

การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายผิวของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก



นาย มงคล ศักดานุภาพ

ศูนย์วิทยุตำรวจ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

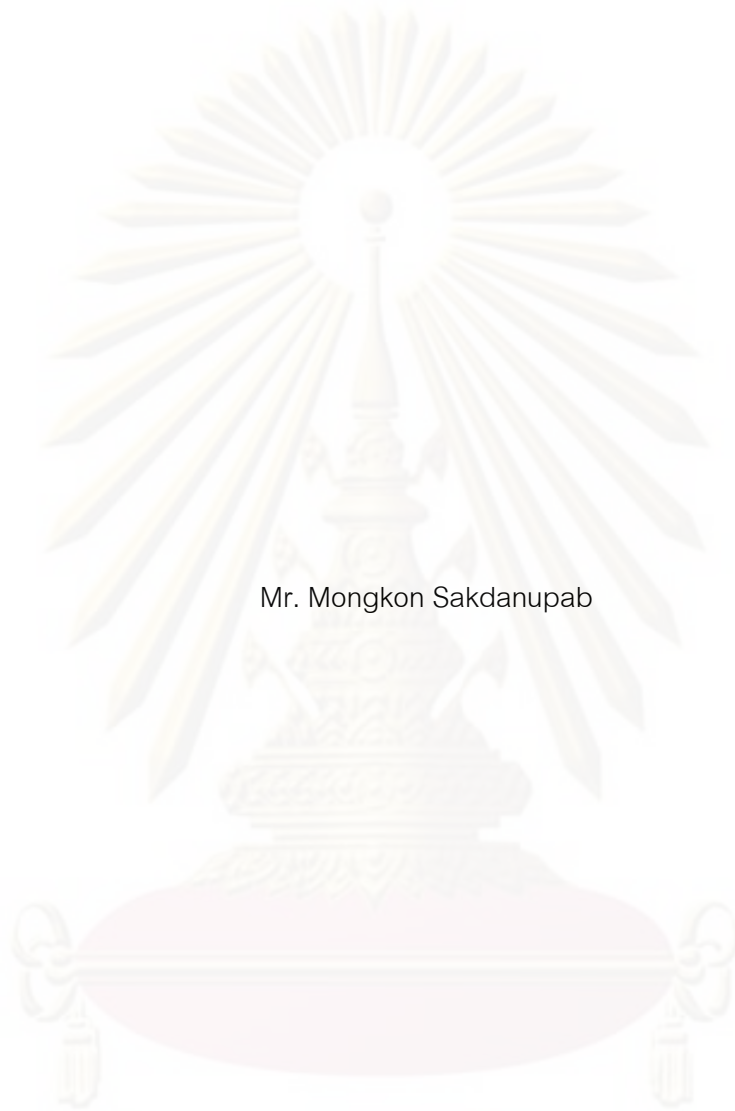
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TEXTURE BASED PALMPRINT IDENTIFICATION FROM CLASSIED PALMPRINTS
BASED ON PRINCIPLE LINES.



Mr. Mongkon Sakdanupab

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายมือของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัด
กรองด้วยเส้นหลัก

โดย

นาย มงคล ศักดานุภาพ

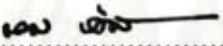
สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

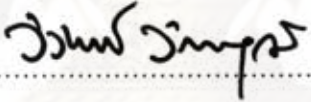
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

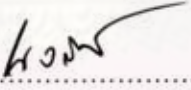
รองศาสตราจารย์ นางลักษณ โคควาวิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

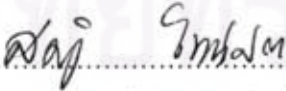

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนรินทร์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วิฒนาวุฒิ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นางลักษณ โคควาวิสารัช)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหญิง ไทยนิมิต)

ศูนย์วิจัยคอมพิวเตอร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มงคล ศักดานุภาพ : การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรอง
ด้วยเส้นหลัก (TEXTURE BASED PALMPRINT IDENTIFICATION FROM CLASSIED
PALMPRINTS BASED ON PRINCIPLE LINES.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
รศ.นงลักษณ์ โควาศิลาวัณ, 103 หน้า.

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการชีวมาตรสำหรับการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือที่
ทำงานได้เร็วโดยลดจำนวนการเปรียบคู่จากที่ต้องเปรียบคู่กับข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูลเป็นการ
เปรียบคู่เฉพาะกลุ่มของลายฝ่ามือที่คล้ายกัน วิธีการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือทำโดยใช้ลักษณะ
ของเส้นหลักซึ่งได้แก่ เส้นชีวิต เส้นสมอง และเส้นหัวใจ เพราะเป็นเส้นที่มีความชัดเจนและมี
ลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล ส่วนพีเจอร์ที่ใช้ในการเปรียบคู่เพื่อระบุบุคคลสกัดจากลายนิ้วของ
ฝ่ามือด้วยตัวกรองกาบอร์แบบลอกการิทึม

วิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือในงานวิจัยนี้รับภาพลายฝ่ามือที่ไม่มีการ
กำหนดตำแหน่งของกรวางมือ หลังจากหาฝ่ามือหรือบริเวณที่สนใจและประมวลผลภาพเบื้องต้น
แล้วจึงสกัดเส้นหลักและแบ่งกลุ่มตามลักษณะของเส้นหลักนั้น ๆ ส่วนพีเจอร์ที่สกัดจากลายฝ่า
มือทำโดยใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอกการิทึม เปรียบคู่พีเจอร์ที่สกัดได้ด้วยตัววัดระยะทางแบบแฮม
มิงกับกลุ่มลายฝ่ามือที่คล้ายกัน ถ้าผลการเปรียบคู่ไม่พบข้อมูลของบุคคลนั้นอยู่ในกลุ่มนั้นๆ ก็
จะเลื่อนไปเปรียบคู่ในกลุ่มที่มีลักษณะใกล้เคียงต่อไป

งานวิจัยนี้ทดสอบกับภาพมือจาก 3 ฐานข้อมูลประกอบด้วย ฐานข้อมูล Visgraph [8] ที่
มีภาพมือของคนในฮ่องกง ฐานข้อมูล CU-CGCI1-Hand ที่มีภาพมือของกลุ่มนิสิตจาก
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และฐานข้อมูล CU-CGCI2-Hand ที่มีภาพมือของกลุ่มคนทำงานอาชีพ
ต่างกันในประเทศไทย พบว่าประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้ในระบบชีวมาตรที่นำเสนอนี้ให้ผลที่
สอดคล้องกันในทุกฐานข้อมูล กล่าวคือการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักให้การกระจาย
ตัวของข้อมูลเป็น 6 กลุ่มโดยที่มีขนาดของกลุ่มใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุดมีข้อมูล 34% และ 3.4%
ตามลำดับ ส่วนการระบุบุคคลด้วยวิธีการที่นำเสนอได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเฉลี่ยของ
ทั้ง 3 ฐานข้อมูลเท่ากับ 3.22% ซึ่งในวิธีการแบบทั่วไปได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเฉลี่ย
ของทั้ง 3 ฐานข้อมูลเท่ากับ 3.1% แต่สามารถลดจำนวนการเปรียบคู่ลงเหลือประมาณ 40%

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....อนนท์ วัฒนวิทย์
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2551.....

4970508021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : BIOMETRIC / CLASSIFICATION / IDENTIFICATION / PALMPRINT /

MONGKON SAKDANUPAB : TEXTURE BASED PALMPRINT IDENTIFICATION
FROM CLASSIED PALMPRINTS BASED ON PRINCIPLE LINES.

ADVISOR : ASSOC. PROF.NONGLUK COVAVISARUCH, 103 pp.

This research presents a fast biometric personal identification method. Instead of matching an input image feature with all templates in the database as in general identification systems, this research proposes to match it only with those that have similar palmprints. Palmprints are classified based on three principle lines which are a life line, a head line and a heart line because they are obvious and unique. The feature used for identification is extracted from a palmprint with Log-Gabor filter.


With the proposed palmprint identification method, a palmprint image is taken from an unfixed position of a hand. After finding the palm area or a region of interest, three principle lines are extracted. Plamprints in this research are classified into several groups based on their characteristics. The palmprint's Log-Gabor filtered feature is matched with those of the same group. Hamming distance is used for evaluating the feature similarity. If the matching result is not found within the group, it continues to the next closest group(s).

Experiments are done with three palmprint databases. They are Visgraph [8] database (the palmprint images of Hong Kong people's), CU-CGCI1-Hand database (those of Chulalongkorn University students') and CU-CGCI2-Hand database (those of Thai people with different occupations). It is found that the distribution of the six groups from palmprint classification conform in all databases. The distribution from the largest group to the smallest group is about 34%, 3.4%. For personal identification tested with all three databases, the Equal Error Rates are around 3.22%, which is comparable with the traditional identification process of 3.1%, but the number of feature matching is greatly reduced to approximately 40%.

Department : Computer Engineering.....

Student's Signature : 

Field of Study : Computer Engineering.....

Advisor's Signature : 

Academic Year : 2008.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.นงลักษณ์ โควาศิลาวัณย์ ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอแนะแนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์ และ ผศ.ดร.สมหญิง ไทยนิมิต ที่ให้ความกรุณาเสนอคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนจนถึงตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณพี่ภัทราภรณ์ อริยปรีชากุล และพี่ปรวี วงศ์สวัสดิ์สุริยะ ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย และช่วยแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และดูแลเอาใจใส่ตลอดการวิจัยและการศึกษา

ขอขอบคุณพี่หทัยรัตน์ เลชะธนะ ที่ช่วยในการติดต่อขอใช้พื้นที่คณะทันตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ในการเก็บข้อมูลภาพมือรวมทั้งพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการเก็บภาพมือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณฐานข้อมูล Visgraph สำหรับภาพที่ใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ที่อนุเคราะห์ทุนเป็นค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่อุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ สนับสนุนในด้านการศึกษาและในด้านต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.2.1 การระบุบุคคลและการทวนสอบบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือด้วย วิธีการแบบทั่วไป.....	2
1.2.2 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่...	5
1.2.3 การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือ.....	6
1.3 วัตถุประสงค์.....	7
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	8
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	8
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	8
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	8
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตร.....	10
2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร.....	10
2.1.2 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการทวนสอบบุคคล.....	11
2.1.3 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการระบุบุคคล.....	12
2.1.4 การวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร.....	13

บทที่	หน้า
2.2 ลายฝ่ามือ.....	16
2.3 การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล.....	17
2.3.1 การหาค่าขีดแบ่ง.....	18
2.3.2 การหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติโดยใช้วิธี Otsu.....	18
2.3.2 การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ.....	20
2.3.4 การตามรอยขอบด้วยรหัสลูทซ์.....	23
2.3.5 การสเกลภาพ.....	24
2.3.6 การปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน.....	24
2.3.7 การประมาณเส้นโค้งที่เหมาะสมด้วยวิธี Least squares.....	25
2.3.8 ตัวกรองกาบอร์.....	27
2.3.9 ตัวกรองกาบอร์แบบลอกการิทึม.....	31
2.3.10 ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง.....	33
3 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้การกรองแบบลำดับขั้นของเส้นหลัก.....	34
3.1 หลักการและแนวคิดของงานวิจัย.....	34
3.2 ขั้นตอนการเก็บภาพฝ่ามือ.....	36
3.3 ขั้นตอนการหาบริเวณที่สนใจ.....	37
3.4 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก.....	39
3.5 ขั้นตอนการการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ.....	45
3.6 การตัดสินใจของระบบ.....	48
4 การทดลองและผลการทดลอง.....	49
4.1 การทดลองและผลการทดลองการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก.....	49
4.1.1 การวัดการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก.....	50
4.1.2 การวัดความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก.....	51
4.2 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายผิวของฝ่ามือ.....	53
4.2.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	53
4.2.2 วิธีการทดลอง.....	54

บทที่	หน้า
4.2.3 ผลการทดลอง.....	55
4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	56
4.3 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจาก กลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก.....	61
4.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	61
4.3.2 วิธีการทดลอง.....	61
4.3.3 ผลการทดลอง.....	63
4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	63
4.4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล.....	69
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	70
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
5.1.1 การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก.....	71
5.1.2 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ.....	74
5.1.3 การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้น หลัก.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
3.1	การพิจารณาความเป็นเส้นหลักบนฝามีมือโดยพิจารณาจากค่าโปรไฟร์ของค่าสี่ ใน 4 ทิศทาง.....	43
3.2	แสดงลำดับของกลุ่มในการเปรียบเทียบ.....	47
4.1	แสดงผลการกระจายตัวของข้อมูลภาพลายฝามีมือในทั้ง 3 ฐานข้อมูล.....	50
4.2	แสดงผลการวัดความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มของทั้ง 3 ฐานข้อมูล.....	52
4.3	แสดงการทดลองหาค่า EER ของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝามีมือ...	55
4.4	แสดงประสิทธิภาพของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝามีมือ.....	55
4.5	แสดงการทดลองหาค่า EER ของการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝามีมือ จากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก.....	64
4.6	แสดงประสิทธิภาพของการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝามีมือจากกลุ่มที่ คัดกรองด้วยเส้นหลัก.....	64
4.7	แสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อทำการแบ่งกลุ่มของลายฝามีมือและสร้าง แผ่นแบบของระบบการระบุบุคคล.....	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ลักษณะที่ใช้แบ่งกลุ่มและขนาดของข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14].....	6
1.2	การแบ่งกลุ่มเพิ่มเติมจากกลุ่มที่ 5 จากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14] ออกเป็น 5 กลุ่มย่อย.....	7
2.1	ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร.....	11
2.2	ระบบชีวมาตรที่ใช้การทวนสอบบุคคล [17].....	11
2.3	ระบบชีวมาตรที่ใช้การระบุบุคคล [17].....	12
2.4	การกระจายของคะแนนการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงและผู้บุกรุก.....	13
2.5	กราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ.....	14
2.6	กราฟแสดง CER หรือ EER ซึ่งเป็นจุดตัดกันของค่า FAR และ FRR.....	15
2.7	ภาพแสดงลายละเอียดบนฝ่ามือ.....	17
2.8	ฮิสโทแกรมที่มีลักษณะเป็นทิวฐานนิยม.....	19
2.9	ตัวอย่างภาพในการขยายขนาด.....	21
2.10	ตัวอย่างภาพในการกร่อน.....	22
2.11	หมายเลขทิศของรหัสลูกโซ่.....	23
2.12	ตัวอย่าง curve fitting.....	25
2.13	แสดงส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสัญญาณรูปไซน์เชิงซ้อนโดยภาพมีขนาด 128×128 จุดภาพและ $u_0 = v_0 = \frac{1}{80}$ cycles/pixel และ $P = 0$ องศา.....	29
2.14	แสดงลักษณะตัวสิ่งหุ้มเกาส์เขียน โดยภาพมีขนาด 128×128 จุดภาพและมีค่าตัวแปรดังนี้ $x_0 = y_0 = 0$, $a = \frac{1}{50}$ จุดภาพ, $b = \frac{1}{40}$ จุดภาพและ $\theta = -45$ องศา.....	29
2.15	แสดงตัวอย่างส่วนจริงและส่วนจินตภาพของฟังก์ชันกาบอร์เชิงซ้อน โดยภาพมีขนาด 128×128 จุดภาพและมีค่าตัวแปรดังนี้ $x_0 = y_0 = 0$, $a = \frac{1}{50}$ จุดภาพ, $b = \frac{1}{40}$ จุดภาพ, $\theta = -45$ องศา, $F_0 = \frac{\sqrt{2}}{80}$ cycles/pixel, $\omega_0 = 45$ องศา และ $P = 0$ องศา.....	30

ภาพที่		หน้า
2.16	แสดงการแปลงแบบฟูเรียร์ของตัวกบอร์ โดยมีตำแหน่งของจุดสูงสุดในความถี่เชิงพื้นที่ $u_p = v_p = 1/80$ cycles/pixel และมีค่าของตัวแปลงนี้ $x_0 = y_0 = 0$, $a = 1/50$ จุดภาพ, $b = 1/40$ จุดภาพ, $\theta = -45$ องศา, $F_0 = \sqrt{2}/80$ cycles/pixel, $\omega_0 = 45$ องศา และ $P = 0$ องศา.....	31
2.17	แสดงกราฟของตัวกรองกบอร์ 1 มิติแบบทั่วไป (ก) และตัวกรองกบอร์ 1 มิติแบบลอการิทึม (ข) ในมุมมองความถี่แบบเชิงเส้น (Linear frequency scale) และแบบลอการิทึม (Logarithmic frequency scale).....	32
3.1	แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ.....	35
3.2	ตัวอย่างภาพฝ่ามือที่ใช้ในงานวิจัย.....	36
3.3	ตัวอย่างการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ.....	38
3.4	การหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายและจุดอ้างอิงของมือ.....	38
3.5	การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว.....	38
3.6	การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว.....	39
3.7	แสดงจุดมุมของบริเวณที่สนใจ.....	39
3.8	ตำแหน่งและจุดบนฝ่ามือที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	40
3.9	แสดงการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักที่นำเสนอ.....	41
3.10	ลักษณะของเส้นหลักบนฝ่ามือและกราฟแสดงค่าโปรไฟล์ของค่าสีใน 4 ทิศทาง (หน้าต่างขนาด 9x9).....	43
3.11	แสดงตัวอย่างพีเจอร์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองกบอร์แบบลอการิทึมของผู้ใช้ 001_1_1 และ 001_2_1 ซึ่งเป็นผู้ใช้งานเดียวกัน และจะต่างกับตัวอย่างภาพของผู้ใช้ 002_1_1.....	46
3.12	แสดงลำดับความสำคัญของพีเจอร์ของเส้นหลักที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม.....	47
4.1	แสดงกราฟแสดงจำนวนภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนกับความถูกต้อง.....	53
4.2	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 6.02%.....	56
4.3	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.5%.....	57

ภาพที่	หน้า	
4.4	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.1%.....	57
4.5	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.77%.....	58
4.6	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.33%.....	58
4.7	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.2%.....	59
4.8	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4%.....	59
4.9	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.35%.....	60
4.10	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.95%.....	60
4.11	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 6.77%.....	65
4.12	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.5%.....	65
4.13	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.1%.....	66
4.14	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.2%.....	66
4.15	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.3%.....	67
4.16	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.2%.....	67
4.17	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4%.....	68

ภาพที่	หน้า	
4.18	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.5%.....	68
4.19	แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.19%.....	69
5.1	ตัวอย่างภาพของบุคคลเดียวกันแต่มีสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพที่แตกต่างกัน.....	72
5.2	ตัวอย่างภาพลักษณะของลายฝ่ามือของบุคคลที่มีอาชีพที่ใช้งานมือมากๆ.....	73
5.3	ตัวอย่างภาพลักษณะของลายฝ่ามือของบุคคลที่มีอาชีพที่ใช้งานมือน้อยๆ เช่น นักศึกษา.....	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการให้ความสำคัญในเรื่องของการพิสูจน์ตัวตน (Personal authentication) มากขึ้นเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของความปลอดภัยในการเข้าใช้ข้อมูลข่าวสารภายในหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ การพิสูจน์ตัวตนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีพื้นฐานมาจากสิ่งที่เกี่ยวข้องกับตัวบุคคลและพฤติกรรมของบุคคลนั่นเองซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. สิ่งที่ใช้รู้เช่น รหัสผ่าน หมายเลขประจำตัว เป็นต้น
2. สิ่งที่ใช้มีเช่น บัตรประชาชน บัตรประจำตัว เป็นต้น
3. สิ่งที่ใช้เป็นคือ ลักษณะทางกายภาพ (Physiological characteristic) หรือลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioral characteristic) หรือที่เรียกว่า ชีวมาตร (Biometric)

สิ่งที่เกี่ยวข้องกับตัวบุคคลประเภทแรกอาจมีปัญหาได้ เช่น รหัสผ่าน ผู้ใช้อาจลืมรหัสได้ หรือรหัสนั้นง่ายแก่การคาดเดา ส่วนการใช้สิ่งที่มีเช่น บัตรประจำตัว อาจเกิดการสูญหายหรืออาจมีการปลอมแปลงได้ ดังนั้นการใช้ลักษณะทางกายภาพหรือลักษณะทางพฤติกรรมของผู้ใช้สามารถที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้ได้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางพฤติกรรมของผู้ใช้นั้นเป็นสิ่งที่ติดตัวผู้ใช้ซึ่งผู้ใช้จะไม่มี การลืม สูญหายหรือถูกขโมยและยังยากต่อการปลอมแปลง ด้วยข้อดีต่างๆ เหล่านี้ทำให้การใช้ไบโอเมตริกได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมาและถูกนำมาใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ขององค์กรและบริษัทมากมาย

ชีวมาตรคือ การใช้กระบวนการในการระบุบุคคล (Personal identification) หรือทวนสอบบุคคล (Personal verification) โดยอัตโนมัติโดยใช้ลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคลเช่น ลายนิ้วมือ (Fingerprint) ลักษณะทางเรขาคณิตของมือ (Hand geometry) แบบรูปของเรตินา (Retina pattern) แบบรูปลายม่านตา (Iris pattern) รูปลักษณะใบหน้า (Facial) เป็นต้น หรือใช้ลักษณะทางพฤติกรรมของแต่ละบุคคลเช่น เสียง (Voice) เือกลักษณะในการพิมพ์ (Keystroke Dynamics) ลักษณะท่าทางในการเดิน (Gait) เป็นต้น

ลักษณะทางกายภาพที่นิยมใช้มากในการพิสูจน์ตัวตนคือลายนิ้วมือ แต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ของนิ้วมือที่มีขนาดเล็กและการเริ่มจะถึงจุดอิ่มตัวของการพัฒนาในรูปแบบนี้ซึ่งมีการพัฒนามาหลายร้อยปีแล้วจึงทำให้นักวิจัยต่างๆ ได้มีคิค้นคว้าเพื่อนำลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ มาใช้ได้แก่ ลายฝ่ามือด้วยเหตุที่ฝ่ามือมีขนาดของพื้นที่ใหญ่และมีรายละเอียดมาก และอุปกรณ์ที่

ใช้ในการเก็บภาพของรายละเอียดของฝ่ามือก็ยังมีราคาถูก จึงทำให้แบบรูปของลายฝ่ามือเริ่มเป็นที่สนใจของนักวิจัยมากขึ้นอีกทั้งยังมีศักยภาพมากพอในการนำไปใช้งานจริงด้วย

โดยทั่วไประบบการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือระบบต้องทำการเปรียบเทียบลักษณะลายฝ่ามือของผู้ใช้กับทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล ถ้าฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่จะทำให้ระบบช้าและมีการคำนวณมาก แต่ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะใช้ลักษณะลายฝ่ามือในการรู้จำโดยอาศัยหลักพื้นฐานของการเปรียบเทียบ (Matching) ลักษณะของเส้นบนฝ่ามือ (Line feature) เช่น เส้นหลักต่าง ๆ คือ เส้นหัวใจ (Heart line) เส้นชีวิต (Life line) และเส้นสมอง (Head line) เพื่อกำหนดข้อมูลจากฐานข้อมูลส่วนหนึ่งก่อนแล้วจึงเปรียบเทียบเพื่อหาความคล้ายของข้อมูลโดยละเอียดต่อไปโดยอาจใช้ลักษณะของจุด (Point feature) และ/หรือลักษณะของลายผิว (Texture feature) ประกอบ

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จะแบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 กลุ่มคือ การระบุบุคคลและการทวนสอบบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือด้วยวิธีการแบบทั่วไป การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ และการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือ

1.2.1 การระบุบุคคลและการทวนสอบบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือด้วย

วิธีการแบบทั่วไป (General Approaches for Palmprint Identification and Verification)

วิธีการระบุบุคคลและทวนสอบบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือแบบทั่วไปประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักได้แก่ ขั้นตอนการเก็บภาพ ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น ขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ และขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบ แต่ละงานวิจัยมีขั้นตอนการประมวลผลที่แตกต่างกัน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในกลุ่มนี้มีดังต่อไปนี้

1) Palmprint Texture Analysis based on Low-Resolution Images for Personal Authentication ของ Wai Kin Kong และ David Zhang [1] เสนอวิธีการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้ลักษณะของลายผิวของฝ่ามือ (Texture feature) โดยใช้ตัวกรองแบบ 2D Gabor filter ในการสกัดพีเจอร์และใช้ตัววัดระยะทางแบบแฮมมิง (Hamming distance) ในการเปรียบเทียบแบบ โดยผลการทดลองเมื่อกำหนดให้ค่าขีดแบ่ง (Threshold) เท่ากับ 0.335 ได้ค่าอัตราการยอมรับผิดพลาด (False Acceptance Rate, FAR) FAR เท่ากับ 0% และค่าอัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Rejection Rate, FRR) เท่ากับ 0.9% โดยภาพที่ใช้มีความละเอียดต่ำเพียง 65 dpi

2) Online Palmprint Identification ของ David Zhang และคณะ [2] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายฝ่ามือในรูปแบบ Online ภาพที่ใช้เป็นภาพที่มีความละเอียดต่ำเพียง 75 dpi ระบบนี้ใช้ลักษณะของลายผิวของฝ่ามือเป็นพีเจอร์โดยใช้ตัวกรองแบบ 2D Gabor

filter ในการสกัดฟิเจอร์ ส่วนในขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบใช้ตัววัดระยะทางแบบแฮมมิง ผลการทดลองได้ค่าตำแหน่งจุดตัดระหว่างกราฟอัตราการยอมรับผิดพลาดและกราฟอัตราการปฏิเสธผิดพลาด หรือ อัตราความผิดพลาดที่เท่ากัน (Equal Error Rate, EER) EER เท่ากับ 0.6% ระบบให้ความเร็วรวมในการระบุบุคคลเท่ากับ 1.1 วินาที จากการค้นคว้าพบว่าความนี้ถูกอ้างถึงถึงสูงมาก

3) Characterization of Palmprints by Wavelet Signatures via Directional Context Modeling ของ Lei Zhang และ David Zhang [3] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วของฝ่ามือมาเป็นฟิเจอร์และใช้ Wavelet ในการสกัดฟิเจอร์ ภาพที่ใช้เป็นภาพที่มีความละเอียด 65 dpi และผลการทดลองได้ค่าอัตราการระบุผิดพลาด (False Identification Rate, FIR) เท่ากับ 2% และได้ค่า FRR เท่ากับ 0%

4) Palmprint Identification Algorithm using Hu Invariant Moments and Otsu Binarization ของ Jin Soo และ Kang Hyeon [4] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายฝ่ามือโดยใช้การหาค่าโมเมนต์ของภาพ (Moment) และหาค่า Invariant moment ของภาพซึ่งในงานวิจัยนี้หาค่าโมเมนต์ 3 ระดับและนำค่าที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบแบบใช้ตัววัดระยะทางแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean distance) และผลการทดลองได้ค่า FAR เท่ากับ 0.038% และค่าอัตราการยอมรับของผู้ใช้จริง (Genuine Accept Rate, GAR) ซึ่งก็คือ 100-FRR เท่ากับ 98.1% ภาพที่ใช้ในการทดลองนั้นมีการเก็บภาพเองโดยใช้ภาพที่มีความละเอียดต่ำ (75 dpi) ขนาดของภาพคือ 135×135 จุดภาพซึ่งทำให้ขนาดของฐานข้อมูลเล็กลง

5) Palmprint Matching using Line Feature ของ Fang Li และคณะ [5] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการเปรียบเทียบแบบใช้ Modified line-based Hausdorff distance ซึ่งเป็นการนำตัววัดระยะทางแบบแฮสโดร์ฟ (Hausdorff distance) มาใช้ในการเปรียบเทียบแบบลักษณะของเส้นบนฝ่ามือ งานวิจัยนี้ใช้ลักษณะของเส้นบนฝ่ามือเป็นฟิเจอร์ วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้องในการระบุบุคคลได้ถึง 100% และค่า EER เท่ากับ 0%.

6) Two Novel Characteristics in Palmprint Verification: Datum Point Invariance and Line Feature Matching ของ Dapeng Zhang และ Wei Shu [6] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการทวนสอบบุคคลโดยการนำฟิเจอร์ 2 ฟิเจอร์มาใช้ คือจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Datum point) และลักษณะของเส้นบนฝ่ามือ (Line feature) มาใช้โดยจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ใช้นั้นคือ "จุดสิ้นสุด" ของเส้นหลักแต่ละเส้นซึ่งใช้ในการทะเบียนภาพ (Image registration) ส่วนการสกัดลักษณะเส้นลายมือนั้นทำโดยใช้หน้ากากขนาด 3×3 จุดภาพโดยใช้หน้ากาก 4 รูปแบบใน 4 ทิศทาง ในการเปรียบเทียบแบบใช้การจับคู่จำนวนของเส้นที่ตรงกันและใช้ค่าขีดแบ่ง ผลที่ได้

พบว่าเมื่อกำหนดให้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 0.2 จะให้ค่า EER ที่ดีที่สุดน้อยกว่า 5% โดยเก็บข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองเองเป็นภาพแบบหมึกพิมพ์ (Ink image) ที่มีความละเอียด 100 dpi

7) Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric ของ Ajay Kumar และคณะ [7] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการทวนสอบบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือและลักษณะทางเรขาคณิตของมือร่วมกันซึ่งเป็นรูปแบบของชีวมาตรแบบมัลติโมดัล (Multimodal) ที่มีการรวมระบบที่ระดับการสกัดพีเจอร์ ซึ่งเป็นการรวมพีเจอร์ที่ได้จากลักษณะเรขาคณิตของมือและลายฝ่ามือให้เป็นพีเจอร์เวกเตอร์เดี่ยว และรวมระบบที่ระดับคะแนนการเปรียบเทียบคู่แผนแบบโดยนำคะแนนการเปรียบเทียบมารวมกัน ในการใช้ลักษณะของลายฝ่ามือนั้นมีการใช้จุดศูนย์กลางของภาพที่ผ่านการทำ Ellipse ทำการหมุนภาพ ใช้ลักษณะของลายฝ่ามือเป็นพีเจอร์โดยใช้หน้ากากขนาด 9×9 จุดภาพในการสกัดเส้นโดยมี 4 รูปแบบใน 4 ทิศทาง และแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Derivation, SD) ของแต่ละส่วนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ผลการทดลองเมื่อกำหนดให้ค่าขีดแบ่งเท่ากับ 0.9830 ได้ค่า FAR เท่ากับ 4.49% และค่า FRR เท่ากับ 2.04% ภาพที่ใช้ในการทดลองนำมาจากฐานข้อมูลของ Visgraph.[8]

8) การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ ของนายพิพัฒน์ ประทีปอมรกุล และคณะ [9] งานวิจัยนี้เสนอการศึกษาการทวนสอบบุคคล และการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือซึ่งใช้ความยาวนิ้ว ความกว้างนิ้วและความกว้างฝ่ามือ โดยผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระ ไม่จำเป็นต้องใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือโดยหาจุดอ้างอิงที่อยู่ระหว่างข้อมือและใช้วิธีการตามรอยของขอบเพื่อหาตำแหน่งของนิ้วต่างๆ โดยวัดระยะจากจุดอ้างอิงไปยังจุดที่ได้จากการตามรอยขอบนั้นๆ ผลการทดลองสำหรับการทวนสอบบุคคล ฟังก์ชันระยะทางที่ดีที่สุดคือระยะทางแบบ S_1 ซึ่งให้ค่า EER เท่ากับ 3 % และสำหรับการระบุบุคคล ฟังก์ชันระยะทางที่ดีที่สุดคือระยะทางแบบ S_1 ซึ่งมีความถูกต้องเท่ากับ 94 % และมีความผิดพลาดเพียง 6 % โดยภาพที่ใช้ในการทดลองมาจากฐานข้อมูลของ Visgraph [8]

9) Palmprint Identification using Boosting Local Binary Pattern ของ X. Wang และคณะ [10] งานวิจัยนี้เสนอการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้วิธีการ Local binary pattern คือการแปลงภาพให้เป็น 2 ระดับโดยใช้การดูฮิสโทแกรมภายในบริเวณ ในการเปรียบเทียบใช้ตัววัดระยะทางแบบ Chi-square และใช้รวมกับตัวจำแนกแบบ AdaBoost มาทำการสอนระบบ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลภาพมือจาก UST_HK ซึ่งมีการเก็บข้อมูลคล้ายกับที่งานวิจัยนี้ใช้ โดยผลของงานวิจัยนี้ระบุว่าได้ค่า EER เท่ากับ 2 เปอร์เซนต์

1.2.2 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Palmpoint Identification for a Large Database)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากต้องการลดจำนวนครั้งและลดเวลาของการเปรียบเทียบแบบซึ่งเป็นปัญหาของการระบุบุคคลที่ต้องทำการเปรียบเทียบแบบของผู้ใช้กับทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยแต่ละงานวิจัยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1) Hierarchical Palmpoint Identification via Multiple Feature Extraction ของ Jane You และคณะ [11] งานวิจัยนี้เสนอการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้การเปรียบเทียบแบบลำดับขั้น โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ระดับ มีการใช้ 2 ฟีเจอร์คือ ลักษณะพลังงานของลายผิวแบบโดยรวม (Global texture energy) และ จุดที่สนใจ (Interesting point) โดยลักษณะพลังงานของลายผิวโดยรวมถูกใช้ในการเลือกลักษณะของลายฝ่ามือที่มีความคล้ายจากฐานข้อมูลในระดับหยาบ (Coarse level) เพื่อลดจำนวนการเปรียบเทียบ ส่วนจุดที่สนใจถูกใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อหาลายฝ่ามือที่มีความคล้ายในระดับละเอียด (Fine level) ผลของงานวิจัยนี้ได้ลักษณะพลังงานของลายผิวโดยรวมสามารถลดข้อมูลของผู้ลงทะเบียนในระบบจากฐานข้อมูลได้ 91 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีที่แย่มากที่สุดสามารถลดข้อมูลของผู้ลงทะเบียนในระบบจากฐานข้อมูลได้ 72%

2) On Hierarchical Palmpoint Coding with Multiple Features for Personal Identification in Large Databases ของ Jane You และคณะ [12] งานวิจัยนี้เสนอการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้การเปรียบเทียบแบบลำดับขั้นเพื่อลดเวลาสำหรับฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ งานวิจัยนี้ได้แบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 4 ระดับและมีการหาฟีเจอร์สำหรับแต่ละระดับคือ ระยะของจุดหลัก (Key point distance) ลักษณะพลังงานของลายผิวแบบโดยรวม (Global texture energy) ลักษณะของเส้นที่สนใจแบบคลุมเครือ (Fuzzy interest line) และลักษณะทิศทางของพลังงานของลายผิวแบบท้องถิ่น (Local directional texture energy) โดยผลของงานวิจัยนี้สามารถลดข้อมูลของผู้ลงทะเบียนในระบบจากฐานข้อมูลระดับที่ 1-3 ได้ดังนี้ 9.6% 7.8% และ 60.6% ตามลำดับ

3) A Hierarchical Palmpoint Identification Method using Hand Geometry and Grayscale Distribution Features ของ Jie Wu และ Zhengding Qiu [13] งานวิจัยนี้เสนอการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้การเปรียบเทียบแบบลำดับขั้น โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 ระดับโดยระดับหยาบใช้ลักษณะทางเรขาคณิตของมือและมุมโดยใช้ k-Nearest Neighbors แบ่งกลุ่มจากฟีเจอร์ที่ได้มา จากนั้นในระดับละเอียดใช้ลักษณะของเอนโทรปี (Entropy) ในแต่ละบริเวณของภาพระดับเทาของมือเพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ ผลของงานวิจัยนี้ได้ค่าความถูกต้องในการระบุบุคคล 99.24% เมื่อใช้ 6 ตัวอย่างมาทำการสอน (Training)

1.2.3 การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือ (Palprint Classification)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือเกิดขึ้นเนื่องจากต้องการลดจำนวนการเปรียบเทียบคู่ในการระบุบุคคลโดยให้เหลือการเปรียบเทียบคู่เฉพาะในกลุ่มที่มีลักษณะที่เหมือนกันโดยในแต่ละงานวิจัยมีวิธีการดังนี้

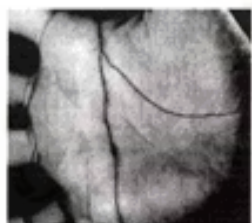
1) Palprint Classification using Principle Lines ของ Xiangqian Wu และคณะ [14] งานวิจัยนี้เสนอการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักซึ่งประกอบด้วย เส้นหัวใจ เส้นชีวิต และเส้นสมอง โดยใช้ตัวตรวจจับเส้น (Line detector) ในการสกัดเส้นหลัก โดยการหาเส้นในทุกๆ ทิศทางและใช้เทคนิค Zero-crossing ในงานวิจัยนี้แบ่งกลุ่มของฝ่ามือออกเป็น 6 กลุ่มโดยดูจากจำนวนของเส้นหลักและจำนวนของการตัดกันของเส้น ผลการทดลองได้ค่าความถูกต้อง 96.03% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบ่งกลุ่มด้วยตาคน งานวิจัยนี้ทดลองกับภาพฝ่ามือของคนในฮ่องกงจำนวน 13,800 ภาพจาก 1,380 คน โดยลักษณะของกลุ่มและการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มแสดงในรูปแบบที่ 1.1



(ก) มี 1 เส้น ขนาดข้อมูล 0.36%



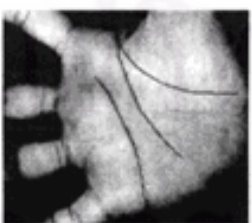
(ข) มี 2 เส้นและไม่มี การตัดกัน ขนาดข้อมูล 1.23%



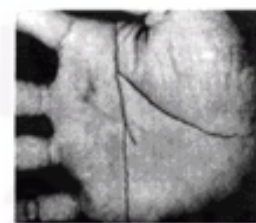
(ค) มี 2 เส้นและมีการตัดกัน 1 ครั้ง ขนาดข้อมูล 2.83%



(ง) มี 3 เส้นและไม่มี การตัดกัน ขนาดข้อมูล 11.81%



(จ) มี 3 เส้นและมีการตัดกัน 1 ครั้ง ขนาดข้อมูล 78.12%



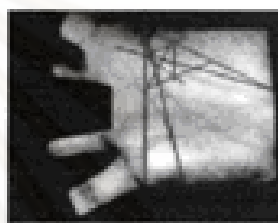
(ฉ) มี 3 เส้นและมีการตัดกันมากกว่า 1 ขนาดข้อมูล 5.56%

รูปที่ 1.1 ลักษณะที่ใช้แบ่งกลุ่มและขนาดของข้อมูลในแต่ละกลุ่มจากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14]

2) Palmprint Classification ของ Li Fang และคณะ [15] งานวิจัยนี้เสนอการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยปรับปรุงวิธีการจากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14] โดยแบ่งกลุ่มย่อยเพิ่มเติมจากข้อมูลในกลุ่มที่ 5 ในรูปที่ 1.1 (จ) จากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14] ซึ่งมีจำนวนข้อมูลภายในกลุ่มอยู่มากถึง 78.12% การแบ่งกลุ่มย่อยนี้ใช้ลักษณะทางเรขาคณิตโดยการนำจุดบนเส้นหลักและจุดบนฝ่ามือต่างๆ มาประกอบกันผลการแบ่งกลุ่มย่อยจากข้อมูลในกลุ่มที่ 5 ของ Xiangqian Wu และคณะ [14] แบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มย่อยโดยได้ขนาดของข้อมูลในแต่ละกลุ่มย่อยเป็นดังแสดงในรูปที่ 1.2



(ก) จำนวนข้อมูล 17.6%



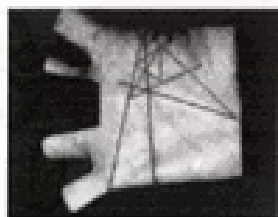
(ข) จำนวนข้อมูล 22.3%



(ค) จำนวนข้อมูล(c) 18.3%



(ง) จำนวนข้อมูล 23.1%



(จ) จำนวนข้อมูล 18.7%

รูปที่ 1.2 การแบ่งกลุ่มเพิ่มเติมจากกลุ่มที่ 5 จากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14] ออกเป็น 5 กลุ่มย่อย

1.3 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีและพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อการรู้จำลายฝ่ามือสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ภาพมือที่ใช้เป็นภาพสีแบบ RGB
2. พื้นหลังที่ใช้ในการถ่ายภาพมือของผู้ใช้มีสีดำ
3. ในการเก็บภาพมือของผู้ใช้ ระยะทางระหว่างอุปกรณ์เก็บภาพกับมือของผู้ใช้จะมีระยะทางคงที่
4. ภาพมือที่ใช้เป็นมือซ้าย
5. ภาพมือของผู้ใช้ไม่สามารถสวมเครื่องประดับใด ๆ เพราะจะมีผลต่อการหาตำแหน่งที่สำคัญบนมือ
6. ในการวางมือ ผู้ใช้ต้องหงายมือและท่อนแขนส่วนบนแนบกับลำตัว
7. นิ้วมือของผู้ใช้จะต้องไม่วางชิดติดกัน
8. ภาพที่ใช้ต้องเป็นภาพเต็มมือ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไบโอเมตริก
2. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ
3. ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพดิจิทัล
4. ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
5. ออกแบบขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในการสร้างระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ
6. ทดลองสร้างระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะของลายฝ่ามือและวัดประสิทธิภาพ
7. วิเคราะห์ผล
8. สรุปและวิจารณ์ผล
9. จัดทำรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมที่มีอยู่หรือแทนระบบรักษาความปลอดภัยเดิม เพื่อเพิ่มความเร็วในการระบุบุคคล

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว สำหรับบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 กล่าวถึงระบบชีวมาตรที่ใช้ลายฝ่ามือสำหรับการระบุ

บุคคล บทที่ 4 เป็นการทดลอง การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง และบทสุดท้ายบทที่ 5 เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชีวมาตร ความรู้เกี่ยวกับลายฝ่ามือและการประมวลผลภาพดิจิทัลมาพัฒนาระบบชีวมาตรที่ใช้ลายฝ่ามือในการระบุบุคคลซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของระบบ เช่น ขั้นตอนการเตรียมภาพเพื่อปรับปรุงข้อมูลภาพให้เหมาะสมเพื่อสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปได้ หรือใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตร ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลายฝ่ามือ และการประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital image processing and analysis)

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตร

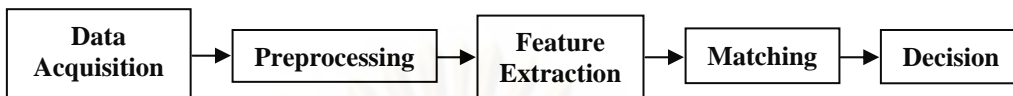
ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตรเกี่ยวข้องกับความรู้พื้นฐานที่ต้องรู้เกี่ยวกับงานด้านชีวมาตร โดยทั่วไป ได้แก่ ขั้นตอนการทำงานของระบบ ความแตกต่างกันของการระบุบุคคลและการทวนสอบบุคคล วิธีการวัดประสิทธิภาพของระบบซึ่งมีค่าศัพท์และแผนภาพต่างๆ ที่ใช้งานกันบ่อยๆ ในงานด้านนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร

ระบบชีวมาตรโดยทั่วไปจะแบ่งการทำงานออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.1 [16] โดยแต่ละขั้นตอนมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- 1) ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Data acquisition) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นเพื่อเก็บข้อมูลลักษณะทางชีวมาตรจากผู้เข้าเข้ามาในระบบโดยอาศัยอุปกรณ์รับสัญญาณหรืออุปกรณ์เก็บข้อมูลเช่น กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ เครื่องบันทึกเสียง เป็นต้น
- 2) ขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) เป็นขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลให้เหมาะสมเพื่อให้ระบบสามารถนำผลเบื้องต้นที่ได้ไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไปได้ผลดีขึ้น
- 3) ขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ (Feature extraction) เป็นขั้นตอนในการสกัดลักษณะที่สำคัญของผู้ใช้ออกจากข้อมูลและนำฟีเจอร์ที่ได้ไปเก็บไว้เป็นแผนแบบในฐานข้อมูลของผู้ใช้ในระบบหรือเพื่อนำไปทวนสอบการเข้าใช้งานระบบของผู้ใช้
- 4) ขั้นตอนการเปรียบเทียบ (Matching) เป็นขั้นตอนการนำฟีเจอร์ที่ได้จากขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์มาเปรียบเทียบกับแผนแบบของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล ผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้ได้เป็นคะแนนการเปรียบเทียบ (Matching score) เพื่อใช้วัดความแตกต่างระหว่างผู้ใช้

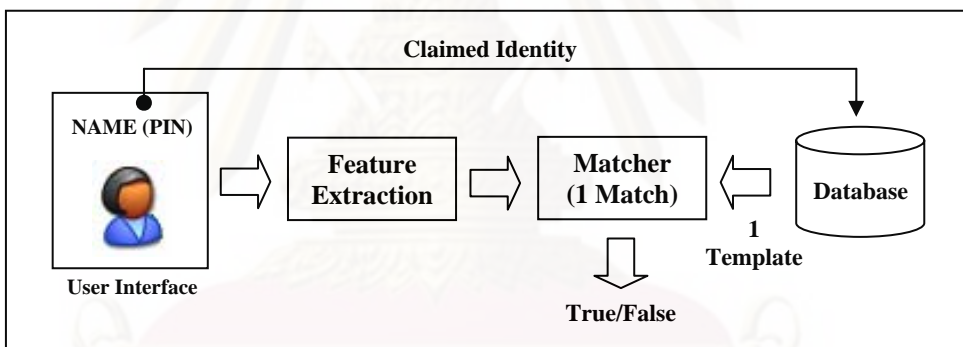
5) ขั้นตอนการตัดสินใจ (Decision) เป็นขั้นตอนที่นำคะแนนการเปรียบเทียบมาตัดสินว่า เป็นผู้ใช้ในระบบตามที่กล่าวอ้างหรือไม่ หรือตัดสินใจว่าเป็นผู้ใช้คนใดในระบบ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร

2.1.2 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการทวนสอบบุคคล

การทวนสอบบุคคล (Personal verification) คือการพิสูจน์ตัวตนของผู้ใช้ที่กล่าวอ้างว่าเป็นบุคคลนั้น โดยการนำข้อมูลที่ได้รับเข้ามาใหม่มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลของบุคคลที่ถูกกล่าวอ้าง โดยส่วนใหญ่จะกล่าวอ้างถึงโดยใช้หมายเลขประจำตัว บัตรประจำตัว หรือชื่อ จะเห็นได้ว่าการทวนสอบบุคคลนั้นเป็นการเปรียบคู่แบบหนึ่งต่อหนึ่ง กล่าวคือ มีการเปรียบคู่ข้อมูลที่ได้รับมากับข้อมูลของผู้ใช้ที่ถูกกล่าวอ้างเท่านั้น ดังนั้น การทวนสอบบุคคลจึงใช้เวลาในการประมวลผลไม่มาก ระบบชีวมาตรที่ใช้การทวนสอบบุคคลแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบชีวมาตรที่ใช้การทวนสอบบุคคล [17]

การทวนสอบสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ ให้ F_I เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ (Feature vector) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบและผู้ใช้ที่กล่าวอ้างเป็นผู้ใช้ I ดังนั้น สามารถจำแนกผลลัพธ์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ w_1 แทนการกล่าวอ้างเป็นจริง และ w_2 แทนการกล่าวอ้างเป็นเท็จ ในการทวนสอบจะเปรียบคู่ F_I กับ Y_I ซึ่งเป็นพีเจอร์เวกเตอร์ที่มาจากฐานข้อมูลของผู้ใช้ I ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 2.1

$$V(I, F_I) \in \begin{cases} w_1; & \text{if } D(F_I, Y_I) \leq T \\ w_2; & \text{otherwise} \end{cases} \dots (2.1)$$

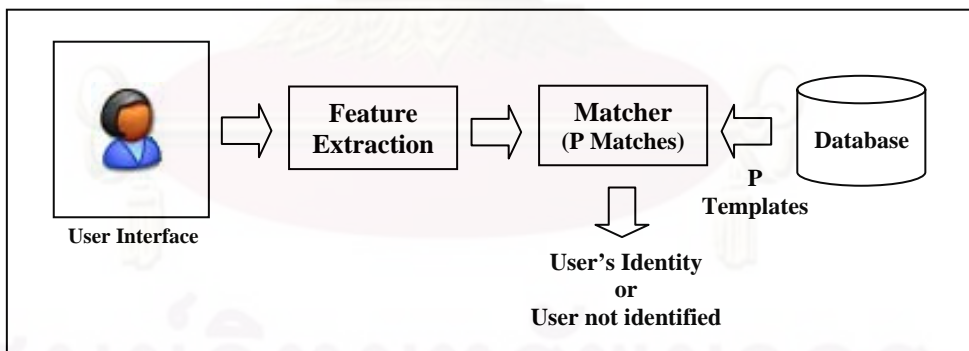
โดยที่ $D(F_i, Y_i)$ เป็นฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คำนวณ "ความแตกต่างระหว่างพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่กล่าวอ้างกับพีเจอร์เวกเตอร์ที่อยู่ในฐานข้อมูลของบุคคลที่ถูกกล่าวอ้าง"

T เป็นค่าขีดแบ่งของระบบที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

ในการวัดลักษณะทางชีวมาตร ข้อมูลลักษณะของผู้ใช้ที่ทำการทดสอบในแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งส่งผลให้คะแนนการเปรียบคู้ของผู้ใช้คนเดียวกันอาจมีค่าแตกต่างกันได้ ดังนั้น ค่าขีดแบ่งจึงมีความสำคัญในการตัดสินใจของระบบเนื่องจากระบบจะเปรียบเทียบคะแนนการเปรียบคู้กับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้า ทำให้ระบบอาจตัดสินใจให้ผู้ใช้จริงเป็นผู้บุกรุกได้หากมีคะแนนการเปรียบคู้ต่ำกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด ดังนั้น ประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้า ถ้าระบบมีการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้

2.1.3 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการระบุบุคคล

การระบุบุคคล (Personal identification) คือการรู้จำบุคคลโดยการนำข้อมูลที่ได้รับเข้ามาใหม่มาเปรียบคู้กับข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูลโดยการระบุบุคคลเป็นการเปรียบคู้แบบหนึ่งต่อมากกว่าหนึ่ง (One to many) ทำให้การระบุบุคคลใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการทวนสอบบุคคล ระบบชีวมาตรที่ใช้การระบุบุคคลแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบชีวมาตรที่ใช้การระบุบุคคล [17]

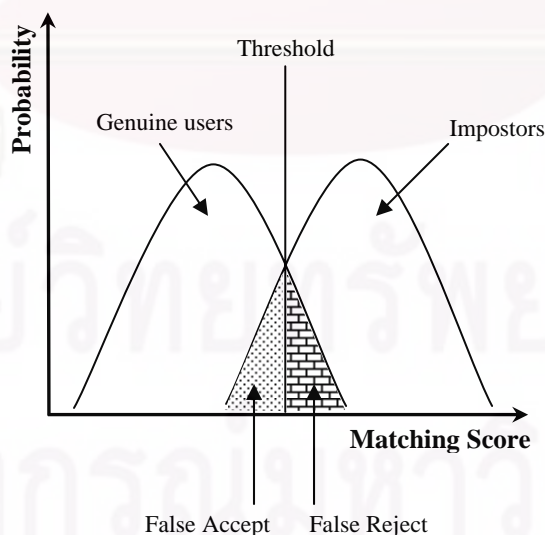
การระบุบุคคลแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ ให้ F_i เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และ I_k เป็นผู้ใช้ที่ระบบทำการระบุ ซึ่ง $k \in \{1, 2, \dots, P, P+1\}$ โดยที่ I_1, I_2, \dots, I_P แทนผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลและ I_{P+1} แทนกรณีการปฏิเสธผู้ใช้ ผลลัพธ์ของการระบุบุคคลจะแสดงดังสมการที่ 2.2

$$U(F_i) \in \begin{cases} I_k & ; \text{ if } \min_k \{D(F_i, Y_{I_k})\} \leq T; k = 1, 2, \dots, P \\ I_{P+1} & ; \text{ otherwise} \end{cases} \dots (2.2)$$

โดยที่ Y_{I_k} เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ I_k
 T เป็นค่าขีดแบ่งของระบบที่กำหนดไว้ก่อนหน้า
 $D(F_I, Y_{I_k})$ เป็นฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คำนวณความแตกต่างของฟีเจอร์เวกเตอร์ที่ทำการ
 ระบุ บุคคลกับฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูล

2.1.4 การวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร

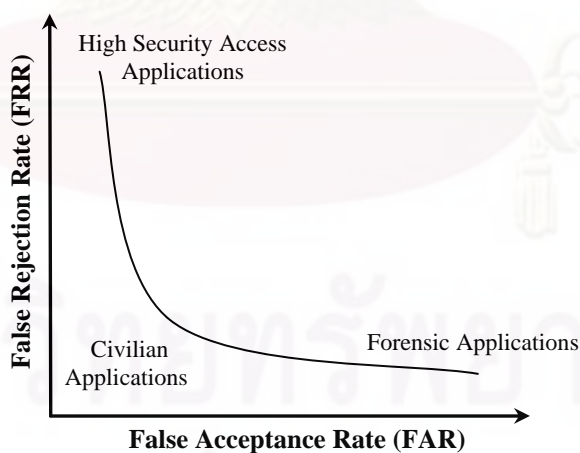
ในการวัดลักษณะของผู้ใช้คนเดียวกันเมื่อเวลาต่างกันนั้น ผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะมีค่าไม่เท่ากันได้ เนื่องมาจากลักษณะของผู้ใช้ที่ได้มานั้นไม่มักจะเหมือนกันอย่างสมบูรณ์ กล่าวคืออาจมีความแตกต่างกันได้เล็กน้อยอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อมของอุปกรณ์รับข้อมูล ลักษณะของผู้ใช้มีการเปลี่ยนแปลง หรือปัจจัยจากอุณหภูมิหรือความชื้น เป็นต้น ดังนั้นผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบหรือคะแนนการเปรียบเทียบนั้นจะถูกนำมาใช้วัดความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ป้อนเข้ามา กับข้อมูลแผ่นแบบที่เก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล โดยถ้าคะแนนการเปรียบเทียบมีค่าน้อยเท่าไร ระบบก็จะแน่ใจมากขึ้นว่าข้อมูลที่ป้อนเข้ามานั้นมาจากผู้ใช้คนเดียวกัน โดยปกติการตัดสินใจของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งของระบบซึ่งทำการกำหนดไว้ก่อนหน้า รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบ ซึ่งมาจากการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริง (Genuine users' matching score distribution) ซึ่งมาจากการเปรียบเทียบคู่ลักษณะที่มาจากผู้ใช้คนเดียวกัน และการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก (Impostors' matching score distribution) ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบคู่ลักษณะที่มาจากผู้ใช้อย่างคนกัน



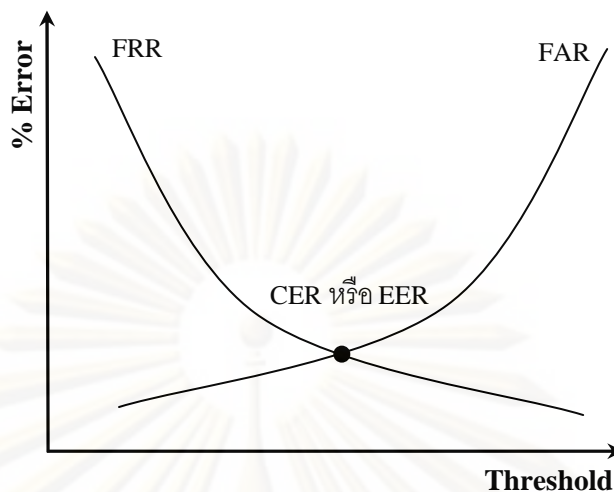
รูปที่ 2.4 การกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงและผู้บุกรุก

ระบบชีวมาตรจะมีความผิดพลาดอยู่ 2 ชนิด คือ ความผิดพลาดในการเปรียบคู่ลักษณะที่มาจากผู้ใช้คนเดียวกัน และความผิดพลาดในการเปรียบคู่ลักษณะที่มาจากผู้ใช้ต่างคนกัน ซึ่งเรียกความผิดพลาดทั้ง 2 ที่เกิดขึ้นว่าการยอมรับผิดพลาด (False accept) และการปฏิเสธผิดพลาด (False reject) โดยการยอมรับผิดพลาดเป็นความผิดพลาดที่ระบบยอมรับผู้บุกรุกเข้ามาในระบบโดยเห็นผู้บุกรุกเป็นผู้ใช้จริงในระบบ ส่วนการปฏิเสธผิดพลาดเป็นความผิดพลาดที่ระบบปฏิเสธผู้ใช้จริงเข้ามาในระบบโดยเห็นผู้ใช้จริงเป็นผู้บุกรุก

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า ถ้าทำการปรับค่าขีดแบ่ง ค่าการยอมรับผิดพลาดและค่าการปฏิเสธผิดพลาดจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับผิดพลาดและการปฏิเสธผิดพลาดจะแปรผกผันกัน ในความเป็นจริงค่าการยอมรับผิดพลาดและค่าการปฏิเสธผิดพลาดสามารถที่จะปรับให้เข้ากับการใช้งานจริงของระบบโดยทำการเปลี่ยนค่าขีดแบ่งของระบบ เช่น ถ้าปรับค่าขีดแบ่งให้เพิ่มขึ้น ระบบจะสามารถทนทานต่อความแปรปรวนของข้อมูลหรือทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น แต่ระบบก็จะมี ความผิดพลาดในการยอมรับผู้บุกรุกเข้ามาในระบบมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าปรับค่าขีดแบ่งให้ลดลง ระบบจะมีความปลอดภัยมากขึ้น แต่อาจทำให้ผู้ใช้จริงรู้สึกรำคาญเนื่องจากปฏิเสธการเข้าใช้งานของผู้ใช้เกิดได้บ่อยขึ้น รูปที่ 2.5 แสดงกราฟ ROC (Receiver Operating Characteristic) ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงประสิทธิภาพของระบบโดยรวมที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ โดยแสดงค่าระหว่าง FAR (False Acceptance Rate) กับ FRR (False Rejection Rate)



รูปที่ 2.5 กราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ



รูปที่ 2.6 กราฟแสดง CER หรือ EER ซึ่งเป็นจุดตัดกันของค่า FAR และ FRR

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบชีวมาตรโดยใช้ค่า FAR และ FRR อาจไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากระบบชีวมาตรใด ๆ นั้น ค่า FAR และ FRR จะถูกกำหนดให้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการกำหนดระดับความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ ซึ่งทำโดยการปรับเปลี่ยนค่าขีดแบ่งของระบบ ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกจึงนำค่าที่เกิดจากจุดตัดกันระหว่างกราฟของค่า FAR และ FRR มาทำการเปรียบเทียบดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FAR และ FRR กับค่าขีดแบ่งของระบบ ค่าที่จุดตัดดังกล่าวจะเรียกว่าค่า CER (Cross-over Error Rate) หรือค่า EER (Equal Error Rate) โดยค่า CER หรือค่า EER เป็นค่าความผิดพลาดของระบบที่มีค่า FAR และ FRR เท่ากันและเป็นจุดที่มีความผิดพลาดที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ ค่า FRR สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 และค่า FAR สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5-2.7

$$FRR = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i)}{N} \quad \dots (2.3)$$

$$f(x_i) = \begin{cases} 1 & ; \quad \text{if } \forall D(F_i, Y_j) > T ; j = 1, 2, \dots, P \\ 0 & ; \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (2.4)$$

โดยที่ $f(x_i)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู่ทุกค่าที่ได้จากการเปรียบคู่กับผู้ใช้ในการฐานข้อมูลทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งของระบบ

F_i เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ

Y_j	เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
T	เป็นค่าขีดแบ่งของระบบ
$D(F_i, Y_j)$	เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดระหว่างฟีเจอร์เวกเตอร์ที่นำมาทดสอบกับฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
N	เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่นำมาทดสอบ
P	เป็นจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

$$FAR = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i) + \sum_{k=1}^M g(x_k)}{N + M} \quad \dots (2.5)$$

$$f(x_i) = \begin{cases} 1 ; & \text{if } \exists \min(D(F_i, Y_j)) \leq T ; j = 1, 2, \dots, P ; i \neq j \\ 0 ; & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (2.6)$$

$$g(x_k) = \begin{cases} 1 ; & \text{if } \exists \min(D(F_k, Y_j)) \leq T ; j = 1, 2, \dots, P \\ 0 ; & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (2.7)$$

โดยที่ $f(x_i)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบคู่ผู้ใช้ในระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งเป็นผู้ใช้คนละคนกันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

$g(x_k)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบคู่ผู้ใช้นอกระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

F_i เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ

Y_j เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

F_k เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้นอกระบบและถูกนำมาทดสอบ

N เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

M เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้นอกระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

P เป็นจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลายฝ่ามือ [3]

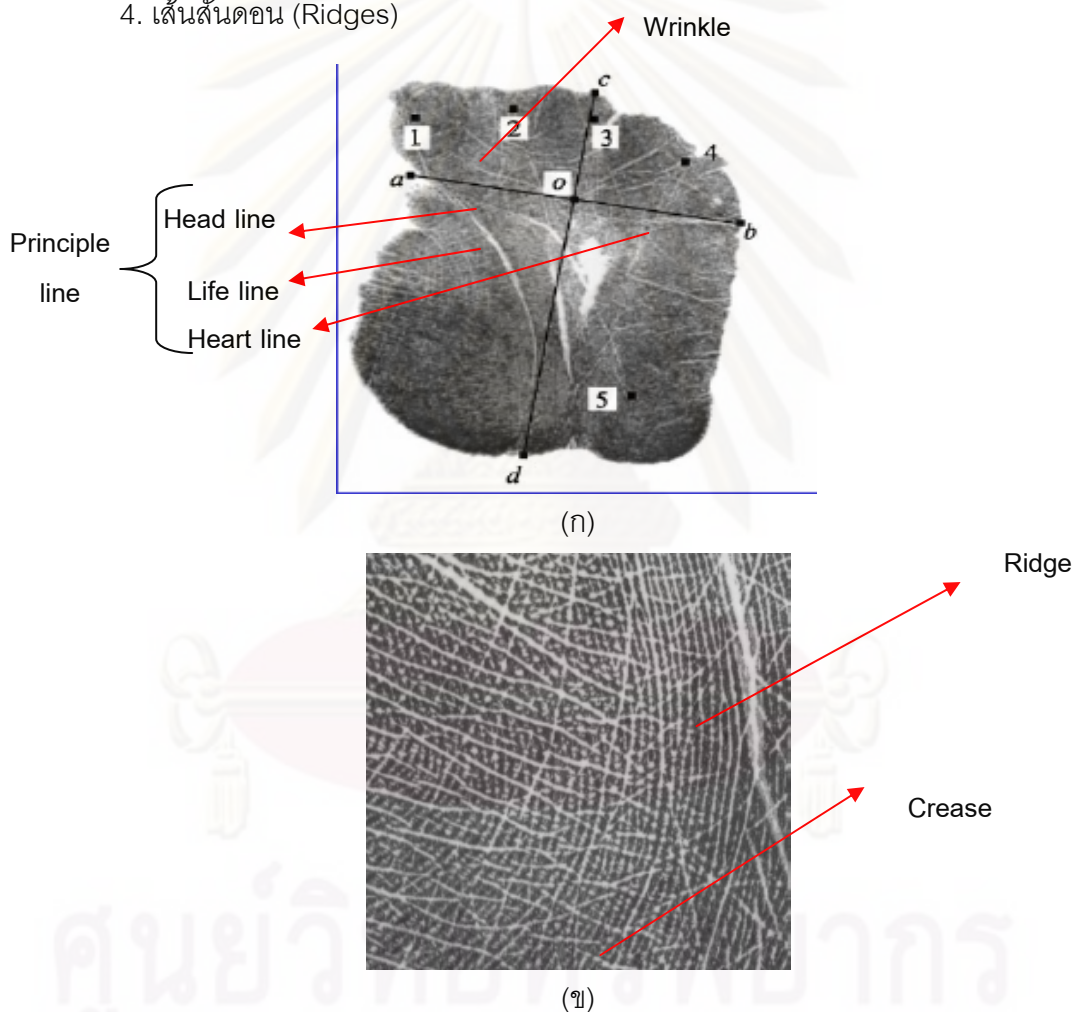
ลายฝ่ามือ (Palmprint) คือบริเวณพื้นผิวของมือที่อยู่ระหว่างข้อมือ (Wrist) กับนิ้วมือ (Finger) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 (ก) และ (ข) ซึ่งประกอบด้วย

1. เส้นหลัก (Principle lines) คือเส้นที่มีตำแหน่งและรูปร่างที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเป็นเส้นที่มีความชัดเจน โดยในทางทฤษฎีจะประกอบด้วย 3 เส้นคือ เส้นชีวิต (Life line) เส้นหัวใจ (Heart line) และเส้นสมอง (Head line)

2. รอยยับหรือรอยย่น (Wrinkles) เป็นเส้นที่มีอยู่จำนวนมากบนฝ่ามือและมีลักษณะขนาดที่ผอมและสั้นกว่าเส้นหลัก มีความไม่สม่ำเสมอของเส้นและมีความโค้งที่ต่างจากเส้นหลัก

3. รอยริ้วหรือรอยพับ (Creases) เป็นรอยละเอียดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากคล้ายกับสันดอน (Ridges) ในลายนิ้วมือ

4. เส้นสันดอน (Ridges)



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงลายละเอียดบนฝ่ามือ

2.3 การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Processing and Analysis)

การประมวลผลภาพดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จะใช้ในการทำงานในขั้นตอนการเตรียมภาพของระบบไบโอเมตริก โดยนำการประมวลผลภาพดิจิทัลมาปรับปรุงภาพที่ได้มาจากระบบขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถสกัดลักษณะที่สำคัญของผู้ใช้ออกจากภาพ

ได้อย่างถูกต้อง และใช้ในการสกัดพีเจอร์ของผู้ใช้และนำพีเจอร์ที่ได้ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับแผ่นแบบของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัลดังต่อไปนี้

2.3.1 การหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

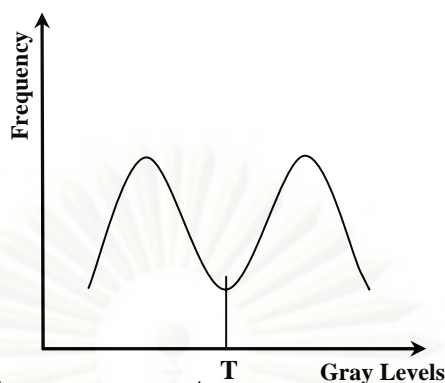
การหาค่าขีดแบ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) โดยอาศัยค่าความเข้มแสงหรือค่าระดับเทา ภาพที่จะนำมาทำการหาค่าขีดแบ่งนั้นต้องเป็นภาพระดับเทา การหาค่าขีดแบ่งเป็นการแบ่งจุดภาพในภาพออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของจุดภาพที่เป็นสีดำและกลุ่มของจุดภาพที่เป็นสีขาว

สมมติให้ $f(x, y)$ เป็นฟังก์ชันแทนค่าระดับเทาของภาพ ณ ตำแหน่งจุดภาพ (x, y) จากนั้นกำหนดค่าขีดแบ่ง T โดยถ้าค่าระดับเทาในภาพที่ตำแหน่ง (x, y) ใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง T จะแทนจุดภาพนั้นด้วยค่าระดับเทาที่มีค่าเท่ากับ 1 และถ้าค่าระดับเทาในภาพที่ตำแหน่ง (x, y) ใด ๆ ในภาพมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง T จะแทนจุดภาพนั้นด้วยค่าระดับเทาที่มีค่าเท่ากับ 0 โดยค่าระดับเทาที่มีค่าเป็น 0 แทนสีดำซึ่งเป็นส่วนพื้นหลังของภาพและค่าระดับเทาที่มีค่าเป็น 1 แทนสีขาวซึ่งเป็นส่วนของวัตถุที่สนใจ การหาค่าขีดแบ่งแสดงดังสมการที่ 2.8

$$g(x, y) = \begin{cases} 1; & \text{if } f(x, y) \geq T \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (2.8)$$

2.3.2 การหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ โดยใช้วิธี Otsu

ในการหาค่าขีดแบ่ง ปัญหาที่สำคัญคือการเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ซึ่งในแต่ละภาพนั้นจะมีค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมไม่เท่ากันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น แสงเงาที่แตกต่าง สภาพแวดล้อมต่างกัน เป็นต้น ทำให้เกิดความยุ่งยากแก่ผู้ใช้ในการเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ถึงแม้ว่าในงานบางชนิด ภาพที่ใช้จะมีสภาพแวดล้อมเดียวกันและมีการกำหนดค่าขีดแบ่งตายตัวก็ตาม แต่ในการใช้งานจริง ค่าขีดแบ่งที่ได้ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ดังนั้น N. Otsu จึงได้คิดค้นวิธีที่จะช่วยผู้ใช้ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ [18]



รูปที่ 2.8 ฮิสโทแกรมที่มีลักษณะเป็นทวิฐานนิยม

หลักการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ โดยวิธีของ Otsu นั้น ใช้สมมติฐานว่าภาพที่จะนำมาใช้หาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัตินั้นจะต้องมีฮิสโทแกรมที่มีลักษณะเป็นทวิฐานนิยม (Bimodal) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.8 วิธีการนี้ใช้ความรู้ทางสถิติในการหาค่าขีดแบ่ง โดยสมมติให้ฮิสโทแกรมแทนด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็น P โดยที่ $P(0) \dots P(I)$ แทนความน่าจะเป็นของฮิสโทแกรมที่จะเกิดค่าระดับเทาตั้งแต่ค่า $0 \dots I$ ถ้าฮิสโทแกรมที่ได้จากภาพมีลักษณะเป็นทวิฐานนิยม ค่าขีดแบ่งที่ใช้แบ่งกลุ่มค่าระดับเทาของฮิสโทแกรมออกเป็น 2 กลุ่มคือค่า t โดยที่สามารถคำนวณค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มได้จากค่าความแปรปรวนของกลุ่มที่มีค่าระดับเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับ t กับค่าความแปรปรวนกลุ่มที่มีค่าระดับเทามากกว่า t ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่าอยู่ระหว่างฐานนิยมทั้งสองและมีค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มน้อยที่สุด

ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ ค่าความแปรปรวนของภาพหาได้จากสมการที่ 2.9 ซึ่งเกิดจากค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มและค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

$$\sigma^2 = \sigma_w^2(t) + \sigma_b^2(t) \quad \dots (2.9)$$

โดยที่ σ^2 เป็นค่าความแปรปรวนของภาพ

$\sigma_w^2(t)$ เป็นค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม

$\sigma_b^2(t)$ เป็นค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

จากสมการที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนของภาพเป็นค่าคงที่และไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่ง t ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ การคำนวณค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีความซับซ้อนน้อยกว่าการคำนวณค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม ดังนั้นค่าขีดแบ่ง t ที่เหมาะสมสามารถหาได้จากค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่มีค่ามากที่สุด โดยการคำนวณค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มหาได้จากสมการที่ 2.10

$$\sigma_B^2(t) = q_1(t)[1 - q_1(t)][\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2 \quad \dots (2.10)$$

ในการคำนวณ $q_1(t)$ $\mu_1(t)$ และ $\mu_2(t)$ สามารถคำนวณหาเป็นฟังก์ชันเวียนเกิด (Recursive function) ได้ดังสมการที่ 2.11-2.14

$$q_1(t+1) = q_1(t) + P(t+1) \quad \dots (2.11)$$

$$\mu_1(t+1) = \frac{q_1(t)\mu_1(t) + (t+1)P(t+1)}{q_1(t+1)} \quad \dots (2.12)$$

$$\mu_2(t+1) = \frac{\mu - q_1(t+1)\mu_1(t+1)}{1 - q_1(t+1)} \quad \dots (2.13)$$

$$\mu = \sum_{i=1}^I iP(i) \quad \dots (2.14)$$

โดยที่ $q_1(t)$ เป็นความน่าจะเป็นของกลุ่มที่มีค่าระดับเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง t
 $\mu_1(t)$ เป็นค่าเฉลี่ยค่าระดับเทาของกลุ่มแรก
 $\mu_2(t)$ เป็นค่าเฉลี่ยค่าระดับเทาของกลุ่มที่สอง
 μ เป็นค่าเฉลี่ยของค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับ
 $P(i)$ ความน่าจะเป็นของฮิสโทแกรมที่ค่าระดับเทาเท่ากับ i

2.3.3 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological Image Processing)

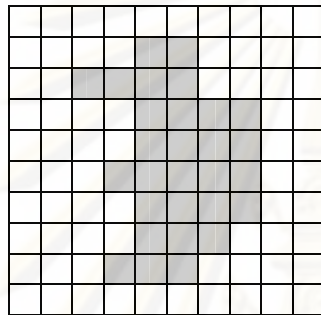
การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานเป็นวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งช่วยในการแสดงและอธิบายส่วนประกอบต่าง ๆ ของวัตถุในภาพเช่น พื้นที่ โครงร่าง (Skeleton) ส่วนเว้า และส่วนโค้ง [19] ในการประมวลผลภาพเชิงสัณฐานจะใช้ทฤษฎีของเซต (Set theory) ซึ่งเป็นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ในการประมวลผล ในงานวิจัยนี้จะใช้การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานกับภาพลักษณะฐานสองเท่านั้น ตัวดำเนินการ (Operator) ที่ใช้ในการประมวลผลภาพเชิงสัณฐานมีดังต่อไปนี้

1) การขยายขนาด (Dilation)

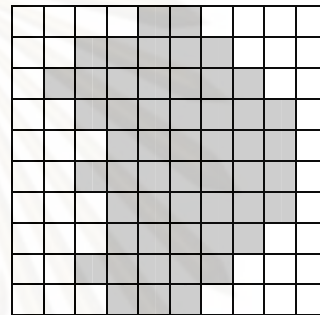
การขยายขนาดเป็นตัวดำเนินการพื้นฐานของการประมวลผลภาพเชิงสัณฐานซึ่งใช้ในการเชื่อมวัตถุสองวัตถุที่อยู่ใกล้กันหรือขาดออกจากกันและใช้ในการปิดรูหรือกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กน้อยในภาพซึ่งเกิดจากการหาค่าขีดแบ่งในการแปลงภาพให้เป็นภาพลักษณะฐานสอง การขยายขนาดจะแสดงดังสมการที่ 2.15

$$A \oplus B = \left\{ z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset \right\} \quad \dots (2.15)$$

- โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ
 B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ
 z เป็นตำแหน่งที่ใช้ในการเลื่อนสมาชิกโครงสร้าง
 \hat{B} เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ถูกพลิกกลับหัว

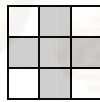


(ก) ภาพต้นฉบับ



(ค) ภาพผลลัพธ์ที่ทำการขยาย

ขนาด



(ข) สมาชิกโครงสร้าง

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างภาพในการขยายขนาด

จากสมการที่ 2.15 พบว่าในการขยายขนาดจะมีสมาชิกโครงสร้าง (Structure element) มาดำเนินการกับภาพ ซึ่งจะทำให้การเลื่อน (Translation) สมาชิกโครงสร้างไปบนภาพโดยใช้จุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างเป็นจุดหลักแล้วทำการขยายขนาดตามสมการที่ 2.15 กระบวนการขยายขนาดมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เมื่อจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างอยู่ส่วนใด ๆ ในภาพซึ่งไม่อยู่ตรงบริเวณของวัตถุจะไม่ดำเนินการใด ๆ และทำการเลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
- 2) เมื่อจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับบริเวณของวัตถุจะดำเนินการด้วยตัวดำเนินการทางตรรกะ OR ระหว่างวัตถุกับสมาชิกโครงสร้าง ณ ตำแหน่งที่ตรงกับบริเวณของวัตถุ

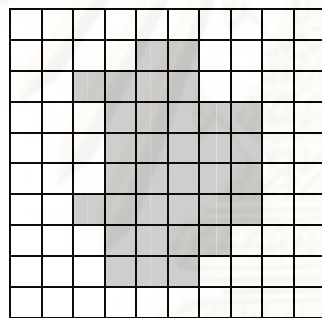
ตัวอย่างการขยายขนาดแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยรูปที่ 2.9(ก) เป็นภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.9(ข) เป็นสมาชิกโครงสร้างที่มาดำเนินการกับภาพและรูปที่ 2.9(ค) เป็นภาพที่ทำการขยายขนาดแล้ว

2) การกร่อน (Erosion)

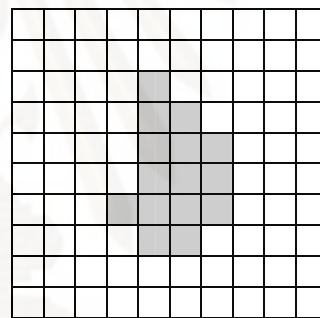
การกร่อนเป็นตัวดำเนินการพื้นฐานของการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณเช่นเดียวกับการขยายขนาด ซึ่งใช้ในการลดขนาดวัตถุให้เล็กลงหรือใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กน้อยในภาพ การกร่อนจะแสดงดังสมการที่ 2.16

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad \dots (2.16)$$

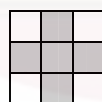
โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ
 B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ
 z เป็นตำแหน่งที่ใช้ในการเลื่อนสมาชิกโครงสร้าง



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ค) ภาพผลลัพธ์ที่ทำการกร่อน



(ข) สมาชิกโครงสร้าง

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างภาพในการกร่อน

ขั้นตอนการกร่อนมีลักษณะเช่นเดียวกับการขยายขนาด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เมื่อจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างอยู่ส่วนใด ๆ ในภาพซึ่งไม่อยู่ตรงบริเวณของวัตถุจะไม่ดำเนินการใด ๆ และทำการเลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
- 2) เมื่อจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับบริเวณของวัตถุ จะทำการพิจารณาว่าจุดภาพของสมาชิกโครงสร้างทุกจุดตรงกับจุดภาพของวัตถุหรือเป็นซัพเซต (Subset)

ของวัตถุหรือไม่ ถ้าจุดภาพตรงกันทุกจุดจะให้จุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างเป็นบริเวณของวัตถุ แต่ถ้าจุดภาพไม่ตรงกันทุกจุดจะให้เป็นบริเวณพื้นหลังของวัตถุ ตัวอย่างการกร่อนแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยรูปที่ 2.10(ก) เป็นภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.10(ข) เป็นสมาชิกโครงสร้างที่มาดำเนินการกับภาพและรูปที่ 2.10(ค) เป็นภาพที่ทำการกร่อนแล้ว

3) การเปิด (Opening)

การเปิดเป็นการนำตัวดำเนินการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมารวมกัน ซึ่งใช้ในการปรับเรียบขอบที่มีลักษณะเป็นหลุม การเปิดแสดงดังสมการที่ 2.17

$$A \bullet B = (A \ominus B) \oplus B \quad \dots (2.17)$$

โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ

B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

4) การปิด (Closing)

การปิดเป็นการนำตัวดำเนินการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมารวมกัน เช่นเดียวกับการเปิด ซึ่งใช้ในการปรับเรียบขอบที่มีลักษณะเป็นเนิน การปิดแสดงดังสมการที่ 2.18

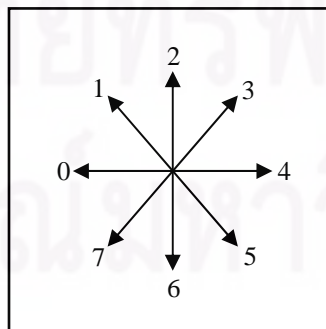
$$A \circ B = (A \oplus B) \ominus B \quad \dots (2.18)$$

โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ

B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

2.3.4 การตามรอยขอบด้วยรหัสลูกโซ่ (Chain Code Border Tracing)

การตามรอยขอบเป็นวิธีการในการหาขอบเขตของวัตถุในภาพ ในงานวิจัยนี้จะใช้รหัสลูกโซ่ ในการตามรอยขอบ ซึ่งรหัสลูกโซ่จะทำการแบ่งจุดภาพข้างเคียงออกเป็นทิศทั้งหมด 8 ทิศ และกำหนดหมายเลขให้กับแต่ละทิศ ทิศ 8 ทิศของรหัสลูกโซ่แสดงในรูปที่ 2.11 [20]



รูปที่ 2.11 หมายเลขทิศของรหัสลูกโซ่

ในการเปลี่ยนทิศของรหัสลูกโซ่จะทำการเปลี่ยนตามเข็มนาฬิกา การตามรอยขอบด้วยรหัสลูกโซ่มีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาดำแหน่งเริ่มต้นของขอบของวัตถุโดยการค้นหาขอบในภาพจากบนลงล่างและซ้ายไปขวา
- 2) กำหนดทิศเริ่มต้นเป็นทิศหมายเลข '0'
- 3) เปลี่ยนทิศตามเข็มนาฬิกาไปจนกว่าจะเจอจุดภาพของวัตถุ
- 4) เปลี่ยนตำแหน่งจุดภาพใหม่ไปยังจุดภาพของวัตถุที่เจอ
- 5) เปลี่ยนหมายเลขทิศเป็นทิศตรงกันข้าม เช่น ทิศหมายเลข '1' เป็น '5'
- 6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3-5 ใหม่จนกระทั่งกลับมายังจุดภาพเริ่มต้นหรือจุดภาพสุดท้ายที่กำหนด

2.3.5 การสเกลภาพ (Image Scaling)

การสเกลภาพเป็นการขยายหรือหดขนาดของภาพโดยการชักตัวอย่าง (Sampling) จากภาพต้นฉบับ ทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงตามต้องการ โดยที่การขยายขนาดของภาพเป็นการชักตัวอย่างเกิน (Over sampling) และการหดขนาดของภาพเป็นการชักตัวอย่างขาด (Under sampling) การสเกลภาพประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การสร้างตำแหน่งจุดภาพใหม่ และการกำหนดค่าระดับเทาให้กับจุดภาพ ณ ตำแหน่งใหม่เหล่านั้น

ยกตัวอย่างเช่น มีภาพต้นฉบับขนาด 100×100 จุดภาพ ต้องการขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิมเป็น 200×200 จุดภาพ ขั้นตอนแรกคือการสร้างภาพเปล่าที่มีขนาด 200×200 จุดภาพขึ้นมาก่อนจากนั้นจึงกำหนดค่าระดับเทาให้กับจุดภาพแต่ละจุดซึ่งมีหลายวิธีการ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันได้แก่การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ (Bilinear interpolation) โดยจะใช้จุด 4 จุดใกล้เคียงกับจุดที่สนใจมาช่วยในการประมาณค่า

2.3.6 การปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน

ในการประมวลผลภาพดิจิทัล ภาพที่นำมาประมวลผลแต่ละภาพอาจมีระดับความเข้มแสงไม่เท่ากันเนื่องจากสภาพแวดล้อมของบริเวณที่ทำการเก็บภาพเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องในการประมวลผลภาพดิจิทัลเพราะใช้ค่าความเข้มแสงของภาพในการประมวลผล ดังนั้นควรมีการปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อนนำภาพมาประมวลผล วิธีการปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันแสดงดังสมการที่ 2.20 และ 2.21

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad \dots (2.20)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d(I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad \dots (2.21)$$

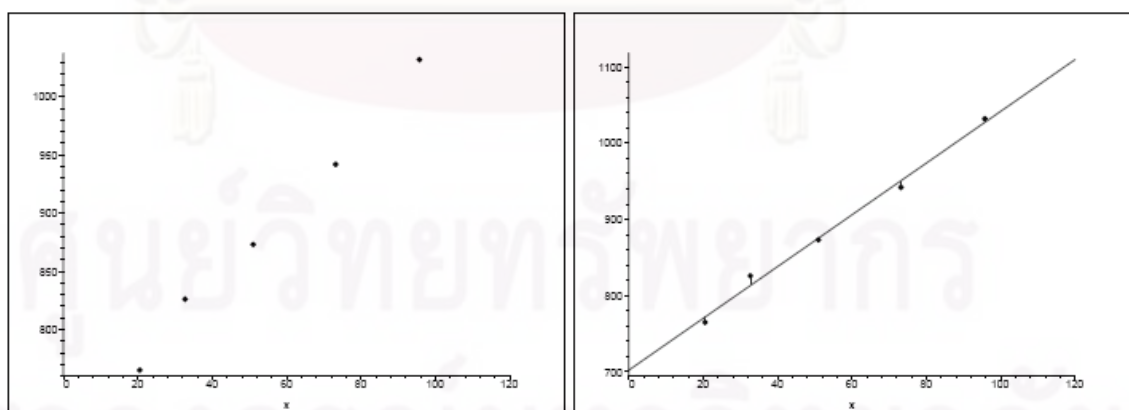
โดยที่ $I'(x, y)$ เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว
 ϕ_d และ ρ_d เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ
 ϕ และ ρ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ
 $I(x, y)$ เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x, y)

2.3.7 การประมาณเส้นโค้งที่เหมาะสมด้วยวิธี Least squares (Curve Fitting with Least square Method) [22]

การประมาณเส้นโค้งที่เหมาะสมด้วยวิธี Least square เป็นการนำเอาชุดข้อมูลมาทำการประมาณด้วยสมการต่าง ๆ ที่เหมาะสมโดยมีวิธีการดังนี้

สมมติให้ (x_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ เป็นชุดข้อมูลที่เราทราบเราต้องการหาฟังก์ชัน $y = f(x)$ ที่ผ่านชุดข้อมูลดังกล่าว ตัวอย่างเช่นเรามีชุดข้อมูลดังตาราง และต้องการหาเส้นตรงที่ผ่านชุดข้อมูลดังกล่าวดังรูปที่ 2.12

i	1	2	3	4	5
x_i	20.5	32.7	51.0	73.2	95.7
Y_i	765	826	873	942	1032



รูปที่ 2.12. ตัวอย่าง Curve fitting

สูตรสมการเส้นตรงใดๆ คือ $y = ax + b$ ดังนั้นการหาค่าของ a , b ที่ทำให้สมการเส้นตรงนี้ผ่านย่านของชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด

พิจารณาสำหรับแต่ละจุด (x_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ ที่โจทย์กำหนดมาให้ เราต้องการหาฟังก์ชันที่อยู่ในรูป $y(x) = ax + b$ ที่ผ่านย่านของชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงที่สุด จากตัวอย่างข้างต้นทราบว่า

$$y(x) = 702.2 + 3.4x$$

เพื่อความสะดวกในการเขียนกำหนดให้ $y_i = y(x_i)$ และ error สำหรับแต่ละ $i = 1, 2, \dots, n$ คือ

$$|Y_i - y_i| = \varepsilon_i$$

สิ่งที่เราต้องการคือ สำหรับแต่ละ $i = 1, 2, \dots, n$

$$\varepsilon_i \approx 0$$

และเราจะมีวิธีในการแก้ปัญหาข้างต้นดังต่อไปนี้

- วิธี Least squares

วิธี Least squares คือต้องการหา a, b ของ

$$y(x) = ax + b$$

ที่ทำให้ R มีค่าน้อยที่สุด โดยที่

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - y(x_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - ax_i - b)^2 \end{aligned}$$

โดยที่โจทย์กำหนด (x_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ มาให้ จะเห็นได้ว่า R เป็นฟังก์ชันของตัวแปร a และ b

$$R := R(a, b)$$

เราสามารถหาค่า Minimum ของ R ได้จากเงื่อนไข

$$\frac{\partial R}{\partial a} = 0$$

$$\frac{\partial R}{\partial b} = 0$$

จากสมการข้างต้น x_i, Y_i , $i = 1, 2, \dots, n$ เป็นค่าคงที่และได้ว่า

$$\frac{\partial R}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \left(\sum_{i=1}^n (Y_i - ax_i - b)^2 \right) = \sum_{i=1}^n 2(Y_i - ax_i - b)(-x_i) = 0$$

$$\frac{\partial R}{\partial b} = \frac{\partial}{\partial b} \left(\sum_{i=1}^n (Y_i - ax_i - b)^2 \right) = \sum_{i=1}^n 2(Y_i - ax_i - b)(-1) = 0$$

จัดรูปใหม่ได้ว่า

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i Y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n Y_i$$

ซึ่งเป็นระบบสมการเชิงเส้นสองสมการ สองตัวแปรคือ a และ b

- หลังจากหาคำตอบของระบบสมการนี้
- แล้วนำเอาคำตอบที่ได้ไปแทนลงใน $y(x) = ax + b$
- ก็จะได้สมการเส้นตรงที่เราต้องการ

จากตัวอย่างข้างต้นเราสามารถสร้างตารางเพื่อความสะดวกในการคำนวณ

i	x_i	Y_i	x_i^2	$x_i Y_i$
1	20.5	765	420.25	15682.5
2	32.5	826	1069.29	27010.2
3	51.0	873	2601.00	44523.0
4	73.2	942	5358.24	68954.4
$n = 5$	95.7	1032	9158.49	98762.4
Σ	273.1	4438	18607.27	254932.5

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i Y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n Y_i$$

แทนค่าจากตารางได้ว่า

$$18607.27a + 273.1b = 254932.5$$

$$273.1a + 5b = 4438$$

$$18607.27a + 273.1b = 254932.5$$

$$0.99169518b = 696.34065$$

$$a = 3.3944624 \approx 3.394$$

$$b = 702.17206 \approx 702.2$$

ดังนั้นฟังก์ชันที่ต้องการคือ $y = 3.394x + 702.2$

2.3.8 ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter) [23]

ตัวกรองกาบอร์คือตัวกรองแถบความถี่ชนิดหนึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ สัญญาณรูปซายน์เชิงซ้อน (Complex sinusoid) และฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian function) โดยมีสมการ 2 มิติบนโดเมนอวกาศ (Space domain) ดังนี้

$$g(x, y) = s(x, y)w_r(x, y) \quad \dots (2.22)$$

เมื่อ $s(x, y)$ คือสัญญาณรูปซายน์เชิงซ้อนหรือเรียกว่าพาหะ (Carrier)

$w_r(x, y)$ คือฟังก์ชันเกาส์เซียน 2 มิติ หรือเรียกว่าตัวลู่หุ้ม (Envelope)

1. พาหะสัญญาณรูปซายน์เชิงซ้อน (Complex sinusoid carrier)

พาหะสัญญาณรูปซายน์เชิงซ้อนถูกนิยามได้ดังสมการ

$$s(x, y) = \exp(j(2\pi(u_0x + v_0y) + P)) \quad \dots (2.23)$$

เมื่อ (u_0, v_0) คือ ความถี่เชิงพื้นที่ (Spatial frequency)

P คือเฟสของสัญญาณรูปซายน์

โดยสัญญาณรูปซายน์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนจริง (Real part) และส่วนจินตภาพ (Imaginary part) โดยมีสมการดังนี้

$$\text{Re}(s(x, y)) = \cos(2\pi(u_0x + v_0y) + P) \quad \dots (2.24)$$

$$\text{Im}(s(x, y)) = \sin(2\pi(u_0x + v_0y) + P)$$

เมื่อ u_0 และ v_0 คือความถี่เชิงพื้นที่ของสัญญาณรูปซายน์ในระบบพิกัดเชิงเส้น (Cartesian coordinate)

โดยความถี่เชิงพื้นที่สามารถอธิบายให้ชัดเจนได้ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate) โดยมีค่า F_0 คือขนาด (Magnitude) และค่า ω_0 คือทิศทาง (Direction) โดยมีสมการดังนี้

$$F_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$$

$$\omega_0 = \tan^{-1}\left(\frac{v_0}{u_0}\right)$$

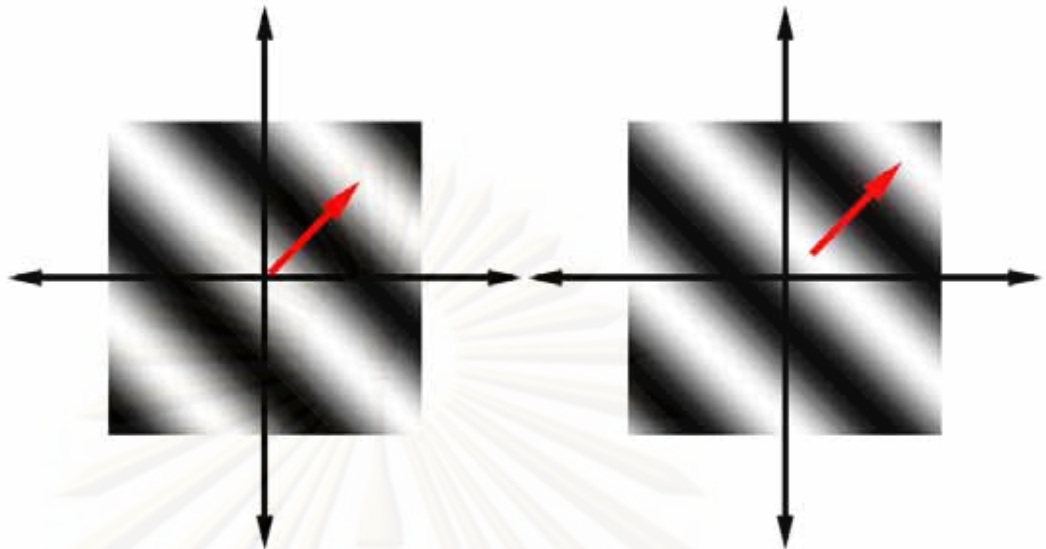
โดยที่

$$u_0 = F_0 \cos \omega_0$$

$$v_0 = F_0 \sin \omega_0$$

โดยจากค่า F_0 และ ω_0 สามารถเขียนสมการของสัญญาณรูปซายน์เชิงซ้อนได้ดังนี้

$$s(x, y) = \exp(j(2\pi F_0(x \cos \omega_0 + y \sin \omega_0) + P)) \quad \dots (2.25)$$



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสัญญาณรูปไซน์เชิงซ้อนโดยภาพมีขนาด 128×128 จุดภาพและ $u_0 = v_0 = \frac{1}{80}$ cycles/pixel และ $P = 0$ องศา

2. ลังหุ้มเกาส์เซียน (Gaussian envelope)

$$w_r(x, y) = K \exp(-\pi(a^2(x - x_0)_r^2 + b^2(y - y_0)_r^2)) \quad \dots (2.26)$$

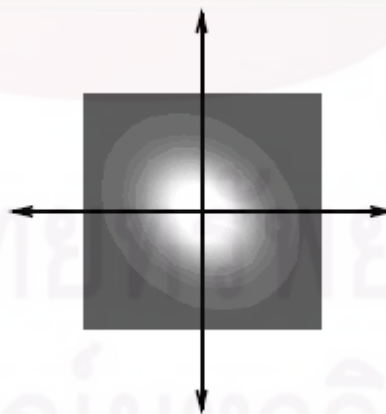
เมื่อ (x_0, y_0) คือตำแหน่งของจุดสูงสุดของฟังก์ชันเกาส์เซียน

a และ b คือขนาดของฟังก์ชันเกาส์เซียนใน 2 แกน

r คือแสดงการดำเนินการในการหมุน

$$(x - x_0)_r = (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta$$

$$(y - y_0)_r = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta$$



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะตัวลังหุ้มเกาส์เซียน โดยภาพมีขนาด 128×128 จุดภาพและมีค่าตัวแปรดังนี้ $x_0 = y_0 = 0$, $a = \frac{1}{50}$ จุดภาพ, $b = \frac{1}{40}$ จุดภาพและ $\theta = -45$ องศา

3. ฟังก์ชันกาบอร์เชิงซ้อน (The complex Gabor function)

ฟังก์ชันกาบอร์เชิงซ้อนจะประกอบด้วยตัวแปร 9 ตัวดังนี้

- K คือระดับขนาดของฟังก์ชันเกาส์เซียน
- (a, b) คือขนาดของฟังก์ชันเกาส์เซียนใน 2 แกน
- θ คือทิศทางของฟังก์ชันเกาส์เซียน
- (x_0, y_0) คือตำแหน่งของจุดสูงสุดของฟังก์ชันเกาส์เซียน
- (u_0, v_0) คือความถี่เชิงพื้นที่ของพาหะสัญญาณรูปซายน์ในพิกัดเชิงเส้น
- P คือเฟสของพาหะรูปซายน์

โดยในฟังก์ชันกาบอร์เชิงซ้อนจะประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันคือส่วนจริงและส่วนจินตภาพของฟังก์ชันกาบอร์เชิงซ้อน โดยสมการของกาบอร์เชิงซ้อนในโดเมนอวกาศ (Space domain) ดังนี้

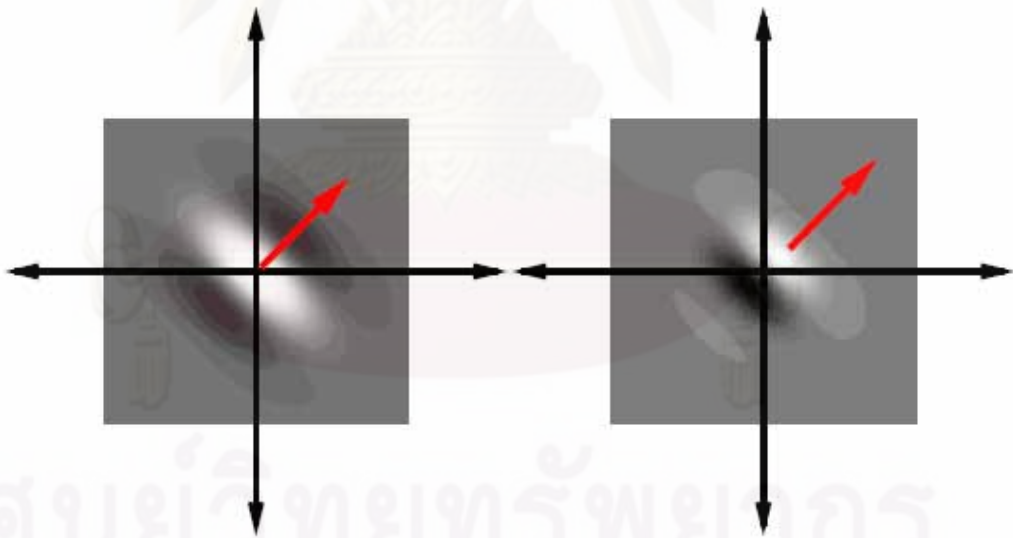
$$g(x, y) = K \exp(-\pi(a^2(x-x_0)_r^2 + b^2(y-y_0)_r^2)) \exp(j(2\pi(u_0x + v_0y) + P)) \dots (2.27)$$

และสมการของกาบอร์เชิงซ้อนในระบบพิกัดเชิงขั้ว

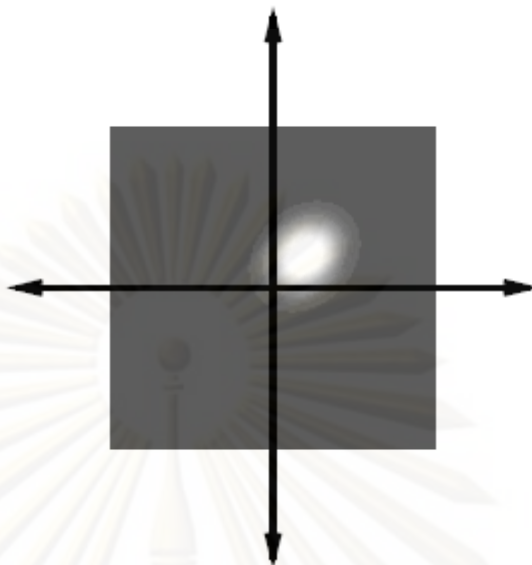
$$g(x, y) = K \exp(-\pi(a^2(x-x_0)_r^2 + b^2(y-y_0)_r^2)) \exp(j(2\pi F_0(x \cos \omega_0 + y \sin \omega_0) + P)) \dots (2.28)$$

และสมการ 2 มิติในการแปลงแบบฟูรีเยร์ของตัวกาบอร์ เป็นดังนี้

$$\hat{g}(u, v) = \frac{K}{ab} \exp(j(-2\pi(x_0(u-u_0) + y_0(v-v_0)) + P)) \exp\left(-\pi\left(\frac{(u-u_0)_r^2}{a^2} + \frac{(v-v_0)_r^2}{b^2}\right)\right) \dots (2.29)$$



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างส่วนจริงและส่วนจินตภาพของฟังก์ชันกาบอร์เชิงซ้อน โดยภาพมีขนาด 128×128 จุดภาพและมีค่าตัวแปรดังนี้ $x_0 = y_0 = 0$, $a = 1/50$ จุดภาพ, $b = 1/40$ จุดภาพ, $\theta = -45$ องศา, $F_0 = \sqrt{2}/80$ cycles/pixel, $\omega_0 = 45$ องศา และ $P = 0$ องศา



รูปที่ 2.16 แสดงการแปลงแบบฟูเรียร์ของตัวกรอง โดยที่มีตำแหน่งของจุดสูงสุดในความถี่เชิงพื้นที่ $u_p = v_p = 1/80$ cycles/pixel และมีค่าของตัวแปรดังนี้ $x_0 = y_0 = 0$, $a = 1/50$ จุดภาพ, $b = 1/40$ จุดภาพ, $\theta = -45$ องศา, $F_0 = \sqrt{2}/80$ cycles/pixel, $\omega_0 = 45$ องศา และ $P = 0$ องศา

แต่ข้อเสียของตัวกรองกบอร์คือลักษณะของตัวกรองกบอร์สามารถเกิดความไม่เป็นศูนย์ที่องค์ประกอบของความถี่ที่ศูนย์ (Non-zeros DC Component) ซึ่งทำให้ย่านความถี่ที่ศูนย์หรือก็คือลักษณะที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงในภาพ ส่วนมากคือพวกพื้นหลังสามารถผ่านตัวกรองนี้เข้ามาได้ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดได้

2.3.9 ตัวกรองกบอร์แบบลอการิทึม (Log-Gabor Filter) [24]

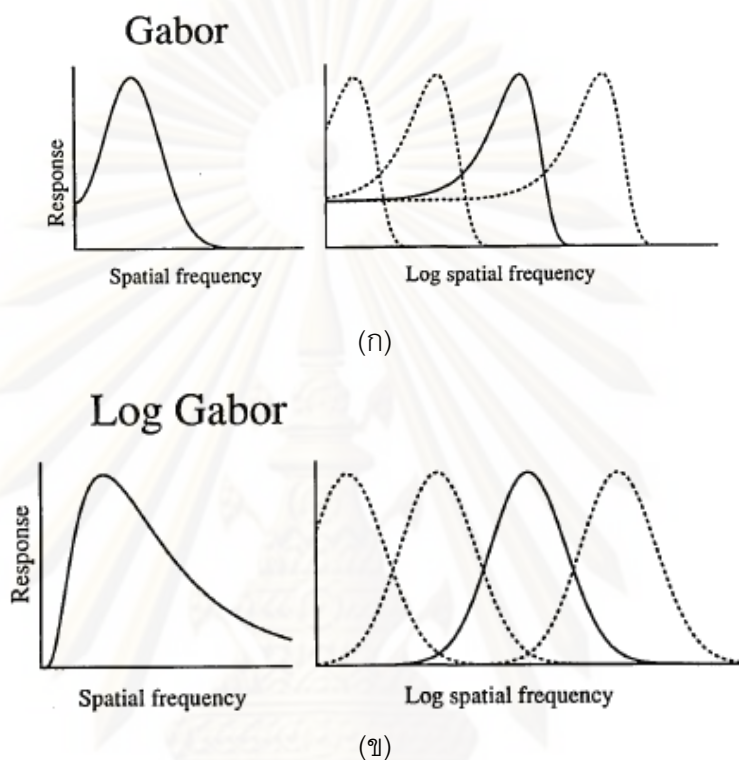
ตัวกรองกบอร์แบบลอการิทึมคือตัวกรองแถบความถี่ชนิดหนึ่งที่มีความแม่นยำ เสนอโดย Field ในปี 1987 [23] โดยเป็นการนำเอาสมการของตัวฟังก์ชันเกาส์เซียนมาหาค่าลอการิทึมซึ่งในตัวกรองกบอร์แบบทั่วไปใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียนธรรมดา เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในตัวกรองกบอร์อีกทั้งยังทำให้ได้ความแม่นยำในการกรองมากขึ้นโดยรูปแบบของสมการกบอร์แบบลอการิทึมใน 1 มิติในโดเมนความถี่แสดงในสมการที่ 2.30

$$G(f) = \exp\left\{-\frac{(\log(f/f_0))^2}{2(\log(\sigma/f_0))^2}\right\} \quad \dots(2.30)$$

เมื่อ f_0 คือความถี่ที่ทำให้ค่าแอมพลิจูดมีค่าสูงสุด

σ คือช่วงของความถี่ของตัวกรอง

โดยในรูปที่ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบกราฟระหว่างตัวกรองกาบอร์แบบทั่วไปและตัวกรองการบอร์แบบลอการิทึมใน 1 มิติในมุมมองความถี่แบบเชิงเส้น (Linear frequency scale) และแบบลอการิทึม (Logarithmic frequency scale)



รูปที่ 2.17 แสดงกราฟของตัวกรองกาบอร์ 1 มิติแบบทั่วไป (ก) และตัวกรองกาบอร์ 1 มิติแบบลอการิทึม (ข) ในมุมมองความถี่แบบเชิงเส้น (Linear frequency scale) และแบบลอการิทึม (Logarithmic frequency scale)

ข้อดีของตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม

1. ตัวกรองแถบความถี่ที่มีความถูกต้องมากเพราะไม่มีเกิด Non DC Component ดังแสดงในภาพที่ 2.17 (ก) (คือองค์ประกอบของสัญญาณที่มีความถี่เป็นศูนย์) ซึ่งเกิดขึ้นในตัวกรองกาบอร์ทั่วไป
2. ลักษณะของกราฟตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมมีการขยายส่วนปลายที่ความถี่สูงซึ่งทำให้ได้ลายเส้นบนฝ่ามือครบถ้วน
3. ลักษณะของกราฟตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในแกนความถี่แบบลอการิทึมนั้นมีลักษณะที่สมมาตรดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ข) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในแกนความถี่แบบลอการิทึมนั้นเป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการแสดงการตอบสนองของความถี่เชิงพื้นที่ (Spatial frequency response) ของการมองเห็นของเซลล์ประสาท

2.3.10 ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming Distance Function)

ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงคือฟังก์ชันที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุด โดยสมการแบบทั่วไปของฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง

$$HD = \sum (A \otimes B) \quad \dots(2.26)$$

เมื่อ A คือข้อมูล ชุดที่ 1
B คือข้อมูลชุดที่ 2
 \otimes คือตัวดำเนินการ XOR

ตัวอย่าง

A เท่ากับ 1011101

B เท่ากับ 1001001

จะได้ค่า HD เท่ากับ 2

ในงานวิจัยนี้ได้นำฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงมาดัดแปรเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างพีเจอร์ของผู้ลงทะเบียนและผู้เข้าใช้งานซึ่งมีสมการดังนี้

$$HD = \frac{1}{N - \sum_{k=1}^N (Xn_k \circ Yn_k)} \sum_{j=1}^N [(X_j (\otimes) Y_j) \bullet (Xn'_j \bullet Yn'_j)] \quad \dots(2.27)$$

เมื่อ \otimes คือตัวดำเนินการ XOR
• คือตัวดำเนินการ AND
◦ คือตัวดำเนินการ OR

X และ Y คือพีเจอร์ของบุคคลที่ 1 และ 2

Xn และ Yn คือแผ่นแบบของบุคคลที่ 1 และ 2

Xn'_j และ Yn'_j คือการผกผันค่าของ Xn และ Yn ตามลำดับ

N คือจำนวนของบิตที่ใช้ในการแสดงค่าของแต่ละพีเจอร์

โดยยิ่งค่า HD มีค่าน้อยก็แสดงว่าพีเจอร์ของบุคคลทั้ง 2 ที่นำมาทำการเปรียบเทียบคู่่นั้นมีความใกล้เคียงกันมา แต่ถ้าค่า HD มีค่ามาก แสดงว่าพีเจอร์ของบุคคลทั้ง 2 ที่นำมาทำการเปรียบเทียบคู่่นั้นมีความแตกต่างกันมาก โดยค่าของ HD จะอยู่ระหว่าง 0-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก

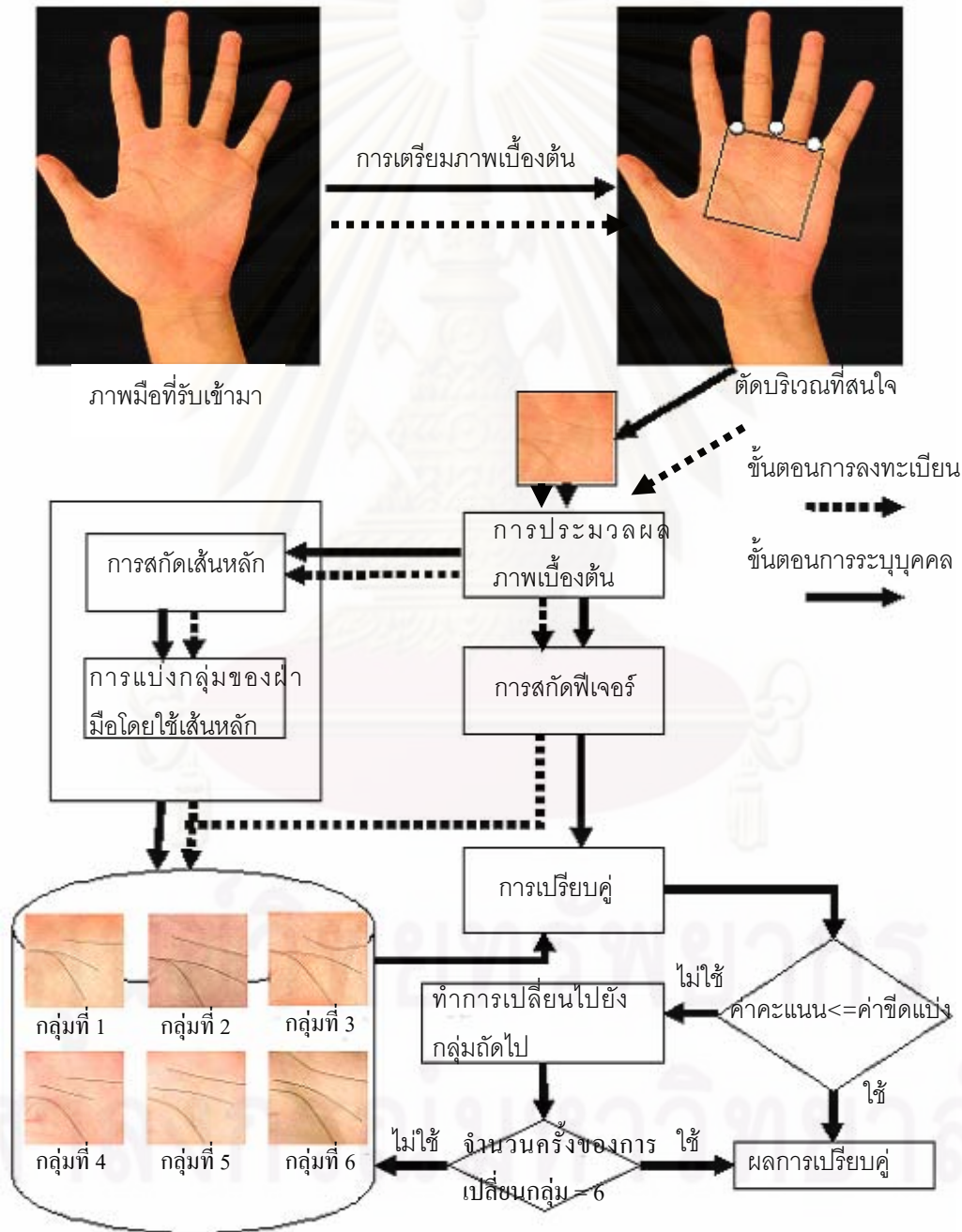
ในปัจจุบันได้มีการให้ความสำคัญในเรื่องของการพิสูจน์ตัวตน (Authentication) มากขึ้น ระบบชีวมาตรที่ใช้ลายฝ่ามือเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการพิสูจน์ตัวตนเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูกลงและลักษณะของลายฝ่ามือในแต่ละบุคคลเป็นลักษณะเฉพาะ แต่วิธีการในระบบการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือแบบทั่วไปนั้นระบบต้องทำการเปรียบเทียบคู่ลักษณะของลายฝ่ามือของผู้ใช้ที่เข้ามาใช้งานในระบบกับลักษณะของลายฝ่ามือทั้งหมดของผู้ลงทะเบียนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งต้องใช้จำนวนครั้งของการเปรียบเทียบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือที่ลดจำนวนการเปรียบเทียบในฐานข้อมูลโดยการจัดกลุ่มของลายฝ่ามือที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อลดเวลาในการระบุบุคคล โดยวิธีการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือใช้ลักษณะของเส้นหลัก ซึ่งได้แก่ เส้นชีวิต เส้นสมอง และเส้นหัวใจ ส่วนในการระบุบุคคลนั้นใช้ลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือเป็นพีเอชอาร์ โดยในบทนี้จะแบ่งการอธิบายออกเป็น ส่วน ๆ ดังนี้

- 3.1 หลักการและแนวคิดของงานวิจัย
 - 3.2 การเก็บภาพ (Image acquisition)
 - 3.3 การหาบริเวณที่สนใจ (Region of Interest)
 - 3.4 การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก (Palmprint Classification)
 - 3.5 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ (Palmprint Identification)
 - 3.6 การตัดสินใจของระบบ
- โดยรายละเอียดของแต่ละหัวข้อมีดังนี้

3.1 หลักการและแนวคิดของงานวิจัย

เนื่องจากระบบการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือระบบจะต้องทำการเปรียบเทียบคู่ลักษณะของลายฝ่ามือของผู้ใช้ที่เข้ามาใช้งานในระบบกับลักษณะของลายฝ่ามือทั้งหมดของผู้ลงทะเบียนที่อยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งต้องใช้จำนวนครั้งของการเปรียบเทียบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของระบบการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหานี้โดยการใช้การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือในฐานข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามลักษณะของเส้นหลักบนฝ่ามือซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะในแต่ละบุคคล มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเห็นได้ชัดเจน เพื่อลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบในฐานข้อมูลโดยเมื่อมี

ผู้ใช้เข้ามาในระบบ ระบบจะทำการดูลักษณะของเส้นหลักและทำการระบุกลุ่มตามลักษณะของเส้นหลักนั้น จากนั้นระบบก็จะทำการหาพีเจอร์และนำพีเจอร์ไปทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลภายในกลุ่มที่ได้ทำการระบุไว้ เมื่อการเปรียบคูภายในกลุ่มนั้นพบภาพของบุคคลนั้นระบบจะทำการหยุดการเปรียบคู แต่ถ้าทำการเปรียบคูภายในกลุ่มนั้นแล้วไม่พบภาพของบุคคลนั้นระบบก็จะทำการเลื่อนไปในกลุ่มถัดไปโดยดูจากความใกล้เคียงของเส้นหลัก โดยในรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของระบบ

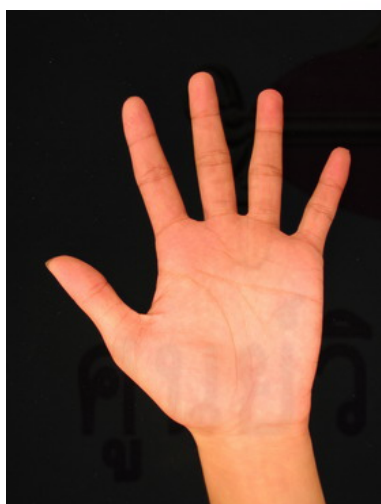


รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

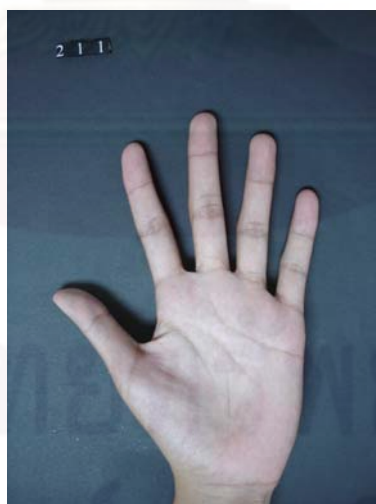
3.2 การเก็บภาพฝ่ามือ (Hand Image Acquisition)

การเก็บข้อมูลภาพฝ่ามือเป็นขั้นตอนในการเก็บภาพฝ่ามือของผู้ใช้เข้ามาในระบบ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลภาพฝ่ามือจาก 3 ฐานข้อมูลคือฐานข้อมูลภาพฝ่ามือของ Visgraph [8] ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand และฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand โดยฐานข้อมูลภาพฝ่ามือของ Visgraph [8] เป็นฐานข้อมูลที่มีการเก็บภาพฝ่ามือโดยมหาวิทยาลัยในฮ่องกงโดยทำการเก็บภาพมือจากบุคคลในฮ่องกง ส่วนฐานข้อมูลภาพฝ่ามือของ CU-CGCI1 hand และ CU-CGCI2 hand เป็นฐานข้อมูลภาพฝ่ามือที่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและเก็บข้อมูลเองโดยแบ่งเป็น 2 ชุดคือ CU-CGCI1 hand ทำการเก็บภาพฝ่ามือจากนักศึกษาในมหาวิทยาลัยต่างๆและ CU-CGCI2 hand ทำการเก็บภาพฝ่ามือจากบุคคลทั่วไปซึ่งประกอบด้วยคนงานก่อสร้าง พนักงานบริษัท แม่ค้า เป็นต้น โดยมีขั้นตอนการเก็บภาพที่ใกล้เคียงกับฐานข้อมูล Visgraph [8] โดยมีอุปกรณ์คือใช้กล้องดิจิทัลในการเก็บภาพ ไม่ได้มีการจัดแสงที่แน่นอนในการเก็บภาพ พื้นหลังที่ใช้เป็นสีดำ เพื่อให้ภาพที่ได้ไม่มีเงาของมือหรือวัตถุอื่นเข้ามาบรบกวนและมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรกในการเก็บข้อมูลภาพ ผู้ใช้จะวางมือหงายให้หลังมือและนิ้วทุกนิ้วแนบสนิทกับพื้นหลังเรียบสีดำ ผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระโดยไม่มีการบังคับตำแหน่งการวางมือ จากนั้นทำการเก็บภาพด้วยกล้องดิจิทัลซึ่งภาพที่ได้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพสีแบบ 24 บิตและมีขนาด 1280x960 จุดภาพ ตัวอย่างภาพที่ทำการเก็บแสดงดังรูปที่ 3.2 และในงานวิจัยนี้ใช้ภาพมือซ้ายของผู้ใช้เท่านั้น



(ก) ตัวอย่างภาพฝ่ามือจาก
ฐานข้อมูล Visgraph [8]



(ข) ตัวอย่างภาพฝ่ามือจาก
ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand
database



(ค) ตัวอย่างภาพฝ่ามือจาก
ฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand
database

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพฝ่ามือที่ใช้ในงานวิจัย

3.3 การหาบริเวณที่สนใจ (Region of Interest)

เนื่องจากภาพมือที่ใช้ในงานวิจัยเป็นภาพมือที่ผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระดังนั้นก็จำเป็นต้องมีการหาบริเวณที่สนใจเพื่อทำการลงทะเบียนภาพ (Image Registration) เพื่อที่จะนำไปใช้ในการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือและใช้ในการระบุบุคคลต่อไปโดยมีขั้นตอนการหาบริเวณที่สนใจดังนี้

3.3.1 การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา

เนื่องจากภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพเป็นภาพสีแบบ RGB แต่ในขั้นตอนการเตรียมภาพนั้นจะต้องทำการประมวลผลภาพกับภาพระดับเทา ดังนั้นจึงทำการแปลงภาพสีแบบ RGB ให้กลายเป็นภาพระดับเทา (Grayscale image) โดยใช้โมเดลสีแบบ YIQ

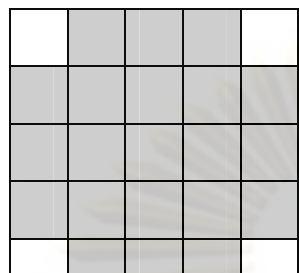
$$\text{Grayscale Value} = (0.30 * R) + (0.59 * G) + (0.11 * B) \quad \dots (3.1)$$

3.3.2 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

ในขั้นตอนนี้ทำการแบ่งส่วน (Segmentation) มือของผู้ใช้ออกจากบริเวณพื้นหลังของภาพเพื่อนำไปใช้ในการตัดบริเวณที่สนใจโดยเมื่อทำการสังเกตภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจะเห็นว่าภาพประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนบริเวณที่เป็นมือของผู้ใช้และส่วนบริเวณพื้นหลังของภาพซึ่งมีสีดำ โดยทั้ง 2 ส่วนมีค่าระดับเทาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการแบ่งส่วนบริเวณมือออกจากพื้นหลังโดยใช้การหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding) โดยอัตโนมัติของ Otsu

3.3.3 การปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing)

หลังจากการหาค่าขีดแบ่งแล้ว ภาพลักษณะฐานสอง (Binary image) ที่ได้อาจมีสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็ก ๆ ในบริเวณส่วนของมือและพื้นหลังอยู่ นอกจากนั้น บริเวณขอบของมือมีลักษณะเป็นรอยหยัก ดังนั้นจึงทำการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ (Image morphological processing) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและปรับบริเวณขอบของมือให้เรียบโดยใช้การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณแบบเปิด (Opening) และปิด (Closing) โดยใช้สมาชิกโครงสร้างแบบวงกลม ขนาด 5x5 จุดภาพ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3(ก) และผลลัพธ์หลังการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.3(ข)



(ก) สมาชิกโครงสร้างแบบวงกลม



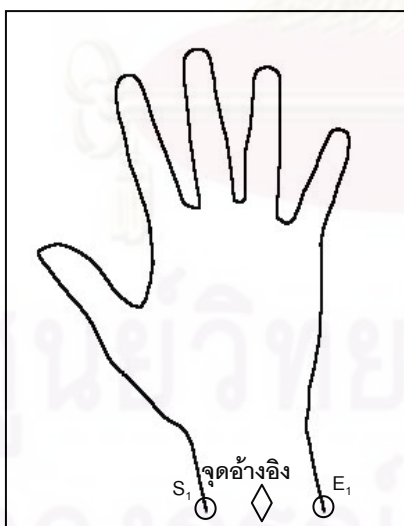
(ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนประมวลผลภาพ

เชิงสัดส่วนแล้ว

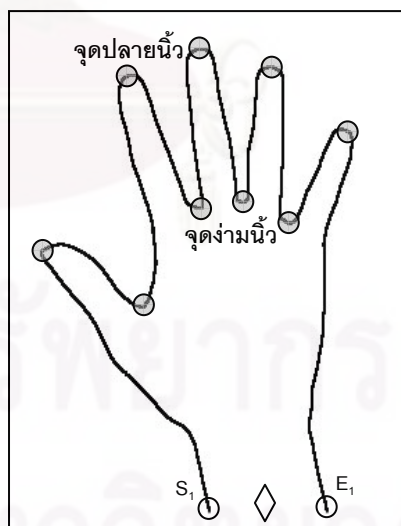
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการประมวลผลภาพเชิงสัดส่วน

3.3.4 การหาตำแหน่งสำคัญ

การหาตำแหน่งสำคัญในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีเดียวกับของงานวิจัยของนายพิพัฒน์ ประทีปอมรกุลและคณะ [9] ซึ่งเป็นขั้นตอนการหาจุดที่อยู่บนบริเวณขอบของมือและจะได้ภาพดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายและจุดอ้างอิงของมือ



รูปที่ 3.5 การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว

3.3.5 การตัดส่วนของบริเวณที่สนใจ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกบริเวณที่สนใจโดยใช้ตำแหน่งของจุดง่ามนิ้วคือ จุดง่ามนิ้วระหว่างนิ้วชี้กับนิ้วกลาง จุดง่ามนิ้วระหว่างนิ้วกลางกับนิ้วนาง และจุดง่ามนิ้วระหว่างนิ้วนางกับนิ้วก้อยดังแสดงในภาพที่ 3.6 โดยใช้วิธีการดูจากระยะของจุดข้างเคียงเพื่อหาจุดง่ามนิ้วเมื่อมีการหาตำแหน่งของจุดง่ามนิ้วที่ต้องการแล้วก็จะทำการตัดบริเวณที่สนใจโดยใช้จุดง่ามนิ้วเหล่านั้นในการอ้างอิง



รูปที่ 3.6 การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว



รูปที่ 3.7 แสดงจุดมุมของบริเวณที่สนใจ

3.4 การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก (Palmprint Classification using Principle lines)

ในงานวิจัยนี้ทำการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักบนฝ่ามือซึ่งประกอบด้วย เส้นชีวิต เส้นสมอ และเส้นหัวใจ ซึ่งเป็นเส้นที่มีความชัดเจนและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือไม่มี การเปลี่ยนแปลงเลยและยังเป็นเส้นที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล โดยในส่วนนี้ได้ทำการแบ่งการอธิบายออกเป็น 2 ส่วน คือนิยามตำแหน่งที่ใช้บนฝ่ามือและเส้นหลักภายในบริเวณที่สนใจ และขั้นตอนวิธีการแบ่งกลุ่มที่นำเสนอโดยมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

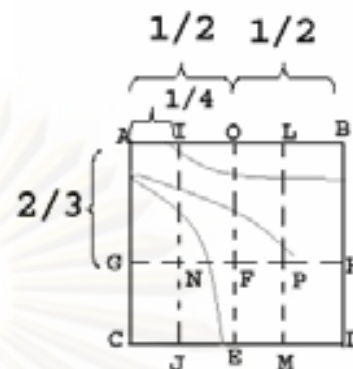
3.4.1 นิยามตำแหน่งที่ใช้บนฝ่ามือและนิยามเส้นหลักบนฝ่ามือภายในสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจ

- นิยามตำแหน่งที่ใช้บนฝ่ามือ

งานวิจัยนี้นิยามตำแหน่งของเส้นหลักโดยใช้จุดต่าง ๆ เป็นจุดอ้างอิงเพื่อความสะดวกในการอ้างถึงดังรูปที่ 3.8 ก และ ข ดังนี้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งและจุดบนฝ่ามือที่ใช้ในงานวิจัยนี้

V1, V2 และ V3 คือ จุดง่ามนิ้วระหว่างนิ้วชี้และนิ้วกลาง นิ้วกลางและนิ้วนาง และนิ้วนางและนิ้วก้อย ตามลำดับ

O คือ จุดบนเส้นตรงที่ผ่านจุด V2 และตั้งฉากกับเส้นตรง V1V3

A และ B คือ จุดที่มีระยะห่างจากจุด O เท่ากัน

สี่เหลี่ยม ABDC เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสบริเวณที่สนใจ (Region of interest) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

IJ, OE และ LM คือ เส้นตรงที่แบ่งสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจในแนวตั้งเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน

GH คือ เส้นตรงที่แบ่งสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจในแนวนอนโดยแบ่งให้ส่วนบนมีความสูง 2/3 เท่าของเส้น AC

N, F, P คือ จุดตัดของเส้น GH กับเส้น IJ, OE และ LM ตามลำดับ

- นิยามเส้นหลักบนฝ่ามือภายในสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจ

งานวิจัยนี้ให้นิยามเส้นหลักบนฝ่ามือ ซึ่งประกอบด้วย 3 เส้น ดังรูปที่ 3.8 ก ดังนี้

1) เส้นหัวใจ (Heart line) มี “จุดเริ่มต้น” อยู่ทางด้านขวาสุดภายในสี่เหลี่ยม LBHP และลากจากจุดเริ่มต้นในแนวนอนผ่านเส้นตรง OF

2) เส้นสมอง (Head line) มี “จุดเริ่มต้น” อยู่ทางด้านซ้ายภายในสี่เหลี่ยม AING โดยจุดเริ่มต้นของเส้นสมองสามารถอยู่ที่เดียวกับจุดเริ่มต้นของเส้นชีวิตได้ และลากขวางผ่านเส้นตรง OF

3) เส้นชีวิต (Life line) มีลักษณะคล้ายกับเส้นสมอคือมี “จุดเริ่มต้น” อยู่ทางด้านซ้ายภายในสี่เหลี่ยม AING โดยตำแหน่งของจุดเริ่มต้นจะอยู่ต่ำกว่าหรือเท่ากับจุดเริ่มต้นของเส้นสมอ และเส้นชีวิตต้องอยู่ภายในสี่เหลี่ยม IOEJ

3.4.2 วิธีการแบ่งกลุ่มที่นำเสนอ

วิธีการแบ่งกลุ่มที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้การแบ่งกลุ่มโดยดูจากเส้นหลักโดยทำการแบ่งกลุ่มออกเป็น 6 กลุ่มดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งมีเกณฑ์การแบ่งดังนี้

1. การเชื่อมกันของเส้นสมอและเส้นชีวิต
2. ลักษณะของความตรงหรือโค้งของเส้นหัวใจ
3. ในกรณีที่ลักษณะของเส้นหัวใจเป็นเส้นตรง ดูว่าลักษณะของเส้นนั้นเป็นเส้นตรงราบหรือเส้นตรงเอียง



รูปที่ 3.9 แสดงการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักที่นำเสนอ

โดยขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การประมวลผลภาพเบื้องต้น การแบ่งส่วนเส้นหลัก และการสกัดพีเจเจอร์ ตามลำดับโดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1). การประมวลผลภาพเบื้องต้น

ภาพมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพสี RGB จากการสังเกตพบว่าบริเวณลายเส้นบนฝ่ามือมีสีที่มืดกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าสีในช่องสีน้ำเงิน (Blue channel) เท่านั้น แต่เนื่องจากภาพฝ่ามือแต่ละภาพมีความเข้มแสงที่มีความเปรียบต่าง (Contrast) ที่แตกต่างกันซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์เก็บภาพหรือสภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บภาพ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องปรับความเข้มแสงของแต่ละภาพให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสีของภาพมาใช้ในการปรับความเข้มแสงโดยแสดงในสมการที่ 3.2 และ 3.3 [21]

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad \dots(3.2)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d (I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad \dots(3.3)$$

โดย $I'(x, y)$ เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

ϕ_d และ ρ_d เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

ϕ และ ρ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ

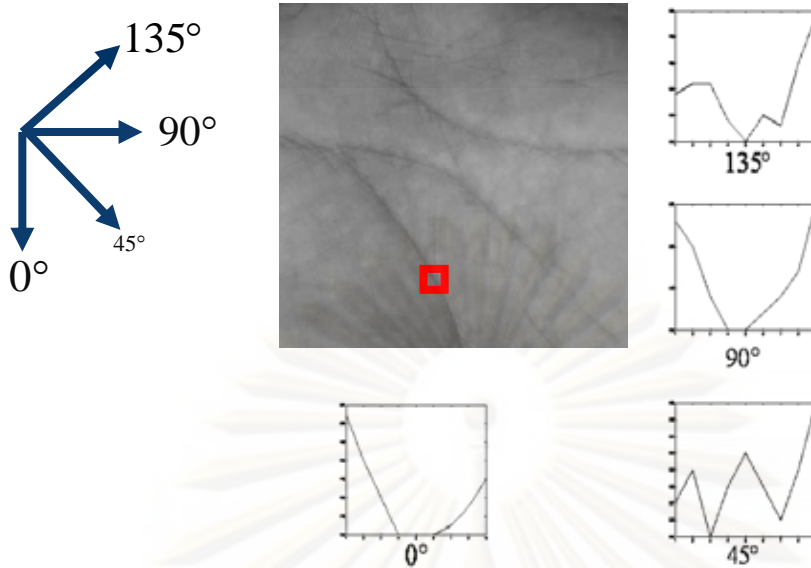
จากนั้นกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดด้วยตัวกรองเกาส์เซียนขนาด 3×3 และลดขนาดของภาพลงเพื่อลดเวลาในการประมวลผลโดยลดจาก 4 จุดภาพให้เหลือเพียง 1 จุดภาพโดยเลือกใช้ค่าสีที่ต่ำสุดของ 4 จุดภาพ

2). การแบ่งส่วนเส้นหลัก

การแบ่งส่วนเส้นหลัก ประกอบด้วยการหาจุดที่อยู่บนเส้นหลักและการทำให้เส้นหลักมีความสมบูรณ์ขึ้นดังนี้

การหาจุดที่อยู่บนเส้นหลัก

บริเวณเส้นหลักบนฝ่ามือเป็นบริเวณที่มีค่าสีต่ำกว่าบริเวณอื่นและมักมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีพิจารณาค่าโปรไฟล์ของค่าสีใน 4 ทิศทางคือ 0° , 45° , 90° และ 135° โดยบริเวณที่เป็นเส้นหลักจะมีโปรไฟล์ของค่าสีเป็นหุบ (Valley) ดังแสดงในภาพที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ลักษณะของเส้นหลักบนฝ่ามือและกราฟแสดงค่าโปรไฟล์ของค่าสีใน 4 ทิศทาง (หน้าต่างขนาด 9×9)

ตารางที่ 3.1 การพิจารณาความเป็นเส้นหลักบนฝ่ามือโดยพิจารณาจากค่าโปรไฟล์ค่าสีในสี่ 4 ทิศทาง

ลักษณะของโปรไฟล์ค่าสีที่สนใจ	รูปแบบ			รูปร่าง
1. หุบ (Valley)	+ 0 +	+ 0 0	0 0 +	
2. เนิน (Slope)	+ 0 -	- 0 +		
3. ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นหุบหรือเป็นเนิน	0 0 0			

การพิจารณาความเป็นเส้นหลักจากโปรไฟล์ค่าสีใน 4 ทิศทาง สามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณีหลักดังตารางที่ 3.1 คือ ลักษณะที่เป็นหุบ ลักษณะที่เป็นเนิน และลักษณะที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นหุบหรือเป็นเนิน

รูปแบบที่กำหนดในตารางที่ 3.1 ให้จุดที่กำลังพิจารณาอยู่ตรงกลางของค่าสี 3 ค่าที่อยู่ติดกันในทิศทางที่กำลังพิจารณา (เช่น พิจารณาในทิศทาง 0°) โดยให้จุดที่กำลังพิจารณา มีสัญลักษณ์เป็น “0” เสมอ ส่วนสัญลักษณ์อีก 2 ตัวที่อยู่ด้านข้างนั้น ถ้าเป็น “+” หมายถึงค่าสีที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่ามากกว่าค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา (ตรงกลางที่มีค่าเป็น “0”) และถ้าเป็น “-” หมายถึงค่าสีที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าน้อยกว่าค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา และถ้าเป็น “0” หมายถึงค่าสีที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าเท่ากับค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา ตัวอย่างเช่น ถ้ารูปแบบของโปรไฟล์สีเป็น “+ 0 +” หมายความว่าค่าสีของทั้งสองตำแหน่งที่อยู่ข้างเคียง (ในทิศที่พิจารณา) มีค่ามากกว่าค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา เป็นต้น

เมื่อพิจารณาโปรไฟล์ของค่าสี่ทั้ง 4 ทิศที่กำหนดแล้ว จุดที่พิจารณานั้นจะเป็นจุดบนเส้นหลักได้ จะต้องมีความสัมพันธ์ข้อใดข้อหนึ่งข้างล่างนี้

- 1) มี 'หุบ' มากกว่า 2 ทิศทาง
- 2) มี 'หุบ' มากกว่า 1 ทิศทาง และ 'ไม่สามารถบอกได้' มากกว่า 1 ทิศทาง
- 3) มี 'หุบ' มากกว่า 1 ทิศทาง และ มี 'เนิน' 1 ทิศทาง และ 'ไม่สามารถบอกได้' 1 ทิศทาง

การทำให้เส้นหลักมีความสมบูรณ์

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้เส้นหลักสมบูรณ์ขึ้นโดย เติมเต็มช่องว่างที่เกิดในบริเวณเส้นที่มีความหนา เชื่อมเส้นที่ขาด และกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ (Morphological image processing) [19] โดยใช้ตัวดำเนินการแบบปิด (Closing operator) ดังสมการที่ 3.4

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad \dots(3.4)$$

โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ

B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

การเติมเต็มช่องว่างที่เกิดในบริเวณที่เป็นเส้นที่มีความหนาและการกำจัดสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้ภาพเรียบขึ้น ทำได้โดยใช้ตัวดำเนินการแบบปิดด้วยสมาชิกโครงสร้าง (Structure element) แบบสี่เหลี่ยมขนาด 3×3

เนื่องจากเส้นหลักที่ได้จากในขั้นตอนการแบ่งส่วนเส้นหลักนี้อาจขาดตอนหรือไม่เชื่อมต่อกัน ดังนั้น จึงต้องเชื่อมเส้นเข้าด้วยกันโดยจะใช้การหาจุดเริ่มต้นและจุดปลายของแต่ละเส้นในภาพโดยใช้ Convex Hull [19] จากนั้นก็จะทำการดูระยะและทิศทางของแต่ละเส้นเพื่อทำการเชื่อมกัน

3). การสกัดพีเจอร์

หลังจากทำการแบ่งส่วนเส้นหลักแล้วก็จะทำการแบ่งกลุ่มโดยดูจากลักษณะของเส้นหลักดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นดังนี้

1. การเชื่อมกันของเส้นสมองและเส้นชีวิต

ใช้ Chaincode [20] โดยทำการติดตามเส้นโดยหาจุดเริ่มต้นจากบริเวณด้านซ้ายของสี่เหลี่ยม AING จากรูปที่ 3.7 โดยใช้การดูความยาวและนิยามที่ได้ระบุไว้เพื่อทำการระบุเส้นสมองและเส้นชีวิตและทำการระบุว่าทั้ง 2 เส้นมีการเชื่อมกันหรือไม่

2. ลักษณะของความตรงหรือโค้งของเส้นหัวใจ

จากนิยามของเส้นหัวใจในหัวข้อที่ 3.3.1 เส้นหัวใจมีจุดเริ่มต้นจากทางขวาของสี่เหลี่ยม LBHP และต้องผ่าน OF ดังนั้นจึงใช้ Chaincode [20] ทำการติดตามเส้นและระบุเส้นหัวใจ

จากนั้นนำเส้นหัวใจที่ได้มาประมาณด้วยสมการเส้นตรงดังสมการที่ 3.6. และทำการหา ค่าความผิดพลาดดังสมการที่ 3.7 เพื่อทำการระบุว่าเส้นหัวใจที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือ เส้นโค้ง

$$y = mx + c \quad \dots(3.6)$$

$$error = \sum (X_i - \mu_i)^2 / \mu_i \quad \dots(3.7)$$

โดยที่ X_i คือตำแหน่งของจุดบนเส้นหัวใจ

μ_i คือตำแหน่งของจุดที่ได้จากสมการ

3. ลักษณะของเส้นหัวใจเป็นเส้นตรงราบหรือเป็นเส้นตรงเอียง

ในกรณีที่ลักษณะของเส้นหัวใจถูกระบุว่าเป็นเส้นตรงจะทำการดูค่าความเอียงของ เส้นตรงที่ได้จากสมการ โดยถ้าค่าความเอียงของเส้นตรงมีค่าน้อยกว่า 10 องศาจะทำการระบุว่า เส้นตรงนั้นเป็นเส้นราบ แต่ถ้าค่าความเอียงของเส้นตรงมีค่ามากกว่า 10 องศาจะทำการระบุว่า เส้นตรงนั้นเป็นเอียง

3.5 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ (Palmprint Identification)

ส่วนขั้นตอนในการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลักคือ การประมวลผลภาพเบื้องต้น การสกัดฟิเจอร์ และการเปรียบเทียบ โดยในส่วนของ การประมวลผลภาพเบื้องต้นนั้นได้ทำการอธิบายอยู่ในส่วนของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้น หลัก ดังนั้นในส่วนนี้ได้ทำการอธิบายในส่วนของการสกัดฟิเจอร์ของลายฝ่ามือและการเปรียบเทียบ แบนแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

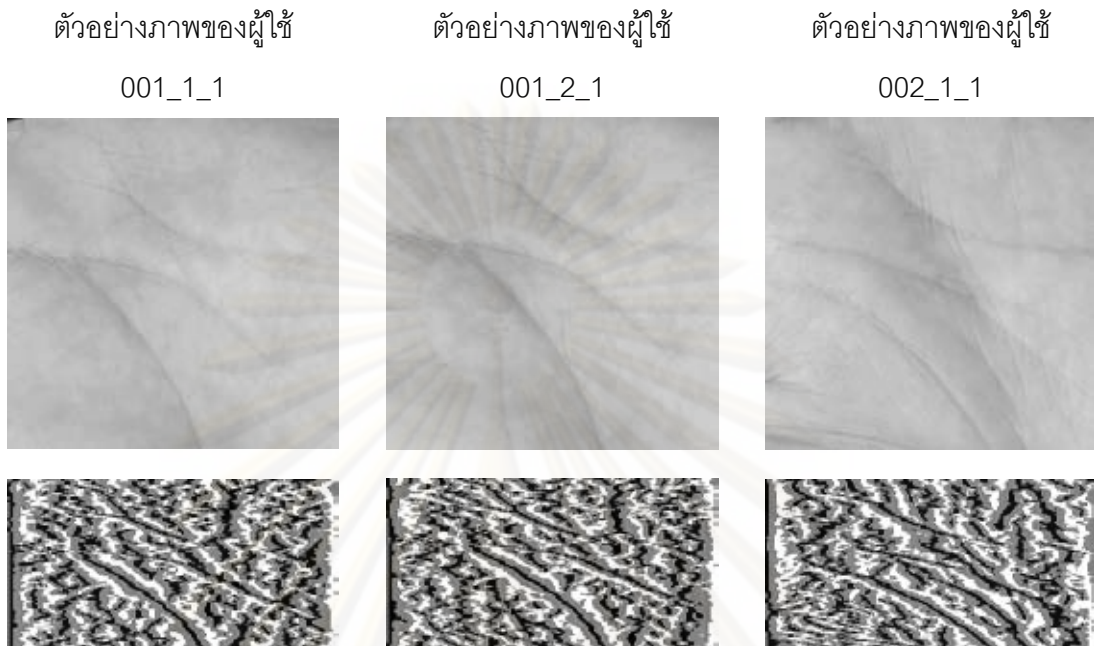
3.5.1 การสกัดฟิเจอร์ของลายฝ่ามือ

การสกัดฟิเจอร์ของลายฝ่ามือเป็นขั้นตอนการสกัดฟิเจอร์ออกจากภาพโดยฟิเจอร์ที่ใช้การ ระบุบุคคลและการทวนสอบบุคคลโดยใช้ลายฝ่ามือนั้นจะประกอบด้วย 3 ประเภทหลักคือลักษณะ ของจุด (Point feature) ลักษณะของเส้น (Line feature) และลักษณะของลายผิว (Texture feature) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ลักษณะของลายผิวมาเป็นฟิเจอร์เพื่อใช้ในการระบุบุคคล เพราะความแตกต่างของลายฝ่ามือในแต่ละคนนั้นมีลักษณะลายผิวที่แตกต่างกัน โดยในการสกัด ฟิเจอร์ลายผิวนี้อาจใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึม (Log-Gabor filter) ที่เป็นแบบ 1 มิติ ดัง สมการที่ 3.8

$$G(f) = \exp\left\{-\left(\log(f/f_0)\right)^2 / 2\left(\log(\sigma/f_0)\right)^2\right\} \quad \dots(3.8)$$

โดย f_0 คือศูนย์กลางความถี่

σ คือความกว้างของความถี่ของตัวกรอง



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างพีเจอร์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองกบอร์แบบลอการิทึมของผู้ใช้ 001_1_1 และ 001_2_1 ซึ่งเป็นผู้ใช้งานคนเดียวกัน และจะต่างกับตัวอย่างภาพของผู้ใช้ 002_1_1

3.5.2 การเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบเป็นการนำแผ่นแบบมาเปรียบเทียบว่ามีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันระยะทางในการหาค่าคะแนนการเปรียบเทียบโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming distance) ดังแสดงในสมการที่ 3.9

$$HD = \frac{1}{N - \sum_{k=1}^N X_n_k (or) Y_n_k} \sum_{j=1}^N X_j (xor) Y_j (and) X_n'_j (and) Y_n'_j \quad \dots(3.9)$$

โดย X_j และ Y_j คือพีเจอร์ของภาพที่ 1 และ 2

X_n_j และ Y_n_j คือหน้ากากของพีเจอร์ที่ 1 และ 2 ซึ่งหน้ากากนี้จะเป็นตัวระบุบริเวณที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพราะในการตัดบริเวณที่สนใจอาจทำได้พื้นหลังซึ่งไม่ควรนำมาเปรียบเทียบ

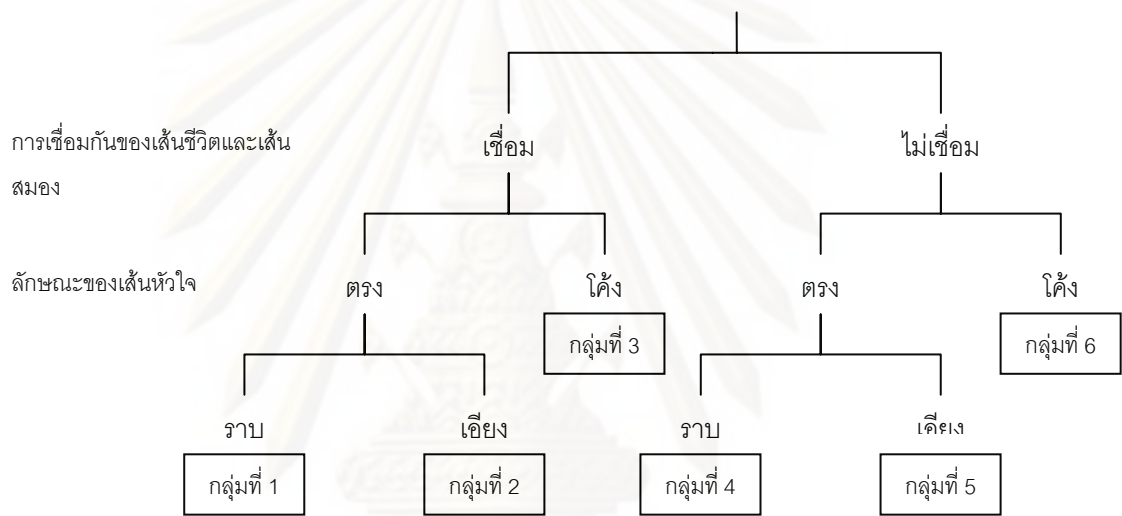
$X_n'_j$ และ $Y_n'_j$ คือการผันค่าของ X_n_j และ Y_n_j

N คือจำนวนจุดที่แทนของแต่ละพีเจอร์

และในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการในการเปรียบเทียบแผ่นแบบเพื่อลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบ โดยวิธีการดังนี้

เมื่อมีภาพถ่ายฝ่ามือของผู้ใช้เข้ามาใช้งานในระบบระบบจะนำภาพมือนั้นไปทำการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4 จากนั้นระบบจะทำการสกัดพีเจอร์ และนำไปทำการเปรียบเทียบโดยในขั้นตอนการเปรียบเทียบนั้น พีเจอร์ของผู้ใช้จะถูกนำไป

เปรียบเทียบกับพีเจอรซ์ของผู้ลงทะเบียนที่อยู่ในกลุ่มที่ระบบได้ทำการระบุโดยดูจากลักษณะของเส้นหลักของภาพฉายฝ่ามือของผู้ใช้ซึ่งถ้าผลของการเปรียบเทียบนั้นได้ค่าระยะทางที่ผ่านเกณฑ์ที่ระบบตั้งไว้ระบบก็จะหยุดการเปรียบเทียบและทำการระบุผลของการระบุบุคคล แต่ถ้าค่าระยะทางที่ได้นั้นไม่ผ่านเกณฑ์ที่ระบบตั้งไว้ระบบก็จะนำพีเจอรซ์ของผู้ใช้ไปทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มต่อไป โดยดูจากความใกล้เคียงของตัวพีเจอรซ์ของการแบ่งกลุ่มโดยมีลำดับความสำคัญของพีเจอรซ์ของเส้นหลักที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มแสดงในรูปที่ 3.12 และลำดับของกลุ่มที่ใช้ในการเปรียบเทียบคู่ดังแสดงในตารางที่ 3.2 เช่น เมื่อผู้ใช้ได้ทำการเข้าใช้งานและเมื่อระบบได้ทำการดูลักษณะของเส้นหลักของผู้ใช้และได้ทำการแบ่งกลุ่มและระบุว่าเป็นกลุ่มที่ 2 บุคคลนั้นจะมีลำดับของการเปรียบเทียบดังนี้ โดยเริ่มจากกลุ่มที่ 2, 1, 3, 5, 4 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.12 แสดงลำดับความสำคัญของพีเจอรซ์ของเส้นหลักที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม

ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับของกลุ่มในการเปรียบเทียบคู่

ลำดับของการเปรียบเทียบ กลุ่มที่ได้จากการแบ่งกลุ่ม	ลำดับของการเปรียบเทียบ					
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 6
กลุ่มที่ 1	1	2	3	4	5	6
กลุ่มที่ 2	2	1	3	5	4	6
กลุ่มที่ 3	3	2	1	6	5	4
กลุ่มที่ 4	4	5	6	1	2	3
กลุ่มที่ 5	5	4	6	2	1	3
กลุ่มที่ 6	6	5	4	3	2	1

3.6 การตัดสินใจของระบบ

3.6.1 การวัดความคล้ายของพีเจอร์

ในการตัดสินใจของระบบใช้ค่าขีดแบ่งในการตัดสินใจเพื่อหาอัตราการปฏิเสธผิดพลาด และอัตราการยอมรับผิดพลาด

เมื่อใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงในการหาคะแนนการเปรียบเทียบคู่ ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบคู่ที่ได้ยังมีค่าน้อย พีเจอร์จะมีความคล้ายกันมาก ดังนั้นถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบคู่ที่น้อยที่สุดน้อยกว่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้ที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบคู่ที่น้อยที่สุด ในทางกลับกันถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบคู่มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้บุกรุก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก โดยแบ่งการทดลองและผลการทดลองได้เป็น 3 ส่วนคือ การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือ และการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก โดยในแต่ละส่วนได้ทำการอธิบายถึงข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง ตามลำดับ

โปรแกรมต้นแบบที่ใช้ในการทดลองพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab 7.0 และได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel(R) Core(TM) 2 Duo ความเร็ว 2.66 GHz หน่วยความจำ 2 GB ในการประมวลผล

4.1 การทดลองและผลการทดลองการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก

วัตถุประสงค์ของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักที่เสนอในงานวิจัยนี้เพื่อทำการลดเวลาและจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบซึ่งเป็นปัญหาของระบบการระบุบุคคลโดยใช้ลายฝ่ามือโดยวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลายฝ่ามือแบบทั่วไปนั้นภาพลายฝ่ามือที่รับเข้ามาในระบบจะถูกทำการสกัดพีเจอร์และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมดภายในฐานข้อมูลโดยถ้าฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่จำนวนครั้งของการเปรียบเทียบรวมทั้งเวลาที่จะมากตามไปด้วย วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักออกเป็นกลุ่มๆ ภายในฐานข้อมูลก่อนเมื่อมีภาพลายฝ่ามือเข้ามาในระบบระบบจะทำการแบ่งกลุ่มภาพลายฝ่ามือนั้นและนำเอาภาพลายฝ่ามือนั้นไปทำการสกัดพีเจอร์และนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในกลุ่มที่ได้ทำการระบุไว้เพื่อลดเวลาและลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบ ดังนั้นการทดลองการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักนี้จะทำการแบ่งการวัดผลออกเป็น 2 ส่วนคือ การวัดการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก และการวัดความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การทดลองในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล Visgraph [8] ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand และฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand ซึ่งได้ทำการอธิบายวิธีการเก็บภาพไว้ในบทที่ 3 โดยใช้ข้อมูลในแต่ละฐานข้อมูลดังนี้

1. ฐานข้อมูล Visgraph [8] ใช้ภาพจำนวน 1000 ภาพจากคนจำนวน 100 คน
2. ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand ใช้ภาพจำนวน 1160 ภาพจากคนจำนวน 116 คน

3. ฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand ใช้ภาพจำนวน 810 ภาพจากคนจำนวน 81 คน

4.1.1 การวัดการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่ได้จากการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก

การทดลองในส่วนนี้จะทำการวัดการกระจายตัวของข้อมูลและขนาดของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1.1 วิธีการทดลอง

1. สุ่มภาพจำนวน 5 ภาพจาก 10 ภาพของแต่ละบุคคล
2. นำภาพที่ได้จากการสุ่มมาทำการแบ่งกลุ่มโดยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 3
3. นับจำนวนภาพของแต่ละกลุ่ม
4. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 จนครบ 3 ครั้ง โดยทำกับทั้ง 3 ฐานข้อมูล

4.1.1.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการกระจายตัวของข้อมูลภาพลายฝ่ามือในทั้ง 3 ฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล	กลุ่มที่ ครั้งที่	1	2	3	4	5	6
		(รูป)	(รูป)	(รูป)	(รูป)	(รูป)	(รูป)
VIGRAPH	1	142	161	129	16	24	28
	2	144	165	121	19	21	30
	3	144	159	129	16	21	31
	ค่าเฉลี่ย	143.3	161.7	126.3	17	22	29.67
	เปอร์เซ็นต์ (%)	28.67	32.33	25.27	3.4	4.4	5.933
CU-CGCI1	1	192	138	156	27	23	44
	2	175	129	170	37	19	50
	3	183	132	165	30	21	49
	ค่าเฉลี่ย	183.3	133	163.7	31.33	21	47.67
	เปอร์เซ็นต์ (%)	31.61	22.93	28.22	5.4	3.62	8.21
CU-CGCI2	1	109	72	141	31	13	39
	2	122	64	142	25	25	27
	3	122	72	138	25	21	27
	ค่าเฉลี่ย	117.7	69.33	140.3	27	19.67	31
	เปอร์เซ็นต์ (%)	29.05	17.12	34.65	6.67	4.86	7.66

4.1.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- จากการทดลองวัดการกระจายตัวของข้อมูลภาพลายฝ่ามือในแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักที่นำเสนอ นั้นพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถแบ่งกลุ่มได้ผลการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่ตีกล่าวคือขนาดของกลุ่มที่มีข้อมูลมากที่สุดมีขนาดประมาณ 34 เปอร์เซนต์และผลการทดลองยังสอดคล้องกันทั้ง 3 สฐานข้อมูลที่ได้นำมาทดลอง

- จากงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14] และงานวิจัยของ Li Fang และคณะ [15] ที่ได้ทำการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือและพบว่ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือกลุ่มที่มีลักษณะของเส้นชีวิตและเส้นสมอมีการเชื่อมกัน และเส้นหัวใจไม่มีการเชื่อมกัน มีขนาดใหญ่ประมาณ 80 เปอร์เซนต์ของทั้งหมด โดยเมื่อทำการแบ่งกลุ่มตามลักษณะที่เส้นชีวิตและเส้นสมอมีการเชื่อมกัน และเส้นหัวใจไม่มีการเชื่อมกันด้วยวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่าผลที่ได้คือมีขนาดของข้อมูลในกลุ่มนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xiangqian Wu และคณะ [14] และงานวิจัยของ Li Fang และคณะ [15]

4.1.2 การวัดความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก

เนื่องจากงานวิจัยนี้เสนอวิธีการระบุบุคคลโดยแบ่งกลุ่มภาพลายฝ่ามือเพื่อลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบซึ่งเป็นการลดเวลาในการประมวลผลการระบุบุคคล ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการตรวจสอบว่าเมื่อภาพลายฝ่ามือของบุคคลเข้ามาใช้งานในระบบแล้วระบบสามารถที่จะนำภาพลายฝ่ามือของบุคคลนั้นมาทำการแบ่งกลุ่มและนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีข้อมูลของบุคคลนั้นลงทะเบียนอยู่ได้เป็นกลุ่มแรกมากน้อยแค่ไหน และในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองหาจำนวนภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนที่จะทำให้ระบบมีความถูกต้องมากที่สุด

4.1.2.1 วิธีการทดลอง

1. สุ่มภาพจำนวน n ภาพมาทำการลงทะเบียนภาพ (โดยในครั้งแรกให้ n มีค่าเท่ากับ 1 ภาพ) จากทั้งหมด 10 ภาพของแต่ละคน

2. นำภาพที่เหลือจากในขั้นตอนที่หนึ่งของแต่ละบุคคลมาเป็นภาพทดสอบทำการทดสอบโดยนำภาพทดสอบที่ 1 มาทำการแบ่งกลุ่มและทำการตรวจสอบภายในกลุ่มที่ได้จากการแบ่งนั้นว่ามีภาพของบุคคลเดียวกันอยู่ภายในกลุ่มนั้นหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่าการแบ่งกลุ่มถูกต้องแต่ถ้าไม่มีแสดงว่าการแบ่งกลุ่มผิด

3. นับจำนวนครั้งที่ถูกและผิด

4. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 จนครบ 3 ครั้ง โดยทำกับทั้ง 3 สฐานข้อมูล

5. เพิ่มภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนเท่ากับ $n+1$ ภาพและทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1 และทำจนจำนวนภาพ n เท่ากับ 9 ภาพ โดยทำกับทั้ง 3 สฐานข้อมูล

4.1.2.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดความถูกต้องแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มของหัว 3 ฐานข้อมูล

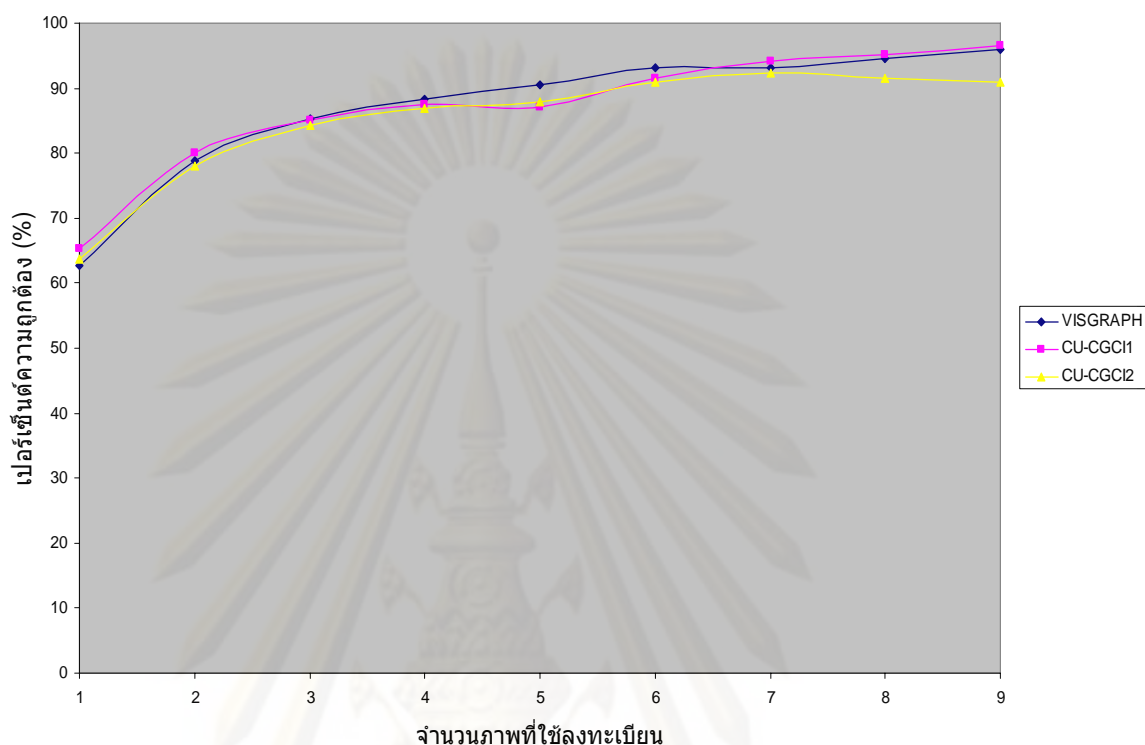
ฐานข้อมูล	จำนวนภาพที่ใช้ลงทะเบียนครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
VISGRAPH	1	62.56	76.25	84.43	88.5	89.8	92.5	92.33	94.5	95
	2	64.44	79	87.29	88.33	90.6	93.25	94.67	95.5	96
	3	60.89	81	84.28	88	91.4	93.5	92.67	93.5	97
	ค่าเฉลี่ย	62.63	78.75	85.33	88.28	90.6	93.08	93.22	94.5	96
CU-CGCI1	1	64.37	79.63	81.53	82.61	83.97	89.87	92.53	91.81	94.83
	2	65.52	82.22	85.96	90.37	93.28	91.16	94.54	97.41	96.55
	3	65.8	78.45	87.81	89.37	84.14	93.31	95.11	96.55	98.28
	ค่าเฉลี่ย	65.23	80.1	85.1	87.45	87.13	91.45	94.06	95.26	96.55
CU-CGCI2	1	60.9	80.1	81.83	84.57	84.69	87.04	90.12	92.59	90.12
	2	64.2	76.85	85.36	88.48	91.36	94.44	94.24	88.89	86.42
	3	66.26	76.85	85.71	87.45	87.65	91.05	92.59	93.2	96.3
	ค่าเฉลี่ย	63.79	77.93	84.3	86.83	87.9	90.84	92.32	91.56	90.95

4.1.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- จากการทดลองวัดค่าความถูกต้องในการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มที่นำเสนอซึ่งก็คือการวัดว่าเมื่อมีภาพลายฝ่ามือของบุคคลหนึ่งเข้ามาใช้งานในระบบ แล้วระบบสามารถที่ทำการแบ่งกลุ่มของภาพลายฝ่ามือของบุคคลนั้นและนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มที่มีภาพลายฝ่ามือของบุคคลนั้นลงทะเบียนอยู่ได้เป็นกลุ่มแรกได้จำนวนเท่าไรโดยผลที่ได้พบว่าเมื่อมีการลงทะเบียนภาพจำนวน 3 ภาพต่อ 1 บุคคล ซึ่งระบบชีวมาตรโดยทั่วไปมีการใช้ พบว่าวิธีการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักที่นำเสนอสามารถให้ค่าความถูกต้องประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ และให้ผลของความถูกต้องที่สอดคล้องกันทั้ง 3 ฐานข้อมูลที่นำมาทดลอง

- ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาจำนวนภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพที่ทำให้การแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการที่นำเสนอมีความถูกต้องมากที่สุดโดยทำการเพิ่มจำนวนภาพของผู้ใช้ในแต่ละคนและทำการวัดความถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มจำนวนภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพต่อ 1 บุคคลความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนความถูกต้องคงที่

หรือขยับตัวน้อยมากซึ่งคือที่มีการลงทะเบียนภาพ 6 ภาพต่อ 1 บุคคลโดยให้ค่าความถูกต้องประมาณ 92 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟแสดงจำนวนภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนกับความถูกต้อง

4.2 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายนิ้วมือ

การทดลองในส่วนนี้ทำการหาประสิทธิภาพของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายนิ้วมือของฝ่ามือโดยใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมในการสกัดลายนิ้ว ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลจากของฐานข้อมูล Visgraph [8] ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand และ CU-CGCI2 hand ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. ฐานข้อมูล Visgraph [8]

ในฐานข้อมูล Visgraph [8] จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนคือ ผู้ลงทะเบียนในระบบจำนวน 70 คนและผู้บุกรุก 30 คน

2. ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand

ในฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนคือ ผู้ลงทะเบียนในระบบจำนวน 86 คนและผู้บุกรุก 30 คน

3.ฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนคือ ผู้ลงทะเบียนในระบบจำนวน 57 คนและผู้บุกรุก 24 คน

4.2.2 วิธีการทดลอง

การหาประสิทธิภาพของระบบเริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ นำภาพทดสอบมาหาคะแนนการเปรียบคู่ หาค่าขีดแบ่งของระบบและหาค่า EER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบ (คนละ 3 ภาพ) ที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะมีคนละ 3 พีเจอร์เวกเตอร์ เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
- 2) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบคู่กับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบ
- 3) นำข้อมูลภาพทดสอบของผู้บุกรุกทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบคู่กับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบคู่ของผู้บุกรุก
- 4) พิจารณาคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
- 5) นำค่าขีดแบ่งมาตัดสินคะแนนการเปรียบคู่จากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR และค่า FAR ซึ่งค่า FRR คำนวณจากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้จริงในระบบที่คะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และค่า FAR คำนวณจากตารางการเปรียบคู่ของผู้บุกรุกซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้ที่ระบบระบุเป็นผู้ใช้ผิดคน
- 6) ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 50 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามข้อ 5 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับ

ค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด

- 7) เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า EER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR
- 8) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบและทำตามขั้นตอนที่ 1-8 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า EER เฉลี่ยจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า EER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด

4.2.3 ผลการทดลอง

ผลลัพธ์ของการทดลองหาค่า EER ทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละฐานข้อมูลของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือแสดงดังตารางที่ 4.3 และประสิทธิภาพของระบบแสดงดังตารางที่ 4.4 และกราฟ EER ที่ได้จากการทดลองแสดงดังกราฟที่ 4.2 – 4.10

ตารางที่ 4.3 แสดงการทดลองหาค่า EER ของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ

ฐานข้อมูล Visgraph		ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand		ฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand	
ครั้งที่	EER (%)	ครั้งที่	EER (%)	ครั้งที่	EER (%)
1	6.02	1	4.77	1	4
2	2.5	2	1.3	2	2.35
3	4.1	3	1.2	3	1.95
ค่าเฉลี่ย	4.2	ค่าเฉลี่ย	2.4	ค่าเฉลี่ย	2.77

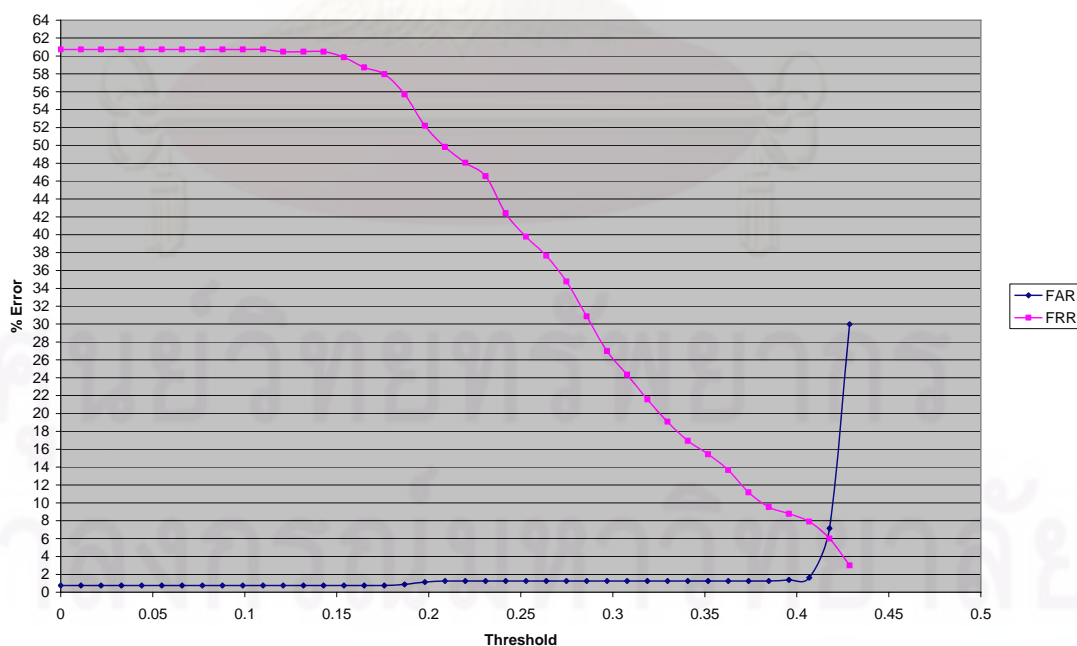
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ

ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)	ค่า EER เฉลี่ย (%)	ค่า EER สูงสุด (%)	ค่า EER ต่ำสุด (%)
Visgraph [8]	95.8	4.2	6.02	2.5
CU-CGCI1 hand	97.6	2.4	4.77	1.2
CU-CGCI2 hand	97.23	2.77	4	1.95

4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

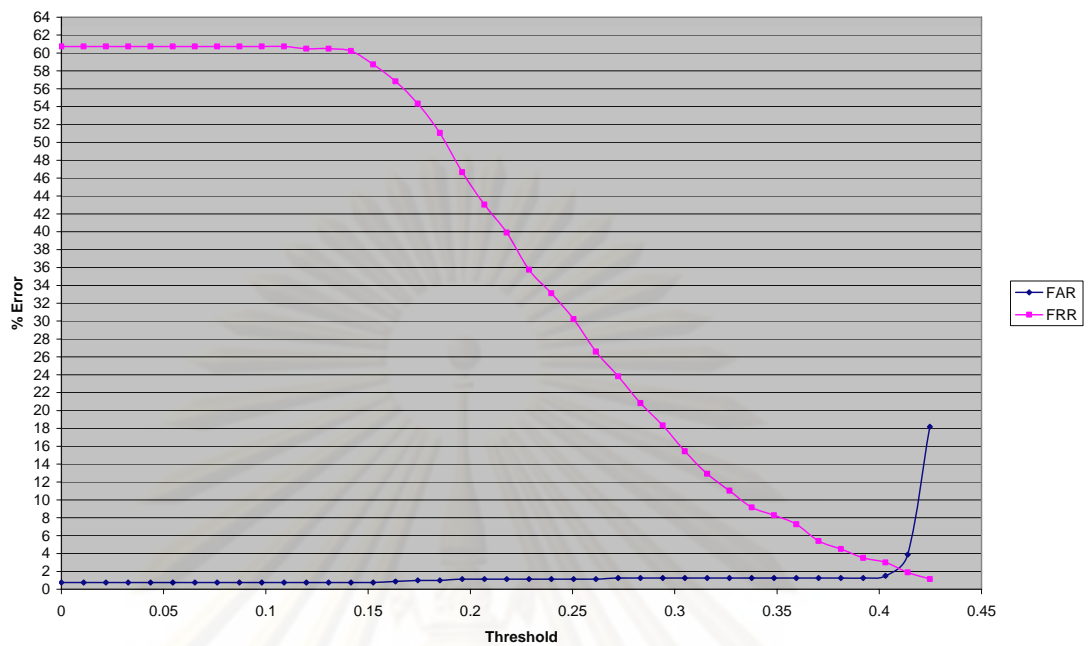
- จากการทดลองพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ได้จากการนำเอาลักษณะลายผิวของฝ่ามือที่ทำการสกัดโดยใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมของทั้ง 3 ฐานข้อมูลให้ผลที่ใกล้เคียงกันคือฐานข้อมูล Visgraph [8] ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 4.2 เปอร์เซ็นต์ ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 2.4 เปอร์เซ็นต์ และฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 2.77 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของ X. Wang และคณะ [10] ที่เสนอการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้ตัว Local binary pattern ในการสกัดฟีเจอร์และในการทดลองได้ใช้ลักษณะของฐานข้อมูลภาพมือที่มีลักษณะที่เหมือนกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือไม่มีการระบุตำแหน่งของการวางมือโดยในงานวิจัยของ X. Wang และคณะ [10] ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ได้ในงานวิจัยนี้

- จากผลการทดลองพบว่าภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพนั้นมีผลต่อความถูกต้องของระบบโดยถ้าภาพลายฝ่ามือมีใช้ในการลงทะเบียนภาพต่อ 1 บุคคลมีมากและมีลักษณะของภาพที่หลากหลายเมื่อมีภาพของบุคคลเข้ามาใช้งานในระบบระบบบอกได้ถูกต้องมากขึ้นแต่ถ้าภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนภาพมีมากระบบจะมีการตรวจสอบมากขึ้นตามไปด้วย

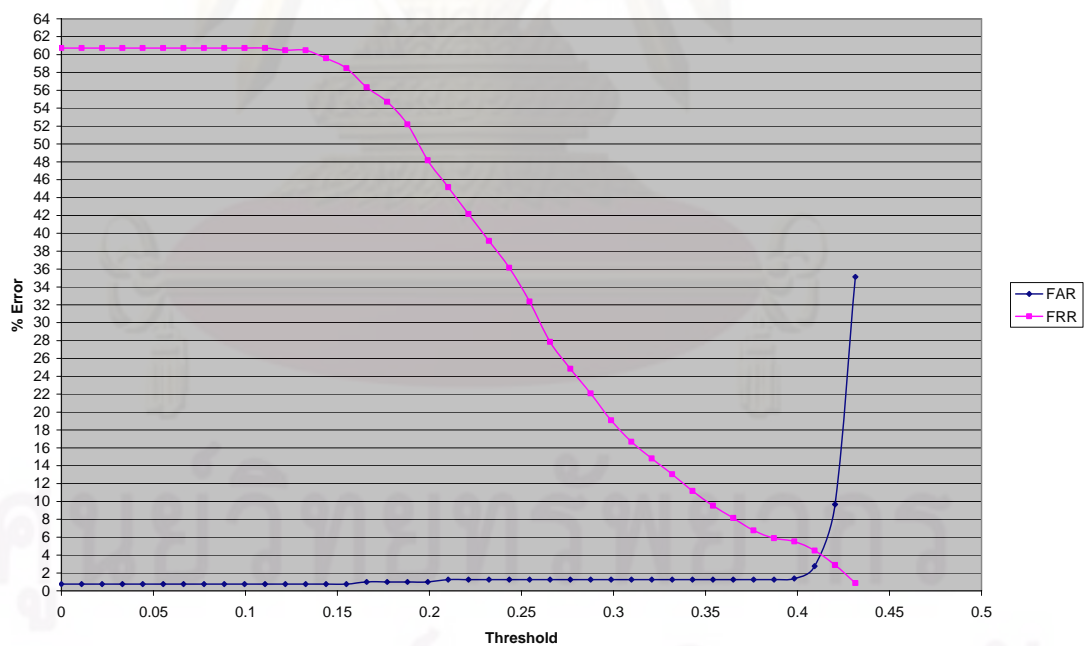


รูปที่ 4.2 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8]

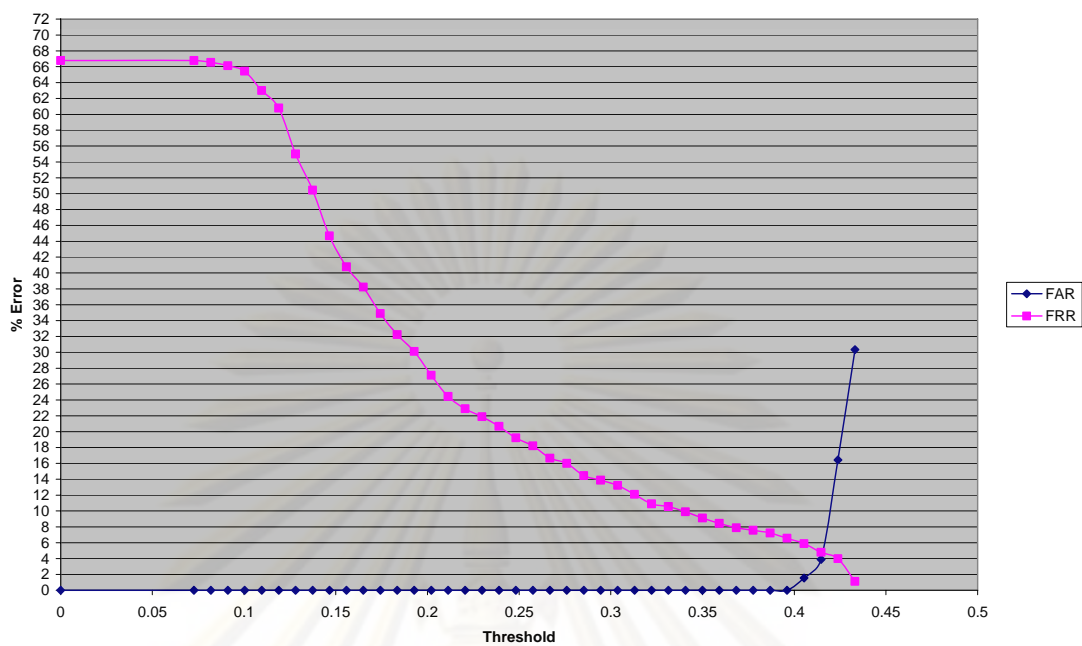
โดยได้ค่า EER เท่ากับ 6.02%



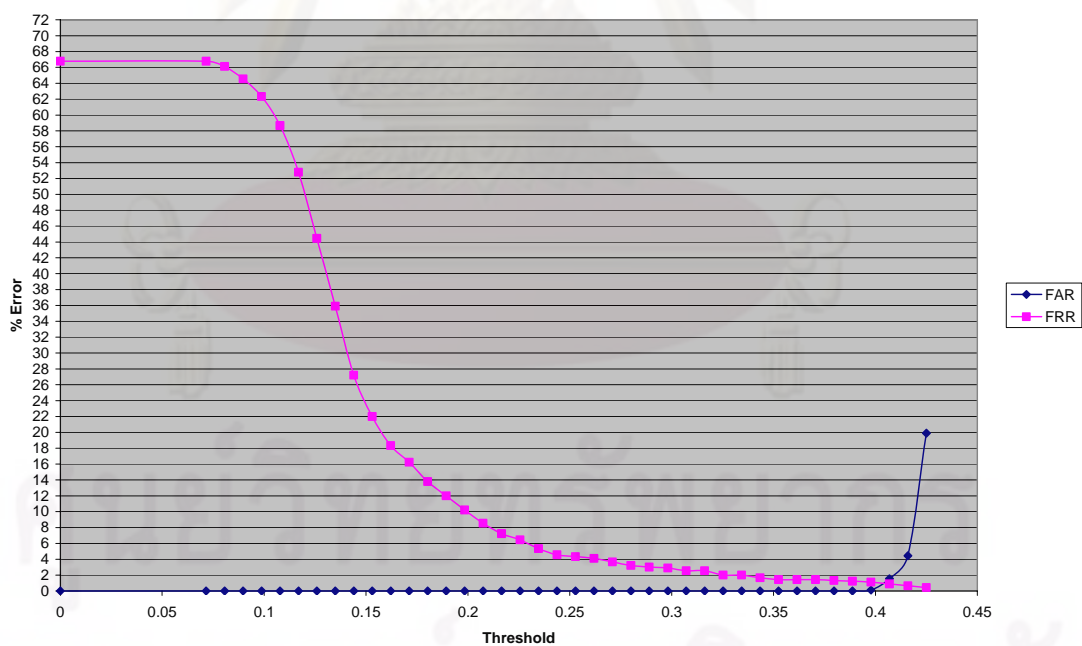
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8]
โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.5%



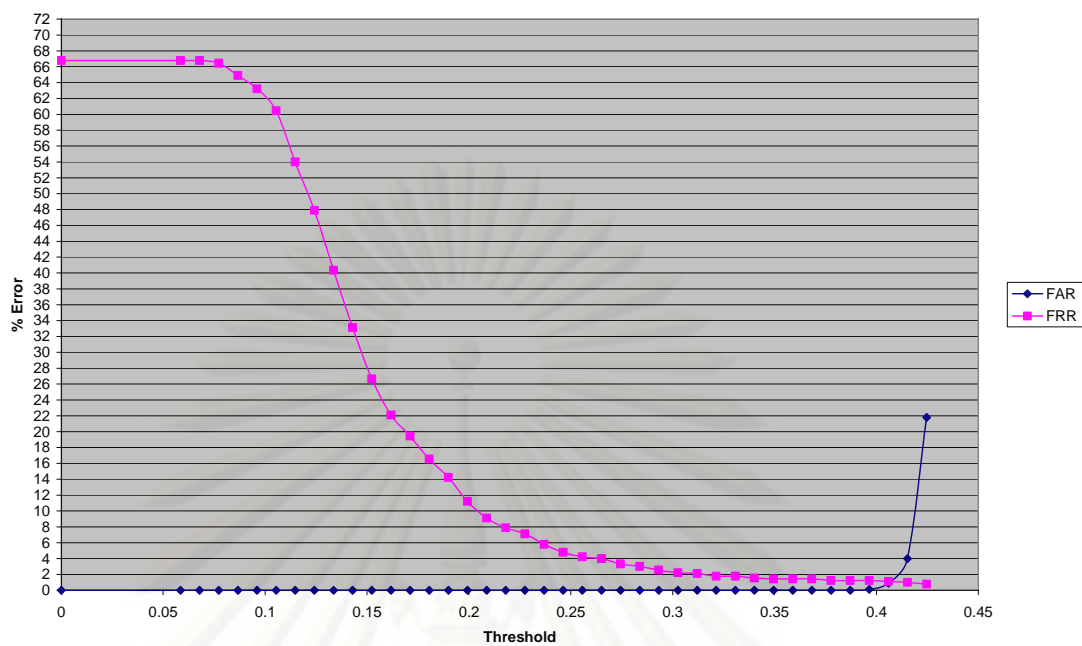
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8]
โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.1%



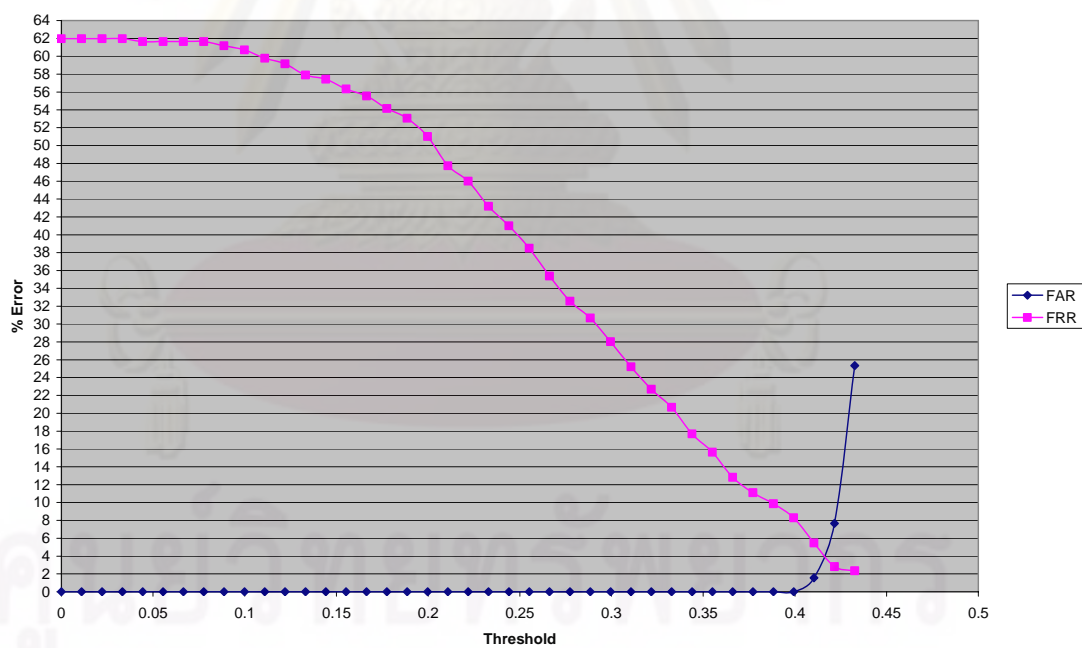
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.77%



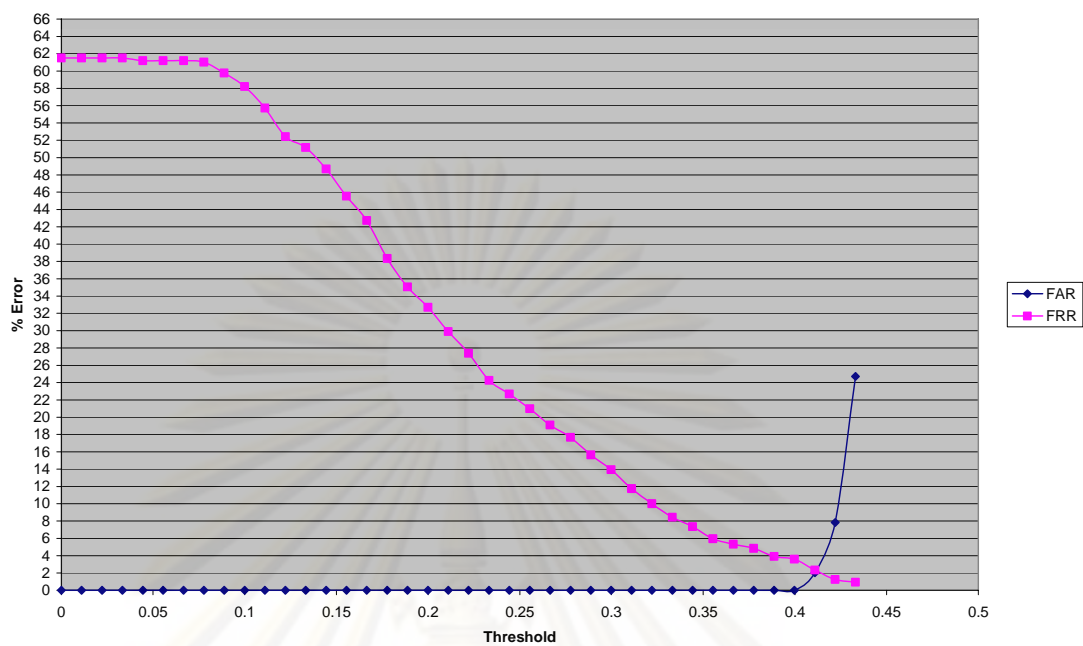
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.33%



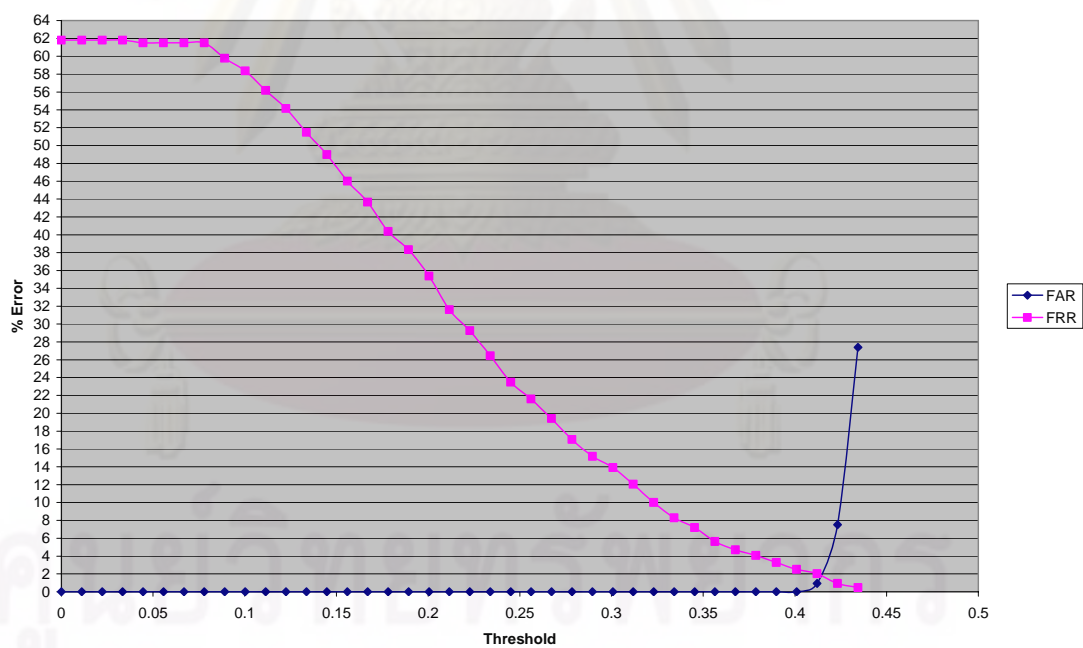
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI1 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.2%



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4%



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.35%



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGCI2 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.95%

4.3 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก

การทดลองในส่วนนี้ทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือโดยใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการีทึมในการสกัดลายนิ้วและมีการนำเอาการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักมาใช้รวมกันเพื่อลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบคู่โดยในการวัดผลในส่วนนี้จะทำการดูค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบและทำการดูจำนวนครั้งที่ใช้ในการเปรียบเทียบคู่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลจากของฐานข้อมูล Visgraph [8] ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand และฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand ซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. ฐานข้อมูล Visgrap [8]

ในฐานข้อมูล Visgraph [8] จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนคือ ผู้ลงทะเบียนในระบบจำนวน 70 คน และผู้บุกรุก 30 คน

2. ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand

ในฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนคือ ผู้ลงทะเบียนในระบบจำนวน 86 คนและผู้บุกรุก 30 คน

3. ฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand จะทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วนคือ ผู้ลงทะเบียนในระบบจำนวน 57 คนและผู้บุกรุก 24 คน

4.3.2 วิธีการทดลอง

การหาประสิทธิภาพของระบบเริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ นำภาพทดสอบมาหาคะแนนการเปรียบเทียบ ค่าขีดแบ่งของระบบและหาค่า EER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบ (คนละ 3 ภาพ) ที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการแบ่งกลุ่มโดยทำการสกัดเส้นหลักและแบ่งกลุ่มตามลักษณะของเส้นหลักที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะมีคนละ 3 พีเจอร์เวกเตอร์ เก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล โดยฐานข้อมูลจะมีการแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม
- 2) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาทำการแบ่งกลุ่มเพื่อหากกลุ่มที่ใช้ในการเปรียบเทียบและทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ภายในกลุ่มที่ได้จากการแบ่งของภาพทดสอบซึ่ง

จะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดภายในกลุ่มนั้นและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบ

- 3) ทำการเปลี่ยนกลุ่มที่ใช้ในการเปรียบเทียบตามลำดับความสำคัญที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และผลลัพธ์ที่ได้เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดภายในกลุ่มที่ทำการเปรียบเทียบและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบ โดยทำการเปรียบเทียบจนครบทั้ง 6 กลุ่ม ซึ่งหนึ่งภาพจะมีผลลัพธ์ซึ่งคือคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดภายในกลุ่มที่ทำการเปรียบเทียบและระบุเป็นผู้ใช้คนใดทั้งหมด 6 ผลลัพธ์
- 4) นำข้อมูลภาพทดสอบของผู้บุกรุกทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาทำการแบ่งกลุ่มเพื่อหากลุ่มที่ใช้ในการเปรียบเทียบและทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ภายในกลุ่มที่ได้จากการแบ่งของภาพทดสอบซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดภายในกลุ่มนั้นและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก
- 5) ทำการเปลี่ยนกลุ่มที่ใช้ในการเปรียบเทียบตามลำดับความสำคัญที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และผลลัพธ์ที่ได้เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดภายในกลุ่มที่ทำการเปรียบเทียบและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก โดยทำการเปรียบเทียบจนครบทั้ง 6 กลุ่ม ซึ่งหนึ่งภาพจะมีผลลัพธ์ซึ่งคือคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดภายในกลุ่มที่ทำการเปรียบเทียบและระบุเป็นผู้ใช้คนใดทั้งหมด 6 ผลลัพธ์
- 6) พิจารณาคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
- 7) นำค่าขีดแบ่งมาตัดสินคะแนนการเปรียบเทียบจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR ค่า FAR และจำนวนครั้งที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งค่า FRR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบ โดยทำการดูตามลำดับของผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งหนึ่งภาพจะมีผลลัพธ์ทั้งหมด 6 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบทั้งหมด 6 กลุ่มตามลำดับความสำคัญของกลุ่ม โดยผลลัพธ์ทั้ง 6 ผลลัพธ์มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่มากกว่าค่าขีดแบ่งทั้งหมด และค่า FAR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของผลลัพธ์ทั้ง

- 6 ที่น้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ที่ใช้ระบบระบุเป็นผู้ใช้ผิดคน
- 8) ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 50 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามข้อ 5 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด
- 9) เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า EER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR
- 10) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบและทำตามขั้นตอนที่ 1-8 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า EER เปรียบเทียบจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า EER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด

4.3.3 ผลการทดลอง

ผลลัพธ์ของการทดลองหาค่า EER ทั้งหมด 3 ครั้งของการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลักแสดงดังตารางที่ 4.5 และประสิทธิภาพของระบบแสดงดังตารางที่ 4.6 และกราฟ EER ที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 – 4.19

4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเสนอขั้นตอนวิธีการในการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วมือที่แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิธีการระบุบุคคลแบบทั่วไปซึ่งขั้นตอนวิธีการแบบทั่วไปนั้นเมื่อมีภาพลายนิ้วมือของผู้ใช้เข้ามาใช้งานในระบบระบบจะต้องนำภาพลายนิ้วมือนั้นไปทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งต้องใช้จำนวนครั้งของการเปรียบเทียบและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มของลายนิ้วมือโดยใช้เส้นหลักภายในฐานข้อมูลก่อนโดยเมื่อมีภาพลายนิ้วมือของผู้ใช้เข้ามาใช้งานในระบบระบบจะนำภาพลายนิ้วมือนั้นไปทำการแบ่งกลุ่มและนำไปเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ระบบได้ทำการระบุเอาไว้แต่ถ้าทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มนั้นแล้วไม่พบภาพของบุคคลนั้นระบบก็จะทำการเลื่อนไปในกลุ่มถัดไปโดยดูจากความใกล้เคียงของเส้นหลักซึ่งจากการทดลองพบว่าผลของค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันใกล้เคียงกับวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วมือแบบทั่วไปและผลที่ได้ยังสอดคล้องกันทั้ง 3 ฐานข้อมูลที่นำมาทดลองโดยให้ผลดังนี้ให้ผลที่ใกล้เคียงกันคือฐานข้อมูล Visgraph [8] ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 4.46 เปอร์เซ็นต์ ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 2.3 เปอร์เซ็นต์ และฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand

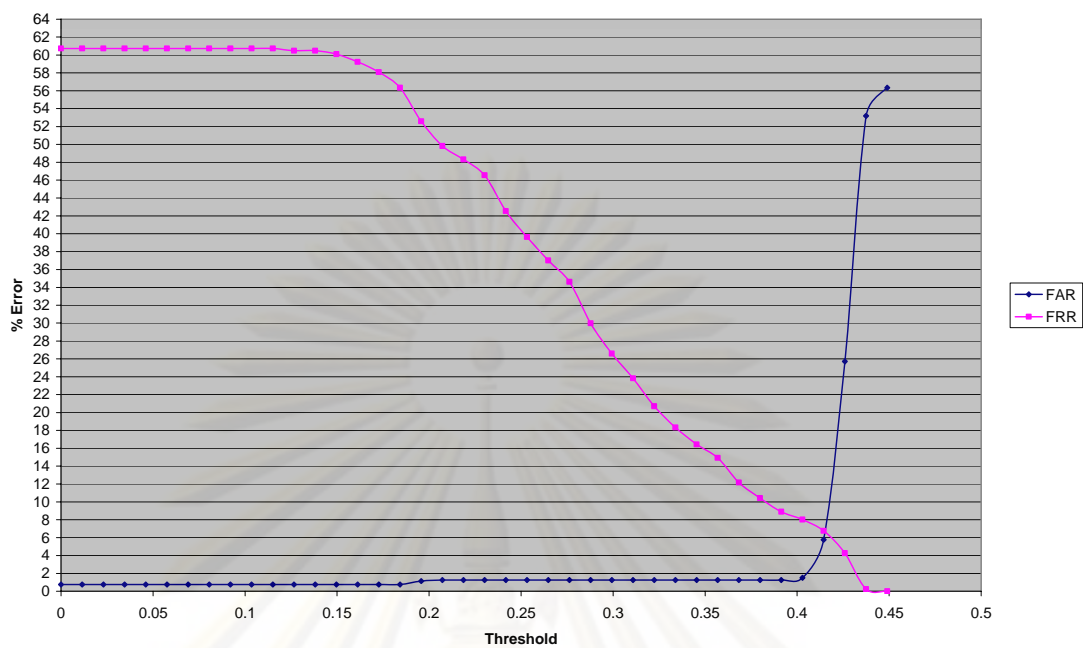
ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 2.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการดูจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบภายในฐานข้อมูลพบว่าวิธีการนี้สามารถลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบเหลือเพียงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดและให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันทั้ง 3 ฐานข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 4.5 แสดงการทดลองหาค่า EER ของการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก

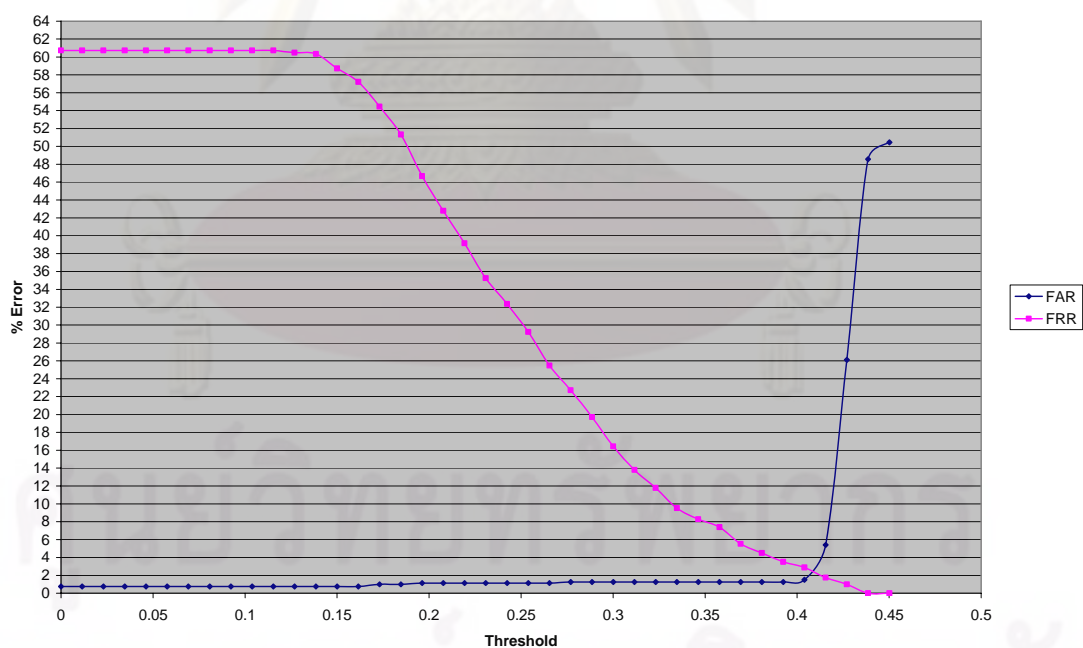
ฐานข้อมูล Visgraph			ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand			ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand		
ครั้งที่	EER (%)	จำนวนการเปรียบเทียบทั้งหมด (ครั้ง) (102,900 ครั้ง)	ครั้งที่	EER (%)	จำนวนการเปรียบเทียบทั้งหมด (ครั้ง) (155,316 ครั้ง)	ครั้งที่	EER (%)	จำนวนการเปรียบเทียบทั้งหมด (ครั้ง) (68,229 ครั้ง)
1	6.77	40,956	1	4.2	60,663	1	4	23,831
2	2.5	37,376	2	1.3	48,113	2	2.5	22,579
3	4.1	39,474	3	1.2	45,961	3	2.19	22,199
ค่าเฉลี่ย	4.46	39,268.7 (38.2%)	ค่าเฉลี่ย	2.3	51,579 (33.2%)	ค่าเฉลี่ย	2.9	22,869.7 (33.52%)

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพของการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วมือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก

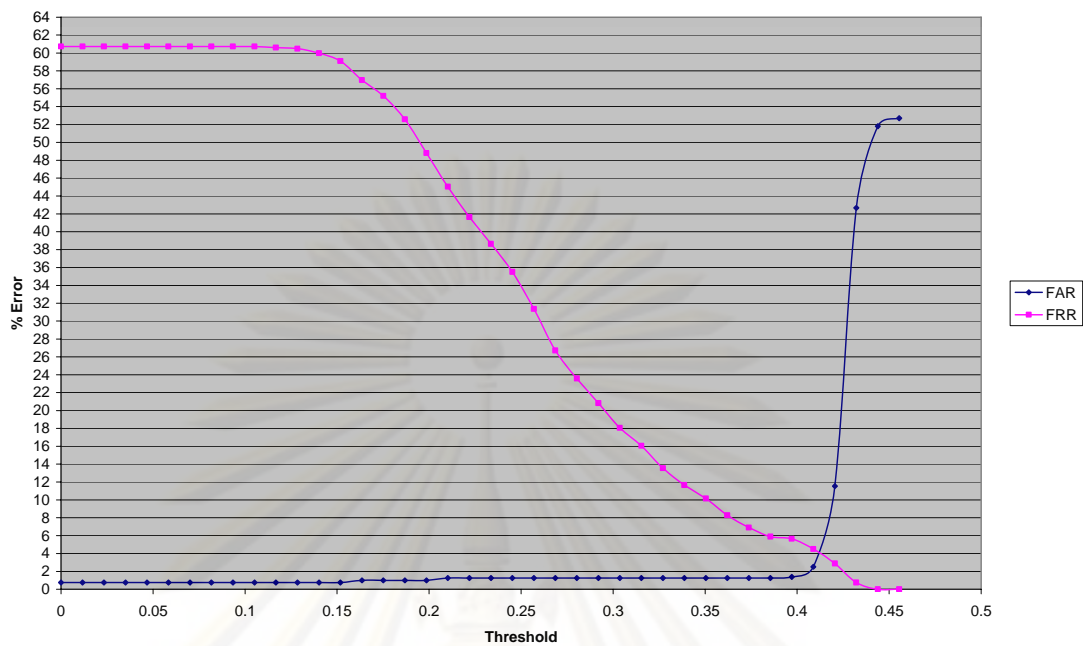
ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)	ค่า EER เฉลี่ย (%)	ค่า EER สูงสุด (%)	ค่า EER ต่ำสุด (%)	จำนวนการเปรียบเทียบเฉลี่ย (ครั้ง)
Visgraph [8]	95.54	4.46	6.77	2.5	39,268.7 (38.2%)
CU-CGCI1 hand	97.7	2.3	4.2	1.2	51,579 (33.2%)
CU-CGCI2 hand	97.1	2.9	4	2.19	22,869.7(33.52%)



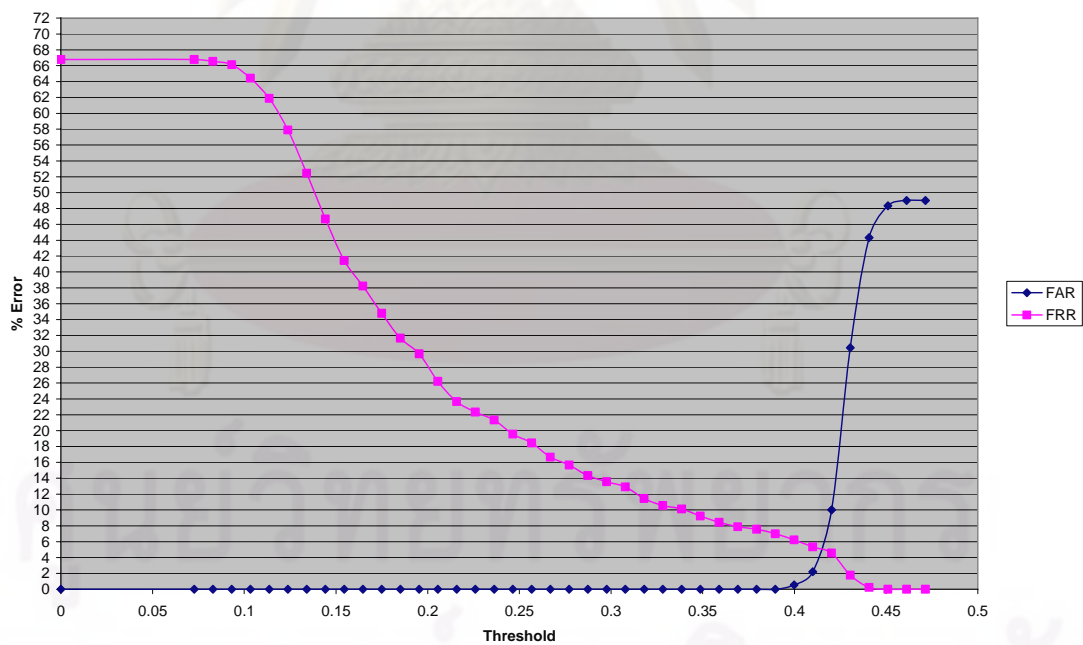
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 6.77%



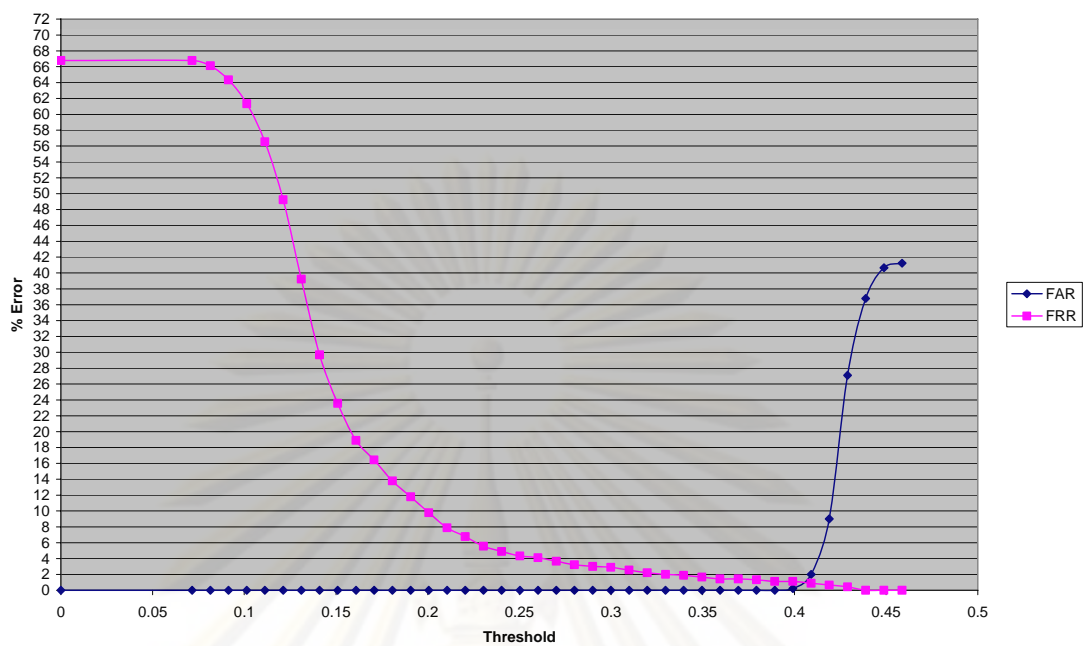
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.5%



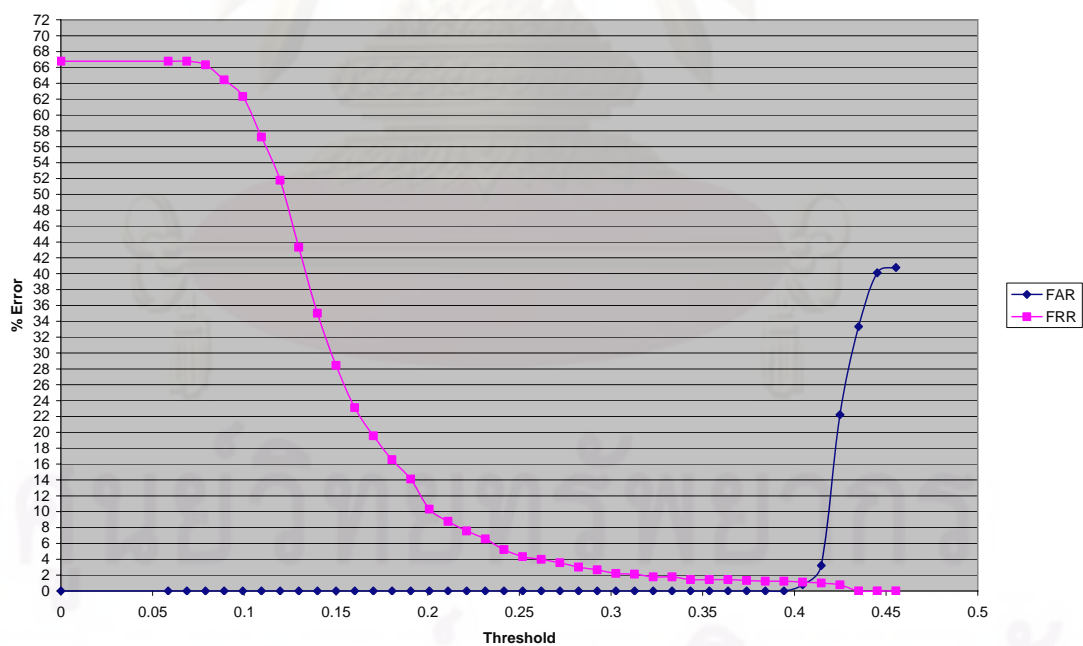
รูปที่ 4.13 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ Visgraph [8] โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.1%



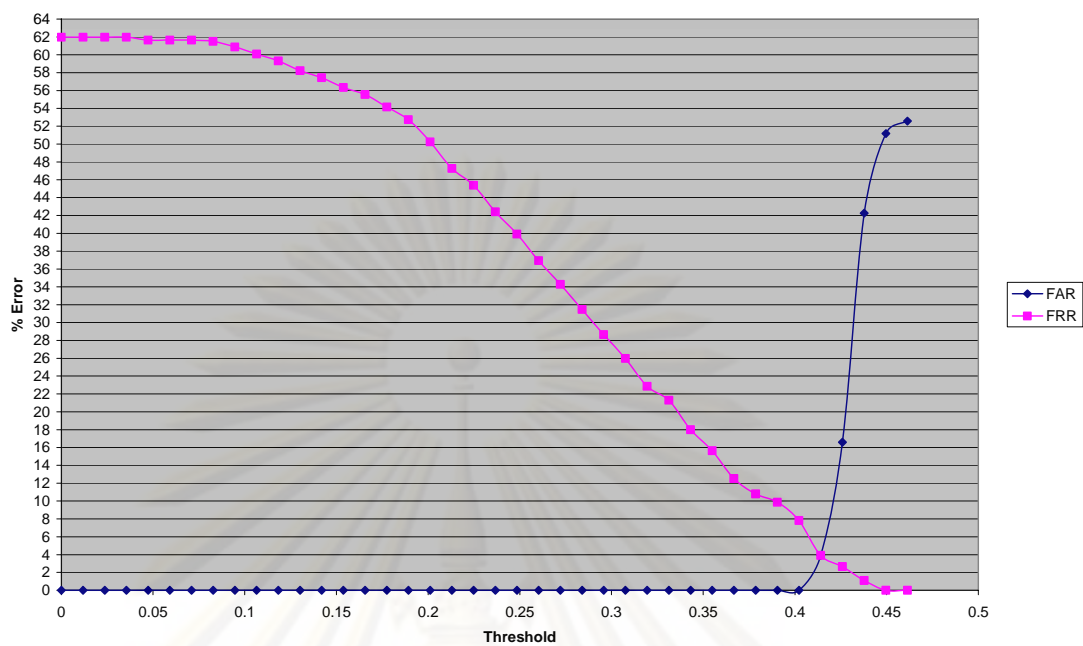
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGC11 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4.2%



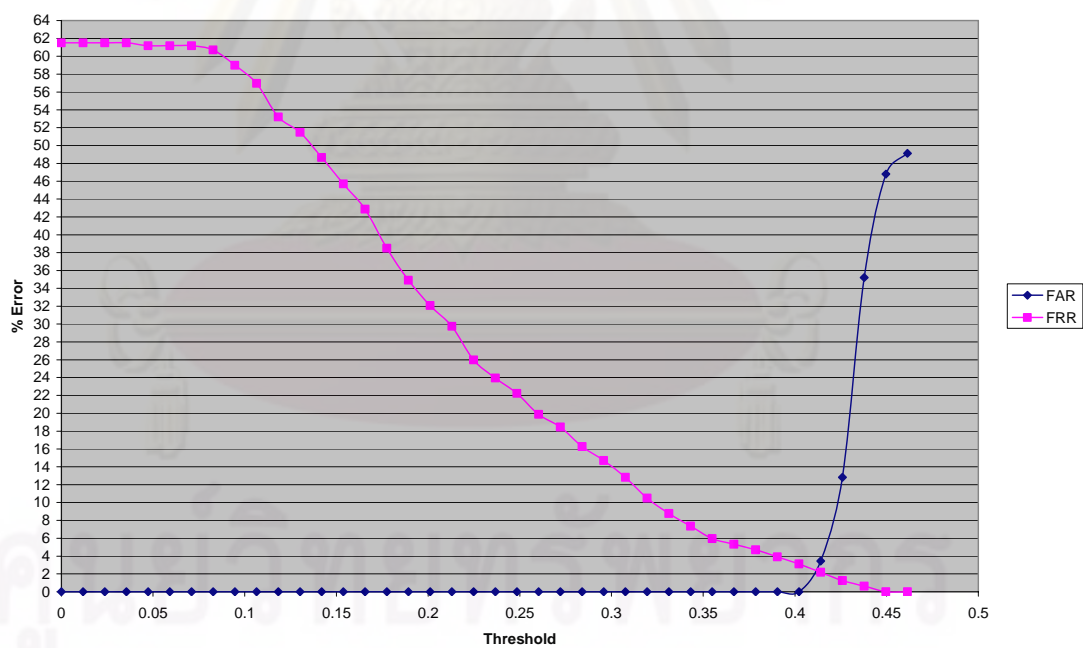
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGC11 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.3%



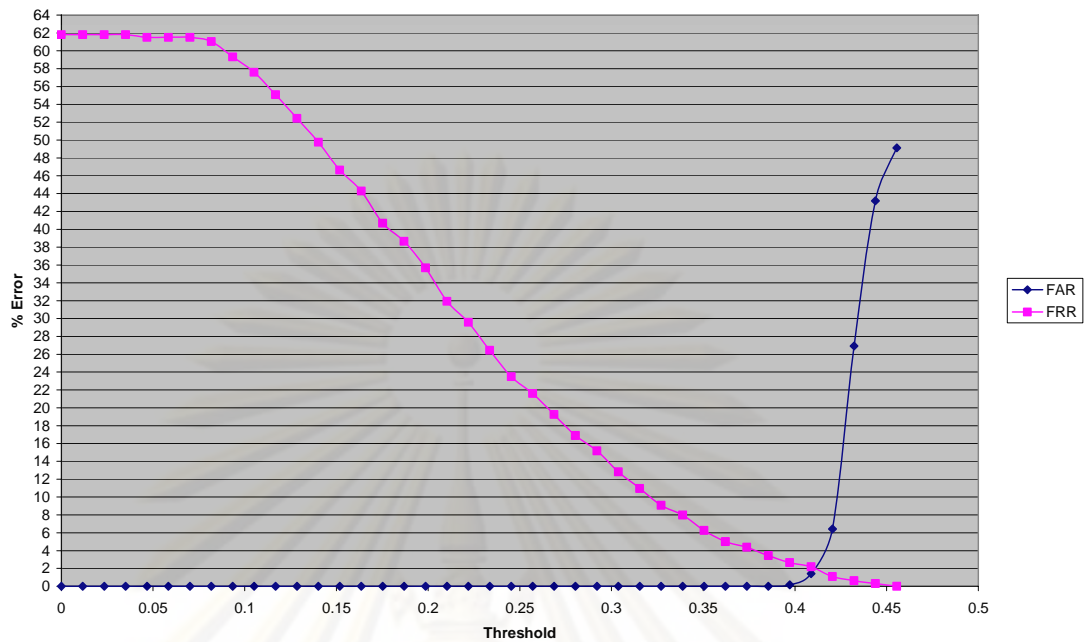
รูปที่ 4.16 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGC11 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 1.2%



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 1 ของฐานข้อมูลของ CU-CGC12 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 4%



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 2 ของฐานข้อมูลของ CU-CGC12 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.5%



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟการหาค่า EER จากการทดลองครั้งที่ 3 ของฐานข้อมูลของ CU-CGC12 hand โดยได้ค่า EER เท่ากับ 2.19%

4.4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล

เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนเพื่อทำการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักและสร้างแผ่นแบบของผู้ใช้ 1 ภาพแสดงดังตารางที่ 4.7 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อทำการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือและสร้างแผ่นแบบของระบบการระบุบุคคล

ขั้นตอนการประมวลผล	เวลาที่ใช้ (วินาที)
การตัดส่วนบริเวณที่สนใจ	2.28
การแบ่งกลุ่มของฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก	0.297
การสกัดพีเจอร์	0.128

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือ และการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลักและข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในขั้นตอนแรกของงานวิจัยจะทำการเก็บภาพฝ่ามือและทำการตัดบริเวณที่สนใจจากภาพซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการดังนี้

ทำการเก็บข้อมูลภาพฝ่ามือซ้ายของผู้ใช้ โดยให้ผู้ใช้หงายมือและวางหลังมือและนิ้วชิดกับพื้นเรียบสีดำ จากนั้นใช้กล้องดิจิทัลทำการเก็บภาพผู้ใช้และส่งภาพไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไปในงานวิจัยนี้ใช้ภาพฝ่ามือแบบภาพสี RGB 24 บิตขนาด 1280x960 จุดภาพ จากฐานข้อมูล Visgraph [8] ฐานข้อมูล CU-CGCI1 hand และฐานข้อมูล CU-CGCI2 hand ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและเก็บข้อมูลเอง

เมื่อได้ภาพฝ่ามือของผู้ใช้แล้ว ขั้นตอนถัดมาเป็นการประมวลผลภาพเบื้องต้น เพื่อปรับปรุงภาพให้เหมาะสม โดยขั้นตอนแรกทำการแปลงภาพฝ่ามือจากภาพสีให้กลายเป็นภาพระดับเทา ต่อมากำจัดสัญญาณรบกวนในภาพโดยใช้ตัวกรองแบบมัลติฐาน จากนั้นทำการแบ่งส่วนมือออกจากพื้นหลังโดยใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติของ Otsu และใช้การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณแบบเปิดและปิดในการปรับภาพให้เรียบ

หลังจากการประมวลผลภาพเบื้องต้นแล้ว จะทำการหาตำแหน่งสำคัญในภาพคือ 'จุดปลายนิ้ว' และ 'จุดง่ามนิ้ว' โดยทำการหาจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของข้อนิ้วจากบริเวณด้านล่างของภาพ และหาจุดอ้างอิงซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายเพื่อใช้วัดระยะทางของจุดภาพที่อยู่บนขอบของมือ จากนั้นทำการตามรอยขอบของมือโดยเริ่มที่จุดเริ่มต้นไปสิ้นสุดที่จุดสุดท้าย ในขณะที่ตามรอยขอบจะหาระยะทางระหว่างจุดที่อยู่บนขอบของมือกับจุดอ้างอิง จุดปลายนิ้วหาจากจุดที่มีระยะทางมากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียงข้างละ 50 จุดภาพ และจุดง่ามนิ้วหาจากจุดที่มีระยะทางน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียงข้างละ 50 จุดภาพ โดยทำการวัดระยะทางแบบยูคลิดีเนียน

หลังจากนั้นก็ทำการตัดบริเวณที่สนใจโดยใช้จุดง่ามนิ้วชี้และนิ้วกลาง จุดง่ามนิ้วกลางและนิ้วนาง และจุดง่ามนิ้วนางและนิ้วก้อย เป็นจุดอ้างอิงในการตัดบริเวณที่สนใจ

5.1.1 การแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก

ขั้นตอนแรกของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักคือขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- แปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทาโดยใช้ค่าจากช่องสีน้ำเงิน
- ทำการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันโดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- กำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองเกอรัยเซียนขนาด 3×3 และลดขนาดของภาพลงเพื่อลดเวลาในการประมวลผล

หลังจากการประมวลผลภาพเบื้องต้นแล้ว จะทำการสกัดเส้นหลักโดยใช้วิธีพิจารณาค่าโปรไฟล์ของค่าสีใน 4 ทิศทางคือ 0° , 45° , 90° และ 135° และทำการพิจารณาลักษณะของโปรไฟล์ และเมื่อได้เส้นหลักแล้วก็จะทำการเชื่อมเส้นและทำให้เส้นมีความสมบูรณ์

ขั้นตอนถัดมา จะทำการสกัดพีเจอรซึ่งพีเจอรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของงานวิจัยนี้จะใช้ 3 พีเจอรคือ การเชื่อมกันของเส้นสมองและเส้นชีวิต ลักษณะของเส้นหัวใจที่มีลักษณะเส้นตรงหรือโค้ง และลักษณะของเส้นหัวใจที่มีลักษณะเส้นตรงราบและเส้นตรงเอียง จากนั้นจะทำการแบ่งกลุ่ม

ผลการทดลองจากการสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 3 ครั้งของแต่ละฐานข้อมูลได้ค่าการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละฐานข้อมูลดังนี้

ฐานข้อมูล Visgraph [8]: 28.67%, 32.33%, 25.27%, 3.4%, 4.4% และ 5.9% ตามลำดับ

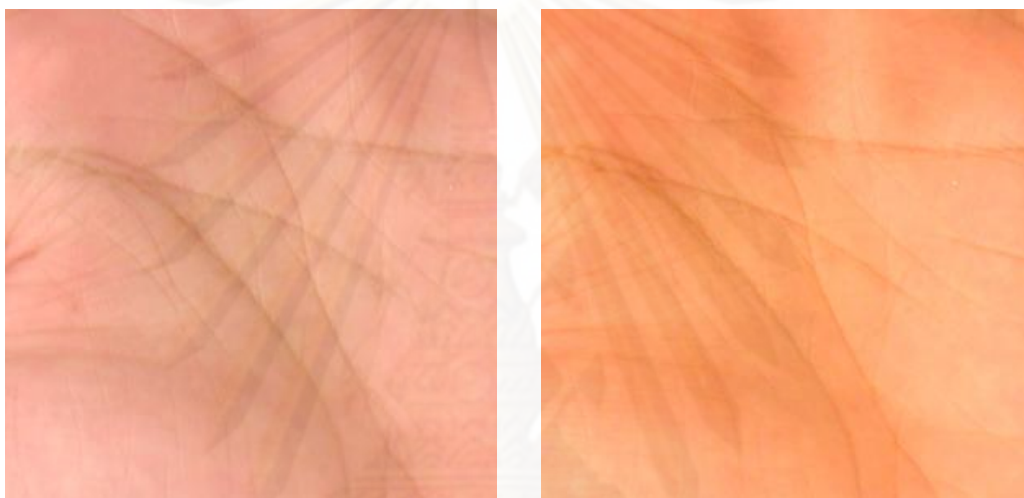
ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI1: 31.6%, 22.9%, 28.2%, 5.4%, 3.6% และ 8.2% ตามลำดับ

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI2: 29.05%, 17.12%, 34.65%, 6.67%, 4.86% และ 7.66% ตามลำดับ

และได้ผลของความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มเมื่อมีการลงทะเบียนภาพจำนวน 3 ภาพต่อ 1 บุคคลโดยในฐานข้อมูลของ Visgraph [8] ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 85.3 เปอร์เซ็นต์ ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI1 ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 85.1 เปอร์เซ็นต์และฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI2 ได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 84.3 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลักด้วยวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้เป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- 1 เนื่องจากในงานวิจัยนี้เสนอขั้นตอนวิธีการในการแบ่งกลุ่มโดยใช้เส้นหลักดังนั้นความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มจึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการสกัดเส้นหลัก
- 2 ลักษณะของภาพฝ่ามือมีผลต่อการแบ่งกลุ่มโดยภาพของบุคคลเดียวกันอาจมีลักษณะของเส้นหลักที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 5.1 โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับความสว่างของภาพให้เป็นบรรทัดฐานเพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องความแตกต่างของสภาพแวดล้อมของการเก็บข้อมูลนี้แล้วแต่ก็ยังไม่อาจแก้ไขปัญหานี้ได้ทั้งหมด



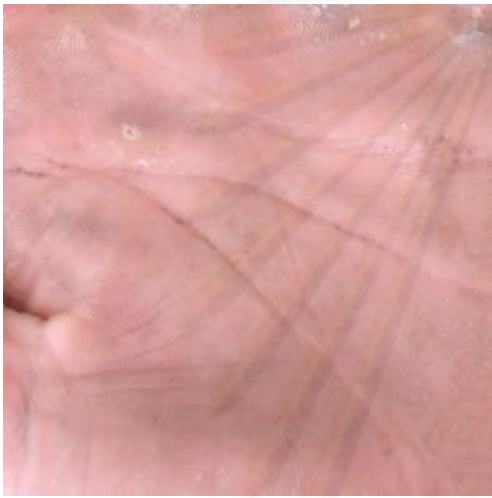
(ก)

(ข)

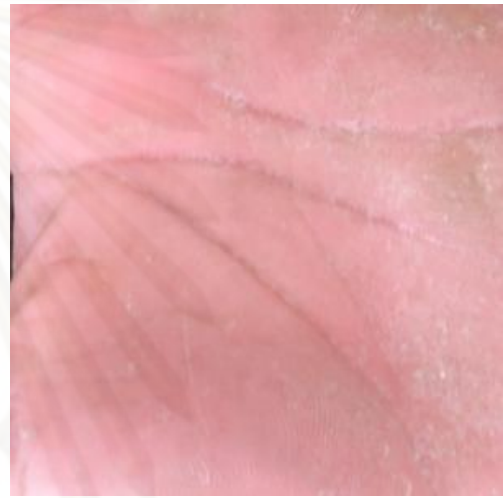
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างภาพของบุคคลเดียวกันแต่มีสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพที่ต่าง
กัน

- 3 พีเจอร์ของเส้นหลักที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มของลายฝ่ามืออย่างหนึ่งคือลักษณะของเส้นหัวใจที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงและเป็นเส้นโค้งโดยในงานวิจัยนี้ได้นำเอาสมการเส้นตรงมาทำการประมาณลักษณะของเส้นหัวใจและทำการดูค่าความผิดพลาดจากการประมาณเส้นตรงนั้นเพื่อทำการบอกว่าลักษณะของเส้นหัวใจมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเป็นเส้นโค้ง ซึ่งในการประมาณลักษณะของเส้นด้วยสมการนี้จะเกิดความผิดพลาดได้อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่ได้จากการสกัดเส้นหลักถึงแม้ว่าในงานวิจัยนี้จะได้ทำการลบสัญญาณรบกวนไปแล้วแต่ก็อาจเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้
- 4 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและทำการเก็บข้อมูลจากบุคคลต่างๆ หลากหลายอาชีพโดยจากการเก็บข้อมูลในหลากหลายอาชีพพบว่าลักษณะของลายฝ่ามือของ

กลุ่มคนที่มีลักษณะของอาชีพที่มีการใช้งานของมือมากๆ เช่นคนก่อสร้าง แม่ค้า เป็นต้น ส่วนใหญ่จะมีลักษณะของลายฝ่ามือที่ชัดเจน และมีจำนวนเส้นที่น้อยแต่จะมีรอยด้านบนฝ่ามืออันเนื่องมาจากการทำงานซึ่งรอยด้านที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อวิธีการในการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือได้ดังแสดงในภาพที่ 5.2 ส่วนกลุ่มของบุคคลที่มีลักษณะของอาชีพที่มีการใช้งานมือน้อยๆ เช่นพวกนักศึกษาส่วนใหญ่จะมีลักษณะของลายฝ่ามือที่บางและไม่ชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 5.3



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างภาพลักษณะของลายฝ่ามือของบุคคลที่มีอาชีพที่ใช้งานมือมากๆ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างภาพลักษณะของลายฝ่ามือของบุคคลที่มีอาชีพที่ใช้งานมือน้อยๆ เช่น นักศึกษา

- 5 วิธีการแบ่งกลุ่มที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีการนำเอาลักษณะของเส้นหลักมาใช้ในการแบ่งกลุ่มซึ่งเส้นหลักเป็นเส้นที่มีความชัดเจนจึงทำให้ง่ายในการสกัดเส้นหลักอีกทั้งลักษณะที่นำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มมีความชัดเจนไม่ซับซ้อนซึ่งเป็นข้อดีของวิธีการแบ่งกลุ่มที่เสนอในงานวิจัยนี้ที่แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา [14, 15] และจากผลการทดลองการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มพบว่ากลุ่มที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมีข้อมูลเพียง 34 % และได้ค่าความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มประมาณ 85%

5.1.2 การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือ

ขั้นตอนของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วของฝ่ามือโดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวกรองภาพแบบลอการิทึมในการสกัดลายนิ้วนั้นประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนแรกของการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือคือขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นซึ่งมีขั้นตอนคือ ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองเกาส์เซียนขนาด 3×3 และลดขนาดของภาพลงเพื่อลดเวลาในการประมวลผล

ขั้นตอนถัดมาคือการสกัดพีเจอรซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ลักษณะของลายนิ้วมาเป็นพีเจอรโดยใช้ตัวกรองภาพแบบลอการิทึมมาทำการสกัดลักษณะของลายนิ้ว

ในขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่ใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming distance) และใช้ค่าขีดแบ่งตัดสินในการระบุบุคคลในขั้นตอนการตัดสินใจของระบบ

ผลการทดลองจากการสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 3 ครั้ง ในแต่ละฐานข้อมูล โดยได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบของระบบดังนี้

ฐานข้อมูล Visgraph [8]: 4.2 ± 1.76 เปอร์เซ็นต์

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI1: 2.4 ± 2.03 เปอร์เซ็นต์

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI2: 2.77 ± 1.08 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยสรุปได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบผลของค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันกับงานวิจัยของ X. Wang และคณะ [10] ที่เสนอการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้ตัว Local binary pattern ในการสกัดพีเจอรและในการทดลองได้ใช้ลักษณะของฐานข้อมูลภาพมือที่มีลักษณะที่เหมือนกับที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือไม่มีการระบุตำแหน่งของการวางมือโดยในงานวิจัยของ X. Wang และคณะ [10] ได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ได้ในงานวิจัยนี้

5.1.3 การระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก

ในขั้นตอนของการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลักเป็นการรวมขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเข้าด้วยกันดังนี้

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจะนำข้อมูลภาพมือและทำการตัดบริเวณที่สนใจ

ขั้นตอนถัดมาจะทำการแบ่งกลุ่มของภาพฝ่ามือโดยดูจากลักษณะของเส้นหลัก และเมื่อได้กลุ่มแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือ โดยทำการสกัดพีเจอร์ทึใช้ในการเปรียบเทียบ

จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนของการเปรียบเทียบ โดยจะนำพีเจอร์ทึที่ได้จากการสแกนขั้นตอนของการระบุบุคคลไปทำการเปรียบเทียบกับพีเจอร์ทึที่อยู่ในฐานข้อมูล โดยทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มเดียวกับที่ได้จากการแบ่งกลุ่มนั้นก่อน และทำการดูค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้จากการเปรียบเทียบภายในกลุ่มนั้น โดยถ้าค่าคะแนนที่ได้มากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดระบบก็จะทำการเลื่อนการเปรียบเทียบไปยังกลุ่มถัดไปโดยดูจากความใกล้เคียงของพีเจอร์ทึที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม

ผลลัพธ์การทดลองการระบุบุคคลด้วยลักษณะลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลัก โดยการทดลองจะทำการสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 3 ครั้ง ในแต่ละฐานข้อมูลซึ่งได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบดังนี้

ฐานข้อมูล Visgraph [8]: 4.46 ± 2.15 เปอร์เซ็นต์

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI1 hand: 2.3 ± 1.70 เปอร์เซ็นต์

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI2 hand: 2.9 ± 0.97 เปอร์เซ็นต์

และสามารถลดจำนวนการเปรียบเทียบในฐานข้อมูลเมื่อเทียบกับจำนวนการเปรียบเทียบด้วยวิธีการแบบทั่วไปได้ดังนี้

ฐานข้อมูล Visgraph [8]: เหลือการเปรียบเทียบ 38.2 ± 1.75 เปอร์เซ็นต์

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI1 hand: เหลือการเปรียบเทียบ 33.2 ± 5.11 เปอร์เซ็นต์

ฐานข้อมูลภาพมือ CU-CGCI2 hand: เหลือการเปรียบเทียบ 33.52 ± 1.25 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

- 1 ขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วโดยใช้ตัวกรองกาบอร์แบบลอการิทึมมาทำการสกัดลายนิ้วและเสนอขั้นตอนวิธีการในการแบ่งกลุ่มโดยใช้เส้นหลักเพื่อลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบและลดเวลาของการประมวลผลซึ่งผลที่ได้ให้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ดีใกล้เคียงกับวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือแบบทั่วไป แต่ขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถ

ลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบคู่ลงเหลือเพียง 40 เปรอร์เซ็นต์โดยผลที่ได้ยังสอดคล้องกันกับทั้ง 3 ฐานข้อมูลที่ได้นำมาทดลอง

- 2 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า FAR และค่า FRR ที่ได้จากวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลักกับค่า FAR และค่า FRR ที่ได้จากวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วของฝ่ามือด้วยวิธีการแบบทั่วไปพบว่าค่า FRR ที่ได้จากวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายนิ้วของฝ่ามือจากกลุ่มที่คัดกรองด้วยเส้นหลักมีค่าที่มากกว่าวิธีการระบุบุคคลด้วยวิธีการแบบทั่วไปเล็กน้อยในบางครั้งของการทดลอง (จากการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง) แต่มีค่าไม่แตกต่างกันมากส่วนค่า FAR ของทั้ง 2 วิธีการนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรมและทดลองวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่ายังมีส่วนที่ น่าจะปรับปรุงเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ ดังต่อไปนี้

- 1) อาจทำการเก็บข้อมูลของผู้ใช้เพิ่มเพื่อใช้ในการทดลองระบบ เพื่อให้ความถูกต้อง ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด
- 2) ทดสอบความมีชีวิต (Liveness check) ของข้อมูลที่เข้ามาในระบบ เพื่อตรวจสอบว่า เป็นผู้นุกรุกที่ปลอมแปลงลักษณะของผู้ใช้จริงในระบบหรือไม่
- 3) อาจนำวิธีการแบ่งกลุ่มไปใช้ร่วมกับพีเจอรอื่นเพื่อเพิ่มความถูกต้องให้กับระบบ
- 4) อาจพัฒนาเป็นระบบระบุบุคคลแบบฝังตัว (Embedded system) ได้
- 5) อาจใช้ภาพที่มีการกำหนดตำแหน่งของการวางมือเพื่อเพิ่มความถูกต้องของระบบได้
- 6) อาจออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพฝ่ามือโดยสามารถควบคุมแสง ระหว่างการเก็บข้อมูลได้เพื่อลดปัญหาความแตกต่างของสภาพแวดล้อมในการเก็บ ข้อมูลได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Wai Kin Kong, David Zhang. Palmprint Texture Analysis Based on Low-Resolution Images for Personal Authentication. 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02) 2002.
- [2] D. Zhang, Wai Kin Kong, Jane You, and Michael Wong. Online Palmprint Identification. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 25 (2003) : 10.
- [3] L. Zhang and D. Zhang. Characterication of palmprint by wavelet signatures via directional context modeling. IEEE Transactions on Systems Man. And Cybernetics-Part B: Cybernetics 34 (2004) : 1335-1347.
- [4] Jin Soo Noh, Kang Hyeon Rhee. Palmprint Identification Algorithm using Hu Invariant Moments and Otsu Binarization. In Proceedings of the Fourth Annual ACIS International 2005 : 94- 99.
- [5] Fang Li, Maylor K.H. Leung, Xiaozhou Yu. Palmprint Matching using Line Features. ICA0T2006 2006.
- [6] Dapeng Zhang, W.S. Two Novel Characteristics in Palmprint Verification: Datum Point Invariance and Line Feature Matching. Pattern Recognition Society 1998.
- [7] Ajay Kumar¹, D.C.M.W., Helen C. Shen¹, Anil K. Jain. Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric. In Proceedings of 4th International Conference on Audio- and Video-based Biometric Personal Authentication (AVBPA) 2003.
- [8] Visgraph. Database of 1080 Hand Images. Available from <ftp://pftp.cs.ust.hk> and http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/DC_img.htm, 2004.
- [9] Pipat Prateepamornkul, N.Covavisaruch, Puripant Ruchikachorn and Piyanaat Taksaphan. Personal Verification and Identification Using Hand Geometry. In National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC 2004) 2004.
- [10] Xianji Wang, Haifeng Gong, Hao Zhang, Bin Li, Zhenquan Zhuang. Palmprint

- Identification using Boosting Local Binary Pattern. The 18th International Conference on Pattern Recognition 2006.
- [11] Jane You, Wenxin Li, David Zhang. Hierarchical palmprint identification via multiple feature extraction. Pattern Recognition Society 2002 : 847-859.
- [12] Jane You, Wai-Kin Kong, David Zhang, King Hong Cheung. On Hierarchical Palmprint Coding With Multiple Features for Personal Identification in Large Databases. IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology 14 (2004) : 234-243.
- [13] Jie Wu, Zhengding Qiu. A Hierarchical Palmprint Identification Method Using Hand Geometry and Grayscale Distribution Features. The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06) 2006.
- [14] Xiangqian Wu, D. Zhang., Kuanquan Wang, Bo Huang. Palmprint classification using principal lines. Pattern Recognition 2004.
- [15] Li Fang, M. K. H. L., Tejas Shikhare, Victor Chan, Kean Fatt Choon. Palmprint Classification. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006 : 2965-2969.
- [16] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti. Biometric: Personal Identification in Networked Society. U.S.A.: Kluwer Academic Publishers 2002.
- [17] R. de Luis-García, C. Alberola-Lopez, O. Aghzout, and J. Ruiz-Alzola. Biometric Identification Systems. Signal Processing 83 (2003) : 2539-2557.
- [18] N. Otsu. A Threshold Selection Method From Gray-scale Histogram. IEEE Transaction System 8 (1978) : 62-66.
- [19] R.C. Gonzalez, and R.E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.:Prentice-Hall 2002.
- [20] T. Kaneko, and M. Okudaira. Encoding of Arbitrary Curves Based on The Chain Code Representation. IEEE Transaction on Communications 33 (1985) : 697-707.
- [21] L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation. IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence 20 (1998) : 777-789.

- [22] ผศ.ดร. อนิรุทธ ลวดทอง. เอกสารคำสอน การวิเคราะห์และระเบียบวิธีเชิงตัวเลข
(Numerical Analysis and Methods). ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี. : 2007
- [23] Movellan, Javier R.. Tutorial on Gabor Filters.
<http://mplab.ucsd.edu/tutorials/gabor.pdf> . Retrieved on 2008-05-14
- [24] D. Field. Relation between the statistics of natural images and the response
profiles of cortical cells. J. Opt. Soc. Am A(4) (1987) : 2379-2394.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง “วิธีการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือแบบอัตโนมัติ” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 11th National Computer Science and Engineering Conference 2007 จัดที่โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 19 - 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of 11th National Computer Science and Engineering Conference 2007 หน้า 782-789
2. บทความเรื่อง “A Fast and Efficient Palmprint Identification Method for a Large Database” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 12th National Computer Science and Engineering Conference 2008 จัดที่โรงแรมลونغบีชการ์เดน โฮเทล แอนด์ สปา พัทยา ระหว่างวันที่ 20 - 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of 12th National Computer Science and Engineering Conference 2008 หน้า 414-420
3. บทความเรื่อง “An Efficient Approach for Automatic Palmprint Classification” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 4th IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems 2008 จัดที่บาห์ลี ประเทศอินโดนีเซีย ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน - 3 ธันวาคม พ.ศ. 2551 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of 4th N IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems 2008 หน้า 229-234

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือแบบอัตโนมัติ

An Automatic Palmprint Classification Approach

มงคล สักดานุภาพ และ นงลักษณ์ โควาวิสารุช

Mongkon Sakdanupab and Nongluk Covavisaruch

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering

Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

Email: kean_g7@hotmail.com and nongluk.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือแบบอัตโนมัติ โดยใช้เส้นหลักบนฝ่ามือ (Palmprint principle lines) ซึ่งประกอบด้วยเส้นชีวิต เส้นสมอง และเส้นหัวใจ ในการแบ่งส่วนเส้นหลัก ใช้ค่าโปรไฟล์ของค่าสี (Color profile) เฉพาะในแถบสีน้ำเงิน (Blue color band) ของภาพสี RGB ใน 4 ทิศทาง คือ 0° , 45° , 90° และ 135° วิธีการแบ่งกลุ่มทำโดยใช้ความยาวตามแนวนอนและความโค้งของเส้นหัวใจและการเชื่อมกันของเส้นชีวิตและเส้นสมอง จากการทดลองใช้ภาพฝ่ามือจำนวน 144 ภาพจาก 72 คนสามารถแบ่งได้เป็น 7 กลุ่มโดยโปรแกรม ได้ผลที่มีการกระจายตัวดังนี้คือ 4.86%, 22.22%, 4.17%, 3.47%, 41.67%, 1.39% และ 22.23% และเมื่อเทียบกับการแบ่งกลุ่มโดยคน ได้ผลการแบ่งกลุ่มตรงกัน 85%

คำสำคัญ: ชีวมาตร, การแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือ, การระบุบุคคลและ ทวนสอบบุคคลโดยใช้ลายฝ่ามือ

Abstract

This paper proposes a palmprint classification approach based on principle lines, i.e. life line, head line and heart line. Blue channel of RGB hand images are utilized in 4 directions, 0° , 45° , 90° and 135° for principle line segmentation and extraction. Palmprints are classified by 2 main features: horizontal length and shape of a heart line, and the coincidence of the starting points of a life line and a head line. Experimental results reveal that, with our approach, 144 hand images from 72 users are classified by our program into 7 groups with the distribution of 4.86%, 22.22%, 4.17%, 3.47%, 41.67%, 1.39% and 22.23%. The automatic classification and the manual classification coincides at the rate of 85%.

Key Words: Biometrics, Palmprint classification, Palmprint identification and verification

1. บทนำ

ชีวมาตร (Biometrics) หมายถึงการนำเอาลักษณะทาง พฤติกรรม (Behavioral characteristics) และ/หรือลักษณะทาง กายภาพ (Physiological characteristics) ของบุคคลมาใช้เป็นตัว วัดสำหรับการระบุบุคคล (Personal identification) และการทวน สอบบุคคล (Personal verification) [1, 2] ในปัจจุบันได้มีการ นำชีวมาตรมาใช้แพร่หลายมากขึ้น ลักษณะทางกายภาพอย่าง หนึ่งที่ได้รับความสะดวกคือลายฝ่ามือซึ่งมีข้อดีคือลายฝ่ามือมี ความเป็นลักษณะเฉพาะในแต่ละบุคคลและมีการเปลี่ยนแปลง น้อยมาก จากงานวิจัยสำหรับการระบุบุคคล ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบ (Matching) แบบ 1:1 พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ [3, 4, 5, 6, 7] ใช้วิธีเปรียบเทียบกับข้อมูลลายฝ่ามือทั้งหมดในฐานข้อมูล ทำให้ ต้องประมวลผลและคำนวณมาก ทำให้ใช้เวลาค้นหาคำตอบมาก ดังนั้น จึงมีความพยายามที่จะแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือ [8, 9] เพื่อลด เวลาในการค้นหาและลดการคำนวณโดยใช้เส้นหลักบนฝ่ามือ เนื่องจากเส้นหลักมีความชัดเจนและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

หัวข้อ 2 ของบทความนี้กล่าวถึงงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทำการ แบ่งกลุ่มลายฝ่ามือโดยใช้เส้นหลัก หัวข้อถัดไปแนะนำเส้น หลักบนฝ่ามือรวมถึงนิยามของตำแหน่งต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ส่วนหัวข้อที่ 4 เป็นวิธีการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือ (Palmprint classification) ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ หัวข้อ 5 ถึง 6 เป็นการ ทดลองและผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย นี้ สำหรับหัวข้อที่ 7 จะกล่าวถึงงานที่จะทำต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในปีค.ศ. 2004 ของ X. Wu และคณะ [8] ได้ใช้ลักษณะของเส้นหลักบนฝ่ามือคือ เส้นชีวิต (Life line) เส้นสมอง (Head line) และเส้นหัวใจ (Heart line) สำหรับแบ่งกลุ่มของลายเส้นฝ่ามือแบบอัตโนมัติโดยใช้ตัวตรวจจับเส้น (Line detector) ในทิศทางต่างๆ และทำ Zero-crossing ในการแบ่งส่วนเส้นหลัก โดยแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มโดยดูจากจำนวนเส้นหลักและการเชื่อมกันของเส้น ผลการแบ่งกลุ่มอัตโนมัติมีความถูกต้อง 96.03% เมื่อเทียบกับการแบ่งกลุ่มโดยคนเป็นผู้ตัดสินใจ สำหรับการแบ่งกลุ่มโดยคน (ดังแสดงในรูปที่ 1) ให้ผลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับจำนวนภาพทั้งหมด 13,800 ภาพจาก 1,380 คนในฮ่องกง ดังนี้

กลุ่มที่ 1 มีเส้นหลัก 1 เส้นดังรูปที่ 1 ก คิดเป็น 0.36%

กลุ่มที่ 2 มีเส้นหลัก 2 เส้นและเส้นหลักทั้งสองไม่เชื่อมกันดังรูปที่ 1 ข คิดเป็น 1.23%

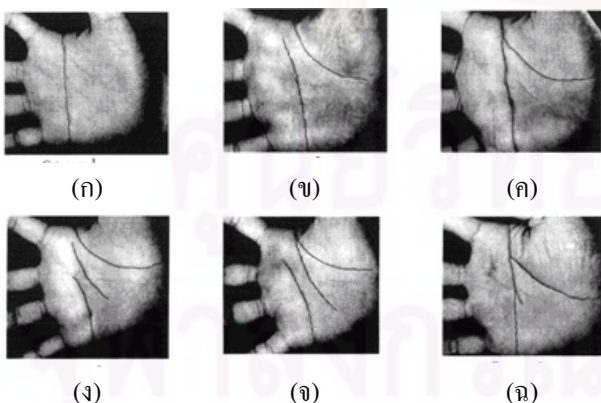
กลุ่มที่ 3 มีเส้นหลัก 2 เส้นและเส้นหลักทั้งสองเชื่อมกันดังรูปที่ 1 ค คิดเป็น 2.83%

กลุ่มที่ 4 มีเส้นหลัก 3 เส้นและเส้นหลักทั้ง 3 ไม่เชื่อมกันดังรูปที่ 1 ง คิดเป็น 11.81%

กลุ่มที่ 5 มีเส้นหลัก 3 เส้นและสองเส้นเชื่อมกัน ดังรูปที่ 1 จ คิดเป็น 78.12%

กลุ่มที่ 6 มีเส้นหลัก 3 เส้นและทั้ง 3 เส้นมีการเชื่อมกัน ดังรูปที่ 1 ฉ คิดเป็น 5.65%

X. Wu และคณะ [8] รายงานว่าการแบ่งกลุ่มให้ผลที่ดี



รูปที่ 1. การแบ่งกลุ่มในงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8]

(เท่ากับ 96.03%) เพราะทำโดยดูจากลักษณะที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าผลการแบ่งกลุ่มวิธีนี้ยังให้ผลที่ควรปรับปรุงต่อไปเนื่องจากมีกลุ่มที่มีจำนวนสมาชิกมากถึง 78.12% อยู่ (คือกลุ่มที่ 5)

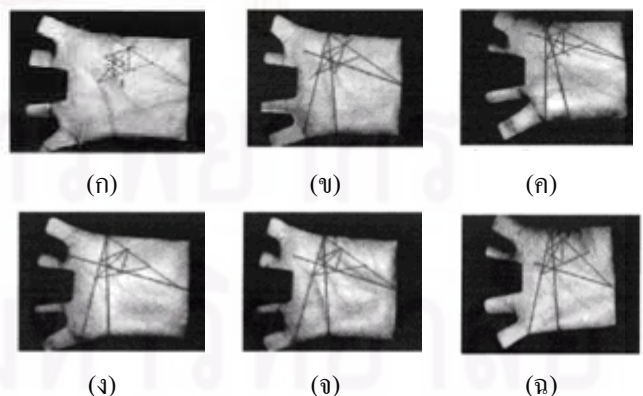
งานวิจัยของ L. Fang และคณะ [9] ในปี 2006 ได้ใช้ขั้นตอนวิธีการแบ่งส่วนเส้นหลักและการแบ่งกลุ่มของ X. Wu และคณะ [8] กับข้อมูลของคนในสิงคโปร์ พบว่าแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มที่มีการกระจายข้อมูลแต่ละกลุ่มคล้ายกับงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8] และได้ภาพในกลุ่มที่ 5 มากถึง 80% ดังนั้น L. Fang และคณะ [9] จึงเสนอวิธีการปรับปรุงการแบ่งกลุ่มเพื่อลดจำนวนสมาชิกในกลุ่มที่ 5 นี้โดยการหาจุดบนเส้นหลักและตำแหน่งอื่น ๆ บนฝ่ามืออีกหลายจุด โดยใช้หลักการทางเรขาคณิตเพื่อช่วยแบ่งกลุ่มที่ 5 นี้ให้ละเอียดยิ่งขึ้น

ผลการแบ่งกลุ่มนี้สามารถแบ่งข้อมูลในกลุ่มที่ 5 (ดังแสดงในรูปที่ 2 ก) ออกเป็นกลุ่มย่อยได้ 5 กลุ่ม งานวิจัยนี้ใช้ภาพจำนวน 500 ภาพ แบ่งกลุ่มย่อยได้ดังรูปที่ 2 ข ถึง ฉ เป็น 22.3%, 17.6%, 18.3%, 23.1% และ 18.7% ตามลำดับ แต่แม้ว่าวิธีนี้ให้ผลที่มีการกระจายของข้อมูลที่ดี แต่วิธีการที่ใช้แบ่งกลุ่มนี้ละเอียดซับซ้อนและไม่สามารถทำได้โดยใช้คน

3. เส้นหลักบนฝ่ามือ (Principle lines)

ลักษณะที่สำคัญและมีความชัดเจนของลายฝ่ามือคือเส้นหลักคือเส้นชีวิต เส้นสมอง และเส้นหัวใจ งานวิจัยนี้ให้นิยามตำแหน่งที่ใช้บนฝ่ามือและเส้นหลักภายในบริเวณที่สนใจดังนี้

3.1 นิยามตำแหน่งที่ใช้บนฝ่ามือ



รูปที่ 2. การแบ่งกลุ่มในงานวิจัยของ L. Fang และคณะ [9]

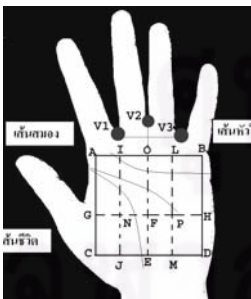
งานวิจัยนี้ นิยามตำแหน่งของเส้นหลักโดยใช้จุดต่าง ๆ เป็นจุดอ้างอิงเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงดังรูปที่ 3 ก และ ข ดังนี้

- V1, V2 และ V3 คือ จุดง่ามนิ้วระหว่างนิ้วชี้และนิ้วกลาง
 นิ้วกลางและนิ้วนาง และนิ้วนางและนิ้วก้อย ตามลำดับ
 O คือ จุดบนเส้นตรงที่ผ่านจุด V2 และตั้งฉากกับเส้นตรง
 V1V3
 A และ B คือ จุดที่มีระยะห่างจากจุด O เท่ากัน
 สี่เหลี่ยม ABDC เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสบริเวณที่สนใจ (Region
 of interest) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้
 IJ, OE และ LM คือ เส้นตรงที่แบ่งสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจใน
 แนวตั้งเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน
 GH คือ เส้นตรงที่แบ่งสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจในแนวนอน
 โดยแบ่งให้ส่วนบนมีความสูง $\frac{2}{3}$ เท่าของเส้น AC
 N, F, P คือ จุดตัดของเส้น GH กับเส้น IJ, OE และ LM
 ตามลำดับ

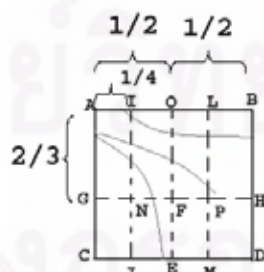
3.2 นิยามเส้นหลักบนฝ่ามือภายในสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจ

งานวิจัยนี้ให้นิยามเส้นหลักบนฝ่ามือ ซึ่งประกอบด้วย 3 เส้น ดังรูปที่ 3 ก ดังนี้

- 1) เส้นหัวใจ (Heart line) มี “จุดเริ่มต้น” อยู่ทางด้านขวาสุดภายในสี่เหลี่ยม LBHP และลากจากจุดเริ่มต้นในแนวนอนผ่านเส้นตรง OF
- 2) เส้นสมอง (Head line) มี “จุดเริ่มต้น” อยู่ทางด้านซ้ายภายในสี่เหลี่ยม AING และลากขวางผ่านเส้นตรง OF และอยู่ใต้เส้นหัวใจ
- 3) เส้นชีวิต (Life line) มี “จุดเริ่มต้น” อยู่ทางด้านซ้าย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3. ตำแหน่งและจุดบนฝ่ามือที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ภายในสี่เหลี่ยม AING และเป็นเส้นโค้งที่เกือบเป็นเส้นตั้งและมีส่วนปลายอยู่ภายในสี่เหลี่ยม NPMJ

4. วิธีการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือที่นำเสนอ

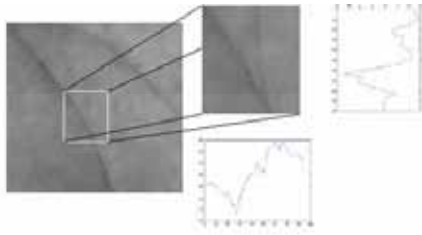
จากปัญหาที่พบในงานวิจัยที่กล่าวถึงในหัวข้อ 2 กล่าวคือ การแบ่งกลุ่มในงานวิจัยแรก [8] ที่มีการกระจายของข้อมูลแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกันมาก และมีกลุ่มที่มีข้อมูลจำนวนมากอยู่กลุ่มหนึ่ง ซึ่งถึงแม้ว่างานวิจัยที่กล่าวถึงต่อมา [9] สามารถแก้ปัญหาได้โดยแบ่งกลุ่มที่มีภาพจำนวนมากนี้ออกเป็นกลุ่มย่อยที่มีการกระจายค่อนข้างดี แต่ก็ต้องอาศัยการคำนวณที่ซับซ้อนและยังต้องทำอยู่บนพื้นฐานที่ว่าภาพเส้นหลักที่ได้จากการแบ่งกลุ่มได้โดยใช่คน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มโดยนำ “ความยาวในแนวนอนและลักษณะความโค้งของเส้นหัวใจ” และ “การเชื่อมต่อกันหรือไม่ของเส้นสมองและเส้นชีวิต” ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละบุคคลมาใช้ในการแบ่งกลุ่ม ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ “ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ซับซ้อน” และ “ให้ผลการแบ่งกลุ่มที่มีการกระจายดี” รวมทั้ง “สามารถที่จะทำการแบ่งกลุ่มได้โดยใช่คนและให้ค่าความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มที่ดี”

ขั้นตอนวิธีแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การแบ่งส่วนเพื่อสกัดเส้นหลักและการจัดกลุ่มลายฝ่ามือ

4.1 การแบ่งส่วนเพื่อสกัดเส้นหลัก

ขั้นตอนนี้เริ่มจากการหาบริเวณที่สนใจในภาพมือซึ่งแสดงในหัวข้อ 3 และประมวลผลภาพเบื้องต้นโดยปรับปรุงแสงเงาของภาพทั้งหมดให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน ลดสัญญาณรบกวน และลดขนาดของภาพลงดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.1 จากนั้น จึงพิจารณาแบ่งส่วนเส้นหลักโดยใช้ค่าโปรไฟล์ของค่าสีใน 4 ทิศทางเพื่อหาจุดที่น่าจะเป็นเส้นหลัก และใช้การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological image processing) [10] จัดการให้ได้เส้นหลักที่ชัดเจนและถูกต้องมากขึ้นดังหัวข้อ 4.1.2

4.1.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น



รูปที่ 4. ลักษณะของเส้นหลักบนฝ่ามือและกราฟแสดงค่าโปรไฟล์ของค่าสีในแชนแนลและแนวตั้ง

ภาพมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพสี RGB บริเวณลายเส้นบนฝ่ามือมีสีที่มืดกว่าบริเวณอื่น งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าสีในช่องสีน้ำเงิน (Blue channel) เท่านั้น แต่เนื่องจากภาพฝ่ามือแต่ละภาพมีความเข้มแสงที่มีความเปรียบต่าง (Contrast) ที่แตกต่างกันซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์เก็บภาพหรือสภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บภาพ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องปรับความเข้มแสงของแต่ละภาพให้อยู่บนบรรทัดฐานเดียวกัน งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีดังสมการที่ 1 [11]

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d (I(x, y) - \phi)^2}{\rho}}$$

โดย $I'(x, y)$ เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

ϕ_d และ ρ_d เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

ϕ และ ρ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ

จากนั้นกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดด้วยตัวกรองเกาส์เขียนขนาด 3×3 และลดขนาดของภาพลงเพื่อลดเวลาในการประมวลผลโดยลดจาก 4 จุดภาพให้เหลือเพียง 1 จุดภาพโดยเลือกใช้ค่าสีที่ต่ำสุดของ 4 จุดภาพ

4.1.2 การแบ่งส่วนเส้นหลัก

การแบ่งส่วนเส้นหลัก ประกอบด้วย การหาจุดที่อยู่บนเส้นหลักและการทำให้เส้นหลักมีความสมบูรณ์ขึ้นดังนี้

การหาจุดที่อยู่บนเส้นหลัก

บริเวณเส้นหลักบนฝ่ามือเป็นบริเวณที่มีค่าสีต่ำกว่าบริเวณอื่นและมักมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีพิจารณาค่าโปรไฟล์ของค่าสีใน 4 ทิศทางคือ 0° , 45° , 90° และ 135° โดยบริเวณที่เป็นเส้นหลักจะมีโปรไฟล์ของค่าสีเป็นหุบ (Valley) ดังแสดงในภาพที่ 4

การพิจารณาความเป็นเส้นหลักจากโปรไฟล์ค่าสีใน 4 ทิศทาง สามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณีหลักดังตารางที่ 1 คือ ลักษณะที่เป็นหุบ ลักษณะที่เป็นเนิน และลักษณะที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นหุบหรือเป็นเนิน

รูปแบบที่กำหนดในตารางที่ 1 ให้จุดที่กำลังพิจารณาอยู่ตรงกลางของค่าสี 3 ค่าที่อยู่ติดกันในทิศทางที่กำลังพิจารณา (เช่น พิจารณาในทิศทาง 0°) โดยให้จุดที่กำลังพิจารณามีสัญลักษณ์เป็น “0” เสมอ ส่วนสัญลักษณ์อีก 2 ตัวที่อยู่ด้านข้างนั้น ถ้าเป็น “+” หมายถึงค่าสีที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่ามากกว่าค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา (ตรงกลางที่มีค่าเป็น “0”) และถ้าเป็น “-” หมายถึงค่าสีที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าน้อยกว่าค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา และถ้าเป็น “0” หมายถึงค่าสีที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าเท่ากับค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา ตัวอย่างเช่น ถ้ารูปแบบของโปรไฟล์สีเป็น “+ 0 +” หมายความว่าค่าสีของทั้งสองตำแหน่งที่อยู่ข้างเคียง (ในทิศที่พิจารณา) มีค่ามากกว่าค่าสีของจุดที่กำลังพิจารณา เป็นต้น

เมื่อพิจารณาโปรไฟล์ของค่าสีทั้ง 4 ทิศที่กำหนดแล้ว จุดที่พิจารณานั้นจะเป็นจุดบนเส้นหลักได้ จะต้องมีความสมบัติข้อใดข้อหนึ่งข้างล่างนี้

- 1) มี ‘หุบ’ มากกว่า 2 ทิศทาง
- 2) มี ‘หุบ’ มากกว่า 1 ทิศทาง และ ‘ไม่สามารถบอกได้’ มากกว่า 1 ทิศทาง
- 3) มี ‘หุบ’ มากกว่า 1 ทิศทาง และ มี ‘เนิน’ 1 ทิศทาง และ ‘ไม่สามารถบอกได้’ 1 ทิศทาง

ตารางที่ 1 การพิจารณาความเป็นเส้นหลักบนฝ่ามือโดยพิจารณาจากค่าโปรไฟล์ค่าสีในสี่ ทิศทาง

ลักษณะของโปรไฟล์ค่าสีที่สนใจ	รูปแบบ		
	+ 0 +	+ 0 0	0 0 +
1. หุบ (Valley)	+ 0 +	+ 0 0	0 0 +
2. เนิน (Slope)	+ 0 -		- 0 +
3. ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นหุบหรือเป็นเนิน	0 0 0		

การทำให้เส้นหลักสมบูรณ์ขึ้น

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้เส้นหลักสมบูรณ์ขึ้นโดยเติมเต็มช่องว่างที่เกิดในบริเวณเส้นที่มีความหนา เชื่อมเส้นที่ขาด และกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้การประมวลผลภาพเชิงสัจฐาน (Morphological image processing) [10] โดยใช้ตัวดำเนินการแบบปิด (Closing operator) ดังสมการที่ 2

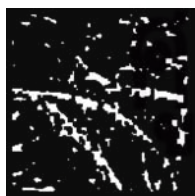
$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \tag{2}$$

โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ

B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

การเติมเต็มช่องว่างที่เกิดในบริเวณที่เป็นเส้นที่มีความหนา และการกำจัดสัญญาณรบกวนซึ่งทำให้ภาพเรียบขึ้น ทำได้โดยใช้ตัวดำเนินการแบบปิดด้วยสมาชิกโครงสร้าง (Structure element) แบบสี่เหลี่ยมขนาด 3x3

เนื่องจากเส้นหลักที่ได้จากในขั้นตอนการแบ่งส่วนเส้นหลักนี้อาจขาดตอนหรือไม่เชื่อมต่อกัน ดังนั้น จึงต้องเชื่อมเส้นเข้าด้วยกันด้วยตัวดำเนินการแบบปิด แต่เนื่องจากเส้นหลักมักมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะเชื่อมต่อเส้นหลักโดยปรับเปลี่ยนสมาชิกโครงสร้างให้สอดคล้องกับทิศทางของเส้นหลักตามลักษณะความโค้ง โดยใช้การแปลงฮัฟเส้นตรง (Hough transform for straight lines) เป็นตัวกำหนดลักษณะของ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5. ทำให้เส้นสมบูรณ์ขึ้น (ก) ผลจากการแบ่งส่วนเส้นหลัก

(ข) ผลจากการทำให้เส้นสมบูรณ์ขึ้น

ตารางที่ 2 เกณฑ์การแบ่งกลุ่มที่ใช้ในงานวิจัยนี้

กลุ่มที่	เส้นหัวใจ		จุดเริ่มต้นของเส้นสมองและของเส้นชีวิต
	ยาว / สั้น	โค้ง / ตรง	เชื่อม / ไม่เชื่อม
1	ยาว	โค้ง	ไม่เชื่อม
2	ยาว	โค้ง	เชื่อม
3	ยาว	ตรง	-
4	สั้น	โค้ง	ไม่เชื่อม
5	สั้น	โค้ง	เชื่อม
6	สั้น	ตรง	ไม่เชื่อม
7	อื่น ๆ		

สมาชิกโครงสร้างให้สอดคล้องกับทิศทางที่โค้งไปมาของเส้นหลักสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 11x11 ที่เป็นเส้นตรงในแนว 0° ซึ่งจะปรับเปลี่ยนโดยการหมุนเส้นตรงไปในแนวองศาต่าง ๆ ตามทิศทางของเส้นหลักที่ได้จากการแปลงฮัฟเส้นตรงในภาพ และกระทำเฉพาะกับจุดที่อยู่ในแนวองศานั้น ๆ เท่านั้น ผลการทำให้เส้นสมบูรณ์ขึ้นแสดงในรูปที่ 5

4.2 การจัดกลุ่มลายฝ่ามือ

หลังจากได้เส้นหลักจากขั้นตอนที่แล้ว ก็จะทำการแบ่งกลุ่มโดยในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือโดยเน้นที่จะทำการแบ่งกลุ่มเพิ่มเติมจากงานวิจัยของของ X. Wu และคณะ [8] เพื่อให้ได้การกระจายตัวของสมาชิกในแต่ละกลุ่มที่ดีขึ้นโดยใช้ลักษณะที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในแต่ละบุคคล โดยดูจาก “ความยาวในแนวนอน” และ “ความโค้ง” ของเส้นหัวใจและดู “การเชื่อมต่อกันของจุดเริ่มต้นของเส้นสมองและจุดเริ่มต้นของเส้นชีวิต” โดยสามารถแบ่งกลุ่มได้ 7 กลุ่ม ดังเกณฑ์ในตารางที่ 2 และลักษณะของแต่ละกลุ่มจากการแบ่งกลุ่มแสดงไว้ดังรูปที่ 6

จากนิยามในหัวข้อ 3 เส้นหัวใจมีจุดเริ่มต้นอยู่ทางด้านขวาของภาพ และส่วนปลายอยู่ทางด้านซ้ายของภาพ ส่วนจุดเริ่มต้นของเส้นสมองและเส้นชีวิตอยู่ทางด้านซ้ายของภาพโดยที่

ยาว หมายถึง ความยาวในแนวนอนของเส้นหัวใจมากกว่า $\frac{1}{4}$ ของความกว้างของสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจ



รูปที่ 6. การแบ่งกลุ่มโดยงานวิจัยนี้

สั้น หมายถึง ความยาวในแนวนอนของเส้นไม่มากกว่า $\frac{1}{4}$ ของความกว้างของสี่เหลี่ยมบริเวณที่สนใจ

โค้ง หมายถึง ส่วนปลายของเส้นหัวใจอยู่ภายในสี่เหลี่ยม ABTK ดังรูปที่ 7 ค

ตรง หมายถึง ส่วนปลายของเส้นหัวใจอยู่ภายในสี่เหลี่ยม KTUQ ดังรูปที่ 7 ค

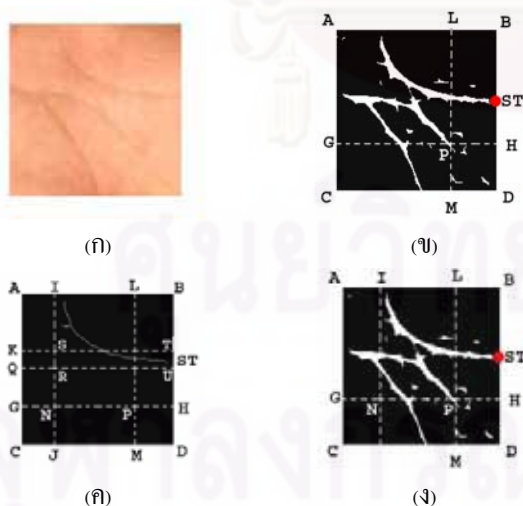
เชื่อม หมายถึง จุดเริ่มต้นของเส้นชีวิตและของเส้นสมองมีการเชื่อมกัน

ไม่เชื่อม หมายถึง จุดเริ่มต้นของเส้นชีวิตและของเส้นสมองไม่เชื่อมกัน

ในการหาตำแหน่งของจุดเริ่มต้นของเส้นหัวใจและการพิจารณาการเชื่อมกันของเส้นชีวิตและของเส้นสมองเป็นตามเกณฑ์ที่กำหนดโดยเทียบกับตำแหน่งที่นิยามไว้ในหัวข้อ 3 ดังนี้

4.2.1 การหาตำแหน่งและลักษณะของเส้นหัวใจ

จากนิยามของเส้นหัวใจในหัวข้อ 3.2 ที่ว่าจุดเริ่มต้นของเส้นหัวใจอยู่ในสี่เหลี่ยม LBHP ดังนั้นจึงหา “จุดเริ่มต้นของเส้นหัวใจ” โดยใช้ค่าเงาการฉายในแนวนอน (Horizontal



รูปที่ 7. แสดงการหาและระบุลักษณะของเส้นหัวใจ

projection profile) เพื่อหาตำแหน่งที่มีจำนวนจุดของขอบในแนวนอนภายในบริเวณสี่เหลี่ยม LBHP ที่มากที่สุด ซึ่งได้แก่จุด ST ในรูปที่ 7 ข

งานวิจัยนี้กำหนดให้ตัดเส้นเส้นหัวใจว่าเป็น “เส้นโค้งหรือเส้นตรง” โดยกำหนดบริเวณที่จำกัดในช่วงระหว่างจุด T และจุด U ที่อยู่ห่างจากจุด ST ในแนวแกนตั้งเท่า ๆ กัน จากนั้นทำเส้นให้มีความหนา 1 จุดภาพและทำการติดตามเส้นเพื่อหาความยาวในแนวนอนและลักษณะของเส้นหัวใจดังรูปที่ 7 ค

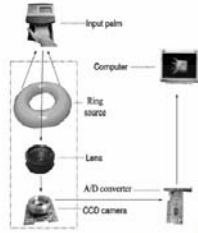
4.2.2 การเชื่อมกันของเส้นชีวิตและเส้นสมอง

จากนิยามของเส้นชีวิตและเส้นสมองในหัวข้อ 3.2 ที่ว่าบริเวณของจุดเริ่มต้นของทั้ง 2 เส้นอยู่ในสี่เหลี่ยม AING ดังนั้นจึงทำการติดฉลากวัตถุ (Object labeling) ที่อยู่ในสี่เหลี่ยม AING ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นของเส้นหัวใจ (ST) รวมทั้งขนาดของวัตถุที่ติดฉลากเป็นปัจจัยที่ใช้พิจารณาว่าวัตถุ นั้น ๆ เป็นสัญญาณรบกวนหรือไม่

หลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว พิจารณาขนาดและจำนวนกลุ่มของเงาการฉายในแนวนอนของวัตถุที่เหลือ (ที่ไม่เป็นสัญญาณรบกวน) เพื่อตัดสินในระดับหนึ่งก่อนว่าเส้นชีวิตและเส้นสมองเชื่อมติดกันหรือไม่ กล่าวคือ ถ้าจำนวนกลุ่มของเงาการฉายเหลืออยู่เพียงกลุ่มเดียว แสดงว่าจุดเริ่มต้นของเส้นชีวิตและเส้นสมองมีการเชื่อมต่อกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 7 (ง) แต่ถ้ามีเหลือมากกว่าหนึ่งกลุ่ม ก็จะทำให้วัตถุแต่ละกลุ่มมีความหนา 1 จุดภาพก่อน แล้วใช้การติดตามเส้นเพื่อดูจุดแยกและความยาวของเส้นนับจากจุดแยกไปยังปลายของเส้นแยกแต่ละเส้น เพื่อตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งว่าเส้นชีวิตและเส้นสมองเชื่อมกันหรือไม่ ถ้ามีจุดแยกภายในกลุ่มและระยะจากจุดแยกนั้นไปยังจุดปลายของเส้นแยกยาวเกินค่าที่กำหนดไว้ ก็ระบุได้ว่าจุดแยกนั้นก็คือจุดที่เส้นชีวิตและเส้นสมองมีการเชื่อมกัน



(ก)



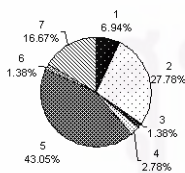
(ข)

รูปที่ 8. การเก็บภาพที่ใช้ในงานวิจัย (ก) การเก็บภาพในฐานะข้อมูลของ Visgraph. [13] (ข) การเก็บภาพจากงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8]

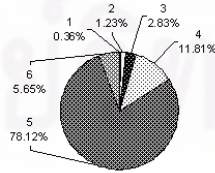
5. การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ภาพมือจำนวน 144 ภาพจากผู้ใช้งาน 72 คน จากฐานข้อมูลของ Visgraph [13] ซึ่งถ่ายจากกล้องดิจิทัลเป็นภาพสี RGB ขนาด 1280×960 และไม่มีกำหนดตำแหน่งของการวางมือ สภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพเป็นดังแสดงในรูปที่ 8 ก ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8] ที่ได้ออกแบบเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลภาพฝ่ามือโดยมีการกำหนดสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจงและกำหนดตำแหน่งการวางมือ ดังรูปที่ 8 ข การกระจายตัวของการแบ่งกลุ่มในงานวิจัยนี้ได้ผลเทียบกับผลจากงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8] ดังรูปที่ 9

ส่วนผลการแบ่งกลุ่มแสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยเปรียบเทียบระหว่างการแบ่งกลุ่มโดยใช้โปรแกรมที่ทำตามขั้นตอนวิธีที่เสนอ และการแบ่งกลุ่มโดยอิงกับเกณฑ์ที่เสนอในงานวิจัยนี้ที่ทำโดยผู้คน



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 กราฟแสดงการกระจายตัวของข้อมูลในการแบ่งกลุ่ม (ก) การแบ่งกลุ่มของงานวิจัยนี้ และ (ข) การแบ่งกลุ่มของงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8]

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแบ่งกลุ่มในตารางที่ 3 พบว่าการแบ่งกลุ่มโดยใช้วิธีที่เสนอให้ผลการแบ่งกลุ่มที่ข้อมูลกระจายดีกว่าวิธีที่เสนอโดย X. Wu และคณะ [8] กล่าวคือ งานวิจัยนี้แบ่งออกได้เป็น 7 กลุ่ม โดยกลุ่มที่มีข้อมูลมากที่สุดมี 41.67% (โดยโปรแกรม) หรือ 43.05% (โดยคน) ซึ่งผลจากการแบ่งกลุ่มโดยโปรแกรมและโดยคนตามวิธีที่เสนอนี้มีความสอดคล้องใกล้เคียงกัน ในขณะที่ผลของการแบ่งกลุ่มของ X. Wu และคณะ [8] แบ่งได้ 6 กลุ่มโดยกลุ่มที่มีข้อมูลมากที่สุดคิดเป็น 78.12 % ดังรูปที่ 9 แต่ทั้งนี้การแบ่งกลุ่มโดยคน อาจให้ผลที่มีความแปรปรวนได้พอสมควร เนื่องจากคนแต่ละคนอาจเห็นภาพและพิจารณาเส้นหลักแตกต่างกันได้ ในขณะที่การแบ่งกลุ่มโดยใช้โปรแกรมจะมีความคงที่และให้ผลที่แน่นอนกว่า อย่างไรก็ตาม จากการทดลอง พบว่าการแบ่งกลุ่มที่ทั้งโปรแกรมและคนแบ่งกลุ่มได้ตรงกันคิดเป็น 122 ภาพจากทั้งหมด 144 ภาพหรือคิดเป็นประมาณ 85% ของภาพทั้งหมด

งานวิจัยนี้ได้พยายามแบ่งกลุ่มข้อมูลลายฝ่ามือโดยมุ่งเน้นที่จะให้ได้ผลการแบ่งกลุ่มของข้อมูลที่มีการกระจายดีและถูกต้องโดยใช้เส้นหลักซึ่งแตกต่างกันในแต่ละบุคคล กล่าวคือใช้ความยาวและลักษณะความโค้งของเส้นหัวใจ และการเชื่อมกันบริเวณจุดเริ่มต้นของเส้นชีวิตและเส้นสมองในการแบ่งกลุ่มลายฝ่ามือ สามารถแบ่งกลุ่มออกเป็น 7 กลุ่มที่มีการกระจายของข้อมูลกลุ่มใหญ่ที่สุดคิดเป็น 41.67% (โดยโปรแกรม) โดยลดลงจากข้อมูลกลุ่มใหญ่ที่สุดคือ 78.12% ในงานวิจัยของ X. Wu และคณะ [8] โดยการแบ่งกลุ่มโดยโปรแกรมและโดยคนสอดคล้องใกล้เคียงกัน

7. งานวิจัยที่จะดำเนินต่อไป

พัฒนาระบบการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของลายฝ่ามือโดยใช้การแบ่งกลุ่มของลักษณะของลายฝ่ามือ

8. กิตติกรรมประกาศ

ตารางที่ 3 ผลการแบ่งกลุ่มโดยใช้โปรแกรมและโดยคนตามวิธีการแบ่งกลุ่มที่เสนอ

กลุ่มที่		1	2	3	4	5	6	7	รวม								
แบ่งโดย โปรแกรม	จำนวนภาพ	7	32	6	5	60	2	32	144								
	เปอร์เซ็นต์	4.86	22.22	4.17	3.47	41.67	1.39	22.22	100								
แบ่งโดยคน	จำนวนภาพ	10	40	2	4	62	2	24	144								
	เปอร์เซ็นต์	6.94	27.78	1.38	2.78	43.05	1.38	16.67	100								
ผลการแบ่งกลุ่มโดย โปรแกรมและโดยคน		ตรง	ไม่ตรง	ตรง	ไม่ตรง	ตรง	ไม่ตรง	ตรง	ไม่ตรง	ตรง	ไม่ตรง	ตรง	ไม่ตรง	ตรง	ไม่ตรง		
จำนวนภาพ		7	0	30	2	2	4	4	1	53	7	2	0	24	8	122	22

หมายเหตุ ตรง / ไม่ตรง หมายถึง ผลที่ได้จากการแบ่งกลุ่มโดยโปรแกรมและโดยคน ตรงกันหรือไม่

ผู้วิจัยขอขอบคุณ VisGraph [13] ที่เอื้อเฟื้อฐานข้อมูลภาพมือและ ขอขอบคุณสนับสนุนจาก “ทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช”

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, “Biometric: Personal Identification in Networked Society,” Kluwer, 1998.
- [2] D. Zhang, Automated Biometrics-Technologies and System, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
- [3] David Zhang, W.S., *Two Novel Characteristics in Palmprint Verification: Datum Point Invariance and Line Feature Matching*. Pattern Recognition Society, 1998.
- [4] David Zhang, W.-K.K., Jane You, and Michael Wong, *Online Palmprint Identification*. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, 2003. **25**: p. 10.
- [5] David Zhang, W.-K.K., Jane You, and Michael Wong, *Characterization of Palmprints by Wavelet Signatures via Directional Context Modeling*. IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART B: CYBERNETICS, 2004.
- [6] RHEE, J.S.N.a.K.H. *Palmprint Identification Algorithm using Hu Invariant Moments and Otsu Binarization*. in *Proceedings of the Fourth Annual ACIS International*
- [7] Fang Li, M.K.H.L., Xiaozhou Yu. *PALMPRINT MATCHING USING LINE FEATURES*. in *ICAOT2006*. 2006.
- [8] Xiangqian Wu, D. Zhang., Kuanquan Wang, Bo Huang (2004). "Palmprint classification using principal lines." *Pattern Recognition* **37**: 12.
- [9] Li Fang, M. K. H. L., Tejas Shikhare, Victor Chan, Kean Fatt Choon (2006). *Palmprint Classification*. IEEE, Taipei, Taiwan.
- [10] R. C. Gonzalez, and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [11] J. Daugman, “How Iris Recognition Works,” Proc. of 2002 International Conference on Image Processing, vol. 1, 2002.
- [12] C. Poon, D. C. M. W., H.C. Shen (2004). *A New Method in Locating and Segmenting Palmprint into Region-of-Interest*. Pattern Recognition.
- [13] Visgraph. *Database of 1080 Hand Images*. Available from <ftp://pftp.cs.ust.hk> and http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/DC_Img.htm (2004).

A Fast and Efficient Palmprint Identification Method for a Large Database

Mongkon Sakdanupab¹ and Nongluk Covavisaruch²
Department of Computer Engineering Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

¹ E-mail: Mongkon.S@student.chula.ac.th and nongluk.c@chula.ac.th

Abstract

This paper proposes a fast and efficient palmprint identification method for a large database. The process is accelerated as a result of our efficient palmprint classification and matching scheme. Palmprint classification method is based on principle lines which are life line, head line and heart line. Palmprints features are extracted with Log-Gabor filter and matched with Hamming distance in the most potential palmprint group, and if necessary, continues orderly to the less potential ones. Experiments are done with 2 hand databases, Visgraph database and CU-CGCI hand database. Experimental results show that the proposed method can greatly reduce the number of template matching from 100% (as in general identification methods) to 33.2-38.2% in both databases while maintaining the equivalent EER as general identification method.

Keywords: Palmprint identification, large database.

1. Introduction

Biometric is a means for automatic recognition of people based on their distinctive anatomical characteristics (e.g., face, fingerprint, iris, retina and hand geometry) and behavioral characteristics (e.g., signature and gait). At present, biometric is widely used for identifying or verifying people in today's information society mostly for security purposes. Palmprint has been considered as an alternative choice for automatic personal authentication due to its unique physical characteristic, visible stable features and low initial cost. In addition, palmprint capture devices are much cheaper than others (e.g. iris and fingerprint devices).

Palmprints consist of distinctive features such as principle lines and wrinkles which can be easily extracted from low-resolution images [1, 2]. Generally, palmprint identification approaches compare a claimer's palmprint with every palmprint

in a database [3-8]. Consequently, it is rather time-consuming. In order to solve this problem, many researchers have proposed to categorize palmprints into small groups to reduce the number of data in the matching process [9, 10]. Hierarchical palmprint identification for a large database is another approach that has been researched lately [11-13].

In this work, we propose a fast palmprint identification method for a large database. Enrolled palmprints are pre-classified into several well-distributed groups by the principle lines' simple and clear characteristics which can be easily extracted from low-resolution images. In the identification process, palmprints' features are matched within the most potential group, and if necessary, continues to less potential groups respectively.

This paper is organized as follows: Related works and their problems are presented in section 2. Section 3 illustrates our proposed method. Experiments and results are presented in section 4. Finally, discussion and conclusion of this work are illustrated in section 5.

2. Related work

In this paper, we categorize palmprint identification researches into 2 groups: general palmprint identification researches that do not emphasize on a large database and those that are designed for a large database.

It is noticed that, in palmprint identification researches, there are 2 types of palmprint images. The first one consists of fixed-positioned hand images that are acquired with some special devices to fix the hand position as shown in figure 1 (a). The other consists of unfixed-positioned hand images as can be seen in figure 1 (b) respectively.

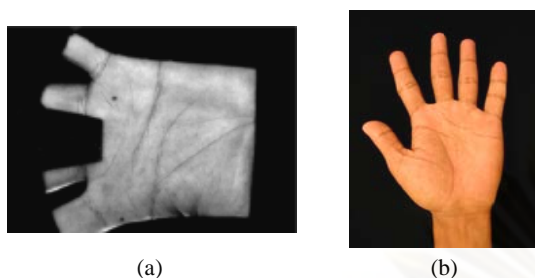


Figure 1. Example of hand images. (a) a fixed-position [3] and (b) an unfixed-position hand images from image acquisition [14].

2.1 General Palmprint Identification

As mentioned earlier, in this paper, general palmprint identification refers to the work that does not emphasize on a large database. Most of them have proposed and discussed their methodology and results.

In 2002, W. K. Kong et al. [3] proposed a method for personal identification by utilizing 2D Gabor filter to extract palmprint's feature and Hamming distance, to compare with the templates. The results show that FAR (False Acceptance Rate) was 0% when threshold value was fixed at 0.335 and FRR (False Rejection Rate) was 0.9% for image resolution of only 65 dpi.

In 2003, D. Zhang et al. [4] presented an online palmprint personal identification approach. This research also used low resolution images of 75 dpi. For this system, palmprint's texture, extracted via 2D Gabor filter, was chosen as a feature. In the matching step, Hamming distance was used as the distance measure. They reported that EER (Equal Error Rate) was 0.6%. The total time for personal identification was 1.1 second with a database that contained images for 100 persons registered with 3 palmprint images each. It should be noted that this paper is often referenced.

In 2004, L. Zhang et al. [5] proposed another personal identification by using palmprint characteristic as a feature and Wavelet transform as a feature extractor. The image resolution was 65 dpi. The results of FIR (False Identification Rate) and FRR were 2% and 0%, respectively.

In 2005, J. S. Noh et al. [6] applied Hu invariant moments and Otsu binarization for palmprint identification. They computed the moments in 3 levels and compared the results from each level with Euclidean distance. The FAR and GAR (Genuine Acceptance Rate = 100-FRR) were 0.038% and 98.1%, respectively. However, this research used low image resolution for 75 dpi, image size of 135 x 135 pixels.

In 2006, F. Li et al. [7] proposed a palmprint matching method by Modified line-based Hausdorff Distance. Hausdorff distance is used to compare line characteristic on palm. This approach has accuracy for personal identification about 95%

In 2006, X. Wang et al. [8] used the palmprint database from UST_HK which did not fix the hand position. They proposed a palmprint identification approach using boosted local binary pattern based classifiers. The palmprint area was scanned with a scalable sub-window from which local binary pattern histograms were extracted to represent the local features of a palmprint image. AdaBoost algorithm was used to select those sub-windows. The weights of chi-square distance were learned by applying the statistical learning algorithm-AdaBoost. From their experiments, EER was reported at 2%.

2.2 Palmprint Identification for a Large Database

In 2002, J. You et al. [11] proposed hierarchical palmprint identification via multiple feature extraction. This research used 2 features; global texture energy and interesting points. The global texture energy was used to guide the dynamic selection of a small set of similar candidates from the database at coarse level for further processing. An interesting point based image matching was performed on the selected similar pattern at fine level for final confirmation. They reported that the effectiveness of this hierarchical search guided by global palmprint texture feature selection scheme was that on the average 91% of the candidates in the database were classified as distinctive from the input data. In the worst case, the elimination rate of the candidates was 72% and hence, only 28% of the samples remained for further identification at fine level by image matching.

In 2004, J. You et al. [12] proposed a hierarchical multifeature coding scheme to facilitate coarse to fine matching for palmprint identification in a large database. In this research, there were 4 level features: global geometry-based key point distance (Level-1 feature), global texture energy (Level-2 feature), fuzzy interest line (Level-3 feature), and local directional texture energy (Level-4 feature). The use of level-1, level-2, and level-3 features was able to remove candidates from the matching process by 9.6%, 7.8%, and 60.6%, respectively.

In 2006, J. Wu et al. [13] presented a hierarchical palmprint identification method without ROI extraction. For the coarse-level feature extraction, they measured hand geometry and angle values and used them to train their k-NN (k-Nearest Neighbors)

classifier. They divided the hand image into subimages and used unit information entropy of each subimage to describe grayscale distributions as their fine-level feature. Accuracy up to 99.24% was reported when using 6 samples per class for training.

However, we have noticed that the results from most work mentioned above are quite impressive (with FAR, FRR, EER close to 0%) [3-7, 11-12] while that of X. Wang et al. [8] is not as good (with EER 2%). This is perhaps caused by the fixed-position of hand in the palmprint image acquisition process.

3. Our Proposed Method

In our research, we do not fix the hand's position in the image acquisition process. A hand must lay flat on a black background as shown in figure 2.

This section illustrates our proposed method which consists of system overview, ROI (region of interest) and principle lines' characteristics, our palmprint classification method and our palmprint identification approach.

3.1 System Overview

Our proposed palmprint identification method aims for use with a large database. Palmprints in the database are pre-classified into several categories by the palms' clear and simple characteristics of principle lines. By this proposed approach, palmprint matching process is done only in the necessary palmprint group(s). Hence, identification can be achieved quickly. Figure 2 illustrates our proposed system.

3.2 ROI and Principle Lines' Characteristics

Region of Interest (ROI) on a palmprint and the characteristics of palmprint principle lines in this research are described in this section.

3.2.1 ROI From a binarized palmprint image, as shown in figure 3, we segment the palm, and define some reference points and the ROI as follows.

V1, V2, and V3 are the points among forefinger, middle finger, ring finger and little finger.

O is a point on the line from V2 that is orthogonal to the line connected between V1 and V3 (V1V3). The length of OV2 is predefined and fixed.

A and B are two points on the line which passes through O and parallel to line V1V3. The lengths AO and OB are equal and predefined.

The square ABDC is formed and used as the ROI in this research.

IJ, OE and LM are the lines which divide the ABDC into 4 equal parts.

AG and BH have the ratio of 2/3 of line AC and BD, respectively.

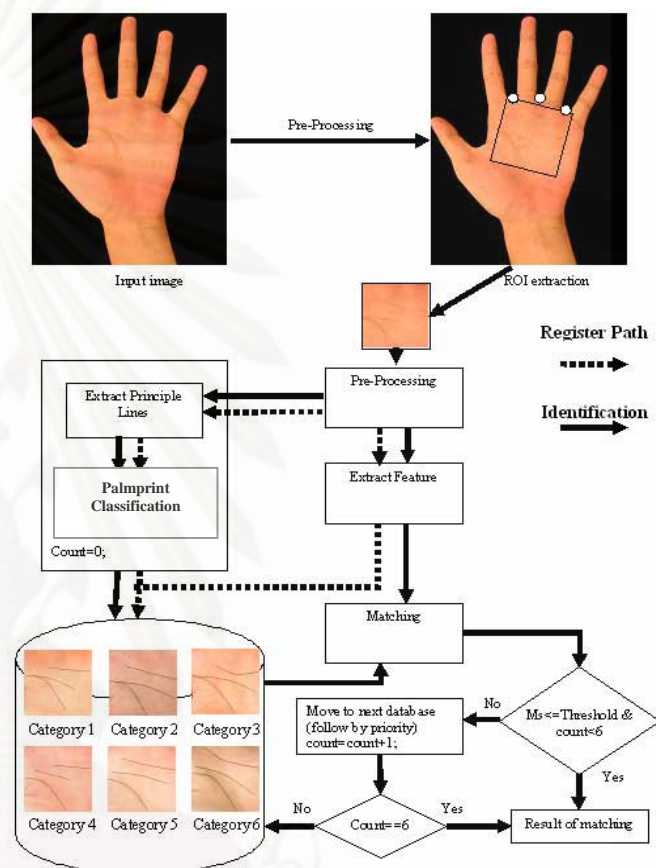


Figure 2. Our proposed palmprint identification system overview.

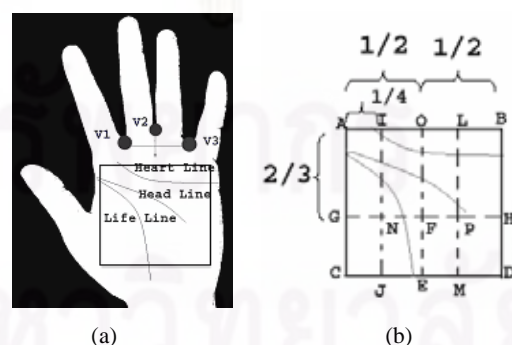


Figure 3. The positions and key points that are used in this research.

3.2.2 Principle Line Characteristics In this research, the three principle lines which consist of heart line, head line and life line in ROI as shown in figure 3 are defined by their locations as follows:

1) *Heart line* is the line which has an endpoint on the right side of rectangle LBHP and must pass through line OF.

2) *Head line* has an endpoint on the left side of rectangle AING. The position of this endpoint is either above or the same as that of a *life line* and must pass through line OF.

3) Similar to the *head line*, a *life line* also has an endpoint on the left side of rectangle AING in the ROI. The position of this endpoint is either below or the same as that of the head line. Life line must exist in rectangle IOEJ.

3.3 Palmprint Classification Method

Our palmprint classification method based on principle lines is automatic and effective. It has many advantages. Firstly, the extracted principle lines need not be perfect, therefore some small parts of the lines can be missed out. Secondly, the features and the criteria used for classification are obvious and simple. Lastly and most importantly, the palmprints can be classified and well distributed into six categories. Our proposed criteria for palmprint classification are as follows: ‘Do the head line and life line intersect?’, ‘Is the heart line straight or curved?’ and ‘if the heart line is straight, how flat is it?’ Hence, there are six categories as shown in figure 4. More details of our palmprint classification method can be found in [15].

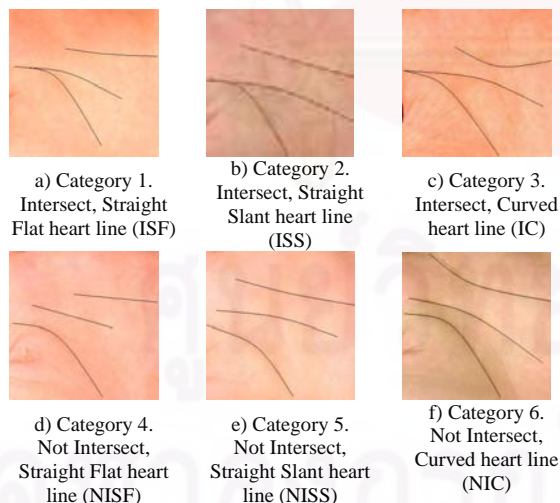


Figure 4. Six palmprint categories from our proposed method. (The principle lines are highlighted for clear representation only.)

3.4 Palmprint Identification Approach

In this section, our palmprint identification approach is described in 3 subsections. They are image pre-processing, feature extraction and matching, and lastly, our matching scheme.

3.4.1 Image Pre-processing In this research, only the blue component of hand color images is used. In order to reduce the effects of different brightness in the image acquisition process, the ROI's in all images in the database are normalized by the normalization method of L. Hong et al. [16] in equations 1 and 2. Noise is then eliminated with Gaussian filter [17]. Finally, the ROI's are scaled in half to reduce computation in the principle line detection and the matching processes.

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d(I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad (2)$$

Where $I'(x, y)$ is the normalized image.

ϕ_d and ρ_d are the average and standard deviation of the output image.

ϕ and ρ are the average and standard deviation of the input image.

3.4.2 Feature Extraction and Matching The feature is extracted by applying Log-Gabor filter which has been proposed by D. Field in 1987 [18] as shown in equation 3. The 2D palm image is broken up into several 1D signals, transformed to frequency domain and then convolved with 1D Log-Gabor filter.

$$G(f) = \exp\left\{-\left(\log(f/f_0)\right)^2 / 2\left(\log(\sigma/f_0)\right)^2\right\} \quad (3)$$

Where f_0 represents the center frequency, and σ gives the bandwidth of the filter.

The palm's ROI in spatial domain and the palmcode (1D Log-Gabor feature) are shown in figure 5. It is noted that the palmcode is a binary 2D array since the result from the filter is thresholded to 0 and 1. The palmcode array is twice the width but the same height of the original image because, from this filter, 2 values (from real and imaginary parts) are obtained per 1 pixel.

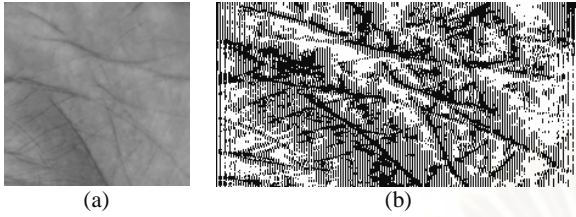


Figure 5. (a) Original palmprint image and (b) palmcode obtained from Log-Gabor filter.

In this work, Hamming distance is used for comparing the features between two palmprints as shown in equation 4.

$$HD = \frac{1}{N - \sum_{k=1}^N Xn_k(OR)Yn_k} \sum_{j=1}^N X_j(XOR)Y_j(AND)Xn_j(AND)Yn_j \quad (4)$$

Where X_j and Y_j are the two palmcodes from two palmprints,
 Xn_j and Yn_j are the corresponding noise masks for X_j and Y_j ,
 Xn'_j and Yn'_j are the invert of Xn_j and Yn_j respectively,
 N is the number of bits represented by each pattern.

If two patterns/palmcodes are derived from the same palm, the Hamming distance between them is close to 0.0 since they are highly correlated.

3.4.3 Our Matching Scheme In this paper, we propose a technique to accelerate palmprint identification for a large database. In the database, palmcodes, which are used as our palmprint templates, are pre-classified into 6 categories as mentioned earlier.

For our matching scheme, a claimer's hand image is categorized by our classification criteria. The extracted palmcode is matched with the templates in the highest potential category in the database. If the matching result is satisfied, the matching process stops and the identification result is encountered. If not, the matching process continues to the next highest potential category, and so on.

The chart in figure 6 illustrates our classification criteria. The relationship of each category can be easily seen from this chart. For example, if a claimer's palmprint is classified as in category 2 (ISS, Intersect-Straight-Slant), the order of matching

groups is from categories 2, 1, 3, 5, 4 and 6 respectively.

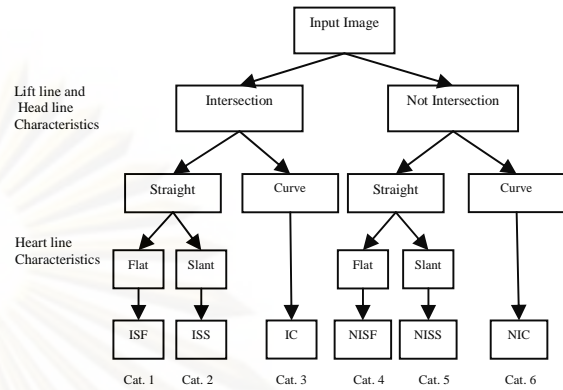


Figure 6. Our classification chart.

Table 1 shows all the matching order of all categories. It should be pointed out that a curve line (C) is more similar to a slant straight line (SS) than a flat straight line (SF). Hence, the order of matching group is from category 3 (or 6) to categories 2 and 1 (or 5 and 4).

Table 1. Order of template matching.

Matching category \ Claimer's category	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 4	Cat. 5	Cat. 6
Cat. 1 (ISF)	1	2	3	4	5	6
Cat. 2 (ISS)	2	1	3	5	4	6
Cat. 3 (IC)	3	2	1	6	5	4
Cat. 4 (NISF)	4	5	6	1	2	3
Cat. 5 (NISS)	5	4	6	2	1	3
Cat. 6 (NIC)	6	5	4	3	2	1

4. Experiments and Results

Our palmprint identification approach is tested with two databases; Visgraph database [14], taken from people in Hong Kong, and the CU-CGCI hand database, from people in Thailand. The images in both databases are 24-bit RGB color image with resolution 960x1280. Visgraph database consists of 102 individuals, 10 hand images per individual. CU-CGCI hand database consists of 116 individuals, aged from 20 to 60 of both genders, and 10 images from each person.

In our experiments with Visgraph database, 70 people, 3 hand images per individual, are registered as genuine users. Tests are done with 490 genuine users' and 307 imposters' hand images.

Similar to the above experiments, the proposed method is tested with CU-CGCI hand database, 86 people, 3 hand images per individual, are used for registration. Tests are done with 602 genuine users' and 298 imposters' hand images.

For consistency, we run three experiments for both methods and both databases. Experimental results are shown in figures. 7 and 8 and in tables 2, 3 and 4.

It is found that the EER's from both methods and both databases are quite similar. For general identification method, a claimer's palmcode is matched with every palmcode in the database. Hence, the number of matching is 100%. With our proposed method, the average number of matching from 3 experiments is 38.2% for Visgraph database, and 33.2% for CU-CGCI hand database.

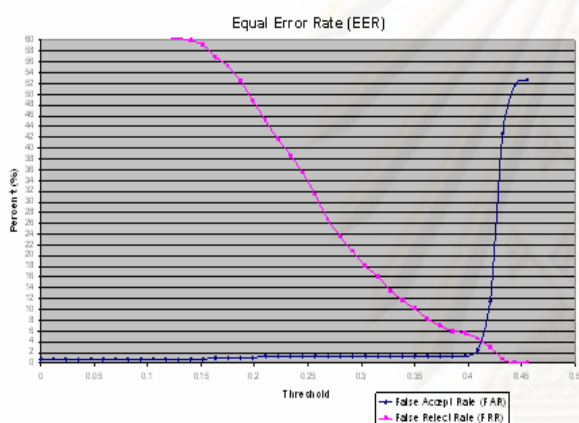


Figure 7. EER from Visgraph. database in experiment 3 is 4.1%.

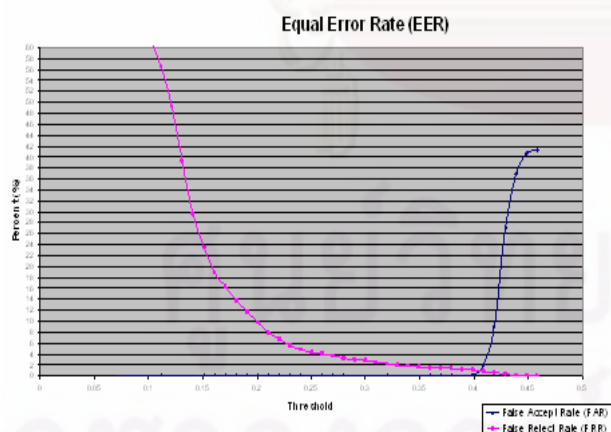


Figure 8. EER from CU-CGCI hand database in experiment 2 is 1.3%.

Table 2. Comparisons of the number of matching (for genuine users only) and the EER's from a general approach and from our proposed method (*Visgraph Database*).

Method	General Method		Our Method	
	Number of Matching (Genuine)	EER (%)	Number of Matching (Genuine)	EER (%)
1	102,900	6.0	40,956	6.77
2	102,900	2.5	37,376	2.5
3	102,900	4.1	39,474	4.1
Average	102,900 (100%)	4.2	39,268.7 (38.2%)	4.46

Table 3 Comparisons of the number of matching (for genuine users only) and the EER's from a general approach and from our proposed method (*CU-CGCI hand Database*).

Method	General Method		Our Method	
	Number of Matching (Genuine)	EER (%)	Number of Matching (Genuine)	EER (%)
1	155,316	4.8	60,663	4.2
2	155,316	1.3	48,113	1.3
3	155,316	1.2	45,961	1.2
Average	155,316 (100%)	2.4	51,579 (33.2%)	2.3

Table 4. Distribution of each category (Visgraph and CU-CGCI databases).

Category	Cat. 1 (ISF)	Cat. 2 (ISS)	Cat. 3 (IC)	Cat. 4 (NISF)	Cat. 5 (NISS)	Cat. 6 (NIC)
Visgraph	25%	32%	26.7%	3.3%	5%	8%
CU-CGCI	34.8%	25.6%	27.5%	3.9%	1.2%	7%

5. Discussions and Conclusions

This paper presents a fast and efficient hierarchical palmprint identification method for a large database. It is done by using palmprint classification approach based on principle lines which are life line, head line and heart line. The palmprints in a database are classified by “the straight or curve characteristic of a heart line”, “the degree of the straight heart line” and “the intersection of head line and life line”.

From tables 2 and 3, it can be seen that the results from both databases, the numbers of palmcode matching from our proposed method are much less than those of a general identification method which generally matches a claimer’s palmcode with all templates in the database. However, the EER’s from both methods are comparable. Hence, our proposed method can greatly reduce the time consumption while maintaining the equivalent EER as a general method.

Acknowledgment

The authors wish to thank the 90th year Anniversary of Chulalongkorn University - Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund for partial funding. We thank the Hong Kong University of Science and Technology (Visgraph) [14] for the database used in our experiments.

References

- [1] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, *Biometric: Personal Identification in Networked Society*, Kluwer, 1998.
- [2] D. Zhang *Automated Biometrics-Technologies and System*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
- [3] Wai Kin Kong, David Zhang, "Palmprint Texture Analysis Based on Low-Resolution Images for Personal Authentication", 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'02) - Volume 3, 2002
- [4] D. Zhang, Wai Kin Kong, Jane You, and Michael Wong "Online Palmprint Identification", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003. 25: p. 10.
- [5] L. Zhang and D. Zhang, "Characterication of palmprint by wavelet signatures via directional context modeling", *IEEE Transactions on Systems Man. And Cybernetics-Part B: Cybernetics*, vol. 34, no.3, pp. 1335-1347, 2004.
- [6] Jin Soo Noh, Kang Hyeon Rhee, "Palmprint Identification Algorithm using Hu Invariant Moments and Otsu Binarization", in *Proceedings of the Fourth Annual ACIS International*, pp. 94- 99, 2005.
- [7] Fang Li, Maylor K.H. Leung, Xiaozhou Yu, "Palmprint Matching using Line Features", *ICAOT2006*, 2006.
- [8] Xianji Wang, Haifeng Gong, Hao Zhang, Bin Li, Zhenquan Zhuang, "Palmprint Identification using Boosting Local Binary Pattern", *The 18th International Conference on Pattern Recognition*, 2006.
- [9] Xiangqian Wu, D. Zhang., Kuanquan Wanga, Bo Huang, "Palmprint classification using principal lines", *Pattern Recognition*, 2004.
- [10] Li Fang, M. K. H. L., Tejas Shikhare, Victor Chan, Kean Fatt Choon, "Palmprint Classification", *IEEE, Taipei, Taiwan*, 2006.
- [11] Jane You, Wenxin Li, David Zhang, "Hierarchical palmprint identification via multiple feature extraction", *Pattern Recognition Society*, pp. 847-859, 2002.
- [12] Jane You, Wai-Kin Kong, David Zhang, King Hong Cheung, "On Hierarchical Palmprint Coding With Multiple Features for Personal Identification in Large Databases", *IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology*, vol. 14 pp.234-243, 2004.
- [13] Jie Wu, Zhengding Qiu, "A Hierarchical Palmprint Identification Method Using Hand Geometry and Grayscale Distribution Features" *The 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, 2006.
- [14] Visgraph. Database of 1080 Hand Images. Available from <ftp://pftp.cs.ust.hk> and http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/DC_Img.htm, 2004.
- [15] M. Sakdanupab and N. Covavisaruch, "An Efficient Approach for Automatic Palmprint Classification" to appear, *the Fourth International Conference on Signal-Image Technology & Internet-based System (SITIS'08)*, 2008.
- [16] L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation", *IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.20, pp.777-789, 1998.
- [17] R. C. Gonzalez, and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [18] D. Field, "Relation between the statistics of natural images and the response profiles of cortical cells", *J. Opt. Soc. Am.*,A(4):2379-2394, 1987.
- [19] L. Masek, "Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification" *The University of Western Australia*, 2003.
- [20] C. Poon, D. C. M. W., H.C. Shen, "A New Method in Locating and Segmenting Palmprint into Region-of-Interest" *Pattern Recognition*, 2004.

An Efficient Approach for Automatic Palmprint Classification

Mongkon Sakdanupab
*Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Thailand*
Mongkon.S@Student.chula.ac.th

Nongluk Covavisaruch
*Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Thailand*
nongluk.c@chula.ac.th

Abstract

This paper proposes an efficient approach for automatic palmprint classification based on principle lines that consist of a life line, a head line and a heart line. The extracted principle lines need not be perfect and our features and the criteria for classification are obvious and simple. Experiments are done with Visgraph database and our CU-CGCI hand database. Each database consists of 1,000 palmprint RGB color images from 100 users. Our method classifies palmprints into six classes. The distribution of categories 1-6 in Visgraph database are 28.8%, 34.4%, 24.2%, 3.8%, 4.5% and 4% whereas they are 34.7%, 27.5%, 22.6%, 5.7%, 3.4% and 5.9% in our CU-CGCI hand database. The palmprint distribution from our method is more even with the most population being around 34%.

1. Introduction

At present, biometric is widely used to identify or verify people in today's information society mostly for security purposes. Palmprint has been considered as an alternative choice for automatic personal authentication due to its unique physical characteristic, visible stable features and low initial cost.

Palmprints consist of distinctive features such as principle lines and wrinkles which can be easily extracted from low-resolution images [1, 2]. Many palmprint identification approaches [3-7] compare a claimer's palmprint with every palmprint in a database. Consequently, it is rather time-consuming. In order to solve this problem, some researches have proposed to categorize palmprints into small groups that can reduce the number of data in the matching process [8, 9].

In this work, the efficient approach for automatic palmprint classification based on palmprint principle lines is proposed. The palmprints are classified into

small groups clearly by using our criteria. Most importantly, the proposed approach has been tested with Visgraph database [12] and our CU-CGCI hand database. The results are well-distributed in all six categorized groups.

The rest of this paper is organized as follows: related works and their problems are presented in section 2. In sections 3 and 4, the basic characteristics of palmprint principle lines and their definitions in our work as well as the proposed approach are described respectively. Experiments and results are shown in section 5. Finally, discussions and conclusions of this work are presented.

2. Related works

In 2004, X. Wu et al. have used the typical principle lines of palmprint which consist of the life line, the head line and the heart line in palmprint classification [8]. The principle lines are classified automatically by using line detector in all orientation and zero-crossing technique. Palmprints are divided into six categories based on the number of principle lines and the number of their intersections. The accuracy of this method is 96.03% compared with the classification by human using the same criteria. The experiments with 13,800 hand images of 1,380 people in Hong Kong reveal that the palmprints are categorized into six groups as shown in Fig. 1. It should be pointed out that the palmprint category five in Fig. 1 (e) consisting of three principle lines and one intersection between two lines is the most population of 78.12%. This approach is unfavorable and against the purpose of palmprint classification because of the unsuitable distribution in any group.

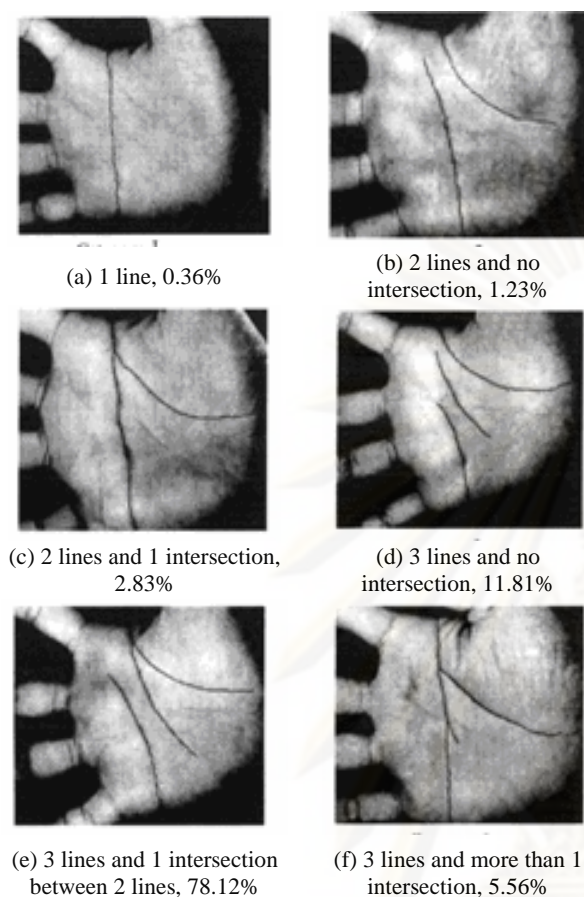


Figure 1. Six palmprint categories and their distribution, as proposed by X. Wu et al. [8].

In 2006, L. Fang et al. have applied the automatic classification method of X. Wu et al. work [8] with a hand database of people in Singapore [9]. Their palmprint distribution in six categories resembles that of X. Wu et al. work [8]. The category 5 still possesses the most population (about 80%). They have proposed to divide category 5 into smaller sub-categories based on many positions on the principle lines and other lines by using basic geometry. Their result is shown in Fig. 2.

However, their method can help to increase the good palmprint distribution; their classification is very complex and hard for human to verify the results because it is too difficult for human to manually categorize palmprints. We believe that, in order to get good results, the principle lines and other palmprint lines must be quite correctly and completely identified.

3. Principle lines and definitions

This section describes the basic of Region of Interest (ROI) on a palmprint and the definition of palmprint principle lines.

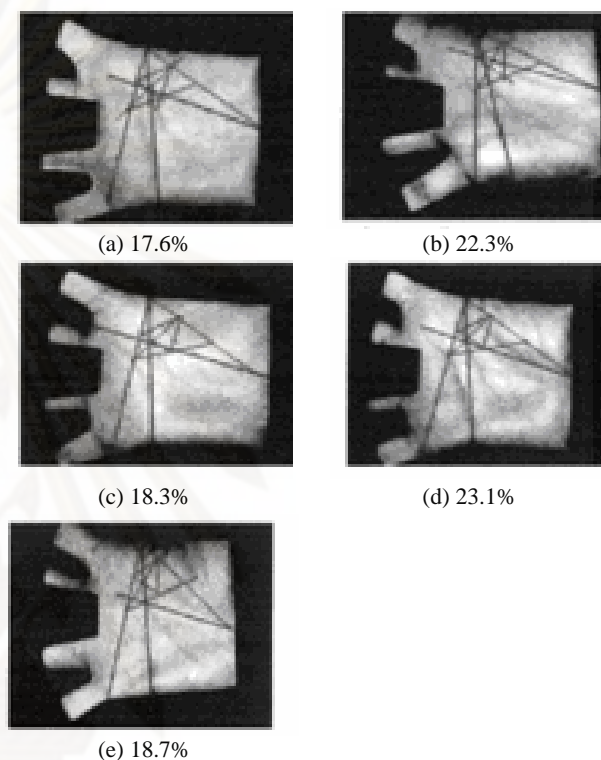


Figure 2. Five palmprint sub-categories of the previous category 5 and their distribution, as proposed by L. Fang et al. [9]

3.1 ROI

From a palmprint image as shown in Fig. 3, we can binarize the image, segment the palm and define the ROI and some reference points.

V1, V2 and V3 are the points among forefinger, middle finger, ring finger and little finger.

O is a point on the line from V2 that is orthogonal to the line connected between V1 and V3 (V1V3). The length of OV2 is predefined and fixed.

A and B are two points on the line passes through O and parallel to line V1V3. The lengths AO and OB are equal and predefined.

The square ABDC is formed and used as the ROI in this research.

IJ, OE and LM are the lines which divide the ABDC into 4 equal parts.

AG and BH have the ratio of $\frac{2}{3}$ of line AC and BD, respectively.

3.2 Principle Line Characteristics

In this research, the three principle lines in ROI, as shown in Fig. 3, are defined by their locations as follows:

1) *Heart line* is the line which has an endpoint on the right side of rectangle LBHP and must pass through line OF.

2) *Head line* has an endpoint on the left side of rectangle AING. The position of this endpoint is either above or the same as that of a *life line* and must pass through line OF.

3) Like the *head line*, a *life line* also has an endpoint on the left side of rectangle AING in the ROI. The position of this endpoint is either below or the same as that of the head line. Life line must exist in rectangle IOEJ.

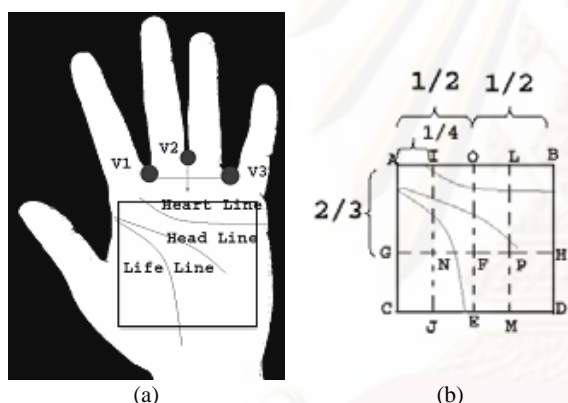


Figure 3. The positions and key points that are used in this research.

4. Our Palmprint Classification Approach

Our proposed palmprint classification method based on principle lines is automatic and effective. It has many advantages. Firstly, the extracted principle lines need not be perfect, therefore some small parts of the lines can be missed out. Secondly, the features and the criteria used for classification are obvious and simple. Lastly and most importantly, the palmprints can be classified and well distributed into six categories.

In this research, we propose to classify palmprints based on these criteria: 'Do the head line and life line intersect?', 'Is the heart line straight or curved?' and 'if the heart line is straight, how flat is

it?' Hence, there are six categories as shown in Fig. 4.

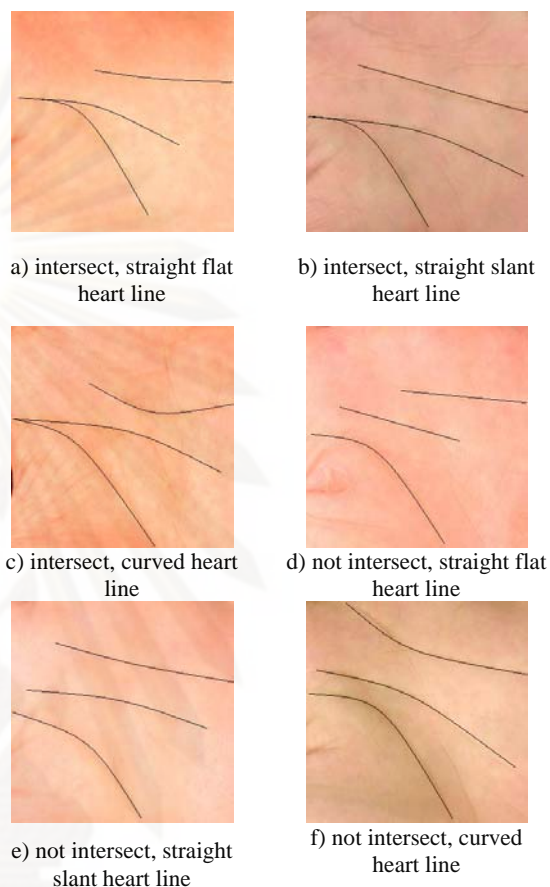


Figure 4. Six palmprint categories from our proposed method. (The principle lines are highlighted for clear representation only.)

This section consists of 3 parts. They are image pre-processing, principle line detection method, and feature extraction, respectively.

4.1 Image Pre-processing

In this research, only the blue component of hands' color images is used. After obtaining ROI from hand images, we have normalized all ROI's in the database to reduce the effects of different brightness in the image acquisition process by the normalization method of L. Hong et al. [11] in equations 1 and 2. Noise is then eliminated with Gaussian filter [10]. Finally, the ROI is scaled in half to reduce computation in the principle line detection and the matching processes.

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d (I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad (2)$$

where $I'(x, y)$ is the normalized image.

ϕ_d and ρ_d are the average and standard deviation of the output image.

ϕ and ρ are the average and standard deviation of the input image.

4.2 Principle Line Detection

Since palmprint's lines are darker than other areas, principle lines are detected by checking the gray level profiles in 4 directions, which are 0° , 45° , 90° and 135° are show in Fig. 5. These profiles can be classified as 3 cases as a valley, a slope and an unidentified case. The characteristics of each pattern are illustrated in table 1.

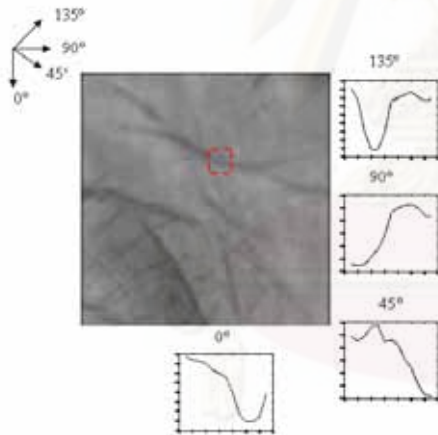


Figure 5. Principle lines characteristic and the profile of gray value in 4 directions.

Table 1.

Profile characteristics used in principle line analysis.

Profile characteristics	Pattern		
	Valley	+0+	00+
Slope	+0-	-0+	
Unidentified case	000		

Let “0” represent the pixel in consideration or the case of the same gray level as that of the pixel in consideration, “+” represent the case of higher gray values and “-“ represent the case of lower gray values.

A pixel is classified as it is in a principle line if it satisfies one of these rules.

- 1) Profiles in more than 2 directions are valley.
- 2) Profiles are 2 valleys and 2 unidentified cases.
- 3) Profiles are 2 valleys, 1 slope and 1 unidentified case.

Fig. 6 (b) represents an example of principle line extraction from original image in Fig. 6 (a). Morphological filters are applied to eliminate noise and smooth the image. End points of fragmented lines are detected by convex hull algorithm [10]. Fragmented lines are linked afterwards as shown in Fig. 6 (c).

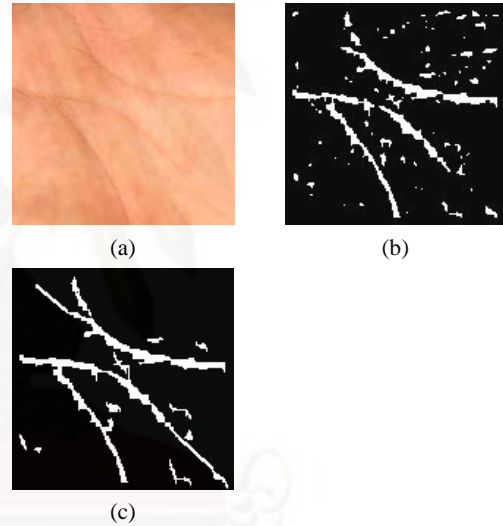


Figure 6. Principle lines extraction

4.3 Feature Extraction

As mentioned earlier, the criteria for palmprint classification in this research are: ‘Do the head line and life line intersect?’, ‘Is the heart line straight or curved’ and ‘if the heart line is straight, how flat is it?’

4.3.1 Intersection between head line and life line

Line(s) from endpoint(s) on the left side of rectangle AING are detected using chaincode. Checking whether they are the head line and/or the life line is done by using the length and the definitions in section 3. Intersection is identified afterwards.

4.3.2 Heart line: straight or curved?

As defined in section 3, the heart line is the first line which starts at the right side of rectangle LBHP, must pass through OF. Chaincode is applied to track the line. Small branches are eliminated. If the tracked line does not fulfill the heart line definition, e.g. it does not pass through OF, linking fragmented lines are needed.

A straight line equation (3) is fitted to the extracted heart line to classify it as being "straight" or "curved". Errors are calculated with equation (4).

$$y = mx + c \quad (3)$$

$$error = \sum (X_i - \mu_i)^2 / \mu_i \quad (4)$$

where X_i is the position on the extracted heart line.

μ_i is the position from the equation.

If the extracted line is classified as a straight line, then we sub-classify the straight line as a "flat line" if the slope is less than 10 degrees, or a "slant" otherwise.

5. Experiments and results

Our palmprint classification approach has been tested with 2 databases; Visgraph database [12] from Hong Kong and our CU-CGCI (Chulalongkorn University - Computer Graphics and Computer Imaging) hand database which are taken from people in Thailand. Each database consists of 1,000 palmprint RGB color images from 100 users. The image size is 960x1280.

Three experiments are done for each hand database. In each experiment, 5 out of 10 hand images of the same user are sampling. Results are as shown in tables 2 and 3.

Table 2.
Distribution of each category (Visgraph. database)

Category \ Experiment	1	2	3	4	5	6
1	144	170	124	18	21	23
2	149	166	121	18	26	20
3	140	181	119	22	21	17
average	144.3	172.3	121.3	19.3	22.6	20
%	28.8	34.4	24.2	3.8	4.5	4

Table 3.

Distribution of each category (CU-CGCI database)

Category \ Experiment	1	2	3	4	5	6
1	174	139	116	25	17	29
2	177	133	112	30	20	28
3	170	141	111	31	15	32
average	173.6	137.6	113	28.6	17.3	29.6
%	34.7	27.5	22.6	5.7	3.4	5.9

The classification results from X. Wu et al. [8], and from our proposed approach tested with Visgraph hand database, and with CU-CGCI hand database, are shown in Fig. 7 for comparison. It can be noticed that the proposed approach results in more even classes and that it gives similar distribution for both databases.

6. Discussions and conclusions

In this research, we attempt to classify palmprints by using principle lines. The features used in our approach are 'intersection between head line and life line', 'straight flat or slant heart line', and 'curved heart line'. There are several advantages of this proposed approach. The extracted principle lines need not be perfect. Features and criteria for classification are obvious and simple. The palmprint classification results from the experiments done with 2 different databases conform each other and well-distributed with the most population being around 34%.

7. Acknowledgments

This research is funded by the 90th year Anniversary of Chulalongkorn University (Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund). We thank Hong Kong University of Science and Technology (Visgraph) [12] for hand image database.

8. References

- [1] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, "Biometric: Personal Identification in Networked Society," Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] D. Zhang "Automated Biometrics-Technologies and System", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
- [3] D. Zhang, W.S., "Two Novel Characteristics in

- Palmprint Verification: Datum Point Invariance and Line Feature Matching*". Pattern Recognition Society, vol. 33, no. 4, pp. 691-702, 1999.
- [4] D. Zhang, W.-K.K., Jane You, and Michael Wong, "Online Palmprint Identification". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25: p. 10, pp. 1041-1050.
- [5] D. Zhang, W.-K.K., Jane You, and Michael Wong, "Characterization of Palmprints by Wavelet Signatures via Directional Context Modeling". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2004, pp. 1335-1347.
- [6] RHEE, J.S.N.a.K.H. "Palmprint Identification Algorithm using Hu Invariant Moments and Otsu Binarization". Proceedings of the Fourth Annual ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS'05). 2005.
- [7] Fang Li, M.K.H.L., Xiaozhou Yu. "PALMPRINT MATCHING USING LINE FEATURES".
- [8] Xiangqian Wu, D. Zhang, Kuanquan Wanga, Bo Huanga. "Palmprint classification using principal lines." Pattern Recognition 37: 12., pp 1987-1998. 2004
- [9] Li Fang, M. K. H. L., Tejas Shikhare, Victor Chan, Kean Fatt Choon. "Palmprint Classification". IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Taipei, Taiwan, pp 2965-2969. 2006
- [10] R. C. Gonzalez, and R.E. Woods, Digital Image Processing, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [11] L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain, "Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation," IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.20, pp.777-789, 1998.
- [12] Visgraph. Database of 1080 Hand Images. Available from <ftp://pftp.cs.ust.hk> and http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/DC_Img.htm 2004.

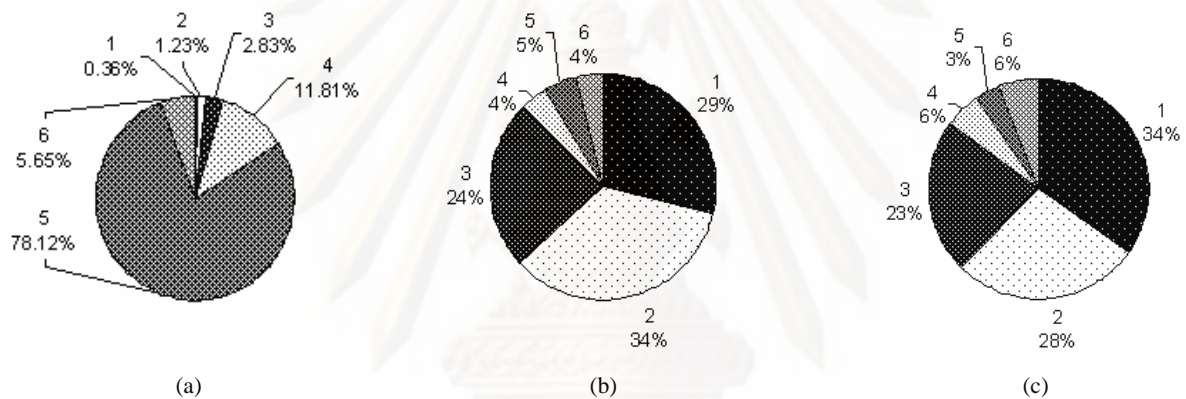


Figure 7. Results of distribution of category (a) distribution of category in X. Wu et al. [8], (b) distribution of category in Visgraph. database [12] and (c) distribution of category in our CU-CGCI hand database

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมงคล ศักดานุภาพ เกิดวันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2526 ประจวบคีรีขันธ์ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย