

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือ
Fingerprint Analysis



ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือ
Fingerprint Analysis

โดย

นางสาว จินตนา สีนมา 45010118

นายวรัทย์ ศรีพิพัฒน์กุล 45010675

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.มนัส สัจวารศิลป์

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการภาษาไทย

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือ

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ

Fingerprint Analysis

ชื่อนักศึกษาและรหัสประจำตัว

นางสาวจินตนา สีนมา

45010118

นายวรัทธิ์ ศรีพิพัฒน์กุล

45010675

โครงการได้รับการตรวจแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง การวิเคราะห์ลายนิ้วมือ
(FINGERPRINT ANALYSIS)
ปีการศึกษา 2548
ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้จัดโดย

1. นางสาว จินตนา สีนมา 45010118
2. นาย วรวิทย์ ศรีพิพัฒน์กุล 45010675

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.มนัส สัจวารศิลป์

รายงานฉบับนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือ

นางสาวจินตนา สินมา 45010118
นายวรัทย์ ศรีพิพัฒน์กุล 45010675
รศ.ดร. มนต์ สังวรศิลป์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษาที่ 2548

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือเป็นกระบวนการพื้นฐานที่ใช้คัดแยกประเภทลายนิ้วมือและจำแนกบุคคล โครงการนี้ได้มุ่งเน้นการคัดแยกประเภทลายนิ้วมือซึ่งแบ่งเป็น 5 แบบที่พบโดยทั่วไป ได้แก่ แบบก้นหอย โค้งกระโجم โค้งราบ มัดหวายซ้าย และมัดหวายขวา โดยใช้หลักการประมวลผลภาพทางดิจิทัล (Digital Image Processing) ทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ และอาศัยหลักการของการกรองข้อมูลแบบมีทิศทาง (Direction filter bank) มาประยุกต์ใช้กับเทคนิคของการโปรเจกชัน (Projection) เพื่อคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ แล้วนำไปแสดงผลภาพบนจอแอลซีดี (LCD)

โครงการวิเคราะห์ลายนิ้วมือนี้ จะใช้โปรแกรม C++ Builder 6 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาซึ่งผลลัพธ์พบว่าระบบที่ได้ออกแบบและพัฒนามีข้อผิดพลาดในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไป

Fingerprint Analysis

Miss Jintana Sinma 45010118

Mr. Warat Sripipattanakul 45010675

Assoc.Prof.Dr. Manas Sangworasil Advisor

2nd Semester, 2005

Abstract

Fingerprint Analysis is a basic process of fingerprint classification. This project focuses on fingerprint classification that's divided into five most common classes (whorl, arch, tented arch, right loop and left loop). We use Digital Image Processing to enhance fingerprint images then use Directional filter bank and technique of projection to classify fingerprint. Then we show a result on LCD.

This project uses C++ Builder 6 to develop program. The results show that the system developed and improved has errors which can be further developed.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือให้คำแนะนำ และคำปรึกษาส่งผลให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร.มนัส สัจวารศิลป์ ที่คอยแนะนำ เอาใจใส่ และช่วยเหลือตลอดการทำโครงการนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษาอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่วริศและพี่ๆในห้อง Biomedical ที่คอยให้กำลังใจ คอยช่วยเหลือ และห้องแล็บ Bioที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการทำงาน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงการฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทุกท่าน

จินตนา สีนมา
วรัทย์ ศรีพิพัฒนกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 รายละเอียดของโครงการ	I
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้	1
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของลายนิ้วมือ	
2.1 จุดลักษณะต่างๆบนลายนิ้วมือ	3
2.1.1 จุดกึ่งกลาง (Core)	3
2.1.2 เส้นขอบ (Type Line)	3
2.1.3 สันดอน (Delta)	3
2.1.4 บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area)	3
2.2 จุดลักษณะสำคัญของลายนิ้วมือ (Minutiae)	4
2.2.1 ไบฟูเรชัน (Bifurcation)	4
2.2.2 ไดเวอร์เจนซ์ (Divergence)	4
2.2.3 จุดสิ้นสุด (Termination)	4
2.3 ชนิดและรูปแบบของลายนิ้วมือ	5
2.3.1 โค้งราบ (Arch)	5
2.3.2 โค้งกระโจม (Tented Arch)	5
2.3.3 มัดหวายเชิงขวา (Right Loop)	5
2.3.4 มัดหวายเชิงซ้าย (Left Loop)	6
2.2.5 ก้นหอย (Whorl)	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญต่อ 1

	หน้า
12.3.6 มัดหวนแฝด (Twin Loop)	6
2.3.7 ชับซ้อน(Accidental Whorl)	7
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ	
3.1 หลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ	8
3.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)	9
3.3 การแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสีสองระดับ(Binarization)	9
3.4 การหาขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี(Threshold)	10
3.4.1 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทาของภาพ	10
3.4.1.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)	10
3.4.1.2 การรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10
3.5 การทำลายเส้นให้บาง(Thinning)	11
3.5.1 สเกลเลตัน	12
3.5.2 โทโปโลยี	12
3.5.3 คำนิยามต่างๆที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง	13
3.6 การหาทิศทางภาพ (Orientation)	14
3.6 ไคเรคชันฟิลเตอร์เบงค์ (DFB)	16
บทที่ 4 หลักการทำงานของโปรแกรม	
4.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน(Noise Reduction)	17
4.2 การแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสีสองระดับ(Binarization)	18
4.2.1 ค่าเฉลี่ย	18
4.2.2 การรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	18
4.3 การทำลายเส้นให้บาง(Thinning)	19
4.3.1 การทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีของ Zhang and Suen	19
4.3.2 การทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีที่ทำการปรับปรุง	23
4.4 การหาทิศทางภาพ(Orientation)	26
4.5 ไคเรคชันฟิลเตอร์เบงค์ (DFB)	27
4.6 การวัดความผิดพลาดกำลังสอง เฉลี่ย (Mean square error)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญต่อ 2

	หน้า
บทที่ 5 คุณสมบัติและหลักการทำงานของเครื่องสแกนลายนิ้วมือ	
5.1 คุณสมบัติของบอร์ดสแกนลายนิ้วมือ	32
5.2 การเชื่อมต่อในการใช้งาน	33
5.3 การแสดงผลการคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ	35
บทที่ 6 ผลการทดลอง	
6.1 หน้าตาโปรแกรมทั้งหมด	37
6.1.1 การเปิดภาพจากเพิ่มภาพ	38
6.1.2 การแปลงภาพสีเทาเป็นภาพสีสองระดับ	39
6.1.3 การทำลายเส้นให้บาง	40
6.1.4 การทำไครเรชันฟิลเตอร์แบบค	41
6.1.5 การคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ	42
6.1.7 การแสดงผลบนจอแอลซีดี	43
6.2 ผลการทดลอง	
6.2.1 การแปลงภาพไบนารี	44
6.2.2 ผลการทดลองของแต่ละประเภท	44
6.2.3 ผลการคัดแยกแต่ละประเภทลายนิ้วมือ	47
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	
7.1 สรุปผลการทดลอง	54
7.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	54
บรรณานุกรม	i

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงเส้นนูนและเส้นร่องของลายนิ้วมือ	3
รูปที่ 2.2 แสดงจุดลักษณะต่างๆบนลายนิ้วมือ	4
รูปที่ 2.3 แสดงจุดไบฟูร์เคชัน	4
รูปที่ 2.4 แสดงจุดไคเวอร์เจนซ์	4
รูปที่ 2.5 รูปลายนิ้วมือประเภทโค้งราบ (Arch)	5
รูปที่ 2.6 รูปลายนิ้วมือประเภทโค้งกระโจม (Tented Arch)	5
รูปที่ 2.7 รูปลายนิ้วมือประเภทมัดหวายเอียงขวา (Right Loop)	5
รูปที่ 2.8 รูปลายนิ้วมือประเภทมัดหวายเอียงซ้าย (left Loop)	6
รูปที่ 2.9 รูปลายนิ้วมือประเภทก้นหอย (Whorl)	6
รูปที่ 2.10 รูปลายนิ้วมือประเภทมัดหวายแฝด (Twin Loop)	7
รูปที่ 2.11 รูปลายนิ้วมือประเภทซบซ้อน (Accidental Whorl)	7
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการประมวลผลลายนิ้วมือ	8
รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบภาพลายนิ้วมือผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน	9
รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนภาพระดับสี	11
รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบการทำลายเส้นให้บาง	14
รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบการหาทิศทางภาพลายนิ้วมือ	15
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบภาพลายนิ้วมือในโครงการ (a) ภาพที่รับเข้ามา (b) ภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน	17
รูปที่ 4.2 แสดงการแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสีสองระดับในโครงการ (a) การใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าเทรชโฮลด์ (b) การใช้ค่าเฉลี่ยและ (b) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าเทรชโฮลด์	19
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการทำงานลายเส้นให้บางด้วยวิธีของ Zhang and Suen	22

สารบัญรูปลูกภาพต่อ 2

	หน้า
รูปที่ 4.4 รูปแสดงเงื่อนไขการทำลายเส้นให้บาง	24
รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการทำงานการทำลายเส้นให้บางที่ได้ทำการปรับปรุง	25
รูปที่ 4.6 แสดงการทำลายเส้นให้บางในโครงการ	
(a) โดยวิธีของ Zhang and Suen (b) โดยวิธีที่ปรับปรุงขึ้น	26
รูปที่ 4.7 แสดงแผนผังโคอะแกรมของ DFB	28
รูปที่ 4.8 แสดงฟิลเตอร์แบบแพน (a) low pass และ (b) high pass	30
รูปที่ 4.9 แสดงผลที่ได้ในแต่ละแบนด์	30
รูปที่ 5.1 บอร์ดที่เชื่อมต่อพร้อมใช้งาน	32
รูปที่ 5.2 ตัวคอนเนคเตอร์ที่ใช้งานร่วมกับสายแบบซิงเกิล	33
รูปที่ 5.3 สายแบบซิงเกิลที่ใช้งานร่วมกับ DB-9	33
รูปที่ 5.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องสแกนลายนิ้วมือ	34
รูปที่ 5.5 แสดงการต่อ Serial Port	35
รูปที่ 5.6 จอแสดงผลของข้อมูล	36
รูปที่ 6.1 แสดงหน้าตา โปรแกรมการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ	37
รูปที่ 6.2 โปรแกรมแสดงการเปิดภาพจากเพิ่มภาพ	38
รูปที่ 6.3 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนระดับสีของภาพลายนิ้วมือ	39
รูปที่ 6.4 โปรแกรมแสดงการทำลายเส้นให้บาง โดยวิธีที่ปรับปรุงแล้ว	40
รูปที่ 6.5 แสดงการทำไครคชันฟิลเตอร์แบงค์ (DFB)	41
รูปที่ 6.6 แสดงผลการแยกประเภทลายนิ้วมือ	42
รูปที่ 6.7 การแสดงผลผ่านจอ LCD	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการจำแนกของค่าทางคุณสมบัติโทโปโลยีของ X_0	12
ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนลักษณะเฉพาะของลายนิ้วมือ	15
ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดตำแหน่งขา DB-9	33
ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของคอนเนคเตอร์แบบซิงเกิลบนเมนบอร์ดมี 40 ขา	34
ตารางที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์การต่อ connetions	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการวิเคราะห์ลายนิ้วมือนี้ได้สร้างขึ้นเพื่อคัดแยกประเภทลายนิ้วมือซึ่งเป็นพื้นฐานของการศึกษาการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ ทั้งนี้สามารถเพื่อนำไปประยุกต์การคัดแยกบุคคลในที่สุด ในการตรวจสอบลายนิ้วมือนี้จะสามารถนำไปใช้ในงานรักษาความปลอดภัย ในการบอกถึงตัวบุคคลนั้นๆได้ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดในการแยกบุคคลเนื่องจากลายนิ้วมือของบุคคลโดยทั่วไปจะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง

1.1 รายละเอียดโดยย่อของโครงการ

โครงการวิเคราะห์ลายนิ้วมือนี้ได้ใช้ Fingerprint Module เป็นตัวรับภาพลายนิ้วมือและใช้โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ทำการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือและคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ โดยโปรแกรมที่ใช้คือโปรแกรม C++ Builder 6

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาหลักการวิเคราะห์และคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ
- 2) พัฒนาและปรับปรุงอัลกอริทึม (algorithm) ให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้กับภาพลายนิ้วมือ อีกทั้งยังเกิดความถูกต้องและรวดเร็วขึ้น
- 3) เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในระบบการตรวจสอบบุคคล
- 4) แสดงผลการคัดแยกประเภทลายนิ้วมือผ่านจอ LCD

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ภาพลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการที่ได้สร้างขึ้นแล้ว จะได้ภาพที่สวยงามและมีค่าความถูกต้องเหมาะสมตามทฤษฎีการตรวจสอบลายนิ้วมือ และอาศัยหลักการของการกรองข้อมูลแบบมีทิศทาง (Direction filter bank) มาประยุกต์ใช้กับเทคนิคของการ โปรเจกชัน (Projection) เพื่อคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ แล้วนำไปแสดงผลภาพจอ LCD

1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้

เนื่องจากในปัจจุบันการระบุลักษณะของมนุษย์นั้น มีหลากหลายและที่แสดงความแม่นยำที่สุดคือ ลายนิ้วมือ ซึ่งลายนิ้วมือเป็นที่นิยมและรวดเร็วต่อการระบุตัวบุคคล ทั้งงานด้านความปลอดภัย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืองานด้านอาชญากรรม เพื่อความสะดวกและความถูกต้อง จึงได้มีการพัฒนาการคัดแยก
ลายนิ้วมือขึ้น จึงได้เกิดเป็นโครงการการคัดแยกลายนิ้วมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นของลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือของมนุษย์โดยทั่วไปประกอบด้วยเส้น 2 ลักษณะ คือ เส้นนูน (Ridges) หรือ รอยนูนที่สูงขึ้นจากผิวหนัง และ เส้นร่อง (Valleys) หรือ รอยที่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน ซึ่งเส้นทั้งสองจะวิ่งขนานกันไปเป็นลักษณะส่วนโค้งสลับกันไประหว่างเส้นนูนและเส้นร่องโดยมีขนาดความกว้างคงที่เสมอ ประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นนูนและเส้นร่องของลายนิ้วมือ

2.1 จุดลักษณะต่างๆบนลายนิ้วมือ

2.1.1 จุดกึ่งกลาง (Core)

คือ จุดบนเส้นโค้งลายนูน ซึ่งมีลักษณะเป็น โค้งขึ้นและเริ่มที่จะกลับตัวหรือเริ่มที่จะกลายเป็น โค้งลง แล้ววิ่งสวนทางกลับกับตอนแรก เส้น โค้งลายนูนนี้ต้องเป็นเส้นที่อยู่ในสุดของบริเวณที่มีลักษณะรูปแบบเป็นจุดกึ่งกลางนั้น เป็นลักษณะของเส้น โค้งที่ขึ้นมาซ้อนกันหลายๆเส้น

2.1.2 เส้นขอบ (Type Line)

คือ เส้นคู่ขนานคู่ในสุด ซึ่งได้คู่กันมาพอสมควรแล้วแยกตัวออกเพื่อจะโอบล้อมหรือพยายามโอบล้อมบริเวณลายนิ้วมือภายใน

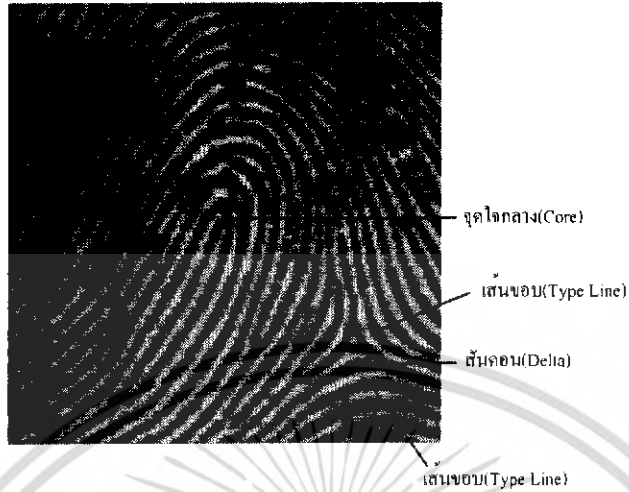
2.1.3 สันดอน (Delta)

คือ ลายเส้นนิ้วมือซึ่งอยู่ตรงหน้าและใกล้ที่สุดกับกึ่งกลางของปากทางแยกของเส้นขอบ

2.1.4 บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ พื้นที่บริเวณภายในของลายนิ้วมือที่ถูกเส้นขอบ โอบล้อม



รูปที่ 2.2 แสดงจุดลักษณะต่างๆบนลายนิ้วมือ

2.2 จุดลักษณะสำคัญบนลายนิ้วมือ (Minutiae)

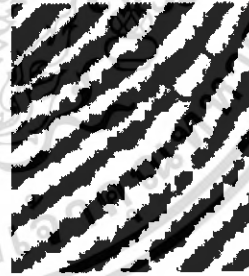
คือ ตำแหน่งและลักษณะต่างๆของลายเส้นต่างๆไป ซึ่งมีหลายแบบ ได้แก่

