัวอย่างข้อมูลที่ต้องการป้อนเข้าโดยพยายามเลือกภาพที่สมบูรณ์ที่สุด กระบวนการสรุปไว้ในรูปที่ 6.54



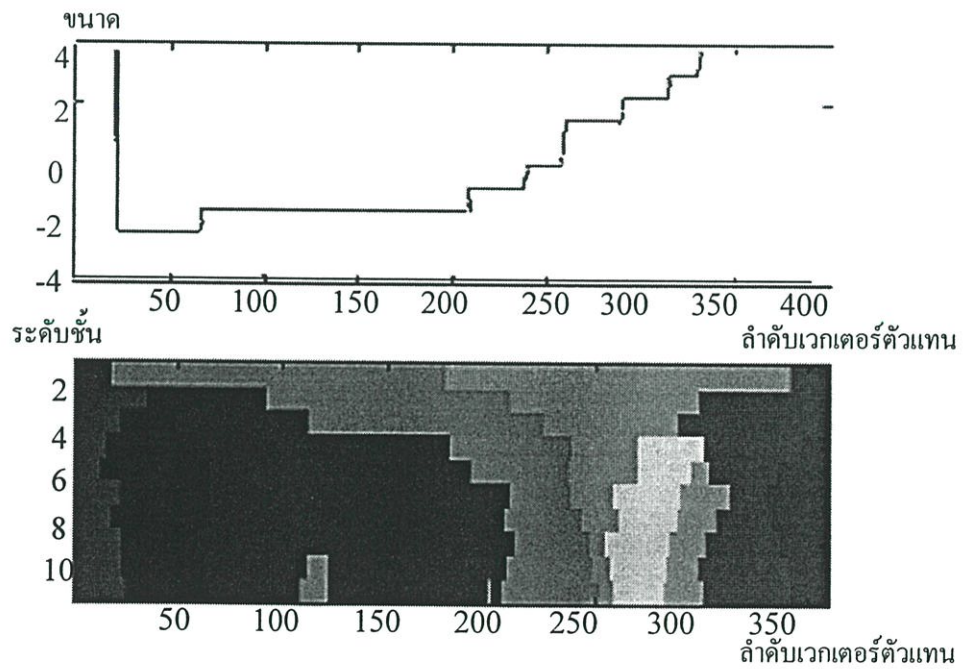
รูปที่ 6.54 ขั้นตอนการแบ่งประเภทภาพ

6.7.1 ลักษณะตัวแทนข้อมูลที่เลือกใช้

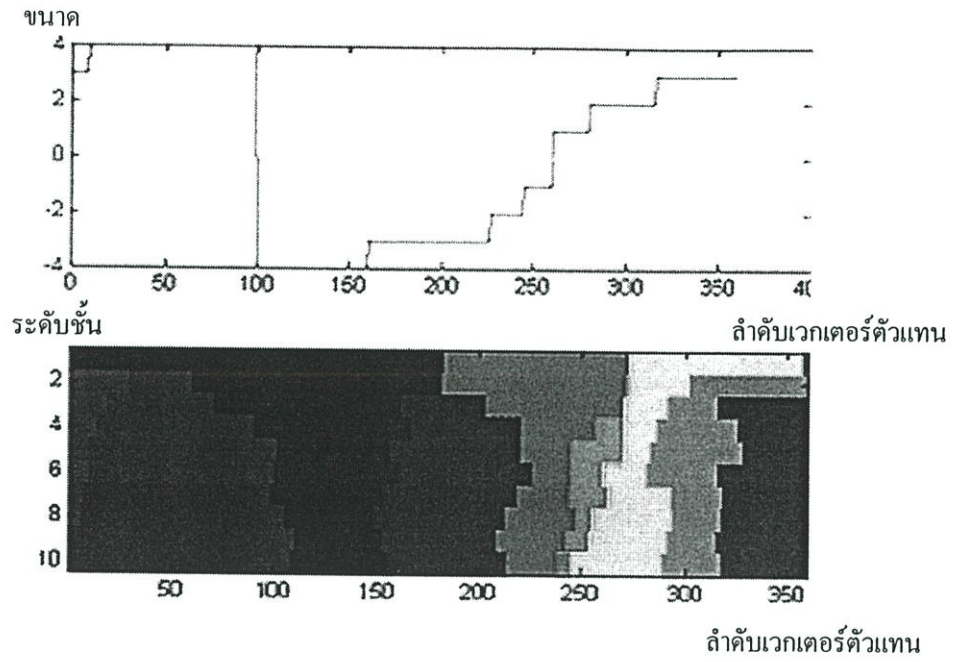
ตัวแทนข้อมูลที่ได้เป็น ระบบจำนวนเชิงซ้อนแทนค่าทิศทางเส้นลายนิ้วมือขนาด 360 องศาประกอบแทนมุมรอบวงกลม 360 องศา และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอาจมาจากการเปลี่ยนขนาดหรือความถี่ในการเปลี่ยนทิศทางดังนั้นจึงเลือกใช้การเปลี่ยนแปลงในช่วงรัศมี 30-100 จุดภาพจากตำแหน่งจุดอ้างอิงที่ซึ่งเป็นระดับชั้นที่ 3-10 ของรัศมีวงกลม รูปที่ 6.55 ถึงรูปที่ 6.60 เป็นตัวอย่างกลุ่มข้อมูลของแต่ละประเภทลายนิ้วมือวนซ้าย วนขวา กั้นหอย เต็มที่ อาร์ช ตามลำดับ



