เครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา

PORTABLE FINGERPRINT SCANNER

โดย

นางสาวนันทวัน ชูสุข

นางสาวปฐิณี หลานท้าว

นางสาวปรางทิพย์ ปอแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา

PORTABLE FINGERPRINT SCANNER

โดย

นางสาวนันทวัน ชูสุข

นางสาวปฐิณี หลานท้าว

นางสาวปรางทิพย์ ปอแก้ว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา

PORTABLE FINGERPRINT SCANNER

โดย

นางสาวนันทวัน ชูสุข 52010600

นางสาวปฐิณี หลานท้าว 52010660

นางสาวปรางทิพย์ ปอแก้ว 52010691

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์

รศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

1/ม.ค./56

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(.....)

กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

2/4/56

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา

PORTABLE FINGERPRINT SCANNER

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนันทวัน ชูสุข 52010600
2. นางสาวปฐิณี หลานท้าว 52010660
3. นางสาวปรางทิพย์ ปอแก้ว 52010691

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและการสนับสนุนของ ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ และ รศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาในทุกๆเรื่อง ผู้จัดทำจึงมีความซาบซึ้งใจและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และคำปรึกษาต่างๆ

ขอขอบคุณรุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท ปริญญาเอกทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือรวมทั้งแก้ไขปัญหาต่างๆ จนปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบรรณารักษ์และห้องสมุดต่างๆ อาทิ เช่น ห้องสมุดวิศวกรรมศาสตร์, หอสมุดกลาง ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญในการหาจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา รวมทั้งเพื่อนๆร่วมห้องโปรเจคทุกคนที่คอยร่วมทุกข์ ร่วมสุขมาด้วยกัน

นางสาวนันทวัน ชูสุข
นางสาวปฐิณี หลานท้าว
นางสาวปรางทิพย์ ปอแก้ว
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา
PORTABLE FINGERPRINT SCANNER

โดย นางสาวนันทวัน ชูสุข 52010600
นางสาวปฐิณี หลานท้าว 52010660
นางสาวปรางทิพย์ ปอแก้ว 52010691

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาคีพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ประยุกต์ใช้ Biometric Identify System (BIS) ในการออกแบบเครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา โดยสร้างระบบคัดกรองบุคคล ซึ่งจะใช้โปรแกรมในคอมพิวเตอร์ ทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับลายนิ้วมือที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ระบบตรวจสอบลายนิ้วมือนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้าน เช่น การตรวจสอบบุคคลในการเข้าสอบ ซึ่งเป็นการให้บริการแก่นักศึกษาและอาจารย์ผู้ตรวจสอบให้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

ABSTRACT

This project applies Biometric Identify System (BIS) to design portable fingerprint scanner. The system compares scanned fingerprint with the database. The software is designed using C# and MatLab. Fingerprint analysis system can be applied in any system such as automatic examination access checking.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		III
สารบัญรูป		V
สารบัญตาราง		VIII
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	**3**
	2.1 ไบโอเมตริกซ์ (Biometrics)	3
	2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ	8
	2.3 กระบวนการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ (Fingerprint Image Enhancement)	13
	2.4 การรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition)	24
	2.5 เครื่องสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprint Scanner)	25
	2.6 ระบบฐานข้อมูล (Database)	27
	2.7 ระบบฐานข้อมูลใน SQL	29
	2.8 โปรแกรม Microsoft Visual C#	31
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์**	**33**
	3.1 การออกแบบ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	44
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	44
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	**45**
	4.1 ผลการทดสอบกระบวนการปรับปรุงภาพ	45
	4.2 ผลการทดสอบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)	56
	4.3 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวน (Variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของลายนิ้วมือบุคคลเดียวกัน	62
	4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน	63
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**66**
	5.1 สรุปผล	66
	5.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม		**67**
ภาคผนวก ก	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน False Acceptance Rate (FAR)	69
ภาคผนวก ข	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน False Rejection Rate (FRR)	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะของลายนิ้วมือ	8
2.2	จุดสิ้นสุดของลายนิ้วมือ จุดแยกของลายนิ้วมือ จุดแกนกลางและจุดสามเหลี่ยม	9
2.3	แบบเส้นโค้งราบ (Plain Arch)	10
2.4	แบบเส้นโค้งกระโจม (Tented Arch)	10
2.5	แบบมัดหวายปัดขวา (Right Loop)	11
2.6	แบบมัดหวายปัดซ้าย (Left Loop)	11
2.7	แบบมัดหวายคู่ (Double Loop)	11
2.8	แบบก้นหอย (Whorl)	12
2.9	แบบซับซ้อน (Accidental Whorl)	12
2.10	ตัวอย่างภาพลายนิ้วมือที่มีคุณภาพต่ำ ซ้าย : ภาพลายนิ้วมือที่เกิดจากผิวของนิ้วมือที่แห้งเกินไป ขวา : ภาพลายนิ้วมือที่เกิดจากผิวของนิ้วมือที่เปียกเกินไป	14
2.11	ภาพในความหมายของฟังชั่น 2 มิติ f(x,y) ของค่าความเข้มของแสง	15
2.12	รูปจำลองการนำเอาหลายๆ Pixel มาเรียงต่อกันจนเกิดรูปภาพ	16
2.13	ขั้นตอน Gabor และ Voting Algorithm	18
2.14	ตัวอย่างของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเมื่อเข้าสู่กระบวนการกรองด้วยตัวกรองกาเบอร์และนำมาเข้ากระบวนการ Voting Algorithms	18
2.15	ลักษณะกราฟฮิสโตแกรมที่ได้จากภาพทางด้านซ้าย	20
2.16	เครื่องอ่านลายนิ้วมือ U.are.U 4500 Sensor	26
3.1	บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบตรวจสอบลายนิ้วมือ	33
3.2	บล็อกไดอะแกรมกระบวนการ Image Processing ใน MatLab	34
3.3	เครื่องสแกนลายนิ้วมือ ยี่ห้อ DigitalPersona รุ่น U.are.U 4500	35
3.4	ตัวอย่างภาพลายนิ้วมือที่ได้จากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.5	แผนภูมิขั้นตอนการหาจุด Minutiae	36
3.6	ซ้าย : ไดอะแกรมแบบ Log-Polar ขวา : การวางไดอะแกรมลงไปบนลายนิ้วมือเพื่อเข้ารหัส	37
3.7	ตัวอย่างการหามินูเทียร์ที่ใกล้ที่สุด โดยแบ่งเป็น 8 มุม เมื่อจุดสิ้นสุดมีค่า CN=1 และจุดแยกมีค่า CN=3	38
3.8	โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) ส่วนบันทึกข้อมูล	40
3.9	โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) การทำงานของระบบยืนยันบุคคล	41
3.10	ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI)	42
3.11	วิธีการเข้าไปยังฐานข้อมูล	43
3.12	หน้าต่างฐานข้อมูลจาก SQL	43
4.1	ลายนิ้วมือจากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ	45
4.2	รูปลายนิ้วมือที่ผ่านการ Normalization	46
4.3	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 0°	47
4.4	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 22.5°	47
4.5	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 45°	48
4.6	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 67.5°	48
4.7	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 90°	49
4.8	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 112.5°	49
4.9	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 135°	50
4.10	ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 157.5°	50
4.11	ลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการ Voting ซึ่งจะคัดเลือกส่วนที่ดีที่สุด	51
4.12	รูปที่ผ่านการทำ Binarization	52
4.13	รูปที่ผ่านการทำภาพให้บาง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14	ลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุด Minutiae โดยที่ วงกลม คือจุดสิ้นสุดและ ดอกจัน คือจุดแยก	53
4.15	ตีเส้นแบ่งมุมที่มีการเลื่อนไปทำในทุกๆจุดมินูเทียร์	54
4.16	ตัวอย่างกระบวนการฟิงเกอร์คอนเท็กซ์โดยคิดที่จุดมินูเทียร์จุดที่ 71	55
4.17	เริ่มต้นใช้งาน GUI โดยการถ่ายรูปและกรอกข้อมูลส่วนตัว	56
4.18	โปรแกรมจะแสดงสถานะเมื่อมีการเชื่อมต่อสำเร็จ	57
4.19	ขณะที่เครื่องสแกนลายนิ้วมือมีการอ่านลายนิ้วมือ	58
4.20	ขณะที่มีการเรียกไฟล์ .dll จาก MatLab ประมวลผล Image Processing	58
4.21	เมื่อมีการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลเสร็จสิ้น	59
4.22	หน้าต่างฐานข้อมูล	59
4.23	สำหรับการระบุตัวตน เริ่มจากการเชื่อมต่อเครื่องสแกนลายนิ้วมือและกดปุ่ม Connect	60
4.24	การทำงานของโปรแกรมเมื่อบุคคลนั้นถูกค้นพบในฐานข้อมูล	61
4.25	การทำงานของโปรแกรมเมื่อไม่มีข้อมูลของบุคคลนั้น	61
4.26	กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบรู้จำลายนิ้วมือ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า FAR(%) และ FRR(%) ในแกน Y และ ค่า Threshold ในแกน X	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์	4
2.2	การกำหนดจุดในการคำนวณหาจุดมินูเทียร์	21
2.3	ประเภทของจุดมินูเทียร์	22
2.4	ตัวอย่างฐานข้อมูล	27
4.1	ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลายนิ้วมือตัวอย่าง ลำดับที่ 1 โดยทดลองจำนวน 20 ครั้ง	62
4.2	ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลายนิ้วมือ ลำดับที่ 2-15 โดยทดลองนิ้วละ 20 ครั้ง	63
4.3	ค่า FAR และ FRR	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในชีวิตประจำวันในปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศด้านต่างๆได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น ทำให้การติดต่อกันระหว่างบุคคล หรือกลุ่มบุคคลทำได้ง่าย และกว้างขวางกว่าในอดีต สังคมในปัจจุบันนี้จึงหันมาให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของตัวบุคคลและทรัพย์สินมากขึ้น จึงได้มีการพัฒนาระบบที่ใช้สำหรับการยืนยันตัวบุคคลขึ้นมา เช่น การใช้บัตรประจำตัวบุคคล การใช้บัตรแถบแม่เหล็ก เป็นต้น แต่การยืนยันตัวบุคคลด้วยวิธีการเหล่านี้ยังมีความยุ่งยาก และไม่สะดวกสำหรับผู้ใช้งานอยู่ ซึ่งผู้ใช้งานที่ต้องการจะเข้าสู่ระบบต่าง ๆ ที่ต้องการระดับการรักษาความปลอดภัยที่มากกว่าปกติจำเป็นต้องพกพากุญแจ หรือบัตรประจำตัวเหล่านี้ติดตัวตลอดเวลา อีกทั้งยังมีโอกาสลืมหรือทำบัตรสูญหาย ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสำหรับการทำบัตรใหม่ และอาจเกิดกรณีการขโมยบัตร หรือการแอบอ้างบัตรของผู้อื่น หรือการปลอมแปลงบัตรเหล่านี้ขึ้นมาใช้งาน ความปลอดภัยของระบบเหล่านี้ก็จะถูกทำลายลงไปได้โดยง่าย จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงได้มีการเสนอวิธีการยืนยันตัวบุคคลที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่า และสะดวกสบายมากกว่าขึ้นมาทดแทนระบบแบบเก่าซึ่งเป็นระบบที่ใช้สิ่งที่ติดตัวบุคคลนั้นๆอยู่แล้วสำหรับเป็นสิ่งยืนยันบุคคล ระบบที่กล่าวถึงนี้คือการตรวจสอบบุคคลโดยใช้ ชีวมาตรหรือที่เรียกว่าไบโอเมตริกซ์ (Biometrics) เช่น การใช้ลายนิ้วมือ ลายมือ ม่านตา เสียง ลายเซ็น เป็นต้น

ในการตรวจสอบบุคคลโดยไบโอเมตริกซ์ หนึ่งในวิธีการตรวจสอบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย วิธีหนึ่งคือการตรวจสอบบุคคลด้วยลายนิ้วมือ เนื่องจากลายนิ้วมือของบุคคลแต่ละคนเป็นลักษณะเฉพาะ มีลักษณะที่จะเกิดการซ้ำกันน้อยมากซึ่งสามารถจำแนกความแตกต่างของบุคคลได้ ติดตัวตลอดเวลาและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต ยกเว้นหากเกิดแผลจะทำให้ลายนิ้วมือผิดเพี้ยนได้ การใช้ลายนิ้วมือในการตรวจสอบยืนยันตัวบุคคลนั้น ถูกนำไปใช้ในงานหลากหลายประเภทเช่น งานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์ ใช้ในการระบุตัวบุคคลในการอนุญาตให้เข้าในสถานที่เฉพาะ ทั้งยังมีการใช้ในการตรวจสอบการเข้าทำงานของพนักงานบริษัทหลายๆแห่ง เพราะมีความสะดวก รวดเร็ว อีกทั้งพนักงานไม่สามารถลงชื่อแทนกันได้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกล่าวถึงการตรวจสอบรายชื่อหรือระบุตัวตนของนักศึกษาซึ่งสถานศึกษาส่วนใหญ่ ในปัจจุบันยังใช้แบบดั้งเดิมคือ การลงลายมือชื่อ และการแสดงบัตรนักศึกษาจากระบบเดิม อาจทำให้เสียเวลาในการสอบ ในโครงงานนี้จึงนำเสนอการนำไปใช้เพื่อยืนยันบุคคลในการเข้าสอบ ซึ่งจะทำให้สะดวก ประหยัดเวลาในการเซ็นชื่อเข้าสอบ โดยการเก็บข้อมูลของบุคคลจากลายนิ้วมือนั้นจะต้องทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสแกนลายนิ้วเพื่อนำเข้าไปสู่กระบวนการรู้จำภาพลายนิ้วมือ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับภาพลายนิ้วมือที่ได้ทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูลหลัก แต่ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้น ภาพที่ได้มักจะมีคุณภาพไม่ค่อยดี ทำให้เมื่อนำไปเข้าสู่ขั้นตอนกระบวนการรู้จำภาพลายนิ้วมือ มักจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น สภาพความมันของผิวหนัง แรงกดที่ไม่เท่ากัน มีสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนล่องลายเส้นลายนิ้วมือ คุณภาพของเครื่องสแกน เป็นต้น และจากปัญหาที่กล่าวมานั้น จึงเป็นที่มาของแนวคิดของการหาวิธีการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ เพื่อสร้างเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพลายนิ้วมือก่อนที่จะนำไปเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการรู้จำภาพลายนิ้วมือ เพื่อเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการรู้จำภาพลายนิ้วมือให้สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อสร้างเครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพา
2) เพื่อนำเครื่องสแกนลายนิ้วมือไปใช้ประโยชน์ในการคัดกรองบุคคล เช่น การเข้าสอบ เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

สร้างเครื่องคัดกรองบุคคลโดยใช้การสแกนลายนิ้วมือ ซึ่งสามารถพกพาไปใช้ในสถานที่ที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอเมตริกซ์ (Biometric)

การยืนยันตัวบุคคลมีไว้สำหรับการตรวจสอบเพื่อทำการเข้าถึงสิ่งที่สำคัญที่ทำการป้องกันไว้ โดยการยืนยันตัวบุคคลมักเป็นข้อมูลประเภทต่างๆ เช่น รหัสอักษร คีย์การ์ด และแม้กระทั่งข้อมูลที่มาจากตัวมนุษย์เอง นั่นคือ ข้อมูลทางชีวภาพ โดยไบโอเมตริกซ์ คือ ข้อมูลวิทยาศาสตร์เชิงชีวภาพที่เป็นเอกลักษณ์ในแต่ละบุคคล ติดตัวอยู่กับบุคคลนั้นเสมอ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ประจำตัวแต่ละบุคคล ไม่สามารถปลอมแปลงได้ หรืออาจทำการปลอมแปลงได้ยาก ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามการเวลาหรืออาจเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก การทำงานของระบบอยู่บนพื้นฐานเดียวกับการทำงานของสมอง ที่สามารถจะจำแนกความแตกต่างของแต่ละบุคคลออกจากกัน จุดนี้เองที่เป็นความน่าสนใจของเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ เพราะด้วยวิธีการดังกล่าว สามารถช่วยให้การระบุตัวบุคคลสามารถทำได้อย่างแม่นยำโดยไม่จำเป็นต้องใช้รหัสผ่าน, สมาร์ทการ์ด (Smartcard), บัตรแถบแม่เหล็ก หรือว่าลูกกุญแจเหมือนอย่างวิธีการแบบเดิมที่เคยเป็นมา จึงไม่น่าแปลกใจเลยที่พบว่า ในปัจจุบันไบโอเมตริกซ์ได้ถูกนำไปใช้ร่วมกับระบบต่างๆมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบที่ต้องการความปลอดภัยมากๆ เช่น การควบคุมการผ่านเข้าออกพื้นที่พิเศษ, ระบบรักษาความปลอดภัยข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์, การชำระค่าสินค้าบริการผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เป็นต้น นอกจากนั้นการใช้ชีวิตในปัจจุบันที่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีแบบออนไลน์มากขึ้นและความจำเป็นในการใช้ทรัพยากรต่างๆร่วมกับคนหมู่มากที่กลายเป็นเรื่องที่ไม่สามารถจะหลบเลี่ยงได้ ก็ทำให้นับวันบทบาทของเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ก็จะดูทวีความสำคัญเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.1.1 ประเภทของไบโอเมตริกซ์

2.1.1.1 ข้อมูลทางชีวภาพในเชิงกายภาพ

เป็นข้อมูลหน่วยการวัดมาตราทางกายภาพ เช่น ลักษณะของใบหน้า (Face), ลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint), สแกนม่านตา (Iris-Scans) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 ข้อมูลทางชีวภาพในเชิงพฤติกรรม

เป็นข้อมูลที่แสดงถึงพฤติกรรมของบุคคลนั้นๆในระยะหนึ่ง โดยการวัดค่า จำเป็นต้องให้ผู้ถูกตรวจวัดแสดงพฤติกรรมนั้นๆออกมา เช่น เสียงพูด (Speech), ลายมือชื่อ (Signature), ท่าทางการเดิน (Gait), จังหวะของการเคลื่อนไหว (Keystroke Dynamics)

2.1.1.3 ข้อมูลทางชีวภาพในเชิงเคมี

เป็นข้อมูลของสารเคมีในร่างกาย เช่น กลิ่น, ส่วนประกอบต่างๆในเหงื่อ, รหัสทางพันธุกรรม (DNA) เป็นต้น

ในตารางที่ 2.1 จะเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของตัวอย่างไบโอเมตริกซ์ ซึ่งจะเห็นว่าลายนิ้วมือมีคุณสมบัติเหนือกว่าประเภทอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านความแพร่หลาย ลักษณะที่เป็นเอกเทศ ความคงทน ประสิทธิภาพ หรือการยอมรับ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ [1]

Biometric characteristic	Universality	Unicity	Persistence	Colectability	Performance	Acceptability	Circumvention
Face	high	low	medium	high	low	high	low
Fingerprint	medium	high	high	medium	high	medium	high
Hand Geometry	medium	medium	medium	high	medium	medium	medium
Iris	high	high	high	medium	high	low	high
Retinal Scan	high	high	medium	low	high	low	high
Signature	low	low	low	high	low	high	low
Voice	medium	low	low	medium	low	high	low
Thermogram	high	high	low	high	medium	high	high

2.1.2 คุณลักษณะของไบโอเมตริกซ์

2.1.2.1 เป็นข้อมูลที่มาจากตัวบุคคลนั้นเองจึงไม่สามารถปฏิเสธได้

ด้านอาชญากรรม ผู้กระทำผิดโต้แย้งหลักฐานประเภทอื่นเนื่องจากเป็นหลักฐานไม่มีน้ำหนักแต่ไบโอเมตริกซ์ เป็นข้อมูลที่ผู้กระทำผิดไม่สามารถปฏิเสธได้เนื่องจากข้อมูลมีเอกลักษณ์ที่มีเฉพาะบุคคลนั้นๆไม่มีบุคคลใดเหมือนได้ จึงมีความเชื่อถือค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 เป็นข้อมูลที่มีความปลอดภัย

การยืนยันตัวบุคคลในด้านความปลอดภัย แม้ว่ารหัสผ่านจะเป็นข้อมูลที่จดจำในสมอง แต่การใช้รหัสผ่านหรือคีย์การ์ดอย่างเดียวง่ายต่อการทำสำเนา เช่น การมองเห็นการกดรหัสผ่านหรือลักลอบดักสัญญาณข้อมูลทางอินเตอร์เน็ตและถูกถอดรหัสผ่านออกมา แต่ว่าไบโอเมตริกซ์เป็นหลักฐานที่มีความเชื่อถือสูงในการพิจารณาคดี ถือเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถทำสำเนาหรือยืมกันได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ต้องพกพาและไม่ต้องจดจำเหมือนรหัสผ่านที่เป็นอักษร หากนำมาใช้ผสมร่วมกัน จะทำให้การปลอมแปลงรหัสมีความหลากหลาย ทำให้ยากต่อการที่บุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตจะเข้าถึงสิ่งที่ป้องกัน แม้ว่าปัจจุบันจะมีเทคโนโลยีในการปลอมแปลงแต่ยังถือว่าเป็นการช่วยเพิ่มระดับความปลอดภัย

2.1.2.3 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ

หลักฐานในการยืนยันตัวอื่นๆได้ อาจจะทำการปลอมแปลง เช่น ผู้ก่อการร้ายหรือบุคคลต่างด้าวที่ลักลอบเข้าประเทศ ทำการปลอมใบผ่านเข้าประเทศ ซึ่งเมื่อตรวจสอบแล้วปรากฏว่าผ่านการตรวจสอบ แต่ไม่ผ่านการตรวจสอบข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งตรวจพบว่าบุคคลนั้นแท้จริงเป็นใคร นอกจากนั้นไบโอเมตริกซ์ยังเป็นหลักฐานที่หลงเหลือในที่เกิดเหตุซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อระบุตัวหาผู้กระทำผิดได้

2.1.3 ข้อดีข้อเสียของการนำไบโอเมตริกซ์มาใช้

ข้อดี

- มีลักษณะเฉพาะตัว ข้อมูลเดียว ไม่สามารถใช้ร่วมกับผู้อื่นได้
- ยากต่อการปลอมแปลงและการลักลอบการนำไปใช้
- ไม่สูญหาย นอกจากได้รับอุบัติเหตุร้ายแรง
- ไม่ต้องใช้ความจำในการจำรหัสผ่าน สะดวกรวดเร็ว

ข้อเสีย

- ข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลนั้นทำโดยมนุษย์ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในทางคดี หลักฐานเพื่อระบุตัวอาชญากรอาจมีข้อผิดพลาด ทำให้คนถูกกลายเป็นคนผิด

- เป็นการยากที่จะดูแลรักษาฐานข้อมูลโดยไม่ให้เกิดความเสียหาย ไม่ว่าตั้งใจหรือไม่ก็ตาม

2.1.4 การใช้ลายนิ้วมือในการระบุตัวบุคคล

ลายนิ้วมือของแต่ละคนเริ่มปรากฏขึ้นตั้งแต่เป็นตัวอ่อนอายุ 3-4 เดือน ในครรภ์ของแม่ เป็นผิวหนังส่วนที่มีร่อง (Valley) และสันหรือนูน (Ridge) นูนและร่องที่ปรากฏนี้มีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ ไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบตามกาลเวลา แต่อาจเปลี่ยนขนาดได้ และมีรูปแบบเฉพาะในแต่ละคน แม้จะเป็นแฝดแท้ที่เกิดจากไข่ใบเดียวกันและสเปิร์ม (Sperm) ตัวเดียวกันก็ไม่เหมือนกัน การระบุตัวตนด้วยลายนิ้วมือนี้เป็นไบโอเมตริกซ์ประเภทหนึ่งที่รู้จักกว้างขวาง และใช้กันมากที่สุดมานานกว่าทศวรรษ เราสามารถเก็บลายนิ้วมือของเด็กได้หลังจากเด็กมีอายุ 1 ขวบ เป็นต้นไป แต่ลายอาจจะไม่ชัดเจนเท่ากับเมื่อเป็นผู้ใหญ่ โดยญาติที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันอาจจะมีรูปแบบลายนิ้วมือที่คล้ายคลึงกันมากกว่าคนที่ไม่ใช่ญาติ แต่ใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกโดยตรงไม่ได้ เพราะรายละเอียดของเส้นนูนนั้นไม่ได้ถ่ายทอดกันทางพันธุกรรม

การนำลายนิ้วมือมาเป็นวิธีระบุตัวตนของบุคคล มีใช้มานานกว่าร้อยปี มีการศึกษาของ เซอร์ ฟรานซิส กาลทัน (1892) ได้ประมาณไว้ว่า โอกาสที่คนสองคนจะมีลายนิ้วมือเหมือนกันนั้นมีความน่าจะเป็นอยู่ที่ 1/64,000,000,000 ซึ่งเป็นการประเมินค่าโดยใช้การแบ่งรายละเอียดรูปแบบของลายนิ้วมือออกเป็นส่วนๆ และหาความน่าจะเป็นของการซ้ำกันของแต่ละส่วนนั้น แล้วนำความน่าจะเป็นของแต่ละส่วนมาคูณกันเพื่อหาความน่าจะเป็นทั้งหมด กาลทันยังเป็นผู้ที่กำหนดและแบ่งแยกประเภทของรูปแบบลายนิ้วมือที่ใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบันนี้ให้คำนิยามจุดบางจุดหรือลักษณะเฉพาะตัวของลายนิ้วมือเรียกว่า จุดกาลทัน (Galton Point) นับว่าเป็นการวางรากฐานสำหรับวิทยาศาสตร์ของการระบุตัวตนด้วยลายนิ้วมือ ซึ่งแพร่หลายและปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอย่างมากในช่วงร้อยปีที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ข้อดีข้อเสียของเทคโนโลยีลายนิ้วมือ

ข้อดี

- มีความปลอดภัยมากขึ้น เพราะลายนิ้วมือนั้นเป็นสิ่งที่เราไม่สามารถให้ใครได้ ไม่สามารถทำการเลียนแบบได้ อีกทั้งลายนิ้วมือยังเป็นเอกลักษณ์เฉพาะบุคคลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา

- ได้รับความสะดวกสบายมากขึ้นเพราะลายนิ้วมือเป็นสิ่งที่ติดตัวเราตลอดเวลา

- เทคโนโลยีลายนิ้วมือนี้ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลน้อยกว่าเทคโนโลยีไบโอ-เมตริกซ์ประเภทอื่น

- แนวคิดของเทคโนโลยีลายนิ้วมือนี้เป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจได้ง่าย จึงประหยัดเวลาในการที่จะเรียนรู้ของผู้ใช้งาน

- เครื่องสแกนลายนิ้วมือมีขนาดเล็ก จึงทำให้ประหยัดไฟ และสามารถนำเครื่องสแกนนั้นไปประยุกต์ใช้บนสิ่งต่างๆ ได้สะดวก เช่น Laptop โทรศัพท์มือถือ พีดีเอ และ Thumb Drive เป็นต้น

ข้อเสีย

- นิ้วมือเป็นส่วนที่ได้รับความสกปรกง่ายกว่าส่วนอื่นของร่างกาย เมื่อเรานำนิ้วไปสแกนอาจทำให้เครื่องนั้นไม่สามารถอ่านได้ นอกจากนั้นยังทำให้เครื่องได้รับความสกปรก ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องสแกนลายนิ้วมือนั้นเสื่อมประสิทธิภาพลงด้วย

- เทคโนโลยีลายนิ้วมือนั้นยังไม่มีความน่าเชื่อถือได้ 100% จึงยังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ร่วมกับสิ่งที่สามารถระบุตัวตนอื่น ๆ เช่น รหัสผ่าน หรือ หมายเลขพิน เป็นต้น

- คนบางกลุ่มยังมีความเชื่อว่า การใช้ลายนิ้วมือในการระบุตัวบุคคลนั้น เหมือนตนเป็นอาชญากร จึงทำให้คนกลุ่มดังกล่าวนั้นไม่อยากที่จะใช้เทคโนโลยีนี้ ส่งผลให้เทคโนโลยีลายนิ้วมือนั้น ไม่เป็นที่แพร่หลายให้บางพื้นที่บางประเทศ

- เนื่องจากเทคโนโลยีลายนิ้วมือนั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีมานานแล้ว จึงทำให้ผู้ผลิต ผลิตสินค้าเกี่ยวกับเทคโนโลยีลายนิ้วมือออกมาอย่างหลากหลาย จึงทำให้เกิดความไม่เข้ากันของเทคโนโลยีลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลายนิ้วมือ