- 2.2.1 ไบฟูร์เคชัน (Bifurcation) คือ เส้นขอบที่ถูกแยกออกเป็นสองเส้น
- 2.2.2 ไดเวอร์เจนซ์ (Divergence) คือ เส้นขอบที่ได้วิ่งขนานกันมาแล้วได้แยกต่างออกไป
- 2.2.3 จุดสิ้นสุด (Termination) คือ จุดปลายของลายเส้น



ไบฟูร์เคชัน

รูปที่ 2.3 แสดงจุดไบฟูร์เคชัน



ไดเวอร์เจนซ์

รูปที่ 2.4 แสดงจุดไดเวอร์เจนซ์

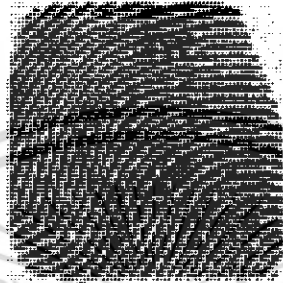
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชนิดและรูปแบบของลายนิ้วมือ

โดยทั่วไปรูปแบบของลายนิ้วมือสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

2.3.1 โค้งราบ (Arch)

ลักษณะการวิ่งของเส้นนูนจะวิ่งจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยไม่เกิดมุมแหลมหรือพุ่งขึ้นตรงกลาง



รูปที่ 2.5 รูปลายนิ้วมือประเภทโค้งราบ (Arch)

2.3.2 โค้งกระโจม (Tented Arch)

ลักษณะการวิ่งของเส้นนูนจะเหมือนกับโค้งราบแต่จะมีความสูงของส่วนโค้งมากกว่าและมีสันคอน 1 จุด



รูปที่ 2.6 รูปลายนิ้วมือประเภทโค้งกระโจม (Tented Arch)

2.3.3 มัดหยาบเฉียงขวา (Right Loop)

ลักษณะการวิ่งของเส้นนูนจากบริเวณด้านขวามาที่บริเวณกลางนิ้วมือแล้ววิ่งโค้งขึ้นไปด้านบน แล้วจึงโค้งลงและวิ่งวนกลับไปตามทางเดิมที่ได้วิ่งมา โดยมีลักษณะสำคัญคือ มีสันคอน 1 จุด ละมีเส้นวกกลับที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้นมีทิศทางไปทางขวา



รูปที่ 2.7 รูปลายนิ้วมือประเภทมัดหยาบเฉียงขวา (Right Loop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 มัดหวายเอียงซ้าย (Left Loop)

เหมือนกับมัดหวายเอียงขวา โดยมีลักษณะการวิ่งของเส้นนูนจากบริเวณด้านซ้ายมาที่บริเวณกลางนิ้วมือแล้ววิ่งโค้งขึ้นไปด้านบน แล้วจึงโค้งลงและวิ่งวนกลับไปตามทางเดิมที่ได้วิ่งมา โดยมีลักษณะสำคัญคือ มีสันคอน 1 จุด ละมีเส้นวกกลับที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้นมีทิศทางไปทางซ้าย



รูปที่ 2.8 รูปลายนิ้วมือประเภทมัดหวายเอียงซ้าย (left Loop)

2.3.5 ก้นหอย (Whorl)

ลักษณะการวิ่งของเส้นนูนจะมีเส้นนูนอย่างน้อย 1 เส้นที่วิ่งเป็นวงกลมล้อมรอบจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ โดยวงกลมใหญ่จะค่อยๆ เล็กลงไปเรื่อยๆ จนเหลือวงกลมวงเล็กที่สุด



รูปที่ 2.9 รูปลายนิ้วมือประเภทก้นหอย (Whorl)

นอกจากนี้ยังมีรูปแบบลายนิ้วมืออื่นอีก คือ

2.3.6 มัดหวายแฝด (Twin Loop)

เกิดจากการรวมกันของกลุ่มมัดหวายเดี่ยวสองกลุ่มรวมตัวกันเป็นรูปแบบเดียว ลักษณะการวิ่งของเส้นนูนอาจมาจากทางเดียวกันแล้วรวมตัวกันเป็นลักษณะของกลุ่มมัดหวายเดี่ยวสองกลุ่ม โดยที่กลุ่มหนึ่งจะมีรูปแบบเป็นลักษณะโค้งขึ้นและกลุ่มมัดหวายอีกกลุ่มจะมีลักษณะโค้งลง เมื่อรวมกันเป็นกลุ่มมัดหวายคู่รูปแบบดังกล่าวอาจมีการเอียงซ้ายหรือเอียงขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.10 รูปลายนิ้วมือประเภทมัดหวนแฝด (Twin Loop)

2.3.7 ซับซ้อน(Accidental Whorl)

ลายนิ้วมือที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่จัดเข้าเป็นลายนิ้วมือชนิดหนึ่งชนิดใดโดยเฉพาะ ประกอบด้วยลายนิ้วมือ 2 แบบมาผสมกันและมีสันคอน 2 สันคอน หรือมากกว่าเช่น กรณีที่ไม่สามารถเข้ากับลายนิ้วมือกลุ่มที่กล่าวมาแล้วข้างต้นไม่ได้เลย โดยมีความยุ่งเหยิงและเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน



รูปที่2.11 รูปลายนิ้วมือประเภทซับซ้อน (Accidental Whorl)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

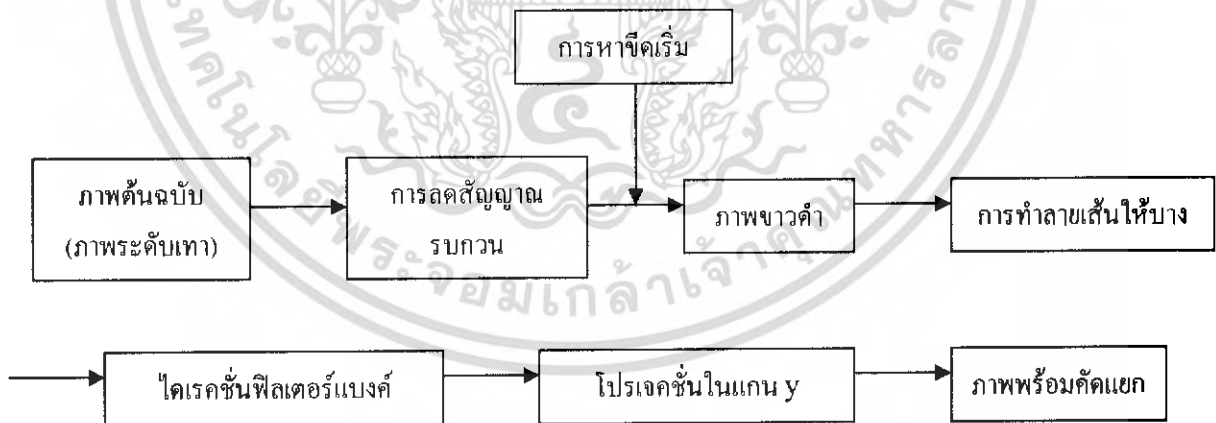
บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ

3.1 หลักการวิเคราะห์ลายนิ้วมือ

การวิเคราะห์ลายนิ้วมือของบุคคลโดยทั่วไปนั้น จะเริ่มด้วยการนำลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลเข้ามาโดยการสแกนภาพเข้ามา แต่ภาพหรือข้อมูลที่ได้นั้นอาจไม่ชัดเจน พร่าเลือน ก็จะทำให้การประมวลผลในขั้นตอนถัดไปทำได้ด้วยความยากลำบากหรือทำไม่ได้ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้ก็อาจไม่ถูกต้องตามที่ควรจะเป็น เมื่อเกิดปัญหาเช่นนี้ในกระบวนการนี้จึงได้มีกระบวนการปรับปรุงภาพซึ่งมีหลายขั้นตอนด้วยกันคือ การกำจัดสัญญาณรบกวน, การปรับความมืดสว่างและความแตกต่างของตัวภาพและฉากของภาพ, การหาค่าเทรชโฮลด์(Thresholding) เพื่อทำการแปลงภาพเป็นภาพสองระดับ(Binary), การทำให้เส้นลายนิ้วมือบาง (Thinning), ทำการหาไคเรคชั่นฟิลเตอร์เบงค์พร้อมโปรเจคชันภาพในแกน y จากนั้นนำภาพที่ผ่านกระบวนการต่างๆแล้วเข้าสู่กระบวนการรู้จำพร้อมคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ แล้วจึงเก็บข้อมูลนั้นไว้ในฐานข้อมูลเพื่อเป็นต้นแบบ ซึ่งกระบวนการจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับภาพหรือข้อมูลที่ได้รับมามีความละเอียดเพียงใด

ในการประมวลผลภาพลายนิ้วมือ จะมีขั้นตอนในการประมวลผลภาพลายนิ้วมือตามบล็อกไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการประมวลผลลายนิ้วมือ

3.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

เนื่องจากขั้นตอนในการสแกนภาพลายนิ้วมือจากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ อาจทำให้ภาพมีสัญญาณรบกวนอยู่ ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนนี้ เราจะอาศัยหลักการของความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพที่พิจารณากับจุดภาพรอบๆด้าน(Neighboring Point) วิธีที่นำมาใช้นั้นมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับผู้ศึกษา แต่ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีที่เป็นที่นิยมการหาค่าเฉลี่ยรอบย่าน (Average Filter) ซึ่งกระบวนการนี้ จะกระทำต่อจุดภาพทั้งหมดจุดในรูปภาพ



รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบภาพลายนิ้วมือ (a) ภาพที่รับเข้ามา (b) ภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน

3.3 การแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสีสองระดับ(Binarization)

ในการวิเคราะห์ลายนิ้วมือสามารถแบ่งประเภทลายนิ้วมือได้สองส่วนคือ ส่วนของเส้นนูนและส่วนของเส้นร่อง ซึ่งการแปลงภาพสีสองระดับจะเป็นการแบ่งส่วนของลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจน ในกระบวนการแปลงภาพเราจะต้องอาศัยค่าของขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีมาพิจารณา

3.4 การหาขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสี(Threshold)

รูปภาพขาวดำ(binary image) จะสะดวกในการวิเคราะห์มากกว่ารูปภาพระดับเทา(gray scale image) แต่รูปภาพที่ได้รับมาส่วนมากมักจะไม่ใช่เป็นรูปภาพขาวดำ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีจากภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ โดยทำการแบ่งส่วนของภาพเป็นบริเวณของพื้นฉาก(background) และบริเวณของวัตถุในภาพ(foreground)

3.4.1 การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทาของภาพ

การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทาของภาพ คือ การเลือกค่าสีที่เหมาะสมค่าหนึ่งจากภาพระดับเทาที่อินพุทเข้ามา เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าสีที่ได้จากการอ่านจากภาพระดับเทาที่อินพุทเข้ามาเพื่อทำการจำแนกสาระจากภาพออกเป็นวัตถุและพื้นฉากในภาพ

นิยามของการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทา

$$I_T(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x, y) > T \\ 0 & \text{if } I(x, y) \leq T \end{cases} \quad \text{.....(3.1)}$$

โดยกำหนดให้

$I(x, y)$ คือ ค่าสีที่ได้จากการอ่านภาพเริ่มต้น

T คือ ค่าสีที่เลือกจากภาพระดับเทาที่อินพุทเข้ามา เพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าสีที่ได้จากการอ่านภาพระดับเทาที่อินพุทเข้ามา

$I_T(x, y)$ คือ ค่าสีที่ผ่านการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีของภาพ

จากสมการที่ (1) จะได้ว่า ถ้าค่า $I(x, y)$ มีค่ามากกว่า T แล้วจะได้ค่า $I_T(x, y)$ เป็น 1 ซึ่งจะเป็นค่าสีของวัตถุในภาพและในทำนองเดียวกัน $I(x, y)$ มีค่าน้อยกว่า T แล้วจะได้ค่า $I_T(x, y)$ เป็น 0 ซึ่งเป็นค่าสีของพื้นฉากในภาพ

ในการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทา จะเป็นการหาค่าที่เกี่ยวกับค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิตินั้นสามารถหาค่าการเปลี่ยนระดับสีที่เหมาะสม ในโครงงานนี้จะนำเสนอค่าทางสถิติ 3 ค่า ได้แก่

3.4.1.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

เป็นค่ากลางของค่าสถิติรูปแบบหนึ่ง เราจะนำข้อมูลทั้งหมดในรูปภาพมาพิจารณา ซึ่งข้อดีคือสามารถคำนวณได้ง่าย และข้อเสียคือไม่ใช่ค่ากลางที่ดีถ้ามีความแตกต่างของข้อมูลภาพมากเกินไป

$$\bar{X} = \frac{1}{n * m} \sum_{(i, j)} X(i, j) \quad \text{..... (3.2)}$$

เมื่อ $n * m$ คือขนาดของหน้าภาพที่ใช้

$X(i, j)$ คือค่าในแต่ละจุดที่พิจารณา

3.4.1.2 การรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เป็นการใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยของทั้งภาพรวมกัน ซึ่งจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ากลางมากที่สุด ซึ่งในการทำเราสามารถปรับแต่งให้เป็นค่าเทรชโฮลด์เฉพาะส่วนได้ ซึ่งจะทำให้ภาพที่ได้ออกมาเป็นภาพระดับสีที่ดีที่สุด

$$T = 0.15 \overline{SD} + \overline{X} \text{ -----(3.3)}$$

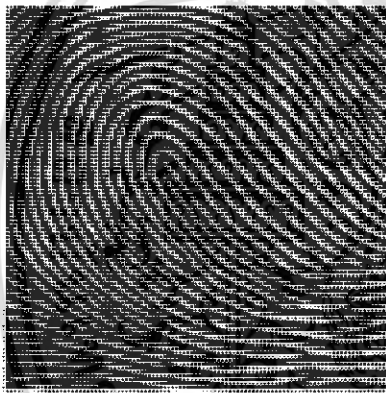
เมื่อ T คือค่าเทรชโฮลด์ที่ได้จากภาพที่รับเข้ามา

\overline{SD} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพ

\overline{X} คือค่าเฉลี่ยของภาพที่รับเข้ามา

$n*m$ คือขนาดของภาพที่รับเข้ามา

$X(i,j)$ คือค่าในแต่ละจุดในภาพที่รับเข้ามา



(a)



(b)

รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนภาพระดับสี (a) ภาพที่รับเข้ามาขนาด 256*256 พิกเซล (b) ภาพที่ผ่านการเปลี่ยนระดับสีเป็นขาว-ดำ

3.5 การทำลายเส้นให้บาง(Thinning)

การทำลายเส้นให้บางเป็นขั้นตอนพื้นฐานเริ่มแรกที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบและเป็นวิธีการลดทอนข้อมูลขนาดความกว้างของลายเส้นให้เหลือเพียง 1 จุดภาพ โดยที่ยังคงรักษาการเชื่อมต่อของลายเส้นไว้คงเดิม ซึ่งการลดทอนข้อมูลนี้จะช่วยให้ประหยัดพื้นที่ของความจำและลดความยุ่งยากในกระบวนการทำงาน ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้นและเร็วขึ้นด้วย โดยภาพที่ได้เรียกว่า สเกเลตัน (skeleton) ซึ่งการสเกเลตันที่ได้เกิดจากการทำลายเส้นให้บาง จะมีหลักการพิจารณาตามคุณสมบัติ ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ยังคงรักษาค่าโทโปโลยีตามรูปแบบของวัตถุในภาพ
2. ควรจะยังคงรักษาค่าเชื่อมต่อของลายเส้น
3. ควรจะไม่มีกีดเซาะมากเกินไป
4. ควรจะทำการลบจุดภาพได้อย่างสมมาตร
5. จะต้องเป็นแกนกลาง (medial axes) ของวัตถุในภาพ
6. จะต้องมีความหนาของลายเส้นเพียงจุดเดียว หรือบางที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
7. ควรจะไม่ต้องสนองต่อสัญญาณรบกวนในภาพที่อยู่ตามขอบภาพที่ไม่เรียบ
8. ควรจะมีการทำซ้ำหลายๆรอบเพื่อให้แน่ใจว่าได้ทำทุกๆจุดให้เหลือเพียง 1 จุดภาพ

3.5.1 สเกลเลตัน

สเกลเลตันเป็นวิธีที่ใช้ในการนำเสนอโครงสร้างของรูปร่างของพื้นที่ในวัตถุ โดยการลดทอนให้เป็นกราฟเชิงเส้น ซึ่งการลดทอนนี้สามารถทำได้โดยผ่านการทำสเกลเลตันของขอบเขตวัตถุในภาพ โดยผ่านขั้นตอนวิธีการลายเส้นให้บาง ซึ่งภาพที่ได้จากวิธีทำลายเส้นให้บาง จะเรียกภาพดังกล่าวว่า ภาพสเกลเลตัน

3.5.2 โทโปโลยี

โทโปโลยี เป็นสาขาหนึ่งของวิชาคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของรูปลักษณะทางเรขาคณิต ลักษณะเฉพาะของโทโปโลยีที่จะใช้จำแนกกลุ่มของจุดภาพในการประยุกต์ใช้งานในกระบวนการประมวลผลภาพลายนิ้วมือ จะมีจุดปลาย จุดแยก จุดตัด และจุดสิ้นสุดเป็นต้น การหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีนี้ สามารถหาได้จากการกำหนดหน้าต่าง 3×3 ครอบบิตที่ต้องการหา ซึ่งเราจะพิจารณาเฉพาะบิตที่ $X_0 = 1$ เท่านั้น (ค่าสีคือสีดำ)