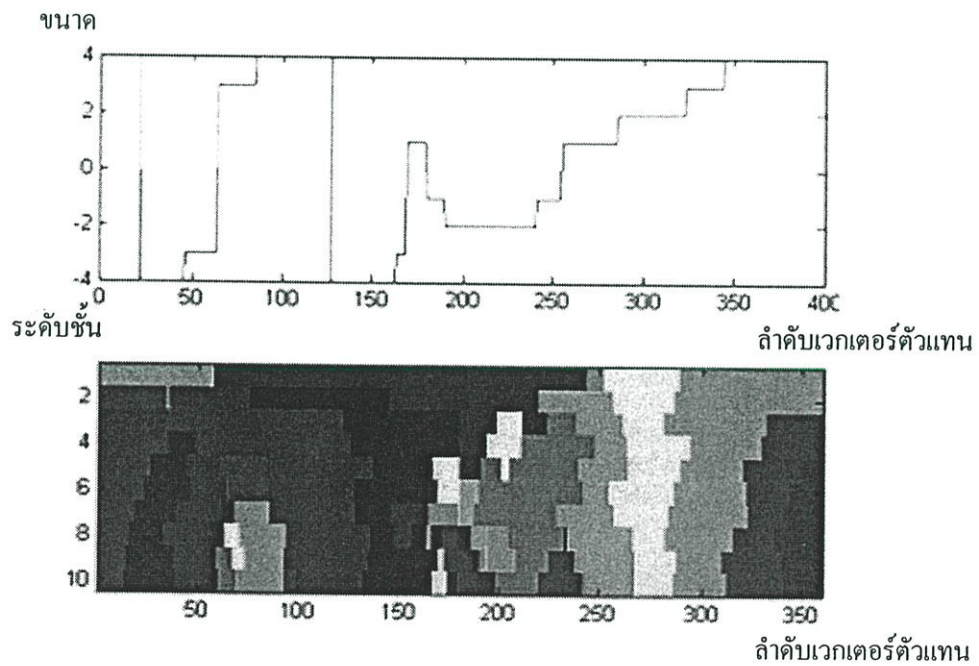
รูปที่ 6.55 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือวนซ้าย