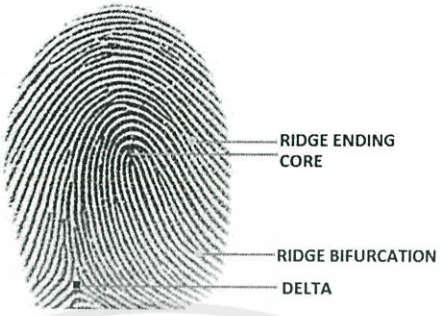
ลายนิ้วมือ (Fingerprint) คือ ลักษณะลวดลายที่เป็นรูปแบบอยู่ที่บริเวณปลายนิ้วมือ ซึ่งในแต่ละบุคคลจะมีความแตกต่างกัน และจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลยตลอดชีวิต นอกจากอุบัติเหตุหรือถูกตัด โดยลายนิ้วมือจะมีลักษณะรูปแบบที่เป็นเส้นที่มีความถี่ ประกอบด้วย เส้นนูน (Ridge) คือ รอยนูนที่อยู่สูงกว่าผิวหนังส่วนนอก และเส้นร่อง (Valley) คือ รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับของเส้นนูน ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ลักษณะของลายนิ้วมือ [2]

ในส่วนของเส้นลายนิ้วมือนั้นยังมีลักษณะเด่นอีกชนิด คือลักษณะเด่นที่เรียกว่า มินู-เทียร์ (Minutiae) โดยมินูเทียร์นี้ก็ยังประกอบไปด้วยมินูเทียร์สองชนิด คือ มินูเทียร์ที่เกิดจากเส้นลายนิ้วมือมีการขาด เรียกว่า จุดสิ้นสุดของลายนิ้วมือ (Ridge Ending) และมินูเทียร์ที่เกิดจากเส้นลายนิ้วมือหนึ่งเส้นแยกเป็นสองเส้น หรือสองเส้นรวมกันเป็นหนึ่งเส้น เรียกว่าจุดแยกของลายนิ้วมือ (Ridge Bifurcation) ซึ่งในรูปลายนิ้วมือหนึ่ง ๆ ที่ได้มาส่วนใหญ่จะประกอบด้วยมินูเทียร์ทั้งสองชนิดในจำนวนที่ไม่เท่ากัน ประมาณ 30-60 จุด โดยรูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของตำแหน่งมินูเทียร์ที่เกิดขึ้นบนลายนิ้วมือ

และลักษณะเด่นของอีกชนิดเส้นลายนิ้วมือ ซึ่งเกิดจากเส้นลายนิ้วมือที่มีทิศทางการเรียงตัวเป็นกลุ่มขนานกันไปและเกิดการม้วนรวมเข้าหากัน เกิดเป็นลักษณะเด่นที่เรียกว่าจุดแกนกลาง(Core Point) และจุดสามเหลี่ยม (Delta Point) ซึ่งลักษณะเด่นทั้งสองชนิดนี้จะมีชื่อเรียกที่เรียกกันว่า จุดเอกฐาน (Singular Point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 จุดสิ้นสุดของลายนิ้วมือ จุดแยกของลายนิ้วมือ
จุดแกนกลางและจุดสามเหลี่ยม [3]

มินูเทียร์ถือว่าเป็นลักษณะเด่นแบบเฉพาะที่ (Local Feature) และในส่วนของจุดเอกฐานถือว่าเป็นลักษณะเด่นแบบทั้งหมด (Global Feature) ซึ่งในภาพลายนิ้วมือที่มีตำแหน่งของจุดเอกฐานในตำแหน่งต่างๆกันจะทำให้เส้นลายนิ้วมือมีการเรียงตัวที่แตกต่างกัน โดยความแตกต่างกันนี้ สามารถนำมาใช้สำหรับการจัดประเภทลายนิ้วมือได้

2.2.1 รูปแบบลายนิ้วมือ

2.2.1.1 กลุ่มเส้นโค้ง (Arch)

เป็นลายนิ้วมือที่มีลักษณะพิเศษ และมีอยู่น้อยมากหากเทียบกับลักษณะลายนิ้วมือแบบอื่นๆ บุคคลที่มีลายนิ้วมือชนิดนี้มีประมาณ 5 % ของลายนิ้วมือทั้งหมด มีลักษณะการวิ่งขนานพื้นราบแล้วพุ่งโค้งขึ้น แล้วจึงมีการวิ่งในลักษณะขนานกับพื้นราบอีกครั้ง รูปแบบของกลุ่มเส้นโค้งมี 2 รูปแบบ

1) เส้นโค้งราบ (Plain Arch) เป็นเส้นลายนิ้วมือที่ลากจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านหนึ่งในแนวราบ โดยไม่เกิดมุมแหลม หรือ พุ่งขึ้นตรงกลาง ดังรูปที่ 2.3

2) เส้นโค้งกระโจม (Tented Arch) เป็นเส้นลายนิ้วมือที่วิ่งจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านหนึ่งในแนวราบโดยแนวเส้นตรงกลางพุ่งขึ้นเป็นมุมแหลมหรือเป็นมุมฉาก ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 แบบเส้นโค้งราบ (Plain Arch) [4]

รูปที่ 2.4 แบบเส้นโค้งกระโจม (Tented Arch) [4]

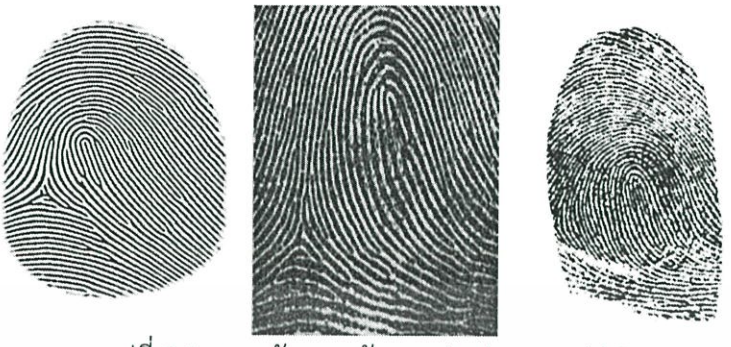
2.2.1.2 กลุ่มมัดหวาย (Loop)

เป็นลายนิ้วมือที่พบเห็นได้ในคนส่วนใหญ่ ซึ่งบุคคลที่มีลายนิ้วมือประเภทนี้มีประมาณ 60-65% ของลายนิ้วมือทั้งหมด โดยจะมีเส้นหนึ่งเส้นหรือมากกว่า ลากจากด้านใดด้านหนึ่งแล้วเลี้ยวผ่านจุดแกนกลาง ผ่านจุดสามเหลี่ยม แล้วลากย้อนกลับไปยังจุดเริ่มต้น

1) กลุ่มมัดหวายเดี่ยว (Single Loop)

- มัดหวายปัดขวา (Right Loop) มีลักษณะการวิ่งของลายนูนจากบริเวณด้านซ้ายมาบริเวณกลางนิ้วมือแล้ววิ่งโค้งขึ้นไปด้านบน แล้วจึงโค้งลงและวิ่งวนกลับไปตามทางเดิมที่ได้วิ่งมา เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าเมื่อมีการจับกลุ่มเป็นรูปแบบคล้ายกับมัดหวาย แล้วจะเอนเอียงไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แบบมัดหวายปัดขวา (Right Loop) [4]

- มัดหวายปัดซ้าย (Left Loop) จะมีการวางตัวของจุดสามเหลี่ยมเยื้องไปทางด้านล่างขวาของจุดแกนกลาง ซึ่งจะทำให้เส้นลายนิ้วมือมีลักษณะการเรียงตัวเป็นทิศทางวนลงไปทางซ้ายล่างของรูปลายนิ้วมือ ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 แบบมัดหวายปัดซ้าย (Left Loop) [4]

2) กลุ่มมัดหวายคู่ (Double Loop) ลายนิ้วมือที่มีรูปคล้ายกับลายนิ้วมือแบบมัดหวาย 2 รูป มากอดหรือมากล้ำกัน มัดหวาย 2 รูปที่ปรากฏนี้ไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 แบบมัดหวายคู่ (Double Loop) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 กลุ่มก้นหอย (Whorl)

ลายนิ้วมือประเภทนี้สามารถพบได้ประมาณ 25 ถึง 35 % ของลายนิ้วมือทั้งหมด โดยจะมีลักษณะการวิ่งเป็นลักษณะเส้นโค้งเป็นรูปวงกลมจากวงใหญ่ๆค่อยๆเล็กลงไปเรื่อยๆจนเหลือวงกลมวงเล็กที่สุด ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 แบบก้นหอย(Whorl) [4]

2.2.1.4 กลุ่มซับซ้อน (Accidental Whorl)

เป็นลายนิ้วมือลักษณะพิเศษที่ไม่จัดเข้าเป็นลายนิ้วมือชนิดใดโดยเฉพาะ ประกอบด้วยลายนิ้วมือ 2 แบบมาผสมกัน และมีสันดอน 2 สันดอนหรือมากกว่า เช่น กรณีที่ไม่สามารถเข้ากับลายนิ้วมือกลุ่มที่กล่าวมาแล้วข้างต้นไม่ได้เลย โดยมีความยุ่งเหยิงและเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 แบบซับซ้อน (Accidental Whorl) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือ (Fingerprint Image Enhancement)

การพิสูจน์และระบุตัวตนของบุคคลโดยใช้ข้อมูลไบโอเมตริกซ์ (Biometrics) เช่น ลักษณะลายนิ้วมือ ลักษณะใบหน้า ลักษณะม่านตา (Iris) เป็นต้น เป็นวิธีการที่ให้ผลถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด เพราะข้อมูลไบโอเมตริกซ์ มีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล โดยเฉพาะลายนิ้วมือนั้นยังมีคุณสมบัติความคงสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการพิสูจน์ตัวบุคคลโดยการตรวจสอบลายนิ้วมือจึงมีความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะใช้กันมากในอนาคต เพราะสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และตรวจสอบได้ง่ายกว่าวิธีการทางไบโอเมตริกซ์อื่นๆ

โดยทั่วไปภาพลายนิ้วมือที่ได้จะมีทั้งมาจากขบวนการมาตรฐาน หรือจากอุปกรณ์นำเข้าอื่นๆซึ่งเราสามารถควบคุมเพื่อให้ได้ต้นแบบลายนิ้วมือที่มีคุณภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ ถือว่าเป็นกระบวนการเริ่มต้นที่สำคัญมาก โอกาสที่จะได้ลายนิ้วมือที่มีความสมบูรณ์ยากมากและจะเป็นอุปสรรคต่อการประมวลผลที่ต้องการความถูกต้องและแม่นยำสูง แต่ถ้าเราสามารถทำความผิดพลาดของรูปให้น้อยลงได้โดยการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือให้มีคุณภาพด้วยกระบวนการ Image Processing ในการขจัดสัญญาณรบกวน (Noise) เช่น จุดที่เปื้อนในภาพที่เกิดจากแรงกดที่มากเกินไป สภาพความมันของผิวหนัง เส้นลายนิ้วมือที่ขาดหายและมีความคมชัดต่ำ ตัวอย่างดังรูปที่ 2.10 จากปัญหาที่กล่าวมานั้น จึงเป็นที่มาของแนวคิดของการหาวิธีการปรับปรุงภาพ ก่อนที่จะนำไปเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการรู้จำภาพลายนิ้วมือ เพื่อเพิ่มค่าเปอร์เซ็นความถูกต้องในการรู้จำภาพลายนิ้วมือให้สูงขึ้น

ในการรู้จำลายนิ้วมือ ลักษณะเด่นของภาพลายนิ้วมือนั้นๆ จะถูกค้นหาและเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบ ลักษณะเด่นของภาพลายนิ้วมือที่ถูกนำมาใช้เปรียบเทียบนั้นมีหลายชนิด เช่น จุดรายละเอียดหรือจุดมินูเทียร์ (Minutiae) รหัสความแปรปรวนของลายนิ้วมือหลังการกรอง (Fingercode) รูขุมขนบนเส้นลายนิ้วมือ เป็นต้น การใช้จุดรายละเอียดในการเปรียบเทียบนั้นได้รับความนิยมสูง อัตราความถูกต้องของการรู้จำจะขึ้นกับจำนวนและความถูกต้องของจุดรายละเอียด ดังนั้นการ ใช้จุดรายละเอียดในการรู้จำจึงต้องการกระบวนการค้นหาจุดรายละเอียดที่มีความแม่นยำซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีความซับซ้อน ส่วนการใช้รหัสค่าความแปรปรวนหลังการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างภาพลายนิ้วมือที่มีคุณภาพต่ำ
ซ้าย : ภาพลายนิ้วมือที่เกิดจากผิวของนิ้วมือที่แห้งเกินไป
ขวา : ภาพลายนิ้วมือที่เกิดจากผิวของนิ้วมือที่เปียกเกินไป [6]

มีข้อดีคือข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบนั้นมีขนาดเล็ก แต่ข้อเสียคือต้องใช้การประมวลผลสูง เนื่องจากต้องทำการกรองภาพลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์ (Gabor Filter) ถึง 8 ครั้ง และการใช้รูขุมขนบนเส้นลายนิ้วมือในการเปรียบเทียบนั้น ต้องการอุปกรณ์รับภาพที่มีความละเอียดสูงมาก จึงจะสามารถตรวจจับรูขุมขนบนเส้นลายนิ้วมือได้ชัดเจน และต้องระวังรักษาความสะอาดของตัวรับไม่ให้เกิดรูขุมขนเทียมจากฝุ่นละออง

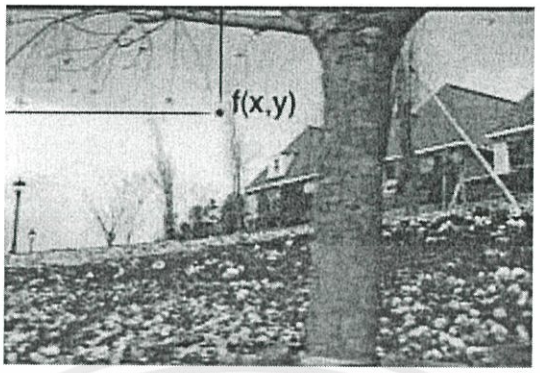
2.3.1 ภาพเชิงดิจิตอล (Digital Image)

ภาพเป็นกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) หลายๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมดา รังสีเอกซเรย์ (X-ray) รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น และพลังงานเสียง เช่น อัลตราซาวด์ (Ultrasound) ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนมาสู่ประสาทรับรู้ของมนุษย์ เช่น ตา หู หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ในส่วนนี้มุ่งเน้นที่จะให้ความสนใจเฉพาะที่ภาพซึ่งเกิดจากแสงธรรมดา

ภาพเชิงดิจิตอล (Digital Image) คือ ฟังชั่น 2 มิติ f(x,y) ของค่าความเข้มของแสงโดยที่ x และ y คือค่าแสดงตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก และค่าของฟังชั่น f ณ ตำแหน่ง (x,y) ใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ตามปกติฟังชั่น f(x,y) จะเป็นปริมาณscalar ในกรณีกำลังพิจารณาภาพระดับเทา (Gray Scale Image) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าภาพสีเดียว (Monochrome Image)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ภาพในความหมายของฟังชั่น 2 มิติ f(x,y) ของค่าความเข้มของแสง [2]

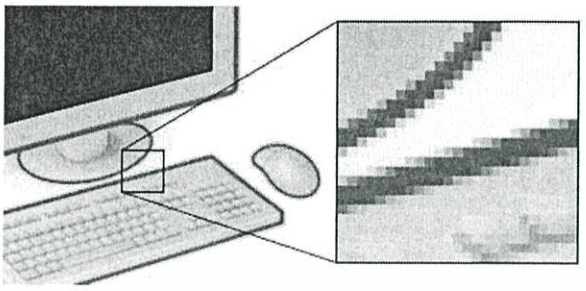
และฟังชั่น f(x,y) จะเป็นปริมาณเวกเตอร์ ในกรณีที่หากค่าความเข้มของแสง ณ ตำแหน่งนั้นมีมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ เช่น ภาพสี (Color Image) ซึ่งมี 3 องค์ประกอบ คือสีแดง สีเขียว และสีเหลือง ในแต่ละสีจะมีความเข้มของสีอยู่ระดับ 0-255 ซึ่งต้องการพื้นที่หน่วยความจำ 1 ไบต์ในการรับความเข้มของสี ดังนั้นในแต่ละพิกเซลจะต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำจำนวน 3 ไบต์ ซึ่งมักจะแสดงด้วยเลขฐาน 16 จำนวน 6 หลัก แบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามสี ดังนั้น ค่าทั้งหมดจะอยู่ระหว่าง 000000-ffffff ส่วนภาพระดับเทาในแต่ละพิกเซล ใช้พื้นที่จำนวน 1 ไบต์ โดยมีค่าอยู่ในระดับ 0-255 ซึ่งเรียงจากมืดสุดไปสว่างสุด หรือ จากดำไปขาว

การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา คือ การหาค่าเฉลี่ยของความเข้มสีของทั้ง 3 สี เก็บค่าไว้ในความจำ 1 ไบต์ในแต่ละพิกเซลของภาพระดับเทา โดยการปรับภาพลักษณะนี้คือ การทำภาพให้มีค่าเฉลี่ยของสีทั้ง 3 สีเท่าๆกัน โดยเมื่อเรามองด้วยตาเปล่าจะสังเกตเห็นว่ามีเพียง 2 สีเท่านั้น คือ ขาวกับดำ

2.3.1.1 ระดับพิกเซล (Pixel)

ภาพจะได้รับการแบ่งรายละเอียดเป็นตารางเล็กๆ เรียกว่าจุดภาพ หรือ พิกเซล(Pixel) ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานของภาพที่ถูกจัดเรียงกันเป็น Row และ Column โดยมีจำนวนแถวทางแนวนอนเป็น N แถวและมีจำนวนแถวทางแนวตั้งเป็น M แถว ซึ่งในแต่ละตำแหน่งของพิกเซลจะแทนด้วย P(i,j) โดยที่ i และ j เป็นเลขจำนวนเต็ม และ 1 Pixel จะเป็นสีหนึ่งสีใดเพียงสีเดียวเท่านั้นจะมีสีอื่นไม่ได้ เนื่องจากว่าเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของการแสดงผล ฉะนั้นรูปที่เราเห็นจึงประกอบด้วยหลายๆ Pixel มาต่อเรียงกันจนเกิดภาพนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รูปจำลองการนำเอาหลายๆ Pixel มาเรียงต่อกันจนเกิดรูปภาพ [7]

2.3.2 การปรับภาพเบื้องต้น Normalization

เป็นกระบวนการปรับแต่งคุณภาพภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเบื้องต้น เป็นกระบวนการที่ทำเพื่อกำจัดปัญหาของการกดนิ้วลงบนหัวอ่านลายนิ้วมือ ด้วยน้ำหนักที่ต่างกัน และเพื่อปรับความแปรปรวนของระดับสีเทาของเส้นสันและร่องลายนิ้วมือให้อยู่ในระดับมาตรฐาน เพื่อนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเส้นสันและร่องลายนิ้วมือของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ ดังสมการ

$$\mathrm{N(i,j)} = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\dfrac{VAR_0(I(i,j) - M^2)}{VAR}}, & \text{ถ้า } I(i,j) > M \\ M_0 - \sqrt{\dfrac{VAR_0(I(i,j) - M^2)}{VAR}}, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$N(i,j)$ คือ ระดับค่าสีเทาของภาพที่ปรับแล้วที่จุดภาพ (i,j)

$I(i,j)$ คือ ค่าระดับสีเทาของจุด (i,j) บนภาพก่อนทำการ Normalization

M คือ ค่าประมาณเฉลี่ยของ I ใน sector นั้นๆ

VAR คือ ค่าความแปรปรวนของ I

M_0 คือ ค่าประมาณของค่าเฉลี่ยที่ต้องการ

VAR_0 คือ ค่าความแปรปรวนที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การกรองภาพลายนิ้วมือโดยใช้ Gabor Filter

การปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือด้วยตัวกรองกาเบอร์ (Gabor Filter) เป็นวิธีการปรับแต่งภาพพิมพ์ลายนิ้วมือที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีการหนึ่ง เพราะตัวกรองกาเบอร์จะช่วยปรับปรุงภาพลายนิ้วมือที่รับเข้ามาให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น เนื่องจากภาพที่ได้อาจมีลักษณะบางส่วนของภาพที่ขาดหายไป ขาดความชัดและน้ำมันของผิวหนัง ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอากาศระหว่างผิวของนิ้วมือและผิวของตัวตรวจจับ ทำให้ผลของภาพลายนิ้วมือไม่ถูกต้อง

การกรองแบบกาเบอร์เป็นการกรองที่ใช้ตัวกรองช่วงความถี่ผ่าน (Bandpass Filter) ที่สามารถขจัดสัญญาณรบกวนและยังคงโครงสร้างของเส้นนูนและเส้นร่องที่ถูกต้องได้ ตัวกรองกาเบอร์สามารถกำหนดค่าความถี่และทิศทางได้ทั้งในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$G(x,y,f,\theta) = exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{x'^2}{\delta_x^2}+\frac{y'^2}{\delta_y^2}\right]\right\}\cos(2\pi f x') \quad (2.2)$$

เมื่อ

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

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

θ = ทิศทางของภาพลายนิ้วมือ = {0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°, 112.5°, 135°, 157.5°}

f = ค่าเฉลี่ยของความถี่เส้นลายนิ้วมือ (Average Ridge Frequency)= $\frac{1}{K}$

K = ค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างเส้นลายนิ้วมือ (Average Inter-Ridge Distance)

δ_x^2 = ค่าคงที่ของช่องว่างของ Gaussian Envelope ไปตามแกน x

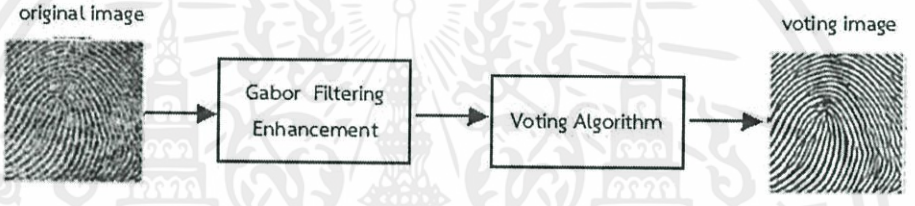
δ_y^2 = ค่าคงที่ของช่องว่างของ Gaussian Envelope ไปตามแกน y

บริเวณทิศทางมุมที่เราทำการฟิลเตอร์ ลักษณะของรูปจะแสดงเส้นลายนิ้วมือได้อย่างเด่นชัด โดยลักษณะภาพจะมีความคมชัดหรือถูกต้องมากน้อยเพียงใด ต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น ข้อมูลภาพที่เรานำมาทำการตรวจสอบมีการผิดพลาดมากน้อยเพียงใด ถ้าข้อมูลภาพมีการขาดหายมาก อาจทำให้การตรวจสอบ

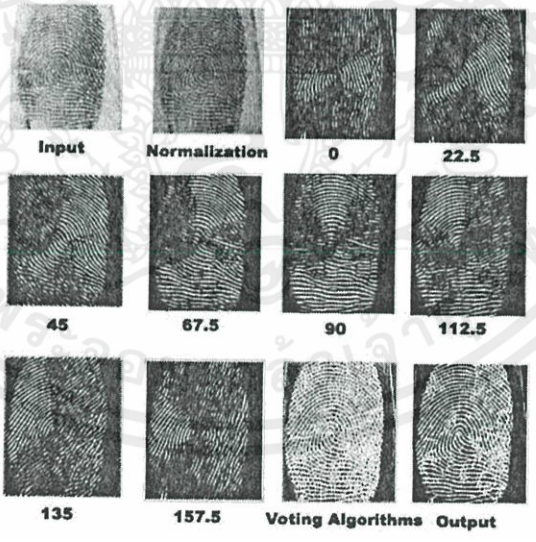
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการผิดพลาดมากยิ่งขึ้น และอีกกรณีหนึ่งคือการปรับภาพซึ่งจะอยู่ในกระบวนการโดยเทคนิคการปรับภาพมีความสำคัญมาก ถ้าเราปรับภาพได้มีคุณภาพการการกรองภาพก็จะสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

Voting Algorithms เป็นการนำภาพต้นแบบที่ถูกกรองด้วยตัวกรองกาเบอร์ 8 ทิศทาง เพื่อใช้สำหรับการคัดเลือก โดยส่วนภาพที่มีคุณภาพมากที่สุดจะถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันจนเป็นภาพที่ถูกเพิ่มความคมชัด ซึ่งวิธีการคัดเลือกส่วนที่ดีที่สุดสามารถลดอัตราความผิดพลาดของการแบ่งแยกออกเป็นประเภทๆได้ โดยรูปที่ 2.13 จะแสดงแผนผัง Voting Algorithm และรูปที่ 2.14 แสดงภาพตัวอย่างประกอบกระบวนการ Gabor Filter และ Voting Algorithm



รูปที่ 2.13 ขั้นตอน Gabor และ Voting Algorithm [8]



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือเมื่อเข้าสู่กระบวนการกรองด้วยตัวกรองกาเบอร์และนำมาเข้ากระบวนการ Voting Algorithms [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การทำภาพขาวดำสองระดับ (Binarization)

เป็นกระบวนการที่ทำภาพลายนิ้วมือระดับเทาให้เป็นดำกับขาว (0 และ 1) โดยจุดประสงค์เพื่อแยกส่วนของเส้นนูนในภาพลายนิ้วมือออกจากกันให้ง่ายต่อการนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป อีกทั้งเป็นการลดข้อมูลในการพิจารณา ซึ่งสามารถนิยามการแปลงภาพเพียงสองระดับได้ ดังนี้

$$g(x,y) = 1 \; ; f(x,y) > T$$
$$= 0 \; ; \text{อื่นๆ} \qquad (2.5)$$

โดยกำหนดให้

$f(x,y)$ คือ ค่าสีที่ได้ในแต่ละพิกเซลจากภาพลายนิ้วมือที่จะนำมาปรับปรุง

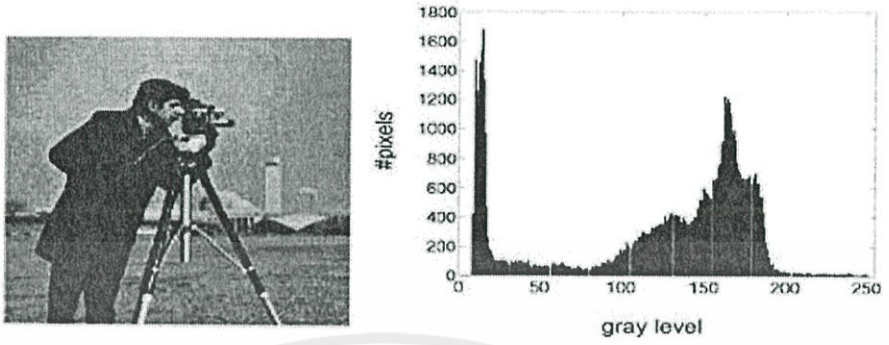
T คือ ค่าสีค่าหนึ่งในระดับเทาที่ทำการเลือกมา ใช้เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าสีที่ได้จากการอ่านภาพระดับเทาที่อินพุตขึ้นมา

$g(x,y)$ คือ ค่าของภาพสองระดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ค่าข้างต้น

โดยจากสมการ หากค่า $f(x,y)$ มีค่ามากกว่า T แล้วค่า $g(x,y)$ จะมีค่าเป็น 1 นั่นคือเส้นร่องสีขาวในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ และในทางตรงกันข้าม หากค่า $f(x,y)$ มีค่าน้อยกว่า T แล้วค่า $g(x,y)$ จะมีค่าเป็น 0 นั่นคือเป็นเส้นนูนสีดำในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ

ส่วนสำคัญของหลักการนี้อยู่ที่การเลือกค่า T นั่นคือค่า Threshold ที่เหมาะสม วิธีการในการหาค่า Threshold ที่เหมาะสมสำหรับภาพลายพิมพ์นิ้วมือสามารถใช้การเขียนฮิสโตแกรม (Histogram) จากภาพระดับเทา ซึ่งเป็นกราฟแสดงความถี่ของแต่ละค่าสีที่มีอยู่ในภาพ โดยให้แกน x เป็นระดับสีเทาตั้งแต่ 0-255 คือไล่มาจากสีดำทางซ้ายมือไปจนถึงสีขาวทางขวามือ และแกน y แสดงถึงค่าความถี่เป็นของจำนวนพิกเซลที่ระดับสีหนึ่งๆในภาพพิมพ์ลายนิ้วมือ จากภาพจะเห็นว่าโดยทั่วไปฮิสโตแกรมระดับเทาจะมีลักษณะของเส้นโค้งเหมือนภูเขาสองลูกซึ่งคือการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มโดยลูกซ้ายมือเป็นของกลุ่มเส้นนูนของลายพิมพ์นิ้วมือ(เส้นดำ) และขวามือเป็นของกลุ่มเส้นร่องของลายพิมพ์นิ้วมือ(เส้นพื้นขาว) โดยจากฮิสโตแกรมยังสามารถอธิบายสภาพของภาพพิมพ์ลายนิ้วมือได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะกราฟฮิสโตแกรมที่ได้จากภาพทางด้านซ้าย [2]

โดยตามมาตรฐานแล้วค่า Threshold ของภาพมักเป็นค่าระดับเทาของจุดตัดระหว่างเส้นโค้งของทั้งสองกลุ่มตามภาพที่ ซึ่งจะทำให้เห็นว่าค่า Threshold มีค่าไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงตามระดับเทาฮิสโตแกรม แต่ส่วนการตัดสินใจเลือกค่า Threshold ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของแต่ละบุคคล แต่ก็ยังขาดความสะดวกจึงมีความคิดในการพัฒนาอัลกอริธึมให้ทำงานในการเลือกค่า Threshold โดยอัตโนมัติ การแปลงภาพลายนิ้วมือเป็นภาพสองระดับจะช่วยในการลดขนาดของข้อมูลในการประมวลผล

2.3.5 การทำภาพให้บาง (Thinning)

การทำลายเส้นให้บางเป็นขั้นตอนพื้นฐานเริ่มแรกใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบ เช่น การตรวจสอบชิ้นส่วนในทางอุตสาหกรรม (Industrial Parts Inspection), การรู้จำลายนิ้วมือ (Fingerprint Recognition), การรู้จำตัวอักษร (Optical Character Recognition-OCR) และการวินิจฉัยทางชีวภาพ (Biomedical Diagnosis) ภาพที่ได้หลังจากการทำลายเส้นให้บางกับภาพขาวดำจะถูกเรียกว่า Skeleton ประโยชน์อย่างหนึ่งที่ได้จากการทำลายเส้นให้บาง คือ การลดทอนพื้นที่หน่วยความจำที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลโครงสร้างของรูปแบบที่จะแสดงและทำให้โครงสร้างข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบนั้นง่ายขึ้น

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อทำให้รายละเอียดของภาพลายนิ้วมือ เหลือแต่ลายเส้นที่จำเป็น ไม่ให้มีรายละเอียดมากเกินความจำเป็น เนื่องจากโดยข้อเท็จจริง ลายนิ้วมือแต่ละเส้นจะมีลักษณะเป็นเส้นหนาและความหนาของแต่ละลายเส้นไม่เท่ากันทุกเส้น แต่ความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของลายเส้นเป็นข้อมูลที่กระบวนการวินิจฉัยไม่สนใจพิจารณา ดังนั้นเราจึงลดข้อมูลให้น้อยลงได้ โดยการแทนเส้นลายนิ้วมือด้วยลายเส้น ซึ่งนั่นก็คือการกำจัดความแตกต่างของความหนา

2.3.6 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ (Minutiae Extraction)

การตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ 2 ภาพ ว่าเป็นภาพลายนิ้วมือเดียวกันหรือไม่นั้น มีหลากหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่เป็นที่นิยมกันมากที่สุด ได้แก่การเปรียบเทียบจุดมินูเทียร์ (Minutiae) ซึ่งจุดมินูเทียร์มีหลายชนิด เช่น จุดที่เส้นลายนิ้วมือ (Ridge) มาบรรจบกัน หรือแยกออกจากกัน หรือ เป็นจุดจบของเส้น นอกจากนั้นจุดมินูเทียร์ของแต่ละคนจะวางในตำแหน่งที่แตกต่างกันออกไป ทำให้เราสามารถนำจุดมินูเทียร์มาตรวจสอบลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลได้ การค้นหาจุดมินูเทียร์สามารถทำได้โดยการคำนวณจุดรอบตัว โดยเป็นการหาผลรวมของความแตกต่าง กำหนดให้จุดรอบตัวที่จะคำนวณมีรูปแบบดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกำหนดจุดในการคำนวณหาจุดมินูเทียร์ [5]

c_4	c_3	c_2
c_5	c	c_1
c_6	c_7	c_8

โดย c เป็นจุดที่จะมีการคำนวณหาจุดมินูเทียร์ และ c_1 ถึง c_8 เป็น 8 จุด รอบตัวการคำนวณหาจุดมินูเทียร์โดยใช้จำนวนไขว้ (Crossing Number) เป็นไปดังสมการ

$$CN = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{8}|c_i - c_i + 1| \tag{2.6}$$

จะเป็นการหาผลรวมของความแตกต่างสมบูรณ์ ซึ่งจุดมินูเทียร์แต่ละชนิดจะได้ค่า CN ที่ไม่เท่ากัน เช่น ถ้า $CN = 1$ แสดงว่าจุด c เป็นจุดปลาย (Ending Point) ถ้า $CN = 3$ แสดงว่าจุด c เป็นจุดแยกสองราก (Bifurcation Point) ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดของผลลัพธ์ในการคำนวณหาจุดมินูเทียร์แต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ประเภทของจุดมินูเทียร์

CN	ประเภท
0	Isolated point
1	Ending point
2	Connective point
3	Bifurcation point
4	Crossing point

2.3.7 ฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ (Finger Context)

เป็นการเปลี่ยนจุดมินูเทียร์เป็นรหัส (Minutiae Encoding) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มลักษณะเด่นของจุดมินูเทียร์มากยิ่งขึ้น โดยเป็นการบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของจุดมินูเทียร์ที่จะเข้ารหัสและจุดมินูเทียร์ใกล้เคียง

ในการเข้ารหัส จะมีการสมมติโดยการตีเส้นแบ่งมุมเป็น 8 มุม จะได้พื้นที่ 8 bin โดยใช้จุดมินูเทียร์ที่ต้องการจะเข้ารหัสเป็นศูนย์กลาง จากนั้นทำการค้นหาจุดมินูเทียร์ที่อยู่ภายใน bin แต่ละอันที่ใกล้ที่สุด โดยใช้การคำนวณค่าแบบ Euclidean Distance โดยจะกระทำเช่นนี้กับทุกๆจุดมินูเทียร์ เมื่อหาจุดที่ใกล้ที่สุดได้แล้ว จะใช้ค่า CN หรือ ค่าจำนวนไขว้ของแต่ละจุดมาสร้างแพทเทิร์น (Pattern) กำหนดให้ b คือ จำนวนมินูเทียร์ทั้งหมดที่ต้องการจะเข้ารหัส N_c คือ ค่าจำนวนไขว้ของจุดที่ต้องการเข้ารหัส และ N_b^a คือค่าจำนวนไขว้ของจุดมินูเทียร์ใกล้เคียงทั้ง 8 จุด ซึ่งจะสามารถสร้างแพทเทิร์นของการเข้ารหัสแต่ละจุดมินูเทียร์ได้ ดังนี้

$$T_b = (N_b^0 - N_c), (N_b^1 - N_c), \dots, (N_b^7 - N_c) \tag{2.7}$$

ดังนั้นในแต่ละจุดมินูเทียร์จะได้แพทเทิร์นเป็นรหัส 8 ตัว ซึ่งแต่ละตัวเป็นผลลบของค่าจำนวนไขว้จุดมินูเทียร์ที่ใกล้เคียงลบกับค่าจำนวนไขว้จุดที่สนใจ

2.3.8 Local Binary Pattern (LBP)

เป็นวิธีการที่ถูกนำเสนอในการเข้ารหัสภาพเท็กซ์เจอร์ (Texture) ซึ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มลักษณะเด่นภายในภาพ จากสมการที่ (2.8) เมื่อคำนวณหาแพทเทิร์นของการเข้ารหัสได้แล้ว จากนั้นต้องกำหนดตัวคูณ 2^k ให้กับแต่ละ $f(N_b^a - N_c)$ ได้ดังนี้

$$LBP = \sum_{k=0}^{7} f(N_b^a - N_c) \cdot 2^k \tag{2.8}$$

เมื่อ

$$f(x) = \begin{cases} 1 , & x \geq 0 \\ 0 , & x < 0 \end{cases} \tag{2.9}$$

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ (2.8) จะเป็นตัวเลขที่ไม่ซ้ำกัน นอกจากนั้นเพื่อให้ทนทาน ในกรณีที่ภาพลายนิ้วมือมีการหมุน จึงต้องนำแพทเทิร์นของการเข้ารหัสมาทำการเลื่อนบิท (bit) ไปทางขวาแบบเวียนเป็นวง เพื่อหาค่า LBP ที่น้อยที่สุด จากนั้น นำผลลัพธ์จากการทำ LBP ไปสร้างเป็นฮิสโตแกรม (Histogram) สำหรับเป็นตัวแทนของลายนิ้วมือได้ กำหนดให้ LBP_y เป็นค่า LBP ของจุดมินูเทียร์ลำดับที่ y เมื่อ y = 1,...,b โดย b เป็นจำนวนจุดมินูเทียร์ทั้งหมด ตัวแทนของ LBP สำหรับลายนิ้วมือสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Hist = (LBP_1 , LBP_2 , \ldots . , LBP_b) \tag{2.10}$$

เมื่อ $Hist$ คือ ฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ของ LBP โดยที่ $Hist$ แต่ละอันจะเป็นตัวแทนของลายนิ้วมือแต่ละคน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไป สำหรับลายนิ้วมือของแต่ละคน

2.3.9 การคำนวณค่าแบบ Euclidian Distance

เป็นสูตรหาค่าระยะห่างระหว่างจุด x และ y แบบ 2 มิติ ซึ่งมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าระยะห่างของจุดมินูเทียร์ 2 จุด และหาค่าระยะห่างของเวกเตอร์โดยใช้สูตรดังนี้

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{2.11}$$

เมื่อ (x_1, y_1) คือ ค่าพิกัดของจุดต้น

(x_2, y_2) คือ ค่าพิกัดของจุดปลายทาง

ระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) คือระยะทางปกติระหว่างจุดสองจุดในแนวเส้นตรง ซึ่งอาจสามารถวัดได้ด้วยไม้บรรทัด มีที่มาจากทฤษฎีบทพีทาโกรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Pythagoras) เหตุที่เรียกว่า ยุคลิด เนื่องจากเป็นการวัดระยะทางในปริภูมิแบบยุคลิด คือไม่มีความโค้งและไม่สามารถทำให้โค้งงอ

การวัดขนาด (Norm) ที่นิยมที่สุด คือ 2-Norm หรือ Euclidean Norm หรือ Quadratic Norm สัญลักษณ์คือ $\|U\|_2$ ใช้กับขนาดเวกเตอร์ทั่วไป โดยที่ Norm ต้องเป็นจำนวนจริงบวก หรือ 0 เพื่อบอกขนาดได้ ในที่นี้ขอกล่าวถึงการหาระยะทางระหว่างเวกเตอร์ ดังสมการที่ 2.12 โดยกำหนดให้ $U = [U_1, U_2, \dots, U_n]$, $V = [V_1, V_2, \dots, V_n]$ และ n = 1,2,..., n

$$\|U - V\|_2 = \sqrt{(U_1 - V_1)^2 + (U_2 - V_2)^2 + \dots + (U_n - V_n)^2} \qquad (2.12)$$

2.4 การรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition)

การรู้จำรูปแบบคือการรับข้อมูลบางอย่างเข้ามาเพื่อทำการเปรียบเทียบกับสิ่งที่ระบบเคยเรียนรู้และเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการรู้จำจะมีส่วนประกอบหลักๆอยู่ 3 ส่วน ได้แก่

2.4.1 ส่วนการหาลักษณะเด่นของข้อมูล (Feature Extraction)

เป็นการแปลงจากข้อมูลดิบที่ได้รับเข้ามา เช่น เสียงพูด ภาพสแกนม่านตา ภาพใบหน้า ภาพลายพิมพ์นิ้วมือ ฯลฯ ให้กลายเป็นข้อมูลเด่นที่มีความสำคัญและแตกต่างกันในแต่ละบุคคล เพื่อให้เราสามารถเปรียบเทียบข้อมูลของคน 2 คนได้ง่ายขึ้นและชัดเจนกว่าการเทียบจากข้อมูลดิบ สำหรับข้อมูลเด่นที่สกัดขึ้นมาได้นั้นมักอยู่ในรูปของชุดตัวเลขคณิตศาสตร์ซึ่งจะถูกส่งไปให้ตัวเปรียบเทียบทำการวิเคราะห์ต่อไป

2.4.2 ส่วนของตัวเปรียบเทียบ (Pattern Similarity Analysis)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เหมือนกับสมองของมนุษย์ ใช้ในการวิเคราะห์ว่ารูปแบบของสัญญาณที่ส่งเข้ามานั้นมีความคล้ายคลึงกันหรือไม่ ซึ่งมีอัลกอริธึมที่นิยมใช้กันอยู่คือ Dynamic Time Warping (ทำการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูล 2 ข้อมูลเทียบกันโดยมีการยอมให้มีการปรับเปลี่ยนลักษณะทางเวลาและแอมปลิจูด (Amplitude) ได้ในช่วงหนึ่ง) , Neural Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(มีหลายชนิด ถ้าเป็นแบบต้องมีการฝึกก่อน (Supervised) จะต้องนำข้อมูลมาป้อนให้โดยต้องบอก Neural Network ด้วยว่าข้อมูลนี้เป็นของใคร ซึ่งการใช้งานในระบบรักษาความปลอดภัยนั้นจะเป็นแบบต้องมีการฝึกก่อน) และ Hidden Markov Model (เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลโดยใช้ลักษณะทางสถิติและค่าความน่าจะเป็น) ของลายเส้นเป็นข้อมูลที่กระบวนการวินิจฉัยไม่สนพิจารณา ดังนั้นเราจึงลดข้อมูลให้น้อยลงได้โดยการแทนเส้นลายนิ้วมือด้วยลายเส้น ซึ่งนั่นก็คือการกำจัดความแตกต่างของความหนา

2.4.3 ส่วนของกฎเกณฑ์การตัดสินใจ (Decision Rule)

เป็นส่วนที่ทำการตัดสินใจขั้นสุดท้ายโดยนำข้อมูล เช่น ค่าความน่าจะเป็น, คะแนนความคล้ายคลึงที่ส่วนตัวเปรียบเทียบคำนวณได้มาใช้ หรืออาจตัดสินใจจากการเปรียบเทียบข้อมูลหลายๆ ประเภทมาใช้ร่วมกัน แล้วตอบว่าคนที่พูดประโยคออกมา (หรือที่สแกนลายนิ้วมือเข้ามา) เป็นคนเดียวกับที่มีรหัสอยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่ เราใช้คำตอบที่ได้จากส่วนตัวตัดสินใจมาใช้ในการควบคุมว่าจะให้ผู้มาติดต่อเข้ามาภายในอาคารหรือเข้าถึงข้อมูลลับได้หรือไม่

2.5 เครื่องสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprint Scanner)

สำหรับเทคโนโลยีสแกนลายพิมพ์นิ้วมือที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้วอาจแบ่งได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ เซ็นเซอร์ประจุไฟฟ้า (Capacitive Sensor) เซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Thermal Sensor)และเซ็นเซอร์แสง (Optical Sensor) เทคโนโลยีสองแบบแรก ผู้ใช้ต้องแตะไปที่เซ็นเซอร์โดยตรง ทำให้อายุใช้งานสั้น และมีปัญหาด้าน การบำรุงรักษา โดยเฉพาะในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว จะเกิดไฟฟ้าสถิตทำลายผิวเซ็นเซอร์ได้ ขณะที่แบบแสงจะมีความทนทานกว่า และมีคุณสมบัติรวมของเทคโนโลยีอื่นมาไว้ด้วย หลักการทำงานของเซ็นเซอร์แสง คือการสะท้อนกลับหมดของแสง ด้วยการอาศัยแสงสีแดงส่องลายนิ้วมือ ที่วางอยู่ บนเลนส์สะท้อนกับตัวหัวเซ็นเซอร์ เช่นเดียวกับการใช้นิ้วจับแก้วที่มีน้ำอยู่ภายใน ซึ่งการสะท้อนของแสง ทำให้เรามองเห็นลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจน

ในโครงงานนี้ใช้เครื่องสแกนลายนิ้วมือ ยี่ห้อ DigitalPersona รุ่น U.are.U 4500 เมื่อต้องการใช้งาน ผู้ใช้เพียงวางนิ้วบนหน้าจอสัมผัส เครื่องอ่านจะทำการสแกนอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอัตโนมัติ เมื่อมีแสงสีแดงกระพริบ แสดงว่าลายนิ้วมือถูกสแกนแล้ว จากนั้นเครื่องจะทำการเข้ารหัสก่อนส่งผ่านข้อมูลทาง USB พร้อมเตรียมเครื่องอ่านให้พร้อมรับนิ้วมือครั้งต่อไป

รูปที่ 2.16 เครื่องอ่านลายนิ้วมือ U.are.U 4500 Sensor

โดยคุณสมบัติของเครื่อง U.are.U 4500 มีดังนี้

- ไฟ LED สีน้ำเงิน เหมาะกับทุกสภาพแวดล้อม ให้ความสบายตา ไม่รบกวนในสภาพแสงน้อย เช่น ในภัตตาคาร หรือทำให้สับสนกับสีของสัญญาณเตือน เช่น ในโรงพยาบาล
- ส่วนประกอบขนาดเล็ก ทำให้ประหยัดเนื้อที่บนโต๊ะทำงาน
- โครงสร้างแข็งแรงและฝืด วัสดุห่อหุ้มเป็นโลหะคุณภาพสูง มีน้ำหนักดี เพื่อป้องกันการลื่นหรือเลื่อนไถล
- หน้าจอสัมผัสคุณภาพสูง ทำให้คุณภาพการสแกนออกมาดีทุกครั้ง
- สแกนนิ้วที่แห้ง ชื้น หรือหยาบกร้านได้ดี

ข้อมูลจำเพาะ

- ความละเอียด : 512 dpi (เฉลี่ยทั้งแนวตั้งและแนวนอนบนพื้นที่สแกน)
- พื้นที่การสแกน : 14.6 mm (ความกว้างตามแนวศูนย์กลาง) 18.1 mm (ความยาวตามแนวศูนย์กลาง)
- 8-bit grayscale (256 levels of gray)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดเครื่อง (โดยประมาณ) : 65 mm x 36 mm x 15.56 mm
- รองรับ USB 1.0, 1.1 and 2.0 (Full Speed) Specification

2.6 ระบบฐานข้อมูล (Database)

2.6.1 ความหมาย

ฐานข้อมูล (Database) หมายถึง กลุ่มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน นำมาเก็บรวบรวมเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบและข้อมูลที่ประกอบกันเป็นฐานข้อมูลนั้น ต้องตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานขององค์กรด้วยเช่นกัน เช่น ในสำนักงานก็รวบรวมข้อมูล ตั้งแต่หมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่มาติดต่อจนถึงการเก็บเอกสารทุกอย่างของสำนักงาน ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะมีส่วนที่สัมพันธ์กันและเป็นที่ต้องการนำออกมาใช้ประโยชน์ต่อไปภายหลัง ข้อมูลนั้นอาจจะเกี่ยวกับบุคคล สิ่งของ สถานที่ หรือเหตุการณ์ใด ๆ ก็ได้ที่เราสนใจศึกษา หรืออาจได้มาจากการสังเกต การนับหรือการวัดก็เป็นได้ รวมทั้งข้อมูลที่เป็นตัวเลข ข้อความ และรูปภาพต่าง ๆ ก็สามารถนำมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลได้ และที่สำคัญข้อมูลทุกอย่างต้องมีความสัมพันธ์กัน เพราะต้องการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างฐานข้อมูล

ชื่อฐานข้อมูล	กลุ่ม ข้อมูล
บริษัท	- พนักงาน - ลูกค้า - สินค้า - ใบสั่งสินค้า
โรงเรียนหรือมหาวิทยาลัย	- นักเรียน - อาจารย์ - วิชา - การลงทะเบียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบฐานข้อมูล (Database System) หมายถึง การรวมตัวกันของฐานข้อมูลตั้งแต่ 2ฐานข้อมูลเป็นต้นไปที่มีความสัมพันธ์กัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล และทำให้การบำรุงรักษาตัวโปรแกรมง่ายมากขึ้น โดยผ่านระบบการจัดการฐานข้อมูล หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า DBMS

2.6.2 องค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลเป็นเพียงวิธีคิดในการประมวลผลรูปแบบหนึ่งเท่านั้น แต่การใช้ฐานข้อมูลจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

- แอพพลิเคชันฐานข้อมูล (Database Application)
-ระบบจัดการฐานข้อมูล(Database Management System หรือ DBMS)
- ดาต้าเบสเซิร์ฟเวอร์ (Database Server)
- ข้อมูล (Data)
- ผู้บริหารฐานข้อมูล (Database Administrator หรือ DBA)

2.6.3 แอพพลิเคชั่นฐานข้อมูล (Database Application)

เป็นแอพพลิเคชั่นที่สร้างไว้ให้ผู้ใช้งานสามารถติดต่อกับฐานข้อมูลได้อย่างสะดวก ซึ่งมีรูปแบบการติดต่อกับฐานข้อมูลแบบเมนูหรือกราฟฟิก(Graphics) โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับฐานข้อมูล ก็สามารถเรียกใช้งานฐานข้อมูลได้ เช่น บริการเงินสด ATM

2.6.4 ระบบจัดการฐานข้อมูล

ระบบจัดการฐานข้อมูล หมายถึง กลุ่มโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่ง ที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่บริหารฐานข้อมูลโดยตรง ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างฐานข้อมูล หรืออธิบายอย่างง่าย ก็คือ DBMS นี้เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างผู้ใช้ และโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบฐานข้อมูล ตัวอย่างของ DBMS ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Microsoft Access, FoxPro, SQL Server, Oracle, Informix, DB2 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของระบบจัดการฐานข้อมูล มีดังนี้

- กำหนดมาตรฐานข้อมูล
- ควบคุมการเข้าถึงข้อมูลแบบต่าง ๆ
- ดูแล-จัดเก็บข้อมูลให้มีความถูกต้องแม่นยำ
- จัดเรื่องการสำรอง และฟื้นสภาพแฟ้มข้อมูล
- จัดระเบียบแฟ้มทางกายภาพ (Physical Organization)
- รักษาความปลอดภัยของข้อมูลภายในฐานข้อมูล และป้องกันไม่ให้ข้อมูลสูญหาย
- บำรุงรักษาฐานข้อมูลให้เป็นอิสระจากโปรแกรมแอพพลิเคชั่นอื่น ๆ
- เชื่อมโยงข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เข้าด้วยกัน เพื่อรองรับความต้องการใช้ข้อมูลในระดับต่าง ๆ

2.7 ระบบฐานข้อมูลใน SQL

2.7.1 Structured Query Language ; SQL

SQL จัดเป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ซึ่งเป็นภาษาที่สามารถใช้งานได้ในคอมพิวเตอร์หลายระดับด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นระดับเมนเฟรมคอมพิวเตอร์จนถึงไมโครคอมพิวเตอร์ ชุดคำสั่ง หรือ ภาษา SQL นั้นถูกพัฒนาจากแนวความคิดทางคณิตศาสตร์ คือ Relational Algebra และ Relation Calculus ตามแนวคิดของเทคโนโลยีฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ที่ E.F. Codd เป็นผู้คิดค้นขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1970 และต่อมาบริษัท IBM จึงเริ่มทำการวิจัยพัฒนาเมื่อ ปี ค.ศ. 1974 โดยใช้ชื่อว่า “SEQUEL” (Structured English Query Language) จากนั้นจึงมีการปรับปรุงและเปลี่ยนชื่อมาเป็น SQL

หลังจากปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา ระบบฐานข้อมูล Oracle ซึ่งถูกพัฒนาโดยบริษัท Oracle Corporation และถือเป็นก้าวแรกในเชิงพาณิชย์สำหรับการพัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS) ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ SQL และต่อมาก็มีผลิตภัณฑ์อื่นๆ พัฒนาตามมา เช่น Ingress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตต่างๆ มากขึ้น จึงทำให้เกิด SQL หลายๆรูปแบบจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนั้นในราวปี ค.ศ. 1982 ทาง ANSI จึงได้คิดค้นและร่างมาตรฐานของชุดคำสั่ง SQL เพื่อให้ผู้ผลิตรายต่างๆ สร้างชุดคำสั่งดังกล่าวให้อยู่ภายใต้มาตรฐานเดียวกัน แต่ในปัจจุบันแต่ละผลิตภัณฑ์ต่างก็มีการเพิ่มคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติมเพื่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและถือเป็นจุดขายของผลิตภัณฑ์ แต่ทั้งนี้ โดยหลักการแล้วชุดคำสั่งดังกล่าวยังคงตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ทาง ANSI บัญญัติไว้ โดยในปัจจุบันมีระบบการจัดการฐานข้อมูลต่างๆอาทิเช่น Oracle, DB2, Sybase, Informix, MS-SQL, MS-Access ตลอดจน MS-FoxPro เป็นต้น ซึ่งการใช้งานภาษา SQL ในปัจจุบันมี 2 ลักษณะ คือ แบบโต้ตอบ (Interactive SQL) และ แบบฝังตัวในโปรแกรม (Embedded SQL)

2.7.2 วัตถุประสงค์ของ SQL

- สร้างฐานข้อมูลและโครงสร้างรีเลชั่น (Relation)
- สนับสนุนงานด้านการจัดการฐานข้อมูลพื้นฐาน เช่น การเพิ่ม ปรับปรุง การลบข้อมูลจากรีเลชั่น
- สนับสนุนการค้นหา สืบถาม หรือคิวรี่ (Query) ข้อมูลและการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปสารสนเทศ

2.7.3 ประเภทของคำสั่งภาษา SQL

2.7.3.1. ภาษานิยามข้อมูล (Data Definition Language : DDL)

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูล การกำหนดโครงสร้างข้อมูลว่ามีคอลัมน์หรือแอตตริบิวต์ (Attribute) ใด ชนิดข้อมูลเป็นประเภทใด รวมทั้งการจัดการด้านการเพิ่ม แก้ไข ลบ แอตตริบิวต์ต่างๆในรีเลชั่น และการสร้างดัชนี

2.7.3.2 ภาษาการจัดการข้อมูล (Data Manipulation Language : DML)

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ถือเป็นแกนสำคัญของภาษา SQL โดยกลุ่มคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้จะใช้ในการ Update เพิ่ม ปรับปรุงและการคิวรี่ข้อมูลในฐานข้อมูล ซึ่งอาจเป็นชุดคำสั่งในลักษณะ Interactive SQL หรือ Embedded SQL ก็ได้

2.7.3.3 ภาษาควบคุมข้อมูล (Data Control Language : DCL)

เป็นกลุ่มคำสั่งที่จะช่วยให้ผู้บริหารฐานข้อมูล (DBA) สามารถควบคุมฐานข้อมูลเพื่อกำหนดสิทธิการอนุญาต (Grant) หรือการยกเลิกการเข้าใช้ (Revoke) ฐานข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการป้องกันความปลอดภัยในฐานข้อมูล รวมทั้งการจัดการทรานแซกชั่น (Transaction Management) แต่ละ DBMS จะมีการกำหนดชนิดข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น numeric , string , date , time เป็นต้น

2.7.4 ข้อดีของ SQL

SQL เป็นภาษาเกี่ยวกับการจัดการฐานข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการนิยามข้อมูล การเรียกใช้ หรือการควบคุม การใช้คำสั่งเหล่านี้ที่มีในระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System : DBMS) เช่น ACCESS dBaseIV ORACLE, DB2 ฯลฯ จะช่วยประหยัดเวลาในการพัฒนาระบบงาน หรือนำไปใช้ในส่วนของการสร้างฟอร์ม (Form) การทำรายงานของระบบงานต่าง ๆ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ประโยชน์ของภาษา SQL อีกประการก็คือ โปรแกรมระบบฐานข้อมูลส่วนใหญ่สนับสนุนภาษา SQL แทบทั้งสิ้น ดังนั้นถ้าเข้าใจภาษา SQL เท่ากับว่าจะเขียนโปรแกรมติดต่อกับฐานข้อมูลต่างๆได้

2.8 โปรแกรม Microsoft Visual C#

C# เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาโดยบริษัท ไมโครซอฟต์ (Microsoft) โดยใช้รากฐานของภาษา C/C++ เป็นหลัก ดังนั้นรูปแบบโครงสร้างทางภาษาของ C# จึงคล้ายกับ C/C++ แต่ลดความสลับซับซ้อนลง นอกจากนี้ก็ยังได้แก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องหลายประการที่มีอยู่ใน C++ ให้หมดไป จึงทำให้ภาษา C# นั้นกลายเป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่ายและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก C# นั้นเกิดขึ้นมาพร้อมกับเทคโนโลยี .NET ดังนั้นการทำงานของ C# จึงขึ้นกับ .NET Framework เป็นหลัก โดยมีชุดเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชั่นด้วยภาษา C# เรียกว่า Visual C# ซึ่งสามารถใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชั่นทั่วๆไปในระดับเดียวกับ Visual Basic เพื่อให้โปรแกรมเมอร์ที่คุ้นเคยกับรูปแบบโครงสร้างในแบบ C/C++ สามารถเลือกใช้ VC# แทน VB ได้ ในปัจจุบันภาษา C# กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรแกรมเมอร์ที่เคยเขียนด้วยภาษาอื่นๆเช่น C++, Java, Delphi หรือแม้กระทั่งผู้ที่เคยใช้ VB มาก่อน ต่างก็หันมาใช้ C# กันมากขึ้น เพราะโครงสร้างของ C# นั้น สั้น, กระชับ และเข้าใจได้ง่ายกว่า ซึ่งไม่เพียงแต่จะใช้สร้างแอปพลิเคชั่นบน Windows เท่านั้น แต่ยังสามารถสร้างแอปพลิเคชั่นอื่นๆ ได้อีกหลากหลาย เช่น Web Application (ASP.NET), Smart Device, WPF, Silverlight เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาเรียนรู้ภาษา C# จึงมีช่องทางให้นำไปใช้งานได้มากมายและคุ้มค่าเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

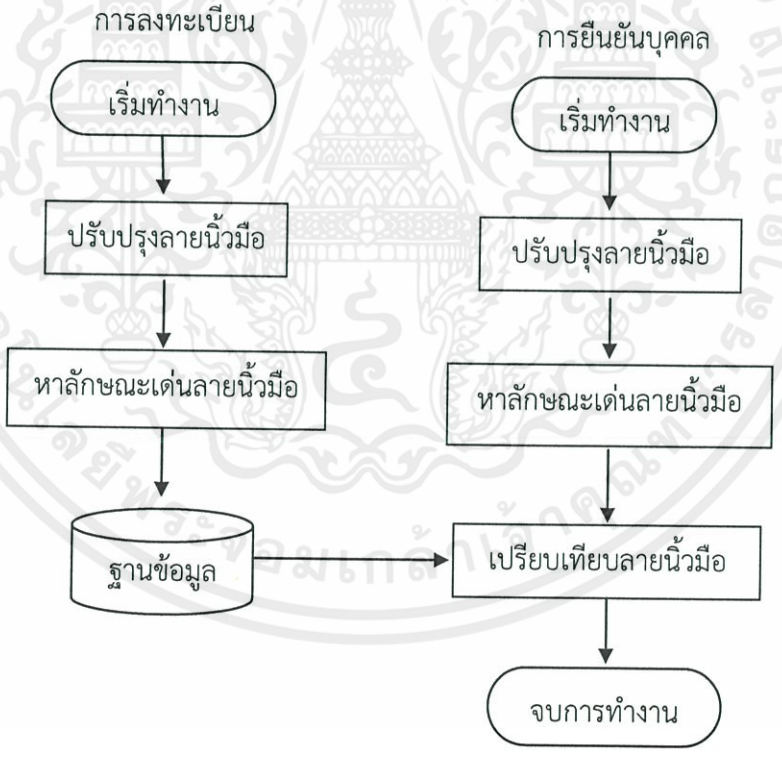
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

จากการทำงานระบบ ผู้จัดทำได้มีการนำ Netbook รุ่นเก่ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานเฉพาะด้าน ในที่นี้ได้จัดทำให้เสมือนเป็น เครื่องสแกนลายนิ้วมือแบบพกพาเพื่อใช้ยืนยันบุคคล ไว้ใช้ประโยชน์ในการเข้าสอบ เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการเซ็นชื่อและตรวจบัตร

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการปรับปรุงภาพและหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) โดยการใช้งานจะมี 2 ส่วนเช่นกัน คือ การลงทะเบียนและการยืนยันตัวบุคคล ดังรูปที่ 3.1

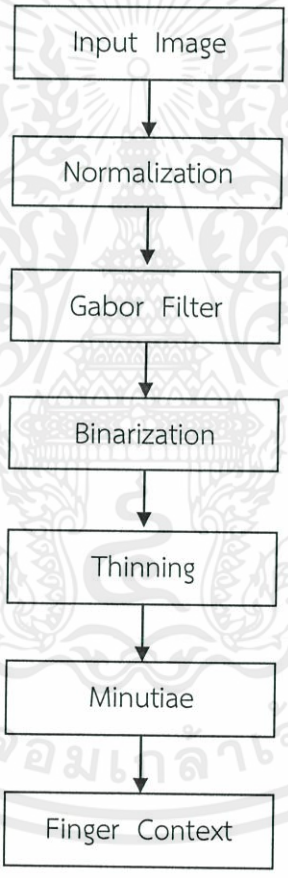


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบตรวจสอบลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ส่วนของการปรับปรุงภาพและหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ

ในส่วนนี้จะใช้โปรแกรม MatLab R2010b โดยเริ่มจากการนำภาพลายนิ้วมือที่ได้จากเครื่องอ่านลายนิ้วมือมาปรับลักษณะลายนิ้วมือให้มีความคมชัดมากขึ้น ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image Processing Algorithm) หลังจากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลลายนิ้วมือเป็นฮิสโตแกรม แล้วนำไปเก็บในฐานข้อมูล เพื่อรอเปรียบเทียบเมื่อมีการสแกนลายนิ้วมือครั้งต่อไป โดยมีกระบวนการตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 3.2

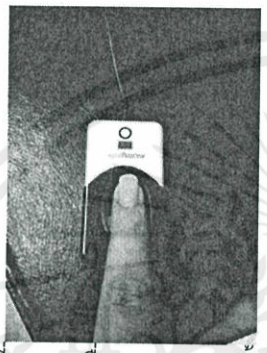


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมกระบวนการ Image Processing ใน MatLab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1 การรับข้อมูลรูปภาพ

การรับภาพลายนิ้วมือ รับจากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprint Scanner) ยี่ห้อ DigitalPersona รุ่น U.are.U 4500 ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งสามารถบันทึกไฟล์ภาพได้ทั้ง .bmp และ .jpg และได้ภาพที่มีขนาด 456x498 pixels ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 เครื่องสแกนลายนิ้วมือ ยี่ห้อ DigitalPersona รุ่น U.are.U 4500

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพลายนิ้วมือที่ได้จากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ

3.1.1.2 Normalization

เป็นการปรับความแปรปรวนของระดับสีเทาของเส้นสันและร่องของลายนิ้วมือ เนื่องจากแรงกดนิ้วมือในภาพมีไม่เท่ากันให้อยู่ในระดับมาตรฐานเพื่อนำไปประมวลผลขั้นต่อไป ซึ่งการ Normalization จะเป็นการกระทำในระดับพิกเซลซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงความชัดเจนของโครงเสร้างเส้นนูนและร่องของภาพ

3.1.1.3 Gabor Filter

ใช้ตัวกรองกาเบอร์ (Gabor Filter) กรองรูปภาพที่ผ่านการ Normalize เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ และแบ่งรูปออกเป็นบริเวณต่างๆตามขอบเขตของมุมที่สนใจ โดยจะแบ่งออกเป็น 8 ทิศทาง ได้แก่ 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°, 112.5°, 135° และ 157.5° เนื่องจากตัวกรอง 8 ทิศทางสามารถตรวจจับ ลักษณะเด่นแบบเฉพาะที่ (Local Feature) และลักษณะเด่นโดยรวม (Global Feature) ได้ดี จากนั้นจะนำภาพที่ถูกกรองด้วยตัวกรองกาเบอร์ 8 ทิศทาง มาเข้ากระบวนการ Voting Algorithm เพื่อคัดเลือกส่วนที่มีคุณภาพดีที่สุดเพื่อลดอัตราความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 การทำภาพขาวดำ 2 ระดับ (Binarization)

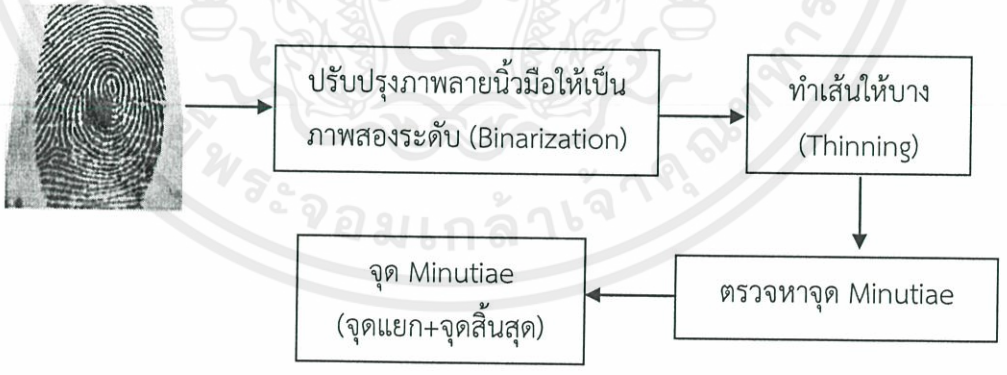
เนื่องจากข้อมูลภาพที่รับเข้ามาสู่ระบบนั้นเป็นข้อมูลดิจิตอล 256 ระดับสีเทานั้นจะถูกนำมาแปลงให้เป็นข้อมูลภาพ 2 ระดับ (Binary Image) ทำได้โดยการหาระดับสีเทาของภาพ จากนั้นนำไปเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบ โดยระดับสีของจุดภาพใดๆมีค่ามากกว่าระดับสีเทาจะกำหนดให้เป็นสีดำ และระดับของจุดภาพใดๆ มีค่าน้อยกว่าระดับสีเทาจะกำหนดให้เป็นสีขาว

3.1.1.5 การทำภาพให้บาง (Thinning)

ใช้ฟังชั่น (Function) ของโปรแกรม MatLab ลดขนาดของรูปให้เหลือเส้นเดียว เมื่อภาพที่ผ่านกระบวนการนี้แล้ว จะมีขนาดเส้นของลายนิ้วมือที่ลดลงและเส้นมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

3.1.1.6 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ (Minutiae Extraction)

ในโครงงานนี้จะใช้ มินูเทียร์ 2 ประเภท คือ จุดสิ้นสุดของลายนิ้วมือ (Ridge Ending) ซึ่งเป็นคือมินูเทียร์ที่เกิดจากเส้นลายนิ้วมือมีการขาด และมินูเทียร์ที่เกิดจากเส้นลายนิ้วมือหนึ่งเส้นแยกเป็นสองเส้น หรือสองเส้นรวมกันเป็นหนึ่งเส้น เรียกว่าจุดแยกของลายนิ้วมือ (Ridge Bifurcation) โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.5

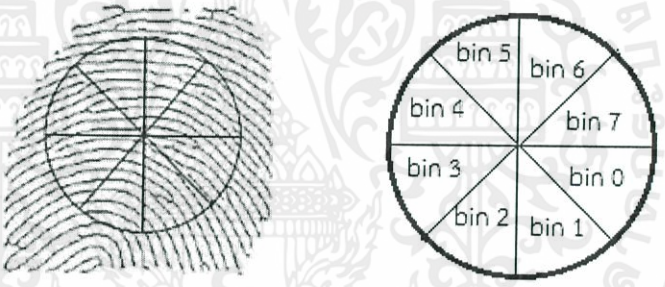


รูปที่ 3.5 แผนภูมิขั้นตอนการหาจุด Minutiae

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.7 ฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ (Finger Context)

เป็นการเปลี่ยนจุดมินูเทียร์เป็นรหัส (Minutiae Encoding) เพื่อใช้เป็นลักษณะเด่นของแต่ละคน โดยมีการสมมติโดยการตีเส้นแบ่งมุมเป็น 8 มุม จะได้พื้นที่เปิด 8 bin โดยใช้จุดมินูเทียร์ที่ต้องการจะเข้ารหัสเป็นศูนย์กลาง จากนั้นทำการค้นหาจุดมินูเทียร์ที่อยู่ภายใน bin แต่ละ bin ที่ใกล้ที่สุด โดยใช้การคำนวณค่าแบบ Euclidean Distance โดยกำหนดให้ bin0 คือ [0°,45°) ,bin1 คือ [45°,90°) ,bin2 คือ [90°,135°) ,bin3 คือ [135°,180°), bin4 คือ (-135°,-180°] หรือ [180°,-135°) ,bin5 คือ (-90°,-135°] ,bin6 คือ (-45°,-90°] และ bin7 คือ (0°,-45°] จากรูปที่ 3.7 เป็นตัวอย่างการหามินูเทียร์ที่ใกล้ที่สุด หลังจากที่มีการแบ่งมุมแล้ว สังเกตจากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าลักษณะคล้ายกับไดอะแกรมแบบ Log-Polar ดังรูปที่ 3.6 เพียงแต่การตีเส้นแบ่งมุมเป็นเพียงการกำหนดขอบเขตมุมในจินตนาการ และไม่มีพื้นที่ปิดดังเช่น Log-Polar



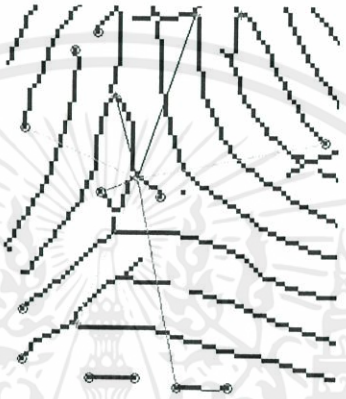
รูปที่ 3.6 ซ้าย : ไดอะแกรมแบบ Log-Polar
ขวา : การแบ่งไดอะแกรมเป็น 8 bin binละ 45° [5]

กระบวนการนี้จะเลื่อนไปกระทำดังเช่นในรูปที่ 3.7 ในทุกๆจุดมินูเทียร์ เมื่อหาจุดที่ใกล้ที่สุดได้แล้ว จะใช้ค่า CN (ค่าจำนวนไขว้) ของจุดนั้นมาสร้างแพทเทิร์น (Pattern) โดยที่จุดสิ้นสุด (Ending Point) มีค่าจำนวนไขว้ N=1 และ จุดแยก (Bifurcation Point) มีค่า N=3 จากนั้นกำหนดให้ b คือ จำนวนมินูเทียร์ทั้งหมดที่ต้องการจะเข้ารหัส โดย N_c คือ ค่าจำนวนไขว้ของจุดที่ต้องการเข้ารหัส และ N_b^a คือค่าจำนวนไขว้ของจุดมินูเทียร์ใกล้เคียงทั้ง 8 จุด ซึ่งจะสามารถสร้างแพทเทิร์นของการเข้ารหัสแต่ละจุดมินูเทียร์ได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_b = \left(N_b^0 - N_c\right), \left(N_b^1 - N_c\right), \ldots, \left(N_b^7 - N_c\right) \quad (3.1)$$

ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ (3.1) จะได้แพทเทิร์นของรหัสที่เป็นผลลบของ ค่าจำนวนไขว้ของจุดมินูเทียร์ที่สนใจและจุดมินูเทียร์ที่ใกล้ที่สุด ซึ่งแต่ละจุดมินูเทียร์จะมีแพทเทิร์นเป็นรหัส 8 ตัว



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการหามินูเทียร์ที่ใกล้ที่สุด โดยแบ่งเป็น 8 มุม
เมื่อจุดสิ้นสุดมีค่า CN=1 และจุดแยกมีค่า CN=3

3.1.1.8 Local Binary Pattern (LBP)

นำแพทเทิร์นของการเข้ารหัสมาทำการเลื่อนบิท (Bit) ไปทางขวาแบบเวียนเป็นวง จนกว่าจะได้ค่า LBP ต่ำที่สุด โดยค่า LBP หาได้โดยใช้สูตรดังสมการที่ 3.2 ต่อไปนี้

$$LBP = \sum_{k=0}^{7} f(N_b^a - N_c) \cdot 2^k \quad (3.2)$$

และฟังก์ชั่น $f(x)$ สามารถแทนค่าได้ ดังนี้

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.7 สมมติการคิดที่จุดมินูเทียร์ ณ จุดหนึ่ง (จุดที่ b) ซึ่งเป็นจุดแยก N_c=3 เมื่อใช้ Eulclidian Distance คำนวณหาจุดที่มีระยะห่างที่น้อยที่สุดจะได้จุดรอบๆเป็นจำนวน 8 จุด ที่ bin 0 มีจุดที่ใกล้สุดเป็นจุดสิ้นสุด (N_b^0=1) , bin 1 มี N_b^1=1,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bin 2 มี N_b^2=3, bin 3 มี N_b^3=1, bin 4 มี N_b^4=1, bin 5 มี N_b^5=3, bin 6 มี N_b^6=3 และ bin 7 มี N_b^7=1 จากนั้นจะนำค่าที่ลบกันแล้วมาเข้าเงื่อนไขตามสมการที่ 3.3 ดังนั้นจะได้แพทเทิร์นการเข้ารหัส T_b=00100110 นำแพทเทิร์น T_bมาทำการเลื่อนบิทไปทางขวา เพื่อหาค่า LBP ที่น้อยที่สุดคำนวณตามสมการที่ 3.2 จะได้แพทเทิร์น T_b=10011000 ซึ่งมีค่า LBP=25 จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปสร้างเป็นฮิสโตแกรม (Histogram) สำหรับเป็นตัวแทนของลายนิ้วมือได้ กำหนดให้ LBP_y เป็นค่า LBP ของจุดมินูเทียร์ลำดับที่ y เมื่อ y = 1,...,b โดย b เป็นจำนวนจุดมินูเทียร์ทั้งหมด จากแพทเทิร์นมีเลข binary 8 ตัว ดังนั้นจะได้ ค่า y ทั้งหมด 2^8=256 ค่าตัวแทนของ LBP สำหรับลายนิ้วมือจึงจะเป็นเมตริกซ์ 1x256 ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Hist = (LBP_1 , LBP_2 , \ldots . , LBP_b) \tag{3.4}$$

เมื่อ $Hist$ คือ ฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ของ LBP โดยที่ $Hist$ จะเป็นตัวแทนของลายนิ้วมือแต่ละคน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไป สำหรับลายนิ้วมือของแต่ละคน

3.1.1.9 การวัดค่าความแตกต่างของลายนิ้วมือ

เมื่อได้ค่าฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ หรือ $Hist$ ของแต่ละคนแล้ว จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการวัดความแตกต่างของลายนิ้วมือ ทำได้โดยคำนวณหาระยะห่างของฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ ของลายนิ้วมือที่ต้องการจะตรวจสอบกับลายนิ้วมือในฐานข้อมูล โดยประยุกต์ใช้ Euclidian Norm หรือ $norm2$ ในการคำนวณ กำหนดให้ $Hist_i$ เป็นฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ของลายนิ้วมือที่จะตรวจสอบ และ $Hist_d$ เป็นฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ในฐานข้อมูล ระยะทางระหว่าง $Hist_d$ และ $Hist_i$ สามารถคำนวณได้โดย

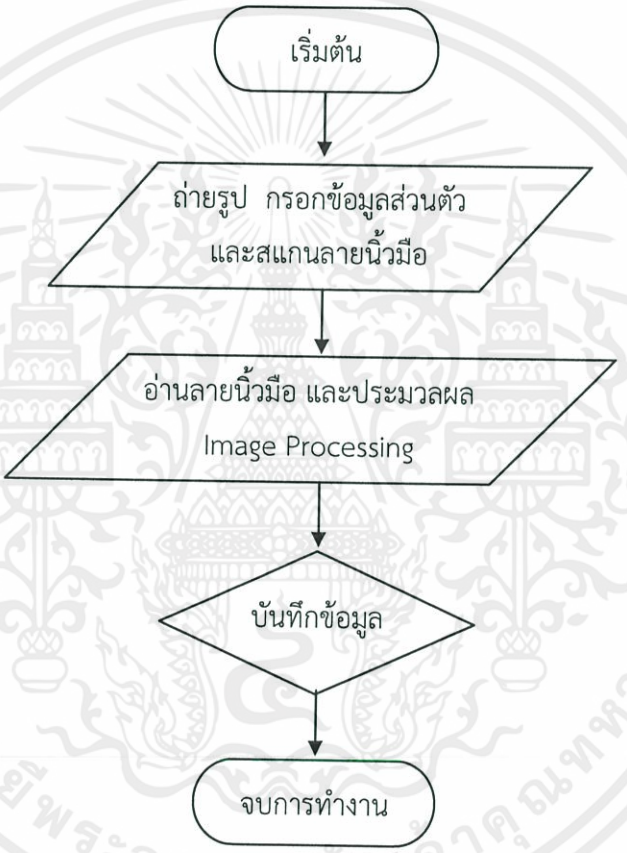
$$\begin{aligned} Different\ Value &= norm2(Hist_d - Hist_i) \\ &= \|Hist_d - Hist_i\|_2 \end{aligned} \tag{3.5}$$

3.1.2 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ มีการสร้าง Graphic User Interface (GUI) เริ่มจากการที่ผู้ใช้งานถ่ายรูปตนเองจากกล้อง กรอกข้อมูลส่วนบุคคล สแกนลายนิ้วมือ และผ่านกระบวนการ Image Processing ออกมาได้เป็นค่าฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ โดยจะนำไปเก็บไว้ใน

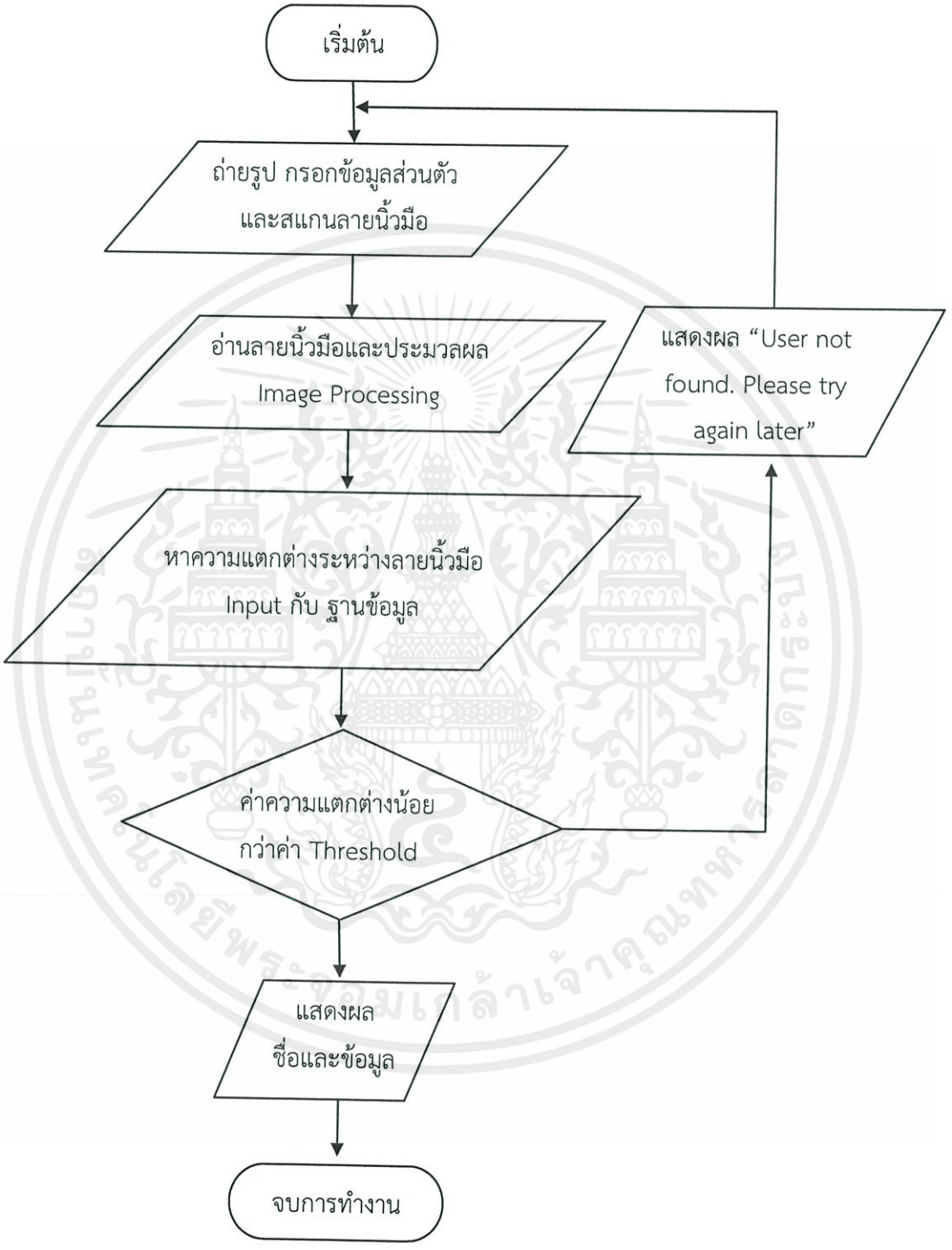
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานข้อมูลที่สร้างจากโปรแกรม SQL โดยเมื่อทำการระบุตัวตนอีกครั้งก็จะทราบว่านักศึกษามีสิทธิ์ในการเข้าสอบหรือไม่ หากพบข้อมูลก็จะแสดงผลเป็นชื่อพร้อมข้อมูลส่วนตัว แต่หากไม่พบข้อมูลจะแสดงข้อความว่า “User not found. Please try again later” ดังแสดงใน Flowchart รูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) ส่วนบันทึกข้อมูล

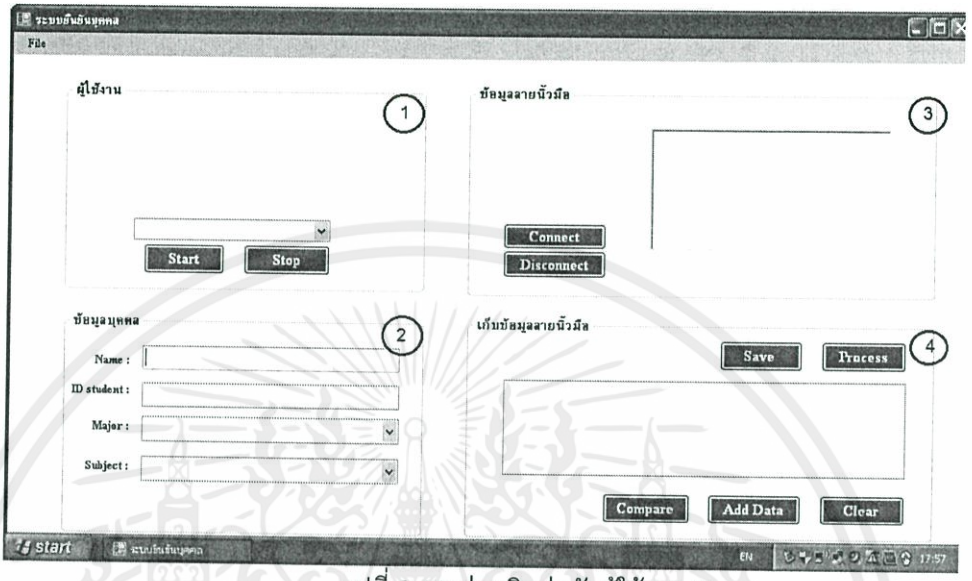
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) การทำงานของระบบยืนยันบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.1 ออกแบบหน้าต่าง GUI



รูปที่ 3.10 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI)

1) ในกรอบหมายเลข 1 : เป็นส่วนเริ่มต้นมี Combobox ให้เลือกกล้อง มีปุ่ม Start เพื่อเริ่มถ่ายรูป และมีปุ่ม Stop เพื่อเป็นการ Capture รูปหรือถ่ายรูป

2) ในกรอบหมายเลข 2 : ส่วนนี้จะเป็นการกรอกข้อมูลส่วนตัว มีช่องว่าง Name และ ID student ให้กรอก มี Combobox 2 ช่อง คือ Major (สาขาวิชา) และ Subject (ชื่อวิชา)

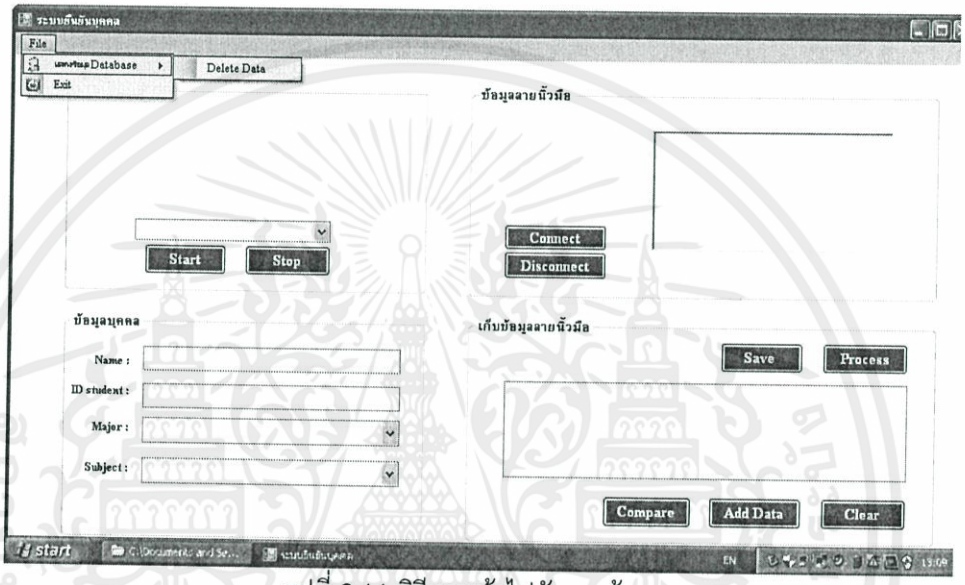
3) ในกรอบหมายเลข 3 : มีปุ่ม Connect สำหรับเริ่มเชื่อมต่อกับเครื่องสแกนลายนิ้วมือ, ปุ่ม Disconnect สำหรับยกเลิกการเชื่อมต่อ และช่องว่างด้านขวามือเป็นช่องแสดงสถานะการเชื่อมต่อกับเครื่องสแกนลายนิ้วมือ

4) ในกรอบหมายเลข 4 : มีปุ่ม Save สำหรับบันทึกรูปลายนิ้ว-มือ (ไม่ใช่การบันทึกลงในฐานข้อมูล), ปุ่ม Process สำหรับการเรียกไฟล์ .dll เพื่อส่งรูปลายนิ้วมือไปประมวลผลกระบวนการ Image Processing ใน MatLab, ปุ่ม Add Data สำหรับบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงในฐานข้อมูล, ปุ่ม Clear สำหรับการล้างข้อมูลที่กรอกไปเพื่อกรอกใหม่, ปุ่ม Compare สำหรับคำนวณค่าความแตกต่างเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล และมีช่องสำหรับแสดงผล

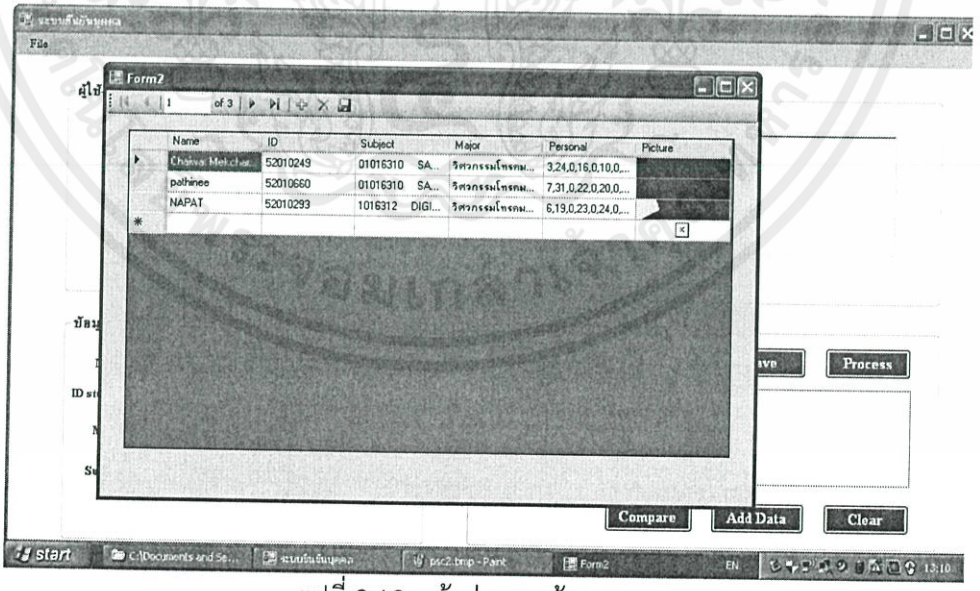
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 ออกแบบหน้าต่างฐานข้อมูล

สำหรับในส่วนฐานข้อมูล สามารถเข้าได้โดยคลิกที่ File > แสดงข้อมูล Database ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12 หรือหากต้องการจะลบข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูล สามารถทำได้โดยคลิกที่ File > แสดงข้อมูล Database > Delete Data



รูปที่ 3.11 วิธีการเข้าไปยังฐานข้อมูล



รูปที่ 3.12 หน้าต่างฐานข้อมูลจาก SQL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Hardware

3.2.1.1 Netbook Acer Aspire One D255E

- CPU Intel Atom N455 (1.5 GHz, 1MB L2 Cache)
- Hard Disk 320 GB
- RAM 2 GB

3.2.1.2 เครื่องสแกนลายนิ้วมือ U.are.U 4500

3.2.2 Software ที่ใช้ในการพัฒนา

3.2.2.1 Microsoft Visual C# 2010 Express

3.2.2.2 โปรแกรมการสร้างฐานข้อมูล ภาษา SQL

3.2.2.3 MatLab R2010b

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

การจัดเก็บผลการทดลอง ทดสอบโปรแกรมใน MatLab R2010b, Microsoft Visual C# และ SQL โดยรับภาพจาก เครื่องสแกนลายนิ้วมือ U.are.U 4500 ซึ่งเก็บผลการทดลองโดยการใช้ปุ่ม PrntScr และบันทึกรูปผลการทดลองจากโปรแกรม Paint โดยมีผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

3.3.1 ผลการทดสอบกระบวนการปรับปรุงภาพ

3.3.2 ผลการทดสอบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

3.3.3 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวน (Variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของลายนิ้วมือบุคคลเดียวกัน

3.3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

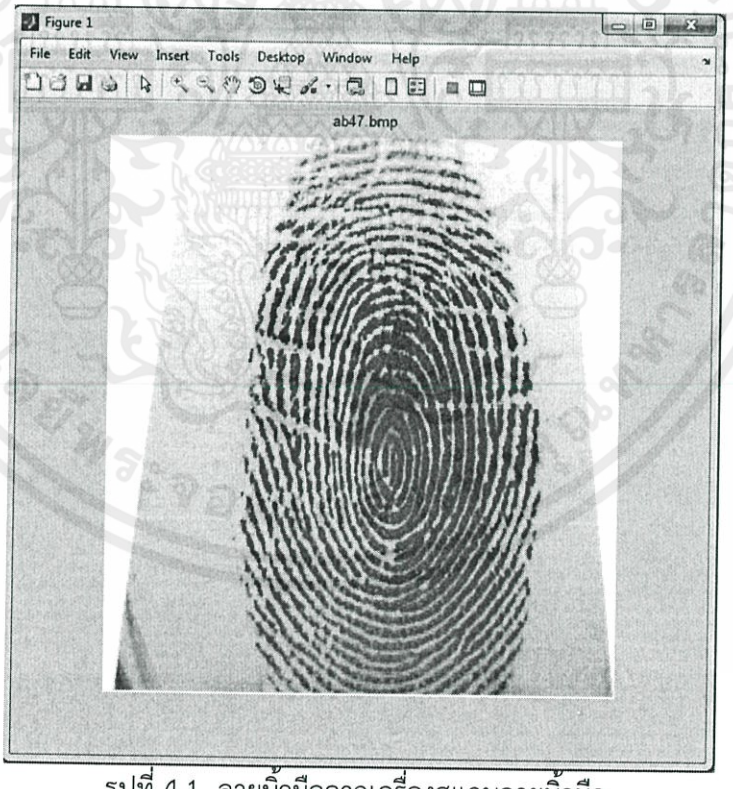
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบกระบวนการปรับปรุงภาพ

พัฒนาและทดสอบโดยใช้โปรแกรม MatLab R2010b ในที่นี้ขอยกตัวอย่างลายนิ้วมือจากสมาชิกในกลุ่มเพียง 1 ลายนิ้วมือ

4.1.1 การรับข้อมูลรูปภาพ

รับจากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprint Scanner) ยี่ห้อ DigitalPersona รุ่น U.are.U 4500 ซึ่งสามารถบันทึกไฟล์ภาพได้ทั้ง .bmp และ .jpg และได้ภาพที่มีขนาด 456x498 pixels ดังรูปที่ 4.1

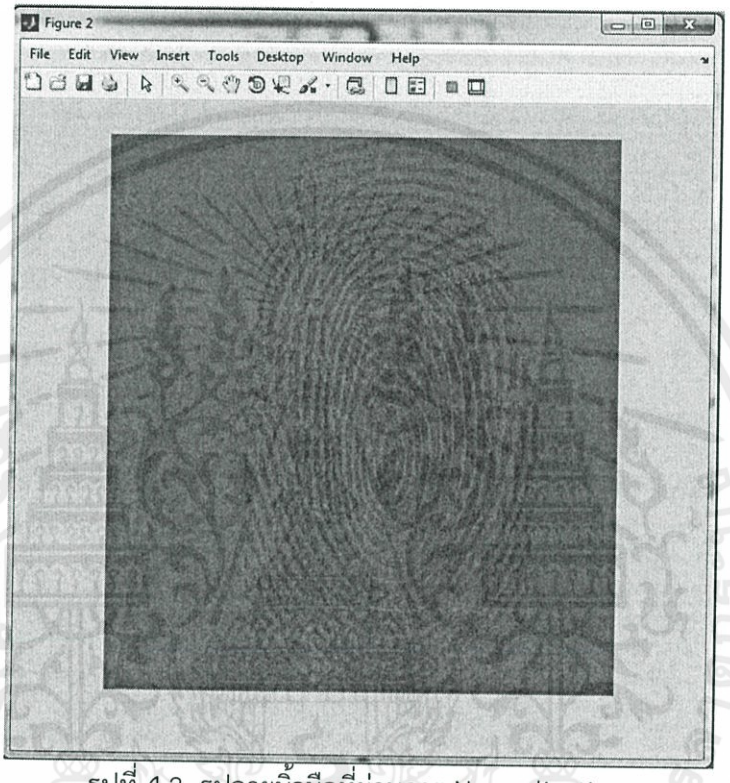


รูปที่ 4.1 ลายนิ้วมือจากเครื่องสแกนลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การปรับภาพเบื้องต้น Normalization

นำรูปที่ 4.1 เข้ามาผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพ เพื่อปรับระดับสีเทาของภาพให้เท่ากัน โดยใช้วิธีการ Normalization จะได้ผลดังรูปที่ 4.2

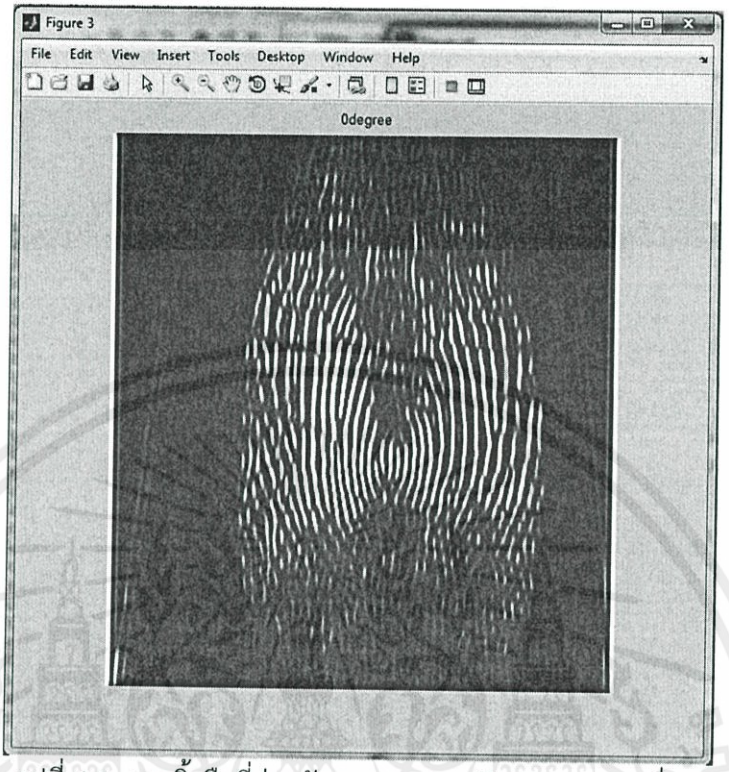


รูปที่ 4.2 รูปลายนิ้วมือที่ผ่านการ Normalization

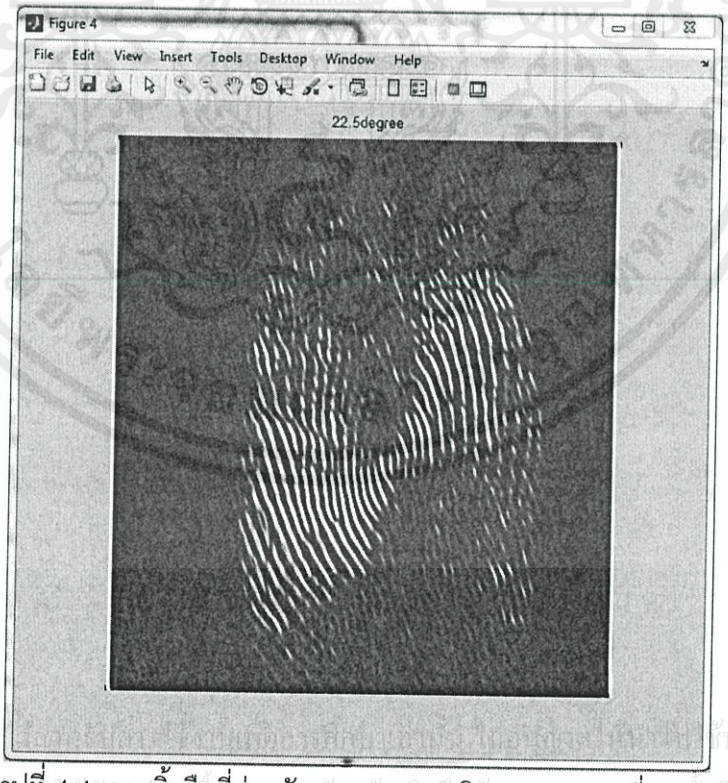
4.1.3 การกรองภาพลายนิ้วมือโดยใช้ Gabor Filter

ใช้ตัวกรองกาเบอร์ (Gabor Filter) กรองรูปภาพที่ผ่านการ Normalize เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ และแบ่งรูปออกเป็นบริเวณต่างๆตามขอบเขตของมุมที่สนใจ โดยจะแบ่งออกเป็น 8 ทิศทาง ได้แก่ 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°, 112.5°, 135°, 157.5° ดังรูปที่ 4.3 - 4.10 ตามลำดับ และรูปที่ 4.11 จะเป็นภาพที่ผ่าน Voting Algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

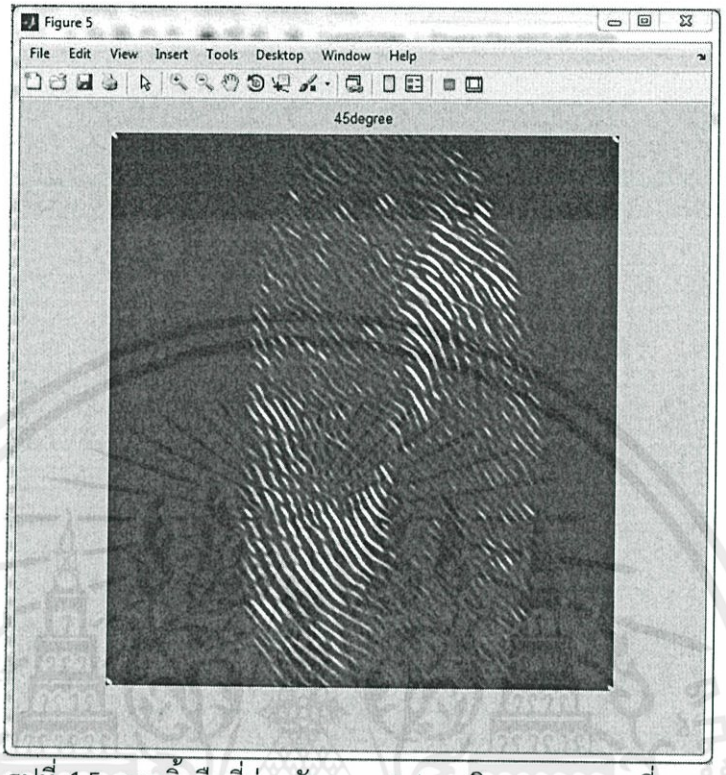


รูปที่ 4.3 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 0°

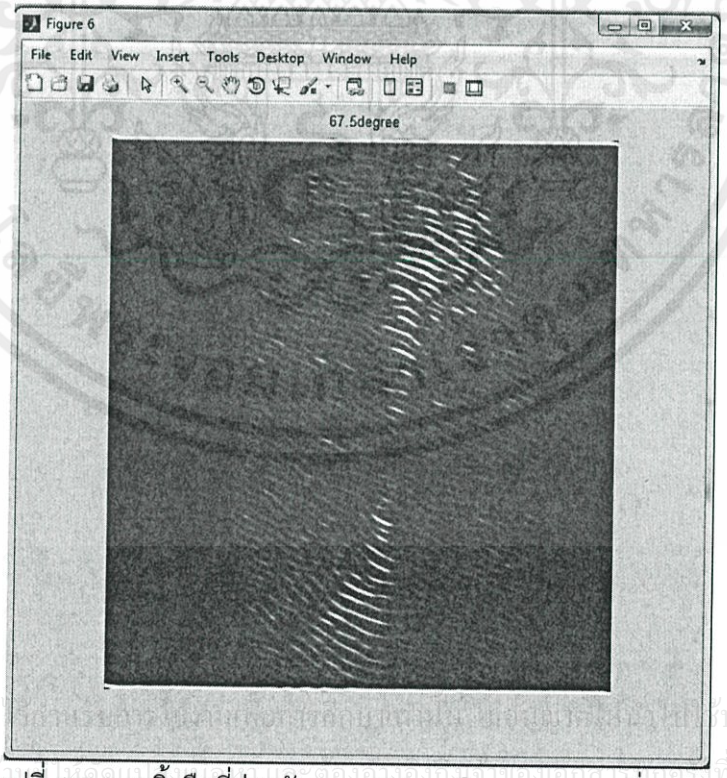


รูปที่ 4.4 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 22.5°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ที่มีการนำไปใช้

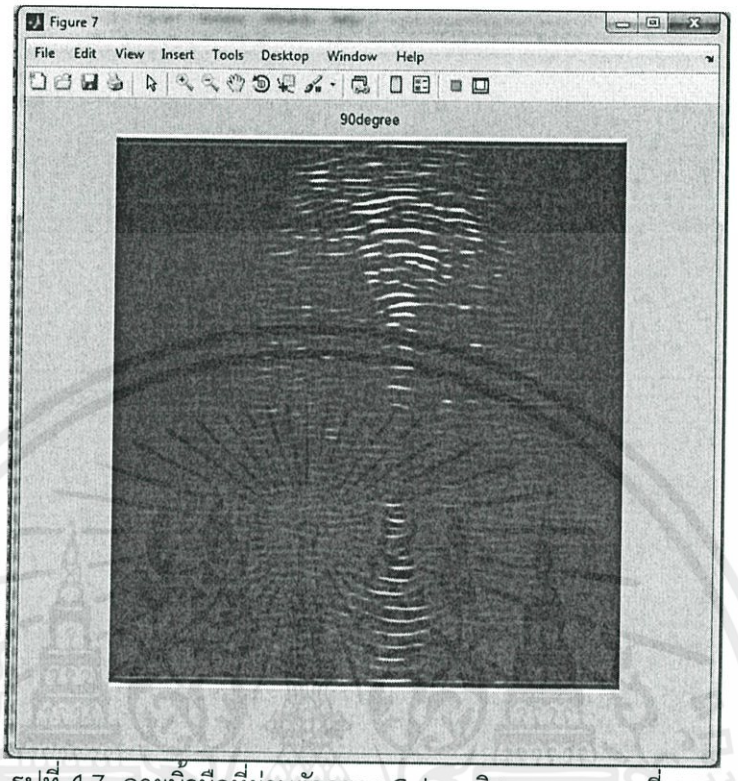


รูปที่ 4.5 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 45°

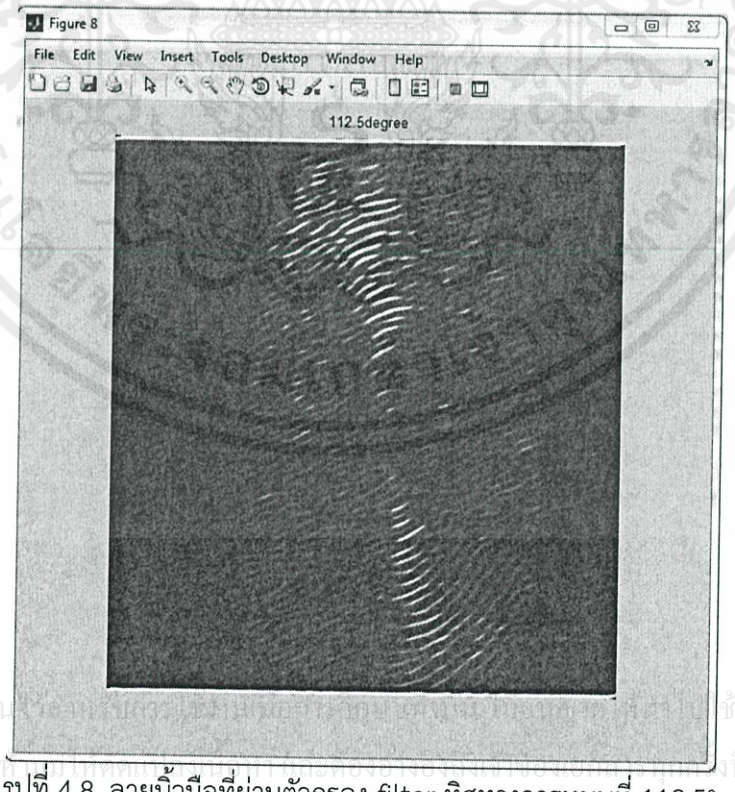


รูปที่ 4.6 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 67.5°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

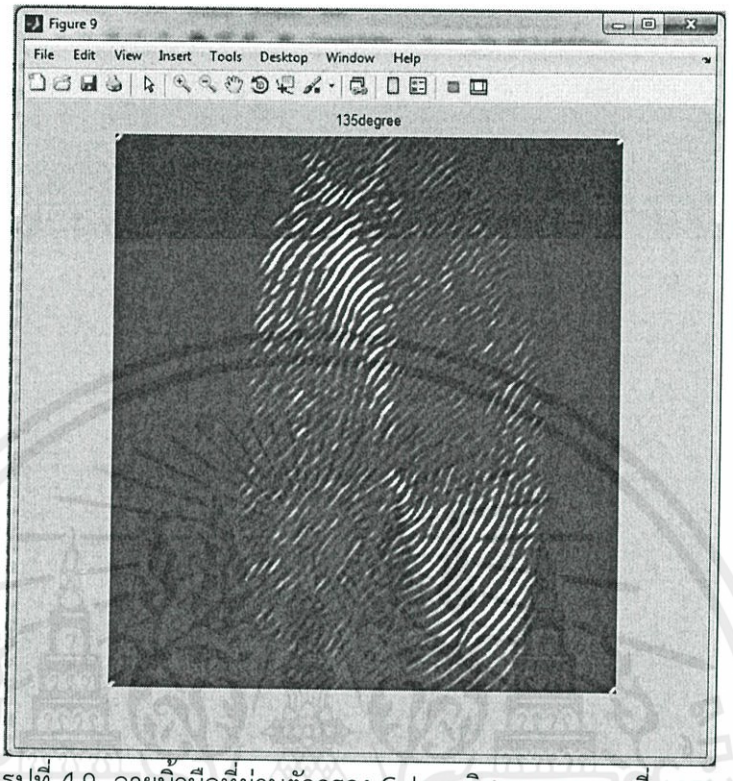


รูปที่ 4.7 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 90°

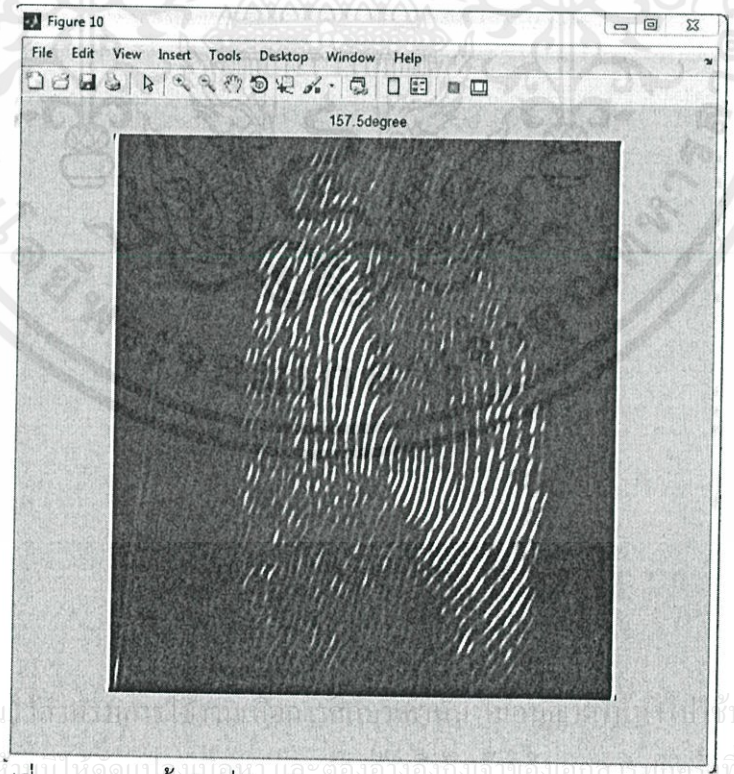


รูปที่ 4.8 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง filter ทิศทางการหมุนที่ 112.5°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานที่มีการนำไปใช้

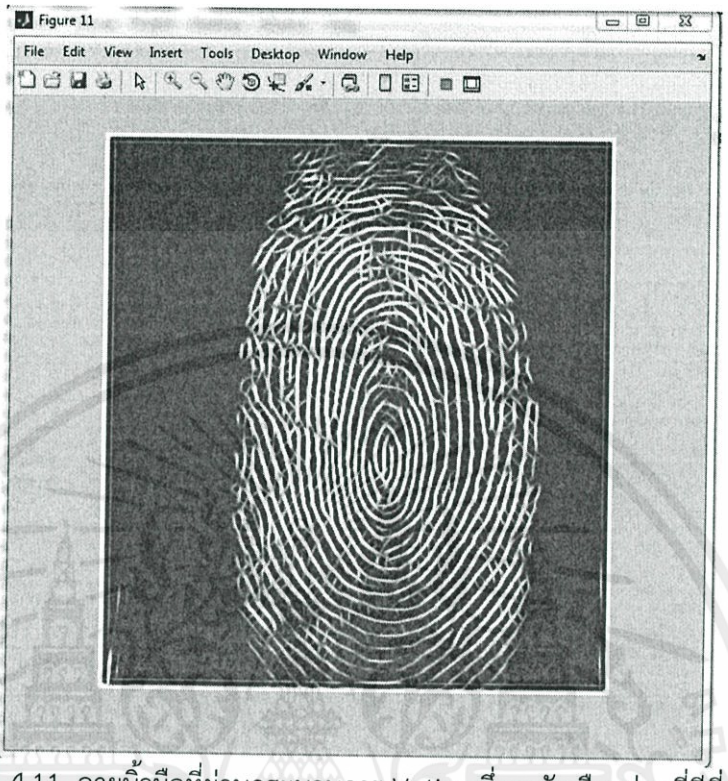


รูปที่ 4.9 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 135°



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง

รูปที่ 4.10 ลายนิ้วมือที่ผ่านตัวกรอง Gabor ทิศทางการหมุนที่ 157.5°



รูปที่ 4.11 ลายนิ้วมือที่ผ่านกระบวนการ Voting ซึ่งจะคัดเลือกส่วนที่ดีที่สุด

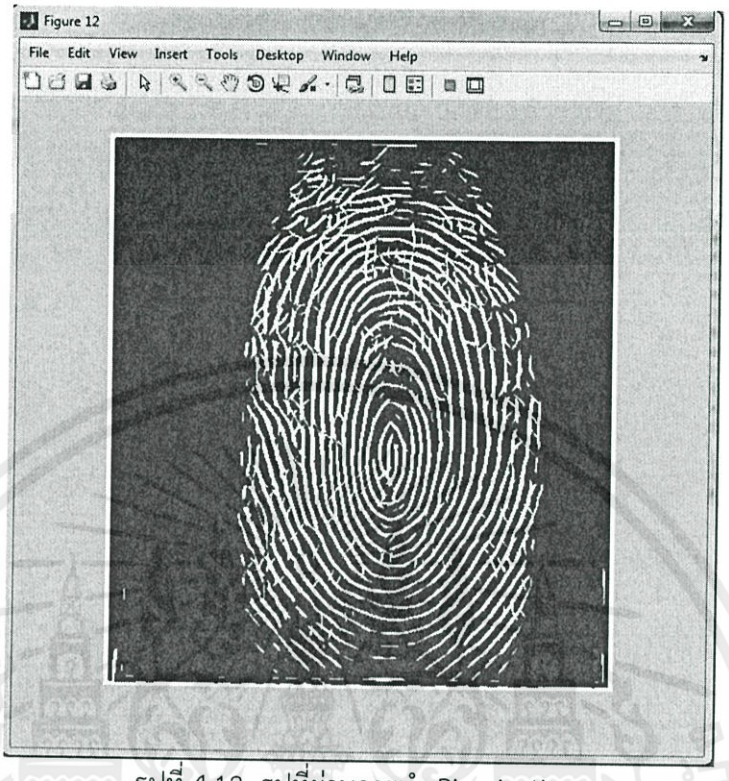
4.1.4 การทำภาพขาวดำสองระดับ (Binarization)

เปนกระบวนการแปลงข้อมูลภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ ซึ่งมีค่าระดับความสว่างเป็น 2 ค่า คือ 0 กับ 1 จะได้ดังรูปที่ 4.12

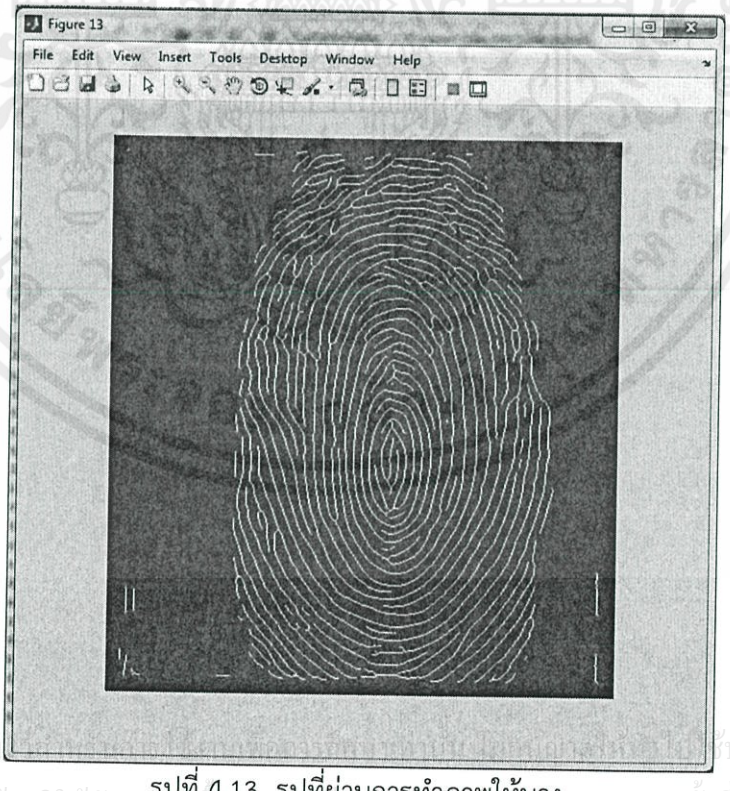
4.1.5 การทำภาพให้บาง (Thinning)

จะเป็นการลดรายละเอียดของภาพไม่ให้มีรายละเอียดมากเกินความจำเป็นและเพื่อง่ายต่อการหาจุด Minutiae ในขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 รูปที่ผ่านการทำ Binarization

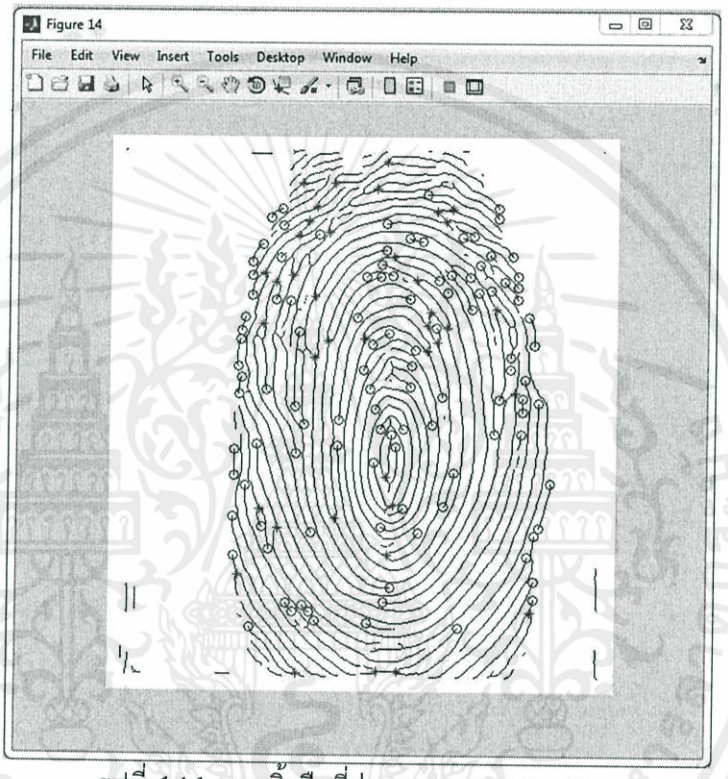


รูปที่ 4.13 รูปที่ผ่านการทำภาพให้บาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 การหาลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ (Minutiae Detection)

หาจุดสิ้นสุดของลายนิ้วมือ (Ridge Ending) และจุดแยกของลายนิ้วมือ (Ridge Bifurcation) เพื่อจะนำมาใช้ในการสร้างค่ารหัสลายนิ้วมือ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของแต่ละบุคคล ดังรูปที่ 4.14

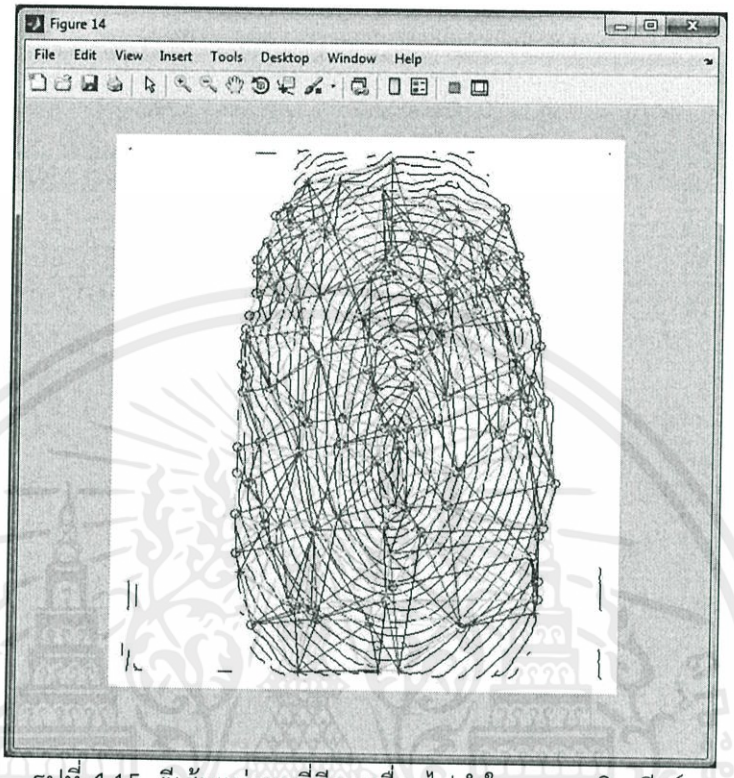


รูปที่ 4.14 ลายนิ้วมือที่ผ่านการหาจุด Minutiae
โดยที่ วงกลม คือจุดสิ้นสุดและ ดอกจัน คือจุดแยก

4.1.7 ฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ (Finger Context)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนจุด Minutiae เป็นค่ารหัสลายนิ้วมือ มีการสมมติโดยการตีเส้นแบ่งมุมเป็น 8 มุม จะได้พื้นที่เปิด 8 bin โดยใช้จุดมินูเทียร์ที่ต้องการจะเข้ารหัสเป็นศูนย์กลาง จากนั้นทำการค้นหาจุดมินูเทียร์ที่อยู่ภายใน bin แต่ละ bin ที่ใกล้ที่สุด โดยใช้การคำนวณค่าแบบ Euclidean Distance และกระบวนการนี้จะเลื่อนไปกระทำในทุกๆจุดมินูเทียร์ ดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ตีเส้นแบ่งมุมที่มีการเลื่อนไปทำในทุกๆจุดมินูเทียร์

ผู้จัดทำขออนุญาตอธิบายกระบวนการฟิงเกอร์คอนเท็กซ์ซ้ำอีกรอบ จากที่ได้กล่าวถึงไปในบทที่ 3 แล้ว โดยสมมติการคิดที่จุดมินูเทียร์ ณ จุดหนึ่ง(จุดที่ 71) ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุด N_c=1 เมื่อหาจุดที่ใกล้ที่สุดจะได้จุดรอบๆเป็นจำนวน 8 จุด เริ่มจาก จุดแรกที่ใกล้ที่สุด (bin 0) คือ จุดแยก มีค่า N_{71}^{0} = 3, จุดที่ 2 (bin 1) มีค่า N_{71}^{1}=3, จุดที่ 3 (bin 2) มีค่า N_{71}^{2}=3, จุดที่ 4 (bin 3) มีค่า N_{71}^{3}=1,จุดที่ 5 (bin 4) มีค่า N_{71}^{4}=3, จุดที่ 6 (bin 5) มีค่า N_{71}^{5}=3, จุดที่ 7 (bin 6) มีค่า N_{71}^{6}=1 และ จุดที่ 8 (bin 7) มีค่า N_{71}^{7}=1 ดังรูปที่ 4.16 จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาแทนค่าตามสมการที่ 3.1 จะได้ T_{71}=22202200 เมื่อได้แพทเทิร์นดังกล่าวแล้ว กำหนดให้แพทเทิร์นเป็นไปตามเงื่อนไขตามสมการที่ 3.3 จะได้แพทเทิร์นใหม่ T_{71}=11111111 และนำมาเลื่อนบิทไปทางขวาเพื่อให้ได้ค่า LBP ที่น้อยที่สุด ซึ่งในที่นี้จะเห็นว่าหากมีการเลื่อนบิท ค่า LBP ยังคงมีค่าเท่าเดิมนั่นคือ 255 จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปสร้างเป็นฮิสโตแกรม จุดมินูเทียร์ที่ยกตัวอย่างนี้จะเก็บค่า LBP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ตำแหน่งที่ 256 เนื่องจากเราไม่สามารถสร้างเมตริกซ์ตำแหน่งที่ 0 ได้ จึงมีการสร้างเมตริกซ์ขนาด 1x256 มารองรับค่าแทน ค่าที่ได้ต้องนำมาบวกด้วย 1 ก่อน จึงจะสามารถเก็บค่าในฮิสโตแกรมได้

รูปที่ 4.16 ตัวอย่างกระบวนการฟิงเกอร์คอนเท็กซ์โดยคิดที่จุดมินูเทียร์จุดที่ 71

กระบวนการ Image Processing ในโปรแกรม MatLab จะถูก Build เป็นไฟล์ .dll และ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ในโปรแกรม Microsoft Visual C# จะเรียกไฟล์ .dll นี้ไปประมวลผล

การสแกนลายนิ้วมือครั้งแรก ถือเป็นการลงทะเบียน เมื่อลายนิ้วมือผ่านกระบวนการ Image Processing แล้วจะได้ค่าเมตริกซ์ 1x256 เก็บไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นเมื่อมีการสแกนลายนิ้วมือครั้งต่อไป ค่าฮิสโตแกรมที่เป็นเมตริกซ์ 1x256 จะถูกนำมาเปรียบเทียบโดยประยุกต์ใช้ Euclidian Norm เพื่อหาความแตกต่างระหว่าง 2 ลายนิ้วมือ หากลายนิ้วมือใดเป็นไปตามเงื่อนไขค่า Threshold ที่กำหนดไว้ก็ถือเป็นการยืนยันสิทธิ์ในการเข้าสอบ

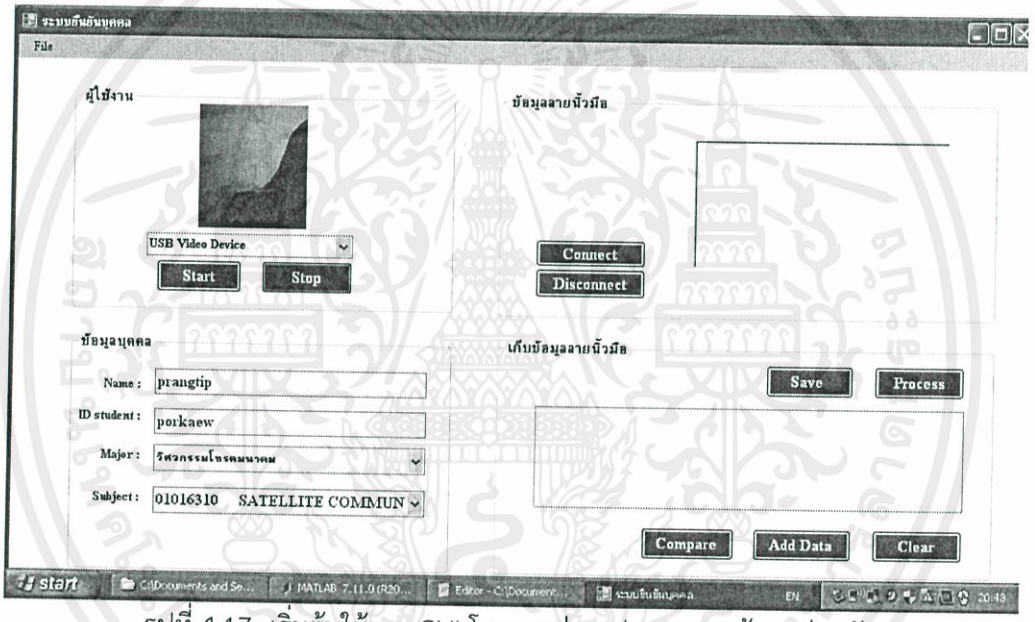
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

4.2.1 ส่วนของการลงทะเบียน

เมื่อเปิดการทำงานของโปรแกรมหน้าจอของโปรแกรมจะเป็นดังรูป โดยการใช้งานเริ่มจาก

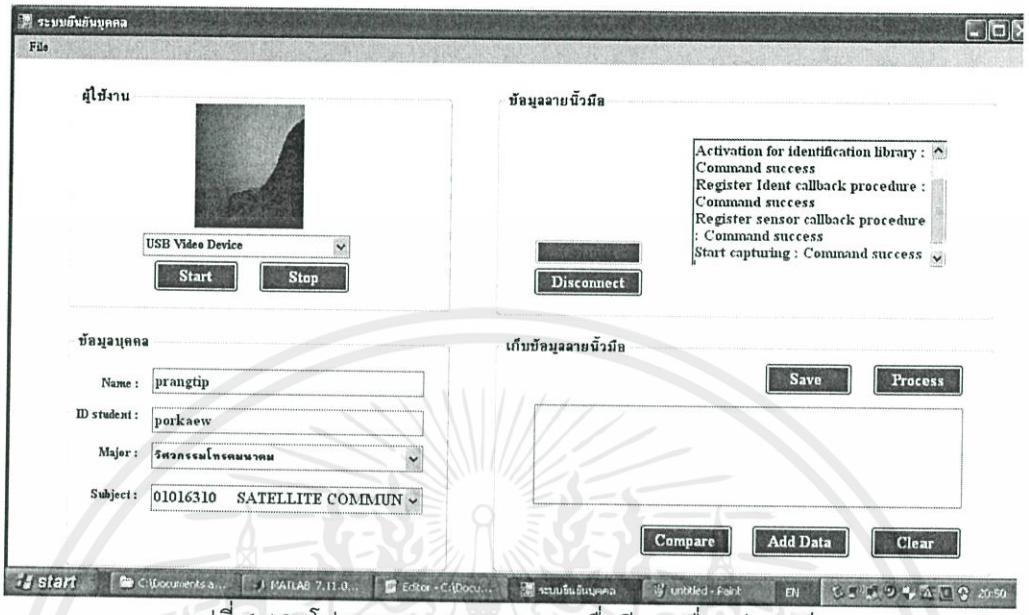
4.2.1.1 เลือก USB Video Device จากนั้นกดปุ่ม Start เพื่อเปิดกล้องเริ่มถ่ายรูปประจำตัว เมื่อจะถ่ายรูป ให้กดปุ่ม Stop เพื่อ Capture รูปภาพ และกรอกข้อมูลส่วนตัว ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เริ่มต้นใช้งาน GUI โดยการถ่ายรูปและกรอกข้อมูลส่วนตัว

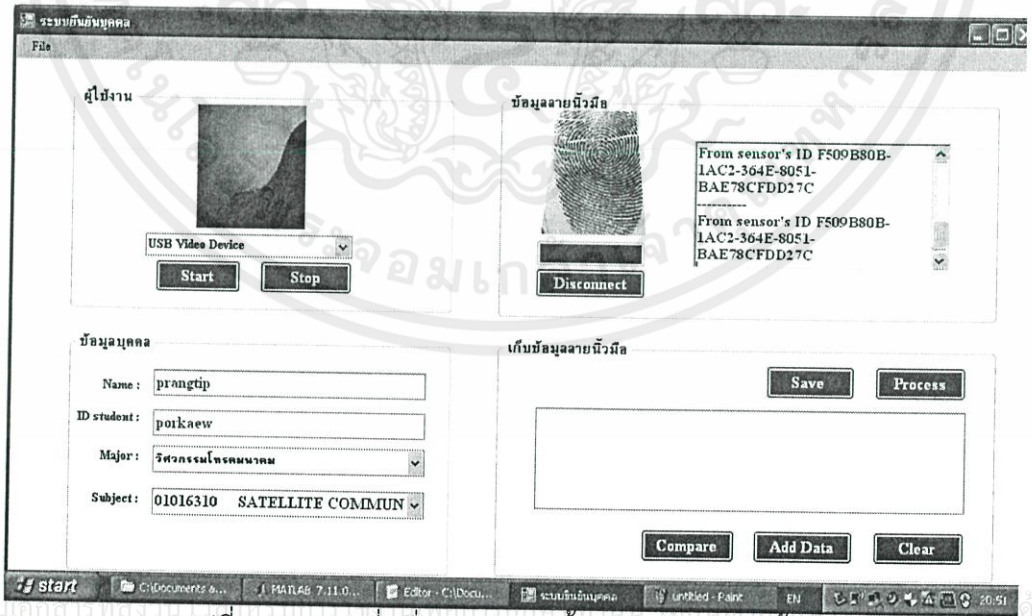
4.2.1.2 เชื่อมต่อเครื่องสแกนลายนิ้วมือกับคอมพิวเตอร์ กด Connect เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่องสแกนลายนิ้วมือ หากเชื่อมต่อกับโปรแกรมสำเร็จ จะสามารถสังเกตได้จากแถบแสดงสถานะด้านขวามือจะขึ้นคำว่า “Start Capturing : Command Success” ดังรูปที่ 4.18 นั่นหมายความว่า เครื่องสแกนลายนิ้วมือ พร้อมจะรับลายนิ้วมือที่จะสแกนเข้ามานั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 โปรแกรมจะแสดงสถานะเมื่อมีการเชื่อมต่อสำเร็จ

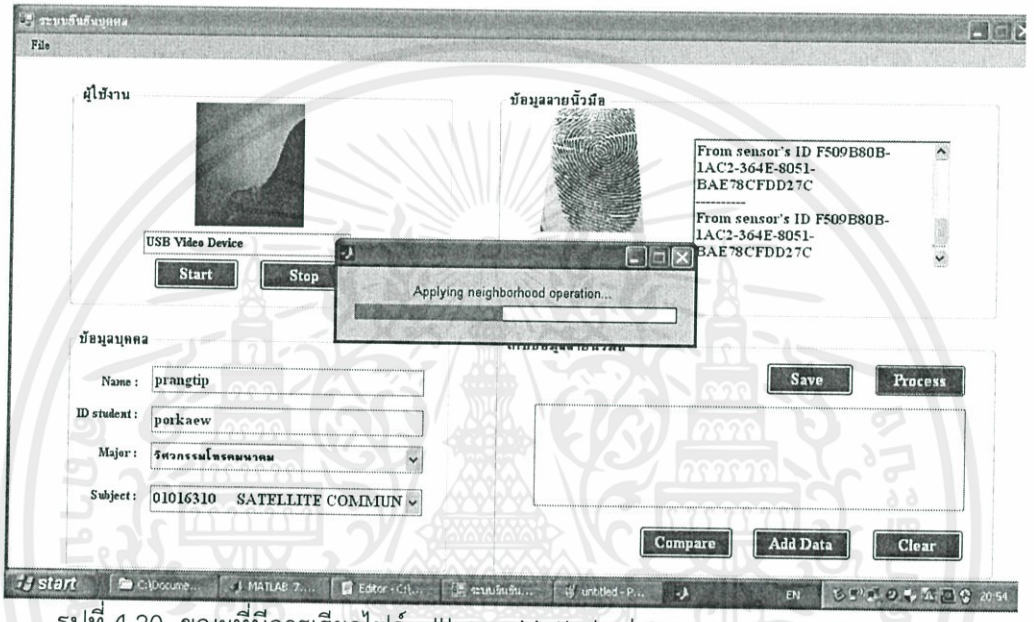
4.2.1.3 ก่อนวางนิ้ว ควรจะมีการทำความสะอาดนิ้วมือไม่ให้นิ้วมือเปียกหรือมัน เพราะจะมีผลกระทบในการระบุบุคคล จากนั้นจึงวางนิ้วมือลงบนหัวอ่านลายนิ้วมือให้น้ำหนักการวางพอดี ไม่กดเบาหรือแรงเกินไป หากมีการอ่านลายนิ้วมือสำเร็จจะมีรูปลายนิ้วมือของเราแสดงขึ้น ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ขณะที่เครื่องสแกนลายนิ้วมือมีการอ่านลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

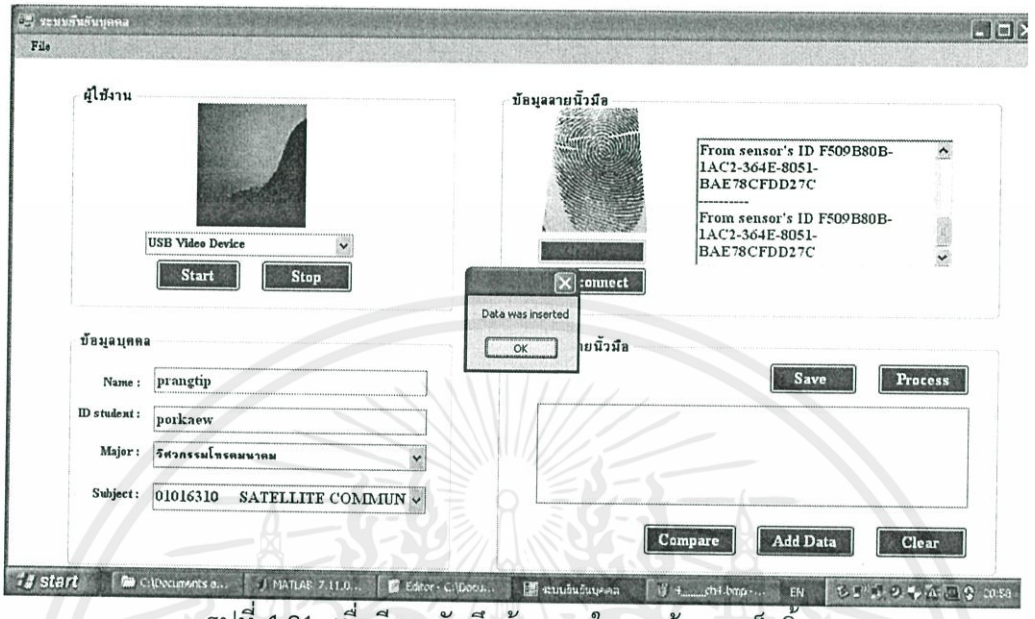
4.2.1.4 เมื่อได้ลายนิ้วมือที่ต้องการ จึงกดปุ่ม Save เพื่อบันทึกรูปลายนิ้วมือลงในคอมพิวเตอร์ก่อนการประมวลผล หากบันทึกสำเร็จจะมี Messagebox ขึ้นคำว่า “save completed” จากนั้นจึงกดปุ่ม Process เพื่อเรียกไฟล์ .dll จาก MatLab มาประมวลผลกระบวนการ Image Processing จะปรากฏ Waitbar ขึ้นดังรูปที่ 4.20



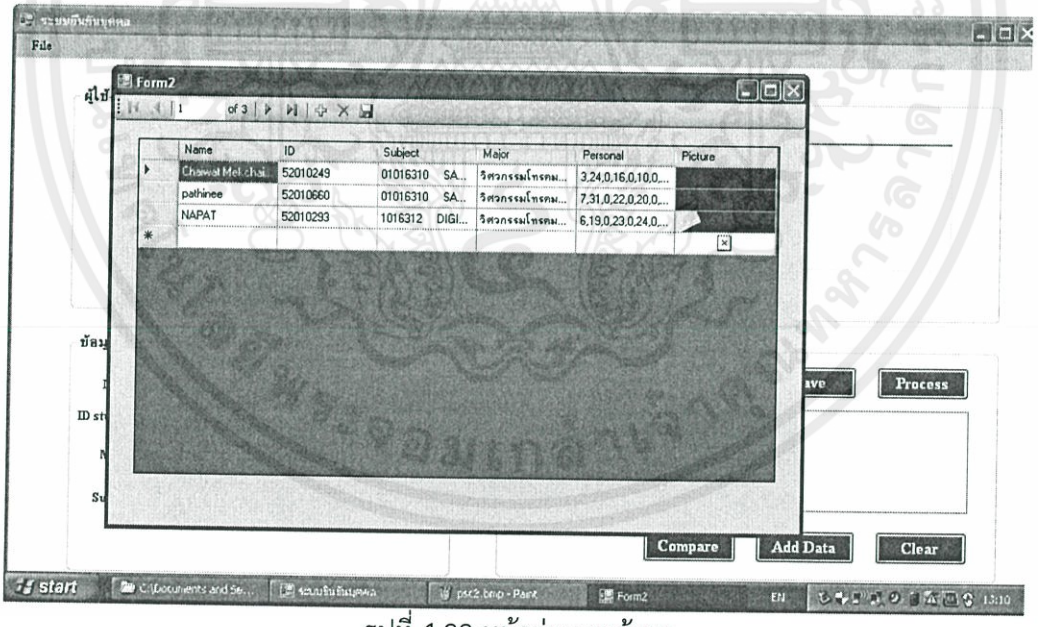
รูปที่ 4.20 ขณะที่มีการเรียกไฟล์ .dll จาก MatLab ประมวลผล Image Processing

4.2.1.5 เมื่อการประมวลผลจาก MatLab เสร็จสิ้น Waitbar ดังกล่าวจะหายไป จากนั้นต้องกดปุ่ม Add Data ซึ่งรวมทั้งรูปประจำตัวที่ถ่ายจากกล้อง Web Cam ,ข้อมูลส่วนตัว และ ค่าฮิสโตแกรมของลายนิ้วมือ เพื่อบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล เมื่อการบันทึกเสร็จสิ้นจะมี Messagebox ขึ้นคำว่า “Data was inserted” ดังรูปที่ 4.21 และปุ่ม Clear มีไว้เพื่อล้างข้อมูลทั้งที่ถ่ายรูปประจำตัว ข้อมูลที่กรอกและลายนิ้วมือที่สแกน หลังจากการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลแล้วต้องการจะบันทึกข้อมูลบุคคลลำดับต่อไป สำหรับฐานข้อมูลสามารถเข้าถึงได้จากการคลิกที่ File (มุมซ้ายบน) > แสดงข้อมูล Database จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.22 หากต้องการลบข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูล สามารถคลิกที่ File > แสดงข้อมูล Database > Delete Data หรือต้องการลบเฉพาะส่วน สามารถคลิกเลือกบุคคลที่ต้องการจะลบ และคลิกที่เครื่องหมายกากบาทสีแดงในหน้าฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 เมื่อมีการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลเสร็จสิ้น



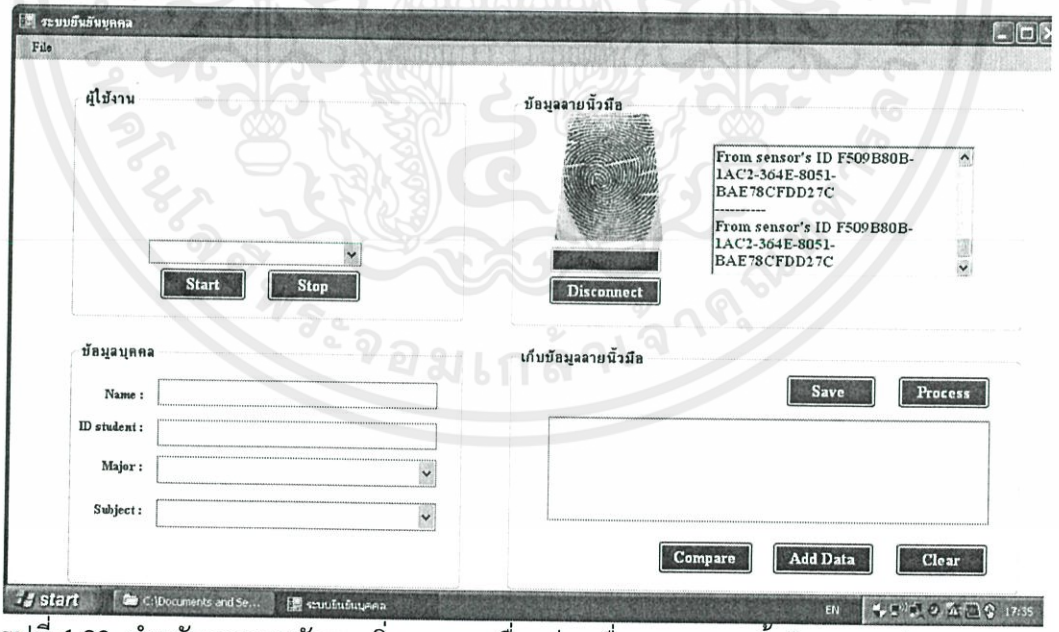
รูปที่ 4.22 หน้าต่างฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ส่วนของการระบุตัวตน

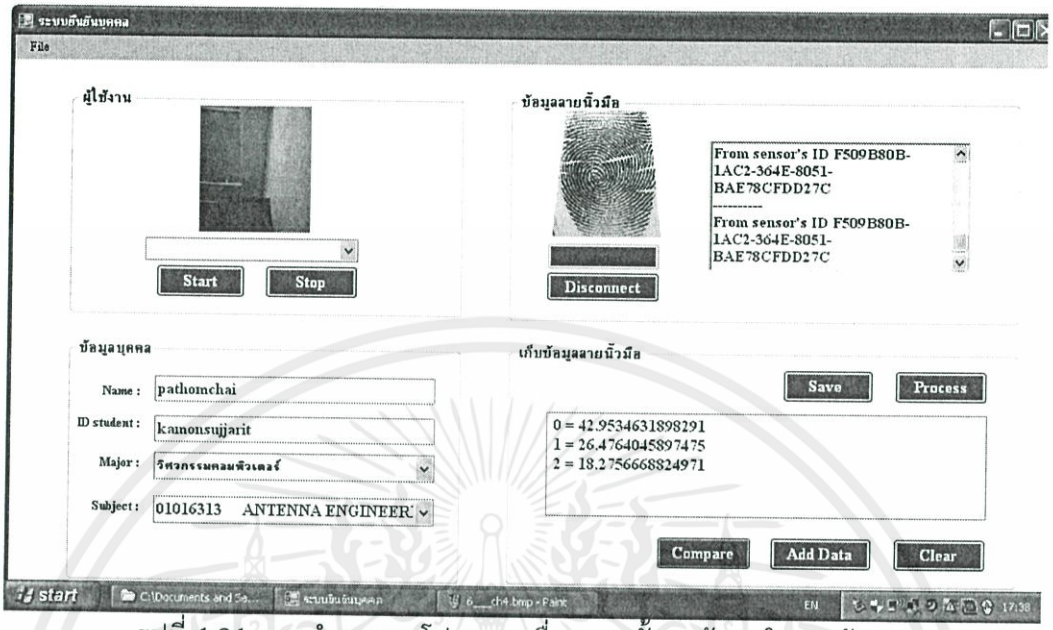
การใช้งานจะเหมือนกับตอนที่ลงทะเบียนบันทึกข้อมูล เพียงแต่ว่า เริ่มจากการเชื่อมต่อเครื่องสแกนลายนิ้วมือแล้วสแกนลายนิ้วมือ ไม่มีการถ่ายรูปประจำตัวและกรอกข้อมูล

4.2.2.1 ตรวจสอบการเชื่อมต่อเครื่องสแกนลายนิ้วมือเพื่อความแน่ใจ จากนั้นกดปุ่ม Connect เพื่อเริ่มการทำงาน หากการเชื่อมต่อสำเร็จจะมีข้อความขึ้นแสดงสถานะดังรูปที่ 4.23 ต่อไปให้วางนิ้วมือลงบนเครื่องสแกนลายนิ้วมือ กดปุ่ม Save > Process ตามลำดับ รอจนกระทั่ง Waitbar หายไป และกดปุ่ม Compare เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูล สำหรับการทดลองนี้ กำหนดค่า Threshold = 26 หากบุคคลนั้นมีข้อมูลในฐานข้อมูลก็จะปรากฏข้อมูลส่วนตัวทั้งหมดขึ้น ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งค่าตัวเลขที่ปรากฏขึ้นนั้นคือ ค่าความแตกต่าง ที่เทียบกับทุกนิ้วในฐานข้อมูล ซึ่งถ้าคำนวณค่าความแตกต่างออกมาแล้ว หากค่าความแตกต่างมีค่าน้อยกว่าค่า Threshold และเป็นค่าที่น้อยที่สุด บุคคลนั้นจะถูกค้นพบ แต่ถ้าหากไม่พบบุคคลนั้นในฐานข้อมูล นั่นหมายความว่าค่าความแตกต่างที่เปรียบเทียบกับทุกๆนิ้ว มีค่ามากกว่าค่า Threshold โปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 4.25

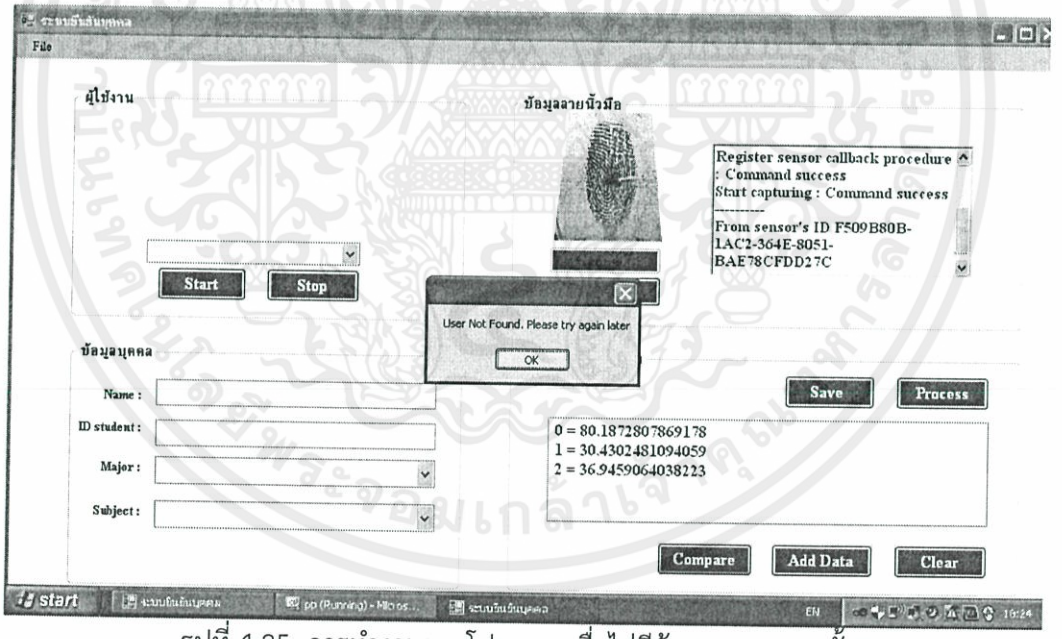


รูปที่ 4.23 สำหรับการระบุตัวตน เริ่มจากการเชื่อมต่อเครื่องสแกนลายนิ้วมือและกดปุ่ม Connect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การทำงานของโปรแกรมเมื่อบุคคลนั้นถูกค้นพบในฐานข้อมูล



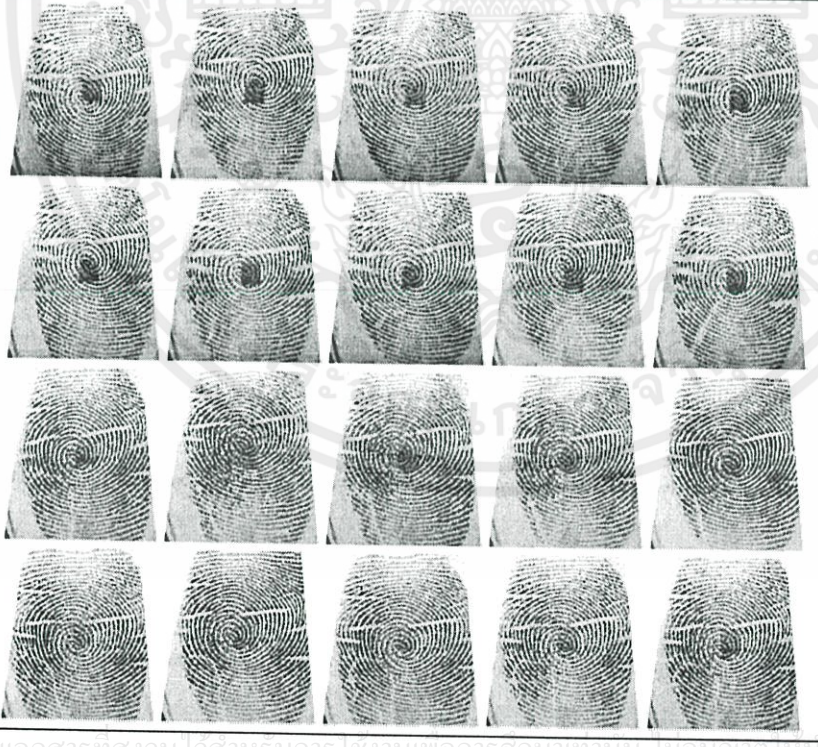
รูปที่ 4.25 การทำงานของโปรแกรมเมื่อไม่มีข้อมูลของบุคคลนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบค่าความแปรปรวน (Variance) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของลายนิ้วมือบุคคลเดียวกัน

ทำการทดลองหาค่าความแปรปรวนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ลายนิ้วมือ 15 นิ้ว สแกนนิ้วละ 20 ครั้ง ในตารางที่ 4.1 เป็นตัวอย่างลายนิ้วมือที่ถูกทดสอบ (ลำดับที่ 1) ทดลองจำนวน 20 ครั้ง และในตารางที่ 4.2 คือ ผลการทดลองของลายนิ้วมือลำดับที่ 2-15 ทดลองจำนวนนิ้วละ 20 ครั้งเช่นกัน โดยกำหนดให้ Var คือ ค่าความแปรปรวน และ STD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะเห็นว่าค่าความแปรปรวนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีความแตกต่างกันออกไป หากค่าความแปรปรวนและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อย แสดงว่าค่าความผิดพลาดในการระบุบุคคลจะน้อยลงเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.1 ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลายนิ้วมือตัวอย่าง ลำดับที่ 1 โดยทดลองจำนวน 20 ครั้ง

รูปลายนิ้วมือที่ใช้ในการทดลอง (ลำดับที่ 1)	Value
	Var = 86.054 STD = 9.2765

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความแปรปรวนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลายนิ้วมือ ลำดับที่ 2-15 โดยทดลองนิ้วละ 20 ครั้ง

ลายนิ้วมือ ลำดับที่	ค่า Var	ค่า STD
2	12.9093	3.5929
3	28.1941	5.3098
4	45.3045	6.73086
5	29.6229	35.4427
6	10.1160	3.1806
7	31.94	5.65
8	43.9077	6.6263
9	20.8218	4.5631
10	28.637	5.3513
11	41.7814	6.4639
12	15.6669	3.9582
13	10.0881	3.1762
14	10.6942	3.2702
15	35.9597	5.9966

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน

4.4.1 False Acceptance Rate (FAR)

เป็นการวัดอัตราความผิดพลาดในการยอมรับภาพลายนิ้วมือ ซึ่งจะบอกร้อยละของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อตัวปลอมได้รับการยอมรับ คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งที่ระบบยอมรับภาพลายนิ้วมือที่ผิดพลาดต่อจำนวนครั้งทั้งหมดที่เปรียบเทียบ ในการคำนวณค่า FAR จำนวนครั้งทั้งหมดต้องเป็นการเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่ไม่ได้มาจากบุคคลเดียวกัน

เอกสารนี้เป็น[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 False Rejection Rate (FRR)

เป็นการวัดอัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาดของภาพลายนิ้วมือ ซึ่งจะบอกร้อยละของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อตัวจริงถูกปฏิเสธ คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งที่ระบบปฏิเสธลายนิ้วมือของบุคคลเดียวกันผิดพลาดต่อจำนวนครั้งทั้งหมดที่เปรียบเทียบ และในการคำนวณค่า FRR จำนวนครั้งที่เปรียบเทียบทั้งหมดต้องเป็นการเปรียบเทียบลายนิ้วมือของบุคคลเดียวกัน

ในการทดลองวัดประสิทธิภาพของระบบ สำหรับ อัตราการยอมรับที่ผิดพลาด (FAR) นั้น ทำการทดลองโดยใช้ลายนิ้วมืออ้างอิงทั้งหมด 15 นิ้ว โดยแต่ละนิ้วเปรียบเทียบกับนิ้วอื่นๆที่แตกต่างกัน 140 นิ้ว (รวมทั้งหมด 2,100 ครั้ง) และสำหรับอัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาด (FRR) ได้ทำการทดลองโดยใช้ลายนิ้วมืออ้างอิงทั้งหมด 15 นิ้ว โดยแต่ละนิ้วเปรียบเทียบกับนิ้วเดียวกันจำนวนนิ้วละ 9 ครั้ง (รวมทั้งหมด 135 ครั้ง) จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 โดยมีการกำหนดค่า Threshold ทั้งหมด 12 ค่า ดังนี้

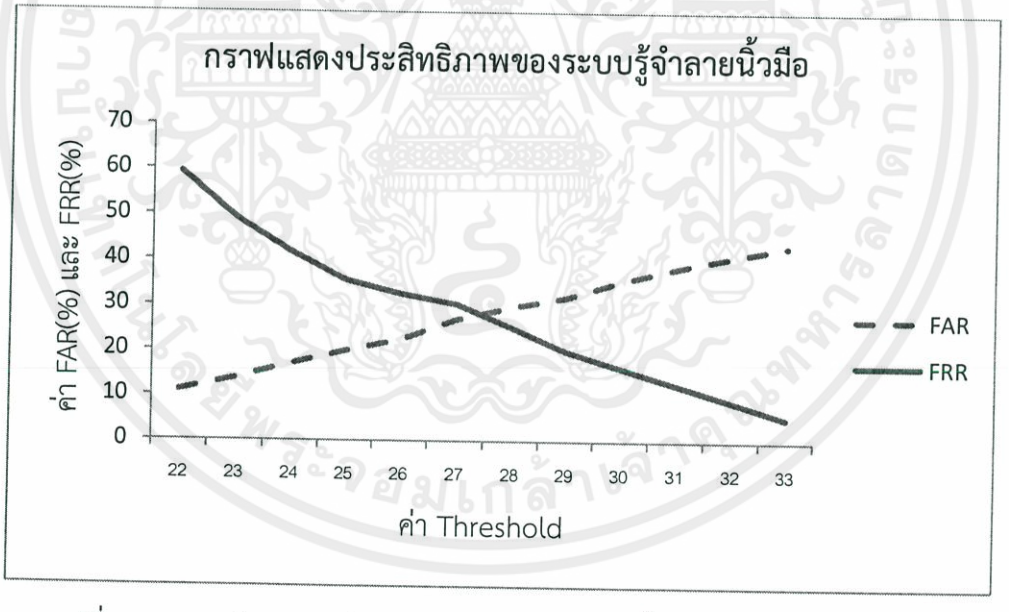
ตารางที่ 4.3 ค่า FAR และ FRR

Threshold	FAR (%)	FRR (%)
22	10.95	59.25
23	13.71	48.88
24	17	41.48
25	19.81	35.56
26	22.43	32.59
27	26.9	30.37
28	29.71	25.19
29	31.86	20
30	35.57	16.29
31	38.38	12.59
32	41.05	8.88
33	43.14	5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปค่า FAR และ ค่า FRR เป็นค่าที่แปรผกผันซึ่งกันและกัน เพราะเมื่อค่า FAR มีค่าสูง ค่า FRR ก็จะมีค่าต่ำไปโดยอัตโนมัติ แต่การที่ประสิทธิภาพของระบบที่ดีที่สุดนั้นต้องมีค่า FAR และ FRR น้อยทั้งสองค่า จากตารางที่ 4.3 จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟ ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่า FAR และ FRR กับค่า Threshold

ในระบบยืนยันบุคคลด้วยลายนิ้วมือนี้ ค่า FAR และ FRR จะเป็นค่าที่สามารถถูกปรับได้ตามความต้องการของผู้ติดตั้งระบบว่าต้องการให้มีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด จากผลการทดลองในกราฟ รูปที่ 4.26 ค่า Threshold ที่เหมาะสมคือ 28 จะเห็นว่าเป็นการเฉลี่ยค่า FAR และ FRR ที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้สามารถกำหนดให้ ประสิทธิภาพของค่า FAR สูง (ค่า FAR มีค่าน้อย) แต่ประสิทธิภาพของค่า FRR ก็จะลดลง (FRR มีค่ามาก) ที่ Threshold = 22 และในทางกลับกัน ที่ Threshold = 33 ประสิทธิภาพของค่า FAR ต่ำ แต่ประสิทธิภาพของค่า FRR สูง



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบรู้จำลายนิ้วมือ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า FAR(%) และ FRR(%) ในแกน Y และ ค่า Threshold ในแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบสแกนลายนิ้วมือ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องคัดกรองบุคคลเน้นใช้ประโยชน์ในการเข้าสอบ โดยขั้นตอนการประมวลผลภาพใช้โปรแกรม MatLab ในการประมวลผล โดยจะเริ่มจากการนำภาพลายนิ้วมือที่ได้จากเครื่องสแกนลายนิ้วมือมาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น แล้วทำการหามินูเทียร์จากภาพลายนิ้วมือ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการเข้ารหัสซึ่งจะกระทำในทุกๆ จุดมินูเทียร์ซึ่งจะได้เป็นแพทเทิร์นของแต่ละจุด แล้วเข้าสู่กระบวนการเลื่อนบิทเพื่อหาค่า LBP ที่น้อยที่สุด และนำมาสร้างเป็นฮิสโตแกรม 256 ค่าหรือที่เรียกว่า ฟิงเกอร์คอนเท็กซ์เป็นค่าที่เป็นตัวแทนของแต่ละบุคคล อีกส่วนหนึ่งของระบบคือ GUI สร้างจากโปรแกรม Microsoft Visual C# เพื่อบันทึกข้อมูลส่วนตัวและเรียกไฟล์ .dll ที่ Build จาก MatLab มาประมวลผลลายนิ้วมือที่สแกนเข้ามา และฐานข้อมูลจะสร้างจาก SQL โดยผลการทดลองจากการสร้างระบบคัดกรองบุคคลดังกล่าว มีความเชื่อถือในเชิงของค่า FAR = 29.71% และค่า FRR = 25.19% ที่ Threshold = 28 หากต้องการให้ประสิทธิภาพของ FAR สูง (FAR = 10.95%) ควรจะเลือก Threshold = 22 แต่ประสิทธิภาพของ FRR ก็จะลดลงไปด้วย ในทางกลับกัน หากต้องการให้ประสิทธิภาพของ FRR สูง (FRR = 5.18%) ควรจะเลือกค่า Threshold = 33 และประสิทธิภาพของ FAR ก็จะลดลงเช่นเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลภาพลายนิ้วมือนั้นอาจจะใช้ภาษา C,C# เพื่อการประมวลผลที่รวดเร็วขึ้นและกระบวนการปรับปรุงภาพควรเลือกกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่จะสามารถระบุบุคคลได้ แต่อย่างไรก็ตามลายนิ้วมือนั้นยังไม่มีความน่าเชื่อถือ100% จึงควรประยุกต์ใช้ร่วมกับสิ่งที่ระบุตัวตนอื่นๆ เช่น รหัสผ่าน หมายเลขพิน เป็นต้น เพื่อความปลอดภัยในการเข้าถึงให้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Griaule Biometric Company. "Comparison of Biometrics." http://www.griaulebiometrics.com/en-us/book/understanding-biometrics/introduction/types/comparison-of-biometrics

[2] อภิชาติ หาจัตุรัส. *"การปรับปรุงภาพลายนิ้วมือบนโดเมนความถี่ด้วยวิธีผ่านตัวกรองแถบความถี่ ".* วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.

[3] Davide Maltoni. *"A Tutorial on Fingerprint Recognition."* Doctor of Philosophy, Computer Science degree course - Cesena, Faculty of Science, University of Bologna, 2003.

[4] ธีศิษฏ์ ลีลาสวัสดิ์สุข. *"การเปรียบเทียบลายนิ้วมือโดยใช้จุดโฟกัสเป็นจุดอ้างอิง."* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550

[5] สัญชวัล หอมกุหลาบ, และสนั่น ศรีสุข. *"การรู้จำลายนิ้วมือโดยใช้การใช้กาเบอร์ทรานซ์ฟอร์มและฟิงเกอร์คอนเท็กซ์. "* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2551

[6] Salil Prabhakar. *"Fingerprint Classification and Matching Using a Filterbank."* Doctor of Philosophy, Computer Science and Engineering, Faculty of Engineering, Michigan State University, 2001.

[7] Wikipedia. "Pixel." http://en.wikipedia.org/wiki/Pixel.

[8] วัชราภรณ์ เง็กนิกร, กรพินธุ์ หาญสุริย์. *"การระบุตัวบุคคลออนไลน์โดยใช้ลายนิ้วมือ."* ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550.

[9] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. *การประมวลผลภาพดิจิตอลด้วย matlab.* พิมพ์ครั้งที่ 1. แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550.

[10] บัญชา ปะสีละเตสัง. *พัฒนาแอพพลิเคชั่นด้วย Visual C# 2010.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท วี.พริ้นท์ (1991) จำกัด, 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] กิตินันท์ พลสวัสดิ์. *คู่มือเรียนและใช้งาน VISUAL C# 2010 ฉบับสมบูรณ์.* พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด, 2554.

[12] Anil. K. Jain, Salil Prabhakar, Lin Hong, and Sharath Pankanti. "Filterbank-based Fingerprint Matching." *IEEE Transactions on Image Processing* vol. 9 no. 5. (May 2000) : 846–859.

[13] A.K.Jain, L.Hong, S.Pankanti and R.Bolle. "An identity authentication system using fingerprints." *Proceedings of the IEEE* vol.85 no.9. (1997) : 1365-1388.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน

False Acceptance Rate (FAR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 1 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	35.86	21	61.16	41	17.58	61	58.51	81	79.63	101	48.02	121	49.86
2	52.76	22	68.19	42	15.26	62	59.32	82	76.52	102	23.37	122	52.44
3	34.96	23	52.52	43	24.10	63	60.82	83	88.40	103	20.93	123	48.54
4	19.90	24	50.54	44	22.43	64	64.52	84	72.74	104	30.07	124	56.50
5	41.47	25	65.33	45	23.43	65	63.99	85	69.13	105	55.64	125	66.35
6	42.25	26	65.08	46	35.34	66	48.86	86	80.87	106	35.75	126	48.70
7	41.36	27	46.70	47	33.73	67	62.46	87	72.46	107	24.33	127	34.31
8	42.86	28	47.68	48	31.16	68	57.52	88	64.88	108	29.90	128	34.48
9	35.11	29	71.84	49	23.26	69	66.02	89	77.84	109	30.79	129	42.30
10	39.89	30	59.56	50	20.32	70	45.78	90	74.26	110	53.31	130	38.97
11	39.45	31	65.85	51	25.28	71	76.61	91	19.31	111	65.54	131	31.53
12	34.99	32	69.43	52	40.51	72	60.47	92	14.32	112	63.13	132	36.74
13	31.34	33	80.94	53	26.51	73	67.43	93	17.29	113	24.86	133	38.26
14	28.88	34	70.27	54	40.90	74	65.03	94	13.27	114	58.21	134	45.78
15	45.54	35	58.16	55	40.88	75	65.20	95	12.65	115	73.66	135	38.94
16	33.12	36	69.68	56	40.21	76	56.78	96	20.83	116	53.72	136	36.86
17	19.31	37	77.78	57	43.74	77	56.44	97	15.81	117	60.79	137	42.25
18	17.86	38	73.45	58	45.00	78	51.50	98	20.93	118	58.79	138	47.42
19	44.73	39	78.86	59	24.47	79	76.76	99	25.18	119	53.10	139	37.00
20	54.32	40	61.67	60	38.43	80	69.90	100	21.45	120	77.23	140	34.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 2 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	35.86	21	33.50	41	37.62	61	33.66	81	53.53	101	27.31	121	30.27
2	38.70	22	38.76	42	34.37	62	36.15	82	48.11	102	35.04	122	30.79
3	27.89	23	26.72	43	25.67	63	36.46	83	60.41	103	31.24	123	28.04
4	34.58	24	26.83	44	28.27	64	39.13	84	46.18	104	21.49	124	34.09
5	42.28	25	37.58	45	35.62	65	40.34	85	40.14	105	32.74	125	41.23
6	35.87	26	40.73	46	25.55	66	28.65	86	56.60	106	21.82	126	31.34
7	34.48	27	26.55	47	30.03	67	38.64	87	48.01	107	22.72	127	26.70
8	35.14	28	24.76	48	26.17	68	33.15	88	40.29	108	21.86	128	22.91
9	44.90	29	44.98	49	24.92	69	42.61	89	51.86	109	23.15	129	28.37
10	40.76	30	35.34	50	30.38	70	27.83	90	48.88	110	26.38	130	23.52
11	19.24	31	37.42	51	27.91	71	49.24	91	41.92	111	40.64	131	19.34
12	18.00	32	40.03	52	22.61	72	35.31	92	33.45	112	36.08	132	18.76
13	20.78	33	52.57	53	20.47	73	39.69	93	32.33	113	31.27	133	19.70
14	27.71	34	41.38	54	21.14	74	38.17	94	37.23	114	35.72	134	22.58
15	21.91	35	30.50	55	26.21	75	40.53	95	41.93	115	49.21	135	23.07
16	24.88	36	47.00	56	24.19	76	34.18	96	41.92	116	31.08	136	23.69
17	28.02	37	54.30	57	24.23	77	34.84	97	48.08	117	36.17	137	26.17
18	29.72	38	49.35	58	25.04	78	27.78	98	44.77	118	35.24	138	26.10
19	25.59	39	53.17	59	21.24	79	51.42	99	47.27	119	32.50	139	21.66
20	32.23	40	38.01	60	24.06	80	44.52	100	23.75	120	52.88	140	34.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 3 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	39.45	21	29.09	41	40.85	61	33.18	81	49.79	101	26.83	121	29.12
2	40.87	22	36.82	42	38.14	62	34.51	82	45.55	102	36.93	122	29.87
3	28.64	23	19.60	43	28.20	63	33.12	83	58.16	103	33.26	123	27.78
4	39.06	24	24.00	44	32.36	64	35.82	84	42.63	104	22.18	124	37.34
5	46.86	25	34.55	45	39.71	65	36.92	85	38.35	105	30.30	125	40.89
6	40.41	26	38.14	46	31.89	66	33.51	86	57.46	106	18.11	126	34.06
7	29.86	27	26.06	47	31.72	67	38.67	87	47.99	107	22.80	127	29.03
8	39.53	28	23.39	48	31.80	68	35.17	88	42.13	108	23.41	128	26.06
9	48.17	29	40.51	49	30.90	69	42.52	89	52.75	109	22.09	129	29.61
10	43.62	30	33.12	50	33.99	70	28.95	90	49.57	110	23.79	130	22.29
11	19.24	31	35.33	51	29.95	71	47.38	91	45.38	111	39.98	131	22.98
12	27.13	32	38.00	52	23.90	72	34.01	92	38.04	112	34.93	132	18.92
13	17.09	33	50.91	53	23.69	73	37.88	93	35.68	113	32.19	133	19.34
14	29.53	34	37.89	54	21.33	74	37.11	94	40.84	114	36.85	134	22.18
15	19.44	35	28.32	55	22.25	75	40.36	95	44.63	115	48.04	135	22.76
16	31.38	36	48.05	56	28.16	76	34.00	96	51.21	116	31.84	136	25.24
17	27.11	37	53.52	57	25.20	77	35.44	97	48.29	117	32.62	137	25.59
18	21.38	38	49.20	58	29.31	78	28.91	98	50.00	118	36.33	138	26.70
19	19.92	39	53.06	59	22.56	79	50.12	99	27.82	119	32.43	139	23.94
20	22.43	40	35.40	60	25.24	80	43.84	100	41.01	120	50.95	140	33.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 4 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	61.16	21	29.09	41	59.87	61	21.33	81	28.41	101	23.28	121	26.38
2	63.89	22	32.59	42	58.18	62	21.70	82	24.10	102	55.41	122	23.71
3	49.88	23	37.44	43	45.88	63	15.65	83	35.85	103	51.38	123	26.80
4	60.43	24	44.11	44	47.53	64	20.17	84	21.66	104	37.87	124	28.28
5	70.26	25	20.93	45	56.29	65	19.92	85	21.47	105	21.26	125	26.53
6	59.54	26	40.44	46	41.32	66	31.95	86	40.87	106	34.26	126	32.47
7	60.42	27	51.58	47	42.45	67	29.72	87	35.96	107	41.55	127	38.64
8	57.96	28	51.72	48	44.06	68	27.66	88	33.18	108	39.95	128	36.46
9	69.91	29	32.02	49	48.03	69	33.14	89	35.99	109	37.76	129	34.10
10	63.57	30	25.24	50	51.72	70	33.08	90	35.00	110	18.11	130	30.68
11	33.50	31	16.31	51	44.91	71	26.29	91	64.65	111	25.10	131	35.83
12	24.41	32	19.90	52	30.68	72	22.43	92	57.33	112	22.58	132	30.50
13	34.18	33	28.98	53	41.22	73	18.95	93	57.05	113	49.52	133	29.90
14	51.24	34	16.97	54	29.82	74	19.26	94	61.30	114	25.92	134	23.32
15	26.23	35	15.17	55	27.62	75	25.04	95	65.59	115	29.90	135	36.77
16	35.85	36	36.92	56	33.66	76	27.31	96	72.15	116	23.15	136	37.59
17	34.66	37	37.95	57	27.80	77	28.88	97	70.75	117	19.54	137	32.45
18	23.81	38	36.26	58	33.48	78	28.84	98	71.47	118	24.78	138	26.85
19	32.51	39	37.32	59	42.51	79	32.89	99	43.61	119	26.57	139	33.27
20	28.76	40	26.78	60	33.15	80	30.50	100	58.63	120	30.27	140	45.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก5 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 5 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	65.85	21	35.33	41	63.63	61	21.10	81	23.90	101	27.13	121	28.60
2	69.01	22	37.76	42	62.75	62	24.80	82	19.92	102	60.61	122	26.08
3	54.90	23	42.61	43	50.39	63	18.30	83	28.37	103	56.16	123	31.65
4	65.16	24	48.91	44	51.37	64	16.09	84	20.03	104	42.99	124	24.86
5	74.66	25	24.70	45	60.39	65	21.56	85	18.63	105	23.24	125	22.58
6	63.51	26	42.46	46	41.10	66	29.58	86	33.38	106	40.94	126	31.34
7	62.94	27	56.74	47	45.50	67	27.44	87	30.15	107	46.35	127	41.15
8	61.33	28	56.68	48	46.03	68	24.64	88	26.93	108	45.32	128	38.74
9	73.54	29	32.85	49	51.10	69	28.98	89	29.07	109	44.94	129	34.74
10	67.92	30	24.84	50	55.97	70	32.92	90	28.93	110	24.25	130	34.07
11	37.42	31	16.31	51	49.22	71	21.47	91	69.30	111	22.49	131	40.25
12	23.19	32	15.03	52	32.45	72	21.33	92	61.46	112	19.44	132	36.77
13	38.31	33	25.02	53	45.95	73	15.59	93	60.01	113	54.99	133	34.81
14	56.02	34	20.88	54	32.88	74	18.41	94	66.60	114	24.00	134	27.96
15	29.43	35	14.35	55	33.87	75	21.24	95	71.27	115	25.18	135	40.82
16	36.37	36	22.91	56	33.87	76	24.45	96	77.03	116	23.66	136	38.48
17	36.35	37	27.51	57	28.41	77	26.80	97	75.52	117	18.87	137	34.68
18	27.48	38	27.04	58	31.76	78	30.23	98	75.79	118	22.27	138	27.26
19	36.59	39	21.75	59	47.99	79	26.00	99	46.60	119	25.61	139	36.95
20	29.75	40	22.38	60	33.90	80	23.45	100	62.74	120	26.42	140	47.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก6 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 6 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	25.57	21	74.27	41	17.58	61	40.85	81	63.63	101	46.34	121	46.57
2	37.89	22	58.38	42	23.00	62	34.68	82	67.58	102	26.55	122	49.41
3	27.50	23	65.41	43	21.98	63	30.71	83	78.54	103	24.60	123	45.29
4	42.40	24	62.03	44	16.46	64	27.11	84	68.58	104	31.45	124	51.99
5	40.30	25	61.45	45	27.55	65	44.31	85	55.88	105	51.68	125	61.90
6	37.28	26	56.63	46	18.33	66	36.11	86	65.45	106	36.46	126	46.01
7	42.52	27	54.18	47	22.18	67	27.31	87	74.99	107	25.48	127	33.44
8	42.66	28	50.71	48	22.41	68	24.29	88	71.27	108	29.51	128	34.06
9	27.93	29	74.01	49	21.61	69	45.28	89	76.56	109	34.68	129	41.11
10	37.76	30	67.94	50	22.54	70	53.61	90	61.25	110	52.51	130	38.00
11	54.33	31	77.14	51	37.62	71	59.87	91	22.41	111	62.15	131	31.35
12	57.20	32	73.93	52	52.14	72	66.42	92	16.97	112	61.38	132	35.99
13	58.60	33	85.58	53	35.59	73	52.94	93	17.55	113	28.37	133	37.35
14	61.34	34	71.55	54	22.52	74	47.84	94	20.71	114	55.56	134	43.74
15	61.76	35	67.51	55	38.46	75	61.77	95	20.37	115	70.59	135	40.58
16	45.80	36	78.06	56	41.47	76	63.32	96	25.87	116	51.25	136	36.88
17	61.32	37	70.26	57	38.94	77	46.22	97	24.43	117	57.87	137	41.76
18	55.93	38	63.04	58	40.82	78	46.80	98	26.59	118	55.11	138	45.43
19	63.87	39	75.70	59	35.19	79	71.08	99	26.21	119	50.13	139	37.18
20	44.69	40	72.54	60	38.03	80	58.38	100	21.98	120	73.79	140	33.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก7 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 7 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	25.28	21	29.95	41	49.22	61	30.74	81	25.57	101	58.86	121	32.48
2	27.26	22	24.84	42	53.75	62	17.80	82	21.91	102	43.57	122	36.21
3	19.72	23	18.41	43	63.17	63	14.93	83	14.21	103	50.28	123	34.54
4	26.51	24	21.24	44	54.23	64	18.95	84	11.75	104	48.33	124	39.00
5	33.66	25	31.19	45	40.76	65	37.56	85	19.08	105	45.54	125	49.39
6	23.87	26	23.19	46	53.93	66	27.66	86	23.87	106	39.66	126	32.17
7	26.83	27	25.30	47	60.82	67	15.59	87	16.22	107	38.95	127	23.87
8	20.15	28	17.83	48	57.25	68	16.64	88	19.29	108	37.40	128	21.63
9	30.94	29	30.72	49	62.58	69	19.62	89	20.05	109	57.66	129	25.77
10	23.54	30	37.39	50	46.07	70	38.54	90	19.65	110	52.03	130	24.66
11	27.91	31	44.91	51	24.49	71	45.31	91	40.25	111	60.78	131	20.22
12	38.01	32	51.60	52	21.02	72	45.24	92	41.67	112	59.58	132	25.08
13	26.32	33	39.64	53	25.77	73	20.42	93	43.54	113	70.40	133	26.10
14	17.75	34	34.28	54	22.47	74	40.01	94	47.71	114	55.75	134	29.41
15	27.48	35	48.92	55	28.41	75	55.69	95	44.56	115	53.05	135	30.15
16	30.50	36	46.32	56	32.30	76	36.43	96	33.56	116	63.29	136	25.38
17	27.13	37	29.29	57	33.36	77	42.58	97	47.60	117	56.80	137	27.60
18	27.20	38	31.81	58	32.17	78	39.81	98	41.69	118	48.72	138	33.67
19	27.71	39	54.41	59	18.68	79	36.84	99	49.33	119	60.46	139	27.57
20	26.53	40	41.55	60	23.04	80	58.08	100	30.58	120	59.06	140	19.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก8 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 8 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	54.33	21	26.50	41	58.51	61	33.18	81	21.10	101	21.19	121	23.60
2	53.25	22	14.63	42	60.85	62	32.36	82	24.76	102	51.91	122	22.34
3	40.99	23	18.71	43	47.82	63	34.54	83	30.87	103	48.63	123	26.40
4	44.02	24	17.20	44	56.36	64	40.34	84	23.35	104	35.82	124	20.17
5	49.56	25	17.03	45	68.14	65	22.34	85	16.34	105	17.35	125	22.11
6	33.38	26	26.17	46	55.86	66	38.99	86	31.75	106	34.94	126	28.27
7	37.19	27	26.59	47	54.57	67	52.13	87	36.89	107	39.08	127	36.74
8	38.37	28	30.32	48	53.67	68	49.76	88	36.85	108	37.19	128	32.28
9	45.65	29	32.20	49	65.43	69	29.15	89	37.68	109	38.12	129	29.73
10	48.08	30	29.31	50	59.51	70	26.38	90	29.50	110	21.79	130	29.02
11	40.25	31	28.64	51	33.66	71	21.33	91	59.73	111	20.71	131	33.12
12	24.25	32	25.50	52	24.06	72	22.65	92	52.38	112	23.17	132	29.98
13	37.95	33	36.03	53	34.37	73	26.59	93	52.67	113	47.78	133	28.20
14	27.68	34	29.60	54	48.01	74	17.41	94	58.04	114	20.90	134	21.56
15	25.53	35	22.72	55	26.29	75	18.03	95	62.84	115	27.87	135	38.61
16	27.20	36	38.38	56	34.23	76	26.61	96	67.58	116	20.90	136	34.84
17	21.45	37	36.36	57	30.10	77	24.66	97	67.89	117	20.03	137	30.13
18	25.92	38	29.66	58	23.37	78	25.50	98	67.65	118	19.62	138	24.00
19	40.32	39	34.61	59	32.98	79	29.60	99	39.69	119	25.55	139	32.56
20	27.13	40	36.30	60	26.15	80	22.72	100	54.08	120	29.61	140	40.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก9 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 9 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	74.27	21	26.50	41	76.61	61	47.38	81	21.47	101	37.16	121	35.82
2	73.09	22	24.33	42	80.08	62	49.16	82	21.38	102	71.17	122	31.98
3	60.03	23	20.54	43	65.66	63	53.67	83	19.57	103	67.45	123	39.79
4	62.48	24	16.61	44	75.01	64	59.74	84	24.02	104	53.38	124	30.77
5	69.89	25	21.31	45	86.53	65	36.01	85	25.94	105	32.36	125	25.51
6	51.28	26	37.63	46	74.27	66	53.01	86	33.76	106	51.84	126	38.20
7	54.54	27	32.83	47	72.79	67	67.94	87	32.70	107	57.23	127	50.34
8	56.00	28	31.56	48	71.36	68	66.98	88	32.56	108	55.85	128	47.67
9	60.91	29	30.48	49	84.39	69	41.09	89	28.88	109	55.27	129	43.86
10	66.42	30	30.48	50	77.97	70	31.43	90	31.31	110	31.86	130	41.93
11	58.86	31	18.87	51	49.24	71	26.29	91	78.75	111	26.13	131	51.82
12	41.30	32	17.26	52	36.40	72	18.25	92	71.02	112	26.44	132	47.17
13	55.98	33	21.02	53	48.92	73	35.65	93	70.37	113	65.09	133	44.51
14	41.86	34	19.80	54	66.94	74	32.23	94	76.94	114	28.65	134	37.00
15	43.08	35	17.78	55	42.20	75	21.38	95	82.02	115	24.10	135	49.93
16	43.57	36	30.05	56	45.45	76	26.34	96	87.60	116	32.30	136	47.77
17	37.58	37	31.53	57	44.52	77	36.82	97	86.11	117	26.29	137	44.00
18	40.50	38	30.20	58	38.03	78	35.61	98	86.79	118	28.69	138	35.41
19	57.98	39	25.96	59	48.00	79	23.49	99	56.89	119	34.71	139	45.54
20	43.75	40	29.05	60	41.38	80	27.20	100	73.79	120	23.81	140	57.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก10 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 10 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	77.14	21	28.64	41	79.63	61	49.79	81	23.90	101	37.99	121	38.01
2	75.99	22	32.31	42	82.63	62	51.91	82	24.31	102	72.12	122	35.37
3	61.71	23	24.58	43	68.70	63	56.77	83	21.93	103	68.61	123	42.53
4	64.79	24	22.67	44	79.19	64	63.22	84	27.69	104	57.66	124	33.87
5	71.16	25	24.33	45	88.78	65	39.59	85	30.38	105	35.45	125	28.05
6	52.84	26	40.05	46	77.45	66	54.31	86	34.00	106	56.01	126	40.16
7	56.52	27	34.12	47	75.18	67	69.90	87	28.72	107	59.46	127	52.25
8	56.37	28	32.43	48	74.66	68	69.91	88	30.56	108	57.94	128	49.66
9	64.76	29	30.94	49	86.35	69	42.45	89	29.15	109	57.92	129	43.86
10	68.32	30	43.21	50	80.44	70	33.59	90	32.31	110	37.43	130	45.91
11	60.78	31	18.87	51	53.53	71	28.41	91	81.42	111	31.45	131	53.17
12	43.91	32	26.31	52	36.24	72	25.71	92	74.57	112	26.06	132	50.76
13	58.72	33	19.90	53	52.62	73	39.74	93	73.97	113	66.28	133	46.66
14	45.30	34	25.34	54	69.68	74	34.94	94	79.28	114	31.42	134	40.51
15	42.99	35	25.22	55	45.64	75	24.52	95	84.62	115	24.27	135	52.56
16	45.10	36	31.26	56	47.05	76	24.90	96	89.73	116	33.42	136	50.34
17	40.37	37	33.18	57	45.61	77	37.82	97	89.60	117	26.40	137	44.05
18	44.63	38	41.05	58	39.90	78	39.06	98	88.65	118	30.68	138	38.60
19	60.65	39	21.56	59	50.68	79	23.11	99	60.93	119	35.43	139	50.20
20	44.99	40	25.44	60	44.16	80	27.46	100	76.57	120	23.26	140	56.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก11 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 11 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	50.86	21	50.53	41	19.31	61	45.38	81	69.30	101	24.49	121	78.75
2	21.14	22	53.88	42	17.80	62	38.67	82	73.70	102	43.10	122	62.74
3	21.05	23	50.65	43	22.29	63	32.85	83	83.61	103	28.74	123	70.23
4	31.35	24	57.40	44	19.16	64	27.84	84	73.42	104	44.59	124	67.44
5	56.75	25	50.53	45	22.69	65	48.92	85	59.79	105	42.24	125	65.41
6	39.46	26	53.88	46	16.25	66	37.63	86	72.64	106	42.43	126	59.22
7	27.84	27	50.65	47	22.27	67	29.33	87	80.53	107	46.90	127	58.64
8	31.42	28	57.40	48	16.79	68	22.09	88	76.46	108	46.13	128	55.85
9	32.42	29	50.53	49	20.52	69	47.96	89	81.99	109	28.60	129	78.92
10	56.42	30	53.88	50	16.06	70	57.74	90	65.41	110	41.71	130	72.85
11	64.94	31	33.87	51	41.92	71	64.65	91	22.41	111	59.73	131	81.42
12	65.11	32	39.64	52	57.16	72	71.69	92	17.55	112	60.37	132	79.32
13	25.94	33	41.51	53	41.44	73	57.85	93	24.41	113	63.34	133	90.26
14	58.20	34	47.91	54	20.86	74	53.58	94	24.00	114	67.44	134	76.21
15	74.93	35	43.49	55	45.13	75	68.24	95	18.44	115	64.75	135	72.62
16	55.81	36	40.91	56	46.52	76	67.38	96	37.66	116	51.63	136	82.73
17	62.38	37	46.24	57	45.50	77	49.17	97	32.26	117	67.41	137	76.22
18	59.42	38	50.87	58	47.10	78	50.87	98	33.70	118	61.01	138	67.51
19	55.76	39	42.19	59	43.63	79	75.02	99	27.75	119	69.00	139	80.65
20	78.50	40	34.47	60	44.32	80	61.94	100	23.11	120	50.31	140	78.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก12 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 12 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	50.86	21	23.75	41	48.02	61	26.83	81	27.13	101	30.74	121	37.16
2	43.85	22	25.06	42	51.32	62	28.07	82	31.08	102	21.42	122	23.77
3	46.66	23	26.00	43	39.95	63	24.37	83	38.70	103	28.65	123	28.72
4	48.29	24	25.85	44	48.50	64	32.22	84	30.30	104	23.04	124	28.34
5	51.56	25	29.73	45	58.03	65	19.44	85	20.83	105	17.18	125	28.76
6	57.78	26	26.19	46	45.81	66	29.41	86	36.37	106	21.98	126	24.66
7	57.88	27	28.62	47	46.72	67	41.15	87	40.32	107	17.97	127	25.96
8	56.94	28	24.10	48	45.02	68	38.43	88	39.94	108	22.83	128	29.39
9	30.92	29	22.52	49	54.74	69	25.59	89	43.14	109	31.76	129	38.44
10	43.73	30	21.75	50	47.44	70	23.98	90	28.79	110	31.76	130	34.35
11	24.17	31	27.24	51	27.31	71	23.28	91	46.34	111	21.19	131	37.99
12	26.15	32	25.18	52	22.36	72	28.46	92	44.71	112	22.83	132	37.19
13	37.47	33	24.78	53	28.18	73	21.82	93	32.79	113	23.52	133	47.97
14	22.98	34	18.44	54	38.78	74	15.56	94	33.84	114	28.27	134	35.28
15	36.69	35	32.25	55	23.87	75	27.71	95	43.26	115	24.39	135	31.67
16	18.11	36	28.37	56	29.82	76	27.69	96	30.18	116	23.94	136	44.47
17	23.19	37	20.47	57	23.73	77	17.64	97	26.23	117	30.41	137	40.26
18	23.11	38	23.13	58	16.22	78	19.52	98	30.28	118	26.96	138	33.21
19	24.12	39	25.79	59	24.19	79	31.06	99	36.89	119	34.73	139	40.66
20	33.91	40	27.77	60	21.66	80	22.78	100	37.46	120	25.46	140	40.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก13 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 13 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	64.94	21	29.02	41	65.19	61	39.98	81	22.49	101	45.31	121	26.13
2	59.14	22	28.60	42	67.84	62	40.47	82	26.76	102	31.73	122	22.29
3	60.70	23	34.09	43	55.53	63	39.12	83	26.08	103	43.99	123	23.73
4	64.11	24	25.96	44	63.77	64	44.74	84	25.10	104	33.63	124	23.04
5	68.86	25	26.65	45	74.22	65	28.88	85	18.44	105	33.09	125	18.89
6	73.53	26	33.32	46	61.70	66	44.42	86	35.37	106	35.62	126	28.78
7	73.51	27	43.35	47	61.96	67	59.05	87	38.16	107	28.51	127	33.14
8	73.68	28	39.53	48	58.93	68	55.05	88	38.38	108	31.03	128	35.75
9	45.52	29	36.15	49	71.94	69	35.43	89	38.56	109	48.26	129	33.05
10	59.08	30	34.94	50	64.71	70	30.94	90	31.76	110	36.70	130	31.11
11	24.17	31	41.69	51	40.64	71	25.10	91	62.15	111	20.71	131	31.45
12	56.36	32	37.66	52	31.08	72	22.76	92	60.89	112	19.57	132	30.02
13	53.25	33	37.23	53	41.74	73	30.72	93	48.67	113	22.83	133	37.40
14	39.40	34	26.57	54	53.57	74	24.66	94	49.41	114	24.23	134	31.64
15	16.61	35	44.11	55	33.50	75	23.87	95	57.68	115	20.42	135	27.62
16	39.60	36	41.07	56	41.89	76	29.68	96	43.30	116	31.95	136	37.82
17	46.75	37	36.73	57	38.87	77	30.64	97	40.45	117	34.31	137	37.54
18	42.92	38	30.51	58	31.64	78	29.72	98	46.21	118	30.94	138	32.17
19	41.79	39	37.48	59	41.82	79	28.86	99	51.00	119	35.78	139	33.30
20	23.83	40	45.49	60	35.17	80	26.40	100	55.31	120	36.80	140	36.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก14 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 14 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	50.53	21	29.02	41	49.86	61	29.12	81	28.60	101	32.48	121	35.82
2	43.83	22	25.14	42	52.88	62	25.85	82	32.56	102	20.22	122	25.16
3	44.17	23	33.67	43	40.30	63	29.66	83	41.35	103	30.22	123	27.15
4	49.40	24	17.09	44	49.34	64	35.24	84	35.47	104	24.84	124	26.59
5	55.01	25	28.00	45	58.31	65	17.94	85	24.37	105	23.04	125	27.22
6	57.95	26	15.43	46	47.63	66	29.68	86	36.70	106	20.37	126	24.70
7	57.76	27	17.38	47	46.05	67	42.46	87	40.64	107	19.36	127	22.18
8	56.94	28	16.31	48	44.58	68	42.06	88	36.86	108	23.43	128	23.96
9	31.75	29	14.07	49	56.36	69	23.98	89	40.14	109	34.04	129	36.22
10	46.00	30	34.35	50	50.55	70	24.02	90	31.58	110	23.43	130	32.80
11	23.75	31	26.46	51	30.27	71	26.38	91	46.57	111	23.60	131	38.01
12	43.38	32	25.85	52	26.19	72	31.78	92	45.64	112	29.00	132	35.26
13	39.45	33	21.91	53	27.78	73	29.46	93	33.09	113	25.51	133	45.60
14	30.36	34	17.15	54	40.55	74	20.83	94	34.77	114	27.11	134	34.07
15	25.02	35	25.06	55	22.00	75	25.02	95	40.04	115	29.21	135	31.54
16	33.59	36	24.72	56	24.35	76	27.26	96	27.87	116	23.26	136	43.36
17	29.90	37	21.00	57	22.61	77	22.02	97	30.95	117	30.48	137	43.36
18	30.33	38	17.12	58	19.36	78	20.62	98	30.95	118	25.75	138	43.36
19	33.56	39	27.33	59	25.40	79	34.34	99	35.71	119	30.59	139	43.36
20	24.45	40	32.23	60	21.19	80	23.64	100	38.14	120	24.70	140	43.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก15 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิงที่ 15 จำนวน 140 ครั้ง

No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	33.87	21	41.69	41	31.53	61	22.98	81	40.25	101	20.22	121	51.82
2	28.23	22	36.77	42	33.91	62	15.94	82	43.93	102	19.62	122	35.90
3	27.29	23	23.49	43	23.07	63	18.38	83	55.64	103	18.08	123	41.12
4	30.79	24	34.47	44	31.53	64	23.07	84	45.30	104	22.91	124	39.59
5	36.69	25	48.95	45	39.80	65	22.63	85	32.89	105	20.27	125	40.63
6	41.79	26	29.73	46	30.71	66	20.52	86	47.21	106	21.89	126	33.73
7	40.22	27	35.44	47	30.90	67	25.44	87	54.06	107	24.23	127	32.83
8	40.69	28	34.53	48	29.65	68	25.44	88	49.89	108	26.55	128	30.46
9	20.45	29	29.97	49	39.92	69	24.76	89	55.05	109	16.03	129	52.82
10	31.02	30	52.95	50	36.18	70	32.88	90	39.59	110	19.62	130	46.58
11	27.24	31	26.46	51	19.34	71	35.83	91	31.35	111	33.12	131	53.17
12	27.96	32	28.21	52	28.81	72	43.91	92	27.91	112	37.70	132	49.95
13	22.80	33	26.23	53	21.17	73	31.40	93	18.14	113	36.12	133	61.88
14	19.03	34	31.87	54	23.92	74	26.98	94	20.47	114	40.09	134	46.74
15	32.77	35	41.71	55	20.59	75	40.12	95	26.66	115	39.56	135	43.05
16	20.88	36	27.96	56	22.38	76	40.83	96	20.32	116	26.78	136	57.27
17	15.68	37	20.47	57	23.90	77	23.98	97	24.66	117	40.21	137	49.26
18	16.85	38	17.86	58	21.28	78	25.44	98	21.84	118	34.39	138	41.85
19	18.97	39	23.17	59	19.92	79	47.44	99	22.91	119	43.13	139	53.99
20	29.19	40	22.02	60	19.82	80	35.45	100	25.36	120	26.87	140	51.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตัวตน

False Rejection Rate (FRR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิง 15 นิ้ว นิ้วละ 9 ครั้ง

นิ้วที่ 1		นิ้วที่ 2		นิ้วที่ 3		นิ้วที่ 4		นิ้วที่ 5	
No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	14.5602	1	23.2809	1	14.2127	1	15.1658	1	11.4891
2	17.8326	2	15.9374	2	23.4947	2	16.6733	2	19.5959
3	12.3288	3	28.4253	3	28.2843	3	15.6844	3	17.4356
4	18.6011	4	19.3391	4	19.1833	4	18.7617	4	15.2971
5	13.8924	5	20.7605	5	26.0576	5	25.318	5	31.1609
6	19.6214	6	23.516	6	30.4795	6	25	6	32.8634
7	18.5742	7	22.561	7	31.607	7	23.2594	7	30.4467
8	17.9444	8	18.1384	8	25.2784	8	21.7025	8	31
9	16.4012	9	20.1742	9	29.8831	9	23.3452	9	26.4764
นิ้วที่ 6		นิ้วที่ 7		นิ้วที่ 8		นิ้วที่ 9		นิ้วที่ 10	
No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	12	1	23.4094	1	18.9737	1	23.9583	1	15.2971
2	24.454	2	13.2665	2	17.0294	2	15.8745	2	17.6635
3	22.6274	3	24.7386	3	18.7617	3	17.2627	3	19.7484
4	20.2485	4	22.5832	4	17.4929	4	20.347	4	22.2261
5	32.28	5	24.7386	5	24.2487	5	30.8707	5	30.05
6	33.2114	6	27.5318	6	31.4325	6	33.5708	6	32.28
7	31.6544	7	28.2135	7	25.6905	7	37.4299	7	31.9061
8	27.2397	8	17.72	8	32.1092	8	23.8956	8	27.8209
9	22.6274	9	23.3238	9	32.1092	9	24.96	9	29.9333

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1(ต่อ) ค่าความแตกต่างของลายนิ้วมืออ้างอิง 15 นิ้ว นิ้วละ 9 ครั้ง

นิ้วที่ 11		นิ้วที่ 12		นิ้วที่ 13		นิ้วที่ 14		นิ้วที่ 15	
No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff	No.	%Diff
1	14.9666	1	40.1995	1	26.9072	1	12.49	1	13.6382
2	22.9347	2	37.1214	2	54.2955	2	13.5647	2	14.0712
3	13.6015	3	27.5318	3	22.0454	3	17.2627	3	22.4054
4	17.1172	4	16.1864	4	28.6356	4	22.0907	4	23.1948
5	15.1987	5	28.3549	5	25.3772	5	22.0227	5	22.561
6	17	6	31.0483	6	24.3721	6	22.0227	6	24.3516
7	15.843	7	28.178	7	31.4643	7	20.6155	7	25
8	27.55	8	27.7128	8	31.4643	8	34.3366	8	21.1896
9	17.1756	9	22.2261	9	27.4591	9	23.6432	9	26.7395

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้