X_4	X_1	X_2
X_5	X_0	X_1
X_6	X_7	X_8

จากการหาค่าคุณสมบัติทางโทโปโลยีโดยใช้ค่าคอนเนคเตด (connected number : N_c) ของค่า X_0 ได้จากสมการที่ 3.4 และ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nc^{(4)} = \sum_{k \in S1} (X_k - X_k X_{k+1} X_{k+2}) \text{-----(3.4)}$$

$$Nc^{(8)} = \sum_{k \in S1} (\bar{X}_k - \bar{X}_k \bar{X}_{k+1} \bar{X}_{k+2}) \text{-----(3.5)}$$

เมื่อตัวห้อย $k \geq 9$ หรือ $k \leq 0$ แล้วค่า k จะเป็น $k-8$ หรือ $k+8$ ตามลำดับ ส่วน \bar{X} หมายถึง

(1-X)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการจำแนกของค่าทางคุณสมบัติโทโปโลยีของ X_0

ค่าของ $N_C^{(4)}$ หรือ $N_C^{(8)}$	คุณสมบัติของ X_0
0	จุดภายใน(internal)หรือจุดโดดเดี่ยว(isolate)
1	จุดปลาย(end)
2	จุดเชื่อมต่อ(connect)
3	จุดแยก(branch)
4	จุดตัด(cross)

3.5.3 คำนิยามต่างๆที่ใช้ในการทำลายเส้นให้บาง

ในการทำลายเส้นให้บาง มีคำนิยามในขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางที่ควรทำความเข้าใจ

ดังนี้

X_4	X_3	X_2
X_5	X_0	X_1
X_6	X_7	X_8

คำนิยามที่ 1 : จุดภาพ X_0 สามารถลบได้ ก็ต่อเมื่อยังคงรักษาจุดเชื่อมต่อของวัตถุของภาพ

คำนิยามที่ 2 : จุดภาพ X_0 จะเป็นจุดวิกฤต ถ้าการลบจุดนั้นทำให้เกิดการสูญเสียการเชื่อมต่อของลายเส้นหรือทำให้เกิดช่องโหว่ขึ้นในลายเส้นนั้น

คำนิยามที่ 3 : ขาของสเกลเลตันจะเป็นเส้นกิ่งของจุดภาพที่มีความหนา 1 จุดภาพกับจุดปลายจุดหนึ่ง

คำนิยามที่ 4 : จุดภาพ X_0 จะเป็นจุดปลาย ถ้ามีจุดภาพเพียงหนึ่งจุดเท่านั้น ที่อยู่บนรอบจุดข้างแบบ 8 ซึ่งอาจเป็นจุดใดจุดหนึ่งก็ได้

คำนิยามที่ 5 : จุดภาพ X_0 สามารถลบได้ ถ้าไม่ใช่จุดปลายและจุดวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยามที่ 6 : จุดขอบภาพจะเป็นจุดภาพของวัตถุที่มีจุดรอบข้างอย่างน้อยหนึ่งจุด ที่เป็นจุดภาพของพื้นฉากในภาพอยู่บนจุดรอบข้างแบบ 4

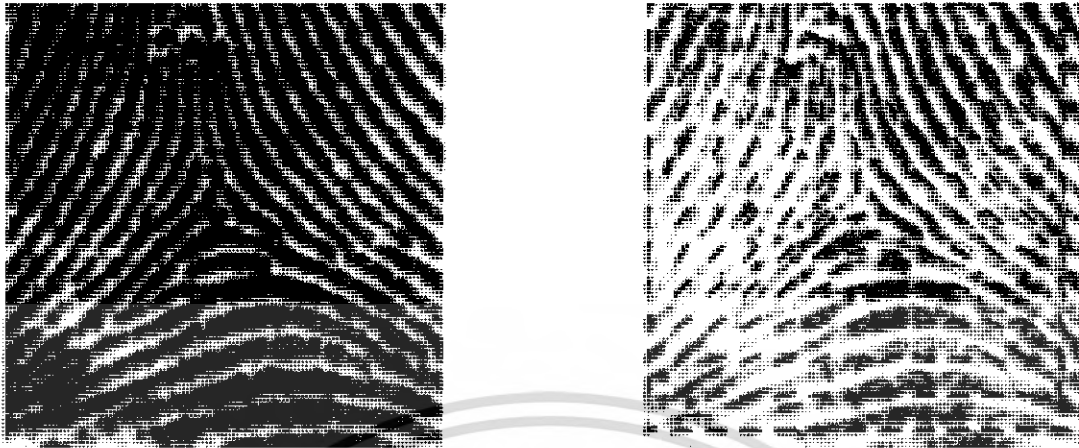
คำนิยามที่ 7 : จุดขาดจะเป็นจุดที่เมื่อถูกลบออกไปแล้วจะทำให้เสียค่าความเชื่อมต่อของลายเส้น



รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบการทำลายเส้นให้บาง (a) ภาพที่รับเข้ามาขนาด 256*256 พิกเซล (b) ภาพที่ผ่านการทำลายเส้นให้บาง

3.6 การหาทิศทางภาพ(Orientation)

ในการคัดแยกประเภทลายนิ้วมือว่าเป็นประเภทใดๆ จะต้องทำการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือแต่ละประเภทนั้นๆก่อน ซึ่งการจะหาลักษณะเด่นที่ว่านั้นได้ต้องผ่านกระบวนการการหาทิศทางของภาพเสียก่อน ซึ่งในการหาทิศทางนี้ทิศทางที่ได้มาจะบอกการเดินทางของเส้นนูน และเป็นการแยกเส้นนูน เส้นร่องจากทิศทางนี้อีกด้วย ประโยชน์ของการหาทิศทางนอกจากจะมีไว้เพื่อขั้นตอนการแยกประเภทของลายนิ้วมือ ลังยังสามารถหาจุดกึ่งกลางภาพได้อีกด้วย



(a)

(b)

รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบการหาทิศทางภาพลายนิ้วมือ (a) ภาพที่รับเข้ามา (b) ภาพที่ผ่านการหาทิศทาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7. ไคเรคชันฟิลเตอร์แบงค์ (DFB)

ไคเรคชันฟิลเตอร์แบงค์ (DFB) ได้ถูกแนะนำโดยนาย Bamberger และ Smith ตั้งแต่นั้น DFB ได้ถูกทำการพิสูจน์ถึงผลในกระบวนการภาพ ไคเรคชันฟิลเตอร์แบงค์ (DFB) สามารถที่จะนำภาพต้นฉบับมาพิจารณาแยกส่วนในแต่ละทิศทางได้ และสามารถนำภาพที่มีกลับมารวมให้เป็นภาพที่สมบูรณ์ได้อีกครั้ง จากภาพโดยรวมนั้นจะมีจุดเด่นต่างๆอยู่มาก แต่เมื่อทำการแยกภาพออกมาในแต่ละทิศทางแล้วจุดเด่นที่พบในแต่ละทิศทางก็จะมีเป็นบางส่วนเท่านั้น ในบทความนี้เราจะทำการเจาะจงในการทำการปรับปรุงภาพถ่ายนิ้วมือด้วยวิธีไคเรคชันฟิลเตอร์แบงค์ (DFB) เทคนิคนี้เหมาะสมมากสำหรับใช้ในการปรับปรุงภาพถ่ายนิ้วมือและมีเหตุผลอยู่สองข้อคือ หนึ่ง เทคนิค DFB นี้สามารถใช้ได้ดีกับภาพที่ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อนเช่นภาพถ่ายนิ้วมือที่ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นพื้นหลังและส่วนที่เป็นตอนหน้าเท่านั้น เหตุผลอีกข้อคือภาพถ่ายนิ้วมือโดยธรรมชาตินั้นจะมีจุดเด่นที่สัมพันธ์กับทิศทางลายนิ้วมือ ในพื้นฐานของการปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคไคเรคชันฟิลเตอร์แบงค์นี้ (DFB) ก็จะเริ่มจากการแยกภาพถ่ายนิ้วมือออกเป็นแปดทิศทางจากนั้นจึงใช้พื้นฐานในการปรับปรุงภาพเหล่านี้ก่อนที่จะทำการกลับคืนภาพถ่ายนิ้วมือให้เหมือนเดิม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4

หลักการทํางานของโปรแกรม

4.1 การกำจัดสัญญาณรบกวน(Noise Reduction)

โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยรอบขั้ว (Average Filter) เป็นการนำจุดรอบๆ ด้านของจุดที่มาพิจารณา มาทำการหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะมีการสร้างตัวกรอง

(Mask Filter) ขนาด 3*3

X_4	X_3	X_2
X_2	X_0	X_1
X_6	X_7	X_8

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

ซึ่งจะนำหน้าค่าตัวกรองกระทำต่อทุกๆจุดในรูปภาพและค่าของ X_0 จะมีค่าเท่ากับสมการ

ที่ 4.1

$$X_0 = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^8 X_i \text{ -----(4.1)}$$



(a)



(b)

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบภาพลายนิ้วมือในโครงการงาน (a) ภาพที่รับเข้ามา (b) ภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน

73173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสีสองระดับ(Binarization)

ในขั้นตอนการแปลงภาพระดับเทาไปเป็นภาพขาวดำ ต้องผ่านกระบวนการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีหรือการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งในขั้นตอนการทำเทรชโฮลด์ที่จะนำเสนอนี้มี 2 วิธี ซึ่งเป็นการหาค่าเทรชโฮลด์โดยอาศัยค่าทางสถิติ ซึ่งค่าที่ได้จะใช้กระทำที่เดียวทั้งภาพ

การหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนระดับสีเทา(Threshold)

4.2.1 ค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{1}{n * m} \sum_{(i,j)} X(i,j) \text{ -----(4.2)}$$

เมื่อ \bar{X} คือค่าเทรชโฮลด์ที่ได้จากภาพที่รับเข้ามา

$n*m$ คือขนาดของภาพที่รับเข้ามา

$X(i,j)$ คือค่าในแต่ละจุดในภาพที่รับเข้ามา

4.2.2 การรวมค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เป็นการนำค่ากลางทั้ง 2 ชนิดมารวมกันเพื่อประยุกต์ใช้ในการหาค่าเทรชโฮลด์ค่าที่ได้สามารถหาได้จากสมการ

$$T = 0.15 \overline{SD} + \bar{X}$$

$$\overline{SD} = \sqrt{\frac{1}{n * m} \sum_{(i,j)} (X(i,j) - \bar{X})^2} \text{ -----(4.3)}$$

เมื่อ T คือค่าเทรชโฮลด์ที่ได้จากภาพที่รับเข้ามา

\overline{SD} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพ

\bar{X} คือค่าเฉลี่ยของภาพที่รับเข้ามา

$n*m$ คือขนาดของภาพที่รับเข้ามา

$X(i,j)$ คือค่าในแต่ละจุดในภาพที่รับเข้ามา



(a)

(b)

รูปที่ 4.2 แสดงการแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสีสองระดับในโครงการงาน (a) การใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าเทรชโฮลด์ (b) การใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นค่าเทรชโฮลด์

4.3 การทำลายเส้นให้บาง(Thinning)

ในการทำลายเส้นให้บางนั้นมีหลายทฤษฎีที่เคยมีการศึกษาวิจัย ในแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งในโครงการงานนี้จะนำเสนอการทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีของ Zhang and Suen และยังเสนอการทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีที่ปรับปรุงจากทฤษฎีของ Zhang and Suen อีกด้วยเนื่องจากการทำตามแบบของ Zhang and Suen นั้นไม่ได้ป้องกันการเชื่อมต่อของเส้นลายนิ้วมือไว้ ในโครงการงานนี้จะนำเสนอเพียง 2 วิธี ซึ่งก็เพียงพอต่อการนำไปประมวลผลภาพลายนิ้วมือ

4.3.1 การทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีของ Zhang and Suen

ในขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีการของ Zhang and Suen ที่นำมาแสดงนี้กระทำกับภาพขาวดำ โดยให้ 1 แทนจุดภาพของวัตถุในภาพ และ 0 แทนจุดภาพของพื้นฉากในภาพ ขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางวิธีนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่กระทำกับจุดคอนทัว(contour point) ของเนื้อวัตถุในภาพ โดยจุดคอนทัวเป็นจุดที่มีค่าเป็น 1 และมีจุดรอบข้าง x_0 อย่างน้อย 1 จุดที่มีค่าเป็น 0 โดยโครงสร้างของจุดคอนทัวของ x_0

X8	X1	X2
X7	X0	X3
X6	X5	X4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 จุดคอนทัวของ X_0 จะถูกลบ เมื่อมีเงื่อนไขดังนี้

1. $2 \leq N(x_0) \leq 6$
2. $S(x_0) = 1$
3. $x_1 \cdot x_3 \cdot x_7 = 0$
4. $x_1 \cdot x_5 \cdot x_7 = 0$

โดยที่ $N(x_0)$ เป็นจำนวนจุดรอบข้างของ x_0 ที่ไม่เป็น 0 นั่นคือ

$$N(x_0) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$$

และ $S(x_0)$ เป็นจำนวนจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 ตามลำดับของ $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$

เงื่อนไขที่ 3 เป็นการตรวจสอบผลคูณของ $x_1, x_3, x_7 = 0$ และเงื่อนไขที่ 4 เป็นการตรวจสอบผลคูณของ $x_1, x_5, x_7 = 0$ ซึ่งเงื่อนไขที่ 3 และ 4 จะเป็นจริงเมื่อมีค่าใดค่าหนึ่งตามนี้คือ $x_1 = 0$, or $x_7 = 0$ or $(x_3 = 0 \text{ and } x_5 = 0)$

ขั้นตอนที่ 2 เงื่อนไข 1 และ 2 ยังคงเหมือนเดิม แต่เงื่อนไขที่ 3 และ 4 ถูกเปลี่ยนเป็น

1. $2 \leq N(x_0) \leq 6$
2. $S(x_0) = 1$
3. $x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 = 0$
4. $x_3 \cdot x_5 \cdot x_7 = 0$

เงื่อนไขที่ 1 และ 2 จะมีวิธีในการหาค่าเหมือนกับเงื่อนไขที่ 1 และ 2 ในขั้นตอนที่ 1 โดยเงื่อนไขที่ 3 เป็นการตรวจสอบผลคูณของ $x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 = 0$ และเงื่อนไขที่ 4 เป็นการตรวจสอบผลคูณของ $x_3 \cdot x_5 \cdot x_7 = 0$ ซึ่งเงื่อนไขที่ 3 และ 4 จะเป็นจริง เมื่อมีค่าใดค่าหนึ่งตามนี้คือ $x_3 = 0$ or $x_5 = 0$ or $(x_1 = 0 \text{ and } x_7 = 0)$

โดยจะมีขั้นตอนในการทำงานอย่างคร่าวๆ คือ

ในขั้นตอนที่ 1 จะประมวลผลกับจุดขอบภาพ (border point) ของเนื้อวัตถุในภาพขาวดำ ภายใต้การพิจารณา ถ้าไม่ตรงกับเงื่อนไขอันใดอันหนึ่ง 1-4 จุดภาพที่พิจารณาอยู่ จะไม่ถูกลบ แต่ถ้าถูกต้องตามเงื่อนไข 1-4 จุดภาพที่พิจารณาจะถูกลบ แต่จุดภาพพิจารณาทั้งหมดจะไม่ถูกลบจนกว่า จนกระทั่งจุดขอบภาพของทั้งภาพถูกประมวลผล โดยจะทำเครื่องหมาย ของจุดที่จะถูกลบไว้ก่อน ซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของข้อมูลระหว่างการดำเนินการของขั้นตอนวิธีการทำ ไลนสั่นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen ภายหลังจากขั้นตอนที่ 1 ได้ถูกประมวลผลกับทุกจุด

