สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION

โดย

นางสาววิมลรัตน์ พรหมกุลบุตร 45015033

นายเอกลักษณ์ ประเสริฐแก้ว 45015045

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผ.ศ. นภัทร สระเอี่ยม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61417
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

b 11586059
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION

โดย

นางสาววิมลรัตน์ พรหมกุลบุตร

นายเอกลักษณ์ ประเสริฐแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

สาขาวิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การตรวจสอบลายนิ้วมือ**

FINGERPRINT RECOGNITION

ผู้จัดทำ

1. นางสาววิมลรัตน์ พรหมกุลบุตร 45015033

2. นายเอกลักษณ์ ประเสริฐแก้ว 45015045

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผ.ศ. นภัทร สระเอี่ยม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION

โดย นางสาววิมลรัตน์ พรหมกุลบุตร 45015033
นายเอกลักษณ์ ประเสริฐแก้ว 45015045

อาจารย์ที่ปรึกษา ผ.ศ. นภัทร สระเอี่ยม

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ การรักษาความปลอดภัยนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญในชีวิตประจำวัน และลายนิ้วมือก็เป็นที่นิยมในการที่จะนำมาใช้ในการรักษาความปลอดภัย ขณะเดียวกันเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาขึ้น โปรแกรมตรวจสอบลายนิ้วมือนี้ ออกแบบขึ้นเพื่อเปรียบเทียบลายนิ้วมือซึ่งเป็นข้อมูลชีวภาพของบุคคลนั้นโดยใช้โปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ทำการประมวลผลเปรียบเทียบลายนิ้วมือ โดยผลการสแกนที่ได้นั้น จะถูกเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยระบบตรวจสอบลายนิ้วมือนี้ สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆได้หลายแบบ ตั้งแต่การเข้าออกสำนักงาน การใช้ค้นประวัติ หรือ การลงเวลาทำงาน

ABSTRACT

Today of security a important for life and fingerprint is first of choice of security. While the technology of computer is advancely developed , fingerprint analysis system design for scanner the fingerprint is personal biometric data. To processing for matching fingerprint process will use software compile by computer language. Through the result of fingerprint analysis system to lead to matching with the fingerprint in database in computer. Fingerprint analysis system can apply in any security system , for example : entrance and exit office , search the personal resume or record timework of person.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ	3
2.1.1 จุดลักษณะสำคัญบนลายนิ้วมือ	4
2.1.1.1 ตำหนิ และ ลักษณะต่างๆ ของลายเส้นทั่วๆ ไป	4
2.1.1.2 ลักษณะพิเศษบางอย่าง	4
2.1.1.3 คำจำกัดความที่สำคัญบนลายนิ้วมือ	5
2.1.1.3.1 เส้นขอบ	5
2.1.1.3.2 สันคอน	5
2.1.1.3.3 บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน	6
2.1.2 รูปแบบของลายนิ้วมือ	6
2.1.2.1 กลุ่มที่ 1 เส้นโค้ง	6
2.1.2.1.1 โค้งราบ	6
2.1.2.1.2 โค้งกระโจม	7
2.1.2.2 กลุ่มที่ 2 ลูปหรือมัดหวาย	7
2.1.2.2.1 มัดหวายปัดขวา	7
2.1.2.2.2 มัดหวายปัดซ้าย	8
2.1.2.2.3 มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝด	8
2.1.2.3 กลุ่มที่ 3 ก้นหอย	8
2.1.2.3.1 ก้นหอยธรรมดา	9
2.1.2.3.2 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา	9
2.1.2.3.3 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย	9
2.1.2.3.4 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา	9
2.1.2.3.5 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย	10
2.1.2.4 กลุ่มที่ 4 ซับซ้อน	10
2.2 ขั้นตอนการจดจำลายนิ้วมือ	11
2.2.1 ขั้นตอนการสแกนภาพลายนิ้วมือ	12
2.2.2 การเกลี่ยภาพ และการกำจัดสัญญาณรบกวน	12
2.2.3 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.4 การทำลายส้นให้บาง	13
2.2.4.1 อัลกอริทึมของการทำสเคลิทอน	14
2.2.5 ขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ	16
2.2.5.1 ทฤษฎีการกำจัดเส้นสะพาน	16
2.2.5.1.1 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้น	21
2.2.5.2 ทฤษฎีการกำจัดเส้นกิ่ง	25
2.2.5.2.1 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้นกิ่ง	25
2.2.6 ขั้นตอนการกำหนดทิศทางของภาพ	26
2.2.7 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ	28
2.2.7.1 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ	28
2.2.8 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ	29
2.2.9 ขั้นตอนการตรวจสอบลายนิ้วมือ	30
2.2.9.1 การตรวจสอบแบบยืดหยุ่น	30
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	36
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม	36
3.2 กระบวนการเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน	38
3.3 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็น 2 ระดับโดยการตัดเทรสโฮลด์	39
3.4 การหาโครงร่างของภาพโดยการทำทินนิ่ง	40
3.5 การปรับปรุงลายเส้นโดยการต่อลายนิ้วมือ	41
3.6 การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ	42
3.7 การหาจุดศูนย์กลางของภาพ	43
3.8 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ	44
3.9 การตรวจสอบลายนิ้วมือ	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	46
4.1 ผลการทดลองโดยโปรแกรมเดลไฟล์	46
4.1.1 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นข้อมูลอินพุท	46
4.1.2 การเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน	46
4.1.3 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ	47
4.1.4 การหาโครงร่างของภาพ	47
4.1.5 การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.6 การปรับปรุงลายเส้น	48
4.1.7 การหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือและลักษณะเด่น	49
4.2 ขั้นตอนการตรวจสอบเปรียบเทียบลายนิ้วมือโดยโปรแกรมเดลไฟล์	49
4.2.1 ผลการตรวจสอบเปรียบเทียบลายนิ้วมือ	51
4.2.2 การเปรียบเทียบจากการหมุนภาพในมุมต่างๆ	52
4.2.2.1 เมื่อทำการหมุนไปที่ 30 องศา	52
4.2.2.2 เมื่อทำการหมุนไปที่ 45 องศา	52
4.2.2.3 เมื่อทำการหมุนไปที่ 60 องศา	53
4.2.2.4 เมื่อทำการหมุนไปที่ 90 องศา	53
4.2.2.5 เมื่อทำการหมุนไปที่ 150 องศา	54
4.2.2.6 เมื่อทำการหมุนไปที่ 180 องศา	54
4.2.2.7 เมื่อทำการหมุนไปที่ 240 องศา	55
4.2.2.8 เมื่อทำการหมุนไปที่ 270 องศา	55
4.2.2.9 เมื่อทำการหมุนไปที่ 310 องศา	56
4.2.2.10 เมื่อทำการหมุนไปที่ 360 องศา	56
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล	57
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง	58
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นนูน หรือ สัน	4
รูปที่ 2.2 การสิ้นสุดของสัน	4
รูปที่ 2.3 สันที่แตกแขนง	4
รูปที่ 2.4 สันแบบลายจุด	4
รูปที่ 2.5 ไอซ์แลนด์	5
รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบของเส้นขอบแบบต่างๆ	5
รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของสันคอน	5
รูปที่ 2.8 แสดงบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน	6
รูปที่ 2.9 รูปแบบของกลุ่มเส้นโค้ง	6
รูปที่ 2.10 โค้งราบ	6
รูปที่ 2.11 โค้งกระโจม	7
รูปที่ 2.12 รูปแบบของกลุ่มลูปหรือมัดหวาย	7
รูปที่ 2.13 มัดหวายปัดขวา	7
รูปที่ 2.14 มัดหวายปัดซ้าย	8
รูปที่ 2.15 มัดหวายแฟด	8
รูปที่ 2.16 รูปแบบของกลุ่มก้นหอย	8
รูปที่ 2.17 ก้นหอยธรรมดา	9
รูปที่ 2.18 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา	9
รูปที่ 2.19 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย	9
รูปที่ 2.20 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา	9
รูปที่ 2.21 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย	10
รูปที่ 2.22 กลุ่มซับซ้อน	10
รูปที่ 2.23 แผงผังแสดงขั้นตอนต่างๆ ในการจดจำลายนิ้วมือ	11
รูปที่ 2.24 วินโดว์ขนาด 3*3	12
รูปที่ 2.25 เปรียบเทียบลายนิ้วมือก่อนและหลังการตัดระดับเทรสโฮลด์	13
รูปที่ 2.26 เทมเพลทขนาด 3x3	14
รูปที่ 2.27 แสดงขั้นตอน วิธีการของชาง และ ซวน	15
รูปที่ 2.28 เปรียบเทียบลายนิ้วมือก่อนและหลังการทำทินนิ่ง	15
รูปที่ 2.29 แสดงการต่อลายในส่วนของลายเส้นที่ขาดหายไป	16
รูปที่ 2.30 แสดงลายที่เกิดเส้นสะพาน	16
รูปที่ 2.31 แสดงการกำจัดเส้นสะพาน และ การต่อลายเส้น แบบต่างๆ	17
รูปที่ 2.32 แสดงทิศทางการสแกนภาพ	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.33 แสดงค่าโทโปโลยีของจุดภาพ	18
รูปที่ 2.34 แสดงการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวนอน	18
รูปที่ 2.35 ตัวอย่างจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้โดยค่า Nc^4 และ Nc^8	19
รูปที่ 2.36 เทมเพลท ขนาด 3*3 ที่แสดงถึงจุดเชื่อมต่อรวมทั้งสิ้น 12 กรณี	20
รูปที่ 2.37 แสดงถึงเทมเพลท 3*3 ที่แสดงถึงจุดเส้นกิ่งในแต่ละกรณีเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มอย่างละ 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 6 กรณี	21
รูปที่ 2.38 ค่าดัชนีของจุดภาพและผลรวมของค่าน้ำหนัก	21
รูปที่ 2.39 ลักษณะเส้นสะพาน	21
รูปที่ 2.40 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของเส้นสะพาน	22
รูปที่ 2.41 เทมเพลทจุดแยกที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้น	23
รูปที่ 2.42 ลักษณะเส้นกิ่ง	25
รูปที่ 2.43 เทมเพลทที่แสดงถึงจุดปลายรวมทั้งสิ้น 8 กรณี	25
รูปที่ 2.44 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้นของเส้นกิ่ง	26
รูปที่ 2.45 แสดงภาพของลายนิ้วมือที่ผ่านการหาทิศทางของภาพ	28
รูปที่ 2.46 แสดงลักษณะเด่นที่สำคัญของลายนิ้วมือ	30
รูปที่ 2.47 ภาพลายนิ้วมือมีการวางทับกันของกลุ่มจุดที่เป็นลักษณะเด่น	31
รูปที่ 2.48 การใช้งานของการเปลี่ยนรูปที่เหมือนกันไปยังจุดที่เป็นลักษณะเด่น	32
รูปที่ 2.49 ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในการตรวจสอบลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ	33
รูปที่ 2.50 อัลกอลิธึมของการจับคู่ลายนิ้วมือแบบเป็นลำดับ	34
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายนิ้วมือ	37
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการกำจัดสัญญาณรบกวน	38
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการตัดระดับเทรสโฮลด์	39
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมการหาโครงร่างของภาพ	40
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการปรับปรุงลายเส้น	41
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ	42
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการหาจุดศูนย์กลางของภาพ	43
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของการตรวจสอบลายนิ้วมือ	45
รูปที่ 4.1 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทในการวิเคราะห์โปรแกรมเดลไฟล์	46
รูปที่ 4.2 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน	46
รูปที่ 4.3 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์เป็นภาพไบนารี่	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาโครงร่างของภาพ	47
รูปที่ 4.5 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาทิศทางของภาพ	48
รูปที่ 4.6 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุงลายเส้น	48
รูปที่ 4.7 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ	49
รูปที่ 4.8 แสดงการสร้างฐานข้อมูล	49
รูปที่ 4.9 แสดงผลการตรวจสอบลายนิ้วมือที่ถูกต้อง	50
รูปที่ 4.10 แสดงผลการตรวจสอบลายนิ้วมือที่ไม่ถูกต้อง	50
รูปที่ 4.11 แสดงการหมุน 30 องศา	52
รูปที่ 4.12 แสดงการหมุน 45 องศา	52
รูปที่ 4.13 แสดงการหมุน 60 องศา	53
รูปที่ 4.14 แสดงการหมุน 90 องศา	53
รูปที่ 4.15 แสดงการหมุน 150 องศา	54
รูปที่ 4.16 แสดงการหมุน 180 องศา	54
รูปที่ 4.17 แสดงการหมุน 240 องศา	55
รูปที่ 4.18 แสดงการหมุน 270 องศา	55
รูปที่ 4.19 แสดงการหมุน 310 องศา	56
รูปที่ 4.20 แสดงการหมุน 360 องศา	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือบุคคลที่1	51
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือบุคคลที่2	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

มนุษย์ทุกคนจะมีลักษณะที่บ่งบอกถึงตัวตนของบุคคลนั้นๆ โดยการจำแนกลักษณะของแต่ละบุคคลนั้น สามารถทำได้หลายวิธี และการจำแนกโดยใช้ลักษณะลายนิ้วมือนั้น ก็เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบบุคคล ดังนั้นภาพของลายนิ้วมือจึงได้ถูกรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลเมื่อต้องการที่จะตรวจสอบลายนิ้วมือนั้น โดยจะมีการนำภาพลายนิ้วมือมาค้นหา และเปรียบเทียบภายในฐานข้อมูลในระบบรักษาความปลอดภัย (Security) นั้น ไม่ว่าจะเป็นระบบรักษาความปลอดภัยแบบใช้รหัสลับ บัตรแถบแม่เหล็ก, การสแกนม่านตา,หรือจะเป็นการสแกนภาพลายนิ้วมือหรือที่เรียกว่าไบโอเมตริก (Biometric) ซึ่งรหัสลับที่พูดนี้ เป็นรหัสประจำตัวที่มี เฉพาะบุคคลหนึ่งบุคคลใดเท่านั้น ไม่สามารถลอกเลียนแบบกันได้ ฉะนั้น จึงได้นำมาเพื่อพัฒนาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการสร้างโปรแกรมในการจดจำลายนิ้วมือ เพื่อที่จะเก็บข้อมูลลายนิ้วมือ ในลักษณะที่โดดเด่นของลาย ซึ่งโปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือนี้จะแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆได้แก่ การสแกนภาพลายนิ้วมือเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลโดยจะเก็บภาพลายนิ้วมือนั้นเป็นไฟล์นามสกุล .bmpโดยภาพจะมีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ หรือที่เรียกว่า ระดับสีเทา (Gray Level) หลังจากนั้น จึงนำภาพลายนิ้วมือที่ได้มาทำการเกลี่ยภาพ และกำจัดสัญญาณรบกวนออก เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นนำภาพที่ได้มาผ่านขั้นตอนการตัดระดับเทรสโฮล์ดของภาพ ให้ได้เป็นภาพลักษณะไบนารี่ โดยภาพที่ได้นั้นจะเป็นภาพที่มีค่าเพียง 2 ระดับ คือ 0 กับ 1 แล้วนำภาพที่ได้ไปหาโครงร่างหรือแกนของภาพ โดยใช้วิธีทินนิ่งอัลกอลิทึม (Thinning Algorithm) หรือที่เรียกว่าการทำสเคลิทอน หลังจากนั้นก็ทำการต่อลายเส้นที่ขาดหายไป เนื่องจากลักษณะของลายเส้นที่สแกนเข้ามามีความคมชัดไม่เท่ากันในแต่ละจุด ส่งผลให้ภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น จึงต้องมาผ่านขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ โดยใช้วิธีการหาความน่าจะเป็นของทิศทางของลาย เพื่อที่จะทำการต่อลายให้มีลักษณะที่ถูกต้อง โดยการหาทิศทางของภาพ ทำได้โดยวิธีการแบ่งภาพเป็นหน้าต่างเล็กๆขนาด 8x8 พิกเซล แล้วแทนทิศทางของลักษณะลายเส้นแต่ละหน้าต่างด้วยเส้นตรงที่มีความเอียงทำมุมกับแนวระนาบเท่ากับทิศทางของลายเส้น แต่ละหน้าต่างที่คำนวณได้หาทิศทางของภาพ เมื่อได้ค่ามุมของแต่ละบล็อกย่อยๆแล้ว ก็ทำการหาบล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมที่มากที่สุด ซึ่งหมายถึงตำแหน่งการวกกลับด้านในสุดของลายเส้น แล้วกำหนดให้ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพ เมื่อได้ภาพแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็เป็นการหาลักษณะเด่นของลายของลายนิ้วมือ (Minutiae) แต่ละลาย ซึ่งลักษณะที่พิจารณาในที่นี้ได้แก่ ลายที่เป็นลักษณะทางแยก 2 เส้น (Bifucation) แล้วเก็บค่าตำแหน่งที่มีลักษณะเด่นเกิดขึ้น และตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ได้เป็นตัวแปรที่สำคัญในการที่จะผ่านขั้นตอนสุดท้าย คือ การตรวจสอบลายนิ้วมือว่าเป็นลายของบุคคลใด ซึ่งนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้ทำการเก็บบันทึกไว้ โดยขั้นตอนเหล่านี้จะช่วยในการลดข้อมูลของลายนิ้วมือให้เหลือข้อมูลน้อยที่สุด และข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลที่มีลักษณะโดดเด่นด้วย ซึ่งรายละเอียดต่างๆจะกล่าวในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือนี้ ยังสามารถนำไปใช้งานหลาย ๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเกี่ยวกับบริษัท, โรงงานอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัย, หมู่บ้าน, งานทางด้านกฎหมาย (Law enforcement) เช่น เกี่ยวกับอาชกรข้ามชาติ การสืบสวนการกระทำความผิดทางอาญา หรือ การสำรวจสัมโนประชากร , ด้านองค์กรหรือหน่วยงาน (Government) เช่น องค์กรที่ทำงานเกี่ยวกับการค้นคว้าและวิจัย ที่เป็นส่วนความลับของบริษัท ของหน่วยงาน การระวังภัยการเข้า-ออกบริษัท การเข้าออกทางชายแดน ติดต่อระหว่างประเทศ, ด้านทางการทหาร (Military) เช่น เขตแดนและพรมแดนที่มีการค้าขาย ระวังภัยสำหรับบุคคลสำคัญๆสมาร์ตการ์ดพาสปอร์ต ,ด้านระบบรักษาความปลอดภัยของระบบเน็ตเวิร์ค (Network Security) เช่น ธุรกิจองค์กรอินเทอร์เน็ต บริษัททำเกี่ยวกับซอฟแวร์คีไซน์, สิ่งสำคัญของโปรแกรมตรวจสอบลายนิ้วมือนี้ เพื่อที่จะพิสูจน์ว่าลายนิ้วมือที่ต้องการพิสูจน์นั้นเป็นของใคร ซึ่งการนำโปรแกรมการตรวจสอบลายนิ้วมือมาช่วย ในการตรวจสอบ และจดจำลายนิ้วมือ จะเป็นการประหยัดเวลาอย่างมาก มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และจะมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสูงขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้จะเป็นการนำ โปรแกรมเดลไฟล์ (DELPHI) มาใช้ในการวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆของลายนิ้วมือ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีหรือหลักการ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ

การใช้ลายนิ้วมือในการระบุตัวบุคคลนั้น ลายนิ้วมือของแต่ละคน เริ่มปรากฏขึ้นตั้งแต่เป็นตัวอ่อนอายุ 3 ถึง 4 เดือนในครรภ์มารดา ซึ่งเป็นผิวหนังส่วนที่มีร่อง (Furrow) และ มีสัน (Ridge) เอาไว้ใช้สำหรับอำนวยความสะดวกในการหยิบจับสิ่งของ สันและร่องที่ปรากฏนี้ มีคุณลักษณะที่สำคัญสองประการ คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตามกาลเวลา (แต่อาจเปลี่ยนขนาดได้) และการมีรูปแบบเฉพาะในแต่ละคน

ลายนิ้วมือไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบ (Permanence) ตั้งแต่แรกเกิด จนกระทั่งวันที่เราตาย แต่อาจเปลี่ยนแปลงขนาดได้ตามขนาดร่างกาย เหมือนกับการที่เราวาดรูปไว้บนลูกโป่ง ซึ่งไม่ว่าลูกโป่งจะเล็ก หรือถูกเป่าให้พองใหญ่อย่างไร ก็ยังเป็นรูปเดิมเพียงแต่มีขนาดใหญ่ขึ้นเท่านั้น

การที่ลายนิ้วมือมีรูปแบบเฉพาะในแต่ละคน (Individuality) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของลายนิ้วมือนั้น ตั้งแต่เริ่มมีการใช้เก็บ และเปรียบเทียบลายนิ้วมือโดยใช้วิธีสมัยใหม่ ซึ่งมีมาร้อยกว่าปีแล้ว ยังไม่มีการตรวจพบว่ามีการเหมือนกันของลายนิ้วมือ อีกทั้งถ้าจะอธิบายด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ ก็มีการศึกษาของ Sir Francis Galton (1892) ซึ่งได้ประมาณไว้ว่าโอกาสที่คนสองคนจะมีลายนิ้วมือเหมือนกันนั้น มีความน่าจะเป็นอยู่ที่ 1 / 64,000,000,000 ซึ่งเป็นการประเมินค่า โดยใช้การแบ่งรายละเอียดรูปแบบของลายนิ้วมือออกเป็นส่วนๆ และหาความน่าจะเป็นของการซ้ำกัน ของแต่ละส่วนนั้น แล้วนำความน่าจะเป็นของแต่ละส่วน มาคูณกันเพื่อหาความน่าจะเป็นทั้งหมด ท่าน Sir Francis Galton นี้เป็นผู้ที่เริ่มทำการวิจัยอย่างจริงจังกับลายนิ้วมือ และถือว่าเป็นบุคคลแรก ที่ศึกษาถึงการใช้ลายนิ้วมือ ในการระบุตัวบุคคล เป็นบุคคลแรก ที่ทำการพิสูจน์ว่าลายนิ้วมือของแต่ละคนมีลักษณะเฉพาะ และ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ อีกทั้งยังเป็นผู้ที่กำหนดและแบ่งแยกประเภทของรูปแบบลายนิ้วมือที่ใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบันนี้

ลายนิ้วมือของแต่ละคนนั้นมีลักษณะเฉพาะมากจนกระทั่งแม้แต่ คู่แฝดแท้ (Identical Twin) ก็ยังมีลายนิ้วมือที่แตกต่างกัน (แต่มีรูปแบบดีเอ็นเอเหมือนกัน) อย่างไรก็ตาม รูปแบบของลายนิ้วมือนั้น มีลักษณะความคล้ายกันของคนในครอบครัว หรือพูดได้อีกอย่างหนึ่งว่ารูปแบบของลายนิ้วมือมีการถ่ายทอดกันทางพันธุกรรมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 จุดลักษณะสำคัญบนลายนิ้วมือ (Characteristics) คือ ตำหนิต่างๆ บนลายนิ้วมือ ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