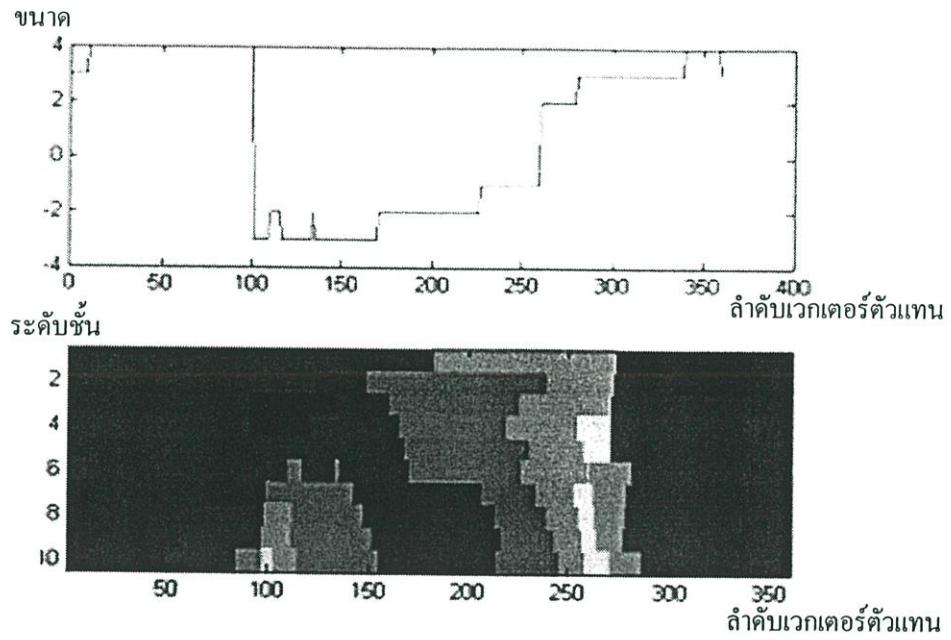
รูปที่ 6.56 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือวนซ้ายที่ได้รับการปรับค่าเฉลี่ยเป็น 0 และค่าการเบี่ยงเบนให้เป็น 1



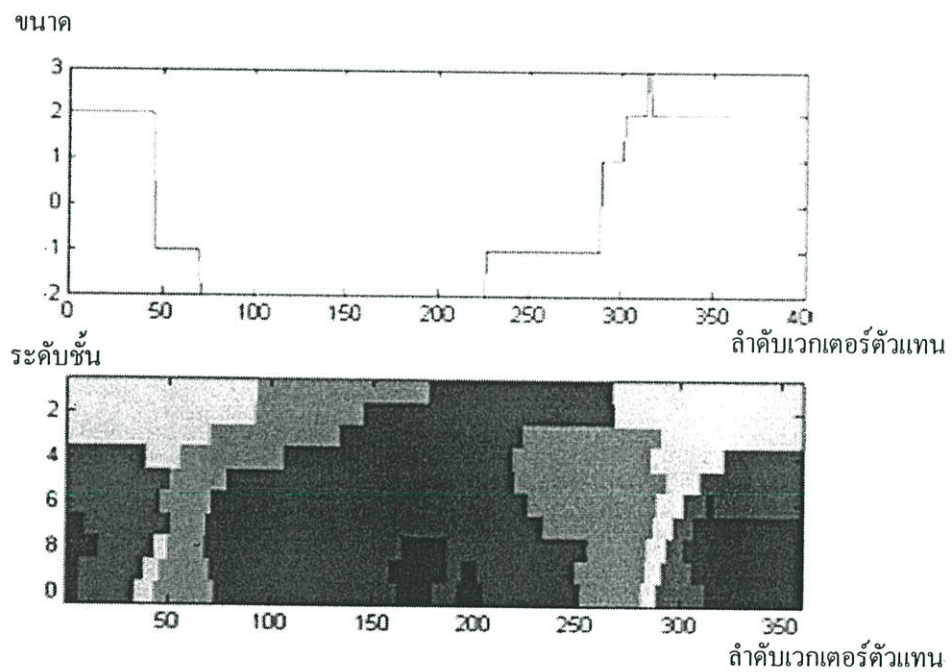
รูปที่ 6.57 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือวนขวา



รูปที่ 6.58 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือก้นหอย



รูปที่ 6.59 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมือเด็นท์

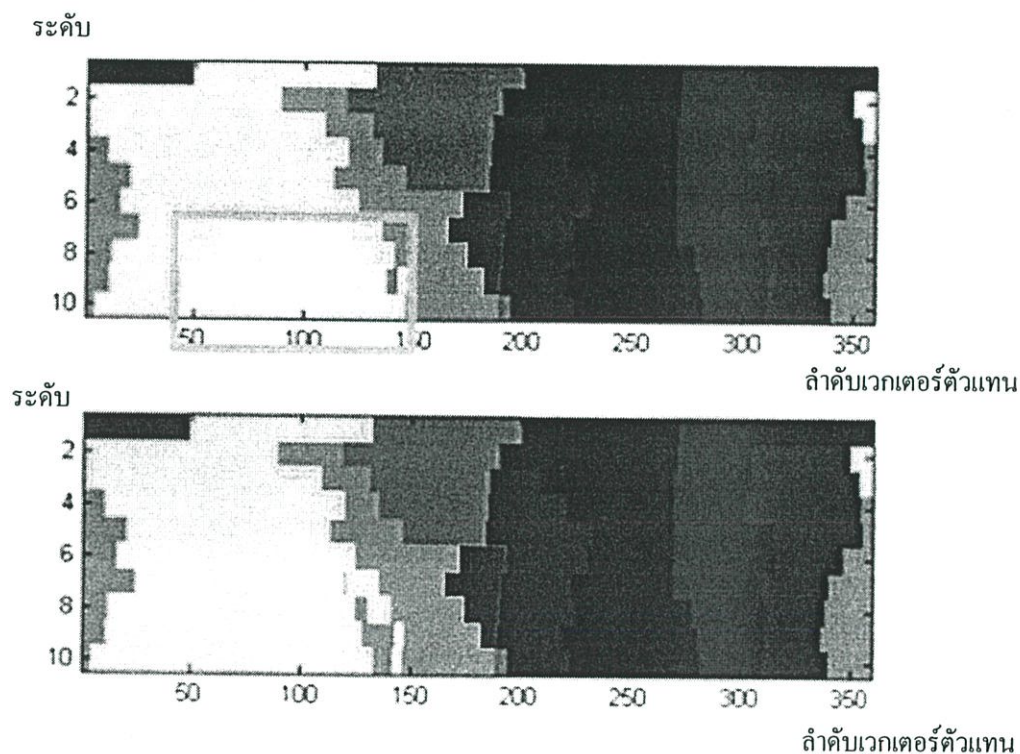


รูปที่ 6.60 ภาพบนตัวแทนกลุ่มข้อมูลในระดับที่ 6 ภาพล่างตัวแทนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดสำหรับภาพลายนิ้วมืออาร์ช

สังเกตในรูปที่ 6.56 เป็นการปรับค่าพีเจอร์ให้ค่าเฉลี่ยและค่าการเบี่ยงเบนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางซึ่งแสดงโดยสีของเวกเตอร์ตัวแทนรอบจุดอ้างอิง

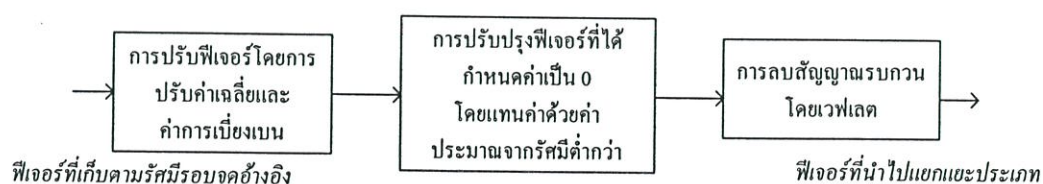
6.7.2 การปรับปรุงตัวแทนกลุ่มข้อมูล

เนื่องจากการปรับปรุงภาพที่ผ่านมาเป็นการค้นหาและแก้ไขบริเวณกึ่งกลางภาพ อีกทั้งยังมีบางบริเวณที่ได้รับการเก็บข้อมูลว่าเสียหายขาดต่อการแก้ไข การปรับปรุงตัวแทนกลุ่มข้อมูลมีปรับปรุงเฉพาะส่วนของตัวแทนกลุ่มข้อมูลที่เสียหาย เนื่องจากเป็นบริเวณไม่สามารถแก้ไขได้ซึ่งมีการกำหนดเป็น 0 หรือบริเวณขอบของภาพแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6.61 การแก้ปัญหาได้อาศัยแนวคิดที่ว่าทิศทางในรัศมีเดียวกันน่ามีคล้ายคลึงกัน ดังนั้นขอบภาพที่ไม่มีข้อมูลได้รับการแทนที่ข้อมูลด้วยข้อมูลจากรัศมีจากจุดอ้างอิงต่ำกว่า และจากพื้นที่ใกล้เคียง



รูปที่ 6.61 การปรับปรุงภาพตามสมมุติฐานการแทนที่ด้วยข้อมูลรัศมีจากจุดอ้างอิงน้อยกว่า ที่มุมเดียวกันรวมกับพื้นที่ข้างเคียงด้วยดังกล่าว

หลังจากที่ผ่านการกระทำการแทนที่โดยรัศมีต่ำกว่า ขั้นสุดท้ายเพื่อความแน่ใจทำการตัดกรองโดยเวฟเล็ต และนำสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมจากเวฟเล็ตป้อนเข้าสู่ฟังก์ชันการตัดสินใจที่กำหนดเองแสดงไว้ในบทที่ 5



รูปที่ 6.62 กระบวนการปรับปรุงฟิเจอร์

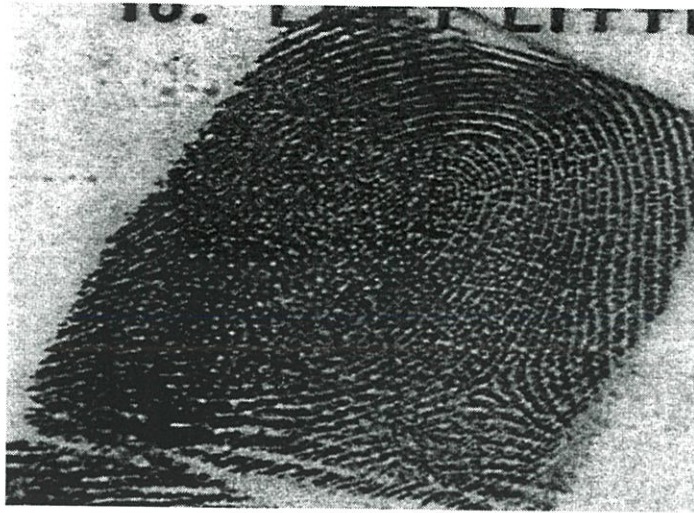
ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น อาจเนื่องมาจากการเลือกเวกเตอร์กลางสำหรับฐานข้อมูลที่ไม่ดีพอ ภาพที่มีสัญญาณรบกวน และภาพที่มีลักษณะแปลกๆ

ตารางที่ 6.2 ผลการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ มีการคัดแยกภาพที่ไม่สามารถดำเนินการได้ออกไป ก่อน (ภาพที่เสียหายมาก)

ประเภทข้อมูลจริง	ประเภทจากการตัดสินใจ				
	อาร์ช	เต็นท์	ลูปวนซ้าย	ลูปวนขวา	ลูปก้นหอย
อาร์ช	16	0	0	0	0
เต็นท์	0	7	0	0	0
ลูปวนซ้าย	2	0	9	1	0
ลูปวนขวา	1	1	0	9	0
ลูปก้นหอย	0	2	2	0	9



รูปที่ 6.64 ตัวอย่างภาพที่เสียหายแบบอาร์ชไม่นำเข้าประมวลผลการแบ่งลายนิ้วมือ



รูปที่ 6.65 ภาพที่เสียหายแบบวนซ้ำและไม่นำเข้าประมวลผลการแบ่งลายนิ้วมือ



รูปที่ 6.66 ภาพที่นำเข้าประมวลผลและตัดสินใจพลาดในการแบ่งประเภทลายนิ้วมือ โดยตัดสินใจเป็นภาพอาร์ชแทนภาพวนซ้ำ