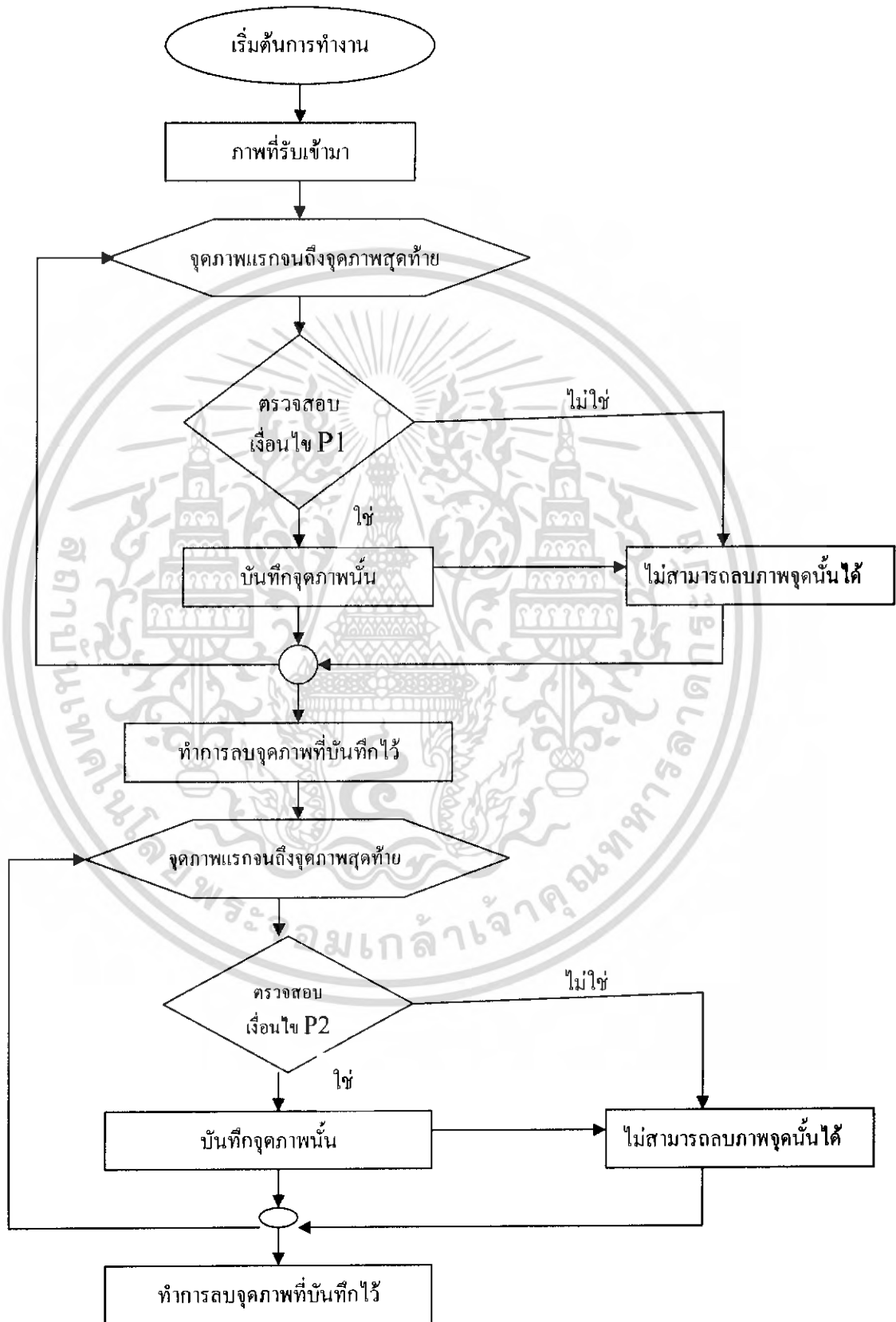
ขอบภาพแล้ว จุดที่ถูกทำเครื่องหมายไว้จะถูกลบ (คือ เปลี่ยนค่าเป็น 0) จากนั้นขั้นตอนที่ 2 จะประมวลผลกับภาพที่ได้จากการประมวลผลในขั้นตอนที่ 1 แล้วด้วยวิธีการที่เหมือนกับขั้นตอนที่ 1

โดยพื้นฐานของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen นี้สังเกตได้ว่าประกอบด้วยขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ดังนี้ 1) ทำตามขั้นตอนที่ 1, 2) ลบจุดภาพ, 3) ทำตามขั้นตอนที่ 2 กับจุดขอบภาพที่ยังคงเหลือ, 4) ลบจุดขอบภาพ ซึ่งขั้นตอนทั้ง 4 ข้อนี้จะถูกกระทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีจุดภาพใดๆ จะถูกลบอีก ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาสิ้นสุดการทำงานของขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ Zhang and Suen



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการทำงานลายเส้นให้บางด้วยวิธีของ Zhang and Suen



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูในโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำขอจบการทำงาน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีที่ทำการปรับปรุง

ในวิธีการทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีของ Zhang and Suen นั้นจะไม่มี การตรวจสอบว่า จุดภาพด้านข้างของจุดภาพที่พิจารณา แต่วิธีที่ปรับปรุงสามารถทำได้โดยอาศัยกฎ 2 ข้อ P1 และ P2 วิธีการทำ Thinning จะมี 3 ขั้นตอนขั้นแรกจะใช้ กฎ P1 โดยการนำ Template ขนาด 3x3 สแกนไป ตามข้อมูลภาพและทำการพิจารณาพิกเซลบริเวณขอบภาพว่าสามารถลบได้หรือไม่ถ้าลบได้ให้ หมายเหตุไว้แต่ยังไม่ต้องลบ ขั้นที่สองใช้กฎ P2 และดำเนินการเหมือนการใช้กฎข้อที่ P1 จากนั้นจะ ได้พิกเซลที่มีหมายเหตุ แล้วจะพิจารณาพิกเซลที่มีหมายเหตุว่าพิกเซลที่อยู่ถัดไป 1 พิกเซลมีค่าสี เป็นสีขาวหรือไม่ ถ้าเป็นสีขาวแสดงว่าจุดพิกเซลที่มีหมายเหตุไว้เป็นขอบสามารถลบได้ แต่ถ้าค่าเป็น สีดำแสดงว่าไม่สามารถลบได้ ที่มีหมายเหตุเมื่อทำการลบข้อมูลภาพที่มีไว้ในหมายเหตุแล้ว ก็ให้ทำซ้ำ ต่อไปเรื่อย ๆ จนไม่สามารถลบข้อมูลภาพออกได้อีก

ลักษณะของข้อมูลที่นำมาพิจารณาจะมีขนาดเท่ากับ 3x3 โดยที่พิกเซลปัจจุบันคือพิกเซล ตรงกลางดังนี้คือ

P8	P1	P2
P7	P0	P3
P6	P5	P4

กำหนดให้ $N(p_0) = \sum_{i=1}^8 p_i$ เป็นจำนวนของพิกเซลรอบ p_0 เมื่อ $p_0 = 0,1$ และ $i=0,1,2,\dots,8$ $T(p_0)$ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจาก 0 ไปเป็น 1 เมื่อพิจารณาข้อมูลใน $p_1, p_2, p_3, \dots, p_8, p_1$ ตามลำดับ

กฎ P1 จะมีลอจิกดังนี้คือ

1. $2 \leq N(p_0) \leq 6$
2. $T(p_0) = 1$
3. $p_1.p_3.p_5 = 0$
4. $p_3.p_5.p_7 = 0$

กฎ P2 จะมีลอจิกดังนี้คือ

1. $2 \leq N(p_0) \leq 6$
2. $T(p_0) = 1$
3. $p_1.p_3.p_7 = 0$
4. $p_1.p_5.p_7 = 0$

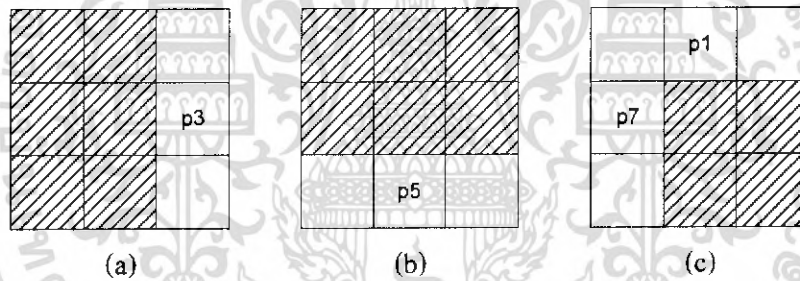
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎ P1 และ P2 จะมีจุดพิชเชล p_0 ที่หมายเหตุไว้ จะนำมาพิจารณา ดังนี้

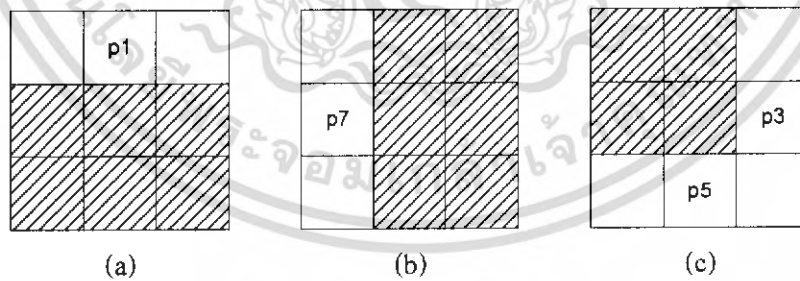
$$p_0 = 0 \cap p_3 \neq 1$$

ถ้าจุดพิชเชลที่หมายเหตุไว้ตรงตามเงื่อนไขนี้ จะสามารถทำการลบจุดพิชเชลนั้นได้

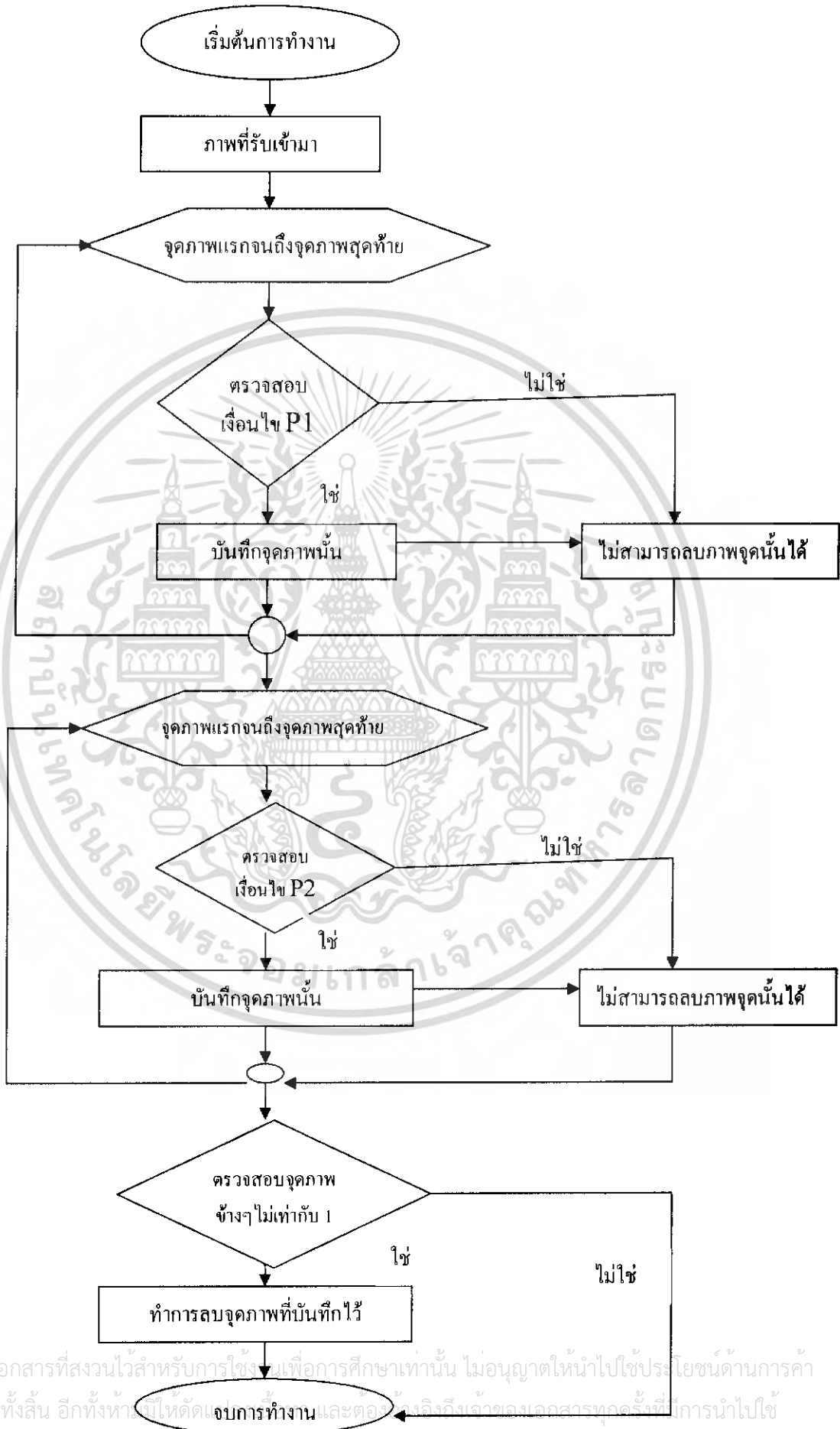
สำหรับเงื่อนไขแรกของ P1 และ P2 คือพิชเชลตรงกลาง (p_0) สามารถลบได้ก็ต่อเมื่อค่าของ p_1 ถึง p_8 มีค่าเท่ากับ 1 (เป็นสีดำ) มากกว่า 1 ตำแหน่งและต้องไม่มากกว่า 6 ตำแหน่ง สำหรับเงื่อนไขที่ 2 กำหนดให้ $T(p_0) = 1$ หมายถึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจาก 0 ไปเป็น 1 ของข้อมูล $p_1, p_2, p_3, \dots, p_8, p_1$ เพียงครั้งเดียวเท่านั้น และในเงื่อนไขที่ 3 และ 4 คือ ($p_1.p_3.p_5 = 0$) และ ($p_3.p_5.p_7 = 0$) จะใช้ได้สำหรับเงื่อนไขที่ $p_3=0$ หรือ $p_5=0$ หรือ ถ้า $p_1=0$ และ $p_7=0$ ตามตัวอย่างดังกล่าวนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อ $p_3=0$ จะเป็นลักษณะของขอบด้านขวา เมื่อ $p_5=0$ จะเป็นขอบด้านล่าง และเมื่อ $p_1=0$ และ $p_7=0$ จะเป็นมุมบนซ้าย สำหรับใน P2 นั้นเราสามารถลบพิชเชล p_0 ได้ก็ต่อเมื่อ $p_1=0$ หรือ $p_7=0$ หรือ (p_3 และ $p_5=0$) ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อ $p_1=0$ จะเป็นขอบบน $p_7=0$ จะเป็นขอบด้านซ้าย และเมื่อ ($p_3=0$ และ $p_5=0$) จะเป็นมุมล่างขวา



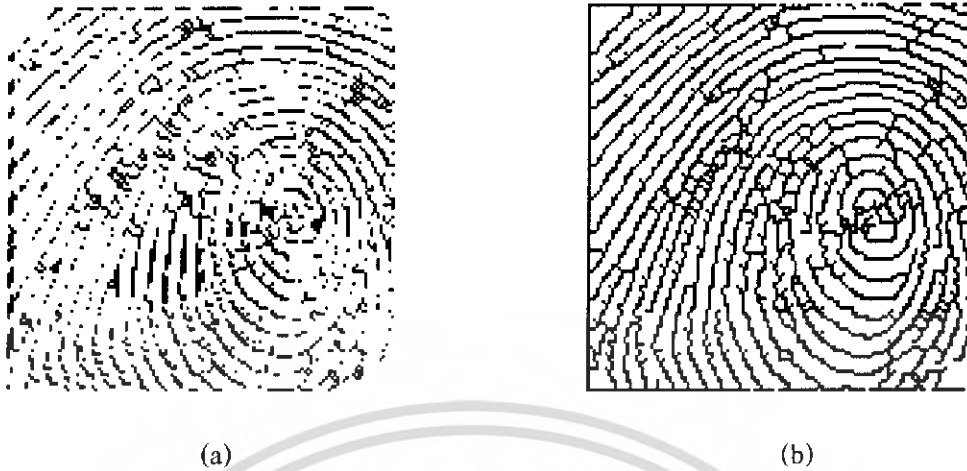
รูปที่ 4.4 รูปแสดงเงื่อนไขการทำลายเส้นให้บาง



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการทำงานการทำลายเส้นให้บางที่ได้ทำการปรับปรุง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกการทำงาน และต่อจากนี้จึงเป็นเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการทำลายเส้นให้บางในโครงงาน (a) โดยวิธีของ Zhang and Suen (b) โดยวิธีที่ปรับปรุงขึ้น

4.4 การหาทิศทางภาพ(Orientation)

การหาทิศทางจะเป็นการพิจารณาทิศทางของเส้นนูนในลายนิ้วมือ (Ridge orientation) เพื่อวิธีการไปตัดแยกประเภทลายนิ้วมือ ซึ่งจะมีขั้นตอนการหาทิศทาง ดังนี้

เกรเดียน (Gradient) ในแนวแกนตั้ง(G_y) และในแนวแกนนอน(G_x) โดยวิธีการของ Sobel ซึ่งจะใช้หน้ากากขนาด 3*3

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก

$$G_x = (Z_7 + (2 * Z_8) + Z_9) - (Z_1 + (2 * Z_2) + Z_3) \text{ -----(4.4)}$$

$$G_y = (Z_3 + (2 * Z_6) + Z_9) - (Z_1 + (2 * Z_4) + Z_7) \text{ -----(4.5)}$$

หลังจากนั้น สามารถหาทิศทางได้จาก

$$\alpha(x, y) = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right) \text{ -----}$$

เพื่อให้ได้ทิศทางที่ดี จะนำมาหาค่าเฉลี่ยทิศทางจากค่า $\alpha(x, y)$ ในบริเวณรอบๆข้าง ซึ่งจะคิดในบริเวณกรอบขนาน 4*4 นั่นก็คือ ค่า $w = 16$ นั่นเอง

$$\tilde{\theta}(x, y) = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{\sum_{(i,j) \in W} \sin 2\alpha(i, j)}{\sum_{(i,j) \in W} \cos 2\alpha(i, j)} \right) \text{-----(4.5)}$$

$$\theta = \tilde{\theta} + \frac{\pi}{2} \text{-----(4.6)}$$

4.5 ไคเรคชันฟิลเตอร์เบงค์ (DFB)

ในขั้นตอนนี้เราได้สรุปหลักการของไคเรคชันฟิลเตอร์เบงค์เอาไว้ ซึ่ง DFB นั้นได้ผ่านการนำเสนอโดยนาย Bamberger และ Smith DFB นั้นคือการแยกย่านความถี่ 2D โดยใช้การฟิลเตอร์ออกจากรันความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นแปดแบนด์ซึ่งแสดงโครงสร้างในภาพที่สอง ส่วนประกอบพื้นฐานของ DFB นั้นจะประกอบด้วยคุณสมบัติพื้นฐานจะถูกอ้างอิงโดย fan filter จะมี $H_0(\omega_1, \omega_2)$ และ $H_1(\omega_1, \omega_2)$ ซึ่ง $H_1(\omega_1, \omega_2)$ นี้จะถูกนำมาเข้ากระบวนการ quincunx down sampler $H_0(\mathbf{M}^T \boldsymbol{\omega})$ กำหนดให้ \mathbf{M} คือ

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \text{-----(4.6)}$$

ผลของการ down sampled และการหมุนของ $H_0(\omega_1, \omega_2)$ จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3. ส่วน diamond conversion matrices(R) จะทำการเปลี่ยนฟิลเตอร์ $H_0(\omega_1, \omega_2)$ โดยที่ R นั้นมีคุณสมบัติของพาสแบนด์มีรูปร่างเหมือนกับสี่เหลี่ยมด้านขนานมีสี่แบบ $R_0^i(\omega_1, \omega_2)$, $i = 1, 2, 3$ และ 4 แสดงในรูปที่ 4.