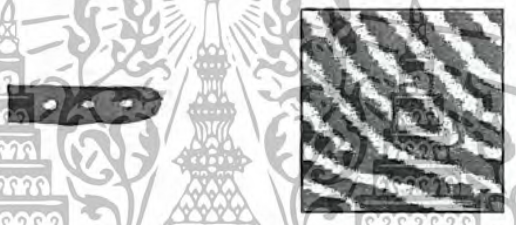
2.1.1.1 ตำหนิ และ ลักษณะต่างๆ ของลายเส้นทั่วๆ ไป เช่น เส้นตรง , เส้นโค้ง , จุด , เส้นแตก , เส้นวกกลับ , เส้นเวียน , เส้นขาด , เส้นทะเลสาบ , เส้น 2 เส้นมาพบกัน หรือ เส้นหักมุม

2.1.1.2 ลักษณะพิเศษบางอย่าง เช่น

- เส้นนูน หรือ สัน (Ridge) คือ การเกิดของรอยนูน ที่สูงขึ้นมาจากผิวหนังส่วนนอก

รูปที่ 2.1 เส้นนูน หรือ สัน

- การสิ้นสุดของสัน (Ending Ridge)



รูปที่ 2.2 การสิ้นสุดของสัน

- สันที่แตกแขนง (Bifurcation) คือ เส้นขอบหนึ่ง ที่ได้ถูกแยกออกเป็นสองเส้น หรือมากกว่า 2 เส้น

รูปที่ 2.3 สันที่แตกแขนง

- สันแบบลายจุด (Dot)

รูปที่ 2.4 สันแบบลายจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไอซ์แลนด์ (Island) คือ เส้นที่อยู่เส้นเดียว ไม่ได้สัมผัสกับเส้นอื่น

รูปที่ 2.5 ไอซ์แลนด์

2.1.1.3 คำจำกัดความที่สำคัญบนลายนิ้วมือ เป็นการอธิบายคุณลักษณะหลักสำคัญใหญ่ๆ ที่ต้องศึกษาและทำความเข้าใจ เพราะมีคุณประโยชน์ ที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง ของแต่ละลายนิ้วมือ

2.1.1.3.1 เส้นขอบ (Type Line) คือ เส้นคู่ขนานคู่ในสุด ซึ่งได้คู่กันมาพอสมควรแล้ว แยกตัวออก เพื่อจะ โอบล้อม หรือพยายาม โอบล้อมบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน

รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบของเส้นขอบแบบต่างๆ

2.1.1.3.2 สันดอน (Delta) คือ ลายเส้นในลายนิ้วมือ ซึ่งอยู่ตรงหน้าและใกล้ที่สุดกับกึ่งกลางของปากทางแยก ของเส้นขอบ มีรูปแบบเป็นลักษณะสามเหลี่ยม ที่แต่ละด้านเบนออกจากกัน

รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของสันดอน

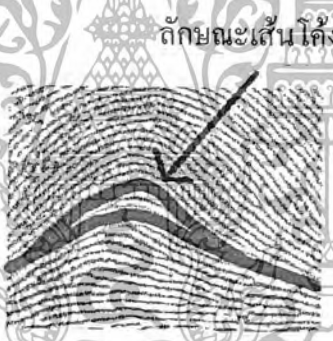
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3.3 บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน (Pattern Area) คือ พื้นที่บริเวณภายใน ของลายนิ้วมือ ที่ถูกเส้นขอบโอบล้อม โดยจะใช้บริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายในนี้ ไปใช้ในการวิเคราะห์หาจุดสำคัญต่างๆต่อไป

รูปที่ 2.8 แสดงบริเวณลายนิ้วมือที่อยู่ภายใน

2.1.2 รูปแบบของลายนิ้วมือ แบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.2.1 กลุ่มที่ 1 เส้นโค้ง (Arch) คือ ลักษณะของลายเส้นที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง โดยที่ไม่มีเส้นที่มีลักษณะเป็น เดลต้า อยู่ด้านในของลายนิ้วมือ



รูปที่ 2.9 รูปแบบของกลุ่มเส้นโค้ง

2.1.2.1.1 โค้งราบ (Plain Arch = PA)
คือ ลักษณะลายเส้น ที่วิ่ง หรือไหล ออกไปข้างหนึ่ง โดยไม่เกิดมุมแหลม หรือลักษณะที่พุ่งขึ้นตรงกลาง

รูปที่ 2.10 โค้งราบ

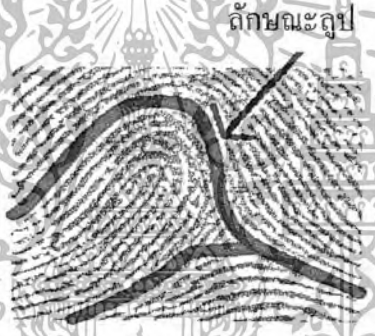
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1.2 โค้งกระโจม (Tented Arch = TA)

คือ ลักษณะของลายเส้นตรงกลาง ที่วิ่ง เกิดเป็นลายเส้นพุ่งขึ้น จากแนวนอนเป็นมุมแหลม หรือมุมฉาก

รูปที่ 2.11 โค้งกระโจม

2.1.2.2 กลุ่มที่ 2 ลูปหรือมัดหวาย (Loop) คือ ลักษณะของลายเส้นที่มีหนึ่งสันดอนอยู่ภายใน



รูปที่ 2.12 รูปแบบของกลุ่มลูปหรือมัดหวาย

2.1.2.2.1 มัดหวายปัดขวา (Right Slant Loop = RSL)

คือ ลักษณะลายเส้น ที่มีสันดอนเพียงจุดเดียว มีเส้นวกหลักที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้น มีทิศทางไปทางด้านขวา

รูปที่ 2.13 มัดหวายปัดขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2.2 มัดหวายปัดซ้าย (Left Slant Loop = LSL)

คือ ลักษณะลายเส้น ที่มีสันดอนเพียงจุดเดียว มีเส้นวกหลักที่สมบูรณ์อย่างน้อย 1 เส้น มีทิศทางไปทางด้านซ้าย

รูปที่ 2.14 มัดหวายปัดซ้าย

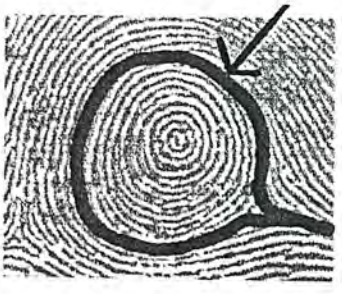
2.1.2.2.3 มัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝด (Double Loop = DL)

คือ ลักษณะลายเส้น ที่มีลักษณะคล้ายกับลายนิ้วมือแบบมัดหวายด้านบน แต่มากอดหรือกล้ำกันจนเกิดมีสันดอน 2จุด โดยไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากันมาประกอบด้วย

รูปที่ 2.15 มัดหวายแฝด

2.1.2.3 กลุ่มที่ 3 ก้นหอย (Whorl) คือ ลักษณะของเส้นที่วนเข้าหาจุดศูนย์กลางของลาย ลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงจร ลักษณะเหมือนลานนาฬิกา, รูปไข่, วงกลม, หรือลักษณะอื่นๆ มาประกอบด้วย

ลักษณะก้นหอย



รูปที่ 2.16 รูปแบบของกลุ่มก้นหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3.1 ก้นหอยธรรมดา (Plain Whorl = W)

รูปที่ 2.17 ก้นหอยธรรมดา

2.1.2.3.2 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา (Right Central Pocket = RCP)

รูปที่ 2.18 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดขวา

2.1.2.3.3 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย (Left Central Pocket = LCP)

รูปที่ 2.19 ก้นหอยกระเป๋ากลางปัดซ้าย

2.1.2.3.4 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา (Right Lateral Pocket = RLP)

รูปที่ 2.20 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3.5 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย (Left Lateral Pocket = LLP)

รูปที่ 2.21 ก้นหอยกระเป๋าข้างปัดซ้าย

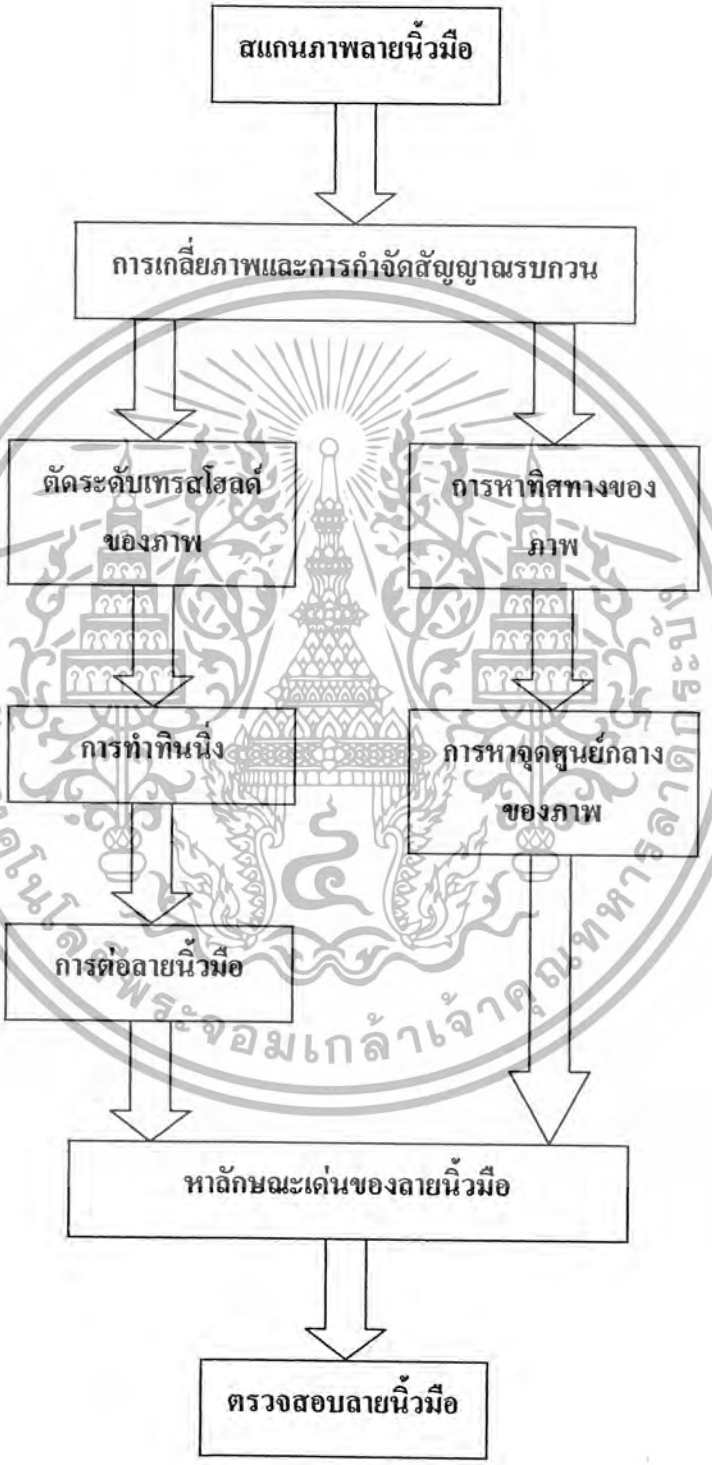
2.1.2.4 กลุ่มที่ 4 ซับซ้อน (Accidental Whorl = AW) ลายนิ้วมือที่มีลักษณะพิเศษที่ไม่จัดเข้าเป็นลายนิ้วมือชนิดหนึ่งชนิดใดโดยเฉพาะ ประกอบด้วยลายนิ้วมือ 2 แบบมาผสมกันและมีสันดอน 2 สันดอนหรือมากกว่า เช่นกรณีที่ไม่สามารถเข้ากับลายนิ้วมือกลุ่มที่กล่าวมาแล้วข้างต้นไม่ได้เลย โดยมีความยุ่งเหยิงและเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน

รูปที่ 2.22 กลุ่มซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ขั้นตอนการจดจำลายนิ้วมือ

ระบบการจดจำลายนิ้วมือแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ อธิบายโดยแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.23 แผงผังแสดงขั้นตอนต่างๆ ในการจดจำลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ขั้นตอนการสแกนภาพลายนิ้วมือ

ภาพลายนิ้วมือที่จะเก็บเป็นฐานข้อมูล หรือที่จะใช้ตรวจเทียบลายนิ้วมือนั้น จะเป็นภาพลายนิ้วมือที่เป็นไฟล์นามสกุล .bmp โดยภาพจะมีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ หรือเรียกว่าระดับสีเทา (gray level)

โดยภาพลายนิ้วมือที่เก็บเป็นฐานข้อมูลนั้น อาจมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในแต่ละภาพ จึงต้องเริ่มด้วยขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ

2.2.2 การเกลี่ยภาพ และการกำจัดสัญญาณรบกวน (Smoothing and Noise Reduction)

ภาพลายนิ้วมือที่ได้รับเข้ามานั้น จะมีค่าเฉลี่ยของความสว่างของภาพไม่เท่ากัน เพื่อให้ภาพทุกภาพมีค่าเฉลี่ยระดับความสว่างของภาพที่เท่ากัน จึงต้องมีการทำการเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพเสียก่อน และ ในการเกลี่ยภาพนี้ สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนซึ่งอยู่ภายในภาพ ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้อาจเกิดจาก ความบกพร่องของภาพเอง หรือเกิดจากสัญญาณรบกวนในขั้นตอนที่สแกนภาพเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับการทำงานของกระบวนการเหล่านี้ อาศัยหลักการที่ว่า จุดใดๆในภาพ จะต้องมี ความสว่าง สัมพันธ์กับจุดที่อยู่รอบๆ สำหรับวิธีการที่ใช้ทั่วๆไปคือ วิธีการเฉลี่ยค่ารอบย่าน (Average Filtering) โดยการแทนจุดใดๆในวินโดว์ขนาด 3*3 ด้วยค่าเฉลี่ย กับค่าของจุดรอบๆ ที่อยู่ภายในตัวกรอง ซึ่งภายในตัวกรองดังกล่าว จะประกอบไปด้วย จุดต่างๆ ตั้งแต่ X_0 - X_8 ดังรูปที่ 2.24 โดยมีจุด X_0 เป็นจุดที่ต้องการพิจารณา โดยที่จุด X_0 จะเปลี่ยนแบบวนรอบไปจนครบทุกจุดภาพ

X_4	X_3	X_2
X_5	X_0	X_1
X_6	X_7	X_8

รูปที่ 2.24 วินโดว์ขนาด 3*3

โดยค่า X_0 จะเปลี่ยนไปดังสมการที่ 2.1

$$X_0 = \frac{1}{9}\sum_{i=0}^{8} X_i \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ (Threshold)

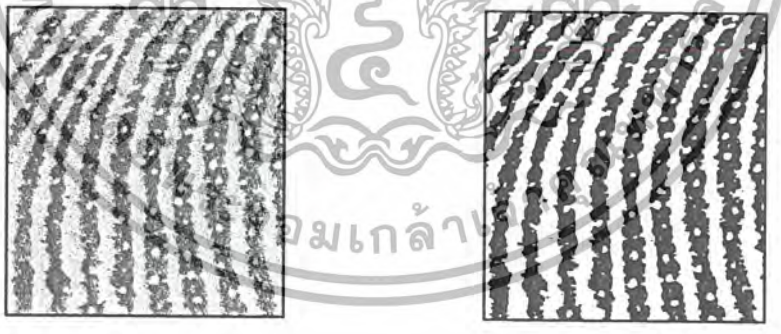
ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการเกลี่ยภาพมาแล้ว ยังมีค่าของ ระดับสีอยู่ในช่วง 0 – 255 ระดับ ซึ่งก่อนที่จะนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อจำแนกลายนิ้วมือต่อไปได้นั้น ต้องมีการตัดระดับความสว่างของภาพ ให้มีค่าแค่ 2 ค่าเท่านั้น คือ "0" และ "1" หรือ เรียกว่า ภาพไบนารี่ (Binary Image) โดยที่ "0" คือค่าระดับสีที่แทนด้วยจุดที่เป็นพื้น และ "1" แทนด้วยลายของภาพ ซึ่งการแปลงภาพลายนิ้วมือให้เป็นภาพ 2 ระดับนี้ เป็นกระบวนการที่ทำขึ้นเพื่อแยกความแตกต่างระหว่างเส้นนูนและเส้นร่อง หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า เป็นกระบวนการที่แยกความแตกต่างระหว่างลายนิ้วมือและภาพหลัง เพราะภายหลังการกระทำ จะเหลืออยู่แค่ส่วนที่เป็นลายพิมพ์นิ้วมือเท่านั้น โดยกระบวนการที่นำมาใช้ เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนความสว่างทุกจุดภาพ ให้เหลือเพียง 2 ระดับ นิยามการแปลงภาพเป็น 2 ระดับ ดังสมการที่ 2.2

$$B(x,y) = \begin{cases} 1 \; if & I(x,y) > T \\ 0 \; if & I(x,y) \le T \end{cases} \tag{2.2}$$

กำหนดให้ I(x,y) คือ ค่าสีของ gray levels ที่ได้จากการอ่านภาพเริ่มต้น ณ.ตำแหน่ง x,y

T คือ ค่าสีที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ

B(x,y) คือ ค่าสีที่ผ่านการหาค่าขีดการเปลี่ยนระดับสีของภาพ ณ.ตำแหน่ง x,y



a) b)

รูปที่ 2.25 a) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

b) ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์

2.2.4 การทำลายส้นให้บาง (Thinning algorithm)

ภาพที่ได้หลังจากการทำลายส้นให้บาง คือ การลดทอนพื้นที่หน่วยความจำ ที่จะใช้ในการเก็บค่าข้อมูลโครงสร้างของรูปแบบที่จะแสดง และทำให้โครงสร้างข้อมูล ที่จะใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบนั้นดูง่ายขึ้น จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ เพื่อทำให้รายละเอียดของภาพลายนิ้วมือเหลือแต่ลายเส้นที่จำเป็น ไม่ให้มีรายละเอียดมากเกินความจำเป็น เนื่องจาก โดยข้อเท็จจริงแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายนิ้วมือแต่ละเส้น จะมีลักษณะเป็นเส้นหนา และความหนาของแต่ละลายไม่เท่ากันทุกเส้น แต่ความหนาของลายเส้น เป็นข้อมูลที่กระบวนการวินิจฉัยไม่สนใจพิจารณา ดังนั้น เราจึงลดข้อมูลให้น้อยลงได้ โดยการแทนเส้นลายนิ้วมือด้วยลายเส้น ซึ่งนั่นคือการกำจัดความแตกต่างของความหนา

เนื่องจากผลที่ได้จากกระบวนการ เป็นการทำให้ภาพเดิม เหลือแต่ส่วนที่เป็นแกนจริงๆ บางครั้งจึงเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า สเคลิทอน (Skeletonizing) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี สำหรับการดำเนินการกับภาพที่ผ่านกระบวนการแปลงเป็นไบนารี่แล้ว แต่ละวิธีการต่างก็มีข้อดีและข้อเสียของมัน ในเรื่องของความเร็ว และ ความถูกต้อง โดยแต่ละวิธีจะมีหลักการพื้นฐานเหมือนๆกัน แตกต่างกันเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับเงื่อนไขในการวนรอบ และการกำจัดเท่านั้น ในที่นี้จะใช้การทำเส้นให้บางโดยใช้วิธีการของชาง และ ซวน(Thinning using Zhang and Suen's method) โดยจะเริ่มด้วยการใช้เทมเพลท (Template)ขนาด 3 x 3ดังในรูปที่ 2.26โดยเทมเพลทนี้ใช้เพื่อการคอนโวลูชั่น และ พิกเซลปัจจุบันคือพิกเซลตรงกลาง ฉะนั้น ขั้นตอนนี้เป็นการนำภาพที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์ซึ่งเป็นภาพไบนารี่แล้ว มาหาโครงสร้างหรือแกนกลางของลายนิ้วมือ โดยการทำสเคลิทอนด้วยวิธีการทินนิ่ง โดยกำหนดให้ค่า "1" แทนจุดภาพที่เป็นลายและ ค่า "0" แทนจุดที่เป็นพื้น โดยจะทำตามขั้นตอนพื้นฐาน 2 ขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง ในการตรวจสอบจุดภาพ ที่อยู่รอบนอกของลายนิ้วมือที่มีค่าเป็น "1" (P_1 คือจุดภาพที่ตรวจสอบ) และจะต้องมีจุดข้างเคียงของจุดภาพ P_1 อย่างน้อยหนึ่งในแปดจุดที่มีค่าเป็น "0" เพื่อจะได้กำจัดจุดภาพที่ตรวจสอบให้เป็นศูนย์ได้ ลักษณะของข้อมูลที่นำมาพิจารณาจะมีขนาดเท่ากับ 3x3 ดังรูปที่ 2.26

P_9	P_2	P_3
P_8	P_1	P_4
P_7	P_6	P_5

รูปที่ 2.26 แสดงทินนิ่งอัลกอลิธึมที่ใช้ 8 จุดข้างเคียง

2.2.4.1 อัลกอริทึมของการทำสเคลิทอน

ขั้นตอนที่ 1 จุดภาพ P_1 จะถูกกำจัดออกไป (ทำให้เป็น "0") ถ้าสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด แต่จะคงไว้ถ้าไม่เป็นจริงเกิดขึ้นกรณีใดกรณีหนึ่ง

1.) $2 \le N(P_1) \le 6$

เมื่อ $N(P_1)$ คือ จำนวนจุดที่อยู่ข้างเคียงจุด P_1 ที่เป็น "1" นั่นคือ $N(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 \ldots + P_9$

2.) $S(P_1) = 1$

เมื่อ $S(P_1)$ คือ จำนวนจุดที่เปลี่ยนแปลงจาก "0" เป็น "1" โดยตรวจสอบไปตามลำดับ

$P_2, P_3, \ldots, P_9, P_2$

3.) $P_2 . P_4 . P_6 = 0$ (เมื่อ . แทนลอจิก AND)

4.) $P_4 . P_6 . P_8 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนนี้จะใช้กับทุกๆจุดภาพ ที่อยู่โดยรอบของลายที่กำลังพิจารณา ถ้าไม่ตรงกับเงื่อนไขอันใดอันหนึ่ง จุดภาพที่พิจารณาอยู่นั้นจะไม่ถูกลบ แต่ถ้าถูกต้องตามเงื่อนไข จุดภาพที่พิจารณาอยู่นั้นจะถูกลบ แต่จุดภาพที่ถูกพิจารณาทั้งหมด จะไม่ถูกลบ จนกระทั่งจุดขอบภาพทั้งภาพ ถูกประมวลผล โดยจะทำเครื่องหมาย (flag) ของจุดที่จะถูกลบไว้ก่อน ซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของข้อมูลระหว่างการดำเนินการของขั้นตอนวิธีการทำลายเส้นให้บาง ขั้นตอนนี้ จะเป็นการกำจัดข้อมูลที่อยู่ทางขวามือ และด้านล่างออกไป

