สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION

โดย

นายพฤฒิพงษ์ เลิศชัยมงคล

นางสาวหัทยา โอฬาริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 37110
วัน, เดือน, ปี..... - 4 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION

โดย

นายพฤฒิพงษ์ เลิศชัยมงคล 39014358

นางสาวหัทยา โอพารี 39014635

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.กฤษณ์ วงรุริระ

ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **การตรวจสอบลายนิ้วมือ**

FINGERPRINT RECOGNITION

ผู้จัดทำ

1. นายพฤฒิพงษ์ เลิศชัยมงคล 39014358

2. นางสาวหัทยา โอพารี 39014635

..... **อาจารย์ที่ปรึกษา**

(อ. กฤษณ์ วงรุจิระ)

..... **อาจารย์ที่ปรึกษา**

(ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบลายนิ้วมือ

FINGERPRINT RECOGNITION

โดย นายพฤฒิพงษ์ เลิศชัยมงคล 39014358
นางสาวหัทยา โอพารี 39014635

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.กฤษณ์ วงรุจิระ
ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การตรวจสอบลายนิ้วมือมีบทบาทมากขึ้น ในการแยกแยะลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานต่างๆได้มีประสิทธิภาพ เช่น การเก็บลายนิ้วมือก่อนการทำบัตรประชาชน เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล เพราะเมื่อเวลาผ่านไป หน้าตาอาจเปลี่ยนไป อายุมากขึ้น แต่ลายนิ้วมือจะคงทนไม่เปลี่ยนแปลง ขณะเดียวกัน เทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาขึ้น การใช้คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลและแยกแยะข้อมูลลายนิ้วมือ สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วโดยเฉพาะกับข้อมูลจำนวนมากๆ การใช้คอมพิวเตอร์ทำให้เหมาะสมกว่า ดังนั้นการตรวจสอบลายนิ้วมือโดยคอมพิวเตอร์จะต้องมีความรวดเร็วและแม่นยำถูกต้อง

ABSTRACE

Now,Fingerprint Analysis has a important role in classifying each person features.That makes process operates efficiently,for example: collect fingerprint before making ID card,because when the person in older,so will the face,but fingerprint is more durable.While the technology of computer is advancely developed,process fingerprint analysis by computer is easier and faster especially for and large amount of data,the computer is more suitable.So fingerprint analysis by computer is designed to run accurately and quickly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีหรือหลักการ	
2.1 การแทนภาพในระบบดิจิตอลและลักษณะต่างๆของลายนิ้วมือ	2
2.2 ขั้นตอนการจดจำลายนิ้วมือ	3
2.2.1 ขั้นตอนการสแกนภาพลายนิ้วมือ	6
2.2.3 ขั้นตอนการนอร์มัลไลเซชั่น	6
2.2.2.1 หลักการโดยทั่วไปของนอร์มัลไลเซชั่น	6
2.2.3 การกรองความถี่ของภาพโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์	7
2.2.4 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ	14
2.2.4.1 ความถี่ของสันภาพ	14
2.2.4.2 พื้นที่ที่ใช้เป็นแมสก์	16
2.2.5 ขั้นตอนการทำทินนิ่ง	16
2.2.5.1 อัลกอลิธึมของการทำสเคลิทอน	17
2.2.6 ขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ	19
2.2.6.1 อัลกอลิธึมในการเดินตามลายเส้น	24
2.2.7 ขั้นตอนการกำหนดทิศทางของภาพ	27
2.2.8 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ	29
2.2.8.1 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ	29
2.2.9 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ	30
2.2.10 ขั้นตอนการตรวจสอบลายนิ้วมือ	31
2.2.10.1 การตรวจสอบแบบยืดหยุ่น	31
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	37
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม	37
3.2 กระบวนการจัดการขั้นต้นโดยการทำนอร์มัลไลเซชั่น	39
3.3 การกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์	40
3.4 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็น 2 ระดับโดยการตัดเทรสโฮลด์	41
3.5 การหาโครงร่างของภาพโดยการทำทินนิ่ง	42
3.6 การปรับปรุงลายเส้นโดยการต่อลายนิ้วมือ	43
3.7 การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ	44
3.8 การหาจุดศูนย์กลางของภาพ	45
3.9 การหาลักษณะเด่นของภาพลายนิ้วมือ	46
3.10 การตรวจสอบลายนิ้วมือ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพลายนิ้วมือลักษณะต่างๆ	4
รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนต่างๆในการจดจำลายนิ้วมือ	5
รูปที่ 2.3 แสดงการทำนอร์มัลไลเซชั่นภาพลายนิ้วมือ	7
รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแบบความถี่ต่ำ	7
รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแบบความถี่สูง	8
รูปที่ 2.6 ข้อมูลภาพแบบความถี่ต่ำก่อนและหลังการคอนโวลูชั่น	9
รูปที่ 2.7 ข้อมูลภาพแบบความถี่สูงก่อนและหลังการคอนโวลูชั่น	10
รูปที่ 2.8 แสดงแกเบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter)	11
รูปที่ 2.9 แสดงภาพลายนิ้วมือที่มีการกำหนดความถี่และทิศทางได้อย่างเหมาะสม	12
รูปที่ 2.10 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำนอร์มัลไลเซชั่นแล้วเปรียบเทียบกับภาพลายนิ้วมือที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ในแต่ละมุม	13
รูปที่ 2.11 การกำหนดทิศทางของภาพแบบคลื่นไซน์	14
รูปที่ 2.12 แสดงการทำทินนิ่ง	18
รูปที่ 2.13 ลักษณะการกำจัดในขั้นตอนที่ 3	18
รูปที่ 2.14 เปรียบเทียบลายนิ้วมือก่อนและหลังการทำทินนิ่งแล้วมีเส้นสะพานปรากฏขึ้น	19
รูปที่ 2.15 ลักษณะเส้นสะพาน	20
รูปที่ 2.16 แสดงวินโดว์และทิศทางในการสแกนภาพ	20
รูปที่ 2.17 แสดงการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวนอน	21
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้โดยค่า Nc^4 และ Nc^8	22
รูปที่ 2.19 เทมเพลท 3*3 ที่แสดงถึงจุดเชื่อมต่อรวมทั้งสิ้น 12 กรณี	23
รูปที่ 2.20 แสดงถึงเทมเพลท 3*3 ที่แสดงถึงจุดเส้นกึ่งในแต่ละกรณีเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มอย่างละ 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 16 กรณี	23
รูปที่ 2.21 ค่าดัชนีของจุดภาพและผลรวมของค่าน้ำหนัก	24
รูปที่ 2.22 ลักษณะเส้นสะพาน	24
รูปที่ 2.23 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้น	25
รูปที่ 2.24 เทมเพลทจุดแยกที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้น	26
รูปที่ 2.25 แสดงภาพของลายนิ้วมือที่ผ่านการหาทิศทางของภาพ	28
รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะเด่นที่สำคัญของลายนิ้วมือ	30
รูปที่ 2.27 ภาพสองภาพที่มาจากลายนิ้วมือเดียวกันและมีการวางทับกันของกลุ่มจุดที่เป็นลักษณะเด่น	33
รูปที่ 2.28 การใช้งานของการเปลี่ยนรูปที่เหมือนกันไปยังจุดที่เป็นลักษณะเด่น	33
รูปที่ 2.29 อัลกอลิธึมของการลงทะเบียน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 48

4.1 ผลการทดลองโดยใช้ภาพสแกนลายนิ้วมืออินพุทโดยใช้หมึก 48

4.1.1 ภาพลายนิ้วมือที่ได้จากสแกนเนอร์ 48

4.1.2 การนอร์มัลไลเซชั่น 48

4.1.3 การกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ 49

4.1.4 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ 52

4.1.5 การหาโครงร่างของภาพ 52

4.1.6 การทำจัดลายนิ้วมือ 52

4.1.7 การกำหนดทิศทางของภาพลายนิ้วมือ 53

4.1.8 การหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ 53

4.1.9 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ 54

4.1.10 การจำแนกลายนิ้วมือ 54

4.2 ผลการทดลองโดยใช้ภาพลายนิ้วมือที่เป็นอินพุทโดยผ่านการสแกนด้วย
สแกนเนอร์โดยตรงและใช้โปรแกรมแมทแลปในการตรวจสอบ 54

4.2.1 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุท 55

4.2.2 ขั้นตอนการนอร์มัลไลเซชั่น 55

4.2.3 ขั้นตอนการกำหนดทิศทางของภาพลายนิ้วมือ 55

4.2.4 ขั้นตอนการตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ 56

4.2.5 ขั้นตอนการหาโครงร่างของภาพลายนิ้วมือ 56

4.2.6 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ 56

4.2.7 ขั้นตอนการปรับปรุงลายเส้น 57

4.3 ผลการทดลองโดยปรับปรุงโปรแกรมเป็นเคลไฟ 57

4.3.1 ภาพข้อมูลลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุท 57

4.3.2 ขั้นตอนการนอร์มัลไลเซชั่นและฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน 58

4.3.3 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของภาพ 58

4.3.4 ขั้นตอนการจัดระดับภาพลายนิ้วมือเป็นภาพไบนารี่ 59

4.2.5 ขั้นตอนการหาโครงร่างของภาพลายนิ้วมือ 59

4.2.6 ขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ 60

4.3.7 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือ 60

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุปผล 61

5.1 สรุปผลการทดลอง 61

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 62

ภาคผนวก

หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 2.30 ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในการตรวจสอบลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ 35
รูปที่ 2.31 อัลกอริธึมของการจับคู่ลายนิ้วมือแบบเป็นลำดับ 35
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายนิ้วมือ 38
รูปที่ 3.2 รูปแบบพิเซล 3*3 สำหรับการกรองความถี่ต่ำ 39
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำนอมัลไลเซชั่น 40
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ 41
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการตัดระดับเทรสโฮลด์ 42
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการหาโครงร่างของภาพ 43
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการปรับปรุงลายเส้น 44
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ 45
รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมการหาจุดศูนย์กลางของภาพ 46
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของการตรวจสอบลายนิ้วมือ 47
รูปที่ 4.1 แสดงภาพลายนิ้วมือในลักษณะต่างๆ 48
รูปที่ 4.2 แสดงฮิสโทรแกรมของภาพลายนิ้วมือการนอร์มัลไลเซชั่น 48
รูปที่ 4.3 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ในทิศทางต่างๆและภาพที่เกิดจากการรวมกันของทุกๆภาพ 51
รูปที่ 4.4 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ 52
รูปที่ 4.5 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำทินนิ่ง 52
รูปที่ 4.6 แสดงภาพลายนิ้วมือเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการต่อลาย 53
รูปที่ 4.7 แสดงภาพการกำหนดทิศทางของภาพลายนิ้วมือ 53
รูปที่ 4.8 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ 54
รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือที่หาได้ 54
รูปที่ 4.10 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทโดยการสแกนผ่านสแกนเนอร์โดยตรง 55
รูปที่ 4.11 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำนอร์มัลไลเซชั่น 55
รูปที่ 4.12 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการกำหนดทิศทางของภาพ 55
รูปที่ 4.13 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์เป็นภาพไบนารี่ 56
รูปที่ 4.14 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาโครงร่างของภาพ 56
รูปที่ 4.15 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ 56
รูปที่ 4.16 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุงลายเส้น 57
รูปที่ 4.17 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทในการวิเคราะห์โปรแกรมโดยใช้เดลไฟ 57
รูปที่ 4.18 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการนอร์มัลไลเซชั่นและฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน 58
รูปที่ 4.19 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ 58
รูปที่ 4.20 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการจัดระดับเป็นภาพไบนารี่ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 4.21 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาโครงร่างของภาพ 59
รูปที่ 4.22 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการต่อลาย 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงตารางทินนิ่งอัลกอลิธึมที่ใช้ 8 จุดข้างเคียง	17
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าโทโปโลยีของจุดภาพ	21
ตารางที่4.1 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันจำนวนประชากรของประเทศ มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศชาติ ปัญหาอย่างหนึ่ง คือ ปัญหาทางด้านอาชญากรรม ปัญหาดังกล่าวจะเกิดขึ้นตามจำนวนของประชากร แต่ความสามารถของเจ้าหน้าที่ตำรวจยังมีเท่าเดิม ฉะนั้น ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น จึงไม่สามารถคลี่คลายได้ทัน วิธีหนึ่งที่ใช้ในการคลี่คลายปัญหาของเจ้าหน้าที่ตำรวจ จะใช้การตรวจสอบลายนิ้วมือของผู้ต้องสงสัย นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลลายนิ้วมือของผู้ต้องสงสัยที่ทางเจ้าหน้าที่เก็บรวบรวมอยู่ และยังมีขีดความสามารถที่จำกัดในการใช้บุคคลทำการตรวจสอบลายนิ้วมือ ทั้งทางด้านเวลา และความถูกต้องในการตรวจสอบ ฉะนั้นจึงนำมาเพื่อการพัฒนาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการสร้างโปรแกรมในการจดจำลายนิ้วมือ เพื่อที่จะเก็บข้อมูลลายนิ้วมือ ในลักษณะที่โดดเด่นของแต่ละลาย ซึ่งโปรแกรมจดจำลายนิ้วมือนี้ จะถูกแบ่งออกเป็น 10 ขั้นตอน โดยขั้นตอนต่างๆได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การสแกนภาพลายนิ้วมือเก็บเป็นฐานข้อมูล ขั้นตอนนี้จะเก็บภาพลายนิ้วมือเป็นไฟล์นามสกุล .BMP ซึ่งขั้นตอนแรกจะทำการพิมพ์ลายนิ้วมือลงบนกระดาษโดยใช้หมึก หลังจากนั้น ทำการสแกนภาพลายนิ้วมือที่ได้ด้วยสแกนเนอร์ โดยใช้ความละเอียดในการสแกนภาพ 600 dpi (600 จุดต่อ 1 นิ้ว) ภาพที่ได้มีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ หรือเรียกว่า ระดับสีเทา (Gray Level) และนำภาพลายนิ้วมือที่ได้มาผ่านขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการเพิ่มความชัดของภาพโดยการทำนอร์มัลไลซ์ จากขั้นตอนนี้ จะได้ภาพที่มีความคมชัดมากยิ่งขึ้น จากนั้นขั้นตอนที่ 3 คือขั้นตอนการกรองภาพให้มีความเรียบมากยิ่งขึ้นโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter) ภาพที่ได้เป็นภาพที่สามารถมองเห็นสันและร่องของภาพได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น สำหรับขั้นตอนที่ 4 เป็นการตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพให้ได้เป็นภาพลักษณะไบนารี่โดยภาพที่ได้จะมีค่าเพียง 2 ระดับ คือ 0 กับ 1 แล้วผ่านภาพที่ได้ไปยังขั้นตอนที่ 5 คือการหาโครงร่างหรือแกนของภาพโดยใช้ทินนิ่งอัลกอลิธึม (Thinning Algorithm) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการทำสเคเลทอน (Skeleton) หลังจากนั้นก็ทำการต่อลายเส้นที่ขาดหายไปเนื่องจากลักษณะลายเส้นที่สแกนเข้ามามีความคมชัดไม่เท่ากันในแต่ละจุด ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้แรงกดที่ไม่เท่ากันลงบนแป้นหมึก ทำให้ปริมาณน้ำหมึกที่ปรากฏบนลายนิ้วมือไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่งของนิ้วมือ ส่งผลให้ภาพที่ได้จากการสแกนมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น จึงต้องมีขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือโดยใช้วิธีหาความน่าจะเป็นของทิศทางของลายเพื่อที่จะทำการต่อลายให้มีลักษณะที่ถูกต้องซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนที่ 7 เป็นขั้นตอนการหาทิศทางของภาพ ซึ่งทำได้โดยการใช้ภาพอินพุทซึ่งเป็นภาพที่ผ่านการทำนอร์มัลไลซ์แล้ว จากนั้นแบ่งภาพเป็นหน้าต่างเล็กๆขนาด 8 x 8 พิเซล แล้วแทนทิศทางของลักษณะลายเส้นแต่ละหน้าต่างด้วยเส้นตรงที่มีความเอียงทำมุมกับแนวระนาบเท่ากับทิศทางของลายเส้นแต่ละหน้าต่างที่คำนวณได้หาทิศทางของภาพ เมื่อได้ค่ามุมของแต่ละบล็อคย่อยๆแล้ว ก็ทำการหาบล็อคที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุด ซึ่งหมายถึงตำแหน่งการวกกลับด้านในสุดของลายเส้น แล้วกำหนดให้ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 8 สำหรับขั้นตอนที่ 9 เป็นการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ (Minutiae) แต่ละลาย ซึ่งลักษณะเด่นที่พิจารณาในที่นี้ได้แก่ ลายที่เป็นทางแยก 2 เส้น (Bifurcation) แล้วเก็บค่าตำแหน่งที่มีลักษณะเด่นเกิดขึ้นและตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ได้เป็นตัวแปรที่สำคัญในการที่จะผ่านขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 10 คือการตรวจสอบลายนิ้วมือว่าเป็นลายของบุคคลใด ซึ่งนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้ทำการเก็บบันทึกไว้ โดยขั้นตอนเหล่านี้จะช่วยในการลดข้อมูลของลายนิ้วมือให้เหลือข้อมูลน้อยที่สุด และข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลที่มีลักษณะโดดเด่นด้วย ซึ่งรายละเอียดต่างๆจะกล่าวในบทต่อไป สำหรับโปรแกรมในการจดจำลายนิ้วมือนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆที่เกี่ยวกับการตรวจสอบลายนิ้วมือได้ อาทิ เช่น งานทะเบียนประชาชน งานทางด้านธนาคาร เป็นต้น สิ่งสำคัญของโปรแกรมจดจำลายนิ้วมือนี้ก็คือ การพิสูจน์ว่า ลายนิ้วมือที่ต้องการพิสูจน์นั้นเป็นของบุคคลใด ซึ่งจะเห็นว่า การใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตรวจสอบและจดจำลายนิ้วมือนั้น จะทำให้เวลาในการตรวจสอบนั้นน้อยลง มีความถูกต้องมากขึ้น และมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีของการทำงานวิจัยชิ้นนี้ และงานวิจัยชิ้นนี้ก็เลือกใช้โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) มาใช้ในการวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆของลายนิ้วมือ และได้พัฒนาตัวโปรแกรมต่อไปเป็นเดลไฟ (DELPHI) เพื่อความสามารถในการวิเคราะห์ลายนิ้วมือและใช้เวลาในการตรวจสอบลายนิ้วมือให้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง องค์ประกอบพื้นฐานในการประมวลภาพข้อมูล การเพิ่มความชัดเจนของภาพ และอัลกอลิธึมต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิตอล (Digital Image Representation) และลักษณะต่างๆของลายนิ้วมือ

ในระบบภาพโดยทั่วไป สามารถแทนด้วยฟังก์ชั่นของความเข้มแสงในระนาบ 2 มิติ : f(x,y) โดยที่ x และ y แทนตำแหน่งคู่ลำดับที่เกิดขึ้นในภาพจริง และค่าฟังก์ชั่น x ณ จุด (x,y) ใดๆจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสว่างหรือระดับสีเทา (Gray Level) ของภาพที่จุดนั้นๆ

การแบ่งกลุ่มภาพลายนิ้วมือ เป็นการแยกกลุ่มลายนิ้วมือจากลักษณะที่ปรากฏออกเป็นกลุ่มๆ เพื่อลดเวลาในการจัดคู่ภาพลายนิ้วมือจากฐานข้อมูล ซึ่งแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆได้ 6 ประเภท ได้แก่ แบบโค้ง (Arch) โค้งแบบเต้นท์ (Tented arch) ลูปขวา (Right loop) ลูปซ้าย (Left loop) ก้นหอย (Whorl) และลูปคู่ (Twin loop) โดยลายนิ้วมือแต่ละแบบนั้น มีลักษณะดังนี้ คือ

1.แบบโค้ง (Arch) หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของลายนิ้วมือโดยที่ไม่มีเส้นที่มีลักษณะเป็นเดลต้าอยู่ด้านในของลายนิ้วมือ

2.โค้งแบบเต้นท์ (Tented arch) หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของลายนิ้วมือโดยมีเส้นที่มีลักษณะเป็นเดลต้าอยู่ด้านในของลายนิ้วมือ

3.ลูปขวา (Right loop) หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านขวาแล้วด้านปลายของลายเส้นวกกลับมาทางด้านขวาของลายเหมือนเดิม

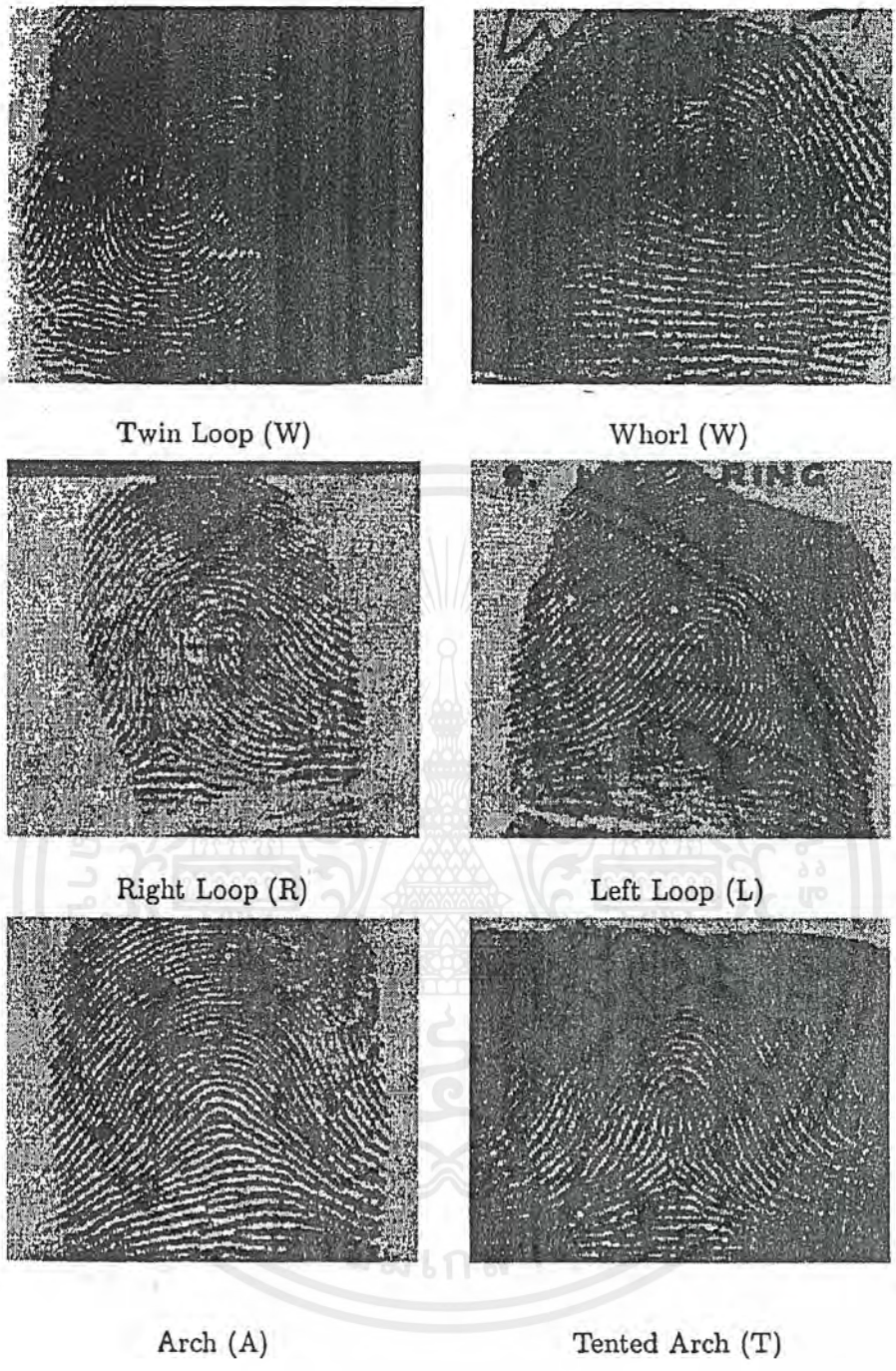
4.ลูปซ้าย (Left loop) หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านซ้ายแล้วด้านปลายของลายเส้นวกกลับมาทางด้านซ้ายของลายเหมือนเดิม

5.ก้นหอย (Whorl) หมายถึง ลักษณะของลายนิ้วมือที่วนเข้าหาจุดศูนย์กลางของลาย

6.ลูปคู่ (Twin loop) หมายถึง ลักษณะของลายที่ลากจากด้านหนึ่งแล้วด้านปลายของลายเส้นวกกลับมาทางด้านเดิมของลายโดยที่ในหนึ่งลายมีลูปเกิดขึ้นสองลูป

ลักษณะของลายทั้ง 6 แบบแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

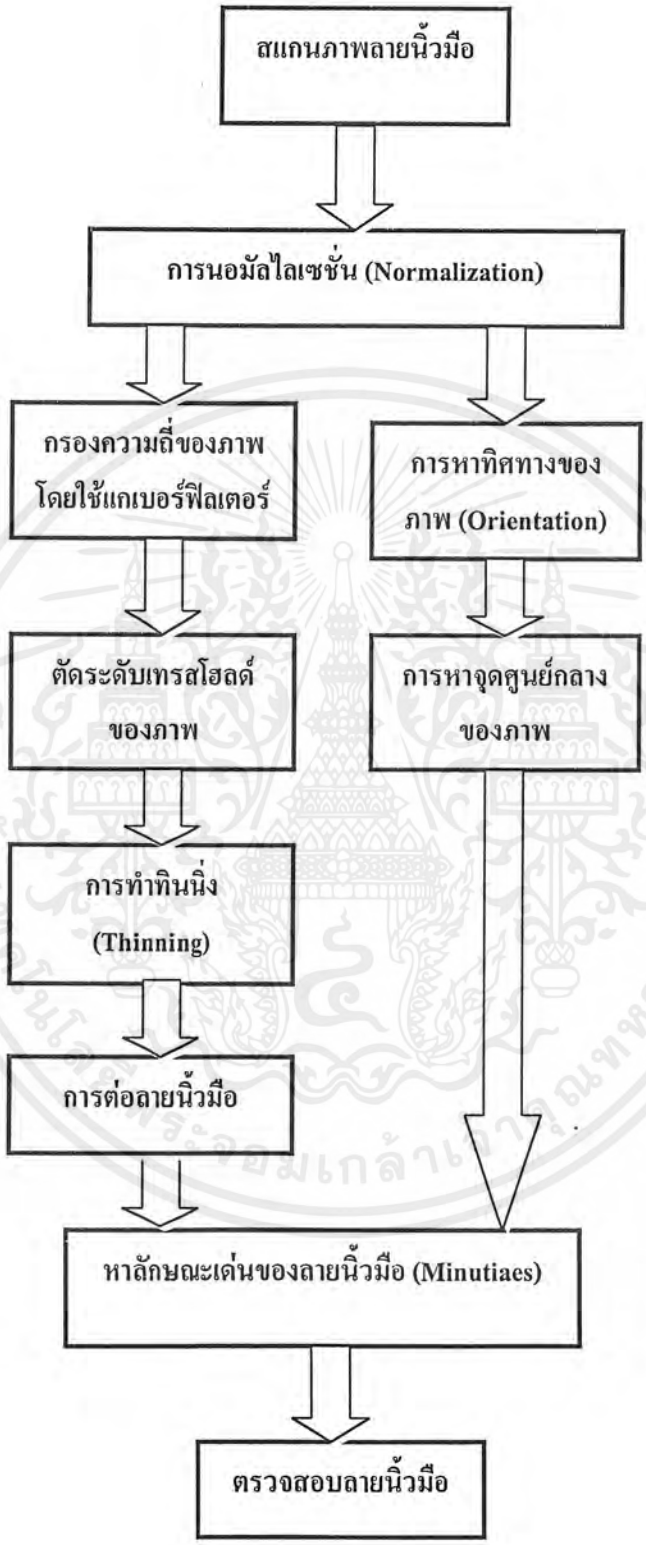


รูปที่ 2.1 ลายนิ้วมือลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ขั้นตอนการจดจำลายนิ้วมือ

ระบบการจดจำลายนิ้วมือสามารถแบ่งออกได้ 10 ขั้นตอน ตามแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนต่างๆในการจดจำลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพดังกล่าว สามารถอธิบายขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนการสแกนภาพลายนิ้วมือ

ขั้นตอนนี้เป็นการสแกนภาพลายนิ้วมือโดยใช้น้ำหมึกด้วยสแกนเนอร์ ซึ่งใช้ความละเอียดในการสแกนภาพเท่ากับ 600 dpi (Dot Per Inch) แล้วเก็บภาพเป็นไฟล์นามสกุล .BMP โดยภาพที่ได้มีระดับความสว่าง 0-255 ระดับ หรือเรียกว่าระดับสีเทา (Gray Level)

เนื่องจากการเกิดข้อผิดพลาดของลักษณะลายนิ้วมือนั้นหมายถึงเราได้ข้อมูลที่ผิด ซึ่งอาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการยอมรับลายนิ้วมือของคนๆเดียวกันได้ เพราะฉะนั้น ในการสแกนภาพลายนิ้วมือแต่ละครั้ง จึงควรควบคุมขนาดแรงกดของลายนิ้วมือลงบนแป้นพิมพ์และกระดาษก่อนที่จะทำการสแกนด้วยสแกนเนอร์ให้มีค่าที่เหมาะสมมากที่สุด

2.2.2 ขั้นตอนการนอร์มัลไลเซชั่น (Normalization)

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือที่ได้รับมาแต่ละภาพนั้น มีค่าเฉลี่ยของความสว่างของภาพไม่เท่ากัน เพื่อให้ภาพทุกภาพมีค่าเฉลี่ยระดับความสว่างของภาพที่เท่ากัน จึงต้องมีการนอร์มัลไลเซชั่นภาพเสียก่อน ซึ่งภาพที่ได้จะง่ายต่อการฟิลเตอร์ภาพต่อไป

2.2.2.1 หลักการโดยทั่วไปของนอร์มัลไลเซชั่น (Normalization)

ให้ I(i,j) แสดงถึงค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่งพิเซล (i,j) , M และ VAR แสดงถึงค่าเฉลี่ยโดยประมาณและการเปลี่ยนแปลงของ I, และ G(i,j) แสดงถึงค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่งพิเซล (i,j) ซึ่งผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้ว สมการการนอร์มัลไลซ์แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$G(i,j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\dfrac{VAR_0 (I(i,j)-M)^2}{VAR}}, & if\ I(i,j) > M \quad (2.1) \\ M_0 - \sqrt{\dfrac{VAR_0 (I(i,j)-M)^2}{VAR}}, & otherwise \quad (2.2) \end{cases}$$

โดยที่ M_0 และ VAR_0 เป็นค่าเฉลี่ยและค่าวาเรียนซ์ (variance)ตามลำดับ การนอร์มัลไลซ์เป็นการกระทำในระดับพิเซลซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงความชัดเจนของโครงสร้างสันและร่องของภาพ จุดประสงค์หลักของการทำนอร์มัลไลซ์ก็เพื่อที่จะลดการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาระหว่างสันและร่องของภาพ ซึ่งสนับสนุนขั้นตอนของกระบวนการภายหลัง รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของภาพที่ผ่านการทำนอร์มัลไลซ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) (b)

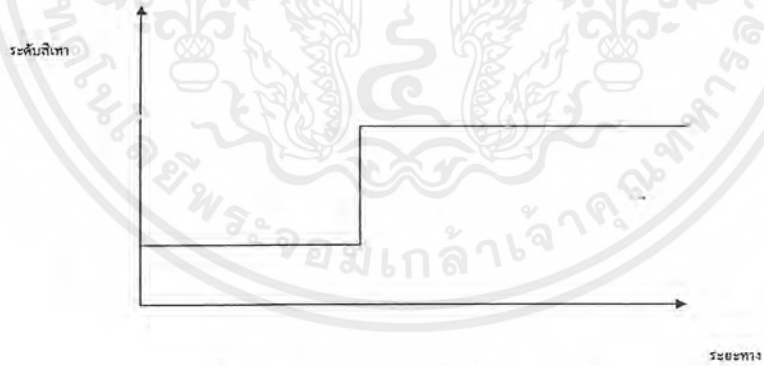
รูปที่ 2.3 แสดงการทำนอร์มัลไลเซชั่นภาพลายนิ้วมือ

a). ภาพลายนิ้วมือก่อนการทำนอร์มัลไลเซชั่น b). ภาพลายนิ้วมือหลังการทำนอร์มัลไลเซชั่น

2.2.3 การกรองความถี่ของภาพโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter)

ลักษณะของภาพดิจิตอลนั้น ที่บริเวณขอบของวัตถุ จะมีคุณสมบัติของความถี่สูง ดังนั้นการลดความมัวของภาพนั้นจะทำได้โดยการกรองส่วนประกอบของความถี่สูงออกไปโดยใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านโดยการคอนโวลูชั่น (Convolution)

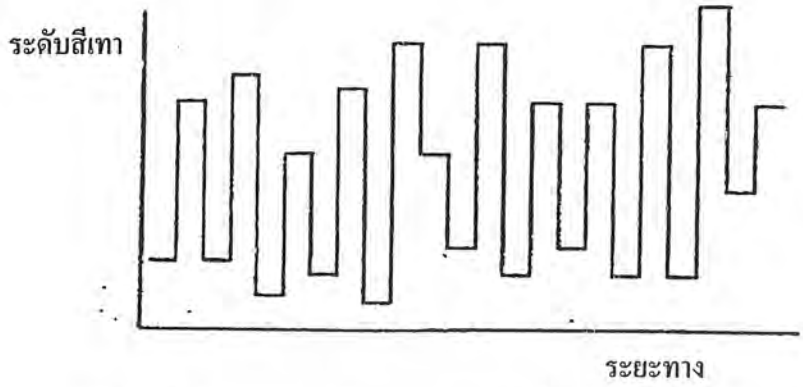
ในภาพแบบดิจิตอลซึ่งข้อมูลของภาพคือ ค่าของสีในแต่ละตำแหน่งของภาพ ในบริเวณที่เป็นขอบของภาพก็คือ ในบริเวณที่ค่าสีของภาพเปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่ง ดังเช่นแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแบบความถี่ต่ำ

จากภาพเห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงครั้งเดียว (Low Frequency) ซึ่งในกรณีนี้ กล่าวได้ว่า ภาพมีความคมชัด โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณรบกวน(Noise) ที่พบในภาพแบบดิจิตอลนั้น พบว่าในบริเวณที่มีการรบกวนข้อมูลของค่าสีของภาพ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง (high frequency) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแบบความถี่สูง(High Frequency)

การทำฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน จะเป็นการกำจัดส่วนประกอบของภาพซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสีสูง ซึ่งจะเป็นการลดสัญญาณรบกวน แต่พบว่าจะทำให้ภาพที่ได้มีความพร่ามัวเพิ่มขึ้น

สำหรับการทำฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน โดยใช้คอนโวลูชั่น(Convolution) จะมีแมสก์(Mask)ที่ใช้ในการคูณประสานหลายแบบ ตัวอย่างเช่น

$$Mask\,1 \quad 1/16 * \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Mask\,2 \quad 1/9 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mask\,3 \quad 1/10 * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mask\,4 \quad 1/16 * \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแมสก์แบบต่างๆ ที่ได้แสดงจะพบว่าการคูณประสานจากแมสก์กับข้อมูลที่มีค่าคงที่ จะได้ผลลัพธ์คือข้อมูลเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับการคูณประสานแมสก์กับข้อมูลภาพแบบความถี่ต่ำ แสดงดังรูปที่ 2.6 และการคูณประสานแมสก์กับข้อมูลภาพแบบความถี่สูง แสดงในรูปที่ 2.7

$$\begin{bmatrix} 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

a).

$$\begin{bmatrix} 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 125 & 125 & 125 & 125 & 125 \\ 25 & 25 & 25 & 25 & 25 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

b).