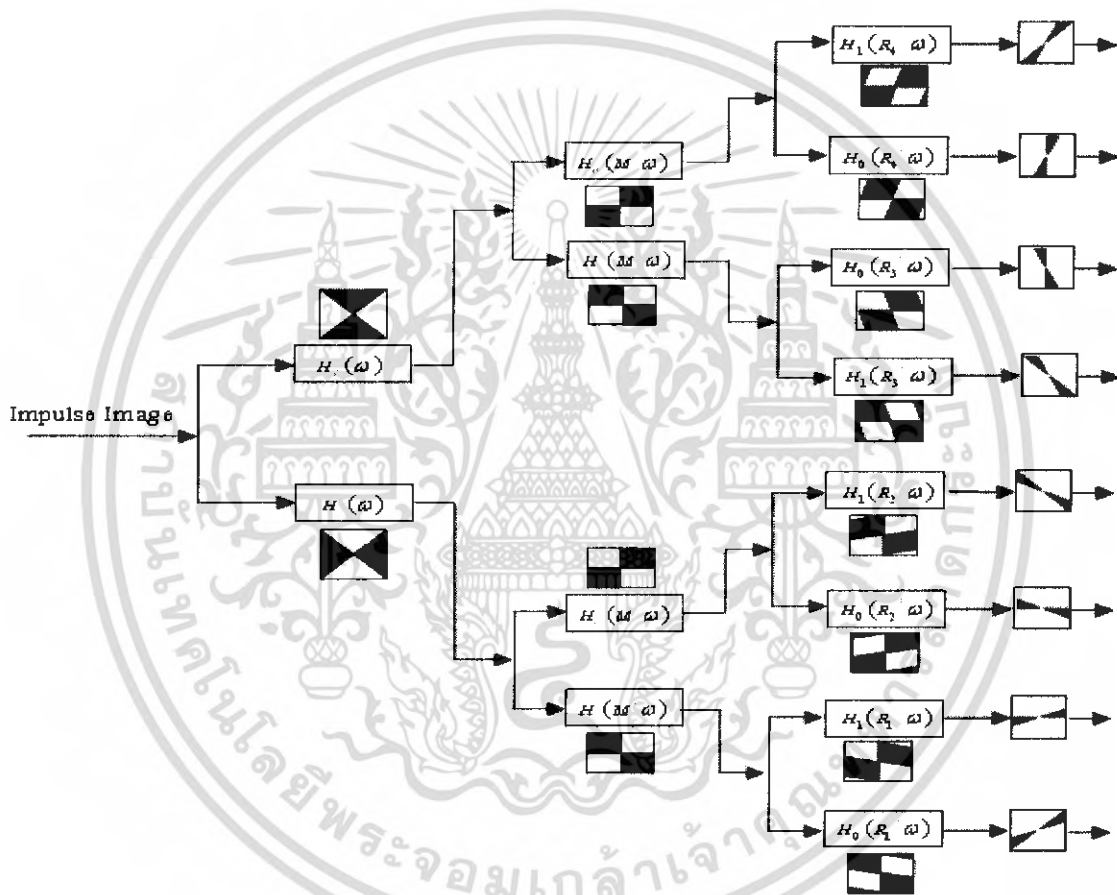
$$\mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}_2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{-----(4.7)}$$

$$\mathbf{R}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{R}_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

ในขั้นตอนนี้ไคเรคชันฟิลเตอร์เบงค์(DFB)ภาพอินพุทจะถูกทำการฟิลเตอร์โดย $H_0(\omega_1, \omega_2)$ และ $H_1(\omega_1, \omega_2)$ ผลที่ได้ทั้งสองแบนด์จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3. ในส่วนที่สองนั้นจากสองแบนด์ที่ได้นั้นจะผ่านการแบ่งออกเป็นสี่แบนด์โดยทั้งสี่ส่วนนี้แต่ละส่วนมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H_0(\omega_1, \omega_2)$ และ $H_1(\omega_1, \omega_2)$ ผ่านการquincunx และ down sample (M) ผลที่ได้จากส่วนที่สองนี้จะถูกส่งต่อไปยังในส่วนที่สามต่อมาในส่วนนี้จะมีกระบวนการที่คล้ายกับกระบวนการในส่วนที่สองแต่จะไม่มีการทำ quincunx และ down sample (M) คือจะเปลี่ยนหรือแทนที่ด้วย diamond conversion matrices (R) ซึ่งเมทริกซ์ (R) นี้จะถูกแบ่งออกเป็นแปดส่วนซึ่งในแต่ละส่วนนั้นจะมีทิศทางที่แตกต่างกันซึ่งทั้งแปดทิศทางนี้เราสามารถนำมาทำการกลับคืนให้เป็นภาพเหมือนเดิมได้



รูปที่ 4.7 แสดงแผนผังไดอะแกรมของ DFB

การออกแบบฟิลเตอร์สองมิติที่เฟสมีค่าเป็นศูนย์ (2D Zero-Phase FIR Filter Design)

ปัญหาของการออกแบบฟิลเตอร์สองมิตินั้นจะใช้พื้นฐานในการออกแบบของ $h(n_1, n_2)$ หรือ $H(\omega_1, \omega_2)$ เราจะมาทำการเจาะจงพิจารณาการออกแบบซึ่งการออกแบบฟิลเตอร์จะมีมาตรฐานหลักๆอยู่สี่แบบคือ วิธี window, frequency sampling, frequency transform และ optimal filter design ในบทความนี้เราได้ทำการเลือกวิธี frequency transform กระบวนการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะดีกว่า window และ frequency sampling แม้ว่า optimal filter design จะให้ประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ดีกว่าแต่จะใช้การคำนวณที่ยุ่งยาก

กระบวนการของการออกแบบจะใช้คุณสมบัติของ fan filter กับวิธี frequency transform ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

(1) ออกแบบฟิลเตอร์หนึ่งมิติ Zero – phase ที่มีความสมมาตรโดยอยู่ในช่วง $2N+1$

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) \cos \omega n \quad (4.8)$$

(2) แทน $\cos \omega n$ ลงในสมการที่ (2.1) ด้วย Chebyshev polynomial ดังนั้นจะได้

$$H(\omega) = \sum_{n=0}^N a(n) T_n(\cos \omega) \quad (4.9)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} T_0 &= 1 \\ T_1(x) &= x \\ T_{n+1}(x) &= 2T_n(x) - T_{n-1}(x), \quad -1 \leq x \leq 1 \end{aligned}$$

(3.3) ใช้ McClellan เราก็สามารถทำการหาฟิลเตอร์สองมิติที่มีเฟสเป็นศูนย์ (FIR filter) ถ้าเราทำการแทน $\cos \omega n$ ลงในสมการที่ (4.9) ด้วย $F(\omega_1, \omega_2)$ ดังนั้นจะได้

$$H(\omega_1, \omega_2) = \sum_{n=0}^N a(n) T_n[F(\omega_1, \omega_2)] \quad (4.10)$$

โดยที่ $F(\omega_1, \omega_2)$ คือฟังก์ชันแมบบิง ส่วนในกรณีฟิลเตอร์แบบแฟน (fan filter) จะได้

$F(\omega_1, \omega_2) = 0.5 \cos \omega_1 - 0.5 \cos \omega_2$ และ $H_0(\omega_1, \omega_2)$ คือผลที่ได้จากฟิลเตอร์ที่ได้

ออกแบบ. และแฟนฟิลเตอร์ $H_1(\omega_1, \omega_2)$ ด้วยเช่นกัน เราได้ทำการทดลองและแสดงให้ดูถึงการ

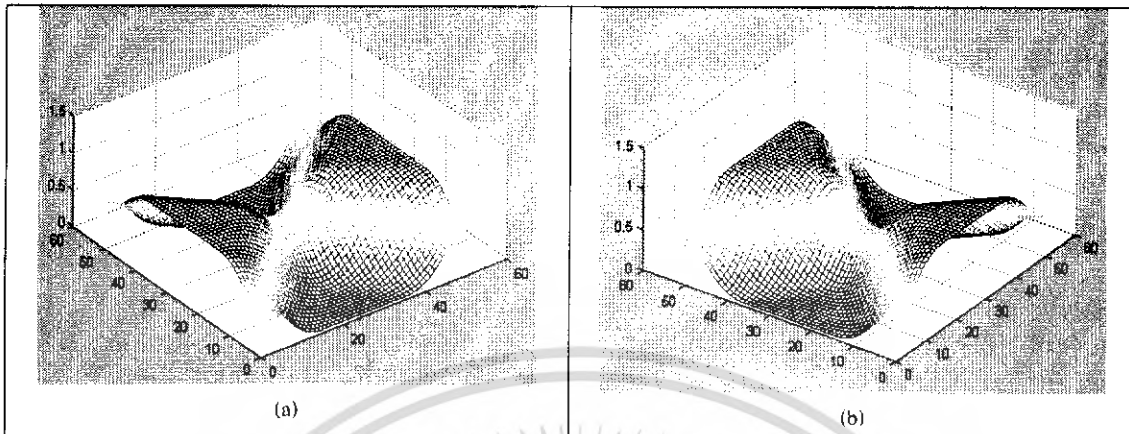
ใช้งานของ DFB สำหรับการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ การใช้ DFB สำหรับการปรับปรุงภาพ

ลายนิ้วมือ การใช้ DFB นั้นเราจะทำการแยกภาพลายนิ้วมือจากต้นฉบับออกเป็นแปดทิศทางทำการ

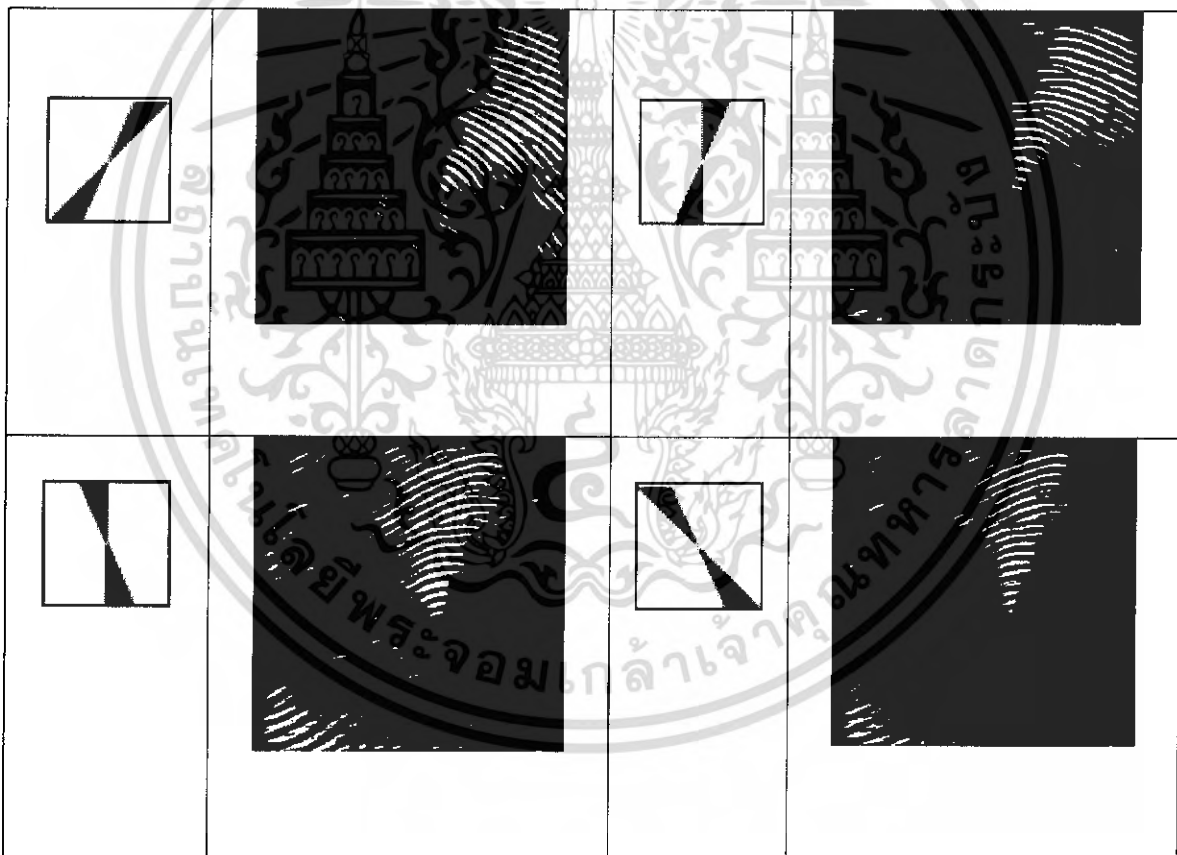
แยกโดยใช้ฟิลเตอร์ที่ได้ออกแบบมาทำการฟิลเตอร์ออกมาแต่ละทิศทางและภาพผลที่ได้นั้นจะ

แสดงให้เห็นอยู่ในรูปที่ 6. ซึ่งในแต่ละทิศทางนั้นจะถูกทำการปรับปรุงด้วยวิธีเทรซโฮลด์

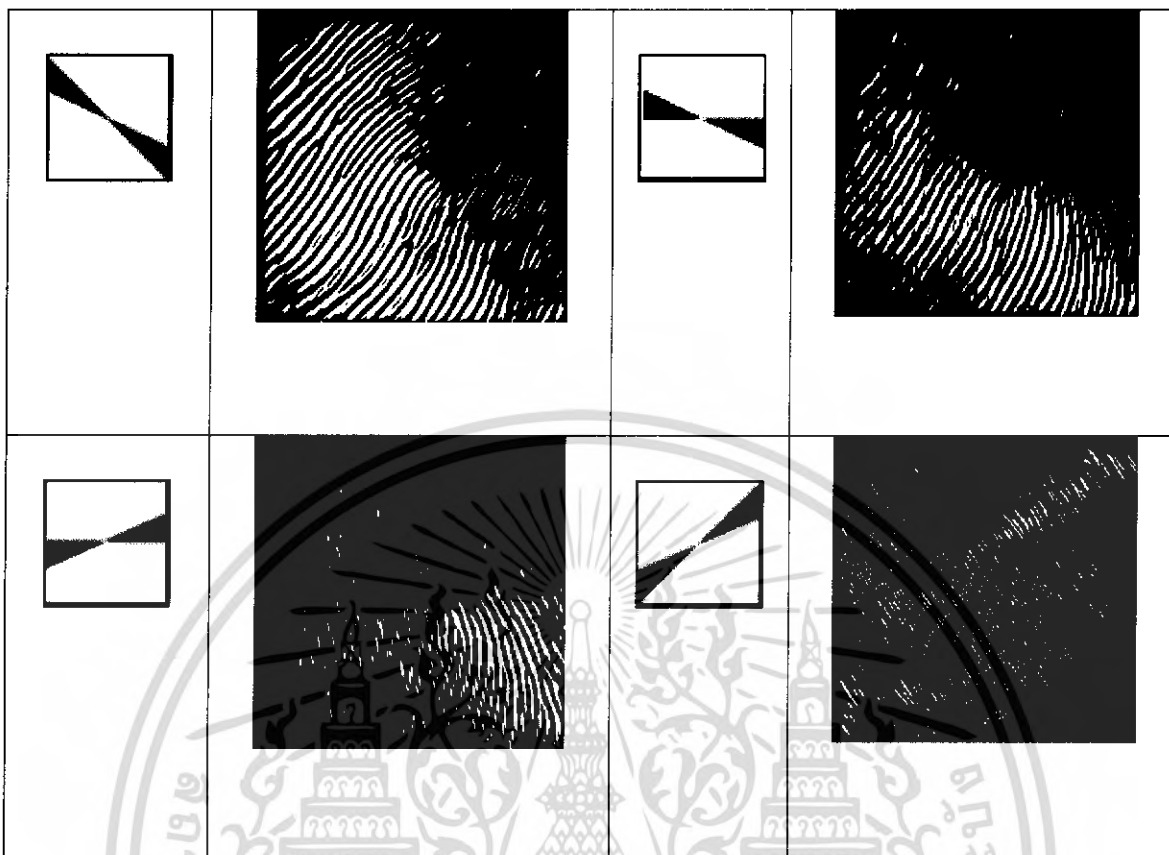
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงฟิลเตอร์แบบเฟน (a) low pass และ (b) high pass