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> เงื่อนไขของข้อ 1.) และ ข้อ 2.) ยังคงเหมือนกับขั้นตอนที่ 1แต่ เงื่อนไขข้อ 3.) และ ข้อ 4.) จะเปลี่ยนไป

5.) $P_2 . P_4 . P_8 = 0$

6.) $P_2 . P_6 . P_8 = 0$

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดข้อมูลที่อยู่ทางซ้ายมือ และด้านบนออกไป ซึ่งจะประมวลผลกับภาพที่ได้จากการประมวลผลในขั้นตอนที่ 1แล้วด้วยวิธีการที่เหมือนกับขั้นตอนที่ 1

รูปที่ 2.27 แสดงขั้นตอน วิธีการของชาง และ ซวน

เพราะฉะนั้น โดยพื้นฐานของขั้นตอนการทำลายเส้นให้บางตามวิธีของ ชาง และ ซวน ทำได้โดยอาศัยกฎ 2 ข้อ คือ การนำเทมเพลส ขนาด 3x3 สแกนไปตามข้อมูลภาพ และทำการพิจารณาพิกเซลบริเวณขอบภาพว่าสามารถลบได้หรือไม่ ถ้าลบได้ให้หมายเหตุไว้แต่ยังไม่ต้องลบ หลังจากที่สแกนทั่วทั้งภาพก็ให้ทำการลบข้อมูลภาพดังที่ได้หมายเหตุไว้ ส่วนขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการเหมือนขั้นตอนที่ 1 กับจุดภาพที่ยังคงเหลือ และลบจุดขอบภาพ ซึ่งขั้นตอนพวกนี้ จะถูกกระทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่มีจุดภาพใดๆ จะถูกลบอีก ซึ่งเป็นช่วงสิ้นสุดการทำงานของการทำลายเส้นให้บางด้วยวิธีของชาง และ ซวน

รูปที่ 2.28 ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ผ่านการทินนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือที่ผ่านการทำทินนิ่งแล้วนั้น ลายเส้นโครงสร้างของลายนิ้วมือนั้น จะไม่ถูกต้องเลยทีเดียว เนื่องจากความผิดพลาดจากขั้นตอนการสแกนภาพ นั่นคือ แรงที่ใช้ในการกดนิ้วมือลงบนตัวสแกน จะทำให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นทำให้ความคมชัดของภาพ ระหว่างสัน และร่องของลายนิ้วมือนั้น มีความแตกต่างกันน้อย ซึ่งมีผลทำให้ไม่สามารถกู้ส่วนของภาพ ที่มีข้อมูลมาได้อย่างครบถ้วน จึงทำให้ลักษณะโครงร่าง ของลายเส้นที่ได้ จากการทำทินนิ่ง จะไม่ถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ โดยขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือนี้ จะต่อลายในส่วนของลายเส้น ที่ขาดหายไปให้ถูกต้องครบถ้วนมากที่สุด โดยใช้วิธีการหาความน่าจะเป็นของทิศทางของลาย

รูปที่ 2.29 แสดงการต่อลายในส่วนของลายเส้นที่ขาดหายไป

2.2.5.1 ทฤษฎีการกำจัดเส้นสะพาน (Elimination of bridge)

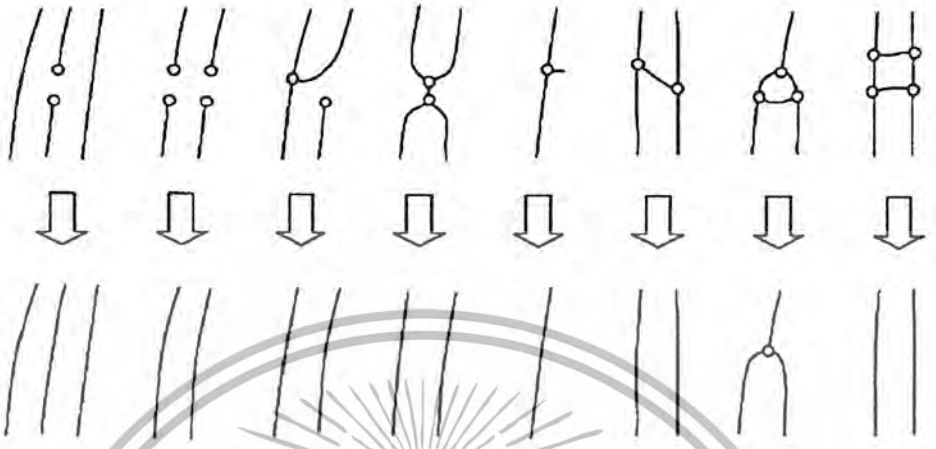
เมื่อพิจารณารูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ (รูปที่2.30) จะเห็นได้ว่ามีเส้นสะพานเกิดขึ้น (สังเกตจากภาพจะใช้สัญลักษณ์วงรีล้อมรอบบริเวณที่เกิดเส้นสะพาน) โดยเส้นสะพานจะมีลักษณะเป็นลายสองลาย ที่อยู่ใกล้กัน ถูกต่อถึงกัน

รูปที่ 2.30 แสดงลายที่เกิดเส้นสะพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ในการประมวลผลภาพที่ผ่านการทำให้บาง ต้องทำการกำจัดเส้นสะพานออกไปโดยอาศัยจากการพิจารณาค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่

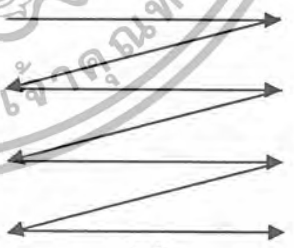


รูปที่ 2.31 แสดงการกำจัดเส้นสะพาน และ การต่อลายเส้น แบบต่างๆ

ในการสแกนหาค่าโทโปโลยีของจุดภาพของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะทำการสแกนจากด้านซ้ายไปด้านขวา และจากด้านบนลงด้านล่างของรูปภาพ (รูปที่ 2.32 b.) โดยในการพิจารณาค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่ จะเป็นการจำแนกเฉพาะค่าการเชื่อมต่อแบบ 4 (4-connectivity) หรือการเชื่อมต่อแบบ 8 (8-connectivity) เท่านั้น โดยใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ครอบบริเวณจุดภาพที่ต้องการหา (รูปที่ 2.32 a.) ซึ่งค่า $x_0, x_1, x_2, \ldots, x_8$ เป็นค่าของทางดิจิตอลที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเราจะพิจารณาเมื่อ $x_0 = 1$ เท่านั้น

X4	X3	X2
X5	X0	X1
X6	X7	X8

a.)



b.)

รูปที่ 2.32 a) วินโดว์ขนาด 3x3

b) แสดงทิศทางในการสแกนจุดภาพ คือสแกนจากซ้ายไปขวาและบนลงล่าง

โดยสมการที่ใช้ในการหาค่าโทโปโลยีของจำนวนจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อ (Connected Number-Nc) ของ $x_0 = 1$ มีดังนี้

$$Nc^4 = \sum_{i \in s_1} (x_i - x_i x_{i+1} x_{i+2}) \qquad (2.3)$$

$$Nc^8 = \sum_{i \in s_1} (\bar{x}_i - \bar{x}_i \bar{x}_{i+1} \bar{x}_{i+2}) \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61417

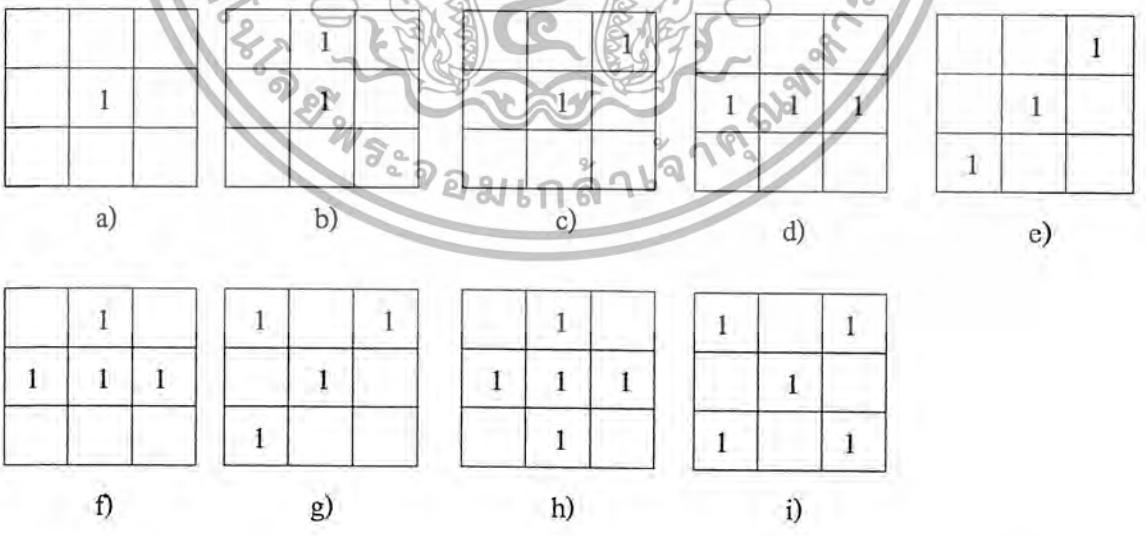
โดยที่ $S_1 = \{1,3,5,7\}$

ค่าของ X_1 เป็นตำแหน่งของจุดภาพต่างๆ ที่อยู่ในวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 โดยค่าของ i จะมีค่า 0 ถึง 8 แต่จากสมการ 2.3,2.4 ค่าของ i จะมีค่าเป็นสมาชิกของ S_1 ซึ่ง i จะมีค่าได้ 4 ค่าคือ 1,3,5,7 เมื่อค่าของ $X_i \geq X_9$ ค่าจะถูกเปลี่ยนเป็น X_{1-x} ส่วนค่าของ $\overline{X}$ = X-1 และค่าตัวยกทางขวาที่อยู่เหนือ Nc ซึ่งคือค่าของ 4 หรือ 8 จะเป็นค่าที่บอกให้รู้ว่า เป็นค่าของจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 หรือ 8 ตามลำดับ โดยสมการทั้งสองสามารถแบ่งแยกค่าทางโทโปโลยีของ X_0 ได้ดังรูปที่ 2.33

ค่าของ Nc^4 หรือ Nc^8	ค่าโทโปโลยีของจุดภาพ
0	จุดภายใน (internal) หรือ จุดโดดเดี่ยว (isolate)
1	จุดปลาย (End)
2	จุดเชื่อมต่อ (Connect)
3	จุดแยก (Branch)
4	จุดตัด (Cross)

รูปที่ 2.33 แสดงค่าโทโปโลยีของจุดภาพ

โดยที่จุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 จะเป็นการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวตั้ง และจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 8 จะเป็นการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวเส้นทแยงมุมรวมกับจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 a.) เทมเพลท ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 0$ หรือ $Nc^8 = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b.) ,c.) เทมเพลท ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 1$ หรือ $Nc^8 = 1$ ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มกรณีละ 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

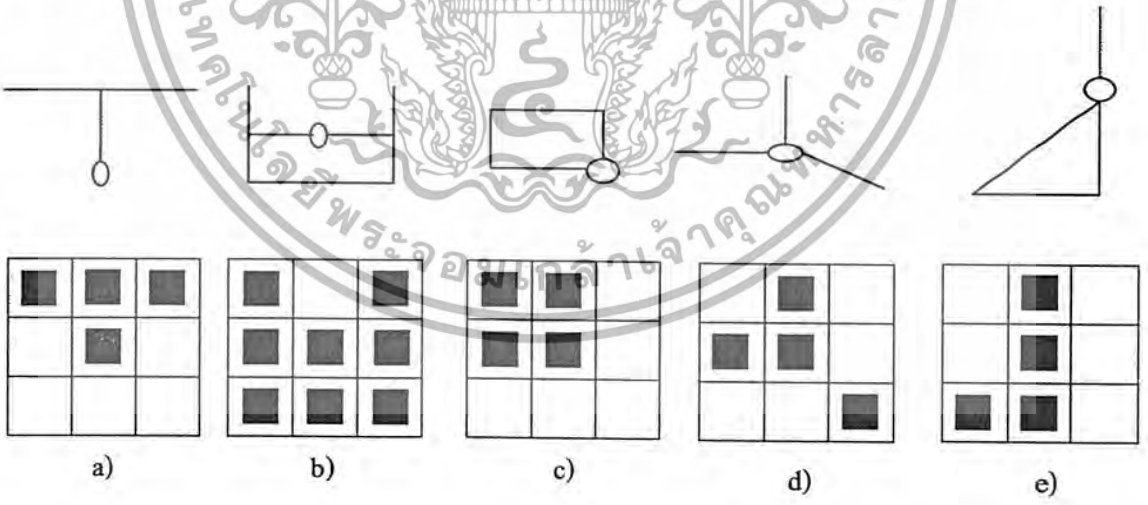
d.) ,e.) เทมเพลท ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 2$ หรือ $Nc^8 = 2$ ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มกรณีละ 1 กรณี รวมทั้งสิ้น 4 กรณี

f.) , g.) เทมเพลท ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 3$ หรือ $Nc^8 = 3$ ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มกรณีละ 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

h.) , i.) เทมเพลท ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 4$ หรือ $Nc^8 = 4$ ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณี เมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มกรณีละ 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

ในทางปฏิบัติ ภาพดิจิตอลจะประกอบด้วย จุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อทั้ง 2 ชนิด จึงไม่สามารถที่จะจำแนกความแตกต่างออกได้ทุกกรณี ดูรูปที่ 2.35

ค่า Nc^4 และ Nc^8 ของ X_0 ในรูปที่ 2.35 a), 2.35 b), 2.35 c) คือค่าเดียวกัน กล่าวคือเป็นการเชื่อมจุดต่อ แต่ค่าโทโปโลยีจริงของ X_0 ในรูปที่ 2.35 a), 2.35 b), 2.35 c) แตกต่างกันคือรูปที่ 2.35 a) ค่าโทโปโลยีของจุดปลาย แต่ค่าโทโปโลยีของ X_0 ในรูปที่ 2.35 b) และ 2.35 c) คือจุดเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.35 ตัวอย่างจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้โดยค่า Nc^4 และ Nc^8

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.35 d), 2.35 e) นั้น ค่าของ Nc^4 และ Nc^8 คือจุดเชื่อมต่อ แต่ค่าโทโปโลยีจริงของ X_0 ทั้งสองต่างกัน แต่ค่าโทโปโลยีจริงของ X_0 ในรูปที่ 2.35 d) คือจุดแยก แต่ค่าโทโปโลยีจริงของ X_0 ในรูปที่ 2.35 e) คือจุดเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.35 e)เป็นตัวอย่างหนึ่งของค่าที่ถูกเชื่อมต่อแบบผสมผสาน (Mixed Connectivity) ซึ่งผสมเอาค่าที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 และ แบบ 8 ไว้ด้วยกัน จึงมีสมการทางคณิตศาสตร์สมการใหม่ขึ้นมา โดยดัดแปลงมาจากสมการที่ 2.3 , 2.4 โดยเปลี่ยนค่าสมาชิกของ S_1 เป็น S_2 ดังสมการดังนี้

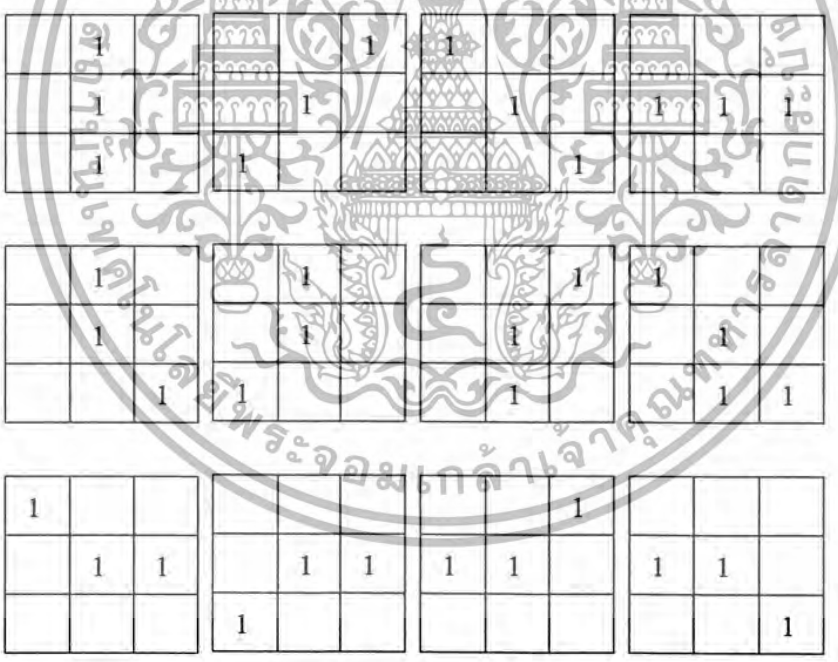
$$Nc^{4'} = \sum_{i \in s_2} (x_i - x_i x_{i+1} x_{i+2}) \tag{2.5}$$

$$Nc^{8'} = \sum_{i \in s_2} (\overline{x}_i - \overline{x}_i \overline{x}_{i+1} \overline{x}_{i+2}) \tag{2.6}$$

โดยที่ $S_2 = \{2,4,6,8\}$

โดยค่าโทโปโลยีของจุดภาพ ที่จะนำมาพิจารณา มีอยู่ด้วยกัน 2 จุด คือ จุดแยก และ จุดเชื่อมต่อซึ่งจากผลการทดสอบหลายๆครั้ง ถ้าสังเกต จะเห็นเทมเพลทของจุดต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรแสดงการเชื่อมต่อแบบผสมผสานระหว่าง Nc^4, Nc^8, $Nc^{4'}$, $Nc^{8'}$ ดังนี้

จากผลการทดลองหลายๆครั้ง จะสังเกตเห็นเทมเพลทของจุดเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 2.36



1 = สีดำ

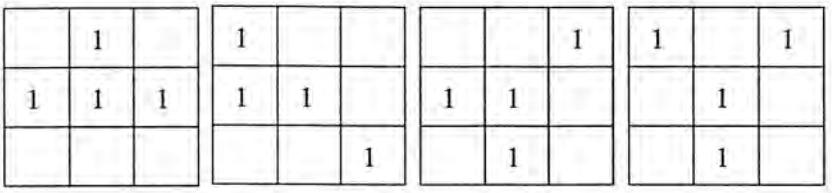
รูปที่ 2.36 เทมเพลท ขนาด 3*3 ที่แสดงถึงจุดเชื่อมต่อรวมทั้งสิ้น 12 กรณี

จากรูปที่ 2.36 สามารถนำมาเขียนเป็นสูตรได้ คือ

จุดเชื่อมต่อ = $((Nc^4 <> 3 \text{ and } Nc^8 = 2) \text{ and } Nc^8 <> 3) \text{ or } Nc^{8'} = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองหลายๆครั้ง ถ้าสังเกตจะเห็นเทมเพลทของจุดแยก ดังรูปที่ 2.37



4 case 4 case 4 case 4 case

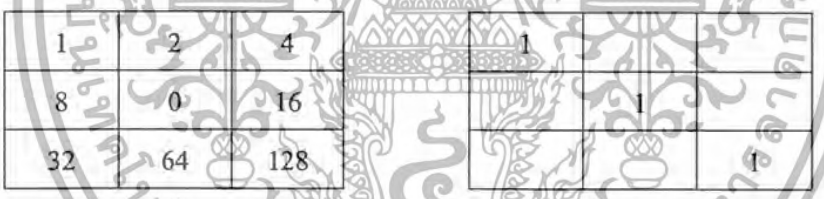
1 = สีดำ

รูปที่ 2.37 เทมเพลท ขนาด 3*3 ที่แสดงถึงจุดเส้นกิ่ง ในแต่ละกรณีเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มอย่างละ 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 16 กรณี

จากรูปที่ 2.37 สามารถนำมาเขียนเป็นสูตรได้ คือ

จุดแยก = $(Nc^4 = 2 \text{ and } Nc^{4'} = 1 \text{ and } Nc^{8'} = 3)$ or $(Nc^4 = 1 \text{ and } Nc^{4'} = 2 \text{ and } Nc^8 = 3)$ or $(Nc^4 = 3 \text{ or } Nc^8 = 3 \text{ or } Nc^{8'} = 3)$ or $(Nc^4 = 3 \text{ and } Nc^{4'} = 0)$ or $(Nc^4 \neq 0 \text{ and } (Nc^{8'} = 2 \text{ and } Nc^{4'} = 2))$

การหาค่าดัชนีของภาพที่พิจารณาอยู่ สามารถหาได้จาก ผลรวมของค่าน้ำหนักที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 2.38 โดยจะทำการพิจารณาในขณะที่ $X_0 = 1$



ค่าน้ำหนักในวินโดว์ ค่าดัชนี = 0+1+128 = 129

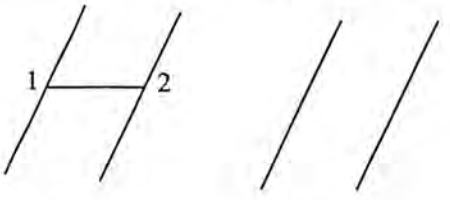
a) b)

รูปที่ 2.38 a) เทมเพลทขนาด3*3ที่มีค่าน้ำหนักต่างๆตามตำแหน่งจุดรอบข้าง $X_0 = 1$

b) ตัวอย่างการหาค่าดัชนี

2.2.5.1.1 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้น

เส้นสะพาน เป็นเส้นที่เชื่อมต่อเส้น 2 เส้น ที่อยู่ใกล้กัน ดังรูปที่ 2.39

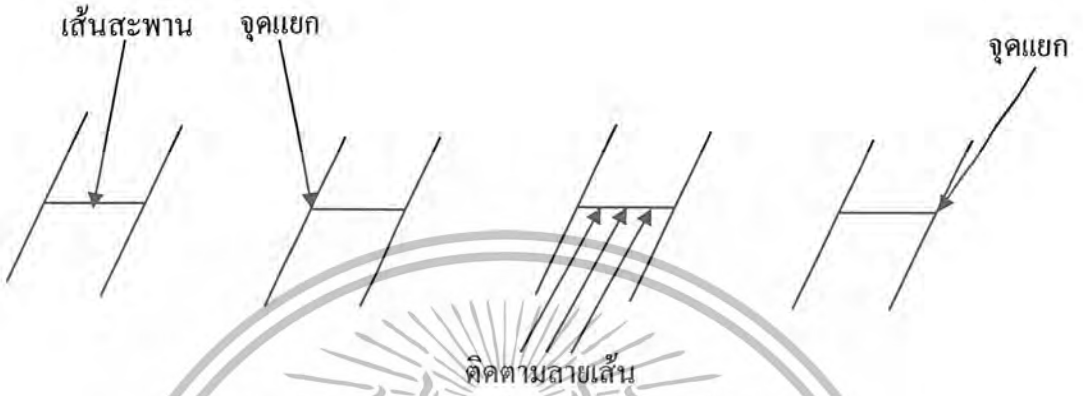


a) b)

