

การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้การแปลงเรดอนของแบบรูปม่านตา



นางสาว ภัทราภรณ์ อริยปรีชากุล

# สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERSONAL VERIFICATION AND IDENTIFICATION BASED ON RADON TRANSFORM  
OF IRIS PATTERN



Miss Pattraporn Ariyapreechakul

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
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 2006

Copyright of Chulalongkorn University

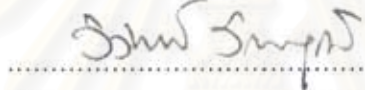
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้การแปลงเรดอนของแบบรูป ม่านตา
โดย	นางสาว ภัทราภรณ์ อริยปรีชากุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สืบสกุล พิภพมงคล)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ทิพากร)

สภาอธิบรภษ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภัทรภรณ์ อริยปรีชากุล : การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้การแปลงเรดอน  
ของแบบรูปม่านตา. (PERSONAL VERIFICATION AND IDENTIFICATION BASED ON  
RADON TRANSFORM OF IRIS PATTERN) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.นงลักษณ์ โควาวิสารัช,  
124 หน้า.

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบชีวมาตรที่ใช้แบบรูปม่านตาด้วยวิธีการแปลงเรดอน รวมทั้งเสนอ  
วิธีการตรวจหาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตาและหาขนาดม่านตาที่เหมาะสมกับวิธีการนี้เพื่อ  
หลีกเลี่ยงสิ่งรบกวนต่างๆ มีผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอันได้แก่ เปลือกตาและขนตา

ระบบชีวมาตรที่ใช้แบบรูปม่านตาเป็นระบบที่ใช้ลายม่านตาในการทวนสอบบุคคลและการ  
ระบุบุคคล งานวิจัยนี้เลือกตัดลายม่านตาบริเวณด้านขวาและด้านซ้ายเพื่อหลีกเลี่ยงเปลือกตา  
และขนตาแล้วทำการประมวลผลภาพเบื้องต้น การสกัดพีเจอร์จากภาพม่านตาทำโดยการแปลง  
เรดอนของภาพด้านขวาและด้านซ้ายของม่านตาแล้วนำพีเจอร์ที่ได้จากภาพทั้งสองมาต่อกัน ใน  
การเปรียบคู่แผนแบบวัดความคล้ายโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง 3 แบบเพื่อเปรียบเทียบกัน

ในการหาขนาดของม่านตาที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้ทดสอบด้วยการตัดภาพม่านตาขนาด  
ต่าง ๆ กันในแนวองศาและในแนวรัศมี

งานวิจัยนี้ทดสอบโดยใช้ภาพจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 พบว่าประสิทธิภาพของ  
ระบบชีวมาตรที่ใช้แบบรูปม่านตาด้วยวิธีการแปลงเรดอนมีอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันมีค่า  
แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปลี่ยนมุมการตัดและความกว้างของม่านตาโดยมีค่าอัตรา  
ความผิดพลาดที่เท่ากันสำหรับการทวนสอบบุคคลอยู่ในช่วง 0.858% ถึง 1.593% และสำหรับการ  
ระบุบุคคลอยู่ในช่วง 2.257% ถึง 4.803% โดยฟังก์ชันระยะทาง S1 ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต..... *สัจฉา ลอย* *อริยปรีชากุล*  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *สัจฉา ลอย*  
ปีการศึกษา .....2549.....

# # 4670427521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: BIOMETRIC / IDENTIFICATION / IRIS / RADON TRANSFORM / FEATURE

PATRAPORN ARIYAPREECHAKUL: PERSONAL VERIFICATION AND IDENTIFICATION BASED ON RADON TRANSFORM OF IRIS PATTERN. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH, 124 pp.

This research presents a biometric system based on Radon transform of iris pattern. We propose an algorithm to localize pupil and iris. We also propose to find the appropriate size of iris for Radon transform feature to avoid noise such as upper and lower eyelids and eyelashes which reduce the system performance.

A biometric system using iris pattern is a system that uses iris patterns for personal verification and identification. In order to avoid eyelids and eyelashes, we choose only the right and the left iris segments for feature extraction. The enhanced and binarized iris segments are applied with Radon transform and resulted in 2 feature vectors. The iris template is the concatenation of the 2 feature vectors. Three distance functions are tested in the matching process. Various sizes of iris segments are used in our experiments to find the appropriate size for Radon transform feature. The sizes vary upon the iris segments' angles and widths.

In this research, tested images are from CASIA version 1.0 iris database. From our experiments, it is found out that the EER's of the personal verification and identification systems based on Radon transform of iris pattern do not differ much upon the variations of areas of iris segments. The EER's range from 0.858% to 1.593% for personal verification system and from 2.257% to 4.803% for personal identification system. Among the three distance functions, S1 distance achieves the best results.

Department...Computer Engineering... Student's signature.....  
Field of study..Computer Engineering.. Advisor's signature.....  
Academic year .....2006.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.นงลักษณ์ โคววิสารัช ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอแนะข้อคิดเห็น แนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.บัณฑิต ทิพากร อ.ดร.สืบสกุล พิภพมงคล และผศ.ดร.สมหญิง ไทยนิมิต ที่ให้ความกรุณาเสนอคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และชี้แนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนถึงตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณพี่เจษฎา แสงพานิชย์ และนายพิพัฒน์ ประทีปอมรกุลที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย แนะนำหนังสือที่น่าสนใจ และช่วยแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเขียนโปรแกรม

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI ที่น่ารักทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ และให้ความสุขตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณฐานข้อมูล CASIA สำหรับภาพที่ใช้ทดสอบในวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช (90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ที่อนุเคราะห์ทุนเป็นค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ห้องปฏิบัติการ CGCI และที่บ้านที่คอยร่วมทุกข์ร่วมสุข มาตลอดการทำวิทยานิพนธ์

และท้ายสุดนี้ที่จะลืมมิได้ขอกราบขอบพระคุณบิดา 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 .....	3
1.2.1 ระบบรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาทั้งหมด.....	4
1.2.2 ระบบรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาเพียงบางส่วน.....	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	9
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	9
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	9
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	9
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ .....	9
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตร .....	11
2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร .....	11
2.1.2 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการทวนสอบบุคคล.....	13
2.1.3 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการระบุบุคคล .....	14
2.1.4 การวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร.....	15
2.2 ความรู้เกี่ยวกับดวงตา .....	19
2.2.1 กระจุกตา .....	19
2.2.2 เยื่อตาขาวชั้นนอก.....	20
2.2.3 เลนส์ .....	20
2.2.4 จอตา.....	20

บทที่	หน้า
2.2.5	รูก่านตา..... 20
2.2.6	ม่านตา..... 21
2.3	การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล..... 23
2.3.1	การตรวจหาขอบภาพ ..... 23
2.3.2	การประมาณค่าระดับเทา ..... 26
2.3.3	การหาค่าขีดแบ่ง..... 29
2.3.4	การหาภาพเงาการฉาย..... 30
2.3.5	การแปลงฮัฟแบบวงกลม ..... 32
2.3.6	การจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกัน ..... 33
2.3.7	การปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน..... 35
2.3.8	การแปลงเรดอน..... 35
2.3.9	ฟังก์ชันระยะทาง..... 37
2.3.10	การแปลงจากระบบพิกัดเชิงขั้วให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงเส้น..... 39
3	การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตาด้วยวิธีการแปลงเรดอน..... 41
3.1	การเก็บข้อมูลภาพดวงตา ..... 41
3.2	การประมวลผลภาพเบื้องต้น..... 41
3.2.1	การตรวจหาตำแหน่งม่านตา ..... 42
3.2.2	การแปลงพิกัดภาพม่านตา..... 45
3.2.3	การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน ..... 48
3.3	การสกัดพีเจอร์ของลายม่านตา ..... 50
3.4	การเปรียบเทียบแผ่นแบบ ..... 51
3.5	การตัดสินใจของระบบ ..... 53
3.5.1	การวัดความคล้ายของพีเจอร์ ..... 53
3.5.2	ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคล ..... 53
3.5.3	ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล ..... 57
4	การทดลองและผลการทดลอง ..... 60
4.1	ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ..... 60
4.2	การวัดประสิทธิภาพของวิธีการตรวจหาตำแหน่งม่านตา ..... 61



บทที่	หน้า
4.2.1 การทดลอง.....	62
4.2.2 ผลการทดลอง.....	62
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	62
4.3 การวัดความทนทานของวิธีการแปลงเรดอนต่อเปลือกตา.....	63
4.3.1 การทดลอง.....	64
4.3.2 ผลการทดลอง.....	66
4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	67
4.4 การตัดมันตาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงเรดอน.....	68
4.4.1 การทดลอง.....	68
4.4.2 ผลการทดลอง.....	69
4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	73
4.5 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล.....	77
4.6 การเปรียบเทียบความถูกต้องของระบบระบุบุคคลที่ใช้การแปลงเรดอนและค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานในการสกัดพีเจอร์.....	78
4.6.1 การทดลอง.....	78
4.6.2 ผลการทดลอง.....	79
4.6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	80
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	81
5.2 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก .....	88
ผลการทดลอง.....	88
ภาคผนวก ข .....	103
บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ .....	103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	124

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ข้อดีและข้อเสียของชีวมাত্রชนิดต่าง ๆ .....	3
4.1 ผลลัพธ์การตรวจหาตำแหน่งของรูผ่านตาและม่านตา .....	62
4.2 ค่า EER โดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ของระบบระบุบุคคล .....	66
4.3 ค่า EER โดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนของระบบระบุบุคคล .....	67
4.4 ค่า EER โดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 ของระบบระบุบุคคล .....	67
4.5 ค่า EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ .....	70
4.6 ค่า EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน .....	71
4.7 ค่า EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 .....	72
4.8 ค่า EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ .....	74
4.9 ค่า EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน .....	75
4.10 ค่า EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 .....	76
4.11 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนแบบของระบบการทวนสอบบุคคลและ ระบบการระบุบุคคล .....	78
4.12 ผลการเปรียบเทียบระบบระบุบุคคลระหว่างพีเจอาร์จากการแปลงเรดอนและค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพม่านตาที่ตัดในแนว 45 องศา ความกว้างม่านตา 100 เปอร์เซ็นต์ .....	79
4.13 ผลการเปรียบเทียบระบบระบุบุคคลระหว่างพีเจอาร์จากการแปลงเรดอนของภาพม่าน ตาที่ตัดขนาดต่างกัน .....	79
ก.1 ขนาดของแผนแบบเมื่อผ่านวิธีการแปลงเรดอนโดยกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่ง ให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ .....	89
ก.2 ขนาดของแผนแบบเมื่อผ่านวิธีการแปลงเรดอนโดยกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่ง ให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา .....	90
ก.3 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาด หน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ .....	91



## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ภาพม่านตาที่มีหน้ากากสีเหลืองปิดในงานวิจัยของ Meena และคณะ.....	6
1.2 ภาพม่านตาระหว่างขอบรูม่านตาถึงขอบคอลลาเรทในงานวิจัยของ Sung และคณะ.....	6
1.3 ตัวอย่างภาพม่านตาบางส่วนที่ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัยของ Du และคณะ.....	8
1.4 ตัวอย่างภาพพีเจอร์รี่ของลายม่านตาในงานวิจัยของ Thoonsaengngam และคณะ.....	8
2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร.....	12
2.2 ขั้นตอนการเข้าระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตา.....	12
2.3 ขั้นตอนการทวนสอบบุคคลของระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตา.....	13
2.4 ขั้นตอนการระบุบุคคลของระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตา.....	14
2.5 กราฟแสดงการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบแผ่นแบบ.....	16
2.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการยอมรับผิดพลาดและอัตราการปฏิเสธผิดพลาด.....	17
2.7 กราฟ ROC.....	17
2.8 ดวงตา.....	19
2.9 ภาพกายวิภาคของม่านตา.....	22
2.10 หน้ากากของตัวดำเนินการโซเบล.....	25
2.11 การประมาณค่าในช่วงแบบที่ใกล้ที่สุด.....	27
2.12 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่.....	28
2.13 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงลูกบาศก์.....	29
2.14 ตัวอย่างภาพเงาการฉายระดับเทาของภาพระดับเทาขนาด $m \times n$ จุดภาพ.....	30
2.15 ตัวอย่างภาพเงาการฉายของภาพลักษณะฐานสอง.....	31
2.16 แนวคิดของการแปลงฮัฟ.....	32
2.17 ตัวอย่างฟังก์ชันการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกัน.....	34
2.18 ตัวอย่างวิธีการแปลงเรดอนของภาพลักษณะฐานสอง.....	36
2.19 ผลลัพธ์การแปลงเรดอน.....	36
3.1 ตัวอย่างภาพม่านตาจากฐานข้อมูลภาพของ CASIA เวอร์ชัน 1.0.....	42
3.2 ผลลัพธ์การแปลงเป็นภาพลักษณะฐานสองด้วยวิธีการหาค่าขีดแบ่ง.....	43
3.3 การประมาณค่าจุดศูนย์กลางรูม่านตาโดยหาค่าภาพเงาการฉายระดับเทาที่น้อยที่สุดในแนวตั้งและแนวนอน.....	44
3.4 การหาจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาอย่างหยาบ.....	44

ภาพประกอบ	หน้า
3.5 ผลการหาตำแหน่งของม่านตา.....	45
3.6 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและม่านตา.....	46
3.7 การแปลงภาพม่านตาจากพิกัดเชิงเส้นเป็นพิกัดเชิงขั้ว .....	48
3.8 ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการเสริมแต่งภาพของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว.....	49
3.9 ตัวอย่างภาพเงาการฉายของภาพในแนวองศาต่างกัน .....	50
3.10 ขั้นตอนการหาคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและมากที่สุดของระบบทวนสอบบุคคล ...	55
3.11 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคล .....	56
3.12 ขั้นตอนการหาคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและมากที่สุดของระบบระบุบุคคล.....	58
3.13 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล .....	59
4.1 อัตราส่วนภาพม่านตาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาในฐานข้อมูล CASIA .....	61
4.2 ผลการหาตำแหน่งรูม่านตาผิดพลาด .....	62
4.3 ผลการหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาด .....	63
4.4 แผนผังฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตบบนและล่างปิดบังลายม่านตา .....	65
4.5 แผนผังฐานข้อมูลที่ละกันระหว่างภาพที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตบบนและล่างปิดบังลายม่านตา .....	66
4.6 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ .....	70
4.7 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน.....	71
4.8 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 .....	72
4.9 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์.....	74
4.10 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน.....	75
4.11 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 .....	76
ก.1 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ.....	91
ก.2 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ .....	92



ภาพประกอบ	หน้า
ก.3 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ $35 \times 35$ จุดภาพ .....	93
ก.4 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา .....	94
ก.5 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา .....	95
ก.6 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา .....	96
ก.7 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ $35 \times 35$ จุดภาพ .....	97
ก.8 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ $35 \times 35$ จุดภาพ .....	98
ก.9 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ $35 \times 35$ จุดภาพ .....	99
ก.10 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา .....	100
ก.11 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา .....	101

ภาพประกอบ

หน้า

ก.12 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพมาตา..... 102



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์สามารถจำบุคคลต่าง ๆ ได้จากลักษณะเฉพาะที่มีความหลากหลาย เช่น เราสามารถจำใบหน้าของบุคคลที่พบและจำเสียงของบุคคลที่พูดคุยด้วยได้ ลักษณะเฉพาะเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้ในการพิสูจน์ตัวจริง (Authentication) โดยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นสิ่งที่มาจากตัวผู้ใช้งาน ในปัจจุบันสิ่งที่ใช้ในการพิสูจน์ตัวจริงเพื่อเข้าระบบมี 3 ชนิด อันได้แก่

1. สิ่งที่คุณใช้รู้ เช่น รหัสผ่าน หมายเลขประจำตัว เป็นต้น
2. สิ่งที่คุณใช้มี เช่น กุญแจ บัตรประจำตัว เป็นต้น
3. สิ่งที่คุณใช้เป็น คือ ลักษณะทางสรีรวิทยา (Physiological characteristics) หรือลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioral characteristics) หรือที่เรียกว่า ชีวมาตร (Biometric)

ระบบรักษาความปลอดภัยในปัจจุบันมักใช้สิ่งที่คุณใช้รู้หรือสิ่งที่คุณใช้มีเพื่อเข้าระบบยังคงมีข้อเสียหลายประการ เช่น ผู้ใช้อาจลืมรหัสผ่านหรืออาจทำบัตรหายหรือบัตรหรือรหัสผ่านอาจถูกขโมยได้ นอกจากนี้ระบบยังไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ารหัสผ่านหรือบัตรที่ใช้เข้าระบบนั้นเป็นของเจ้าของตัวจริงหรือไม่ ทำให้มีการนำชีวมาตรมาใช้ ชีวมาตรเป็นการนำส่วนต่าง ๆ ของร่างกายหรือลักษณะท่าทางมาใช้ในการพิสูจน์ตัวจริง ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายหรือลักษณะท่าทางที่นำมาใช้แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ลักษณะทางสรีรวิทยาและลักษณะทางพฤติกรรม ตัวอย่างลักษณะทางสรีรวิทยาได้แก่ ม่านตา (Iris) ลักษณะทางเรขาคณิตของมือ (Hand geometry) จอตา (Retina) ใบหน้า (Face) และลายนิ้วมือ (Fingerprint) เป็นต้น ส่วนลักษณะทางพฤติกรรมได้แก่ ท่าทางการเดิน (Gait) ลายเซ็น (Signature) และเสียงพูด (Voice) เป็นต้น

ลักษณะทางสรีรวิทยาและลักษณะทางพฤติกรรมที่ดีสำหรับการใช้ในระบบชีวมาตรต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [1]

1. ความเป็นสากล (Universality) คือ ลักษณะที่คนส่วนใหญ่มี
2. ความเป็นไปได้เพียงอย่างเดียว (Uniqueness) คือ ลักษณะต้องมีความแตกต่างระหว่างบุคคลมากพอที่จะนำมาใช้ในการรู้จำ
3. ความคงทน (Permanence) คือ ลักษณะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป
4. ความสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ (Collectability) คือ ลักษณะที่สามารถวัดออกมาเป็นขนาดหรือจำนวนได้

อย่างไรก็ตาม การใช้งานระบบชีวมาตรยังจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติอื่น ๆ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน ดังนี้

1. สมรรถนะ (Performance) คือ ลักษณะที่ดีต้องมีการประมวลผลได้ถูกต้อง รวดเร็ว และทรัพยากรของระบบที่ใช้ต้องเหมาะสม นอกจากนี้ลักษณะนั้น ๆ ยังต้องมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมโดยมีผลกระทบกับความถูกต้องและความรวดเร็วในการประมวลผลน้อยที่สุด
2. การยอมรับได้ (Acceptability) คือ เป็นลักษณะที่บุคคลยอมรับและเต็มใจที่จะใช้งาน และไม่เป็นอันตรายกับผู้ใช้ เช่น ลายนิ้วมือ เป็นต้น
3. การทนทานต่อการปลอมแปลง (Circumvention หรือ Robustness) คือ การปลอมแปลงลักษณะเพื่อเข้าระบบทำได้ง่ายเพียงใด

ในปัจจุบัน ลักษณะที่ใช้ในระบบชีวมาตรมีหลายชนิดได้แก่ ม่านตา จอตา และลายนิ้วมือ เป็นต้น โดยแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งสรุปดังตารางที่ 1.1 [1]

งานวิจัยนี้ใช้ลักษณะม่านตาในการรู้จำเนื่องจากแบบรูปม่านตา (Iris Pattern) เป็นแบบรูปที่มีความเฉพาะตัวไม่มีใครเหมือนและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิตหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากแบบรูปม่านตาขึ้นอยู่กับโครงสร้างยีน แม้แต่แบบรูปม่านตาของฝาแฝดก็ไม่เหมือนกันเพราะโครงสร้างของยีนมีความต่างกัน [2, 3, 4, 5] ม่านตาเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างรูม่านตา (Pupil) และเยื่อตาขาวชั้นนอก (Sclera) การถ่ายภาพม่านตาทำได้โดยการใช้กล้องถ่ายรูป CCD โดยใช้แสงช่วงปกติหรือแสงอินฟราเรด (700 – 900 nm) การรู้จำม่านตามีความถูกต้องสูง ผู้ใช้ไม่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ สามารถนำไปใช้ได้ทั้งการทวนสอบบุคคล (Personal verification) และการระบุบุคคล (Personal identification) ข้อเสียของระบบที่ใช้การรู้จำม่านตา คือ อุปกรณ์มีราคาสูงและไม่เหมาะกับคนที่เป็นต้อกระจกและคนที่เป็นโรคผิดปกติเกี่ยวกับตา

ความถูกต้องของระบบรู้จำม่านตาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนประมวลผล (Preprocessing) ขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ (Feature extraction) และขั้นตอนการเปรียบคู่แผ่นแบบ (Template matching) เป็นต้น แต่ละขั้นตอนมีความสำคัญแตกต่างกัน เช่น ขั้นตอนการเตรียมภาพก่อนประมวลผลซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งม่านตา ขั้นตอนการแปลงภาพให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงเส้น และขั้นตอนการปรับคุณภาพของภาพ ในขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งม่านตาอาจมีข้อผิดพลาดเนื่องมาจากภาพดวงตาที่ได้อาจมีสิ่งรบกวนปิดบังม่านตาซึ่งได้แก่ ขนตา เปลือกตาบน เปลือกตาล่าง และรูม่านตา ขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์เป็นขั้นตอนการสร้างแผ่นแบบเพื่อเก็บฟีเจอร์ลงในฐานข้อมูล ถ้าแผ่นแบบเก็บฟีเจอร์ที่มีสิ่งรบกวนอยู่ก็จะมีผลทำให้การเปรียบคู่แผ่นแบบผิดได้ ส่วนขั้นตอนการเปรียบคู่

แผ่นแบบขึ้นอยู่กับลักษณะของแผ่นแบบที่เก็บได้จากการสกัดพีเจอร์รี่ แผ่นแบบมีได้หลายลักษณะ เช่น ภาพระดับเทา ภาพลักษณะฐานสอง หรือเวกเตอร์ 1 มิติ เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 ข้อดีและข้อเสียของชีวมাত্রชนิดต่าง ๆ [1]

ชนิดของชีวมাত্র	ความเป็นสากล	ความเป็นไปได้เพียงอย่างเดียว	ความคงทน	ความสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้	สมรรถนะ	การยอมรับได้	การทนทานต่อการปลอมแปลง
ใบหน้า	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ
ลายนิ้วมือ	ปานกลาง	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	สูง
ลักษณะเรขาคณิตของมือ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
เส้นเลือดในมือ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง
ม่านตา	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	สูง
จอตา	สูง	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ต่ำ	สูง
ลายเซ็น	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ
เสียงพูด	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ต่ำ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการหาขั้นตอนวิธีการรู้จำม่านตาโดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อนำไปใช้ในการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลสำหรับระบบรักษาความปลอดภัยโดยการหาขนาดม่านตาที่เหมาะสมกับพีเจอร์รี่ที่เลือกใช้เพื่อหลีกเลี่ยงเปลือจอตาและชนตาที่มีผลกับประสิทธิภาพของระบบ

## 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบรู้จำม่านตาอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามขนาดของพื้นที่ม่านตาที่ใช้ได้แก่ การรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาทั้งหมดและที่ใช้ม่านตาเพียงบางส่วน



### 1.2.1 ระบบรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาทั้งหมด

ระบบการรู้จำม่านตา ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเก็บภาพ ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น ขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ และขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบ แต่ละงานวิจัยมีขั้นตอนการประมวลผลที่แตกต่างกัน ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

1. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence ปี 1993 โดย J. Daugman [6] เสนอระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตา การเก็บภาพม่านตาทำโดยใช้กล้องวีดิทัศน์ และตรวจหาตำแหน่งม่านตาโดยใช้ตัวตรวจจับขอบวงกลม (Circular Edge Detector) และตรวจหาตำแหน่งเปลือกตาโดยใช้การปรับเส้นโค้งให้พอดี (Curve fitting) ส่วนในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ใช้ตัวกรอง Gabor ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ภาพในโดเมนความถี่ และใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming distance function) ในการเปรียบเทียบแบบ ผลของงานวิจัยนี้มีความถูกต้องสูงมากโดยใช้วิธีการทางสถิติในการคำนวณซึ่งมีอัตราความผิดพลาดเพียง 1 ใน 131,000 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ถือได้ว่าเป็นต้นแบบงานวิจัยของระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาที่วิจัยต่อ ๆ มา

2. Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology ปี 1997 โดย R. Wildes [2] เสนอระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาโดยใช้วิธีการแปลงฮัฟ (Hough transform) ในการตรวจหาตำแหน่งม่านตาและใช้ตัวกรองลาปลาเซียนของเกาส์เซียน (Laplacian of Gaussian filter) ในการสกัดพีเจอร์ และในการเปรียบเทียบแบบใช้วิธีสหสัมพันธ์แบบปรับบรรทัดฐาน (Normalized correlation) ผลความผิดพลาดของระบบเท่ากับ 1.76 เปอร์เซ็นต์

3. How Iris Recognition Work ปี 2002 โดย J. Daugman [7] เสนอระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตา ในการตรวจหาตำแหน่งม่านตาใช้ตัวตรวจจับขอบวงกลม ขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ใช้วิธี Complex-valued 2D Gabor wavelets และใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงในการเปรียบเทียบแบบ ซึ่งได้ความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

4. Personal Identification Based on Iris Texture Analysis ปี 2003 โดย L. Ma, T. Tan, Y. Wang และ D. Zhang [8] เสนอระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตา การตรวจหาตำแหน่งม่านตาใช้วิธีการหาภาพเงาการฉายที่น้อยที่สุดในแนวนอนและแนวตั้งแล้วหาขอบภาพโดยใช้ตัวดำเนินการแคนนี่ (Canny operator) และใช้วิธีการแปลงฮัฟ การสกัดพีเจอร์ใช้วิธีตัวกรองเชิงพื้นที่ (Spatial filter) แผ่นแบบที่เก็บมีจำนวน 1536 ค่า และใช้วิธี Nearest center classifier เพื่อแยกกลุ่มผู้ลงทะเบียน (Register user) ในระบบและผู้บุกรุก (Imposter) และใช้ฟังก์ชันระยะทาง (Distance function) ในการเปรียบเทียบ 3 แบบ คือ การวัดระยะทาง  $L_1$  การวัด

ระยะทาง  $L_2$  และการวัดความคล้ายโคไซน์ (Cosine) ผลการทดลองที่ดีที่สุดมีความถูกต้องเท่ากับ 99.43 เปอร์เซ็นต์สำหรับการวัดความคล้ายโคไซน์

5. Iris Recognition for Palm-Top Application ปี 2004 โดย C. Chun และ R. Chung [9] เสนอระบบชีวมาตรด้วยแบบรูปม่านตาที่ใช้กับอุปกรณ์พาล์มทอปซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องเวลาและหน่วยประมวลผล การเก็บภาพม่านตาใช้กล้องที่ติดกับอุปกรณ์พาล์มทอป ในการตรวจหาตำแหน่งม่านตาใช้ตัวตรวจหาตำแหน่งวงรี (Ellipse detector) การสกัดพีเจอรีใช้วิธีการแปลงเรดอน (Radon transform) และใช้วิธีสหสัมพันธ์ภูมิภาค (Regional correlation) ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ผลการทดลองพบว่าสามารถลดเวลาได้ถึง 6 เท่าเมื่อเทียบกับวิธีการแปลงเวฟเลต

### 1.2.2 ระบบรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาเพียงบางส่วน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบรู้จำม่านตาเพียงบางส่วนเกิดขึ้นเนื่องจากความต้องการลดขนาดแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูล ลดสิ่งรบกวนในภาพ และยังเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น ซึ่งมีตัวอย่างงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. Accurate Iris Segmentation Based on Novel Reflection and Eyelash Detection Model ปี 2001 โดย W.K. Kong และ D. Zhang [10] เสนอวิธีในการตรวจหาแสงสะท้อนและตำแหน่งขนตา ขนตาสามารถแบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ ขนตาที่อยู่เดี่ยว ๆ และขนตาที่มีหลาย ๆ เส้นติดกัน การตรวจหาตำแหน่งขนตาที่อยู่เดี่ยว ๆ หาโดยใช้ตัวกรอง Gabor ส่วนการตรวจหาตำแหน่งขนตาที่มีหลาย ๆ เส้นติดกันนั้นใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งของความแปรปรวนของค่าความเข้มแสง (Variance of intensity) ในหน้าต่างขนาดเล็ก การสกัดพีเจอรีใช้ตัวกรอง Gabor และใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ (Absolute distance) ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ผลการทดลองพบว่าคะแนนการเปรียบเทียบของภาพที่มีการตรวจหาแสงสะท้อนและตำแหน่งขนตามีค่าน้อยกว่าคะแนนการเปรียบเทียบของภาพที่ไม่มีการตรวจหาแสงสะท้อนและตำแหน่งขนตาครึ่งหนึ่ง ซึ่งแสดงว่าภาพม่านตาที่มีความคล้ายกันมากขึ้นกว่าภาพที่ไม่มีการตรวจหาแสงสะท้อนและตำแหน่งขนตา

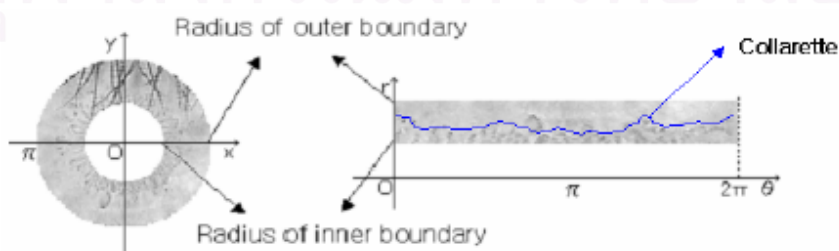
2. Iris Recognition with Low Template Size ปี 2001 โดย R. Sanchez-Reillo และ C. Sanchez-Avila [11] เสนอระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาโดยมีจุดประสงค์ในการลดขนาดแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลโดยเลือกใช้ส่วนม่านตาในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาแล้วนำภาพทั้งสองมาต่อกัน ในการสกัดพีเจอรีใช้ตัวกรอง Gabor และใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ การทดลองทดสอบกับภาพคน 10 คน ๆ ละ 20 ภาพของภาพดวงตาด้านขวาและซ้าย ภาพดวงตาแต่ละข้างถือเป็นคนละบุคคลกัน ระบบชีวมาตรนี้มีผลความถูกต้อง 98.3 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผ่นแบบขนาด 992 บิต

3. Iris Based Human Verification Algorithms ปี 2004 โดย B. R. Meena, M. Vatsa, R. Singh และ P. Gupta [12] เสนอขั้นตอนวิธี 3 วิธีในการสกัดพีเจอร์ การหาตำแหน่งม่านตาใช้ขั้นตอนวิธีการหาค่าขีดแบ่งและหาการเปลี่ยนแปลงที่มากที่สุดของค่าความเข้มแสง และใช้หน้ากากสี่เหลี่ยมปิดตำแหน่ง 60 องศาถึง 120 องศาขนาด 75 เพอร์เซ็นต์ของรัศมีทั้งหมดเพื่อปิดบังเปลือกตาบนและตำแหน่ง 255 ถึง 285 องศาขนาด 50 เพอร์เซ็นต์ของรัศมีทั้งหมดเพื่อปิดบังเปลือกตาล่างแสดงดังรูปที่ 1.1 ขั้นตอนวิธีการสกัดพีเจอร์วิธีแรกใช้วิธีการหาขอบภาพโดยตัวดำเนินการแคนนี่ แล้วนำขอบภาพที่ได้หาภาพเงาการฉายในแนวเส้นรอบวงของวงกลมและแนวรัศมี แผ่นแบบของวิธีนี้เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ 1 มิติของแนววงกลมและพีเจอร์เวกเตอร์ 1 มิติของแนวรัศมี และใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ขั้นตอนวิธีที่สองใช้การหาขอบภาพโดยตัวดำเนินการแคนนี่แล้วนำขอบภาพที่ได้มาแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) ในแนวรัศมี แผ่นแบบของวิธีนี้เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ 2 มิติและใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ส่วนขั้นตอนวิธีสุดท้ายใช้ตัวดำเนินการวงกลมเมลลิน (Circular-Mellin Operator) แล้วนำไปทำคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพ ดังนั้นแผ่นแบบของขั้นตอนวิธีนี้เป็นภาพลักษณะฐานสองและใช้วิธีการหาค่าความต่างของหน้าต่างขนาดเล็กในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ วิธีตัวดำเนินการวงกลมเมลลินให้ผลความถูกต้องที่ดีที่สุดได้เท่ากับ 95.45 เพอร์เซ็นต์



รูปที่ 1.1 ภาพม่านตาที่มีหน้ากากสี่เหลี่ยมปิดในงานวิจัยของ Meena และคณะ [12]

4. Iris Recognition Using Collarete Boundary Localization ปี 2004 โดย H. Sung, J. Lim, J. Park และ Y. Lee [13] เสนอวิธีในการรู้จำม่านตาโดยใช้พื้นที่ม่านตาระหว่างขอบรูม่านตาถึงขอบคอลลาเรท (Collarete) แสดงดังรูปที่ 1.2 ในการตรวจหาตำแหน่งรูม่านตาใช้วิธีการตรวจหาขอบด้วยตัวดำเนินการแคนนี่และใช้วิธีแบ่งครึ่ง (Bisection method)



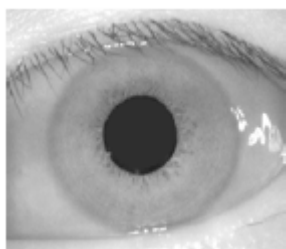
รูปที่ 1.2 ภาพม่านตาระหว่างขอบรูม่านตาถึงขอบคอลลาเรทในงานวิจัยของ Sung และคณะ [13]

การตรวจหาตำแหน่งขอบคอลลลาเรทใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง 1 มิติ (One-dimensional discrete Fourier transform) ร่วมกับข้อมูลทางสถิติ การสกัดพีเจจอร์ใช้วิธีการแปลงเวฟเลตไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform) และใช้วิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ มีค่าผลความถูกต้องเท่ากับ 99.18 เปอร์เซ็นต์

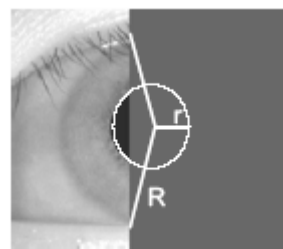
5. A One-Dimensional Approach for Iris Identification ปี 2004 โดย Y. Du, R. Ives, D. Etter, T. Welch และ C. Chang [14] เสนอระบบรู้จำม่านตา การหาตำแหน่งม่านตาโดยใช้ขอบภาพจากตัวดำเนินการแคเนนและสมการวงกลม และใช้วิธีหาค่าความแปรปรวนของหน้าต่างขนาดเล็กในการหาตำแหน่งของเปลือกตาและขนตา ในการสกัดพีเจจอร์ใช้วิธีการหาแบบรูปลายผิวแบบท้องถิ่น (Local Texture Patterns: LTP) และใช้การวัดระยะทาง Du ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ผลการทดลองได้จากการวัดค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ดีที่สุด 5 ลำดับซึ่งได้ผลความถูกต้อง 97 เปอร์เซ็นต์

6. Analysis of Partial Iris Recognition Using a 1-D Approach ปี 2005 โดย Y. Du, B. Bonney, R. Ives, D. Etter และ R. Schultz [15] เสนอระบบรู้จำม่านตาที่ใช้ภาพม่านตาเพียงบางส่วนซึ่งมี 3 แบบ แบบแรกเป็นการเลือกตัดภาพม่านตาโดยเลือกพื้นที่ม่านตาบริเวณด้านซ้ายแล้วเพิ่มพื้นที่ไปยังด้านขวา (Left-to-Right) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 (ข) แบบที่สองเป็นการลดพื้นที่ม่านตาโดยเลือกภาพม่านตาตั้งแต่รัศมีของรูม่านตาจนถึงรัศมีของขอบนอกของม่านตาแล้วเพิ่มรัศมีวงในไปเรื่อย ๆ จนถึงขอบนอกของม่านตา (Outside-to-Inside) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 (ค) และแบบสุดท้ายเป็นการลดพื้นที่ม่านตาโดยเลือกภาพม่านตาตั้งแต่รัศมีของรูม่านตาจนถึงรัศมีของขอบนอกของม่านตาแล้วลดรัศมีวงนอกลงไปเรื่อย ๆ จนถึงขอบของรูม่านตา (Inside-to-Outside) ดังแสดงในรูป 1.3 (ง)

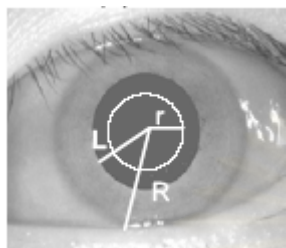
ในการสกัดพีเจจอร์ใช้วิธีการหาแบบรูปลายผิวท้องถิ่นและใช้วิธีการวัดระยะทาง Du ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ผลการทดลองพบว่าใช้ขนาดภาพม่านตาเพียง 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อตัดภาพม่านตาโดยเลือกรัศมีของขอบนอกของม่านตาแล้วลดรัศมีลงจนถึงขอบของรูม่านตาดังรูปที่ 1.3 (ง) ใช้ขนาดภาพม่านตา 65 เปอร์เซ็นต์เมื่อเลือกตัดภาพม่านตาโดยเลือกรัศมีของรูม่านตาแล้วเพิ่มรัศมีจนถึงขอบนอกของม่านตาดังรูปที่ 1.3 (ค) และใช้ขนาดภาพ 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อเลือกตัดภาพม่านตาโดยเลือกพื้นที่ม่านตาบริเวณด้านซ้ายแล้วเพิ่มพื้นที่ไปยังด้านขวาดังรูปที่ 1.3 (ข) จะได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากันทั้ง 3 แบบเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์เมื่อวัดผลการทดลองจากคะแนนการเปรียบเทียบที่ดีที่สุด 10 ลำดับ (Rank 10 closest matches)



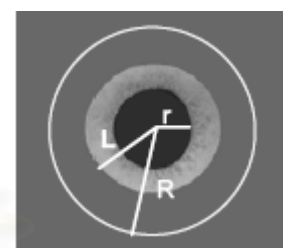
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) เพิ่มพื้นที่ม่านตาด้านซ้ายไปยังด้านขวา



(ค) ลดพื้นที่ม่านตาโดยเลือกรัศมีของรูม่านตาแล้วเพิ่มรัศมีจนถึงขอบนอกของม่านตา



(ง) ลดพื้นที่ม่านตาโดยเลือกรัศมีของขอบนอกของม่านตาแล้วลดรัศมีลงจนถึงขอบของรูม่านตา

รูปที่ 1.3 ตัวอย่างภาพม่านตาบางส่วนที่ถูกสร้างขึ้นในงานวิจัยของ Du และคณะ [15]

7. Efficient Iris Recognition using Adaptive Quotient Thresholding ปี 2006 โดย P. Thoosaengngam, K. Horapong, S. Thainimit, และ V. Areekul [16] เสนอระบบรู้จำม่านตาที่ใช้ม่านตาบริเวณด้านข้าง ในการหาตำแหน่งรูม่านตาทำได้โดยการหาค่าขีดแบ่งและการตรวจหาขอบนอกของม่านตาใช้วิธีการตรวจหาขอบภาพและการปรับเส้นโค้งให้พอดี จากนั้นเลือกलयม่านตาบริเวณด้านข้างแล้วใช้วิธีการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอกันแบบท้องถิ่นเพื่อเสริมแต่งภาพให้เห็นลายม่านตาชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 1.4 (ก) ในการสกัดพีเจอร์ใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งผลหารปรับตัว (Adaptive quotient thresholding) พีเจอร์ที่ได้เป็นภาพลักษณะฐานสองดังรูปที่ 1.4 (ข)



(ก) ภาพม่านตาที่ผ่านการหาตำแหน่งม่านตาและการเสริมแต่งภาพ



(ข) พีเจอร์ของलयม่านตา

รูปที่ 1.4 ตัวอย่างภาพพีเจอร์ของलयม่านตาในงานวิจัยของ Thoosaengngam และคณะ [16]



จากนั้นใช้วิธีการหาลักษณะเชิงพื้นที่ (Spatial correspondences) ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบซึ่งได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 0.219 เปอร์เซนต์

### 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาขั้นตอนวิธีและพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อการรู้จำม่านตา สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยที่ใช้ม่านตา

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17]
2. ภาพเป็นแฟ้มข้อมูลภาพระดับเทาชนิด BMP เท่านั้น
3. ระบบชีวมาตรที่ได้ไม่มีการตรวจสอบความมีชีวิต (Liveness)

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาวิธีการรู้จำม่านตา
- 2) ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพดิจิทัล
- 3) ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
- 4) ออกแบบขั้นตอนวิธีการรู้จำม่านตา
- 5) พัฒนาโปรแกรมเพื่อการรู้จำม่านตาจากขั้นตอนวิธีที่ออกแบบ
- 6) ทดสอบและวิเคราะห์ผล
- 7) สรุปและวิจารณ์ผล
- 8) จัดทำรายงาน

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ขั้นตอนวิธีและโปรแกรมต้นแบบเพื่อการรู้จำม่านตา
2. สามารถนำขั้นตอนวิธีที่ได้ไปใช้ร่วมกับงานที่เกี่ยวข้องด้านอื่น

### 1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท ประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว สำหรับบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 กล่าวถึงระบบชีวมาตรที่ใช้มาเนตาสำหรับการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคล บทที่ 4 เป็นการทดลองและผลการทดลอง และบทสุดท้ายบทที่ 5 เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชีวมาตร ความรู้เกี่ยวกับม่านตาและการประมวลผลภาพดิจิทัลมาพัฒนาระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาใช้ในการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของระบบ เช่น ขั้นตอนการเตรียมภาพเพื่อปรับปรุงข้อมูลภาพให้เหมาะสมเพื่อสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปได้ หรือใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตร ความรู้เกี่ยวกับดวงตาและการประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital image processing and analysis)

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตร

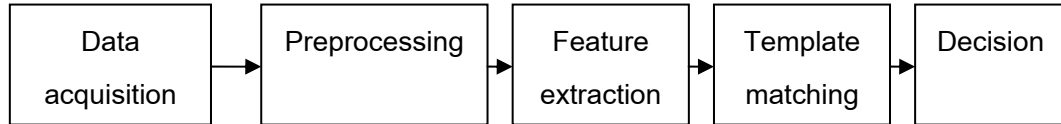
ชีวมาตรเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญกับการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลเนื่องจากราคาของอุปกรณ์เกี่ยวกับชีวมาตรมีแนวโน้มที่จะลดลงและเทคโนโลยีเริ่มเป็นที่รู้จักมากขึ้น ชีวมาตรคือ การรู้จำบุคคลโดยใช้ลักษณะทางสรีรวิทยาและลักษณะทางพฤติกรรมซึ่งลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ ลักษณะทางเรขาคณิตของมือ จอตา ใบหน้า และม่านตา เป็นต้น ส่วนลักษณะทางพฤติกรรม ได้แก่ ท่าทางการเดิน ลายเซ็น และเสียง เป็นต้น ทฤษฎีพื้นฐานทางชีวมาตรประกอบด้วย 4 หัวข้อ ดังนี้

##### 2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร

ระบบชีวมาตรมีขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [1] ได้แก่

- 1) การเก็บข้อมูล (Data acquisition) เป็นขั้นตอนเป็นการเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบโดยอาศัยอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล ตัวอย่างเช่น กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ เป็นต้น
- 2) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image preprocessing) เป็นขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นก่อนนำไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป เพื่อปรับภาพให้มีลักษณะที่เหมาะสม เช่น การปรับขนาดภาพให้เล็กลง การปรับความเข้มแสงของภาพ เป็นต้น
- 3) การสกัดฟีเจอร์ (Feature extraction) เป็นขั้นตอนการสกัดลักษณะสำคัญของข้อมูลเพื่อสร้างแผนแบบเก็บลงฐานข้อมูลหรือสร้างแผนแบบเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนแบบที่อยู่ในฐานข้อมูล
- 4) การเปรียบคู่แผนแบบ (Template matching) เป็นขั้นตอนการเปรียบคู่แผนแบบที่เก็บลักษณะสำคัญเพื่อวัดความคล้ายของแผนแบบที่เก็บในฐานข้อมูลและแผนแบบที่นำมาเปรียบคู่โดยวัดผลออกมาเป็นค่าคะแนนการเปรียบคู่เพื่อวัดความแตกต่างระหว่างผู้ใช้

5) การตัดสินใจของระบบ (Decision) เป็นขั้นตอนการตัดสินใจของระบบโดยดูที่ค่าคะแนนการเปรียบคู่เพื่อตัดสินว่าเป็นผู้ใช้ที่กล่าวอ้างถึงหรือไม่สำหรับการทวนสอบบุคคลหรือเป็นผู้ใช้คนใดในระบบสำหรับการระบุบุคคล

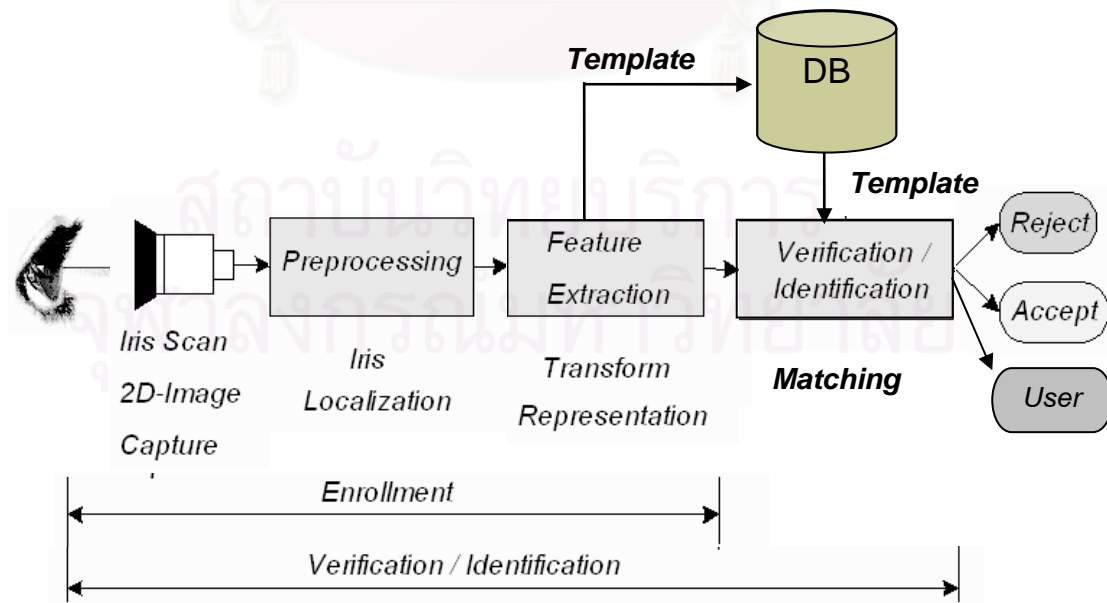


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบชีวมาตร

ขั้นตอนการลงทะเบียนและเข้าระบบชีวมาตรแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยตัวอย่างระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตาแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการลงทะเบียน (Enrollment stage) ขั้นตอนนี้จะทำงานเพียงครั้งเดียวเพื่อเก็บภาพ เสียงหรือข้อมูลชีวมาตรอื่น จากนั้นประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อให้เหมาะสมสำหรับขั้นตอนถัดไปและสกัดพีเจอร์เพื่อสร้างแผ่นแบบแล้วเก็บแผ่นแบบไว้ในฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการทวนสอบบุคคลหรือการระบุบุคคลต่อไป

2) ขั้นตอนการทวนสอบบุคคลหรือการระบุบุคคล (Verification / Identification stage) ในขั้นตอนนี้เป็นการรับภาพ เสียงหรือชีวมาตรอื่นมา จากนั้นประมวลผลภาพเบื้องต้น และสกัดพีเจอร์เพื่อหาแผ่นแบบ แล้วนำแผ่นแบบนั้นไปเปรียบคู่กับแผ่นแบบที่อยู่ในฐานข้อมูลเพื่อหาว่าเป็นบุคคลนั้นจริงหรือไม่ในระบบการทวนสอบบุคคลหรือเพื่อหาว่าเป็นบุคคลใดที่ลงทะเบียนไว้กับระบบหรือเป็นผู้ถูกระบบในการระบุบุคคล