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงผลที่ได้ในแต่ละแบนด์

4.6 การวัดความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error)

ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยเป็นวิธีที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบ ในการควบคุมกระบวนการทางสถิติมักจะกล่าวถึง ส่วนเบี่ยงเบนกำลังสองเฉลี่ย ซึ่งความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n P_i^2} \quad (4.11)$$

เมื่อ MSE คือ ความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย

P_i คือ ค่าเฉลี่ยของทิศทางต้นฉบับ

T_i คือ ค่าเฉลี่ยของทิศทางที่ทดสอบ

N คือ จำนวนทิศทางทั้งหมด ($N=8$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

คุณสมบัติและหลักการทำงานของเครื่องสแกนลายนิ้วมือ

5.1 คุณสมบัติของบอร์ดสแกนลายนิ้วมือ

บอร์ดฟิงเกอร์ปริ้น(Fingerprint) MV1200 มีความสามารถในการตรวจสอบและพิสูจน์ลายนิ้วมือพร้อมกับการใช้งานการประมวลผลด้วยชิป DSP ของ TI ซึ่งฟิงเกอร์ปริ้นนี้ประกอบด้วยส่วนของตัวเซนเซอร์และตัวประมวลผลเข้าไว้ด้วยกันมีองค์ประกอบดังนี้

1. เมนบอร์ดขนาด 63 มม. × 43 มม. มีหน่วยความจำ flash memory ขนาด 2 MB
2. บอร์ดเซนเซอร์สแกนลายนิ้วมือขนาด 35 มม. × 35 มม. ความละเอียด 250 จุดต่อตารางนิ้ว (dpi)
3. หน้ากากเซนเซอร์ซึ่งมีตัวกันขบนิ้ว (Ridge-Lock) และตัวนำร่องนิ้ว (finger Guide)
4. มีระบบการเชื่อมต่อแบบพอร์ตอนุกรม RS-232 ,RS485 และการเชื่อมต่อแบบ Wiegand

ช่วงอุณหภูมิใช้งาน 0-60 องศาเซลเซียส

แหล่งจ่าย

5 โวลต์ดีซี ช่วงทำงานสูงสุดใช้กระแสประมาณ 0.5 แอมแปร์

5 โวลต์ดีซี ช่วงสแตนด์บาย ใช้กระแสประมาณ 0.6 แอมแปร์

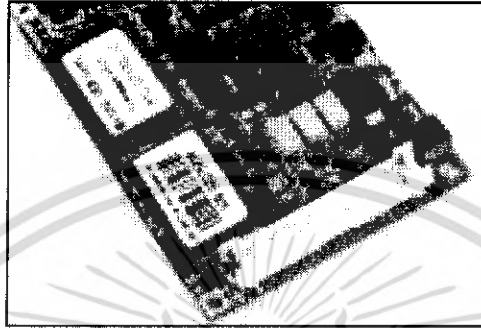


รูปที่ 5.1 บอร์ดที่เชื่อมต่อพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การเชื่อมต่อในการใช้งาน

การใช้งานพินเกอร์ปรีนในส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้งานมีการเชื่อมต่อทางพอร์ตอนุกรม RS-232 ผ่านทางสายซิงเกิลเชื่อมต่อกับสาย DB-9 เข้าทางพอร์ต Com1



รูปที่ 5.2 ตัวคอนเนคเตอร์ที่ใช้งานร่วมกับสายแบบซิงเกิล



รูปที่ 5.3 สายแบบซิงเกิลที่ใช้งานร่วมกับ DB-9

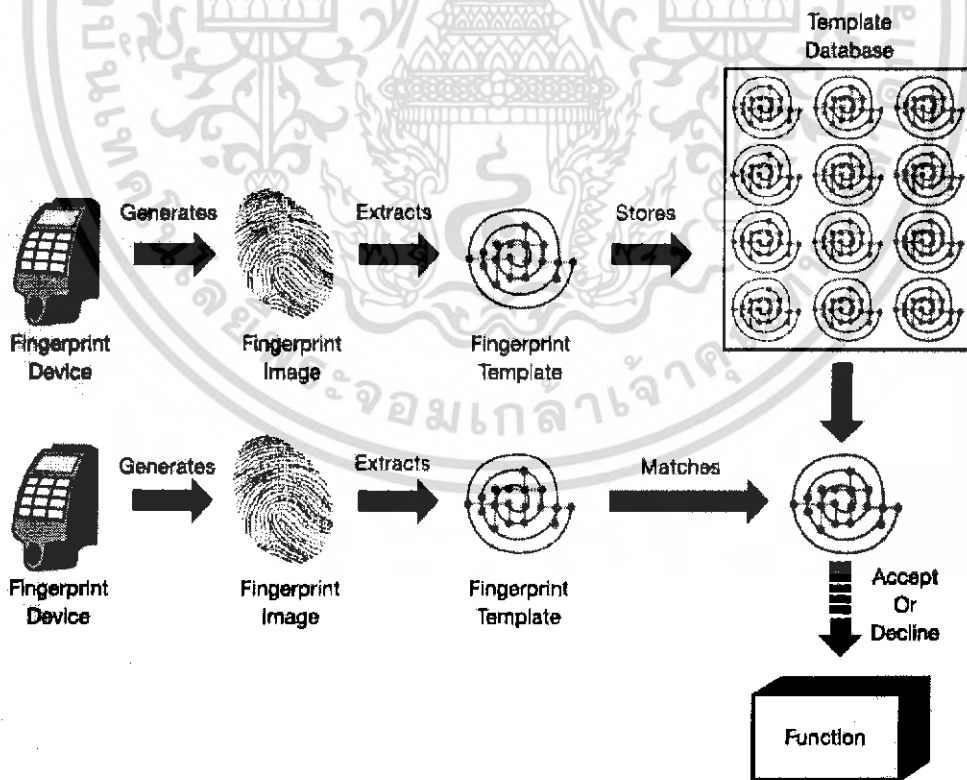
ตารางที่ 5.1 แสดงรายละเอียดตำแหน่งขา DB-9

ขา	รายละเอียด
1	ไม่ใช้งาน
2	Tx
3	Rx
4	ไม่ใช้งาน
5	กราวด์
6	ไม่ใช้งาน
7	RTS
8	CTS
9	ไม่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของคอนเนคเตอร์แบบซิงเกิลบนเมนบอร์ดมี 40 ขา

Pin 1	TTL GND
Pin 2	TTL VCC
Pin 3	TTL Line 0 Input
Pin 4	TTL Line 1 Input
Pin 5	TTL Line 0 Out Sink Active Low
Pin 6	TTL Line 1 Out Sink Active Low
Pin 7	TTL Line 0 Out Source Active High
Pin 8	TTL Line 1 Out Source Active High
Pin 9	LED VCC
Pin 10	LED 1 OUT Active Low
Pin 11	LED 1 OUT Active Low
Pin 12	LED 2 OUT Active Low
Pin 13	Aux RS232 GND
Pin 14	Aux RS232 RX
Pin 15	Aux RS232 CTS
Pin 16	Aux RS232 TX
Pin 17	Aux RS232 RTS
Pin 18	Host RS232 GND
Pin 19	NOT USED
Pin 20	HOST RS232 TX / HOST 485 TX (-)
Pin 21	HOST RS232 CTS / HOST 485 RX (+)
Pin 22	HOST RS232 RX / HOST 485 RX (-)
Pin 23	HOST RS232 RTS / HOST 485 TX (+)
Pin 24	Wiegand VCC
Pin 25	Wiegand GND
Pin 26	Wiegand line 1 OUT Active Low
Pin 27	Wiegand Line 0 OUT Active Low
Pin 28	Wiegand LED OUT (Input pin)
Pin 29	Wiegand Line 1 IN Active Low
Pin 30	Wiegand Line 0 IN Active Low
Pin 31	Wiegand LED IN (Output Pin)
Pin 32	Power GND
Pin 33	Power +5V Regulated Input
Pin 34	Power GND
Pin 35	Power +5V Regulated Input
Pin 36	Power GND
Pin 37	NOT USED
Pin 38	NOT USED
Pin 39	NOT USED
Pin 40	NOT USED



รูปที่ 5.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องสแกนลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

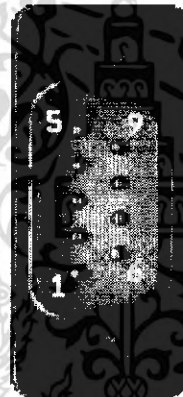
5.3 การแสดงผลของการคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ

5.3.1 มาตรฐานการส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Data Standards)

มีมาตรฐานหลายมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมซึ่งมีวิธีที่แตกต่างกัน มาตรฐานอย่างแรกที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางของคอมพิวเตอร์ คือ มาตรฐาน RS-232C ซึ่งเผยแพร่โดย EIA (Electronic Industry Association) โดย RS ย่อมาจาก Recommended Standard และ 232 เป็นเลขประจำตัวมาตรฐานและ C หมายถึง ปรับปรุงมาแล้ว 3 ครั้ง

ในมาตรฐาน RS-232C แบ่งอุปกรณ์ได้ 2 แบบ เรียกว่า DCE (Data Connecting Equipment) และ DTE (Data Terminal Equipment) โดยที่ DCE ใช้คอนเน็คเตอร์ตัวเมียขณะที่ DTE ใช้คอนเน็คเตอร์ตัวผู้

Signal Ground.....	GND	—	5
Ring Indicator	RI	IN →	9
Data Terminal Ready.....	DTR	OUT ←	4
Clear To Send	CTS	IN →	8
Transmit Data	TXD	OUT ←	3
Request To Send.....	RTS	OUT ←	7
Receive Data	RXD	IN →	2
Data Set Ready	DSR	IN →	6
Carrier Detect	DCD	IN →	1

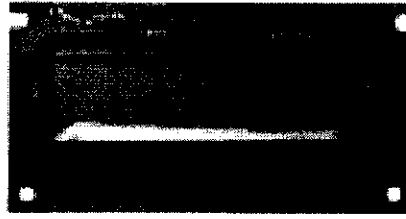


รูปที่ 5.5 แสดงการต่อของ Serial Port

5.3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แสดงผลแบบ LCD

อุปกรณ์แสดงผลแบบ LCD บางครั้งเรียกว่า LCD มอดุล เนื่องจากภายในประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ หลายส่วน เช่น รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) ทำหน้าที่รับคำสั่งควบคุม การแสดงผล หน่วยความจำแสดงผล (Display Data RAM : DDRAM) เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บ ข้อมูลที่จะแสดงผล หน่วยความจำรวมแสดงผล (Character Generator ROM : GROM) เป็น หน่วยความจำที่เก็บสัญลักษณ์และอักขระต่างๆ ที่จะแสดงผล ถ้าหาก LCD มอดุลต้องการแสดงผล อะไรบ้างมันจะนำเอาข้อมูลแต่ละตัวออกไปจากหน่วยความจำส่วนนี้ หน่วยความจำแรมเก็บ ตัวอักษร (Character Generator RAM: GRAM) เป็นหน่วยความจำที่ใช้สร้างตัวอักษรเพิ่มเติมขึ้นมา ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 จอแสดงผลของข้อมูล

■ INTERFACE PIN CONNECTIONS

NO.	SYMBOL	FUNCTION	NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V _{SS}	Supply Ground	9	DB2	Data Bit 2
2	V _{DD}	Supply Voltage	10	DB3	Data Bit 3
3	V ₀	Contrast Adj.	11	DB4	Data Bit 4
4	RS	Register Select	12	DB5	Data Bit 5
5	R/W	Read/Write	13	DB6	Data Bit 6
6	E	Enable Signal	14	DB7	Data Bit 7
7	DB0	Data Bit 0			
8	DB1	Data Bit 1			

ตารางที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์การต่อ connections

ขา V_{CC} และ V_{SS} ใช้ต่อกับไฟเลี้ยง +5V และกราวด์ ส่วน V_{EE} ใช้เป็นขาปรับแรงดันไฟเพื่อควบคุมความสว่างของการแสดงผล

ขา RS, Register Select เนื่องจากภายใน LCD โมดูลจะมีรีจิสเตอร์ที่สำคัญภายใน 2 ตัว คือ รีจิสเตอร์เก็บคำสั่ง และเก็บข้อมูล ขา RS นี้จะเป็นตัวเลือกว่าข้อมูลที่ส่งเข้าไปจะเป็นคำสั่งหรือข้อมูล โดยถ้า RS = 0 หมายความว่าข้อมูลเข้ามาเป็นคำสั่ง และถ้า RS = 1 หมายความว่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นค่าข้อมูลที่จะแสดงผลบนจอ LCD

ขา R/W, Read/Write เป็นขาอินพุต ถ้าขานี้เป็นลอจิก "1" จะเป็นการอ่านข้อมูลจาก LCD ถ้าขานี้เป็น "0" จะเป็นการเขียนข้อมูลลง LCD

ขา E, Enable เป็นขาอีนาเบิลให้ LCD ทำงานโดยป้อนสัญญาณพัลส์เข้าไปหนึ่งลูก โดยพัลส์นี้จะต้องมีความกว้าง 450 นาโนวินาทีเป็นอย่างน้อย

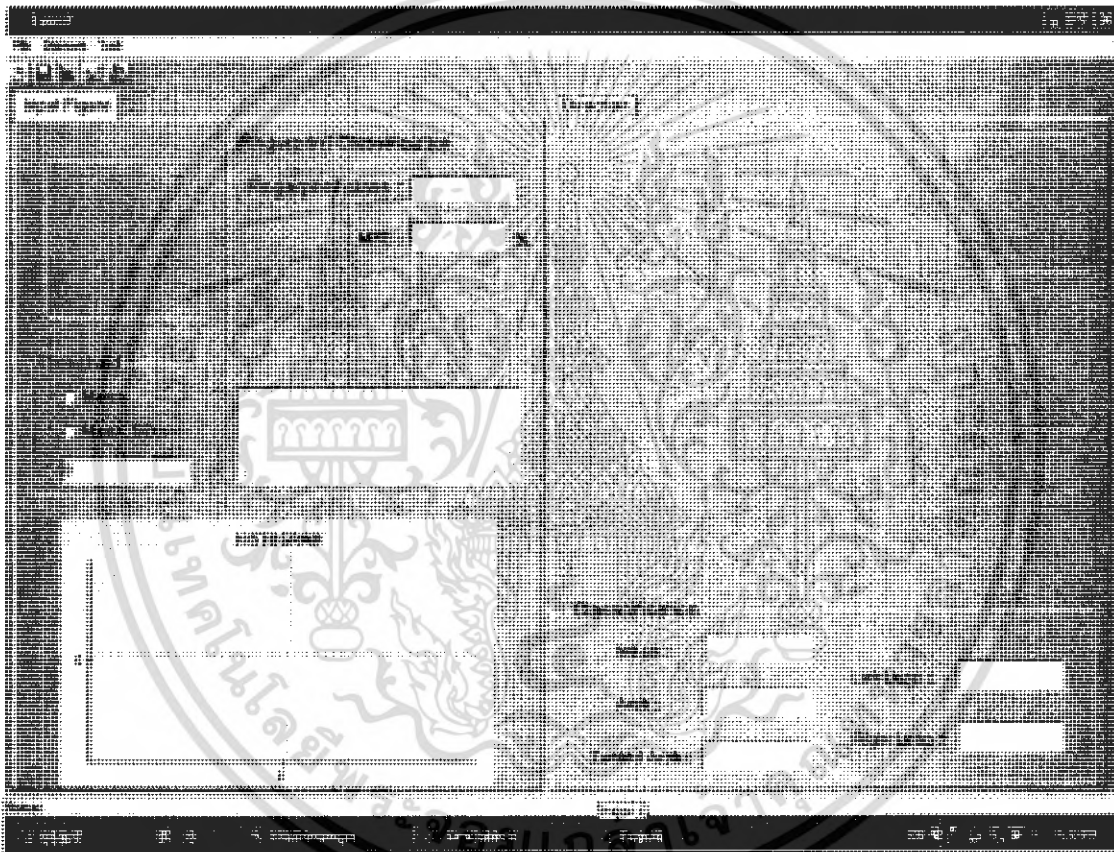
ขา D₀-D₇ เป็นขาที่รับส่งข้อมูลระหว่าง LCD โมดูลกับอุปกรณ์ภายนอก