รูปที่ 2.39 ลักษณะเส้นสะพาน a) ก่อนแก้ไข b) หลังแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.39 จะสังเกตได้ว่า ที่จุด 1 และ 2 จะมีลักษณะเป็นจุดแยก ดังนั้น สามารถกำจัดเส้นสะพาน โดยใช้ วิธีติดตามลายเส้น โดยนับจำนวนจุดที่อยู่ระหว่างจุด 1 และ 2 ถ้ามีจำนวนน้อยกว่าจำนวนที่กำหนด ให้ลบเส้นสะพานนั้น โดยมีขั้นตอนในการติดตามลายเส้นอย่างคร่าวๆ ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้น

ในการติดตามลายเส้น เริ่มแรกจะทำการสแกนหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามรูปที่ 2.40 โดยจะติดตามลายเส้นทั้งหมด 3 ทิศทาง โดยจะแยกพิจารณาทีละทิศทาง โดยมีขั้นตอนในการ ติดตามลายเส้นสะพานอย่างคร่าวๆ ดังนี้

อัลกอลิธึมในการตัดเส้นสะพาน จะมีขั้นตอนแบ่งเป็น 3 รอบด้วยกันคือ

รอบที่ 1 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 1 เพื่อตรวจสอบว่าเส้นสะพานเกิดขึ้นในทิศทางนี้หรือไม่

1.1 หาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามรูปที่ 2.41 กำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 1 ของเทมเพลท เป็นค่าโคออร์ดิเนต X_0 ภายในวินโดว์ 3*3 ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น (Line Following) ตามรูปที่ 2.40

1.2 ตั้งค่าจุดถัดไปให้เป็น X_0 ภายในวินโดว์ 3*3 เพื่อหาจุดถัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

1.3 ทำตามขั้นตอนที่ 1.2 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบจุดแยก

1.4 หาผลต่างของจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2

*	*	*
	*	
1		

กรณีที่1 ค่าดัชนี39

*		1
*	*	
*		

กรณีที่2 ค่าดัชนี45

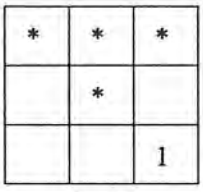
*		
*	*	1
*		

กรณีที่3 ค่าดัชนี57

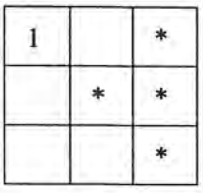
*	*	*
	*	
	1	

กรณีที่4 ค่าดัชนี71

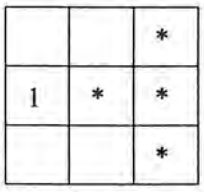
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



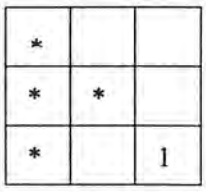
กรณีที่5 ค่าดัชนี135



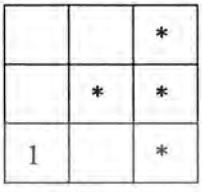
กรณีที่6 ค่าดัชนี145



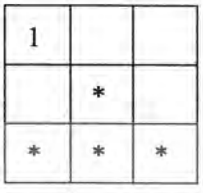
กรณีที่7 ค่าดัชนี156



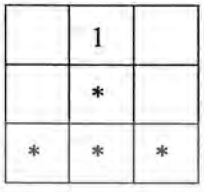
กรณีที่8 ค่าดัชนี169



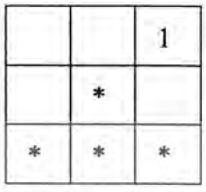
กรณีที่9 ค่าดัชนี180



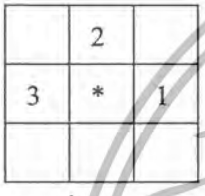
กรณีที่10 ค่าดัชนี225



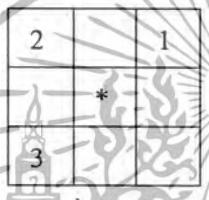
กรณีที่11 ค่าดัชนี226



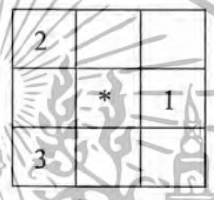
กรณีที่12 ค่าดัชนี228



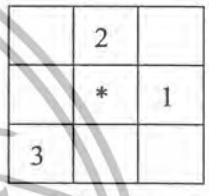
กรณีที่13 ค่าดัชนี26



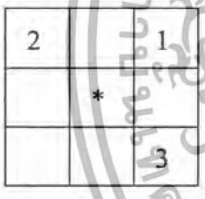
กรณีที่14 ค่าดัชนี27



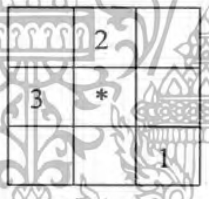
กรณีที่15 ค่าดัชนี49



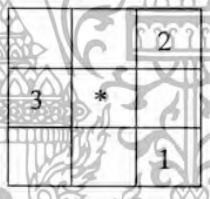
กรณีที่16 ค่าดัชนี50



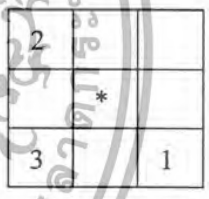
กรณีที่17 ค่าดัชนี69



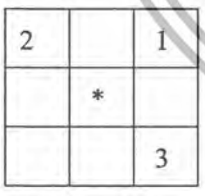
กรณีที่18 ค่าดัชนี76



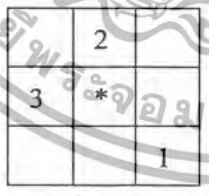
กรณีที่19 ค่าดัชนี81



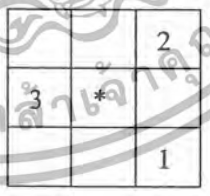
กรณีที่20 ค่าดัชนี88



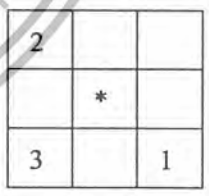
กรณีที่21 ค่าดัชนี133



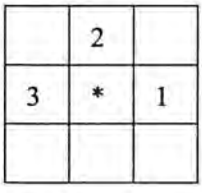
กรณีที่22 ค่าดัชนี138



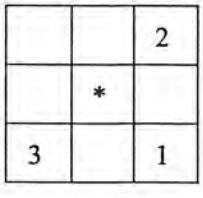
กรณีที่23 ค่าดัชนี140



กรณีที่24 ค่าดัชนี161



กรณีที่25 ค่าดัชนี162



กรณีที่26 ค่าดัชนี164

* = สีของวัตถุ

รูปที่ 2.41เทมเพลทจุดแยกที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้

1 = ตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 1

2 = ตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 2

3 = ตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 3

ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าจำนวนครั้งที่กำหนด ให้ทำการลบจุดภาพในตำแหน่งจุดแยกที่เริ่มต้น กับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้าผลต่างมีค่ามากกว่าจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ ให้กลับไปเริ่มทำข้อที่ 1.1

1.5 ให้กระทำจนครบทุกจุดภาพในภาพ

รอบที่ 2 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 2 เพื่อตรวจสอบว่าเส้นสะพานเกิดขึ้นในทิศทางนี้หรือไม่

2.1 หาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 13-26 ตามรูปที่ 2.41 กำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 2 ของ เทมเพลท เป็นค่าโคออร์ดิเนต X_0 ภายในวินโดว์ 3*3 ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น ตามรูปที่ 2.40

2.2 ตั้งค่าจุดถัดไปให้เป็น X_0 ภายในวินโดว์ 3*3 เพื่อหาจุดถัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

2.3 ทำตามขั้นตอนที่ 2.2 ไปเรื่อยๆจนกระทั่งพบจุดแยก

2.4 หาผลต่างของจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าจำนวนครั้งที่กำหนด ให้ทำการลบจุดภาพในตำแหน่งจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้าผลต่างมีค่ามากกว่านวนครั้งที่กำหนดไว้ ให้กลับไปเริ่มทำข้อที่ 2.1

2.5 ให้กระทำจนครบทุกจุดภาพในภาพ

รอบที่ 3 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 3 เพื่อตรวจสอบว่าเส้นสะพานเกิดขึ้นในทิศทางนี้หรือไม่

3.1 หาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 13-26 ตามรูปที่ 2.41 กำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 3 ของ เทมเพลท เป็นค่าโคออร์ดิเนต X_0 ภายในวินโดว์ 3*3 ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น ตามรูปที่ 2.40

3.2 ตั้งค่าจุดถัดไปให้เป็น X_0 ภายในวินโดว์ 3*3 เพื่อหาจุดถัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

3.3 ทำตามขั้นตอนที่ 3.2 ไปเรื่อยๆจนกระทั่งพบจุดแยก

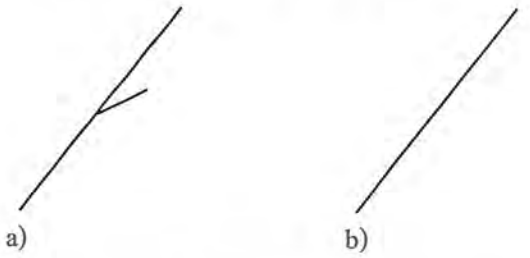
3.4 หาผลต่างของจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าจำนวนครั้งที่กำหนด ให้ทำการลบจุดภาพในตำแหน่งจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้าผลต่างมีค่ามากกว่าจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ ให้กลับไปเริ่มทำข้อที่ 3.1

3.5 ให้กระทำจนครบทุกจุดภาพในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

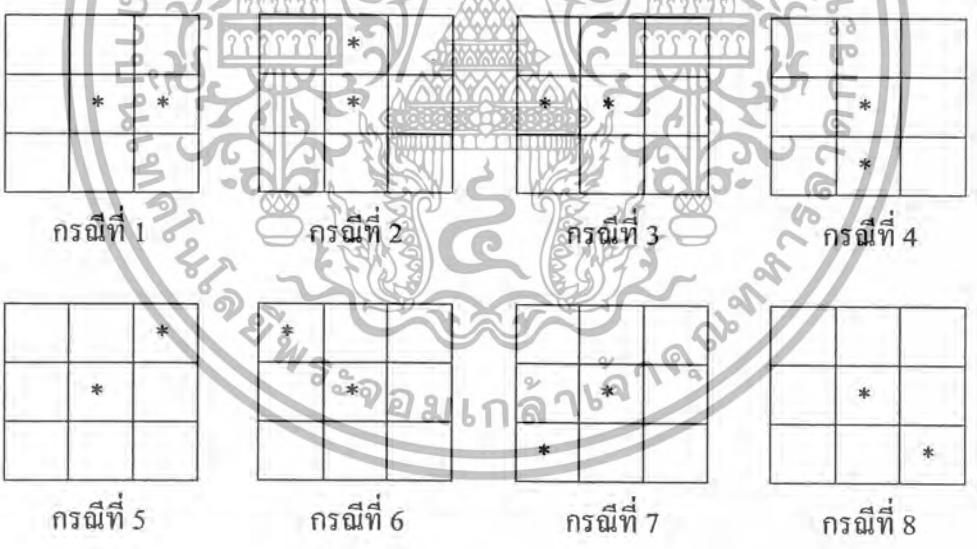
2.2.5.2 ทฤษฎีการกำจัดเส้นกิ่ง (Elimination of branches)

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.42 จะเห็นได้ว่ามีเส้นกิ่งเกิดขึ้น โดยเส้นกิ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นสั้นๆ ที่ยื่นออกมาจากเส้นปกติ ซึ่งเป็นส่วนเกินที่ต้องกำจัดออกไป



รูปที่ 2.42 ลักษณะเส้นกิ่ง a)ก่อนแก้ไข b) หลังแก้ไข

ในการประมวลผลภาพ ต้องทำการกำจัดเส้นกิ่งออกไป(รูปที่2.42) โดยอาศัยจากการพิจารณาค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่ โดยพิจารณาวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ที่ครอบจุดภาพนั้นไว้ โดยใช้โทโปโลยีเพื่อหาจุดปลาย เมื่อได้จุดปลายก็ใช้อัลกอลิทึม ในการติดตามลายเส้นเพื่อกำจัดเส้นกิ่งต่อไป โดยมีเทมเพลทของจุดปลายดังนี้



รูปที่ 2.43 เทมเพลทที่แสดงถึงจุดปลายรวมทั้งสิ้น 8 กรณี

2.2.5.2.1 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้นกิ่ง

ในการกำจัดเส้นกิ่งนี้ จะใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดพื้นที่ของบริเวณที่เกิดเส้นกิ่ง และ จะใช้วิธีติดตามลายเส้น โดยจะเริ่มทำการสแกนหาจุดปลายก่อน โดยให้ตำแหน่ง X_0 อยู่ที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนตของจุดปลายที่หาได้ จากนั้นจึงหาจุดถัดไปที่อยู่บนวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ในทิศทวนเข็มนาฬิกา และ จะทำการตรวจสอบจนกว่าจะพบจุดแยก จึงจะสิ้นสุดการติดตามลายเส้น สามารถเขียนเป็นขั้นตอนคร่าวๆ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ใช้บุคคลเป็นผู้กำหนดของพื้นที่บริเวณที่เกิดเส้นกิ่ง

2. สแกนหาจุดปลายในภาพ

3. ตั้งค่าโคออร์ดิเนตของจุดปลายเป็นค่า X_0 ที่อยู่ในวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้อ้างอิงในการติดตามลายเส้น ตามรูปที่ 2.44

4. ตั้งค่าจุดถัดไปให้เป็น X_0 ในวินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 เพื่อหาจุดถัดไปเพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

5. กลับไปทำตามข้อ 3 เรื่อยๆจนกว่าจะพบจุดแยก

6. ลบจุดปลาย และจุดทุกๆจุดภาพที่อยู่ระหว่างจุดปลายและจุดแยก ที่ได้ตามการกระทำตามขั้นตอนที่ 2-6

รูปที่ 2.44 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้น

2.2.6 ขั้นตอนการกำหนดทิศทางของภาพ (Orientation Image)

การกำหนดทิศทางของภาพจะแสดงถึงลักษณะที่สำคัญของภาพลายนิ้วมือ และการกำหนดค่าตำแหน่งที่คงที่สำหรับสันและร่องในบริเวณใกล้เคียง โดยการพิจารณารายละเอียดของทิศทางของภาพลายนิ้วมือ จากการทดลองได้ศึกษาถึงอัลกอลิธึม โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดยกกำลังสองโดยประมาณของการกำหนดทิศทาง โดยให้ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้วเป็น G ขั้นตอนหลักของอัลกอลิธึมแสดงดังนี้

1. แบ่ง G เป็นบล็อกขนาด w x w (16 x 16)

2. คำนวณหาค่าแกรเดียนท์ (Gradients) $\partial_x(i,j)$ และ $\partial_y(i,j)$ ที่แต่ละพิกเซล (i,j) ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการคำนวณ

3. ประมาณการกำหนดทิศทางบริเวณใกล้เคียงของแต่ละศูนย์กลางของบล็อกที่พิกเซล (i,j) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2\partial_x(u,v)\partial_y(u,v), \quad (2.7)$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} (\partial_x^2(u,v) - \partial_y^2(u,v)), \quad (2.8)$$

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{V_y(i,j)}{V_x(i,j)}\right), \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\theta(i,j)$ เป็นค่ายกกำลังสองที่ต่ำที่สุดโดยประมาณของการกำหนดทิศทางใกล้เคียงของสัน ที่ศูนย์กลางของบล็อก ณ.ตำแหน่ง (i,j) ซึ่งแสดงถึงทิศทาง และ เป็นอัลกอลิธึมในการกำหนดทิศทางที่สำคัญของฟูเรียร์สเป็กตรัมของบล็อก w x w

4. เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นกับลายนิ้วมือ ได้แก่ โครงสร้างของสันและร่องมีส่วนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น, ลักษณะลายอื่นๆ ทำให้การประมาณทิศทางของสันบริเวณใกล้เคียง $\theta(i,j)$ ไม่ถูกต้องเสมอไป เนื่องจากการกำหนดทิศทางของสันบริเวณใกล้เคียงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ในบริเวณที่ใกล้เคียงโดยไม่มีจุดเด่นปรากฏขึ้น ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถที่จะใช้ในการปรับปรุงทิศทางที่ไม่ถูกต้องของสันบริเวณใกล้เคียงได้ ในการใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านนั้น ภาพที่กำหนดทิศทางแล้ว จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนกลับไปเป็นในรูปแบบของเวกเตอร์ที่ต่อเนื่อง ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

$$\Phi_x(i,j) = \cos(2\theta(i,j)), \quad \text{และ} \tag{2.10}$$

$$\Phi_y(i,j) = \sin(2\theta(i,j)), \tag{2.11}$$

โดยที่ Φ_x และ Φ_y คือส่วนประกอบ x และ y ของพื้นที่ที่แสดงเวกเตอร์ตามลำดับ โดยใช้ผลจากพื้นที่ของเวกเตอร์ ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Phi_x'(i,j) = \sum_{u=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} \sum_{v=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} W(u,v)\Phi_x(i-uw, j-vw) \tag{2.12}$$

$$\Phi_y'(i,j) = \sum_{u=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} \sum_{v=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} W(u,v)\Phi_y(i-uw, j-vw) \tag{2.13}$$

โดยที่ W คือ ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านแบบ 2 มิติ โดยจำนวนเต็มและ w_Φ x w_Φ คือขนาดของฟิลเตอร์ เพื่อให้การใช้งานทำให้ภาพออกมาเรียบที่สุด ขนาดของฟิลเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็น 5 x 5

5. คำนวณทิศทางของสันที่อยู่ใกล้กัน ณ.ตำแหน่ง (i,j) โดยใช้

$$\theta'(i,j) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{\Phi_y'(i,j)}{\Phi_x'(i,j)}\right) \tag{2.14}$$

จากอัลกอลิธึมนี้ ทำให้การประมาณค่าของพื้นที่ที่มีการกำหนดทิศทางทำได้ดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.45 เป็นตัวอย่างของภาพที่ผ่านการหาทิศทางโดยใช้อัลกอลิธึมนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.45 แสดงภาพของลายนิ้วมือที่ผ่านการหาทิศทางของภาพ

2.2.7 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือที่สแกนเข้ามาแต่ละครั้งนั้น จะมีตำแหน่งที่ไม่เท่ากัน จึงต้องผ่านขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือภาพนั้นๆเสียก่อน เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนภาพเพื่อใช้ในการตรวจสอบว่า ลายนิ้วมือแต่ละรูปนั้นเป็นลายเดียวกันหรือไม่

ซึ่งขั้นตอนในการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือนั้น ได้พิจารณารูปโครงสร้างของลายนิ้วมือที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บางแล้ว โดยพิจารณาค่าในเมตริกซ์ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.2.7.1 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ (Center Point)

เราจะกำหนดจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือเป็นจุดที่มีความโค้งมากที่สุดของภาพลายนิ้วมือ ในการหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ (x_c, y_c) จะใช้อัลกอลิธึมในการหาจุดคอร์ (Core) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. ประมาณพื้นที่ในการกำหนดทิศทาง O โดยใช้อัลกอลิธึมการประมาณค่าการกำหนดทิศทางโดยใช้พื้นที่สี่เหลี่ยมที่มีค่าน้อยที่สุด พื้นที่ที่ใช้ในการกำหนดทิศทาง O ถูกกำหนดเป็นภาพขนาด N x N โดยที่ O (i,j) คือ การกำหนดทิศทางสันของภาพ ในบริเวณใกล้เคียง ที่ตำแหน่งของพิกเซล (i,j) โดยภาพจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกที่มีขนาด w x w โดยไม่มีการซ้อนทับกัน และเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหน้าต่าง

2. ทำให้พื้นที่ที่มีการกำหนดทิศทางในบริเวณใกล้เคียงนั้น มีความเรียบมากขึ้น ซึ่งโดยแสดงค่าได้เป็น O'

3. กำหนดค่าเริ่มต้น A เป็นภาพที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งจุดคอร์ของภาพ

4. สำหรับแต่ละพิกเซล (i,j) ใน O' คำนวณค่าดัชนีของจุดที่เราสนใจ (Point Care) และกำหนดให้ตำแหน่งพิกเซลที่เหมือนกันใน A มีค่าเป็น 1 ซึ่งถ้าดัชนีของจุดที่สนใจมีค่าเป็น ½ ดัชนีของจุดที่เราสนใจ ณ. พิกเซล (i,j) ประกอบไปด้วยเส้นโค้งดิจิตอลซึ่งทำการคำนวณค่าได้ต่อไปดังนี้

โดยที่ $\Psi_x(.)$ และ $\Psi_y(.)$ คือโคออร์ดิเนต x และ y ของเส้นโค้งดิจิตอลแบบปิดด้วย N_Ψ พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Point care (i,j)} = \frac{1}{2\pi}\sum_{k=0}^{N_\Psi}\Delta(k), \tag{2.15}$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \delta(k) & If\ |\delta(k)| < \frac{\pi}{2} \\ \pi + \delta(k), & If\ \delta(k) \le -\frac{\pi}{2} \\ \pi - \delta(k), & Otherwise, \end{cases} \tag{2.16}$$

$$\delta(k) = O'(\Psi_x(i'), \Psi_y(i') - O'(\Psi_x(i), \Psi_y(i) \tag{2.17}$$

$$i' = (i+1) \bmod N_\Psi \tag{2.18}$$

5. หาองค์ประกอบที่ต่อถึงกันใน A ถ้าพื้นที่ขององค์ประกอบที่ต่อถึงกันมีค่ามากกว่า 7 แล้ว จะพบจุดคอร์ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางขององค์ประกอบที่ต่อถึงกัน แต่ถ้าพื้นที่ขององค์ประกอบที่ต่อถึงกันมีค่ามากกว่า 20 แล้วจุดคอร์ 2 จุดจะพบ ณ.ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางขององค์ประกอบที่ต่อถึงกัน

6. ถ้าพบจุดคอร์มากกว่า 2 จุด ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

7. ถ้ามีจุดคอร์มากกว่า 2 จุด จุดศูนย์กลางจะกำหนดให้เป็นตำแหน่งของจุดคอร์ที่มีค่า x ต่ำกว่า(คอร์ที่อยู่ด้านบน) ถ้ามีจุดคอร์แค่จุดเดียว จุดศูนย์กลางก็จะกำหนดเป็นตำแหน่งของจุดคอร์จุดนั้น ถ้าไม่มีจุดคอร์ถูกค้นพบ ทำการคำนวณแมตริกซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยกันของพื้นที่เวกเตอร์ในบริเวณใกล้เคียง (q x q). ณ. แต่ละจุดในพื้นที่ที่มีการกำหนดทิศทาง กำหนดรูปแบบของภาพเป็น F ด้วยค่าที่มากที่สุดของเมตริกซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยกัน สำหรับแต่ละพิกเซลในภาพที่ทำการกำหนดทิศทาง จุดคอร์ที่ถูกค้นพบ ณ. จุดศูนย์กลางขององค์ประกอบที่ต่อถึงกันที่ใหญ่ที่สุดของภาพที่มีการจัดระดับเทรสโฮลด์ของ F และจุดศูนย์กลางจะถูกกำหนดเป็นตำแหน่งของจุดคอร์