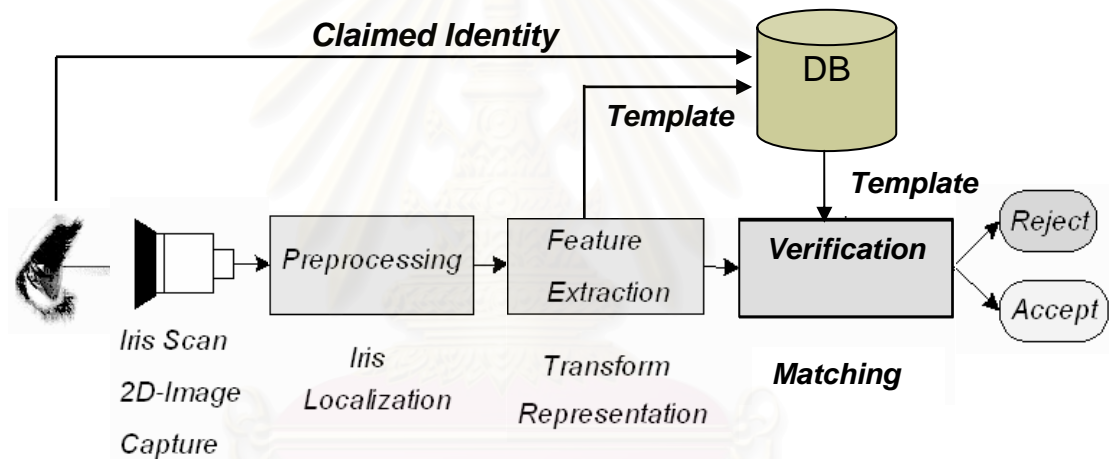


รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเข้าระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตา

2.1.2 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการทวนสอบบุคคล

ระบบชีวมาตร คือระบบที่ใช้อุปกรณ์อัตโนมัติในการรับลักษณะทางสรีรวิทยาหรือลักษณะทางพฤติกรรมเพื่อการทวนสอบบุคคลหรือระบุบุคคล ซึ่งระบบชีวมาตรถือเป็นส่วนหนึ่งของระบบการรู้จำแบบรูปด้วย ระบบชีวมาตรแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การทวนสอบบุคคลและระบุบุคคล

การทวนสอบบุคคล คือ การพิสูจน์ตัวตนโดยใช้ลักษณะทางชีวมาตรควบคู่กับสิ่งที่ใช้ในการกล่าวอ้างถึงบุคคล เช่น รหัสผ่านหรือบัตรประจำตัว เป็นต้น โดยระบบจะแสดงผลว่าบุคคลนั้นเป็นบุคคลที่อ้างถึงจริงหรือไม่ ดังนั้นการค้นหาข้อมูลในฐานข้อมูลจะมีลักษณะเป็น 1 ต่อ 1 เนื่องจากการนำข้อมูลของผู้กล่าวอ้างมาสกัดพีเจอร์เพื่อสร้างแผ่นแบบแล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นแบบของผู้ที่กล่าวอ้างถึงที่อยู่ในฐานข้อมูลเท่านั้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของระบบการทวนสอบบุคคลจะใช้น้อยมาก โดยตัวอย่างของระบบชีวมาตรที่ใช้ในการทวนสอบบุคคลโดยใช้ม่านตาแสดงดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทวนสอบบุคคลของระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตา

การทวนสอบสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ ให้  $F_I$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ (Feature vector) หรือแผ่นแบบที่ป้อนเข้าสู่ระบบและผู้ใช้ทำการกล่าวอ้างเป็นผู้ใช้  $I$  ดังนั้นเราสามารถที่จะจำแนกผลลัพธ์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ  $w_1$  ซึ่งแทนการกล่าวอ้างเป็นจริง และ  $w_2$  ซึ่งแทนการกล่าวอ้างเป็นเท็จ โดยในการทวนสอบจะทำการเปรียบเทียบ  $F_I$  กับ  $Y_I$  ซึ่งเป็นพีเจอร์เวกเตอร์หรือแผ่นแบบที่มาจากฐานข้อมูลของผู้ใช้  $I$  ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 2.1

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

โดยที่  $V(I, F_I)$  เป็นผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบของพีเจอร์เวกเตอร์  $F_I$  ของการทวนสอบบุคคล



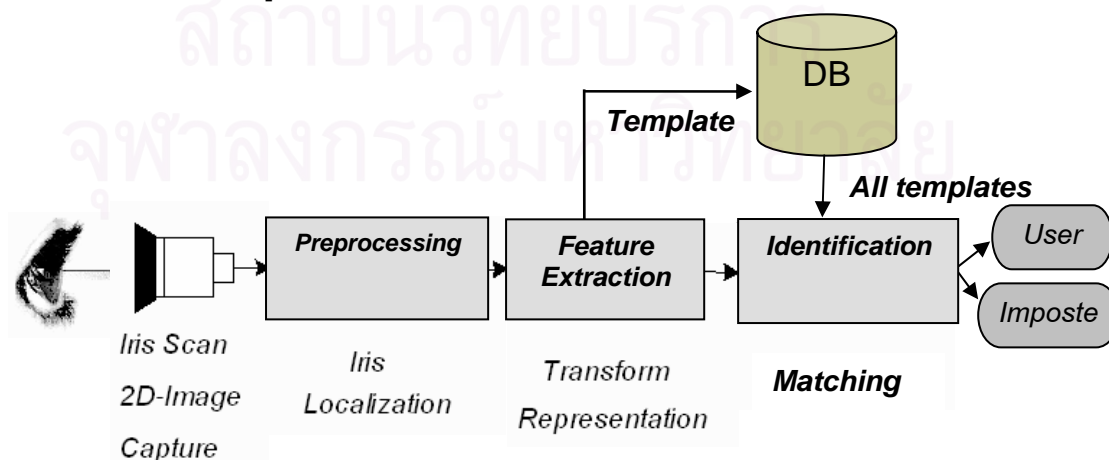
$D(F_I, Y_I)$  เป็นฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คำนวณความแตกต่างระหว่างพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่ทำการทวนสอบกับพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่ถูกกล่าวอ้างที่อยู่ในฐานข้อมูล

$T$  เป็นค่าขีดแบ่งของระบบที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

ในการวัดลักษณะทางชีวมาตร ข้อมูลลักษณะของผู้ใช้ที่ทำการทดสอบในแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งส่งผลให้คะแนนการเปรียบคู้ของผู้ใช้คนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันได้ ดังนั้นค่าขีดแบ่งจึงมีความสำคัญในการตัดสินใจของระบบเนื่องจากระบบจะทำการเปรียบเทียบคะแนนการเปรียบคู้กับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้าทำให้ระบบอาจตัดสินใจให้ผู้ใช้จริงเป็นผู้บุกรุกได้หากมีคะแนนการเปรียบคู้มากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้า ถ้ากำหนดค่าขีดแบ่งที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้

### 2.1.3 ระบบชีวมาตรที่ใช้ในการระบุบุคคล

การระบุบุคคลในระบบชีวมาตร คือ การพิสูจน์ตัวตนโดยใช้ลักษณะทางชีวมาตรเท่านั้น โดยระบบจะระบุว่าผู้ใช้นั้นเป็นบุคคลใดที่ลงทะเบียนไว้กับระบบหรือระบบอาจจะปฏิเสธผู้ใช้นั้นโดยเห็นว่าเป็นผู้บุกรุกระบบ ดังนั้นจำนวนครั้งในการค้นหาและเปรียบคู้แผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลจึงเป็น 1 ต่อ N โดย N คือ จำนวนแผ่นแบบของผู้ที่ลงทะเบียนไว้กับระบบที่เก็บในฐานข้อมูล เนื่องจากการนำข้อมูลของผู้ใช้มาสกัดพีเจอร์เพื่อสร้างแผ่นแบบแล้วนำไปเปรียบคู้กับแผ่นแบบทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล ดังนั้นการประมวลผลของระบบการระบุบุคคลจึงใช้เวลามากกว่าระบบการทวนสอบบุคคล หากจำนวนแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลยิ่งมาก เวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างของขั้นตอนการระบุบุคคลของระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตาแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการระบุบุคคลของระบบชีวมาตรโดยใช้ม่านตา

การระบุบุคคลแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ ให้  $F_I$  เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์หรือแผ่นแบบที่ป้อนเข้าสู่ระบบและ  $I_k$  เป็นผู้ใช้งานระบบคนที่  $k$  ซึ่ง  $k \in \{1, 2, \dots, P, P+1\}$  โดยที่  $I_1, I_2, \dots, I_P$  แทนผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลและ  $I_{P+1}$  แทนกรณีการปฏิเสธผู้ใช้ ผลลัพธ์ของการระบุบุคคลแสดงดังสมการที่ 2.2 [24]

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

โดยที่  $U(F_I)$  เป็นผลลัพธ์ของการระบุบุคคลของฟีเจอร์เวกเตอร์  $F_I$   
 $Y_{I_k}$  เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้  $I_k$   
 $T$  เป็นค่าขีดแบ่งของระบบที่กำหนดไว้ก่อนหน้า  
 $D(F_I, Y_{I_k})$  เป็นฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คำนวณความแตกต่างของฟีเจอร์เวกเตอร์ที่ทำการระบุบุคคลกับฟีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูล

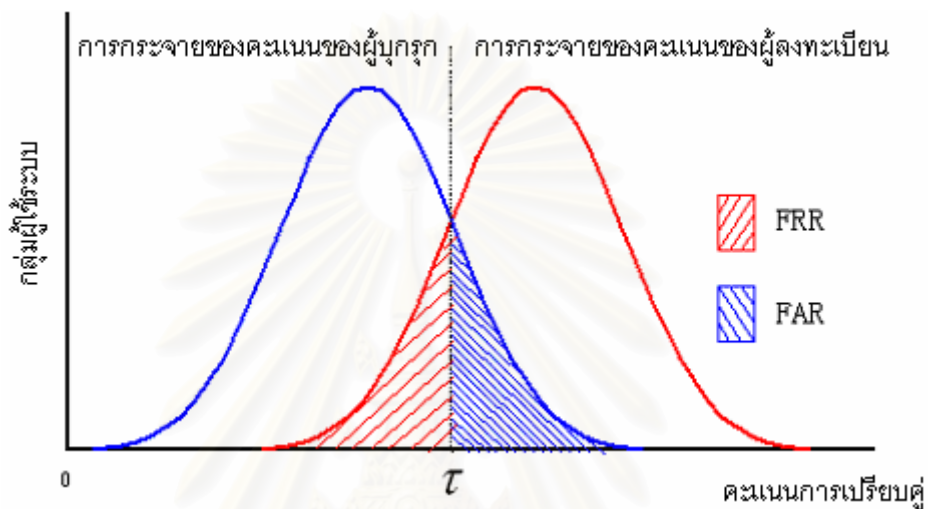
#### 2.1.4 การวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตรมีอยู่ 3 ปัจจัยหลักได้แก่ เวลาที่ใช้ในการประมวลผล ขนาดของแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลหรือแผ่นแบบที่นำมาทดสอบระบบและความถูกต้องของระบบ ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบได้ผลเป็นค่าคะแนนการเปรียบเทียบ ซึ่งนำมาใช้ในการวัดความแตกต่างระหว่างแผ่นแบบที่ทดสอบและแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลโดยการตัดสินใจ ผลการเปรียบเทียบของระบบขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ เมื่อเปรียบเทียบแผ่นแบบแล้วจะพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้ได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริง (Genuine users) หรือผู้ที่ลงทะเบียนไว้กับระบบ และกลุ่มคะแนนการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก (Imposters) ในระบบชีวมาตรแบบอุดมคติ การกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ที่ลงทะเบียนอยู่ในระบบและผู้บุกรุกจะต้องแบ่งเป็น 2 กลุ่มที่แยกจากกันอย่างเด็ดขาด แต่ในระบบจริงมีโอกาสน้อยมากที่กลุ่มคะแนนทั้งสองจะแยกกันอย่างเด็ดขาด

กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบแผ่นแบบของผู้ใช้จริงที่ลงทะเบียนอยู่ในระบบและการกระจายของคะแนนของผู้บุกรุกระบบดังรูปที่ 2.5 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งที่ใช้ในการตัดสินใจ ( $\tau$ ) ให้กับระบบจะพบความผิดพลาด 2 ส่วน ส่วนแรกคือระบบเห็นผู้ลงทะเบียนอยู่ในระบบเป็นผู้บุกรุกโดยปฏิเสธไม่ให้ผู้ลงทะเบียนเข้าระบบซึ่งเรียกความผิดพลาดส่วนนี้ว่าการปฏิเสธผิดพลาด (False reject) นั่นคือส่วนที่ทำให้เกิดค่าอัตราการปฏิเสธผิดพลาด (False Rejection Rate, FRR) และส่วนที่สองคือระบบเห็นผู้บุกรุกเป็นผู้ที่ลงทะเบียนอยู่ในระบบซึ่งเรียกความผิดพลาดส่วนนี้ว่าการยอมรับผิดพลาด (False accept) นั่นคือส่วนที่ทำให้เกิดค่า

อัตราการยอมรับผิดพลาด (False Acceptance Rate, FAR) ดังนั้นความถูกต้องของระบบจึงมี 2 แบบคือ

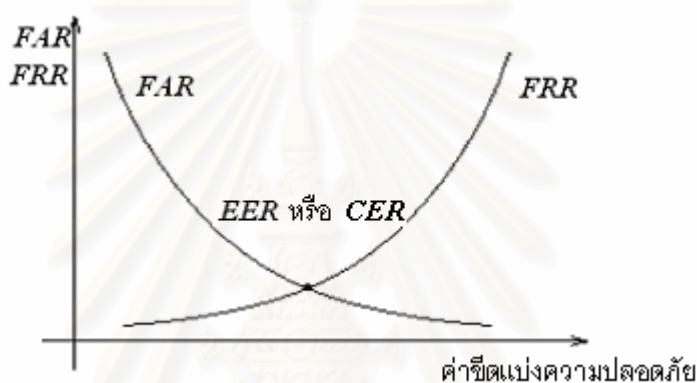
1. อัตราการปฏิเสธผิดพลาด คืออัตราส่วนของจำนวนครั้งที่ระบบปฏิเสธบุคคลที่ลงทะเบียนกับระบบต่อจำนวนครั้งของการพยายามเข้าระบบทั้งหมด
2. อัตราการยอมรับผิดพลาด คำนวณได้จากอัตราส่วนของจำนวนครั้งที่ระบบยอมรับผู้บุกรุกเป็นผู้ที่ลงทะเบียนกับระบบต่อจำนวนครั้งของการพยายามเข้าระบบทั้งหมด



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบผ่านแบบ

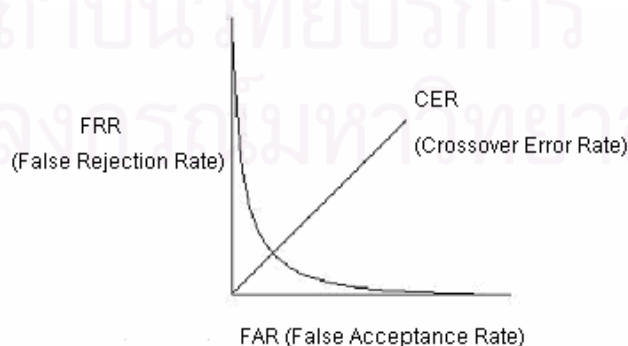
จากรูปที่ 2.5 จะพบว่า อัตราการปฏิเสธผิดพลาดและอัตราการยอมรับผิดพลาดขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งของคะแนนการเปรียบเทียบที่กำหนด ซึ่งอัตราการปฏิเสธผิดพลาดและอัตราการยอมรับผิดพลาดจะแปรผกผันกัน ค่าขีดแบ่งซึ่งเป็นตัวกำหนดความปลอดภัยของระบบจึงขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ติดตั้งระบบ ถ้าค่าขีดแบ่งของคะแนนการเปรียบเทียบมีค่ามากจะทำให้ผู้บุกรุกมีโอกาสเข้าระบบได้น้อยลงแต่ในขณะเดียวกันผู้ลงทะเบียนจริงก็สามารถเข้าระบบได้น้อยลงไปด้วย ทั้งนี้จะมีผลให้อัตราการปฏิเสธผิดพลาดมีค่ามากและอัตราการยอมรับผิดพลาดมีค่าน้อย การกำหนดค่าขีดแบ่งในลักษณะนี้เหมาะกับการนำไปใช้ในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดให้ค่าขีดแบ่งของคะแนนการเปรียบเทียบมีค่าน้อยจะทำให้ผู้ลงทะเบียนจริงมีโอกาสถูกปฏิเสธในการเข้าระบบได้น้อยลงแต่ผู้บุกรุกก็จะสามารถเข้าระบบได้มากขึ้นด้วย ทำให้อัตราการปฏิเสธผิดพลาดมีค่าน้อยและอัตราการยอมรับผิดพลาดมีค่ามากซึ่งเหมาะกับระบบที่ไม่ต้องการให้ผู้ลงทะเบียนจริงถูกปฏิเสธมากแต่ก็ต้องเสี่ยงกับการมีผู้บุกรุกเข้าระบบได้มากขึ้น ดังนั้นการตัดสินใจเลือกค่าขีดแบ่งของระบบจึงขึ้นอยู่กับระดับความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ

ระบบส่วนใหญ่จะรองรับการใช้งานได้ในหลายๆ ค่าขีดแบ่งเพื่อให้สามารถใช้งานได้กับความปลอดภัยหลายระดับ เมื่อค่าขีดแบ่งเปลี่ยนแปลง ค่าอัตราการปฏิเสธผิดพลาดและอัตราการยอมรับผิดพลาดจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย มีผลให้วิธีการวัดประสิทธิภาพระหว่างระบบชีวมาตรทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีการนำค่าที่ตำแหน่งจุดตัดระหว่างอัตราการยอมรับผิดพลาดและอัตราการปฏิเสธผิดพลาดมาใช้เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของระบบแทน ตำแหน่งจุดตัดระหว่างกราฟอัตราการยอมรับผิดพลาดและกราฟอัตราการปฏิเสธผิดพลาด เรียกว่า อัตราความผิดพลาดที่เท่ากัน (EER: Equal Error Rate) หรือจุดตัดของอัตราความผิดพลาด (CER: Cross-over Error Rate) แสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการปฏิเสธผิดพลาดและค่าอัตราการยอมรับผิดพลาดและค่าขีดแบ่งความปลอดภัย



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการยอมรับผิดพลาดและอัตราการปฏิเสธผิดพลาด

จากรูปที่ 2.7 แสดงกราฟ ROC (Receiver Operating Characteristic) โดยแกนนอนเป็นแกนของอัตราการยอมรับผิดพลาดและแกนตั้งเป็นแกนของอัตราปฏิเสธผิดพลาดโดยเส้นในแนว 45 องศาเป็นเส้นที่วัดค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากัน ยิ่งอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันต่ำ ระบบก็ยิ่งมีประสิทธิภาพดีมากขึ้น



รูปที่ 2.7 กราฟ ROC

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล ค่า FRR สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 และค่า FAR สามารถหาได้จากสมการที่ 2.5-2.7 [24]

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

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

โดยที่	$f(x_i)$	เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู้ทุกค่าที่ได้จากการเปรียบคู้กับผู้ใช้ในฐานข้อมูลทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งของระบบ
	$F_i$	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ
	$Y_j$	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
	$T$	เป็นค่าขีดแบ่งของระบบ
	$D(F_i, Y_j)$	เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดระหว่างพีเจอร์เวกเตอร์ที่นำมาทดสอบกับพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
	$N$	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 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู้ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบคู้ผู้ใช้ในระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งเป็นผู้ใช้คนละคนกันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ



$g(x_k)$  เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู้ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบคู้ผู้ใช้นอกระบบกับผู้ที่ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

$F_i$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ

$Y_j$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$F_k$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้นอกระบบและถูกนำมาทดสอบ

$N$  เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

$M$  เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้นอกระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

$P$  เป็นจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

## 2.2 ความรู้เกี่ยวกับดวงตา

ลักษณะทางสรีรวิทยาและลักษณะทางพฤติกรรมต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในระบบชีวมาตรมีหลายชนิด ลักษณะทางสรีรวิทยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ม่านตาซึ่งนับได้ว่าเป็นลักษณะที่มีความเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลงตลอดชีวิตยกเว้นกรณีเกิดอุบัติเหตุหรือเจ็บป่วยเกี่ยวกับม่านตา [2, 3, 4, 5]

ดวงตา (Eye) [3, 4, 5] ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายส่วนที่มีลักษณะต่างกัน ดวงตามีลักษณะดังรูปที่ 2.8 ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ ลูกตา (Eyeball) เป็นอวัยวะที่มีลักษณะค่อนข้างกลม ทึบแสง ทางด้านหน้าใสเพื่อให้แสงผ่านเข้าไปได้ ลูกตาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ กระจกตา เยื่อตาขาวชั้นนอก เลนส์ จอตา ม่านตา และรูม่านตา เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 2.8 ดวงตา

### 2.2.1 กระจกตา (Cornea)

กระจกตาเป็นส่วนที่อยู่ทางด้านหน้าสุดของลูกตา มีลักษณะโปร่งใสเนื่องจากประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีหลอดเลือดเข้ามาเลี้ยงและมีน้ำ

เป็นส่วนประกอบน้อย กระจกตาอยู่ติดต่อกับเยื่อตาขาวชั้นนอก (Sclera) ตรงบริเวณส่วนต่อ เรียกว่า ลิมบัส (Limbus) กระจกตามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 11.5 มิลลิเมตร ตรงกลางหนา 0.5 มิลลิเมตร บริเวณรอบนอกหนา 0.62 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ป้องกันเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เข้าสู่ลูกตา

### 2.2.2 เยื่อตาขาวชั้นนอก (Sclera)

เยื่อตาขาวชั้นนอกเป็นส่วนใหญ่ของผนังลูกตามีพื้นที่เป็น 5/6 ของผนังทั้งหมด ลักษณะสีขาวขุ่น ทึบแสง ประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจน (Collagen) หนา 1 มิลลิเมตร มีเลือดมาเลี้ยงน้อย

### 2.2.3 เลนส์ (Lens)

เลนส์หรือแก้วตามีรูปร่างเป็นเลนส์นูน 2 ด้าน (Biconvex) โปร่งใส ไม่มีสี ไม่มีหลอดเลือดและเส้นประสาท เลนส์อยู่ด้านหลังม่านตายึดติดโดยเส้นใยไซนูลา (Zonular fiber) ซึ่งติดกับซิลิอารีบอดี้ (Ciliary body) เลนส์มีการสร้างเส้นใยตลอดชีวิต ทำให้เลนส์อ้วนขึ้นและมีความยืดหยุ่นน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้น

### 2.2.4 จอตา (Retina)

จอตาเป็นส่วนสำคัญที่สุดของดวงตา ทำหน้าที่เป็นจอรับภาพเสมือนกับฟิล์มของกล้องถ่ายรูป มีลักษณะเป็นเยื่อบางใสอยู่ด้านหลังสุดของลูกตาโดยอยู่ชิดคอโรยด์ (Choroid) จอตาหนา 0.4 มิลลิเมตร และมีส่วนบางที่สุดที่โฟเวีย (Fovea)

### 2.2.5 รูม่านตา (Pupil)

ม่านตาจะเป็นแผ่นคล้ายไดอะแฟรม (Diaphragm) มีรูตรงกลางเรียกว่ารูม่านตา ปกติรูม่านตาจะอยู่ทางด้านล่างของม่านตา (Inferonasal) ห่างประมาณ 0.5 มิลลิเมตรจากจุดศูนย์กลางของม่านตา ถ้ารูม่านตาอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของม่านตามากกว่า 1 มิลลิเมตรถือว่าผิดปกติ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูม่านตาที่เล็กที่สุดมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตรและเมื่อขยายมากที่สุดมีขนาด 9 มิลลิเมตร กล้ามเนื้อหูรูดม่านตาสามารถหดได้ถึง 87 เปอร์เซ็นต์ของความยาวทั้งหมด ดวงตาปกติจะมีรูม่านตากลม ถ้าไม่กลมก็อาจเป็นเพราะม่านตายึดติด (Synechiae) รูม่านตาดิ่งขึ้น (Updrawn pupil) หรือมีลักษณะผิดปกติอื่นๆ หลังการผ่าตัด

พยาธิสภาพ (Pathology) ของรูม่านตาที่พบบ่อย ได้แก่

1. ม่านตายึดติด เป็นการยึดติดของม่านตากับกระจกตาหรือเลนส์ มักเกิดที่หลังม่านตา ถ้าม่านตาไปติดที่กระจกตาเรียกว่าม่านตายึดติดด้านหน้า (Anterior synechiae) ถ้าไปติดที่เลนส์เรียกว่าม่านตายึดติดด้านหลัง (Posterior synechiae)

2. รูม่านตาดิ่งขึ้น รูม่านตาถูกดึงรั้งไปอยู่ด้านบน ทำให้รูม่านตาไม่กลม มักพบได้ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดต่อกระจกแล้วมีวิเทียส (Vitreous) ดิ่งรั้งไว้ รูม่านตาปกติมีขนาดประมาณ 3-4 มิลลิเมตร ในเด็กมีขนาดโตกว่าในคนสูงอายุ ขนาดรูม่านตา 2 ข้างอาจต่างกันเล็กน้อย บางภาวะมีความผิดปกติ เช่น รูม่านตาดเล็ก (Miosis) รูม่านตาขยายใหญ่ (Mydriasis)

ปกติขนาดรูม่านตาของแต่ละคนไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. อายุ รูม่านตาของเด็กแรกเกิดมีขนาดประมาณ 3-4 มิลลิเมตรจะใหญ่ขึ้นในวัยเด็ก และกลับเล็กลงเมื่ออายุมากขึ้น

2. รูม่านตาจะเล็กลงขณะนอนหลับ

3. รูม่านตาจะมีขนาดเล็กลงเวลาอ่านหนังสือหรือมองวัตถุที่อยู่ใกล้

4. รูม่านตาจะมีขนาดเล็กลงในที่สว่าง

ภาวะรูม่านตาต่างขนาด (Anisocoria) คือ ภาวะที่รูม่านตาทั้ง 2 ข้างมีขนาดไม่เท่ากัน ในคนปกติพบได้ร้อยละ 40 ซึ่งเรียกว่า ภาวะรูม่านตาต่างขนาดเชิงสรีระ (Physiologic anisocoria) โดยขนาดมักแตกต่างกันเพียง 0.3 -0.4 มิลลิเมตร

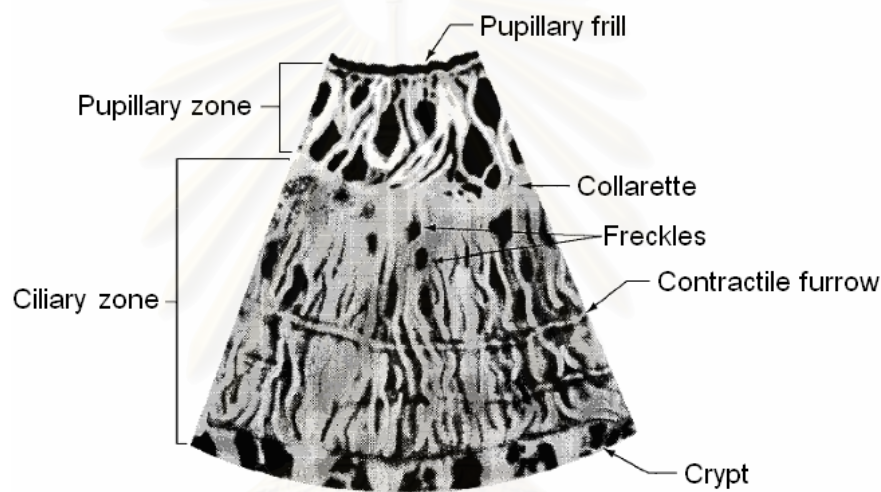
#### 2.2.6 ม่านตา (Iris)

ม่านตาเป็นส่วนที่ยื่นมาด้านหน้าของซิลิอารีบอดีและอยู่หน้าเลนส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ม่านตามีรอยละเอียดยของเนื้อเยื่อ เช่น ร่อง (Furrow) หลุม (Freckle) สัน (Ridge) และวงแหวน (Ring) เป็นต้น มีรูเปิดตรงกลาง เรียกว่า รูม่านตา ม่านตาเป็นตัวกันทำให้เกิดช่อง 2 ช่องอยู่หน้าและหลังม่านตา มีช่องหน้าม่านตาอยู่ทางด้านหน้า และช่องหลังม่านตาอยู่ด้านหลัง ม่านตาเป็นตัวควบคุมปริมาณแสงที่เข้ามาในตา

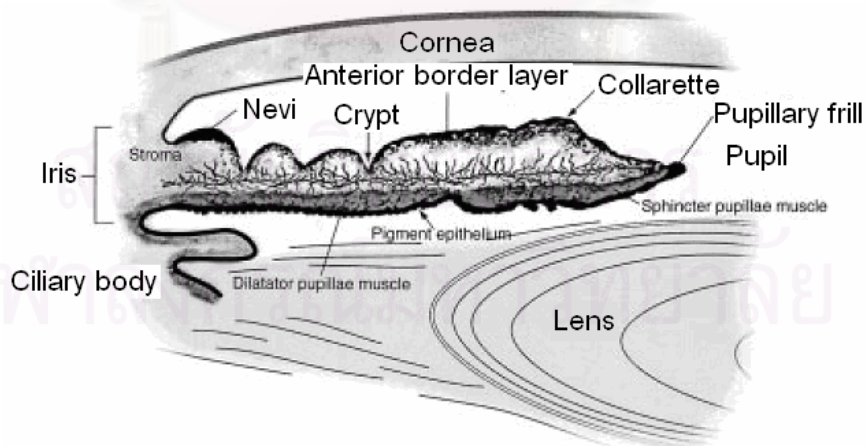
ม่านตาแบ่งเป็น 2 ส่วนโดยเส้นที่เรียกว่าคอลลาเรท (Collarette) ซึ่งมีลักษณะเป็นสันแนวโค้งซิกแซก คือส่วนของรูม่านตาด้านใน (Inner pupillary zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้รูม่านตา และส่วนของรูม่านตาด้านนอก (Outer pupillary zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้ฐานของม่านตา ประกอบด้วยสันต่าง ๆ มากมายซึ่งเป็นผลมาจากชั้นสโตรมา (Stroma) และเส้นสันเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตามสถานะของรูม่านตาแสดงดังรูปที่ 2.9 (ก) ภายในของคอลลาเรทมีทางเดินท่อลำเลียง (Vascular arcade) อยู่เรียกว่าวงกลมย่อยของม่านตา (Minor circle of iris) ซึ่งเป็นแขนงมาจากวงกลมหลักของม่านตา (Major circle of iris) ม่านตาได้รับเลือดมาเลี้ยงจากวงกลมหลักของม่านตา

ม่านตาประกอบด้วย 4 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข) ลำดับจากด้านหน้ามาด้านหลัง คือ

1. ชั้นขอบด้านหน้า (Anterior border layer) มีเซลล์สร้างเม็ดสี (Melanocyte) อยู่จำนวนมาก จำนวนสารสี (Pigment) ในชั้นนี้จะเป็นตัวกำหนดสีของม่านตา ซึ่งขึ้นกับการดูดกลืนแสงของสารสีที่อยู่บนชั้นขอบด้านหน้า
2. สโตรมาและกล้ามเนื้อหูรูด (Sphincter muscle) ภายในมีหลอดเลือด เส้นประสาท สารสี และกล้ามเนื้อหูรูดรูม่านตา (Sphincter pupillae) ที่ทำหน้าที่หดม่านตา
3. เนื้อเยื่อบุผิวด้านหน้า (Anterior epithelium) และกล้ามเนื้อขยาย (Dilator muscle) ประกอบด้วยเซลล์เนื้อเยื่อบุผิว และกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ขยายม่านตา
4. เนื้อเยื่อบุผิวที่มีสารสีด้านหลัง (Posterior pigment epithelium) ประกอบด้วยเซลล์ที่มีสารสีอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก



(ก) โครงสร้างของม่านตาด้านหน้า



(ข) โครงสร้างของม่านตาตามขวาง

รูปที่ 2.9 ภาพกายวิภาคของม่านตา [2]

ม่านตา และซิลิอารีบอดีพบได้ในประมาณเดือนที่ 3 เมื่อเป็นเอ็มบริโออยู่ในครรภ์มารดา จากขอบทางด้านหน้าของจานประสาทตา (Optic cup) ที่มีการเจริญอย่างมาก ยื่นมาด้านหน้าเลนส์ และเมื่อทารกคลอดออกมาครบ 1 ปี แบบรูปม่านตา (Iris pattern) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต ลายม่านตาเป็นแบบรูปที่ไม่มีใครเหมือนและไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิตหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากแบบรูปม่านตาขึ้นอยู่กับการสร้างยีน [2, 3, 4, 5] ดังนั้นม่านตาจะมีสีตามเชื้อชาติ ม่านตาทั้ง 2 ข้างจะมีสีเหมือนกัน ความน่าจะเป็นที่บุคคล 2 บุคคลมีม่านตาเหมือนกันมีค่าเท่ากับ  $1: 10^{52}$  [18] ดังนั้นแม้แต่แบบรูปม่านตาของฝาแฝดก็ไม่เหมือนกัน และแบบรูปม่านตาของตาข้างซ้ายและตาข้างขวาของบุคคลคนเดียวกันก็ยังไม่เหมือนกันด้วย การปลอมแปลงระบบจึงทำได้ยาก

พยาธิสภาพที่มักพบบ่อย ได้แก่

1. ม่านตาอักเสบ (Iritis) ม่านตาอักเสบ บวม พร้อม ๆ กับมีความขุ่นในช่องหน้าลูกตา รูม่านตาหดเล็ก มีการอักเสบที่ซิลิอารี (Ciliary injection)
2. ไอริโดโดเนซิส (Iridodonesis) กลอกตาแล้วม่านตาสั่นพลิ้วเนื่องจากไม่มีเลนส์รองรับม่านตาทางด้านหลัง พบในรายหลังผ่าตัดต่อกระจก เลนส์เคลื่อนที่
3. การตัดม่านตา (Iridectomy) เป็นรูจากการผ่าตัดเพื่อช่วยการระบายสารน้ำในลูกตา (Aqueous humor) จากห้องด้านหลัง (Posterior chamber) ไปสู่ห้องด้านหน้า (Anterior chamber) โดยไม่ต้องผ่านรูม่านตา
4. เนื้อม่านตาแห้ว (Coloboma of the iris) รอยแห้วของม่านตามักพบบริเวณด้านล่างของม่านตาเกิดจากความผิดปกติในการปิดของเนื้อเยื่อทารก (Fetal tissue)

ดวงตาจะมีเปลือกตา (Eyelids) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายต่อกระจกตา เปลือกตาคือส่วนที่ปิดเปิดตา แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยร่องตามยาวของเปลือกตา (Horizontal furrow) คือบริเวณเบ้าตา (Orbital part) และบริเวณแผ่นหนังตา (Tarsal part) ขณะลืมตาช่องระหว่างเปลือกตาบนและล่าง (Palpebral fissure) มีความกว้าง 9-10 มิลลิเมตร ยาว 30 มิลลิเมตร ผิวหนังของเปลือกตาบางที่สุดในร่างกายและมีความยืดหยุ่นสูง สามารถบวมน้ำได้ง่าย

## 2.3 การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Processing and Analysis)

การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัลในงานวิจัยนี้มีหลายวิธี ดังนี้

### 2.3.1 การตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection)

ขอบภาพคือ เซตของจุดภาพที่เชื่อมต่อกันซึ่งวางตัวอยู่บนขอบเขตระหว่างสองบริเวณที่



แตกต่างกัน [19] การตรวจหาขอบภาพทำได้โดยการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาในภาพ ถ้าค่าระดับเทามีการเปลี่ยนแปลงทันทีในช่วงระยะทางสั้น ๆ แสดงว่าบริเวณนั้นมีแนวโน้มอย่างมากที่จะเป็นขอบภาพ วิธีการที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือ การคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ ค่าเกรเดียนต์  $G$  ของภาพ  $f(x, y)$  ณ ตำแหน่ง  $(x, y)$  ใด ๆ นิยามโดยเวกเตอร์ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก 2 ตัวคือส่วนประกอบเกรเดียนต์  $G_x$  และ  $G_y$  แสดงดังสมการที่ 2.8

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad \dots (2.8)$$

เมื่อ  $G_x$  และ  $G_y$  เป็นค่าแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาในทิศตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ ขนาดของเกรเดียนต์  $\nabla f$  คำนวณได้โดยสมการที่ 2.9

$$\nabla f = \|\nabla f\| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad \dots (2.9)$$

แต่ในทางปฏิบัติจะใช้ค่าประมาณขนาดของเกรเดียนต์ด้วยผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของ  $G_x$  และ  $G_y$  เพื่อให้การประมวลผลภาพรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แสดงดังสมการที่ 2.10

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad \dots (2.10)$$

ปริมาณที่สำคัญของเกรเดียนต์อีกปริมาณหนึ่งคือทิศของเวกเตอร์เกรเดียนต์ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.11

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{G_y}{G_x} \right) \quad \dots (2.11)$$

เมื่อ  $\theta(x, y)$  คือมุมแสดงทิศของเวกเตอร์  $\nabla f$  ณ จุด  $(x, y)$  ซึ่งกระทำกับแกน  $x$

ตัวอย่างตัวดำเนินการเกรเดียนต์ที่นิยมใช้ตรวจหาขอบภาพคือตัวดำเนินการโซเบล (Sobel) ซึ่งมีลักษณะเป็นหน้ากากขนาด  $3 \times 3$  ดังแสดงในรูปที่ 2.10 การตรวจหาขอบภาพทำโดยนำหน้ากากสำหรับตรวจหาขอบภาพในแนวนอนและแนวตั้งของตัวดำเนินการโซเบลทำคอนโวลูชันกับภาพซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าเกรเดียนต์หรือขอบภาพในทิศตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ จากนั้นจึงสามารถหาขอบภาพและทิศทางของขอบภาพ ณ จุดใด ๆ ในภาพได้จากสมการที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

ภาพของขอบภาพที่หาได้จากการตรวจหาขอบภาพโดยใช้หน้ากากของตัวดำเนินการ

ไซเบลเป็นภาพระดับเทา ขอบภาพที่ได้จะหนา ทำให้ไม่ทราบตำแหน่งของขอบภาพที่ถูกต้องจริง ๆ ดังนั้นหากต้องการทำให้ขอบภาพมีความหนาเหลือเพียง 1 จุดภาพ และได้ภาพผลลัพธ์เป็นภาพลักษณะฐานสอง (Binary image) จึงต้องทำขอบภาพให้บางด้วยวิธีการกำจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maximum suppression) [20] ซึ่งเป็นการหาจุดภาพในภาพขอบที่มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งค่าหนึ่ง และเป็นจุดที่มีค่ามากที่สุดเทียบกับจุดข้างเคียง 2 จุดในทิศทางของเกรเดียนต์ ณ จุดนั้น จุดภาพที่สอดคล้องกับเงื่อนไขดังกล่าวถือว่าเป็นขอบภาพใหม่หลังการทำขอบภาพให้บางโดยกำหนดค่าให้จุดภาพนั้นเป็นสีขาว ส่วนจุดภาพที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขถือว่าเป็นขอบภาพ ให้กำจัดออกจากภาพขอบโดยกำหนดค่าให้จุดภาพนั้นเป็นสีดำ

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(ก) หน้ากากสำหรับหาขอบใน  
แนวนอน

(ข) หน้ากากสำหรับหาขอบแนวตั้ง

รูปที่ 2.10 หน้ากากของตัวดำเนินการไซเบล

การหาขอบของวัตถุที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีการหนึ่งคือ การหาขอบภาพด้วยตัวดำเนินการแคนนี่ (Canny operator) [21] มีจุดมุ่งหมายคือ ขอบภาพที่ได้ควรเป็นขอบภาพที่มีอยู่จริงและสัญญาณรบกวนควรถูกแสดงออกมาว่าเป็นขอบน้อยที่สุด การหาขอบภาพด้วยตัวดำเนินการแคนนี่มีขั้นตอนวิธีดังนี้

#### 1) การทำภาพให้เรียบ (Image Smoothing)

เมื่อภาพ  $f$  ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวน การขจัดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียน  $G$  ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ  $\sigma$  โดยผลที่ได้คือ

$$f_G = f * G$$

#### 2) การหาค่าความแตกต่าง (Differentiation)

ค่าความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามทิศทางในแนวแกน  $x$  และ  $y$  หาได้จากการคำนวณส่วนประกอบเกรเดียนต์  $G_x$  และ  $G_y$  ในแต่ละจุดภาพ  $(x, y)$  โดยประมาณค่าขนาดของเกรเดียนต์และทิศของเวกเตอร์เกรเดียนต์ในแต่ละจุดภาพดังสมการ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ ผลที่ได้คือภาพเกรเดียนต์  $E_s$  จากค่าของ  $|\nabla f_G(x, y)|$  และภาพทิศทาง  $E_\theta$  จากค่าของ  $\theta(x, y)$

### 3) การกำจัดค่าที่ไม่มากที่สุด

หลังจากการคำนวณค่าส่วนประกอบเกรเดียนต์ในแต่ละจุดภาพแล้ว จุดที่เป็นขอบนั้นมีค่าเท่ากับขนาดของขอบภาพสูงสุดของจุดภาพใกล้เคียงได้ ดังนั้นการทำขอบภาพให้บางด้วยวิธีการกำจัดค่าที่ไม่มากที่สุด ซึ่งวิธีนี้เป็นการกำจัดจุดภาพที่มีค่าระดับเทาดำกว่าจุดภาพใกล้เคียงที่มีพิกัดในแนวทิศทางของเกรเดียนต์ให้เป็น 0 โดยมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อพิจารณาทิศทาง 4 ทิศทางคือ  $d_1 \dots d_4$  ซึ่งกำหนดโดย  $0^\circ \ 45^\circ \ 90^\circ \ 135^\circ$  ในแต่ละจุดภาพ  $(x, y)$  แล้วหาทิศทาง  $\hat{d}_k$  ซึ่งใกล้เคียงกับ  $E_0(x, y)$  ที่สุด ถ้า  $E_s(x, y)$  มีค่าน้อยกว่าค่าใดค่าหนึ่งของจุดภาพ 2 จุดระหว่างทิศทางของ  $\hat{d}_k$  ให้กำหนด  $I_N(x, y) = 0$  แต่ในทางตรงกันข้ามให้กำหนด  $I_N(x, y) = E_s(x, y)$  ผลที่ได้คือภาพ  $I_N(x, y)$  ซึ่งคือภาพ  $E_s(x, y)$  หลังจากกำจัดจุดของขอบภาพที่ไม่มากที่สุดออกไปแล้ว

### 4) การกำหนดค่าขีดแบ่งของขอบ (Edge thresholding)

โดยส่วนใหญ่แล้วการกำหนดค่าขีดแบ่งของขอบภาพจะทำการหาค่าขีดแบ่งแบบเชิงเดี่ยว (Single threshold) ซึ่งหมายความว่า ถ้าจุดภาพที่มีค่าขอบมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าขีดแบ่งแล้วเส้นขอบที่ปรากฏจะไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่าที่อยู่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าขอบ ถ้าจุดภาพที่มีค่าอยู่ระหว่างค่าขีดแบ่งทั้งสองแล้วจะเป็นเส้นขอบที่มีจุดภาพเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ กำหนดค่าขีดแบ่ง  $\tau_l$  และ  $\tau_h$  โดย  $\tau_l < \tau_h$  เมื่อพิจารณาทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพใน  $I_N$  ให้กำหนดจุดภาพที่  $I_N(x, y) > \tau_h$  เป็นขอบภาพใหม่และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ กำหนดให้จุดภาพที่  $I_N(x, y) > \tau_l$  และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่ถือว่าเป็นขอบภาพเช่นกัน ผลที่ได้คือขอบภาพใหม่ซึ่งเป็นภาพลักษณะพื้นฐานสอง

## 2.3.2 การประมาณค่าระดับเทา (Gray-level Interpolation)

ในการแปลงภาพหรือการสร้างภาพใหม่จากการหมุนภาพ บิดภาพ เลื่อนภาพ ขยายภาพ หรือหดภาพ ทำให้ค่าตำแหน่งจากการคำนวณอาจเป็นค่าจำนวนจริง [19] แต่ค่าตำแหน่งของภาพต้นฉบับเป็นค่าจำนวนนับ ซึ่งค่าตำแหน่งจำนวนจริงนั้นไม่มีค่าระดับเทาอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการคำนวณค่าระดับเทาที่ใกล้เคียงค่าจริง เพื่อนำค่าระดับเทาของตำแหน่งในภาพต้นฉบับไปเก็บในตำแหน่งที่คำนวณได้ของภาพผลลัพธ์ ในการประมาณค่าระดับเทาวิธีวิธีการประมาณ 3 แบบ คือ

1. การประมาณค่าในช่วงแบบที่ใกล้ที่สุด (Nearest neighbor interpolation) หรือเรียกอีกอย่างว่าการประมาณค่าลำดับศูนย์ (Zero-order interpolation) เป็นการประมาณค่าโดยการนำค่าระดับเทาของตำแหน่ง  $x$  และ  $y$  ที่ใกล้เคียงกับค่าตำแหน่งที่ต้องการมากที่สุดมาเก็บในภาพผลลัพธ์ มีสมการดัง 2.12 และดังรูป 2.11

$$g(x', y') = f(\text{round}(x), \text{round}(y)) \quad \dots (2.12)$$

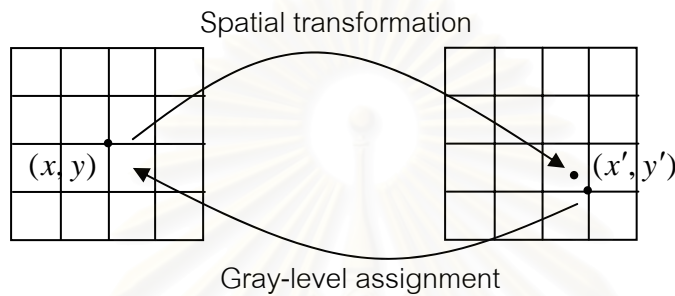
โดย  $g(x', y')$  คือ ค่าระดับเทาของภาพผลลัพธ์

$f(x, y)$  คือ ค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับ

$(x', y')$  คือ ตำแหน่งของภาพผลลัพธ์

$(x, y)$  คือ ตำแหน่งของภาพต้นฉบับ

$(\text{round}(x), \text{round}(y))$  คือ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับค่า  $x$  และ  $y$  มากที่สุด



รูปที่ 2.11 การประมาณค่าในช่วงแบบที่ใกล้ที่สุด

2. การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่ (Bilinear neighbor interpolation) หรือเรียกอีกอย่างว่าการประมาณค่าลำดับหนึ่ง (First-order interpolation) เป็นการประมาณค่าโดยนำค่าระดับเทาที่ตำแหน่งใกล้เคียง 4 ค่ามาประมาณค่าระดับเทาของภาพผลลัพธ์ ซึ่งแสดงดังสมการ 2.13 และดังรูป 2.12

$$\begin{aligned} g(x', y') = & f(x_0, y_0) + [f(x_1, y_0) - f(x_0, y_0)]\Delta x \\ & + [f(x_0, y_1) - f(x_0, y_0)]\Delta y \\ & + [f(x_1, y_1) + f(x_0, y_0) - f(x_0, y_1) - f(x_1, y_0)]\Delta x\Delta y \end{aligned} \quad \dots (2.13)$$

โดย  $g(x', y')$  คือ ค่าระดับเทาของภาพผลลัพธ์

$f(x, y)$  คือ ค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับ

$(x', y')$  คือ ตำแหน่งของภาพผลลัพธ์

$(x, y)$  คือ ตำแหน่งของภาพต้นฉบับ

$(x_0, y_0)$  คือ ตำแหน่งของค่าที่มากที่สุดที่น้อยกว่า  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ คำนวณได้จากสมการ 2.14

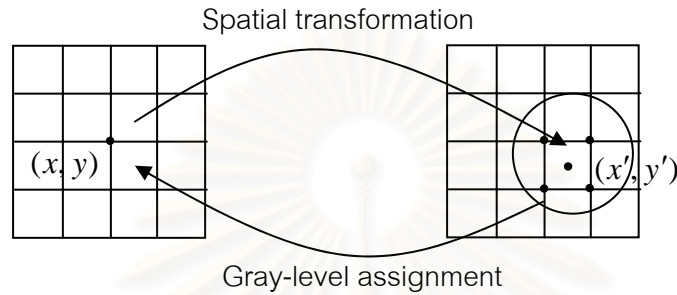
$(x_1, y_1)$  คือ ตำแหน่งของค่าที่น้อยที่สุดที่มากกว่า  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ คำนวณได้จากสมการ 2.15

$\Delta x$  และ  $\Delta y$  หาได้ตามสมการ 2.16

$$x_0 = \text{floor}(x) \text{ และ } y_0 = \text{floor}(y) \quad \dots (2.14)$$

$$x_1 = \text{ceil}(x) \text{ และ } y_1 = \text{ceil}(y) \quad \dots (2.15)$$

$$\Delta x = x - x_0 \text{ และ } \Delta y = y - y_0 \quad \dots (2.16)$$



รูปที่ 2.12 การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

3. การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงลูกบาศก์ (Cubic interpolation) หรือเรียกอีกอย่างว่าการประมาณค่าลำดับสูง (High-order interpolation) เป็นการประมาณค่าโดยนำค่าระดับเทาที่ตำแหน่งใกล้เคียงมา 16 ค่าเพื่อประมาณค่าระดับเทาของภาพผลลัพธ์ ซึ่งแสดงดังสมการ 2.17 และดังรูปที่ 2.13

$$g(x', y') = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 f(x_0 + m, y_0 + n) R(m - \Delta x) R(\Delta y - n) \quad \dots (2.17)$$