บทที่ 6

ผลการทดลอง

6.1 หน้าต่างโปรแกรม

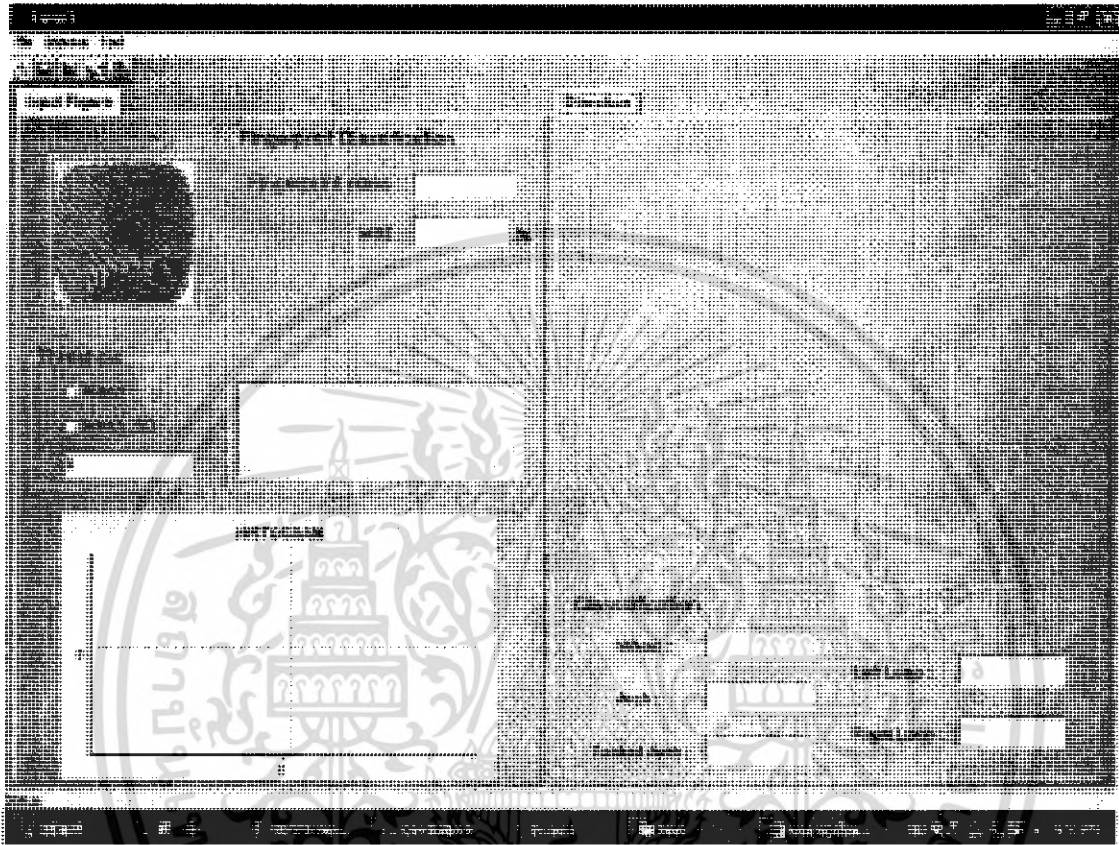
จากการศึกษาทฤษฎีการตัดแยกประเภทหลายนิ้วมือมาแล้ว ได้นำทฤษฎีดังกล่าวมาเขียนขั้นตอนการทำงานในโปรแกรมภาษา C++ Builder ซึ่งผลที่ได้จากการเขียนโปรแกรม ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.1 แสดงหน้าต่างโปรแกรมการวิเคราะห์หลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

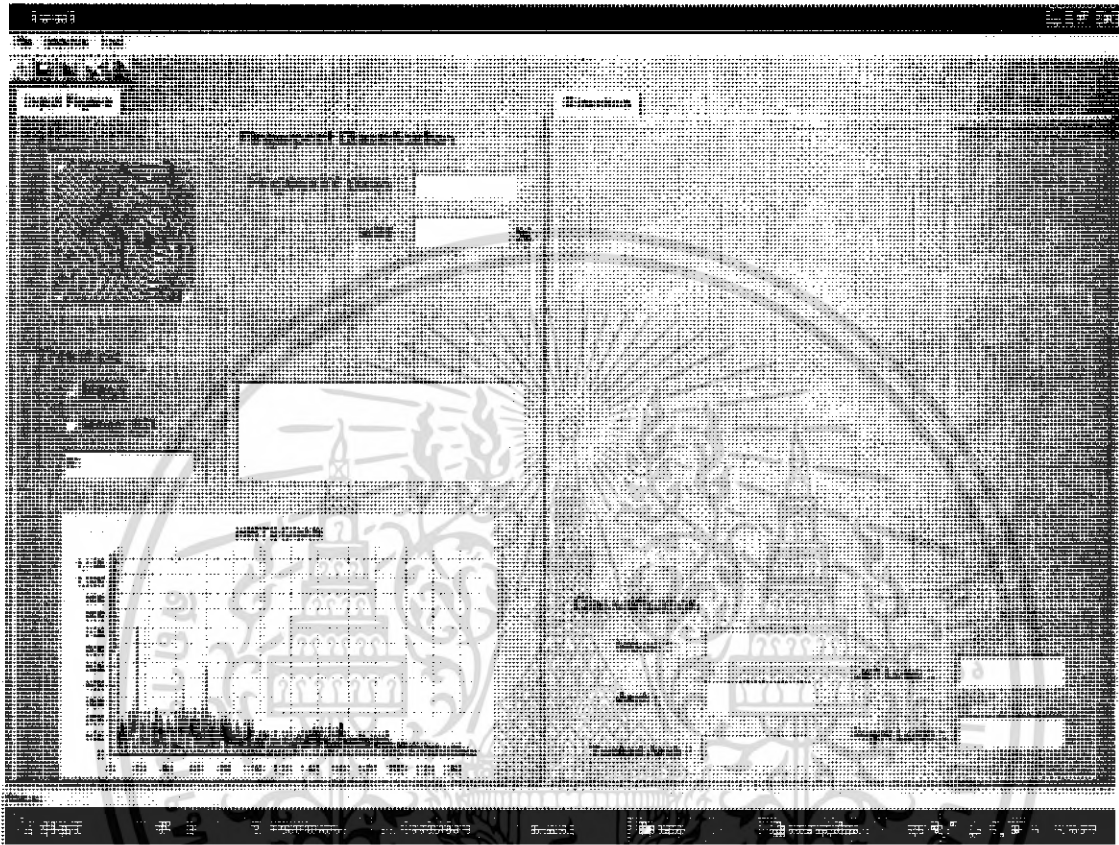
ในภาพที่ 6.2 แสดงการเปิดแฟ้มภาพเพื่อนำลายนิ้วมือที่ต้องการวิเคราะห์เข้ามายังโปรแกรม โดยภาพลายนิ้วมือนี้จะเป็นภาพตระกูล Bitmap แล้วทำการบันทึกภาพลงในชื่อที่ต้องการ



รูปที่ 6.2 โปรแกรมแสดงการเปิดภาพจากแฟ้มภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

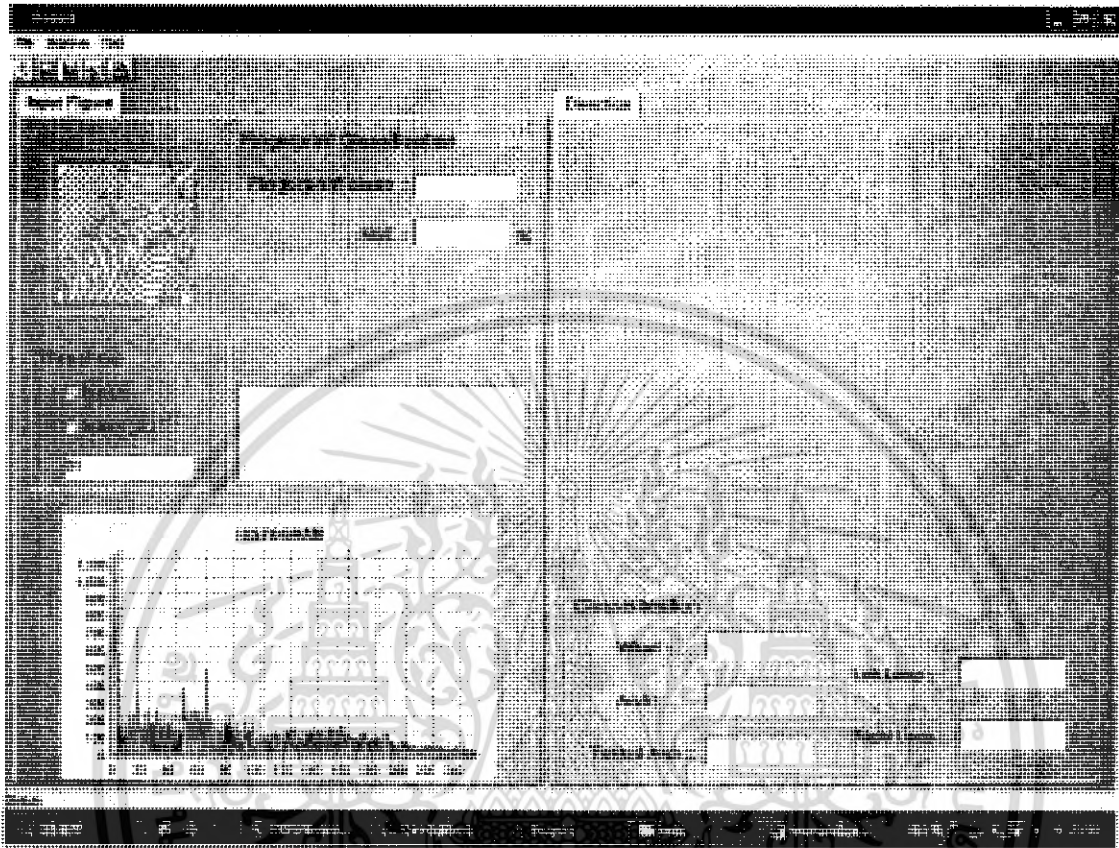
ในภาพที่ 6.3 นี้เป็นการแปลงภาพจากภาพสีเทาเป็นภาพระดับสองสี ซึ่งใช้ค่าเทรซโฮดส์คือ การรวมกันของค่าเฉลี่ยและส่วนแบ่งเบี่ยงมาตรฐาน



รูปที่ 6.3 โปรแกรมแสดงการเปลี่ยนระดับสีของภาพลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

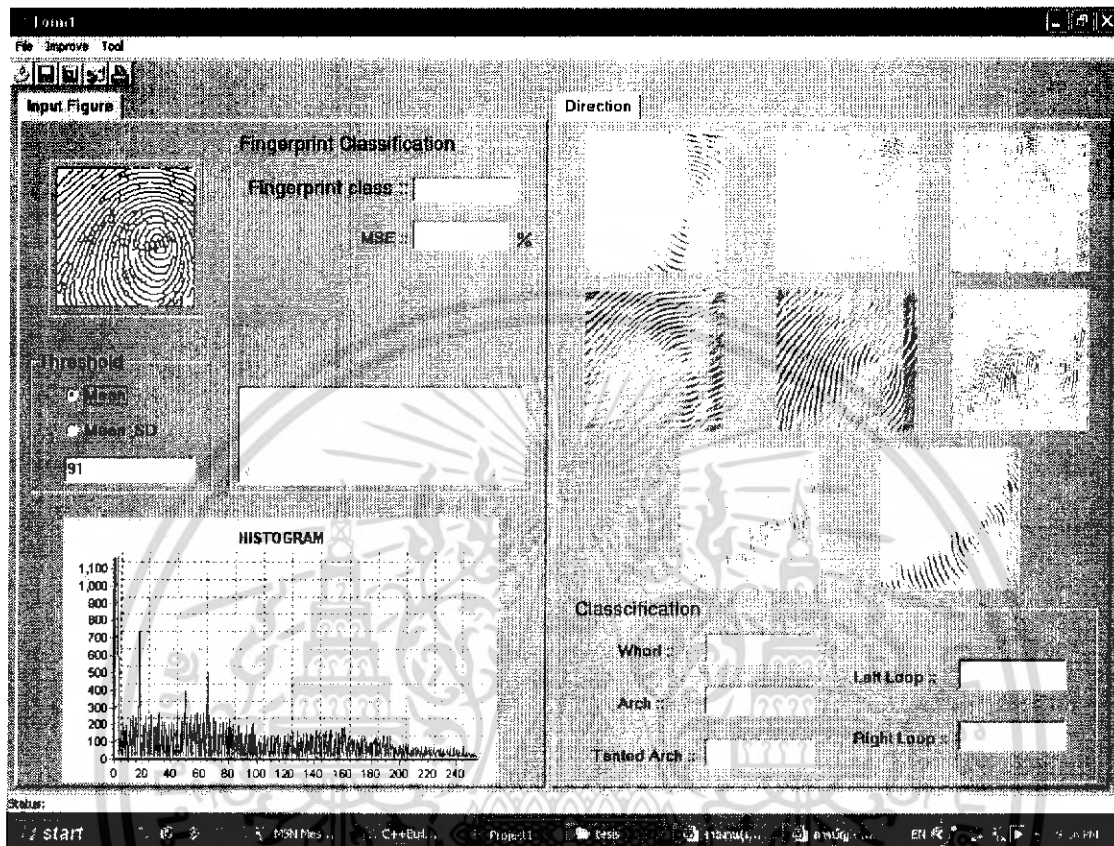
ในภาพที่ 6.4 แสดงการทำลายเส้นใบบางของลายนิ้วมือที่ปรับปรุงแล้ว



รูปที่ 6.4 โปรแกรมแสดงการทำลายเส้นใบบางโดยวิธีที่ปรับปรุงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

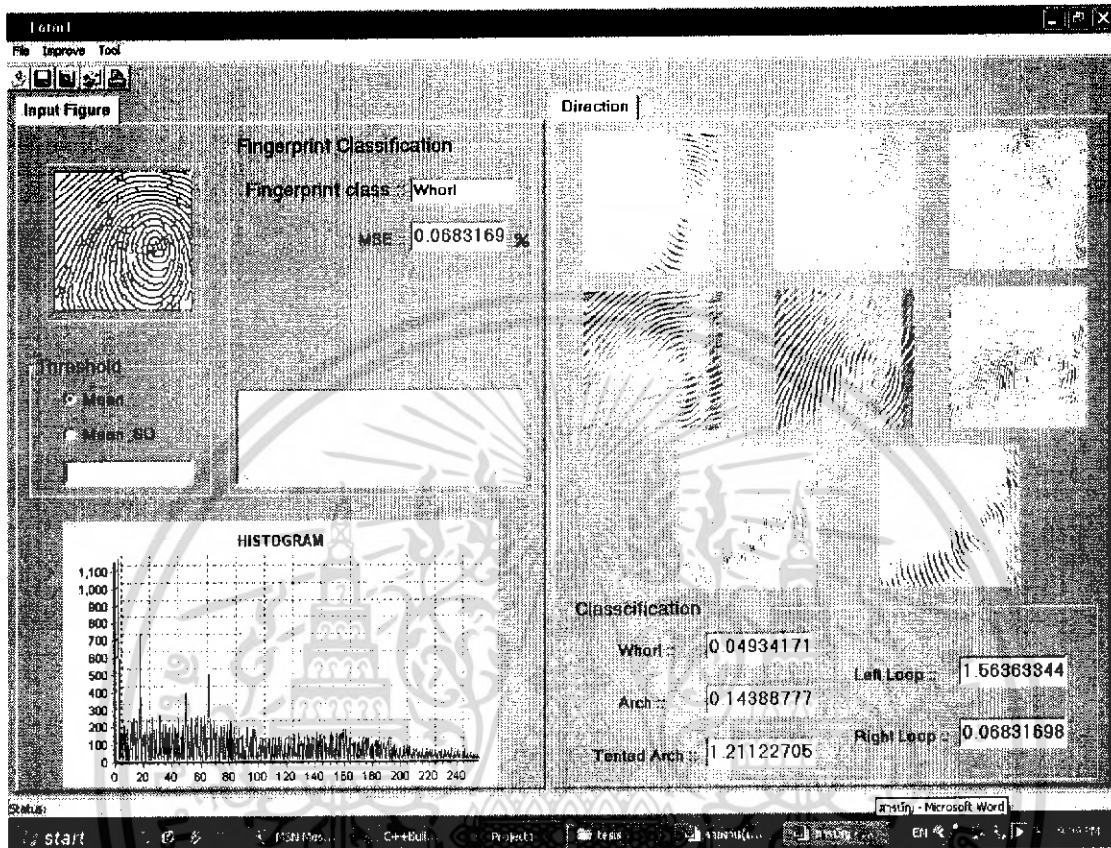
ในภาพที่ 6.5 แสดงผลการทำไดเรชันฟิลเตอร์เบงค์ (DFB)



รูปที่ 6.5 แสดงการทำไดเรชันฟิลเตอร์เบงค์ (DFB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ภาพที่ 6.6 นี้แสดงการแยกประเภทลายนิ้วมือ



รูปที่ 6.6 แสดงผลการแยกประเภทลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 การแสดงผลผ่านจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลอง

6.2.1 การแปลงภาพเป็นภาพสองระดับ (binary)