รูปที่ 2.6 a). ข้อมูลภาพแบบความถี่ต่ำก่อนการคอนโวลูชั่น
b). ข้อมูลภาพหลังทำคอนโวลูชั่น

จากรูปที่ 2.6 พบว่าหากทำคูณประสานกันระหว่างแมสก์กับภาพแบบความถี่ต่ำ จะได้ภาพที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสีสูงขึ้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุให้ภาพที่ได้พร่ามัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 150 & 150 & 150 & 150 & 150 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

a).

$$\begin{bmatrix} 100 & 100 & 100 & 100 & 100 \\ 50 & 50 & 50 & 50 & 50 \\ 100 & 100 & 100 & 100 & 100 \\ 50 & 50 & 50 & 50 & 50 \\ 100 & 100 & 100 & 100 & 100 \\ 50 & 50 & 50 & 50 & 50 \\ 100 & 100 & 100 & 100 & 100 \\ 50 & 50 & 50 & 50 & 50 \\ 100 & 100 & 100 & 100 & 100 \\ 50 & 50 & 50 & 50 & 50 \end{bmatrix}$$

b).

รูปที่ 2.7 a). ข้อมูลภาพแบบความถี่สูงก่อนการคอนโวลูชั่น
b). ข้อมูลภาพหลังทำคอนโวลูชั่น

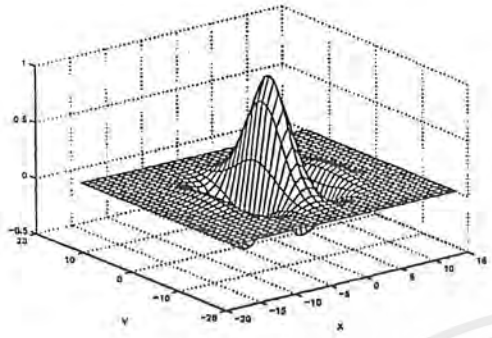
สำหรับฟิลเตอร์ที่นำมาใช้ในการฟิลเตอร์ภาพในที่นี้ จะใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter) ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาสฟิลเตอร์ (Bandpass Filter) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.3.1 แกเบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter)

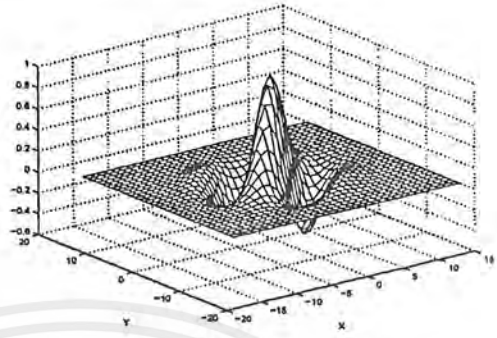
เพื่อที่จะเอาสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป และแสดงส่วนสันและร่องของโครงร่างเส้นลายนิ้วมือให้เด่นชัดขึ้น จึงทำการฟิลเตอร์ภาพลายนิ้วมือในทิศทางที่แตกต่างกัน โดยการใช้ แกเบอร์ฟิลเตอร์ แกเบอร์ฟิลเตอร์เป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ ซึ่งสามารถที่จะทำการเลือกหรือกำหนดคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางและความถี่ได้และมีความแน่นอนของการเชื่อมต่อที่ดีที่สุดทั้งในโดเมนของที่ว่างและความถี่ สำหรับภาพลายนิ้วมือที่มีร่องและสันที่ขนานกัน แล้วจะทำการกำหนดความถี่และทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

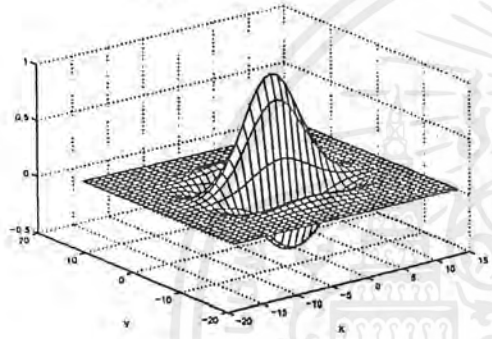
เป็นไปได้อย่างดี (ดังรูปที่ 2.9) คุณสมบัติการปรับค่าของแกเบอร์ฟิลเตอร์สามารถที่จะเอาสัญญาณรบกวนออกได้ และรักษาโครงร่างของร่องและสันที่แท้จริงเอาไว้ และการแบ่งข้อมูลจะจำกัดทิศทางที่จำเพาะของภาพ และแกเบอร์ฟิลเตอร์ที่สมมาตรแบบคู่จะมีรูปแบบโดยทั่วไปดังนี้ คือ



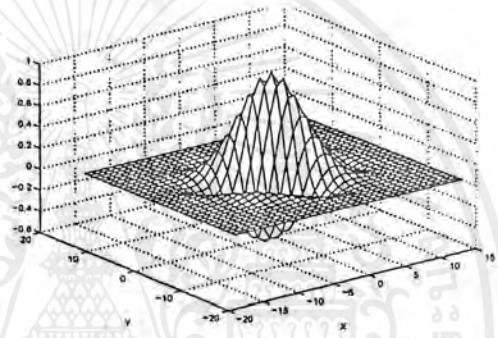
(a) ทิศทาง 0 องศา



(b) ทิศทาง 45 องศา



(c) ทิศทาง 90 องศา



(d) ทิศทาง 135 องศา

รูปที่ 2.8 แสดงแกเบอร์ฟิลเตอร์ (Gabor Filter) (ขนาด 33x33, f=0.1, $\delta_x = 4.0, \delta_y = 4.0$)

ในโดเมนที่ว่าง :

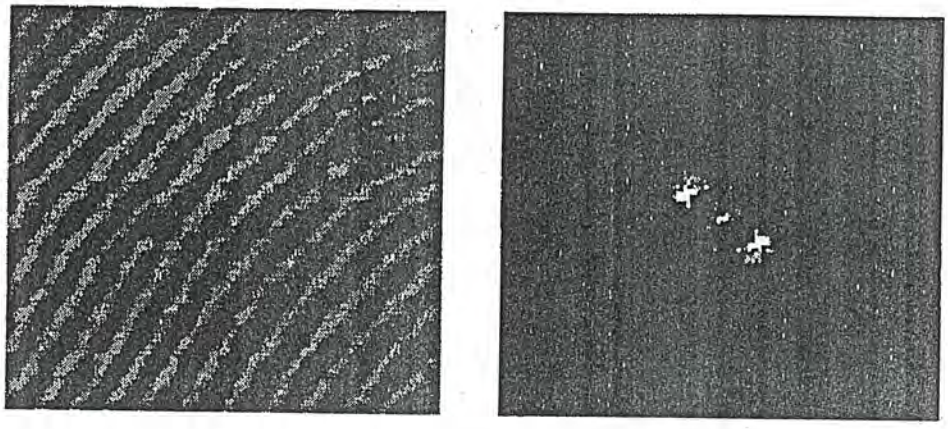
$$G(x,y;f,\phi)=\exp\{-0.5[x'^2/\delta_x{}^2+y'^2/\delta_y{}^2]\}\cos(2\pi fx'), \quad (2.2)$$

$$x' = x\sin\phi + y\cos\phi, \quad (2.3)$$

$$y' = x\cos\phi - y\sin\phi, \quad (2.4)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ของระนาบคลื่นไซน์ในทิศทาง ϕ จากแกน x และ δ_x , δ_y คือ ค่าคงที่ที่ว่างของเอนเวลโลปเกาส์เซี่ยน (Gaussian envelope) ระหว่างแกน x และแกน y ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) สันภาพในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน (b) ฟูเรียร์สเปกตรัม

รูปที่ 2.9 แสดงภาพลายนิ้วมือที่มีการกำหนดความถี่และทิศทางได้อย่างเหมาะสม

ในการศึกษาครั้งนี้ เราได้กำหนดค่าความถี่ของฟิลเตอร์ f เพื่อที่จะทำการเฉลี่ยค่าความถี่ของสันภาพ(1/K) โดยที่ K คือระยะทางระหว่างสันภาพลายนิ้วมือ ค่าเฉลี่ยระหว่างระยะทางของสันภาพโดยประมาณเท่ากับ 10 พิเซลในภาพลายนิ้วมือที่มีความละเอียด 600 dpi ซึ่งถ้าค่า f มากเกินไป จะทำให้เกิดสันของภาพที่ไม่ต้องการปรากฏขึ้นในภาพที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้ว ในขณะที่ถ้าค่า f น้อยเกินไป จะทำให้สันที่อยู่ติดกันจะรวมเป็นอันเดียวกัน จากการทดลองได้ใช้ค่า ϕ ที่แตกต่างกัน คือ 0 องศา , 45 องศา, 90 องศา, 135 องศา และ 180 องศา ตามลำดับกับแกน x ทั้ง 8 ฟิลเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.10 ขอบเขตที่น่าสนใจของภาพลายนิ้วมือถูกรวมเข้าด้วยกันโดยแต่ละฟิลเตอร์เพื่อที่จะทำให้เกิดกลุ่มของภาพที่ผ่านการฟิลเตอร์แล้วทั้ง 4 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลเซชั่น

ภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ 0 องศา

ภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ 45 องศา

ภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ 90 องศา

ภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ 135 องศา

ภาพที่ผ่านการฟิลเตอร์ทุกทิศทาง

รูปที่ 2.10 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำนอร์มัลไลเซชั่นแล้วเปรียบเทียบกับภาพลายนิ้วมือที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ในแต่ละมุม

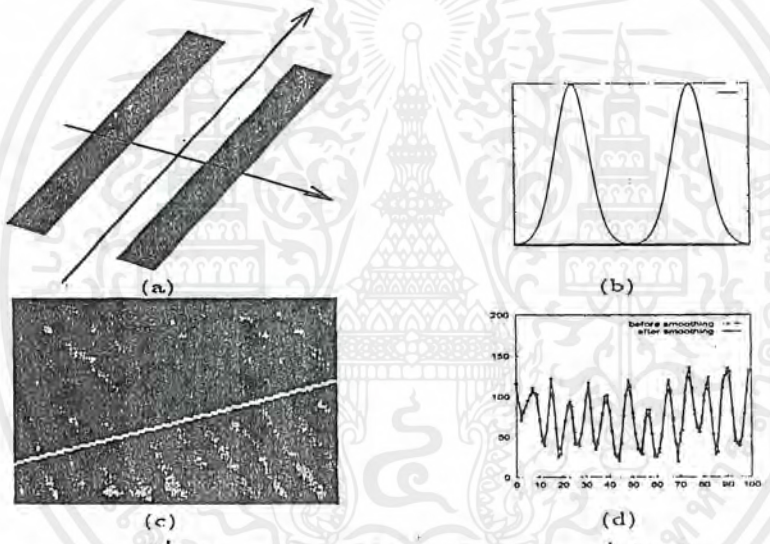
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ (Threshold)

ขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในระบบการจดจำลายนิ้วมืออัตโนมัติ เนื่องจากภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการกรองความถี่แล้วยังมีค่าของระดับสีอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0-255 ระดับ ซึ่งก่อนที่จะนำค่าดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจำแนกลายนิ้วมือต่อไปได้นั้น ต้องมีการตัดระดับความสว่างของภาพให้มีค่าแค่ 2 ค่าเท่านั้น คือ "0" และ "1" หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าภาพไบนารี่ (Binary Image) โดยที่ "0" คือค่าระดับสีที่แทนด้วยจุดที่เป็นพื้น และ "1" แทนด้วยลายของภาพ ซึ่งขั้นตอนในการตัดระดับเทรสโฮลด์นั้นใช้หลักการในการสังเกตค่าความถี่ของสันภาพ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ คือ

2.2.4.1 ความถี่ของสันภาพ

ในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกันนั้น ซึ่งจะไม่มีลักษณะลายที่โดดเด่นปรากฏอยู่และระดับสีเทาระหว่างสันและร่องของภาพสามารถออกแบบให้มีรูปร่างคล้ายคลื่นไซน์ได้ โดยทั่วไปแล้วการกำหนดทิศทางของสันภาพที่อยู่บริเวณใกล้ๆกัน (ดูในรูปที่ 2.11) จะมีความถี่ของสันภาพใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.11 การกำหนดทิศทางของภาพแบบคลื่นไซน์

เมื่อกำหนดให้ G เป็นภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้วและ O คือภาพที่มีการกำหนดทิศทาง และขั้นตอนที่นำไปสู่การประมาณค่าความถี่ของสันภาพในบริเวณที่ใกล้เคียงแสดงได้ดังนี้

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

2. สำหรับแต่ละบล็อคมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งพิเซล (i,j) ทำการคำนวณบล็อคที่มีการกำหนดทิศทางซึ่งมีขนาด l x w (32 x 16) ซึ่งได้ถูกกำหนดอยู่ในระบบโคออร์ดิเนตของสันภาพ (รูปที่ 2.11)

3. สำหรับแต่ละบล็อคมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งพิเซล (i,j) ทำการคำนวณในแนวแกน X , X[0] , X[1] , ...X[l-1] , ของสันและร่องภาพภายในบล็อคที่มีการกำหนดทิศทาง โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X[k] = \frac{1}{w}\sum_{d=0}^{w-1} G(u,v),\ k=0,1,....,l-1, \qquad (2.5)$$

$$u = i+(d-\frac{w}{2})\cos O(i,j)+(k-\frac{1}{2})\sin O(i,j) \qquad (2.6)$$

$$v = j+(d-\frac{w}{2})\sin O(i,j)+(\frac{l}{2}-k)\cos O(i,j) \qquad (2.7)$$

ถ้าไม่มีลักษณะโดดเด่นและจุดที่ปรากฏขึ้นจำนวนหนึ่งในบล็อกที่มีการกำหนดทิศทาง รูปแบบในแนวแกน X จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์แบบดิสครีต (Discrete) ซึ่งมีความถี่เดียวกันเช่นเดียวกับสันและร่องในหน้าต่างที่มีการกำหนดทิศทาง ดังนั้น ความถี่ของสันและร่องสามารถที่จะประมาณได้จากแนวแกน X โดยกำหนดให้ $\Omega(i,j)$ เป็นค่าเฉลี่ยของพิเซลระหว่างค่าสูงสุดที่เรียงกัน 2 ค่าในแนวแกน X แล้วความถี่ $\Omega(i,j)$ ก็ถูกคำนวณขึ้นได้เป็น $\Omega(i,j) = 1/T(i,j)$ ถ้าไม่มีค่าสูงสุดที่เรียงลำดับกันถูกตรวจพบจากแกน X แล้วความถี่ก็จะถูกกำหนดขึ้นเป็นค่าจาก –1 เป็นค่าที่แตกต่างกันกับตัวมันเองจากค่าความถี่ที่เหมาะสม

4. สำหรับภาพลายนิ้วมือที่สแกนเข้ามาด้วยค่าที่กำหนดไว้ ค่าความถี่ของสันและร่องในเส้นที่อยู่ใกล้เคียงกันช่วงที่แน่นอน ตัวอย่างเช่นสำหรับภาพสแกนที่มีความละเอียด 500 dpi จะมีช่วงเป็น [1/3 , 1/25] ดังนั้น ถ้าค่าที่ประมาณของความถี่อยู่นอกช่วงนี้แล้วความถี่จะถูกกำหนดค่าเป็น –1 ถึงค่าที่ชี้ว่าความถี่ที่เหมาะสมไม่สามารถจะเอามาได้

5. บล็อกซึ่งมีลักษณะเด่นและ/หรือจุดจำนวนหนึ่งปรากฏขึ้นและ/หรือสันและร่องที่มีลักษณะที่ไม่ดีไม่ได้มาจากรูปร่างของคลื่นไซน์ที่ถูกกำหนดมาอย่างเหมาะสม ค่าความถี่สำหรับบล็อกเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องสอดคล้องกับความถี่ของบล็อกที่อยู่ข้างเคียงซึ่งมีความถี่ที่ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม การสอดคล้องดังกล่าวอยู่ในรูปแบบดังนี้

(i) สำหรับแต่ละบล็อกซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (i,j)

$$\Omega'(i,j) = \begin{cases} \Omega(i,j), & ,if\ \Omega(i,j)\neq -1 \\ \dfrac{\sum_{u=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2}\sum_{v=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} W_g(u,v)\mu(\Omega(i-uw,j-vw))}{\sum_{u=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2}\sum_{v=-w_\Omega/2}^{w_\Omega/2} W_g(u,v)\delta(\Omega(i-uw,j-vw)+1)} & ,\ otherwise \end{cases} \qquad (2.8)$$

where

$$\mu(x)=\begin{cases}0, & if\ x\le 0\\ x, & otherwise,\end{cases} \qquad (2.9)$$

$$\delta(x)=\begin{cases}0, & if\ x\le 0\\ 1, & otherwise,\end{cases} \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W_g คือ เกาเซี่ยนส์เคอร์แนล แบบดิสครีต (Discrete Duassian kernal) โดยที่ ค่ากลางค่าของการเปลี่ยนแปลงคือ 0 ถึง 9 ตามลำดับ และ $w_\Omega = 7$คือขนาดของแก่น

(ii) ถ้าคงอยู่ที่บล็อกหนึ่งซึ่งมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าความถี่เป็น –1 แล้ว ทำการเปลี่ยน Ω และ Ω' จากนั้นกลับไปขั้นตอนที่ (i)

6. ระยะทางระหว่างสันภาพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆในบริเวณที่ใกล้กัน ซึ่งฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถใช้ในการคลื่อนย้ายออกไปใน f' :

โดยที่ W_l คือฟิลเตอร์แบบความถี่ต่ำผ่าน 2 มิติซึ่งเป็นจำนวนเต็มและ $w_l = 7$ คือขนาดของฟิลเตอร์

2.2.4.2 พื้นที่ที่ใช้เป็นแมสก์

ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พิเซล (หรือบล็อก) ในภาพลายนิ้วมือที่เป็นอินพุท สามารถที่จะอยู่ที่ใดที่หนึ่งในพื้นที่ที่กู้กลับคืนมาได้หรือพื้นที่ที่ไม่สามารถกู้กลับคืนมาได้ พิจารณาพิเซลในการแยกออกเป็นพื้นที่ที่สามารถกู้กลับคืนมาได้และไม่สามารถกู้กลับคืนมาได้สามารถที่จะกระทำได้โดยการกำหนดรูปร่างของรูปแบบคลื่นโดยสันและร่องใกล้เคียงกัน ในอัลกอลิธึมนี้ รายละเอียด 3 อย่างได้ถูกใช้ในการแสดงลักษณะของรูปคลื่นไซน์ ได้แก่ (α) , ความถี่ (β) , และ ค่าการเปลี่ยนแปลง (γ) โดยกำหนดให้ X [1] , X[2] ,...,X[*l*] คือแกน X ของบล็อกที่มีจุดศูนย์กลางเป็น (i,j) รายละเอียดนี้ตรงกันกับ พิเซล (บล็อก) (i,j) ที่ถูกคำนวณดังนี้

1. . α = ค่าความสูงเฉลี่ยของค่าสูงสุดถึงค่าความลึกเฉลี่ยของส่วนลึก
2. $\beta = 1/T$ (i,j) คือค่าเฉลี่ยของพิเซลระหว่างค่าสูงสุดที่เรียงลำดับกัน
3. $\gamma = \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l}(X[i] - (\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{l}X[i]))^2$

เราได้เลือกภาพลายนิ้วมือหลายๆชนิดซึ่งมีทั้งพื้นที่ที่สามารถกู้คืนและไม่สามารถกู้คืนมาได้และคำนวณรายละเอียดทั้ง 3 อย่างดังกล่าว ผลรวมของ 2,000 รูปแบบที่เป็น 3 มิติที่ได้รับ ในการหารูปแบบการนำเสนอสำหรับ 2 ประเภทนั้น เราให้ 2,000 รูปแบบในอัลกอลิธึมการรวมกลุ่มข้อผิดพลาดแบบสี่เหลี่ยมและเจาะจงมา 6 กลุ่ม 4 ใน 6 กลุ่มนี้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับพื้นที่ที่สามารถกู้คืนมาได้และมี 2 ลักษณะที่เหมือนกันกับ 2 กลุ่มพื้นที่ที่ไม่สามารถกู้คืนมาได้ รูปแบบเดิมทั้ง 6 (มีลักษณะเช่นเดียวกันกับกลุ่มที่เป็นศูนย์กลาง) ถูกใช้ในพื้นที่ใกล้เคียงที่ใกล้ที่สุด (1NN) ซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทๆซึ่งมีขนาดบล็อก w x w ในภาพลายนิ้วมือที่เป็นอินพุทไปยังบล็อกที่สามารถกู้คืนและไม่สามารถกู้คืนมาได้ ถ้าศูนย์กลางของบล็อกอยู่ที่ (i,j) ถูกกู้ได้มาแล้ว R(i,j) = 1 นอกจากนั้นแล้ว R(i,j) = 0 หลังจากได้ภาพ R มาแล้ว ร้อยละของพื้นที่มีสามารถกู้คืนมาได้ก็จะถูกคำนวณขึ้น ถ้าร้อยละของพื้นที่มีสามารถกู้คืนมาได้มีค่าน้อยกว่าเทรสโฮลด์แล้ว $\Gamma_{recoverable} = 40$ แล้วภาพลายนิ้วมือที่เป็นอินพุทก็จะถูกกำจัดออกไป ภาพที่รับได้มาก็จะผ่านไปยังขั้นตอนของการฟิลเตอร์ภาพต่อไป

2.2.5 ขั้นตอนการทำทินนิ่ง (Thinning algorithm)

ขั้นตอนนี้ เป็นการนำภาพที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์ซึ่งเป็นภาพไบนารี่แล้ว มาหาโครงสร้างหรือแกนกลางของลายนิ้วมือโดยการทำสเคลิทอน(Skeleton) ด้วยวิธีการทินนิ่ง(Thinning algorithm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ,ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ซึ่งกำหนดให้ค่า "1" แทนจุดภาพที่เป็นลาย และค่า "0" แทนจุดที่เป็นพื้น วิธีการนี้จะทำตามขั้นตอนพื้นฐาน 3 ขั้นตอนอย่างต่อเนื่องในการตรวจสอบจุดภาพที่อยู่รอบนอกของลายนิ้วมือที่มีค่าเป็น "1" (P_1 คือจุดภาพที่ตรวจสอบ) และจะต้องมีจุดข้างเคียงของจุดภาพ P_1 (neighborhood ดังรูปที่ 2.12) อย่างน้อยหนึ่งในแปดจุดที่มีค่าเป็น "0" เพื่อจะได้กำจัดจุดภาพที่ตรวจสอบให้เป็นศูนย์ได้

P_9	P_2	P_3
P_8	P_1	P_4
P_7	P_6	P_5

ตารางที่ 2.1 แสดงตารางทินนิ่งอัลกอลิธึมที่ใช้ 8 จุดข้างเคียง

2.2.5.1 อัลกอลิธึมของการทำสเกลิทอน

ขั้นตอนที่1 จุดภาพ P_1 จะถูกกำจัดออกไป (ทำให้เป็น "0") ถ้าสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด แต่จะคงไว้ถ้าไม่เป็นจริงเกิดขึ้นกรณีใดกรณีหนึ่ง

1). $2 <= N(P_1) <= 6$

เมื่อ $N(P_1)$ คือจำนวนจุดที่อยู่ข้างเคียงจุด P_1 ที่เป็น "1"

$N(P_1) = P_2+P_3+P_4,\ldots+P_9$

2). $S(P_1) = 1$

เมื่อ $S(P_1)$ คือจำนวนจุดที่เปลี่ยนแปลงจาก "0" เป็น "1" โดยตรวจสอบไปตามลำดับ $P_2,P_3,\ldots,P_9,P_2$

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

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

ขั้นตอนนี้จะใช้กับทุกๆจุดภาพ ที่อยู่โดยรอบของลายที่กำลังพิจารณาถ้าทุกเงื่อนไขสอดคล้องกัน จุดภาพ P_1 จะถูกกำจัดออก แต่อย่างไรก็ตาม จุดภาพๆนั้นจะไม่ถูกกำจัดออกไปจนกว่าทุกๆจุดภาพที่อยู่โดยรอบได้ผ่านขั้นตอนที่ 1 ไปทั้งหมดแล้ว การทำเช่นนี้ก็เพื่อป้องกันการเปลี่ยนโครงสร้างข้อมูลระหว่างการปฏิบัติตามอัลกอลิธึม ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดข้อมูลที่อยู่ทางขวามือ และด้านล่างออกไป หลังจากเสร็จขั้นตอนที่ 1 แล้วให้เริ่มขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนนี้เงื่อนไขของข้อ 1 และข้อ 2 และยังเหมือนกันกับในขั้นตอนที่ 1 แต่เงื่อนไขข้อ 3 กับข้อ 4 จะเปลี่ยนเป็น

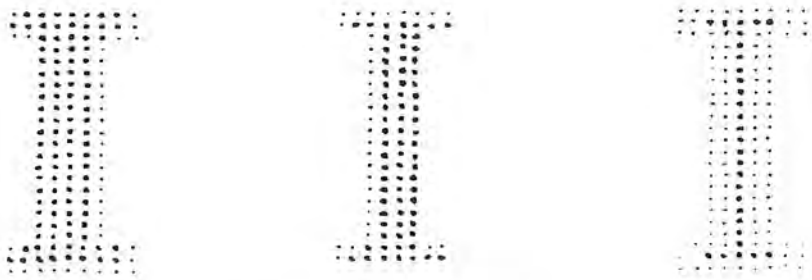
5). $P_2.P_4.P_8 = 0$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

37110

ขั้นตอนนี้จะใช้กับข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนที่ 1 โดยวิธีการที่เหมือนกัน ซึ่งจะเป็นการกำจัดข้อมูลที่อยู่ทางซ้ายมือ และด้านบนออกไป ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 2.8 ของขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 2.12 a. การทำขั้นตอนที่ 1 b. การทำขั้นตอนที่ 2 c. ผลการทำสเคลิทอน

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> เมื่อทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 ซ้ำๆกันจนไม่มีจุดภาพกำจัดจึงทำให้ขั้นตอนนี้ ซึ่งมีวิธีเหมือนกับ 2 ขั้นตอนที่ผ่านมา แต่มีเงื่อนไขดังนี้

1). $N(P_1) = 3$

เมื่อ $N(P_1) = P_2+P_4+P_6+P_8$

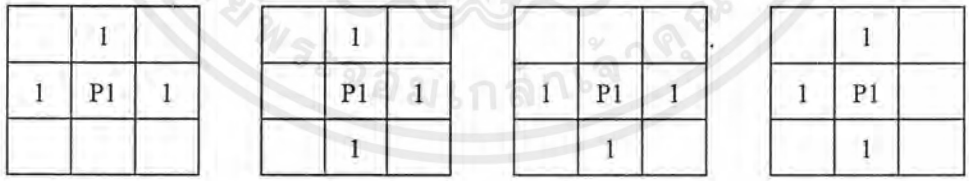
2). $(P_2.P_8 = 1)$ AND $(P_5 = 0)$

3). $(P_2.P_4 = 1)$ AND $(P_7 = 0)$

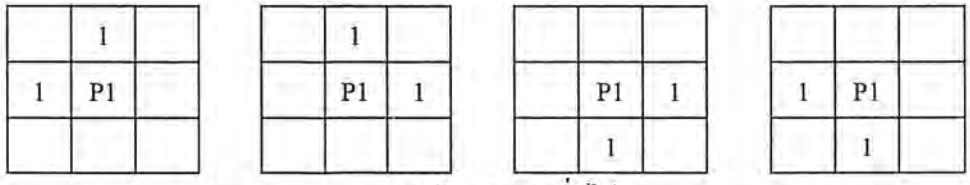
4). $(P_4.P_6 = 1)$ AND $(P_9 = 0)$

5). $(P_6.P_8 = 1)$ AND $(P_3 = 0)$

จุดภาพที่จะถูกกำจัดออกจะต้องตรงกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งขั้นตอนนี้จะกำจัดจุดภาพที่ซ้อนกันในลาย และทางแยก ดังรูปที่ 2.9 จุดภาพ P_1 จะถูกกำจัด



(a) ลักษณะลายช่วงทางแยก



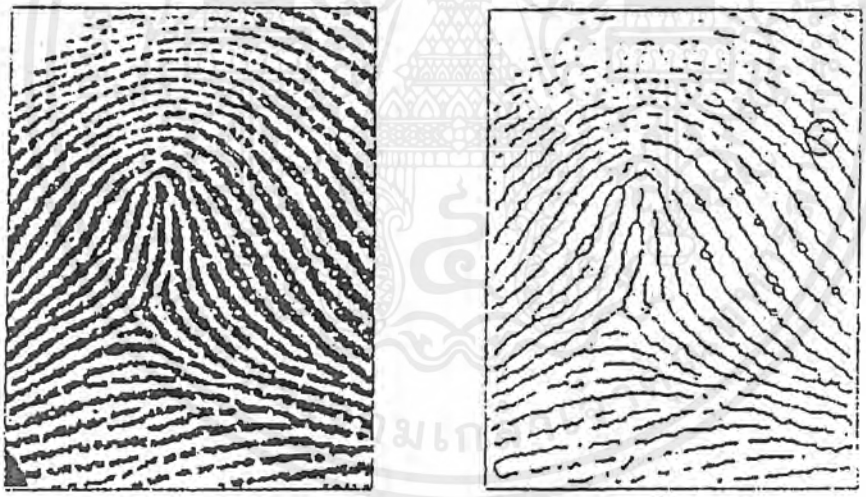
(b) ลักษณะลายทั่วไป

รูปที่ 2.13 ลักษณะการกำจัดในขั้นตอนที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 ขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ

เนื่องจากลายนิ้วมือที่ผ่านขบวนการทำทินนิ่งนั้น ลายเส้นโครงสร้างของลายนิ้วมือจะไม่ถูกต้องเลยทีเดียว เนื่องจากข้อผิดพลาดของลายอันเนื่องมาจากขั้นตอนของการสแกนภาพ นั่นก็คือ แรงที่ใช้ในการกดนิ้วมือลงบนแป้นหมึกและกระดาษ ซึ่งถ้าออกแรงมากเกินไปก็จะทำให้มีปริมาณน้ำหมึกมากเกินไปในภาพลายนิ้วมือที่ปรากฏ หรือถ้าออกแรงกดน้อยเกินไปก็จะทำให้เกินการขาดของเส้นลายนิ้วมือ ซึ่งเมื่อนำภาพที่ได้จากการพิมพ์ด้วยหมึกมาเก็บเป็นไฟล์โดยการสแกนด้วยสแกนเนอร์แล้ว จะทำให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในข้อมูลภาพ โดยทำให้ความคมชัดของภาพระหว่างสันและร่องของลายนิ้วมือมีความแตกต่างกันน้อย ซึ่งมีผลทำให้ไม่สามารถกู้ส่วนของภาพที่มีข้อมูลมาได้อย่างครบถ้วน ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และยังมีความผิดพลาดที่เกิดจากร่องของลายนิ้วมือซึ่งเกิดขึ้นโดยที่ไม่ใช่ลายนิ้วมือที่แท้จริง ซึ่งมีผลทำให้เกิดร่องเทียมหรือร่องที่ไม่ต้องการขึ้นมา จึงทำให้ลักษณะโครงร่างของลายเส้นที่ได้จากการทำทินนิ่งไม่ถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ โดยที่บางส่วนของโครงร่างลายนิ้วมือซึ่งไม่ต้องการเพิ่มเข้ามาหรือบางส่วนที่เป็นรายละเอียดจริงๆของลายนิ้วมือขาดหายไปจากความเป็นจริง ฉะนั้น ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์รายละเอียดอื่นๆของลายนิ้วมือ จึงต้องมีขั้นตอนการต่อลายในส่วนของลายเส้นที่ขาดหายไปให้ถูกต้องครบถ้วนมากที่สุดเสียก่อน โดยใช้วิธีการหาความน่าจะเป็นของทิศทางของลาย ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



a. b.

รูปที่ 2.14 a). ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือแบบโค้งกระโจม

b). ภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่ผ่านการทำเส้นให้บาง(Thinning) ที่มีเส้นสะพานเกิดขึ้น

เมื่อเราพิจารณารูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ สังเกตจากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่ามีเส้นสะพานเกิดขึ้น (สังเกตจากภาพจะใช้สัญลักษณ์วงรีล้อมรอบบริเวณที่เกิดเส้นสะพาน) โดยเส้นสะพานจะมีลักษณะเป็นลาย 2 ลายที่อยู่ใกล้กันถูกต่อถึงกัน (ดูรูปที่ 2.15 ประกอบ) ซึ่งเป็นส่วนเกินที่จะต้องกำจัดออกไป โดยอาศัยจากการพิจารณาค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่

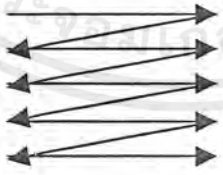
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 ลักษณะเส้นสะพาน a). ก่อนการแก้ไข b). หลังการแก้ไข

ในการสแกนหาค่าโทโปโลยีของจุดภาพในรูปภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จะทำการสแกนจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา และจากด้านบนลงไปยังด้านล่างของรูปภาพ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.16 b). โดยในการพิจารณาค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่จะเป็นการจำแนกเฉพาะค่าการเชื่อมต่อแบบ4 (4-connectivity) หรือการเชื่อมต่อแบบ 8 (8-connectivity) เท่านั้น โดยใช้วินโดว์ขนาดเมตริกซ์ 3*3 ครอบบริเวณจุดภาพที่ต้องการหา ดังรูปที่ 2.16 a). ซึ่งค่า x_0, x_1, x_2,.....,x_8 เป็นค่าของทางดิจิตอลที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งเราจะพิจารณาเมื่อ $x_0 = 1$ เท่านั้น

X4	X3	X2
X5	X0	X1
X6	X7	X8

a).



b).

รูปที่ 2.16 a). วินโดว์ขนาด 3*3

b). แสดงทิศทางในการสแกนจุดภาพ คือ ทำการสแกนจากด้านซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nc^4 = \sum_{i \in s_1} (x_i - x_i x_{i+1} x_{i+2}) \quad (2.11)$$

$$Nc^8 = \sum_{i \in s_1} (\bar{x}_i - \bar{x}_i \bar{x}_{i+1} \bar{x}_{i+2}) \quad (2.12)$$

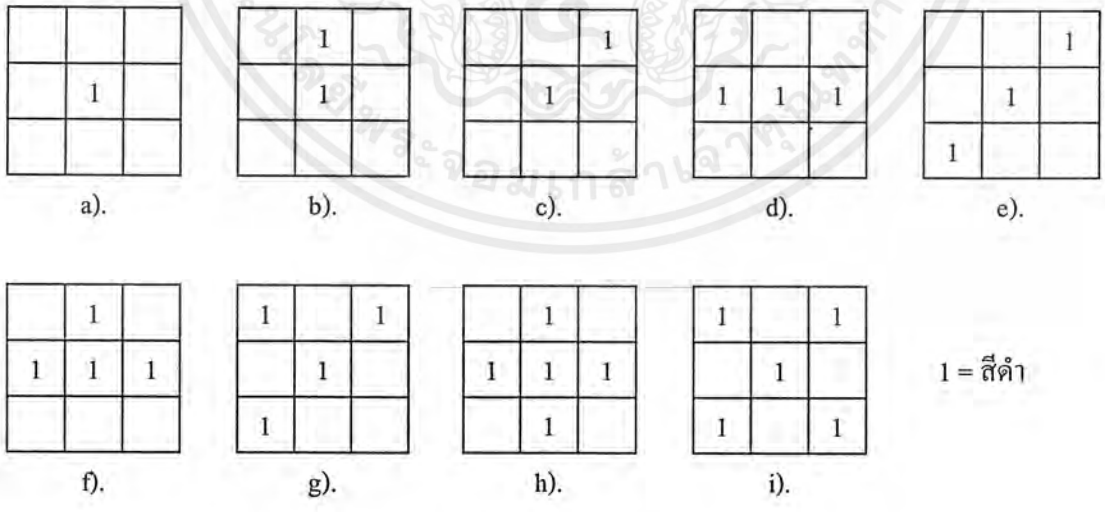
โดยที่ $S_1 = (1,3,5,7)$

เมื่อค่าตัวห้อย $i \geq 9$ หรือ $i = \leq 0$ ค่าจะถูกเปลี่ยนเป็น $i - 8$ หรือ $i+8$ ตามลำดับ $x=(1-x)$ และค่าตัวยกทางขวา คือค่าจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 หรือ แบบ 8 ตามลำดับ โดยสมการทั้งสอง สามารถแบ่งแยกค่าทางโทโปโลยีของ x_0 ได้ดังตารางที่ 2.2

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)

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าโทโปโลยีของจุดภาพ

โดยที่จุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 จะเป็นการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวตั้ง และจุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 8 จะเป็นการเชื่อมต่อของจุดภาพในแนวนอน ตามรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 a). เทมเพลท 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 0$ หรือ $Nc^8 = 0$

b). และ c). เทมเพลท 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 1$ หรือ $Nc^8 = 1$ ตามลำดับ

โดยในแต่ละกรณีเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มกรณีละ 3 กรณี รวมทั้งสิ้น 8 กรณี

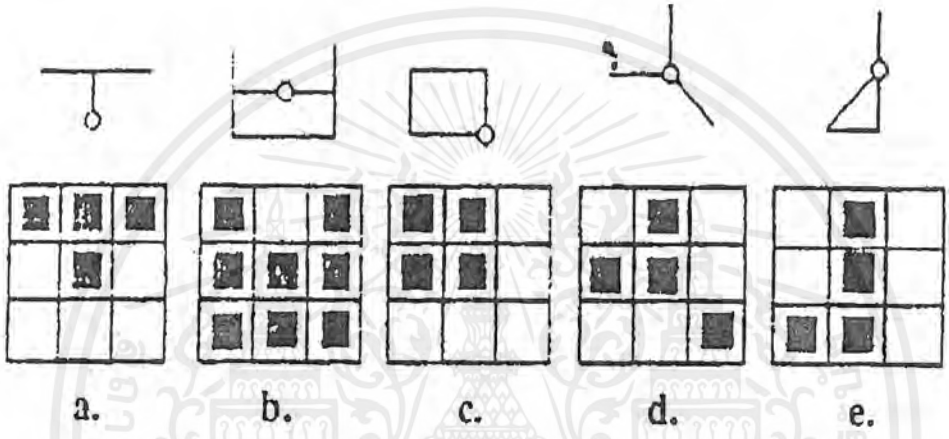
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d). และ e). เทมเพลท 3*3 ของจุดภาพที่มีค่า $Nc^4 = 2$ หรือ $Nc^8 = 2$ ตามลำดับ โดยในแต่ละกรณีเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มกรณีละ 1 กรณี รวมทั้งสิ้น 4 กรณี

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

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

ในทางปฏิบัติแล้ว ภาพดิจิตอลจะประกอบด้วย จุดภาพที่ถูกเชื่อมต่อทั้ง 2 ชนิด จึงไม่สามารถที่จะจำแนกความแตกต่างออกได้ทุกกรณี ซึ่งขอให้พิจารณาในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างจุดภาพที่ไม่สามารถจำแนกได้โดยค่า Nc^4 และ Nc^8

ค่าของ Nc^4 และ Nc^8 ของ x_0 ในรูปที่ 2.17 a)., 2.18 b).,2.18 c). คือค่าเดียวกัน กล่าวคือ เป็นการเชื่อมจุดต่อ แต่ค่าโทโปโลยีจริงของ x_0 ในรูปที่ 2.17 a)., 2.18 b)., 2.18 c). แตกต่างกัน คือรูปที่ 2.17 a). ค่าโทโปโลยีของจุดปลาย แต่ค่าโทโปโลยีของ x_0 ในรูปที่ 2.17 b). และ 2.18 c). คือ จุดเชื่อมต่อ

เมื่อพิจารณารูปที่ 2.17 b). , 2.18 e). นั้น ค่าของ Nc^4 และ Nc^8 คือ จุดต่อเชื่อม แต่ค่าโทโปโลยีจริงของ x_0 ทั้งสองต่างกัน ค่าโทโปโลยีจริงของ x_0ในรูปที่ 2.17 d). คือ จุดแยก แต่ค่าโทโปโลยีของ x_0 ในรูปที่ 2.17 e). คือ จุดเชื่อมต่อ

ในรูปที่ 2.17 d). เป็นตัวอย่างหนึ่งของค่าที่ถูกเชื่อมต่อแบบผสมผสาน (Mixed Connectivity) ซึ่งผสมเอาค่าที่ถูกเชื่อมต่อแบบ 4 และแบบ 8 ไว้ด้วยกัน ดังนั้นในเอกสารการวิจัยนี้จึงคิดสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ ขึ้นมาใหม่ 2 แบบ คือ

โดยที่ $S_2 = \{2,4,6,8\}$

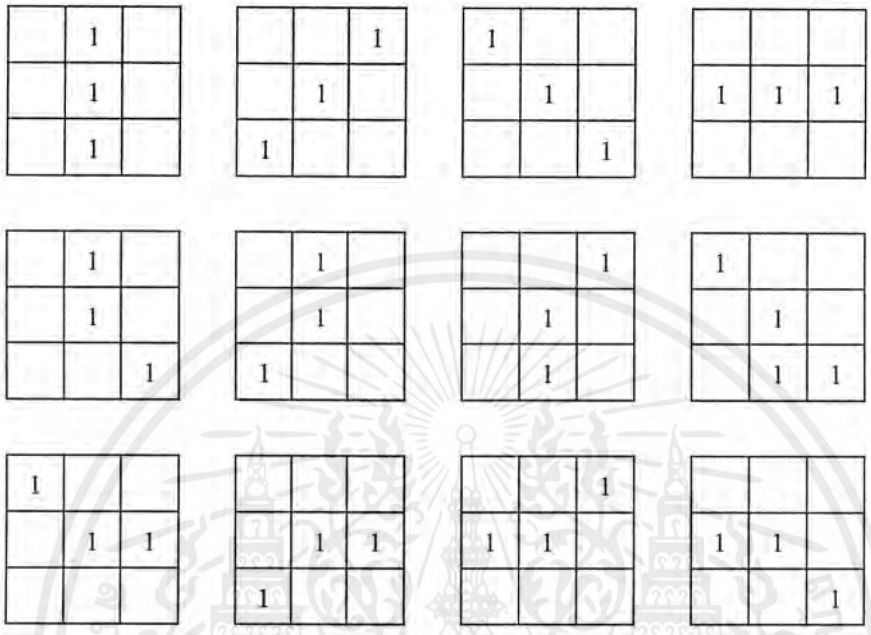
$$Nc^4 = \sum_{i \in s_2} (x_i - x_i x_{i+1} x_{i+2}) \qquad (2.13)$$

$$Nc^8 = \sum_{i \in s_2} (\bar{x}_i - \bar{x}_i \bar{x}_{i+1} \bar{x}_{i+2}) \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าโทโปโลยีของจุดภาพที่จะนำมาพิจารณาจะมีอยู่ด้วยกัน 2 จุด คือ จุดแยก และจุดเชื่อมต่อ ซึ่งจากผลการทดลองหลายๆครั้ง ถ้าเราสังเกตจะเห็นเทมเพลทของจุดต่างๆซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรแสดงการเชื่อมต่อแบบผสมผสาน (Mixed Connectivity) ระหว่าง Nc^4,Nc^8,$Nc^{'4}$,$Nc^{'8}$ ดังนี้

จากผลการทดลองหลายๆครั้ง เราสังเกตจะเห็นเทมเพลทของจุดเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 2.19



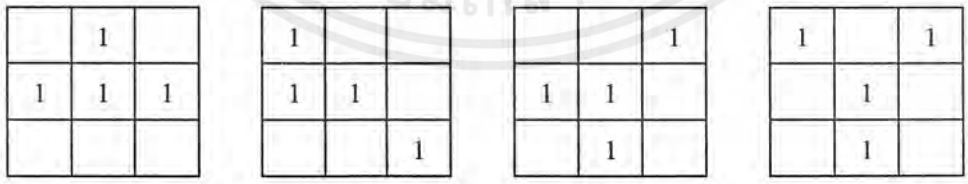
1 = สีดำ

รูปที่ 2.19 เทมเพลท 3*3 ที่แสดงถึงจุดเชื่อมต่อรวมทั้งสิ้น 12 กรณี

จากรูปที่ 2.19 สามารถนำมาเขียนเป็นสูตรได้ คือ

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

จากผลการทดลองหลายๆครั้ง ถ้าเราสังเกตจะเห็นเทมเพลทของจุดแยก ดังรูปที่ 2.20



4 case 4 case 4 case 4 case

1= สีดำ

รูปที่ 2.20 แสดงเทมเพลท 3*3 ที่แสดงถึงจุดเส้นกิ่งในแต่ละกรณีเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกาทีละ 90 องศา จะได้เพิ่มอย่างละ 4 กรณี รวมทั้งสิ้น 6 กรณี

จากรูปที่ 2.20 สามารถนำมาเขียนเป็นสูตรได้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การหาค่าดัชนีของจุดภาพที่พิจารณาอยู่ สามารถหาได้จาก ผลรวมของค่าน้ำหนักที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 2.21 โดยจะทำการพิจารณาในขณะที่ $x_0 = 1$

1	2	4
8	0	16
32	64	128

ค่าน้ำหนักในวินโดว์

a).

1		
	1	
		1

ค่าดัชนี = 0+1+128 = 129

b).

รูปที่ 2.21 a). เทมเพลทขนาดเมตริกซ์ 3*3 ที่มีค่าน้ำหนักต่างๆ ตามตำแหน่งของจุดรอบข้าง $x_0 = 1$
b). ตัวอย่างของการคำนวณหาค่าดัชนี

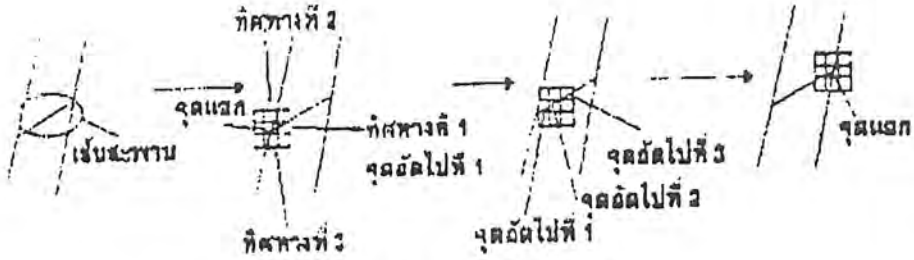
2.2.6.1 อัลกอลิธึมในการเดินตามลายเส้น

เส้นสะพานเป็นเส้นที่เชื่อมต่อเส้น 2 เส้น ที่อยู่ใกล้กัน ดังรูปที่ 2.22

รูปที่ 2.22 ลักษณะเส้นสะพาน a). ก่อนการแก้ไข b). หลังการแก้ไข

จากรูปที่ 2.22 เราจะสังเกตได้ว่า ที่จุด 1. และ 2. จะมีลักษณะเป็นจุดแยก ดังนั้นเราสามารถตัดเส้นสะพานโดยใช้วิธีติดตามลายเส้นโดยนับจำนวนจุดที่อยู่ระหว่างจุด 1 และ 2 ถ้ามีจำนวนน้อยกว่าจำนวนที่กำหนด ให้ลบเส้นสะพานนั้น โดยมีขั้นตอนในการติดตาม ลายเส้นอย่างคร่าวๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนในการติดตามลายเส้น

ในการติดตามลายเส้น เริ่มแรกเราจะสแกนหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามรูปที่ 2.23 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีเลข 1,2 และ 3 โดยค่าตัวเลขเหล่านี้จะแสดงถึงถึงทิศทางที่ใช้ในการติดตามลายเส้น โดยจะมีทั้งหมด 3 ทิศทาง กล่าวคือ ทิศทางที่ 1, ทิศทางที่ 2 และทิศทางที่ 3 จากนั้นจึงแยกพิจารณาทีละทิศทางโดยมีขั้นตอนในการติดตามลายเส้นสะพานอย่างคร่าวๆ ดังนี้

อัลกอลิธึมในการตัดเส้นสะพาน จะมีขั้นตอนแบ่งเป็น 3 รอบ ด้วยกันคือ

รอบที่ 1 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 1

1.1 หาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามรูปที่ 2.23 กำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 1 ของเทมเพลทเป็นค่าโคออร์ดิเนต x_0 ภายในวินโดว์ 3*3 ทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น (Line Following) ตามรูปที่ 2.24

1.2 ตั้งค่าจุดตัดไปให้เป็น x_0 ภายในวินโดว์ 3*3 เพื่อหาจุดถัดไป เพื่อทำการติดตามลายเส้นไปเรื่อยๆ

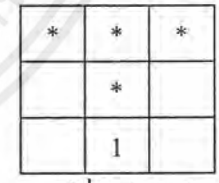
1.3 ทำตามขั้นตอนที่ 1.2 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบจุดแยก

1.4 หาผลต่างของจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2

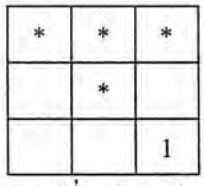
กรณีที่1 ค่าดัชนี 39

กรณีที่2 ค่าดัชนี 45

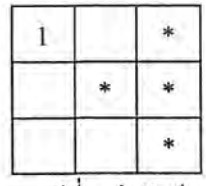
กรณีที่ 3 ค่าดัชนี 57



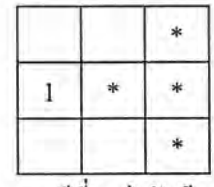
กรณีที่ 4 ค่าดัชนี 71



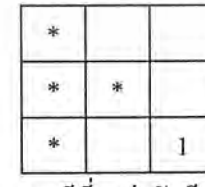
กรณีที่ 5 ค่าดัชนี 135



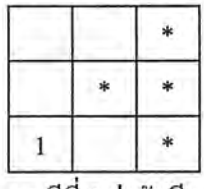
กรณีที่ 6 ค่าดัชนี 145



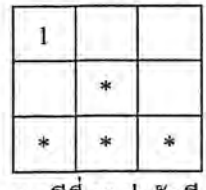
กรณีที่ 7 ค่าดัชนี 156



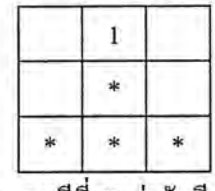
กรณีที่ 8 ค่าดัชนี 169



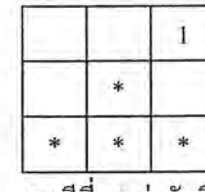
กรณีที่ 9 ค่าดัชนี 180



กรณีที่ 10 ค่าดัชนี 225

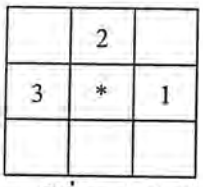


กรณีที่ 11 ค่าดัชนี 226

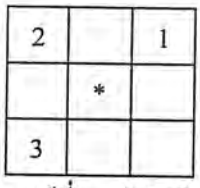


กรณีที่ 12 ค่าดัชนี 228

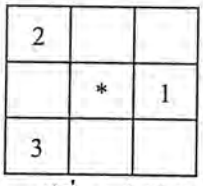
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



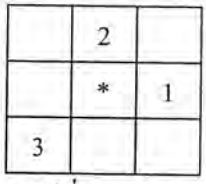
กรณีที่ 13 ค่าดัชนี 26



กรณีที่ 14 ค่าดัชนี 27

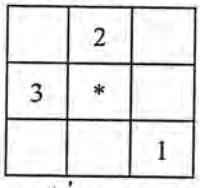


กรณีที่ 15 ค่าดัชนี 49

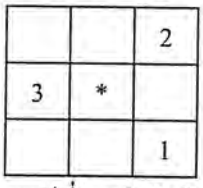


กรณีที่ 16 ค่าดัชนี 50

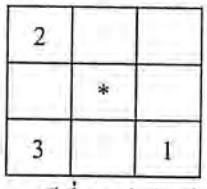
กรณีที่ 17 ค่าดัชนี 69



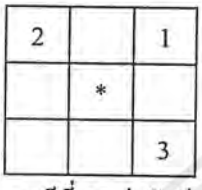
กรณีที่ 18 ค่าดัชนี 76



กรณีที่ 19 ค่าดัชนี 81



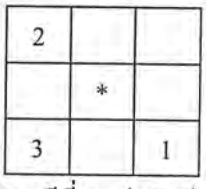
กรณีที่ 20 ค่าดัชนี 88



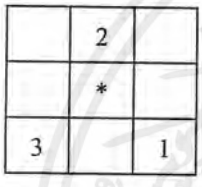
กรณีที่ 21 ค่าดัชนี 133

กรณีที่ 22 ค่าดัชนี 138

กรณีที่ 23 ค่าดัชนี 140



กรณีที่ 24 ค่าดัชนี 161



กรณีที่ 25 ค่าดัชนี 162

กรณีที่ 26 ค่าดัชนี 164

* = สีของวัตถุ

1 = ตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 1

2 = ตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 2

3 = ตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 3

รูปที่ 2.24 เทมเพลทจุดแยกที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดภาพที่จะเริ่มต้นติดตามลายเส้น

ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าจำนวนครั้งที่กำหนด ให้ทำการลบจุดภาพในตำแหน่งจุดแยกที่เริ่มต้นกับจุดแยกที่พบครั้งที่ 2 ถ้าผลต่างมีค่ามากกว่าจำนวนครั้งที่กำหนดไว้ ให้กลับไปเริ่มทำข้อที่ 1.1

1.5 ให้กระทำจนครบทุกจุดภาพในภาพ

รอบที่ 2 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 2

ทำตามข้อที่ 1.1-1.5 แต่เปลี่ยนข้อที่ 1.1 จากการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามรูปที่ 2.24 มาเป็นการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 13-26 ตามรูปที่ 2.24 และกำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 2 ของเทมเพลท เป็นค่า x_0 ภายในวินโดว์ 3*3 แล้วทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น ส่วนข้อที่ 1.2-1.5 นั้นคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 3 ทำการติดตามลายเส้นในทิศทางที่ 3

ทำตามข้อที่ 1.1-1.5 แต่เปลี่ยนข้อที่ 1.1 จากการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 1-26 ตามรูปที่ 2.24 มาเป็นการหาจุดแยกที่มีค่าดัชนีตามกรณีที่ 13-26 ตามรูปที่ 2.24 และกำหนดค่าโคออร์ดิเนตที่ตำแหน่งเลข 3 ของเทมเพลท เป็นค่า x_0 ภายในวินโดว์ 3*3 แล้วทำการหาตำแหน่งจุดถัดไปที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการติดตามลายเส้น ส่วนข้อที่ 1.2-1.5 นั้น คงเดิม

2.2.7 ขั้นตอนการกำหนดทิศทางของภาพ (Orientation Image)

การกำหนดทิศทางของภาพจะแสดงถึงลักษณะที่สำคัญของภาพลายนิ้วมือและการกำหนดค่าตำแหน่งที่คงที่สำหรับสันและร่องในบริเวณใกล้เคียง โดยการพิจารณารายละเอียดของทิศทางของภาพลายนิ้วมือ จากการทดลองได้ศึกษาถึงอัลกอลิธึมโดยใช้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดยกกำลังสองโดยประมาณของการกำหนดทิศทาง โดยให้ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้วเป็น G ขั้นตอนหลักของอัลกอลิธึมแสดงดังนี้

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

2. คำนวณค่าแกรเดียนท์ $\partial_x(i,j)$ และ $\partial_y(i,j)$ ของแต่ละพิเซล (i,j) ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการคำนวณ

3. ทำการประมาณการกำหนดทิศทางบริเวณใกล้เคียงของแต่ละศูนย์กลางของบล็อกที่พิเซล (i,j) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2\partial_x(u,v)\partial_y(u,v), \qquad (2.15)$$

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} (\partial_x{}^2(u,v) - \partial_y{}^2(u,v)), \qquad (2.16)$$

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{V_y(i,j)}{V_x(i,j)}\right), \qquad (2.17)$$

โดยที่ $\theta(i,j)$ เป็นค่ายกกำลังสองที่ต่ำที่สุดโดยประมาณของการกำหนดทิศทางใกล้เคียงของสันที่ศูนย์กลางของบล็อก ณ.ตำแหน่ง (i,j) ซึ่งแสดงถึงทิศทางและเป็นอัลกอลิธึมในการกำหนดทิศทางที่สำคัญของฟูเรียร์สเปกตรัมของบล็อค w x w

4. เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นกับลายนิ้วมือ ได้แก่ โครงสร้างของสันและร่องมีส่วนที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น, ลักษณะลายอื่นๆ ทำให้การประมาณทิศทางของสันบริเวณใกล้เคียง $\theta(i,j)$ ไม่ถูกต้องเสมอไป เนื่องจากการกำหนดทิศทางของสันบริเวณใกล้เคียงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆในบริเวณที่ใกล้เคียงโดยไม่มีจุดเด่นปรากฏขึ้น ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถที่จะใช้ในการปรับปรุงทิศทางที่ไม่ถูกต้องของสันบริเวณใกล้เคียงได้ ในการใช้ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านนั้น ภาพที่กำหนดทิศทางแล้วจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนกลับไปในรูปแบบของเวกเตอร์ที่ต่อเนื่อง ซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

$$\Phi_x(i,j) = \cos(2\theta(i,j)), \ and \qquad (2.18)$$

$$\Phi_y(i,j) = \sin(2\theta(i,j)), \qquad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ δ_x และ δ_y คือ ส่วนประกอบ x และ y

ของพื้นที่ที่แสดงเวกเตอร์ตามลำดับ โดยใช้ผลจากพื้นที่ของเวกเตอร์ ฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Phi_x'(i,j) = \sum_{u=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} \sum_{v=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} W(u,v)\Phi_x(i-uw, j-vw) \qquad (2.20)$$

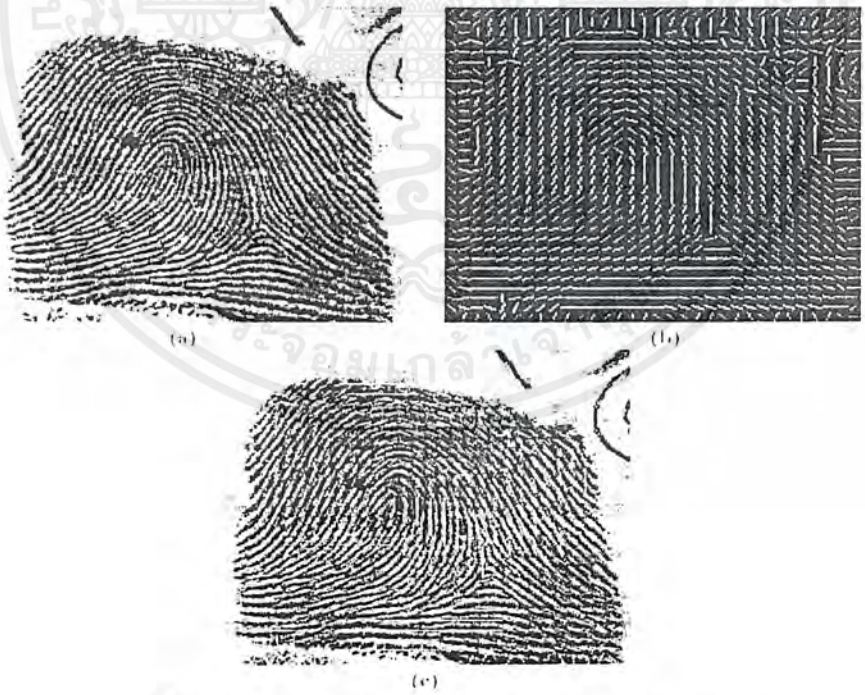
$$\Phi_y'(i,j) = \sum_{u=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} \sum_{v=-w_\Phi/2}^{w_\Phi/2} W(u,v)\Phi_y(i-uw, j-vw) \qquad (2.21)$$

โดยที่ W คือฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่านแบบ 2 มิติโดยจำนวนเต็มและ $\omega_\Phi \times \omega_\Phi$ คือขนาดของฟิลเตอร์ เพื่อให้การใช้งานทำให้ภาพออกมาเรียบที่สุด ขนาดของฟิลเตอร์ที่ใช้ควรจะเป็น 5 x 5

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

$$O(i,j) = \frac{1}{2}\tan\left(\frac{\Phi'_y(i,j)}{\Phi'_x(i,j)}\right) \qquad (2.22)$$

จากอัลกอลิธึมนี้ ทำให้การประมาณค่าของพื้นที่ที่มีการกำหนดทิศทางทำได้ดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 2.25 เป็นตัวอย่างของภาพที่ผ่านการหาทิศทางโดยใช้อัลกอลิธึมนี้



รูปที่ 2.25 แสดงภาพของลายนิ้วมือที่ผ่านการหาทิศทางของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ

ขั้นตอนนี้ เป็นการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากลายนิ้วมือที่สแกนเข้ามาแต่ละครั้งนั้นจะมีตำแหน่งที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้ต้องผ่านขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือภาพนั้นๆเสียก่อนเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนภาพเพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าลายนิ้วมือแต่ละรูปนั้นเป็นลายเดียวกันหรือไม่

ซึ่งในขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือนั้น ได้พิจารณารูปโครงสร้างของลายนิ้วมือที่ผ่านขั้นตอนการทำทินนิ่งแล้ว โดยพิจารณาค่าในเมตริกซ์ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.2.8.1 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ (Center Point)

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

1.ทำการประมาณพื้นที่ในการกำหนดทิศทาง O โดยใช้อัลกอลิธึมการประมาณค่าการกำหนดทิศทางโดยใช้พื้นที่สี่เหลี่ยมที่มีค่าน้อยที่สุด พื้นที่ที่ใช้ในการกำหนดทิศทาง O ถูกกำหนดเป็นภาพขนาด N x N โดยที่ O(i,j) คือการกำหนดทิศทางสันของภาพในบริเวณใกล้เคียงที่ตำแหน่ง ของพิเซล(i,j) โดยภาพจะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกที่มีขนาด w x w โดยไม่มีการซ้อนทับกันและเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละหน้าต่าง

2.ทำให้พื้นที่ที่มีการกำหนดทิศทางในบริเวณใกล้เคียงนั้นมีความเรียบมากขึ้นโดยแสดงค่าได้เป็น O'

3.กำหนดค่าเริ่มต้น A เป็นภาพที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งจุดคอร์ของภาพ

4.สำหรับแต่ละพิเซล (i,j) ใน O' คำนวณค่าดัชนีของจุดที่เราสนใจ (Point Care)และกำหนดให้ตำแหน่งพิเซลที่เหมือนกันใน A มีค่าเป็น 1 ถ้าดัชนีของจุดที่สนใจทีค่าเป็น ½ ดัชนีของจุดที่เราสนใจ ณ. พิเซล (i,j) ประกอบไปด้วยเส้นโค้งดิจิตอลซึ่งทำการคำนวณค่าได้ดังนี้

โดยที่ $\Psi_x(.)$ และ $\Psi_y(.)$ คือ โคออร์ดิเนต x และ y ของเส้นโค้งดิจิตอลแบบปิดด้วย N_Ψ พิเซล

$$Point care'(i,j) = \frac{1}{2\pi}\sum_{k=0}^{N_\Psi}\Delta(k), \tag{2.23}$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \delta(k), & if\ |\delta(k)| < \frac{\pi}{2} \\ \pi+\delta(k), & if\ \delta(k) \le -\frac{\pi}{2} \\ \pi-\delta(k), & otherwise, \end{cases} \tag{2.24}$$

$$\delta(k) = O'(\Psi_x(i'),\Psi_y(i') - O'(\Psi_x(i),\Psi_y(i) \tag{2.25}$$

$$i' = (i+1) \bmod N_\Psi \tag{2.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

6.ถ้าพบจุดคอร์มากกว่า 2 จุด ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

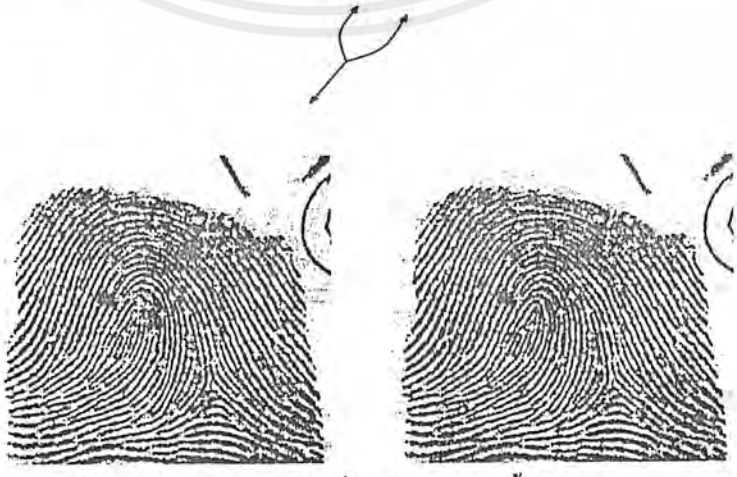
7.ถ้ามีจุดคอร์มากกว่า 2 จุด จุดศูนย์กลางจะกำหนดให้เป็นตำแหน่งของจุดคอร์ที่มีค่า x ต่ำกว่า (คอร์ที่อยู่ด้านบน) ถ้ามีจุดคอร์แค่จุดเดียว จุดศูนย์กลางก็จะกำหนดเป็นตำแหน่งของจุดคอร์จุดนั้นถ้าไม่มีจุดคอร์ถูกค้นพบ ทำการคำนวณเมตริกซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยกันของพื้นที่เวกเตอร์ในบริเวณใกล้เคียง (q x q) ณ. แต่ละจุดในพื้นที่ที่มีการกำหนดทิศทาง กำหนดรูปแบบของภาพเป็น F ด้วยค่าที่มากที่สุดของเมตริกซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยกันสำหรับแต่ละพิเซลในภาพที่ทำการกำหนดทิศทาง จุดคอร์ที่ถูกค้นพบ ณ. จุดศูนย์กลางขององค์ประกอบที่ต่อถึงกันที่ใหญ่ที่สุดของภาพที่มีการจัดระดับเทรสโฮลด์ (Thresholded) ของ F และจุดศูนย์กลางจะถูกกำหนดเป็นตำแหน่งของจุดคอร์

2.2.9 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ (Minutiaes)

คุณลักษณะหรือลักษณะเด่นซึ่งถูกใช้สำหรับการพิสูจน์ลายนิ้วมือ เรียกว่า "ลักษณะโดดเด่น" ของลายนิ้วมือ (Minutiae) ซึ่งลักษณะโดดเด่นดังกล่าวนี้มีอยู่หลายรูปแบบ ที่พบเห็นโดยส่วนมากได้แก่ End , Bifurcation , Island , Lake และ Dot นอกจากนี้ ยังมีลายอื่นๆที่พบเห็นได้ไม่บ่อยนัก ได้แก่ Back , Bridge , Diagonal , X หรือ Trifurcation , Hook , Break , Diversion , Delta หรือ Double bifurcation แต่สำหรับลายที่เราจะให้ความสำคัญนั้น มีอยู่ 2 ลายเท่านั้น คือ Bifurcation ทั้งนี้ก็เพราะว่าเป็นลายที่พบเห็นได้บ่อยมากที่สุดและตำแหน่งของการเกิดลายนิ้วมือที่สำคัญของแต่ละบุคคลนั้นแน่นอนว่าจะไม่เกิดที่ตำแหน่งเดียวกัน จึงได้ทำการหาตำแหน่งของลายที่สำคัญนี้เพื่อนำไปทำการอ้างอิงในการจำแนกลายนิ้วมือต่อไป ซึ่งหลักการในการหาลักษณะเด่น ในที่นี้หมายถึงทางแยกนั้นใช้หลักการเดียวกับการต่อเส้นของลายนิ้วมือดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.2.6 นั่นก็คือ

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

โดยลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่พบเห็นแสดงได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะเด่นที่สำคัญของลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10 ขั้นตอนการตรวจสอบลายนิ้วมือ

เมื่อทำการหาลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือและจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือได้แล้ว ต่อไปก็เป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้เป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการอ้างอิง และทำการตรวจสอบลายนิ้วมือออกมาว่า ลายนิ้วมือที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์นั้นเป็นของบุคคลใด โดยใช้จุดศูนย์กลางที่ได้เป็นจุดอ้างอิงภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบลักษณะโดดเด่นของภาพแต่ละภาพที่หาได้ว่าตรงกับฐานข้อมูลซึ่งเป็นภาพลายนิ้วมือของบุคคลใด โดยมีหลักการในการตรวจสอบดังนี้ คือ

2.2.10.1 การตรวจสอบแบบยืดหยุ่น

การตรวจสอบข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบกับฐานข้อมูลนั้น ทำได้โดยการจับคู่กลุ่มของลักษณะโดดเด่นที่หาไว้แล้ว แต่ละลักษณะเด่นของลายนิ้วมือจะถูกตรวจสอบกับฐานข้อมูลซึ่งมี 3 ขั้นตอนในการที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูล นั่นคือ การลงทะเบียน การจับคู่ลักษณะโดดเด่น และการตรวจสอบคะแนนที่ได้ทำการคำนวณเอาไว้ ซึ่งทั้ง 3 ขั้นตอน จะมีรายละเอียดดังนี้

(1) การลงทะเบียน

เพื่อที่จะทำการตรวจสอบกลุ่มของจุด 2 จุดกับทิศทาง , สเกล และการเปลี่ยนแปลงซึ่งยังไม่ทราบค่า กลุ่มจุด 2 จุดนั้นจะต้องถูกทำการลงทะเบียนก่อนเป็นขั้นตอนแรก ทิศทาง , สเกล และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรจะถูกประมาณค่าขึ้นโดยการใช้รูปแบบโดยทั่วไปของเฮาส์ทรานฟอร์ม (Hough Transform)

อินพุทที่จะใช้ในอัลกอลิธึมของการลงทะเบียนนั้นประกอบด้วยกลุ่มของจุดลักษณะโดดเด่นที่สำคัญ 2 กลุ่มด้วยกัน นั่นก็คือ P และ Q ซึ่งได้มาจากภาพลายนิ้วมือ โดยมีสมการที่ใช้ดังนี้ คือ

$$P = \{(p_x^{\,1}, p_y^{\,1}, \alpha^1), \ldots, (p_x^{\,P}, p_y^{\,P}, \alpha^P)\},$$
$$Q = \{(q_x^{\,1}, q_y^{\,1}, \beta^1), \ldots, (q_x^{\,Q}, q_y^{\,Q}, \beta^Q)\}, \qquad (2.27)$$

โดยที่ $|P| = P$, $|Q| = Q$ และ $\{(p_x^{\,i}, p_{y,}^{\,i} \alpha^i)$ คือ รายละเอียด 3 อย่าง (ตำแหน่งที่บอกถึงระยะทาง , การกำหนดทิศทาง) ที่สัมพันธ์กันกับลักษณะเด่นที่ i^{th} ในกลุ่ม P ซึ่งเรากำหนดให้ภาพลายนิ้วมือภาพที่ 2 สามารถแสดงได้ในลักษณะของการเปลี่ยนรูป (การหมุน , สเกล และการเปลี่ยนแปลง) ไปยังภาพแรก กลุ่มของจุดที่ 2 นั่นคือ Q จะถูกหมุน , ถูกกำหนดระยะทางและถูกเปลี่ยนค่าจากกลุ่ม P โดยที่จุดอาจจะถูกเลื่อนค่าโดยสัญญาณรบกวนแบบอิสระ บางจุดอาจจะถูกเพิ่มและบางจุดอาจจะถูกลบออกไป รูปที่ 2.27 แสดงถึงภาพที่แตกต่างกัน 2 ภาพซึ่งมาจากลายนิ้วมือเดียวกันและกลุ่มลักษณะเด่นที่ได้ปรากฏอยู่ในแต่ละภาพ สิ่งที่ยากสำหรับการลงทะเบียนก็คือ การที่จะกู้การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ทราบมาก่อนนี้กลับคืนมา ขณะที่ยังไม่ทราบว่าทั้งสองภาพนั้นเป็นภาพเดียวกันหรือไม่ (นั่นคือ ภาพนั้นมาจากลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่) เราต้องพยายามหาการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อมีการใช้การเปลี่ยนรูปเป็นจุดลักษณะเด่นที่สำคัญของกลุ่ม P ซึ่งเหมือนกับกลุ่มเหล่านี้ ที่อาจจะมีการซ้อนทับกันกับจุดลักษณะเด่นจากกลุ่ม Q จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 จุดที่ซ้อนทับกันถูกพิจารณาว่าตรงกันถ้ามีทิศทางเดียวกัน ซึ่งอาจจะมีจุดเด่นในแต่ละกลุ่มซึ่งไม่ตรงกันกับจุดในกลุ่มอื่นๆ

โดยปกติแล้ว เฮาส์ทรานสฟอร์มสำหรับทิศทางของเส้นสามารถครอบคลุมไปถึงจุดที่จะทำการตรวจสอบได้ การแยกกลุ่มที่ยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงและสำหรับแต่ละการเปลี่ยนแปลงนั้น คะแนนสำหรับการตรวจสอบจะถูกคำนวณขึ้น โดยที่การเปลี่ยนแปลงของคะแนนสูงสุดจะถือเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ $F_s,\theta,\Delta x, \Delta y : R^2 \rightarrow R^2$ ได้ดังนี้

$$F_s,\theta,\Delta x,\Delta y\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix} = s\begin{pmatrix}\cos\theta & \sin\theta\\ -\sin\theta & \cos\theta\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x\\y\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\Delta x\\ \Delta y\end{pmatrix}, \qquad (2.28)$$

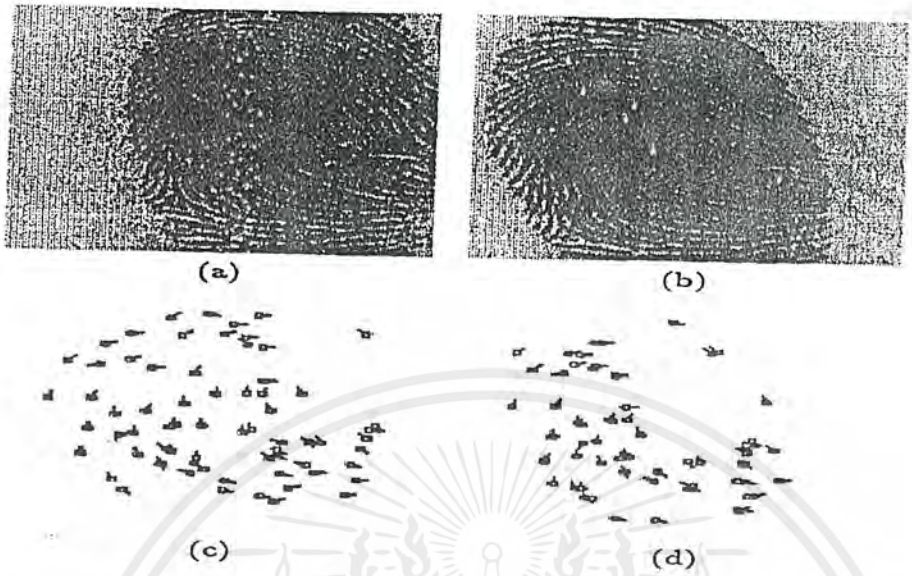
โดยที่ s , θ, และ (Δx, Δy) คือระยะทาง , การหมุน และการเลื่อนของตัวแปรตามลำดับ ที่ว่างของการเปลี่ยนรูปซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ (s,θ,Δx, Δy) โดยที่แต่ละตัวแปรจะถูกแยกไปเป็นกลุ่มที่มีค่าที่จำกัด : $s \in \{s_1,\ldots,s_K\}, \theta \in \{\theta_1,\ldots,\theta_L\}, \Delta x \in \{\Delta x_1,\ldots,\Delta x_M\}$, และ $\Delta y \in \{\Delta y_1,\ldots,\Delta y_N\}$

คะแนนที่เกิดจากการตรวจสอบสำหรับการเปลี่ยนรูปจะถูกสะสมในรูปของอาร์เรย์ *A* โดยที่ *A (k,l,m,n)* จะถูกนับอย่างชัดเจนสำหรับการเปลี่ยนรูป $Fs_k,\theta_l, \Delta x_m, \Delta y_n$ อาร์เรย์ *A* จะถูกใส่ค่าดังนี้ คือ สำหรับแต่ละคู่ (p,q) โดยที่ $p = (p_x^i,p_y^i)$ คือจุดในกลุ่ม *P* และ $q = (q_x^j,q_y^j)$ คือ จุดในกลุ่ม *Q* ซึ่งสามารถที่จะหาการเปลี่ยนรูปที่เป็นไปได้จาก p ไปยัง q และการเพิ่มขึ้นของหลักฐานสำหรับการเปลี่ยนรูปในอาร์เรย์ *A* (ดูรูปที่ 2.28) สำหรับทุกๆคู่ของค่า (s_k, θ_l) ซึ่งเป็นการเลื่อนของเวกเตอร์ $(\Delta x, \Delta y)^t$ ซึ่ง $Fs_k,\theta_l, \Delta x_m, \Delta y_n$ (p) = q และหาได้จาก

$$\begin{pmatrix}\Delta x\\ \Delta y\end{pmatrix} = q - s_k\begin{pmatrix}\cos\theta_l & \sin\theta_l\\ -\sin\theta_l & \cos\theta_l\end{pmatrix}p \qquad (2.29)$$

ค่า Δx และ Δy จำเป็นต้องถูกทำการควอนไตซ์ไปยังค่าที่ใกล้เคียงที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับ Δx_m และ Δy_n ซึ่งเป็นเรื่องธรรมดาสำหรับการเปลี่ยนรูปแบบเฮาส์ทรานสฟอร์มเพื่อที่จะคำนวณการลงคะแนนเสียงซึ่งไม่เฉพาะรูปแบบที่ถูกต้อง *A(k,lm,n)* เท่านั้นแต่ยังรวมไปถึงบริเวณที่ใกล้เคียงที่สุดด้วย ผลของการนำเอาอัลกอลิธึมการลงทะเบียนไปใช้งานโดยกลุ่มของลักษณะเด่นของรูปที่ 2.27 (c). ถูกแสดงในรูปที่ 2.27 (d). ในรายละเอียดข้างบน เราจะไม่สนใจทิศทางของจุดที่เป็นลักษณะเด่น ซึ่งสามารถที่จะแยกกันได้โดยการตรวจสอบถ้าทิศทางของ p, เมื่อถูกหมุนโดย θ_l องศา , คือทิศทางเดียวกันกับ q อัลกอลิธึมที่สมบูรณ์แสดงในรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ภาพ 2 ภาพที่มาจากลายนิ้วมือเดียวกันและมีการวางทับกันของกลุ่มจุดที่เป็นลักษณะเด่น

a). ภาพแรก b). ภาพที่สอง

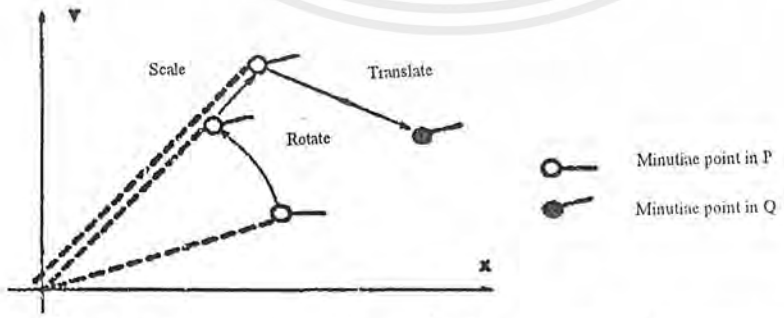
c). การวางทับกันของจุดที่เป็นลักษณะเด่นก่อนการลงทะเบียน

d).การวางทับกันของจุดที่เป็นลักษณะเด่นหลังการลงทะเบียน

(2) คู่ของลักษณะเด่นที่สำคัญ

หลังจากการลงทะเบียนกลุ่มของจุด 2 จุดแล้ว ลักษณะเด่นจะต้องถูกจับคู่ 2 ลักษณะเด่นนี้หมายถึง การจับคู่หรือการตรวจสอบถ้าส่วนประกอบหรือรายละเอียด (x,y,θ) เท่ากันหลังจากการลงทะเบียน ผลจาก 3 สถานการณ์นี้แสดงในรูปที่ 2.30

1.ลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลตรงกับลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่สอบถามในทุกๆองค์ประกอบ (การจับคู่ลักษณะเด่น)



รูปที่ 2.28 การใช้งานของการเปลี่ยนรูปที่เหมือนกันไปยังจุดที่เป็นลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEDURE Hough

A(k,l,m,n) :=0, k=1,…,K; l=1,…,L; m=1,…,M; n=1,…,N

FOR $(p_x,p_y,\alpha) \in P$ DO

FOR $(q_x,q_y,\beta) \in Q$ DO

FOR $\theta \in \{\theta_1,\ldots,\theta_L\}$ DO

IF $\alpha + \theta = \beta$ THEN

FOR $s \in \{s_1,\ldots,s_L\}$ DO

$$\begin{pmatrix}\Delta x\\ \Delta y\end{pmatrix} := \begin{pmatrix}q_x\\ q_y\end{pmatrix} - s_k \begin{pmatrix}\cos\theta_l & \sin\theta_l\\ -\sin\theta_l & \cos\theta_l\end{pmatrix}\begin{pmatrix}p_x\\ p_y\end{pmatrix}$$

Add evidence for $Fs_k,\theta_l,\Delta x,\Delta y$

END FOR

END IF

END FOR

END FOR

END FOR

Result := $\arg\max_{k,l,m,n} A(k,l,m,n)$

END PROCEDUR

รูปที่ 2.29 อัลกอลิธึมของการลงทะเบียน

2.ลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลตรงกับลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่สอบถามในโคออร์ดิเนต x และ y แต่ไม่ตรงกันในทิศทาง (ลักษณะเด่นไม่ตรงกับมุม)

3.ไม่มีลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลตรงกับลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่สอบถาม (ลักษณะเด่นไม่ตรงกัน)

จากรายละเอียดทั้ง 3 ข้างบน ลักษณะเด่นหมายถึงเฉพาะการจับคู่ในกรณีแรก

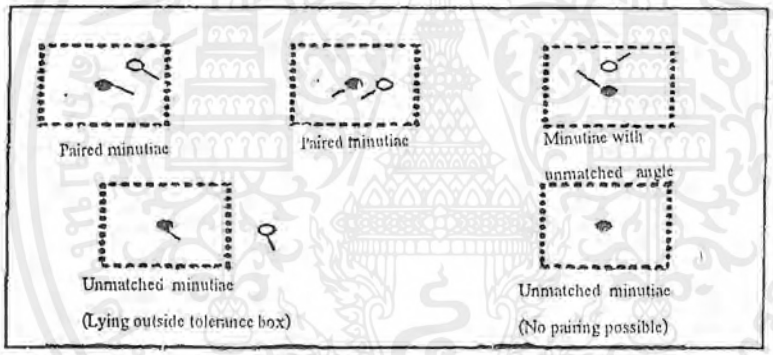
(3) อัลกอลิธึมของการจับคู่

รายละเอียดต่อไปนี้ถูกใช้ในการอธิบายอัลกอลิธึมการจับคู่แบบลำดับและแบบขนานที่จะอธิบายต่อไปนี้ โดยให้ ลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบถูกแสดงเป็นกลุ่มจุดที่เป็นลักษณะเด่น n_q $f^q = (f^q_1, f^q_2,\ldots,fn^q_q)$ และแต่ละองค์ประกอบ n_q เป็นรายละเอียดของเวกเตอร์ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ , $f^q_i = (f^q_i(x), f^q_i(y), f^q_i(\theta))$ องค์ประกอบของรายละเอียดของเวกเตอร์แสดงในรูปที่ 2.31 โดยให้ r^{th} อ้างอิงถึง (ฐานข้อมูล) ภาพลายนิ้วมือที่ถูกแสดงเป็นกลุ่มของจุดที่เป็นลักษณะเด่นที่สำคัญ n_r $f^r = (f^r_1,f^r_2,\ldots,fn^r_r)$

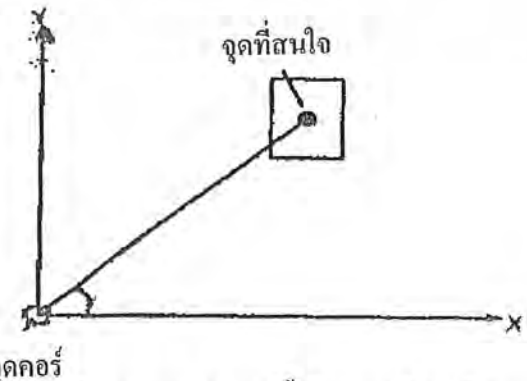
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยให้ (x^{t}_{q},y^{t}_{q}) และ (x^{b}_{q},y^{b}_{q}) แสดงถึงกล่องที่มีขอบเขตสำหรับลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ โดยที่ x^{t}_{q} คือ ตำแหน่งโคออร์ดิเนต x ของมุมซ้ายด้านบนของกล่อง และ x^{b}_{q} คือ ตำแหน่งโคออร์ดิเนต x ของมุมซ้ายด้านล่างของกล่อง ความยาวของ y^{t}_{q} และ y^{b}_{q} ถูกกำหนดไว้ในลักษณะเดียวกันกัน โดยมีรูปแบบที่เหมือนกล่องที่มีขอบเขตนี้คือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เล็กที่สุดซึ่งครอบคลุมจุดที่เป็นรายละเอียดทั้งหมด

อัลกอลิธึมการจับคู่นี้ อยู่บนพื้นฐานของการหาจำนวนของลักษณะเด่นที่ถูกจับคู่ระหว่างแต่ละลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลและลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ กล่องที่มีลักษณะกว้างนี้แสดงในรูปที่ 2.31 เพื่อที่จะลดจำนวนของการคำนวณ อัลกอลิธึมของการจับคู่นำไปสู่คำอธิบายเฉพาะลักษณะเด่นของลายนิ้วมือซึ่งอยู่ในกล่องที่มีขอบเขตสำหรับการตรวจสอบและการอ้างถึง (ฐานข้อมูล) ของลายนิ้วมือหนึ่งในจำนวนของของการจับคู่ลักษณะเด่นที่ได้มานั้น คะแนนของการจับคู่จะถูกคำนวณขึ้น ซึ่งคะแนนของการจับคู่จะถูกคำนวณขึ้นสำหรับการตัดสินใจองศาของการจับคู่ตรวจสอบ อันดับสุดท้ายกลุ่มของคะแนนที่เป็นหนึ่งในสิบนั้นอ้างถึงลายนิ้วมือที่ได้รับซึ่งเป็นผลของการจับคู่ตรวจสอบ โดยที่ลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ f^{t} อาจจะขึ้นอยู่กับฐานข้อมูลของลายนิ้วมือ f^{D} หรือไม่ก็ได้



รูปที่ 2.30 ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในการตรวจสอบลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือ



รูปที่ 2.31 อัลกอลิธึมของการจับคู่ลายนิ้วมือแบบเป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะให้เหมาะกับการเลื่อนในรายละเอียดของลักษณะเด่น กล่องที่มีลักษณะกว้างนี้จะถูกสร้างขึ้นรอบๆแต่ละลักษณะที่สำคัญ (ดูในรูปที่ 2.30) ขนาดของกล่องจะขึ้นอยู่กับความกว้างของสันและระยะทางจากจุดคอร์ในลายนิ้วมือ อัลกอลิธึมการจับคู่แบบลำดับนี้ได้ถูกอธิบายในรูปที่ 2.31 ซึ่งขึ้นอยู่กับความแน่นอนในการจับคู่ที่ต้องการมากกว่าลายนิ้วมือที่จะถูกใช้ในการจับคู่ ในกรณีนี้กะแนนที่ประกอบกันขึ้นจะถูกคำนวณสำหรับแต่ละกลุ่มของลายนิ้วมือสำหรับแต่ละบุคคล

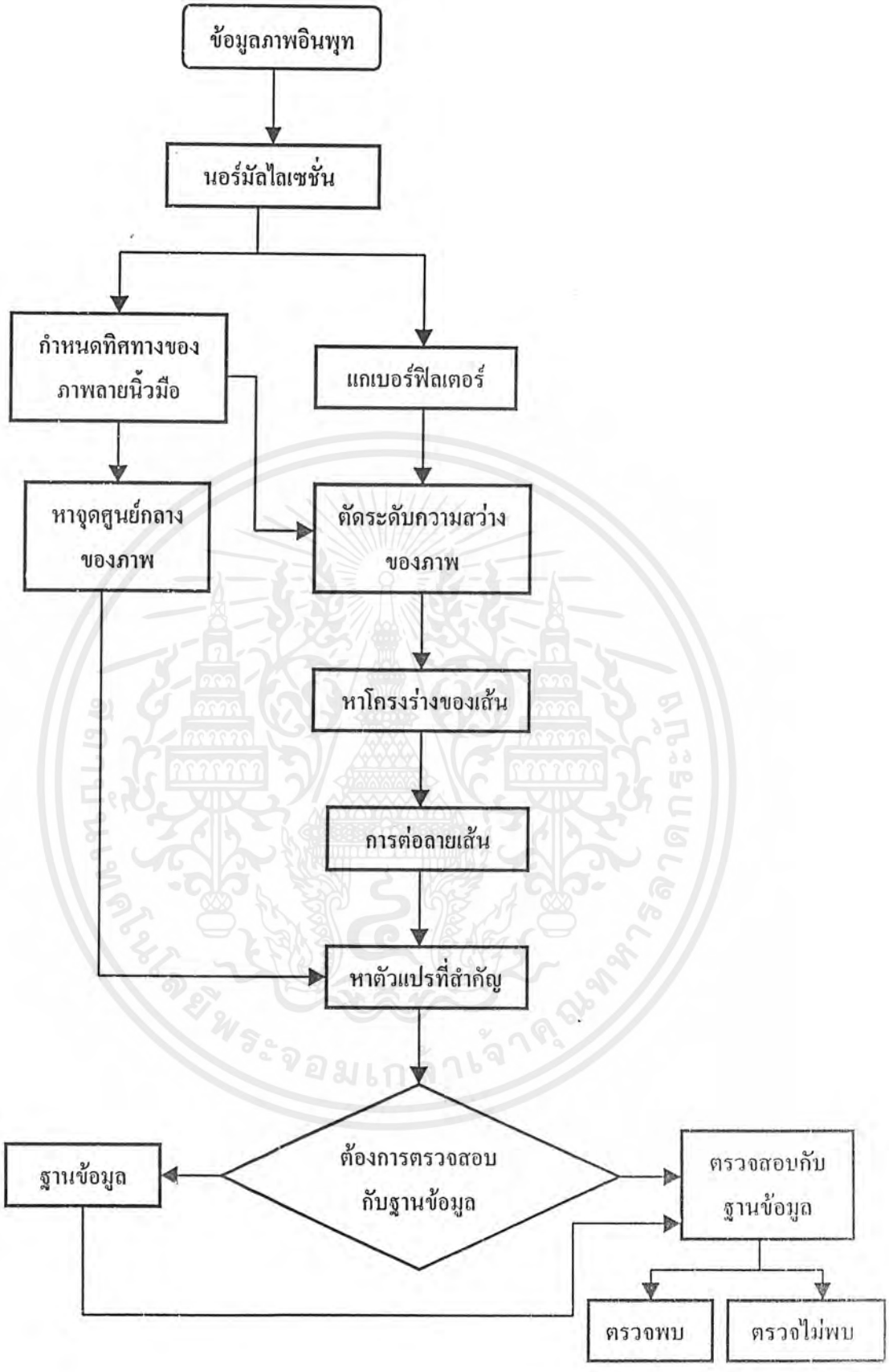
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมของโครงงานนี้ จะเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้ทำการสแกนภาพลายนิ้วมือโดยการกดนิ้วมือลงบนแป้นหมึกแล้วกดนิ้วมือลงบนกระดาษ จากนั้นทำการสแกนภาพลายนิ้วมือที่ได้ด้วยสแกนเนอร์ ซึ่งในการสแกนภาพลายนิ้วมือแต่ละครั้งนั้น ต้องมีการควบคุมแรงที่ใช้กดนิ้วลงบนแป้นหมึกและแรงกดบนกระดาษก่อนที่จำทำการสแกนด้วยสแกนเนอร์ ซึ่งต้องมีการทดลองพิมพ์ภาพลายนิ้วมือด้วยหมึกลงบนกระดาษหลายๆครั้ง เพื่อเลือกลายนิ้วมือที่มีความคมชัดและมีความพอดีของปริมาณน้ำหมึกมากที่สุด เหตุผลที่ต้องมีการควบคุมขนาดของแรงกดของนิ้วมือที่กดลงบนแป้นพิมพ์ก็เพราะว่า ถ้าออกแรงกดนิ้วมือลงบนแป้นพิมพ์มากเกินไป ก็จะทำให้มีปริมาณน้ำหมึกในภาพมากเกินไปซึ่งส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในภาพและความคมชัดของภาพระหว่างสันและร่องของลายนั้นมีค่าแตกต่างกันน้อย สิ่งที่ตามมาก็คือภาพลายนิ้วมือที่ได้จะแตกต่างจากความเป็นจริง สำหรับความละเอียดของสแกนเนอร์ที่ใช้นั้น กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 600 dpi และกำหนดคุณภาพของสแกนเนอร์เป็น "High Quality" ทุกครั้งที่ทำการสแกนแล้วเก็บภาพเป็นไฟล์นามสกุล .BMP จากนั้นเก็บไฟล์ไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับตรวจสอบ เมื่อทำการเก็บไฟล์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมนี้ก็จะทำการเก็บข้อมูลต่างๆของแต่ละภาพลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลเอาไว้ตามขั้นตอนต่างๆที่เขียนไว้ในโปรแกรมการทำงาน ซึ่งประกอบด้วย การนอร์มัลไลเซชั่นภาพลายนิ้วมือเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป จากนั้นผ่านภาพที่ทำการนอร์มัลไลเซชั่นแล้วแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ทำการกำหนดทิศทางของภาพโดยแบ่งพิจารณาภาพทีละบล็อกซึ่งมีขนาด 8 x 8 พิเซล เมื่อทำการกำหนดทิศทางของภาพเรียบร้อยแล้วก็ทำการหาจุดศูนย์กลางของภาพเพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการตรวจสอบลายนิ้วมือในขั้นตอนสุดท้าย ส่วนที่ 2 เริ่มจาก ทำการกรองสัญญาณภาพผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ซึ่งทำให้ภาพมีความคมชัดของสันและร่องมากขึ้น จากนั้นผ่านภาพที่ได้ไปยังขั้นตอนการตัดระดับความสว่างของภาพเพื่อปรับภาพที่มีระดับความสว่างจากระดับสีเทาเป็นภาพไบนารี่โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการกำหนดทิศทางของภาพมาช่วยในการหาระดับเทรสโฮลด์ แล้วทำการหาโครงร่างของภาพโดยการทำทินนิ่ง จากนั้นทำการต่อลายเส้นของภาพที่ขาดหายไปและกำจัดลายเส้นที่ไม่ต้องการออกไป ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาตัวแปรที่สำคัญที่จะใช้ในการเปรียบเทียบฐานข้อมูลและภาพอินพุทซึ่งใช้ข้อมูลที่ได้จากการหาจุดศูนย์กลางของภาพมาพิจารณาและตำแหน่งของลักษณะโดดเด่นของลายมาประกอบกัน เมื่อได้ตัวแปรต่างๆที่ต้องการครบถ้วนแล้ว ก็ทำการเก็บภาพที่ได้เป็นฐานข้อมูล เมื่อต้องการที่จะตรวจสอบลายนิ้วมือ ก็ทำการสแกนภาพลายนิ้วมือของผู้ที่ต้องการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง แล้วทำการหารายละเอียดของแต่ละอินพุทเพื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ แล้วทำการตรวจสอบลายนิ้วมือว่าเป็นของบุคคลใดต่อไป ซึ่งบล็อกไดอะแกรมโดยรวมของการทำงานของโปรแกรมดังกล่าวแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กระบวนการจัดการขั้นต้นโดยการทำนอร์มัลไลเซชั่น

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นตัวการทำให้ภาพมีความไม่เรียบ เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากของสัญญาณแสดงความสว่าง จะทำให้สัญญาณภาพที่ผ่านขบวนการต่อไปมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน และมีสภาพเป็นจุดด่างเป็นจำนวนมาก ซึ่งท้ายที่สุดจะก่อให้เกิดจุดปลายเส้นและจุดแยกเพิ่มขึ้น โดยที่ความจริงไม่มีจุดเหล่านั้นปรากฏอยู่

วิธีการของขบวนการนี้ ได้ปรับปรุงจากวิธีการผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ โดยปรับปรุงให้สมการมีรูปร่างที่ง่ายขึ้นดังนี้

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

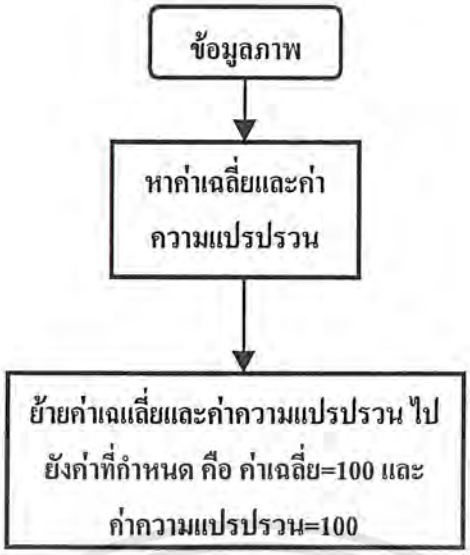
สมการข้างต้นสามารถแสดงเป็นรูปแบบ 3*3 พิเซล สำหรับการกรองความถี่ต่ำผ่านได้ซึ่งมีรูปแบบสำหรับการกรองความถี่ต่ำผ่านดังนี้คือ

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

รูปที่ 3.2 รูปแบบพิเซล 3*3 สำหรับการกรองความถี่ต่ำ

เมื่อทำการกรองความถี่ต่ำด้วยวิธีการดังกล่าวแล้ว ซึ่งผลที่ได้ทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนเลขฐานสอง(Binary noise) ออกไปได้ ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้จะปรากฏเป็นจุดขาวกระจายทั่วไปในภาพ เนื่องจากในภาพแบบดิจิตอลซึ่งข้อมูลของภาพคือค่าสีในแต่ละตำแหน่งของภาพ ในบริเวณที่เป็นของภาพก็คือ ในบริเวณที่ค่าสีของภาพเปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่ง เมื่อได้ข้อมูลของภาพที่ผ่านการกรองความถี่ต่ำผ่านดังกล่าวแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็นำข้อมูลภาพที่ได้มาผ่านกระบวนการนอร์มัลไลเซชั่นซึ่งใช้สมการการนอร์มัลไลซ์ตามรายละเอียดที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 โดยมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมการทำนอร์มัลไลเซชั่นดังรูปที่ 3.3 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำนอร์มัลไลเซชั่น

3.3 การกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์

จากการทำนอร์มัลไลเซชั่นนั้น ภาพที่ได้ยังคงเป็นภาพที่มีความแตกต่างระหว่างสันและร่องของภาพที่เห็นได้ไม่ชัดมากเท่าที่ควร การกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์เป็นการกำจัดส่วนของภาพที่มีความถี่สูงหรือส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนออกไป และเป็นการเน้นส่วนของสันและร่องของโครงร่างเส้นลายนิ้วมือให้เด่นชัดขึ้น แกเบอร์ฟิลเตอร์เป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ ซึ่งสามารถที่จะทำการเลือกหรือกำหนดคุณสมบัติเกี่ยวกับทิศทางและความถี่ได้และมีความแน่นอนของการเชื่อมต่อที่ดีที่สุดทั้งในโดเมนของที่ว่างและความถี่ซึ่งการกรองภาพโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์นั้นทำการฟิลเตอร์ภาพลายนิ้วมือในทิศทางที่แตกต่าง โดยในการศึกษาครั้งนี้ เราได้ทำการกำหนดทิศทางในการฟิลเตอร์ภาพ 8 ทิศทางด้วยกัน คือ 0 องศา , 22.5 องศา , 45 องศา , 67.5 องศา , 90 องศา , 112.5 องศา , 135 องศา และ 157.5 องศา สำหรับภาพลายนิ้วมือที่มีร่องและสันที่ขนานกัน แล้วจะทำการกำหนดความถี่โดยใช้ค่าตัวแปรดังนี้ คือ

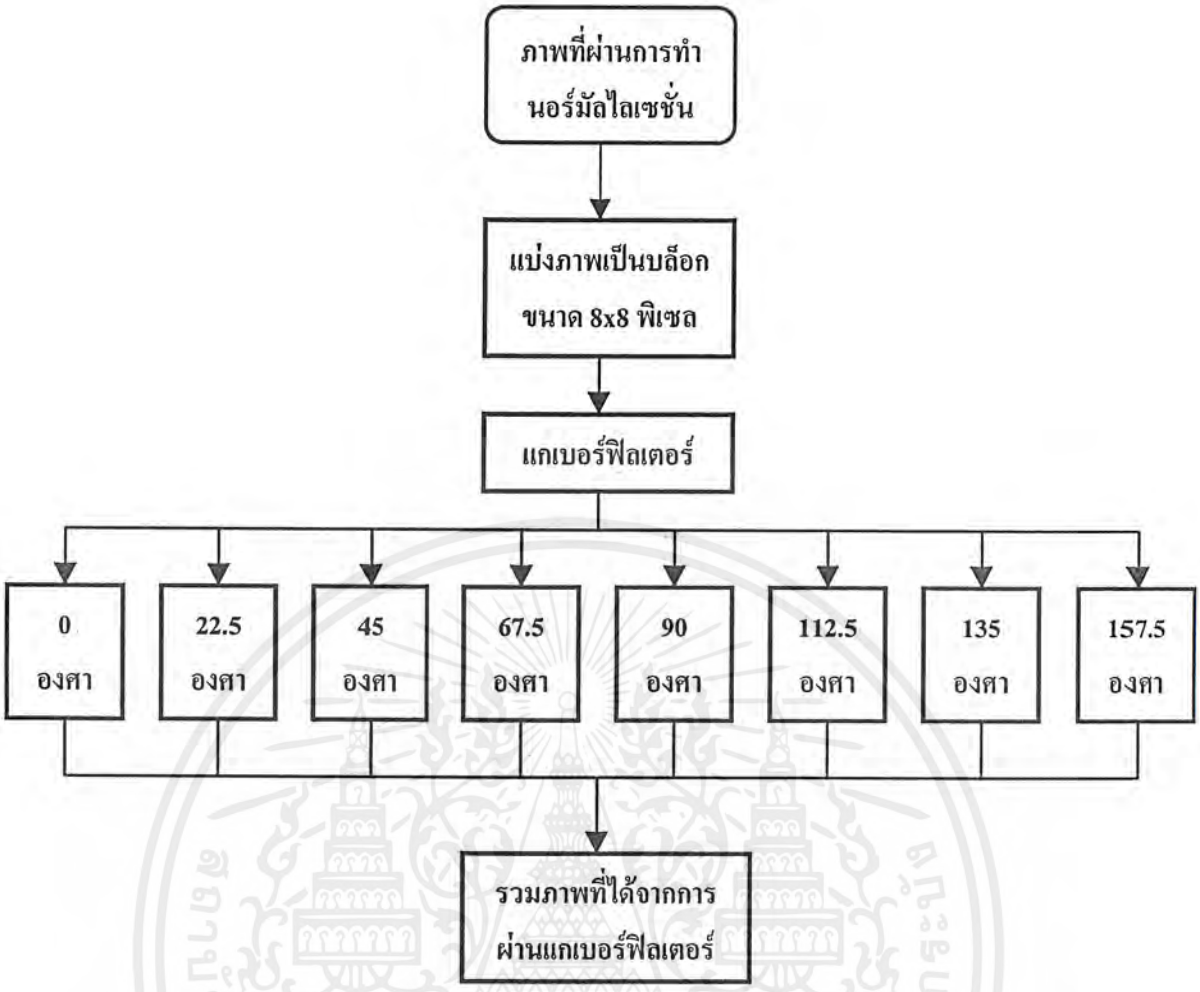
$$\text{ค่าความถี่ } (f) = 1/K$$

โดยที่ ค่า K คือ จำนวนของพิเซลที่อยู่ระหว่างเส้นของลายนิ้วมือ 2 เส้นที่ติดกัน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดความละเอียดในการสแกนภาพลายนิ้วมือเท่ากับ 600 dpi ซึ่งเมื่อทำการนับจำนวนพิเซลระหว่างเส้นลายนิ้วมือ 2 เส้นแล้ว จะได้ค่า $K = 10$

เพราะฉะนั้น จะได้ค่า $f = 1/10$ หรือ 0.1

คุณสมบัติการปรับค่าได้ของแกเบอร์ฟิลเตอร์นี้ สามารถที่จะเอาสัญญาณรบกวนออกได้และสามารถรักษาโครงร่างของร่องและสันที่แท้จริงเอาไว้ได้ เมื่อได้ค่าที่ต้องการในการปรับหรือควบคุมสำหรับแกเบอร์ฟิลเตอร์แล้ว ก็ทำการผ่านภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำนอร์มัลไลเซชั่นแล้วเข้าไปในโปรแกรมการฟิลเตอร์ภาพซึ่งภาพที่ได้จะมีความคมชัดของสันและร่องมากขึ้นและสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไปได้ โดยมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

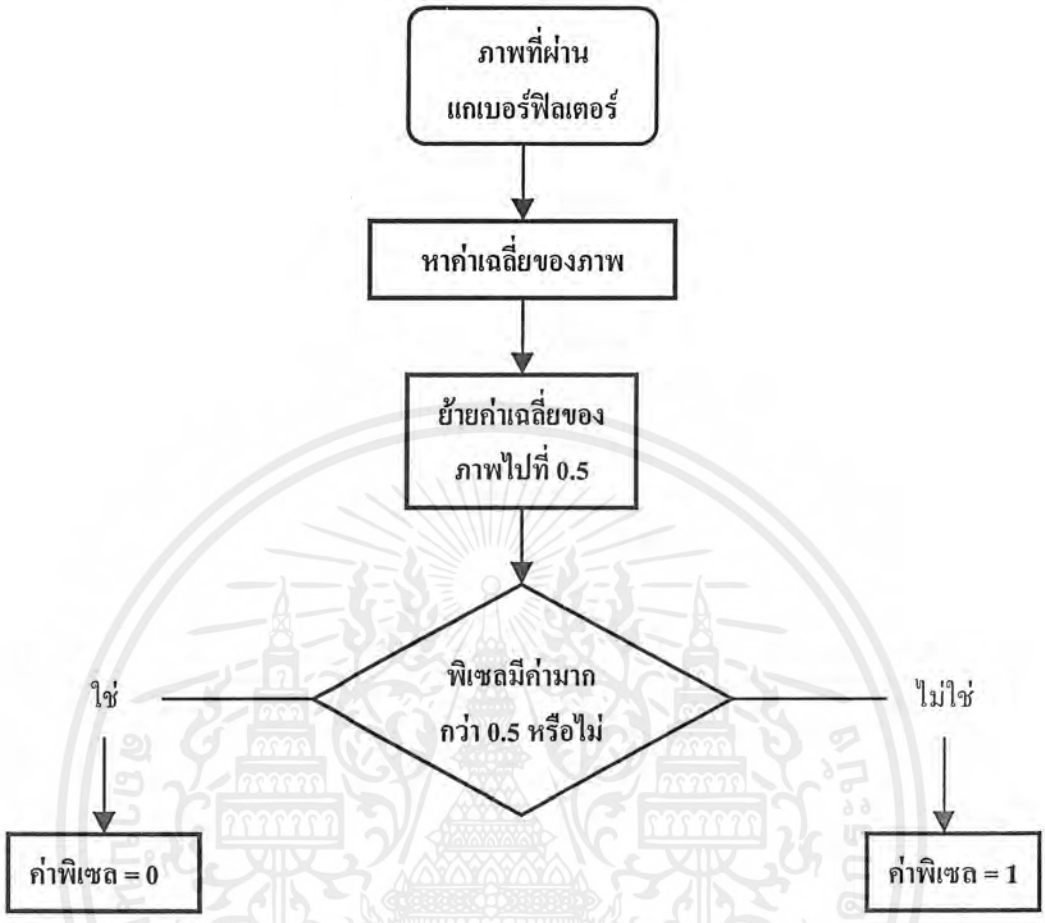


รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของโปรแกรมกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์

3.4 การแปลงข้อมูลภาพให้เป็น 2 ระดับโดยการตัดเทรสโฮลด์

ในขบวนการนี้จะกำหนดค่าเปลี่ยน (Threshold value) ที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ แล้วใช้ค่าดังกล่าวในการกำหนดความสว่างของแต่ละพิเซลให้เป็นขาวหรือดำ 2 ค่าเท่านั้น ทำให้เกิดความแน่ชัดของค่าความสว่างในแต่ละพิเซล และสะดวกในการประมวลผล โปรแกรมในส่วนนี้เราจะทำการอาศัยค่าเฉลี่ยของทั้งรูปแทนเพื่อที่จะได้ทราบว่าการกระจายค่าของจุดสีส่วนใหญ่อยู่บริเวณใด หลังจากนั้นเราจะทำการอาศัยจุดนั้นเป็นจุดตัดระดับสีเทา เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรมจึงทำการย้ายค่าเฉลี่ยไปที่จุดที่เรากำหนดเพื่อให้ง่ายต่อการตัดระดับ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมการทำงานเราสามารถจะทำการพิจารณาได้ดังรูปข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



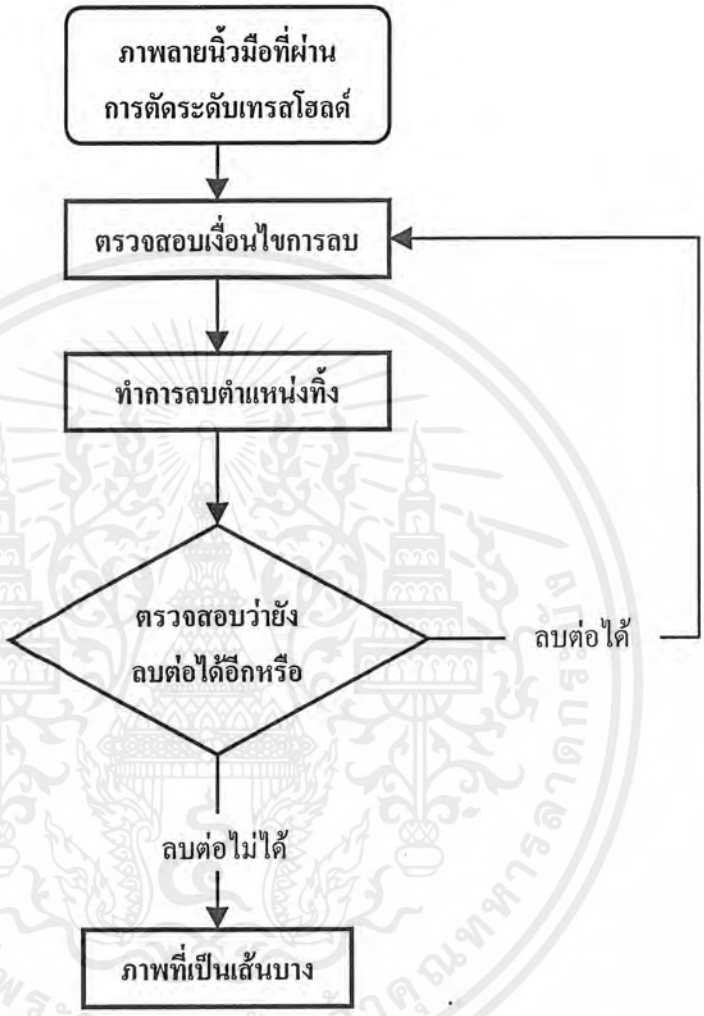
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการตัดระดับเทรสโฮลด์

3.5 การหาโครงร่างของภาพโดยการทำทินนิ่ง (Thinning)

ขบวนการนี้เป็นการทำให้เส้นที่มีความหนาตั้งแต่ 2 พิเซลขึ้นไปมีความหนาเหลือเพียงพิเซลเดียว โดยกำหนดให้พิเซลที่เหมาะสมเป็นตัวแทนของเส้นนั้น แล้วกำจัดพิเซลอื่นออกไป

ในระบบของโปรแกรมนี้ ได้ประยุกต์วิธีการทำให้เส้นบางโดยทำการจับคู่ (Template match) กับรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ซึ่งสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานได้ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

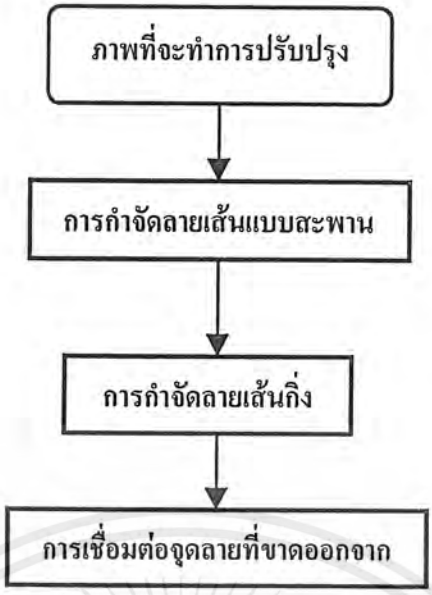


รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการหาโครงร่างของภาพ

3.6 การปรับปรุงลายเส้นโดยการต่อลายนิ้วมือ

ในขั้นตอนนี้จะทำการจัดการกับลายเส้นที่อาจจะมีปัญหาอันเนื่องมาจากภาพต้นแบบที่ไม่สมบูรณ์โดยจะทำการปรับปรุงลายเส้นให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น โดยในส่วนของตัวโปรแกรมได้พัฒนาขึ้นจากการทดลองหลายๆแบบ ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนในการปรับปรุงลายเส้นได้ตามบล็อกไดอะแกรมที่จะแสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการปรับปรุงลายเส้น

3.7 การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

จุดประสงค์ของการกำหนดทิศทางของภาพก็คือ เพื่อที่จะพิจารณารายละเอียดของทิศทางของภาพลายนิ้วมือและสามาถที่จะนำข้อมูลส่วนนี้มาใช้ในการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพต่อไป โดยจากการทดลองครั้งนี้ การหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือเริ่มต้นที่การแบ่งภาพออกพิจารณาเป็นบล็อกๆซึ่งมีขนาด 8x8 พิเซลศึกษาถึงอัลกอลิธึมโดยใช้ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดยกกำลังสองโดยประมาณของการกำหนดทิศทาง โดยให้ภาพที่ผ่านการนอร์มัลไลซ์แล้วเป็น G ขั้นตอนหลักของอัลกอลิธึมแสดงดังนี้

รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโปรแกรมหาทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การหาจุดศูนย์กลางของภาพ

ในขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของภาพนี้ มีจุดประสงค์เพื่อที่จะนำจุดศูนย์กลางของภาพที่ได้ มาเป็นจุดอ้างอิงของฐานข้อมูลกับภาพลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบ โดยมีหลักการในการหาจุดศูนย์กลางดังนี้ คือ จากการผ่านภาพลายนิ้วมือไปยังขั้นตอนการหาทิศทางของภาพโดยพิจารณาที่ละบล็อกซึ่งมีขนาด 8x8 พิเซล แล้วแทนค่ามุมที่หาได้ในแต่ละบล็อกนั้นด้วยเส้นตรงที่ลากทำมุมกับแนวนอน จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าของมุมระหว่างบล็อก 2 บล็อกที่อยู่ติดกันเพื่อหาค่าของมุมที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อสามารถหาได้แล้วว่าบล็อก 2 บล็อกไหนที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุดก็แทนค่าโคออร์ดิเนตที่อยู่กึ่งกลางของบล็อก 2 บล็อกนั้นเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ ซึ่งได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อหาจุดศูนย์กลางของภาพและสามารถสรุปขั้นตอนการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางได้ดังนี้

รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมการหาจุดศูนย์กลางของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การหาลักษณะเด่นของภาพลายนิ้วมือ

เนื่องจากภาพลายนิ้วมือแต่ละภาพจะมีลักษณะเด่นของลายและตำแหน่งที่แตกต่างกัน จึงนำเอาคุณสมบัตินี้มาใช้ในการตรวจสอบลายนิ้วมือ จากภาพที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางแล้วได้เขียนโปรแกรมเพื่อหาลักษณะเด่นของภาพซึ่งที่พบเห็นเป็นประจำได้แก่ จุดแยกของลายเส้น (Bifurcation) จุดปลายของเส้น (Ending) จุดเดลตาหรือส่วนที่ลายเส้นมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยม และจุดคอร์หรือจุดที่เป็นส่วนโค้งด้านในสุดของลายเส้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เราได้พิจารณาเฉพาะลักษณะเด่นที่เป็นทางแยกแบบ 2 ทางในการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยใช้สมการการหาจุดแยกตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.2.9 นั่นก็คือ

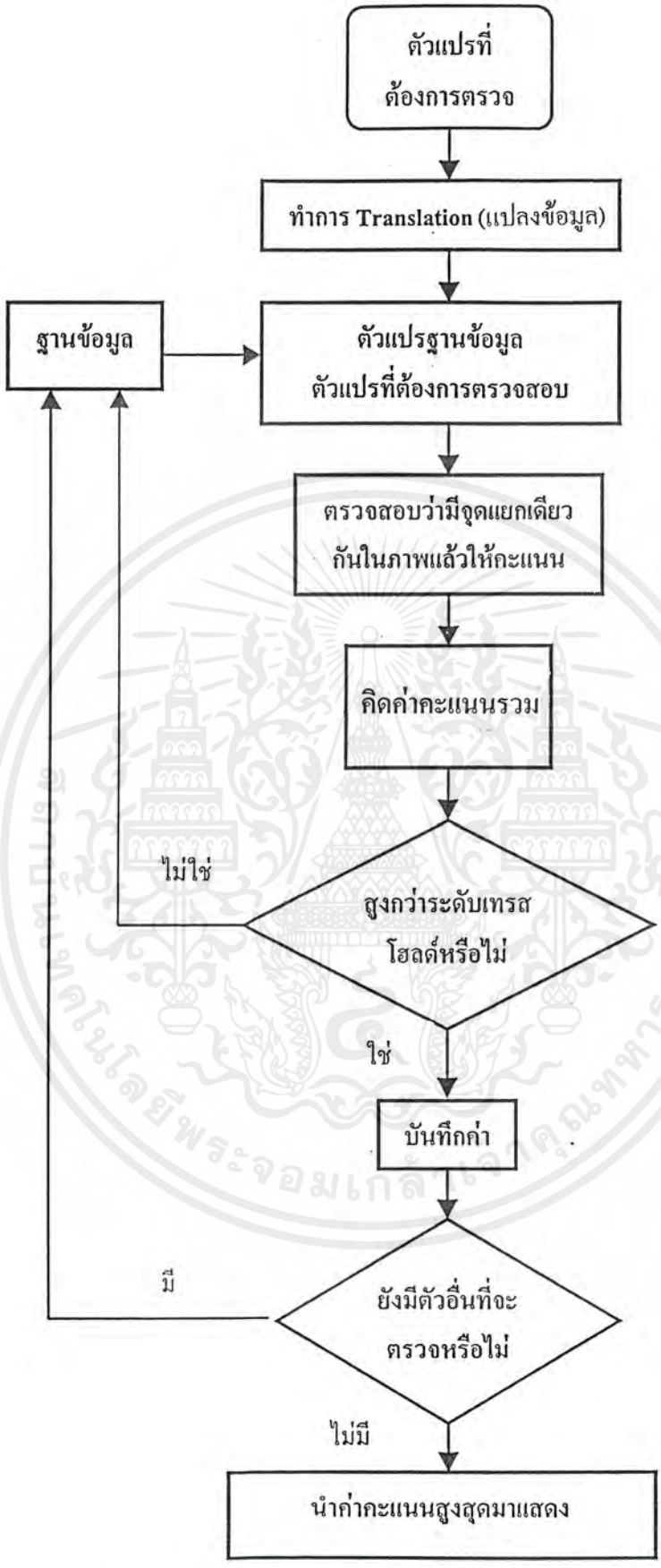
จุดแยก = ($Nc^4 = 2$ and $Nc^{4'} = 1$ and $Nc^{8'} = 3$) or ($Nc^4 = 1$ and $Nc^{4'} = 2$ and $Nc^8 =$ 3) or ($Nc^4 =$ 3 or $Nc^8 = 3$ or $Nc^{8'} = 3$) or ($Nc^4 = 3$ and $= Nc^{4'} = 0$) or ($Nc^4 \neq 0$ and ($Nc^{8'} = 2$ and $Nc^{4'} = 2$))

เมื่อหาลักษณะโดดเด่นของแต่ละลายนิ้วมือได้แล้วก็ทำการเก็บตัวแปรนั่นคือตำแหน่งที่เกิดลักษณะเด่น และใช้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางที่หาได้มาใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบลายนิ้วมือต่อไป

3.10 การตรวจสอบลายนิ้วมือ

ในการตรวจสอบลายนิ้วมือนั้น เริ่มต้นจากการใช้จุดศูนย์กลางที่หาได้เป็นจุดอ้างอิงในการเปรียบเทียบตำแหน่งของลักษณะเด่นที่พบของลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบกับฐานข้อมูลที่เก็บเอาไว้ ได้โดยที่ถ้าตำแหน่งของลักษณะเด่นของลายนิ้วมือที่ต้องการตรวจสอบตรงกับตำแหน่งของลักษณะเด่นของฐานข้อมูลที่เก็บเอาไว้แล้วทำการคิดหาค่าคะแนนรวมของทั้งภาพ เพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าบุคคลคนนั้นเป็นคนๆเดียวกับฐานข้อมูลที่เก็บเอาไว้หรือไม่ โดยที่มีบล็อกไดอะแกรมของการตรวจสอบลายนิ้วมือดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของการตรวจสอบลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากการทดลอง ผลการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ลายนิ้วมือในส่วนต่างๆ โดยทำการทดลองกับลายนิ้วมือหลาย ๆ รูปแบบ จะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองโดยใช้ภาพสแกนลายนิ้วมืออินพุทโดยใช้หมึก

4.1.1 ภาพลายนิ้วมือที่ได้จากสแกนเนอร์

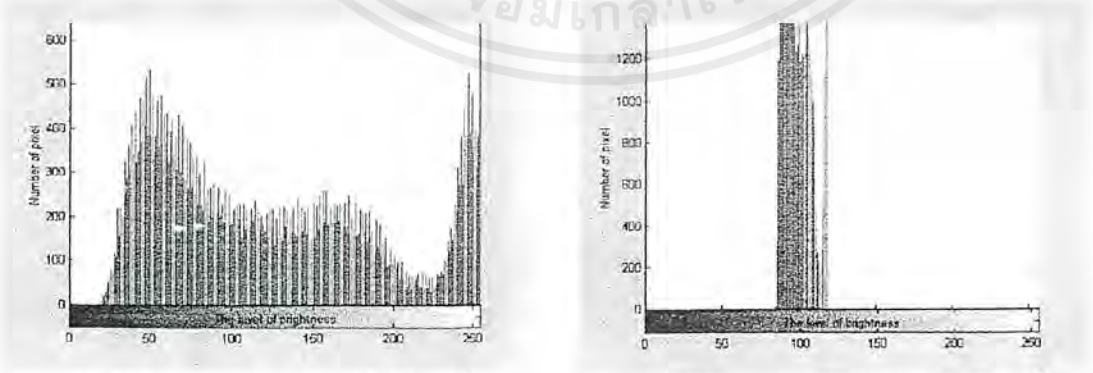
สำหรับภาพลายนิ้วที่ใช้เป็นอินพุทนั้น ได้ทำการสแกนภาพลายนิ้วมือที่มีลักษณะต่างๆโดยใช้สแกนเนอร์ซึ่งกำหนดความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 600 dpi และเก็บภาพเป็นไฟล์นามสกุล .BMP ซึ่งตัวอย่างของภาพที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1

a). ภาพลายนิ้วมือแบบก้นหอย b). ภาพลายนิ้วมือแบบลูปขวา

รูปที่ 4.1 แสดงภาพลายนิ้วมือในลักษณะต่างๆที่ใช้เป็นภาพอินพุท

4.1.2 การนอร์มัลไลเซชั่น

โปรแกรมส่วนนี้จะทำการปรับระดับความสว่างของภาพลายนิ้วมือที่เป็นอินพุท เพื่อให้ภาพทุกภาพมีค่าเฉลี่ยระดับความสว่างของภาพที่เท่ากัน ซึ่งจะเป็นการง่ายสำหรับการฟิลเตอร์ภาพต่อไป ภาพลายนิ้วมือที่ได้จากการทำนอร์มัลไลเซชั่น (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ100, ค่าแปรปรวนเท่ากับ100) ดังรูป



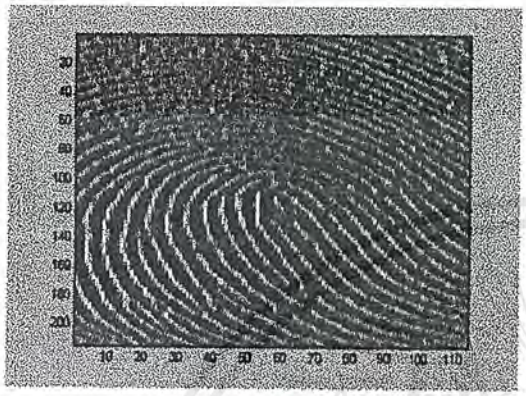
a). ฮิสโทรแกรมก่อนการนอร์มัลไลเซชั่น b). ฮิสโทรแกรมหลังการนอร์มัลไลเซชั่น

รูปที่ 4.2 แสดงฮิสโทรแกรมของภาพลายนิ้วมือก่อนและหลังการนอร์มัลไลเซชั่น

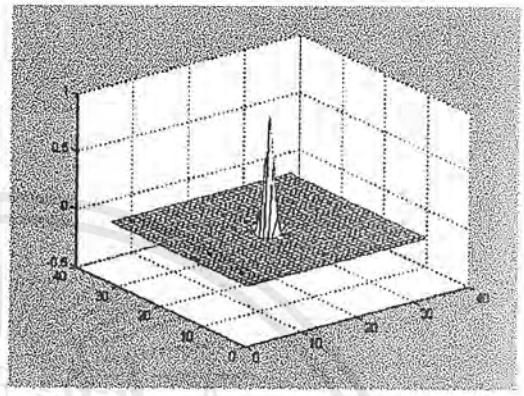
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การกรองความถี่ต่ำผ่านโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์

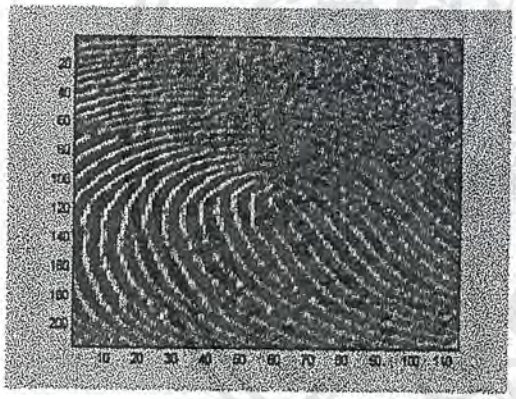
เนื่องจากภาพที่ได้จากการทำนอร์มัลไลเซชั่นนั้นยังไม่สามารถที่จะแยกแยะความคมชัดระหว่างสันและร่องของภาพได้ชัดเจน จึงผ่านภาพดังกล่าวไปยังโปรแกรมส่วนของแกเบอร์ฟิลเตอร์ซึ่งมีการกรองความถี่ใน 8 ทางแล้วนำผลที่ได้มารวมกันเพื่อให้ได้ภาพรวมที่มีความคมชัดมากที่สุด โดยมีผลการทดลองของภาพลายนิ้วมือตัวอย่างดังรูปที่ 4.3 ดังนี้



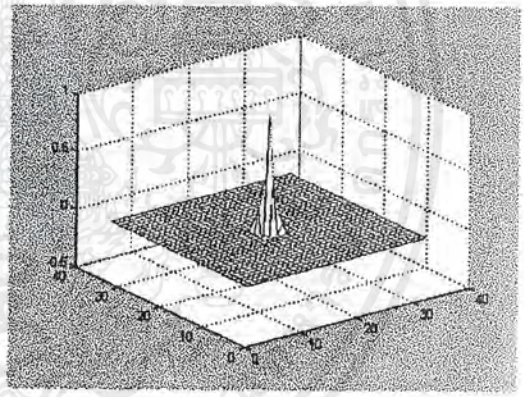
a).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 0 องศา



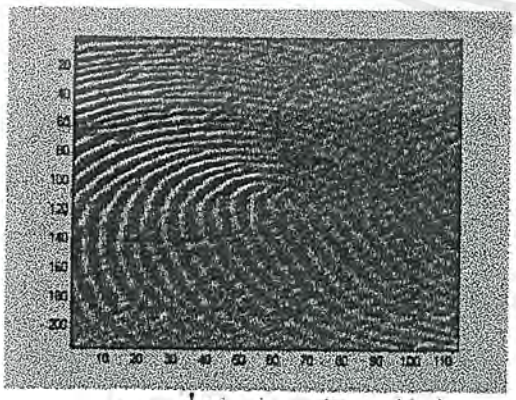
a). ฟิลเตอร์ 0 องศา



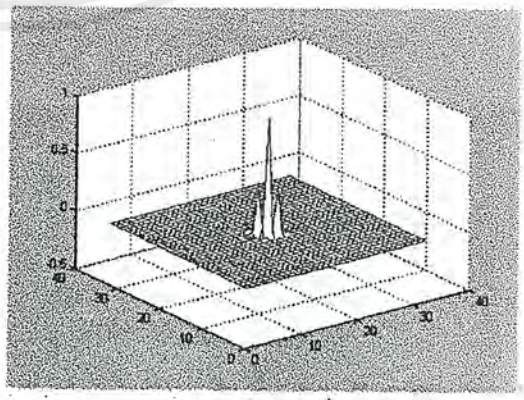
b). ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 22.5 องศา



b). ฟิลเตอร์ 22.5 องศา

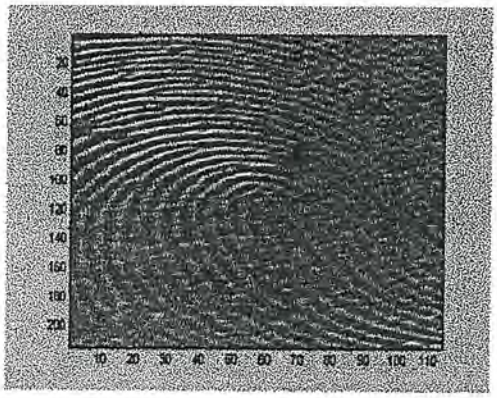


c).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 45 องศา

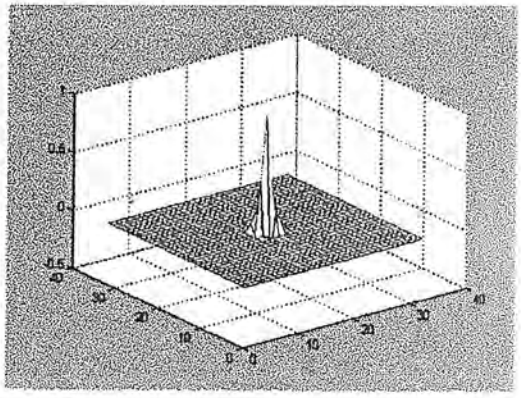


c). ฟิลเตอร์ 45 องศา

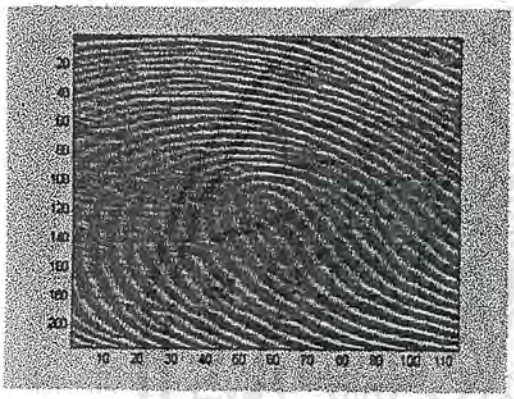
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



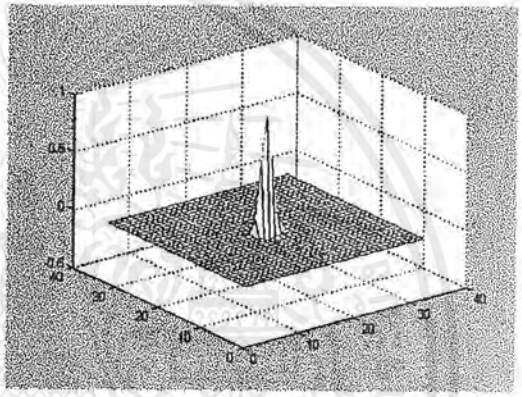
d).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 67.5 องศา



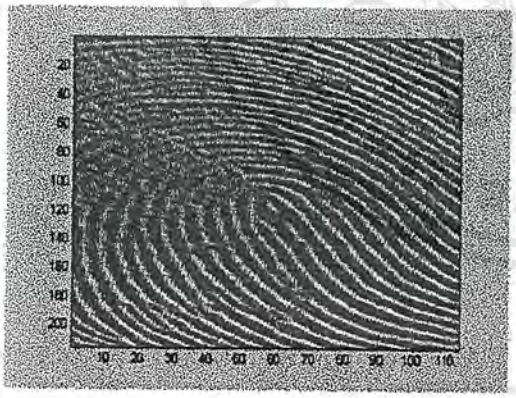
d). ฟิลเตอร์ 67.5 องศา



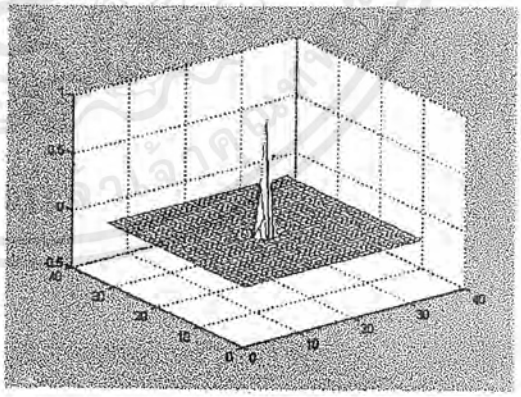
e).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 90 องศา



e). ฟิลเตอร์ 90 องศา

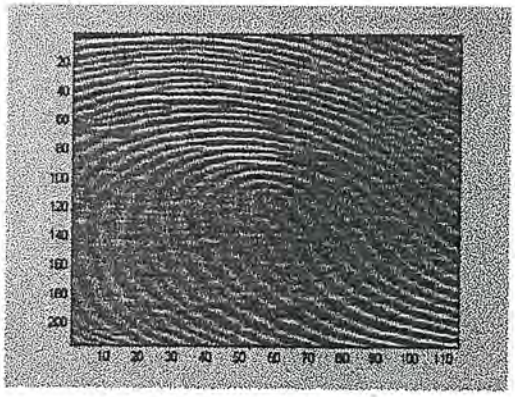


f).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์112.5 องศา

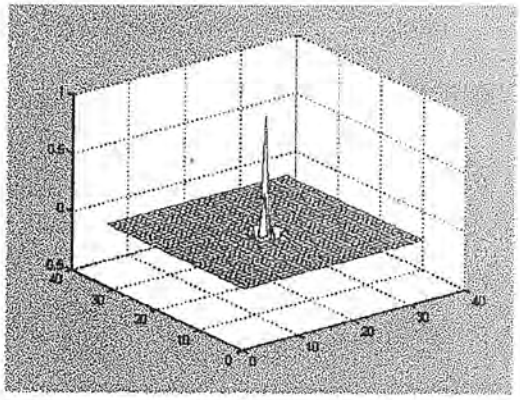


f). ฟิลเตอร์ 112.5 องศา

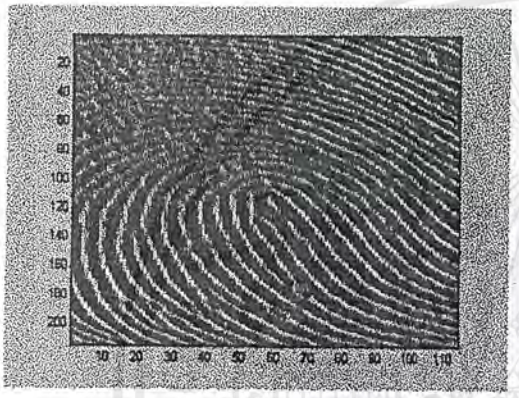
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



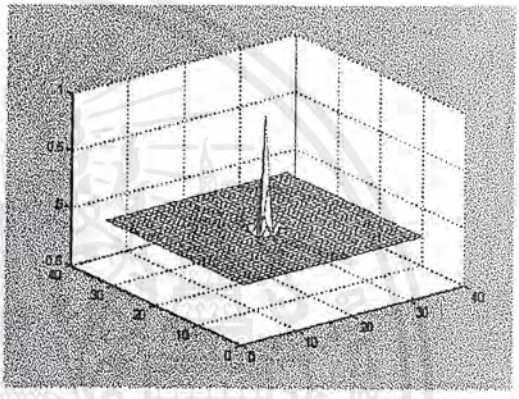
g).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 135 องศา



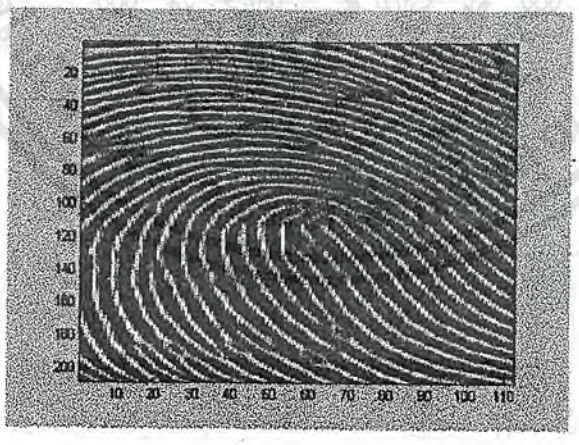
g). ฟิลเตอร์ 135 องศา



h).ภาพที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ 157.5 องศา



h). ฟิลเตอร์ 157.5 องศา



h). ภาพรวมที่มีการถ่วงน้ำหนัก

รูปที่ 4.3 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านแกเบอร์ฟิลเตอร์ในทิศทางต่างๆและภาพที่เกิดจากการรวมกันของทุกๆภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพ

เนื่องจากกภาพที่ได้จากการสแกนเข้ามามีระดับของความสว่างของภาพตั้งแต่ 0-255 ระดับ เพื่อง่ายต่อการจัดการกับภาพในกระบวนการขั้นต่อไป จึงจำเป็นต้องปรับระดับความสว่างของภาพให้มีแค่ 2 ระดับ คือ "0" กับ "1" ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วซึ่งมีผลการทดลองดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการตัดระดับเทรสโอลด์ของภาพ

4.1.5 การหาโครงร่างของภาพ

เนื่องจากภาพที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์แล้ว ยังเป็นภาพที่มีความหนาของเส้นอยู่ เพื่อที่จะทำการหาลักษณะเด่นของภาพลายนิ้วมือ ต้องมีการจัดลักษณะของเส้นให้มีความหนาแค่ 1 พิเซลก่อน ซึ่งนั่นก็คือการทำทินนิ่งโดยใช้อัลกอลิธึมที่ได้กล่าวไปแล้ว ซึ่งผลที่ได้จากการทำทินนิ่งนั้นแสดงดังรูป ที่ 4.5

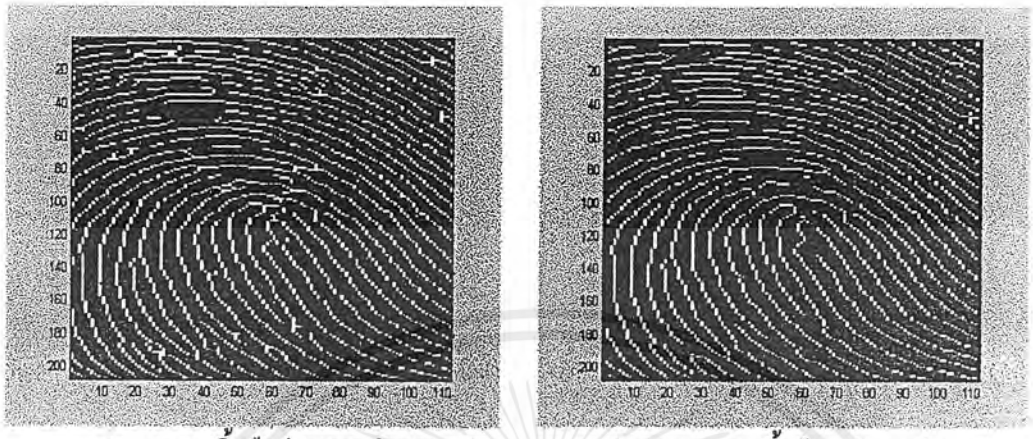
รูปที่ 4.5 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำทินนิ่ง

4.1.6 การกำจัดลายนิ้วมือ

เนื่องจากภาพที่ผ่านการทำทินนิ่งนั้นมีลักษณะลายเส้นที่ไม่สมบูรณ์ นั่นก็คือ บางเส้นเกิดการขาดของลายอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นภาพอินพุทหรือบางภาพเกิดมีลายที่ไม่ต้องการเพิ่มเข้ามาซึ่งตามความเป็นจริงนั้นไม่มีลายเส้นนั้นปรากฏอยู่อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้นกับภาพอินพุทโดยที่ไม่สามารถกำจัดออกไปได้หมด ดังนั้นจึงผ่านภาพดังกล่าวไปยังโปรแกรมการต่อลายนิ้วมือ ซึ่งมีผลการทดลองดังรูปที่ 4.6

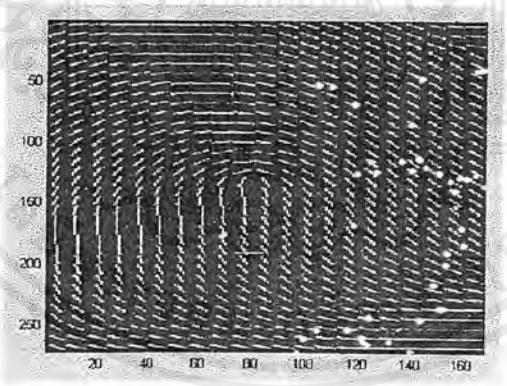


a).ภาพลายนิ้วมือก่อนการต่อลาย b). ภาพลายนิ้วมือหลังการต่อลาย

รูปที่ 4.6 แสดงภาพลายนิ้วมือเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการต่อลาย

4.1.7 การกำหนดทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

ทำการแบ่งภาพให้มีขนาดเป็นบล็อกๆละ 8x8 พิเซล แล้วทำการคำนวณหาค่าของมุมในแต่ละ บล็อกตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งในแต่ละบล็อกนั้นสามารถแทนด้วยเส้นตรงที่ทำมุมกับแนวนอนเท่ากับมุมที่คำนวณได้ โดยมีผลการทดลองดังรูปที่ 4.7

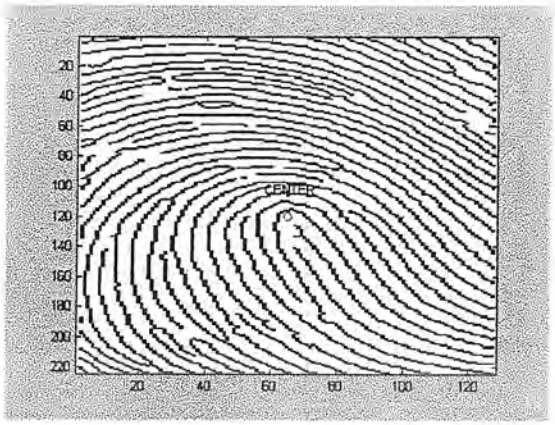


รูปที่ 4.7 แสดงภาพการกำหนดทิศทางของภาพลายนิ้วมือ

4.1.8 การหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ

จากภาพที่ได้จากการกำหนดทิศทางในขั้นตอนที่แล้ว ทำการหาตำแหน่งระหว่างบล็อกที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุดแล้วกำหนดตำแหน่งนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ ซึ่งผลที่ได้จากขั้นตอนนี้แสดงดังรูปที่ 4.8

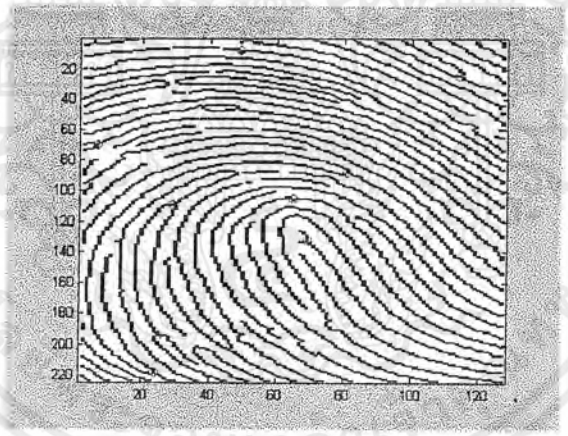
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ

4.1.9 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลนั้นมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน จากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการพิจารณาลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือโดยใช้จุดแยกเป็นหลักซึ่งหลักการที่ใช้ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ลักษณะเด่นของภาพลายนิ้วมือที่หาได้แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือที่หาได้

4.1.10 การจำแนกลายนิ้วมือ

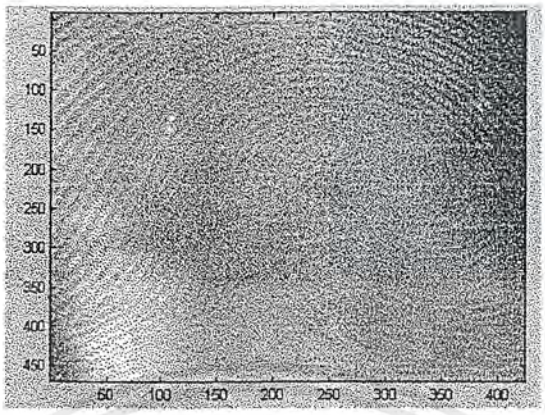
ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ได้ทำการจำแนกลายนิ้วมือตามข้อมูลต่างๆที่ได้ศึกษาไว้ข้างต้นว่าบุคคลที่ต้องการตรวจสอบนี้ คือบุคคลใดในฐานข้อมูลที่เก็บไว้

จากการทดลอง ได้มีการเปรียบเทียบภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทระหว่างภาพที่ผ่านการสแกนโดยใช้หมึกกับภาพลายนิ้วมือที่สแกนผ่านสแกนเนอร์โดยตรง ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้ คือ

4.2 ผลการทดลองโดยใช้ภาพลายนิ้วมือที่เป็นอินพุทโดยผ่านการสแกนด้วยสแกนเนอร์โดยตรงและใช้โปรแกรมแมทแลปในการตรวจสอบ

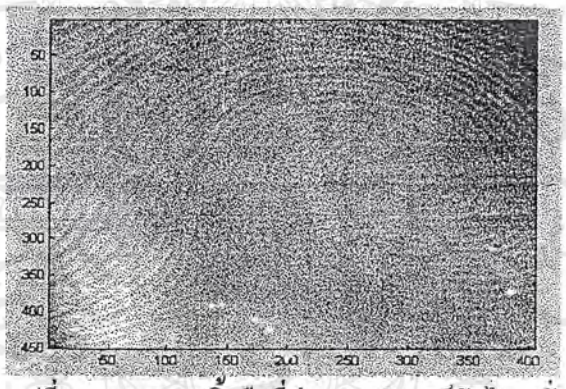
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุท



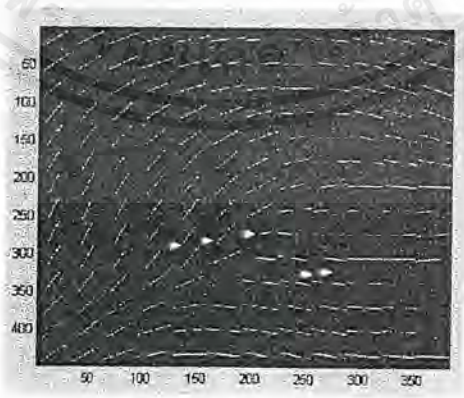
รูปที่ 4.10 ภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทโดยการสแกนผ่านสแกนเนอร์โดยตรง

4.2.2 ขั้นตอนการนอร์มัลไลเซชั่น



รูปที่ 4.11 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการทำนอร์มัลไลเซชั่น

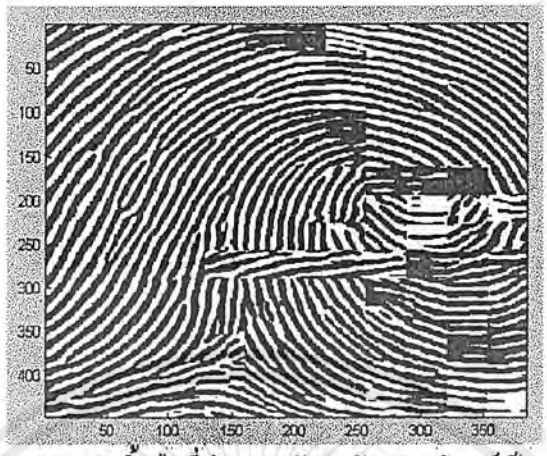
4.2.3 ขั้นตอนการกำหนดทิศทางของภาพลายนิ้วมือ



รูปที่ 4.12 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการกำหนดทิศทางของภาพ

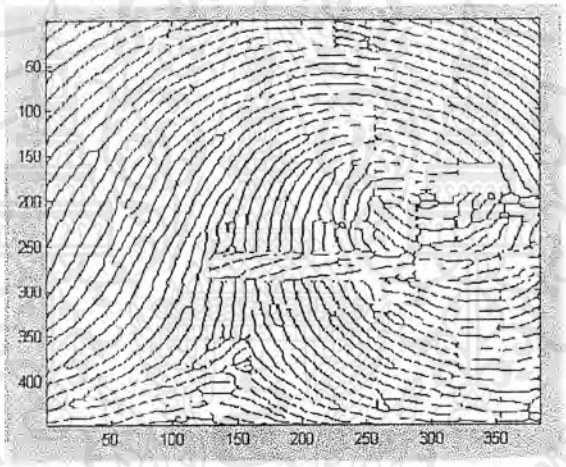
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ขั้นตอนการตัดระดับเทรสโอลด์ของภาพ



รูปที่ 4.13 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการตัดระดับเทรสโฮลด์เป็นภาพไบนารี่

4.2.5 ขั้นตอนการหาโครงร่างของภาพลายนิ้วมือ



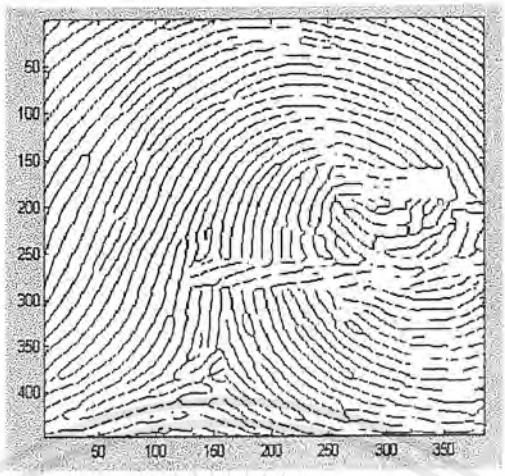
รูปที่ 4.14 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาโครงร่างของภาพ

4.2.6 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของภาพลายนิ้วมือ

รูปที่ 4.15 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ขั้นตอนการปรับปรุงลายเส้น

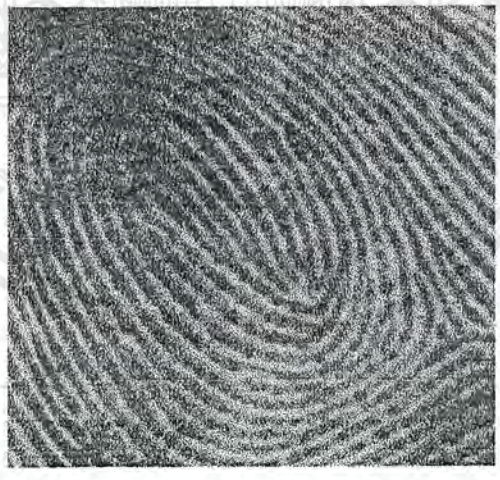


รูปที่ 4.16 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการปรับปรุงลายเส้น

จากการศึกษาโครงงานนี้ ในขั้นตอนแรกใช้โปรแกรมแมทแลปในการศึกษา ซึ่งมีความล่าช้าในการทำงานมาก จึงได้มีการพัฒนาตัวโปรแกรมเป็นโปรแกรมภาษาเดลไฟ ทำให้ใช้สามารถทำการวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆของโปรแกรมได้ง่ายและใช้เวลาเร็วขึ้น ซึ่งผลการทดลองเมื่อมีการพัฒนาตัวโปรแกรมเป็นภาษาเดลไฟลมีดังต่อไปนี้

4.3 ผลการทดลองโดยปรับปรุงโปรแกรมเป็นเดลไฟ

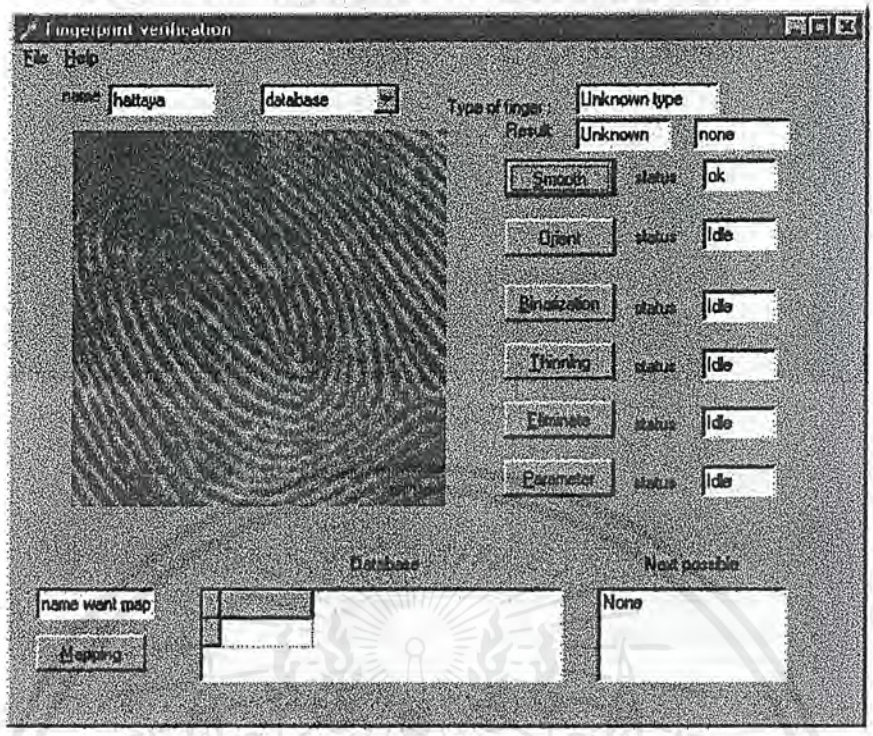
4.3.1 ภาพข้อมูลลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุท



รูปที่ 4.17 แสดงภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทในการวิเคราะห์โปรแกรมโดยใช้เดลไฟ

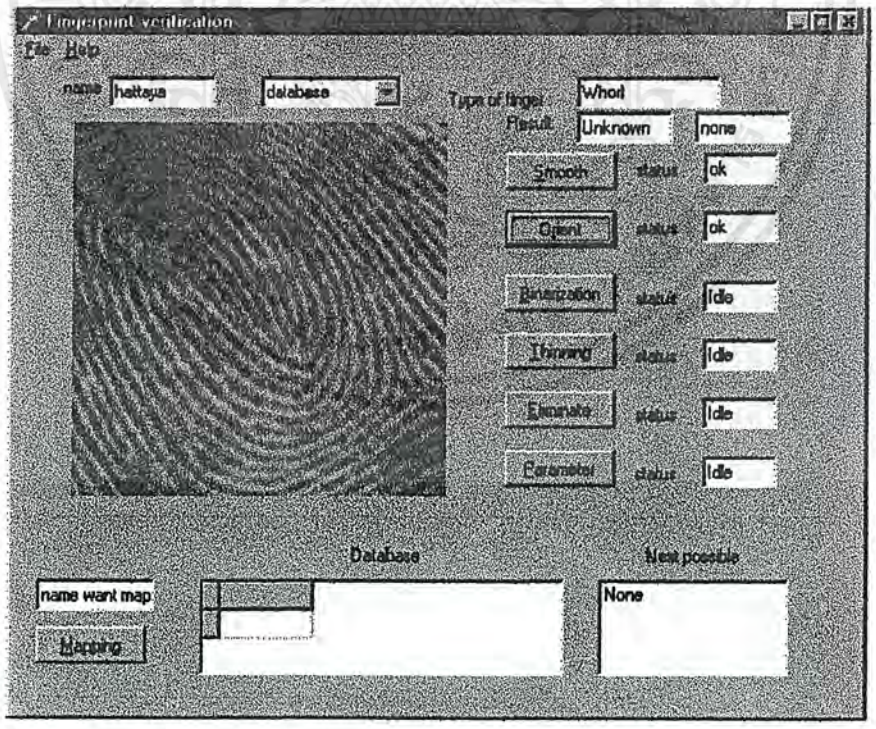
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ขั้นตอนการนอร์มัลไลเซชั่นและฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 4.18 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการนอร์มัลไลเซชั่นและฟิลเตอร์กรองความถี่ต่ำผ่าน

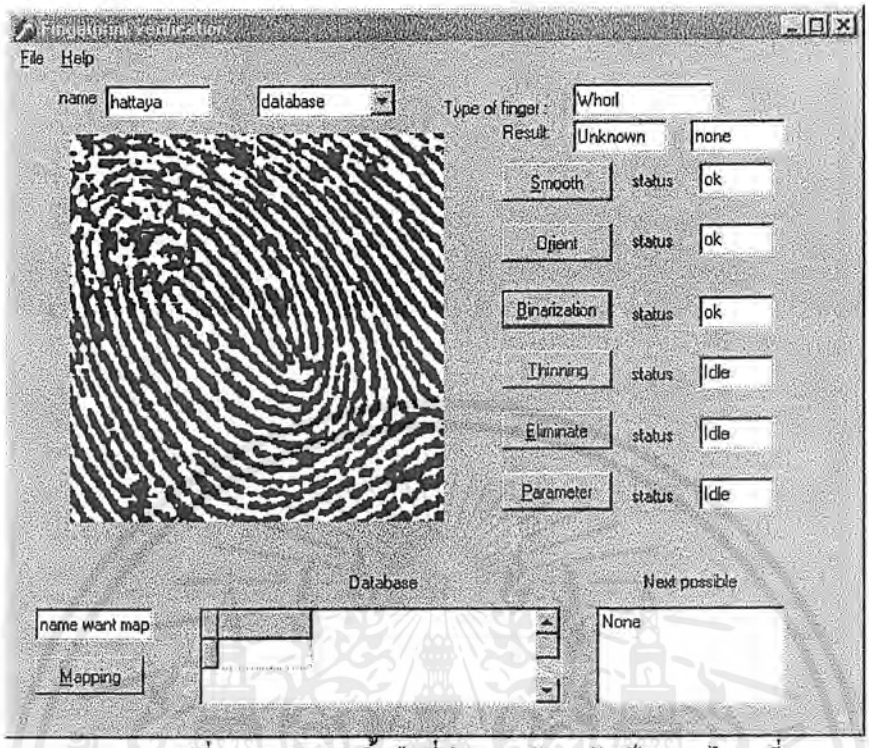
4.3.3 ขั้นตอนการหาจุดศูนย์กลางของภาพ



รูปที่ 4.19 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุดศูนย์กลางของภาพ

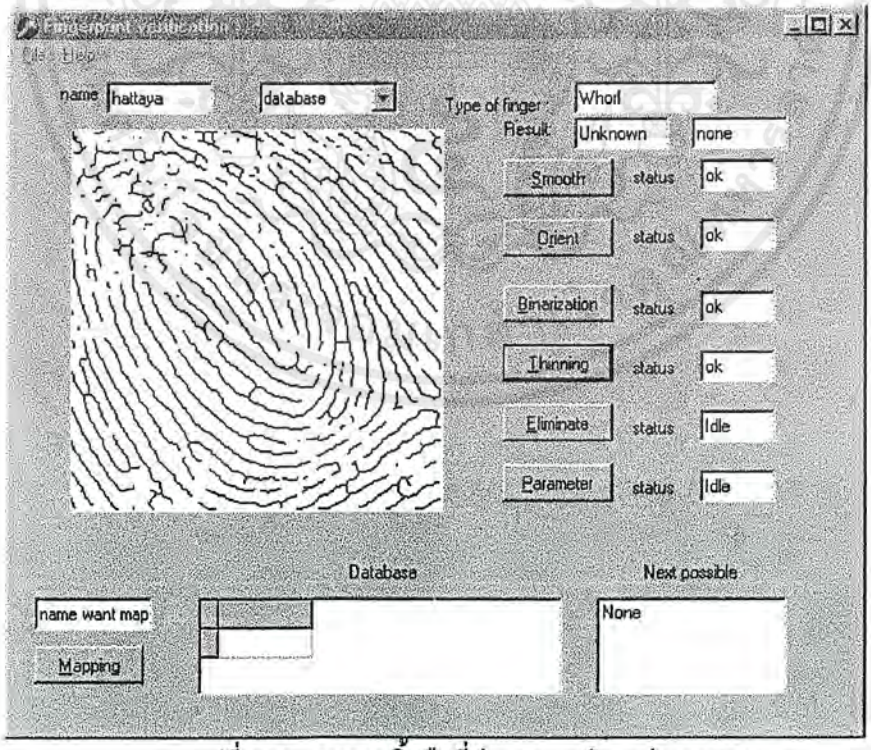
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ขั้นตอนการจัดระดับภาพลายนิ้วมือเป็นภาพไบนารี่



รูปที่ 4.20 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการจัดระดับเป็นภาพไบนารี่

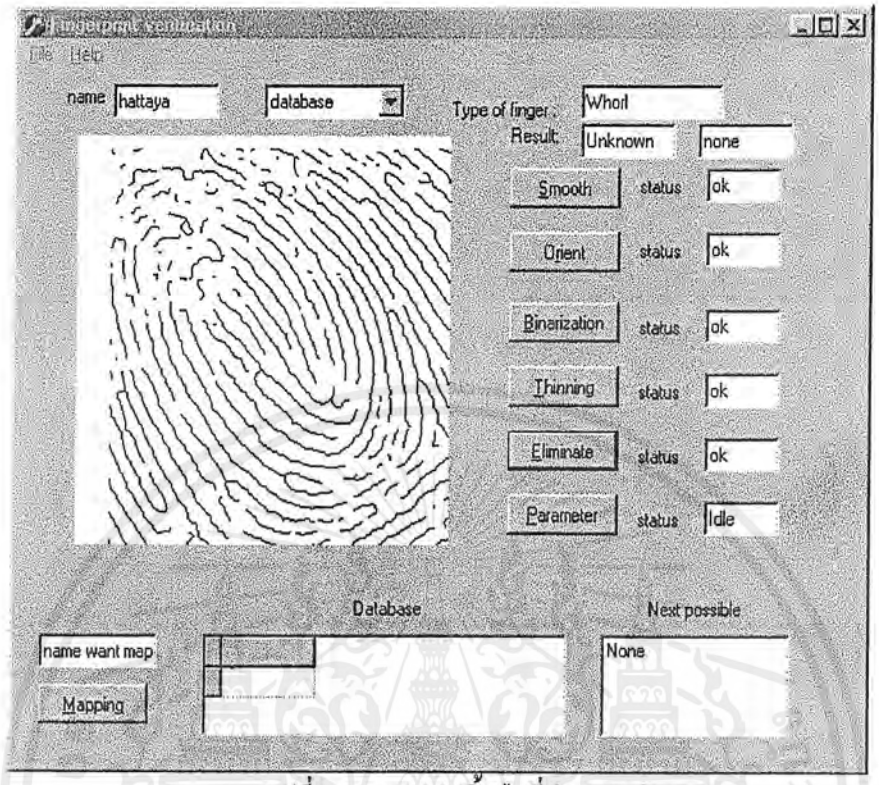
4.3.5 ขั้นตอนการหาโครงร่างของภาพลายนิ้วมือ



รูปที่ 4.21 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการหาโครงร่างของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ขั้นตอนการต่อลายนิ้วมือ



รูปที่ 4.22 ภาพลายนิ้วมือที่ผ่านการต่อลาย

4.3.7 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือ

ได้ทำการทดลองโดยการป้อนรูปลายนิ้วมืออินพุทที่ต้องการตรวจสอบ แล้วทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้โดยพิจารณาถึงตัวแปรที่สำคัญซึ่งได้แก่ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางและตำแหน่งของลักษณะโดดเด่นที่หาได้จากการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งใช้รูปลายนิ้วมืออินพุทที่ต้องการตรวจสอบ 20 รูป โดยมีผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจากข้อมูลนั้นกำหนดให้ M1 คือลายนิ้วมือที่มาจากคนๆเดียวกับลายนิ้วมือ D1

อินพุท	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
ฐานข้อมูลที่ตรวจสอบได้	D1	D2	D3	D4	D3	D8	D7	D8	D3	D10

อินพุท	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
ฐานข้อมูลที่ตรวจสอบได้	D11	D12	D15	D14	D13	D16	D17	D14	D19	D16

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตรวจสอบลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

การตรวจสอบลายนิ้วมือ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ

เริ่มจาก การสแกนภาพลายนิ้วมือด้วยสแกนเนอร์โดยใช้ความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 600 dpi และปรับฟังก์ชั่นของสแกนเนอร์เป็น "High Quality" และ "Gray Level" จากนั้นเก็บภาพลายนิ้วมือเป็นไฟล์นามสกุล .BMP ขั้นตอนนี้ จะได้ภาพลายนิ้วมือเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูล

เมื่อได้ภาพลายนิ้วมือเก็บเป็นไฟล์ตามที่ต้องการแล้ว ก็ทำการนอร์มัลไลเซชั่นภาพ จะได้ภาพที่มีความเรียบมากขึ้นโดยมีการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการออกไป

จากนั้นทำการกรองความถี่ต่ำผ่านภาพโดยใช้แกเบอร์ฟิลเตอร์ซึ่งเป็นแบนด์พาสฟิลเตอร์ชนิดหนึ่ง จากขั้นตอนนี้จะได้ภาพที่มีความคมชัดมากขึ้นในส่วนของสันและร่องของภาพ

เมื่อได้ภาพที่มีความคมชัดตามต้องการแล้ว ก็ทำการตัดระดับเทรสโฮลด์ของภาพซึ่งเป็นการจัดระดับความสว่างของภาพจากเดิมที่มีระดับความสว่าง 0-255 ระดับให้เหลือแค่ 2 ระดับ คือ "0" และ "1" หรือที่เรียกว่าภาพไบนารี่นั่นเองเพื่อง่ายต่อการจัดการขั้นต่อๆไปกับภาพลายนิ้วมือ

เมื่อได้ภาพไบนารี่แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็เป็นการหาโครงร่างของภาพโดยการทำทินนิ่ง ซึ่งผลที่ได้ก็คือจะได้ภาพที่มีความหนาของลายเส้นแค่ 1 พิเซลทำให้ง่ายต่อการจัดการในขั้นตอนต่อไป

จากนั้น ก็ทำการต่อลายนิ้วมือ ขั้นตอนนี้เป็นการต่อลายนิ้วมือในส่วนที่ขาดหายไปอันเนื่องมาจากความไม่สมบูรณ์ของภาพที่ใช้เป็นอินพุท และทำการเอาส่วนที่ไม่ต้องการของลายนิ้วมือออกไปซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวนในขั้นตอนต่างๆที่เกิดขึ้น ผลที่ได้ก็คือจะได้ภาพที่มีความสมบูรณ์และถูกต้องมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงๆของภาพ

เมื่อได้ภาพลายนิ้วมือที่มีความสมบูรณ์มากพอแล้ว ก็ทำการกำหนดทิศทางภาพโดยแบ่งพิจารณาภาพเป็นบล็อคเล็กๆขนาด 8 x 8 พิเซล แล้วหาขนาดของมุมในแต่ละบล็อคนั้นๆเพื่อแทน 1 บล็อคด้วยเส้นตรงเส้นเดียวที่ทำมุมกับแนวนอนตามค่ามุมที่หาได้ในแต่ละบล็อคเพื่อเป็นประโยชน์ในขั้นต่อไป

การหาจุดศูนย์กลางของภาพ ในขั้นตอนนี้ได้พิจารณาตรงรอยต่อของบล็อค 2 บล็อคที่มีการเปลี่ยนแปลงของมุมมากที่สุด โดยให้ตำแหน่งนั้นเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของลายนิ้วมือ ผลที่ได้ก็คือ สามารถระบุตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของภาพได้ และสามารถนำตำแหน่งที่ได้นั้นมาใช้เป็นจุดอ้างอิงในการที่จะตรวจสอบลายนิ้วมือต่อไป

หลังจากนั้นก็ทำการหาลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือแต่ละลาย ซึ่งแต่ละลายมีโอกาสน้อยมากในการที่จะมีลักษณะโดดเด่นและตำแหน่งของลายดังกล่าวตรงกัน เมื่อได้ข้อมูลของภาพลายนิ้วมือแต่ละภาพครบแล้ว ก็ทำการจำแนกภาพลายนิ้วมือว่าเป็นของบุคคลใด โดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ได้

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นขั้นตอนการตรวจสอบลายนิ้วมือ โดยนำตัวแปรต่างๆที่ได้คำนวณไว้มาใช้ประโยชน์ นั่นก็คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของภาพ ตำแหน่งต่างๆที่พบลักษณะโดดเด่นของลายนิ้วมือมาทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ โดยกำหนดให้ความถูกต้องในการเปรียบเทียบข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากค่าคะแนนรวมที่โปรแกรมได้คำนวณไว้ในขั้นตอนของการตรวจสอบลายนิ้วมือ ซึ่งถ้าค่าคะแนนรวมของรูปลายนิ้วมือที่เป็นฐานข้อมูลรูปใดมีค่าสูงสุดแสดงว่ารูปลายนิ้วมือนั้นเป็นรูปเดียวกับฐานข้อมูลที่มีค่าคะแนนรวมสูงสุด และความน่าจะเป็นของลายนิ้วมืออื่นๆที่จะเป็นลายเดียวกันนั้นทำการพิจารณาจากค่าคะแนนรวมที่มีค่ามากกว่า 0.1 จากการทดลอง ได้ทำการเก็บจำนวนของลายนิ้วมือเป็นฐานข้อมูลเท่ากับ 20 ข้อมูล ทำการตรวจสอบโดยใส่ลายนิ้วมือที่เป็นอินพุทที่ต้องการตรวจสอบเข้าไป สามารถสรุปได้ว่า โครงงานชิ้นนี้มีความถูกต้องในการจำแนกลายนิ้วมือเท่ากับ 65%

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1.เนื่องจากภาพลายนิ้วมือที่ใช้เป็นอินพุทมีความผิดพลาดเกิดขึ้นมาก ซึ่งเกิดจากปริมาณหมึกพิมพ์ที่ไม่เหมาะสม เช่น บางครั้ง หมึกอาจมากเกินไปหรือน้อยเกินไป เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆแล้ว ทำให้ผลที่ได้ไม่ถูกต้องเท่าที่ควร

2.เนื่องจากสแกนเนอร์ที่ใช้ในการสแกนภาพอินพุทนั้นเป็นสแกนเนอร์ที่ใช้งานในการสแกนรูปหรือเอกสารทั่วไป ซึ่งเมื่อนำมาใช้งานกับลายนิ้วมือซึ่งต้องการความละเอียดถูกต้องสูงนั้นทำให้เกิดข้อผิดพลาดหรือสัญญาณรบกวนต่างๆเพิ่มเข้ามามากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ยากต่อการหาข้อมูลสำคัญๆต่างๆของลาย เช่น อาจทำให้เกิดส่วนของลายเส้นที่เพิ่มเข้ามาโดยตามความเป็นจริงนั้นไม่มีลายดังกล่าวปรากฏอยู่ หรือเกิดการขาดของลาย ทำให้การหาจุดศูนย์กลางและลักษณะเด่นของลายเกิดผิดพลาดซึ่งส่งผลให้เกิดการผิดพลาดในการจำแนกลายนิ้วมือได้ ฉะนั้น ถ้าต้องการให้ข้อมูลภาพลายนิ้วมือมีความถูกต้องชัดเจนมากที่สุดก็ควรใช้แสกนเนอร์ที่ใช้สำหรับแสกนภาพลายนิ้วมือโดยเฉพาะและทำการสแกนภาพลายนิ้วมือโดยกดนิ้วมือผ่านสแกนเนอร์โดยตรง จะทำให้ผลการตรวจสอบลายนิ้วมือมีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมหลักในการตรวจสอบลายนิ้วมือ

```
unit nay1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Menus,jpeg, ExtDlgs, ExtCtrls, StdCtrls, Math, DBTables, Db, Grids,
  DBGrids;

type
    TForm1 = class(TForm)
    Image1: TImage;
    MainMenu1: TMainMenu;
    OpenPictureDialog1: TOpenPictureDialog;
    File1: TMenuItem;
    Open1: TMenuItem;
    Exit1: TMenuItem;
    Help1: TMenuItem;
    SmButton: TButton;
    BiButton: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Label1: TLabel;
    ThButton: TButton;
    SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
    Save1: TMenuItem;
    ElButton: TButton;
    PaButton: TButton;
    OrButton: TButton;
    Button1: TButton;
    Label4: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Table1: TTable;
    Database1: TDatabase;
    Edit7: TEdit;
    DataSource1: TDataSource;
    Label7: TLabel;
    Edit8: TEdit;
    ComboBox1: TComboBox;
    Edit9: TEdit;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Edit10: TEdit;
    Edit11: TEdit;
    ListBox1: TListBox;
    Label10: TLabel;

    procedure Exit1Click(Sender: TObject);
    procedure Open1Click(Sender: TObject);
    procedure Save1Click(Sender: TObject);
    procedure SmButtonClick(Sender: TObject);
    procedure BiButtonClick(Sender: TObject);
    procedure ThButtonClick(Sender: TObject);
    procedure ElButtonClick(Sender: TObject);
    procedure PaButtonClick(Sender: TObject);
    procedure OrButtonClick(Sender: TObject);
    procedure Mabuttonclick(Sender: TObject);

 private
   { Private declarations }
 public
   { Public declarations }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  end;

var
  Form1    : TForm1;
  th       : word;
  illuarray,sedarray,divarray: array[0..500,0..500] of integer;
  smarray,dudarray  : array[0..500,0..500] of byte;
  fatarray,tharray,bidarray : array[0..500,0..500] of shortint;
  elarray,yakarray : array[0..500,0..500] of shortint;
  ceny,cenx,yakjud,prapade : byte;
  seta         :array[0..40,0..40] of real;
  xpa,ypa : array[0..60] of byte;
  arcpa    : array[0..60]of real;
  pikud   :array [0..60] of string;
implementation

{$R *.DFM}

{$M 16384,9048576}        ส่วนกำหนดค่าเสตก
 ////////////////////////////////////////////
```

โปรแกรมยกเลิกการทำงาน

```
procedure TForm1.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
    close;
end;

procedure TForm1.Open1Click(Sender: TObject);
var current:shortstring;
begin
      if  OpenPictureDialog1.Execute then
      begin
           current:=OpenPictureDialog1.Filename;
           image1.picture.LoadFromFile(current);
           edit1.text:='Idle';
           edit2.text:='Idle';
           edit3.text:='Idle';
           edit4.text:='Idle';
           edit5.text:='Idle';
           edit6.text:='Idle';
           edit7.Text:='Fill name';
           edit8.Text:='Unknown type';
           edit9.Text:='name want map';
           edit10.Text:='Unknown';
           edit11.Text:='none';
           combobox1.Text:='Select mode';
           table1.active:=False;
           ListBox1.Clear;
           Listbox1.items.Add('None')
      end;
end;
procedure TForm1.Save1Click(Sender: TObject);
begin
      if savepicturedialog1.execute then
      begin
           image1.picture.savetofile(savepicturedialog1.filename);
      end;
end;
////////////////////////////////////////////
```

โปรแกรมการปรับปรุงภาพ

```
procedure TForm1.SmButtonClick(Sender: TObject);
var

      color : integer;
      a,b : shortint ;
      c : smallint ;
      x,y: word ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
     for y:=0 to (image1.Height-1) do
       begin
         for x:=0 to (image1.Width-1) do
           begin
           color:= image1.Canvas.Pixels[x,y];
           illuarray[x,y]:= ((color)mod 256);
           divarray[x,y]:=(color div 256);
           end;
       end;
     //step2
     for y:=0 to (image1.Height-1) do
       begin
         for x:=0 to (image1.Width-1) do
           begin
             if ((1<=x) and (x<=(image1.Width-2)) and (1<=y)
                and (y<=(image1.Height-2)))
             then
               begin
                 color :=0 ;
                 for a :=-1 to 1 do
                   begin
                     for b:=-1 to 1 do
                       begin
                       color:=color  + {myarray1}illuarray[x+a,y+b];
                       end;
                   end;
                 smarray[x,y]:= (color div 9); //div10
                 sedarray[x,y]:= (color mod 9); //div10
                 if sedarray[x,y]>= 5
                 then smarray[x,y]:= smarray[x,y]+1;
             end
             else smarray[x,y]:=illuarray[x,y];
           end;
       end;
     //step3
     for y:=0 to (image1.Height-1) do
       begin
         for x:= 0 to (image1.Width-1) do
           begin
             c:= smarray[x,y]-illuarray[x,y];
             {myarray2}divarray[x,y]:= divarray[x,y]+257*c;
             image1.canvas.pixels[x,y]:=(smarray[x,y]+
                                         (divarray[x,y]*256));
           end;
       end;
     edit1.text:='ok';
end;
////////////////////////////////
```

โปรแกรมหาทิศทางลายนิ้วมือ

```
procedure TForm1.OrButtonClick(Sender: TObject);
var
      xa,xb,count,nub,nub1,skip,kerp,row,column,kerp1,pob,derm,k : byte;
      c,e,f,x,y,von,tall,wide  : word;
      a,b,xx,yy : smallint;
      u,v,ivf : real;
      gx,gy : array [0..2,0..2]of shortint;
      ax,ay : array [0..400,0..400]of smallint;
      xv,yv : real; xcen,ycen  :integer;
      fly,freex,freey : array [0..65,0..65]of real;
      g0,g1,g2,g3,g4,g5,g6,g7 :array[0..32,0..32] of real;
      setax,setay,diff,total,xvalue,yvalue : real;
      seta1,seta2,sum  : array [0..15]of real;
      orn ,d     : array [0..65,0..65]of real;
      orntype    : array [0..65]of real;
begin
  gx[0,0]:= -1; gx[1,0]:= -2; gx[2,0]:= -1;
  gx[0,1]:= 0;  gx[1,1]:= 0;  gx[2,1]:= 0;
  gx[0,2]:= 1;  gx[1,2]:= 2;  gx[2,2]:= 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
gy[0,0]:= -1; gy[1,0]:= 0;  gy[2,0]:= 1;
gy[0,1]:= -2; gy[1,1]:= 0;  gy[2,1]:= 2;
gy[0,2]:= -1; gy[1,2]:= 0;  gy[2,2]:= 1;
for xa:=0 to ((image1.Height div 8)-1)do
  begin
    for xb:= 0 to ((image1.Width div 8)-1)do
      begin
        if (xb=0)and(xa=0)
        then
          begin //1
            for y:=0 to 7 do
              begin
                for x:=0 to 7 do
                  begin
                    if (x=0)and(y=0)
                    then
                      begin //11
                        ax[x,y]:= illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
                        ay[x,y]:= illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                      end;
                    if (x=0)and(y>0)and(y<7)
                    then
                      begin //12
                        ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                                  +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                                  +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
                        ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                                  +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                      end;
                    if (x=0)and(y=7)
                    then
                      begin //13
                        ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                                  +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                                  +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
                        ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                                  +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                                 +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                      end;
                    if (x>0)and(x<7)and(y=0)
                    then
                      begin //14
                        ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                                  +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
                        ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                                  +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                                  +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                     end;
                    if (x>0)and(x<7)and(y=7)
                    then
                      begin //15
                        ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                                  +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                                  +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                                  +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                                  +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                        ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                                  +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                                  +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                                  +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                                  +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                                  +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            end;
          if (x=7)and(y=0)
          then
            begin //16
              ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
              ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
           if (x=7)and(y>0)and(y<7)
          then
            begin //17
              ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
              ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
          if (x=7)and(y=7)
          then
            begin //18
              ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
              ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
          if (x>0)and(x<7)and(y>0)and(y<7)
          then
            begin //19
              ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
              ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
        end;
      end;
  end;
if (xb=0)and(xa>0)and(xa<((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //2
    for y:= 8*xa to (8*(xa+1)-1) do
      begin
        for x:=0 to 7 do
          begin
            if (x=0)and(y=8*xa)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
then
  begin //21
    ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
    ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=0)and(y>(8*xa))and(y<(8*(xa+1)-1))
then
  begin //22
    b:= y -(8*xa);
    ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
    ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=0)and(y=(8*(xa+1)-1))
then
  begin //23
    ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];
    ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>0)and(x<7)and(y=(8*xa))
then
  begin //24
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>0)and(x<7)and(y=(8*(xa+1)-1))
then
  begin //25
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=7)and(y=8*xa)
then
  begin //26
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=7)and(y>(8*xa))and(y<(8*(xa+1)-1))
            then
              begin //27
                b:= y-(8*xa);
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=7)and(y=(8*(xa+1)-1))
            then
              begin //28
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x>0)and(x<7)and(y>(8*xa))and(y<(8*(xa+1)-1))
            then
              begin //29
                b:=y-(8*xa);
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
          end;
      end;
  end;
if (xb=0)and(xa=((image1.Height div 8)-1))
then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin //3
  for y:=(8*xa) to (8*(xa+1)-1) do
    begin
      for x:=0 to 7 do
        begin
          if (x=0)and(y=(8*xa))
          then
            begin //31
              ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

              ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
          if (x=0)and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
          then
            begin //32
              b:=y-(8*xa);
              ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

              ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
          if (x=0)and(y=((image1.Height div 8)-1))
          then
            begin //33
              ax[x,y]:= illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];


              ay[x,y]:= illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];
            end;
          if (x>0)and(x<7)and(y=(8*xa))
          then
            begin //34
              ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

              ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                        +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
            end;
          if (x>0)and(x<7)and(y=((image1.Height div 8)-1))
          then
            begin //35
              ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                        +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];

              ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                        +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                        +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                        +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];
            end;
          if (x=7)and(y=8*xa)
          then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                begin //36
                  ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                            +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                            +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                            +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                            +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                  ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                            +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                            +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                            +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                            +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                end;
              if (x=7)and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
              then
                begin //37
                  b:= y-(8*xa);
                  ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                            +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                            +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                            +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                            +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                  ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                            +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                            +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                            +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                            +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                end;
              if (x=7)and(y=((image1.Height div 8)-1))
              then
                begin //38
                  ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                            +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];

                  ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                            +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                            +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];

                end;
              if (x>0)and(x<7)
                 and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
              then
                begin //39
                  b:=y-(8*xa);
                  ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                            +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                            +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                            +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                            +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                  ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                            +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                            +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                            +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                            +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                            +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                end;
            end;
        end;
    end;
if (xb>0)and(xb<((image1.Width div 8)-1))and(xa=0)
then
  begin //4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for y:=0 to 7 do
  begin
    for x:=(8*xb) to (8*(xb+1)-1) do
      begin
        if (x=(8*xb))and(y=0)
        then
          begin //41
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                      +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
          end;
        if (x=(8*xb))and(y>0)and(y<7)
        then
          begin //42
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                      +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                      +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
          end;
        if (x=(8*xb))and(y=7)
        then
          begin //43
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                      +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                      +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
          end;
        if (x>(8*xb))and(x<(8*(xb+1)-1))and(y=0)
        then
          begin //44
            a:= x-(8*xb);
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                      +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
          end;
        if (x>(8*xb))and(x<(8*(xb+1)-1))and(y=7)
        then
          begin //45
            a:= x-(8*xb);
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

      ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
    end;
  if (x=(8*(xb+1)-1))and(y=0)
  then
    begin //46
      ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

      ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
    end;
  if (x=(8*(xb+1)-1))and(y>0)and(y<7)
  then
    begin //47
      ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

      ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
    end;
  if (x=(8*(xb+1)-1))and(y=7)
  then
    begin //48
      ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

      ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];

    end;
  if (x>(8*xb))and(x<(8*(xb+1)-1))
     and(y>0)and(y<7)
  then
    begin //49
      a:=x-(8*xb);
      ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

      ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                  end;
              end;
          end;
    end;
if (xb>0)and(xb<((image1.Width div 8)-1))
   and(xa=((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //5
     for y:=8*xa to ((image1.Height div 8)-1) do
      begin
        for x:=(8*xb) to (8*(xb+1)-1) do
          begin
            if (x=(8*xb))and(y=(8*xa))
            then
              begin //51
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
            then
              begin //52
                b:= y-8*xa;
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y=((image1.Height div 8)-1))
            then
              begin //53
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];


                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];

              end;
            if (x>(8*xb))and(x<(8*(xb+1)-1))and(y=(8*xa))
            then
              begin //54
                a:= x-(8*xb);
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<(8*(xb+1)-1))
   and(y=((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //55
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];


    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];

  end;
if (x=(8*(xb+1)-1))and(y=(8*xa))
then
  begin //56
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=(8*(xb+1)-1))
   and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //57
    b:= y-(8*xa);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=(8*(xb+1)-1))and(y=((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //58
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];
              end;
            if (x>(8*xb))and(x<(8*(xb+1)-1))
              and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
            then
              begin //59
                a:=x-(8*xb);
                b:=y-(8*xa);
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
          end;
      end;
  end;
if (xb=((image1.Width div 8)-1))and(xa=0)
then
  begin //6
    for y:=0 to 7 do
      begin
        for x:=(8*xb) to ((image1.Width div 8)-1) do
          begin
            if (x=(8*xb))and(y=0)
            then
              begin //61
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y>0)and(y<7)
            then
              begin //62
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y=7)
            then
              begin //63
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))and(y=0)
then
  begin //64
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))
  and(y=7)
then
  begin //65
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))and(y=0)
then
  begin //66
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))
  and(y>0)and(y<7)
then
  begin //67
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))and(y=7)
then
  begin //68
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
              end;
            if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))
               and(y>0)and(y<7)
            then
              begin //69
                a:=x-(8*xb);
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
          end;
      end;
  end;
if (xb=((image1.Width div 8)-1))and(xa>0)
   and(xa<((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //7
    for y:=(8*xa) to (8*(xa+1)-1) do
      begin
        for x:=(8*xb) to ((image1.Width div 8)-1) do
          begin
            if (x=(8*xb))and(y=(8*xa))
            then
              begin //71
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y>(8*xa))and(y<(8*(xa+1)-1))
            then
              begin //72
                b:= y-(8*xa);
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y=(8*(xa+1)-1))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
then
  begin //73
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))and(y=(8*xa))
then
  begin //74
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))
   and(y=(8*(xa+1)-1))
then
  begin //75
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))and(y=(8*xa))
then
  begin //76
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))
   and(y>(8*xa))and(y<(8*(xa+1)-1))
then
  begin //77
    b:=y-(8*xa);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

                    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
                  end;
                if (x=((image1.Width div 8)-1))and(y=(8*(xa+1)-1))
                then
                  begin //78
                    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

                    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
                  end;
                if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))
                   and(y>(8*xa))and(y<(8*(xa+1)-1))
                then
                  begin //79
                    a:=x-(8*xb);
                    b:=y-(8*xa);
                    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
                  end;
              end;
          end;
      end;
if (xb=((image1.Width div 8)-1))and(xa=((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //8
    for y:=(8*xa) to ((image1.Height div 8)-1) do
      begin
        for x:=(8*xb) to ((image1.Width div 8)-1) do
          begin
            if (x=(8*xb))and(y=(8*xa))
            then
              begin //81
                ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                          +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                          +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

                ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                          +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                          +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                          +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                          +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                          +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
              end;
            if (x=(8*xb))and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1))
            then
              begin //82
                b:= y-(8*xa);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x=(8*xb))and(y=((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //83
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))and(y=(8*xa))
then
  begin //84
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
              +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
              +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
  end;
if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))
   and(y=((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //85
    a:= x-(8*xb);
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
              +illuarray[x+1,y]*gy[2,1];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))and(y=(8*xa))
then
  begin //86
    ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
              +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
              +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
              +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

    ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
              +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
              +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
  end;
if (x=((image1.Width div 8)-1))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1)
        then
          begin //87
            b:=y-(8*xa);
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                      +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2];
          end;
        if (x=((image1.Width div 8)-1))
          and(y=(image1.Height div 8)-1)
        then
          begin //88
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                      +illuarray[x-1,y]*gy[0,1];
          end;
        if (x>(8*xb))and(x<((image1.Width div 8)-1))
          and(y>(8*xa))and(y<((image1.Height div 8)-1)
        then
          begin //89
            a:=x-(8*xb);
            b:=y-(8*xa);
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                      +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                      +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
          end;
      end;
    end;
  end;
if (xb>0)and(xb<((image1.Width div 8)-1))
  and (xa>0)and(xa<((image1.Height div 8)-1))
then
  begin //9
    for y:= 8*xa to (8*(xa+1)-1)do
      begin
        for x:= 8*xb to (8*(xb+1)-1)do
          begin
            a:=(x-8*xb); b:=(y-8*xa);
            ax[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gx[0,0]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gx[0,2]
                      +illuarray[x,y-1]*gx[1,0]
                      +illuarray[x,y+1]*gx[1,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gx[2,0]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gx[2,2];

            ay[x,y]:= illuarray[x-1,y-1]*gy[0,0]
                      +illuarray[x-1,y]*gy[0,1]
                      +illuarray[x-1,y+1]*gy[0,2]
                      +illuarray[x+1,y-1]*gy[2,0]
                      +illuarray[x+1,y]*gy[2,1]
                      +illuarray[x+1,y+1]*gy[2,2];
          end;
      end;
  end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        xv:=0; yv:=0;
        for y:= 8*xa to (8*(xa+1)-1)do
          begin
            for x:= 8*xb to (8*(xb+1)-1)do
              begin
                xx:= ax[x,y];
                yy := ay[x,y];
                xv:=xv+(2*xx*yy);
                yv:=yv+(xx*xx- yy*yy);
              end;
          end;
        xv:= xv/10000; yv:= yv/10000;
        fly[xa,xb]:= 0.5*(arctan2(xv,yv));
        freex[xa,xb]:=cos(2*fly[xa,xb]);
        freey[xa,xb]:=sin(2*fly[xa,xb]);
      end;
  end;
for xa:= 0 to((image1.Height div 8)-1)do
  begin
    for xb:= 0 to((image1.Width div 8)-1)do
      begin
        if (xa>=2)and(xa<=((image1.Height div 8)-3))
           and (xb>=2) and (xb<=((image1.Width div 8)-3))
        then
          begin
            setax:=0; setay:=0;
            for a:=-2 to 2 do
              begin
                for b:=-2 to 2 do
                  begin
                    setax:=setax + (freex[xa+a,xb+b]/25);
                    setay:=setay + (freey[xa+a,xb+b]/25);
                  end;
              end;
            seta[xa,xb]:=0.5*(arctan2(setay,setax));
          end
        else
          begin
            setax:=freex[xa,xb];
            setay:=freey[xa,xb];
            seta[xa,xb]:=0.5*(arctan2(setay,setax));
          end;
      end;
  end;

for xa:= 0 to((image1.Height div 8)-1)do
  begin
    for xb:= 0 to((image1.Width div 8)-1)do
      begin
        if (xa>=3)and (xa<=((image1.Height div 8)-4))
           and (xb>=3)and (xb<=((image1.Width div 8)-4))
        then
          begin
            seta1[0]:=seta[xa,xb-3]; seta1[1]:=seta[xa+1,xb-3];
            seta1[2]:=seta[xa+2,xb-2]; seta1[3]:=seta[xa+3,xb-1];
            seta1[4]:=seta[xa+3,xb]; seta1[5]:=seta[xa+3,xb+1];
            seta1[6]:=seta[xa+2,xb+2]; seta1[7]:=seta[xa+1,xb+3];
            seta1[8]:=seta[xa,xb+3]; seta1[9]:=seta[xa-1,xb+3];
            seta1[10]:=seta[xa-2,xb+2]; seta1[11]:=seta[xa-3,xb+1];
            seta1[12]:=seta[xa-3,xb]; seta1[13]:=seta[xa-3,xb-1];
            seta1[14]:=seta[xa-2,xb-2]; seta1[15]:=seta[xa-1,xb-3];

            seta2[0]:=seta[xa+1,xb-3]; seta2[1]:=seta[xa+2,xb-2];
            seta2[2]:=seta[xa+3,xb-1]; seta2[3]:=seta[xa+3,xb];
            seta2[4]:=seta[xa+3,xb+1]; seta2[5]:=seta[xa+2,xb+2];
            seta2[6]:=seta[xa+1,xb+3]; seta2[7]:=seta[xa,xb+3];
            seta2[8]:=seta[xa-1,xb+3]; seta2[9]:=seta[xa-2,xb+2];
            seta2[10]:=seta[xa-3,xb+1]; seta2[11]:=seta[xa-3,xb];
            seta2[12]:=seta[xa-3,xb-1]; seta2[13]:=seta[xa-2,xb-2];
            seta2[14]:=seta[xa-1,xb-3]; seta2[15]:=seta[xa,xb-3];
            total:=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            for a:=0 to 15 do
              begin
                diff:=(seta2[a]-seta1[a]);
                if (diff)< -(Pi/2)
                then sum[a]:= Pi + diff;
                if  (diff)> (Pi/2)
                then sum[a]:= Pi - diff;
                if (abs(diff)<= (Pi/2))
                then sum[a]:= diff;
                total:=total+sum[a];
              end;
            d[xa,xb]:= total ;
          end
        else d[xa,xb]:= 0 ;
      end;
  end;

for xa:= 0 to((image1.Height div 8)-1)do
  begin
    for xb:= 0 to((image1.Width div 8)-1)do
      begin
        if (xa>=3)and(xa<=((image1.Height div 8)-4))
           and (xb>=3)and(xb<=((image1.Width div 8)-4))
        then
          begin
            orn[xa,xb]:=d[xa,xb];
            if (orn[xa,xb]>=(Pi-0.1))and (orn[xa,xb]<=(Pi+0.1))
            then orn[xa,xb]:=1
            else orn[xa,xb]:=0;
          end;
      end;
  end;
count:=0; setax:=0;  setay:=0; tall:=((image1.Height div 8)-3);
wide:=((image1.Width div 8)-3);
for xa:= 0 to((image1.Height div 8)-1)do
  begin
    for xb:= 0 to((image1.Width div 8)-1)do
      begin
        if (xa<3) or (xb<3) or (xa>tall) or (xb>wide)
        then
            orn[xa,xb]:=5
          else
            if orn[xa,xb]= 1
            then
              begin
                count:=count+1;
                setax:=setax+xb;
                setay:=setay+xa;
              end;
      end;
  end;
if count > 0
then
  begin
    xvalue :=  (setax/count)*8;
    yvalue :=  (setay/count)*8;
    row:=0; pob:=0; kerp:=((image1.Width div 8)-1); nub:=0;nub1:=0;
    column:=0; kerp1:=((image1.Height div 8)-1);
    for xa:=0 to ((image1.Height div 8)-1) do
      begin
        for xb:=0 to ((image1.Width div 8)-1) do
          begin
            if (kerp<>xb)
            then
              if (orn[xa,xb]=1)or (orn[xa,xb]=0)
              then
                orntype[xb]:=orn[xa,xb]
              else
                orntype[xb]:=5
            else
              begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if (orn[xa,xb]=1)or (orn[xa,xb]=0)
            then
              orntype[xb]:=orn[xa,xb]
            else
              orntype[xb]:=0;
            derm:=row; von:=0; k:=0;
            while ((von<kerp)and (k=0)) do
              begin
                if orntype[von]=1 then k:=1;
                von:=von+1;
              end;
            if (k=1)
            then
              row:=1
            else
              row:=0;
            if ((row xor derm)=1) then nub:=nub+1;
          end;
      end;
  end;
  if (pob=0)
  then
    begin
      nub1:=0;
      column:=0;
      k:=0;
      for xb:=0 to ((image1.Height div 8)-1) do
        begin
          for xa:=0 to ((image1.Width div 8)-1) do
            begin
              if (kerp1<>xa)
              then
                if (orn[xa,xb]=1)or (orn[xb,xa]=0)
                then
                  orntype[xa]:=orn[xa,xb]
                else
                  orntype[xa]:=5
              else
          begin
            orntype[xa]:=orn[xa,xb];
            derm:=column; von:=0;k:=0;
            while ((von<kerp)and(k=0)) do
              begin
                if orntype[von]=1 then k:=1;
                von:=von+1;
              end;
            if (k=1)
            then
              column:=1
            else
              column:=0;
            if ((column xor derm)=1) then nub1:=nub1+1;
          end;
      end;
  end;
if (nub=4)
then
  begin
    if (nub1=4)
    then
      begin
        prapade:=5;
        edit8.text:='5';
      end;
    if (nub1=2)
    then
      begin
        prapade:=0;
        edit8.text:='0';
      end;
    if (nub1=0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        then
          begin
            prapade:=1;
            edit8.text:='1';
          end;
      end
    else
      begin
        if ((nub=2)and(nub1=2)) or ((nub=2)and(nub1=0))
        then
        begin
          if ((nub=2)and(nub1=0))
          then
            begin
              prapade:=6;
              edit8.text:='6';
            end
          else
            begin
             prapade:=0;
             edit8.text:='0';
            end
        end
        else
          begin
            if (nub=0)and(nub1=0)
            then
              begin
                prapade:=2;
                edit8.text:='2';
              end
            else
              begin
                if ((nub=4) and (nub1=0))
                then
                  begin
                   prapade:=0;
                   edit8.text:='0';
                  end
                else
                  begin
                  prapade:=3;
                  edit8.text:='3';
                 end;
               end;
          end;
      end;
  end;
end
else
  begin
    for xa:= 3 to((image1.Height div 8)-4)do
      begin
        for xb:= 3 to((image1.Width div 8)-4)do
          begin
            if abs(d[xa,xb])>0.1
            then orn[xa,xb]:= 1
            else orn[xa,xb]:= 0;
          end;
      end;
    nub:=0; setax:=0;  setay:=0;
    for xa:= 3 to((image1.Height div 8)-4)do
      begin
        for xb:= 3 to((image1.Width div 8)-4)do
          begin
            if orn[xa,xb]= 1
            then
              begin
                nub:=nub+1;
                setax:=setax+xb;
                setay:=setay+xa;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                end;
            end;
        end;
      xvalue :=  (setax/nub)*8;
      yvalue :=  (setay/nub)*8;
      prapade:= 2;
      edit8.text:='2' ;
    end;
  if count<6
  then
    begin
      edit8.text:='4';
      prapade:=4;
    end;
  cenx := round(xvalue)  ;
  ceny := round(yvalue) ;
  image1.canvas.Arc(cenx-3,ceny-3,cenx+3,ceny+3,cenx+3,ceny,cenx+3,ceny);
  image1.canvas.pen.Width:=2;
  image1.canvas.pen.color:=clred;
  edit2.text:='ok';
  end;

//////////////////////////////////////////
```

โปรแกรมการตัดระดับภาพ

```
procedure TForm1.BiButtonClick(Sender: TObject);
var
      a,b,xa,xb,sa,sb,count,o,nub,t : byte;
      c,x,y  : word;


begin
  // step 2  find mean
  a:= image1.Height div 16;
  b:= image1.Width div 16;
  c:=0;
  sa:= image1.Height mod 16;
  sb:= image1.Width mod 16;
  for xa :=1 to 16 do
    begin
      for xb:= 1 to 16 do
        begin
          for y:= (a*(xa-1)) to ((a*xa)-1)do
            begin
              for x:= (b*(xb-1)) to ((b*xb)-1)do
                begin
                  c:= c + {myarray3}smarray[x,y];
                end;
            end;
          th:= c div (a*b);
          for y:= (a*(xa-1)) to ((a*xa)-1)do
            begin
              for x:= (b*(xb-1)) to ((b*xb)-1)do
                begin
                  if {myarray3}smarray [x,y] <= th*1.05
                  then {myarray3}smarray [x,y]:=0
                  else {myarray3}smarray [x,y]:=1;
                end;
            end;
        c:=0;
        end;
    end;
  if sa > 0
  then
    begin
      for xb := 1 to 16 do
        begin
          for y:= (a*16) to (image1.Height-1)do
            begin
              for x:= (b*(xb-1)) to ((b*xb)-1)do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            begin
              c:= c + {myarray3}smarray[x,y];
            end;
        end;
      th:= c div (sa*b);
      for y:= (a*16) to (image1.Height-1)do
        begin
          for x:= (b*(xb-1)) to ((b*xb)-1)do
            begin
              if {myarray3}smarray [x,y] <= th*1.05
              then {myarray3}smarray [x,y]:=0
              else {myarray3}smarray [x,y]:=1;
            end;
        end;
    c:=0;
    end;
  end;
if sb > 0
then
  begin
    for xa := 1 to 16 do
      begin
        for y:= (a*(xa-1)) to ((a*xa)-1)do
          begin
            for x:= (b*16) to (image1.Width-1)do
              begin
                c:= c + {myarray3}smarray[x,y];
              end;
          end;
        th:= c div (a*sb);
        for y:= (a*(xa-1)) to ((a*xa)-1)do
          begin
            for x:= (b*16) to (image1.Width-1)do
              begin
                if {myarray3}smarray [x,y] <= th*1.05
                then {myarray3}smarray [x,y]:=0
                else {myarray3}smarray [x,y]:=1;
              end;
          end;
      c:=0;
      end;
  end;
if ((sa > 0) and (sb > 0))
then
  begin
    for y:= (a*16) to (image1.Height-1)do
      begin
        for x:= (b*16) to (image1.Width-1)do
          begin
            c:= c + {myarray3}smarray[x,y];
          end;
      end;
    th:= c div (a*sb);
    for y:= (a*16) to (image1.Height-1)do
      begin
        for x:= (b*16) to (image1.Width-1)do
          begin
            if {myarray3}smarray [x,y] <= th*1.05
            then {myarray3}smarray [x,y]:=0
            else {myarray3}smarray [x,y]:=1;
          end;
      end;
  end;
for y:=0 to (image1.Height-1) do
  begin
    for x:=0 to (image1.Width-1) do
      begin
        if {myarray3}smarray[x,y]= 1
        then image1.canvas.pixels[x,y]:= 0
        else image1.canvas.pixels[x,y]:= 16777215
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end;

  edit3.text:='ok';
end;
////////////////////////////////////
```

โปรแกรมการทำเส้นบาง

```
procedure TForm1.ThButtonClick(Sender: TObject);
var x,y,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,m1,m2,n,s : smallint;
    a,b,c  :word;
begin
  a:=0;
  for y:=0 to (image1.Height-1) do
    begin
      for x:=0 to (image1.Width-1) do
        begin
          {myarray1}fatarray[x,y]:= {myarray3}smarray[x,y];
          if {myarray1}fatarray[x,y]< 1 then a:= a+1;
        end;
    end;
  b:=a;
  repeat
    begin
      c:= b;
      //step1
      for y:=0 to (image1.Height-1) do
        begin
          for x:=0 to (image1.Width-1) do
            begin
              if ((x>0) and (x<image1.Width-2) and (y>0) and
              (y<image1.Height-2) and ({myarray1}fatarray[x,y]=1))
              then
                begin
                  p2:= {myarray1}fatarray[x,y-1];
                  p3:= {myarray1}fatarray[x+1,y-1];
                  p4:= {myarray1}fatarray[x+1,y];
                  p5:= {myarray1}fatarray[x+1,y+1];
                  p6:= {myarray1}fatarray[x,y+1];
                  p7:= {myarray1}fatarray[x-1,y+1];
                  p8:= {myarray1}fatarray[x-1,y];
                  p9:= {myarray1}fatarray[x-1,y-1];
                  n:= p2+p3+p4+p5+p6+p7+p8+p9;
                  m1:=p2+p4+p6;
                  m2:=p4+p6+p8;
                  s:=0;
                  if (p3-p2)>0 then s:= s+1;
                  if (p4-p3)>0 then s:= s+1;
                  if (p5-p4)>0 then s:= s+1;
                  if (p6-p5)>0 then s:= s+1;
                  if (p7-p6)>0 then s:= s+1;
                  if (p8-p7)>0 then s:= s+1;
                  if (p9-p8)>0 then s:= s+1;
                  if (p2-p9)>0 then s:= s+1;
                  if ((m1<3) and (m2<3) and (s=1) and (n>1)
                     and (n<7))
                  then
                    begin
                      {myarray2}tharray[x,y]:= 0;
                    end
                  else {myarray2}tharray[x,y]:= 1;
                end
              else
                begin
                  {myarray2}tharray[x,y]:= 0;
                end;
            end;
        end;
      for y:=0 to image1.Height-1 do
        begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        for x:=0 to image1.Width-1 do
          begin
            {myarray1}fatarray[x,y]:= {myarray2}tharray[x,y];
          end;
      end;
    ////////////////////////////////////////
    //step2
    for y:=1 to image1.Height-2 do
      begin
        for x:=1 to image1.Width-2 do
          begin
            if {myarray1}fatarray[x,y]= 1
            then
              begin
                p2:= {myarray1}fatarray[x,y-1];
                p3:= {myarray1}fatarray[x+1,y-1];
                p4:= {myarray1}fatarray[x+1,y];
                p5:= {myarray1}fatarray[x+1,y+1];
                p6:= {myarray1}fatarray[x,y+1];
                p7:= {myarray1}fatarray[x-1,y+1];
                p8:= {myarray1}fatarray[x-1,y];
                p9:= {myarray1}fatarray[x-1,y-1];
                n:= p2+p3+p4+p5+p6+p7+p8+p9;
                m1:=p2+p4+p8;
                m2:=p2+p6+p8;
                s:=0;
                if (p3-p2)>0 then s:= s+1;
                if (p4-p3)>0 then s:= s+1;
                if (p5-p4)>0 then s:= s+1;
                if (p6-p5)>0 then s:= s+1;
                if (p7-p6)>0 then s:= s+1;
                if (p8-p7)>0 then s:= s+1;
                if (p9-p8)>0 then s:= s+1;
                if (p2-p9)>0 then s:= s+1;
                if ((m1<3) and (m2<3) and (s=1) and (n>1)
                   and (n<7))
                then
                  begin
                    {myarray2}tharray[x,y]:= 0;
                  end
                else {myarray2}tharray[x,y]:= 1;
              end;
          end;
      end;
    b:=0;
    for y:=0 to image1.Height-1 do
      begin
        for x:=0 to image1.Width-1 do
          begin
            {myarray1}fatarray[x,y]:= {myarray2}tharray[x,y];
            if {myarray2}tharray[x,y]<1
            then b:= b+1;
          end;
      end;
  end;
until  b = c ;
for y:=1 to image1.Height-2 do
  begin
    for x:=1 to image1.Width-2 do
      begin
        if {myarray2}tharray [x,y]=1
        then
          begin
            p2:= {myarray2}tharray[x,y-1];
            p3:= {myarray2}tharray[x+1,y-1];
            p4:= {myarray2}tharray[x+1,y];
            p5:= {myarray2}tharray[x+1,y+1];
            p6:= {myarray2}tharray[x,y+1];
            p7:= {myarray2}tharray[x-1,y+1];
            p8:= {myarray2}tharray[x-1,y];
            p9:= {myarray2}tharray[x-1,y-1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            n:=p2+p4+p6+p8;
            if (n=3) or((p2*P8=1)and(p5=0)) or ((p2*P4=1)and(p7=0))
               or ((p4*P6=1)and(p9=0)) or ((p6*P8=1)and(p3=0))
            then {myarray2}tharray[x,y]:=0;
          end;
      end;
  end;
  for y:=0 to image1.Height-1 do
  begin
    for x:=0 to image1.Width-1 do
    begin
      if {myarray2}tharray[x,y]<1
      then image1.canvas.Pixels[x,y]:=16777215;
    end;
  end;
  edit4.text:='ok';
end;
////////////////////////////////////////
```

โปรแกรมการปรับปรุงลายภาพ

```
procedure TForm1.E1ButtonClick(Sender: TObject);
var p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,nc41,nc81,nc42,nc82,fx,fy,tid,lob,yak :byte;
    kern :byte;
    count,sx,sy,e,f,x,y : word;
    px,py       : array[0..13] of byte ;
    temparray   : array[0..255,0..255] of byte;
    xx,yy : integer;
begin
  for y:=1 to image1.Height-2 do
    begin
      for x:=1 to image1.Width-2 do
        begin
          yakarray[x,y]:=0;
          {myarray1}bidarray[x,y]:= {myarray2}tharray[x,y];
          if {myarray1}bidarray[x,y] =1
          then
            begin
              p1:={myarray2}tharray[x+1,y];
              p2:={myarray2}tharray[x+1,y-1];
              p3:={myarray2}tharray[x,y-1];
              p4:={myarray2}tharray[x-1,y-1];
              p5:={myarray2}tharray[x-1,y];
              p6:={myarray2}tharray[x-1,y+1];
              p7:={myarray2}tharray[x,y+1];
              p8:={myarray2}tharray[x+1,y+1];
              {myarray3}dudarray[x,y] := (p1*16)+(p2*4)+(p3*2)+(p4*1)+(p5*8)
                                         +(p6*32)+(p7*64)+(p8*128);

              nc41 := ((p1-(p1*p2*p3))+(p3-(p3*p4*p5))+
                       (p5-(p5*p6*p7))+(p7-(p7*p8*p1)));
              nc81 := ((1-p1)-((1-p1)*(1-p2)*(1-p3)))+
                       ((1-p3)-((1-p3)*(1-p4)*(1-p5)))+
                       ((1-p5)-((1-p5)*(1-p6)*(1-p7)))+
                       ((1-p7)-((1-p7)*(1-p8)*(1-p1)));
              nc42 := ((p2-(p2*p3*p4))+(p4-(p4*p5*p6))+
                       (p6-(p6*p7*p8))+(p8-(p8*p1*p2)));
              nc82 := ((1-p2)-((1-p2)*(1-p3)*(1-p4)))+
                       ((1-p4)-((1-p4)*(1-p5)*(1-p6)))+
                       ((1-p6)-((1-p6)*(1-p7)*(1-p8)))+
                       ((1-p8)-((1-p8)*(1-p1)*(1-p2)));

              if ((nc41=2) and (nc42=1) and (nc82=3))or
                 ((nc41=1) and (nc42=2) and (nc81=3))or
                 ((nc41=3) or (nc81=3) or (nc82=3))or
                 (((nc41=3) and (nc42=0))or
                 ((nc41<>0) and ((nc82=2) and (nc42=2))))
              then {myarray4}yakarray[x,y] :=1;

            end;
        end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  end;

for y:=1 to image1.Height-2 do
  begin
    for x:=1 to image1.Width-2 do
      begin
        if {myarray4}yakarray[x,y]=1
        then
          begin

            fx :=x; fy :=y; lob:=0;

            case {myarray3}dudarray[fx,fy] of
              39: begin
                    fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
                  end;
              45: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
                  end;
              57: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy;   lob:=8;
                  end;
              71: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy+1; lob:=2;
                  end;
             135: begin
                    fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
                  end;
             149: begin
                    fx:= fx-1; fy:= fy-1; lob:=128;
                  end;
             156: begin
                    fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=16;
                  end;
             169: begin
                    fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
                  end;
             180: begin
                    fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
                  end;
             225: begin
                    fx:= fx-1; fy:= fy-1; lob:=128;
                  end;
             226: begin
                    fx:= fx;   fy:= fy-1; lob:=64;
                  end;
             228: begin
                    fx:= fx+1; fy:= fy-1; lob:=32;
                  end;
              26: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy;   lob:=9;
                  end;
              37: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
                  end;
              49: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy;   lob:=8;
                  end;
              50: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy;   lob:=9;
                  end;
              69: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
                  end;
              76: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
                  end;
              81: begin
                    fx:= fx+1;  fy:= fy;   lob:=40;
                  end;
              88: begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          fx:= fx+1;  fy:= fy;   lob:=40;
        end;
    133: begin
           fx:= fx+1; fy:= fy-1; lob:=32;
         end;
    138: begin
           fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
         end;
    140: begin
           fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
         end;
    161: begin
           fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
         end;
    162: begin
           fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
         end;
    164: begin
           fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
         end;

end;
count:= 0;  yak:=0;
px[count]:=fx;
py[count]:=fy;
while (count <10) and (yak = 0) do
  begin
    if {myarray4}yakarray[fx,fy]>0
    then
      begin
        yak:=1; px[count]:=0; py[count]:=0;
      end
    else
      begin
        tid := {myarray3}dudarray[fx,fy]- lob;
        case tid of
          0: begin
               count:=12;
             end;
          1: begin
               fx:= fx-1;  fy:= fy-1; lob:=128;
             end;
          2: begin
               fx:= fx;    fy:= fy-1; lob:=64;
             end;
          4: begin
               fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
             end;
          8: begin
               fx:= fx-1;  fy:= fy;   lob:=16;
             end;
          16: begin
                fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
              end;
          32: begin
                fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
              end;
          64: begin
                fx:= fx;   fy:= fy+1; lob:=2;
              end;
          128: begin
                 fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
               end;
          144: begin
                 fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
               end;
          44: begin
                fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=16;
              end;
          9: begin
               fx:= fx-1; fy:= fy-1;   lob:=128;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    end;
                end;
              end;
              count:= count+1;
              px[count]:=fx;
              py[count]:=fy;
          end;
        if (count < 10) or (count > 12)
        then
          begin
            if count < 10
            then
              begin
                while count > 0 do
                  begin
                    count :=count-1;
                    fx:=px[count];
                    fy:=py[count];
                    {myarray1}bidarray[fx,fy]:=0;
                  end;
              end
            else
              begin
                fx:=px[13];
                fy:=py[13];
                bidarray[fx,fy]:=0;
              end;
          end;
      end;
    end;
  end;
for y:=1 to image1.Height-2 do
  begin
    for x:=1 to image1.Width-2 do
      begin
        if {myarray4}yakarray[x,y] = 1
        then
          begin
            fx :=x; fy :=y; lob:=0;
            case {myarray3}dudarray[fx,fy] of
              26: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy-1; lob:=224;
                  end;
              37: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy-1; lob:= 128;
                  end;
              49: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy-1; lob:= 128;
                  end;
              50: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy-1; lob:= 192;
                  end;
              69: begin
                     fx:= fx-1; fy:= fy-1; lob:= 128;
                  end;
              76: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy;   lob:= 144;
                  end;
              81: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy-1; lob:= 128;
                  end;
              88: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy;   lob:= 144;
                  end;
              133: begin
                     fx:= fx-1; fy:= fy-1; lob:= 128;
                   end;
              138: begin
                     fx:= fx;   fy:= fy-1; lob:= 96;
                   end;
              140: begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          fx:= fx+1; fy:= fy-1; lob:= 32;
        end;
  161: begin
          fx:= fx-1; fy:= fy-1; lob:= 128;
        end;
  162: begin
          fx:= fx;   fy:= fy-1; lob:=64;
        end;
  164: begin
          fx:= fx+1; fy:= fy-1; lob:=32;
        end;
end;
count:=0;
yak:=0;
px[count]:=fx;
py[count]:=fy;
while (count <10) and (yak = 0) do
  begin
    if {myarray4}yakarray[fx,fy]>0
    then
      begin
        yak:=1; px[count]:=0; py[count]:=0;
      end
    else
      begin
        tid := {myarray3}dudarray[fx,fy]- lob;
        case tid of
          0: begin
               count:=12;
             end;
          1: begin
               fx:= fx-1;  fy:= fy-1; lob:=128;
             end;
          2: begin
               fx:= fx;    fy:= fy-1; lob:=64;
             end;
          4: begin
               fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
             end;
          8: begin
               fx:= fx-1;  fy:= fy;   lob:=16;
             end;
          16: begin
                fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
              end;
          32: begin
                fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
              end;
          64: begin
                fx:= fx;   fy:= fy+1; lob:=2;
              end;
          128: begin
                 fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
               end;
          144: begin
                 fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
               end;
          44: begin
                fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=16;
              end;
          9: begin
               fx:= fx-1; fy:= fy-1;   lob:=128;
             end;
        end;
      end;
      count:= count+1;
      px[count]:=fx;
      py[count]:=fy;
  end;
if (count < 10) or (count>12)
then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            begin
              if count <10
              then
                begin
                  while count > 0 do
                    begin
                      count :=count-1;
                      fx:=px[count];
                      fy:=py[count];
                      {myarray1}bidarray[fx,fy]:=0;
                    end;
                end
              else
                begin
                  fx:=px[13];
                  fy:=py[13];
                  bidarray[fx,fy]:=0;
                end;
            end;
        end;
    end;
  end;

for y:=1 to image1.Height-2 do
  begin
    for x:=1 to image1.Width-2 do
      begin
        if {myarray4}yakarray[x,y] = 1
        then
          begin
            fx :=x;
            fy :=y;
            lob:=0;
            case {myarray3}dudarray[fx,fy] of
              26: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy;   lob:=20;
                  end;
              37: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy+1; lob:=4;
                  end;
              49: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy+1; lob:=4;
                  end;
              50: begin
                    fx:= fx-1;  fy:= fy+1; lob:=4;
                  end;
              69: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy+1; lob:=2;
                  end;
              76: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy+1; lob:=3;
                  end;
              81: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy+1; lob:=6;
                  end;
              88: begin
                    fx:= fx;    fy:= fy+1; lob:=7;
                  end;
              133: begin
                     fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
                   end;
              138: begin
                     fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=20;
                   end;
              140: begin
                     fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=16;
                   end;
              161: begin
                     fx:= x-1;  fy:= y+1;  lob:=4;
                   end;
              162: begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
        end;
  164: begin
          fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
        end;
 end;
count:=0;
yak:=0;
px[count]:=fx;
py[count]:=fy;
while (count <10) and (yak = 0) do
  begin
    if {myarray4}yakarray[fx,fy]>0
    then
      begin
        yak:=1; px[count]:=0; py[count]:=0;
      end
    else
      begin
        tid := {myarray3}dudarray[fx,fy]- lob;
        case tid of
          0: begin
               count:=12;
             end;
          1: begin
               fx:= fx-1;   fy:= fy-1; lob:=128;
             end;
          2: begin
               fx:= fx;     fy:= fy-1; lob:=64;
             end;
          4: begin
               fx:= fx+1;   fy:= fy-1; lob:=32;
             end;
          8: begin
               fx:= fx-1;   fy:= fy;   lob:=16;
             end;
          16: begin
               fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
              end;
          32: begin
               fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
              end;
          64: begin
               fx:= fx;   fy:= fy+1; lob:=2;
              end;
          128: begin
                fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
               end;
          144: begin
               fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
              end;
          44: begin
               fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=16;
              end;
          9: begin
               fx:= fx-1; fy:= fy-1;   lob:=128;
             end;
        end;
      end;
      count:=count+1;
      px[count]:=fx;
      py[count]:=fy;
  end;
if (count < 10) or (count>12)
then
  begin
    if count<10
    then
      begin
        while count > 0 do
          begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        count :=count-1;
                        fx:=px[count];
                        fy:=py[count];
                        bidarray[fx,fy]:=0;
                      end;
                  end
                else
                  begin
                    fx:=px[13];
                    fy:=py[13];
                    bidarray[fx,fy]:=0;
                  end;
              end;
          end;
      end;
  end;
for y :=0 to image1.Height-1 do
  begin
    for x :=0 to image1.Width-1 do
      begin
        yakarray[x,y]:=0;
        if bidarray[x,y]= 1
        then
          begin
            p1:=bidarray[x+1,y];
            p2:=bidarray[x+1,y-1];
            p3:=bidarray[x,y-1];
            p4:=bidarray[x-1,y-1];
            p5:=bidarray[x-1,y];
            p6:=bidarray[x-1,y+1];
            p7:=bidarray[x,y+1];
            p8:=bidarray[x+1,y+1];
            dudarray[x,y] := (p1*16)+(p2*4)+(p3*2)+(p4*1)+(p5*8)
                             +(p6*32)+(p7*64)+(p8*128);
            nc41 := ((p1-(p1*p2*p3))+(p3-(p3*p4*p5))+
                     (p5-(p5*p6*p7))+(p7-(p7*p8*p1)));
            nc81 := ((1-p1)-((1-p1)*(1-p2)*(1-p3)))+
                     ((1-p3)-((1-p3)*(1-p4)*(1-p5)))+
                     ((1-p5)-((1-p5)*(1-p6)*(1-p7)))+
                     ((1-p7)-((1-p7)*(1-p8)*(1-p1)));
            nc42 := ((p2-(p2*p3*p4))+(p4-(p4*p5*p6))+
                     (p6-(p6*p7*p8))+(p8-(p8*p1*p2)));
            nc82 := ((1-p2)-((1-p2)*(1-p3)*(1-p4)))+
                     ((1-p4)-((1-p4)*(1-p5)*(1-p6)))+
                     ((1-p6)-((1-p6)*(1-p7)*(1-p8)))+
                     ((1-p8)-((1-p8)*(1-p1)*(1-p2)));
            if ((nc41=2) and (nc42=1) and (nc82=3))or
               ((nc41=1) and (nc42=2) and (nc81=3))or
               ((nc41=3) or (nc81=3) or (nc82=3))or
               (((nc41=3) and (nc42=0))or
               ((nc41<>0) and ((nc82=2) and (nc42=2))))
            then yakarray[x,y]:=1;

            if (((nc41=1)and(nc42=0)) or ((nc41=0)and(nc42=1)))
            then yakarray[x,y]:=2;
          end;
      end;
  end;
for y :=0 to image1.Height-1 do
  begin
    for x :=0 to image1.Width-1 do
      begin
        if yakarray[x,y]=2
        then
          begin
            fx:=x; fy:=y; lob:=0;

            case dudarray[fx,fy] of
              1 : begin
                    fx:=fx-1; fy:=fy-1; lob:=128;
                  end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  2 : begin
      fx:=fx; fy:=fy-1; lob:=64;
      end;
  4 : begin
      fx:=fx+1; fy:=fy-1; lob:=32;
      end;
  8 : begin
      fx:=fx-1; fy:=fy; lob:=16;
      end;
  16 : begin
      fx:=fx+1; fy:=fy; lob:=8;
      end;
  32 : begin
      fx:=fx-1; fy:=fy+1; lob:=4;
      end;
  64 : begin
      fx:=fx; fy:=fy+1; lob:=2;
      end;
  128 : begin
      fx:=fx+1; fy:=fy+1; lob:=1;
      end;
end;
count:=0; yak:=0;
px[count]:=fx;
py[count]:=fy;
while (count <6) and (yak = 0) do
  begin
    if yakarray[fx,fy]=1
    then
      begin
        yak:=1; px[count]:=0; py[count]:=0;
      end
    else
      begin
        tid := dudarray[fx,fy]- lob;
        case tid of
          1: begin
               fx:= fx-1;  fy:= fy-1; lob:=128;
             end;
          2: begin
               fx:= fx;    fy:= fy-1; lob:=64;
             end;
          4: begin
               fx:= fx+1;  fy:= fy-1; lob:=32;
             end;
          8: begin
               fx:= fx-1;  fy:= fy;   lob:=16;
             end;
          16: begin
                fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
              end;
          32: begin
                fx:= fx-1; fy:= fy+1; lob:=4;
              end;
          64: begin
                fx:= fx;   fy:= fy+1; lob:=2;
              end;
          128: begin
                 fx:= fx+1; fy:= fy+1; lob:=1;
               end;
          144: begin
                 fx:= fx+1; fy:= fy;   lob:=8;
               end;
          44: begin
                fx:= fx-1; fy:= fy;   lob:=16;
              end;
          9: begin
               fx:= fx-1; fy:= fy-1;   lob:=128;
             end;
        end;
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    count:= count+1;
                    px[count]:=fx;
                    py[count]:=fy;
                  end;
                if count < 6
                then
                  begin
                    while count > 0 do
                      begin
                        count :=count-1;
                        fx:=px[count];
                        fy:=py[count];
                        bidarray[fx,fy]:=0;

                      end;
                  end;
              end;
          end;
    end;
for y :=0 to image1.Height-1 do
  begin
    for x :=0 to image1.Width-1 do
      begin
        if bidarray[x,y]= 1
        then
          begin
            p1:=bidarray[x+1,y];
            p2:=bidarray[x+1,y-1];
            p3:=bidarray[x,y-1];
            p4:=bidarray[x-1,y-1];
            p5:=bidarray[x-1,y];
            p6:=bidarray[x-1,y+1];
            p7:=bidarray[x,y+1];
            p8:=bidarray[x+1,y+1];
            dudarray[x,y] := (p1*16)+(p2*4)+(p3*2)+(p4*1)+(p5*8)
                             +(p6*32)+(p7*64)+(p8*128);
            if dudarray[x,y]=0
            then bidarray[x,y]:= 0;
          end;
      end;
  end;
for y :=0 to image1.Height-1 do
  begin
    for x :=0 to image1.Width-1 do
      begin
        myarray2}elarray[x,y]:={myarray1}bidarray[x,y];
      end;
  end;
kern:=0; e:=0; f:=0;
for sy:= 0 to 255 do
  begin
    yy:=((ceny-127)+sy);
    if (yy<0) or (yy>(image1.Height-1)) then kern:=1;
    for sx:= 0 to 255 do
      begin
        xx:=((cenx-127)+sx);
        if (xx<0) or (xx>(image1.Width-1)) then kern:=1;
        if kern=1
        then
          begin
          temparray[e,f]:=0;
          end
        else
          begin
          temparray[e,f]:=elarray[xx,yy];
          end;
        e:=e+1;
        kern:=0;
        if e=256
        then
         begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            f:=f+1;
            e:=0;
          end;
      end;
  end;
for f:=0 to 255 do
  for e:=0 to 255 do
    elarray[e,f]:=temparray[e,f];
for y :=0 to image1.Height-1 do
 begin
    for x :=0 to image1.Width-1 do
      begin
        if elarray[x,y]>0
        then image1.canvas.pixels[x,y]:=0
        else image1.canvas.pixels[x,y]:=16777215;
      end;
  end;
  edit5.text:='ok';
end;
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

โปรแกรมการหาพารามิเตอร์

```
procedure TForm1.PaButtonClick(Sender: TObject);
var
    p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,nc41,nc81,nc42,nc82,n,a,b : byte ;
    fx,fy,tid,lob,yak,ox,oy,xc,yc,rob,xa,xb : byte ;
    count,x,y :word;
    px1,py1,px2,py2          :  byte ;
    sx,sy,tx,ty: single;
    harn ,subcount,FEle,SEle: integer;
    TEle:real;
    starc,stpik:string;
    TempStrPikud,FirstElement,SecondElement,ThirdElement:String;
begin
    for y:=1 to 254 do
    begin
      for x:=1 to 254 do
        begin
          if {myarray2}elarray [x,y]=1
          then
            begin
              p2:= {myarray2}elarray[x,y-1];
              p3:= {myarray2}elarray[x+1,y-1];
              p4:= {myarray2}elarray[x+1,y];
              p5:= {myarray2}elarray[x+1,y+1];
              p6:= {myarray2}elarray[x,y+1];
              p7:= {myarray2}elarray[x-1,y+1];
              p8:= {myarray2}elarray[x-1,y];
              p9:= {myarray2}elarray[x-1,y-1];
              n:=p2+p4+p6+p8;
              if (n=3) or((p2*P8=1)and(p5=0)) or ((p2*P4=1)and(p7=0))
                 or ((p4*P6=1)and(p9=0)) or ((p6*P8=1)and(p3=0))
              then {myarray2}elarray[x,y]:=0;
            end;
        end;
    end;

  for y :=0 to 255 do
    begin
      for x :=0 to 255 do
        begin
          yakarray[x,y]:=0;
          if elarray[x,y]= 1
          then
            begin
              p1:=elarray[x+1,y];
              p2:=elarray[x+1,y-1];
              p3:=elarray[x,y-1];
              p4:=elarray[x-1,y-1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            p5:=elarray[x-1,y];
            p6:=elarray[x-1,y+1];
            p7:=elarray[x,y+1];
            p8:=elarray[x+1,y+1];
            nc41 := ((p1-(p1*p2*p3))+(p3-(p3*p4*p5))+
                     (p5-(p5*p6*p7))+(p7-(p7*p8*p1)));
            nc81 := ((1-p1)-((1-p1)*(1-p2)*(1-p3)))+
                     ((1-p3)-((1-p3)*(1-p4)*(1-p5)))+
                     ((1-p5)-((1-p5)*(1-p6)*(1-p7)))+
                     ((1-p7)-((1-p7)*(1-p8)*(1-p1)));
            nc42 := ((p2-(p2*p3*p4))+(p4-(p4*p5*p6))+
                     (p6-(p6*p7*p8))+(p8-(p8*p1*p2)));
            nc82 := ((1-p2)-((1-p2)*(1-p3)*(1-p4)))+
                     ((1-p4)-((1-p4)*(1-p5)*(1-p6)))+
                     ((1-p6)-((1-p6)*(1-p7)*(1-p8)))+
                     ((1-p8)-((1-p8)*(1-p1)*(1-p2)));
            if ((nc41=2) and (nc42=1) and (nc82=3))or
               ((nc41=1) and (nc42=2) and (nc81=3))or
               ((nc41=3) or (nc81=3) or (nc82=3))or
               (((nc41=3) and (nc42=0))or
               ((nc41<>0) and ((nc82=2) and (nc42=2))))
            then yakarray[x,y]:=1;
          end;
      end;
  end;
for y :=0 to 255 do
  begin
    for x :=0 to 255 do
      begin
        if yakarray[x,y]=1
        then
          begin
            for b :=0 to 255 do
              begin
                for a :=0 to 255 do
                  begin
                    if (yakarray[a,b]=1)and(((a=x)and(b<>y))
                      or((a<>x)and(b=y))or((a<>x)and(b<>y)))
                    then
                      begin
                        if (sqrt(sqr(x-a)+sqr(y-b))) <1.5
                        then yakarray[a,b]:=0;
                      end;
                  end;
              end;
          end;
      end;
  end;
count:=0;
for y :=0 to 255 do
  begin
    for x :=0 to 255 do
      begin
        if elarray[x,y]>0
        then image1.canvas.pixels[x,y]:=0
        else image1.canvas.pixels[x,y]:=16777215;
        if yakarray[x,y]=1
        then
          begin
            xa:= (y div 8)-(16-(ceny div 8));
            xb:= (x div 8)-(16-(cenx div 8));
            count:=count+1;
            xpa[count]:=x;
            ypa[count]:=y;
            arcpa[count]:=seta[xa,xb];
            str(arcpa[count]:0:6,starc);
            pikud[count]:=(inttostr(xpa[count])+','+inttostr(ypa[count])
                          +','+starc);
            image1.canvas.Arc(x-3,y-3,x+3,y+3,x+3,y,x+3,y);
            image1.canvas.pen.Width:=3;
            image1.canvas.pen.color:=clred;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            end
          end;
      end;
    yakjud:=count;
    if (combobox1.text = 'database')
    then
      begin
        table1.Active:=true;
        table1.first;
        table1.insert;
        table1.fieldvalues['NAME']:=edit7.text;
        table1.fieldvalues['YAKNO']:=yakjud;
        table1.fieldvalues['PRAPADE']:=prapade;
        for rob:=1 to yakjud do
          begin
            table1.FieldValues['PIKUD'+inttostr(rob)]:= pikud[rob];
          end;
        table1.post;
      end;
    edit6.text:='ok';

end;
////////////////////////////////////
```

โปรแกรมการเปรียบเทียบภาพ

```
procedure TForm1.Mabuttonclick(Sender: TObject);
var  a,b,check,datap : byte ;
     xa,xb,p,q,option: byte ;
     r,s      : shortint;
     parc,nay,qarc,score,special,temp      : real;
     count,datayak,x,y,mappoint :word;
     px,py,qx,qy,pob,chai,nub,kuang ,numyak,rob,subrob,pos      :  byte ;
     sx,sy,tx,ty: single;
     qxarray,qyarray :array [0..60] of integer;
     datax,datay,mummaparray  : array[0..60] of byte;
     dataarc,mumarray,damumarray      : array[0..60] of real;
     tangarray    : array[0..60] of shortint;
     pikud        : array[0..60] of string;
     xst,yst,arcst,tempst,dataname: string;
     mapscore     : array[0..5] of real;
     mapname      : array[0..5] of string;
     leang        : string;
begin
  option:=0;
  score:=0;
  if combobox1.Text='mapping'
  then
    begin
      if edit9.text= 'name want map'
      then
        begin
          option:=1;
          table1.Active:=True;
          table1.First;
          mappoint:=0;
          while  not table1.Eof do
            begin
              datap:= table1.FieldValues['PRAPADE'];
              datayak:=table1.FieldValues['YAKNO'];
              dataname:=table1.FieldValues['NAME'];
              xst:='';
              yst:='';
              arcst:='';
              for rob:=1 to datayak do
                begin
                  pikud[rob]:= table1.FieldValues['PIKUD'+inttostr(rob)] ;
                  subrob:=1;
                  tempst:=pikud[rob]+',';
                  if tempst<>','
                  then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          begin
            xst:='';
            yst:='';
            arcst:='';
            while tempst[subrob]<>',' do
              begin
                xst:=xst+tempst[subrob];
                subrob:=subrob+1;
              end;
            datax[rob]:=strtoint(xst);
            subrob:=subrob+1;
            while tempst[subrob]<>',' do
              begin
                yst:=yst+tempst[subrob];
                subrob:=subrob+1;
              end;
            datay[rob]:=strtoint(yst);
            subrob:=subrob+1;
            while tempst[subrob]<>',' do
              begin
                arcst:=arcst+tempst[subrob];
                subrob:=subrob+1;
              end;
            dataarc[rob]:=strtofloat(arcst);
          end;
      end;
table1.Next;
pob:=0;
if ((yakjud/datayak)<=2) and((datayak/yakjud)>=0.5)
    and ((datap=prapade))
then
  begin
    for p := 1 to yakjud do
    begin
      count:=0;
      px:= xpa[p]; py:=ypa[p]; parc:=arcpa[p];
      for q:=1 to datayak do
        begin
          qx:= datax[q]; qy:=datay[q]; qarc:=dataarc[q];
          for r:= -45 to 45 do
            begin
              nay:=0.0087266*r ;  //40 degree
              if ((parc+nay)<(qarc+0.0043633))and
                ((parc+nay)>(qarc-0.0043633))
              then
                begin
                  s:=-4;              //8 pixel
                  check:=0;
                  while (s<5) and (check=0) do
                    begin
                      if (qx-s*(px*cos(nay))-s*(py*sin(nay)))<=2
                      then
                        begin
                          if (qy+s*(px*sin(nay))-s*(py*cos(nay)))<=2
                          then
                            begin
                              count:=count+1;
                              mumarray[count]:=nay;
                              tangarray[count]:=s;
                              damumarray[count]:=qarc;
                              qxarray[count]:=qx;
                              qyarray[count]:=qy;
                              check:=1;
                            end;
                        end;
                      s:=s+1;
                    end;
                end;
            end;
        end;
      nub:=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            for kuang:=1 to count do
            begin
              if abs(damumarray[kuang]-parc)<=(0.08725) //tolerance
              then
                begin
                  nub:=nub+1;
                  mummaparray[nub]:= kuang;
                end;
            end;
            if nub>1
              then
              begin
                for chai:=1 to nub do
                  begin
                  qxarray[1]:= 1000;
                  qyarray[1]:= 1000;
                  if chai=1 then pob:=pob+1;
                end;
              end
            else
              if nub=1
              then
                begin
                qxarray[1]:=1000;
                qyarray[1]:=1000;
                pob:=pob+1;
                end;
            end;
           end;
           if (prapade=3)
           then
            begin
             special:=0.05*(pob*pob/(datayak*yakjud)); //weightting
             end;
            score:=(pob*pob/(datayak*yakjud)-special);
           if (score>0.09)
           then
            begin
             mappoint:=mappoint+1;
             mapname[mappoint]:=dataname;
             mapscore[mappoint]:=score;
            end;
         end;
    end;
end;
if (mappoint=0)
then
  begin
  mapscore[0]:=0;
  mapname[0]:='cannot find';
  end
else
begin
  ListBox1.clear;
  mapscore[0]:=0;
  for p:=1 to mappoint do
  begin
    if mapscore[p]>mapscore[0]
    then
      begin
        mapscore[0]:=mapscore[p];
        mapname[0]:=mapname[p];
      end;
  end;
  Edit10.text:=mapname[0];
  Edit11.text:=(floattostr(mapscore[0]));
  for p:=1 to mappoint do
  begin
     temp:=0; pos:=0;
     for q:=1 to mappoint do
     begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if mapscore[q]>temp
        then
          begin
            pos:=q;
            temp:=mapscore[q];
          end;
      end;
      if ((mapscore[0]<>temp) and (mapname[pos]<>mapname[0]))
      then
        begin
          ListBox1.items.Add(mapname[pos]+' : '+floattostr(temp));
        end;
      mapscore[pos]:=0;
    end;
end;
table1.IndexFieldNames := 'NAME' ;
table1.open;
if ((table1.findkey([(edit9.text)]))and (option=0))
then
  begin
  ////////////////////////read value//////////////////////
    mappoint:=0;
    datap:= table1.FieldValues['PRAPADE'];
    datayak:=table1.FieldValues['YAKNO'];
    dataname:=table1.FieldValues['NAME'];
    xst:='';
    yst:='';
    arcst:='';
    for rob:=1 to datayak do
      begin
        pikud[rob]:= table1.FieldValues['PIKUD'+inttostr(rob)] ;
        subrob:=1;
        tempst:=pikud[rob]+',';
        if tempst<>','
        then
          begin
            xst:='';
            yst:='';
            arcst:='';
            while tempst[subrob]<>',do
              begin
                xst:=xst+tempst[subrob];
                subrob:=subrob+1;
              end;
            datax[rob]:=strtoint(xst);
            subrob:=subrob+1;
            while tempst[subrob]<>',do
              begin
                yst:=yst+tempst[subrob];
                subrob:=subrob+1;
              end;
            datay[rob]:=strtoint(yst);
            subrob:=subrob+1;
            while tempst[subrob]<>',do
              begin
                arcst:=arcst+tempst[subrob];
                subrob:=subrob+1;
              end;
            dataarc[rob]:=strtofloat(arcst);
          end;
      end;
  ////////////////////// end of Read value//////////////////////
    pob:=0;
    if ((yakjud/datayak)<=2) and((datayak/yakjud)>=0.5)
       and((datap=prapade))//or (prapade=3))
    then
      begin
        for p := 1 to yakjud do
          begin
            count:=0;
            px:= xpa[p]; py:=ypa[p]; parc:=arcpa[p];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      for q:=1 to datayak do
        begin
        qx:= datax[q]; qy:=datay[q]; qarc:=dataarc[q];
        for r:= -45 to 45 do
          begin
            nay:=0.0087366*r ;  //40 degree
            if ((parc+nay)<(qarc+0.0043633))and
               ((parc+nay)>(qarc-0.0043633))
            then
              begin
                s:=-4;
                check:=0;
                while (s<5) and (check=0) do
                   begin
                     if (qx-s*(px*cos(nay))-s*(py*sin(nay)))<=2
                     then
                       begin
                         if (qy+s*(px*sin(nay))-s*(py*cos(nay)))<=2
                         then
                           begin
                             count:=count+1;
                             mumarray[count]:=nay;
                             tangarray[count]:=s;
                             damumarray[count]:=qarc;
                             qxarray[count]:=qx;
                             qyarray[count]:=qy;
                             check:=1;
                           end;
                       end;
                     s:=s+1;
                   end;
              end;
          end;
        end;
      nub:=0;
      for kuang:=1 to count do
        begin
          if abs(damumarray[kuang]-parc)<=(0.08725)
          then
            begin
              nub:=nub+1;
              mummaparray[nub]:= kuang;
            end;
        end;
      if nub>1
      then
        begin
          for chai:=1 to nub do
          begin
            qxarray[1]:= 1000;
            qyarray[1]:= 1000;
            if chai=1 then pob:=pob+1;
          end;
        end
      else
        begin
          if nub=1
          then
            begin
              qxarray[1]:=1000;
              qyarray[1]:=1000;
              pob:=pob+1;
            end;
         end;
    end;
  end;
if (prapade=2)
then
score:=(pob*pob/(datayak*yakjud)-special);
if (score>0.09)
then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            begin
              edit10.text:='possible';
              edit11.text:=floattostr(score);
            end
          else
            begin
              edit10.text:='impossible';
              edit11.text:=floattostr(score);
            end;
          end
      else
        begin
          if (option=0)
          then
            begin
              edit10.text:='impossible';
              edit11.text:=floattostr(score);
            end;
        end;
      Table1.active:=False;
      end;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] A. K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, and S. Pankanti Filterbank-based Fingerprint Matching, to appear in IEEE Transactions on Image Processing, 1999.

[2] A. K. Jain, S. Prabhakar, and L. Hong, " A Multichannel Approach to Fingerprint Classification", IEEE Transactions on PAMI, Vol.21, No.4, pp. 348-359, April 1999.

[3] L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithms and Performance Evaluation", IEEE Transactions on PAMI,Vol. 20, No. 8, pp.777-789, August 1998.

[4] A.K. Jain, L. Hong and R. Bolle, "On-line Fingerprint Verification", IEEE Transactions on PAMI, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.

[5] N. Ratha, S. Chen, K. Karu, and A.K. Jain, " A Real-time Matching System for Large Fingerprint Databases", IEEE Trans. PAMI, Vol. 18, No 8, pp. 799-813, 1996.

[6] N. Ratha, S. Chen and A.K. Jain, "Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images", Pattern Recognition Journal, Vol. 28, pp. 1657-1672, November 1997

[7] A. K. Jain, S. Prabhakar and S. Pankanti, " A Filterbank-based Representation for Classification and Matching of Fingerprints", International Joint Conference on Neural Networks, Washington DC, July 10-16, 1999.

[8] A. K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, and S. Pankanti, "FingerCode: A Filterbank for Fingerprint Representation and Matching", Proc. IEEE Conference on CVPR, Colorado, Vol. 2, pp. 187-193, June 23-25, 1999.

[9] A.K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, "A Multichannel Approach to Fingerprint Classification", Proceedings of ICCVGIP'98,, pp. 153-158, Dec 21-23, 1998, Delhi, India.

[10] L. Hong, A.K. Jain, S. Pankanti and R. Bolle, "Fingerprint Enhancement", Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Sarasota, Fl, pg. 202-207, Dec. 1996.

[11] ครรชิต ไมตรี , เอกรัตน์ จุลวรรณ์ม , " การกำจัดเส้นสะพานในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือโดยใช้วิธีติดตามลายเส้น ", วารสารวิศวกรรมสาร , ปีที่ 51 เล่มที่ 4 , 4 เมษายน 2541.

[12] ภัทรียา ฐานิสโร , " เทคนิคการปรับปรุงวิธีการจำแนกลายนิ้วมืออัตโนมัติ " ,วารสารวิศวกรรมสาร , ปีที่ 25 ฉบับที่ 2 , หน้า 25-44 , เมษายน-มิถุนายน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้