โดย  $g(x', y')$  คือ ค่าระดับเทาของภาพผลลัพธ์

$f(x, y)$  คือ ค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับ

$(x', y')$  คือ ตำแหน่งของภาพผลลัพธ์

$(x, y)$  คือ ตำแหน่งของภาพต้นฉบับ

$(x_0, y_0)$  คือ ตำแหน่งของค่าที่มากที่สุดที่น้อยกว่า  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ คำนวณได้จาก

สมการ 2.18

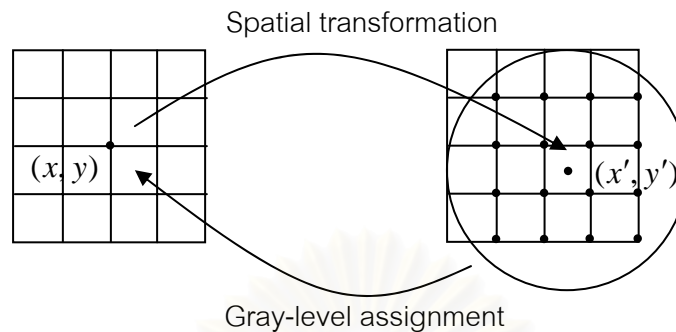
$R(k)$  และ  $P(z)$  หาได้จากสมการ 2.19 และ 2.20 ตามลำดับ

$$x_0 = \text{floor}(x) \text{ และ } y_0 = \text{floor}(y) \quad \dots (2.18)$$

$$R(k) = \frac{1}{6} [P(k-2)^3 - 4P(k+1)^3 - 4P(k-1)^3 + 6P(k)^3] \quad \dots (2.19)$$



$$P(z) = \begin{cases} z & ; z > 0 \\ 0 & ; z \leq 0 \end{cases} \quad \dots (2.20)$$



รูปที่ 2.13 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงลูกบาศก์

### 2.3.3 การหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

การหาค่าขีดแบ่ง [19] เป็นวิธีการแปลงภาพจากภาพระดับเทาให้เป็นภาพลักษณะฐานสอง เนื่องจากการวิเคราะห์ภาพระดับเทายากกว่าการวิเคราะห์ภาพลักษณะฐานสอง การหาค่าขีดแบ่งให้กับภาพเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเมื่อต้องการแบ่งส่วนวัตถุออกจากภาพเนื่องจากสามารถเข้าใจและนำไปใช้ได้ง่าย

การหาค่าขีดแบ่งเหมาะสำหรับภาพที่สามารถแบ่งภาพออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ จุดภาพที่เป็นวัตถุและจุดภาพที่เป็นพื้นหลัง วิธีหนึ่งในการแบ่งแยกวัตถุออกจากพื้นหลังทำโดยเลือกค่าขีดแบ่ง  $T$  ที่สามารถแบ่งจุดภาพ 2 กลุ่มดังกล่าวออกจากกัน จากนั้นกำหนดให้จุดภาพ  $(x, y)$  ที่มีค่าระดับเทา  $f(x, y) > T$  เป็นจุดภาพของวัตถุ ส่วนจุดอื่นที่เหลือเป็นจุดภาพพื้นหลัง

การหาค่าขีดแบ่งอาจเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันได้ดังสมการที่ 2.21

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad \dots (2.21)$$

เมื่อ  $f(x, y)$  เป็นค่าระดับเทาของภาพ ณ จุด  $(x, y)$  และ  $p(x, y)$  แสดงสมบัติเชิงท้องถิ่น (Local property) ของจุดดังกล่าว เช่น ค่าระดับเทาเฉลี่ยของจุดภาพใกล้เคียงที่มีจุดศูนย์กลาง ณ ตำแหน่ง  $(x, y)$  โดยทั่วไปภาพลักษณะฐานสอง  $g(x, y)$  ที่ได้หลังจากการทำขีดแบ่งกับภาพระดับเทา  $f(x, y)$  ด้วยค่าขีดแบ่ง  $T$  มีค่าดังสมการที่ 2.22

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } (f(x, y) \leq T \end{cases} \quad \dots (2.22)$$

จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 คือ จุดภาพที่เป็นวัตถุ ขณะที่จุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 0 คือ จุดภาพที่เป็นพื้นหลัง

เมื่อ  $T$  ขึ้นอยู่กับ  $f(x, y)$  หรือค่าระดับเทาเพียงอย่างเดียว จะเรียกรหาค่าขีดแบ่งนี้ว่าการหาค่าขีดแบ่งแบบครอบคลุม (Global thresholding) ถ้า  $T$  ขึ้นอยู่กับทั้ง  $f(x, y)$  และ  $p(x, y)$  จะเรียกว่าเป็นการหาค่าขีดแบ่งแบบท้องถิ่น (Local thresholding) และถ้า  $T$  ขึ้นกับพิกัด  $(x, y)$  ด้วยจะเรียกว่าเป็นการหาค่าขีดแบ่งแบบพลวัต (Dynamic thresholding)

#### 2.3.4 การหาภาพเงาการฉาย (Projection Profile) [19]

การฉายของภาพระดับเทาลงบนเส้นตรงสามารถทำได้โดยแบ่งเส้นตรงออกเป็นช่อง ๆ และนำค่าระดับเทาของจุดภาพซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับเส้นตรงในแต่ละช่องนั้นมารวมกัน ภาพเงาการฉายระดับเทาเป็นการแสดงข้อมูลของภาพที่มีประโยชน์ อย่างไรก็ตามภาพเงาการฉายระดับเทาอาจมีข้อเสียอันเนื่องมาจากเป็นข้อมูลที่ไม่เป็นเอกลักษณ์ของภาพ ภาพมากกว่าหนึ่งภาพอาจมีภาพเงาการฉายระดับเทาที่เหมือนกัน ภาพเงาการฉายระดับเทาตามแนวนอนและแนวตั้งหาได้ค่อนข้างง่าย ๆ จากการรวมค่าระดับเทาในทิศทางตามแนวนอนและแนวตั้งของช่องแต่ละช่องในเส้นตรงที่แบ่งไว้ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยที่จุดภาพระดับเทามีค่าระหว่าง 0 – 7

1	4	0	1	6	1	2	1	0	2	0	1
6	1	4	3	5	5	2	2	2	4	3	6
6	5	3	4	4	0	3	0	3	2	3	0
4	2	4	4	0	5	7	3	7	1	6	6
6	3	7	1	7	5	1	2	3	0	2	0
2	5	2	7	1	7	6	1	4	5	2	6
6	0	5	2	7	0	0	4	2	1	5	6
3	5	2	2	1	7	2	3	0	1	3	3
1	4	5	5	7	2	0	2	1	6	3	0

(ก) ภาพระดับเทา

19
43
33
49
37
48
38
32
36

(ข) ภาพเงาการฉายระดับเทา

ตามแนวนอน

35	29	32	29	38	32	23	18	22	22	27	28
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(ค) ภาพเงาการฉายระดับเทาตามแนวตั้ง

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างภาพเงาการฉายระดับเทาของภาพระดับเทาขนาด  $m \times n$  จุดภาพ

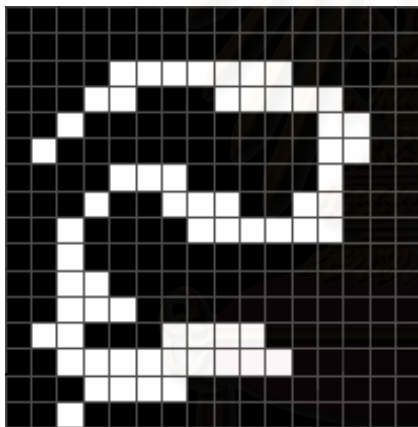
ภาพเงาระดับเทาการฉายตามแนวนอน  $H[i]$  และแนวตั้ง  $V[i]$  ของภาพระดับเทา กำหนดโดยสมการ 2.23 และ 2.24 [19] ตามลำดับ

$$H[i] = \sum_{j=1}^m B[i, j] \quad \dots (2.23)$$

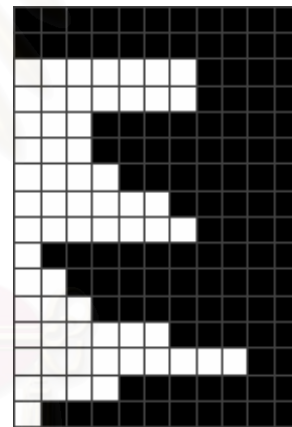
$$V[i] = \sum_{i=1}^n B[i, j] \quad \dots (2.24)$$

โดยที่  $B$  เป็นภาพระดับเทาซึ่งมีความสูงเท่ากับ  $m$  จุดภาพ และมีความกว้างเท่ากับ  $n$  จุดภาพ

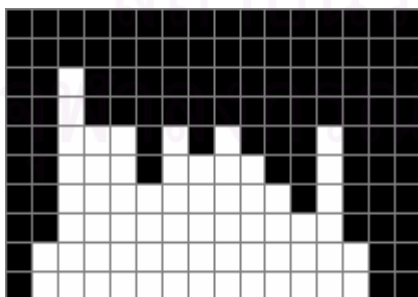
แต่ถ้าเป็นภาพลักษณะพื้นฐานสอง การหาภาพเงาการฉายของภาพลักษณะพื้นฐานสองสามารถทำได้โดยแบ่งเส้นตรงออกเป็นช่องๆ และนับจำนวนของจุดภาพที่มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับเส้นตรงในแต่ละช่องนั้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นเวกเตอร์ขนาด 1 มิติที่มีขนาดเท่ากับจำนวนช่องที่แบ่ง แสดงดังรูป 2.15



(ก) ภาพลักษณะพื้นฐานสอง



(ข) ภาพเงาการฉายตามแนวนอน

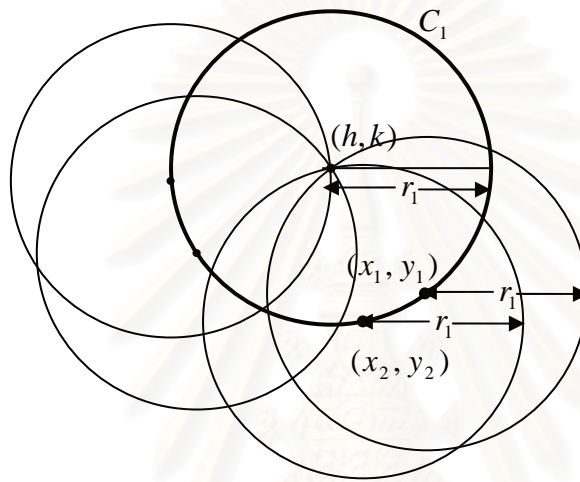


(ค) ภาพเงาการฉายตามแนวตั้ง

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างภาพเงาการฉายของภาพลักษณะพื้นฐานสอง

### 2.3.5 การแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough transform)

การแปลงฮัฟเป็นวิธีที่ใช้ในการตรวจหาเส้นตรงหรือเส้นโค้งในภาพ [19, 21] โดยภาพที่นำมาประมวลผลต้องเป็นภาพที่ผ่านการตรวจหาขอบภาพแล้วเนื่องจากการแปลงฮัฟจะคำนวณจากขอบภาพของเส้นตรงหรือเส้นโค้งในภาพนั้น ในรูปที่ 2.16 แสดงแนวคิดของการแปลงฮัฟแบบวงกลมคือ ถ้ากำหนดให้วงกลม  $C_1$  มีรัศมี  $r_1$  หน่วย เมื่อสร้างวงกลมใด ๆ  $C_i$  รัศมี  $r_i$  หน่วยที่ขอบของวงกลม  $C_1$  จะพบว่าจุดตัดที่มากที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง  $(h, k)$  ของวงกลม  $C_1$



รูปที่ 2.16 แนวคิดของการแปลงฮัฟ

ดังนั้นวิธีการแปลงฮัฟจึงต้องมีการใช้แถวลำดับตัวสะสม (Accumulator array) ซึ่งเรียกว่าพื้นที่ฮัฟ (Hough space) ในการเก็บค่าความถี่ของวงกลมที่จุดขอบ จำนวนมิติของแถวลำดับตัวสะสมขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรที่ไม่รู้ค่าของสมการ ในการแปลงฮัฟแบบวงกลมใช้สมการวงกลมในการคำนวณ สมการวงกลมมีตัวแปรไม่รู้ค่า 3 ตัวแปรได้แก่ ค่ารัศมี  $r$  และค่าจุดศูนย์กลาง  $(h, k)$  มีนิยามดังสมการที่ 2.25

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2 \quad \dots (2.25)$$

โดย  $(h, k)$  คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมในแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ

$r$  คือ รัศมีของวงกลม

ถ้ามีจุด  $(x_1, y_1)$  อยู่บนขอบของวงกลม ทิศของเวกเตอร์เกรเดียนต์ที่ตำแหน่งจุดขอบนั้น จะชี้เข้าหาจุดศูนย์กลางของวงกลม ดังนั้นถ้ามีจุดขอบ  $(x_1, y_1)$  ช่วงค่ารัศมี  $r$  ที่กำหนดและ

สามารถคำนวณหาทิศทางของเวกเตอร์เกรเดียนต์  $\theta$  จากจุด  $(x_1, y_1)$  ที่ชี้ไปยังจุดศูนย์กลางได้ ทำให้สามารถคำนวณหาจุดศูนย์กลางของวงกลมนั้นได้โดยหาจากค่าสะสมในพื้นที่ฮัฟที่มากที่สุด จุด  $(x, y)$  ในภาพที่อยู่บนขอบของวงกลมคำนวณได้จากสมการ 2.26 และ 2.27 ตามลำดับ

$$y = k + r \sin \theta \quad \dots (2.26)$$

$$x = h - r \cos \theta \quad \dots (2.27)$$

โดย  $(h, k)$  คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมในแกน  $x$  และ  $y$  ตามลำดับ

$r$  คือ รัศมีของวงกลม

$\theta$  คือ องศาของขอบ

จากสมการที่ 2.25 จะพบว่ามีตัวแปรไม่รู้ค่า 3 ตัวแปรคือ  $h, k$  และ  $r$  ดังนั้นจำนวนมิติของพื้นที่ฮัฟเท่ากับ 3 มิติ ขั้นตอนวิธีในการแปลงฮัฟแบบวงกลมเริ่มจากการกำหนดช่วงของค่า  $h, k$  และ  $r$  ณ ตำแหน่งขอบของภาพจะถูกคำนวณกับทุก ๆ ค่าของ  $h, k$  และ  $r$  ที่เป็นไปได้ให้ครบตามช่วงที่กำหนดไว้แล้วเก็บค่าลงในพื้นที่ฮัฟ ถ้าค่าของตำแหน่ง  $h, k$  และ  $r$  ในพื้นที่ฮัฟมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด ค่า  $h, k$  และ  $r$  นั้นจะเป็นค่าตัวแปรของสมการวงกลมที่ต้องการ

การแปลงฮัฟสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นโค้งใด ๆ ที่มีสมการ  $f(x, a) = 0$  ได้ [19] เมื่อ  $x$  คือจุดขอบในภาพและ  $a$  คือเวกเตอร์ของตัวแปรเสริมซึ่งมีขั้นตอนวิธีการคำนวณดังนี้

1) กำหนดค่าเริ่มต้นของแถวลำดับตัวสะสมให้เท่ากับ 0 โดยมีสมการคือ  $A[a] = 0$

2) ที่ตำแหน่งจุดขอบ  $x$  และ  $a$  แต่ละตัวที่เข้าเงื่อนไข  $f(x, a) = 0$  ให้เพิ่มค่าแถวลำดับตัวสะสม 1 ค่า โดยมีสมการคือ  $A[a] = A[a] + 1$

3) หาตำแหน่งค่ามากที่สุดแบบท้องถิ่น (Local maxima) ในแถวลำดับตัวสะสม  $A[a]$  ซึ่งค่าที่ได้นั้นแทนตำแหน่งเส้นโค้งที่ต้องการหาในภาพ

ถ้าการแปลงฮัฟมีตัวแปร  $m$  ตัวดังนั้นใน  $a$  แต่ละตัวจะมี  $M$  ค่า เวลาที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ  $O(M^{m-2})$  การแปลงฮัฟสามารถนำไปปรับใช้กับรูปร่างอื่นๆ ได้โดยคำนวณจากขอบภาพซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า การแปลงฮัฟแบบทั่วไป (Generalized Hough transform)

### 2.3.6 การจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกัน (Histogram Equalization)

การจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันเป็นวิธีการเสริมแต่งภาพ [19,21] โดยมีจุดประสงค์ 2 ข้อคือ ภาพผลลัพธ์ต้องมีค่าระดับเทาตลอดทั้งช่วงระดับเทา และภาพผลลัพธ์ต้องมีค่าความถี่



ของแต่ละค่าระดับเทาใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามวิธีวิธีการเสริมแต่งภาพนี้เหมาะสมกับภาพบางภาพเท่านั้น

เมื่อพิจารณาฟังก์ชันต่อเนื่องและกำหนดให้  $r$  เป็นค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับที่จะทำการเสริมแต่งภาพโดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่ง  $r=0$  แทนสีดำและ  $r=1$  แทนสีขาว วิธีการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันของภาพทำได้ดังสมการ 2.28 ซึ่งสามารถหาค่าระดับเทา  $s$  ในภาพผลลัพธ์ได้จากค่าระดับเทา  $r$  ของภาพต้นฉบับ

$$s = T(r), \quad 0 \leq r \leq 1 \quad \dots (2.28)$$

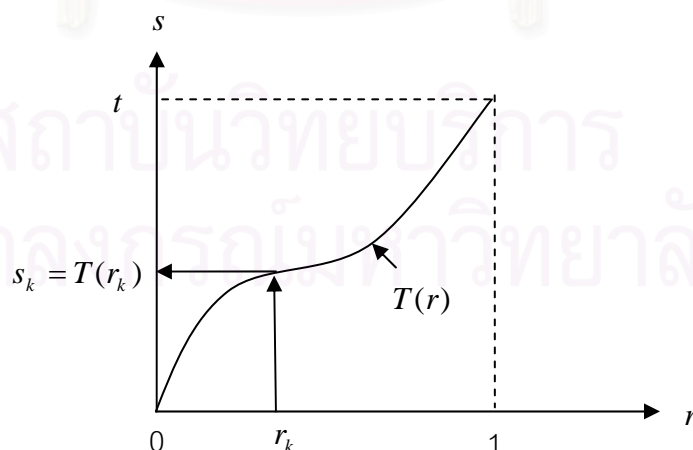
ฟังก์ชัน  $T(r)$  ต้องมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 1  $T(r)$  ต้องมีค่าเพียงค่าเดียวและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า  $r$  อยู่ในช่วง  $0 \leq r \leq 1$

เงื่อนไขที่ 2  $0 \leq T(r) \leq 1$  เมื่อ  $0 \leq r \leq 1$

การกำหนดให้  $T(r)$  มีค่าเพียงค่าเดียวและเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นการรับประกันว่าเมื่อทำการแปลงผกผัน (Inverse transformation) แล้วจะมีค่าผลลัพธ์เพียงค่าเดียว ในขณะที่เงื่อนไขข้อ 2 เพื่อเป็นการยืนยันว่าเมื่อทำการแปลงผกผันแล้วค่าระดับเทาของภาพผลลัพธ์จะมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับ ตัวอย่างการแปลงภาพแสดงดังรูปที่ 2.17 โดยการแปลงผกผันจาก  $s$  กลับไปหา  $r$  เขียนได้ดังสมการ 2.29

$$r = T^{-1}(s), \quad 0 \leq s \leq 1 \quad \dots (2.29)$$



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างฟังก์ชันการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกัน

### 2.3.7 การปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน

ในการเก็บภาพดิจิทัล สิ่งแวดล้อมในการเก็บภาพอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งมีผลทำให้ภาพที่จะนำมาประมวลผลมีค่าความเข้มแสงไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลกับความถูกต้องในการประมวลผลภาพดิจิทัลเนื่องมาจากการใช้ค่าความเข้มแสงของภาพ ดังนั้นควรปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อนประมวลผลภาพเบื้องต้น วิธีการปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันแสดงดังสมการที่ 2.30 และ 2.31 [22]

$$E(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad \dots (2.30)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d(I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad \dots (2.31)$$

โดยที่  $E(x, y)$  เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว  
 $\phi_d$  และ  $\rho_d$  เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ  
 $\phi$  และ  $\rho$  เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ  
 $I(x, y)$  เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(x, y)$

### 2.3.8 การแปลงเรดอน (Radon Transform)

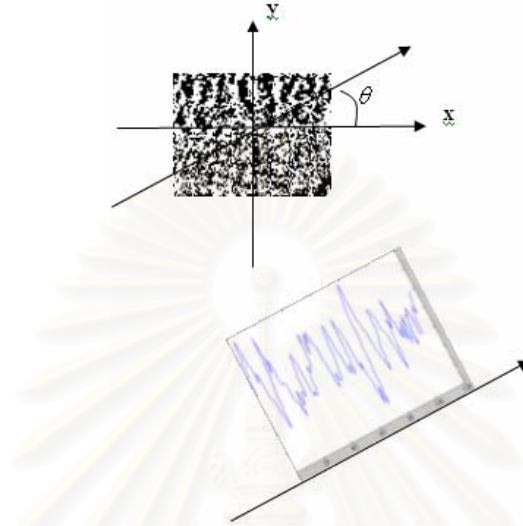
วิธีการแปลงเรดอนเป็นการแปลงโดเมนพื้นที่  $(x, y)$  ของภาพไปเป็นโดเมนของตัวแปรเสริม  $(\rho, \theta)$  วิธีการแปลงเรดอนสามารถหาได้โดยการหมุนภาพในองศาที่กำหนด จากนั้นนำภาพที่ผ่านการหมุนมาหาภาพเงาการฉายในแนวการหมุนนั้นดังสมการ 2.32 [23] ตัวอย่างวิธีการแปลงเรดอนของภาพลักษณะพื้นฐานสองแสดงดังรูป 2.18

$$r(\rho, \theta) = \iint_{x, y} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - \rho) dx dy \quad \dots (2.32)$$

โดย  $f(x, y)$  เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(x, y)$   
 $r$  คือ แถวลำดับตัวสะสม 1 มิติของภาพเงาการฉาย  
 $\rho$  คือ ระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นและเส้นตรง  
 $\theta$  คือ องศาการหมุน

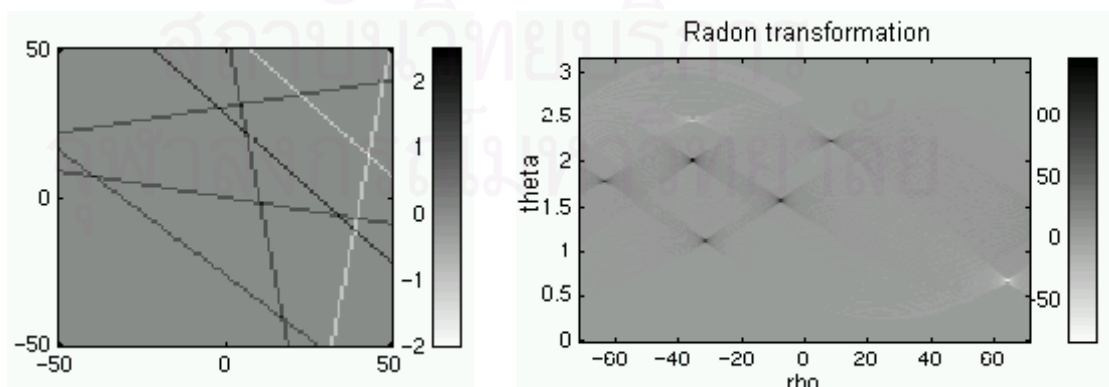
วิธีการแปลงเรดอนเหมาะสำหรับใช้ในการตรวจหาเส้นตรงหรือเส้นโค้งในภาพ แม้ว่าภาพนั้นจะมีสิ่งรบกวนอยู่ซึ่งวิธีการอื่นตรวจหาได้ยาก วิธีการตรวจหาเส้นตรงทำได้โดยการแปลง

เรดอนในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศาซึ่งจะได้แถวลำดับตัวสะสม 2 มิติที่เก็บค่าภาพเงาการฉายของ  
องศาต่าง ๆ ไว้ จากนั้นกำหนดค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ถ้าค่าในแถวลำดับตัวสะสมมากกว่าค่าขีด  
แบ่งที่กำหนดไว้แสดงว่าตำแหน่งนั้นเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่ต้องการหา



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างวิธีการแปลงเรดอนของภาพลักษณะพื้นฐานสอง

เมื่อนำภาพตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2.19 (ก) มาแปลงเรดอนโดยกำหนดให้การเพิ่มของ  
องศาการหมุนอยู่ระหว่าง 0 ถึง 3 องศาจะได้ผลดังรูปที่ 2.19 (ข) ซึ่งจะพบว่าค่าของตำแหน่งที่  
แปลงมาจากเส้นตรงในภาพตัวอย่างจะเห็นเป็นจุดสีดำและจุดสีขาวอย่างชัดเจนโดยจุดสีดำเป็น  
ค่าที่น้อยที่สุดและจุดสีขาวเป็นค่าที่มากที่สุด จากนั้นกำหนดค่าขีดแบ่งให้กับแถวลำดับตัวสะสม  
แล้วแปลงเรดอนย้อนกลับจะได้ตำแหน่งที่เป็นเส้นตรงในภาพ



(ก) ภาพตัวอย่างการแปลงเรดอน

(ข) ภาพตัวอย่างผลการแปลงเรดอน

รูปที่ 2.19 ผลลัพธ์การแปลงเรดอน [23]

การแปลงเรดอนมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

### 1. สภาพเชิงเส้น (Linearity)

เมื่อภาพมีการเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก เวกเตอร์ผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเรดอนมีค่าถ่วงน้ำหนักค่านั้นด้วย เมื่อกำหนดให้สมการ 2.33 เป็นการถ่วงน้ำหนักภาพด้วยค่า  $w_i$

$$h(x, y) = \sum_i w_i f_i(x, y) \quad \dots (2.33)$$

โดย  $h(x, y)$  เป็นภาพที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักด้วยค่า  $w_i$

เมื่อนำสมการ 2.33 มาแปลงเรดอนแล้วมีดังสมการ 2.34 ซึ่งจะพบว่าค่าเวกเตอร์ที่ได้จากการคำนวณจะเป็นอิสระจากค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_i$

$$\begin{aligned} v(\rho, \theta) &= \sum_i w_i \iint_{x, y} f_i(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - \rho) dx dy \\ &= \sum_i w_i r(\rho, \theta) \end{aligned} \quad \dots (2.34)$$

โดย  $v(\rho, \theta)$  เป็นภาพ  $h(x, y)$  ที่ผ่านการแปลงเรดอน

### 2. การเลื่อน (Shifting)

เมื่อมีการเลื่อนของภาพ ค่าเวกเตอร์ผลลัพธ์ของการแปลงเรดอนจะเลื่อนไปในจำนวนที่เท่ากับการเลื่อนของภาพ

### 3. การย่อและขยาย (Scaling)

เมื่อมีการย่อหรือขยายขนาดของภาพ ค่าเวกเตอร์ผลลัพธ์ของการแปลงเรดอนจะมีขนาดเท่ากับภาพที่ย่อหรือขยายนั้น

## 2.3.9 ฟังก์ชันระยะทาง (Distance function)

ฟังก์ชันระยะทางเป็นฟังก์ชันที่ใช้วัดค่าความแตกต่างหรือความคล้ายของข้อมูล ผลลัพธ์ของฟังก์ชันระยะทาง คือ ค่าระยะทาง ฟังก์ชันระยะทางระหว่างเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ที่มีหลายมิติสามารถวัดได้หลายวิธี ดังนี้

1. ฟังก์ชันระยะทางมิงคอฟสกี (Minkowski distance function) เป็นรูปทั่วไปของฟังก์ชันระยะทางมีสมการดัง 2.35

$$D_m = \left[ \sum_{x'=1}^n |A_\theta(x') - B_\theta(x')|^p \right]^{1/p} \quad \dots (2.35)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอรเวกเตอร์ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของภาพที่นำมาทดสอบ

$n$  เป็นจำนวนข้อมูล

$p$  คือตัวแปรที่กำหนดได้ ถ้ากำหนดให้  $p$  เท่ากับ 1 สมการนี้เป็นฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ (Absolute distance function) ถ้ากำหนดให้  $p$  เท่ากับ 2 สมการนี้เป็นฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean distance function) แต่ถ้ากำหนดให้  $p$  เท่ากับ  $\infty$  สมการนี้เป็นฟังก์ชันระยะทางเชบีเชฟ (Chebyshev distance function)

จากค่าผลลัพธ์ที่คำนวณได้ ถ้ามีค่าน้อย พีเจอรเวกเตอร์มีความแตกต่างกันน้อย ในทางกลับกันถ้าพีเจอรเวกเตอร์มีความแตกต่างกันมาก ค่าผลลัพธ์จะมีค่ามาก

2. ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดโดยคำนวณหาค่าสัมบูรณ์ระหว่างพีเจอรเวกเตอร์เพื่อหาความแตกต่างของพีเจอรเวกเตอร์ มีสมการดัง 2.36

$$D_a = \sum_{x'=1}^n |A_\theta(x') - B_\theta(x')| \quad \dots (2.36)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอรเวกเตอร์ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของภาพที่นำมาทดสอบ

$n$  เป็นจำนวนข้อมูล

ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าน้อย พีเจอรเวกเตอร์นั้นมีความแตกต่างกันน้อย แต่ถ้าพีเจอรเวกเตอร์นั้นมีความแตกต่างกันมาก ค่าผลลัพธ์จะมีค่ามาก

3. ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน เป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้ในการวัดค่าระยะทาง เป็นการหาความแตกต่างโดยการหาราคที่สองของค่าผลรวมยกกำลังสองของค่าความต่างของพีเจอรเวกเตอร์ ดังแสดงในสมการ 2.37

$$D_e = \sqrt{\sum_{x'=1}^n (A_\theta(x') - B_\theta(x'))^2} \quad \dots (2.37)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอรเวกเตอร์ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของภาพที่นำมาทดสอบ

$n$  เป็นจำนวนข้อมูล

ถ้าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าน้อย พีเจอรเวกเตอร์นั้นมีความแตกต่างกันน้อย แต่ถ้าพีเจอรเวกเตอร์นั้นมีความแตกต่างกันมาก ค่าผลลัพธ์จะมีค่ามาก



4. ฟังก์ชันระยะทาง S1 (S1 distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่หาค่าผลหารของค่าน้อยต่อค่ามากของพีเจอร์เวกเตอร์ที่นำมาทดสอบและพีเจอร์เวกเตอร์ที่เก็บในฐานข้อมูล มีสมการดัง 2.38

$$D_{S1} = \frac{1}{n} \sum_{x'} \frac{\min(A_\theta(x'), B_\theta(x'))}{\max(A_\theta(x'), B_\theta(x'))} \quad \dots (2.38)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของภาพที่นำมาทดสอบ

$n$  เป็นจำนวนข้อมูล

ค่าผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าพีเจอร์เวกเตอร์มีความแตกต่างกันมาก ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 0 ถ้าพีเจอร์เวกเตอร์มีค่าเท่ากัน ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1

5. การวัดความคล้าย (Similarity measure) แบบสหสัมพันธ์ภูมิภาค (Regional correlation) เป็นฟังก์ชันที่ดัดแปลงมาจากสหสัมพันธ์ ซึ่งแสดงดังสมการ 2.39

$$D_{s_\theta} = \frac{\sum_{x'} [A_\theta(x') - \bar{A}_\theta] \cdot [B_\theta(x') - \bar{B}_\theta]}{\left[ \sum_{x'} [A_\theta(x') - \bar{A}_\theta]^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{x'} [B_\theta(x') - \bar{B}_\theta]^2 \right]^{1/2}} \quad \dots (2.39)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของภาพที่นำมาทดสอบ

$\bar{A}_\theta, \bar{B}_\theta$  เป็นค่าเฉลี่ยของพีเจอร์เวกเตอร์

$n$  เป็นจำนวนข้อมูล

ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าพีเจอร์เวกเตอร์มีความแตกต่างกันมาก ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 0 ถ้าพีเจอร์เวกเตอร์มีค่าเท่ากัน ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 1

2.3.10 การแปลงภาพจากระบบพิกัดเชิงขั้วให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงเส้น

การแปลงภาพจากระบบพิกัดเชิงขั้วให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นวิธีการแปลงภาพที่มีลักษณะเป็นวงกลมให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยมมีสมการดัง 2.40 และ 2.41

$$x = x_p + r \cos \theta \quad \dots (2.40)$$

$$y = y_p + r \sin \theta \quad \dots (2.41)$$

โดย  $x_p$  และ  $y_p$  คือ จุดศูนย์กลางของวงกลม

$r$  คือ รัศมีของวงกลม  
 $\theta$  คือ องศาของวงกลม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตา ด้วยวิธีการแปลงเรดอน

ในปัจจุบันระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาเป็นระบบรักษาความปลอดภัยที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากลายม่านตาขึ้นอยู่กับยีน ดังนั้นแต่ละบุคคลจะมีลายม่านตาที่ไม่ซ้ำกันและเป็นแบบรูปที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป และลายม่านตาด้านซ้ายและด้านขวามีแบบรูปที่ไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ลายม่านตาของฝาแฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกันก็ยังไม่เหมือนกันอีกด้วย ระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาจึงเหมาะกับระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง จึงมีการนำระบบชีวมาตรที่ใช้ม่านตาไปใช้ในการเข้าถึงข้อมูลที่มีความสำคัญหรือระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ

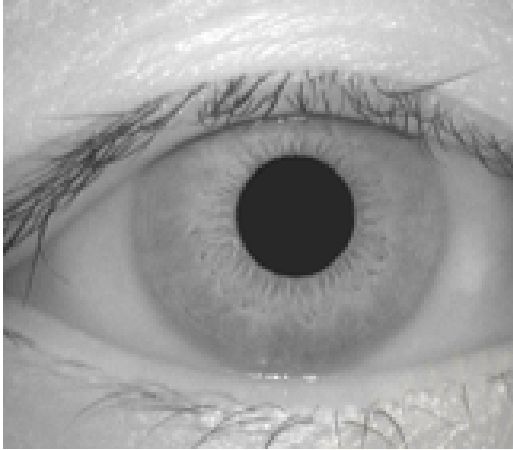
ขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตาประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บข้อมูลภาพดวงตา การประมวลผลภาพเบื้องต้น การสกัดฟีเจอร์ การเปรียบเทียบแบบแผนและการตัดสินใจของระบบ ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังนี้

#### 3.1 การเก็บข้อมูลภาพดวงตา (Eye Image Acquisition)

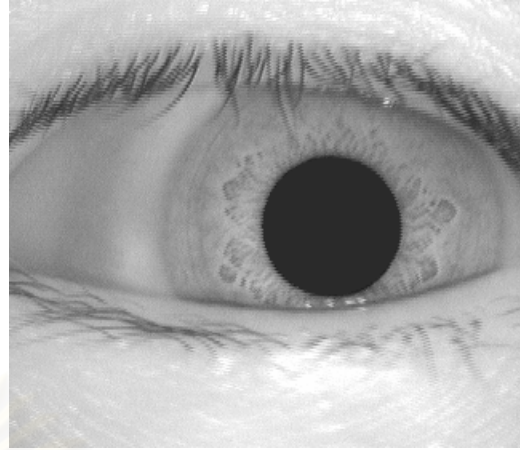
ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพดวงตาเป็นการนำเข้าภาพเพื่อนำไปประมวลผลภาพแล้วสร้างแบบแผนเก็บลงในฐานข้อมูล ภาพดวงตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพดวงตาจากฐานข้อมูลภาพของ CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17] ซึ่งเป็นภาพระดับเทา 8 บิตขนาด 320x280 จุดภาพ มีจำนวนทั้งสิ้น 108 คนคนละ 1 ชุดภาพ แต่ละชุดภาพประกอบด้วยภาพดวงตาข้างเดียวกัน 7 ภาพ รูปที่ 3.1 เป็นตัวอย่างภาพดวงตาที่ได้จากฐานข้อมูลภาพของ CASIA เวอร์ชัน 1.0 ซึ่งพบว่าฐานข้อมูลภาพมีภาพดวงตาที่มีความหลากหลายคือ มีทั้งภาพที่สามารถเห็นลายม่านตาได้ชัดเจน และภาพที่มีเปลือกตาบน เปลือกตาล่างและขนตาปิดบังลายม่านตา

#### 3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing)

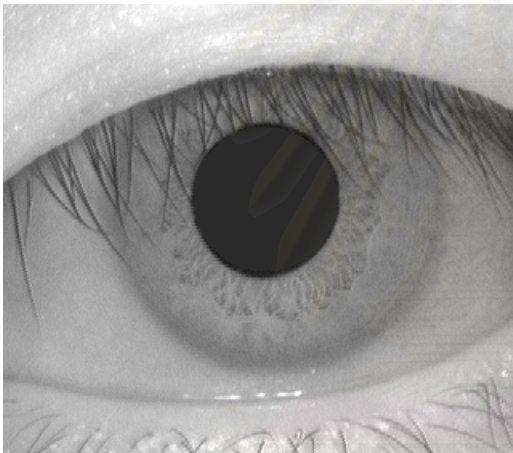
ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นเป็นขั้นตอนการปรับภาพที่มีสิ่งแวดล้อม ณ เวลาเก็บภาพต่างกัน จึงอาจทำให้ค่าความเปรียบต่างและความสว่างต่างกัน นอกจากนี้ขนาดของรูม่านตาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความสว่างซึ่งมีผลทำให้ขนาดของม่านตาเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนวิธีในการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจหาตำแหน่งม่านตา การแปลงพิกัดภาพม่านตา และการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน ดังนี้



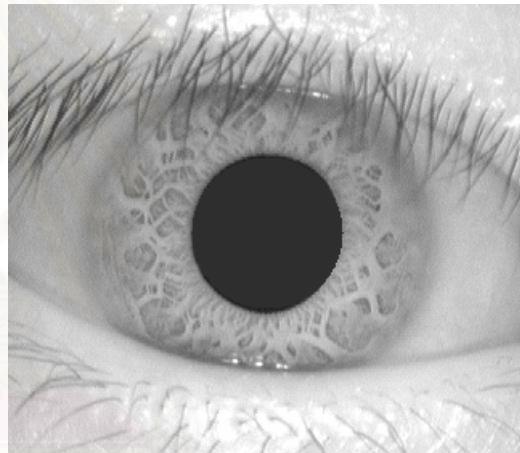
(ก) ภาพดวงตาที่มีเปลือกตาบนปิดบังลายม่านตา



(ข) ภาพดวงตาที่มีเปลือกตาบนและเปลือกตาล่างปิดบังลายม่านตา



(ค) ภาพดวงตาที่มีเปลือกตาบนและขนตาปิดบังลายม่านตา



(ง) ภาพดวงตาที่เห็นลายม่านตาได้ชัดเจนและมีเปลือกตาและขนตาปิดบังลายม่านตาบางส่วน

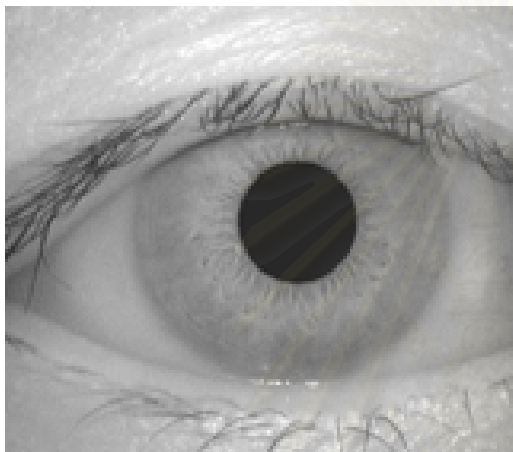
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพม่านตาจากฐานข้อมูลภาพของ CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17]

### 3.2.1 การตรวจหาตำแหน่งม่านตา

ขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งม่านตาเป็นขั้นตอนการแบ่งส่วนม่านตาออกจากภาพดวงตาเพื่อตัดสิ่งรบกวนต่างๆ อันได้แก่ รูม่านตาและเยื่อตาขาวชั้นนอก เมื่อแบ่งส่วนม่านตาแล้วนำไปทำการเสริมแต่งภาพเพื่อสกัดพีเจอร์แล้วสร้างแผนแบบในขั้นตอนถัดไป ขั้นตอนการตรวจหาตำแหน่งม่านตา ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การตรวจหาตำแหน่งรูม่านตา และการตรวจหาตำแหน่งม่านตาซึ่งมีขั้นตอนวิธีดังนี้

### 1) การตรวจหาตำแหน่งรูม่านตา

ในการตรวจหาตำแหน่งรูม่านตาจะหาตำแหน่งรูม่านตาหรือขอบในของม่านตาก่อน เนื่องจากรูม่านตาเป็นส่วนที่มีมืดที่สุดในภาพทำให้ตรวจหาได้ง่าย การตรวจหาตำแหน่งรูม่านตาทำได้โดยการปรับภาพให้เรียบด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ย (Mean filter) จากนั้นแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพลักษณะฐานสองด้วยวิธีการกำหนดค่าขีดแบ่ง ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าขีดแบ่งเท่ากับ 65 ผลลัพธ์จากการหาค่าขีดแบ่งได้ผลดังรูปที่ 3.2 ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นบริเวณของรูม่านตา



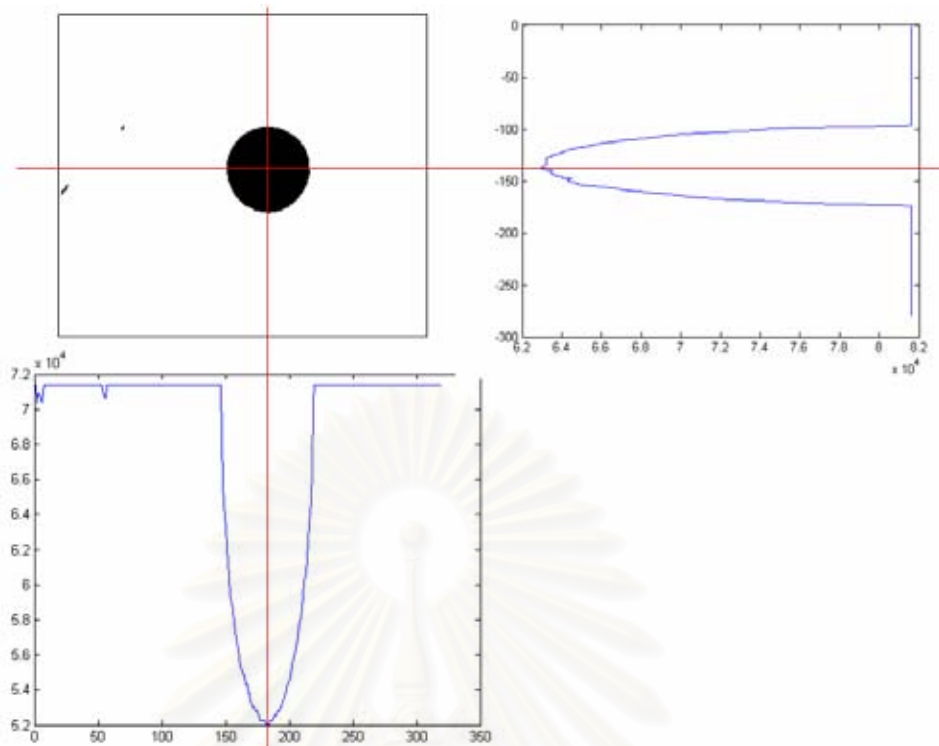
รูปที่ 3.2 ผลลัพธ์การแปลงเป็นภาพลักษณะฐานสองด้วยวิธีการหาค่าขีดแบ่ง

เมื่อได้ภาพลักษณะฐานสองของบริเวณที่เป็นรูม่านตาแล้วหาภาพเงาการฉายระดับเทาที่น้อยที่สุดของภาพในแนวนอนและแนวตั้งเนื่องจากบริเวณรูม่านตาเป็นบริเวณที่มีมืดที่สุดและมีขนาดใหญ่ที่สุดในภาพเพื่อประมาณค่าจุดศูนย์กลาง  $x$  และ  $y$  ของรูม่านตาอย่างหยาบแสดงดังรูปที่ 3.3 จากนั้นนำค่าระดับเทาในแนว  $x$  และ  $y$  นั้นมาใช้ในการหาขอบเขตซ้ายและขวาและขอบเขตบนและล่างเพื่อประมาณค่าจุดศูนย์กลาง  $x$  และ  $y$  และหารัศมี  $r$  อย่างหยาบโดยการหาค่าตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างขอบซ้ายและขอบขวาและระหว่างขอบบนและขอบล่างแสดงดังรูปที่ 3.4

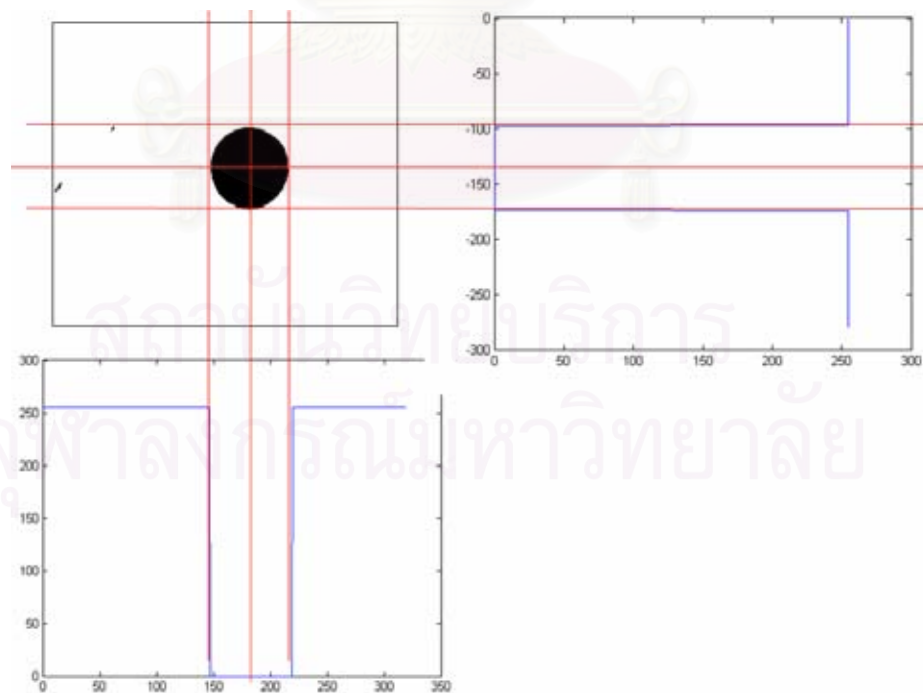
### 2) การตรวจหาตำแหน่งขอบนอกของม่านตา

เมื่อได้จุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาอย่างหยาบแล้วขั้นตอนถัดไปเป็นขั้นตอนการหาตำแหน่งของขอบนอกม่านตา เนื่องจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและจุดศูนย์กลางของม่านตาอยู่คนละตำแหน่งกัน ดังนั้นเมื่อได้ตำแหน่งของรูม่านตาแล้วจึงหาขอบภาพด้วยตัวดำเนินการแคนนี่ (Canny operator) ดังแสดงในรูปที่ 3.5(n)



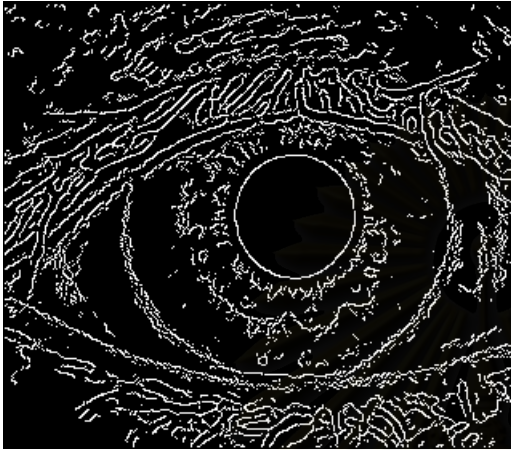


รูปที่ 3.3 การประมาณค่าจุดศูนย์กลางรูปร่างโดยหาค่าภาพเงาการฉายระดับเท่าที่น้อยที่สุดในแนวตั้งและแนวนอน

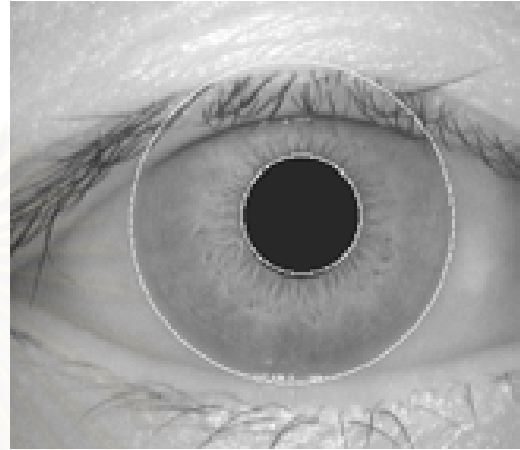


รูปที่ 3.4 การหาจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูปร่างตัวอย่างหยาบ

เมื่อได้ขอบภาพแล้วใช้วิธีการแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough transform) ซึ่งจะสามารถประมาณค่าขอบเขตของจุดศูนย์กลางของม่านตาได้โดยกำหนดให้ขอบเขตของจุดศูนย์กลางของม่านตา  $x$  และ  $y$  อยู่ในช่วงระหว่าง  $-10$  ถึง  $+10$  จุดภาพจากค่าจุดศูนย์กลางของรูม่านตา ผลการตรวจหาตำแหน่งม่านตาแสดงดังรูปที่ 3.5(ข)



(ก) ขอบภาพด้วยตัวดำเนินการแคนนี่



(ข) ตำแหน่งม่านตาที่สนใจ

รูปที่ 3.5 ผลการหาตำแหน่งของม่านตา

### 3.2.2 การแปลงพิกัดภาพม่านตา

ขั้นตอนการแปลงพิกัดภาพม่านตามีจุดประสงค์เพื่อแปลงพิกัดภาพม่านตาจากระบบพิกัดเชิงเส้น (Cartesian coordinate) ให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate) และเป็นการปรับขนาดของภาพม่านตาให้เท่ากันและมีลักษณะเหมือนกันทุกภาพเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลในขั้นตอนการเปรียบเทียบแผ่นแบบ

เนื่องจากบริเวณลายม่านตามีลักษณะเป็นวงแหวนและจุดศูนย์กลางของรูม่านตาไม่อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับจุดศูนย์กลางของม่านตาทำให้การประมวลผลในขั้นตอนถัดไปทำได้ยากจึงต้องมีการแปลงภาพจากระบบพิกัดเชิงเส้นให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว โดยกำหนดให้จุดศูนย์กลางของรูม่านตา  $(x_p, y_p)$  เป็นจุดศูนย์กลางของการหมุน ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตา  $(r_p)$  และรัศมีของม่านตา  $(r_i)$  แสดงดังรูปที่ 3.6 การแปลงพิกัดภาพม่านตาทำได้โดยมีสมมติฐานที่ว่าเส้นตรงที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและเส้นขอบวงกลมของรูม่านตาคือจุด  $(x_a, y_a)$  ในรูปที่ 3.6 จะลากผ่านเส้นขอบวงกลมของม่านตาคือจุด  $(x_b, y_b)$  ด้วย ดังนั้นหาเส้นตรงที่ตัดผ่านจุดศูนย์กลางของรูม่านตา  $(x_p, y_p)$  ได้ดังสมการที่ 3.1 หาสมการวงกลมของขอบของรูม่านตาดังสมการที่ 3.2 และหาสมการวงกลมของขอบของม่านตาดังสมการที่ 3.3

$$(y - y_p) = \frac{(y_p - y_a)}{(x_p - x_a)} \cdot (x - x_p) \quad \dots (3.1)$$

$$(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 = r_p^2 \quad \dots (3.2)$$

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2 \quad \dots (3.3)$$

$$x_a = x_p + r_p \cos \theta \quad \dots (3.4)$$

$$y_a = y_p + r_p \sin \theta \quad \dots (3.5)$$

โดย  $(x_p, y_p)$  เป็นพิกัดจุดศูนย์กลางของรูม่านตา (วงกลมวงใน)

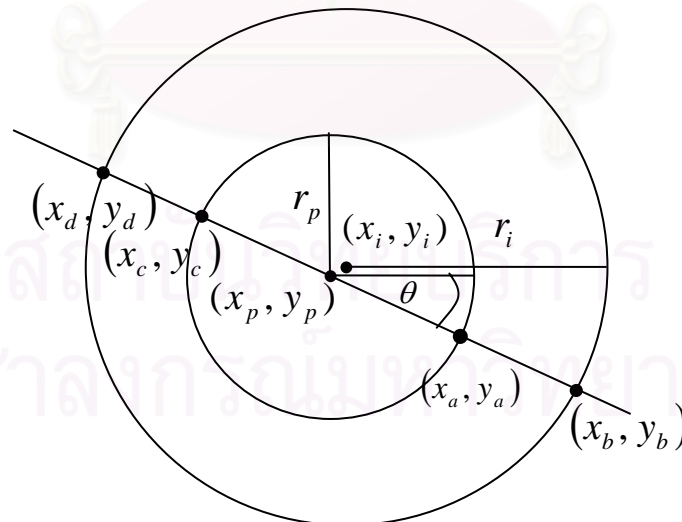
$r_p$  เป็นรัศมีของรูม่านตา

$(x_i, y_i)$  เป็นพิกัดจุดศูนย์กลางของขอบนอกของม่านตา (วงกลมวงนอก)

$r_i$  เป็นรัศมีของขอบนอกของม่านตา

$(x_a, y_a)$  เป็นพิกัดจุดที่ขอบของรูม่านตาหาได้จากสมการ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

$\theta$  เป็นองศาของการหมุน



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและม่านตา

เมื่อได้สมการเส้นตรง 3.1 แล้วกำหนดให้ตำแหน่งที่ขอบของรูม่านตา  $(x_a, y_a)$  เป็นจุดเริ่มต้นของการแปลงดังสมการที่ 3.4 และ 3.5 และคำนวณหาตำแหน่งที่ขอบของม่านตา  $(x_b, y_b)$  เป็นจุดปลาย โดยการหาจุดตัดระหว่างสมการเส้นตรง 3.1 และสมการวงกลม 3.3 ได้ค่าตำแหน่งจุดปลายดังสมการที่ 3.6 และ 3.7

$$y_b = \frac{(y_p - y_a)}{(x_p - x_a)} x_b + c \quad \dots (3.6)$$

$$x_b = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad \dots (3.7)$$

โดย  $(x_b, y_b)$  เป็นพิกัดจุดที่ขอบนอกของม่านตา

ตัวแปร  $c$   $A$   $B$  และ  $C$  หาได้จากสมการ 3.8 ถึง 3.11 ตามลำดับ

$$c = -\frac{(y_p - y_a)}{(x_p - x_a)} x_a + y_a \quad \dots (3.8)$$

$$A = \left( \frac{(y_p - y_a)}{(x_p - x_a)} \right)^2 + 1 \quad \dots (3.9)$$

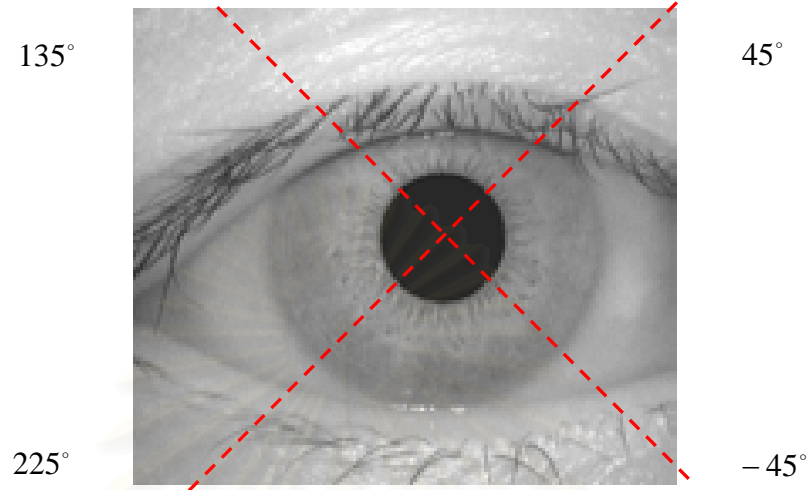
$$B = 2 \frac{(y_p - y_a)}{(x_p - x_a)} (c - y_i) - 2x_i \quad \dots (3.10)$$

$$C = (c - y_i)^2 + x_i^2 - r_i^2 \quad \dots (3.11)$$

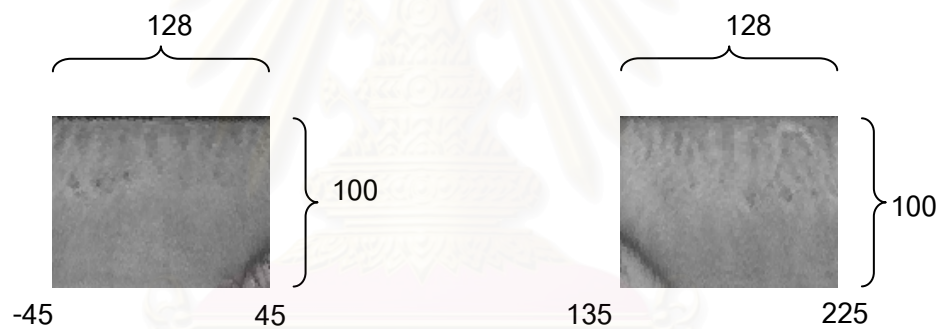
จากนั้นแบ่งส่วนของเส้นตรงระหว่างจุด  $(x_a, y_a)$  และจุด  $(x_b, y_b)$  เป็น 100 ส่วนเท่าๆ กันแล้วเก็บข้อมูลค่าความเข้มแสงในแนวเส้นตรงนั้นโดยใช้การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่เพื่อสร้างภาพม่านตาภาพใหม่ที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วโดยรูปที่ 3.7 (ก) แสดงตัวอย่างภาพม่านตาก่อนการตัดภาพในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและในแนว 135 องศาถึง 225 องศา และรูปที่ 3.7 (ข) และ 3.7 (ค) แสดงตัวอย่างผลการแปลงภาพม่านตาด้านขวา (แนว -45 ถึง 45 องศา) และด้านซ้าย (แนว 135 ถึง 225 องศา)

ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดในการหลีกเลี่ยงสิ่งรบกวนต่างๆ อันได้แก่ เปลือกตาและขนตาซึ่งมีผลกับความถูกต้องของระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงขนาดที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับพีเจอร์

เพื่อหลีกเลี่ยงเปลือกตาและขนตาซึ่งส่วนใหญ่อยู่ด้านบนและด้านล่างของม่านตาที่มีผลให้ความถูกต้องของระบบลดลงและเพื่อหาขนาดของม่านตาที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงแบบเรดอนโดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 4



(ก) ตัวอย่างภาพม่านตา



(ข) ตัวอย่างภาพม่านตาด้านขวาที่

แปลงพิกัดแล้ว

(ค) ภาพตัวอย่างภาพม่านตาด้านซ้ายที่

แปลงพิกัดแล้ว

รูปที่ 3.7 การแปลงภาพม่านตาจากพิกัดเชิงเส้นเป็นพิกัดเชิงขั้ว

### 3.2.3 การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน

การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานเป็นขั้นตอนการปรับภาพให้เหมาะกับการสกัดพีเจอรีโดยการปรับคุณภาพของภาพม่านตาที่เก็บภาพมาในสิ่งแวดล้อมเช่น แสงเงาที่ต่างกัน ภาพจึงมีค่าความเปรียบต่างและค่าความสว่างต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับความเข้มแสงของภาพทั้งฐานข้อมูลก่อน วิธีการปรับค่าความเข้มแสงของภาพทั้งฐานข้อมูลแสดงดังสมการที่ 3.12 และ 3.13 [22]



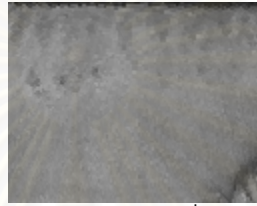
$$E(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad \dots (3.12)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d(I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad \dots (3.13)$$

โดยที่  $E(x, y)$  เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

$\phi_d$  และ  $\rho_d$  เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

$\phi$  และ  $\rho$  เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ



(ก) ตัวอย่างภาพม่านตาที่แปลงพิกัดแล้ว



(ข) ตัวอย่างภาพจากการจัดแบ่งให้  
ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นของ  
หน้าต่างขนาด 35 x 35 จุดภาพ



(ค) ตัวอย่างภาพจากการแปลงเป็นภาพลักษณะ  
ฐานสองโดยการหาค่าขีดแบ่งผลหารปรับตัวที่  
กำหนดให้ผลหารระหว่างพื้นหน้า (สีดำ)  
และพื้นหลัง (สีขาว) เท่ากับ 2 ต่อ 1

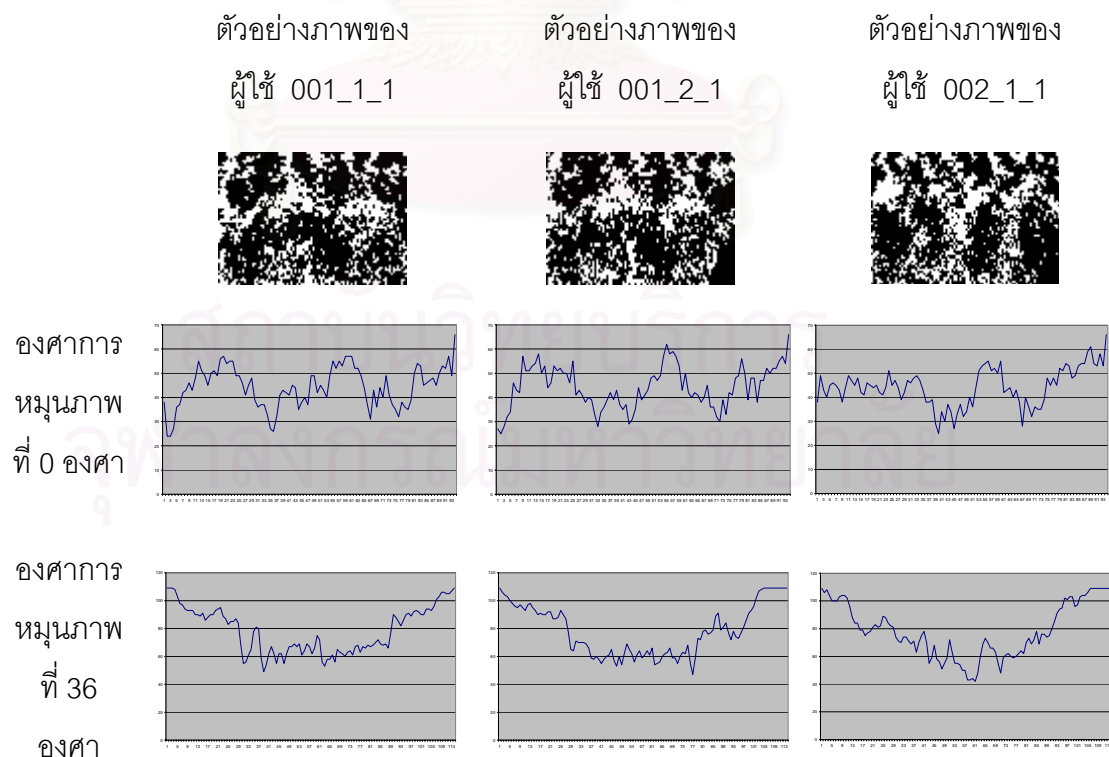
รูปที่ 3.8 ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการเสริมแต่งภาพของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

$I(x, y)$  เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพตำแหน่ง  $(x, y)$  งานวิจัยนี้กำหนดค่า  $\phi_d$  และ  $\rho_d$  เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงและค่าเฉลี่ยของค่าความแปรปรวนของค่าความเข้มแสงของภาพทั้งฐานข้อมูล ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการเสริมแต่งภาพแสดงดังรูปที่ 3.8 เมื่อปรับค่าความเข้มแสงของภาพทั้งฐานข้อมูลแล้วจึงทำการเสริมแต่งภาพแต่ละภาพให้เด่นชัดขึ้นโดยการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่น (Local histogram equalization) ของหน้าต่างที่กำหนด ในการกำหนดขนาดของหน้าต่างที่ใช้กำหนดบริเวณท้องถิ่น ถ้ากำหนดให้หน้าต่างมีขนาดเล็กก็จะทำให้ภาพมีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทามากและสัญญาณรบกวนจะชัดเจนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าหน้าต่างใหญ่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาลดน้อยลง จากรูปที่ 3.8 (ข) กำหนดขนาดหน้าต่างเท่ากับ 35 x 35

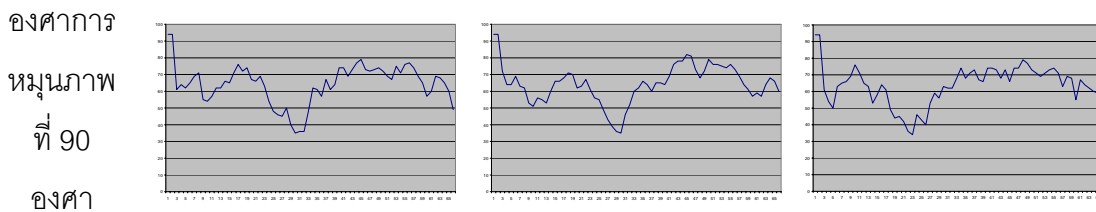
จุดภาพซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการหาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ดีที่สุดสำหรับภาพม่านตาขนาด  $100 \times 256$  จุดภาพ เมื่อทำการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นแล้วจะทำให้เห็นรายละเอียดของลายม่านตาชัดเจนมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.8 (ข) ผลการเสริมแต่งภาพได้ภาพขนาด  $94 \times 66$  จุดภาพเนื่องจากตำแหน่งริมขอบภาพไม่ถูกนำมาคำนวณด้วย ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดของค่าบริเวณริมขอบภาพในการหาค่าความเข้มแสงมาแทน จากนั้นแปลงเป็นภาพลักษณะฐานสองโดยใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งผลหารปรับตัว (Adaptive quotient thresholding) [16] เพื่อให้จำนวนและตำแหน่งของลายม่านตาของคนเดียวกันมีลักษณะเหมือนกันและทำให้การเปรียบเทียบฟีเจอร์สามารถเปรียบเทียบได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าผลหารระหว่างพื้นหน้า (สีดำ) และพื้นหลัง (สีขาว) เท่ากับ 2 ต่อ 1 แสดงดังรูป 3.8 (ค) ซึ่งค่าผลหารนี้ได้จากการทดลอง

### 3.3 การสกัดฟีเจอร์ของลายม่านตา (Iris Feature Extraction)

การสกัดฟีเจอร์ของลายม่านตาเป็นขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ออกจากภาพโดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้การแปลงเรดอน (Radon transform) การแปลงเรดอนเป็นการหาภาพเงาการฉายของภาพในองศาการหมุนที่ต่างกัน การหาภาพเงาการฉายของภาพม่านตาที่องศาการหมุนต่างกันจะทำให้ค่าภาพเงาการฉายมีลักษณะต่างกัน จากตัวอย่างรูปที่ 3.9 ตัวอย่างฟีเจอร์ภาพเงาการฉายของภาพม่านตาของผู้ใช้ 001\_1\_1 และ 001\_2\_1 ซึ่งเป็นผู้ใช้งานเดียวกัน และจะต่างคนกับตัวอย่างภาพของผู้ใช้ 002\_1\_1



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพเงาการฉายของภาพในแนวองศาต่างกัน



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพเงาการฉายของภาพในแนวองศาต่างกัน (ต่อ)

เมื่อสังเกตภาพผู้ใช้ทั้ง 3 ภาพในรูปที่ 3.9 พบว่าภาพลายม่านตามีลักษณะคล้ายคลึงกัน เมื่อสังเกตที่องศาของการหมุนภาพในแนว 36 องศาของภาพคนเดียวกันและต่างคนกันจะพบว่า ภาพเงาการฉายของภาพจะมีลักษณะคล้ายกันทั้ง 3 ภาพ แต่องศาของภาพในแนว 0 องศาและ 90 องศา ภาพคนเดียวกันจะมีลักษณะคล้ายกันซึ่งต่างกับภาพจากต่างคนที่มีลักษณะต่างกัน นอกจากนี้ข้อดีของวิธีการแปลงเรดอนคือ มีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน ไม่ใช้หน่วยประมวลผลมาก และพีเจอรเวกเตอร์ที่เก็บมีขนาดเล็กกว่าการเก็บเป็นภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำค่าในแนวองศาต่างกันมาใช้เพื่อสร้างพีเจอรเวกเตอร์แล้วเก็บเป็นแผ่นแบบ

ในงานวิจัยนี้กำหนดองศาการหมุนจำนวน 10 องศาเริ่มที่ตำแหน่ง 0 องศาและเพิ่มครั้งละ 18 องศาในทิศทวนเข็มนาฬิกา เมื่อนำภาพด้านขวาและด้านซ้ายของลายม่านตามาสกัดพีเจอรผลลัพธ์จะได้เป็นพีเจอรเวกเตอร์ 2 มิติซึ่งเก็บค่าภาพเงาการฉายทั้งหมด  $109 \times 20$  ค่าโดยค่า 109 เป็นค่าความกว้างที่มากที่สุดของการหาภาพเงาการฉายทั้งหมด 10 ครั้งและค่า 20 เป็นผลรวมของจำนวนองศาการหมุนของภาพด้านขวาของลายม่านตาและจำนวนองศาการหมุนของภาพด้านซ้ายของลายม่านตา ในงานวิจัยนี้นำพีเจอรที่ได้มาวางต่อกันและเก็บพีเจอรเวกเตอร์ที่ได้ไว้เป็นแผ่นแบบลงฐานข้อมูลหรือนำไปเปรียบคู่แผ่นแบบเพื่อใช้งานต่อไป

### 3.4 การเปรียบคู่แผ่นแบบ

การเปรียบคู่แผ่นแบบเป็นการนำแผ่นแบบมาเปรียบเทียบกับมีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันระยะทางในการหาค่าคะแนนการเปรียบคู่โดยฟังก์ชันระยะทางที่ใช้มี 3 ชนิดได้แก่ ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ (Absolute distance function) ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean distance function) และฟังก์ชันระยะทาง S1 (S1 distance function) ซึ่งคะแนนการเปรียบคู่ของแต่ละฟังก์ชันมีความหมายต่างกัน

แบบที่ 1 ใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์หาคะแนนการเปรียบคู่

$$MD_a = \text{Min}_{\tau} \left[ \sum_{x'} |A_{\theta}(x') - B_{\theta}(x' - \tau)| \right] \quad \dots (3.14)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่นำมาทดสอบ

$\tau$  เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้เนื่องจากการหมุนของภาพม่านตาโดยกำหนดให้มีค่าในช่วง -10 ถึง 10 จุดภาพ

ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เป็นการหาผลรวมของค่าผลต่างของพีเจอร์ ภาพม่านตาอาจมีการหมุน ทำให้ค่าพีเจอร์ที่ได้จากการแปลงเรดอนเลื่อนไปได้ ดังนั้นจึงกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน  $\tau$  จากการหมุนของภาพในช่วง -10 ถึง 10 จุดภาพ สำหรับฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าพีเจอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความคล้ายคลึงกัน แต่ถ้ามีค่ามากแสดงว่าพีเจอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความต่างกัน

แบบที่ 2 ใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนหาคะแนนการเปรียบเทียบ

$$MD_e = \text{Min}_\tau \left[ \sqrt{\sum_{x'} (A_\theta(x') - B_\theta(x' - \tau))^2} \right] \quad \dots (3.15)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่นำมาทดสอบ

$\tau$  เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้เนื่องจากการหมุนของภาพม่านตาโดยกำหนดให้มีค่าในช่วง -10 ถึง 10 จุดภาพ

ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเป็นการหาค่ารากที่สองของผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของพีเจอร์ สำหรับฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าพีเจอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความคล้ายคลึงกัน แต่ถ้ามีค่ามากแสดงว่าพีเจอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความต่างกัน

แบบที่ 3 ใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 หาคะแนนการเปรียบเทียบ

$$MD_{s1} = \text{Max}_\tau \left[ \frac{1}{n} \sum_{x'} \frac{\min(A_\theta(x'), B_\theta(x' - \tau))}{\max(A_\theta(x'), B_\theta(x' - \tau))} \right] \quad \dots (3.16)$$

โดย  $A_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_\theta(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่นำมาทดสอบ

$\tau$  เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้เนื่องจากการหมุนของภาพม่านตาโดยกำหนดให้มีค่าในช่วง -10 ถึง 10 จุดภาพ

ฟังก์ชันระยะทาง S1 เป็นการหาผลรวมของการนำค่าพีเจอร์ที่มีค่าน้อยมาหารกับค่าพีเจอร์ที่มีค่ามาก ดังนั้นถ้าพีเจอร์เหมือนกัน ค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าพีเจอร์ต่างกันมาก ค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้จะมีค่าเข้าใกล้ 0 ดังนั้นค่าคะแนนการเปรียบเทียบของฟังก์ชันระยะทาง S1 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สำหรับฟังก์ชันระยะทาง S1 ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มีค่ามากหรือเข้าใกล้ 1 แสดงว่าพีเจอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความคล้ายคลึงกัน แต่ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าพีเจอร์ที่นำมาเปรียบเทียบมีความต่างกัน

### 3.5 การตัดสินใจของระบบ

#### 3.5.1 การวัดความคล้ายของพีเจอร์

ในการตัดสินใจของระบบใช้ค่าขีดแบ่งในการตัดสินใจเพื่อหาค่าอัตราการปฏิเสธผิดพลาดและอัตราการยอมรับผิดพลาด

เมื่อใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์และฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนในการหาคะแนนการเปรียบเทียบ ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าน้อย พีเจอร์จะมีความคล้ายกันมาก ดังนั้นถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้ที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุด ในทางกลับกันถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้บุกรุก

แต่ถ้าใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 ในการหาคะแนนการเปรียบเทียบ ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้ยังมีค่ามาก พีเจอร์จะมีความคล้ายกันมาก ดังนั้นถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่มากที่สุดมากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้ที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่มากที่สุด ในทางกลับกันถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้บุกรุก

#### 3.5.2 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคล

ในการหาประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ชีวมาตรสามารถวัดได้จากค่า EER ซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างค่าอัตราการปฏิเสธผิดพลาดและอัตราการยอมรับผิดพลาดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นำข้อมูลภาพมาลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบเพื่อเก็บเป็นแผ่นแบบลงฐานข้อมูลโดยผู้ใช้ที่ลงทะเบียนมีจำนวน 60 คน ข้อมูลภาพที่นำมาลงทะเบียนมีคนละ 3 ภาพ ดังนั้นในฐานข้อมูลจะมีแผ่นแบบทั้งหมด 180 แผ่นแบบ

2) นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ภาพของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนทั้งหมด 60 คนมาสร้างแผ่นแบบเพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลโดยเปรียบเทียบกับตนเองเพื่อคำนวณหาค่าคะแนนการ



เปรียบเทียบ ดังนั้นจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบของแต่ละภาพจะเท่ากับ 3 ครั้งและจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบทั้งหมดจะเท่ากับ  $60 \times 4 \times 3$  ครั้งหรือเท่ากับ 720 ครั้ง จากนั้นเก็บค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้ทั้งหมดลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นตนเอง

3) นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ภาพของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนทั้งหมด 60 คนมาสร้างแผนแบบเพื่อเปรียบเทียบกับแผนแบบที่เก็บในฐานข้อมูลโดยกล่าวอ้างว่าเป็นบุคคลอื่นที่ลงทะเบียนในระบบเพื่อคำนวณค่าคะแนนการเปรียบเทียบ ดังนั้นจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบทั้งหมดจะเท่ากับ  $60 \times 4 \times 3$  ครั้งหรือเท่ากับ 720 ครั้ง จากนั้นเก็บค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้ทั้งหมดลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนอื่น

4) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ภาพของผู้บุกรุกทั้งหมด 48 คนมาสร้างแผนแบบเพื่อเปรียบเทียบกับแผนแบบในฐานข้อมูลโดยกล่าวอ้างว่าเป็นผู้ลงทะเบียนแล้วคำนวณค่าคะแนนการเปรียบเทียบ ดังนั้นจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบทั้งหมดจะเท่ากับ  $48 \times 7 \times 3$  ครั้งหรือเท่ากับ 1008 ครั้ง จากนั้นเก็บค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้ทั้งหมดลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียน

5) หาค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและมากที่สุดของตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นตนเอง ตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนอื่นและตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนเพื่อกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้กับระบบ โดยเริ่มต้นจากค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุด

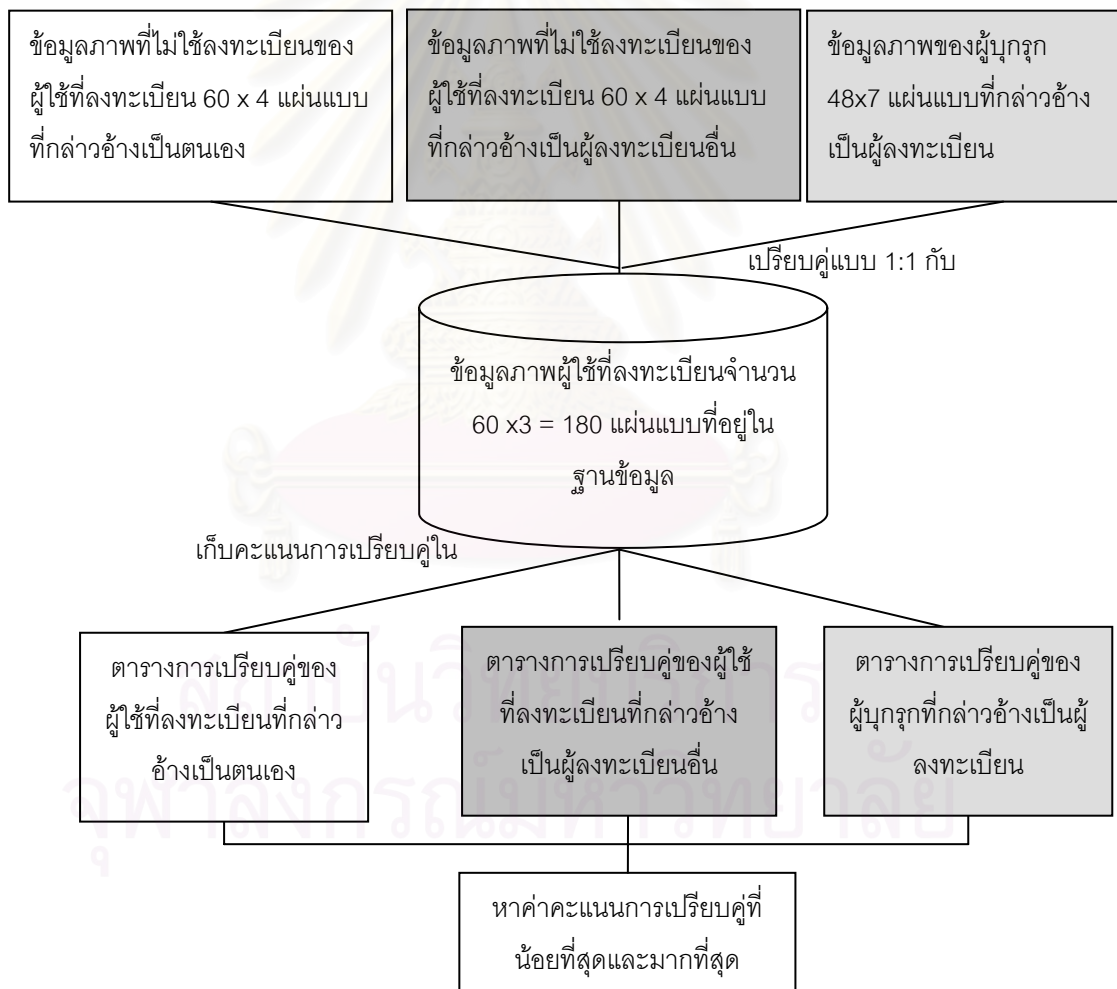
6) นำค่าขีดแบ่งที่กำหนดมาหาค่า FRR และ FAR โดยตัดสินใจจากค่าคะแนนการเปรียบเทียบในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นตนเอง ตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนอื่นและตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียน โดยค่า FRR คำนวณได้จากการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นตนเองที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดซึ่งก็คือเป็นบุคคลที่ระบบปฏิเสธผู้ลงทะเบียนกับระบบที่อ้างถึง ส่วนค่า FAR คำนวณได้จาก 2 กรณีคือการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนอื่นและตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียน กรณีแรกเป็นการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนอื่นโดยคำนวณจากบุคคลที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดซึ่งเป็นการที่ระบบยอมรับบุคคลผิดเข้าสู่ระบบ ส่วนกรณีที่สองเป็นการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกที่กล่าวอ้างเป็นผู้ลงทะเบียนที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดซึ่งเป็นการรับผู้บุกรุกเข้าสู่ระบบ

7) กำหนดค่าขีดแบ่งให้มีค่ามากขึ้น ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าของค่าขีดแบ่งทั้งหมดเป็น 1000 ค่าแล้วคำนวณหาค่า FRR และ FAR ของแต่ละค่าขีดแบ่งที่กำหนดตามขั้นตอนที่ 6 เพิ่มค่าขีดแบ่งจนมีค่าเท่ากับค่าคะแนนการเปรียบคู่มากที่สุด

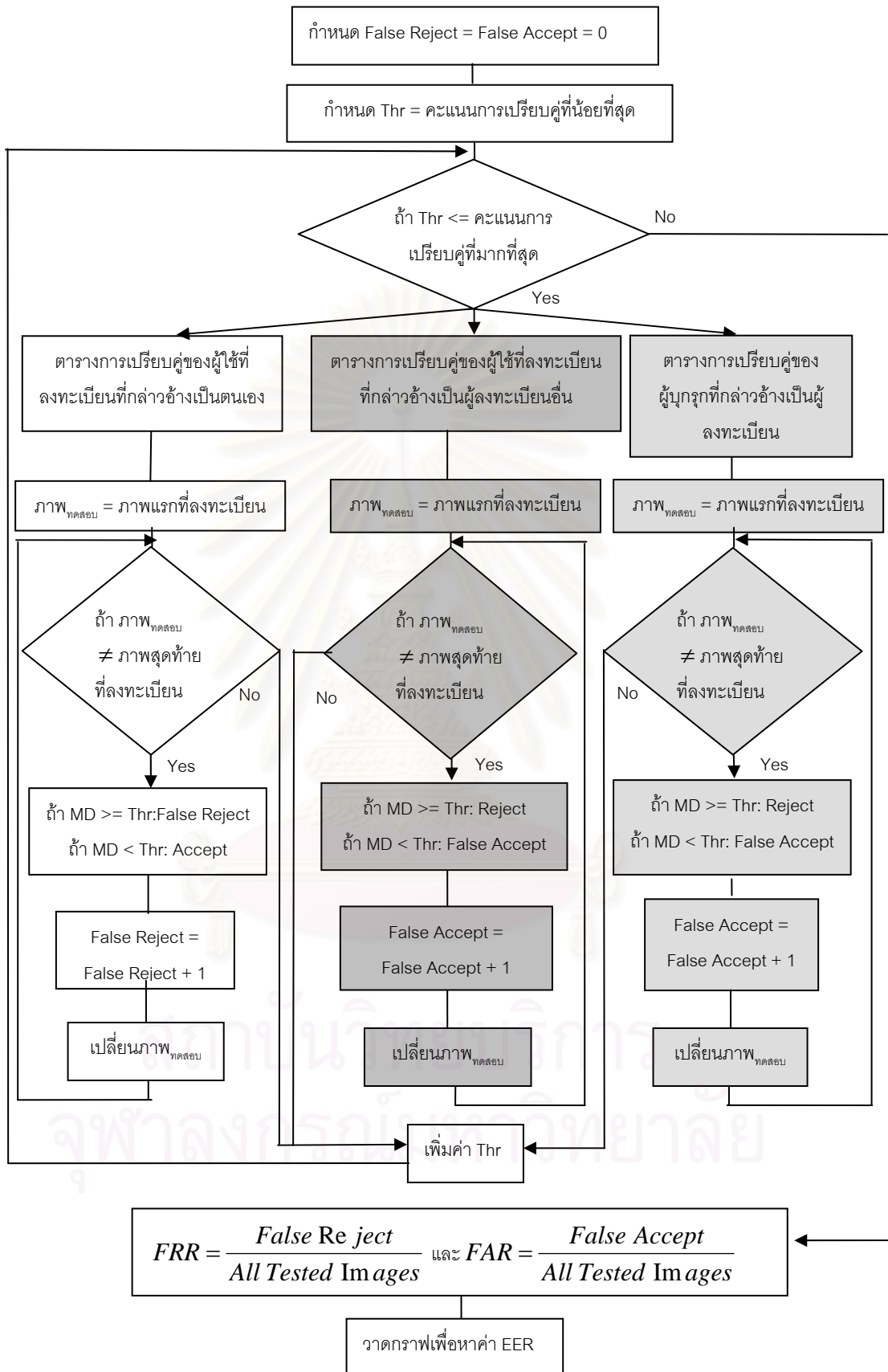
8) นำค่า FRR และ FAR ที่ได้จากการปรับค่าขีดแบ่งสร้างกราฟเพื่อหาค่า EER ซึ่งเป็นตำแหน่งที่กราฟของ FRR และ FAR ตัดกัน

9) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มจากการสุ่มผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบและผู้บุกรุกและสุ่มภาพทดสอบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบ และทำตามขั้นตอนที่ 1-7 อีก 2 ครั้งเพื่อคำนวณหา ค่าเฉลี่ยของค่า EER ให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 1-5 และขั้นตอนที่ 6-9 แสดงดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการหาคะแนนการเปรียบคู่น้อยที่สุดและมากที่สุดของระบบทวนสอบบุคคล



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคล

### 3.5.3 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล

ในการหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคลโดยใช้ชีวมาตรสามารถวัดได้จากค่า EER โดยขั้นตอนการหาค่า EER ของระบบระบุบุคคลแสดงดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) นำข้อมูลภาพมาลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบเพื่อเก็บเป็นแผ่นแบบลงฐานข้อมูลโดยผู้ใช้ที่ลงทะเบียนมีจำนวน 60 คน ข้อมูลภาพที่นำมาลงทะเบียนมีคนละ 3 ภาพ ดังนั้นในฐานข้อมูลจะมีแผ่นแบบทั้งหมด 180 แผ่นแบบโดยขนาดของแผ่นแบบจะมีจำนวนค่าขึ้นอยู่กับองศาการตัดม่านตา ความกว้างของม่านตาในแนวรัศมีและขนาดของหน้าต่างที่ใช้ในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเท่ากันแบบท้องถิ่น

2) นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ภาพของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบ 60 คนมาเปรียบเทียบกับแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบทั้งหมดจะเท่ากับ  $60 \times 4 \times 60 \times 3$  ครั้งหรือเท่ากับ 43200 ครั้ง ในการตัดสินใจของระบบใช้คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของแต่ละภาพทดสอบเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบของผู้ใช้นั้นและระบบจะระบุว่าเป็นบุคคลใดแล้วเก็บคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและบุคคลที่ระบบตัดสินใจลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียน

3) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ภาพของผู้บุกรุกระบบ 48 คนมาเปรียบเทียบกับแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นจำนวนครั้งในการเปรียบเทียบทั้งหมดจะเท่ากับ  $48 \times 7 \times 60 \times 3$  ครั้งหรือเท่ากับ 60480 ครั้ง คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของแต่ละภาพทดสอบจะถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบของผู้ทดสอบระบบและระบบจะระบุว่าเป็นบุคคลใดแล้วเก็บคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและบุคคลที่ระบบตัดสินใจลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก

4) หาค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและมากที่สุดของตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนและตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกเพื่อกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้กับระบบ โดยเริ่มต้นจากค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุด

5) นำค่าขีดแบ่งที่กำหนดมาหาค่า FRR และ FAR โดยตัดสินใจจากค่าคะแนนการเปรียบเทียบในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนและตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก ค่า FRR ได้จากการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของแต่ละภาพทดสอบมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด ซึ่งก็คือระบบปฏิเสธผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบ ส่วนค่า FAR ได้จาก 2 กรณี คือจากการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดและระบบระบุเป็นบุคคลผิด และกรณีที่สองคือจากการนับจำนวนบุคคลในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกที่มีค่า

คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดซึ่งเป็นการรับผู้บุกรุกเข้าระบบ

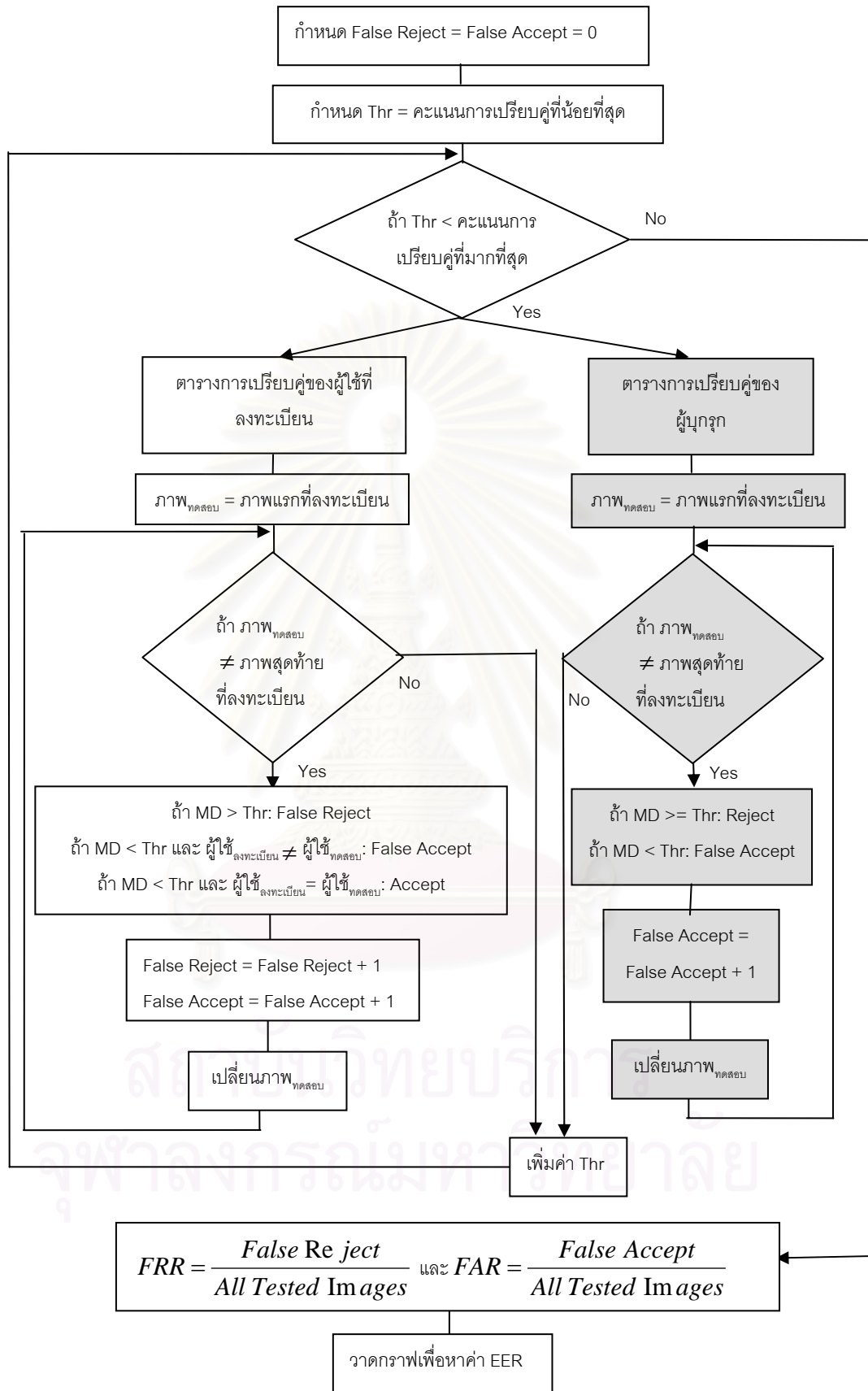
6) กำหนดค่าขีดแบ่งให้มีค่ามากขึ้น ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าของค่าขีดแบ่งทั้งหมดเป็น 1000 ค่าแล้วคำนวณหาค่า FRR และ FAR ของแต่ละค่าขีดแบ่งที่กำหนดตามขั้นตอนที่ 5 เพิ่มค่าขีดแบ่งจนมีค่าเท่ากับค่าคะแนนการเปรียบเทียบที่มากที่สุด

7) นำค่า FRR และ FAR ที่ได้จากการปรับค่าขีดแบ่งมาสร้างกราฟเพื่อหาค่า EER ซึ่งเป็นตำแหน่งที่กราฟของ FRR และ FAR ตัดกัน

8) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มจากการสุ่มผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบและผู้บุกรุกและสุ่มภาพทดสอบของผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบ และทำตามขั้นตอนที่ 1-7 อีก 2 ครั้งเพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่า EER ให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการหาคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและมากที่สุดของระบบระบุบุคคล



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้ม่านตาด้วยวิธีการแปลงเรดอน โดยได้นำเสนอวิธีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาซึ่งเป็นขั้นตอนแรกที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำของการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคล ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของวิธีการตรวจหาตำแหน่งของม่านตาไว้เป็นอันดับแรก

จากข้อสังเกตในเบื้องต้นที่ว่าเปลือกตาและขนตาน่าจะมีผลต่อความถูกต้องของการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคล ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงวัดความทนทานต่อการบิดเบ่งของเปลือกตาของวิธีการระบุบุคคลโดยใช้การแปลงเรดอนเป็นพีเจอร์ของม่านตา รวมทั้งทำการทดลองหาบริเวณและขนาดของม่านตาที่เหมาะสมกับวิธีการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลที่ใช้การแปลงเรดอนเป็นพีเจอร์ของม่านตาด้วย

นอกจากนี้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการระบุบุคคลที่ใช้พีเจอร์อื่น งานวิจัยนี้เลือกที่จะเปรียบเทียบกับวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นพีเจอร์ [24] ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการทั้งสองนี้สามารถเปรียบเทียบกันได้เพราะมีความคล้ายคลึงกันหลายประการ กล่าวคือ มีการหาพีเจอร์จากการตัดบริเวณม่านตาที่คล้ายกัน ใช้วิธีการเดียวกันในการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน มีการเสริมแต่งภาพโดยการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกัน และการทดสอบทำกับภาพจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17] เช่นเดียวกัน

โปรแกรมต้นแบบที่ใช้ในการทดลองพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 และได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Pentium4 ความเร็ว 1.8 GHz หน่วยความจำ 1 GB ในการประมวลผล ซึ่งในบทนี้จะแสดงถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อการทำแผนแบบของม่านตาไว้ด้วย

#### 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ข้อมูลภาพดวงตาที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นภาพจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17] ซึ่งเป็นภาพระดับเทา 8 บิตขนาด 320x240 จุดภาพ ภาพมีจำนวน 108 ชุด ๆ ละ 1 คน โดยเก็บภาพจากดวงตาข้างเดียวกันคนละ 7 ภาพรวมทั้งสิ้น 756 ภาพ ในการทดลอง ชุดข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยการสุ่ม ส่วนแรกจำนวน 60 คนเพื่อกำหนดเป็นผู้ใช้จริงที่ลงทะเบียนกับระบบและส่วนที่สองจำนวน 48 คนเพื่อกำหนดเป็นผู้บุกรุกระบบ จากนั้นนำข้อมูลภาพของผู้ใช้จริงจำนวน 60 คน คนละ 3 ภาพมาลงทะเบียนกับระบบเพื่อสกัดพีเจอร์แล้วเก็บแผนแบบไว้

ในฐานะข้อมูล ส่วนข้อมูลภาพอีก 4 ภาพที่เหลือของผู้ใช้จริงจำนวน 60 คนจะถูกนำไปใช้ในการทดสอบระบบ สำหรับข้อมูลภาพของผู้บุกรุกจำนวน 48 คน ๆ ละ 7 ภาพถูกใช้ในการทดสอบระบบซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองระบบการทวนสอบบุคคลและระบบการระบุบุคคลเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน

ภาพดวงตาจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 เป็นภาพดวงตาของคนเอเชียซึ่งจะมีขนาดเล็ก ทำให้ภาพถ่ายมีเปลือกตาและขนตาปิดบังลายม่านตา และเห็นลายม่านตาไม่ครบ จากการสังเกตภาพดวงตาในฐานะข้อมูล ประมาณได้ว่าภาพดวงตาที่เห็นลายม่านตาได้ครบทั้งวงโดยไม่มีเปลือกตาบังมีประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์และภาพดวงตาที่มีเปลือกตาบังมีประมาณ 84 เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 4.1 (ก) แต่เมื่อสังเกตบริเวณม่านตาที่ตัดส่วนภายใน -45 องศาถึง 45 องศา และ 135 องศาถึง 225 องศาพบว่า ภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบังมีประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์และภาพดวงตาที่มีเปลือกตาบังมีประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 4.1(ข) ทำให้งานวิจัยนี้เลือกที่จะใช้ภาพลายม่านตาในบริเวณด้านข้างของดวงตาเพื่อหลีกเลี่ยงเปลือกตา



(ก) ภาพดวงตาในฐานะข้อมูลที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาบังม่านตา

(ข) ภาพดวงตาในฐานะข้อมูลเมื่อตัดภาพในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาบังม่านตา

รูปที่ 4.1 อัตราส่วนภาพที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาบังม่านตาในฐานะข้อมูล CASIA [17]

#### 4.2 การวัดประสิทธิภาพของวิธีการตรวจหาตำแหน่งม่านตา

การหาประสิทธิภาพของการตรวจหาตำแหน่งม่านตามีผลกับประสิทธิภาพของระบบโดยรวม เนื่องจากการหาบริเวณม่านตาผิดพลาดจะทำให้ได้พีเจอร์ชของลายม่านตาที่ไม่ถูกต้องติดไปด้วย

#### 4.2.1 การทดลอง

การตรวจหาตำแหน่งม่านตาประกอบด้วยการตรวจหาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตา โดยการวัดผลการหาตำแหน่งของรูม่านตาและตำแหน่งของม่านตามาเปรียบเทียบกับตำแหน่งของรูม่านตาและตำแหน่งของม่านตาที่แบ่งส่วนด้วยมือไว้ก่อนหน้า ภาพที่หาตำแหน่งม่านตาที่ถูกต้องจะต้องมีจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและจุดศูนย์กลางของม่านตาคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 10 จุดภาพ และต้องมีรัศมีของรูม่านตาและม่านตาคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 จุดภาพ

#### 4.2.2 ผลการทดลอง

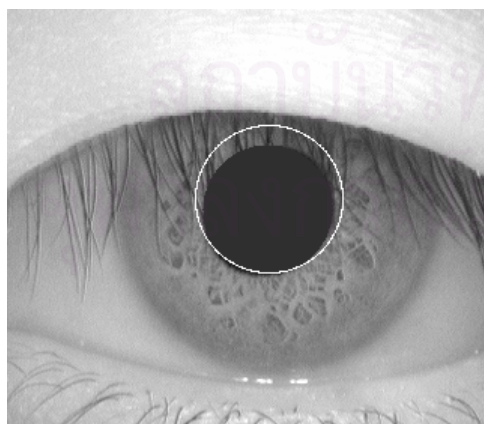
ผลลัพธ์ในการหาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตาแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การตรวจหาตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตา

การตรวจหาตำแหน่ง	จำนวนภาพ (ภาพ)	จำนวนภาพที่หาตำแหน่งได้ผิดพลาด	ความผิดพลาด (%)
รูม่านตา	756	1	0.13
ม่านตา	756	47	6.217

#### 4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อนำภาพที่ผ่านการตรวจหาตำแหน่งรูม่านตาแสดงดังรูปที่ 4.2(ก) ซึ่งมีความผิดพลาดมาวิเคราะห์พบว่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อภาพผ่านการแปลงเป็นภาพลักษณะฐานสองแล้ว ภาพที่ได้มีขนตาเหลืออยู่แสดงดังรูปที่ 4.2(ข) เมื่อหาภาพเงาการฉาย ค่าของภาพเงาการฉายจะมีส่วนของขนตาติดไปด้วย ทำให้การหาตำแหน่งรูม่านตามีความผิดพลาด



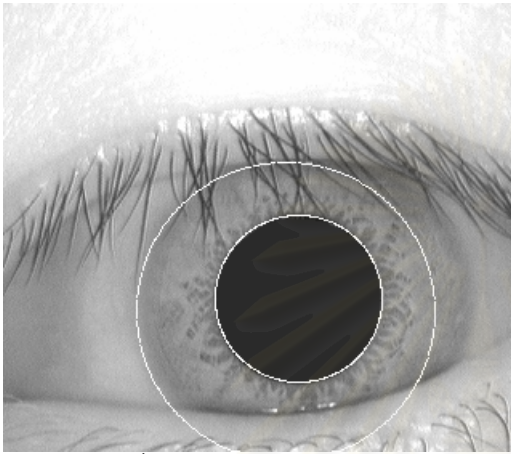
(ก) ผลลัพธ์การหาตำแหน่งรูม่านตา



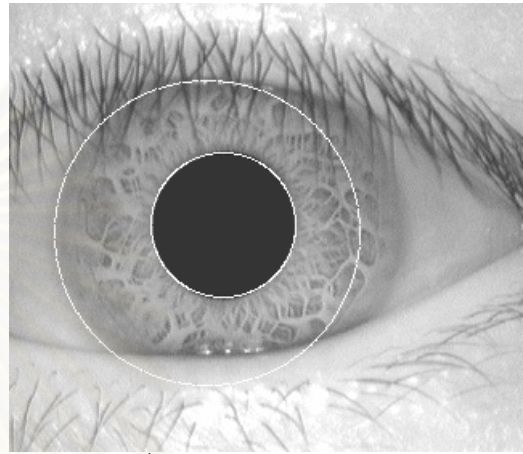
(ข) ภาพดวงตาที่ผ่านการหาค่าขีดแบ่ง

รูปที่ 4.2 ผลการหาตำแหน่งรูม่านตาผิดพลาด

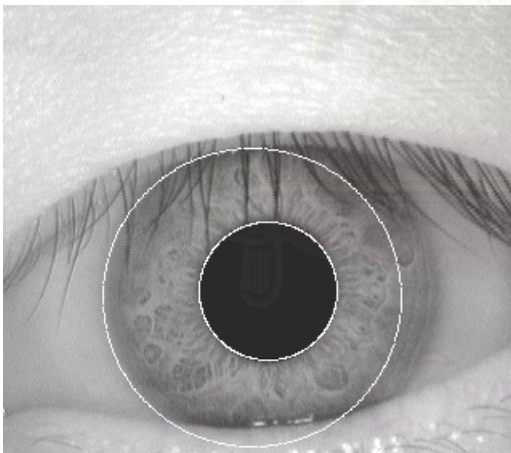
เมื่อพิจารณาภาพดวงตาที่มีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3 พบว่าภาพดวงตาเหล่านี้มีลายม่านตาชัดเจน หลังจากผ่านขั้นตอนการหาขอบภาพด้วยตัวดำเนินการแคนนี่ แล้วได้ขอบภาพบริเวณลายม่านตาจำนวนมาก เมื่อนำไปทำการแปลงฮัฟแบบวงกลม ขอบของลายม่านตาซึ่งถูกนำไปคำนวณด้วย จึงมีผลให้การตรวจหาขอบนอกของม่านตาผิดพลาดได้



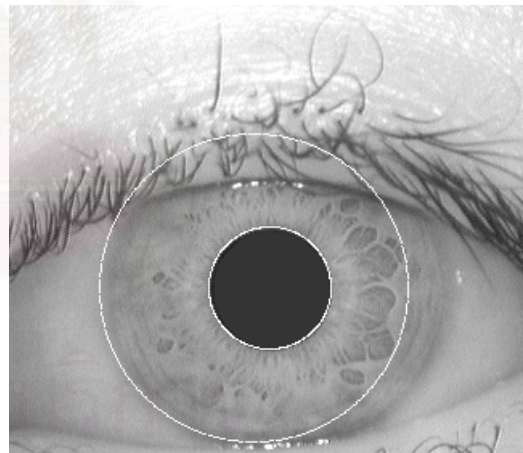
(ก) ภาพที่มีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดด้านขวา



(ข) ภาพที่มีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดด้านขวา



(ค) ภาพที่มีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดด้านขวา



(ง) ภาพที่มีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดด้านขวา

รูปที่ 4.3 ผลการหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาด

#### 4.3 การวัดความทนทานของวิธีการแปลงเรดอนต่อเปลือกตา

ภาพดวงตาในฐานข้อมูลอาจมีสิ่งรบกวนลายม่านตาเช่น เปลือกตา และขนตามากน้อยแตกต่างกันในแต่ละภาพซึ่งขึ้นอยู่กับดวงตาของแต่ละบุคคล เมื่อภาพผ่านขั้นตอนการสกัด



พีเจอาร์เพื่อสร้างแผ่นแบบ แผ่นแบบที่ได้นั้นอาจมีสิ่งรบกวนเหล่านี้ปะปนในปริมาณต่างกันซึ่งมีผลกับความถูกต้องของระบบ หัวข้อนี้จึงทำการทดสอบความทนทานของขั้นตอนวิธีการสกัดพีเจอาร์ซึ่งใช้วิธีการแปลงเรดอน ในการทดสอบความทนทานของวิธีการแปลงเรดอนสำหรับระบบระบุบุคคลทำได้โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบระหว่างฐานข้อมูลที่มีภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตาและฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างภาพดวงตาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตา ในหัวข้อนี้ทดสอบเฉพาะการระบุบุคคลเนื่องจากประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคลและระบบระบุบุคคลน่าจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

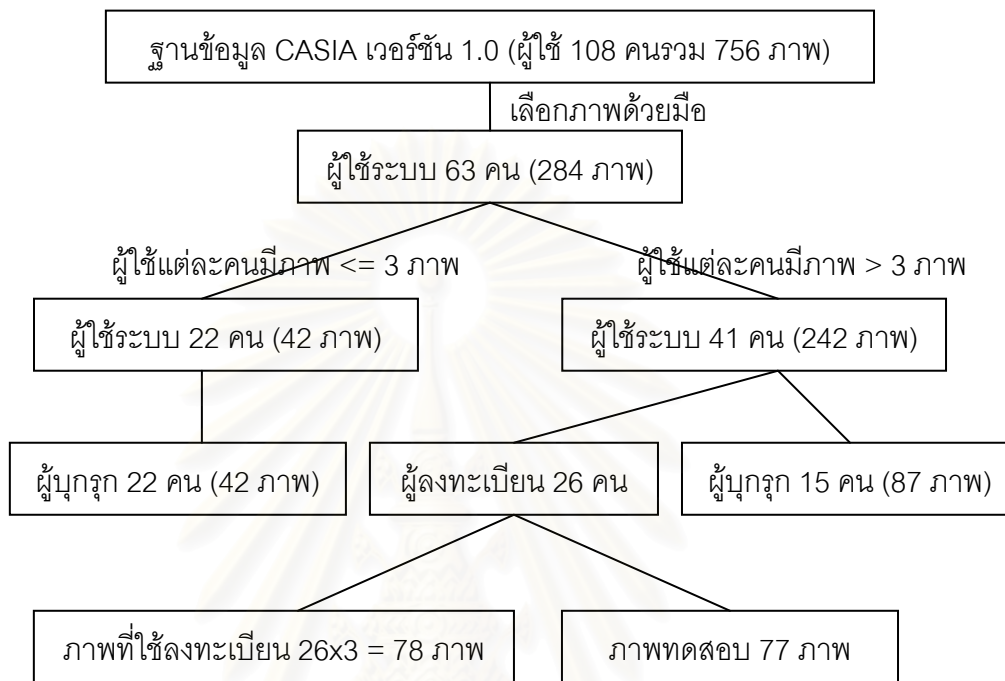
#### 4.3.1 การทดลอง

การสร้างฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตา และฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างภาพที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล ทำได้ดังนี้

1. ฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตา คือ ภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและเปลือกตาล่างปิดบังลายม่านตาในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาซึ่งเลือกด้วยมือ จากภาพดวงตาทั้งหมด 756 ภาพของผู้ใช้ทั้งหมด 108 คนคนละ 7 ภาพ ผลของการคัดเลือกได้ภาพที่ไม่มีเปลือกตาบนและเปลือกตาล่างปิดบังลายม่านตาจำนวน 284 ภาพจากผู้ใช้จำนวน 63 คน แต่ละคนมีจำนวนภาพไม่เท่ากันเนื่องจากภาพดวงตาของบุคคลเดียวกันมีปริมาณเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตาไม่เท่ากัน ผู้ใช้ที่มีจำนวนภาพเหลือมากกว่า 3 ภาพมีจำนวน 41 คน (242 ภาพ) ซึ่งในการทดสอบระบบจะแบ่งเป็นผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบและผู้บุกรุกระบบ และผู้ใช้ที่มีจำนวนภาพน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ภาพมีจำนวน 22 คน (42 ภาพ) จะถูกกำหนดให้เป็นผู้บุกรุกระบบ เมื่อเลือกภาพดวงตาด้วยมือแล้วได้ทำการทดลองโดยแบ่งผู้ใช้จำนวน 41 คนเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นผู้ลงทะเบียนกับระบบจำนวน 26 คนลงทะเบียนคนละ 3 ภาพรวมเป็นจำนวน 78 ภาพ ส่วนที่สองเป็นผู้บุกรุกระบบจำนวน 15 คนที่เหลือจำนวนทั้งสิ้น 87 ภาพเพื่อนำมาทดสอบระบบ ดังนั้นภาพที่ใช้ทดสอบระบบทั้งหมดมีจำนวน 206 ภาพซึ่งประกอบด้วยภาพที่ไม่ใช้ลงทะเบียนของผู้ลงทะเบียนจำนวน 77 ภาพและภาพของผู้บุกรุกระบบจำนวน 129 ภาพ แผนผังฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตาแสดงดังรูปที่ 4.4

เมื่อเลือกภาพดวงตาด้วยมือแล้วนำภาพดวงตามาประมวลผลภาพเบื้องต้นโดยเลือกบริเวณม่านตาในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาและความกว้างม่านตาในแนวรัศมีเท่ากับ 100 เพลอร์เซ็นต์แล้วแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว จากนั้นเสริมแต่งภาพโดย

กำหนดขนาดหน้าตาต่างที่ใช้ในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถื่นมีค่าเท่ากับ  $35 \times 35$  จุดภาพและใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งผลหารปรับตัวเพื่อแปลงภาพเป็นภาพลักษณะฐานสองโดยกำหนดให้ผลหารระหว่างพื้นหน้าและพื้นหลังเท่ากับ 2 ต่อ 1 และสกัดพีเจอร์ด้วยวิธีการแปลงเรดอนแล้วนำแผ่นแบบที่ได้เก็บลงฐานข้อมูลหรือนำไปทดสอบระบบ



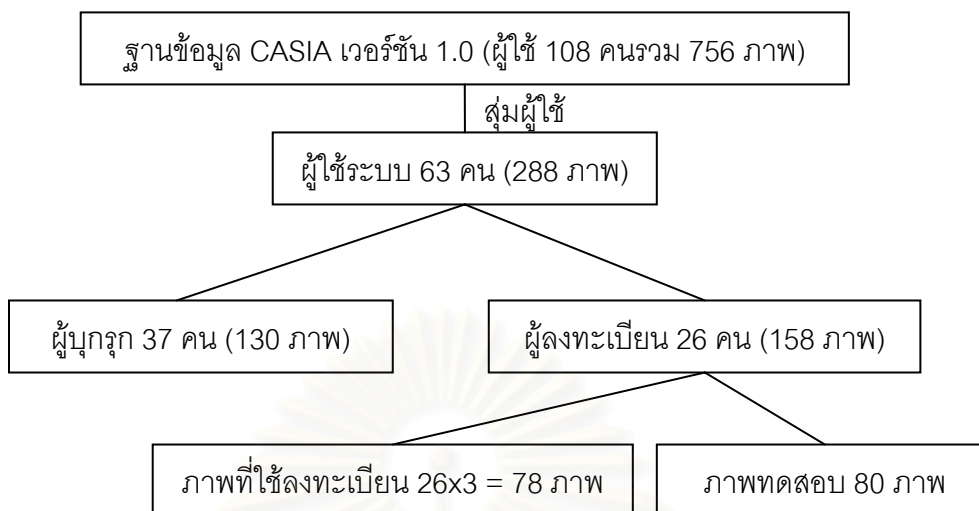
รูปที่ 4.4 แผนผังฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตา

2. ฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างภาพดวงตาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาได้จากการสุ่มผู้ใช้ในฐานข้อมูลจำนวน 63 คนจากทั้งหมด 108 คน กำหนดให้เป็นผู้ลงทะเบียนกับระบบจำนวน 26 คนรวม 158 ภาพและผู้บุกรุกระบบจำนวน 37 คนรวม 130 ภาพ ผู้ลงทะเบียนกับระบบและผู้บุกรุกระบบแต่ละคนมีจำนวนภาพไม่เท่ากัน ภาพของผู้ลงทะเบียนกับระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือภาพที่ใช้ลงทะเบียนคนละ 3 ภาพเป็นจำนวน 78 ภาพและภาพที่ใช้สำหรับทดสอบระบบมีจำนวน 80 ภาพ แผนผังฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างภาพดวงตาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาแสดงดังรูปที่ 4.5

เมื่อได้ฐานข้อมูลภาพสำหรับลงทะเบียนและทดสอบระบบแล้ว จากนั้นนำภาพดวงตามาประมวลผลภาพเบื้องต้นโดยขั้นตอนวิธีและการกำหนดค่าต่าง ๆ เหมือนกับฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและเปลือกตาล่างปิดบังลายม่านตาและสกัดพีเจอร์โดยใช้วิธีการแปลงเรดอนเมื่อได้แผ่นแบบแล้วนำไปเก็บในฐานข้อมูลหรือนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นแบบที่อยู่ในฐานข้อมูล



เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 4.5 แผนผังฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างภาพที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตา  
ปิดบังลายม่านตา

#### 4.3.2 ผลการทดลอง

ผลลัพธ์จากการทดลองหาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบระบุบุคคลจากฐานข้อมูลภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตาและฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างภาพดวงตาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาโดยการสุ่มผู้ใช้งานจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการเปรียบเทียบแบบใช้ฟังก์ชันระยะทาง 3 ชนิด ได้แก่ ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน และฟังก์ชันระยะทาง S1 ได้ผลดังตารางที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่า EER โดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ของระบบระบุบุคคล

ครั้งที่	ค่า EER (%) โดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์	
	ภาพจากฐานข้อมูลที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตา	ภาพจากฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างมีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตา
1.	1.700	3.809
2.	2.427	3.333
3.	2.427	4.286
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	2.185 $\pm$ 0.419	3.809 $\pm$ 0.477

ตารางที่ 4.3 ค่า EER โดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนของระบบระบุบุคคล

ครั้งที่	ค่า EER (%) โดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน	
	ภาพจากฐานข้อมูลที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตา	ภาพจากฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างมีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตา
1.	1.941	3.809
2.	2.913	3.809
3.	2.427	4.286
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	$2.427 \pm 0.486$	$3.968 \pm 0.275$

ตารางที่ 4.4 ค่า EER โดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 ของระบบระบุบุคคล

ครั้งที่	ค่า EER (%) โดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1	
	ภาพจากฐานข้อมูลที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตา	ภาพจากฐานข้อมูลที่คละกันระหว่างมีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตา
1.	0.485	3.809
2.	1.456	2.857
3.	1.942	4.000
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	$1.294 \pm 0.742$	$3.556 \pm 0.612$

#### 4.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองนี้ เมื่อเปรียบเทียบระบบด้วยฟังก์ชันระยะทาง 3 ชนิดพบว่าฟังก์ชันระยะทาง S1 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับระบบระบุบุคคลโดยมีค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ  $1.294 \pm 0.742$  % จากฐานข้อมูลที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตาและมีค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ  $3.556 \pm 0.612$  % จากฐานข้อมูลที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตา

เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองแล้วพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันจากฐานข้อมูลที่ไม่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตาและฐานข้อมูลที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาคละกันที่ได้จากฟังก์ชันระยะทาง 3 แบบมีความแตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าเปลือกตา

และชนตามีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง แต่ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันไม่แตกต่างกันมากนักแสดงให้เห็นว่าวิธีการแปลงเรดอนมีความทนทานต่อเปลือกตาได้

#### 4.4 การตัดม่านตาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงเรดอน

จากหัวข้อ 4.3 ที่ผ่านมาเห็นได้ว่า ภาพดวงตาที่มีเปลือกตาบนและล่างปิดบังลายม่านตานั้นเมื่อนำไปสกัดพีเจอร์แล้วทำให้มีพีเจอร์ของเปลือกตาบางส่วนปะปนอยู่ในแผนแบบด้วย ทำให้ผลของระบบการระบุบุคคลมีความผิดพลาด ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการเลือกบริเวณม่านตาเพียงบางส่วนเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งรบกวนเหล่านี้โดยการหาบริเวณลายม่านตาที่มุมการตัดและความกว้างของม่านตาที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงเรดอน นอกจากนี้ยังเป็นการลดขนาดแผนแบบที่เก็บในฐานข้อมูลอีกด้วย

##### 4.4.1 การทดลอง

ในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองกับทั้งระบบการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคล โดยปัจจัยที่มีผลกับประสิทธิภาพของระบบมี 4 ปัจจัยหลัก คือ มุมการตัดลายม่านตา ความกว้างของม่านตาในแนวรัศมี ขนาดของหน้าต่างในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่น และฟังก์ชันระยะทางที่ใช้เปรียบคู่แผนแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. มุมการตัดของลายม่านตา ในการทดลองหามุมการตัดม่านตาทำได้โดยการทดลองตัดภาพดวงตาในแนว 30 องศา (กล่าวคือ ตัดภาพม่านตาระหว่าง -30 องศาถึง 30 องศาและ 150 องศาถึง 210 องศา) 35 องศา (ตัดภาพที่ -35 องศาถึง 35 องศาและ 145 องศาถึง 215 องศา) 40 องศา (ตัดภาพที่ -40 องศาถึง 40 องศาและ 140 องศาถึง 220 องศา) 45 องศา (ตัดภาพที่ -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศา) และมุมสุดท้าย คือ 50 องศา (ตัดภาพที่ -50 องศาถึง 50 องศาและ 130 องศาถึง 230 องศา) เมื่อกำหนดให้จุดศูนย์กลางของรูม่านตาเป็นจุดอ้างอิงการตัด การเลือกตัดภาพม่านตาบริเวณด้านข้างเนื่องจากบริเวณด้านบนและล่างมีเปลือกตาและขนตาปิดบังของลายม่านตา

2. ความกว้างของม่านตาในแนวรัศมี การทดลองทำได้โดยทดลองตัดภาพในแนวรัศมีซึ่งวัดเป็นความกว้างของม่านตา 60 70 80 90 และ 100 เพอร์เซ็นต์โดยลดบริเวณขอบนอกของม่านตา เนื่องจากลายม่านตามีรายละเอียดบริเวณใกล้กับรูม่านตามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป

3. ขนาดของหน้าต่างในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่น เมื่อกำหนดบริเวณม่านตาที่สนใจแล้วจากนั้นทำการประมวลผลภาพเบื้องต้นโดยการทำการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นโดยกำหนดขนาดหน้าต่างต่าง 2 แบบ คือ ขนาดหน้าต่างเท่ากับ  $35 \times$

35 จุดภาพเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างขนาดม่านตาต่าง ๆ กันได้ และขนาดหน้าต่างเท่ากับ 1 ใน 3 ของภาพม่านตา ซึ่งขนาดหน้าต่าง 35 x 35 จุดภาพได้จากการทดลองหาขนาดหน้าต่างที่เหมาะสมกับภาพม่านตาที่ตัดภาพในแนว 45 องศาและความกว้างม่านตาในแนวรัศมี 100 เฟอร์เซ็นต์ซึ่งมีขนาดภาพด้านขวาและซ้ายของม่านตาเท่ากับ 128 x 100 จุดภาพ ซึ่งเมื่อสังเกตแล้วจะพบว่า 35 จุดภาพมีค่าประมาณเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตาที่ตัด ดังนั้นจึงทำการทดลองเลือกขนาดหน้าต่างเท่ากับ 1 ใน 3 ของภาพม่านตา เนื่องจากขนาดหน้าต่างที่ใช้ในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นควรขึ้นอยู่กับขนาดของภาพม่านตาที่ตัดด้วย จากนั้นแปลงเป็นภาพลักษณะพื้นฐานสองโดยใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งผลหารปรับตัวที่กำหนดให้ผลหารระหว่างพื้นหน้าและพื้นหลังเท่ากับ 2:1 [16]

4. ฟังก์ชันระยะทางที่ใช้หาคะแนนการเปรียบเทียบคู่ในการเปรียบเทียบคู่แผนแบบ โดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง 3 ชนิดคือ ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน และฟังก์ชันระยะทาง S1

ขนาดของแผนแบบของภาพลายม่านตาเมื่อผ่านการตัดในมุม ความกว้างม่านตาและปรับขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นตามที่กำหนดแสดงในภาคผนวก ก

#### 4.4.2 ผลการทดลอง

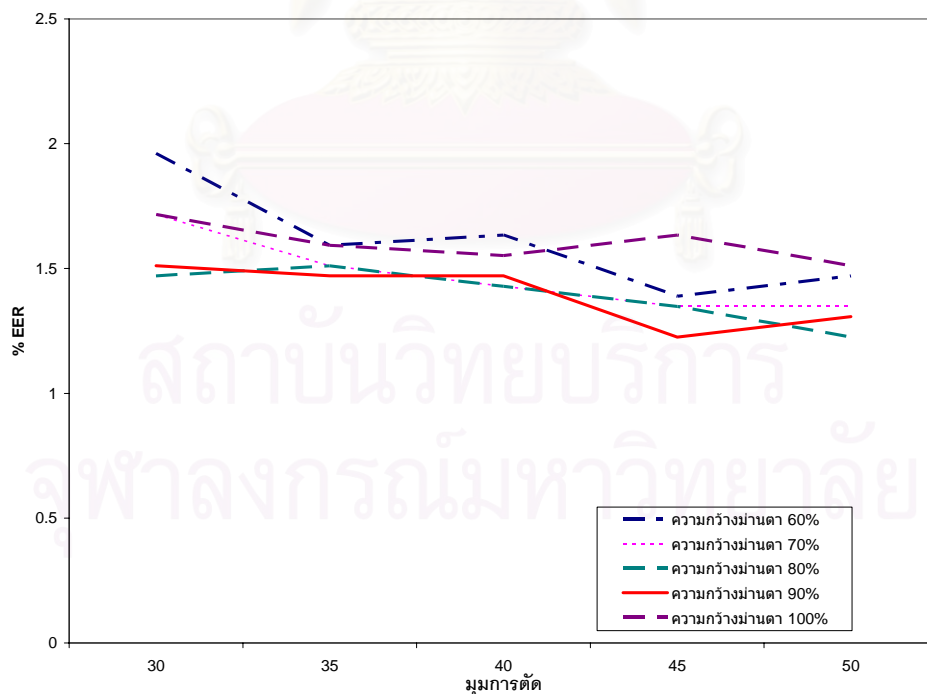
ผลการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ผลการทดลองของระบบทวนสอบบุคคลและของระบบระบบบุคคล ซึ่งมีผลดังนี้

##### 1. ผลการทดลองของระบบทวนสอบบุคคล

ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นโดยหาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบทวนสอบบุคคลซึ่งใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนและฟังก์ชันระยะทาง S1 ในการเปรียบเทียบคู่แผนแบบโดยการสุ่มผู้ใช้จำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ผลดังตารางที่ 4.5 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยกราฟที่แสดงโดยเส้นทึบเป็นผลที่ดีที่สุด ผลการทดลองของระบบทวนสอบบุคคลเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35x35 จุดภาพและขนาด 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตาแสดงอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.5 ค่า EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์

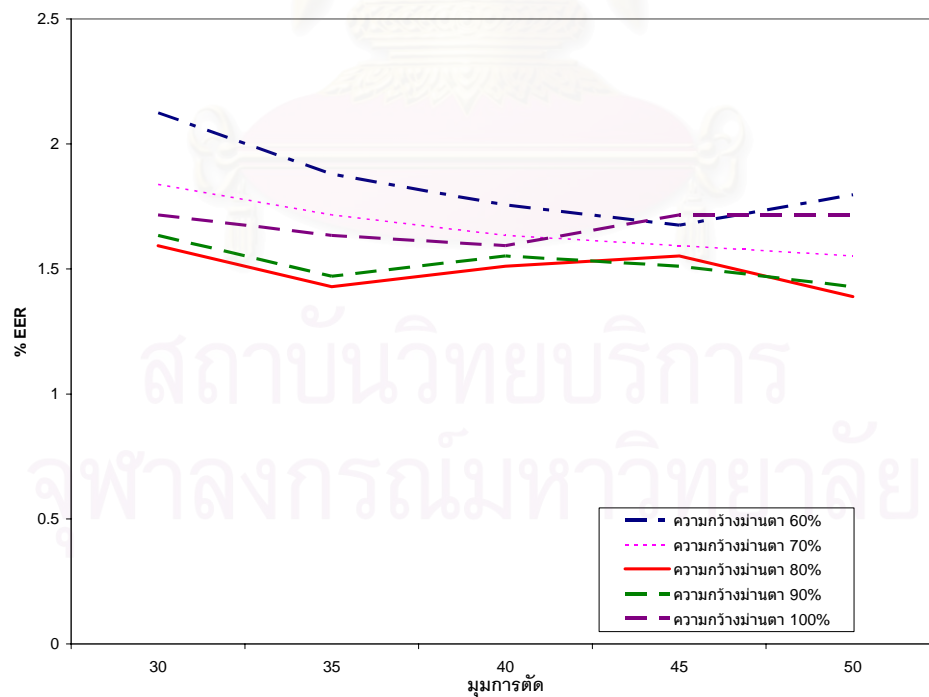
องศา ความกว้างม่านตา(%)	30	35	40	45	50
60	1.961 ± 0.368	1.593 ± 0.368	1.634 ± 0.187	1.389 ± 0.142	1.471 ± 0.324
70	1.716 ± 0.425	1.511 ± 0.255	1.429 ± 0.187	1.348 ± 0.212	1.348 ± 0.212
80	1.471 ± 0.442	1.511 ± 0.394	1.429 ± 0.374	1.348 ± 0.122	1.226 ± 0
90	1.511 ± 0.308	1.471 ± 0.324	1.471 ± 0.212	<b>1.225</b> ± <b>0.123</b>	1.307 ± 0.071
100	1.716 ± 0.368	1.593 ± 0.324	1.552 ± 0.187	1.634 ± 0.187	1.511 ± 0.187



รูปที่ 4.6 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์

ตารางที่ 4.6 ค่า EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน

องศา ความกว้างมุมตา(%)	30	35	40	45	50
60	2.124 ± 0.283	1.879 ± 0.142	1.756 ± 0.187	1.675 ± 0.354	1.797 ± 0.308
70	1.838 ± 0.442	1.716 ± 0.368	1.634 ± 0.430	1.593 ± 0.368	1.552 ± 0.308
80	1.593 ± 0.424	1.429 ± 0.308	1.511 ± 0.495	1.552 ± 0.071	<b><u>1.389</u></b> ± <b><u>0.255</u></b>
90	1.634 ± 0.510	1.471 ± 0.368	1.552 ± 0.308	1.511 ± 0.187	1.429 ± 0.142
100	1.716 ± 0.442	1.634 ± 0.308	1.593 ± 0.245	1.716 ± 0.425	1.716 ± 0.324

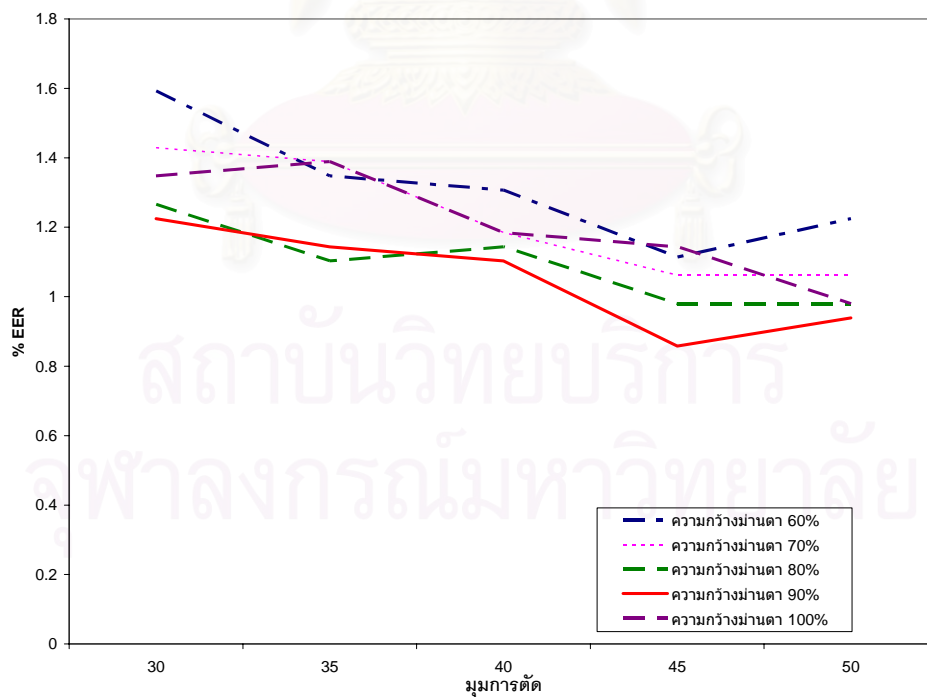


รูปที่ 4.7 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน



ตารางที่ 4.7 ค่า EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1

องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	1.593 ± 0.212	1.348 ± 0.324	1.307 ± 0.308	1.114 ± 0.204	1.225 ± 0.123
70	1.429 ± 0.255	1.389 ± 0.283	1.185 ± 0.071	1.062 ± 0.142	1.062 ± 0.142
80	1.266 ± 0.430	1.103 ± 0.123	1.144 ± 0.071	0.980 ± 0.212	0.939 ± 0.187
90	1.225 ± 0.245	1.144 ± 0.142	1.103 ± 0.123	<b><u>0.858</u></b> ± <b><u>0.123</u></b>	0.899 ± 0.071
100	1.348 ± 0.212	1.389 ± 0.071	1.185 ± 0.142	1.144 ± 0.308	0.980 ± 0.123



รูปที่ 4.8 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1

จากการทดลองนี้พบว่า ฟังก์ชันระยะทาง S1 ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเมื่อกำหนดขนาดม่านตาในมุม 45 องศา ความกว้างของม่านตาเท่ากับ 90 เฟอร์เซนต์ และกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ  $31 \times 31$  จุดภาพ ซึ่งมีค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ  $0.858 \pm 0.123$  เฟอร์เซนต์ แผ่นแบบที่ได้มีจำนวน  $114 \times 20$  ค่าหรือมีขนาดเท่ากับ 6,840 ไบต์

## 2. ผลการทดลองของระบบระบุบุคคล

ผลลัพธ์จากการทดลองหาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ดีที่สุดเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนและฟังก์ชันระยะทาง S1 ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบโดยการสุ่มผู้ใช้จำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ผลดังตารางที่ 4.8 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ และแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ โดยกราฟที่แสดงโดยเส้นทึบเป็นผลที่ดีที่สุด โดยผลการทดลองของระบบระบุบุคคลเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นแสดงอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

จากการทดลองนี้พบว่า ฟังก์ชันระยะทาง S1 ให้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันดีที่สุดเท่ากับ  $2.257 \pm 0.301$  เฟอร์เซนต์เมื่อกำหนดขนาดม่านตาในมุม 50 องศา ความกว้างของม่านตาเท่ากับ 90 เฟอร์เซนต์ และขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ  $35 \times 35$  จุดภาพ แผ่นแบบที่ได้มีขนาด  $119 \times 20$  ค่าหรือมีขนาด 7,140 ไบต์

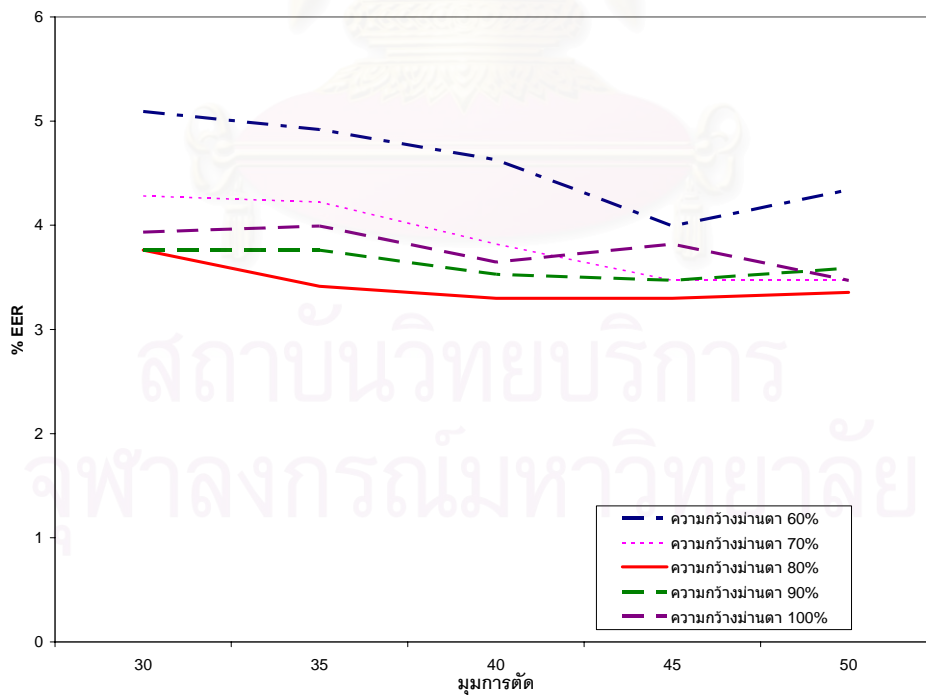
### 4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลกับประสิทธิภาพของระบบทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลที่ทำการทดลองในงานวิจัยนี้มี 4 ปัจจัย ซึ่งจากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์สำหรับทั้งระบบทวนสอบบุคคลและระบบระบุบุคคลได้ดังนี้

1. มุมการตัดม่านตา เมื่อกำหนดมุมการตัดม่านตาระหว่าง 45 ถึง 50 องศา จะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันมีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่จะมีความแตกต่างกันพอสมควรเมื่อกำหนดมุมการตัดระหว่าง 30 ถึง 40 องศา ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า มุมการตัดม่านตาที่เหมาะสมกับการแปลงเรดอนสำหรับพีเจอร์ระบบทวนสอบบุคคลและระบบระบุบุคคลควรกำหนดในแนวองศาระหว่าง 45 ถึง 50 องศา

ตารางที่ 4.8 ค่า EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์

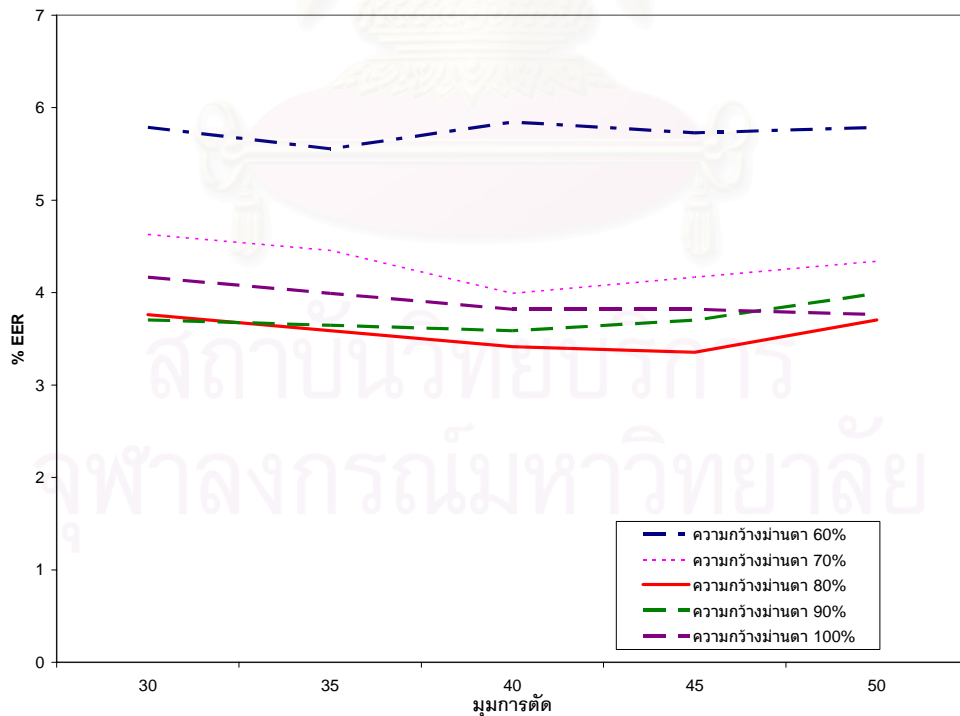
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	5.093 ± 0.530	4.919 ± 1.116	4.629 ± 0.820	3.993 ± 0.967	4.340 ± 0.796
70	4.282 ± 0.891	4.224 ± 0.361	3.819 ± 1.084	3.472 ± 0.757	3.472 ± 0.521
80	3.762 ± 0.856	3.414 ± 0.530	3.299 ± 0.459	<b><u>3.299</u></b> ± <b><u>0.694</u></b>	3.356 ± 0.609
90	3.762 ± 0.987	3.762 ± 0.702	3.530 ± 1.061	3.472 ± 0.919	3.588 ± 0.820
100	3.935 ± 0.657	3.993 ± 0.757	3.646 ± 0.919	3.819 ± 0.919	3.472 ± 0.902



รูปที่ 4.9 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์

ตารางที่ 4.9 ค่า EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิดีเนียน

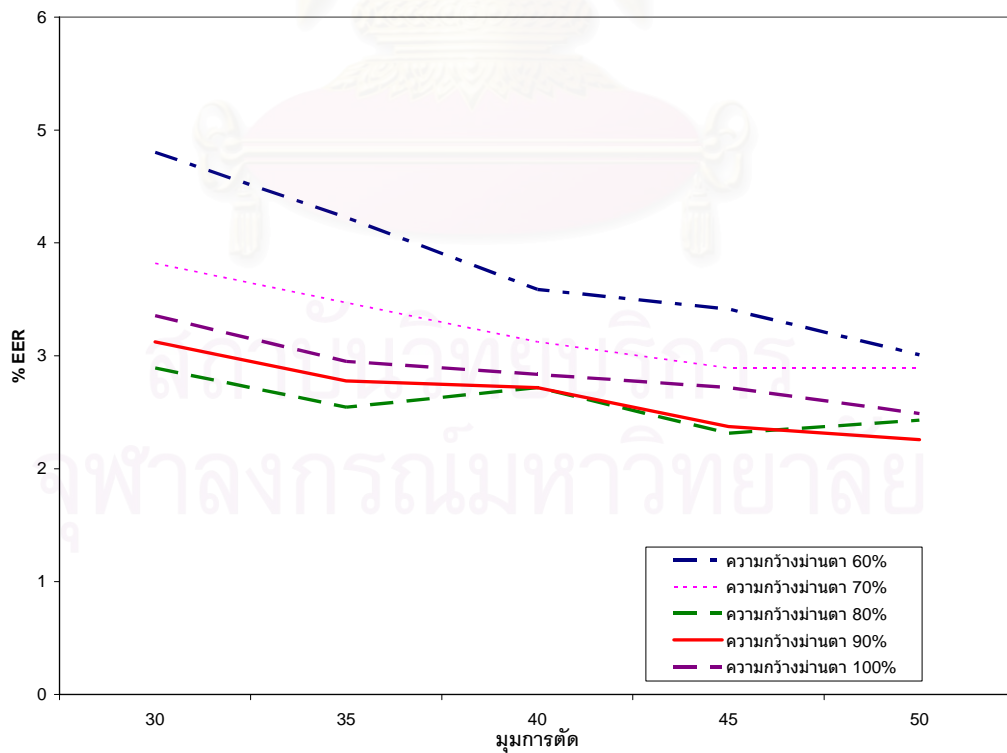
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	5.787 ± 0.702	5.555 ± 0.902	5.845 ± 1.061	5.729 ± 0.610	5.787 ± 0.657
70	4.629 ± 1.315	4.456 ± 0.856	3.993 ± 1.138	4.167 ± 0.694	4.340 ± 0.868
80	3.762 ± 0.856	3.588 ± 0.702	3.414 ± 0.437	<b><u>3.356</u></b> ± <b><u>0.657</u></b>	3.704 ± 0.609
90	3.704 ± 0.956	3.646 ± 0.796	3.588 ± 1.047	3.703 ± 0.891	3.993 ± 0.601
100	4.167 ± 0.757	3.819 ± 1.084	3.819 ± 0.919	3.819 ± 0.796	3.762 ± 0.802



รูปที่ 4.10 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิดีเนียน

ตารางที่ 4.10 ค่า EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1

องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	4.803 ± 0.723	4.225 ± 1.116	3.588 ± 0.702	3.414 ± 0.802	3.009 ± 0.702
70	3.819 ± 0.868	3.472 ± 0.694	3.125 ± 0.694	2.893 ± 0.723	2.893 ± 0.657
80	2.893 ± 0.437	2.546 ± 0.501	2.719 ± 0.723	2.315 ± 0.702	2.431 ± 0.46
90	3.125 ± 1.06	2.778 ± 0.46	2.719 ± 0.72	2.373 ± 0.72	<b><u>2.257</u></b> <b>± <u>0.301</u></b>
100	3.356 ± 0.558	2.951 ± 0.757	2.836 ± 0.723	2.719 ± 0.702	2.488 ± 0.702



รูปที่ 4.11 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1

2. ความกว้างม่านตาในแนวรัศมี เมื่อกำหนดความกว้างม่านตาในแนวรัศมีเท่ากับ 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันมีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่จะมีความแตกต่างกันพอสมควรเมื่อกำหนดความกว้างม่านตาเท่ากับ 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ความกว้างม่านตาที่เหมาะสมควรกำหนดในแนวองศาระหว่าง 80 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

3. ขนาดหน้าตาของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่น เมื่อทดลองกำหนดขนาดหน้าตาเท่ากับ  $35 \times 35$  จุดภาพและเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตาแล้วพบว่า ไม่สามารถระบุขนาดหน้าตาที่เหมาะสมสำหรับภาพการตัดภาพแต่ละขนาดได้ แต่ขนาดของหน้าตาของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นก็มีผลกับความถูกต้องของระบบ ดังนั้นควรหาขนาดหน้าตาของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นให้เหมาะสมกับขนาดภาพม่านตา

4. ฟังก์ชันระยะทางที่ใช้หาคะแนนการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันจากฟังก์ชันระยะทางทั้ง 3 แบบจะพบว่าฟังก์ชันระยะทาง S1 ให้ผลที่ดีที่สุด เนื่องจากฟังก์ชันระยะทาง S1 เป็นการหาอัตราส่วนความแตกต่างของพีเจอร์ซึ่งสามารถวัดความแตกต่างระหว่างพีเจอร์ได้ดีกว่าการหาผลต่างของพีเจอร์โดยตรง ซึ่งฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์และฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเป็นการหาความต่างของพีเจอร์แบบตรงไปตรงมา

อย่างไรก็ดี จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเปลี่ยนแปลงมุมการตัดและความกว้างของม่านตา

#### 4.5 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล

เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนเพื่อสร้างแผนแบบของผู้ใช้ 1 ภาพแสดงดังตารางที่ 4.11 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. การหาตำแหน่งม่านตาใช้เวลามากเนื่องจากวิธีการแปลงฮัฟแบบวงกลมเป็นการหาค่าที่มากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดในแถวลำดับตัวสะสม 3 มิติ

2. ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นใช้เวลามากเนื่องจากใช้การจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นในการเสริมแต่งภาพ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของหน้าตาที่ใช้ ถ้าหน้าตาที่กำหนดมีขนาดใหญ่ เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



ตารางที่ 4.11 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผ่นแบบของระบบการทวนสอบบุคคลและระบบการระบุบุคคล

ขั้นตอนการประมวลผล	เวลาที่ใช้ (วินาที)
การตรวจหารูม่านตา	0.220
การตรวจหาม่านตา	4.594
การเตรียมภาพก่อนประมวลผล	4.800
การสกัดพีเจอร์	0.135

#### 4.6 การเปรียบเทียบความถูกต้องของระบบระบุบุคคลที่ใช้การแปลงเรตอนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการสกัดพีเจอร์

หัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบระบุบุคคลที่ใช้ม่านตา 2 ระบบ เนื่องจากมีความคล้ายคลึงกันหลายส่วน คือ การเลือกบริเวณม่านตาที่คล้ายกัน ใช้วิธีในการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันเหมือนกัน ใช้วิธีการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกัน และทำการทดสอบกับภาพจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17] ระบบแรกเป็นวิธีการที่นำเสนอ คือ ใช้วิธีการแปลงเรตอนในการสกัดพีเจอร์ ส่วนระบบที่สองเป็นระบบที่ใช้ในงานวิจัย “การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและรูปแบบม่านตา” [24] ของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งกำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละบล็อกขนาด 24 x 24 จุดภาพเป็นพีเจอร์เพื่อเก็บเป็นแผ่นแบบ

##### 4.6.1 การทดลอง

ในการทดลองนี้ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบ 2 ระบบได้ถูกต้อง จึงมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ให้เท่ากับข้อมูลภาพในงานวิจัย [24] กล่าวคือ ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองนี้มีจำนวน 96 ชุด แต่ละคนมีข้อมูล 1 ชุด ๆ ละ 7 ภาพ จากนั้นแบ่งชุดข้อมูลภาพออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกกำหนดให้เป็นผู้ใช้จริงที่ลงทะเบียนกับระบบจำนวน 66 คนและกลุ่มที่สองกำหนดให้เป็นผู้บุกรุกระบบจำนวน 30 คน นำข้อมูลภาพของผู้ใช้จริงทั้ง 66 คนมาลงทะเบียนกับระบบคนละ 3 ภาพเพื่อสร้างแผ่นแบบเก็บลงฐานข้อมูล สำหรับข้อมูลภาพที่เหลือคือ ข้อมูลภาพจากผู้ใช้จริงจำนวน 66 คน ๆ ละ 4 ภาพและผู้บุกรุกจำนวน 30 คน ๆ ละ 7 ภาพ ถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบระบบ

เมื่อได้ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบระบบแล้วได้ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ

1. การทดสอบโดยกำหนดบริเวณม่านตาที่เลือกใช้บริเวณเดียวกันกับงานวิจัย [24] คือ

เลือกใช้ม่านตาในมุม 45 องศาและความกว้างของม่านตาในแนวรัศมี 100 เปอร์เซ็นต์โดยกำหนดขนาดหน้าต่างที่ใช้ในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ  $35 \times 35$  จุดภาพ และใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ

2. การทดสอบแบบที่สองเป็นการเลือกใช้วิธีที่ดีที่สุดสำหรับระบบระบุบุคคลที่ได้ผลมาจากผลการทดลองที่ผ่านมาในหัวข้อ 4.3 และ 4.4 คือการเลือกม่านตาในมุม 50 องศาและความกว้างของม่านตาในแนวรัศมี 90 เปอร์เซ็นต์โดยกำหนดขนาดหน้าต่างที่ใช้ในการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ  $35 \times 35$  จุดภาพและใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ

#### 4.6.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองการระบุบุคคลของการทดสอบแบบแรกโดยเปรียบเทียบระหว่างพีเจอร์ที่ได้จากการใช้การแปลงเรดอนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละบล็อกแสดงดังตารางที่ 4.12 และ การทดสอบแบบที่สองแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบระบบระบุบุคคลระหว่างพีเจอร์จากการแปลงเรดอนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพม่านตาที่ตัดในแนว 45 องศา ความกว้างม่านตา 100 เปอร์เซ็นต์

ครั้งที่	การแปลงเรดอนเป็นพีเจอร์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นพีเจอร์
1	3.376	9.080
2	2.954	7.990
3	4.219	8.680
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	$3.516 \pm 0.644$	$8.583 \pm 0.551$

ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบระบบระบุบุคคลระหว่างพีเจอร์จากการแปลงเรดอนของภาพม่านตาที่ตัดขนาดต่างกัน

ครั้งที่	แนว 50 องศา ความกว้าง 90%	แนว 45 องศา ความกว้าง 100%
1	2.954	3.376
2	2.321	2.954
3	2.321	4.219
ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD	$2.532 \pm 0.365$	$3.516 \pm 0.644$

#### 4.6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันจากตารางที่ 4.12 ซึ่งเลือกใช้ม่านตาบริเวณ 45 องศาและความกว้างของม่านตา 100 เปอร์เซ็นต์และใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ในการเปรียบเทียบคู่แผนแบบโดยเปรียบเทียบพีเจอร์ที่ได้จากการแปลงเรดอนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละบล็อกแล้วพบว่าวิธีการแปลงเรดอนให้ผลที่ดีกว่า

เมื่อพิจารณาค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันจากตารางที่ 4.13 ซึ่งลดขนาดม่านตาลงโดยเลือกบริเวณ 50 องศาและความกว้างของม่านตา 90 เปอร์เซ็นต์จะพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ได้จากการแปลงเรดอนมีความถูกต้องมากขึ้น

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการแปลงเรดอนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำไปใช้ในการสกัดพีเจอร์จากลายม่านตาเนื่องจากวิธีการแปลงเรดอนมีคุณสมบัติการเลือน การหมุนและขนาดไม่เปลี่ยนแปลง การคำนวณไม่ซับซ้อนและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยของการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยระบบชีวมาตรที่ใช้แบบรูปม่านตาด้วยวิธีการแปลงเรดอน

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบชีวมาตรที่ใช้แบบรูปม่านตาสำหรับการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลด้วยวิธีการแปลงเรดอนและทดสอบกับข้อมูลภาพดวงตาที่นำมาจากฐานข้อมูลภาพ CASIA เวอร์ชัน 1.0 [17] โดยเป็นภาพระดับเทา 8 บิต ขนาด 320x280 จุดภาพจำนวน 756 ภาพ ซึ่งสามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการหาตำแหน่งม่านตาเริ่มจากการหาตำแหน่งรูม่านตาโดยหาภาพเงาการฉายที่มากที่สุด ในแนวนอนและแนวตั้งของภาพลักษณะฐานสองของภาพเพื่อประมาณค่าจุดศูนย์กลางอย่างหยาบ จากนั้นนำค่าระดับเทาในแนวตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ได้มาหาจุดศูนย์กลางและรัศมีอย่างละเอียด เมื่อได้ตำแหน่งรูม่านตาแล้วนำจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตามาประมาณค่าขอบเขตจุดศูนย์กลางและรัศมีของขอบนอกของรูม่านตาเพื่อทำการแปลงฮัฟฟ์แบบวงกลมโดยใช้ขอบภาพที่ได้จากตัวดำเนินการแคนนี่ ผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้ได้ค่าจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและขอบนอกของม่านตา ผลการตรวจหาตำแหน่งรูม่านตามีความผิดพลาด 0.13% และการตรวจหาขอบนอกของม่านตามีความผิดพลาด 6.217%

2. การวัดความทนทานของวิธีการแปลงเรดอนต่อเปลือกตาทำได้โดยการเลือกภาพดวงตาที่ไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาในแนว 45 องศาด้วยมือและภาพดวงตาที่สุ่มผู้ใช้จากทั้งฐานข้อมูลซึ่งจะได้ภาพดวงตาที่มีเปลือกตาและไม่มีเปลือกตาปิดบังลายม่านตาคละกัน ในแนว 45 องศา มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคล โดยกำหนดให้จำนวนภาพที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนเท่ากัน ผลการทดลองพบว่าเปลือกตามีผลกับประสิทธิภาพของระบบซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงจาก  $3.556 \pm 0.612$  เปอร์เซ็นต์ เป็น  $1.294 \pm 0.742$  เปอร์เซ็นต์ และวิธีการแปลงเรดอนมีความทนทานต่อเปลือกตาพอสมควร

3. การหาขนาดม่านตาที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงเรดอนสำหรับระบบทวนสอบบุคคลและระบบระบุบุคคลทำโดยการนำภาพดวงตาที่ผ่านการหาตำแหน่งม่านตามาแปลงพิกัดภาพม่านตาจากระบบพิกัดเชิงเส้นให้อยู่ในรูประบบพิกัดเชิงขั้วของภาพด้านขวาของม่านตาและภาพด้านซ้ายของม่านตาเพื่อให้การแปลงเรดอนทำได้ง่าย แล้วปรับความเข้มแสงของภาพทั้ง

ฐานข้อมูลเพื่อให้อยู่ในบรรทัดฐานเดียวกันและใช้วิธีการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบ ท้องถื่นด้วยขนาดหน้าตาที่กำหนดเพื่อให้เห็นลายม่านตาชัดเจน จากนั้นแปลงให้เป็น ภาพลักษณะฐานสองโดยการหาค่าขีดแบ่งผลหารปรับตัวเพื่อให้จำนวนและตำแหน่งของลายม่าน ตาของภาพจากคนเดียวกันเหมือนกันและทำให้การแปลงเรดอนสามารถเปรียบเทียบกันได้ดีขึ้น ในการหาขนาดม่านตาที่เหมาะสมทำโดยเลือกกำหนดแนวองศาการตัดม่านตาให้อยู่ในช่วง 30 35 40 45 และ 50 องศาและค่าความกว้างม่านตาในแนวรัศมีให้อยู่ในช่วง 60 70 80 90 และ 100 เพอร์เซ็นต์เพื่อกำจัดสิ่งรบกวนอันได้แก่เปลือกตาและขนตา ลดขนาดของม่านตาที่จะนำไป ประมวลผลและลดขนาดแผ่นแบบที่เก็บในฐานข้อมูล

ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ใช้วิธีการแปลงเรดอนโดยกำหนดองศาการหมุนเท่ากับ 10 องศาสำหรับภาพด้านขวาของม่านตาและ 10 องศาสำหรับภาพด้านซ้ายของม่านตาแล้วนำพีเจอร์ ที่ได้มาต่อกัน ผลลัพธ์ของการสกัดพีเจอร์เป็นค่าเวกเตอร์ภาพเงาการฉาย 20 เวกเตอร์ ใน ขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่แผ่นแบบใช้ฟังก์ชันระยะทาง 3 ชนิด คือ ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ฟังก์ชัน ระยะทางยูคลิเดียน และฟังก์ชันระยะทาง S1 และใช้ค่าขีดแบ่งในการตัดสินใจของระบบ

ผลการทดลองเมื่อใช้ขนาดม่านตาในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาและความกว้างม่านตา 90 เพอร์เซ็นต์ในแนวรัศมีสำหรับระบบทวนสอบบุคคลมีค่าความ ผิดพลาดที่ดีที่สุดเท่ากับ  $0.858 \pm 0.123$  เพอร์เซ็นต์โดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 ในการเปรียบเทียบ คู่แผ่นแบบ

ผลการทดลองเมื่อใช้ขนาดม่านตาในแนว -50 องศาถึง 50 องศาและ 130 องศาถึง 230 องศาและความกว้างม่านตา 90 เพอร์เซ็นต์ในแนวรัศมีสำหรับระบบระบุบุคคลมีค่าความผิดพลาด ที่น้อยที่สุดเท่ากับ  $2.257 \pm 0.301$  เพอร์เซ็นต์โดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 ในการเปรียบเทียบคู่แผ่นแบบ

จากผลการทดลองพบว่า อัตราความผิดพลาดที่เท่ากันมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เท่านั้นเมื่อเปลี่ยนมุมการตัดและความกว้างของม่านตา ดังนั้นบริเวณม่านตาที่เหมาะสมสำหรับการ ทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้การแปลงเรดอนควรตัดในแนวองศาระหว่าง -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาและ -50 องศาถึง 50 องศาและ 130 องศาถึง 230 องศาและควรกำหนดความกว้างม่านตา 80 ถึง 100 เพอร์เซ็นต์ในแนวรัศมี

นอกจากนี้ ขนาดหน้าตาของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถื่นก็มีผล กับประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้นควรเลือกขนาดหน้าตาให้มีความเหมาะสมกับภาพม่านตา

4. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสกัดพีเจอร์ระหว่างวิธีการแปลงเรดอนและค่า



เบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่าระบบที่ใช้วิธีการแปลงเรดอนให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

## 5.2 ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรมต้นแบบและทดลองขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่ายังมีส่วนที่น่าจะปรับปรุงเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นไปได้ ดังต่อไปนี้

1. อาจตัดบริเวณเปลือกตาด้านบนและล่างในองศาที่ต่างกันได้ เนื่องจากเปลือกตาด้านล่างจะถูกปิดบังน้อยกว่าเปลือกตาด้านบน หรือเลือกมุมตาบริเวณอื่น ซึ่งอาจช่วยให้ฟีเจอร์ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น
2. อาจใช้ฮาร์ดแวร์ช่วยในการคำนวณการแปลงฮัฟแบบวงกลมเพื่อลดเวลาที่ใช้คำนวณ
3. อาจพัฒนาเป็นระบบทวนสอบบุคคลหรือระบบระบุบุคคลแบบฝังตัว (Embedded system) ได้
4. อาจหาขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งฮิสโทแกรมให้เท่ากันแบบท้องถิ่นที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงเรดอน
5. อาจนำวิธีการหาบริเวณที่เหมาะสมไปทดลองกับวิธีการสกัดฟีเจอร์วิธีอื่น
6. น่าจะเก็บข้อมูลภาพเองเพื่อให้ข้อมูลมีความหลากหลายมากขึ้นและยังทำให้ความถูกต้องของระบบใกล้เคียงความเป็นจริงด้วย
7. อาจหาวิธีการเปรียบเทียบแบบที่เหมาะสมกับวิธีการแปลงเรดอน
8. อาจปรับปรุงขั้นตอนวิธีการตรวจหาตำแหน่งม่านตาให้มีความถูกต้องมากขึ้น

## รายการอ้างอิง

- [1] A. Jain, R. Bolle and S. Pankanti. Biometrics: Personal Identification in Networked Society. U.S.A.: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] R. P. Wildes. Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology. Proceeding of The IEEE 85 (1997): 1348-1363.
- [3] I. Mann. The Development of The Human Eye. U.S.A.: Grune and Stratton, Inc., 1950
- [4] Hugh Davson. Eye. London: Academic Press, 1984.
- [5] นพ. ศักดิ์ชัย วงศกิตติรักษ์และนพ. โกศล คำพิทักษ์. ตำราจักษุวิทยา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน, 2548.
- [6] J. Daugman. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independent. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence 15 (1993): 1148-1161.
- [7] J. Daugman. How Iris Recognition Works. Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing 1 (2002): 21-30.
- [8] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang. Personal Identification Based on Iris Texture Analysis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 25 (2003): 1519-1533.
- [9] C.N. Chun and R. Chung. Iris Recognition for Palm-Top Application. Biometric Authentication: First International Conference (ICBA) (2004): 426-433.
- [10] W.K. Kong and D. Zhang. Accurate Iris Segmentation Based on Novel Reflection and Eyelash Detection Model. Proceedings of 2001 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing (2001): 263 – 266.
- [11] R. Sanchez-Reillo, and C. Sanchez-Avila. Iris Recognition with Low Template Size. Proceedings of The 3th International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (2001): 324-329.
- [12] B.R. Meena, M. Vatsa, R. Singh, and P. Gupta. Iris Based Human Verification Algorithms. Biometric Authentication: First International Conference (ICBA) (2004): 458-466.

- [13] H. Sung, J. Lim, J. Park and Y. Lee. Iris Recognition Using Collarete Boundary Localization. Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition (ICPR) (2004): 857-860
- [14] Y. Du, R. Ives, D. Etter, T. Welch and C. Chang. A One-Dimensional Approach for Iris Identification. Proceedings of SPIE (2004): 237-247.
- [15] Y. Du B. Bonney R. Ives D. Etter and R. Schultz. Analysis of Partial Iris Recognition Using a 1-D Approach. Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) 2005: 961-964.
- [16] P. Thoosaengngam, K. Horapong, S. Thainimit, and V. Areekul. Efficient Iris Recognition using Adaptive Quotient Thresholding. Proceedings of ICB (2006): 472-478.
- [17] Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation. Database of 756 Grayscale Eye Images. Available from <http://www.sinobiometrics.com> [April 20, 2006]
- [18] Iridian Technologies, <http://www.iridiantech.com> (2005).
- [19] R.C. Gonzalez, and R.E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.:Prentice-Hall, 2002.
- [20] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck. Machine Vision. Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [21] L.G. Shapiro, and G.C. Stockman. Computer Vision, U.S.A.:Prentice-Hall, 2001.
- [22] 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.
- [23] P. Toft. The Radon Transform – Theory and Implementation. Ph.D. Thesis. Department of Mathematical Modelling Technical University of Denmark, 1996
- [24] นาย พิพัฒน์ ประทีปอมรกุล. การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและรูปแบบม่านตา.วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2548.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก  
ผลการทดลอง

ผลการทดลองของการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้ม่านตาด้วยวิธีการแปลงเรดอนเมื่อกำหนดองค์การตัดม่านตามีค่าระหว่าง 30 35 40 45 และ 50 องศา ความกว้างของม่านตาในแนวรัศมีให้มีค่าเท่ากับ 60 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ และขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ  $35 \times 35$  จุดภาพและเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา โดยในการเปรียบเทียบแผ่นแบบใช้ฟังก์ชันระยะทาง 3 ชนิด คือ ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน และฟังก์ชันระยะทาง S1



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ก.1 ขนาดของแผ่นแบบเมื่อผ่านวิธีการแปลงเรดอนโดยกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่ง  
ให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

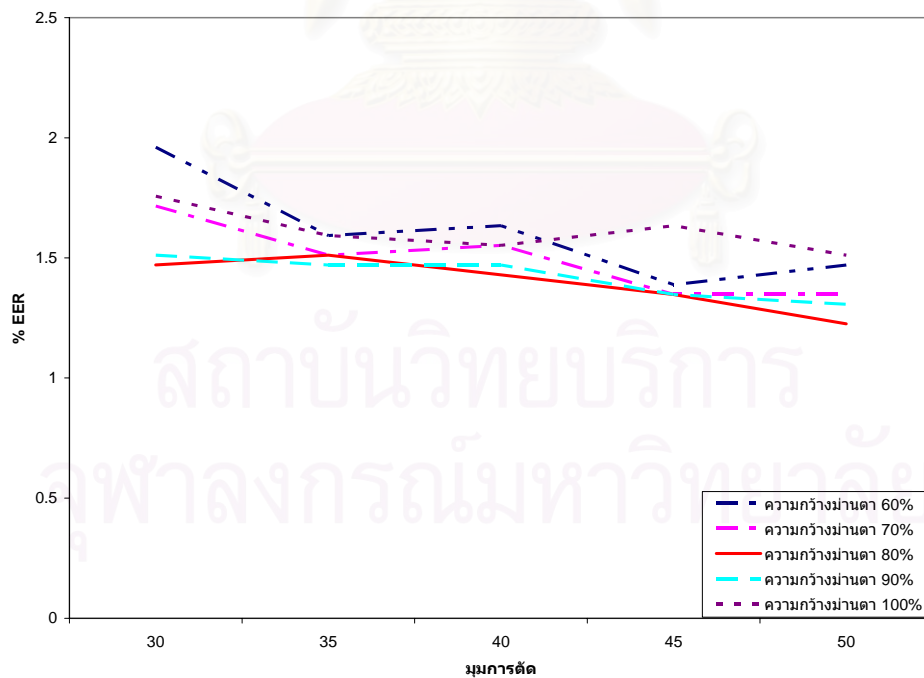
ความกว้าง ม่านตาใน แนวนอน (%)	องศาที่ตัด	ขนาดของภาพ เมื่อแปลงอยู่ใน ระบบพิกัดเชิงขั้ว	ขนาดของ หน้าต่าง	ขนาดของภาพ ก่อนการแปลง เรดอน	ขนาดของ แผ่นแบบที่ได้
100	50	142x100	35	108x66	125x20
100	45	128x100	35	94x66	115x20
100	40	113x100	35	79x66	103x20
100	35	99x100	35	65x66	92x20
100	30	85x100	35	51x66	84x20
90	50	142x90	35	108x56	119x20
90	45	128x90	35	94x56	109x20
90	40	113x90	35	79x56	97x20
90	35	99x90	35	65x56	86x20
90	30	85x90	35	51x56	76x20
80	50	142x80	35	108x46	116x20
80	45	128x80	35	94x46	104x20
80	40	113x80	35	79x46	92x20
80	35	99x80	35	65x46	81x20
80	30	85x80	35	51x46	69x20
70	50	142x70	35	108x36	113x20
70	45	128x70	35	94x36	101x20
70	40	113x70	35	79x36	87x20
70	35	99x70	35	65x36	75x20
70	30	85x70	35	51x36	63x20
60	50	142x60	35	108x26	110x20
60	45	128x60	35	94x26	96x20
60	40	113x60	35	79x26	82x20
60	35	99x60	35	65x26	69x20
60	30	85x60	35	51x26	56x20

ตารางที่ ก.2 ขนาดของแผ่นแบบเมื่อผ่านวิธีการแปลงเรดอนโดยกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่ง  
ให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา

ความกว้าง ม่านตาใน แนวรัศมี (%)	องศาที่ตัด	ขนาดของภาพ เมื่อแปลงอยู่ใน ระบบพิกัดเชิงขั้ว	ขนาดของ หน้าต่าง	ขนาดของภาพ ก่อนการแปลง เรดอน	ขนาดของ แผ่นแบบที่ได้
100	50	142x100	35	108x66	125x20
100	45	128x100	35	94x66	115x20
100	40	113x100	35	79x66	103x20
100	35	99x100	33	67x68	93x20
100	30	85x100	29	57x72	91x20
90	50	142x90	31	112x60	125x20
90	45	128x90	31	98x60	114x20
90	40	113x90	31	83x60	101x20
90	35	99x90	31	69x60	90x20
90	30	85x90	29	57x62	83x20
80	50	142x80	27	116x54	126x20
80	45	128x80	27	102x54	114x20
80	40	113x80	27	87x54	101x20
80	35	99x80	27	73x54	90x20
80	30	85x80	27	59x54	79x20
70	50	142x70	25	118x46	125x20
70	45	128x70	25	104x46	112x20
70	40	113x70	25	89x46	98x20
70	35	99x70	25	75x46	87x20
70	30	85x70	25	61x46	75x20
60	50	142x60	21	122x40	127x20
60	45	128x60	21	108x40	114x20
60	40	113x60	21	93x40	100x20
60	35	99x60	21	76x40	87x20
60	30	85x60	21	65x40	76x20

ตารางที่ ก.3 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

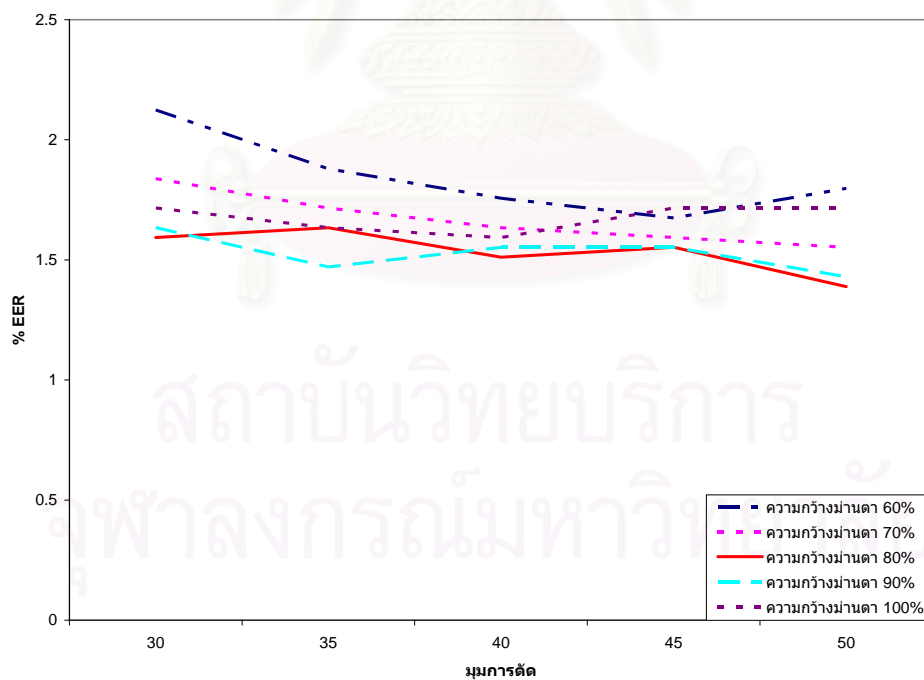
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	1.961 ± 0.368	1.593 ± 0.368	1.634 ± 0.187	1.389 ± 0.142	1.471 ± 0.324
70	1.716 ± 0.425	1.511 ± 0.255	1.552 ± 0.255	1.348 ± 0.212	1.348 ± 0.212
80	1.471 ± 0.442	1.511 ± 0.394	1.429 ± 0.374	1.348 ± 0.122	<u>1.226</u> ± 0
90	1.511 ± 0.308	1.471 ± 0.324	1.471 ± 0.212	1.348 ± 0.123	1.307 ± 0.071
100	1.756 ± 0.394	1.593 ± 0.324	1.552 ± 0.187	1.634 ± 0.187	1.511 ± 0.187



รูปที่ ก.1 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

ตารางที่ ก.4 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิดเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

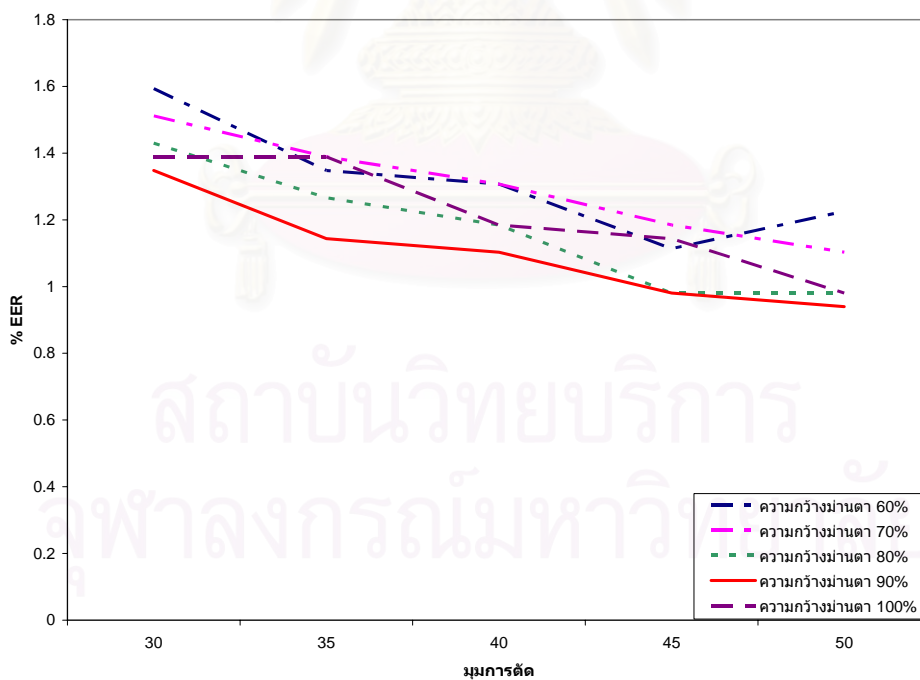
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	2.124 ± 0.283	1.879 ± 0.142	1.756 ± 0.187	1.675 ± 0.354	1.797 ± 0.308
70	1.838 ± 0.442	1.716 ± 0.442	1.634 ± 0.430	1.593 ± 0.368	1.552 ± 0.308
80	1.593 ± 0.424	1.634 ± 0.308	1.511 ± 0.495	1.552 ± 0.071	<u>1.389</u> ± <u>0.255</u>
90	1.634 ± 0.510	1.471 ± 0.368	1.552 ± 0.308	1.552 ± 0.187	1.429 ± 0.142
100	1.716 ± 0.442	1.634 ± 0.308	1.593 ± 0.245	1.716 ± 0.425	1.716 ± 0.324



รูปที่ ก.2 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิดเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

ตารางที่ ก.5 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างต่าง  
ของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

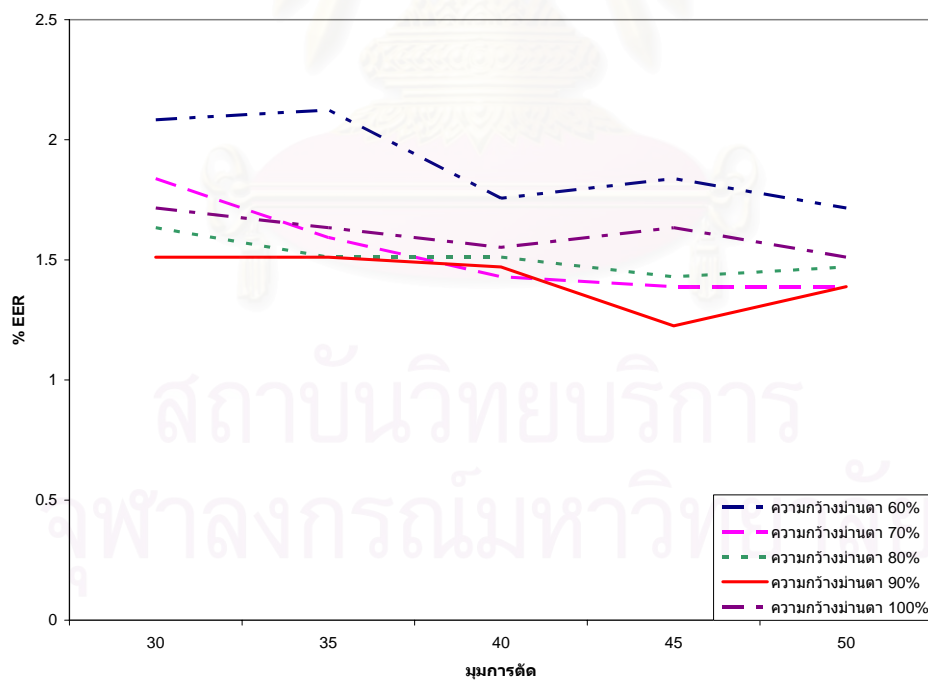
องศา ความกว้างหน้าต่าง (%)	30	35	40	45	50
60	1.593 ± 0.212	1.348 ± 0.324	1.307 ± 0.308	1.114 ± 0.204	1.225 ± 0.123
70	1.511 ± 0.394	1.389 ± 0.283	1.307 ± 0.354	1.185 ± 0.142	1.103 ± 0.245
80	1.429 ± 0.354	1.266 ± 0.308	1.185 ± 0.255	0.980 ± 0.212	0.980 ± 0.245
90	1.348 ± 0.212	1.144 ± 0.255	1.103 ± 0.123	0.980 ± 0.123	<b>0.939</b> ± <b>0.071</b>
100	1.389 ± 0.283	1.389 ± 0.071	1.185 ± 0.142	1.144 ± 0.308	0.980 ± 0.123



รูปที่ ก.3 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาด  
หน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

ตารางที่ ก.6 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา

องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	2.083 ± 0.324	2.124 ± 0.495	1.756 ± 0.464	1.838 ± 0.245	1.716 ± 0.324
70	1.838 ± 0.324	1.593 ± 0.368	1.429 ± 0.187	1.389 ± 0.374	1.389 ± 0.187
80	1.634 ± 0.430	1.511 ± 0.255	1.511 ± 0.255	1.429 ± 0.187	1.471 ± 0.123
90	1.511 ± 0.308	1.511 ± 0.255	1.471 ± 0.212	<b>1.225</b> ± <b>0.123</b>	1.389 ± 0.142
100	1.716 ± 0.368	1.634 ± 0.308	1.552 ± 0.187	1.634 ± 0.187	1.511 ± 0.187

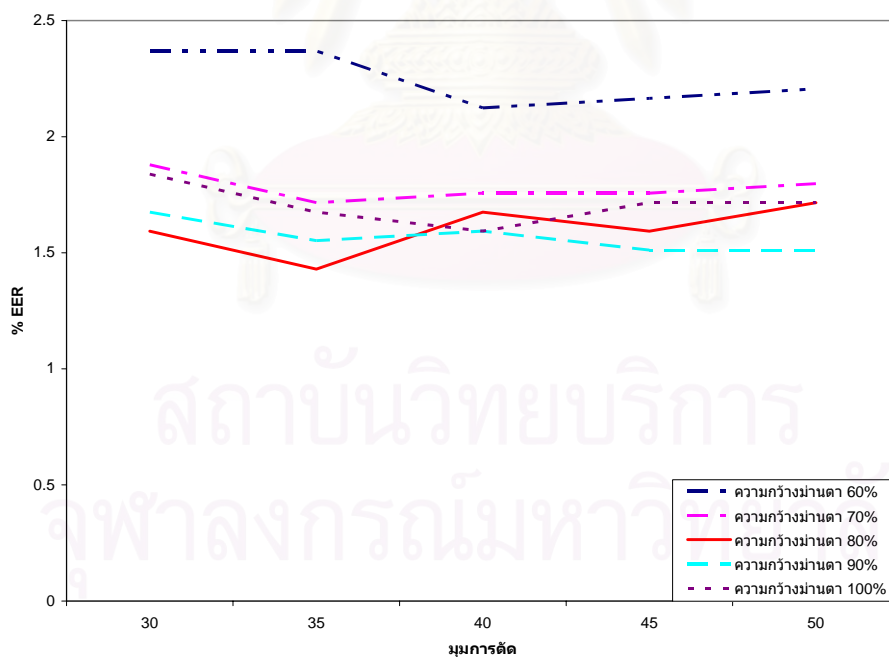


รูปที่ ก.4 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา



ตารางที่ ก.7 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิดเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา

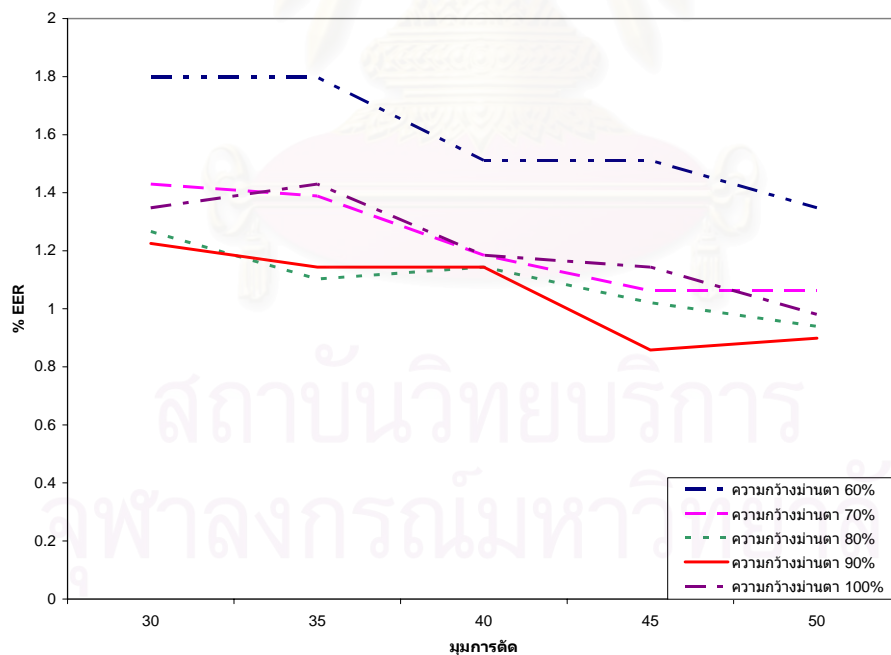
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	2.369 ± 0.495	2.369 ± 0.797	2.124 ± 0.579	2.165 ± 0.605	2.206 ± 0.212
70	1.879 ± 0.553	1.716 ± 0.368	1.756 ± 0.255	1.756 ± 0.354	1.797 ± 0.187
80	1.593 ± 0.442	<b>1.429</b> ± <b>0.308</b>	1.675 ± 0.187	1.593 ± 0.212	1.716 ± 0.245
90	1.675 ± 0.495	1.552 ± 0.255	1.593 ± 0.245	1.511 ± 0.187	1.511 ± 0.071
100	1.838 ± 0.490	1.675 ± 0.308	1.593 ± 0.245	1.716 ± 0.425	1.716 ± 0.324



รูปที่ ก.5 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิดเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา

ตารางที่ ก.8 ค่า EER ระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างต่าง  
การจัดแบ่งให้ฮีสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพหน้าต่าง

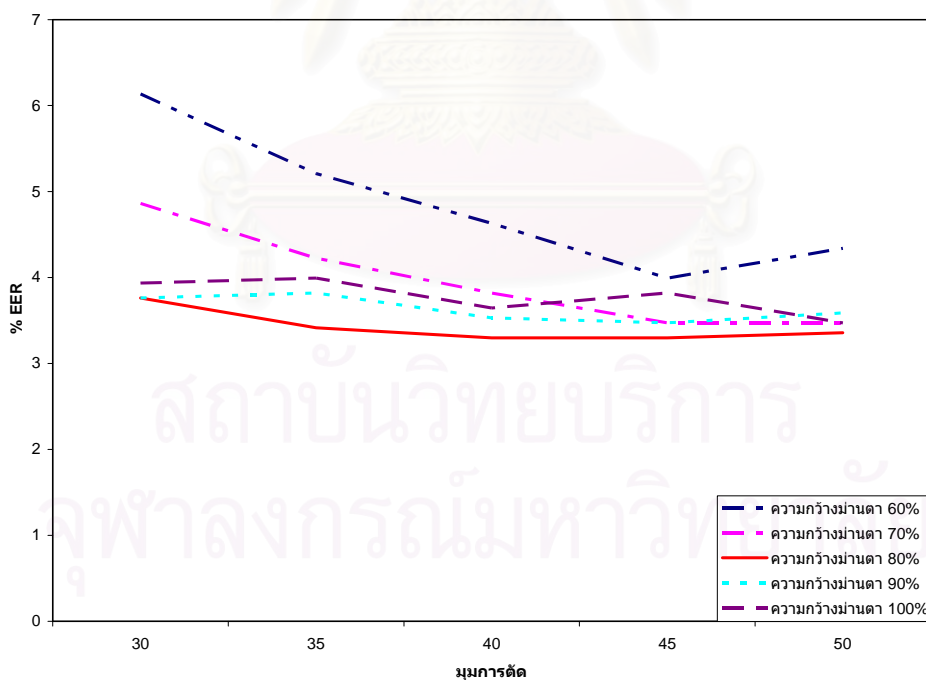
องศา ความกว้างหน้าต่าง (%)	30	35	40	45	50
60	1.797 ± 0.374	1.797 ± 0.374	1.511 ± 0.394	1.511 ± 0.187	1.348 ± 0.425
70	1.429 ± 0.255	1.389 ± 0.283	1.185 ± 0.071	1.062 ± 0.142	1.062 ± 0.142
80	1.266 ± 0.430	1.103 ± 0.123	1.144 ± 0.071	1.021 ± 0.255	0.939 ± 0.187
90	1.225 ± 0.245	1.144 ± 0.142	1.144 ± 0.142	<u>0.858</u> ± <u>0.123</u>	0.899 ± 0.071
100	1.348 ± 0.212	1.429 ± 0.255	1.185 ± 0.142	1.144 ± 0.308	0.980 ± 0.123



รูปที่ ก.6 กราฟแสดง EER ของระบบทวนสอบบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาด  
หน้าต่างการจัดแบ่งให้ฮีสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพหน้าต่าง

ตารางที่ ก.9 ค่า EER ระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างต่าง  
ของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

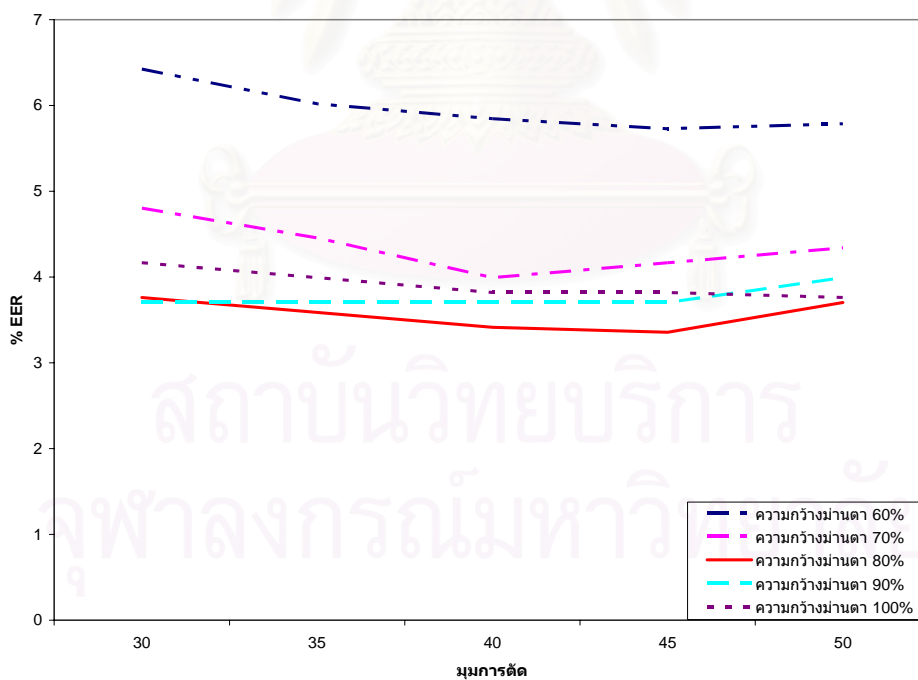
องศา ความกว้างหน้าต่าง (%)	30	35	40	45	50
60	6.134 ± 1.046	5.208 ± 0.301	4.629 ± 0.820	3.993 ± 0.967	4.340 ± 0.796
70	4.861 ± 0.796	4.224 ± 0.361	3.819 ± 1.084	3.472 ± 0.757	3.472 ± 0.521
80	3.762 ± 0.856	3.414 ± 0.530	3.299 ± 0.459	<b>3.299</b> ± <b>0.694</b>	3.356 ± 0.609
90	3.762 ± 0.987	3.819 ± 0.902	3.530 ± 1.061	3.472 ± 0.919	3.588 ± 0.820
100	3.935 ± 0.657	3.993 ± 0.757	3.646 ± 0.919	3.819 ± 0.919	3.472 ± 0.902



รูปที่ ก.7 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาด  
หน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

ตารางที่ ก.10 ค่า EER ระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

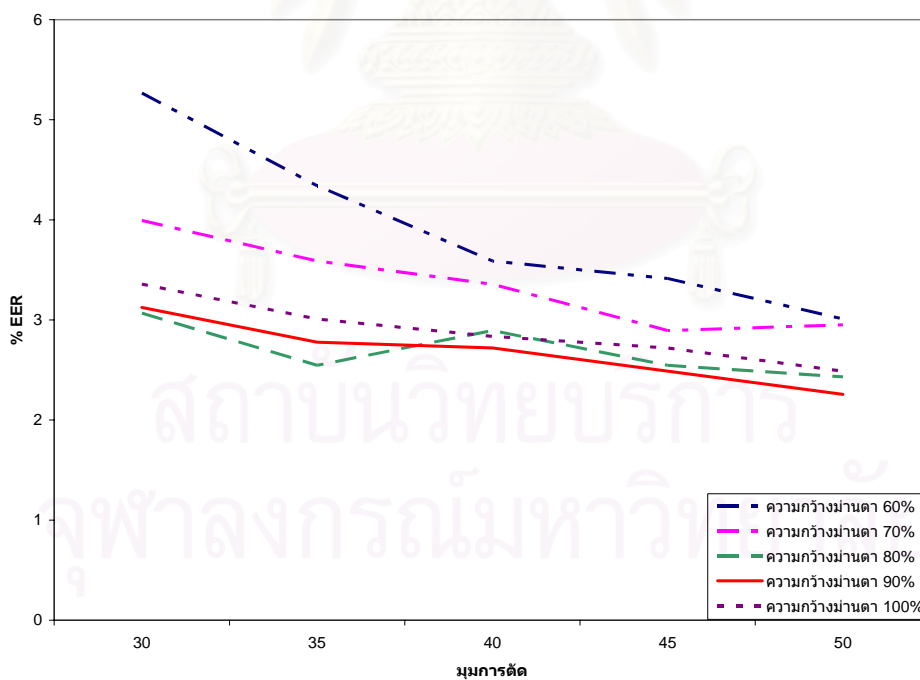
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	6.424 ± 1.215	6.019 ± 0.891	5.845 ± 1.129	5.729 ± 0.610	5.787 ± 0.657
70	4.803 ± 1.017	4.456 ± 0.856	3.993 ± 1.138	4.167 ± 0.694	4.340 ± 0.868
80	3.762 ± 0.856	3.588 ± 0.702	3.414 ± 0.437	<b>3.356</b> ± <b>0.657</b>	3.704 ± 0.609
90	3.704 ± 0.956	3.704 ± 1.017	3.704 ± 0.956	3.703 ± 0.891	3.993 ± 0.601
100	4.167 ± 0.757	3.993 ± 1.056	3.819 ± 0.919	3.819 ± 0.796	3.762 ± 0.802



รูปที่ ก.8 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

ตารางที่ ก.11 ค่า EER ระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของ  
การจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

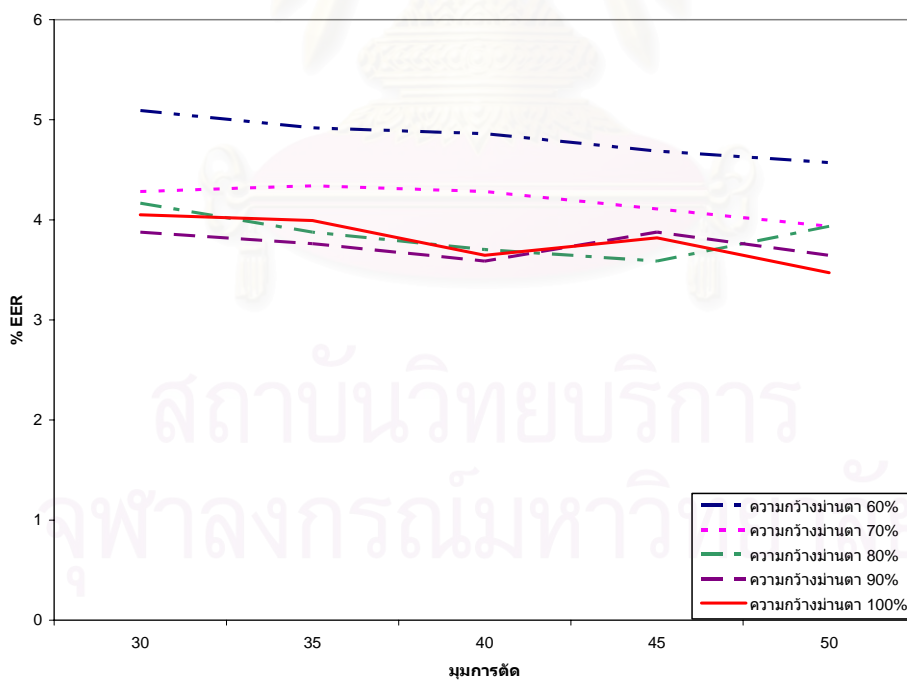
องศา ความกว้างหน้าต่าง (%)	30	35	40	45	50
60	5.266 ± 0.657	4.340 ± 0.301	3.588 ± 0.702	3.414 ± 0.802	3.009 ± 0.702
70	3.993 ± 0.694	3.588 ± 0.783	3.356 ± 0.956	2.893 ± 0.723	2.951 ± 0.301
80	3.067 ± 0.501	2.546 ± 0.501	2.893 ± 0.501	2.546 ± 0.437	2.431 ± 0.459
90	3.125 ± 1.056	2.778 ± 0.459	2.719 ± 0.723	2.488 ± 0.530	<b>2.257</b> ± <b>0.301</b>
100	3.356 ± 0.856	3.009 ± 0.891	2.836 ± 0.723	2.719 ± 0.702	2.488 ± 0.702



รูปที่ ก.9 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาด  
หน้าต่างของการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 35 x 35 จุดภาพ

ตารางที่ ก.12 ค่า EER ระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่าง การจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพหน้าต่าง

องศา ความกว้างหน้าต่าง (%)	30	35	40	45	50
60	5.093 ± 0.530	4.919 ± 1.116	4.861 ± 0.796	4.687 ± 0.919	4.572 ± 0.956
70	4.282 ± 0.891	4.340 ± 0.796	4.282 ± 0.891	4.109 ± 0.874	3.935 ± 0.702
80	4.167 ± 0.694	3.877 ± 1.061	3.704 ± 1.047	3.588 ± 0.874	3.935 ± 1.047
90	3.877 ± 0.987	3.762 ± 0.702	3.588 ± 0.874	3.877 ± 1.017	3.646 ± 1.084
100	4.051 ± 0.401	3.993 ± 0.919	3.646 ± 0.919	3.819 ± 0.919	<b>3.472</b> <b>± 0.902</b>

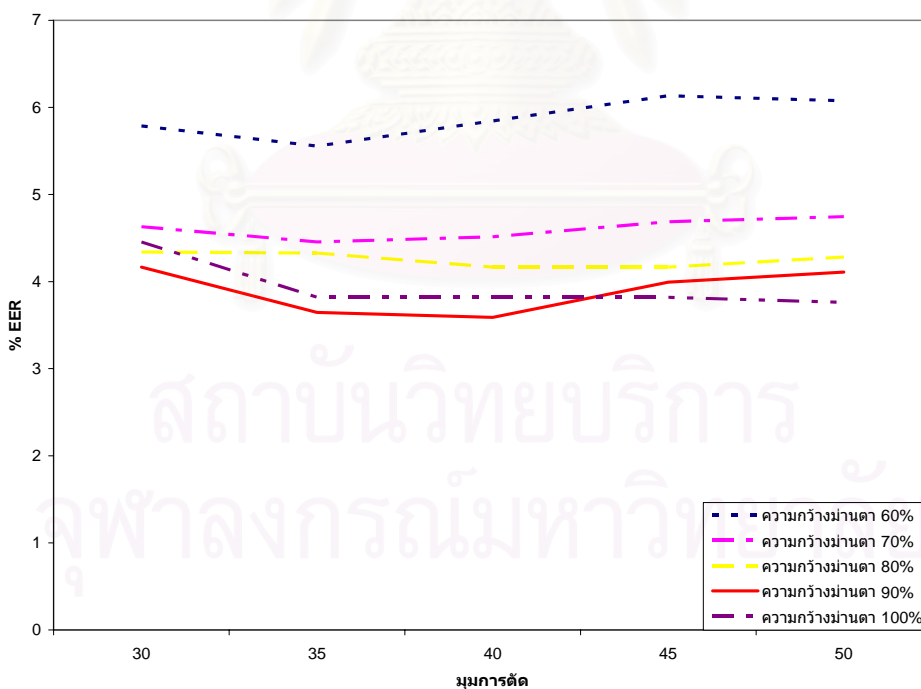


รูปที่ ก.10 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพหน้าต่าง



ตารางที่ ก.13 ค่า EER ระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา

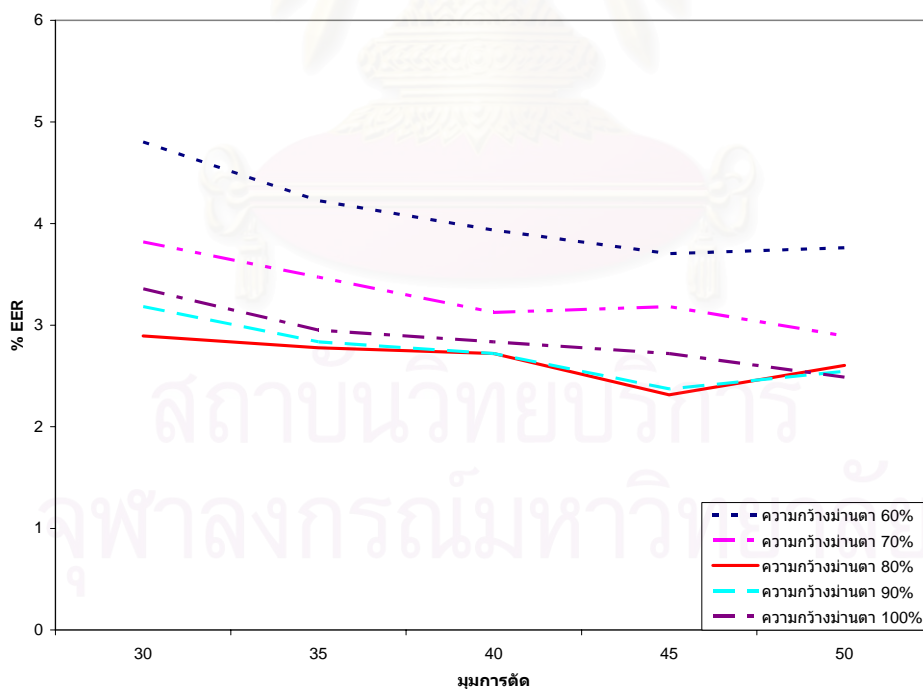
องศา ความกว้างม่านตา (%)	30	35	40	45	50
60	5.787 ± 0.702	5.555 ± 0.902	5.845 ± 1.061	6.134 ± 1.256	6.076 ± 1.356
70	4.629 ± 1.315	4.456 ± 1.232	4.514 ± 0.967	4.687 ± 0.626	4.745 ± 0.558
80	4.340 ± 0.694	4.328 ± 1.215	4.167 ± 1.138	4.167 ± 1.252	4.282 ± 1.393
90	4.167 ± 0.796	3.646 ± 0.796	<b>3.588</b> ± <b>1.047</b>	3.993 ± 1.084	4.109 ± 1.046
100	4.456 ± 0.361	3.819 ± 1.084	3.819 ± 0.919	3.819 ± 0.796	3.762 ± 0.802



รูปที่ ก.11 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนเมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพม่านตา

ตารางที่ ก.14 ค่า EER ระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาดหน้าต่างของ การจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพหน้าต่าง

องศา ความกว้างหน้าต่าง (%)	30	35	40	45	50
60	4.803 ± 0.723	4.225 ± 1.116	3.935 ± 0.702	3.704 ± 0.702	3.762 ± 0.891
70	3.819 ± 0.868	3.472 ± 0.694	3.125 ± 0.694	3.183 ± 0.783	2.893 ± 0.657
80	2.893 ± 0.437	2.778 ± 0.796	2.719 ± 0.723	<b>2.315</b> ± <b>0.702</b>	2.604 ± 0.694
90	3.183 ± 0.723	2.836 ± 0.856	2.719 ± 0.783	2.373 ± 0.723	2.546 ± 0.609
100	3.356 ± 0.558	2.951 ± 0.757	2.836 ± 0.723	2.719 ± 0.702	2.488 ± 0.702



รูปที่ ก.12 กราฟแสดง EER ของระบบระบุบุคคลโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง S1 เมื่อกำหนดขนาด หน้าต่างการจัดแบ่งให้ฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเท่ากับ 1 ใน 3 ของขนาดภาพหน้าต่าง

## ภาคผนวก ข

### บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง “การทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน” นำเสนอในการประชุมวิชาการ The 1<sup>st</sup> National Conference on Computing and Information Technology 2005 จัดที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดนนทบุรี ระหว่างวันที่ 21-22 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of the 1<sup>st</sup> National Conference on Computing and Information Technology 2005 หน้า 287-292
2. บทความเรื่อง “การปรับปรุงระบบระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้การแปลงแบบเรดอน” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 10<sup>th</sup> National Science and Engineering Conference 2006 จัดที่โรงแรมโซฟิเทล จังหวัดขอนแก่น ระหว่างวันที่ 25-27 ตุลาคม พ.ศ. 2549 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of the 10<sup>th</sup> National Science and Engineering Conference 2006 หน้า 492-499
3. บทความเรื่อง “An Improvement of Iris Pattern Identification Using Radon Transform” อยู่ระหว่างการรอตีพิมพ์ในวารสาร ECTI TRANSACTIONS on Computer and Information Technology จัดโดยสมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ (Electrical Engineering/Electronics, Computer, Communications and Information Technology Association: ECTI)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# การทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน Personal Verification and Identification via Iris Pattern Using Radon Transform

ภัทราภรณ์ อริยปรัชากุล และนงลักษณ์ โควาวิสารัช

Pattraporn Ariyapreechakul and Nongluk Covavisaruch

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand  
Email: pattraporn.a@student.chula.ac.th, nongluk.c@chula.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการพัฒนากระบวนการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยนำส่วนของม่านตาในบางแนวองศามาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงเปลือกตาและขนตา จากนั้นใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนในการสกัดลักษณะโดยลักษณะที่ได้เป็นเมตริก 2 มิติของค่าโพลาไรซ์การฉายของภาพที่หมุนจำนวน 10 ครั้ง ในการทดสอบระบบใช้ฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิด คือ Regional Correlation, Euclidean Distance, Absolute Distance และ  $S_1$  Distance เพื่อหาระบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ภาพม่านตาที่ใช้ในการทดลองได้จากฐานข้อมูลภาพม่านตา CASIA [10] โดยมีอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ดีที่สุดเท่ากับ 8.3 เปอร์เซ็นต์ในการทวนสอบและมีค่าเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ในการระบุบุคคลโดยฟังก์ชันระยะทางแบบ Euclidean

**คำสำคัญ:** ม่านตา การสกัดลักษณะ การแปลงแบบเรดอน

## Abstract

This research proposes an iris verification and identification system using some parts of iris to avoid the eyelid and eyelashes. Then Radon Transform has been used for extracting the features. The extracted features have 2 dimensions of 60 angles of projection profiles. In our experiments, the system was tested with 4 distance functions: regional correlation, Euclidean distance, absolute distance and  $S_1$  distance to find the best system performance. The tested images are downloaded from

CASIA Iris Database. The experimental results show that Euclidean distance gives the best result with 8.3% in verification and 18% in identification.

**Keyword:** Iris, Feature extraction, Radon Transform.

## 1. บทนำ

ระบบรักษาความปลอดภัยในปัจจุบันมักใช้รหัสผ่านหรือบัตรเพื่อเข้าระบบซึ่งยังคงมีข้อเสียหลายประการ เช่น รหัสผ่านและบัตรอาจหายหรือถูกขโมยได้ นอกจากนี้ระบบยังไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ารหัสผ่านหรือบัตรที่ใช้เข้าระบบนั้นเป็นของเจ้าของตัวจริงหรือไม่ ทำให้มีการนำไปโอเมตริก (Biometric) มาใช้ ไบโอเมตริกเป็นการนำลักษณะทางกายภาพ (Physiological feature) หรือลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioral feature) มาใช้ในการทวนสอบบุคคล (Personal verification) เพื่อยืนยันหรือปฏิเสธว่าเป็นบุคคลที่กล่าวอ้างหรือไม่ หรือการระบุบุคคล (Personal identification) เพื่อระบุว่าบุคคลใดในระบบ ลักษณะทางกายภาพ เช่น ลายนิ้วมือ ลายมือ รูปร่างทางเรขาคณิตของมือ ม่านตา ใบหน้า เรตินา เป็นต้น และลักษณะทางพฤติกรรม เช่น เสียง ท่าทางการเดิน ลายเซ็น เป็นต้น โดยแต่ละลักษณะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน

ม่านตาเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างรูม่านตา (Pupil) และเนื้อเยื่อชั้นนอกสีขาว (Sclera) ประกอบด้วยโครงสร้างซับซ้อนและมีรายละเอียดมากมาย เช่น ร่อง (Furrow) สัน (Ridge) และหลุม (Crypt) เป็นต้น รูปแบบม่านตาไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิตหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

[1][2][3] จากลักษณะที่กล่าวมาม่านตาจึงถูกนำไปใช้ใน ระบบรู้จำที่ต้องการความปลอดภัยสูง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบรู้จำม่านตามีหลายระบบ ระบบรู้จำม่านตาที่ถูกอ้างอิงถึงมาก คือ ระบบรู้จำม่านตาของ Daugman [1] ซึ่งใช้วิธี Quadrature 2D Gabor wavelet เพื่อสร้างรหัสม่านตา (Iriscode) ขนาด 2048 บิตโดยมีความผิดพลาดในการระบุบุคคลเท่ากับ 0.000083 เปอร์เซ็นต์ ระบบของ Wildes [3] ใช้วิธี Laplacian pyramid เพื่อสร้างลักษณะ (Feature) แล้วใช้วิธี Normalize Correlation ในการเปรียบคู่แผ่นแบบ (Template matching) ระบบของ Chun และคณะ [4] ใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน (Radon Transform) ในการสกัดลักษณะ (Feature extraction) เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์พาล์มท็อป (Palm-Top device) เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ส่วนระบบของ Ma และคณะ [5] ใช้วิธี Spatial filter ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Gabor filter โดยมีความผิดพลาดเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ผลงานของ Meena และคณะ [6] ใช้หน้ากากสีเหลืองปิดตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็ลือกตาบนและเปลือกดตาแล้วใช้วิธีการสกัดลักษณะ 3 วิธี คือ วิธีการนับจำนวนขอบภาพในแนววงกลมและรัศมี วิธี Fourier Transform ในแนวรัศมีและวิธี Circular-Mellin ซึ่งพบว่าวิธี Circular-Mellin ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีความถูกต้องเท่ากับ 95.45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระบบของ Mira และคณะ [7] ใช้วิธี Morphology ในการสกัดลักษณะจากภาพม่านตาที่มีลักษณะเป็นวงแหวน

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบรู้จำม่านตาโดยเลือกส่วนของม่านตาที่อยู่ระหว่าง -45 ถึง 45 องศาและ 135 ถึง 225 องศาไว้เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งรบกวนที่อาจติดมากับภาพ ได้แก่ เปลือกตาและขนตา จากนั้นใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนในการสกัดลักษณะและทดลองการเปรียบคู่แผ่นแบบโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิด คือ Regional correlation, Euclidean distance, absolute distance และ  $S_1$  distance ในการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างบุคคลเพื่อหาวิธีการเปรียบคู่แผ่นแบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ในบทความนี้แบ่งเป็น 6 ส่วนหลักดังต่อไปนี้โดยบทนำอยู่ในหัวข้อแรก หัวข้อที่ 2 เป็นขั้นตอนการเตรียมภาพเพื่อปรับปรุงและเลือกส่วนมาวิเคราะห์ หัวข้อที่ 3 เป็นขั้นตอน

การสกัดลักษณะ ในหัวข้อที่ 4 เป็นวิธีการเปรียบคู่แผ่นแบบ หัวข้อถัดไปคือวิธีการทดลองและผลการทดลอง ส่วนหัวข้อสุดท้ายเป็นสรุปผลการทดลอง

## 2. ขั้นตอนการเตรียมภาพ (Image Preprocessing)

ภาพตาอาจถูกถ่ายจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทำให้ภาพที่ได้รับมามีคุณภาพต่างกัน เช่น ความสว่าง (Brightness) และความเปรียบต่าง (Contrast) เป็นต้น ม่านตามีลักษณะเป็นวงแหวน และขนาดของรูม่านตาปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับความสว่างของแสงที่กระทบ ดังนั้นขนาดของรูม่านตาในภาพที่ถ่ายได้แต่ละครั้งจึงอาจแตกต่างกันไปได้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบม่านตาจากภาพที่บันทึกมาในเวลาที่แตกต่างกันได้นั้น จึงต้องมีขั้นตอนการปรับภาพให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม และสามารถคำนวณได้ง่ายก่อน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

### 2.1 การตรวจหาขอบของม่านตา

ม่านตามีลักษณะเป็นวงแหวนประกอบด้วยวงกลม 2 วงที่มีจุดศูนย์กลางอยู่คนละตำแหน่งกันเป็นขอบในและขอบนอกของม่านตาดังภาพที่ 1 ซึ่งตำแหน่งของขอบของวงกลมในของม่านตา คือ ตำแหน่งของรูม่านตา ส่วนขอบของวงกลมนอกของม่านตาคือขอบนอกของลูกนัยน์ตา ดังนั้นการตรวจหาตำแหน่งม่านตาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การตรวจหาตำแหน่งของรูม่านตา และการตรวจหาขอบนอกของลูกนัยน์ตา การตรวจหาตำแหน่งของรูม่านตาเริ่มจากการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ย (Mean filter) [8] เพื่อปรับภาพให้เรียบ จากนั้นหาโปรไฟล์การฉายระดับเทา (Projection Profile) ที่น้อยที่สุดของภาพในแนวนอนและแนวตั้งเพื่อประมาณค่าจุดศูนย์กลาง  $x$  และ  $y$  อย่างหยาบของรูม่านตาแล้วนำค่าโปรไฟล์ระดับเทาในแนว  $x$  และ  $y$  มาใช้เพื่อประมาณค่าจุดศูนย์กลางอย่างละเอียดของขอบของรูม่านตา

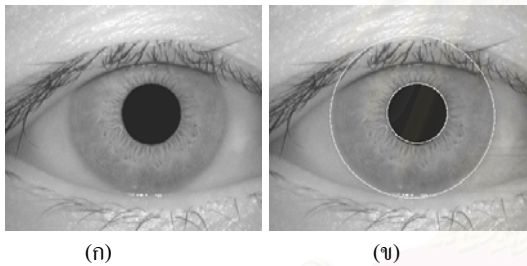
การตรวจหาขอบนอกของลูกนัยน์ตาทำได้โดยการหาขอบภาพด้วยตัวดำเนินการแคนนี่ (Canny operator) [8] จากนั้นใช้วิธีการแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough Transform) โดยกำหนดขอบเขตจุดศูนย์กลางของวงกลมวงนอกของม่านตาให้อยู่ในช่วงจุดศูนย์กลางของขอบของรูม่านตา



$\pm 10$  จุดภาพเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ผลการตรวจหาตำแหน่งม่านตาแสดงดังภาพที่ 1 (ข)

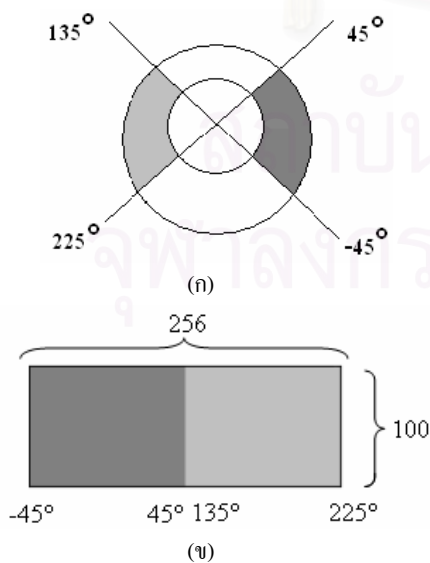
**2.2 การแปลงภาพม่านตาให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว**

ม่านตามีลักษณะเป็นวงแหวนและจุดศูนย์กลางของขอบของรูม่านตาและขอบนอกของลูกนัยน์ตาอยู่คนละตำแหน่งกัน ดังนั้นการแปลงภาพม่านตารูปวงแหวนให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อให้สามารถคำนวณในขั้นตอนถัดไปได้ง่ายและเป็นการปรับขนาดภาพให้เท่ากัน วิธีการแปลงใช้วิธีการหาสมการเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์กลางของขอบของรูม่านตาและขอบของรูม่านตาเพื่อหาจุดที่อยู่บนขอบนอกของลูกนัยน์ตาซึ่งเส้นตรงเส้นนั้นตัดผ่านทั้งวงกลมวงในและวงกลมวงนอก เมื่อได้ตำแหน่งที่อยู่บนขอบนอกของลูกนัยน์ตาแล้วนำมาแบ่งเป็น 100 ส่วนเท่าๆ กันเพื่อสร้างภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วซึ่งในงานวิจัยนี้ภาพม่านตาที่ได้มีขนาด 256x100 จุดภาพ



ภาพที่ 1: ภาพจากขั้นตอนการตรวจหาบริเวณม่านตา

(ก) ตัวอย่างภาพต้นฉบับ (ข) ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การหาตำแหน่งม่านตา

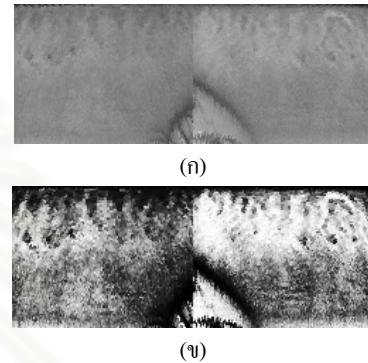


ภาพที่ 2: วิธีการแปลงภาพวงแหวนให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

(ก) ภาพวงแหวน (ข) ภาพที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

**2.3 การปรับคุณภาพของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว**

ภาพม่านตาที่ได้ อาจมีความสว่างหรือความเปรียบต่างต่างกันซึ่งมีผลกับขั้นตอนถัดไป ทำให้ความถูกต้องของระบบลดลง ดังนั้นเพื่อปรับคุณภาพของภาพและทำให้เห็นรายละเอียดของม่านตาชัดเจนยิ่งขึ้นจึงใช้วิธี Histogram equalization ผลแสดงดังภาพที่ 3 (ข)



ภาพที่ 3: ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการเตรียมภาพ

(ก) ตัวอย่างภาพจากขั้นตอนการแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว  
(ข) ตัวอย่างภาพจากขั้นตอนการทำ Histogram equalization

**3. การสกัดลักษณะ (Feature Extraction)**

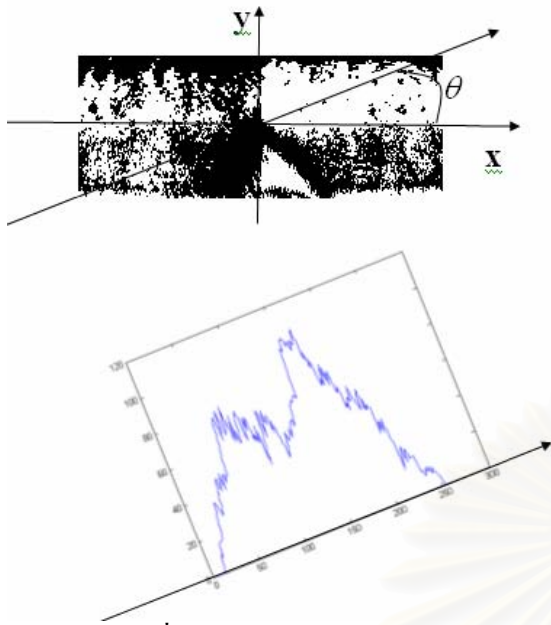
ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนในการสกัดลักษณะซึ่งเป็นวิธีการแทนรูปภาพด้วยการหาโพลีไฟการฉายของภาพในทิศทางต่างๆ ดังภาพที่ 4 ทิศทางที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้จำนวน 10 ทิศทางโดยเริ่มตั้งแต่ 0 องศาจนถึง 180 องศา (นับทวนเข็มนาฬิกา) ดังนั้นลักษณะที่ได้ในขั้นตอนนี้มีขนาดเท่ากับ 274 x 10 ค่า โดยวิธีการแปลงแบบเรดอนมีดังสมการที่ (1)

$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ } \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

โดย  $f$  คือ ฟังก์ชันของค่าระดับเทาของภาพ  
 $\theta$  คือ ทิศทางในการหมุนภาพ





ภาพที่ 4: ภาพตัวอย่างการแปลงแบบเรคตอง

#### 4. วิธีการเปรียบเทียบแผ่นแบบ (Template Matching)

วิธีการเปรียบเทียบแผ่นแบบมีหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ต่างกันซึ่งมีผลกับความถูกต้องของระบบงานวิจัยที่ทดสอบฟังก์ชันระยะทาง (Distance function) 4 ชนิดในการทดสอบบุคคลและการระบุบุคคล ฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิดมีดังนี้

##### 1. Regional Correlation

$$D_{r_c} = \text{Max}_{\tau} \left[ \frac{\sum_{x'} [A_{\theta}(x') - \bar{A}_{\theta}] \cdot [B_{\theta}(x' - \tau) - \bar{B}_{\theta}]}{\left[ \sum_{x'} [A_{\theta}(x') - \bar{A}_{\theta}]^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{x'} [B_{\theta}(x' - \tau) - \bar{B}_{\theta}]^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (2)$$

##### 2. Euclidean Distance

$$D_e = \text{Min}_{\tau} \left[ \sqrt{\sum_{x'} (A_{\theta}(x') - B_{\theta}(x' - \tau))^2} \right] \quad (3)$$

##### 3. Absolute Distance

$$D_a = \text{Min}_{\tau} \left[ \sum_{x'} |A_{\theta}(x') - B_{\theta}(x' - \tau)| \right] \quad (4)$$

##### 4. S<sub>1</sub> Distance

$$D_{s_1} = \text{Min}_{\tau} \left[ \frac{1}{n} \sum_{x'} \frac{\min(A_{\theta}(x'), B_{\theta}(x' - \tau))}{\max(A_{\theta}(x'), B_{\theta}(x' - \tau))} \right] \quad (5)$$

โดย  $A_{\theta}(x')$  เป็นเวกเตอร์ลักษณะที่มีขนาด 2 มิติที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_{\theta}(x')$  เป็นเวกเตอร์ลักษณะของภาพมาตาที่นำมาทดสอบ

$\bar{A}_{\theta}, \bar{B}_{\theta}$  เป็นค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ลักษณะ

$\tau$  เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้เนื่องจากการหมุนของภาพมาตาโดยกำหนดให้มีค่าในช่วง -10 ถึง 10 พิกเซล

ภาพที่นำมาทดสอบจะถูกยอมรับก็ต่อเมื่อมีค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดสำหรับการหาระยะทางแบบ Euclidean การหาระยะทางแบบ absolute และการหาระยะทางแบบ S<sub>1</sub> และเมื่อค่าระยะทางมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดสำหรับการหาระยะทางแบบ Regional correlation และจะถูกปฏิเสธก็ต่อเมื่อมีค่าระยะทางมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดสำหรับการหาระยะทางแบบ Euclidean การหาระยะทางแบบ absolute และการหาระยะทางแบบ S<sub>1</sub> และมีค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดสำหรับการหาระยะทางแบบ Regional correlation

#### 5. การทดลองและผลการทดลอง

##### 5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบขั้นตอนวิธีที่เสนอกับภาพที่นำมาจากฐานข้อมูล CASIA [10] ภาพทดสอบเป็นภาพระดับเทา 8 บิตมีความละเอียด 320x280 จุดภาพ จำนวนทั้งสิ้น 108 ชุดภาพโดยคน 1 คนมี 1 ชุดภาพซึ่งประกอบด้วย 7 ภาพ ในการทดสอบได้แบ่งชุดภาพออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจำนวน 3 ภาพใช้เป็นแผ่นแบบเก็บไว้ในฐานข้อมูลและส่วนหลังใช้ในการทดสอบระบบมีทั้งหมด 4 ภาพ ในการเก็บข้อมูลแผ่นแบบของทั้ง 3 ภาพเก็บเป็นเวกเตอร์ลักษณะของแต่ละภาพแล้วนำ 4 ภาพที่เหลือมาทดสอบระบบโดยผ่านฟังก์ชันระยะทางทั้ง 4 ชนิด

##### 5.2 การทดลองและผลการทดลองการทดสอบบุคคล

การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบในการทดสอบบุคคลหาได้จากค่าอัตราการยอมรับบุคคลผิด (FAR: False Acceptance Rate) และอัตราการปฏิเสธบุคคลผิด (FRR: False Rejection Rate) ซึ่งอัตราการยอมรับบุคคลผิดคือ

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบที่ระบบยอมรับผู้บุกรุกเป็นผู้ที่ลงทะเบียนกับระบบและอัตราการปฏิเสธบุคคลผิดคือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบที่ระบบปฏิเสธบุคคลที่ลงทะเบียนกับระบบโดยเห็นว่าเป็นผู้บุกรุก

ในการทดลองได้เปลี่ยนค่าขีดแบ่งของค่าระยะทางเพื่อหาขีดแบ่งที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่วิธีการวัดประสิทธิภาพระหว่างระบบไบโอเมตริกจะนำค่าที่ตำแหน่งจุดตัดระหว่างอัตราการยอมรับบุคคลผิดและอัตราการปฏิเสธบุคคลผิดมาเปรียบเทียบ ตำแหน่งจุดตัดระหว่างอัตราการยอมรับบุคคลผิดและอัตราการปฏิเสธบุคคลผิด เรียกว่า EER: Equal Error Rate หรือ CER: Crossover Error Rate โดยตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบการทวนสอบบุคคลซึ่งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ฟังก์ชันระยะทางต่างกันโดยใช้ค่า EER ระบบที่มีค่า EER ต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่มีค่า EER สูง เมื่อนำค่า FAR และ FRR ที่ได้จากการเปลี่ยนค่าขีดแบ่งมาแสดงผลเป็นกราฟ ROC (Receiver Operating Characteristics) ของฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิด โดยระบบที่มีประสิทธิภาพดีต้องมีค่า FAR และ FRR ที่ต่ำ ดังนั้นจากภาพที่ 5 ฟังก์ชันระยะทางที่ดีที่สุดคือ ฟังก์ชันระยะทางแบบ Euclidean

ตารางที่ 1: เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทวนสอบบุคคล

ฟังก์ชันระยะทาง	EER (%)
1. Regional correlation	14
2. Euclidean	8.3
3. Absolute	27
4. S1	70

5.3 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคล

การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบในการระบุบุคคลหาได้จากค่าอัตราการยอมรับบุคคลผิดและอัตราการปฏิเสธบุคคลผิด โดยนำแผ่นแบบที่ได้ของภาพทดสอบมาหาค่าระยะทางกับแผ่นแบบที่อยู่ในฐานข้อมูลทั้งหมดแล้วกำหนดค่าขีดแบ่งขึ้น ถ้าค่าระยะทางมากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้บุกรุกสำหรับการหาระยะทางแบบ Euclidean การหาระยะทางแบบ absolute และการหาระยะทางแบบ S<sub>1</sub> ถ้าค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่งระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้ที่มีค่าระยะทางที่น้อยที่สุดสำหรับการหาระยะทางแบบ Euclidean การหาระยะทางแบบ absolute และการหาระยะทางแบบ S<sub>1</sub>

และถ้าค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้บุกรุกสำหรับการหาระยะทางแบบ Regional correlation ถ้าค่าระยะทางมากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้ที่มีค่าระยะทางที่น้อยที่สุดสำหรับการหาระยะทางแบบ Regional correlation เมื่อทำการทดลองโดยการสกัดลักษณะด้วยวิธีการแปลงแบบเรดอนแล้วใช้ฟังก์ชันระยะทาง 4 แบบได้ผลดังตารางที่ 2 และภาพที่ 6 แสดงกราฟ ROC ของการระบุบุคคลของฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิด

ตารางที่ 2: เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการระบุบุคคล

ฟังก์ชันระยะทาง	EER (%)
1. Regional correlation	23
2. Euclidean	18
3. Absolute	44
4. S1	56

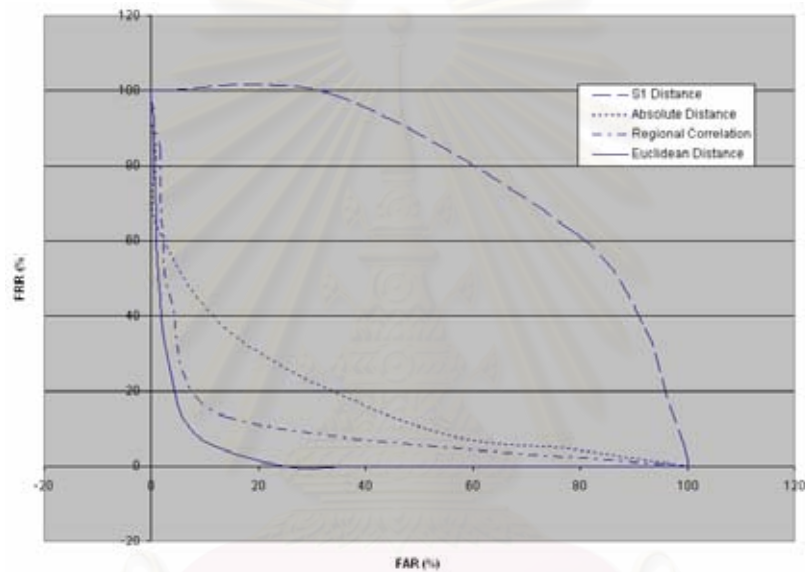
ในการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลจะเห็นได้ว่าการหาระยะทางแบบ Euclidean ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากการหาค่าราคาที่สองของกำลังสองของค่าความต่างและเป็นการทำค่าระยะทางให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization)

6. สรุปผลการทดลอง

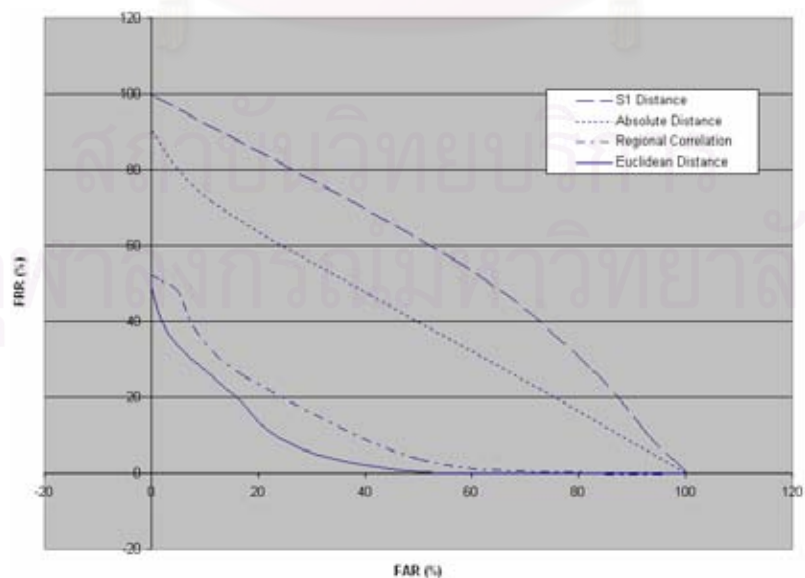
งานวิจัยนี้เสนอระบบรู้จำม่านตาโดยเลือกส่วนม่านตาในองศาที่ -45 ถึง 45 องศาและ 135 ถึง 225 องศาเพื่อหลีกเลี่ยงเปลือกตาและขนตาซึ่งสิ่งรบกวนเหล่านี้มีผลกับความถูกต้องของระบบ จากนั้นใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนในการสกัดลักษณะโดยหมุนในทิศทางต่างๆ จำนวน 10 ทิศทางเริ่มจาก 0 ถึง 180 ในทิศทวนเข็มนาฬิกาซึ่งลักษณะที่ได้เป็นเวกเตอร์ลักษณะ 2 มิติขนาด 274x10 ค่าแล้วจึงใช้ฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิดในการเปรียบเทียบแผ่นแบบซึ่งฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คือ Regional correlation, Euclidean distance, absolute distance และ S1 distance โดยการหาระยะทางแบบ Euclidean ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดโดยมีค่า EER เท่ากับ 8.3 เปอร์เซ็นต์สำหรับระบบการทวนสอบบุคคล และให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่า EER เท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์สำหรับระบบการระบุบุคคล

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.G. Daugman, "High Confidence Recognition of Persons by Rapid Video Analysis of Iris Texture," *European Convention on Security and Detection*, no. 408, pp. 244-251, 1995.
- [2] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, "Biometric: Personal Identification in Networked Society," Kluwer, 1998.
- [3] R. P. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, pp. 1348-1363, 1997.
- [4] C. Chun and R. Chung, "Iris Recognition for Palm-Top Application," *Biometric Authentication: First International Conference, ICBA 2004*, vol. 3072, pp. 426-433, 2004.
- [5] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang, "Personal identification based on iris texture analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, pp. 1519-1533, 2003.
- [6] B. R. Meena, M. Vatsa, R. Singh, and P. Gupta, "Iris Based Human Verification Algorithms," *Biometric Authentication: First International Conference, ICBA 2004*, vol. 3072, pp. 458-466, 2004.
- [7] J. De Mira and J. Jr. Mayer, "Image feature extraction for application of biometric identification of iris - a morphological approach," *SIBGRAPI 2003 .XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, 2003*, pp. 391-398, 2003.
- [8] R. C. Gonzalez, and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [9] L. G. Shapiro, and G.C. Stockman, *Computer Vision*, U.S.A.: Prentice-Hall, Inc., 2001.
- [10] CASIA Iris Image Database, <http://www.sinobiometrics.com>



ภาพที่ 5: กราฟ ROC ของการทดสอบบุคคลของฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิด



ภาพที่ 6: กราฟ ROC ของการระบุบุคคลของฟังก์ชันระยะทาง 4 ชนิด

# การปรับปรุงระบบระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้การแปลงแบบเรดอน

## An Improvement of Iris Pattern Identification Using Radon Transform

ภัทรภรณ์ อริยปรัชากุล และนงลักษณ์ โควาวิสาร์ช

Pattaporn Ariyapreechakul and Nongluk Covavisaruch  
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand  
e-mail: pattaporn.a@student.chula.ac.th, nongluk.c@chula.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการปรับปรุงระบบการระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตาและใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนของภาพลักษณะฐานสองในการสกัดพีเจอร์เพื่อสร้างแผ่นแบบเก็บลงฐานข้อมูลตัววัดแบบระยะทางที่ใช้ในการทดสอบระบบมี 3 ชนิด คือ ตัววัดความคล้ายแบบ Regional (Regional correlation) ตัววัดแบบระยะทาง Euclidean (Euclidean distance) และตัววัดแบบระยะทาง Absolute (Absolute distance) เพื่อหาระบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ภาพม่านตาที่ใช้ในการทดลองได้จากฐานข้อมูลภาพม่านตา CASIA ผลการทดลองพบว่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันที่ดีที่สุดลดลงจาก 18 เปอร์เซ็นต์เหลือ 3.695 เปอร์เซ็นต์ในการระบุบุคคลโดยตัววัดแบบระยะทาง Absolute

**คำสำคัญ** ม่านตา การสกัดพีเจอร์ การแปลงแบบเรดอน

### Abstract

This research proposes an improvement of iris personal identification system using Radon transform which is used to extract feature stored as templates in database. In our experiments test the system with 3 distance functions: Regional correlation, Euclidean distance and Absolute distance to find the best system performance. The tested images are from CASIA Iris Database. The experimental results show that absolute

distance gives the best result which reduces EER from 18% to 3.695% for identification.

**Key Words:** Iris, Feature extraction, Radon transform

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบต่าง ๆ ต้องมีระบบการรักษาความปลอดภัยควบคู่ไปกับการเข้าสู่ระบบด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้บุกรุกเข้าสู่ระบบ จึงมีการนำไบโอเมตริกมาใช้ในการระบุบุคคล (Personal identification) การระบุบุคคลคือการเข้ารหัสโดยใช้ลักษณะทางไบโอเมตริกโดยระบบจะให้ผลว่าเป็นบุคคลใด ลักษณะทางไบโอเมตริกประกอบด้วยลักษณะทางสรีรวิทยา (Physiological feature) และลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioral feature) โดยแต่ละลักษณะมีข้อดีและข้อเสียในการระบุบุคคลแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ใช้ม่านตา (Iris) ซึ่งเป็นสรีระที่แต่ละคนมีแตกต่างกันไป ม่านตาเป็นเนื้อเยื่อที่อยู่ระหว่างเยื่อตาขาวชั้นนอก (Sclera) และ รูม่านตา (Pupil) ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างซับซ้อนต่างๆ และแบบรูปม่านตาไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต [1, 2] ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบรู้จำม่านตามีหลายระบบ ระบบของ R. P. Wildes [1] ใช้วิธี Laplacian pyramid เพื่อสกัดพีเจอร์ (Feature) และใช้วิธี Normalize correlation ร่วมกับ Fisher's linear discriminant ในการเปรียบคู่แผ่นแบบ (Template matching) ระบบรู้จำม่านตาที่ถูกอ้างอิงถึง



มาก คือระบบรู้จำม่านตาของ J. G. Daugman [3] ซึ่งใช้วิธี Quadrature 2D Gabor wavelet เพื่อสร้างรหัสม่านตา (Iris code) ขนาด 2048 บิตโดยมีความผิดพลาดในการระบุบุคคลเท่ากับ 0.000083 เปอร์เซ็นต์ ระบบของ R. Sanchez-Reillo และคณะ [4] เสนอระบบการรู้จำม่านตาซึ่งมีจุดประสงค์ในการลดขนาดแผ่นแบบโดยเลือกม่านตาในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาแล้วใช้วิธี Gabor filter ในการสกัดฟีเจอร์ ผลการทดลองมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระบบของ L. Ma และคณะ [5] ใช้วิธี Spatial filter ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Gabor filter โดยมีผลความผิดพลาดเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ระบบของ C. Chun และคณะ [6] เสนอระบบรู้จำม่านตาซึ่งนำไปใช้กับอุปกรณ์พาล์มท็อป (Palm-Top device) โดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน (Radon transform) ในการสกัดฟีเจอร์ (Feature extraction) เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณและมีการประมวลผลที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งองศาที่เลือก ได้แก่ 0 45 90 และ 135 องศา เวลาที่ใช้ประมวลผลลดลงถึง 6 เท่าเมื่อเทียบกับวิธีการใช้ wavelet ผลงานของ B. R. Meena และคณะ [7] ใช้หน้ากากสี่เหลี่ยมปิดตำแหน่งที่คาดว่าจะเป็นเปลือกตาบนและเปลือกตาล่างแล้วใช้วิธีการสกัดฟีเจอร์ 3 วิธี คือ วิธีการนับจำนวนขอบภาพในแนววงกลมและรัศมี วิธี Fourier transform ในแนวรัศมีและวิธี Circular-Mellin ซึ่งพบว่าวิธี Circular-Mellin ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีความถูกต้องเท่ากับ 95.45 เปอร์เซ็นต์ บทความของ Y. Du และคณะ [8] เสนอระบบการรู้จำม่านตาโดยใช้วิธี Grayscale invariant local texture patterns ร่วมกับการหาค่าเฉลี่ยเพื่อสร้างฟีเจอร์ 1 มิติจากนั้นใช้วิธีการวัดแบบ Du ในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ผลการทดลองวัดเป็นการจัดลำดับ 10 ลำดับได้ผลความถูกต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยของผู้วิจัยเรื่อง “การทวนสอบบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน” [9] ได้เสนอให้เลือกใช้บริเวณภาพม่านตา 2 ส่วนมาเรียงต่อกัน หลังจากนั้น ทำการเสริมแต่งภาพให้ชัดเจนก่อนสกัดฟีเจอร์โดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน ในการทดสอบหาประสิทธิภาพ

ของระบบพบว่า อัตราความผิดพลาดที่เท่ากัน (Equal Error Rate - EER) ที่ดีที่สุดเท่ากับ 8.3 เปอร์เซ็นต์ในการทวนสอบบุคคล และเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ในการระบุบุคคลเมื่อใช้ตัววัดแบบระยะทาง Euclidean

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการปรับปรุงวิธีการเดิมให้ดีขึ้นและใช้กับการระบุบุคคล โดยบทความนี้ประกอบด้วย 6 หัวข้อหลัก หัวข้อที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยเดิมที่ได้ทำมาก่อนหน้า หัวข้อที่ 3 นำเสนอวิธีการปรับปรุงวิธีเดิมให้ดีขึ้นโดยเน้นถึงหลักการและเหตุผลในส่วนของ การปรับปรุงวิธีการที่ใช้ หัวข้อที่ 4 คือวิธีการเปรียบเทียบแผ่นแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ส่วนในหัวข้อที่ 5 เป็นการทดลองและผลการทดลอง และหัวข้อสุดท้ายคือการสรุปผลการวิจัย

## 2. งานวิจัยเดิมที่ได้ทำมาก่อนหน้า

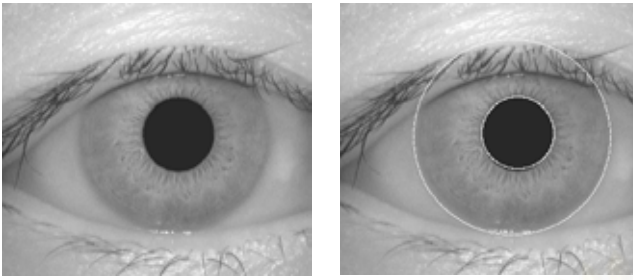
งานวิจัยเดิมที่ได้ทำมาก่อนหน้าของผู้วิจัยคือ “การทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน” [9] ได้นำเสนอวิธีการทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลโดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนมาสกัดฟีเจอร์ของม่านตาเพื่อลดเวลาในการประมวลผลและมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน

งานวิจัยเดิมนี้แบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนการเตรียมภาพ ขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ และขั้นตอนการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยสังเขปในหัวข้อนี้ สำหรับงานหลักอีกส่วนหนึ่งคือการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการระบุบุคคลจะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 5 ต่อไป

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพ

ในขั้นตอนการเตรียมภาพเริ่มจากการตรวจหารูม่านตาและม่านตาโดยใช้วิธีการหาโพรไฟล์การฉายแนวนอนและแนวตั้ง [10] ร่วมกับสมการวงกลมได้ผลดังรูป 1(ข) แล้วแบ่งส่วนเอาเฉพาะบริเวณม่านตามาใช้ ในงานวิจัยก่อนหน้านี [9] เลือกใช้บริเวณส่วนของม่านตาด้านขวาที่ -45 องศาถึง 45 องศาและส่วนของม่านตาด้านซ้ายที่ 135 องศาถึง 225 องศาแปลงจากภาพที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงเส้นให้เป็นภาพที่อยู่ในระบบพิกัด

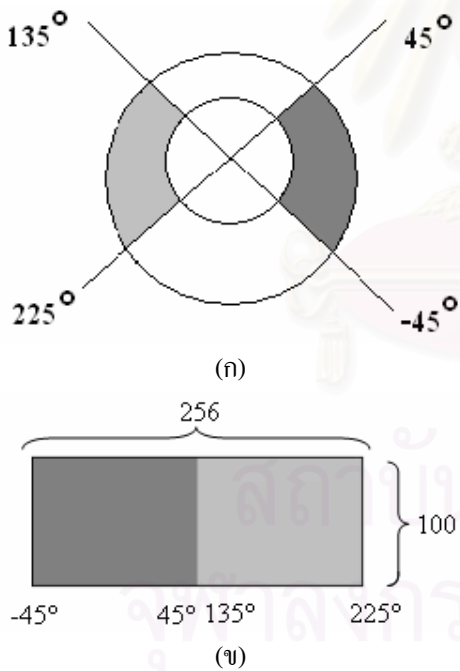
เชิงขั้ว แล้วนำภาพม่านตาในด้านขวาและด้านซ้ายมาต่อกันเพื่อให้เป็นภาพเดียวกันแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2



ก) ตัวอย่างภาพต้นฉบับ      ข) ตัวอย่างภาพผลลัพธ์การหาตำแหน่งม่านตา

รูปที่ 1. ภาพจากขั้นตอนการตรวจหาบริเวณม่านตา

จากภาพระดับเทาของส่วนของม่านตาที่นำมาเรียงต่อกันนำมาทำการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกัน (Histogram Equalization) เพื่อเป็นการเสริมแต่งภาพให้เห็นรายละเอียดม่านตาชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 2. การแปลงภาพส่วนของวงแหวนซึ่งแทนภาพลูกนัยน์ตาให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

- (ก) ภาพวงแหวนซึ่งแทนภาพลูกนัยน์ตา
- (ข) ภาพที่แปลงไปอยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

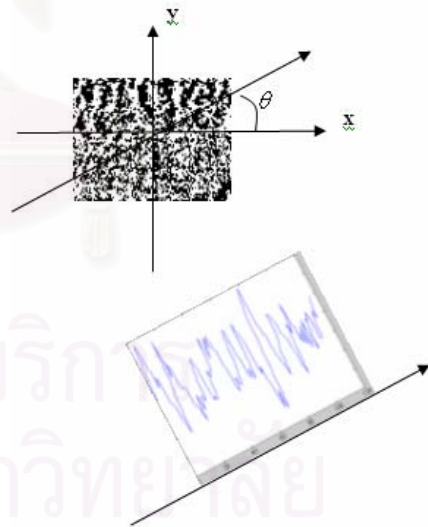
## 2.2 ขั้นตอนการสกัดพีเจอร์

การสกัดพีเจอร์ใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนแสดงดังสมการ (1) ซึ่งเป็นการหมุนแกน  $x$  ในแนวองศาที่กำหนดแล้วหาโพลาไรซ์การฉายในแนวองศา นั้น [9] โดยภาพที่นำมาแปลงเป็นภาพระดับเทาขนาด  $256 \times 100$  จุดภาพ องค์ของการหมุนของการแปลงแบบเรดอนที่เลือกมี 10 ค่า คือ ตั้งแต่องศาที่ 0 ถึงองศาที่ 180 โดยเพิ่มครั้งละ 18 องศา ดังนั้นจะได้พีเจอร์ทั้งหมด  $274 \times 10$  ค่าที่เป็นค่าของผลรวมของค่าระดับเทา ค่า 274 เป็นค่าความกว้างที่มากที่สุดของภาพเมื่อภาพผ่านการหมุน 10 ครั้ง ตัวอย่างวิธีการแปลงแบบเรดอนของภาพลักษณะฐานสองแสดงดังรูปที่ 3 และแสดงตัวอย่างผลการแปลงโดยนำภาพมาปรับสเกลเพื่อแสดงเป็นภาพไว้ในรูปที่ 4

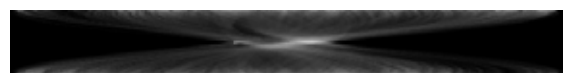
$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

เมื่อ  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$

โดย  $f$  คือ ฟังก์ชันของค่าความเข้มแสงของภาพ  
 $\theta$  คือ ทิศทางในการหมุนภาพ



รูปที่ 3. ภาพตัวอย่างวิธีการแปลงแบบเรดอน



รูปที่ 4. ตัวอย่างผลการแปลงแบบเรดอน โดยนำมาปรับสเกลเพื่อแสดงเป็นภาพ



### 2.3 ขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบ

การเปรียบเทียบแบบใช้วิธีการวัดระยะทางโดยตัววัด 4 ชนิด คือ ตัววัดความคล้ายแบบ Regional (Regional correlation) ตัววัดแบบระยะทาง Euclidean (Euclidean distance) ตัววัดแบบระยะทาง Absolute (Absolute distance) และตัววัดแบบระยะทาง S1 (S1 distance) ซึ่งจากการทดลองพบว่าตัววัดแบบระยะทาง Euclidean ให้ผลดีที่สุด

### 3. ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอเพื่อปรับปรุงงานวิจัยเดิม

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงงานวิจัยเดิม 3 ประเด็นหลัก กล่าวคือ ประเด็นแรกเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะภาพม่านตาที่ใช้ในการสกัดฟีเจอร์จากงานวิจัยเดิมที่ต่อภาพซีกขวาและซีกซ้ายของม่านตาเข้าเป็นภาพเดียวกันก่อนสกัดฟีเจอร์ ซึ่งจะทำให้ค่าการแปลงแบบเรดอนที่เกี่ยวข้องกับบริเวณรอยต่อมีความผิดพลาดได้มาก ประเด็นที่สองคือการปรับปรุงวิธีการเสริมแต่งภาพระดับเทาของลายม่านตาเพื่อให้รายละเอียดของลายม่านตามีความชัดเจนกว่าในงานวิจัยที่ผ่านมา และประเด็นสุดท้ายที่ปรับปรุงคือได้ปรับปรุงฟีเจอร์ที่เลือกใช้ให้มีความแปรผัน (Variation) หรือมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าฟีเจอร์น้อยลงเพื่อลดความผิดพลาด