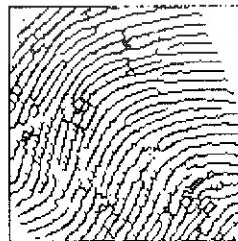
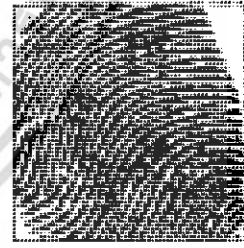
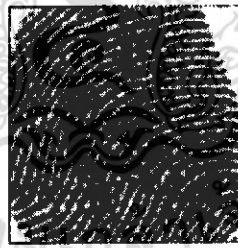
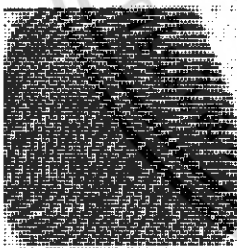


$$T = \bar{X} = 91$$

$$T = 0.15 \overline{SD} + \bar{X} = 102$$

6.2.3 ผลการทดลองทิศทางของแต่ละประเภท

6.2.3.1 ไค้รราบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2.2 โค้งกระโจม



6.2.2.3 ก้นหอย

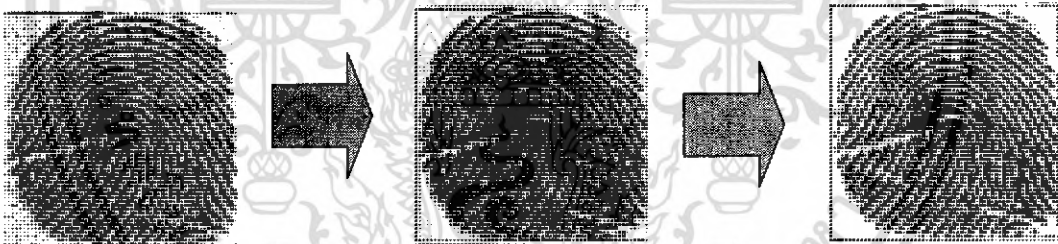


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2.4 มัดหวายเอียงซ้าย

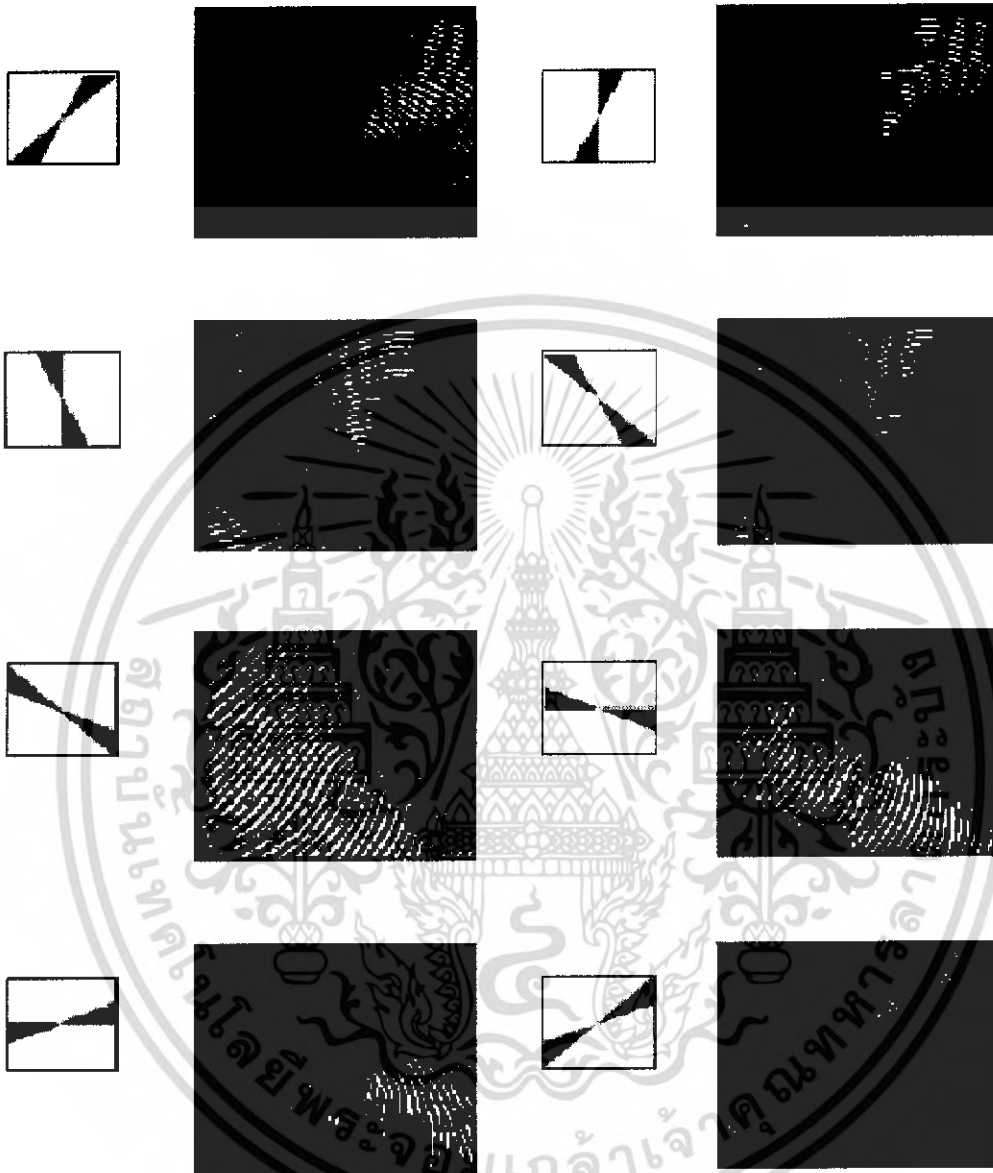


6.2.2.5 มัดหวายเอียงขวา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 ผลการตัดแยกแต่ละประเภทลายนิ้วมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ลายนิ้วมือประเภทโค้งกระโจม

ชื่อ	กันหอย	โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
nart1	0.63	0.71	0.07	0.26	0.51	โค้งกระโจม
nart	0.88	0.98	0	0.19	0.8	โค้งกระโจม
weng1	1.94	2.18	0.33	0.61	1.87	โค้งกระโจม
weng	0.48	0.69	0.43	0.48	0.51	โค้งกระโจม
nart	0.84	0.95	0.01	0.18	0.76	โค้งกระโจม
nart1	0.6	0.67	0.08	0.3	0.5	โค้งกระโจม
moo8.1	0.63	0.83	0.16	0.22	0.7	โค้งกระโจม
moo8	1.04	1.23	0.05	0.24	1.05	โค้งกระโจม
moo7.1	0.81	0.79	0.07	0.27	0.67	โค้งกระโจม
moo7	1.37	1.46	0.12	0.34	1.19	โค้งกระโจม

ผลการทดลอง ลายนิ้วมือประเภทโค้งราบ

ชื่อ	กันหอย	โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
tae	0.45	0	1.06	1.5	0.1	โค้งราบ
tae1	0.37	0.3	0.35	0.67	0.34	โค้งราบ
peaw	0.49	0.21	1.01	0.89	0.24	โค้งราบ
peaw1	0.56	0.12	0.36	1.09	0.25	โค้งราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง ลายนิ้วมือประเภทก้นหอย

ชื่อ	ก้นหอย	โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
boa1.1	0.28	0.38	0.7	0.65	0.47	ก้นหอย
boa1	0.33	0.45	0.96	0.84	0.65	ก้นหอย
gift1	0.25	0.54	0.47	0.47	0.48	ก้นหอย
gift	0.15	0.47	1.57	1.6	0.45	ก้นหอย
mickyl	0.25	0.42	1.62	1.61	0.44	ก้นหอย
micky	0.12	0.62	0.54	0.63	0.45	ก้นหอย
nan1	0.14	0.75	0.23	0.28	0.63	ก้นหอย
nan	0	0.44	0.92	0.95	0.48	ก้นหอย
boat4.1	0.11	0.13	1.09	1.3	0.19	ก้นหอย
boat4	0.35	0.36	0.56	0.82	0.3	มัดหวายขวา
jack1	2.32	2	5.23	5.12	2.07	โค้งราบ
jack	0.26	0.31	1.03	1.12	0.32	ก้นหอย
jui2.1	0.42	0.54	0.13	0.23	0.5	โค้งกระโจม
jui2	2.64	2.88	0.7	0.98	2.62	โค้งกระโจม
jui3.1	1.19	1.47	0.07	0.26	1.22	โค้งกระโจม
jui3	1.01	1.35	0.13	0.29	1.12	โค้งกระโจม
jui4.1	0.12	0.74	0.35	0.41	0.53	ก้นหอย
jui4	0.35	1.05	0.57	0.66	0.79	ก้นหอย
june1	0.19	0.62	0.34	0.39	0.55	ก้นหอย
june	0.22	0.59	0.41	0.46	0.63	ก้นหอย
kian	1.34	1.35	4.19	4.16	1.51	ก้นหอย
mick1	0.05	0.18	0.13	0.37	0.27	ก้นหอย
mick	0.1	0.38	0.49	0.86	0.15	ก้นหอย
p'aim1	0.19	0.43	0.76	0.89	0.22	ก้นหอย
p'aim	1.15	1.54	0.11	0.19	1.28	โค้งกระโจม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ	กั้นหอย	โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
p'khan	0.19	0.29	1.52	1.49	0.23	กั้นหอย
p'not1	0.83	0.93	3.23	3.27	1.04	กั้นหอย
p'not	0.48	0.67	2.39	2.34	0.78	กั้นหอย

ผลการทดลอง ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายซ้าย

ชื่อ	กั้นหอย	โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
po1	3.87	3.23	7.69	7.51	3.14	มัดหวายซ้าย
po	3.11	3.59	6.69	6.53	3.03	มัดหวายซ้าย
tai1	0.28	0.51	1.25	0.14	1.3	มัดหวายซ้าย
tai	0.42	0.78	2.36	0.39	0.98	มัดหวายซ้าย
big1	1.22	1.26	0.62	0.58	0.94	มัดหวายซ้าย
big	1.47	1.52	1.11	0.71	0.85	มัดหวายซ้าย
boat2.1	0.44	0.93	0.41	1.72	0.47	โค้งกระโจม
boat2	0.2	1.41	0.17	2.63	0.95	โค้งกระโจม
boat3.1	1.39	0.85	1.73	0.72	0.27	มัดหวายขวา
boat3	0.36	1.57	0.94	2.08	0.91	กั้นหอย
boat5.1	0.19	1.1	0.51	1.97	0.66	กั้นหอย
boat5	0.11	1.95	0.43	2.24	1.4	กั้นหอย
bob1	2.79	0.83	3.51	0.21	0.72	มัดหวายซ้าย
bob	0.51	2.77	0.29	4.62	2.24	โค้งกระโจม
dej	4.03	0.9	4.36	0.18	0.77	มัดหวายซ้าย
dej1	3.19	0.72	3.4	0.27	0.5	มัดหวายซ้าย
donut1	1.08	4.77	1.27	6.8	4.12	กั้นหอย
donut	0.96	0.32	0.96	6.16	3.51	โค้งกระโจม
jui1.1	1.91	0.78	2.47	0.84	0.87	โค้งราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ	กั้นหอย	โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
moo6.1	3.06	0.86	3.52	0.26	0.78	มัดหวายซ้าย
moo6	3.16	0.69	3.71	0.12	0.7	มัดหวายซ้าย
p'ake1	2.99	0.5	3.19	0.24	0.55	มัดหวายซ้าย
p'ake	4.11	0.89	4.61	0.06	0.89	มัดหวายซ้าย
toy1	3.2	0.8	3.66	0.16	0.75	มัดหวายซ้าย
toy	0.79	0.45	0.7	0.24	1.06	มัดหวายซ้าย
tum1	2.57	0.71	3.25	0.13	0.53	มัดหวายซ้าย
tum	0.57	0.79	0.84	0.48	1.31	มัดหวายซ้าย
x1	3.23	0.85	3.51	0.13	0.52	มัดหวายซ้าย
x	2.33	0.75	2.53	0.4	0.55	มัดหวายซ้าย

ผลการทดลอง ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายขวา

ชื่อ	กั้นหอย	โค้งราบ	โค้ง กระโจม	มัดหวาย ซ้าย	มัดหวาย ขวา	ผลลัพธ์
art1	0.35	0.58	2.2	0.51	0.29	มัดหวายขวา
art	0.5	0.6	1.37	0.86	0.21	มัดหวายขวา
boat6.1	0.44	0.12	1.13	1.41	0.17	มัดหวายขวา
boat6	0.41	0.31	1.06	1.38	0.28	มัดหวายขวา
boat7.1	0.49	0.48	0.3	0.53	0.27	มัดหวายขวา
boat7	0.69	0.72	0.65	0.46	0.57	มัดหวายขวา
boat8.1	0.2	0.17	0.92	0.46	0.02	มัดหวายขวา
boat8	0.29	0.23	0.74	0.58	0	มัดหวายขวา
boat9.1	0.23	0.62	1.67	1.55	0.51	กั้นหอย
boat9	0.46	0.77	0.24	0.49	0.66	โค้งกระโจม
boat10.1	0.4	0.76	2.14	2.11	0.31	มัดหวายขวา
boat10	0.39	0.58	1.21	1.23	0.34	มัดหวายขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ	กั้นหอย	โค้งราบ	โค้ง กระโจม	มัดหอย ซ้าย	มัดหอย ขวา	ผลลัพธ์
jui6	1.12	0.82	0.55	0.55	0.38	มัดหอยขวา
jui10.1	2.21	2.62	0.55	0.77	2.23	โค้งกระโจม
jui10	2.8	3.23	0.86	1.12	2.83	โค้งกระโจม
moo1.1	1.26	0.98	3.53	3.62	1.04	โค้งราบ
moo1	0.9	0.73	3.13	3.29	0.91	โค้งราบ
moo3.1	0.3	0.42	0.78	0.8	0.23	มัดหอยขวา
moo3	0.35	0.42	0.58	0.79	0.38	มัดหอยขวา
moo4.1	0.45	0.47	0.36	0.55	0.36	มัดหอยขวา
moo4	0.72	0.76	0.84	1.04	0.19	มัดหอยขวา
p'ki1	0.5	0.23	1.24	1.41	0.07	มัดหอยขวา
p'ki	1.07	1.03	0.55	0.38	0.33	มัดหอยขวา
thep1	0.34	0.36	0.41	0.64	0.29	มัดหอยขวา
thep	0.5	0.3	0.85	1.11	0.16	มัดหอยขวา

ตารางสรุปผลการทดลองรวม

	โค้งกระโจม	โค้งราบ	กั้นหอย	มัดหอยขวา	มัดหอยซ้าย
โค้งกระโจม	10	0	0	0	0
โค้งราบ	0	4	0	0	0
กั้นหอย	6	1	22	1	0
มัดหอยขวา	3	2	1	20	0
มัดหอยซ้าย	4	2	4	1	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความผิดพลาดจากผลการทดลอง

ประเภทลายนิ้วมือ	ประสิทธิภาพ(%)
โค้งกระโจม	100
โค้งราบ	100
ก้นหอย	73.33
มัดหอยขวา	76.92
มัดหอยซ้าย	63.33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทำโครงการนี้พบว่าภาพลายนิ้วมือที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการการปรับปรุงลายนิ้วมือขั้นพื้นฐาน ซึ่งจะได้ภาพลายนิ้วมือที่สมบูรณ์และเข้าสู่กระบวนการ การคัดแยก โดยโดยอาศัยหลักการของการกรองข้อมูลแบบมีทิศทาง (Direction filter bank) มาประยุกต์ใช้กับเทคนิคของการ โพรเจกชัน (Projection) แล้วนำค่าเฉลี่ยในแต่ละทิศทางมาคัดแยกประเภทลายนิ้วมือ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าสามารถคัดแยกประเภทลายนิ้วมือแต่ละประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพดี และมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อีกทั้งยังนำผลการคัดแยกไปแสดงผลผ่านบนจอ LCD

7.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

อัลกอริทึมในกรณีวิเคราะห์ลายนิ้วมือที่ได้ออกแบบมาพบว่าสามารถแยกแยะประเภทลายนิ้วมือได้ระดับหนึ่ง ดังนั้นในการนำโครงการไปพัฒนาต่อ ควรจะปรับปรุงอัลกอริทึมให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น และนำไปสู่การจำแนกบุคคลได้อย่างเที่ยงตรงเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบความปลอดภัย

บรรณานุกรม

1. ครรชิต โมตรี, มนัส สังวรศิลป์ และ สุรพันธ์ เอื้อไพบูลย์ “ระบบเปรียบเทียบลายนิ้วมืออัตโนมัติ” , การประชุมวิชาการครั้งที่ 4 ของ NECTEC . ณ โรงแรมมอโนมาสวิตโฮเต็ล ,21-22 ตุลาคม 2535, หน้า(17-27)
2. พิชญานาถ จิวสิทธิ์ประไพ, วสุ เฟื่องสวัสดิ์, “การเปรียบเทียบลายนิ้วมือและตรวจสอบลายนิ้วมือ”, ปริญญาณิพนธ์ ปีการศึกษา 2545
3. เอกรัตน์ จุลวรรณ, “การประเมินผลขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้วางเพื่อนำไปใช้กับภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ”, วิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2541
4. Davide Maltoni, Dario Maio, Anil K. Jain, Salil Prabhakar, “Handbook of Fingerprint Recognition”
5. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing”
6. Qinzhi Zhang, Kai Huang and Hong Yan “Fingerprint Classification Based on Extraction and Analysis of Singularities and Pseudoridges”
7. Wayne Niblack “An Introduction to Digital Image Processing”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้