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทนำ การค้นหาหน่วยเวกเตอร์ หรือเบสิสเวกเตอร์ที่ดีหรือมีความหมาย สามารถทำให้ระบบการจดจำนั้นทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นการจดจำใบหน้า สามารถจดจำจากขนาดของหน่วยเวกเตอร์ตา, หน่วยเวกเตอร์หู, หน่วยเวกเตอร์จมูก, หน่วยเวกเตอร์ปาก นี่เป็นเพียงการยกตัวอย่าง หน่วยเวกเตอร์จริงอาจเป็นค่าอะไรก็ได้ แต่ต้องเป็นค่าที่มีความหมาย หรือให้ลักษณะเด่นสำหรับการจดจำ แต่การค้นหาหน่วยเวกเตอร์กระทำได้จริงยาก ในวิทยานิพนธ์จึงเป็นศึกษาเพียงค่าตัวแทนกลุ่มที่ได้จากการแปลงความถี่

การนำค่าตัวแทนกลุ่มที่ได้จากกระทำในเชิงความถี่ ปัจจุบันนี้สามารถนำไปทำการแบ่งประเภทและจดจำภาพลายนิ้วมือ [1], [2] แต่มีข้อเสียคือ

1. ไม่รู้แน่ชัดว่าค่าในความถี่ที่นำไปเทียบมีข้อมูลสำคัญอะไรในนั้นเช่น ข้อมูลที่ได้จากการแปลงความถี่ในส่วนมินูเซียมีความแตกต่างกับส่วนปกติหรือเปล่า
2. จากข้อแรกทำให้การจดจำข้อมูลในแกนความถี่ต้องใช้ข้อมูลทั้งหมดสำหรับลักษณะของลายเส้นภาพลายนิ้วมือ และข้อมูลภาพ 1 ภาพต้องใช้ข้อมูลทิศทางถึง 8 ทิศทางและการเปรียบเทียบหนึ่งภาพทิศทางป้อนเข้ากับ 8 ภาพทิศทางฐานข้อมูลเพื่อชดเชยผลจากการหมุน ดังนั้นการเทียบข้อมูลทั้งหมดเป็น 8×8 หรือ 64 ครั้ง

ส่วนข้อดีในแกนความถี่คือ

1. ข้อมูลทั้งหมดในแกนความถี่มีข้อมูลที่เกือบสมบูรณ์ของภาพลายนิ้วมือ
2. การกระทำในแกนความถี่สามารถกระทำการจับคู่ความเหมือนได้โดยตรง เนื่องจากผลที่ได้ไม่ขึ้นกับค่าการเลื่อน และถ้าจัดรูปแบบการกระทำรอบจุดอ้างอิงรวมกับแบ่งทิศทางของภาพลายนิ้วมือให้พอเพียง ผลจากการหมุนไม่เกิดขึ้น เนื่องจากเราสามารถจับคู่ภาพทิศทางหนึ่งกับภาพทิศทางที่เหมาะสมที่สุด

จากข้อเสียของการแปลงความถี่และแกนเวลา ทำให้คณะผู้จัดทำมีการคิดเปลี่ยนแปลงและพัฒนาส่วนต่อไปนี้

1. นำการแปลงความถี่ไปใช้งาน โดยดึงเฉพาะค่าที่ต้องการใช้คือ ทิศทางของเส้นลายนิ้วมือ และผลทิศทางที่ได้จากการแปลงความถี่สามารถหาได้ดีกว่า เข้าใจได้ง่ายกว่า และละเอียดกว่าดังรูปที่แสดงให้เห็นในส่วนผลการทดลองเห็นว่าตำแหน่งมินูเซียสามารถหาได้จากทิศทางโดยตรง แต่ทว่าความแม่นยำยังไม่ดีพอกับการจดจำ
2. การพัฒนาระบบการค้นหาจุดอ้างอิงจากการเปลี่ยนแปลงของทิศทางภาพ (ยังไม่เคยมีการหาการกระทำที่เกิดขึ้นบนเวกเตอร์ทิศทางมาก่อน) ซึ่งการกระทำไม่สามารถทำได้

โดยตรงแต่ต้องมีการแปลงฟังก์ชันแสดงไว้ในบทที่ 5 และผลการทดลอง สิ่งที่ได้จากการพัฒนานี้สามารถนำไปการประมวลผลภาพทั่วไปได้

3. พัฒนาตัวแทนกลุ่มสำหรับการแบ่งประเภท จากข้อเสียที่ได้กล่าวมาการจดจำทางความถี่ใช้ตัวแทนกลุ่มข้อมูลปริมาณมากและการเทียบจำนวนมาก เมื่อวิทยานิพนธ์ใช้เพียงข้อมูลสำหรับการแบ่งประเภทจึงเลือกค่ารหัสลายนิ้วมือที่มากที่สุดมาประมวลผลซึ่งก็คือ ทิศทางของภาพลายนิ้วมือที่กล่าวมา ข้อมูลตัวแทนกลุ่มจึงมีความชัดเจนและการเลือกใช้ไม่ได้ใช้ภาพเป็นส่วนๆรอบวงกลม ใช้เพียงค่าที่เป็นเวกเตอร์ขนาด 360 องศาประกอบกับระดับทั้งหมด 8 ระดับชั้น นำข้อมูลส่วนนี้มีทำการแบ่งกลุ่ม
4. พัฒนาระบบการตัดสินใจที่สามารถประมวลผลจากเวกเตอร์ที่มีการเลื่อนได้ โดยเวกเตอร์ที่มีการเลื่อนให้ค่าสำหรับการตัดสินใจเป็นค่าเดียวกับเวกเตอร์ที่ไม่มีการเลื่อน
5. นำจุดเด่นของการแปลงเวฟเลตมาใช้คือ
 - การเลือกเวกเตอร์ที่ต้องการ โดยสามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ
 - การตรวจจับการเปลี่ยนแปลง
 - ความง่ายต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ (การแปลงความถี่ค่าที่ได้ยังคงยากต่อการวิเคราะห์)
6. ปรับเปลี่ยนระบบการปรับปรุงภาพ
 - โดยใช้ผลจากแกนความถี่มาช่วย
 - โดยใช้ค่าในมุมมองศาเดียวกันแต่ต่างรัศมีมาช่วย

- [12] Sen Wang et. al. "Fingerprint Classification by Directional Fields." Proceeding of the Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'02), Oct. 2002. pp. 395-399.
- [13] T. Ko, "Fingerprint Enhancement by Spectral Analysis Techniques." Proceedings of the 31st International Conference on Applied Imagery Pattern Recognition Workshop, Oct. 2002. pp. 133-139.
- [14] T. Kamei and M. Mizoguchi, "Image Filter Design for Fingerprint Enhancement." Proceedings of International Symposium on Computer Vision, Nov. 1995. pp. 109-114.
- [15] B. Bhanu et. al. "Logical Templates for Feature Extraction in Fingerprint Images." Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, Sep. 2000. pp. 846-850.
- [16] C. Sidney Burrus et. al. **Introduction to wavelets and Wavelet Transform: A Primer.** Prentice Hall, Inc. 1998.
- [17] N. Lertchuwongsa and S. Noppanakeepong, "Searching Reference Point from Directional Pattern Using Wavelet Technique." Proceedings of IEEE 2001 International Symposium on Communications and Information Technology, November 2003. pp. 381-384.
- [18] นพพน เลิศชูวงศา และ สุทธิชัย นพนาศิพงษ์. "การวิเคราะห์เวฟเลตเพื่อค้นหาจุดศูนย์กลางลายนิ้วมือโดยใช้พารามิเตอร์จากโคเรลชันนัลเกาส์เซียน." EECON-24, การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 24, พฤศจิกายน 2544. หน้า 1248-1253.
- [19] R. Cappelli et. al. "Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21, no. 5, May 1999. pp. 402-421.
- [20] A. Senior, "A Combination Fingerprint Classifier." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 23, no 10, October 2001.

ประวัติผู้เขียน

นายณพพล เลิศชูวงศา เกิดที่จังหวัดภูเก็ต และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Lertchuwongsa N. and Nopanakeepong S. "Searching Reference Point from Directional Pattern Using Wavelet Technique." Proceeding of IEEE 2001 International Symposium on Communications and Information Technology , 14-16 November 2003, 381-384
2. ณพพล เลิศชูวงศา และ สุทธิชัย นพนาดีพงษ์ "การวิเคราะห์เวฟเลตเพื่อค้นหาจุดศูนย์กลางลายนิ้วมือโดยใช้พารามิเตอร์จากโคเร็กซ์ชันนัลเกาส์เซียน." การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 24, 22-23 พฤศจิกายน 2544, 1248-1253