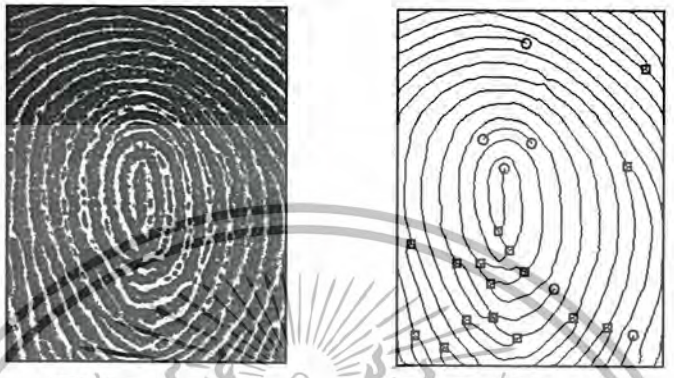
2.2.8 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ (Minutiaes)

ลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ มีหลายรูปแบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในต้นบท โดยในการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ เราจะให้ความสำคัญที่ ไบฟูร์เคชั่น และ การสิ้นสุดของสัน ทั้งนี้เพราะว่าเป็นลายที่พบเห็นได้บ่อยมากที่สุด และ ตำแหน่งของการเกิดลายนิ้วมือที่สำคัญของแต่ละบุคคลนั้น แน่นอนว่าจะไม่เกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน จึงทำการหาตำแหน่งของลายที่สำคัญนี้ เพื่อนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดแยก = ($Nc^4 = 2$ and $Nc^{4'} = 1$ and $Nc^{8'} = 3$) or ($Nc^4 = 1$ and $Nc^{4'} = 2$ and $Nc^{8'} = 3$) or ($Nc^4 = 3$ and $Nc^{4'} = 3$ and $Nc^{8'} = 3$) or ($Nc^4 = 3$ and $Nc^{4'} = 0$) or (($Nc^4 \neq 0$ and ($Nc^{8'} = 2$ and $Nc^{4'} = 2$))

โดยลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่ให้ความสำคัญแสดงดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 แสดงลักษณะเด่นที่สำคัญของลายนิ้วมือ

ไบฟูร์เคชั่น (สี่เหลี่ยม) และ การสิ้นสุดของสัน (วงกลม)

2.2.9 ขั้นตอนการตรวจสอบลายนิ้วมือ

เมื่อหาลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ และจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือได้แล้ว ต่อไปก็จัดเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้เป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการอ้างอิง และ ทำการตรวจสอบลายนิ้วมือออกมาว่า ลายนิ้วมือที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์นั้น เป็นของบุคคลใด โดยใช้จุดศูนย์กลางที่ได้ เป็นจุดอ้างอิงภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบลักษณะโดดเด่นของภาพแต่ละภาพที่หาได้ว่าตรงกับฐานข้อมูลซึ่งเป็นภาพลายนิ้วมือของบุคคลใด โดยมีหลักการในการตรวจสอบดังนี้ คือ

2.2.9.1 การตรวจสอบแบบยืดหยุ่น

การตรวจสอบข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบกับฐานข้อมูลนั้น ทำได้โดยการจับคู่กลุ่มของลักษณะโดดเด่นที่หาไว้แล้ว แต่ละลักษณะเด่นของลายนิ้วมือจะถูกตรวจสอบกับฐานข้อมูลซึ่งมี 3 ขั้นตอน ในการที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูล นั่นคือ การลงทะเบียน การจับคู่ลักษณะโดดเด่นและการตรวจสอบคะแนนที่ได้ทำการคำนวณเอาไว้ ซึ่งทั้ง 3 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

(1) การลงทะเบียน

เพื่อที่จะทำการตรวจสอบกลุ่มของจุด 2 จุดกับทิศทางรวมถึงสเกล และการเปลี่ยนแปลงซึ่งยังไม่ทราบค่า กลุ่มจุด 2 จุดนั้น จะต้องถูกทำการลงทะเบียนก่อนเป็นขั้นตอนแรก ทิศทาง , สเกล และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร จะถูกประมาณค่าขึ้นโดยการใช้รูปแบบโดยทั่วไปของเฮาส์ทรานฟอร์ม (Hough Transform)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทที่จะใช้ในอัลกอลิธึมของการลงทะเบียนนั้น ประกอบด้วย กลุ่มของจุดลักษณะโดดเด่นที่สำคัญ 2 กลุ่มด้วยกัน นั่นคือ P และ Q ซึ่งได้มาจากภาพลายนิ้วมือ โดยมีสมการที่ใช้ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned} P &= \left\{(P_x^1, P_y^1, \alpha^1), \ldots, (P_x^P, P_y^P, \alpha^P)\right\}, \\ Q &= \left\{(q_x^1, q_y^1, \beta^1), \ldots, (q_x^Q, q_y^Q, \beta^Q)\right\}, \end{aligned} \tag{2.19}$$

โดยที่ $|P| = \mathrm{P}$, $|Q| = \mathrm{Q}$ และ $\left\{(P_x^i, P_y^i, \alpha^i)\right\}$ ซึ่งก็คือ รายละเอียด 3 อย่าง (ตำแหน่งที่บอกถึงระยะทาง , การกำหนดทิศทาง) ที่สัมพันธ์กันกับลักษณะเด่นที่ i^{th} ในกลุ่ม P ซึ่งเรากำหนดให้ภาพลายนิ้วมือภาพที่ 2 สามารถแสดงได้ใน ลักษณะของการเปลี่ยนรูป (การหมุน , สเกล และการเปลี่ยนแปลง) ไปยังภาพแรกกลุ่มของจุดที่ 2 นั่นคือ Q จะถูกหมุน และจะถูกกำหนดระยะทาง และถูกเปลี่ยนค่าจากกลุ่ม P โดยที่จุดอาจจะถูกเลื่อนค่า โดยสัญญาณรบกวนแบบอิสระ บางจุดอาจจะถูกเพิ่มและบางจุดอาจจะถูกลบออกไป รูปที่ 2.47 ได้แสดงถึงภาพที่แตกต่างกัน 2 ภาพ ซึ่งมาจากลายนิ้วมือเดียวกัน และกลุ่มลักษณะเด่นที่ได้ปรากฏอยู่ในแต่ละภาพ สิ่งที่ยากสำหรับการลงทะเบียนก็คือ การที่จะกู้การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ทราบมาก่อนนี้ กลับคืนมา ขณะที่ยังไม่ทราบว่าทั้งสองภาพนั้นเป็นภาพเดียวกันหรือไม่(นั่นคือ ภาพนั้นมาจากลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่) ฉะนั้นเราจึงต้องพยายามหาการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อมีการใช้การเปลี่ยนรูปเป็นจุดลักษณะเด่นที่สำคัญของจุด P ซึ่งเหมือนกับกลุ่มเหล่านี้ ที่อาจจะมีการซ้อนทับกันกับจุดลักษณะเด่นจากกลุ่ม Q จุดสองจุดที่ซ้อนทับกันถูกพิจารณาว่าตรงกัน ถ้ามีทิศทางเดียวกัน ซึ่งอาจจะมีจุดเด่นในแต่ละกลุ่มซึ่งไม่ตรงกันกับจุดในกลุ่มอื่นๆ

รูปที่ 2.47 ภาพลายนิ้วมือมีการวางทับกันของกลุ่มจุดที่เป็นลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

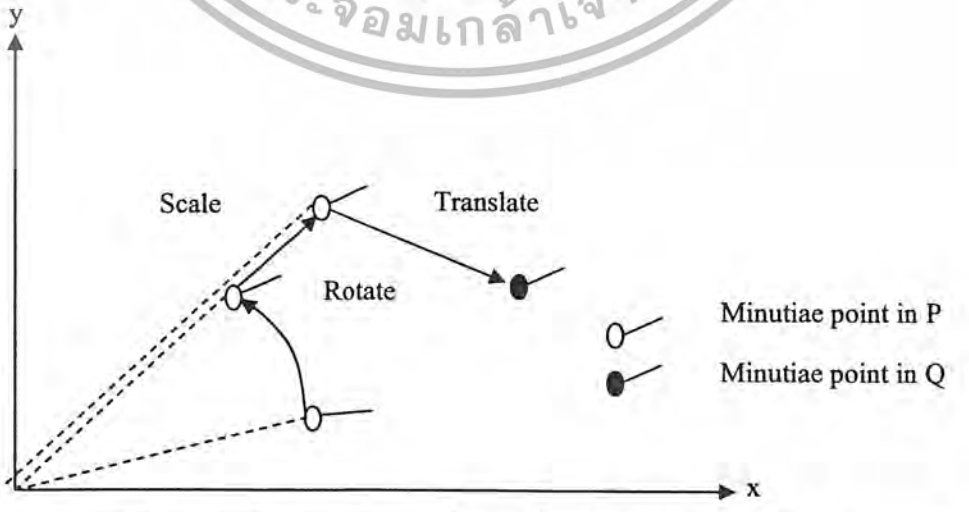
โดยปกติแล้ว เฮาส์ทรานฟอร์ม สำหรับทิศทางของเส้นสามารถครอบคลุมไปถึงจุดที่จะทำการตรวจสอบได้ การแยกกลุ่มที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลง และ สำหรับแต่ละการเปลี่ยนแปลงนั้น คะแนนสำหรับการตรวจสอบจะถูกคำนวณขึ้น โดยที่การเปลี่ยนแปลงของคะแนนสูงสุดจะถือเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งจะทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ $F_s, \theta, \Delta x, \Delta y$: $R^2 \rightarrow R^2$ ได้ดังนี้

$$F_s, \theta, \Delta x, \Delta y \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathrm{S} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}, \tag{2.20}$$

โดยที่ s , θ , และ $(\Delta x, \Delta y)$ คือระยะทาง , การหมุน และการเลื่อนของตัวแปรตามลำดับ ที่ว่างของการเปลี่ยนรูปซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ $(\mathrm{s}, \theta, \Delta x, \Delta y)$ โดยที่แต่ละตัวแปรนั้น จะถูกแยกไปเป็นกลุ่ม ที่มีค่าที่จำกัดดัง : $\mathrm{S} \in \{s_1, ..., s_K\}$, $\theta \in \{\theta_1, ..., \theta_L\}$, $\Delta x \in \{\Delta x_1, ..., \Delta x_M\}$, $\Delta y \in \{\Delta y_1, ..., \Delta y_N\}$

คะแนนที่เกิดจากการตรวจสอบสำหรับการเปลี่ยนรูป จะถูกสะสมในรูปของอาร์เรย์ A โดยที่ $A(k,l,m,n)$ จะถูกนับอย่างชัดเจนสำหรับการเปลี่ยนรูป $Fs_k, \theta_1, \Delta x_m, \Delta y_n$ อาร์เรย์ A จะถูกใส่ค่าดังนี้ คือ สำหรับแต่ละคู่ (p,q) โดยที่ p = ($p_x^{\ i}$, $p_y^{\ i}$) คือจุดในกลุ่ม P และ q = ($q_x^{\ j}$, $q_y^{\ j}$) คือจุดในกลุ่ม Q ซึ่งสามารถที่จะหาการเปลี่ยนรูปที่เป็นไปได้จาก p ไปยัง q และการเพิ่มขึ้นของหลักฐานสำหรับการเปลี่ยนรูปในอาร์เรย์ A (รูปที่ 2.48) สำหรับทุกๆคู่ของค่า (S_k , θ_1) ซึ่งเป็นการเลื่อนของเวกเตอร์ $(\Delta x, \Delta y)'$ ซึ่ง $Fs_k, \theta_1, \Delta x_m, \Delta y_n$ (p) = q และหาได้จาก

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = q - s_k \begin{pmatrix} \cos\theta_l & \sin\theta_l \\ -\sin\theta_l & \cos\theta_l \end{pmatrix} p \tag{2.21}$$



รูปที่ 2.48 การใช้งานของการเปลี่ยนรูปที่เหมือนกันไปยังจุดที่เป็นลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Δx และ Δy จำเป็นต้องถูกทำการควอนไตซ์ไปยังค่าที่ใกล้เคียงที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับ Δx_m และ Δy_n ซึ่งเป็นเรื่องธรรมดาสำหรับการเปลี่ยนรูปแบบเฮาส์ทรานฟอร์ม เพื่อที่จะคำนวณการลงคะแนนเสียงซึ่งไม่เฉพาะรูปแบบที่ถูกต้อง $A(k,l,m,n)$ เท่านั้น แต่ยังรวมไปถึงบริเวณที่ใกล้เคียงที่สุด ด้วยผลของการนำเอาอัลกอลิธึมการลงทะเบียนไปใช้งาน โดยกลุ่มของลักษณะเด่น ถูกแสดงในรูปที่ 2.47 ในรายละเอียดข้างบน เราจะไม่สนใจทิศทางของจุดที่เป็นลักษณะเด่น ซึ่งสามารถที่จะแยกกันได้โดยการตรวจสอบ ถ้าทิศทางของ p , เมื่อถูกหมุนโดย θ_1 องศา , คือทิศทางเดียวกันกับ q

(2) คู่ของลักษณะเด่นที่สำคัญ

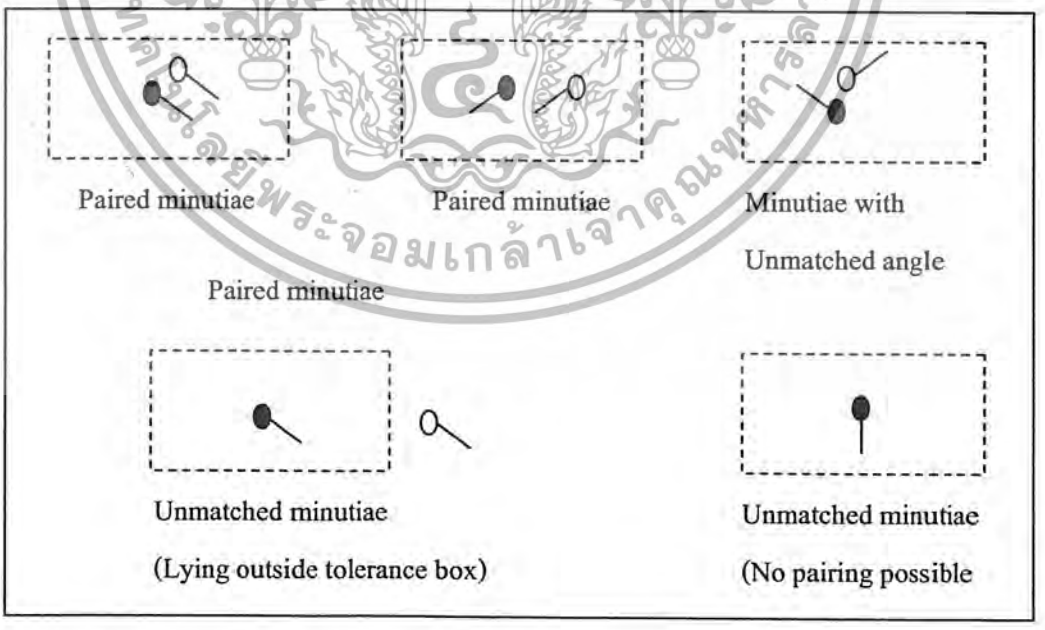
หลังจากการลงทะเบียนกลุ่มของจุด 2 จุดแล้ว ลักษณะเด่นจะต้องถูกจับคู่ 2 ลักษณะเด่น หมายถึง การจับคู่หรือการตรวจสอบ ถ้าส่วนประกอบหรือรายละเอียดของ (x, y, θ) เท่ากันหลังจากการลงทะเบียน ผลจาก 3 สถานการณ์นี้ แสดงในรูปที่ 2.49

1. ลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่ใช้เป็นฐานข้อมูลนั้น ตรงกับลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่สอบถามในทุกๆองค์ประกอบ (การจับคู่ลักษณะเด่น)

2. ลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่ใช้เป็นฐานข้อมูลนั้น ตรงกับลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่สอบถามในโคออร์ดิเนต x และ y แต่ไม่ตรงกันในทิศทาง (ลักษณะเด่นไม่ตรงกับมุม)

3. ไม่มีลักษณะเด่นของลายนิ้วมือใดที่เป็นฐานข้อมูล ตรงกับลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่สอบถาม (ลักษณะเด่นไม่ตรงกัน)

จากรายละเอียดทั้ง 3 ข้างบน ลักษณะเด่นหมายถึงเฉพาะการจับคู่ในกรณีแรก



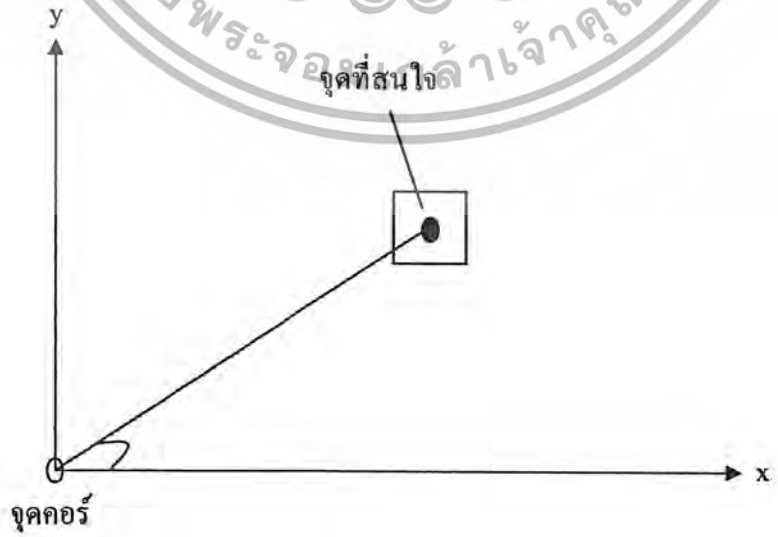
รูปที่ 2.49 ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในการตรวจสอบลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) อัลกอลิธึมของการจับคู่

เป็นอัลกอลิธึมของการจับคู่แบบลำดับ และแบบขนาน โดยให้ลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบถูกแสดงเป็นกลุ่มจุดที่เป็นลักษณะเด่น $n_q f^q = (f^q{}_1, f^q{}_2, ..., fn^q{}_q)$ และแต่ละองค์ประกอบของ n_q นั้น จะเป็นรายละเอียดของเวกเตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ $f^q{}_i = (f^q{}_i(x), f^q{}_i(y), f^q{}_i(\theta))$ องค์ประกอบรายละเอียดของเวกเตอร์แสดงในรูปที่ 2.50 โดยให้ r^{th} อ้างอิงถึง (ฐานข้อมูล) ภาพลายนิ้วมือที่ถูกแสดงเป็นกลุ่มของจุดที่เป็นลักษณะเด่นที่สำคัญ $n_r f^r = (f_1{}^r, f_2{}^r, ..., fn_r{}^r)$ โดยให้ $(x^t{}_q, y^t{}_q)$ และ $(x^b{}_q, y^b{}_q)$ แสดงถึงกล่องที่มีขอบเขตสำหรับลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ โดยที่ $x^t{}_q$ คือตำแหน่งโคออร์ดิเนต x ของมุมซ้ายด้านบนของกล่องและ $x^b{}_q$ คือตำแหน่งโคออร์ดิเนต x ของมุมซ้ายด้านล่างของกล่อง ความยาวของ $y^t{}_q$ และ $y^b{}_q$ ก็จะถูกกำหนดไว้ในลักษณะเดียวกัน โดยจะมีรูปแบบที่เหมือนกันกับกล่องที่มีขอบเขตนี้คือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เล็กที่สุด ซึ่งครอบคลุมจุดที่เป็นรายละเอียดทั้งหมด

อัลกอลิธึมของการจับคู่นี้ อยู่บนพื้นฐานของการหาจำนวนของลักษณะเด่นที่ถูกจับคู่ ระหว่างแต่ละลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูล และลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งกล่องที่มีลักษณะกว้างนี้แสดงดังในรูปที่ 2.50 เพื่อที่จะลดจำนวนของการคำนวณ อัลกอลิธึมของการจับคู่จะนำไปสู่คำอธิบายเฉพาะลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ ซึ่งอยู่ในกล่องที่มีขอบเขตสำหรับการตรวจสอบและการอ้างอิงถึง (ฐานข้อมูล) ของลายนิ้วมือ หนึ่งในจำนวนของการจับคู่ลักษณะเด่นที่ได้มานั้น คะแนนของการจับคู่จะถูกคำนวณขึ้น ซึ่งคะแนนของการจับคู่จะถูกคำนวณขึ้นสำหรับการตัดสินใจองศาของการจับคู่ตรวจสอบ อันดับสุดท้าย กลุ่มของคะแนนที่เป็นหนึ่งในสิบนั้นอ้างถึงลายนิ้วมือที่ได้รับซึ่งเป็นผลของการจับคู่ตรวจสอบ โดยที่ลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ f^q อาจจะขึ้นอยู่กับฐานข้อมูลของลายนิ้วมือ f^D หรือไม่ก็ได้



รูปที่ 2.50 อัลกอลิธึมของการจับคู่ลายนิ้วมือแบบเป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะให้เหมาะกับการเลื่อนในรายละเอียดของลักษณะเด่นนั้น กล่องที่มีลักษณะกว้างนี้จะถูกสร้างขึ้นรอบๆแต่ละลักษณะที่สำคัญ (จากรูปที่ 2.49) ขนาดของกล่องจะขึ้นอยู่กับความกว้างของสันและระยะทางจากจุดคอร์ในลายนิ้วมือ อัลกอลิธึมของการจับคู่แบบลำดับนี้ถูกอธิบายในรูปที่ 2.50 ซึ่งขึ้นอยู่กับความแน่นอนในการจับคู่ที่ต้องการมากกว่าลายนิ้วมือที่จะถูกใช้ในการจับคู่ ในกรณีนี้ คะแนนที่จะประกอบกันขึ้น จะถูกคำนวณสำหรับแต่ละกลุ่มของลายนิ้วมือสำหรับแต่ละบุคคล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

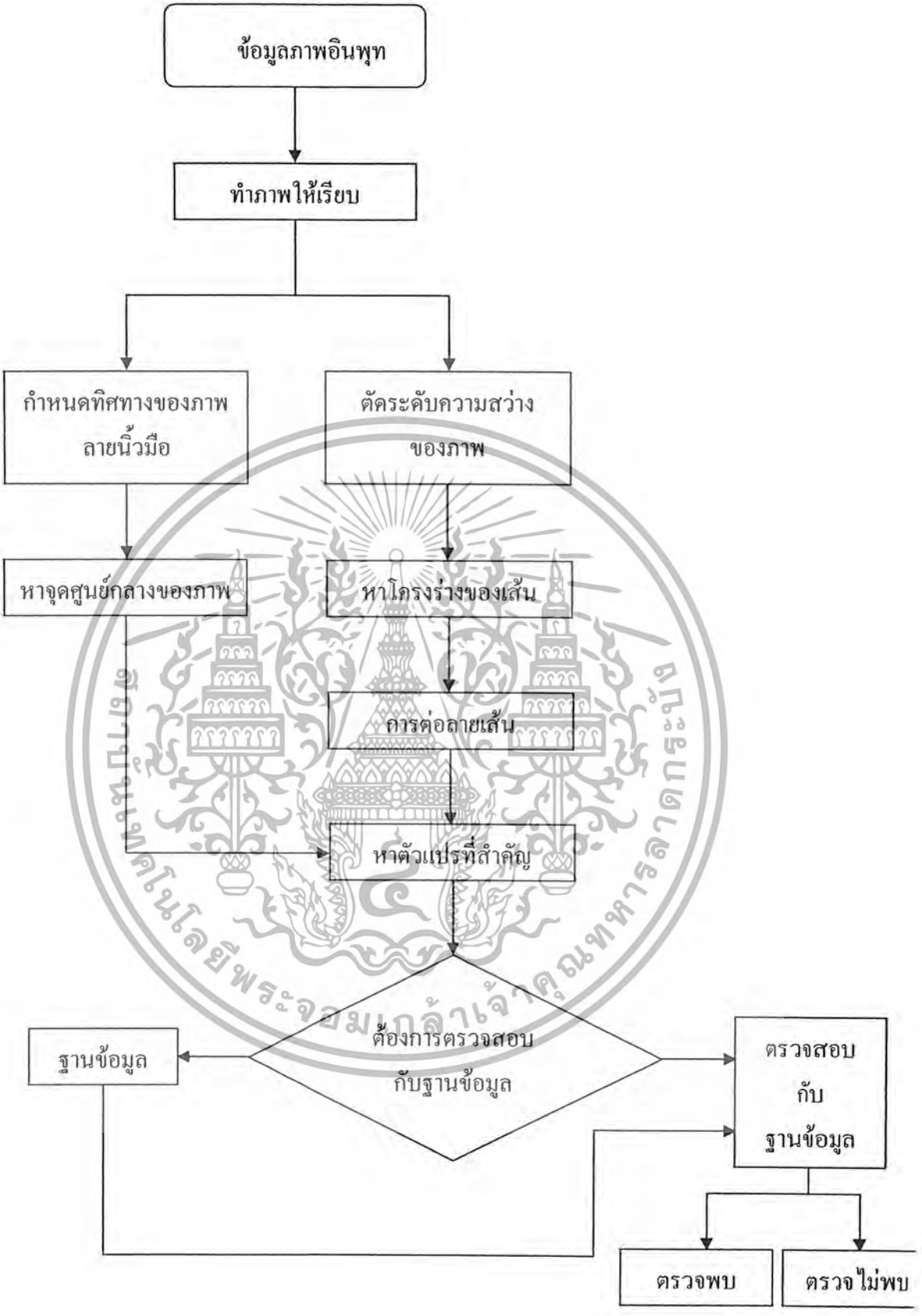
บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมนี้จะเริ่มต้น โดยการสร้างโปรแกรมในการจดจำลายนิ้วมือขึ้น เพื่อที่จะเก็บข้อมูลลายนิ้วมือ ในลักษณะที่โดดเด่นของลายซึ่งโปรแกรมการจดจำลายนิ้วมือนี้จะแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ โดยภาพลายนิ้วมือที่เก็บเป็นฐานข้อมูลนั้น จะเก็บภาพเป็นไฟล์นามสกุล .bmp โดยภาพจะมีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ หรือที่เรียกว่า ระดับสีเทา (Gray Level) โปรแกรมนี้จะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ของแต่ละภาพลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลเอาไว้ ตามขั้นตอนต่างๆที่เขียนไว้ในโปรแกรมการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย การนอร์มัลไลเซชั่น การเกลี่ยภาพ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป จากนั้นแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก ทำการกำหนดทิศทางของภาพโดยแบ่งพิจารณาภาพทีละบล็อกซึ่งมีขนาด 8 x 8 พิกเซล เมื่อทำการกำหนดทิศทางของภาพเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการหาจุดศูนย์กลางของภาพ เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการตรวจสอบลายนิ้วมือในขั้นตอนสุดท้าย ส่วนที่ 2 เริ่มจากการตัดระดับความสว่างของภาพ เพื่อปรับภาพที่มีระดับความสว่างจากระดับสีเทาเป็นภาพไบนารี่ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการกำหนดทิศทางของภาพมาช่วยในการหาระดับเทรสโฮลด์ แล้วทำการหาโครงร่างของภาพ โดยการทำทินนิ่ง จากนั้นทำการต่อลายเส้น ของภาพที่ขาดหายไป และทำการกำจัดลายเส้นที่ไม่ต้องการออกไป ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาตัวแปรที่สำคัญที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล และภาพอินพุท ซึ่งจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการหาจุดศูนย์กลางของภาพมาพิจารณาและตำแหน่งของลักษณะโดดเด่นของลายมาประกอบกัน เมื่อได้ตัวแปลต่างๆที่ต้องการครบถ้วนแล้ว ก็ทำการเก็บภาพที่ได้เป็นฐานข้อมูล เมื่อต้องการที่จะตรวจสอบลายนิ้วมือ ก็ทำการสแกนภาพลายนิ้วมือของผู้ที่ต้องการที่จะตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งแล้วทำการหารายละเอียดของแต่ละอินพุท เพื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ แล้วก็ทำการตรวจสอบลายนิ้วมือว่าเป็นของบุคคลใดต่อไป ซึ่งบล็อกไดอะแกรม โดยรวมของการทำงานของโปรแกรมดังกล่าว แสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน

วิธีการของกระบวนการนี้ เป็นการกำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นตัวการทำให้ภาพมีความไม่เรียบ โดยจะใช้คุณสมบัติของการกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งจะใช้หลักการหาค่ากลาง ทำได้โดยการกำหนดกรอบครอบไปทุกๆจุดในภาพ หลังจากนั้นทำการเรียงชุดข้อมูลจากน้อยไปหามาก แล้วจึงหาค่าข้อมูล ณ.ตำแหน่งตรงกลางของชุดข้อมูล แล้วนำมาแทนในตำแหน่งที่พิจารณา

โดยปรับปรุงให้สมการมีรูปแบบที่ง่ายขึ้นดังนี้

$$F(x,y) = (1/9)\begin{bmatrix} F(x-1,y-1)+F(x-1,y)+F(x-1,y+1) \\ +F(x,y-1)+F(x,y)+F(x,y+1) \\ +F(x+1,y-1)+F(x+1,y)+F(x+1,y+1) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

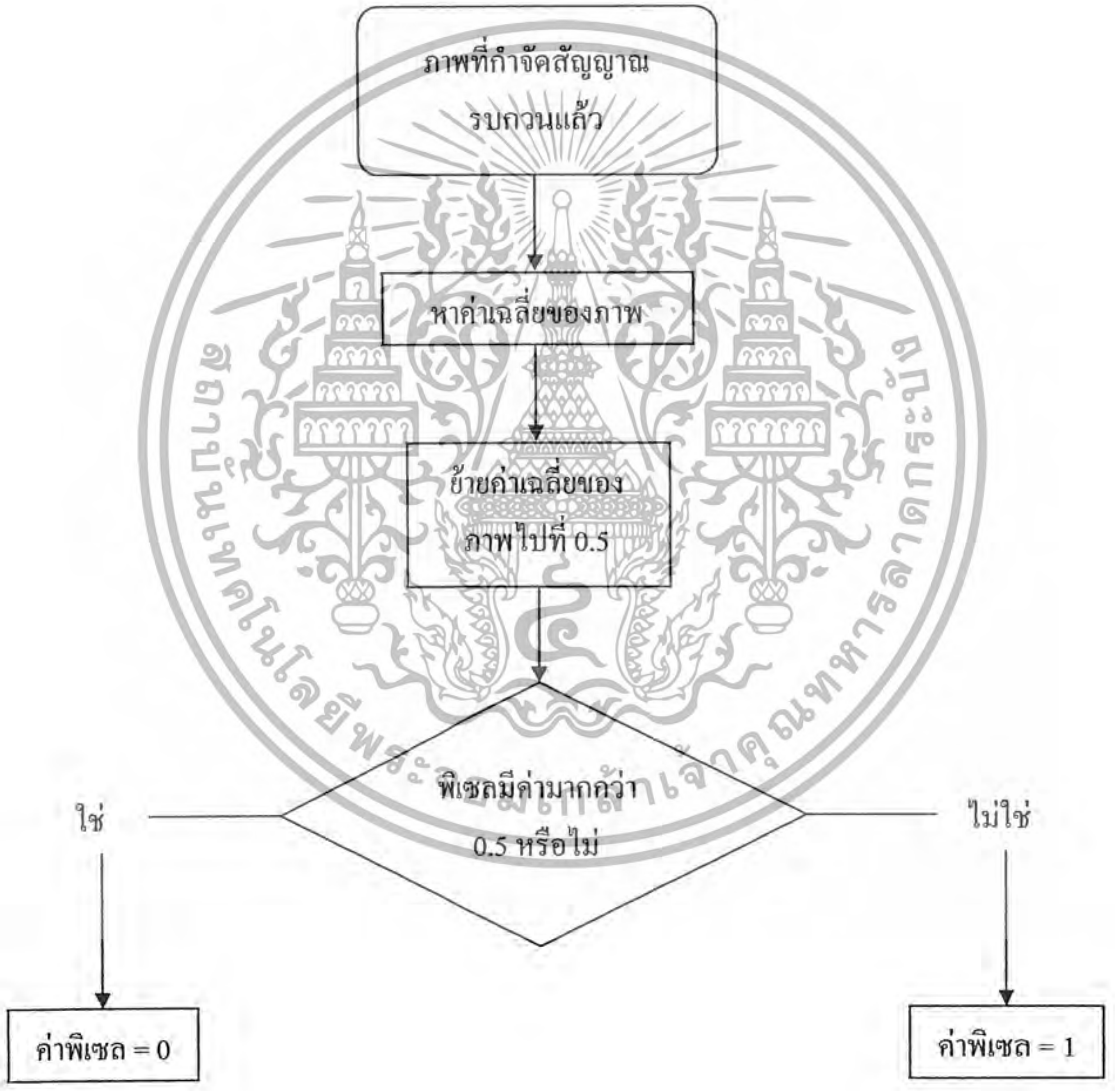
เมื่อทำการกรองความถี่ต่ำด้วยวิธีการดังกล่าวแล้ว จะทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปได้ ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้จะปรากฏเป็นจุดขาวกระจายทั่วไปในภาพ เนื่องจากในภาพดิจิตอลซึ่งข้อมูลของภาพคือค่าสีในแต่ละตำแหน่งของภาพ ในบริเวณที่เป็นของภาพก็คือ ในบริเวณที่ค่าสีของภาพเปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่ง มีบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.2 ดังนี้ บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการกำจัดสัญญาณรบกวน

รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการกำจัดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็น 2 ระดับโดยการตัดเทรสโฮลด์

ในขบวนการนี้จะกำหนดค่าเปลี่ยน (Threshold value) ที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ แล้วใช้ค่าดังกล่าวในการกำหนดความสว่างของแต่ละพิกเซลให้เป็นขาวหรือดำ 2 ค่าเท่านั้น ทำให้เกิดความแน่ชัดของค่าความสว่างในแต่ละพิกเซล และสะดวกในการประมวลผล โปรแกรมในส่วนนี้ เราจะทำการอาศัยค่าเฉลี่ยของทั้งรูปแทน เพื่อที่จะได้ทราบว่าการกระจายค่าของจุดสีส่วนใหญ่อยู่บริเวณใด หลังจากนั้น จะทำการอาศัยจุดนั้นเป็นจุดตัดระดับสีเทา เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรม จึงทำการย้ายค่าเฉลี่ยไปที่จุดที่เรากำหนด เพื่อให้ง่ายต่อการตัดระดับ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของการทำงานสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการตัดระดับเทรสโฮลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาโครงร่างของภาพโดยการทำทินนิ่ง

ขบวนการนี้เป็นการทำให้เส้นที่มีความหนาตั้งแต่ 2 พิกเซลขึ้นไป มีความหนาเหลือพิกเซลเดียว โดยกำหนดให้พิกเซลที่เหมาะสมเป็นตัวแทนของเส้นนั้น แล้วกำจัดพิกเซลอื่นออกไป ซึ่งในระบบของโปรแกรมนี้ ได้มีการประยุกต์ในวิธีการทำเส้นบาง โดยที่ทำการจับคู่ (Template match) กับรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานได้ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมการหาโครงร่างของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การปรับปรุงลายเส้นโดยการต่อลายนิ้วมือ

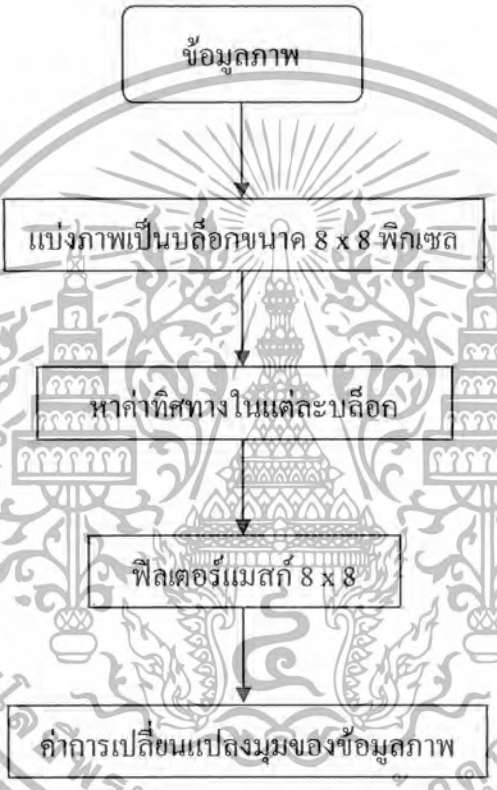
ขบวนการนี้ จะทำการจัดการกับลายเส้นที่อาจจะมีปัญหาอันเนื่องมาจากภาพต้นแบบที่ไม่สมบูรณ์ โดยจะทำการปรับปรุงลายเส้นให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น แสดงขั้นตอนในการปรับปรุงลายเส้นดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการปรับปรุงลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

จุดประสงค์ของการกำหนดทิศทางของภาพก็คือ เพื่อที่จะพิจารณารายละเอียดของทิศทางของภาพลายนิ้วมือ และสามารถที่จะนำข้อมูลส่วนนี้ มาใช้ในการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพต่อไป โดยจากการทดลองครั้งนี้ การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือนั้น เริ่มต้นที่การแบ่งภาพออกพิจารณาเป็นบล็อกๆซึ่งมีขนาด 8 x 8 พิกเซล ศึกษาถึงอัลกอลิธึมโดยใช้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดยกกำลังสองโดยประมาณของการกำหนดทิศทาง โดยให้ภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้วเป็น G ขั้นตอนหลักของอัลกอลิธึมแสดงดังนี้



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การหาจุดศูนย์กลางของภาพ

จุดประสงค์ของการหาจุดศูนย์กลางของภาพ เพื่อที่จะนำจุดศูนย์กลางของภาพที่ได้ มาเป็นจุดอ้างอิงของฐานข้อมูลกับภาพลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบโดยมีหลักการในการหาจุดศูนย์กลางดังนี้คือ จากการผ่านภาพลายนิ้วมือไปยังขั้นตอนการหาทิศทางของภาพ โดยพิจารณาทีละบล็อกซึ่งมีขนาด 8x8 พิกเซล แล้วแทนค่ามุมที่หาได้ในแต่ละบล็อกนั้นด้วยเส้นตรงที่ลากทำมุมกับแนวนอน จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าของมุมระหว่างบล็อก 2 บล็อกที่อยู่ติดกัน เพื่อหาค่าของมุมที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อสามารถหาได้แล้วว่าบล็อก 2 บล็อกไหนที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุดก็แทนค่าโคออร์ดิเนตที่อยู่กึ่งกลางของบล็อก 2 บล็อกนั้นเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ ซึ่งได้ทำการเขียนโปรกรมเพื่อหาจุดศูนย์กลางของภาพและสามารถสรุปขั้นตอนการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางได้ดังนี้

รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการหาจุดศูนย์กลางของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือแต่ละภาพ จะมีลักษณะเด่นของลายและตำแหน่งที่แตกต่างกัน จึงนำเอาคุณสมบัตินี้มาใช้ในการตรวจสอบลายนิ้วมือจากภาพที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางแล้ว ได้เขียนโปรแกรมเพื่อหาลักษณะเด่นของภาพ ที่พบเห็นเป็นประจำได้แก่ จุดแยกของลายเส้น จุดปลายของเส้น จุดเดลตาหรือส่วนที่ลายเส้นมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยม และจุดคอร์หรือจุดที่เป็นส่วนโค้งด้านในสุดของลายเส้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ เราได้พิจารณาเฉพาะลักษณะเด่นที่เป็นทางแยกแบบ 2 ทางในการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยใช้สมการการหาจุดแยกตามรายละเอียดใน 2.2.9 นั่นก็คือ

จุดแยก = $(Nc^{4} = 2 \text{ and } Nc^{4'} = 1 \text{ and } Nc^{8'} = 3)$ or $(Nc^{4} = 1 \text{ and } Nc^{4'} = 2 \text{ and } Nc^{8'} = 3)$ or $(Nc^{4} = 3 \text{ and } Nc^{4'} = 3 \text{ and } Nc^{8'} = 3)$ or $(Nc^{4} = 3 \text{ and } Nc^{4'} = 0)$ or $((Nc^{4} \neq 0 \text{ and } (Nc^{8'} = 2 \text{ and } Nc^{4'} = 2))$

เมื่อหาลักษณะโดดเด่นของแต่ละลายนิ้วมือได้แล้ว ก็ทำการเก็บตัวแปร นั่นก็คือตำแหน่งที่เกิดลักษณะเด่น และใช้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางที่หาได้มา ใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบลายนิ้วมือต่อไป

3.9 การตรวจสอบลายนิ้วมือ

ในการตรวจสอบลายนิ้วมือนั้นเริ่มต้นจากการใช้จุดศูนย์กลางที่หาได้เป็นจุดอ้างอิงในการเปรียบเทียบตำแหน่งของลักษณะเด่นที่พบของลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบกับฐานข้อมูลที่เก็บเอาไว้ได้ โดยที่ถ้าตำแหน่งของลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ ตรงกับตำแหน่งของลักษณะเด่นของฐานข้อมูลที่เก็บเอาไว้ แล้วทำการคิดหาค่าคะแนนรวมของทั้งภาพ เพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าบุคคลคนนั้นเป็นคนๆเดียวกับฐานข้อมูลที่เก็บเอาไว้หรือไม่ โดยที่มีบล็อกไดอะแกรมของการตรวจสอบลายนิ้วมือดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของการตรวจสอบลายนิ้วมือ

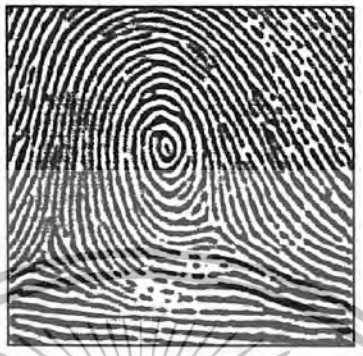
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองโดยโปรแกรมเดลไฟล์

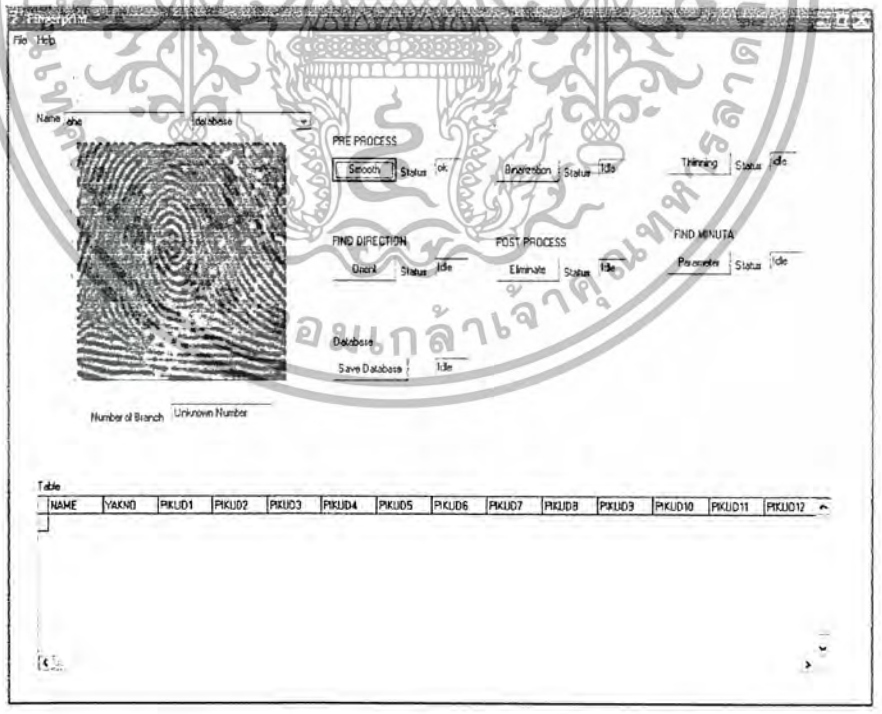
4.1.1 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นข้อมูลอินพุท



รูปที่ 4.1 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทในการวิเคราะห์โปรแกรมเดลไฟล์

4.1.2 การเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน

ภาพที่สแกนเข้ามานั้น ในบางครั้งความเข้มที่มากเกินไปในการพิมพ์ลาย หรือ การจางเกินไปของลาย จะทำให้ภาพมีระดับความสว่างที่ไม่เท่ากันจึงต้องมีการเกลี่ยภาพก่อน เพื่อให้ระดับความสว่างของภาพลายนิ้วมือ มีค่าเฉลี่ยของระดับความสว่างที่เท่ากันทั้งภาพ

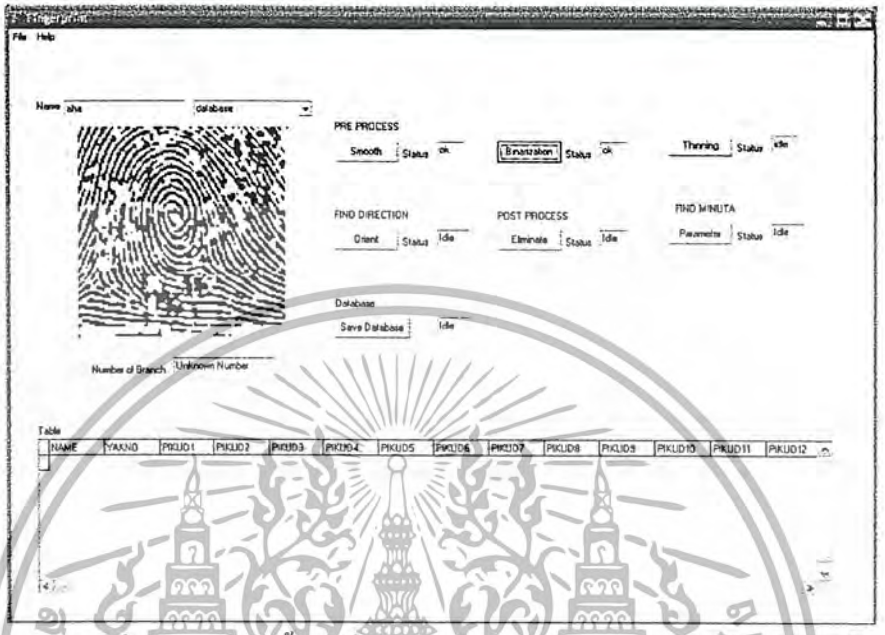


รูปที่ 4.2 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการเกลี่ยภาพและกำจัดสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ

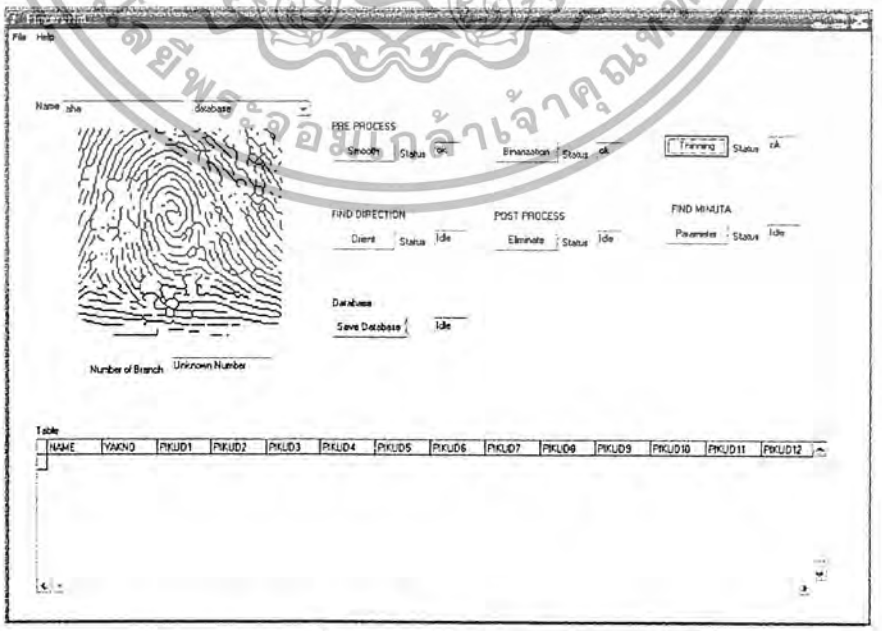
ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ได้มาจากการสแกนนั้น จะมีระดับความสว่างของภาพตั้งแต่ 0 - 255 ระดับ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการกับภาพในขั้นตอนต่อไป จึงต้องมีการปรับระดับความสว่างของภาพให้เหลือแค่ 2 ระดับ คือ '0' กับ '1' โดยทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.3 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์เป็นภาพไบนารี่

4.1.4 การหาโครงร่างของภาพ

ภาพที่มีผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์มานั้น ยังมีความหนาของลายเส้นอยู่ เพื่อที่จะทำการหาลักษณะเด่นของภาพต่อไป ต้องมีการจัดลักษณะลายเส้นให้มีความหนาแค่ 1 พิกเซลก่อน เพื่อให้ภาพนั้นบางลงเป็นรูปเส้นโครงร่าง ซึ่งก็คือการทำทินนิ่ง โดยใช้อัลกอลิธึมที่ได้กล่าวไปแล้ว

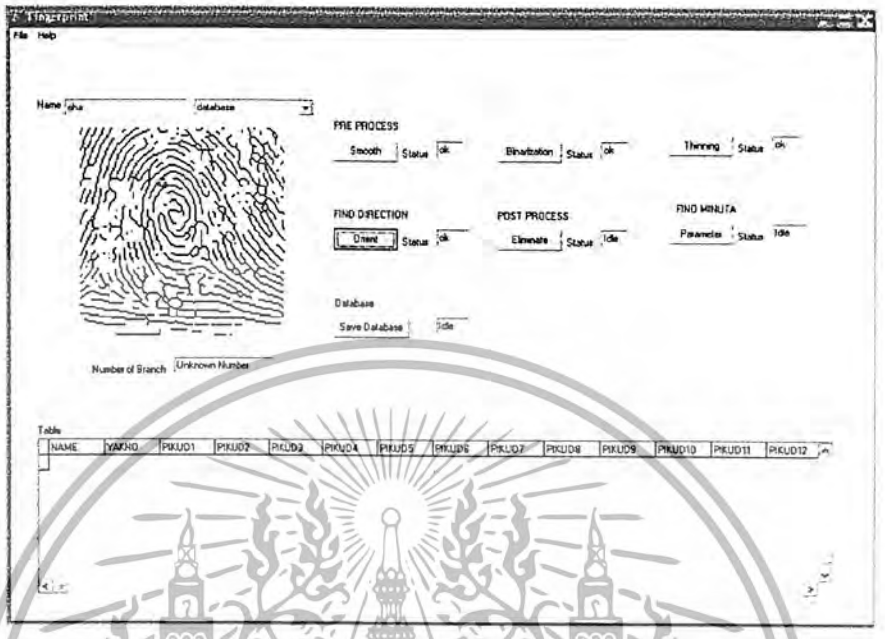


รูปที่ 4.4 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาโครงร่างของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

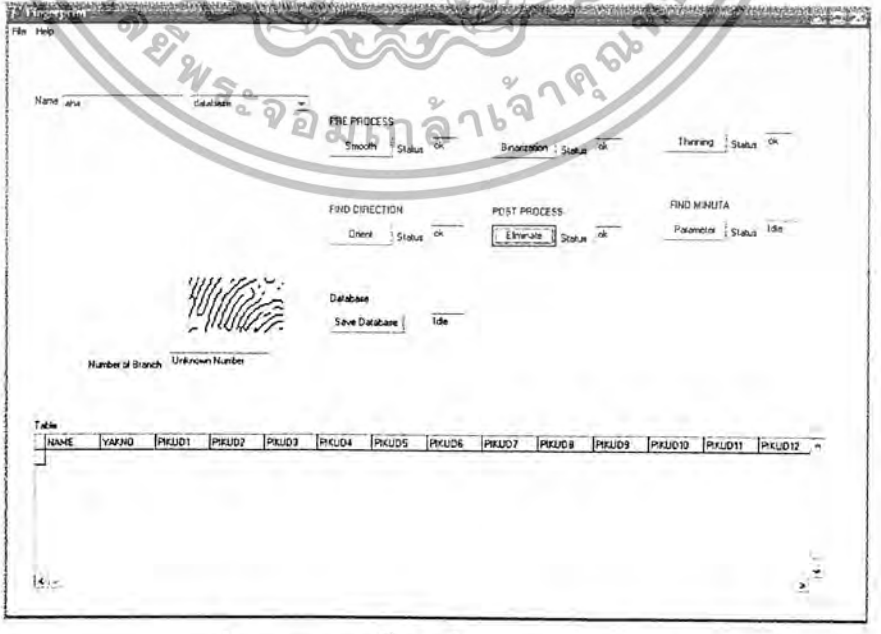
ทำการแบ่งภาพให้มีขนาดเป็นบล็อก ๆละ 8 x 8 พิกเซล แล้วทำการคำนวณหาค่าของมุมในแต่ละบล็อก ดังในขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.5 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาทิศทางของภาพ

4.1.6 การปรับปรุงลายเส้น

ภาพลายนิ้วมือที่ได้ผ่านการหาโครงร่างของภาพมาแล้วนั้น จะมีลักษณะลายเส้นที่ไม่สมบูรณ์ นั่นคือ บางเส้นเกิดขาดหาย เนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ หรือบางภาพอาจเกิดมีลายเส้นที่ไม่ต้องการเพิ่มขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านโปรแกรมการปรับปรุงลายเส้น โดยมีการทำงานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

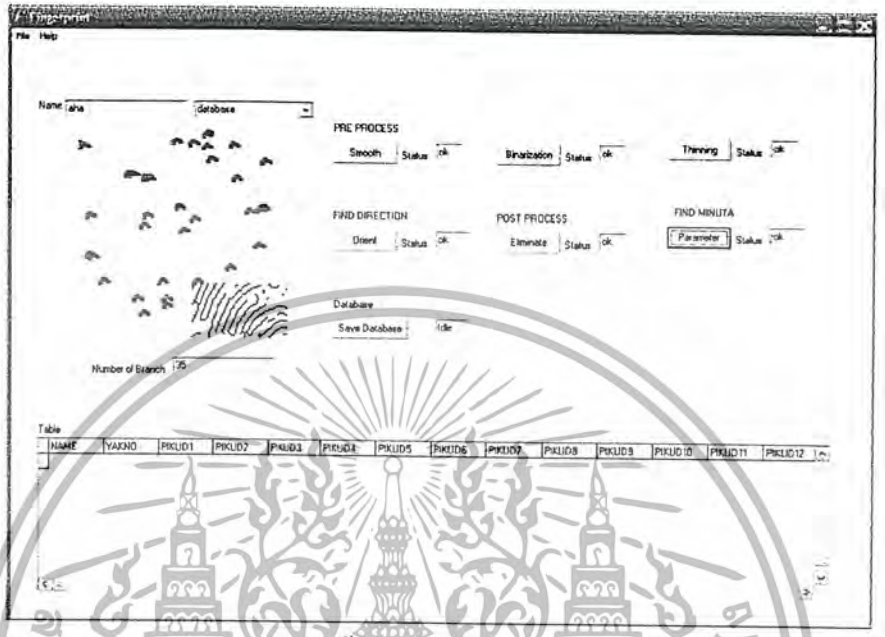


รูปที่ 4.6 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุงลายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 การหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือและลักษณะเด่น

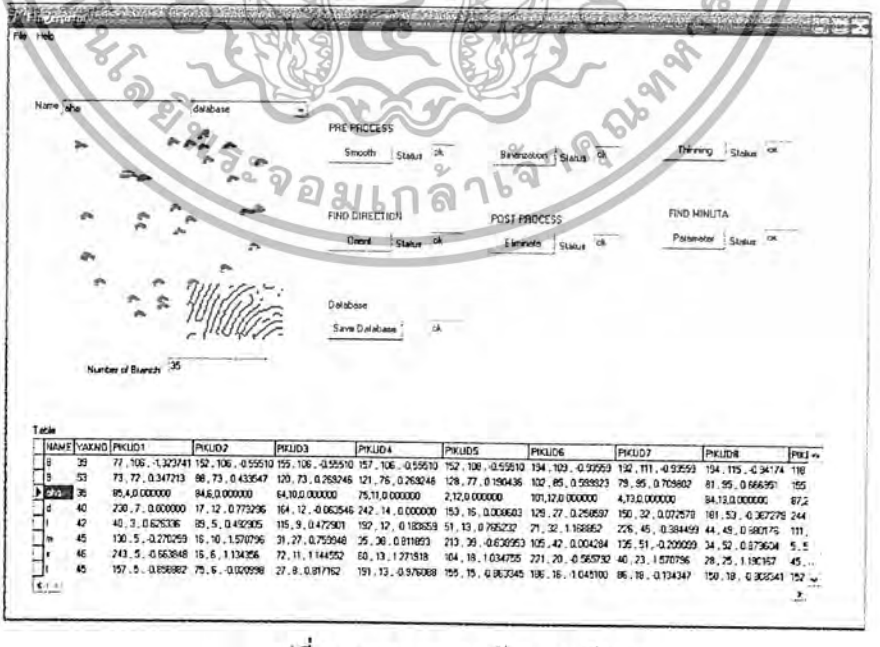
ทำการหาตำแหน่งระหว่างบล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุด แล้วกำหนดตำแหน่งนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ โดยจะทำการตรวจสอบหาตำแหน่ง จุดแยก และทำสัญลักษณ์เพื่อแสดงผลทางจอภาพ



รูปที่ 4.7 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ

4.2 ขั้นตอนการตรวจสอบเปรียบเทียบลายนิ้วมือโดยโปรแกรมเดลไฟล์

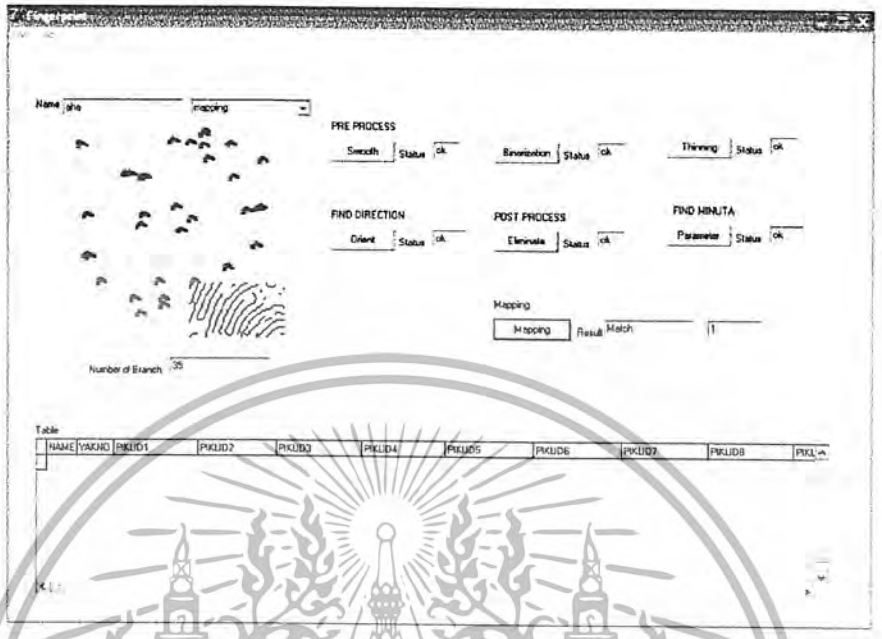
เมื่อผ่านกระบวนการข้างต้นมาแล้วนั้น จะได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ เพื่อใช้ในการตรวจสอบ โดยจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลแบบพาราด็อก



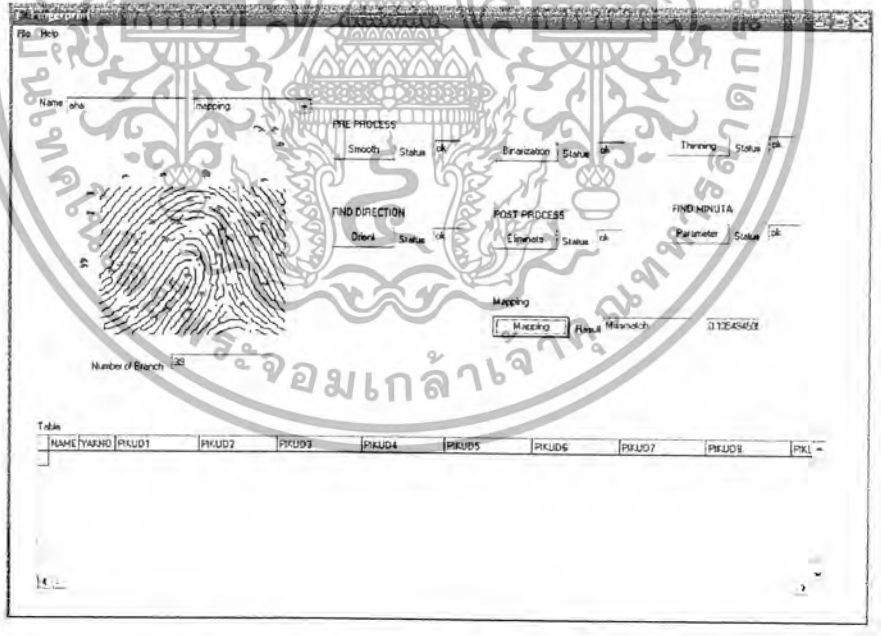
รูปที่ 4.8 แสดงการสร้างฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการเก็บลายนิ้วมือไว้เป็นฐานข้อมูลแล้วนั้น จะสามารถทำการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ โดยการป้อนลายนิ้วมืออินพุทที่ต้องการตรวจสอบ แล้วทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้สร้างไว้



รูปที่ 4.9 แสดงผลการตรวจสอบลายนิ้วมือที่ถูกต้อง



รูปที่ 4.10 แสดงผลการตรวจสอบลายนิ้วมือที่ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการตรวจสอบเปรียบเทียบลายนิ้วมือ

การทดลองโดยการป้อนภาพลายนิ้วมืออินพุทที่ต้องการตรวจสอบ แล้วทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ โดยพิจารณาถึงตัวแปรที่สำคัญซึ่งได้แก่ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางและตำแหน่งของลักษณะโดดเด่นที่หาได้จากการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งใช้ภาพลายนิ้วมืออินพุทที่ต้องการตรวจสอบ 50 ภาพ โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 4.1และตารางที่ 4.2

ระดับคะแนนที่ยอมให้ผ่านได้	จำนวนภาพที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ		เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
>=0.5	50	41	9	82 %
>=0.6	50	29	21	58 %
>=0.7	50	15	35	30 %
>=0.8	50	3	47	6 %
>=0.9	50	2	48	4 %
=1	50	1	49	2 %

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือบุคคลที่1

ระดับคะแนนที่ยอมให้ผ่านได้	จำนวนภาพที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ		เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
>=0.5	50	49	1	98 %
>=0.6	50	48	2	96 %
>=0.7	50	33	17	66 %
>=0.8	50	20	30	40%
>=0.9	50	6	44	12%
=1	50	1	49	2%

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือบุคคลที่2

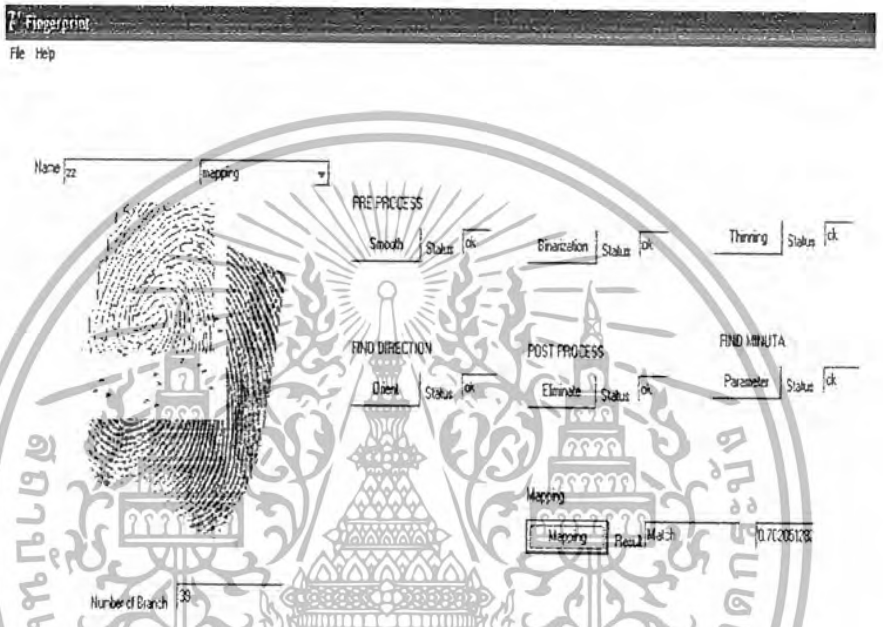
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งคะแนนไว้เป็นระดับของการยอมรับความถูกต้อง โดยที่ค่าสูง เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจะมีค่าน้อย ดังนั้นการเลือกค่าระดับคะแนนควรอยู่ในช่วงที่ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปไม่เช่นนั้นจะทำให้การเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือของผู้อื่นอาจเหมือนกับลายนิ้วมือของเราก็ได้ โดยตามการทดลองนี้ ได้ตั้งระดับค่าคะแนนไว้ที่ > = 0.7 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใช้ได้ดีในระดับหนึ่ง

4.2.2 การเปรียบเทียบจากการหมุนภาพในมุมต่างๆ

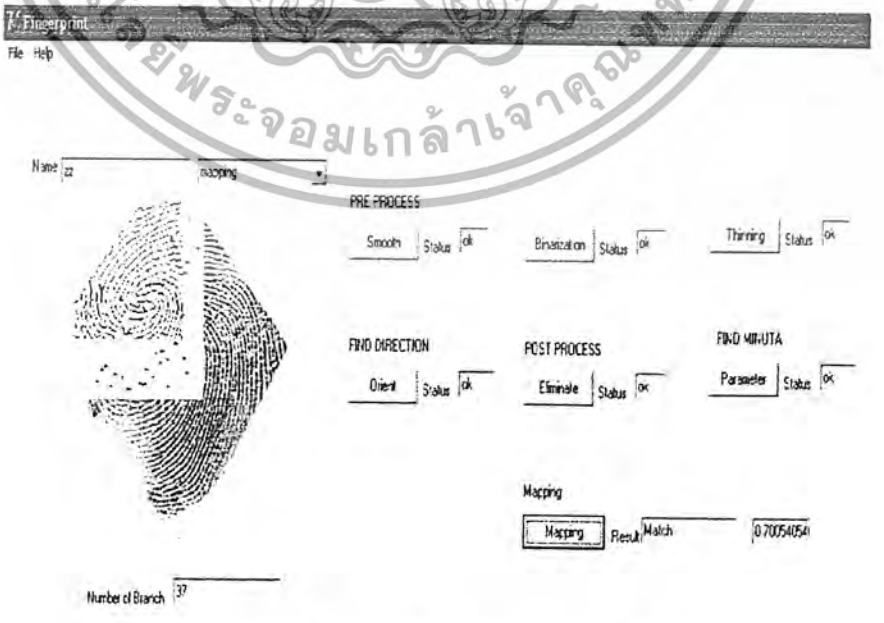
เมื่อทำการหมุนภาพ ในองศาต่างๆจะปรากฏค่าคะแนนต่างกันไปดังนี้คือ

4.2.2.1 เมื่อทำการหมุนไปที่ 30 องศา



รูปที่ 4.11 แสดงการหมุน 30 องศา

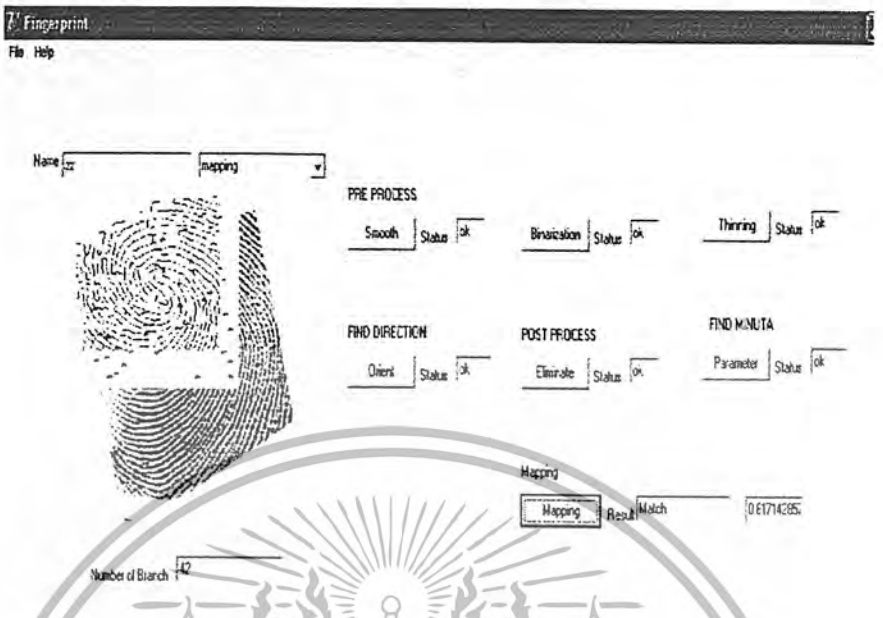
4.2.2.2 เมื่อทำการหมุนไปที่ 45 องศา



รูปที่ 4.12 แสดงการหมุน 45 องศา

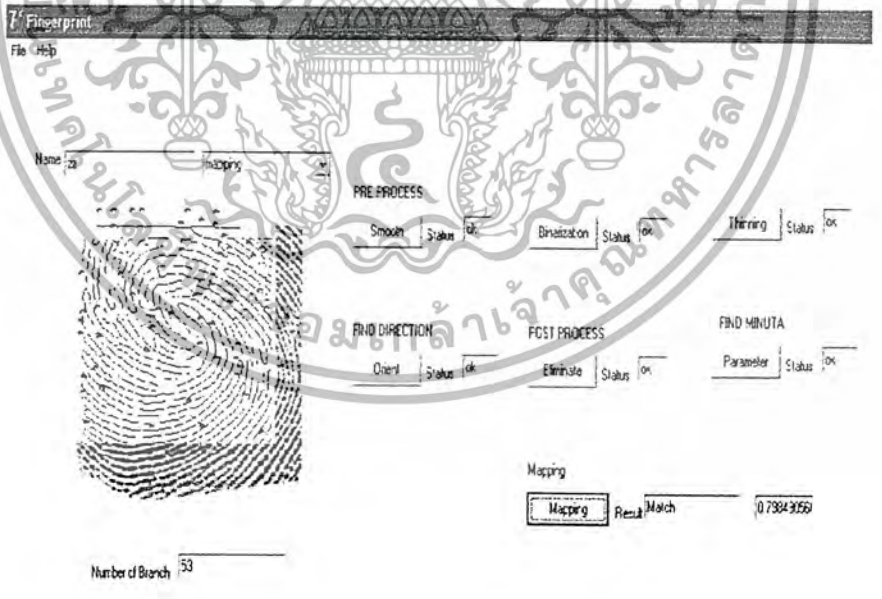
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 เมื่อทำการหมุนไปที่ 60 องศา



รูปที่ 4.13 แสดงการหมุน 60 องศา

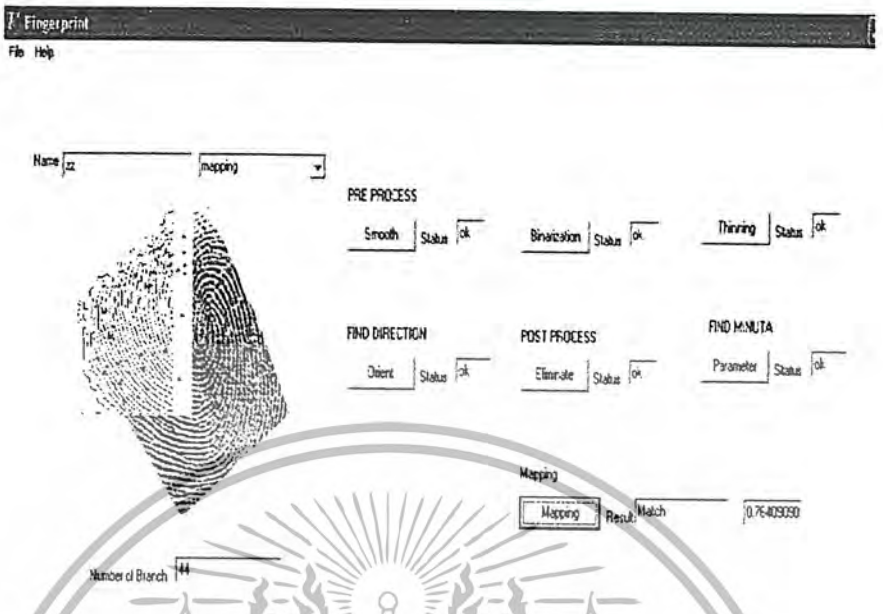
4.2.2.4 เมื่อทำการหมุนไปที่ 90 องศา



รูปที่ 4.14 แสดงการหมุน 90 องศา

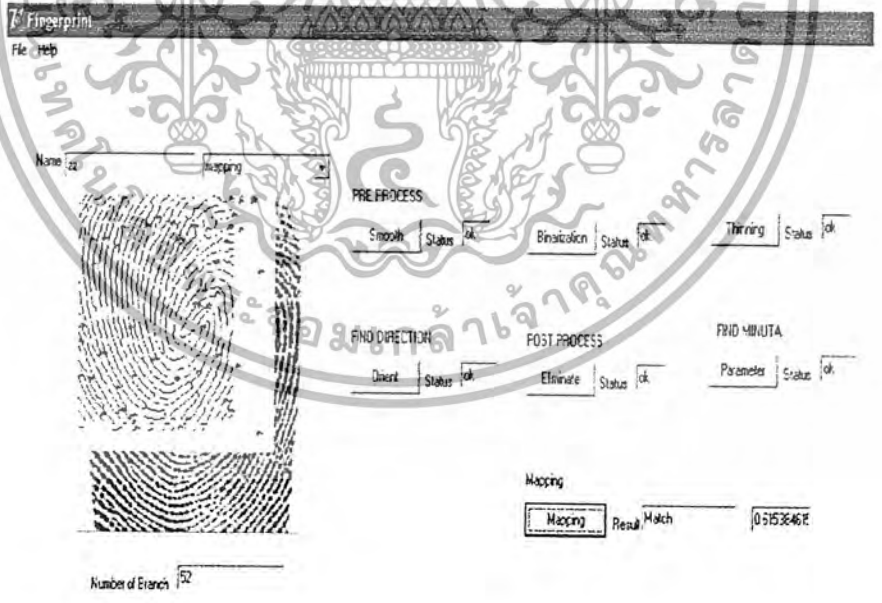
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.5 เมื่อทำการหมุนไปที่ 150 องศา



รูปที่ 4.15 แสดงการหมุน 150 องศา

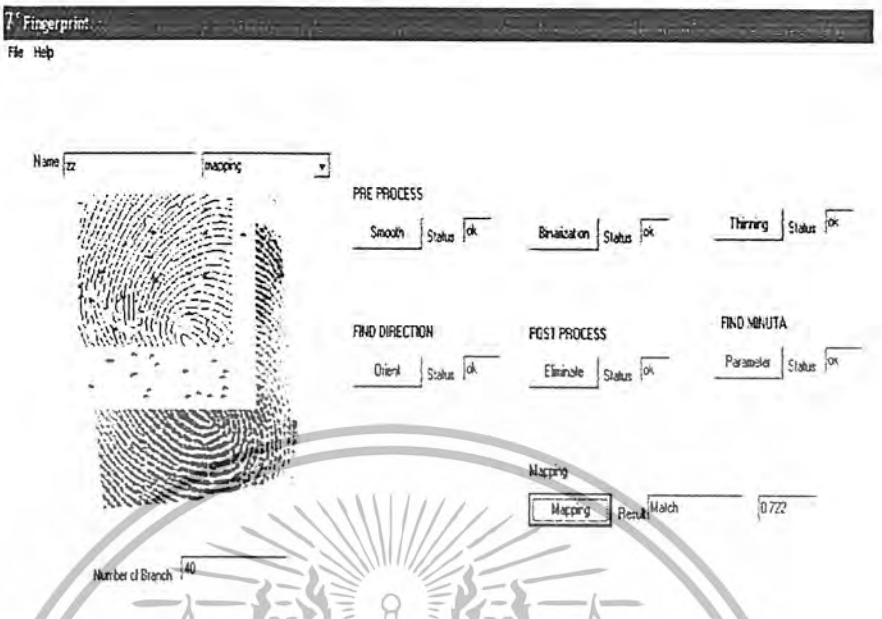
4.2.2.6 เมื่อทำการหมุนไปที่ 180 องศา



รูปที่ 4.16 แสดงการหมุน 180 องศา

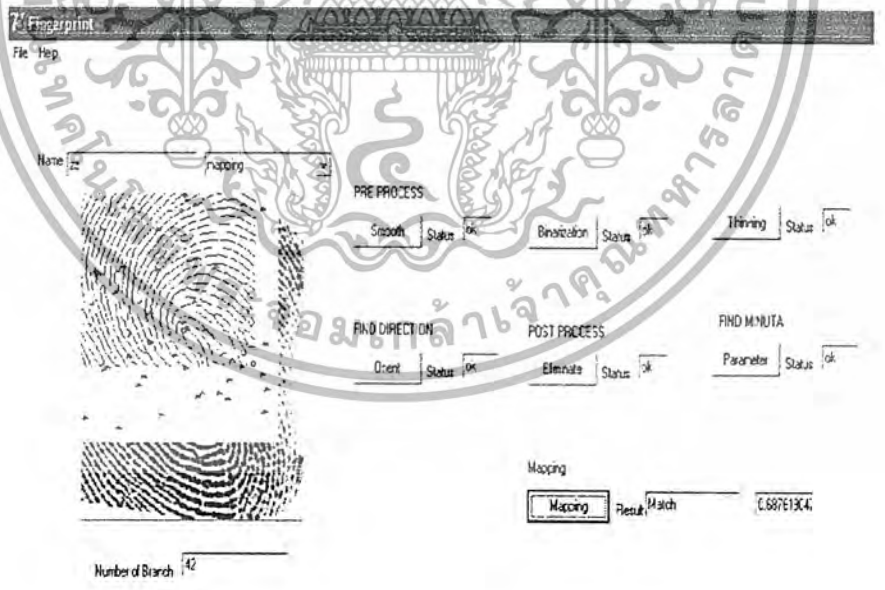
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.7 เมื่อทำการหมุนไปที่ 240 องศา



รูปที่ 4.17 แสดงการหมุน 240 องศา

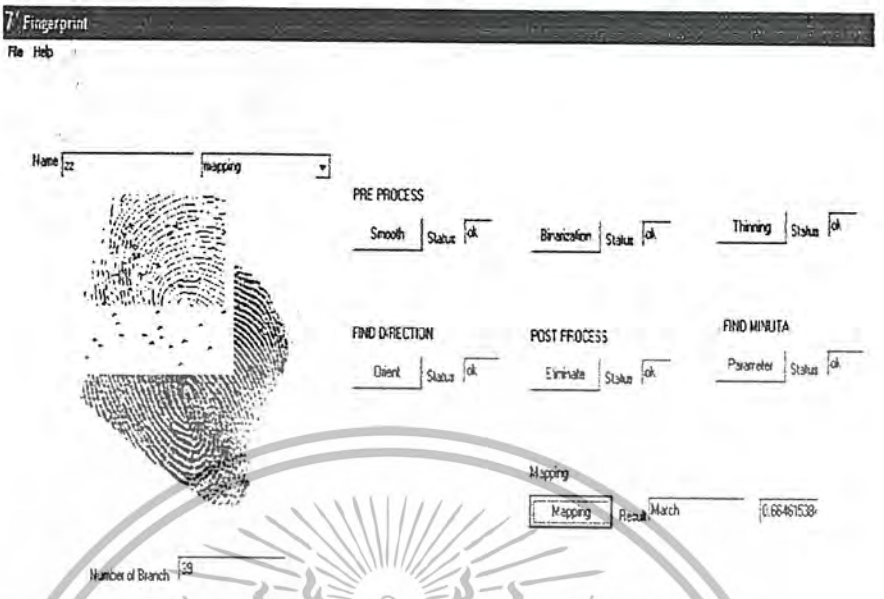
4.2.2.8 เมื่อทำการหมุนไปที่ 270 องศา



รูปที่ 4.18 แสดงการหมุน 270 องศา

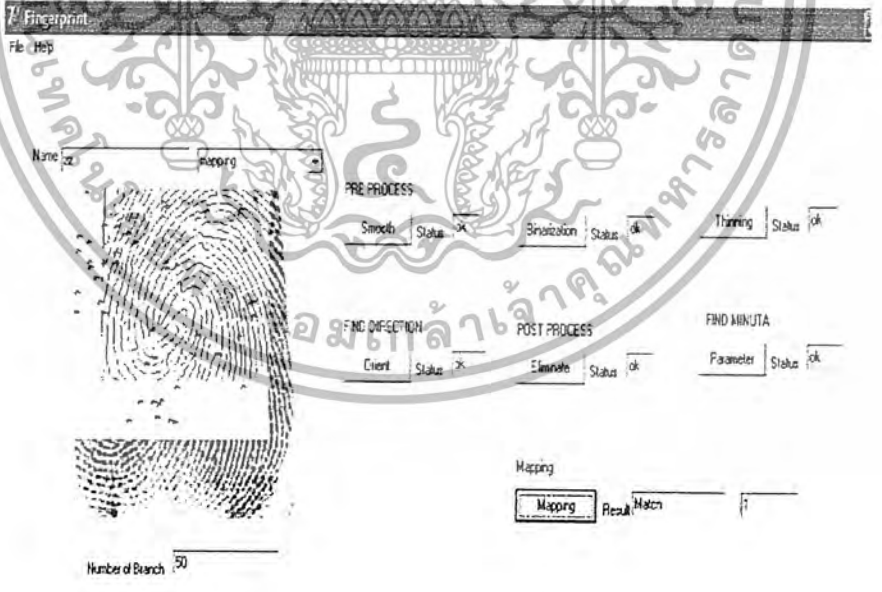
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.9 เมื่อทำการหมุนไปที่ 310 องศา



รูปที่ 4.19 แสดงการหมุน 310 องศา

4.2.2.10 เมื่อทำการหมุนไปที่ 360 องศา



รูปที่ 4.20 แสดงการหมุน 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

การตรวจสอบลายนิ้วมือ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ

นำภาพลายนิ้วมือที่เป็นไฟล์นามสกุล .bmp ที่เก็บเป็นฐานข้อมูล โดยภาพจะมีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ หรือเรียกว่า ระดับสีเทา (gray level) มาเริ่มผ่านขั้นตอนการเกลี่ยภาพ การเกลี่ยภาพ และการกำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้อาจเกิดจาก ความบกพร่องของภาพเอง หรือเกิดจาก สัญญาณรบกวนในขั้นตอนที่สแกนภาพเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้ว จะได้ภาพที่มีระดับความสว่างของภาพลายนิ้วมือ มีค่าเฉลี่ยของระดับความสว่างที่เท่ากันทั้งภาพ เพื่อง่ายต่อการทำขั้นตอนต่อไป

เมื่อได้ภาพที่ผ่านการเกลี่ยภาพ และการกำจัดสัญญาณรบกวนขั้นต้นเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการตัดระดับเทรสโฮล์ดของภาพ ซึ่งเป็นการจัดระดับความสว่างของภาพ จากเดิมที่มีระดับความสว่าง 0 – 255 ระดับ ให้เหลือแค่ 2 ระดับ คือ "0" และ "1" หรือที่เรียกว่าภาพไบนารี่ เพื่อง่ายต่อการจัดการกับลายนิ้วมือในขั้นตอนต่อไป

เมื่อได้ภาพไบนารี่แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาโครงร่างของภาพ โดยการทำทินนิ่ง ซึ่งจะได้ภาพที่มีความหนาของลายเส้นแค่ 1 พิกเซล ทำให้ง่ายต่อการจัดการในขั้นตอนต่อไป

จากนั้น ก็ทำการต่อลายนิ้วมือ ขั้นตอนนี้ เป็นการต่อลายนิ้วมือในส่วนที่ขาดหายไปอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของภาพ ที่ใช้เป็นอินพุท และทำการเอาส่วนที่ไม่ต้องการของภาพลายนิ้วมือออกไป ซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวนในขั้นตอนต่างๆที่เกิดขึ้น ผลที่ได้ก็คือจะได้ภาพที่มีความสมบูรณ์ และ ถูกต้องมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงๆของภาพ

เมื่อได้ภาพลายนิ้วมือที่มีความสมบูรณ์มากพอแล้ว ก็ทำการกำหนดทิศทางของภาพ โดยแบ่งพิจารณาภาพเป็นบล็อก เล็กๆ ขนาด 8x8 พิกเซล แล้วหาขนาดของมุมในแต่ละบล็อกนั้นๆ เพื่อแทน 1 บล็อกด้วยเส้นตรงเส้นเดียว ที่ทำมุมกับแนวนอน ตามค่ามุมที่หาได้ในแต่ละบล็อก เพื่อเป็นประโยชน์ในขั้นต่อไป

การหาจุดศูนย์กลางของภาพ ในขั้นตอนนี้ได้พิจารณาตรงรอยต่อของบล็อก 2 บล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุด โดยให้ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ ผลที่ได้ก็คือ สามารถระบุตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของภาพได้ และสามารถนำตำแหน่งที่ได้นั้นมาใช้เป็นจุดอ้างอิง ในการที่จะตรวจสอบลายนิ้วมือต่อไป

หลังจากนั้นทำการหาลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือแต่ละลาย ซึ่งแต่ละลายมีโอกาสน้อยมาก ในการที่จะมีลักษณะโดดเด่นของลาย และตำแหน่งของลายดังกล่าวตรงกัน เมื่อได้ข้อมูลของภาพลายนิ้วมือแต่ละภาพครบถ้วนแล้ว ก็ทำการจำแนกภาพลายนิ้วมือว่าเป็นของบุคลใด โดยทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นขั้นตอนการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยนำตัวแปรต่างๆที่ได้คำนวณไว้มาใช้ประโยชน์ นั่นก็คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพ ตำแหน่งต่างๆที่พบลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ มาทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ โดยทำการกำหนดให้ความถูกต้องในการเปรียบเทียบข้อมูล ซึ่งพิจารณาจากค่าคะแนนรวมที่โปรแกรมได้คำนวณไว้ในขั้นตอนของการตรวจสอบลายนิ้วมือ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการสแกนนั้นมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งส่งผลให้ยากต่อการหาข้อมูลสำคัญๆต่างๆของลายต่อไปเช่น อาจทำให้เกิดส่วนของลายที่เพิ่มเข้ามาโดยความจริงนั้นไม่มีลายดังกล่าวปรากฏอยู่ หรือเกิดการขาดหายของลายทำให้การหาจุดศูนย์กลางและลักษณะเด่นของลายเกิดผิดพลาด ซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกลายนิ้วมือได้ ฉะนั้นถ้าต้องการให้ข้อมูลภาพลายนิ้วมือมีความถูกต้องชัดเจนมากที่สุด จึงควรใช้อุปกรณ์ที่ใช้สแกนลายนิ้วมือโดยเฉพาะจะทำให้ผลการตรวจสอบลายนิ้วมือมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ปัญหาในการเปรียบเทียบลายนิ้วมือ จากการหาจุดกึ่งกลางของลายนิ้วมือ ถ้าเป็นภาพลายนิ้วมือเดียวกันแต่ลักษณะมุมต่างกัน จะทำให้การหาจุดกึ่งกลางของลายนิ้วมือได้ผลออกมาต่างกัน ทำให้การหากรอบที่สนใจผิดพลาดไปจึงให้ผลการเปรียบเทียบที่ไม่ดีนัก อาจแก้ไขโดยการใช้การวิเคราะห์ที่ดีกว่านี้เพื่อที่จะหาจุดกึ่งกลางของลายนิ้วมือได้ถูกต้องแม่นยำทุกครั้งไปหรือใช้วิธีการเก็บข้อมูลลายนิ้วมือที่มากกว่าหนึ่งครั้งขึ้นไปเพื่อใช้เปรียบเทียบกับลายนิ้วมือที่เข้ามา ซึ่งจะทำให้ช่วงคะแนนของลายนิ้วมือมีมากขึ้น ส่วนแนวทางในการพัฒนาต่อ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่อรูปภาพเข้าโปรแกรมโดยอัตโนมัติ โดยใช้การส่งข้อมูลผ่านทางยูเอสบีพอร์ต(USB PORT) หรือ ซีเรียลพอร์ต (SERIAL PORT) จะทำให้ง่ายต่อการใช้โปรแกรมมากขึ้น และควรเก็บข้อมูลโดยไม่ขึ้นอยู่กับชื่อที่ใช้เป็นอินเด็ก ในการค้นหาข้อมูลควรใช้ลักษณะสำคัญของลายนิ้วมือเป็นตัวค้นหาข้อมูลจะดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] A. K. Jain., D. Maltoni., D. Maio. and S. Prabhakar. "Handbook of Fingerprint Recognition." Springer, New York, 2003.

[2] A. K. Jain., Lin Hong., Salil Prabhakar. and Sharath Pankanti. "Filterbank - Based Fingerprint Matching." IEEE Transactions on Image Processing., vol. 9, No. 5, May 2000.

[3] Alfredo C. Lopez., Ricardo R. Lopez. and Reinaldo Cruz Queeman. "Fingerprint Recognition." Electrical Engineering Department - Polytechnic University.

[4] Alfredo Giani., Lindsay MacDonald., Caroline Machy. and Shanmugalingam Suganthan. "Image segmentation" Presented at the Electronic Imaging Conference., January 2003.

[5] Jim Z. C. Lai., Shih – Chia Kuo. "Fingerprint Recognition System Based on Partial Thinning." IPPR Conference on Computer Vision., Graphics and Image Processing (CVGIP 2003)

[6] Johan Blomme. "Evaluation of Biometric Security Systems." Against Artificial fingers., 2003.

[7] Mounina G. Bocoum. "Acceptance Thresholds Adaptability in Fingerprint - Based Authentication Methods." School of Computer Science McGill University., July 1999.

[8] Sen Wang., Yangsheng Wang. "Fingerprint Enhancement in the Singular Point Area." IEEE Signal Processing Latters., vol. 11, No. 1, Jan 2004.

[9] Sen Wang., Wei Wei Zhang. and Yangsheng Wang. "Fingerprint Classification by Directional Fields." National Laboratory of Pattern Recognition, Chinese Academy of Sciences, Sep 2002.

[10] Venu Govindaraju., Zhixin Shi. and John Schneider. "Feature Extraction Using a Chaincoded Contour Representation of Fingerprint Images." CEDAR. Department of Computer Science and Engineering., March 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้