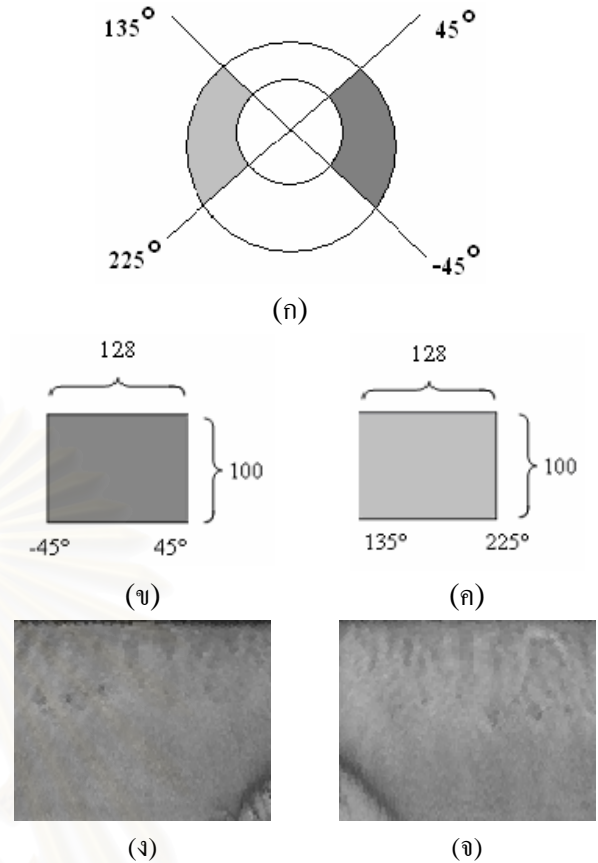
#### 3.1 การปรับปรุงการเสริมแต่งภาพ

เมื่อวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีการเดิมที่ใช้ พบว่าการเสริมแต่งภาพระดับเทาของลายม่านตาในงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ลายม่านตาชัดเจนขึ้นก็จริง แต่เมื่อสังเกตให้ละเอียดพบว่ารายละเอียดของลายม่านตาส่วนใหญ่ถูกลดทอนลงไปมาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการหาวิธีที่จะเสริมแต่งภาพให้ชัดขึ้นโดยไม่ทำให้รายละเอียดในภาพหายไปมากนัก

การปรับปรุงการเสริมแต่งภาพแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การปรับปรุงภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วและการปรับปรุงคุณภาพของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

##### 3.1.1 การเปลี่ยนแปลงภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

ขั้นตอนนี้ได้เปลี่ยนแปลงจากงานวิจัยเดิม [9] ที่นำภาพซีกขวาและซีกซ้ายมาต่อกันซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดของค่ามุม ตำแหน่งรอยต่อเมื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์



รูปที่ 5. การแปลงภาพส่วนของวงแหวนซึ่งแทนภาพลูกนัยน์ตาให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

(ก) ภาพส่วนของวงแหวนซึ่งแทนภาพลูกนัยน์ตา

(ข) ภาพส่วนของวงแหวนที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว ในแนว -45 ถึง 45 องศา

(ค) ภาพส่วนของวงแหวนที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว ในแนว 135 ถึง 225 องศา

(ง) ตัวอย่างส่วนของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว ในแนว -45 ถึง 45 องศา

(จ) ตัวอย่างส่วนของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว ในแนว 135 ถึง 225 องศา

ขั้นตอนการแปลงภาพม่านตาให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วทำเพื่อปรับภาพให้มีขนาดเท่ากันทุกภาพเนื่องจากขนาดของรูม่านตาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความสว่างของแสงโดยเก็บภาพในแนว -45 องศาถึง 45 องศาและ 135 องศาถึง 225 องศาเพื่อหลีกเลี่ยงเปลือกลตาและขนตา ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ภาพม่าน

ค่าที่แปลงให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วแบ่งเป็น 2 ภาพคือภาพ ม่านตาซีกขาว ดังรูปที่ 5(ง) และภาพม่านตาซีกซ้ายดังรูปที่ 5(จ) ให้มีขนาดเท่ากันเท่ากับ 128 x 100 จุดภาพแทนการนำภาพทั้งสองมาต่อกันเพื่อลดความผิดพลาดที่ตำแหน่งรอยต่อ

**3.1.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว**

การปรับปรุงคุณภาพของภาพม่านตาต้องปรับภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วทั้งฐานข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อน เนื่องจากภาพแต่ละภาพอาจมีสภาพแวดล้อมและความเปรียบต่าง ณ เวลาเก็บภาพต่างกันซึ่งมีผลกับความถูกต้องของระบบ วิธีการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันทำได้โดยการปรับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของภาพทุกภาพให้เท่ากับค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่กำหนดดังสมการ (3) และ (4) [11]

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d(I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad (4)$$

โดยที่  $I'(x, y)$  เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

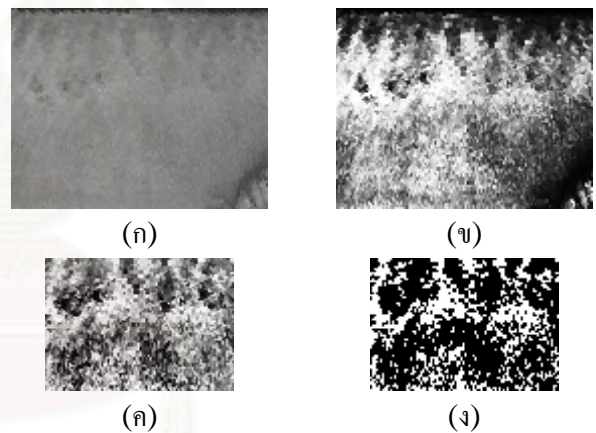
$\phi_d$  และ  $\rho_d$  เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

$\phi$  และ  $\rho$  เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ

$I(x, y)$  เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพตำแหน่ง  $(x, y)$

เมื่อปรับภาพม่านตาทั้งฐานข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันแล้วเป็นขั้นตอนการปรับคุณภาพของภาพ ในงานวิจัยเดิมใช้วิธีการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันซึ่งเป็นการทำกับภาพทั้งภาพมีผลให้ภาพมีความเปรียบต่าง (Contrast) ดีขึ้นทำให้เห็นลายม่านตาชัดเจนขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกัน รายละเอียดของลายม่านตาก็กลับถูกลดทอนไปดังภาพที่ 6 (ก) และ 6 (ข) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงปรับปรุงโดยใช้วิธีการจัดแบ่งให้อิสโท

แกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่น (Local histogram equalization) ในการกำหนดขนาดหน้าต่าง ถ้ากำหนดให้หน้าต่างมีขนาดเล็กทำให้ภาพมีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทามากและสัญญาณรบกวนจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าขนาดหน้าต่างใหญ่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทาลดน้อยลง ในงานวิจัยนี้กำหนดหน้าต่างขนาด 35x35 จุดภาพซึ่งได้จากการทดลองในการปรับคุณภาพของภาพ ทำให้เห็นรายละเอียดของลายม่านตาชัดเจนขึ้น ผลการปรับภาพได้ภาพขนาด 94 x 66 จุดภาพเนื่องจากตำแหน่งขอบภาพไม่ถูกนำมาคำนวณด้วย ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดของค่าบริเวณขอบภาพ ผลการปรับภาพแสดงดังรูป 6 (ค) ภาพที่จะนำไปใช้หาพีเจอร์เป็นภาพที่แปลงไปเป็นภาพลักษณะฐานสองโดยการใช้ค่าขีดแบ่ง (Thresholding) ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ภาพลักษณะฐานสองมีอัตราส่วนระหว่างพื้นหน้า (สีดำ) และพื้นหลัง (สีขาว) เท่ากับ 2 ต่อ 1



**รูปที่ 6.** ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของ ส่วนของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว

- (ก) ตัวอย่างส่วนของภาพม่านตาที่อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วในแนว -45 องศาถึง 45 องศา
- (ข) ตัวอย่างภาพจากการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกัน
- (ค) ตัวอย่างภาพจากการจัดแบ่งให้อิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นของหน้าต่างขนาด 35 x 35 จุดภาพ
- (ง) ตัวอย่างภาพจากการแปลงเป็นภาพลักษณะฐานสองโดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างพื้นหน้า (สีดำ) และพื้นหลัง (สีขาว) เท่ากับ 2 ต่อ 1

### 3.2 การปรับปรุงพีเจอร์

พีเจอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นค่าจากการแปลงแบบเรคตอนบนพื้นฐานของค่าระดับเทา ทำให้ค่าการแปลงแบบเรคตอนเป็นค่าผลรวมของค่าระดับเทาซึ่งทำให้ค่าการแปลงแบบเรคตอนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับเทามาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงปรับปรุงมาใช้วิธีการแปลงแบบเรคตอนของภาพลักษณะฐานสองในการสกัดพีเจอร์แทนเพื่อลดความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าของการแปลงแบบเรคตอนเนื่องจากค่าระดับเทา องค์ของการหมุนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้จำนวน 10 ค่าโดยเริ่มตั้งแต่องศาที่ 0 องศาจนถึงองศาที่ 180 องศา (นับทวนเข็มนาฬิกา) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยเดิมที่ได้เสนอไปแล้ว ดังนั้นพีเจอร์ที่ได้ในขั้นตอนนี้มีขนาดเท่ากับ  $115 \times 20$  ค่าซึ่งค่า 115 เป็นค่าความกว้างที่มากที่สุดของภาพเมื่อผ่านการแปลงแบบเรคตอนและค่า 20 เป็นค่าองศาการหมุนของภาพด้านขวา 10 องศาและด้านซ้าย 10 องศา โดยวิธีการแปลงแบบเรคตอนของภาพลักษณะฐานสองแสดงดังรูปที่ 3 ส่วนรูปที่ 7 คือผลการแปลงแบบเรคตอนของภาพลักษณะฐานสองเมื่อปรับสเกลของภาพเพื่อแสดงให้เห็นเป็นภาพ



รูปที่ 7. ภาพตัวอย่างผลการแปลงแบบเรคตอนของภาพลักษณะฐานสองเมื่อนำมาปรับสเกลเพื่อแสดงเป็นภาพ

### 4. วิธีการเปรียบคู่แผ่นแบบ (Template Matching)

วิธีการเปรียบคู่แผ่นแบบมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ต่างกันและมีผลกับความถูกต้องของระบบงานวิจัยนี้ทดสอบตัววัดแบบระยะทาง (Distance metrics) 3 ชนิดในการระบุบุคคล ตัววัด 3 ชนิดมีดังนี้

1. ตัววัดความคล้ายแบบ Regional (Regional Correlation)

$$D_{r_o} = \text{Max}_{\tau} \left[ \frac{\sum_{x'} [A_{\theta}(x') - \bar{A}_{\theta}] \cdot [B_{\theta}(x' - \tau) - \bar{B}_{\theta}]}{\left[ \sum_{x'} [A_{\theta}(x') - \bar{A}_{\theta}]^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{x'} [B_{\theta}(x' - \tau) - \bar{B}_{\theta}]^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (5)$$

2. ตัววัดแบบระยะทาง Euclidean (Euclidean Distance)

$$D_e = \text{Min}_{\tau} \left[ \sqrt{\sum_{x'} (A_{\theta}(x') - B_{\theta}(x' - \tau))^2} \right] \quad (6)$$

3. ตัววัดแบบระยะทาง Absolute (Absolute Distance)

$$D_a = \text{Min}_{\tau} \left[ \sum_{x'} |A_{\theta}(x') - B_{\theta}(x' - \tau)| \right] \quad (7)$$

โดย  $A_{\theta}(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

$B_{\theta}(x')$  เป็นพีเจอร์ของภาพม่านตาที่นำมาทดสอบ

$\bar{A}_{\theta}, \bar{B}_{\theta}$  เป็นค่าเฉลี่ยของพีเจอร์

$\tau$  เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้เนื่องจากการหมุนของภาพม่านตาโดยกำหนดให้มีค่าในช่วง -10 ถึง 10 พิกเซล

### 5. การทดลองและผลการทดลอง

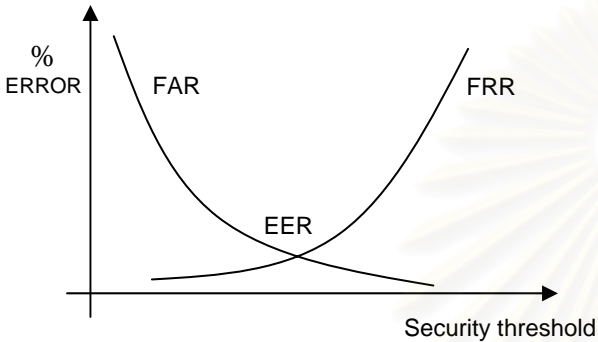
ข้อมูลและวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้และงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วเหมือนกันและมีรายละเอียดดังนี้

#### 5.1. ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบขั้นตอนวิธีที่ปรับปรุงกับภาพที่นำมาจากฐานข้อมูล CASIA [12] ภาพทดสอบเป็นภาพระดับเทา 8 บิตขนาด  $320 \times 280$  จุดภาพ จำนวนทั้งสิ้น 108 คนคนละ 1 ชุดภาพ ภาพ 1 ชุดมี 7 ภาพแบ่งเป็น 2 ส่วนโดยส่วนแรกมี 3 ภาพเป็นภาพที่ใช้ในการลงทะเบียนเพื่อเก็บเป็นแผ่นแบบไว้ในฐานข้อมูล ส่วนที่สองมี 4 ภาพเป็นภาพที่ใช้ทดสอบระบบในการเก็บข้อมูลระบบนำภาพ 3 ภาพผ่านการสกัดพีเจอร์ได้พีเจอร์ของแต่ละภาพแล้วนำ 4 ภาพที่เหลือมาทดสอบระบบโดยผ่านตัววัดแบบระยะทางทั้ง 3 ชนิด ในการทดสอบได้แบ่งชุดภาพจำนวน 108 ชุดภาพออกเป็น 2 ส่วนโดยส่วนแรกชุดภาพจำนวน 60 ชุดภาพเป็นผู้ใช้ที่ลงทะเบียนกับระบบและชุดภาพที่เหลืออีก 48 ชุดภาพเป็นผู้บุกรุก

การวัดประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกซ์ที่ค่าอัตราการยอมรับบุคคลผิด (FAR: False Acceptance Rate) และอัตราการปฏิเสธบุคคลผิด (FRR: False Rejection Rate) โดย FAR คือค่าอัตราส่วนระหว่างความผิดพลาดที่ระบบยอมรับผู้

บุกรุกให้เข้าระบบโดยเห็นว่าเป็นผู้ใช้จริงต่อจำนวนครั้งในการพยายามเข้าระบบทั้งหมด และ FRR คืออัตราส่วนระหว่างความผิดพลาดที่ระบบปฏิเสธผู้ใช้จริงโดยเห็นว่าเป็นผู้บุกรุกต่อจำนวนครั้งในการพยายามเข้าระบบทั้งหมด โดยค่า FAR และ FRR เป็นส่วนกลับกัน ดังนั้นจึงมีการนำค่าความผิดพลาดที่เท่ากัน (EER: Equal Error Rate) มาใช้ในการวัดประสิทธิภาพระหว่างระบบไบโอเมตริก

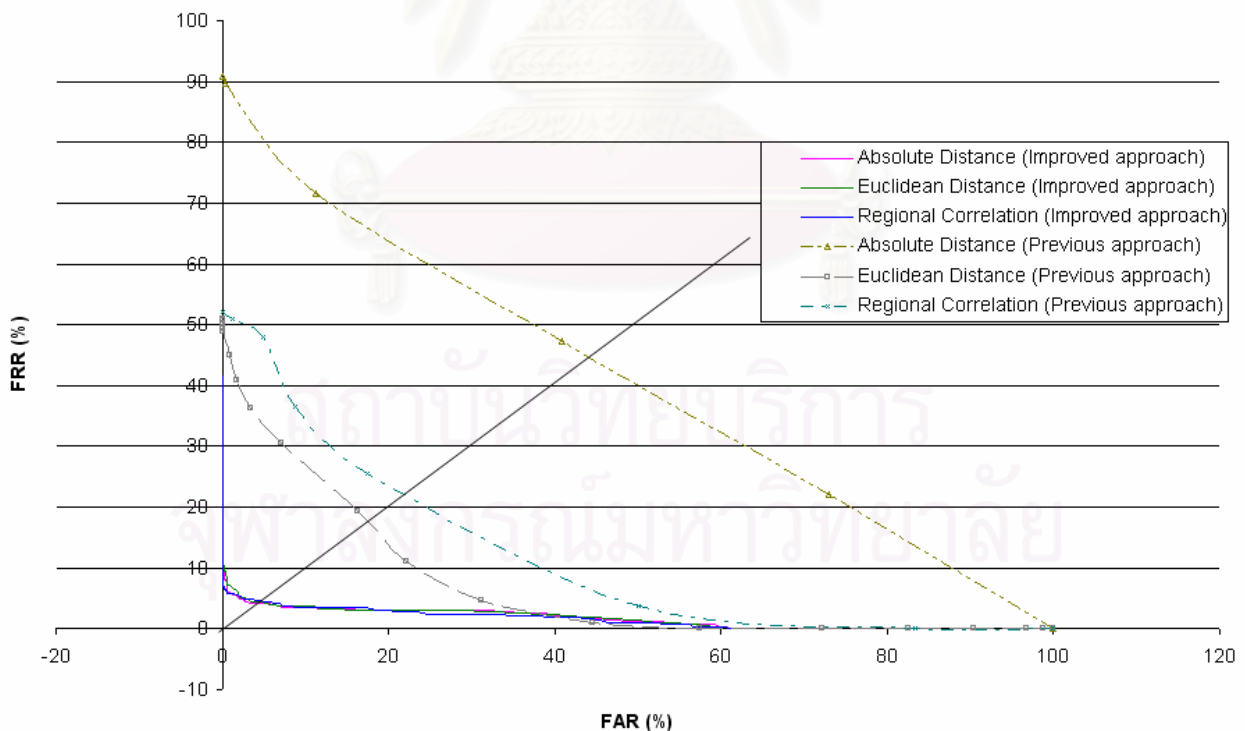


รูปที่ 8. กราฟแสดงค่า FAR และ FRR เมื่อค่าขีดแบ่งของระบบเปลี่ยนแปลง

กราฟแสดงค่าอัตราการยอมรับบุคคลผิดและอัตราการปฏิเสธบุคคลผิดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าขีดแบ่งแสดงดังรูปที่ 8 [1, 2, 3]

**5.2 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคล**

การระบุบุคคลเป็นการเข้าระบบโดยใช้ลักษณะทางไบโอเมตริก ดังนั้นการเปรียบเทียบแบบจะมีลักษณะเป็น 1 ต่อหลายแบบ วิธีการเปรียบเทียบแบบสำหรับการระบุบุคคลทำได้โดยนำฟิเจอร์ที่ได้จากภาพทดสอบมาเปรียบเทียบกับฟิเจอร์ที่เก็บในฐานข้อมูลทั้งหมดแล้วระบบจะให้ผลเป็นบุคคลใดโดยดูจากค่าคะแนนการเปรียบเทียบ เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งให้กับระบบเพื่อคำนวณค่าอัตราการยอมรับบุคคลผิดและอัตราการปฏิเสธบุคคลผิด ถ้าค่าคะแนนการเปรียบเทียบมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะยอมให้ผู้ใช้เข้าระบบโดยระบุเป็นบุคคลที่มีค่าคะแนนการเปรียบเทียบน้อยที่สุด มิฉะนั้นระบบจะปฏิเสธผู้ใช้นั้นโดยเห็นว่าเป็นผู้บุกรุก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 9. กราฟ ROC ของการระบุบุคคลของงานวิจัยก่อนหน้าและของงานวิจัยนี้โดยใช้ตัววัด 3 ชนิด



ตารางที่ 1. อัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของการระบุบุคคล

ตัววัดแบบระยะทาง	EER (%)	
	งานวิจัย ก่อนหน้า	งานวิจัยที่ ปรับปรุง
1. Regional Correlation	23	3.757
2. Euclidean	18	3.76
3. Absolute	44	<u>3.695</u>

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยนี้ตัววัดทั้งสามชนิด ให้ค่าความผิดพลาดที่เท่ากันใกล้เคียงกันมาก โดยตัววัดแบบระยะทาง Absolute ให้ประสิทธิภาพระบบดีกว่าตัววัดแบบระยะทาง Euclidean และตัววัดความคล้ายแบบ Regional จากผลการทดลองแสดงเป็นกราฟ ROC (Receiver operating Characteristic) ของระบบระบุบุคคลดังรูปที่ 9 โดยแกนอนแสดงอัตราการยอมรับบุคคลผิด และแกนตั้งแสดงอัตราการใช้ตัววัดที่ผิด จากกราฟจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของระบบระบุบุคคลที่ใช้วิธีที่ปรับปรุงนี้ให้ผลใกล้เคียงกันเมื่อใช้กับตัววัดทั้งสามชนิดและผลที่ได้ดีกว่าวิธีที่ยังไม่ได้ปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยระบบที่ใช้ตัววัดแบบระยะทาง Absolute ให้ผลดีที่สุดโดยดูได้จากกราฟ ROC ในแนว 45 องศา (คือเส้นกราฟที่ค่าอัตราการยอมรับบุคคลผิดและอัตราการใช้ตัววัดที่ผิดมีค่าเท่ากัน) มีค่าต่ำที่สุด

## 6.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอการปรับปรุงระบบการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้การแปลงแบบเรดอนโดยเลือกภาพม่านตาเพียงบางส่วนและเปลี่ยนลักษณะของภาพม่านตาและปรับปรุงคุณภาพของภาพม่านตาโดยวิธีการจัดแบ่งฮิสโทแกรมเสมอภาคกันแบบท้องถิ่นเพื่อให้เห็นรายละเอียดม่านตาชัดเจนยิ่งขึ้นแล้วใช้วิธีการแปลงแบบเรดอนของภาพลักษณะฐานสองซึ่งเป็นการลดการแปรผันของค่าความเข้มแสงเพื่อสร้างพีเจอร์แล้วเก็บเป็นแผ่นแบบลงในฐานข้อมูล เมื่อได้แผ่นแบบแล้วใช้ตัววัดแบบระยะทาง 3 ชนิดในการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ผลการเปรียบเทียบแผ่นแบบพบว่าตัววัดระยะทางแบบ Absolute ให้ผลการระบุ

บุคคลดีที่สุดโดยมีค่าความผิดพลาดที่เท่ากันเท่ากับ 3.695 เปอร์เซนต์

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation (CASIA) ที่อนุเคราะห์ภาพม่านตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สมหญิง ไทยนิมิต และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิพงษ์ อารีกุล ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการประมวลผลภาพ

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. P. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, pp. 1348-1363, 1997.
- [2] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, "Biometric: Personal Identification in Networked Society," Kluwer, 1998.
- [3] J.G. Daugman, "High Confidence Recognition of Persons by Rapid Video Analysis of Iris Texture," *European Convention on Security and Detection*, no. 408, pp. 244-251, 1995.
- [4] R. Sanchez-Reillo and C. Sanchez-Avila, "Iris Recognition with Low Template Size," *Third International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, AVBPA 2001*, vol. 2091, pp. 324, 2001.
- [5] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang, "Personal identification based on iris texture analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, pp. 1519-1533, 2003.
- [6] C. Chun and R. Chung, "Iris Recognition for Palm-Top Application," *Biometric Authentication: First International Conference, ICBA 2004*, vol. 3072, pp. 426-433, 2004.
- [7] B. R. Meena, M. Vatsa, R. Singh, and P. Gupta, "Iris Based Human Verification Algorithms," *Biometric Authentication: First International Conference, ICBA 2004*, vol. 3072, pp. 458-466, 2004.
- [8] Y. Du, R. Ives, D. Etter, T. Welch and C-I. Chang, "A One dimensional approach for iris identification," *Proceedings of SPIE, Biometric Technology for Human Identification*, vol.5404, pp.237-247, 2004
- [9] กัทธาภรณ์ อริยปริชากุลและนงลักษณ์ ไคววาสารัช, "การทวนสอบบุคคลและระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้วิธีการแปลงแบบเรดอน,"การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศครั้งที่ 1, นนทบุรี, หน้า 287-292, 2548
- [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] Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation, "Database of 756 Grayscale Eye Image," <http://www.sinobiometrics.com>, version 1.0, 2003

# An Improvement of Iris Pattern Identification Using Radon Transform

Patraporn Ariyapreechakul and Nongluk Covavisaruch

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand  
E-mail: pat.ari@gmail.com, nongluk.c@chula.ac.th

## ABSTRACT

This research proposes an improvement of iris personal identification system using Radon transform which is used to extract feature stored as templates in a database. In our research, the system has been tested to find the best system performance with 3 distance functions: regional correlation, Euclidean distance and absolute distance. The test images are from CASIA iris database. Our experimental results reveal that the improved approach greatly increases the system performance for all distance functions. Among the 3 distance functions, the absolute distance gives the best results which reduce EER from 18% (previous approach) to 3.695%.

**Keywords:** Iris, Feature extraction, Radon transform

## 1. INTRODUCTION

At present, it is common that many systems must have some security modules to protect imposters from accessing them. Cards and/or passwords are typically used for security purpose. However, cards can be stolen while passwords can be forgotten. Hence, biometric is introduced for use in personal authentication. Biometric refers to personal physiological and behavioral characteristics that can be used to authenticate a person's identity. Fingerprints, faces, retinas, and irises are some examples of the physiological characteristics whereas voice, signatures, and gaits, the behavioral characteristics. This research exploits iris pattern for personal identification to identify a person who is registered to the system.

Iris is the tissue located between sclera and pupil. It consists of many complex structures such as freckles, ridges, furrows, crypts, and coronas, etc. Iris pattern is stable and most likely never changes throughout the person's life [1, 2]. Therefore, it is considered a suitable biometric for use in high security systems.

Many research works have been developed in the area of iris personal identification over the recent decades. R.P. Wildes [1] has proposed to use Laplacian pyramid for extracting feature and match the templates by normalize correlation combined with Fisher's linear discriminant. J. G. Daugman's iris recognition system [3], which is perhaps the most referred-to system, uses Quadrature 2D Gabor wavelet to create a 2,048-bit iris

pattern. The error rate is about 0.000083%. R. Sanchez-Reillo et al. [4] have proposed an iris recognition system with a small template size. The iris images for feature extraction are chosen from those between -45 and 45 degrees, and between 135 and 225 degrees. Gabor filter is used to extract feature. The error rate is 3.6 % for 1,860 bits. L. Ma et al. [5] have proposed a new algorithm to represent the iris texture with spatial filter adapted from Gabor filter. C. Chun et al. [6] have introduced an iris recognition system for palm-top application by using Radon transform which reduces computational time by 6 times compared with wavelet transform. B. R. Meena et al. [7] have used rectangular masks to remove upper and lower eyelids. Three feature extraction methods have been proposed. They are circular and radial features, Fourier transform along radial directions and circular-mellin operator. It is reported that the circular-mellin operator gives the best result at accuracy rate of 95.45%. Y. Du et al. [8] have used grayscale invariant local texture patterns to create 1D feature. Du measure is used for template matching. This method gives over 97% accuracy for the top 5 rankings.

In our previous work, "*Personal Verification and Identification via Iris Pattern Using Radon Transform*" [9], we have proposed to use the concatenation of 2 preprocessed partial iris images. We enhance the image before extracting feature with Radon transform. The equal error rates (EER) are 8.3% for verification and 18% for identification.

This paper presents an improvement of our previous method mentioned above. Our previous work is briefly explained in section 2. Section 3 illustrates our improved algorithm. Template matching is discussed in section 4. Then, section 5 presents system performance evaluation and the experimental results and section 6, the conclusion.

## 2. OUR PREVIOUS WORK

In our previous work, "*Personal Verification and Identification via Iris Pattern Using Radon Transform*" [9], we have proposed a personal verification and identification system using Radon transform in order to extract iris feature. Radon transform has been utilized because the computation itself is simple and the processing time is not slow.



Our previous work consists of several parts as follows: image preprocessing, feature extraction, template matching and the system performance test for personal identification. The first three parts are explained in the following subsections whereas the last part, in section 5.

**2.1 Image preprocessing**

Detection of iris boundary is the first step to be accomplished by using horizontal and vertical projection profiles [10] followed by circle detection as shown in figure 1(b). In our previous approach [9], in order to avoid eyelids and eyelashes, we have segmented and used partial iris areas on the right side, which is between -45 and 45 degrees, and on the left side between 135 and 225 degrees as shown in figure 2(a). The partial iris images are transformed from Cartesian-coordinate images into polar-coordinate images. The two images are concatenated as shown in figure 2(b) and then enhanced by global histogram equalization.

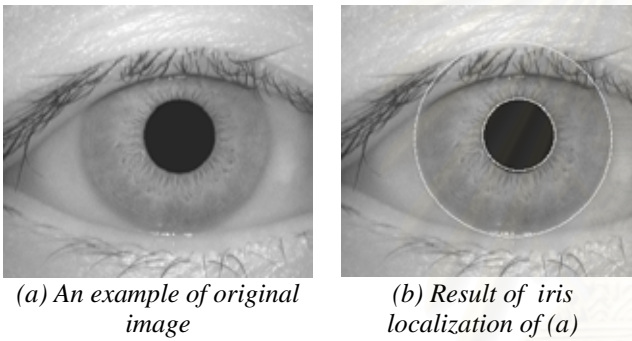
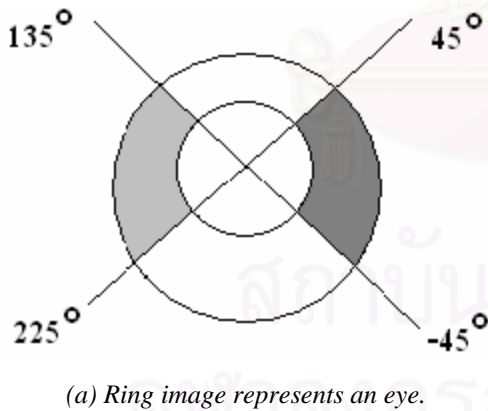
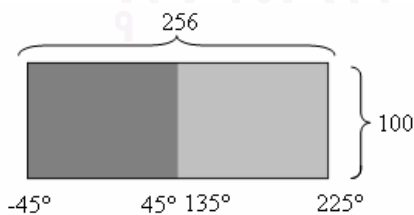


Fig. 1: An example image from Iris boundary detection.



(a) Ring image represents an eye.



(b) Cartesian-coordinate image transformed to polar-coordinate image.

Fig. 2: Ring transformation from Cartesian-coordinate image to polar-coordinate image.

**2.2 Feature Extraction**

Radon transform is used for feature extraction as shown in equations (1) and (2). Radon transform is a transform that is the projection of an image along specified direction [9]. The processed image is a 256x100, 8-bit grayscale image. We have selected 10 rotation steps for Radon transform. The angle starts at 0 degree and increases anti-clockwise by 18 degrees at a time. Hence, the extracted feature, which is the projection of a grayscale image, consists of 274x100 values. The number 274 refers to the most projection width of 10 rotated images. An example of Radon transform of a grayscale image is shown in figure 3. Figure 4 is an example of the extracted feature represented as a grayscale image.

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

Where  $f$  is the intensity of a pixel.  
 $\theta$  is the rotation angle.

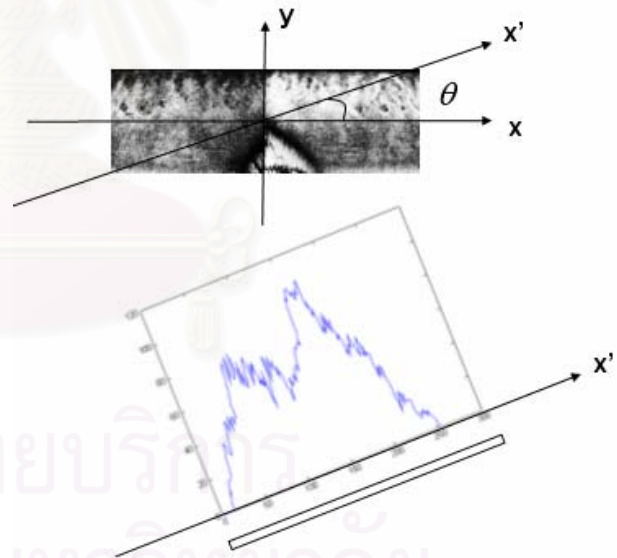


Fig. 3: Radon transform along angle  $\theta$

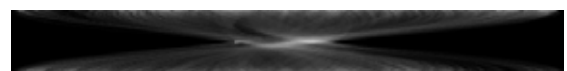


Fig. 4: An example of Radon transform that is adjusted in order to present as an image.

**2.3 Template Matching**

In our previous work, we have matched templates with four distance functions which are regional correlation, Euclidean distance, absolute distance and S1

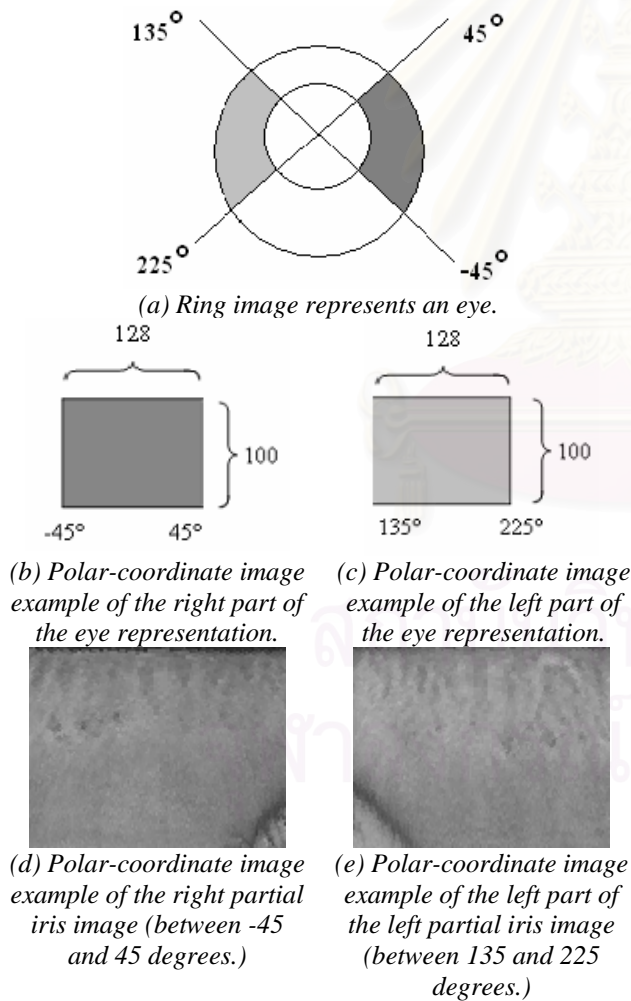
distance. From our experiments, the Euclidean distance provides the best results.

### 3. AN IMPROVED APPROACH

The objective of this research is to improve our previous work. Firstly, as we have noticed that the connecting area of the right and left partial iris images can cause much error for Radon transform, we *change the partial iris image representation* before extracting the feature via Radon transform. Secondly, we *aim to achieve clearer details of iris pattern before performing Radon transform*. Lastly, we attempt to *improve the iris feature by decreasing the feature sensitivity due to intensity variation* so that error rate can be reduced.

#### 3.1 Changes in Partial Iris Image Representation

Since the size of pupil varies upon light change, we normalize the polar-coordinate partial iris image to a fixed size of 128x100. Examples of the right side and the left side are shown in figure 5(d) and figure 5(e) respectively.



**Fig. 5:** Partial ring conversion to polar-coordinate of an example image.

As mentioned above, the iris image representation before feature extraction in our previous approach [9] can cause much error for Radon transform at the concatenated border. Therefore, in this work, instead of concatenating the partial iris images before extracting the feature, we now separately extract the feature from the two partial iris images and concatenate the Radon transform results afterward.

#### 3.2 Improving the Iris Patterns

The environment and contrast of image at the acquisition stage may vary and can significantly impact the system accuracy, we therefore *normalize* all polar-coordinate iris images in the database with equations (3) and (4) [11].

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d (I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad (4)$$

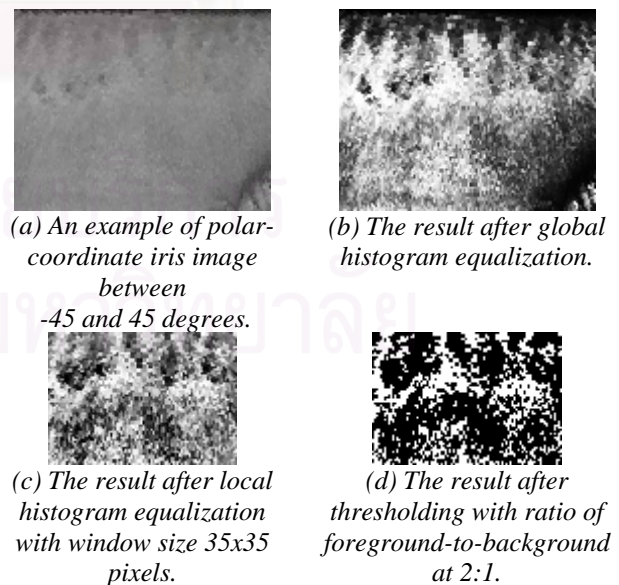
Where  $I'(x, y)$  is the normalized image

$\phi_d$  and  $\rho_d$  are mean and variance of result image.

$\phi$  and  $\rho$  are mean and variance of original image.

$I(x, y)$  is the intensity at position  $(x, y)$

In this work, the mean and variance of result images are set to the average mean and average variance of all polar-coordinate partial iris images in the database.



**Fig. 6:** The quality improvement of polar-coordinate iris image result.

After all iris images are normalized, they are enhanced in order to obtain clearer details of iris patterns. We have noticed that even though histogram equalization enhances iris images, it somehow lessens the details of iris patterns as shown in figures 6(a) and 6(b). Hence, in this work, we propose to apply local histogram equalization instead. It should be noted that the window size for local histogram equalization highly affects the result. For our partial iris images, the bigger the window of local histogram equalization is, the less intensity contrast and the less noises are enhanced. In this research, the window size is set at 35x35 pixels. The result image is reduced to 94x66 pixels because we ignore the sides of the image which could induce more noise from local histogram equalization. An example of the result from local histogram equalization is shown in figure 6(c).

### 3.3 Iris Feature Improvements

The selected feature in our previous work is the Radon transform of a grayscale image. The gray-level values can cause high variations to Radon transform because it is the grayscale projection profile. Therefore, in attempt to lessen the Radon transform sensitivity, we use a binary image instead of a grayscale image as our input to Radon transform. In this research, the threshold is set to the value where the ratio of foreground-to-background is 2:1. An example of the thresholded image is shown in figure 6(d).

Our feature template from Radon transform consists of the data from 10 rotation angles, from 0 degree to 180 degrees where the rotation step is 18 degrees counterclockwise. Hence, the size of the template is 115x20 values. The number 115 refers to the most projection width of the 10 rotated images and the number 20 is from ten rotation angles of the right partial iris image and ten of the left. Figure 7 is the Radon transform of the binary images representing as a gray-scale image. It is noted that the data are shown as intensities for the purpose of image representation only.



Fig. 7: An example result image of Radon transform of a binary image.

## 4. TEMPLATE MATCHING

There are many template matching methods used in pattern recognition. For this research, three distance metrics are applied for personal identification test as follows.

### 1. Regional Correlation

$$D_r = \text{Max}_\tau \left[ \frac{\sum_{x'} [A_\theta(x') - \bar{A}_\theta] \cdot [B_\theta(x' - \tau) - \bar{B}_\theta]}{\left[ \sum_{x'} [A_\theta(x') - \bar{A}_\theta]^2 \right]^{1/2} \left[ \sum_{x'} [B_\theta(x') - \bar{B}_\theta]^2 \right]^{1/2}} \right] \quad (5)$$

### 2. Euclidean Distance

$$D_e = \text{Min}_\tau \left[ \sqrt{\sum_{x'} (A_\theta(x') - B_\theta(x' - \tau))^2} \right] \quad (6)$$

### 3. Absolute Distance

$$D_a = \text{Min}_\tau \left[ \sum_{x'} |A_\theta(x') - B_\theta(x' - \tau)| \right] \quad (7)$$

where  $A_\theta(x')$  is a feature vector of iris image stored as a template in database.

$B_\theta(x')$  is a feature vector of a tested image.

$\bar{A}_\theta, \bar{B}_\theta$  are the average values of feature vectors.

$\tau$  corresponds to the possible offset between the two iris templates. In our implementation,  $\tau \in [-10^\circ, 10^\circ]$ .

## 5. EXPERIMENTAL RESULTS

The test data and template matching methods of our improved approach are the same as those used in our previous work [9].

### 5.1. Testing

The iris images in our experiments are from CASIA iris database [12]. The resolution of each image is 320x280 pixels, 256 gray levels. There are totally 108 datasets from 108 users. Each dataset consists of 7 iris images.

In our experiments, we divide the data into 2 groups. The first group, consisting of 60 users, is regarded as genuine users to the system while the other group, as imposters. For genuine users, 3 images are used for registering to the system and the others are for testing the system with 3 different distance functions.

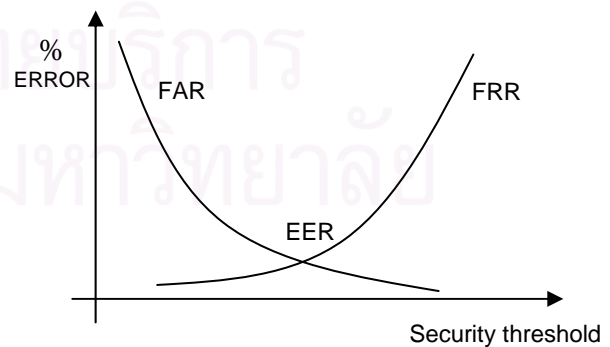


Fig. 8: A plot of FAR and FRR in varying thresholds.

Performance of a biometric system is measured by False Acceptance Rate (FAR) and False Rejection Rate (FRR). FAR is a ratio of the number of system accepting imposters to total attempts while FRR is a ratio of the number of system rejecting the enrolled users to total



attempts. Equal error rate (EER) is where FAR equals FRR. It is used to measure the performance in order to compare among several biometric systems. Figure 8 illustrates the FAR and FRR graph [1, 2, 3].

## 5.2 Experimental results

Personal identification is a process to identify a person who is registered to a system. A test data must be compared to all templates stored in the database. Therefore, it is a one-to-many matching process. The results of this step are the matching scores. The system then decides from the matching scores who the person is.

Normally, in order to calculate FAR and FRR, a score threshold must be set. If the matching score is more than threshold, the system will reject the attempting person. But if it is less than threshold, the system then identifies who the person should be. The experimental results are shown in table 1.

**Table 1:** EER of personal identification systems with different distance functions

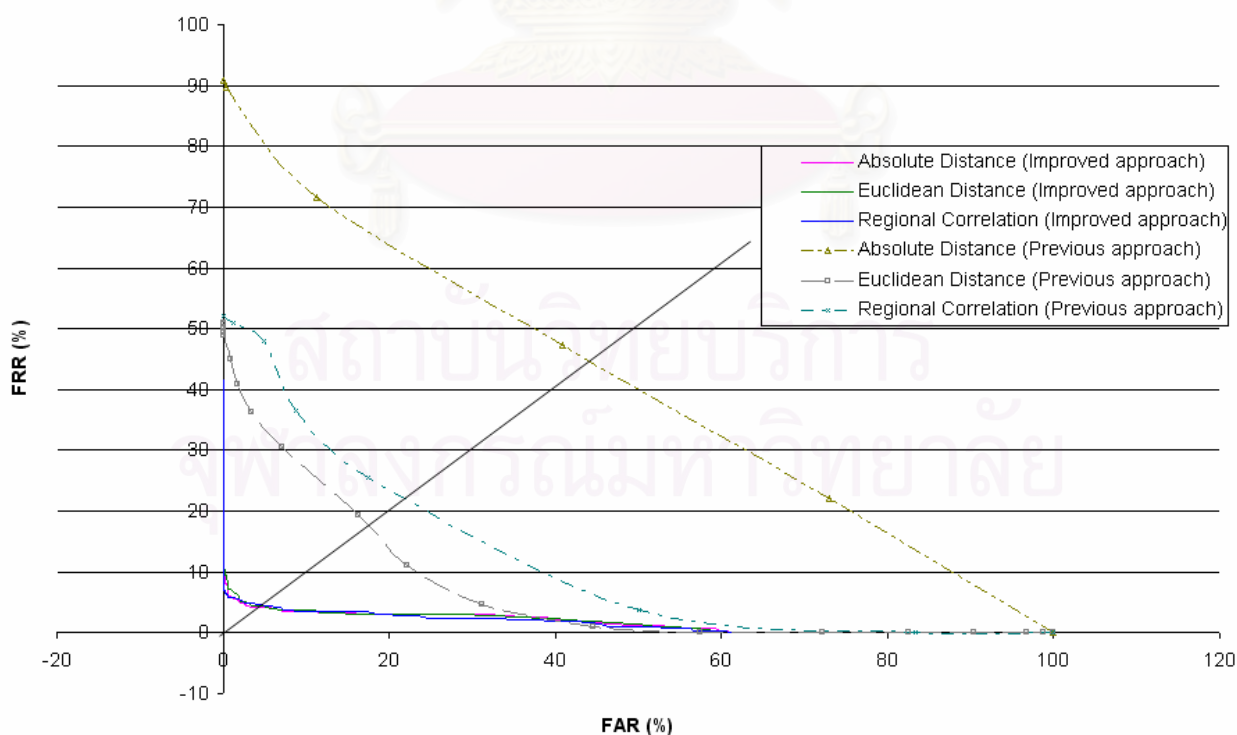
Distance Function	EER (%)	
	Previous Approach	Improved Approach
1. Regional Correlation	23	3.757
2. Euclidean	18	3.76
3. Absolute	44	<u>3.695</u>

From table 1, the EER's of our improved method greatly decrease for all distance functions. Absolute distance gives a little better result than Euclidean distance and regional correlation methods. It can also be clearly seen in the ROC (Receiver Operating Characteristic) graph of our personal identification systems, as illustrated in figure 9, that the system performances of the improved approach are nearly the same for all three distance functions and far better than our previous approach. Among the three distance functions, absolute distance provides the best result.

## 6. CONCLUSION

This research proposes an improvement of partial iris pattern identification using Radon transform. Several changes are done as follows: Partial iris representation is changed to solve the problem that errors in Radon transform arise at the connecting area of the right and left partial iris images. Local histogram equalization is applied to enhance the details of iris patterns. Lastly Radon transform is computed from a binary image rather than a grayscale image in order to reduce the feature sensitivity.

The experimental results illustrate that the performances of identification systems with our improved approach are much higher than those of our previous approach. The best EER is 3.695%, matching the features with absolute distance.



**Fig. 9:** ROC graph of a personal identification of our previous approach and our improved approach using 3 distance functions.

## 7. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to express their appreciation to the 90th year Anniversary of Chulalongkorn University (Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund) for the funding support, the Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation (CASIA) for the iris database, and Dr. Somying Thainimit and Dr. Vutipong Areekul for their valuable comments.

## 8. Reference

- [1] R. P. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, pp. 1348-1363, 1997.
- [2] A. Jain, R. Bolle, and S. Pankanti, "*Biometric: Personal Identification in Networked Society*," Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [3] J.G. Daugman, "High Confidence Recognition of Persons by Rapid Video Analysis of Iris Texture," *European Convention on Security and Detection*, no. 408, pp. 244-251, 1995.
- [4] R. Sanchez-Reillo and C. Sanchez-Avila, "Iris Recognition with Low Template Size," *Third International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, AVBPA 2001*, vol. 2091, pp. 324, 2001.
- [5] L. Ma, T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang, "Personal identification based on iris texture analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, pp. 1519-1533, 2003.
- [6] C. Chun and R. Chung, "Iris Recognition for Palm-Top Application," *Biometric Authentication: First International Conference (ICBA04)*, vol. 3072, pp. 426-433, 2004.
- [7] B. R. Meena, M. Vatsa, R. Singh, and P. Gupta, "Iris Based Human Verification Algorithms," *Biometric Authentication: First International Conference (ICBA04)*, vol. 3072, pp. 458-466, 2004.
- [8] Y. Du, R. Ives, D. Etter, T. Welch and C-I. Chang, "A One dimensional approach for iris identification," *Proceedings of SPIE, Biometric Technology for Human Identification*, vol.5404, pp.237-247, 2004.
- [9] P. Ariyapreechakul and N. Covavisaruch, "Personal Verification and Identification via Iris Pattern Using Radon Transform," *Proceedings of the first National Conference on Computing and Information Technology*, Nontaburi, pp. 287-292, 2005.
- [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] Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation, "Database of 756 Grayscale Eye Image," <http://www.sinobiometrics.com>, version 1.0, 2003.



Pattraporn Ariyapreechakul received a B.Eng degree in Computer Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, in 2003. She is now a graduate student in M.Eng. Program in Computer Engineering at Chulalongkorn University, Thailand.

Her research interests include biometrics and image processing.



Nongluk Covavisaruch received an M.S. degree in Electrical Engineering from University of Missouri-Columbia and an M.A. (Language and International Trade) from Eastern Michigan University. She is an Assistant Professor of the Department of Computer

Engineering at Chulalongkorn University. She has joined the department since 1990 and teaches both undergraduate and graduate courses in digital image processing. She served as the head of Computer Graphics and Computer Imaging Laboratory from 2001-2005. Her research interests include image and vision computing techniques, biometrics, biomedical image processing, image processing and computer vision applications and colors in computers.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ภัทราภรณ์ อริยปรีชากุล เกิดวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย