

การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรด



นาย อังคาร จารุจารีต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERSONAL IDENTIFICATION VIA IRIS PATTERN USING INFRARED WEB CAM



Mr. Ungkarn Jarujareet

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบ
อินฟราเรด

โดย

นาย อังคาร จารุจารีต

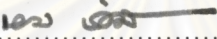
สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

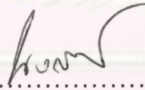
รองศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โคควาวิสารัช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

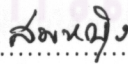
.....  คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วิฒนาวุฒิมิ)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นงลักษณ์ โคควาวิสารัช)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรตสิทธิ สุรฤกษ์)

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

อังกอร์ จารุจารีต : การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรด
(PERSONAL IDENTIFICATION VIA IRIS PATTERN USING INFRARED
WEBCAM.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นงลักษณ์ โคควาวิสารัช, 119 หน้า.

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะของแบบรูปม่านตาจากภาพที่เก็บด้วยเว็บแคมแบบอินฟราเรดซึ่งเป็นอุปกรณ์เก็บภาพราคาถูกลง โดยใช้การสกัดลักษณะที่คงทนต่อการรบกวนการรบกวนจาก ขนตา เปลือกตา แสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด และเงาสะท้อนจากวัตถุภายนอก นอกจากนี้ในงานวิจัยยังเสนอวิธีการระบุตำแหน่งม่านตาซึ่งลดเวลาในการระบุตำแหน่งเมื่อเทียบกับวิธีที่เป็นที่นิยมขณะที่ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งไม่แตกต่างกันไปจากเดิม เนื่องจากการระบุตำแหน่งม่านตาโดยวิธีที่นำเสนอเลือกใช้เฉพาะพิกเซลที่มีความสำคัญมาประมวลผลรวมถึงวิธีการระบุตำแหน่งที่ไม่ซับซ้อนเพื่อประมวลรูปแบบของรูม่านตาและม่านตา

วิธีการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น การสกัดลักษณะม่านตา และการเปรียบเทียบม่านตา โดยการประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นประกอบด้วยวิธีการระบุตำแหน่งม่านตา และการแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว ภาพจากขั้นตอนการประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นจะถูกสกัดลักษณะแบบรูปม่านตาอาศัยการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างเกาส์เซียนเพื่อเพิ่มความต่างเปรียบเทียบโครงสร้างม่านตา จากนั้นทำการตรวจหาขอบซึ่งเป็นโครงสร้างม่านตาจากภาพม่านตาฐานสองเพื่อใช้ในการหาลักษณะม่านตา โดยลักษณะม่านตาประกอบด้วยตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล ทิศของแกนหลัก และ Hu โมเมนต์ ของขอบที่ถูกตรวจหาซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบ

งานวิจัยนี้ทดสอบกับภาพตาจาก 2 ฐานข้อมูลประกอบด้วย ฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS พบว่าการระบุบุคคลด้วยวิธีการที่นำเสนอกับภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันเฉลี่ยของทั้ง 2 ฐานข้อมูลเท่ากับ 2.15% และ 2.87% ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบการระบุบุคคลกับภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมพบว่าการระบุบุคคลด้วยวิธีที่นำเสนอได้ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS เท่ากับ 3.71% และ 5.43% ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่อนิสิต..... อังกอร์ จารุจารีต
สาขาวิชา.....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2552.....

5070517021: MAJOR COMPUTER ENGINEERING

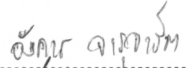
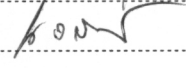
KEYWORDS: BIOMETRIC / IDENTIFICATION / IRIS PATTERN / WEB CAM

UNGKARN JARUJAREET: PERSONAL IDENTIFICATION VIA IRIS PATTERN
USING INFRARED WEBCAM. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. NONGLUK
COVAVISARUCH, 119 pp.

This thesis proposed an iris identification system in order to identify the uniqueness of personal iris pattern. With extract robust iris features, it tolerate to eyelid, eyelashes, reflections from infrared light source and reflections from environments. Even more, this thesis proposed an algorithm for localizing irises. Important pixels are selected and estimate both pupil and iris circle model therefore a proposed algorithm reduces localization's time consuming while remains accurately iris detection.

Iris identification system composes of 3 processes; Iris preprocessing, feature extraction and feature matching. Iris preprocessing process is a process to localize an iris and portion the extracted iris region into a rectangular shape using Cartesian-to-Polar transform. Different of Gaussian (DoG) is then perform in order to enhance iris's structures. After threshold the DoG images, such iris structures are located and bounded by rectangles. Iris features, which are composed of centroids, direction of principle axis and Hu moment of the detected blobs, are then compared later in feature matching process.

In this thesis, 2 iris databases are tested with proposed iris identification; CASIA version 3.0 and CU-CGCI IRIS. The average EER of CASIA version 3.0 and CU-CGCI IRIS are 2.15% and 2.87% respectively for identifying irises in non-reflection environment. In case of identify iris in reflection environment, the EER equal 3.71% and 5.43% tested with CASIA version 3.0 and CU-CGCI IRIS respectively.

Department : Computer Engineering Student's Signature 
Field of Study : Computer Engineering Advisor's Signature 
Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.นงลักษณ์ โคควาวิสารัช ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอแนะแนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอกราบขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

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

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และดูแลเอาใจใส่ตลอดการวิจัยและการศึกษา

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่อุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ สนับสนุนในด้านการศึกษาและในด้านต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.2.1 การระบุตำแหน่งแบบรูปม่านตา.....	2
1.2.1 การรู้จำแบบรูปม่านตา.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	6
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	6
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ชีวมาตร	7
2.2 แบบรูปม่านตาและการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	11
2.3 การเก็บภาพม่านตา.....	13
2.3.1 ข้อจำกัดของปริมาณแสงอินฟราเรดที่เข้าสู่ดวงตา.....	13
2.3.2 ตัวรับแสง.....	13
2.3.3 กล้องที่ใช้ในการเก็บภาพม่านตา.....	16

บทที่	หน้า
2.4 การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล.....	16
2.4.1 การหาโพรไฟล์การฉายระดับเทา.....	16
2.4.2 การหารัศมีของวงกลมโดยอาศัยทฤษฎีสามเหลี่ยมปีทาโกรัส.....	17
2.4.3 การแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว.....	19
2.4.4 Linear Least Square Circle.....	21
2.4.5 ผลต่างของเกาส์เซียน.....	22
2.4.6 โมเมนต์ที่ยินยง.....	23
3. การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรด.....	29
3.1 ขั้นตอนการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	30
3.2 การเก็บภาพตา.....	31
3.3 การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น.....	32
3.3.1 การระบุตำแหน่งม่านตา.....	32
3.3.1.1 การระบุตำแหน่งรูม่านตา.....	32
3.3.1.2 การระบุตำแหน่งม่านตา.....	38
3.3.2 การจำกัดขนาดพื้นที่ส่วนม่านตา.....	39
3.4 การระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตา.....	40
3.4.1 การสกัดลักษณะแบบรูปม่านตา.....	40
3.4.2 การเปรียบเทียบ.....	44
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	48
4.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	48
4.1.1 ฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0.....	48
4.1.2 ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS.....	49
4.2 การทดลองและผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ม่านตา.....	49
4.2.1 วิธีการทดลอง.....	49
4.2.2 ผลการทดลอง.....	49
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	50

บทที่	หน้า
4.3 การทดลองและผลการทดลองการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการ ระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	51
4.3.1 การทดลองเลือกค่าพารามิเตอร์ผลต่างของเกาส์เซียน.....	51
4.3.1.1 วิธีการทดลอง.....	52
4.3.1.2 ผลการทดลอง.....	52
4.3.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
4.3.2 การทดลองเลือกค่าขีดแบ่งของผลต่างของทิศของแกนหลัก.....	56
4.3.2.1 วิธีการทดลอง.....	56
4.3.2.2 ผลการทดลอง.....	56
4.3.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	56
4.3.3 การทดลองเลือกค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาด สัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์.....	61
4.3.3.1 วิธีการทดลอง.....	61
4.3.3.2 ผลการทดลอง.....	62
4.3.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	62
4.4 การทดลองและผลการทดลองการหาประสิทธิภาพในการระบุบุคคลด้วย แบบรูปม่านตาจากภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนในม่านตา.....	66
4.4.1 วิธีการทดลอง.....	66
4.4.2 ผลการทดลอง.....	67
4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	68
4.5 การทดลองและผลการทดลองการหาประสิทธิภาพในการระบุบุคคลด้วย แบบรูปม่านตาจากภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนในม่านตา.....	75
4.5.1 วิธีการทดลอง.....	75
4.5.2 ผลการทดลอง.....	76
4.5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	77
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	86
5.2 การระบุตำแหน่งม่านตา.....	87

บทที่	หน้า
5.3 การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดในสภาพที่ไม่มีแสงสะท้อนในม่านตาจากสภาพแวดล้อม.....	89
5.4 การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดในสภาพที่มีแสงสะท้อนในม่านตาจากสภาพแวดล้อม.....	89
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	90
รายการอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก เว็บแคม.....	95
ภาคผนวก ข การเก็บภาพตาจากเว็บแคมแบบอินฟราเรด.....	96
ภาคผนวก ค บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	119



 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราจ

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง CCD กับ CMOS.....	15
2.2	ราคากล้องที่ใช้เก็บภาพม่านตา.....	16
4.1	ผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตากับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0	49
4.2	ผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตาด้วยวิธีที่นำเสนอ กับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS.....	49
4.3	ผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตาด้วยวิธีที่นำเสนอ กับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR และ CU-CGCI IRIS-R.....	49
4.4	ผลการระบุตำแหน่งม่านตาผิดจากการทดลองด้วยวิธีที่นำเสนอกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS.....	50
4.5	ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า EER จากการเลือกพารามิเตอร์ผลต่างของเกาส์ เซียน.....	52
4.6	ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า EER จากการกำหนดค่าขีดแบ่ง ของผลต่างทิศของแกนหลัก.....	56
4.7	ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า EER จากการเลือกค่าขีดแบ่ง ของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์.....	61
4.8	ผลการหาค่า EER ในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	66
4.9	เวลาเฉลี่ยในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	67
4.10	ผลการหาค่า EER ในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	76
4.11	เวลาเฉลี่ยในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา.....	76

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	กราฟแสดง EER ซึ่งเป็นจุดตัดกันของค่า FAR และ FRR.....	9
2.2	กราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่างๆ.....	9
2.3	พื้นผิวของม่านตา.....	11
2.4	ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรังควัตถุ.....	12
2.5	ลักษณะที่ควบคุมขนาดของรูม่านตา	12
2.6	Collarette.....	12
2.7	การทำงานของ CMOS.....	14
2.8	การทำงานของ CCD.....	15
2.9	โพรไฟล์การฉายระดับเทา.....	17
2.10	วงกลม.....	18
2.11	การแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว.....	19
2.12	กระบวนการแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของ Homogeneous Ruber Sheet Model.....	20
2.13	ผลต่างของเกาส์เซียน.....	22
2.14	การเปลี่ยนแปลงของวัตถุ.....	23
3.1	ขั้นตอนการระบุบุคคล.....	30
3.2	ตัวอย่างภาพตาที่ใช้ในงานวิจัยโดยแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด มีลักษณะเป็นวงกลมสีขาว 8 จุด และ 6 จุดจากฐานข้อมูลภาพ CASIA เวอร์ชัน 3.0 และฐานข้อมูลภาพ CU-CGCI IRIS ตามลำดับ.....	31
3.3	ขั้นตอนการทำงานของการระบุตำแหน่งรูม่านตา.....	33
3.4	ตัวอย่างของการหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาต่ำสุดของภาพตา.....	34
3.5	ตัวอย่างการระบุตำแหน่งรูม่านตา.....	34
3.6	ขั้นตอนวิธีการเติมสีดำในรูม่านตา.....	35
3.7	ตัวอย่างการเติมสีดำในรูม่านตา.....	35
3.8	Seed point ที่หาได้ C และ D ในรูม่านตา.....	36
3.9	โพรไฟล์ในแนวนอนที่ตำแหน่ง y'_{pupil}	36
3.10	ตัวอย่างการติดย้ายโพรไฟล์.....	37

รูปที่	หน้า
3.11 ตัวอย่างการหาขอบม่านตา.....	38
3.12 ตัวอย่างการหาจุดบนขอบม่านตา.....	38
3.13 ตัวอย่างการจำกัดพื้นที่ส่วนม่านตาที่ไม่เท่ากันของผู้ใช้คนเดียวกัน.....	39
3.14 ตัวอย่างการปรับปรุงด้วยผลต่างของเกาส์เขียนกับภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อน โดยการสังเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์.....	41
3.15 การปรับปรุงด้วยผลต่างของเกาส์เขียนกับตัวอย่างภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อน จากสภาพแวดล้อมจำนวน 3 ภาพ.....	41
3.16 ผังงานการสกัดลักษณะม่านตา.....	42
3.17 ตัวอย่างการสกัดลักษณะม่านตา.....	43
3.18 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาเดียวกัน.....	44
3.19 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาที่แตกต่างกัน.....	45
3.20 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาที่มีแสงสะท้อนกับภาพม่านตาที่ไม่มีแสง สะท้อน.....	46
4.1 ตัวอย่างการคัดเลือกผลการระบุตำแหน่ง.....	48
4.2 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เขียนเป็น 5x5 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0360.....	52
4.3 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อ กำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เขียนเป็น 5x5 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0966.....	53
4.4 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกำหนดกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เขียนเป็น 7x7 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0226.....	53
4.5 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อ กำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เขียนเป็น 7x7 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0786.....	54
4.6 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกำหนดกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เขียนเป็น 9x9 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0412.....	54

รูปที่	หน้า
4.7	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อ กำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เขียนเป็น 9x9 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0702..... 55
4.8	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0835..... 56
4.9	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนด ค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0786..... 57
4.10	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0225..... 57
4.11	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนด ค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0786..... 58
4.12	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0867..... 58
4.13	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนด ค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 50 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0786..... 59
4.14	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 70 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0298..... 59
4.15	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนด ค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 70 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0794..... 60
4.16	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ เป็น 0.10 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0227..... 62
4.17	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนด ค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.10 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0901..... 62
4.18	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อ กำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ เป็น 0.20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0227..... 63

รูปที่	หน้า	
4.19	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0702.....	63
4.20	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0170.....	64
4.21	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0829.....	64
4.22	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0167.....	68
4.23	กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 1.....	68
4.24	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0251.....	69
4.25	กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 2.....	69
4.26	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0225.....	70
4.27	กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 3.....	70
4.28	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0238.....	71
4.29	กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 1.....	71
4.30	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0298.....	72
4.31	กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 2.....	72
4.32	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0326.....	73
4.33	กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 3.....	73
4.34	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0494.....	77

รูปที่		หน้า
4.35	กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 1.....	78
4.36	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0386.....	78
4.37	กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 2.....	79
4.38	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 3 โดย ได้ค่า EER เท่ากับ 0.0232.....	79
4.39	กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 3.....	80
4.40	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0489.....	80
4.41	กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1.....	81
4.42	กราฟแสดงอันดับคะแนนของการระบุบุคคลผิดจากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1.....	81
4.43	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0525.....	82
4.44	กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 2.....	82
4.45	กราฟแสดงอันดับคะแนนของการระบุบุคคลผิดจากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 2.....	83
4.46	กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0616.....	83
4.47	กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 3.....	84
4.48	กราฟแสดงอันดับคะแนนของการระบุบุคคลผิดจากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1.....	84
ก.1	เว็บแคม.....	95
ข.1	สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บภาพตา.....	96
ข.2	การใช้งานอุปกรณ์เก็บภาพในงานวิจัย.....	96
ข.3	ตัวอย่างภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม.....	97
ข.4	ตัวอย่างภาพตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม.....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยความต้องการของระบบรักษาความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น จึงมีการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบรักษาความปลอดภัยซึ่งใช้ชีวมาตร (Biometric) เพราะระบบความปลอดภัยที่มีอยู่ในปัจจุบันมักใช้รหัสผ่านหรือบัตรเพื่อใช้ในการเข้าใช้ระบบ มีโอกาสที่ผู้ใช้อาจทำรหัสผ่านหรือบัตรสูญหายได้ อีกทั้งระบบยังไม่สามารถระบุผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือ ระบบไม่สามารถระบุว่าผู้เข้าระบบเป็นเจ้าของบัตรหรือรหัสผ่านนั้นจริงๆ นอกจากนี้ การใช้รหัสผ่านหรือบัตรเพื่อใช้ในการเข้าใช้ระบบ ยังต้องเผชิญกับปัญหาการแฮ็ก (Hack) ได้ แต่การใช้ระบบรักษาความปลอดภัยที่ใช้ชีวมาตรนั้น สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เช่นการใช้รหัสผ่านผนวกกับจังหวะการพิมพ์ในการเข้าใช้ระบบ

ระบบการรักษาความปลอดภัยชนิดหนึ่งซึ่งใช้ชีวมาตรคือ การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา ระบบนี้มีข้อได้เปรียบเหนือระบบรักษาความปลอดภัยซึ่งใช้ชีวมาตรแบบอื่นๆ คือ ไม่มีแบบรูปม่านตาไหนที่ซ้ำกัน แม้กระทั่งคู่แฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกัน อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของอายุไม่มีผลกับการเปลี่ยนแปลงของแบบรูปม่านตา [1-3] ซึ่งทำให้ระบบการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตามีเสถียรภาพมากกว่าระบบรักษาความปลอดภัยอื่นๆ

อุปกรณ์การเก็บภาพม่านตาที่มีราคาแพง เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งสำหรับการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา ดังนั้นในงานวิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บภาพราคาถูกลงมาใช้ในการระบุบุคคลโดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล

ในการประมวลผลภาพดิจิทัลนั้น นอกจากคุณภาพของภาพที่ได้จากอุปกรณ์เก็บภาพม่านตาแล้ว ความเร็วในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตามีผลอย่างมากในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา หากใช้เวลานานในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาจะทำให้ผู้ใช้งานต้องเสียเวลาไปกับการคอยการยืนยันจากการตรวจสอบบุคคล นอกจากนี้ยังมีสิ่งรบกวนต่างๆ ที่มีผลต่อความถูกต้องในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา โดยสิ่งรบกวนต่างๆ เหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็นสิ่งรบกวนจากภายใน เช่น ขนตา เปลือกตา และสิ่งรบกวนจากภายนอก เช่น แสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด สภาพแสงระหว่างการเก็บภาพ และเงาสะท้อนจากวัตถุภายนอก เป็นต้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากกระบวนการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตามีกระบวนการหลายขั้นตอน จึงมีผู้ทำการวิจัยไว้หลายประเด็นดังนี้

1.2.1 การระบุตำแหน่งแบบรูปม่านตา

ม่านตาเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่ระหว่างรูม่านตา (Pupil) และส่วนตาขาว (Sclera) ฉะนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่จึงใช้วิธีหาวงกลมที่แทนรูม่านตาและวงกลมที่แทนขอบระหว่างม่านตาและส่วนตาขาว ซึ่งพื้นที่ระหว่างวงกลม 2 วงนั้น คือบริเวณของแบบรูปม่านตา โดยวิธีการที่เป็นที่นิยมใช้ในการระบุตำแหน่งม่านตาได้แก่ สมการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียล (Integro-differential equation) [4-5] และการแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough transform) [6-8]

1) สมการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียล

สมการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียล [4-5] พัฒนาโดย John Daugman เพื่อหาพารามิเตอร์ของวงกลมทั้ง 2 วง โดยการใช้สมการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียลกับภาพตาด้วยสมการที่ 1.1

$$\max_{(r, x_0, y_0)} = \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1.1)$$

โดยที่	$I(x, y)$	คือภาพตา
	(x_0, y_0)	คือจุดศูนย์กลางของวงกลม
	r	คือรัศมีของวงกลมที่ค้นหา
	$G_{\sigma}(r)$	คือฟังก์ชันปรับเรียบแบบเกาส์เซียน (Gaussian smoothing function)
และ	s	คือเส้นรอบวงของวงกลม (r, x_0, y_0)

สมการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียล เป็นการหาผลรวมของค่าระดับเทาของจุดภาพที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมตามช่วงของรัศมีและจุดศูนย์กลางวงกลมที่กำหนด จากนั้นแปลงผลรวมของค่าระดับเทาที่รัศมีต่างๆ ให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน โดยใช้ความยาวเส้นรอบวงเพื่อให้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้อย่างเหมาะสม จากนั้นหาค่าอนุพันธ์ย่อยของรัศมีและคอนโวลูท (convolute) ด้วยฟังก์ชันปรับเรียบแบบเกาส์เซียน (Gaussian smoothing function) [6-8] ค่าอนุพันธ์ย่อยที่มากที่สุดของผลรวมของค่าระดับเทา คือรัศมีที่เหมาะสมที่สุดของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่ (x_0, y_0)

2) การแปลงฮัฟแบบวงกลม

การหาขอบของรูปจะถูกนำมาใช้กับภาพตาเริ่มต้น ก่อนการการแปลงฮัฟแบบวงกลม ขอบของภาพที่ได้จะถูกเพิ่มค่าในตัวสะสมฮัฟ (Hough accumulator) ค่าที่มากที่สุดในตัวสะสมฮัฟจะเป็นค่าพารามิเตอร์ของวงกลมที่เหมาะสมที่สุดจากขอบของภาพที่ได้ ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้การแปลงฮัฟแบบวงกลมมีดังนี้

ในงานวิจัยของ L. Ma. ในปี 2002 [9] และ 2004 [10] ทำการประมาณบริเวณอย่างหยาบของม่านตาโดยใช้โพรไฟล์การฉายระดับเทาต่ำสุด จากนั้นทำการหาขอบจากบริเวณดังกล่าวเพื่อหาพารามิเตอร์ของวงกลมทั้ง 2 ด้วยการแปลงฮัฟแบบวงกลมโดยวงกลมทั้ง 2 ไม่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน

งานวิจัยของ R. W. Ives [11] ในปี 2004 ได้ทำการลดขนาดของรูปเริ่มต้นลง 2 เท่า จากนั้นใช้การหาขอบแบบแคณี่ (Canny edge detector) [6-8] เพื่อหาขอบของรูม่านตา และใช้การแปลงฮัฟแบบวงกลมในการหาพารามิเตอร์ของวงกลมของรูม่านตา จากนั้นแปลงภาพเริ่มต้นให้อยู่ในระบบพิกัดแบบเชิงขั้ว และทำการหาขอบของม่านตาโดยใช้การหาขอบแบบโซเบล (Sobel edge detector) [6-8] เพื่อหารัศมีของม่านตาโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกันกับรูม่านตา

เนื่องจากวิธีการระบุตำแหน่งม่านตาที่กล่าวมาใช้เวลาในการประมวลผล Zhaofeng [12] จึงได้นำเสนอวิธีในการระบุตำแหน่งม่านตาโดยใช้หลักการของสปริงซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า โดยได้ทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูม่านตาเป็นแบบหยาบจากการหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาในแนวแกนตั้งและแนวแกนนอนของภาพตาจากฐานข้อมูล CASIA [13] เวอร์ชัน 1.0 เพื่อหาตำแหน่งของจุดที่มีค่าความสว่างจากการหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาทั้งในแนวตั้งและแนวนอนน้อยที่สุด จากนั้นทำการหาขอบของรูม่านตาโดยใช้การหาขอบแบบแคณี่แล้วทำการเลือกจุดที่เป็นส่วนประกอบของวงกลมจากขอบที่ทำการหาได้การหาขอบแบบแคณี่แต่ละจุดถูกสมมติให้มีสปริงติดอยู่ โดยปลายอีกข้างของสปริงจะติดอยู่กับจุดศูนย์กลางของวงกลมที่สนใจ กฎของฮุก (Hook's law) จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางแบบละเอียดโดยใช้หลักการเข้าสู่จุดสมดุลของสปริง

1.2.2 การรู้จำแบบรูปม่านตา

มีวิธีการรู้จำแบบรูปม่านตามากมายได้ถูกนำเสนอตั้งเช่น งานวิจัยของ Gaurav Gupta ระบุตำแหน่งม่านตาโดยใช้สมการอินทิเกรต-ดิฟเฟอเรนเชียล และการกำหนดขนาดม่านตาให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน โดยการเปลี่ยนจากพิกัดเชิงเส้นให้เป็นพิกัดเชิงขั้ว จากนั้นใช้ตัวพราง (Mask) พรางตำแหน่งของเปลือกตาและขนตาเพื่อเลือกเฉพาะบริเวณของแบบรูปม่านตามาสกัด

ลักษณะ จากนั้นสร้างเมตริกซ์การอุบัติร่วมของค่าระดับเทา (Gray level co-occurrence matrix) ซึ่งเป็นลักษณะที่คงทนต่อการหมุนของแบบรูปม่านตา โดยสร้างเมตริกซ์นี้ที่ระยะทาง (distance) $d = 1, 3, 5$ และ 10 และที่มุม -45° ถึง 135° ค่าของลักษณะ (Feature value) คือผลรวมของค่าในเมตริกซ์ การอุบัติร่วมของค่าระดับเทาจากการให้น้ำหนักของแต่ละเมตริกซ์ การอุบัติร่วมของค่าระดับเทาในงานวิจัยนี้ใช้ทั้งหมด 7 ลักษณะคือ พลังงาน (Energy) การเปรียบเทียบ (Contrast) สหสัมพันธ์ (Correlation) ภาวะเอกพันธ์ (Homogeneity) สหสัมพันธ์อัตโนมัติ (Autocorrelation) ความต่าง (Dissimilarity) และความเฉื่อย (Inertia) โดยใช้ระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean distance) ในการจับคู่ (matching) ซึ่งทดสอบกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 ให้ค่า EER = 9.32%

Shimaa M. Elsherief [14] ใช้การปรับปรุงการหาขอบแบบแคนนี (Modified Canny edge detection) ซึ่งอนุญาตให้มีการให้น้ำหนักเกรเดียนต์ (Gradient) ต่อมาใช้ในการแปลงฮัฟแบบวงกลมในการหาวงกลมของรูม่านตาและม่านตา และทำการหาขอบบนและขอบล่างของเปลือกตาโดยการแปลงฮัฟเชิงเส้น (Linear Hough transform) จากนั้นแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วที่มีความละเอียด 360×60 พิกเซลเพื่อกำจัดการขยายของรูม่านตาจากปริมาณแสงที่เข้าสู่ดวงตาที่ต่างกันตามเวลาที่เก็บภาพ รวมทั้งจำกัดระยะห่างระหว่างตากับกล้องที่ใช้ในการเก็บภาพตาเมื่อได้ภาพที่ถูกแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้วแล้วฮิสโทแกรมอีควอลไลซ์ (Histogram equalization) จะถูกใช้เพื่อให้รายละเอียดของแบบรูปม่านตาปรากฏชัดเจนมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่มีดีของม่านตา จากนั้นทำการสกัดลักษณะโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต 2 มิติแบบฮาร์ (2D Haar wavelet transformation) โดยในการแปลงเวฟเล็ต 2 มิติแบบฮาร์แต่ละครั้งจะให้ 4 แถบย่อย (sub band) คือ HH, HL, LH และ LL โดยแต่ละแถบย่อยมีขนาด $1/4$ ของภาพเริ่มต้นในงานวิจัยนี้ทำการแปลงเวฟเล็ต 2 มิติแบบฮาร์ 4 ระดับ (Level) เพื่อนำมาสร้างเป็นเวกเตอร์ลักษณะ (Feature vector) ขนาด 1×95 จากนั้นนำเวกเตอร์ลักษณะมาแจกแจงหน่วย (Quantize) โดยค่า 0 แทนค่าที่น้อยกว่า 0 และ 1 แทนค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0 และนำเวกเตอร์ลักษณะมาเปรียบคู่ด้วยระยะทางแฮมมิง (Hamming distance) การแจกแจงหน่วยเวกเตอร์การเรียนรู้ (Learning vector quantization) และ Probabilistic neuron network ซึ่งผลปรากฏว่าการเปรียบคู่ด้วยระยะทางแฮมมิงให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดที่ 97.2% สำหรับ CASIA เวอร์ชัน 1.0 และ 85.1% สำหรับฐานข้อมูล UBIRIS นอกจากนี้ Shimaa M. Elsherief ยังได้ทดสอบกับเวฟเล็ตแม่ (mother wavelet) อื่นๆซึ่งผลการทดลองที่ให้ผลความถูกต้องมากที่สุดคือฮาร์เวฟเล็ต

ในงานวิจัยของ Farid Benhammadi และ Nassami Kihal [15] ได้นำเสนอวิธีรู้จำแบบรูปม่านตาโดยกลุ่มเวฟเล็ต (wavelet packet) ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับเวฟเล็ตคลาสสิก (classical wavelet) หากภาพม่านตามีคุณภาพต่ำ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต (wavelet coefficient) มาสร้างเป็นเวกเตอร์ลักษณะ ในงานวิจัยนี้ใช้การแยกกลุ่มเวฟเล็ตฮาร์ (Haar wavelet packet decomposition) ภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 1.0 ทั้งหมด 3 ระดับ ซึ่งจะได้ band-filtered ทั้งหมด 64 ภาพ จากนั้นคำนวณค่าพลังงานของทุกๆ band-filtered เพื่อเลือก band-filtered ที่เหมาะสมในการสร้างรหัสม่านตา (Iris code) ที่เหมาะสม โดยเลือกจาก band-filtered ที่มีค่าพลังงานมากและใช้ระทางแฮมมิงในการแยกรหัสม่านตาต่อไป ซึ่งให้ค่า EER = 0.3 เปอร์เซ็นต์

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาขั้นตอนวิธี และพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อการระบุตำแหน่งม่านตา และการระบุบุคคลจากภาพม่านตาที่เก็บจากอุปกรณ์ราคาถูกลง
2. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการกับภาพม่านตาที่เก็บจากอุปกรณ์ราคาถูกลง แบบมีและไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ระบบไม่มีการตรวจสอบความมีชีวิต (Liveness)
2. ใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดเป็นอุปกรณ์เก็บภาพม่านตา
3. เก็บภาพม่านตาภายในอาคาร (Indoor)
4. จำนวนภาพที่ทดสอบในฐานข้อมูลไม่น้อยกว่า 100 ม่านตา

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาวิธีการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา
2. ศึกษาทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และประมวลผลภาพดิจิทัล
3. ทดลองนำความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย
4. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งม่านตา
5. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในการระบุบุคคล
6. ทดลองและวิเคราะห์ผล
7. สรุปและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ขั้นตอนวิธีและโปรแกรมต้นแบบเพื่อการรู้จำแบบรูปม่านตาโครงสร้างของ
วิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1
กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขต
ของงานวิจัย ขั้นตอนการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว สำหรับบทที่ 2 กล่าวถึง
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 กล่าวถึงการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดย
ใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรด บทที่ 4 เป็นการทดลอง การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง และบทที่
5 เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชีวมาตร ความรู้เกี่ยวกับลายม่านตาและการประมวลผลภาพดิจิทัล มาพัฒนาระบบชีวมาตรที่ใช้ลายม่านตาในการระบุบุคคล ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของระบบ เช่น ขั้นตอนการเตรียมภาพเพื่อปรับปรุงข้อมูลภาพให้เหมาะสมเพื่อสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไปได้ หรือใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบชีวมาตร หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ชีวมาตรแบบรูปม่านตา การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา การเก็บภาพม่านตา การประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Processing and Analysis)

2.1 ชีวมาตร [3]

ชีวมาตรเป็นการใช้ลักษณะทางกายภาพหรือลักษณะทางพฤติกรรมที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล ลักษณะทางกายภาพที่ใช้ในการระบุตัวบุคคลโดยอัตโนมัติ ได้แก่ ลายนิ้วมือ, ใบหน้า, มือ, นิ้ว, หู และ แบบรูปม่านตา เป็นต้น ส่วนลักษณะทางพฤติกรรมที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคล ได้แก่ เสียงพูด, การพิมพ์, ลายเซ็น เป็นต้น โดยสิ่งที่ใช้เป็นลักษณะควรเป็นสิ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงได้น้อยตามกาลเวลา และเป็นสิ่งที่เฉพาะไม่เหมือนกันในแต่ละบุคคล ระบบชีวมาตรแบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้

1. การทวนสอบบุคคล (Verification) เป็นการตรวจสอบบุคคลที่เข้ามาในระบบกับบุคคลที่อ้างถึงในฐานข้อมูลโดยการเปรียบเทียบ (Match) กับฐานข้อมูลแบบ 1 ต่อ 1 ทำให้การทวนสอบบุคคลต้องใช้ข้อมูลทางชีวมาตรควบคุมกับสิ่งที่ใช้อ้างถึงบุคคลนั้นในฐานข้อมูล เช่น ชื่อ หรือ รหัสผ่าน เป็นต้น

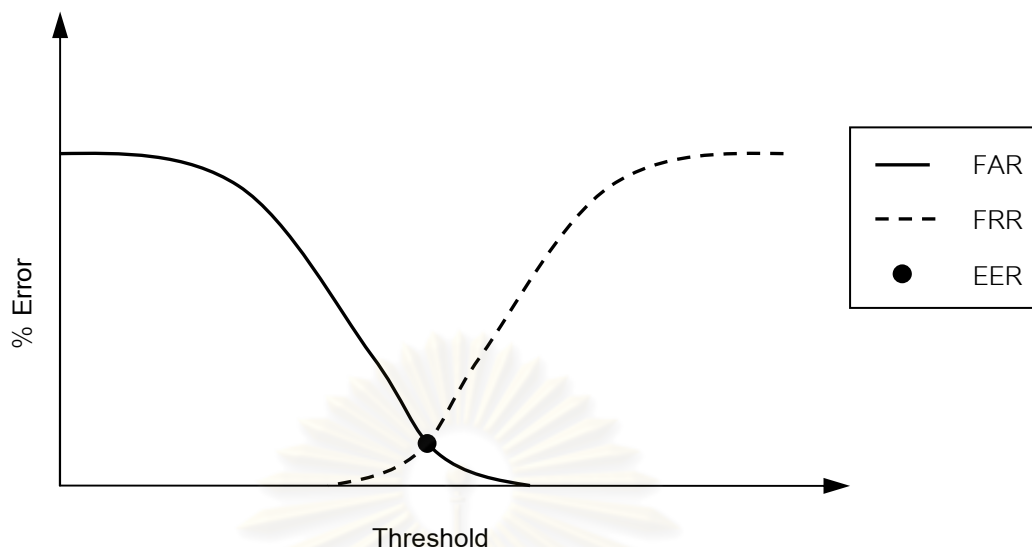
2. การระบุบุคคล (Identification) เป็นการเปรียบเทียบแบบ 1 ต่อ m โดยที่ m คือจำนวนแผ่นแบบชีวมาตร (Biometric Template) ทั้งหมดในฐานข้อมูล คะแนนความคล้ายกัน (Similarity Score) ที่มากที่สุดจากการเปรียบเทียบแผ่นแบบที่ได้มากับแผ่นแบบในฐานข้อมูลแสดงให้เห็นว่า แผ่นแบบที่ได้มาเป็นแผ่นแบบเดียวกันกับแผ่นแบบที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล

ระบบชีวมาตรทำงานโดยการเก็บลักษณะตัวอย่าง (Sample Feature) เช่น การบันทึกเสียงพูดสำหรับการรู้จำเสียงพูด การเก็บภาพใบหน้าสำหรับการรู้จำใบหน้า เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างจะถูกสกัดโดยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแผนแบบชีวมาตร แผนแบบชีวมาตรจะต้องถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานเพื่อให้การเปรียบเทียบมีความเหมาะสม ระบบชีวมาตรต้องมีการลงทะเบียน (Enrollment) ก่อนการใช้งานสำหรับใส่แผนแบบลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการทวนสอบหรือการระบุบุคคล

ดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยทั่วไปลักษณะที่นำมาใช้ในการระบุบุคคลมีคุณสมบัติคือ บุคคลต้องมีลักษณะเฉพาะนั้น (Universality) ลักษณะเฉพาะต้องไม่ซ้ำ (Uniqueness) ลักษณะเฉพาะต้องไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Permanence) ลักษณะนั้นต้องวัดได้อย่างถูกต้อง (Accuracy) และการปลอมแปลงเพื่อเข้าระบบทำได้ยาก (Circumvention) เป็นต้น

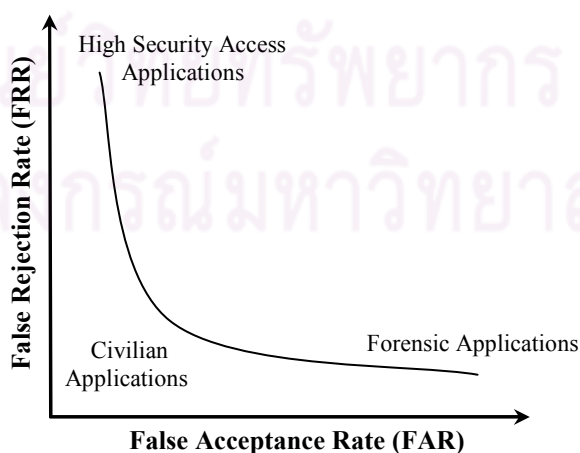
การเก็บลักษณะของผู้ใช้คนเดียวกันเมื่อเวลาต่างกันนั้น ผลที่ได้อาจมีค่าต่างกัน เนื่องจากลักษณะที่ได้มานั้นไม่เหมือนกันอย่างสมบูรณ์ กล่าวคืออาจมีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งเกิดได้จากปัจจัยต่างๆ เช่น ลักษณะสภาพแวดล้อม หรือลักษณะของผู้ใช้มีการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น ทำให้มีโอกาสที่บุคคลที่เข้ามาในระบบถูกปฏิเสธทั้งที่เป็นบุคคลที่มีแผนแบบชีวมาตรในฐานข้อมูลแล้ว ซึ่งเรียกว่าความผิดพลาดในการยอมรับ (False Accept) และในทางตรงข้ามอาจมีโอกาสที่บุคคลที่เข้ามาในระบบถูกยอมรับทั้งที่บุคคลนั้นไม่ได้มีแผนแบบในฐานข้อมูล ซึ่งเรียกว่าความผิดพลาดในการปฏิเสธ (False Reject) อัตราของความผิดพลาดในการยอมรับ (False Acceptance Rate) และอัตราของความผิดพลาดในการปฏิเสธสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบชีวมาตรได้โดยจุดตัดระหว่างอัตราของความผิดพลาดในการยอมรับและอัตราของความผิดพลาดในการปฏิเสธ ซึ่งเรียกว่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากัน (Equal Error Rate) ระบบชีวมาตรที่มีค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันยิ่งน้อย ประสิทธิภาพของระบบชีวมาตรยิ่งมาก โดยค่าความสัมพันธ์ระหว่าง FAR FRR และ EER แสดงดังรูปที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 กราฟแสดง EER ซึ่งเป็นจุดตัดกันของค่า FAR และ FRR

ในความเป็นจริงค่าการยอมรับผิดพลาดและค่าการปฏิเสธผิดพลาดสามารถปรับให้เข้ากับการใช้งานจริงโดยทำการเปลี่ยนค่าขีดแบ่ง (Threshold) ของระบบ เช่น ถ้าปรับค่าขีดแบ่งให้เพิ่มขึ้น ระบบจะสามารถทนทานต่อความแปรปรวนของข้อมูลหรือทนต่อสัญญาณรบกวนได้มากขึ้น แต่ระบบก็也将มีความผิดพลาดในการยอมรับผู้บุกรุกเข้ามาในระบบมากขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าปรับค่าขีดแบ่งให้ลดลง ระบบจะมีความปลอดภัยมากขึ้น แต่อาจทำให้ผู้ใช้จริงรู้สึกรำคาญเนื่องจากปฏิเสธการเข้าใช้งานของผู้ใช้เกิดได้บ่อยขึ้น รูปที่ 2.2 แสดงกราฟ ROC (Receiver Operating Characteristic) ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงประสิทธิภาพของระบบโดยรวมทั้งค่าขีดแบ่งต่างๆ โดยแสดงค่าระหว่าง FAR กับ FRR



รูปที่ 2.2 กราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่างๆ

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ ค่า FRR สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 และค่า FAR สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3-2.5

$$FRR = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i)}{N} \quad (2.1)$$

$$f(x_i) = \begin{cases} 1 ; & \text{if } \forall D(F_i, Y_j) > T ; j = 1, 2, \dots, P \\ 0 ; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.2)$$

โดยที่	$f(x_i)$	เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู้ทุกค่าที่ได้จากการเปรียบคู้กับผู้ใช้ในฐานะข้อมูลทั้งหมดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งของระบบ
	F_i	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ
	Y_j	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
	T	เป็นค่าขีดแบ่งของระบบ
	$D(F_i, Y_j)$	เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดระหว่างพีเจอร์เวกเตอร์ที่นำมาทดสอบกับพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
	N	เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่นำมาทดสอบ
	P	เป็นจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

$$FAR = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i) + \sum_{k=1}^M g(x_k)}{N + M} \quad (2.3)$$

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

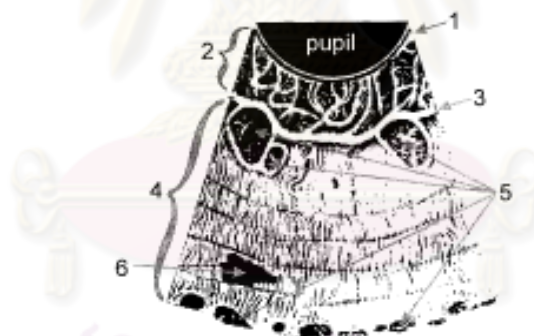
$$g(x_k) = \begin{cases} 1 ; & \text{if } \exists \min(D(F_k, Y_j)) \leq T ; j = 1, 2, \dots, P \\ 0 ; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

โดยที่	$f(x_i)$	เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู้ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบคู้ผู้ใช้ในระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งเป็นผู้ใช้คนละคนกันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ
	$g(x_k)$	เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบคู้ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบคู้ใช้นอกระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

F_i	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ
Y_j	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
F_k	เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ในระบบและถูกนำมาทดสอบ
N	เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ
M	เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ
P	เป็นจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

2.2 แบบรูปม่านตาและการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

แบบรูปม่านตาเป็นพื้นที่วงแหวนที่อยู่ระหว่างรูม่านตา (Pupil) และส่วนตาขาว (Sclera) ซึ่งปรากฏอยู่ในดวงตา โดยมีองค์ประกอบคือ Freckles Coronas Stripes Furrows และ Crypts เป็นต้น แบบรูปม่านตาถูกสร้างขึ้นในเดือนที่ 3 ของการตั้งครรภ์และสร้างเสร็จเมื่อครรภ์มีอายุ 8 เดือน แต่การย้อมสี (Pigmentation) ของแบบรูปม่านตาจะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปจนถึง 1 ปีหลังคลอด [2] หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของแบบรูปม่านตาคือการควบคุมปริมาณแสงเข้าสู่รูม่านตาโดยกล้ามเนื้อ Sphincter และ Dilator ซึ่งอยู่ในม่านตา โดยทำการปรับขนาดของรูม่านตาให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง

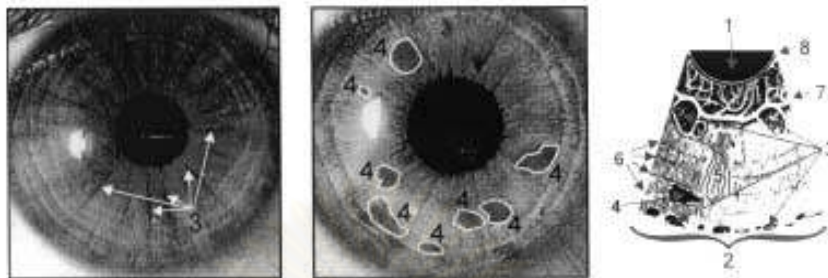


รูปที่ 2.3 พื้นผิวของม่านตา (1-pigment frill, 2-pupillary area, 3-collarette, 4-ciliary area, 5-crypts, 6-pigment spot) [2]

พื้นผิวของม่านตา (Iris Surface) แสดงดังรูปที่ 2.3 ประกอบด้วย Pigment Frill คือบริเวณขอบระหว่างรูม่านตาและม่านตา ซึ่งมองดูคล้ายกับขอบที่เป็นวงล้อมรอบรูม่านตา บริเวณรูม่านตา (Papillary Area) และ Collarette ซึ่งประกอบด้วย Ciliary Area กับขอบของ Ciliary Area โดย Ciliary Area แบ่งออกเป็นบริเวณชั้นในซึ่งเป็นบริเวณที่ค่อนข้างเรียบและเป็นร่องรัศมี (Radial Furrows) บริเวณชั้นกลางมีร่องค่อนข้างมากในทุกทิศทางและมีกลุ่มวงควัดฤ (Pigment Pile) อยู่บนสัน (Ridge) และบริเวณส่วนนอกบริเวณริมขอบนั้นประกอบด้วยผิวรอบนอกของ Crypt ค่อนข้างมากซึ่งมีทิศทางที่แน่นอน

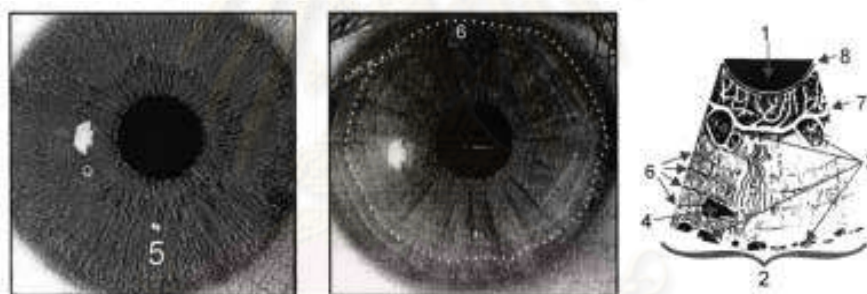
ลักษณะที่มองเห็นได้ของม่านตาที่สำคัญต่อการระบุบุคคลมีดังนี้

1. ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรงควัตถุ (Pigment Related Features) มีส่วนประกอบคือ Crypt และ จุดรงควัตถุ (Pigment Spot) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรงควัตถุ (1-รูม่านตา, 2-ม่านตา, 3-crypts, 4-pigment spots, 5-radial furrows, 6-concentric furrows, 7-colarette, 8-pigment frill) [2]

2. ลักษณะที่ควบคุมขนาดของรูม่านตา (Feature Controlling the Size of the Pupil) ได้แก่ Radial Furrows และ Concentric Furrows แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะที่ควบคุมขนาดของรูม่านตา (1-รูม่านตา, 2-ม่านตา, 3-crypts, 4-pigment spots, 5-radial furrows, 6-concentric furrows, 7-colarette, 8-pigment frill) [2]

3. Collarette ประกอบด้วย Cillary Area และขอบของ Cillary Area แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 Collarette (1-รูม่านตา, 2-ม่านตา, 3-crypts, 4-pigment spots, 5-radial furrows, 6-concentric furrows, 7-colarette, 8-pigment frill) [2]

ม่านตาเป็นส่วนที่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ไม่ซ้ำกัน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งชีวิต ซึ่งเป็นสิ่งที่เหมาะสมสำหรับระบบชีวมาตรในการระบุบุคคล โดยสามารถใช้กระบวนการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Processing and Analysis) เพื่อแยกรูปแบบที่ไม่ซ้ำกันของแบบรูปม่านตาจากภาพตา และเปลี่ยนให้เป็นแผ่นแบบชีวมาตรซึ่งสามารถเก็บลงในฐานข้อมูล ทำให้สามารถนำแผ่นแบบชีวมาตรไปเปรียบคู่กันได้

2.3 การเก็บภาพม่านตา

โดยทั่วไปการเก็บภาพม่านตาจะใช้แสงอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากแสงอินฟราเรดถูกรบกวนได้น้อยกว่าแสงที่อยู่ในช่วงของตามนุษย์ที่สามารถมองเห็นได้ [16] อีกทั้งยังมีโครงสร้างบางอย่างของม่านตาที่สามารถสะท้อนแสงอินฟราเรดได้

2.3.1 ข้อจำกัดของปริมาณแสงอินฟราเรดที่เข้าสู่ดวงตา

แสงอินฟราเรดเป็นแสงที่ไม่สามารถมองเห็นได้โดยดวงตาของมนุษย์ โดยมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่จากดวงอาทิตย์ The American Conference of Government Industrial Hygienists หรือ ACGIH ได้มีข้อกำหนดของปริมาณแสงอินฟราเรดที่ผ่านเข้ามายังดวงตาของมนุษย์ [17] เพื่อลดผลกระทบจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับดวงตาได้ ดังสมการที่ 2.6

$$\sum_{770 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 1.8t^{-3/4} \quad (2.6)$$

โดย λ คือความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ

E_{λ} คือปริมาณรังสีที่ตกกระทบดวงตาในหน่วย W/cm^2

และ t คือเวลาที่ได้รับแสง

สำหรับเวลาที่รับแสงอินฟราเรดที่มากกว่า 1,000 วินาที ในแต่ละครั้งต้องมีปริมาณแสงอินฟราเรดน้อยกว่า 10 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2)

2.3.2 ตัวรับแสง (Light Sensor)

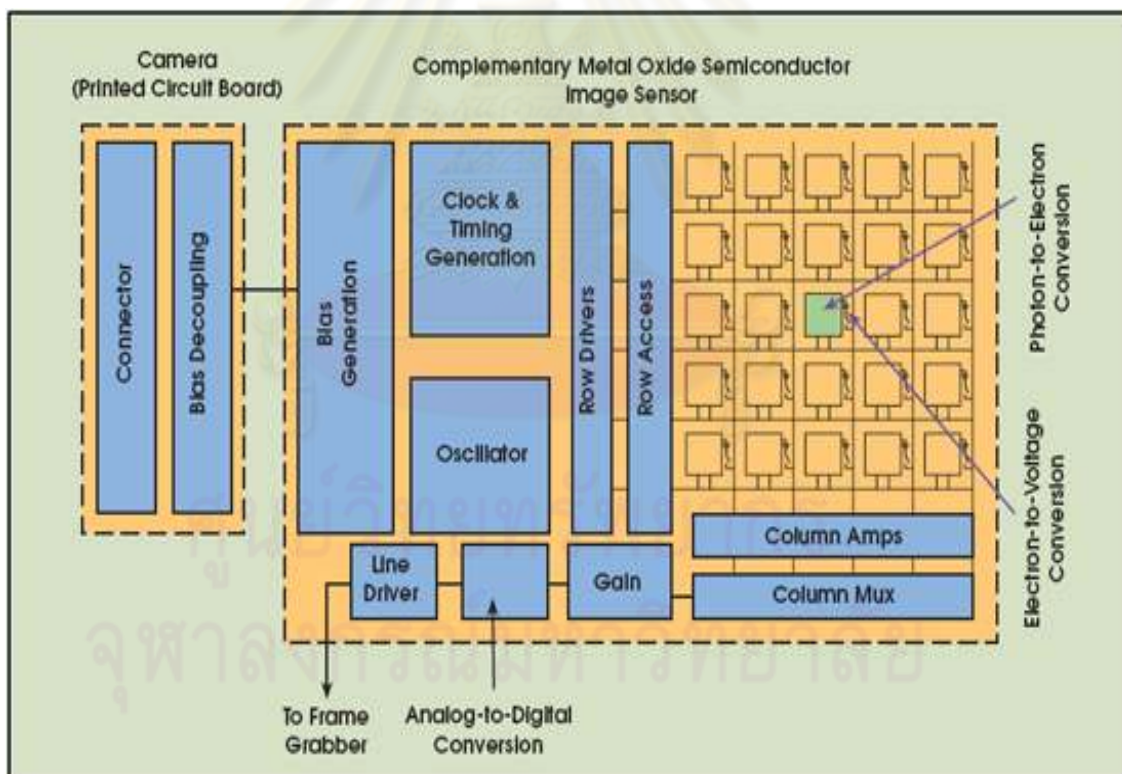
ตัวรับแสงทำหน้าที่บ่งบอกปริมาณความเข้มของแสง โดยปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวรับแสงบ่งบอกถึงความเข้มแสงที่ตกกระทบตัวรับแสง เมื่อแสงตกกระทบกับวัสดุที่มีปฏิกิริยากับแสง (เช่นสารกึ่งตัวนำ) วัสดุนั้นจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา เนื่องจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานเพียงพอสำหรับการกระโดดไปยังชั้นที่มีพลังงานสูงกว่า หากความเข้มแสงที่ตกกระทบบน

พื้นผิวของวัตถุที่มีปฏิกิริยาต่อแสงมาก อิเล็กตรอนจะถูกปล่อยจากวัตถุนั้นมากเช่นกัน เมื่ออิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยจากวัตถุที่มีปฏิกิริยาต่อแสงเมื่อได้รับแสง วัตถุนั้นจึงสามารถนำไฟฟ้าได้ในทำนองเดียวกันหากวัตถุนั้นได้รับพลังงานจากแสงมากวัตถุนั้นก็สามารถนำไฟฟ้าได้มาก

ตัวรับภาพ (Image Sensor) ประกอบไปด้วยตัวรับแสงจำนวนมากเพื่อแปลงพลังงานแสงเป็นประจุไฟฟ้า ปริมาณของกระแสไฟฟ้าบ่งบอกถึงความเข้มของแสง ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำมาแปลงเป็นค่าเพื่อบ่งบอกถึงความเข้มของสีในแต่ละตัวรับแสง ตัวรับภาพสามารถแบ่งเป็นสองประเภทตามวิธีการแปลงค่าเป็นความเข้มแสงได้ดังนี้

1. Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)

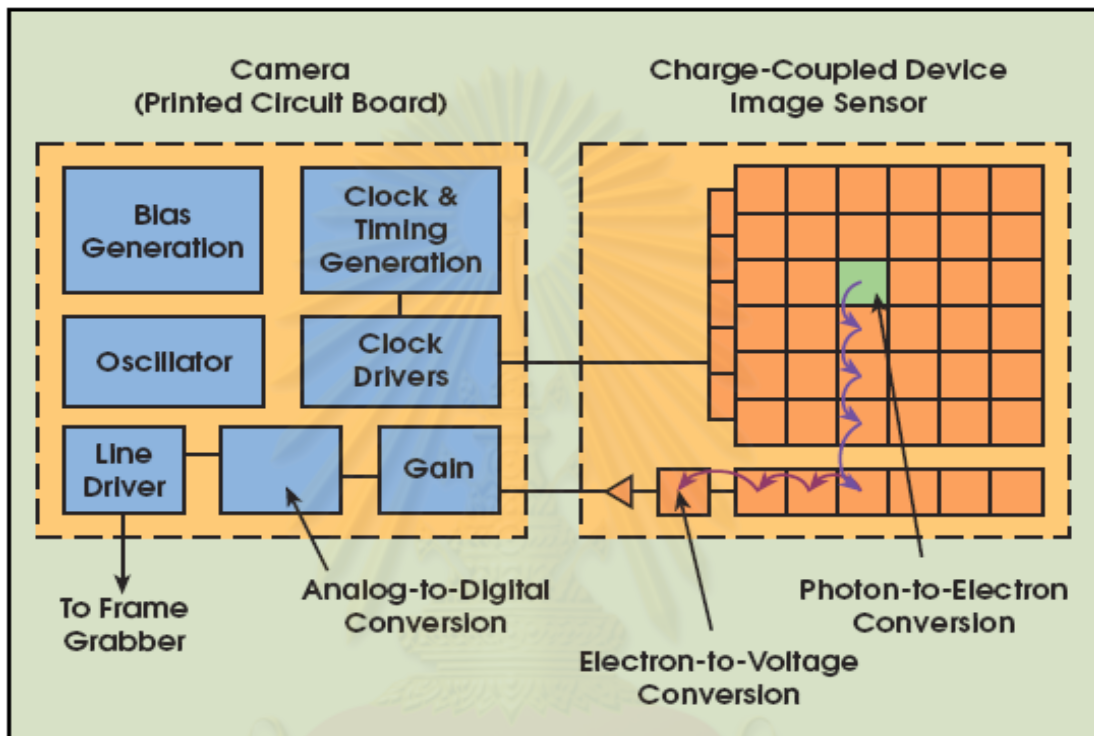
CMOS เป็นตัวรับภาพชนิดหนึ่งประกอบไปด้วยตัวรับแสงและทรานซิสเตอร์ในแต่ละพิกเซล (รูปที่ 2.7) ทำให้การนับจำนวนอิเล็กตรอน และการแปลงอิเล็กตรอนเป็นค่ากระแสไฟฟ้าสามารถทำได้ในแต่ละพิกเซล



รูปที่ 2.7 การทำงานของ CMOS [18]

2. Charge Coupled Device (CCD)

CCD เป็นตัวรับภาพชนิดหนึ่งประกอบไปด้วยตัวรับแสงเพียงอย่างเดียวในแต่ละพิกเซล (รูปที่ 2.8) ทำให้ต้องมีหน่วยประมวลผลเพื่อนับจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละพิกเซลตามสัญญาณนาฬิกา จากการทำในแต่ละพิกเซลไม่ได้มีทรานซิสเตอร์ประกอบ ทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าเนื่องจากได้รับแสงเต็มที่ ไม่ได้สูญเสียปริมาณแสงไป



รูปที่ 2.8 การทำงานของ CCD [18]

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของ CCD และ CMOS สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง CCD กับ CMOS [18]

	CMOS	CCD
ความเร็วในการตอบสนอง	มาก	น้อย
สัญญาณรบกวน	สูง	ต่ำ
ความซับซ้อนของระบบ	น้อย	มาก
คุณภาพในการรับแสง	น้อย	มาก
ความละเอียด	ต่ำ	สูง
การใช้พลังงาน	มาก	น้อย
ราคา	ถูก	แพง

2.3.3 กล้องที่ใช้ในการเก็บภาพม่านตา

กล้องที่ใช้เก็บภาพม่านตาที่ใช้ในงานวิจัยอื่นๆ มีราคาแพง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ราคากล้องที่ใช้เก็บภาพม่านตา

กล้อง	ชนิดของตัวรับภาพ	ราคา (ปี 2009)	งานวิจัยอ้างอิง
EverFocus EQ100A/EN	CCD	277.46 USD	[19]
SONY DXC-950P	3CCD	3,375.00 USD	[20]
JIRIS JPC1000	CMOS	450.00 USD	[21]

ในงานวิจัยนี้ใช้เว็บแคม MD-TECH รุ่น CAM-BB เป็นอุปกรณ์ในการจับภาพ ซึ่งไม่ได้ถูกปรับแต่งใดๆ ในงานการเก็บภาพม่านตา โดยตัวรับภาพของเว็บแคมเป็นชนิด CMOS มีแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด 6 แหล่ง และมีราคา 490 บาท

2.4 การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Processing and Analysis)

การประมวลผลภาพดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จะใช้ในการทำงานในขั้นตอนการเตรียมภาพ โดยนำการประมวลผลภาพดิจิทัลมาปรับปรุงภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพ เพื่อให้สามารถสกัดลักษณะที่สำคัญของผู้ใช้ออกจากภาพได้อย่างถูกต้องและนำลักษณะที่ได้ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับแผ่นแบบของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัลดังต่อไปนี้

2.4.1 การหาโปรไฟล์การฉายระดับเทา (Grayscale Projection Profile)

การฉายของภาพระดับเทาเป็นการหาผลรวมค่าระดับเทาของพิกเซลซึ่งอยู่ในแนวแกน x หรือแกน y ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยที่พิกเซลมีค่าระดับเทาอยู่ระหว่าง 0 - 7

1	4	0	1	6	1	2	1	0	2	0	1	19
6	1	4	3	5	5	2	2	2	4	3	6	43
6	5	3	4	4	0	3	0	3	2	3	0	33
4	2	4	4	0	5	7	3	7	1	6	6	49
6	3	7	1	7	5	1	2	3	0	2	0	37
2	5	2	7	1	7	6	1	4	5	2	6	48
6	0	5	2	7	0	0	4	2	1	5	6	38
3	5	2	2	1	7	2	3	0	1	3	3	32
1	4	5	5	7	2	0	2	1	6	3	0	36

(ก)

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

(ค)

รูปที่ 2.9 โพรไฟล์การฉายระดับเทา (ก) ภาพระดับเทา (ข) โพรไฟล์การฉายระดับเทาตามแนวนอน (ค) โพรไฟล์การฉายระดับเทาตามแนวตั้ง

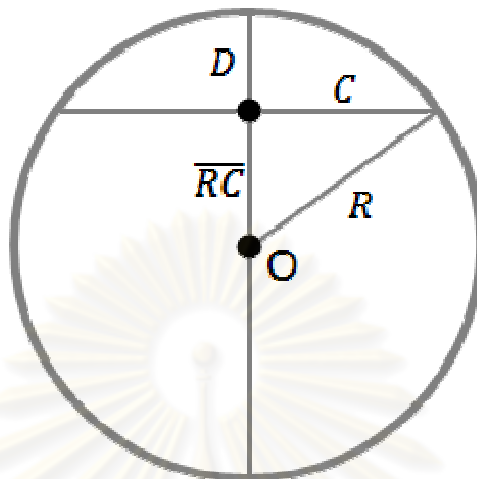
โพรไฟล์การฉายระดับเทาตามแนวนอน $H[i]$ และแนวตั้ง $V[i]$ ของภาพระดับเทา กำหนดโดยสมการ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

$$H[i] = \sum_{j=1}^m B[i, j] \quad (2.7)$$

$$V[i] = \sum_{i=1}^n B[i, j] \quad (2.8)$$

โดยที่ B เป็นภาพระดับเทาซึ่งมีความสูงเท่ากับ m จุดภาพ และมีความกว้างเท่ากับ n จุดภาพ

2.4.2 การหารัศมีของวงกลมโดยอาศัยทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส
จากรูป



รูปที่ 2.10 วงกลม

$$\begin{aligned} \overline{RC} + D &= R \\ \therefore \overline{RC} &= R - D \end{aligned} \quad (2.9)$$

และ

$$\overline{RC}^2 + C^2 = R^2 \quad (2.10)$$

จะได้

$$(R - D)^2 + C^2 = R^2$$

$$D^2 - 2DR + R^2 + C^2 = R^2$$

$$\therefore R = \frac{C^2 + D^2}{2D} \quad (2.11)$$

ศูนย์วิทยุทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.3 การแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว

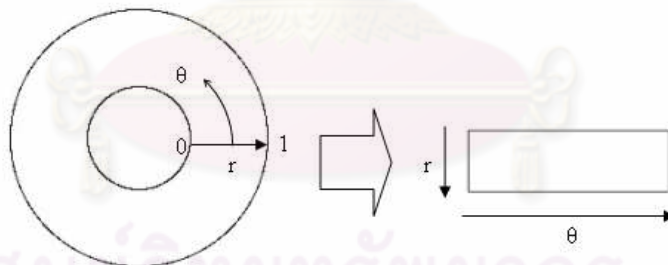
Homogeneous Rubber Sheet Model [4] ถูกคิดค้นโดย John Daugman เป็นการส่ง (Map) จุดภายในม่านตาจากระบบพิกัดเชิงเส้นให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว (r, θ) โดยที่ r อยู่ในช่วง $[0,1]$ และ θ อยู่ในช่วง $[0,2\pi]$ โดยสมการ 2.12 และ 2.13

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta)$$

$$x(r, \theta) = (1-r)x_p(\theta) + rx_l(\theta) \quad (2.12)$$

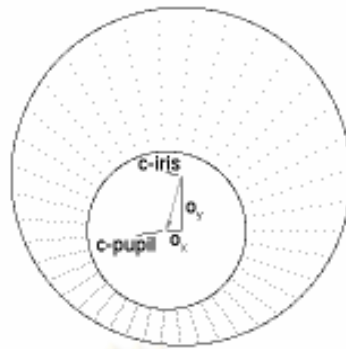
$$y(r, \theta) = (1-r)y_p(\theta) + ry_l(\theta) \quad (2.13)$$

โดยที่ $I(x, y)$ คือภาพม่านตา
 (x, y) คือระบบพิกัดเชิงเส้น
 (r, θ) คือระบบพิกัดเชิงขั้ว
 (x_p, y_p) คือพิกัดของขอบม่านตาที่มุม θ
 (x_l, y_l) คือพิกัดของขอบม่านตาที่มุม θ
 r อยู่ในช่วง $[0,1]$
 และ θ อยู่ในช่วง $[0,2\pi]$



รูปที่ 2.11 การแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว

จุดศูนย์กลางของม่านตาจะถูกเลือกเป็นจุดอ้างอิง (Reference Point) โดยการเลือกจุดตามเส้นแนวรัศมีมาเป็นความละเอียดตามแนวรัศมี (Radial Resolution) และจำนวนเส้นแนวรัศมีทั้งหมดเรียกว่าความละเอียดตามมุม (Angular Resolution) ดังรูปที่ 2.12 แต่เนื่องจากจุดศูนย์กลางของม่านตาและม่านตาอาจไม่ใช่จุดเดียวกัน จึงต้องมีการส่งจุดเหล่านั้นเพื่อที่จะสเกลจุด โดยขึ้นอยู่กับมุมรอบวงกลมของม่านตาดังสมการที่ 2.14 - 2.16



รูปที่ 2.12 กระบวนการแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วของ Homogeneous Rubber Sheet Model

$$r' = \sqrt{\alpha\beta} \pm \sqrt{\alpha\beta^2 - \alpha - r_{iris}^2} \quad (2.14)$$

$$\alpha = o_x^2 + o_y^2 \quad (2.15)$$

$$\beta = \cos\left(\pi - \tan^{-1}\left(\frac{o_x}{o_y}\right) - \theta\right) \quad (2.16)$$

โดยที่ o_x คือการกระจัดของจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและม่านตาในแนวแกน x
 o_y คือการกระจัดของจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและม่านตาในแนวแกน y
 r คือระยะทางระหว่างขอบของรูม่านตาและม่านตาที่มุม θ
 และ r_{iris} คือรัศมีของม่านตา

แม้ว่า Homogeneous Rubber Sheet Model จะกำจัดการขยายหรือหดของม่านตา ระยะห่างในการเก็บภาพ และจุดศูนย์กลางที่ไม่ร่วมกันของม่านตาและรูม่านตา แต่ไม่สามารถกำจัดการหมุนของม่านตาจากการเก็บภาพได้

2.4.4 Linear Least Square Circle [22-23]

สมการของวงกลมสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นได้ดังสมการที่ 2.17

$$F(x, y) = A(x^2 + y^2) + Bx + Cy = 1 \quad (2.17)$$

โดยที่ $A = \frac{1}{r^2 - x^2 - y^2}$

$$B = \frac{-2x}{r^2 - x^2 - y^2}$$

$$C = \frac{-2y}{r^2 - x^2 - y^2}$$

(x, y) คือพิกัดจุดศูนย์กลางของวงกลม

และ r คือรัศมีของวงกลม

จาก Linear Least Square Circle จะสามารถหาค่าพิกัดจุดศูนย์กลางของวงกลม (x_0, y_0) และรัศมีของวงกลม r ได้จากสมการที่ 2.18 - 2.20

$$x_0 = \frac{-B}{2A} \quad (2.18)$$

$$y_0 = \frac{-C}{2A} \quad (2.19)$$

$$r = \frac{\sqrt{4A^2 + B^2 + C^2}}{2A} \quad (2.20)$$

สำหรับสมการเชิงเส้นของวงกลมแล้ว จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian Matrix) และเวกเตอร์ตกค้าง (Residual Vector) คือสมการที่ 2.21 และ 2.22 ตามลำดับ

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial A} & \frac{\partial F_1}{\partial B} & \frac{\partial F_1}{\partial C} \\ \frac{\partial F_2}{\partial A} & \frac{\partial F_2}{\partial B} & \frac{\partial F_2}{\partial C} \\ \frac{\partial F_3}{\partial A} & \frac{\partial F_3}{\partial B} & \frac{\partial F_3}{\partial C} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial A} & \frac{\partial F_n}{\partial B} & \frac{\partial F_n}{\partial C} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$K = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

โดยสามารถหาค่า A B และ C จากสมการที่ 2.23

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = (J'J)^{-1} J'K \quad (2.23)$$

2.4.5 ผลต่างของเกาส์เซียน (Difference of Gaussian)

เป็นการหาค่าผลต่างของภาพที่ทำการปรับเรียบด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian smoothing Function) กับภาพเริ่มต้นด้วยค่าความแปรปรวนของฟังก์ชันปรับเรียบแบบเกาส์เซียนหลายค่าแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 ผลต่างของเกาส์เซียน

2.4.6 โมเมนต์อินยง (Moment Invariants) [24-25]

โมเมนต์เป็นการบรรยายคุณสมบัติของวัตถุในภาพ วัตถุที่สนใจจะถูกแบ่งส่วน (Segment) ออกจากภาพเริ่มต้นก่อนที่การหาคุณสมบัติต่างๆ โดยใช้โมเมนต์ โมเมนต์มีนิยามดังสมการที่ 2.24

$$m_{p,q} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x,y) dx dy \quad (2.24)$$

โดยที่ $m_{p,q}$ คือโมเมนต์ Order $(p + q)$

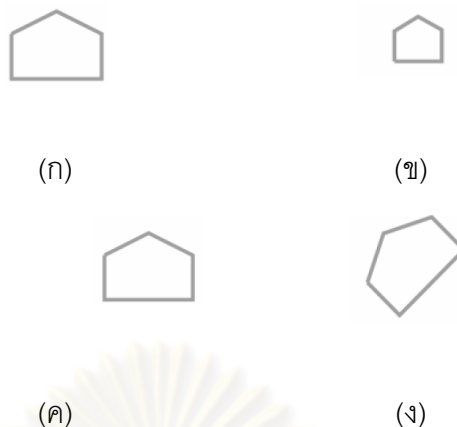
และ $f(x,y)$ คือค่าความส่องสว่างที่ตำแหน่ง (x,y)

คุณสมบัติอย่างง่ายของวัตถุที่ใช้โมเมนต์ในการบรรยายได้แก่ พื้นที่และจุดศูนย์กลางมวล เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้หามุมทิศทางของแกนหลัก (Direction of Principal Axis) ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ โดยแสดงดังสมการที่ 2.25

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}} \quad (2.25)$$

โดยที่ θ ทิศของแกนหลักเมื่อเทียบกับแกนนอน

และ $\mu_{p,q}$ โมเมนต์อินยงต่อสภาวะการเปลี่ยนตำแหน่ง



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงของวัตถุ(ก) รูปวัตถุเริ่มต้น (ข) วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงขนาด
(ค) วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (ง) วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงมุมหมุน

โมเมนต์โดยทั่วไปนั้นสามารถบรรยายลักษณะของวัตถุในภาพได้อย่างง่ายได้แก่ จุดศูนย์กลางมวลและพื้นที่ เป็นต้น แต่ไม่สามารถใช้ในการบรรยายลักษณะของวัตถุ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง ขนาด และมุมหมุนของวัตถุได้ ทำให้ค่าของโมเมนต์ของวัตถุชนิดเดียวกันเปลี่ยนแปลงไปเมื่อวัตถุเกิดการเปลี่ยนตำแหน่ง ขนาด และมุมหมุน โดยแสดงดังรูปที่ 2.14(ข) - 2.14(ค) จึงได้มีการคิดค้นโมเมนต์ที่ยืนยงต่อสภาวะเหล่านี้เพื่อให้การเปรียบเทียบรูปร่างของวัตถุเป็นไปอย่างเหมาะสม ทำให้ค่าของโมเมนต์จะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของวัตถุเพียงอย่างเดียว โดยไม่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ขนาด และมุมหมุนของวัตถุ โมเมนต์ที่ยืนยงต่อสภาวะการเปลี่ยนตำแหน่ง ขนาด และมุมหมุนมีรายละเอียดดังนี้

1. โมเมนต์ที่ยืนยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

เมื่อวัตถุในภาพเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งดังรูปที่ 2.15 (ก) จะมีผลทำให้ค่าของโมเมนต์จากสมการที่ 2.24 เกิดการเปลี่ยนแปลง โมเมนต์ที่ยืนยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุสามารถทำให้โมเมนต์ของวัตถุที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าเท่ากัน โดยโมเมนต์ที่ยืนยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมีนิยามดังสมการที่ 2.26

$$\mu_{p,q} = \iint (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (2.26)$$

โดยที่ $\mu_{p,q}$ คือโมเมนต์ที่ยืนยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ Order $(p + q)$
 (\bar{x}, \bar{y}) คือเซนทรอยด์ของวัตถุในภาพที่สนใจ
 และ $f(x, y)$ คือค่าความส่องสว่างที่ตำแหน่ง (x, y)

2. โมเมนต์ยืนยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงขนาด

จากสมการที่ 2.24 หากวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงขนาดดังสมการที่ 2.27 กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเท่ากับ α ทั้งในแนวแกนตั้งและในแนวแกนนอน จาก (x, y) เป็น (x', y')

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

จากสมการที่ 2.27 จะพบว่า

$$dx = \frac{1}{\alpha} dx' \quad (2.28)$$

$$dy = \frac{1}{\alpha} dy' \quad (2.29)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.28 และ 2.29 แทนในสมการโมเมนต์ (สมการที่ 2.24) จะได้

$$\begin{aligned} m_{p,q} &= \iint x^p y^q f(x, y) dx dy \\ &= \iint \left(\frac{x'}{\alpha}\right)^p \left(\frac{y'}{\alpha}\right)^q f(x', y') \frac{1}{\alpha} \frac{1}{\alpha} dx' dy' \\ &= \frac{1}{\alpha^{p+q+2}} \iint x'^p y'^q f(x', y') dx' dy' \\ &= \frac{m'_{p,q}}{\alpha^{p+q+2}} \end{aligned} \quad (2.30)$$

$$\text{โดยที่ } m'_{p,q} = \iint x'^p y'^q f(x', y') dx' dy'$$

จากสมการที่ 2.30 เมื่อกำหนดให้ $p = 0$ และ $q = 0$ จะได้

$$\alpha = \sqrt{\frac{m'_{0,0}}{m_{0,0}}} \quad (2.31)$$

นำค่า α จากสมการที่ 2.31 แทนค่าในสมการที่ 2.30 จะได้

$$m_{p,q} = \frac{m'_{p,q}}{\left(\sqrt{\frac{m'_{0,0}}{m_{0,0}}}\right)^{(p+q+2)}}$$

$$\therefore \frac{m'_{p,q}}{m'_{0,0} \frac{(p+q+2)}{2}} = \frac{m_{p,q}}{m_{0,0} \frac{(p+q+2)}{2}} \quad (2.32)$$

ดังนั้นโมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงขนาดมีนิยามดังสมการที่ 2.33

$$\eta_{p,q} = \frac{m_{p,q}}{m_{0,0} \frac{(p+q+2)}{2}} \quad (2.33)$$

โดยที่ $\eta_{p,q}$ คือโมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงขนาดที่ Order $(p+q)$

และ $m_{p,q}$ คือโมเมนต์ที่ Order $(p+q)$

3. โมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงมุมหมุน

ในการเปลี่ยนแปลงมุมหมุนของวัตถุในภาพจะมีผลทำให้ค่าโมเมนต์ของวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและขนาดของวัตถุ โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจาก Hu โมเมนต์ [26] ในการทำให้โมเมนต์ของวัตถุที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงมุมหมุนของวัตถุในภาพ Hu โมเมนต์ใช้หลักการยื่นยงของพีชคณิต (Algebraic Invariants) ในการพิสูจน์โมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงมุมหมุนดังนี้

Homogeneous Polynomial สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.34

$$f = a_{p,0}u^p v^0 + \binom{p}{1}a_{p-1,1}u^{p-1}v^1 + \binom{p}{2}a_{p-2,2}u^{p-2}v^2 + \dots + \binom{p}{p-1}a_{1,p-1}u^1v^{p-1} + a_{0,p}u^0v^p \quad (2.34)$$

จากสมการที่ 2.34 สามารถเขียนย่อโดยใช้ Cayley's Notation ได้ดังสมการที่ 2.35

$$f \equiv (a_{p,0}, a_{p-1,1}, \dots, a_{1,p-1}, a_{0,p})(u, v)^p \quad (2.35)$$

กำหนดการแปลงดังสมการที่ 2.36

$$\begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & i \\ 1 & -i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

โดยที่ (U, V) คือตำแหน่งในระนาบเชิงซ้อนหลังจากการแปลง

(u, v) คือตำแหน่งในระนาบเชิงซ้อน

และ i คือจำนวนจินตภาพ (Imaginary)

$$\therefore u = U + V \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} v &= \frac{U+V}{i} \\ &= -i(U-V) \end{aligned} \quad (2.38)$$

จากนั้นกำหนดให้ Homogenous Polynomial ก่อนการแปลงด้วยสมการ 2.36 เท่ากับ Homogenous Polynomial หลังการแปลงด้วยสมการที่ 2.36 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปคือค่า $I_{p,0}, I_{p-1,1}, \dots, I_{1,p-1}, I_{0,p}$ ดังสมการที่ 2.39

$$(I_{p,0}, I_{p-1,1}, \dots, I_{1,p-1}, I_{0,p})(U, V)^p \equiv (m_{p,0}, m_{p-1,1}, \dots, m_{1,p-1}, m_{0,p})(u, v)^p \quad (2.39)$$

โดยที่ p คือ Order

จากสมการที่ 2.39 เมื่อแทนค่าด้วยสมการที่ 2.37 และ 2.38 จะได้

• ในกรณีที่ $p = 2$

$$\begin{aligned} (I_{2,0}, I_{1,1}, I_{0,2})(U, V)^2 &\equiv (m_{2,0}, m_{1,1}, m_{0,2})(u, v)^2 \\ &\equiv m_{2,0}u^2 + \binom{2}{1}m_{2-1,1}u^{2-1}v + \binom{2}{2}m_{2-2,2}v^2 \\ &\equiv m_{2,0}(U+V)^2 + \binom{2}{1}m_{2-1,1}(U+V)^{2-1}(-i(U-V)) + \binom{2}{2}m_{2-2,2}(-i(U-V))^2 \\ &\equiv m_{2,0}(U+V)^2 - 2im_{1,1}(U+V)(U-V) - m_{0,2}(U-V)^2 \\ &\equiv (m_{2,0} - 2im_{1,1} - m_{0,2})U^2 + 2(m_{2,0} + m_{0,2})UV + (m_{2,0} + 2im_{1,1} - m_{0,2})V^2 \end{aligned}$$

จะได้

$$\begin{aligned} I_{2,0} &= (m_{2,0} - m_{0,2}) - 2im_{1,1} \\ I_{1,1} &= (m_{2,0} - m_{0,2}) \\ I_{0,2} &= (m_{2,0} - m_{0,2}) + 2im_{1,1} \end{aligned}$$

เมื่อกำจัดค่า i จะได้ Hu โมเมนต์ที่ $p = 2$ ดังนี้

$$I_{1,1} \text{ และ } I_{2,0} \cdot I_{0,2}$$

• ในกรณีนี้ที่ $p = 3$

$$\begin{aligned}
(I_{3,0}, I_{2,1}, I_{1,2}, I_{0,3})(U, V)^3 &\equiv (m_{3,0}, m_{2,1}, m_{1,2}, m_{0,3})(u, v)^3 \\
&\equiv m_{3,0}u^3 + \binom{3}{1}m_{3-1,1}u^{3-1}v^1 + \binom{3}{2}m_{3-2,2}uv^2 + \binom{3}{3}m_{3-3,3}v^3 \\
&\equiv m_{3,0}(U+V)^3 + \binom{3}{1}m_{3-1,1}(U+V)^{3-1}(-i(U-V)) + \binom{3}{2}m_{3-2,2}(U+V)(-i(U-V))^2 + \\
&\quad \binom{3}{3}m_{3-3,3}(-i(U-V))^3 \\
&\equiv m_{3,0}(U+V)^3 + 3m_{2,1}(U+V)^2(-i(U-V)) + 3m_{1,2}(U+V)(-i(U-V))^2 + \\
&\quad m_{0,3}(-i(U-V))^3 \\
&\equiv (m_{3,0} - 3m_{1,2} - 3im_{2,1} + im_{0,3})U^3 + (m_{3,0} + m_{1,2} - im_{2,1} - m_{0,3})3U^2V + \\
&\quad (m_{3,0} + m_{1,2} + im_{2,1} + im_{0,3})3UV^2 + (m_{3,0} - 3m_{1,2} + 3im_{2,1} - 3im_{0,3})V^3
\end{aligned}$$

จะได้

$$I_{3,0} = m_{3,0} - 3m_{1,2} - 3im_{2,1} + im_{0,3}$$

$$I_{2,1} = m_{3,0} + m_{1,2} - im_{2,1} - m_{0,3}$$

$$I_{1,2} = m_{3,0} + m_{1,2} + im_{2,1} + im_{0,3}$$

$$I_{1,2} = m_{3,0} - 3m_{1,2} + 3im_{2,1} - 3im_{0,3}$$

เมื่อกำจัดค่า i จะได้ Hu โมเมนต์ที่ $p = 3$ ดังนี้

$$I_{2,1} \cdot I_{1,2}, I_{3,0} \cdot I_{0,3}, (I_{2,1}^2 \cdot I_{0,2}) \text{ และ } (I_{3,0} \cdot I_{1,2} \cdot I_{0,2})$$

เพราะฉะนั้น จะได้ Hu โมเมนต์ทั้งหมด 6 ค่าจาก Hu โมเมนต์ที่ $p = 2$

และ $p = 3$ ดังสมการที่ 2.39 ถึง 2.44 ดังนี้

$$H_1 = m_{2,0} + m_{0,2} \quad (2.39)$$

$$H_2 = (m_{2,0} - m_{0,2})^2 + 4m_{1,1}^2 \quad (2.40)$$

$$H_3 = (m_{3,0} - 3m_{1,2})^2 + (3m_{2,1} - m_{0,3})^2 \quad (2.41)$$

$$H_4 = (m_{3,0} + m_{1,2})^2 + (m_{2,1} + m_{0,3})^2 \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned}
H_5 = &(m_{3,0} - 3m_{1,2})(m_{3,0} + m_{1,2})[(m_{3,0} + m_{1,2})^2 - 3(m_{2,1} + m_{0,3})^2] + \\
&(3m_{2,1} - m_{0,3})(m_{2,1} + m_{0,3})[3(m_{3,0} + m_{1,2})^2 - (m_{2,1} + m_{0,3})^2] \quad (2.43)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_6 = &(m_{2,0} - m_{0,2})[(m_{3,0} + m_{1,2})^2 - (m_{2,1} + m_{0,3})^2 + 4m_{1,1}(m_{3,0} + m_{1,2})(m_{2,1} + m_{0,3})] \\
&\quad (2.44)
\end{aligned}$$

4. โมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ขนาด และมุมหมุน จากโมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนมุมหมุนโดย H_u โมเมนต์ เมื่อแทนค่า $m_{p,q}$ ด้วย $\eta_{p,q}$ ในสมการที่ 2.39 ถึง 2.44 จะทำให้โมเมนต์ที่ยื่นยงต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ขนาด และมุมหมุน ดังสมการที่ 2.45 ถึง 2.50

$$H_1 = \eta_{2,0} + \eta_{0,2} \quad (2.45)$$

$$H_2 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})^2 + 4\eta_{1,1}^2 \quad (2.46)$$

$$H_3 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})^2 + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})^2 \quad (2.47)$$

$$H_4 = (\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 + (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 \quad (2.48)$$

$$H_5 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - 3(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})[3(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] \quad (2.49)$$

$$H_6 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 + 4\eta_{1,1}(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})] \quad (2.50)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรด

อุปกรณ์การเก็บภาพม่านตาที่ใช้ในปัจจุบันมีราคาแพง ซึ่งเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา ในงานวิจัยจึงใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บภาพราคาถูกมาใช้ในการระบุบุคคล นอกจากอุปสรรคในเรื่องราคาแล้ว คุณภาพของภาพที่ได้จากอุปกรณ์เก็บภาพม่านตาและความเร็วในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตามีผลอย่างมากในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา หากใช้เวลานานในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา จะทำให้ผู้ใช้งานต้องเสียเวลาไปกับการคอยการยืนยันจากการตรวจสอบบุคคล นอกจากนี้ยังมีสิ่งรบกวนต่างๆ ได้แก่ ขนตา เปลือกตา แสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรด สภาพแสงระหว่างการเก็บภาพ และเงาสะท้อนจากวัตถุภายนอก ที่สามารถลดทอนความถูกต้องในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการเพิ่มความเร็วในการระบุตำแหน่งม่านตา โดยการเลือกพิกเซลที่มีความสำคัญมาประมาณตัวแบบของรูม่านตาและม่านตา และการลดผลกระทบจากเงาสะท้อนในภาพม่านตา ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการเก็บภาพม่านตา

ขั้นตอนในการระบุตำแหน่งม่านตา จะใช้การปรับปรุงภาพม่านตาด้วยผลต่างของเกาส์เซียนเพื่อลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้น ภาพม่านตาที่ปรับปรุงด้วยผลต่างเกาส์เซียนจะถูกสเกล (Scale) ค่าความส่องสว่างให้อยู่ในช่วง $[0,255]$ และทำให้เป็นภาพไบนารีเพื่อทำการตรวจหาขอบในภาพ เซนทรอยด์ ทิศของแกนหลัก และ Hu โมเมนต์ของบิล็อบที่ถูกตรวจหาเป็นลักษณะที่ใช้ในการบ่งบอกความแตกต่างของม่านตาซึ่งนำมาใช้ในการเปรียบเทียบต่อไป

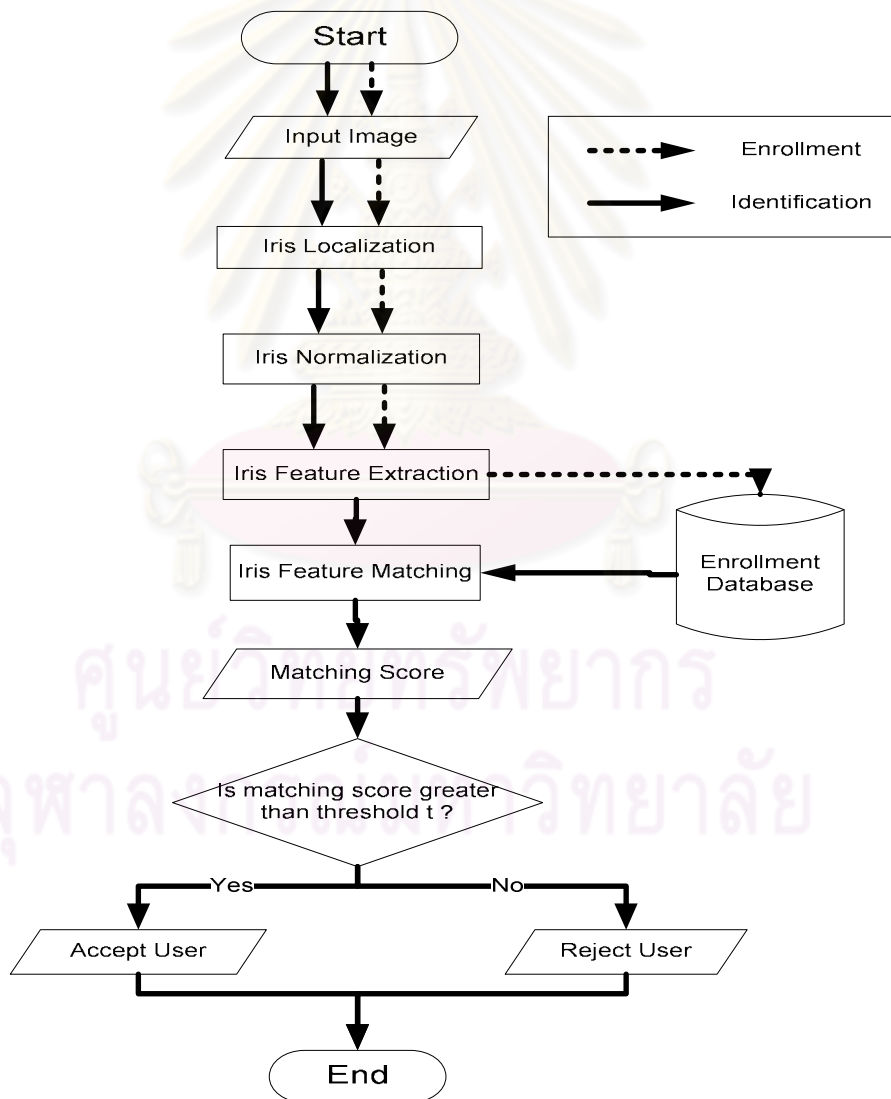
การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาในงานวิจัยประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา
- 3.2 การเก็บภาพตา (Eye Image Acquisition)
- 3.3 การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น (Iris Preprocessing)
- 3.4 การระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตา (Iris Pattern Identification)

โดยรายละเอียดของแต่ละหัวข้อ มีดังนี้

3.1 ขั้นตอนการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

ขั้นตอนแรกในการระบุบุคคลในงานวิจัยนี้คือการเก็บภาพตาด้วยกล้องเว็บแคมแบบอินฟราเรด ภาพที่ได้กล้องเว็บแคมแบบอินฟราเรดจะถูกนำไประบุตำแหน่งม่านตา ตำแหน่งม่านตาที่ได้จะนำมาแปลงระบบพิกัด จากระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วด้วย Homogeneous Rubber Sheet Model เพื่อทำการกำหนดขนาดของม่านตาให้เท่ากัน แม้ว่าการเก็บภาพตาแต่ละครั้งระยะห่าง และขนาดของรูม่านตาไม่เท่ากัน ขั้นตอนต่อมาเป็นการสกัดลักษณะม่านตาซึ่งเป็นสิ่งที่แตกต่างในแต่ละบุคคล ลักษณะม่านตาที่ได้จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลผู้ลงทะเบียนเพื่อใช้ในการเปรียบคู่ต่อไป โดยผังงาน (Flowchart) ของขั้นตอนในการระบุบุคคลมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการระบุบุคคล

3.2 การเก็บภาพตา (Eye Image Acquisition)

การเก็บภาพตา เป็นการเก็บสารสนเทศดิบของไบโอเมตริก (Raw Biometric Information) เพื่อทำการแปลงข้อมูลไบโอเมตริกของผู้ใช้งานให้เป็นข้อมูลภาพดิจิทัล (Digital Image) เนื่องจากโฟกัสของเว็บแคมเป็นโฟกัสตรึง (Fixed Focus) เมื่อผู้ใช้งานมีระยะเพียงเล็กน้อยทำให้ภาพเกิดพัว (Blur) ขึ้นได้ เพื่อลดผลกระทบของภาพ ในงานวิจัยจึงมีขั้นตอนการเก็บภาพดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้วางคางบนสิ่งค้ำคาง (Chin Support)
2. หน้าผากของผู้ใช้วางชิดกับอุปกรณ์รองรับหน้าผาก
3. ทำการเลื่อนแกนของเว็บแคมให้ภาพที่ได้จากกล้องมีภาพตาของผู้ใช้งานปรากฏอยู่
4. จัดเก็บภาพตาซ้ายและภาพตาขวาของผู้ใช้งานลงในคอมพิวเตอร์

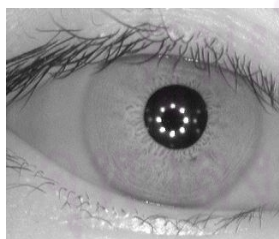
การเก็บภาพตาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยสภาพแวดล้อม 2 สภาวะ เพื่อให้ได้ภาพตาที่มีแสงสะท้อนและไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมปรากฏอยู่ ทั้งนี้ไม่นับรวมแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพตา โดยสภาพแวดล้อมทั้งสองมีรายละเอียดดังนี้

1. สภาพแวดล้อมในการเก็บภาพตาที่มีแสงสะท้อน

ทำการเก็บภาพตาของผู้ใช้โดยการกำหนดให้ผู้ใช้หันหน้าไปยังประตูทางเข้าห้อง พร้อมทั้งเปิดหน้าต่างภายในห้อง

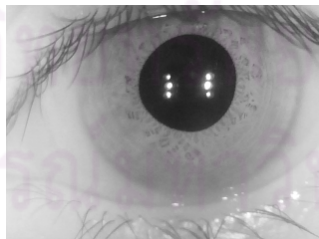
2. สภาพแวดล้อมในการเก็บภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อน

ทำการเก็บภาพตาของผู้ใช้โดยการกำหนดให้ผู้ใช้หันหน้าไปยังผนังกำแพงของห้อง พร้อมทั้งปิดหน้าต่างภายในห้อง



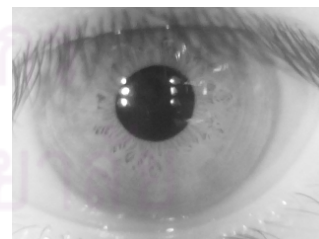
(ก) ตัวอย่างภาพตาจาก

ฐานข้อมูล CASIA V.3 [8]



(ข) ตัวอย่างภาพตาจาก

เว็บแคมที่ไม่มีแสงสะท้อน
จากสภาพแวดล้อม



(ค) ตัวอย่างภาพตาจาก

เว็บแคมที่มีแสงสะท้อนจาก
สภาพแวดล้อม

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพตาที่ใช้ในงานวิจัยโดยแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดมีลักษณะเป็นวงกลมสีขาว 8 จุด และ 6 จุด จากฐานข้อมูลภาพ CASIA เวอร์ชัน 3.0 และฐานข้อมูลภาพ CU-CGCI IRIS ตามลำดับ

3.3 การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น (Iris Preprocessing)

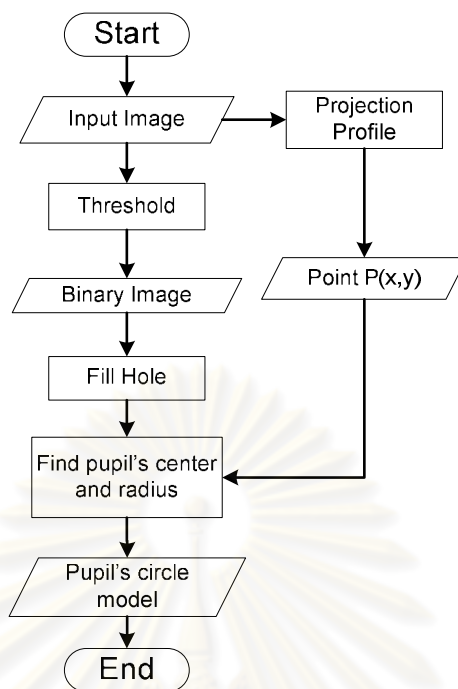
การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น เป็นขั้นตอนการเตรียมภาพเพื่อทำให้การหาลักษณะม่านตาเป็นไปอย่างเหมาะสม การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ การระบุตำแหน่งม่านตา และการแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว การระบุตำแหน่งม่านตาเป็นการหาพื้นที่ลายม่านตาจากภาพตา เพื่อใช้ในการเลือกเฉพาะส่วนลายม่านตาจากภาพตามาใช้ในการระบุบุคคล จากการเก็บภาพตาในแต่ละครั้ง ภาพตาที่ได้ อาจมีขนาดรูม่านตาแตกต่างกัน และระยะการเก็บภาพที่ต่างกันจะทำให้บริเวณลายม่านตามีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นภาพตาที่ได้ทำการระบุตำแหน่งม่านตาแล้วจะถูกจำกัดขนาดพื้นที่ม่านตาให้มีขนาดเท่ากันด้วยการแปลงระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว

3.3.1 การระบุตำแหน่งม่านตา (Iris Localization)

ม่านตานิยมตัวแบบ (Model) ด้วยวงกลม 2 วง ได้แก่ รูม่านตา และม่านตา โดยการนำตัวแบบเหล่านี้ไปวางทับกับขอบรูม่านตาและม่านตา ซึ่งพื้นที่ระหว่างตัวแบบทั้งสองแสดงถึงบริเวณของลายม่านตาจากภาพตาเริ่มต้น ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการหาตัวแบบวงกลม 2 วงได้แก่ รูม่านตา และม่านตาจากภาพตา โดยสามารถแบ่งการระบุตำแหน่งม่านตาออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุตำแหน่งรูม่านตา และการระบุตำแหน่งม่านตา โดยได้แสดงรายละเอียดของวิธีการไว้ดังนี้

3.3.1.1 การระบุตำแหน่งรูม่านตา

ตัวแบบของรูม่านตาสามารถสร้างได้จากการหารัศมีของวงกลมโดยอาศัยทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส โดยการหาดำแหน่งอ้างอิงซึ่งกำหนดให้เป็น Seed Point ที่อยู่ในรูม่านตา โดย Seed Point นี้ได้จากการหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาต่ำสุด ตำแหน่งของ Seed Point จะถูกนำไปใช้อ้างอิงในการวัดความยาวคอर्ड (Cord) ของรูม่านตาโดยคอर्डที่ได้จะอยู่ในแนวแกนนอน เมื่อได้ความยาวคอर्डแล้ว คอर्डดังกล่าวจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กันโดยแต่ละส่วนมีความยาวเป็น C จากนั้นทำการหาเส้นตรงจากตำแหน่งครึ่งหนึ่งของคอर्डในแนวแกนตั้ง โดยเส้นตรงที่ทำการค้นหานั้นต้องอยู่ภายในรูม่านตา ความยาวจากครึ่งหนึ่งของคอर्डไปยังปลายสุดของเส้นตรงคือ D จากนั้นนำค่า C และ D ไปคำนวณหารัศมีจากสมการที่ 2.6 เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในการสร้างตัวแบบของรูม่านตาต่อไปโดยขั้นตอนดังกล่าวแสดงเป็นผังงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการระบุตำแหน่งรูม่านตา

1. การหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาต่ำสุด

การหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาต่ำสุด เป็นการค้นหาตำแหน่งของ Seed Point เพื่อใช้ในการอ้างอิงหาตำแหน่งในการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง และรัศมีของรูม่านตาด้วย ทฤษฎีสามเหลี่ยมพีทาโกรัส เนื่องจากตำแหน่ง Seed Point ที่ได้เป็นตำแหน่งที่อยู่ภายในบริเวณของรูม่านตา การหาตำแหน่ง Seed Point สามารถหาได้จากค่าที่ต่ำที่สุดของโพรไฟล์การฉายระดับเทาซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3

$$x_{\text{pupil}} = \min_x \sum_{y=1}^H I(x, y) \quad (3.1)$$

$$y_{\text{pupil}} = \min_y \sum_{x=1}^W I(x, y) \quad (3.2)$$

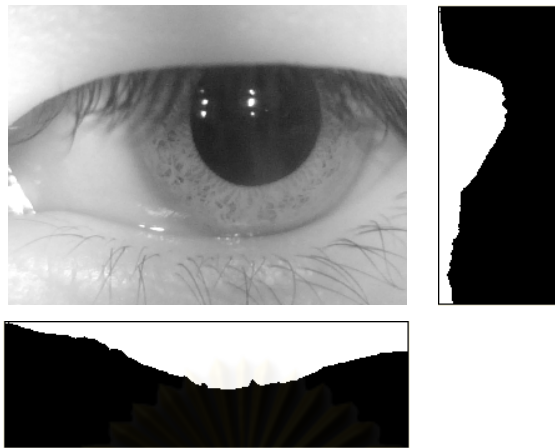
โดยที่ $I(x, y)$ คือค่าความสว่างที่พิกัด (x, y)

$x = 1, 2, \dots, W$

$y = 1, 2, \dots, H$

W คือความกว้างของภาพ

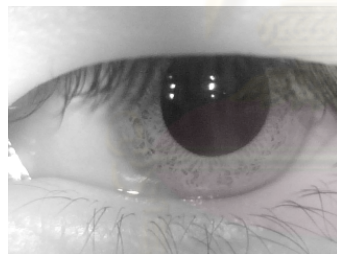
และ H คือความสูงของภาพ



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการหาโพรไฟล์การฉายระดับเทาต่ำสุดของภาพตา

2. การเติมสีดำในรูม่านตา

แสงสะท้อนในรูม่านตาซึ่งได้จากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดของเว็บแคม อาจทำให้การหาจุดขอบของรูม่านตาคลายคลื่อนได้ ในกรณีที่จุดที่ได้จากการหาค่าต่ำสุดของโพรไฟล์การฉายระดับเทาอยู่ระหว่างแสงสะท้อนภายนอกจากแหล่งกำเนิดแสงในรูม่านตา ซึ่งตัวอย่างของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 (ข)



(ก) ภาพอินพุต



(ข) ภาพไบนารีของภาพ (ก)

โดยค่าขีดแบ่ง (Threshold) เป็น 68



(ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนการหารัศมีของรู
ม่านตา



(ง) ภาพผลลัพธ์ในการระบุตำแหน่งรู
ม่านตา

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการระบุตำแหน่งรูม่านตา

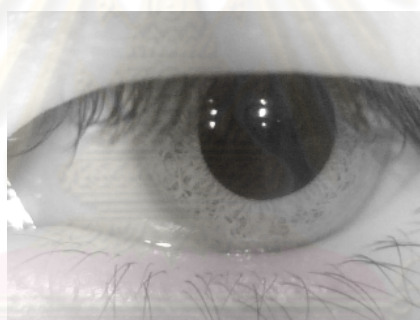
ดังนั้น การเติมสีดำในรูม่านตาจะช่วยให้การหาจุดขอบของรูม่านตามีความถูกต้องมากขึ้น โดยขั้นตอนวิธีในการเติมสีดำในรูม่านตามีรายละเอียดดังรูปที่ 3.6

ขั้นตอนวิธีการเติมสีดำในรูม่านตา

- 1) นำภาพอินพุตมาทำให้เป็นภาพอินเวอร์สไบนารี
- 2) หา Connected Component จากภาพอินเวอร์สไบนารี
- 3) เติมสีดำลงใน Connected Component ที่มีขนาดเล็กกว่าค่าที่กำหนดไว้

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนวิธีการเติมสีดำในรูม่านตา

ตัวอย่างของผลลัพธ์จากขั้นตอนวิธีดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ 3.7 โดยบริเวณแสงสะท้อนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดในรูม่านตาจะถูกเติมด้วยสีดำในรูปที่ 3.7(ค)



(ก) ภาพอินพุต



(ข) ภาพไบนารีของภาพ (ก)

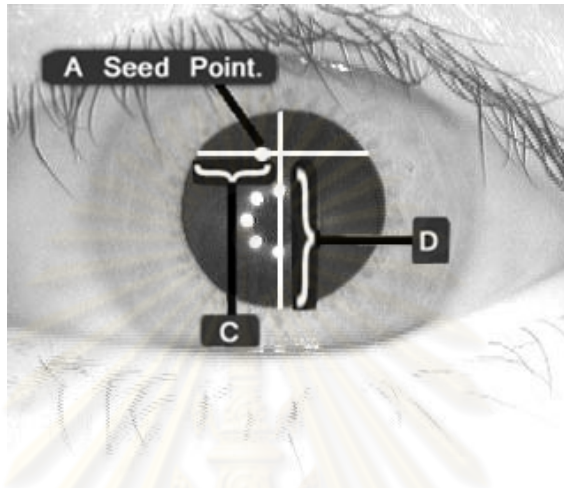
(ค) ภาพที่ผ่านขั้นตอนการเติมสีดำใน

รูม่านตาแล้ว

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการเติมสีดำในรูม่านตา

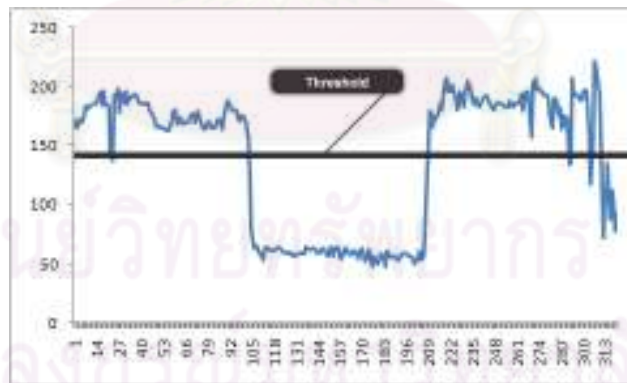
3. การหารัศมีของรูม่านตา

ความสัมพันธ์ระหว่าง Seed point C และ D แสดงดังรูป 3.8 เมื่อหาค่าความยาวของ C และ D ได้แล้ว จะสามารถหาค่าความยาวของรัศมีของรูม่านตาได้จากสมการ 2.6



รูปที่ 3.8 Seed point ที่หาได้ C และ D ในรูม่านตา

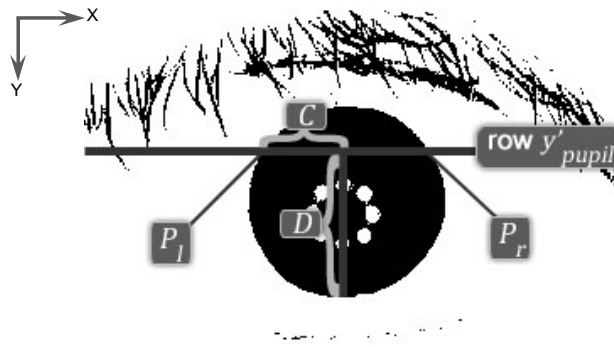
การหาความยาวของ C และ D หาได้จากโพรไฟล์ในแนวนอนดังแสดงในรูปที่ 3.9 จะถูกสร้างขึ้นจากภาพเริ่มต้นจากแถว y'_{pupil} และ x_i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, W$



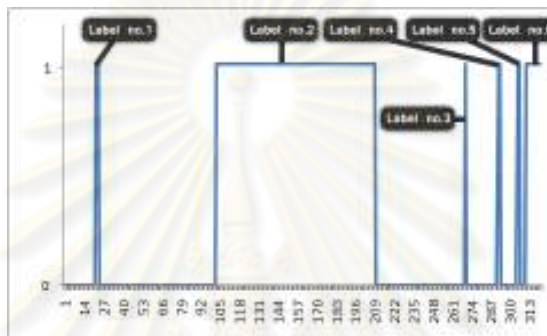
รูปที่ 3.9 โพรไฟล์ในแนวนอนที่ตำแหน่ง y'_{pupil}

เมื่อสร้างโพรไฟล์ในแนวนอนได้แล้ว โพรไฟล์ดังกล่าวจะถูกทำให้เป็นโพรไฟล์ทวิภาค (Binary profile) ซึ่งบริเวณพื้นที่สีดำที่แถว y'_{pupil} จะถูกติดป้าย (Label) ดังรูป

3.10



(ก.) ภาพที่ถูกทำให้เป็น binary โดยค่า threshold.



(ข.) ป้ายของพื้นที่บริเวณสีดำที่แถว y'_{pupil}
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการติดป้ายไพโรไฟล์

ป้ายที่มีความยาวมากที่สุดจะอยู่ในรูม่านตา อย่างไรก็ตามหาก Seed Point ที่ได้นั้นอยู่ระหว่างจุดสีขาวในรูม่านตา ป้ายที่มีความยาวน้อยกว่า 20 เพลอร์เซนต์ของป้ายที่มีความยาวมากที่สุดจะถูกกำจัดออกไป และป้ายที่เหลืออยู่จะถูกนำมารวมกันให้เป็นคอร์ดของรูม่านตา $P_l P_r$ โดย C คือความยาวครึ่งหนึ่งของคอร์ดดังกล่าว

ส่วนการหาความยาวของ D ก็ทำเช่นเดียวกับการหาความยาวของ C เพียงแต่ใช้ไพโรไฟล์ในแนวตั้งที่เริ่มต้นจากหลักที่ x'_{pupil} และ y_i โดยที่ $i = |H - y'_{pupil}|$ จนถึงความสูงของภาพ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงขนตาซึ่งอยู่บริเวณส่วนบนของภาพตา

3.3.1.2 การระบุตำแหน่งม่านตา

ขั้นตอนในการระบุตำแหน่งม่านตาจะใช้การปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียนกับภาพตา เพื่อให้ขอบของม่านตาปรากฏชัดเจนมากขึ้น โดยแสดงดังรูปที่ 3.11 นอกจากขอบของม่านตาที่ปรากฏขึ้นอย่างชัดเจนแล้ว ลายม่านตาบางส่วนจะปรากฏชัดเจนด้วย แต่เนื่องจากพื้นที่ที่เป็นบริเวณลายม่านตามีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ที่เป็นขอบของม่านตา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงคัดขนาดของบล็อบ (Blob) ที่มีขนาดเล็กออกไป เพื่อให้พื้นที่ที่เป็นบริเวณของ

ลายม่านตาถูกกำจัดออกไป ซึ่งเป็นการลดผลกระทบที่อาจได้ตำแหน่งขอบของลายม่านตาที่ไม่ถูกต้อง



(ก) ภาพอินพุทที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม



(ข) ภาพผลต่างของเกาส์เซียนของ (ก)



(ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนการคัดขนาดบิล็อบ

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการหาขอบม่านตา

การหาตำแหน่งจุดบนขอบม่านตาจะทำโดยการสร้างเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางไปตามมุมต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้เพื่อใช้ในการเลือกตำแหน่งจุดบนขอบม่านตา โดยการหาตำแหน่งจุดขอบม่านตาจากจุดบนภาพที่ถูกเส้นตรงนั้นซ้อนทับ ตำแหน่งเริ่มต้นที่ใช้ในการค้นหาจุดขอบดังกล่าวเริ่มต้นจากผลรวมระหว่างตำแหน่งจุดศูนย์กลางกับรัศมีของรูม่านตา



(ก) ภาพอินพุท



(ข) ผลลัพธ์จากการหาจุดขอบจาก (ก.)

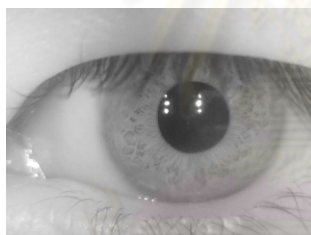
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการหาจุดบนขอบม่านตา

ในกรณีที่ส่วนขอบม่านตาที่ได้จากผลต่างของเกาส์เซียนมีรูอยู่ภายใน จะทำให้ได้จุดที่ไม่ใช่ขอบม่านตา ซึ่งมีผลทำให้การสร้างตัวแบบวงกลมเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงได้

ทำการเติมรูเหล่านั้นโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการเติมสีดำในรูม่านตา นอกจากกรณีดังกล่าวแล้ว จุดขอบที่ได้อาจเป็นขอบของขนตา หรือเปลือกตา ทำให้ต้องมีการตัดกรองจุดขอบเหล่านี้โดยการ ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนของความยาวระหว่างจุดขอบแต่ละจุดกับจุดเริ่มต้นที่ทำการ ค้นหา เมื่อได้จุดขอบม่านตาที่คัดเลือกมาแล้ว จะนำจุดขอบเหล่านี้ไปสร้างตัวแบบวงกลมด้วย Linear Least Square Circle ซึ่งเป็นวงกลมที่ได้จะพอเหมาะ (Fit) กับจุดขอบดังกล่าว

3.3.2 การจำกัดขนาดพื้นที่ส่วนม่านตา

ในการเก็บภาพม่านตาแต่ละครั้ง พื้นที่ส่วนม่านตาอาจมีขนาดไม่เท่ากัน เนื่องจากสภาพแสงที่แตกต่างกันในการเก็บภาพทำให้รูม่านตาเกิดการขยายหรือลดลง หรือระยะห่างในการเก็บภาพที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอาจไม่เหมาะสมนักหากจะทำการเปรียบเทียบคู่ม่านตาที่มีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนวิธีในการจำกัดขนาดพื้นที่ส่วนม่านตาให้มีความเท่ากัน ก่อนการสกัดลักษณะม่านตา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ Homogeneous Rubber Sheet Model ในการจำกัดขนาดพื้นที่ส่วนม่านตาให้เท่ากัน ตัวอย่างในการจำกัดขนาดพื้นที่ส่วนม่านตาแสดงดัง รูปที่ 3.13(ค) และ 3.13(ง)



(ก) ตัวอย่างภาพตาในสภาพแสงมาก



(ข) ตัวอย่างภาพตาในสภาพแสงน้อย



(ค) พื้นที่ส่วนม่านตาที่ถูกจำกัดขนาดที่มีความละเอียด 512x64 พิกเซลของรูป (ก)



(ง) พื้นที่ส่วนม่านตาที่ถูกจำกัดขนาดที่มีความละเอียด 512x64 พิกเซลของรูป (ค)

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการจำกัดพื้นที่ส่วนม่านตาที่ไม่เท่ากันของผู้ใช้คนเดียวกัน

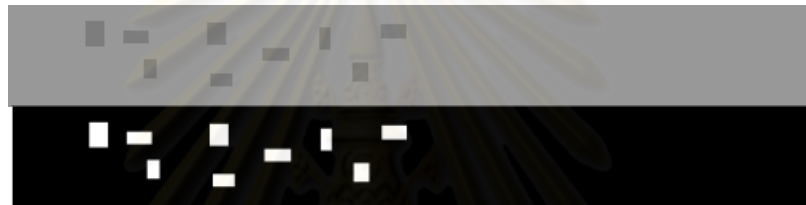
3.4 การระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตา (Iris Pattern Identification)

ในการระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตา ภาพม่านตาจากการแปลงระบบพิกัดเชิงเส้น เป็นระบบพิกัดเชิงขั้วจะถูกการสกัดลักษณะแบบรูปม่านตา ลักษณะแบบรูปม่านตาที่ได้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย เซนทรอยด์ ทิศของแกนหลัก และ Hu โมเมนต์ของบิล็อบ จากนั้น

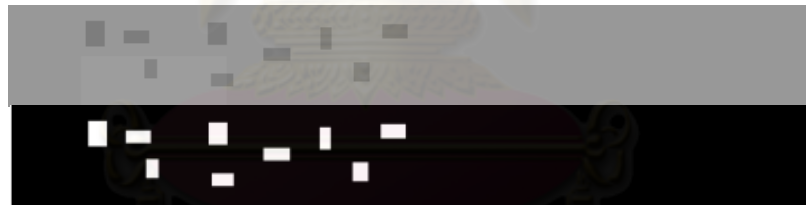
จะทำการคำนวณคะแนนความเหมือนของม่านตาในขั้นตอนของการเปรียบเทียบคู่ม่านตาซึ่งอาศัยลักษณะแบบรูปม่านตาที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับลักษณะแบบรูปม่านตาจากฐานข้อมูลผู้ลงทะเบียน โดยขั้นตอนในการระบุบุคคลโดยใช้แบบรูปม่านตาในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 การสกัดลักษณะแบบรูปม่านตา (Iris Pattern Feature Extraction)

เมื่อได้ภาพม่านตาจากการแปลงระบบพิกัดแล้ว ภาพม่านตาจะถูกนำไปหาผลต่างของเกาส์เซียน สเกลค่าความส่องสว่างให้อยู่ในช่วง [0-255] และทำให้เป็นภาพไบนารี เพื่อให้แบบรูปม่านตาปรากฏชัดจนมากขึ้น นอกจากนี้ ผลต่างของเกาส์เซียนยังช่วยในการกำจัดแสงสะท้อนออกไปจากม่านตาดังแสดงในรูปที่ 3.14 และ 3.15



(ก) ภาพม่านตาสังเคราะห์และการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียน โดยแสงสะท้อนมีค่าความทึบแสง 0% (Opacity 0%)



(ข) ภาพม่านตาสังเคราะห์และการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียน โดยแสงสะท้อนมีค่าความทึบแสง 5% (Opacity 5%)



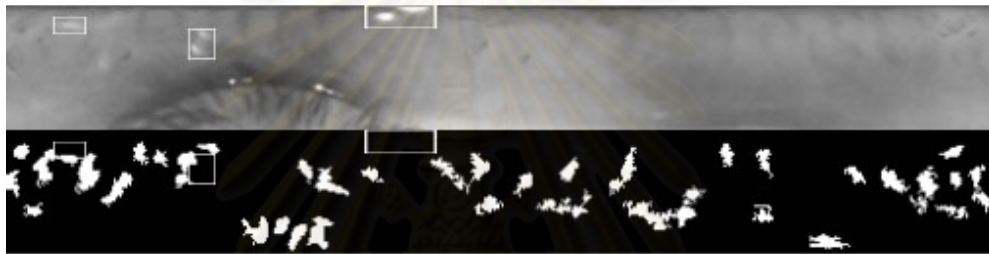
(ค) ภาพม่านตาสังเคราะห์และการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียน โดยแสงสะท้อนมีค่าความทึบแสง 5% (Opacity 15%)

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการปรับปรุงด้วยผลต่างของเกาส์เซียนกับภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อน โดยการสังเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

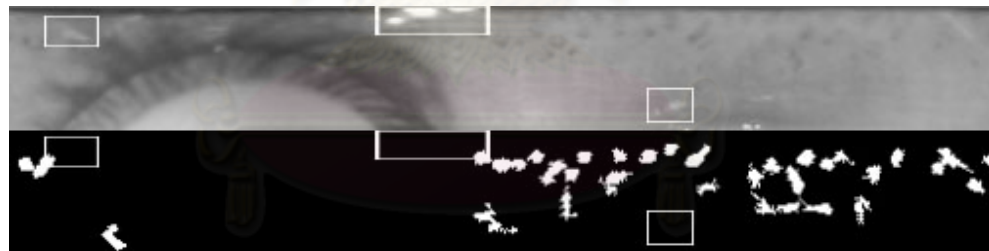


(ง) ภาพม่านตาสังเคราะห์และการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียน
โดยแสงสะท้อนมีค่าความทึบแสง 25% (Opacity 25%)

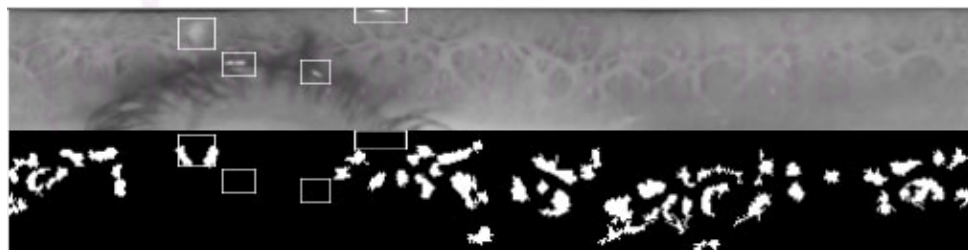
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการปรับปรุงด้วยผลต่างของเกาส์เซียนกับภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อน
โดยการสังเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (ต่อ)



(ก) การกำจัดแสงสะท้อนจากภาพแวดล้อมด้วยผลต่างของเกาส์เซียน
กับภาพม่านตาตัวอย่างที่ 1



(ข) การกำจัดแสงสะท้อนจากภาพแวดล้อมด้วยผลต่างของเกาส์เซียน
กับภาพม่านตาตัวอย่างที่ 2

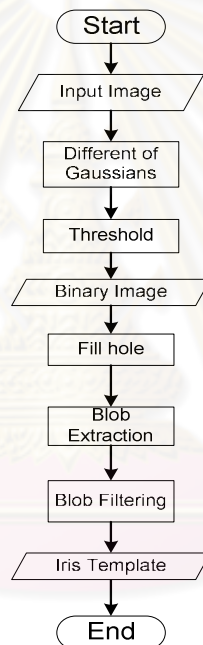


(ค) การกำจัดแสงสะท้อนจากภาพแวดล้อมด้วยผลต่างของเกาส์เซียน
กับภาพม่านตาตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 3.15 การปรับปรุงด้วยผลต่างของเกาส์เซียนกับตัวอย่างภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนจาก
สภาพแวดล้อมจำนวน 3 ภาพ

จากรูปที่ 3.14 และ 3.15 จะพบว่าภาพม่านตาที่ได้ทำการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียน บริเวณแสงสะท้อนที่ซ้อนทับอยู่บนแบบรูปม่านตา รูปร่างของแบบรูปม่านตาไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ส่วนในกรณีที่แสงสะท้อนซ้อนทับบางส่วนของแบบรูปม่านตาจะทำให้แบบรูปม่านตามีรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปหากแสงสะท้อนมีค่าความทึบแสงมาก

เมื่อทำการกำจัดแสงสะท้อนของภาพม่านตาในระบบพิกัดเชิงขั้วด้วยผลต่างของเกาส์เซียนแล้ว จะทำการแปลงภาพม่านตาที่ได้ให้เป็นภาพไบนารี จากนั้นทำการตรวจหาบล็ออบ จากการกรองด้วยพื้นที่ของบล็ออบ บล็ออบที่มีขนาดใหญ่ (เช่น ขนตา เปลือกตา) และบล็ออบที่มีขนาดเล็ก (เช่น สัญญาณรบกวน) จะถูกกำจัดออกไป ขั้นตอนในการปรับปรุงภาพม่านตาสรุปได้ดังผังงานในรูปที่ 3.16 และตัวอย่างขั้นตอนการสกัดลักษณะม่านตาแสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 ผังงานการสกัดลักษณะม่านตา

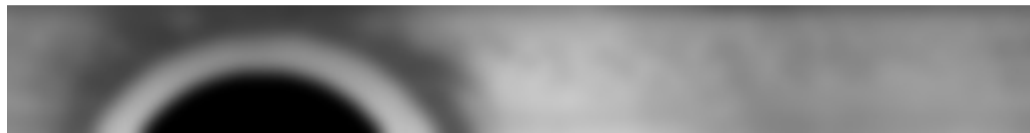


(ก) ภาพอินพุทของผู้ใช้งาน



(ข) ภาพผลลัพธ์จากการทำ Gaussian Blur ของภาพ (ก) ที่ความแปรปรวนเป็น 4.0

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการสกัดลักษณะม่านตา



(ค) ภาพผลลัพธ์จากการทำ Gaussian Blur ของภาพ (ก) ที่ความแปรปรวนเป็น 8.0



(ง) ภาพผลลัพธ์จากการนำภาพ (ค) ลบด้วยภาพ (ข)



(จ) ภาพผลลัพธ์จากการแปลงภาพ (ง) ให้เป็นภาพไบนารี



(ด) ภาพผลลัพธ์จากการกรองภาพ (จ) ด้วยขนาดของบล็ออบ



(ช) ภาพผลลัพธ์จากการสกัดลักษณะม่านตา

รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการสกัดลักษณะม่านตา (ต่อ)

เมื่อได้บล็ออบที่ทำการคัดขนาดแล้ว จะทำการจับคู่บล็ออบของผู้ใช้และบล็ออบจากแผ่นแบบในฐานข้อมูลเพื่อตรวจหาว่าผู้ใช้ได้ทำการลงทะเบียนไว้ในฐานข้อมูลหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบคู่บล็ออบของม่านตาทั้ง 2 จากเซนทรอยด์ ทิศของแกนหลัก และผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error) ของ Hu โมเมนต์ทั้ง 6 ค่าของบล็ออบเพื่อตรวจสอบว่าคู่บล็ออบทั้ง 2 มีตำแหน่ง ทิศและมีรูปร่างเหมือนกัน บล็ออบที่ตรงกันคือบล็ออบที่มีค่า Euclidean Distance ของเซนทรอยด์ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ หากค่า Euclidean Distance น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ คู่บล็ออบดังกล่าวจะถูกนำไปเปรียบเทียบทิศของแกนหลัก โดยใช้ทิศของแกนหลักของบล็ออบแผ่นแบบในฐานข้อมูลในการอ้างอิง จากนั้นคู่บล็ออบที่มีตำแหน่งและทิศทางเดียวกันจะถูกเปรียบเทียบด้วยผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ทั้ง 6 ค่าเพื่อตรวจสอบว่าบล็ออบทั้งสองมีรูปร่างใกล้เคียงกันหรือไม่ หากบล็ออบทั้งสองมีผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ทั้ง 6 ค่าใกล้เคียงกัน บล็ออบดังกล่าวจะถูกนับจำนวนเพื่อไปคำนวณคะแนนความเหมือนของม่านตาในขั้นตอนของการเปรียบเทียบคู่ต่อไป

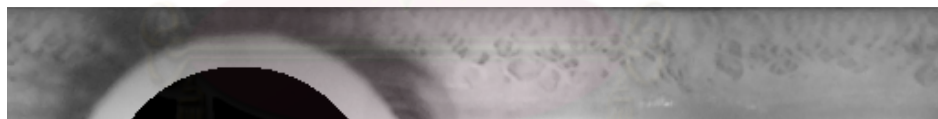
3.4.2 การเปรียบเทียบ

การเปรียบเทียบ เป็นการนำแผ่นแบบมาเปรียบเทียบ เพื่อดูว่าแผ่นแบบที่นำมาเปรียบเทียบกันนั้นมีความคล้ายคลึงกันมากน้อยเพียงใด การเปรียบเทียบจะทำการคำนวณคะแนนของการเปรียบเทียบซึ่งมีพื้นฐานมาจากความน่าจะเป็น โดยในงานวิจัยนี้คำนวณคะแนนการเปรียบเทียบดังสมการที่ 3.3

$$Score = \frac{m \times m}{t_1 \times t_2} \times 100(\%) \quad (3.3)$$

- โดยที่ m เป็นจำนวนบล็อบที่เหมือนกันจากการเปรียบเทียบ
 t_1 เป็นจำนวนบล็อบทั้งหมดจากการสกัดลายม่านตาผู้ใช้
 t_2 เป็นจำนวนบล็อบทั้งหมดจากการสกัดลายม่านตาที่นำมาเปรียบเทียบ

จากสมการที่ 3.3 เป็นการคำนวณหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่บล็อบเหมือนกันในการเปรียบเทียบม่านตา คะแนนการเปรียบเทียบจากสมการที่ อยู่ในช่วง $[0,100]$ ตามความคล้ายกันของม่านตาที่นำมาเปรียบเทียบ กล่าวคือคะแนนเป็น 0 เมื่อม่านตาจากการเปรียบเทียบไม่เหมือนกัน และคะแนนเป็น 100 เมื่อม่านตาทั้งสองเหมือนกัน โดยตัวอย่างผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมในการเปรียบเทียบของม่านตาที่เหมือนกัน และต่างกันแสดงดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19 ตามลำดับ



(ก) ภาพอินพุตของผู้ใช้งาน



(ข) ภาพอินพุต



(ค) ภาพผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบ (ก) กับ (ข)

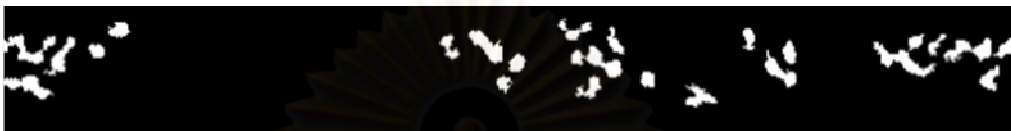
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาเดียวกัน



(ก) ภาพอินพุทของผู้ใช้งาน



(ข) ภาพอินพุท



(ค) ภาพผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบ (ก) กับ (ข)

รูปที่ 3.19 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 3.18 และ 3.19 จะพบว่าแบบรูปม่านตาที่มีรูปร่างคล้ายกันจะถูกจับคู่กัน โดยแบบรูปม่านตาที่ถูกจับคู่จะอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม ส่วนเส้นเชื่อมระหว่างสี่เหลี่ยมบ่งบอกถึงแบบรูปม่านตาที่มีลักษณะเหมือนกันจากการเปรียบเทียบ

ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาเดียวกัน โดยเปรียบเทียบม่านตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมกับม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม ภาพม่านตาทั้ง 2 แบบจะถูกเลือก ส่วนภาพโดยอ้างอิงส่วนภาพจากภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนปรากฏอยู่ ส่วนภาพที่ถูกเลือกจะเป็นบริเวณเดียวกันของภาพทั้ง 2 แบบ ผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบภาพม่านตาแสดงดังรูปที่ 3.20



(ก) ส่วนภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อน



(ข) ส่วนภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อน

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาที่มีแสงสะท้อนกับภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อน



(ค) ผลการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียนของ (ก)



(ง) ผลการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างของเกาส์เซียนของ (ข)



(จ) ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบ (ค) กับ (ง)

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของม่านตาที่มีแสงสะท้อนกับภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อน (ต่อ)

จากรูปที่ 3.20 บริเวณแสงสะท้อนจะอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดง ม่านตาที่ถูกจับคู่จะอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมสีเขียว ส่วนเส้นสีแดงบ่งบอกถึงม่านตาที่มีลักษณะเหมือนกันจากภาพทั้ง 2 ที่นำมาเปรียบเทียบกัน และ ตัวเลขแสดงถึงผลต่างของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ ทั้ง 6 ค่าระหว่างบิลด์ที่มีลักษณะเหมือนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ นำเสนอการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ การระบุตำแหน่งม่านตา การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดในสภาวะที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายในม่านตา และการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาในสภาวะที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายในม่านตา โดยในแต่ละส่วนได้ทำการอธิบายถึงวิธีการทดลอง ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลองตามลำดับ

โปรแกรมต้นแบบที่ใช้ในการทดลองพัฒนาขึ้นด้วย Microsoft® Visual Studio® C++ 2008 และ Intel® OpenCV 2.0 โดยประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ Intel® Core™ 2 P7450 ความเร็ว 2.13 GHz หน่วยความจำขนาด 3 GB

4.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ใช้ภาพจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และภาพจากฐานข้อมูลที่เก็บมาโดยเว็บแคมแบบอินฟราเรด (ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS) โดยภาพจากฐานข้อมูลดังกล่าว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 ฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0

ฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 มีภาพทั้งหมด 2655 ภาพ จาก 249 คน ที่มีความละเอียด 320 x 280 พิกเซล เมื่อทำการแบ่งตามสภาพแสงที่ใช้ในการจัดเก็บภาพดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2 จะสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทดังนี้

1. ฐานข้อมูลภาพตาจากสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพตาที่มีแสงสะท้อน (CASIA 3.0 R) ประกอบด้วย 107 ภาพ จาก 42 คน
2. ฐานข้อมูลภาพตาจากสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อน (CASIA 3.0 NR) ประกอบด้วย 2548 ภาพ จาก 249 คน

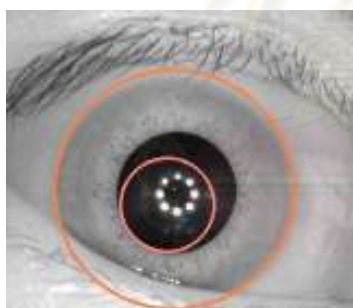
4.1.2 ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS

ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เป็นภาพที่เก็บจากเว็บแคมแบบอินฟราเรดที่มีความละเอียด 320 x 240 พิกเซล แบ่งการเก็บภาพออกเป็น 2 ประเภทตามสภาพแวดล้อมของแสงที่ใช้ในการจัดเก็บภาพดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2 ดังนี้

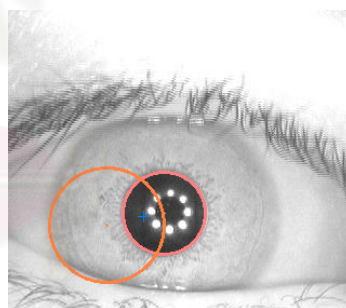
1. ฐานข้อมูลภาพตาจากสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพตาที่มีแสงสะท้อน (CU-CGCI IRIS-R) ประกอบด้วย 4,819 ภาพ จาก 74 คน
2. ฐานข้อมูลภาพตาจากสภาพแวดล้อมในการเก็บภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อน (CU-CGCI IRIS-NR) ประกอบด้วย 4,708 ภาพ จาก 74 คน

4.2 การทดลองและผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตา

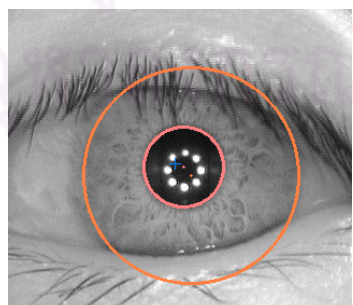
หัวข้อนี้ เป็นการวัดความถูกต้องและเวลาในการประมวลผลในการระบุตำแหน่งม่านตาของวิธีการระบุตำแหน่งม่านตาที่นำเสนอกับภาพตาจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ ฐานข้อมูลภาพตาที่เก็บมา (CU-CGCI IRIS) ภาพตาที่ระบุตำแหน่งได้อย่างถูกต้องจะต้องมีตัวแบบวงที่พอดีกับรูม่านตาและม่านตาซึ่งตัวอย่างการคัดเลือกผลการระบุตำแหน่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



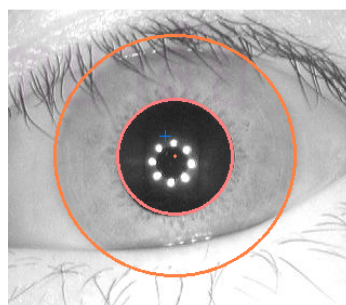
(ก) ภาพตาที่ระบุตำแหน่งผิดเพราะระบุตำแหน่งรูม่านตาผิด



(ข) ภาพตาที่ระบุตำแหน่งผิดเพราะระบุตำแหน่งม่านตาผิด



(ค) ภาพตาที่ระบุตำแหน่งผิดเพราะตัวแบบวงกลมของม่านตาไม่ได้ซ้อนทับกับขอบม่านตาพอดี



(ง) ภาพตาที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้อง

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการคัดเลือกผลการระบุตำแหน่ง

โดยวิธีการทดลอง ผลการทดลองการระบุตำแหน่งม่านตา และวิเคราะห์ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 วิธีการทดลอง

1. เลือกภาพตาที่มีลายม่านตาปรากฏอยู่ในภาพ
2. ระบุตำแหน่งภาพม่านตาที่ได้โดยใช้วิธีการที่นำเสนอ
3. ทำการวาดวงกลมจากตัวแบบลายม่านตาที่ได้จากข้อ 2 ลงในภาพตาของฐานข้อมูล
4. นับจำนวนภาพที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบจากข้อมูลในภาพ

4.2.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองการวัดความถูกต้องแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ส่วนผลการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตากับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0

วิธี	ความถูกต้อง (%)	เวลาเฉลี่ย (ms)	จำนวนภาพที่ทดลอง
วิธีที่นำเสนอ	89.86	77.75	2,655
พีพัฒน์ [27]	95.40	5,534.90	2,655

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตาด้วยวิธีที่นำเสนอกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS

ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)	เวลาเฉลี่ย (ms)	จำนวนภาพที่ทดลอง
CASIA เวอร์ชัน 3.0	89.86	77.75	2,655
CU-CGCI IRIS	83.04	75.93	9,527

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตาด้วยวิธีที่นำเสนอกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR และ CU-CGCI IRIS-R

ฐานข้อมูล	ความถูกต้อง (%)	เวลาเฉลี่ย (ms)	จำนวนภาพที่ทดลอง
CU-CGCI IRIS-NR	87.82	79.62	4,708
CU-CGCI IRIS-R	78.37	68.78	4,819

ตารางที่ 4.4 ผลการระบุตำแหน่งม่านตาผิดจากการทดลองด้วยวิธีที่นำเสนอกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS

ฐานข้อมูล	จำนวนการระบุตำแหน่งผิด (ภาพ)			จำนวนภาพทั้งหมดที่ทดลอง
	รูม่านตา	ม่านตา	รูม่านตาและม่านตา	
CASIA เวอร์ชัน 3.0	43	146	74	2,655
CU-CGCI IRIS	87	1,241	307	9,527

4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีของพิพัฒน์ [27] ซึ่งใช้วิธี Integro-differential Equation ในการระบุตำแหน่งม่านตา พบว่าค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งม่านตาแตกต่างกันประมาณ 5.54% ในขณะที่วิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้เวลาน้อยกว่าถึง 71.19 เท่า ในการทดสอบบนเครื่องเดียวกัน และเป็นวิธีที่เขียนด้วยภาษาโปรแกรม (Programming Language) เดียวกัน

- จากตารางที่ 4.2 พบว่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งลายม่านตาโดยวิธีที่นำเสนอ เมื่อทดลองกับภาพตาในฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3 และ CU-CGCI IRIS พบว่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของม่านตาเป็น 88.98% และ 83.04% สำหรับเวลาในการระบุตำแหน่งม่านตาของภาพตาจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 ซึ่งแตกต่างจาก ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS มากเนื่องจากภาพตาจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 มีความละเอียดของภาพมากกว่าภาพตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS

- จากตารางที่ 4.3 พบว่า ในการระบุตำแหน่งม่านตาของภาพตาในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนให้ผลความถูกต้องน้อยกว่าการระบุตำแหน่งม่านตาของภาพตาในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีแสงสะท้อน เนื่องจากการเก็บภาพในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนจะมีปริมาณแสงที่เข้าสู่ดวงตามากกว่า ทำให้ภาพตาที่เก็บได้ มีพื้นที่เปลือกตาในภาพมากกว่าภาพตาที่เก็บจากสภาพแวดล้อมที่ไม่มีแสงสะท้อน ดังนั้นผลการระบุตำแหน่งมีความผิดพลาดได้ โดยความผิดพลาดเหล่านี้เกิดจากการหาจุดขอบของม่านตาไปตามมุมต่างๆ โดยไม่ขึ้นอยู่กับการปิดทับของเปลือกตา จุดขอบที่ได้เหล่านี้จึงอาจอยู่บนขอบของเปลือกตา ทำให้การประมาณตัวแบบวงกลมด้วย Linear Least Square Circle มีความผิดพลาด

- จากตารางที่ 4.4 พบว่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งส่วนมากเกิดจากการระบุตำแหน่งม่านตาผิดคิดเป็นสัดส่วน 90.91% และ 55.51% จากการทดลองกับฐานข้อมูล

CU-CGCI IRIS และฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 ตามลำดับ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการกำหนดมุมในการค้นหาจุดขอบในช่วงมุมที่คงที่ ทำให้จุดขอบที่ได้เหล่านี้จึงอาจอยู่บนขอบของเปลือกตาทำให้การประมาณตัวแบบวงกลมด้วย Linear Least Square Circle มีความผิดพลาด

4.3 การทดลอง และผลการทดลองการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

หัวข้อนี้เป็นการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละฐานข้อมูลในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา เพื่อให้วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกการทดลอง จะใช้การสุ่มผู้ลงทะเบียน ผู้ใช้ และผู้บุกรุก จากภาพตาที่ระบุตำแหน่งถูกต้องมาใช้ในการทดลอง และทุกการทดลองในการกำหนดค่าพารามิเตอร์จะใช้ภาพตาที่ได้สุ่มมาชุดเดียวกัน โดยการสุ่มผู้ลงทะเบียนจำนวน 101 คน มี 303 ภาพ ผู้ใช้ 101 คน มี 404 ภาพและผู้บุกรุก 23 คน มี 92 ภาพ ใน 2 ฐานข้อมูลคือ CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS

การทดลองการเลือกค่าพารามิเตอร์แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ การทดลองเลือกพารามิเตอร์ผลต่างเกาส์เซียน และการทดลองเลือกค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลัก โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การทดลองเลือกค่าพารามิเตอร์ผลต่างของเกาส์เซียน

ในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนการปรับปรุงภาพม่านตาจะใช้ผลต่างของเกาส์เซียนซึ่งพารามิเตอร์ของผลต่างเกาส์เซียนได้แก่ ขนาดหน้าต่าง ค่าความแปรปรวน และจำนวนครั้งของการปรับเรียบด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน เนื่องจากผลต่างของเกาส์เซียนมีค่าพารามิเตอร์มาก ดังนั้นจึงทำการทดลองเปลี่ยนเฉพาะขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนโดยการกำหนดความแปรปรวนเป็น 2.0 และจำนวนครั้งของการปรับเรียบด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนเป็น 2

การทดลองการเลือกค่าพารามิเตอร์ผลต่างของเกาส์เซียนมีขั้นตอนดังนี้

4.3.1.1 วิธีการทดลอง

1. นำภาพตาผู้ลงทะเบียนที่สุ่มมาแล้วมาทำการลงทะเบียนภาพ
2. นำภาพตาผู้ใช้ที่สุ่มมาแล้วมาทำการทดสอบการระบุบุคคล
3. นำภาพตาผู้บุกรุกที่สุ่มมาแล้วมาทำการทดสอบการระบุบุคคล
4. กำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างเกาส์เซียน
5. ทำการระบุบุคคลด้วยวิธีที่นำเสนอ
6. หาค่า EER ของการทดลองในแต่ละครั้ง

7. ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4-6 โดยในแต่ละครั้ง จะทำการกำหนดขนาดหน้าต่างของผลต่างเกาส์เซียนใหม่

4.3.1.2 ผลการทดลอง

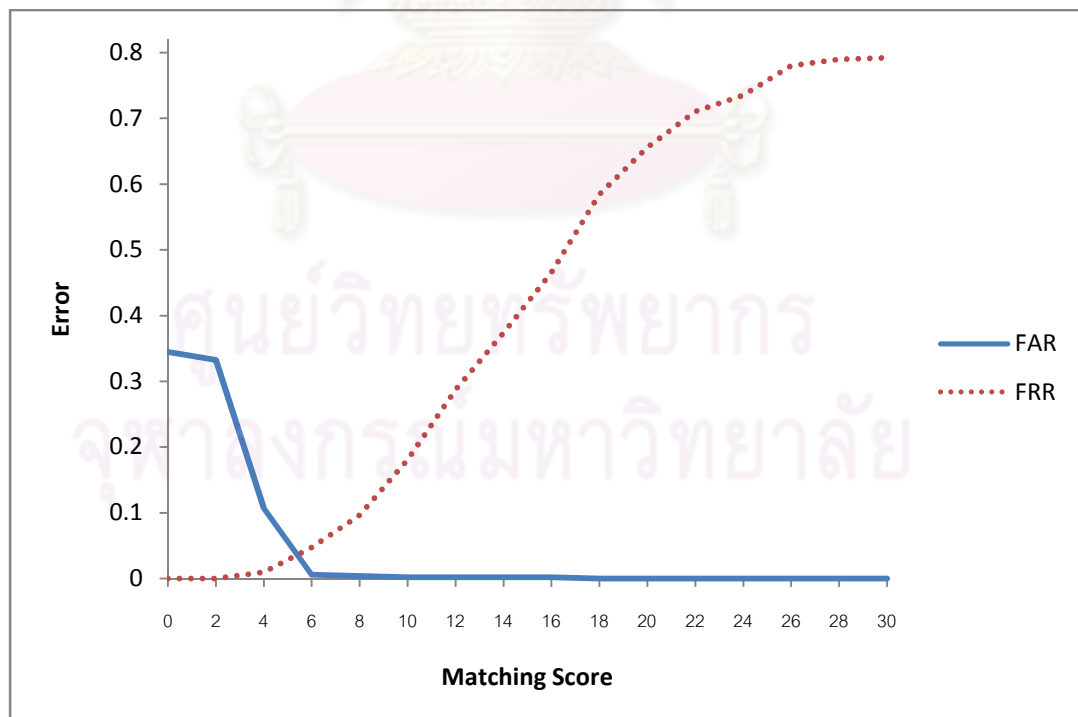
ผลทดลองการเลือกค่าพารามิเตอร์ผลต่างของเกาส์เซียนแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า EER จากการเลือกพารามิเตอร์ผลต่างของเกาส์เซียน

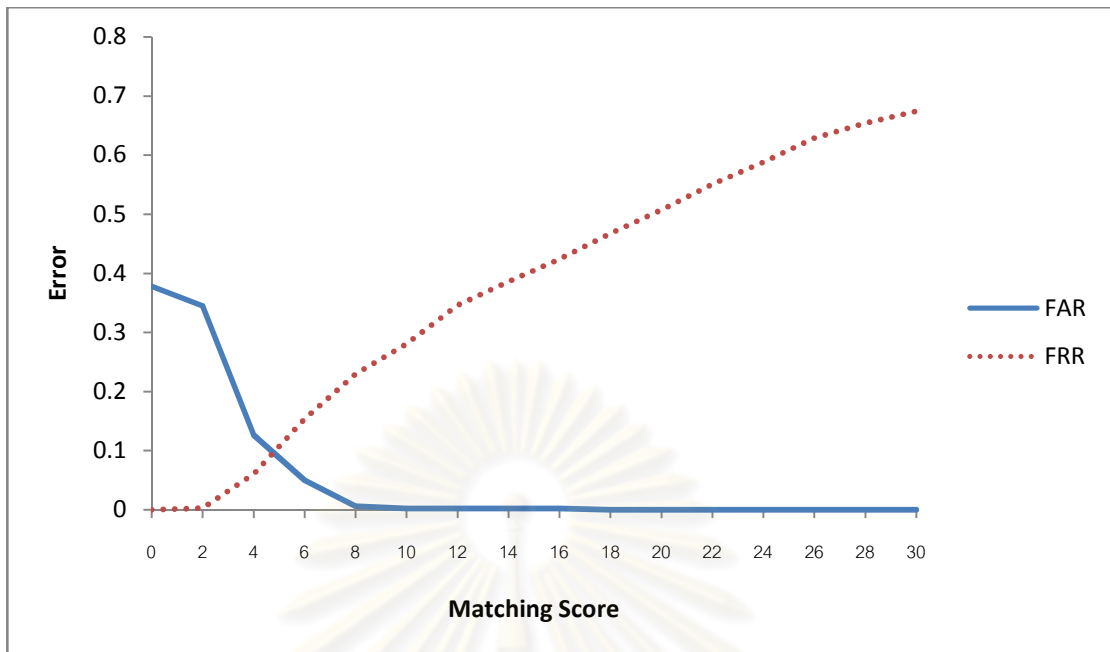
ขนาดหน้าต่าง	ฐานข้อมูล	CASIA เวอร์ชัน 3.0	CU-CGCI IRIS
		EER	EER
5x5		0.0360	0.0966
7x7		0.0227	0.0786
9x9		0.0412	0.0702

4.3.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

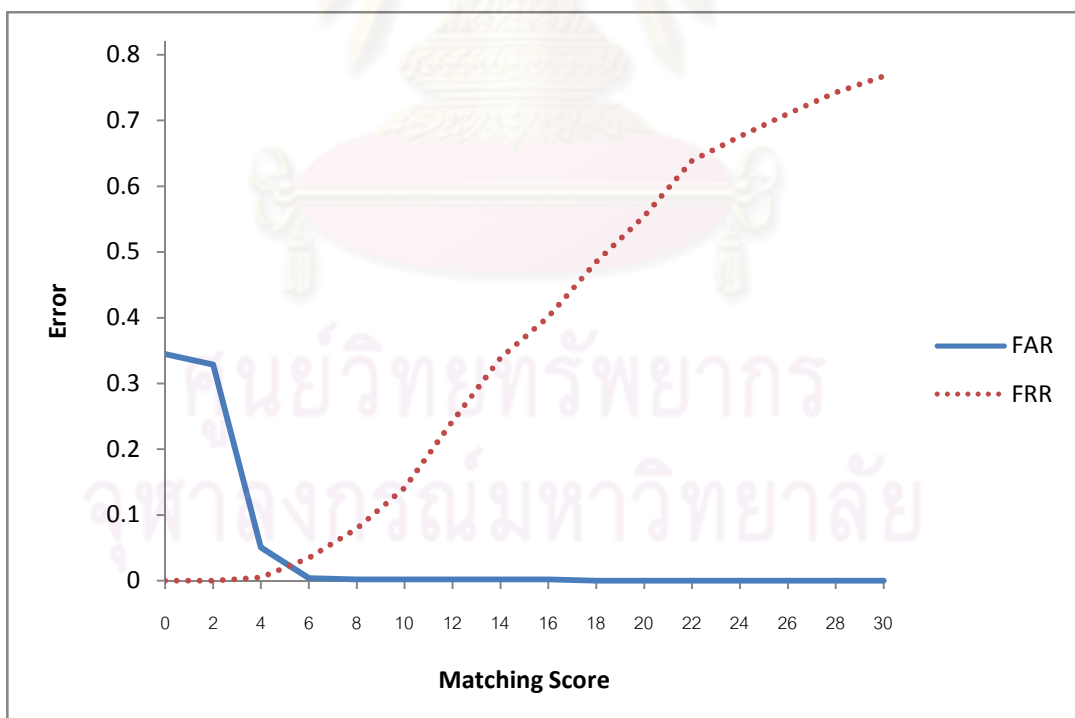
จากการทดลองพบว่าค่าหน้าต่างขนาด 7x7 ให้ค่า EER ต่ำที่สุดคือ 0.0226 สำหรับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และในการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS พบว่า ค่าหน้าต่างขนาด 9x9 ให้ค่า EER ต่ำที่สุดคือ 0.0702



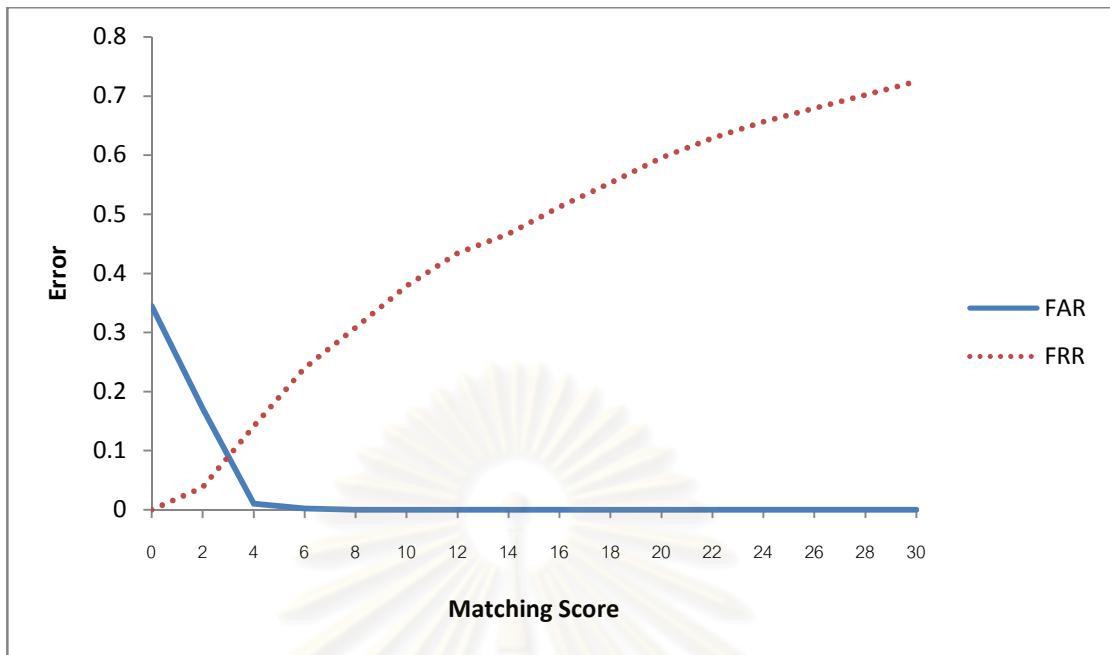
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนเป็น 5x5 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0360



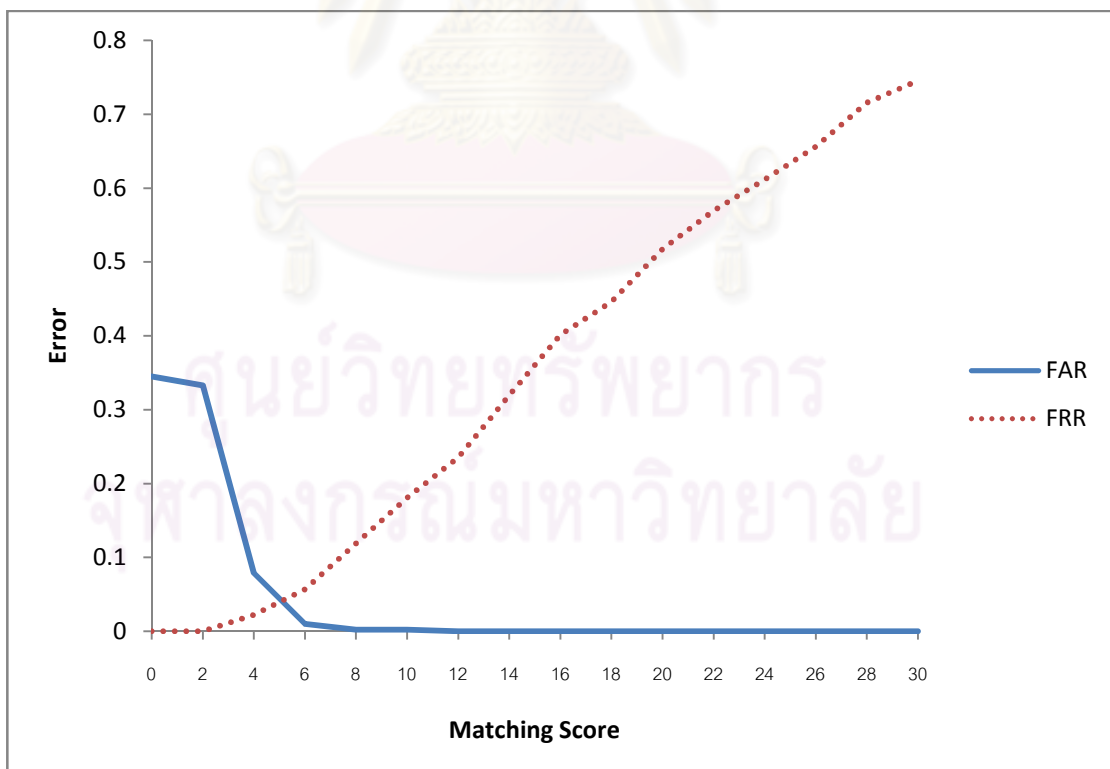
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนเป็น 5x5 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0966



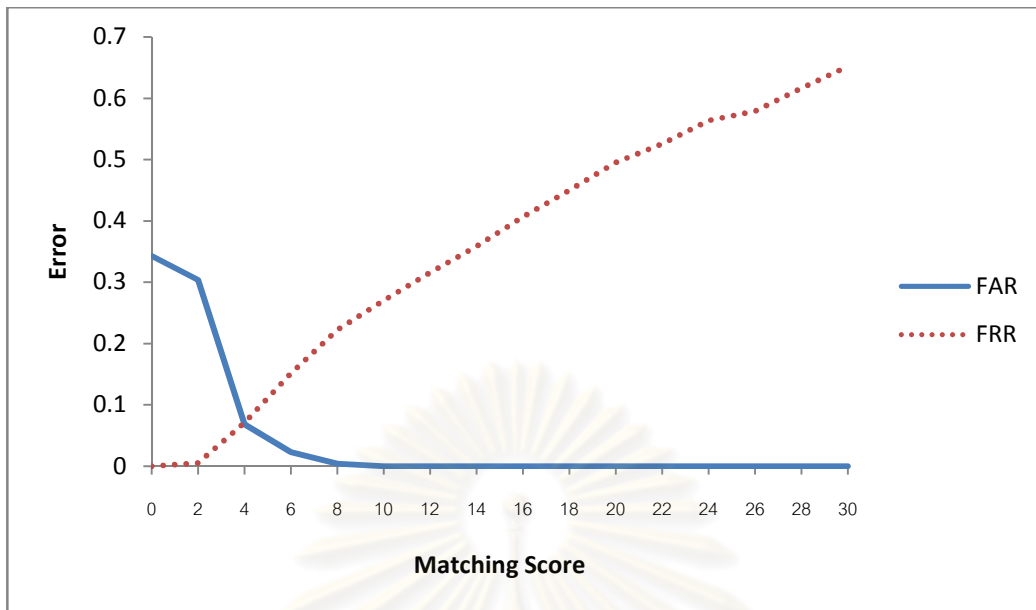
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกำหนดกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนเป็น 7x7 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0226



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนเป็น 7x7 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0786



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกำหนดกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนเป็น 9x9 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0412



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขนาดหน้าต่างของผลต่างของเกาส์เซียนเป็น 9x9 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0702

4.3.2 การทดลองเลือกค่าขีดแบ่งของผลต่างของทิศของแกนหลัก

การเปรียบเทียบผลต่างของทิศของแกนหลักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเปรียบเทียบ บัลลอบที่เหมือนกันต้องมีทิศทางที่เหมือนกันด้วย ในงานวิจัยนี้จึงดูจากผลต่างทิศของแกนหลักของบัลลอบ โดยเทียบกับทิศทางของแกนหลักของบัลลอบจากแผ่นแบบในฐานข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบด้วย การทดลองการเลือกค่าขีดแบ่งของผลต่างของทิศ มีขั้นตอนดังนี้

4.3.2.1 วิธีการทดลอง

1. นำภาพตาผู้ลงทะเบียนที่สุ่มมาแล้วมาทำการลงทะเบียนภาพ
2. นำภาพตาผู้ใช้ที่สุ่มมาแล้วมาทำการทดสอบการระบุบุคคล
3. นำภาพตาผู้บุกรุกที่สุ่มมาแล้วมาทำการทดสอบการระบุบุคคล
4. กำหนดค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลัก
5. ทำการระบุบุคคลด้วยวิธีที่นำเสนอ
6. หาค่า EER ของการทดลองในแต่ละครั้ง
7. ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4-6 โดยในแต่ละครั้ง จะทำการกำหนดค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลักใหม่

4.3.2.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดกำหนดค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลักแสดงใน

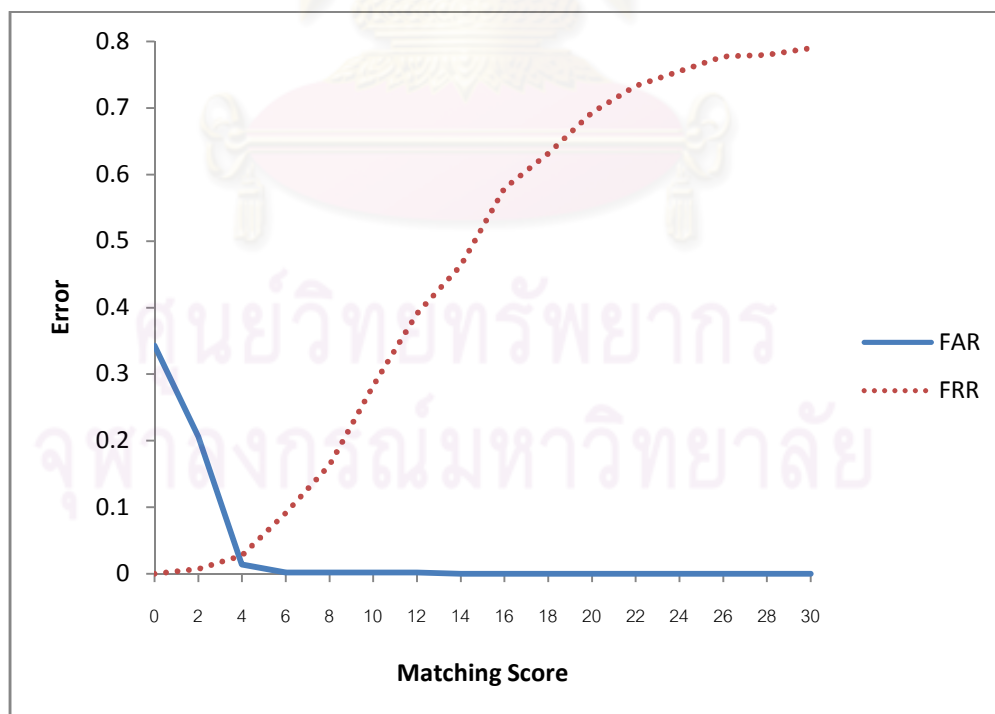
ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า EER จากการกำหนดค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลัก

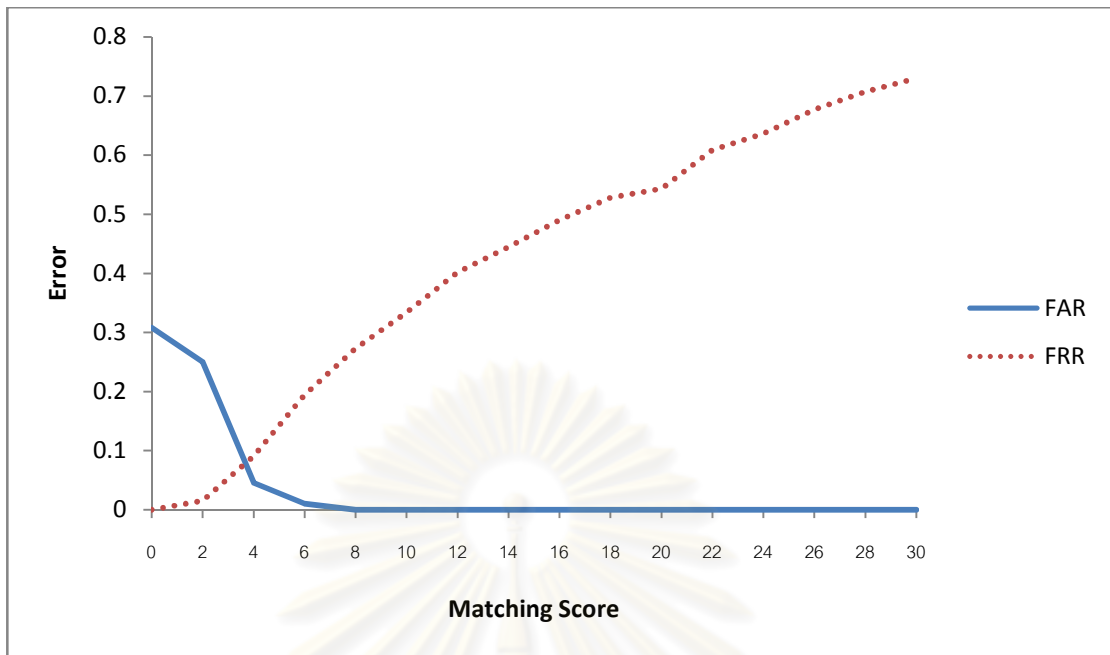
ฐานข้อมูล ค่าขีดแบ่งของผลต่าง ทิศของแกนหลัก (องศา)	CASIA เวอร์ชัน 3.0	CU-CGCI IRIS
	EER	EER
20	0.0259	0.0786
30	0.0227	0.0867
50	0.0235	0.0835
70	0.0298	0.0794

4.3.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

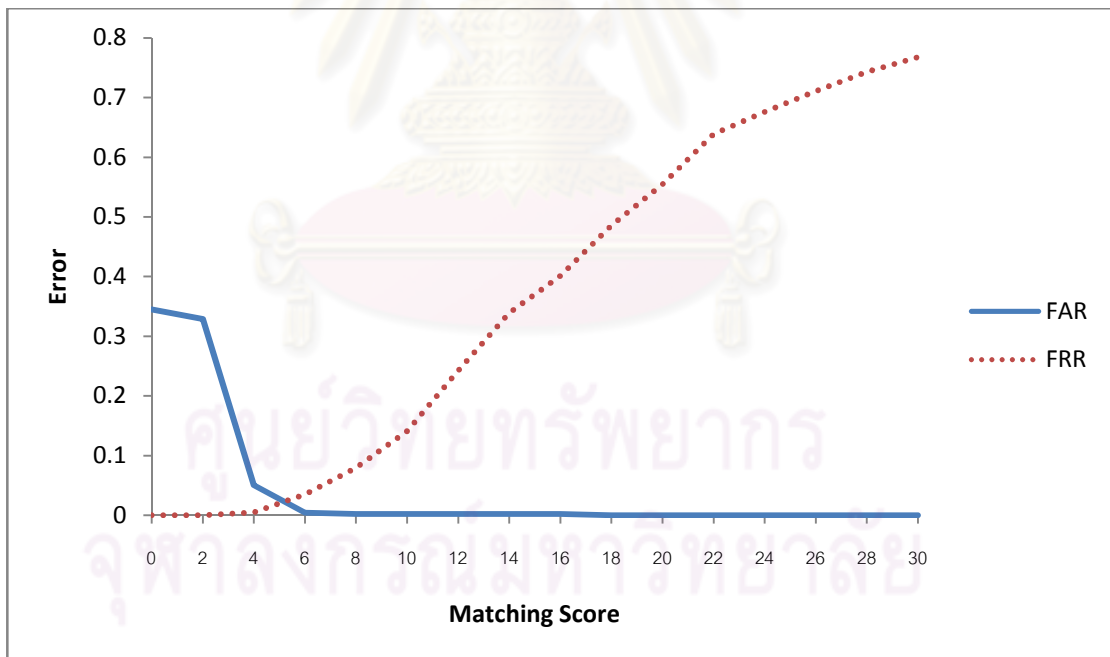
จากผลการทดลองพบว่า ในการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 ค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลักมีค่า 30 องศา จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดคือค่า EER เท่ากับ 0.0225 และในการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRISพบว่า ที่ค่าขีดแบ่งของผลต่างทิศของแกนหลักมีค่า 20 องศา จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดคือค่า EER เท่ากับ 0.0786



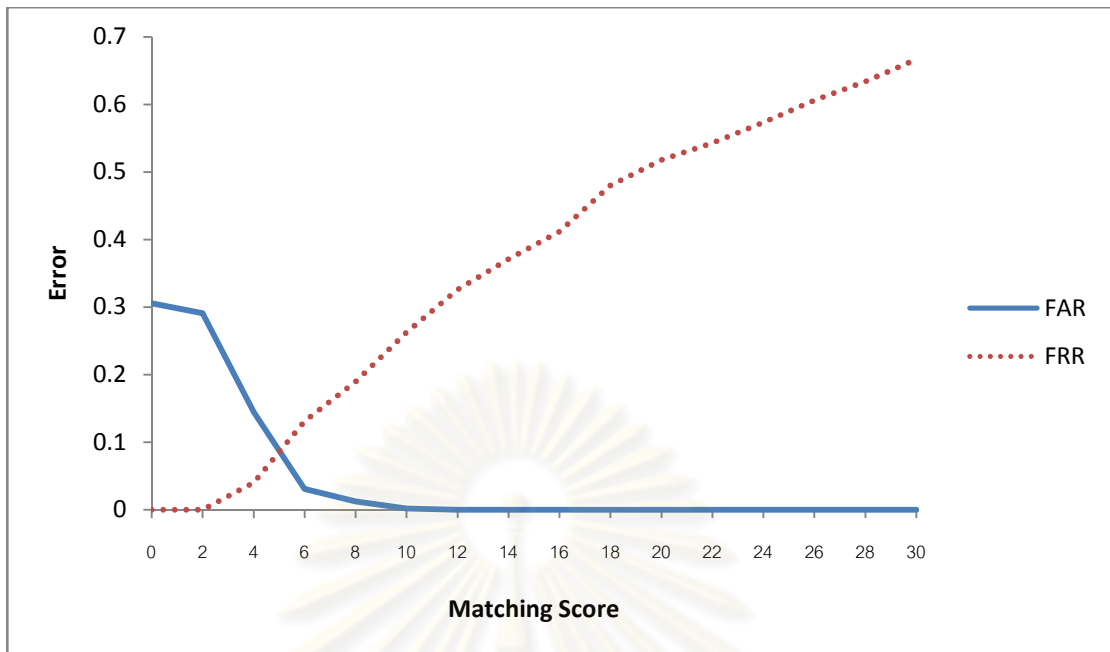
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0259



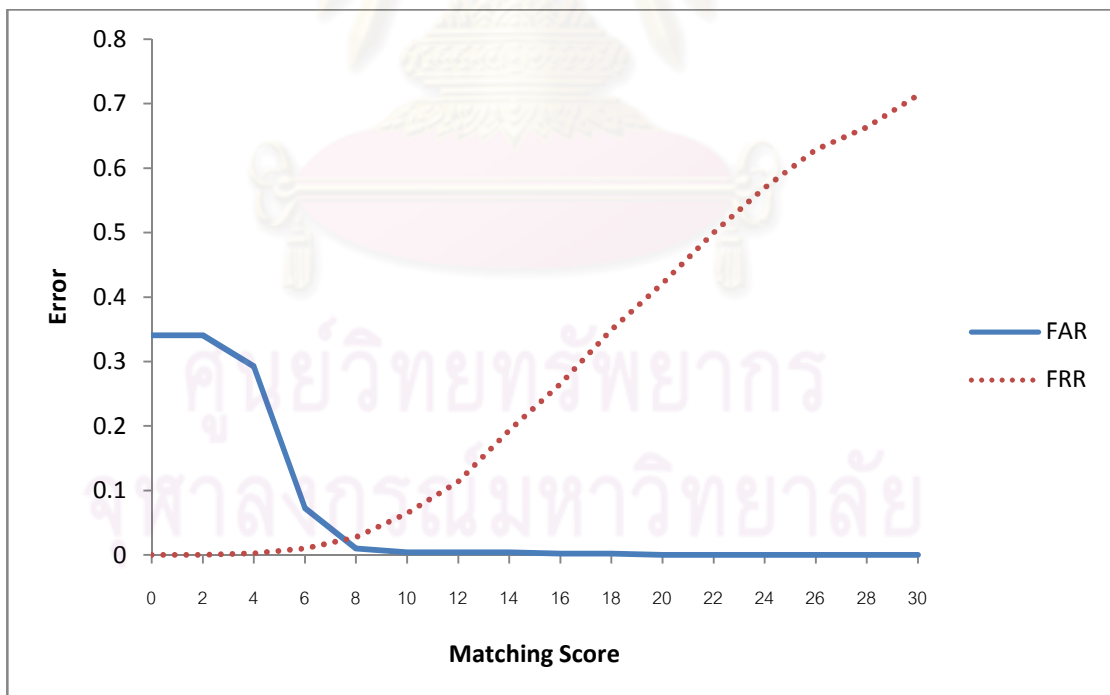
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0786



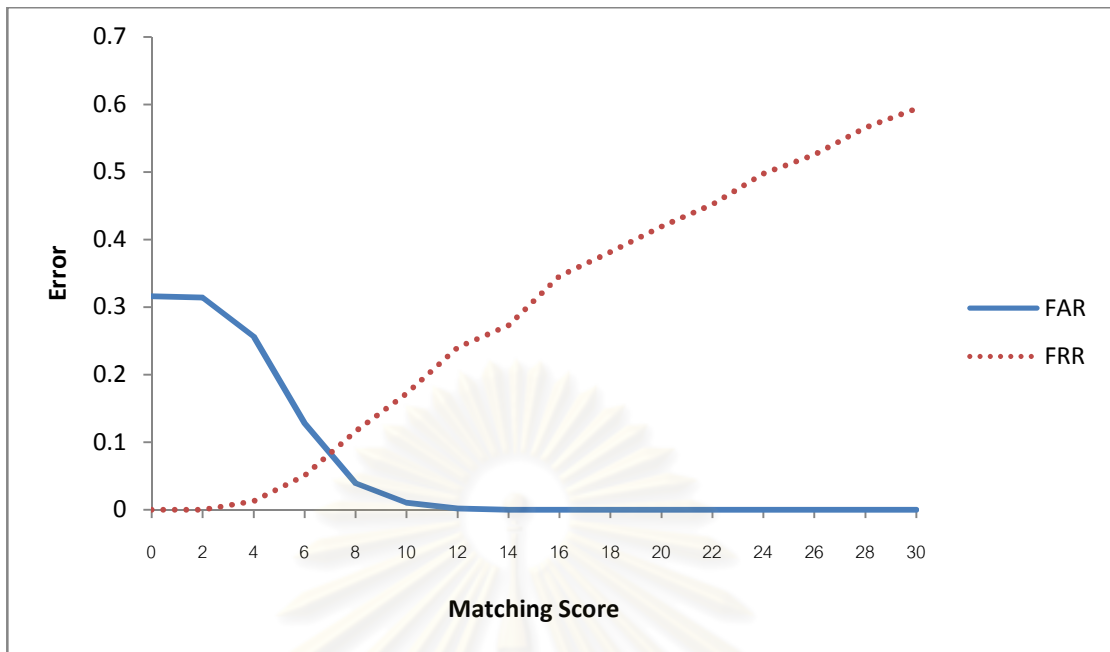
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักเป็น 30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0227



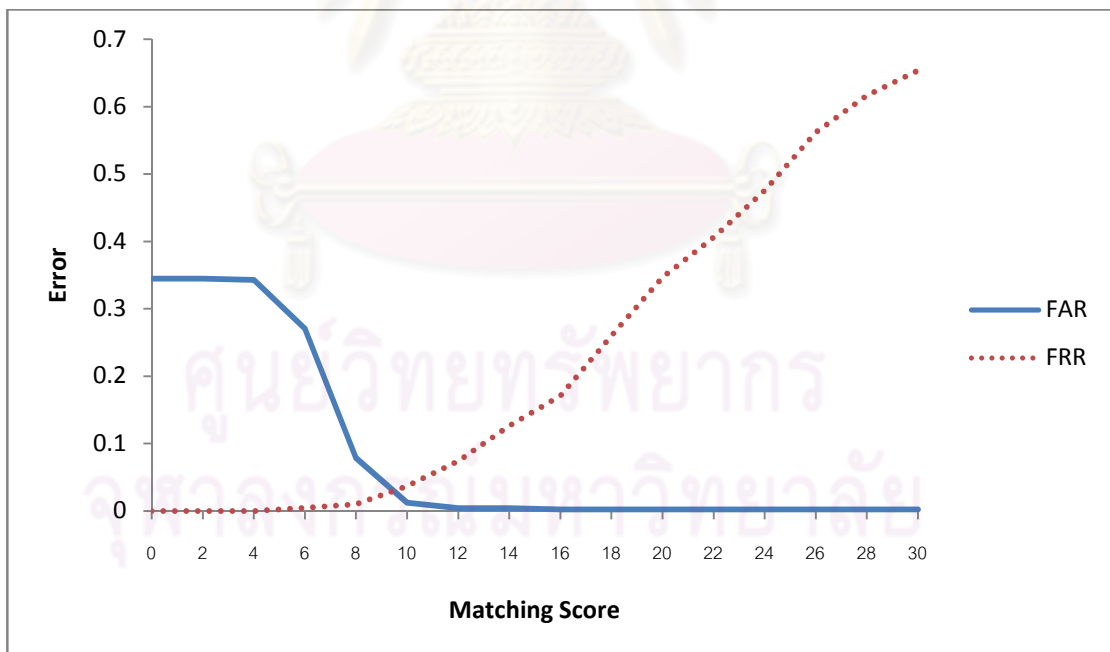
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทศของแกนหลักเป็น 30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0867



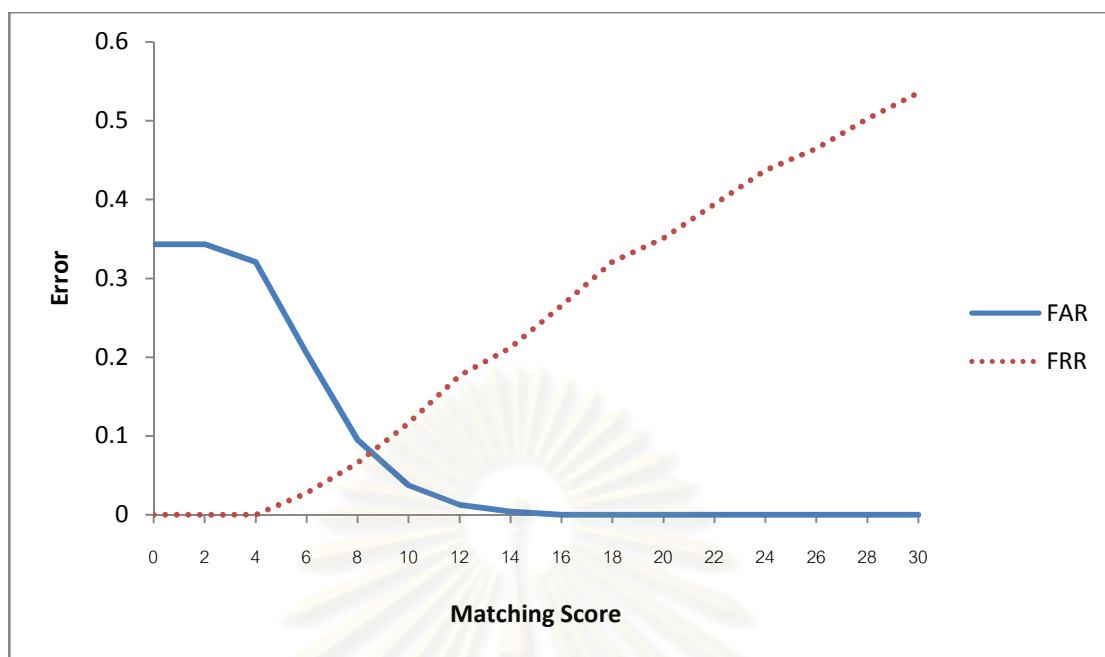
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทศของแกนหลักเป็น 50 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0235



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทศของแกนหลักเป็น 50 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0835



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทศของแกนหลักเป็น 70 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0298



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งทศของแกนหลักเป็น 70 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0794

4.3.3 การทดลองเลือกค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์

ขั้นตอนในการเปรียบเทียบค่าขีดแบ่ง นอกจากคู่บลิบที่ได้จากการตรวจหาต้องมีทิศทางเดียวกันแล้ว คู่บลิบจะต้องมีรูปร่างใกล้เคียงกันด้วย โดยงานวิจัยนี้ใช้ Hu โมเมนต์ในการตรวจสอบความเหมือนของรูปร่างของบลิบ เนื่องจาก Hu โมเมนต์ในแต่ละบลิบประกอบด้วย 6 ค่า ในการตรวจสอบความเหมือนของรูปร่างของบลิบจึงทำการหาผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ของคู่บลิบแล้วเทียบกับค่าขีดแบ่งที่ได้กำหนดไว้ หากผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ของคู่บลิบมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง จะกำหนดให้คู่บลิบทั้งสองมีรูปร่างเหมือนกัน โดยการทดลองการกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ มีขั้นตอนดังนี้

4.3.3.1 วิธีการทดลอง

1. นำภาพตาผู้ลงทะเบียนที่สุ่มมาแล้วมาทำการลงทะเบียนภาพ
2. นำภาพตาผู้ใช้ที่สุ่มมาแล้วมาทำการทดสอบการระบุบุคคล
3. นำภาพตาผู้บุกรุกที่สุ่มมาแล้วมาทำการทดสอบการระบุบุคคล

4. กำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์
5. ทำการระบุบุคคลด้วยวิธีที่น่าเสนอ
6. หาค่า EER ของการทดลองในแต่ละครั้ง
7. ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4-6 โดยในแต่ละครั้ง จะทำการกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์

4.3.3.2 ผลการทดลอง

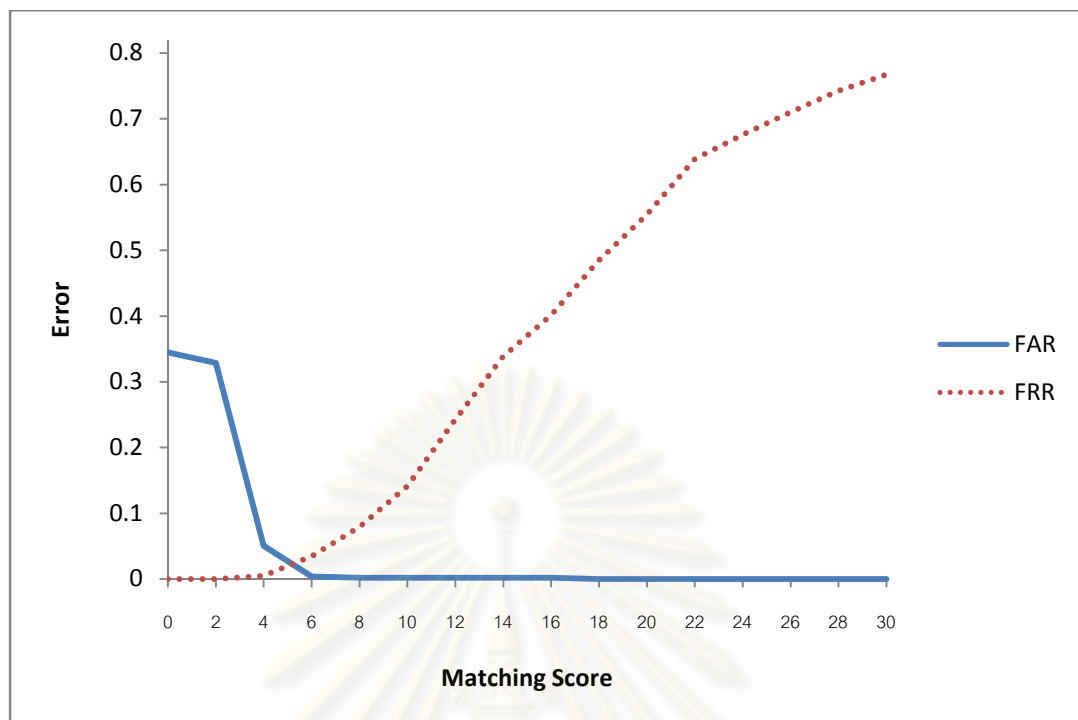
ผลการทดลองการเลือกค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดประสิทธิภาพด้วยค่า EER จากการเลือกค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์

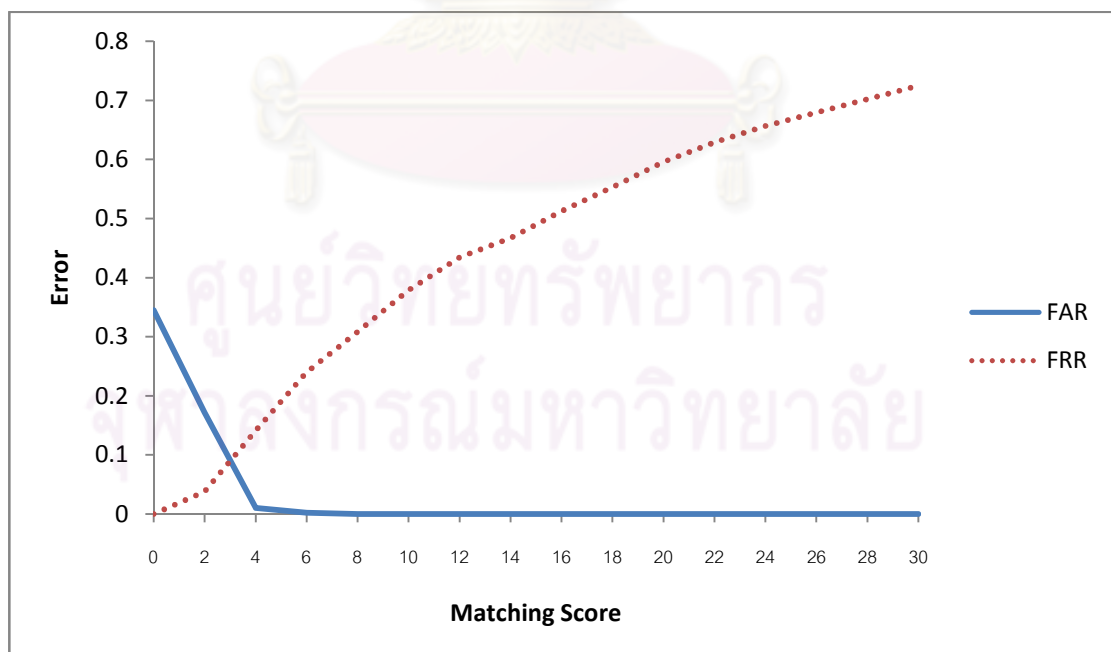
ค่าขีดแบ่งของ ผลรวมของค่าความผิดพลาด สัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์	ฐานข้อมูล	CASIA เวอร์ชัน 3.0	CU-CGCI IRIS
		EER	EER
0.10		0.0227	0.0901
0.20		0.0260	0.0702
0.30		0.0170	0.0829

4.3.3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

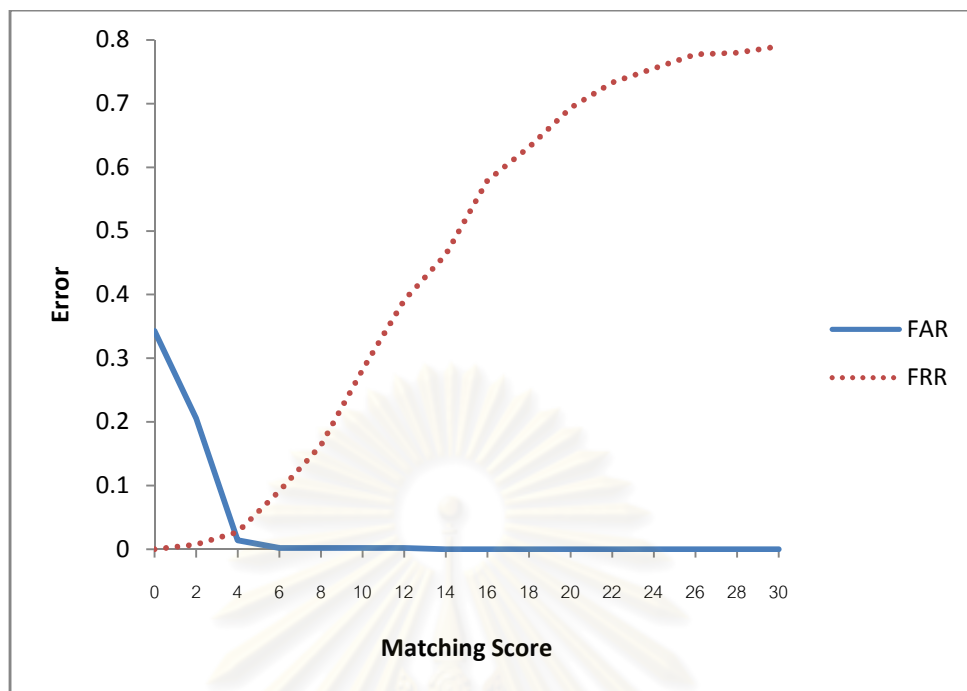
จากการทดลองพบว่าค่าขีดแบ่งผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์เป็น 0.30 ให้ค่า EER ต่ำที่สุดคือ 0.0170 สำหรับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 และในการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS พบว่า ค่าขีดแบ่งผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu ไมเมนต์เป็น 0.20 ให้ค่า EER ต่ำที่สุดคือ 0.0702



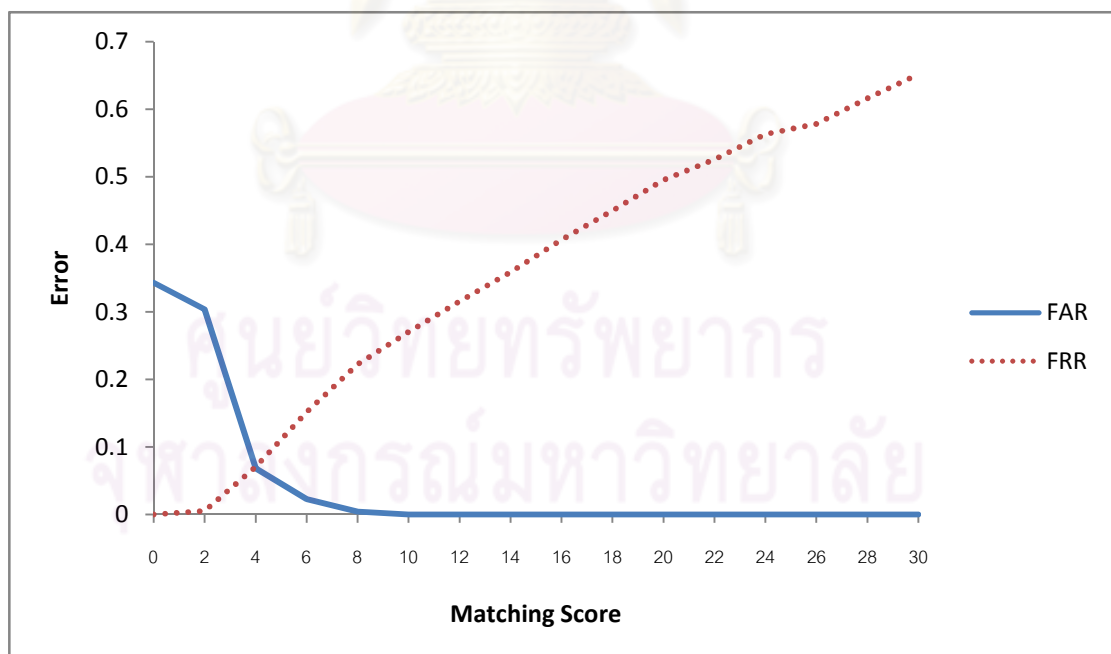
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.10 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0227



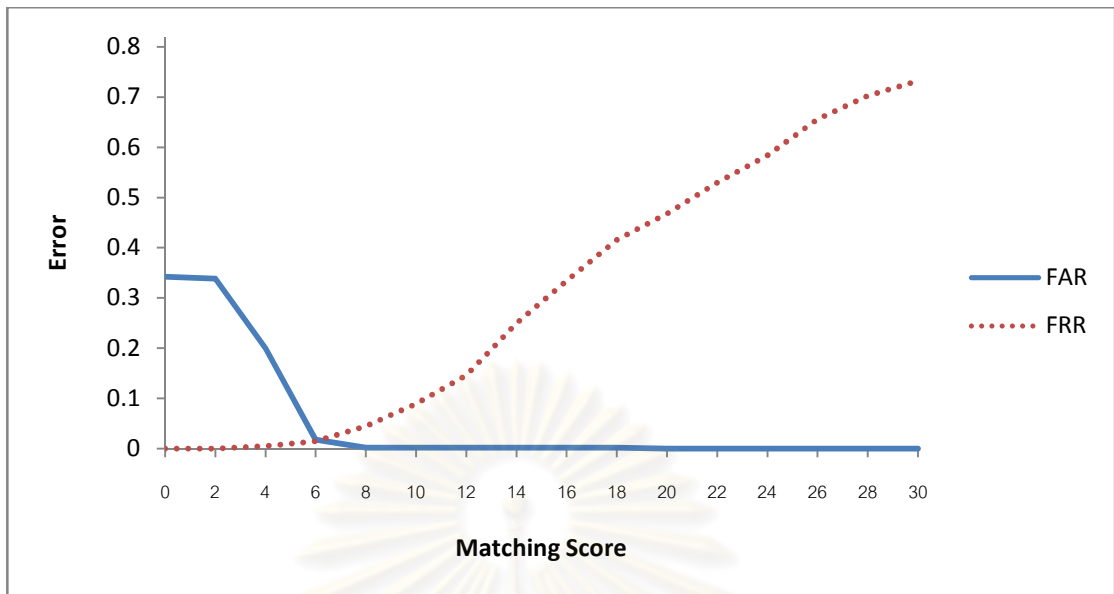
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.10 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0901



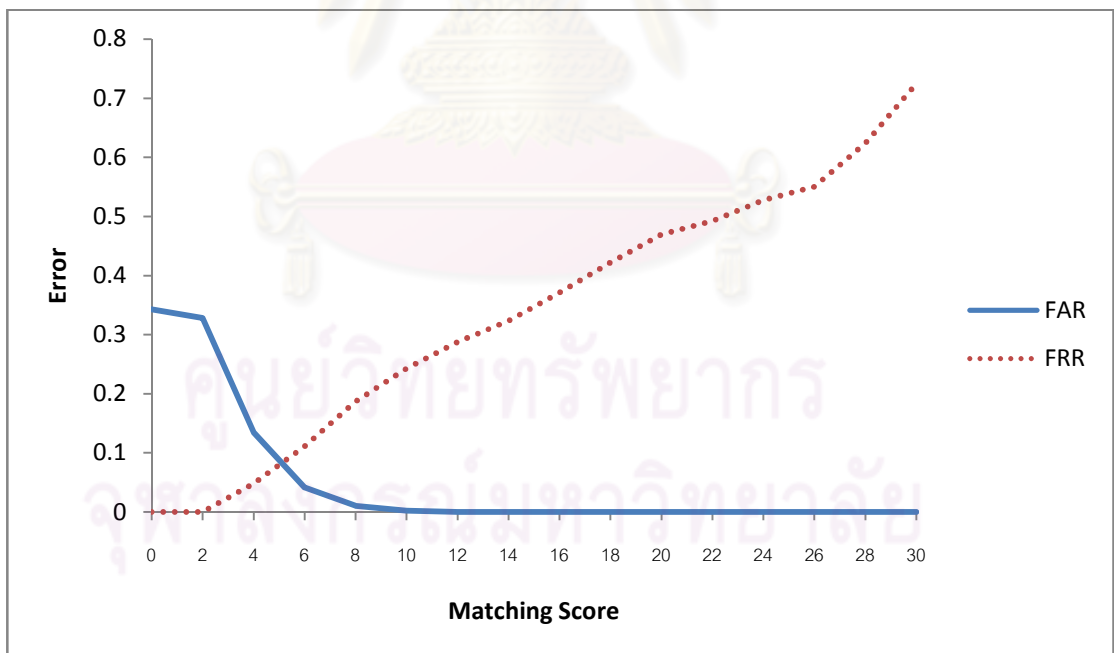
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0260



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.20 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0702



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0170



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS เมื่อกำหนดค่าขีดแบ่งของผลรวมของค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์เป็น 0.30 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0829

4.4 การทดลอง และผลการทดลองการหาประสิทธิภาพในการระบุบุคคลด้วยแบบรูป ม่านตาจากภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อนในม่านตา

การวัดประสิทธิภาพในการระบุบุคคลด้วยลายม่านตาในหัวข้อนี้จะทำการทดลองกับฐานข้อมูลภาพม่านตา 2 ฐานข้อมูลคือ CASIA เวอร์ชัน 3.0 และ CU-CGCI IRIS โดยเลือกเฉพาะภาพตาที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมาใช้ในการสุ่มเลือกภาพตา และเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้จากการทดลองมาใช้ โดยมีผู้ลงทะเบียนจำนวน 101 คน ผู้ใช้จำนวน 101 คน และผู้บุกรุกจำนวน 23 คน จากฐานข้อมูลภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม (CASIA 3.0 NR และ CU-CGCI IRIS-NR) โดยมีรายละเอียดของวิธีการทดลอง การทดลองหาประสิทธิภาพ และวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

4.4.1 วิธีการทดลอง

การหาประสิทธิภาพของระบบ เริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ นำภาพทดสอบมาหาคะแนนการเปรียบคู่ หาค่าขีดแบ่งของระบบและหาค่า EER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบ (คนละ 3 ภาพ) ที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะมีคนละ 3 พีเจอร์เวกเตอร์เก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล
- นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบคู่กับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบ
- นำข้อมูลภาพทดสอบของผู้บุกรุกทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบคู่กับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบคู่ของผู้บุกรุก
- พิจารณาคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
- นำค่าขีดแบ่งมาตัดสินคะแนนการเปรียบคู่จากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR และค่า FAR ซึ่งค่า FRR คำนวณจาก

ตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบ ซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้งานจริงในระบบที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และค่า FAR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก ซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้งานจริงในระบบ ซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้งานจริงที่เป็นผู้ใช้ผิดคน

6. ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 15 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามข้อ 5 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด
7. เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่างๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า EER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR
8. ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบ และทำตามขั้นตอนที่ 1-8 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า EER เฉลี่ยจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า EER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด

4.4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดความถูกต้อง แสดงในตารางที่ 4.8 และเวลาเฉลี่ยในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ผลการหาค่า EER ในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

ครั้งที่	ฐานข้อมูล	CASIA 3.0 NR	CU-CGCI IRIS-NR
	EER		
1		0.0167	0.0238
2		0.0251	0.0298
3		0.0225	0.0326
	ค่าเฉลี่ย	0.0215	0.0287
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0033	0.0037

ตารางที่ 4.9 เวลาเฉลี่ยในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

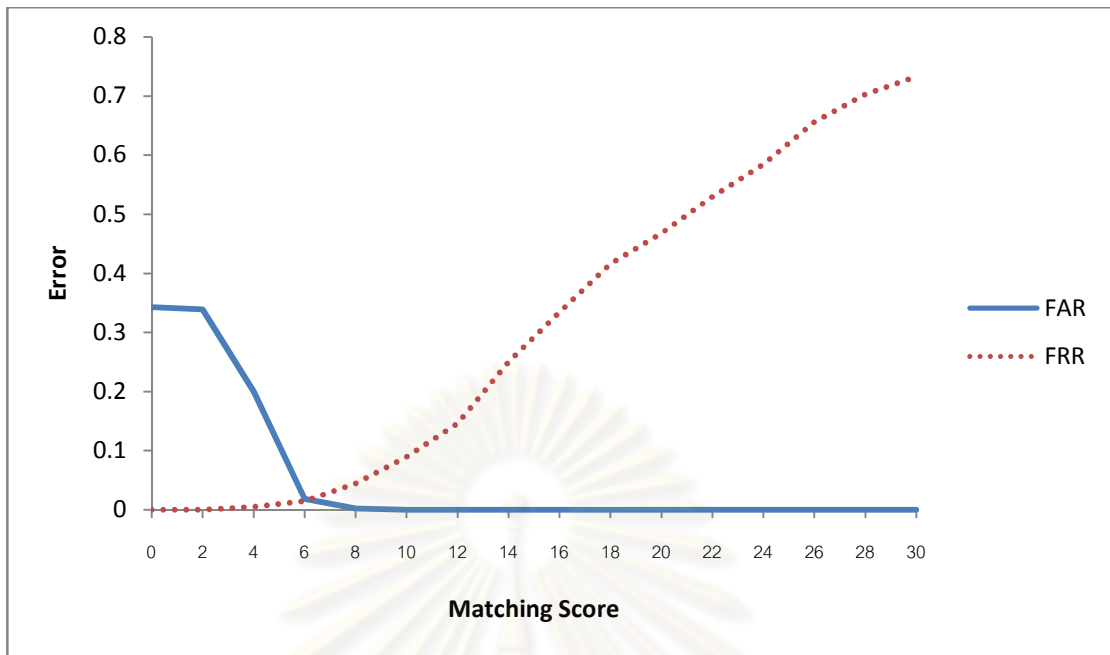
ฐานข้อมูล	CASIA 3.0 NR	CU-CGCI IRIS-NR
	เวลาในการประมวลผล (ms)	
การสกัดลักษณะม่านตา	28.857	28.512
การเปรียบเทียบม่านตา (1:1)	16.785	5.707
รวม	45.642	34.219

4.4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- จากการทดลองพบว่า การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตากับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR เนื่องจากภาพจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR มีคุณภาพของภาพต่ำกว่าภาพตาจากฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR โดยค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพจากการทดลองการระบุบุคคลกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR และ CU-CGCI IRIS-NR เป็น 0.0215 และ 0.0287 ตามลำดับ

- จากการระบุบุคคลระหว่างม่านตาผู้ใช้ในแต่ละม่านตากับผู้ลงทะเบียนทั้งหมดพบว่า คะแนนจากการเปรียบเทียบกับผู้ลงทะเบียนที่เท่ากันทั้งในอันดับที่ 1 และ 2 เป็นคะแนนที่ได้จากผู้ลงทะเบียนคนเดียวกันทั้งในอันดับ 1 และ 2 มีจำนวน 0.0115% และ 0.0195% ในการทดลองการระบุบุคคลกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R และ CU-CGCI IRIS-R ตามลำดับ และเป็นผู้ลงทะเบียนคนต่างคนกันทั้งในอันดับ 1 และ 2 จำนวน 0.00082% และ 0.00084% ในการทดลองการระบุบุคคลกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R และ CU-CGCI IRIS-R ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม คะแนนจากการเปรียบเทียบกับผู้ลงทะเบียนที่เท่ากันทั้งในอันดับที่ 1 และ 2 โดยเป็นผู้ลงทะเบียนคนต่างคนกันทั้งในอันดับ 1 และ 2 นั้นเป็นความผิดพลาดในการยอมรับ (False Accept) ทั้งหมด

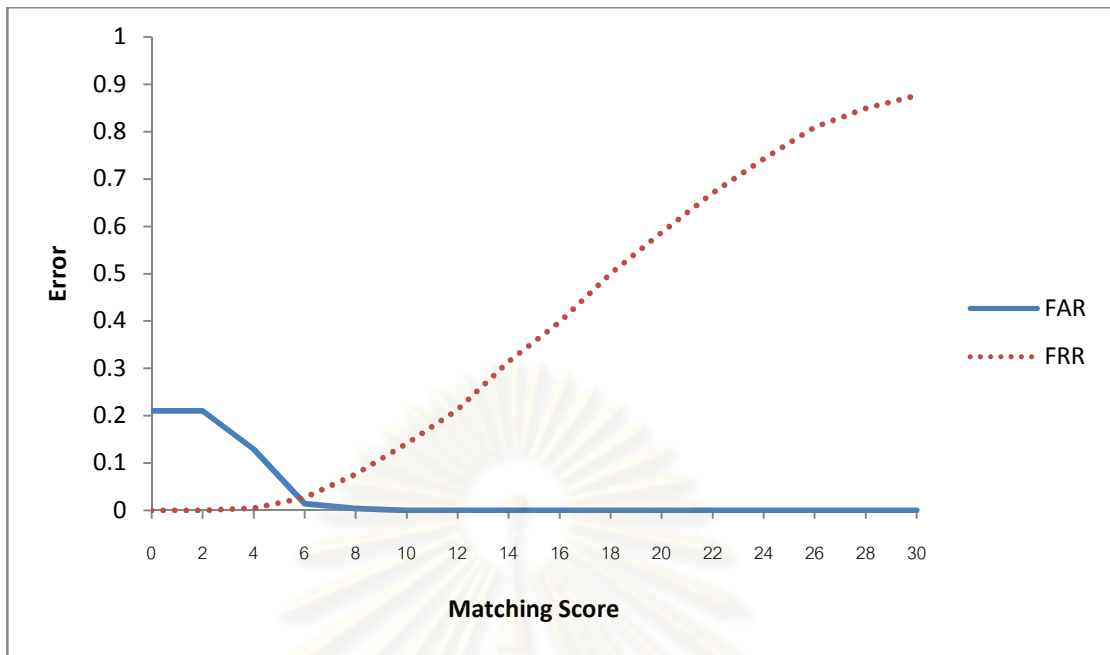
- เวลาในการสกัดลักษณะ และเปรียบเทียบม่านตาจากฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการสกัดลักษณะ และเปรียบเทียบม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR เนื่องจากภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR มีรายละเอียดของลายม่านตา มากกว่าภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR จึงใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น เพราะมีจำนวนบิตที่ตรวจหาได้มากกว่า



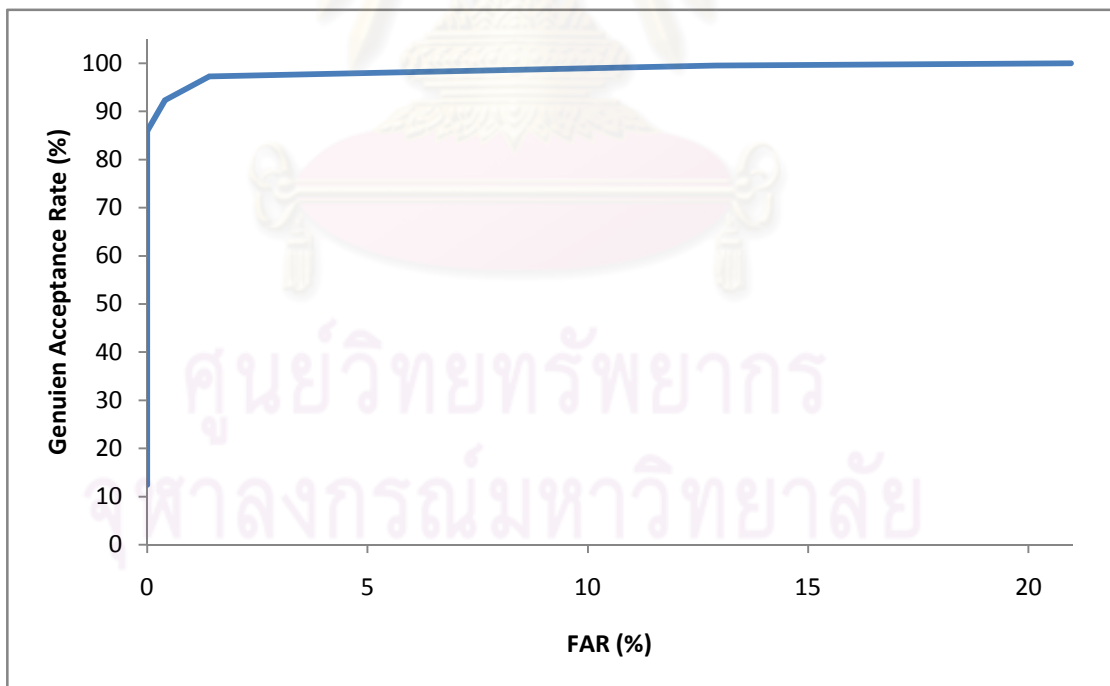
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0167



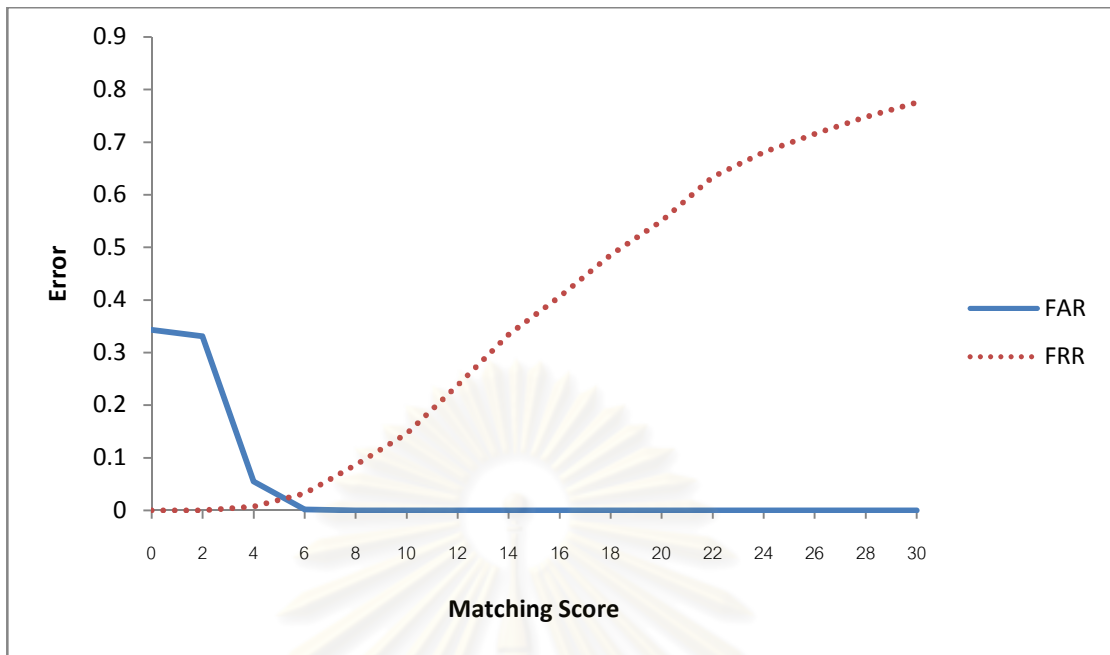
รูปที่ 4.23 กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 1



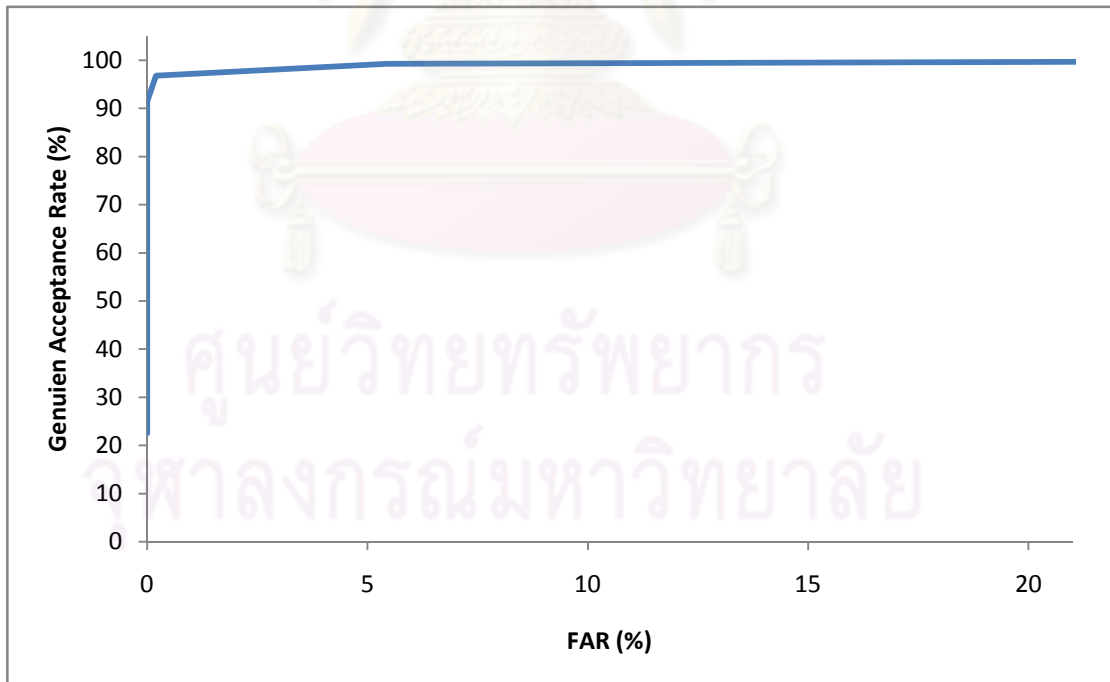
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0251



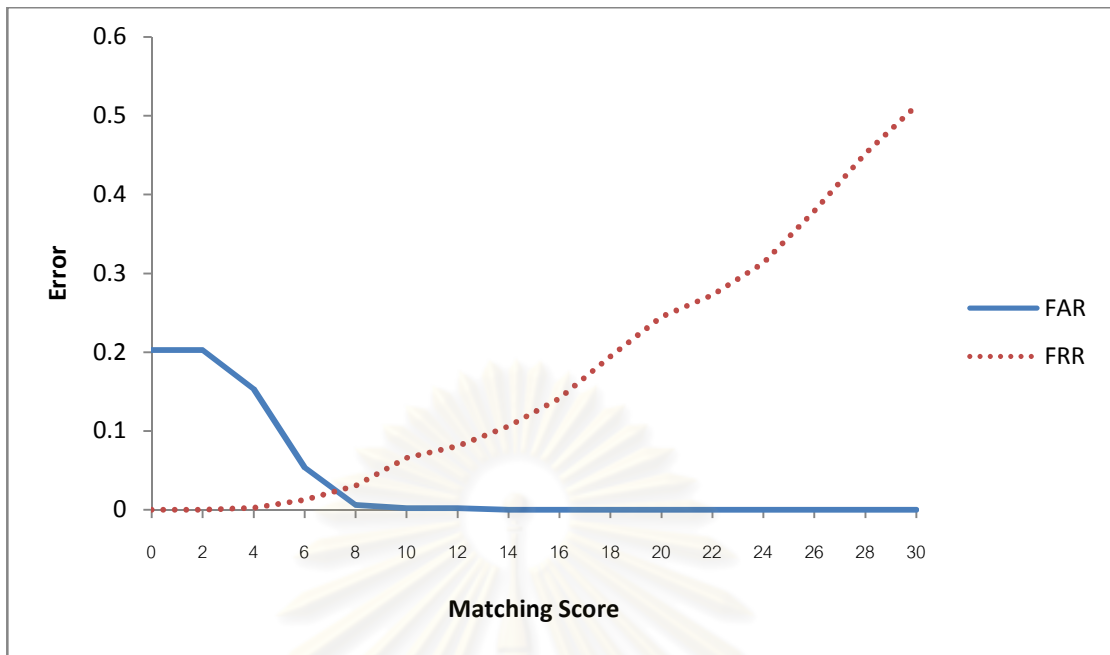
รูปที่ 4.25 กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 2



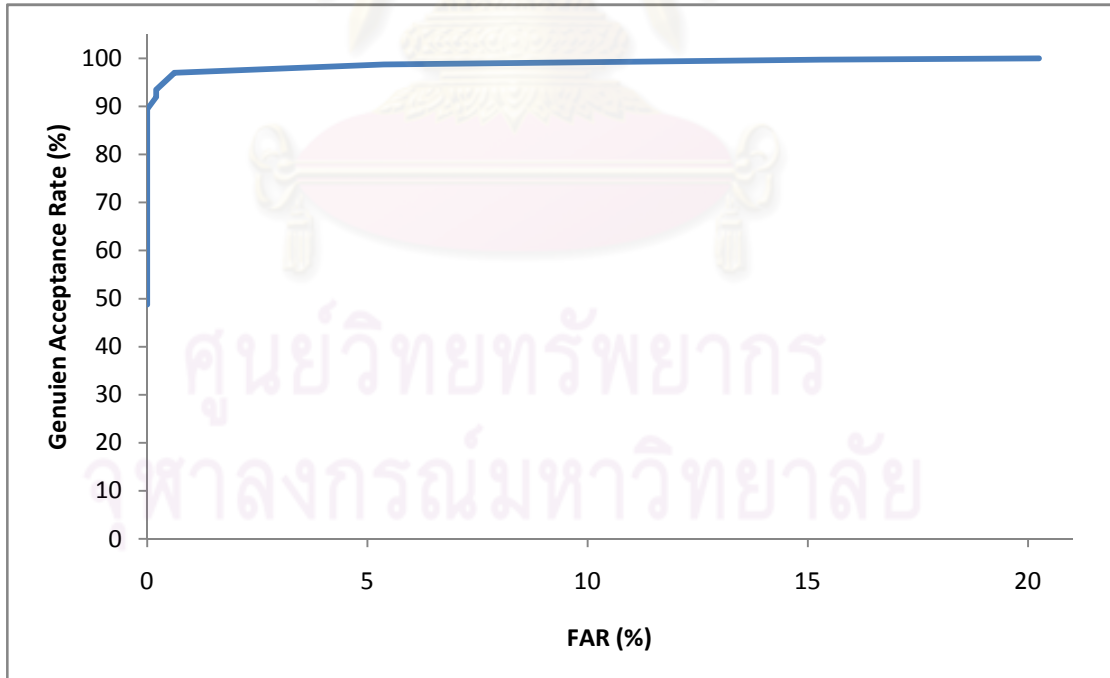
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0225



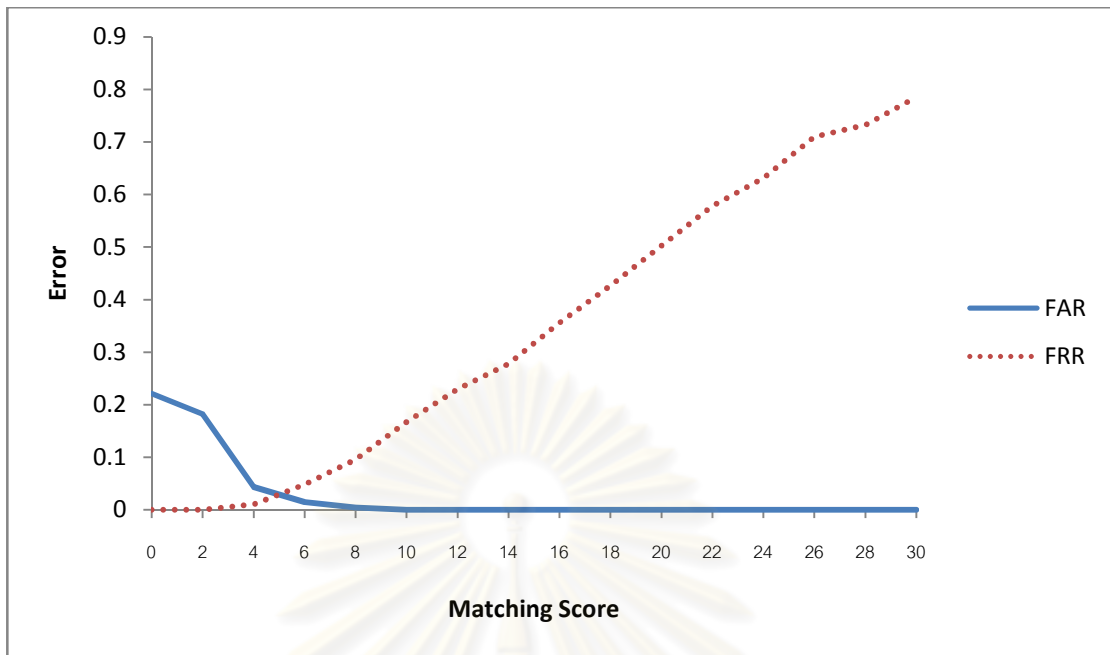
รูปที่ 4.27 กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR ครั้งที่ 3



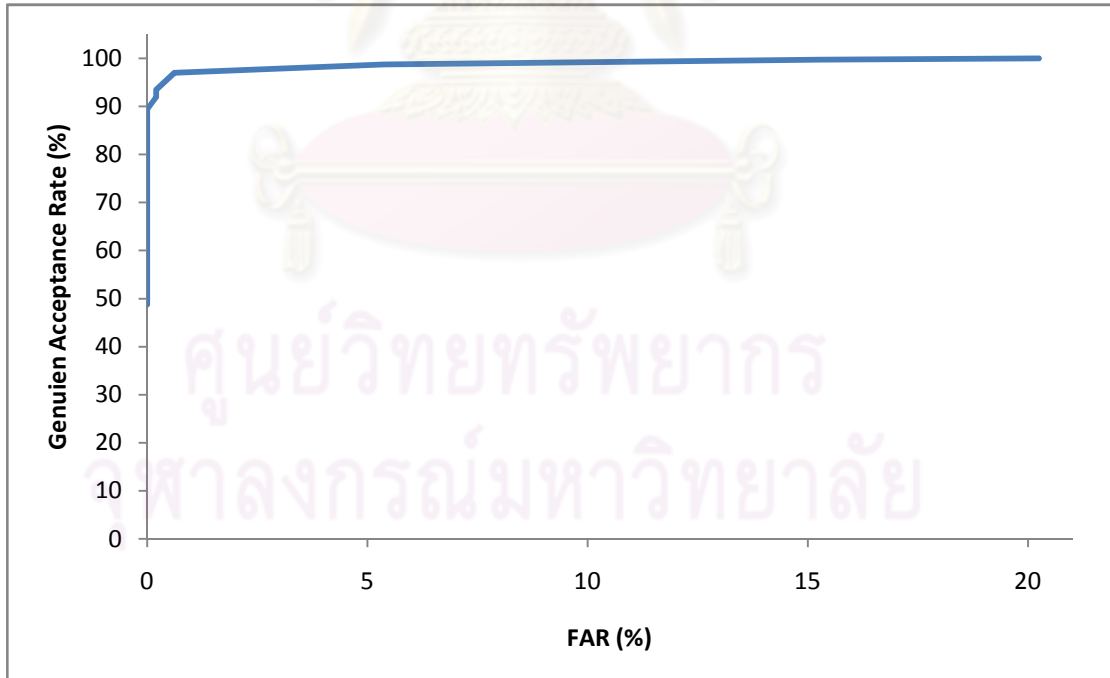
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0238



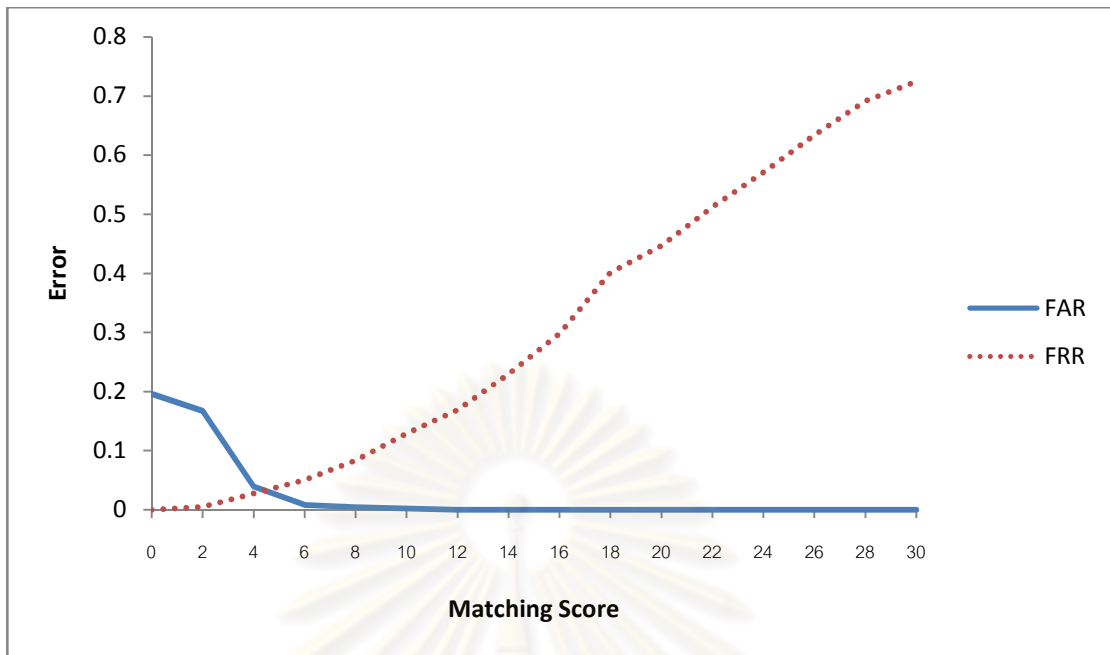
รูปที่ 4.29 กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 1



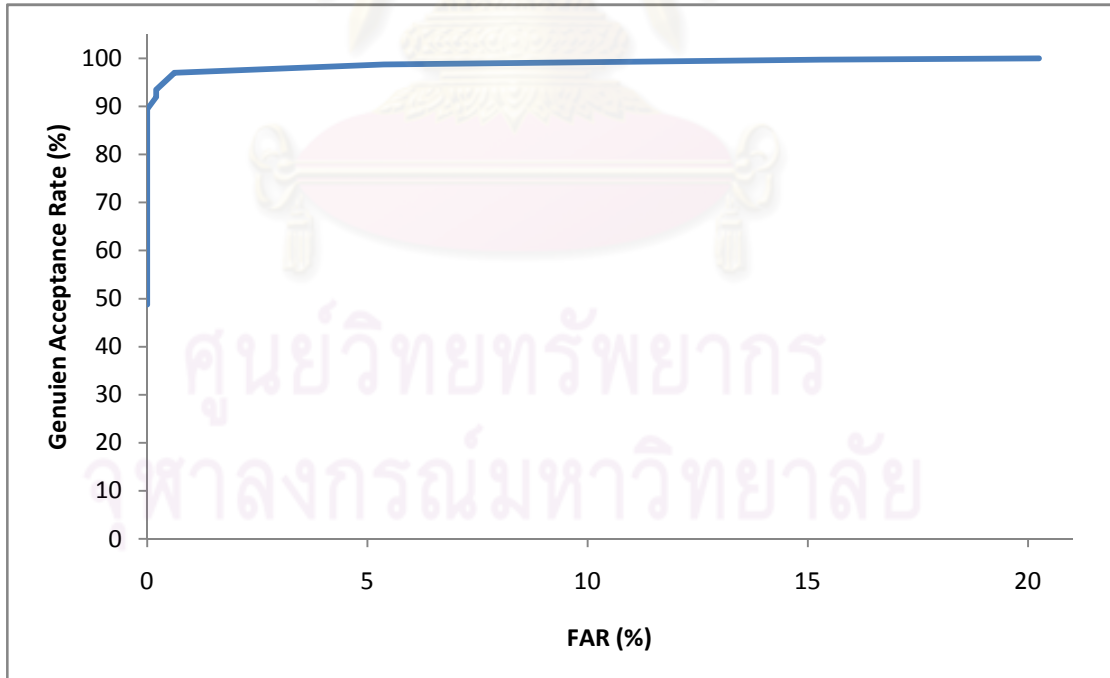
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0298



รูปที่ 4.31 กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0326



รูปที่ 4.33 กราฟ ROC ของการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ครั้งที่ 3

4.5 การทดลอง และผลการทดลองประสิทธิภาพในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา จากภาพตาที่มีแสงสะท้อนในม่านตา

การวัดประสิทธิภาพในการระบุบุคคลด้วยลายม่านตาในหัวข้อนี้ จะทำการทดลองเปรียบเทียบภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมกับภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม โดยการลงทะเบียนภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม แล้วนำภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมมาทดสอบ เนื่องจากภาพม่านตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมเป็นภาพม่านตาที่มีลายม่านตาครบถ้วน ไม่ถูกแสงสะท้อนมาบดบัง

ในการสุ่มเลือกผู้ใช้ และผู้บุกรุกจะทำการสุ่มเลือกจากฐานข้อมูลฐานข้อมูล CASIA 3.0 R และ CU-CGCI IRIS-R สำหรับผู้ลงทะเบียนนั้นจะสุ่มจากฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR และ CU-CGCI IRIS-NR โดยการสุ่มจะเลือกเฉพาะภาพตาที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมาใช้ และในการทดลองนี้จะเลือกใช้พารามิเตอร์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งได้จากการทดลองมาใช้

ภาพม่านตาจากฐานข้อมูลภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมจะถูกสุ่มเลือกเฉพาะภาพที่มีแสงสะท้อนปรากฏชัดเจนเท่านั้น ทำให้ภาพที่นำมาทดสอบมีปริมาณที่ไม่มากนักซึ่งประกอบด้วยผู้ลงทะเบียนจำนวน 55 คน ผู้ใช้จำนวน 55 คน และผู้บุกรุกจำนวน 11 คน สำหรับการทดลองกับภาพจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS และทดลองกับภาพจากฐานข้อมูล CASIA เวอร์ชัน 3.0 ซึ่งประกอบด้วยภาพม่านตาผู้ลงทะเบียนจำนวน 60 ภาพ ผู้ใช้จำนวน 82 ภาพ และผู้บุกรุกจำนวน 25 ภาพ โดยวิธีการทดลอง การทดลองหาประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 วิธีการทดลอง

การหาประสิทธิภาพของระบบเริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ นำภาพทดสอบมาหาคะแนนการเปรียบเทียบ หาค่าขีดแบ่งของระบบและหาค่า EER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบ (คนละ 3 ภาพ) ที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะมีคนละ 3 พีเจอร์เวกเตอร์เก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล
2. นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดมาทดสอบระบบ (คนละ 4 ภาพ ในการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R และในการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ใช้ภาพผู้ใช้ทั้งหมด 82 ภาพ) โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบ

3. นำข้อมูลภาพทดสอบของผู้บุกรุกทั้งหมดมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก
4. พิจารณาคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
5. นำค่าขีดแบ่งมาตัดลินคะแนนการเปรียบเทียบจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR และค่า FAR ซึ่งค่า FRR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้จริงในระบบที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และค่า FAR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก ซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้ที่ระบบระบุเป็นผู้ใช้ผิดคน
6. ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 15 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามข้อ 5 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด
7. เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า EER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR
8. ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบและทำตามขั้นตอนที่ 1-8 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า EER เฉลี่ยจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า EER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด

4.5.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดความถูกต้องแสดงในตารางที่ 4.10 และเวลาเฉลี่ยในการระบุคลด้วยแบบรูปม่านตาแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ผลการหาค่า EER ในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

ครั้งที่	ฐานข้อมูล	CASIA 3.0 R	CU-CGCI IRIS-R
		EER	EER
1		0.0494	0.0489
2		0.0386	0.0525
3		0.0232	0.0616
	ค่าเฉลี่ย	0.0371	0.0543
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0108	0.0053

ตารางที่ 4.11 เวลาเฉลี่ยในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา

ฐานข้อมูล	CASIA 3.0 R	CU-CGCI IRIS-R
	เวลาในการประมวลผล (ms)	
การสกัดลักษณะม่านตา	34.741	35.806
การเปรียบเทียบม่านตา (1:1)	11.645	10.774
รวม	46.386	46.580

4.5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

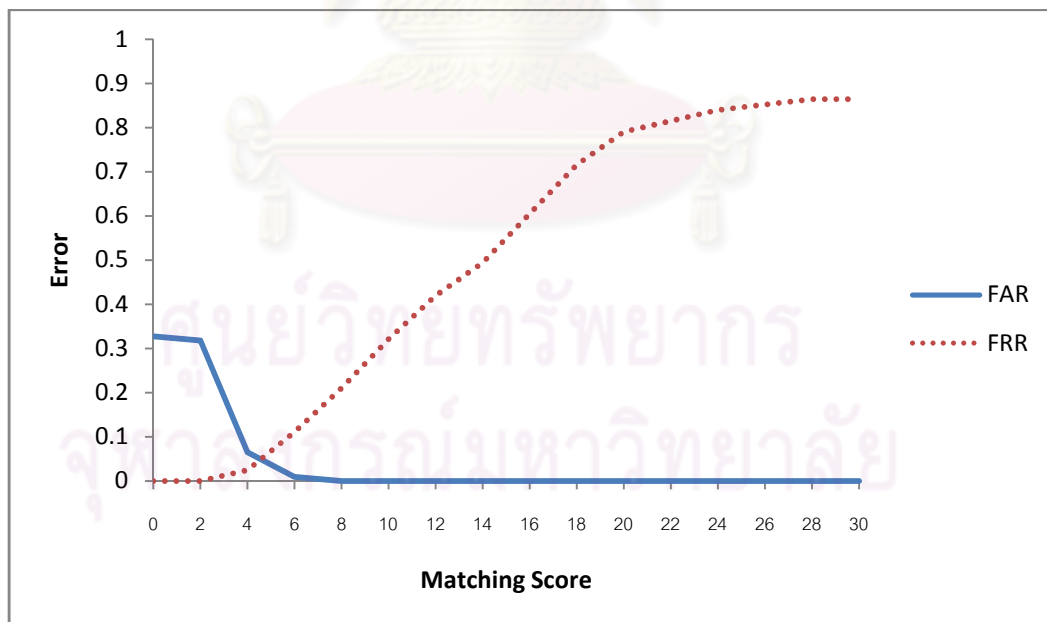
- การเก็บภาพตาในสภาวะแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนในม่านตาทำให้พื้นที่ส่วนม่านตาน้อยลงกว่าการเก็บภาพตาในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีแสงสะท้อนในม่านตา เนื่องจากในภาพตามีพื้นที่ส่วนเปลือกตาที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับภาพม่านตาที่เก็บในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีแสงสะท้อน นอกจากนี้ปริมาณของภาพที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนไม่มากเพราะในการเก็บภาพม่านตาที่มีแสงสะท้อนจะมีภาพม่านตาบางส่วนที่มีรายละเอียดของลายม่านตาไม่ชัดเจน ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพของการระบุบุคคลในสภาวะแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนทำให้ผลที่ได้แตกต่างจากการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาในสภาวะแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนในม่านตาพอสมควร

- จากการระบุบุคคลระหว่างม่านตาผู้ใช้ในแต่ละม่านตากับผู้ลงทะเบียนทั้งหมดพบว่า คะแนนจากการเปรียบเทียบกับผู้ลงทะเบียนที่เท่ากันทั้งในอันดับที่ 1 และ 2 เป็นคะแนนที่ได้จากผู้ลงทะเบียนคนเดียวกันทั้งในอันดับ 1 และ 2 มีจำนวน 0.0123% และ 0.0138% ในการทดลองการระบุบุคคลกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R และ CU-CGCI IRIS-R ตามลำดับ และเป็นผู้ลงทะเบียนคนต่างคนกันทั้งในอันดับ 1 และ 2 จำนวน 0% และ 0.0069% ในการทดลองการระบุ

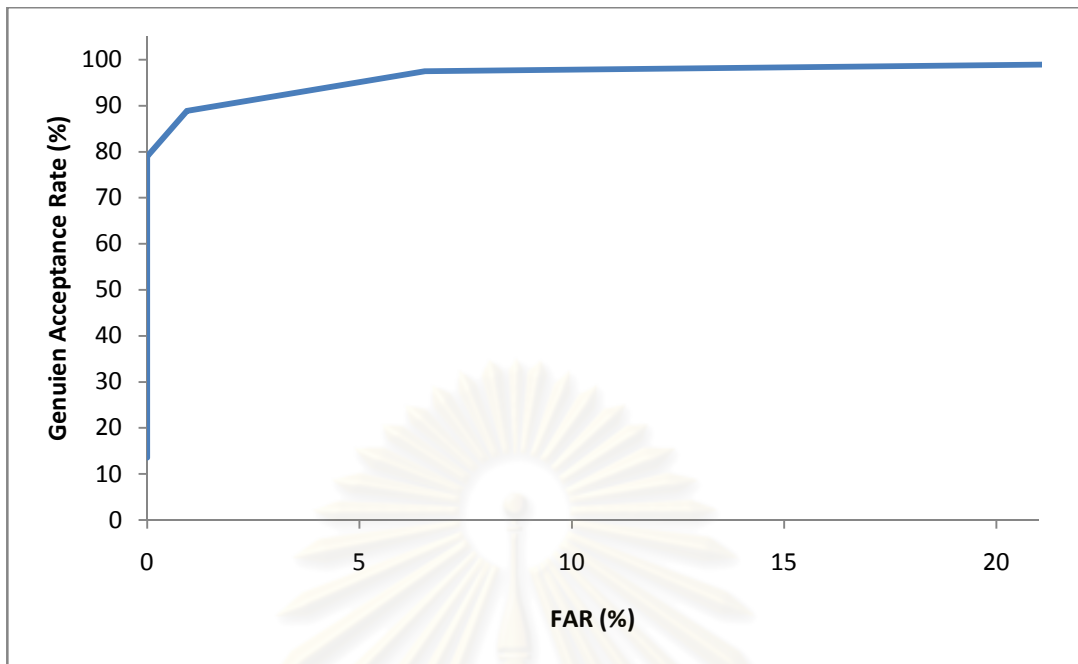
บุคคลกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R และ CU-CGCI IRIS-R ตามลำดับ อย่างไรก็ตามคะแนนจากการเปรียบเทียบกับผู้ลงทะเบียนที่เท่ากันทั้งในอันดับที่ 1 และ 2 โดยเป็นผู้ลงทะเบียนคนต่างคนกันทั้งในอันดับ 1 และ 2 นั้นเป็นความผิดพลาดในการยอมรับ (False Accept) ทั้งหมด

- ในการระบุบุคคลด้วยลายม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R พบว่า คะแนนของผู้ใช้จากฐานข้อมูลภาพตาที่มีแสงสะท้อนของสภาพแวดล้อมในการทดลองนี้พบว่า คะแนนของผู้ใช้มีคะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าคะแนนของผู้ใช้จากฐานข้อมูลภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อนของสภาพแวดล้อม เนื่องจากรูปร่างของโครงสร้างม่านตาบางส่วนที่ได้จากการปรับปรุงภาพม่านตาโดยใช้ผลต่างเกาส์เซียนมีการเปลี่ยนแปลงไปจากการที่บริเวณม่านตาบางส่วนมีแสงมากกว่าปกติ และเมื่อทำการตรวจสอบคะแนนจากผู้ใช้ที่ระบุบุคคลผิด (False Accept) พบว่าคะแนนของผู้ใช้จากการระบุบุคคลผิดส่วนใหญ่อยู่ในอันดับต้นๆเกือบทั้งหมด

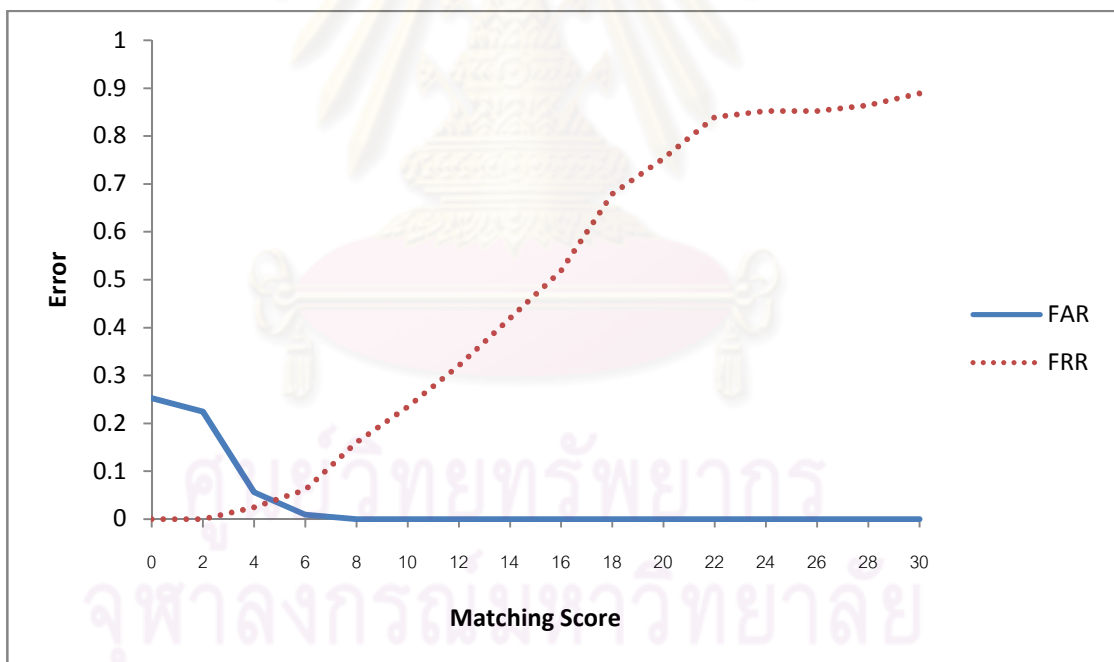
- เวลาในการสกัดลักษณะ และเปรียบเทียบม่านตาจากฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการสกัดลักษณะ และเปรียบเทียบม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R เนื่องจากภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CASIA 3.0 R มีรายละเอียดของลายม่านตามากกว่าภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R จึงใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นเพราะมีจำนวนบิตที่ตรวจหาได้มากกว่า



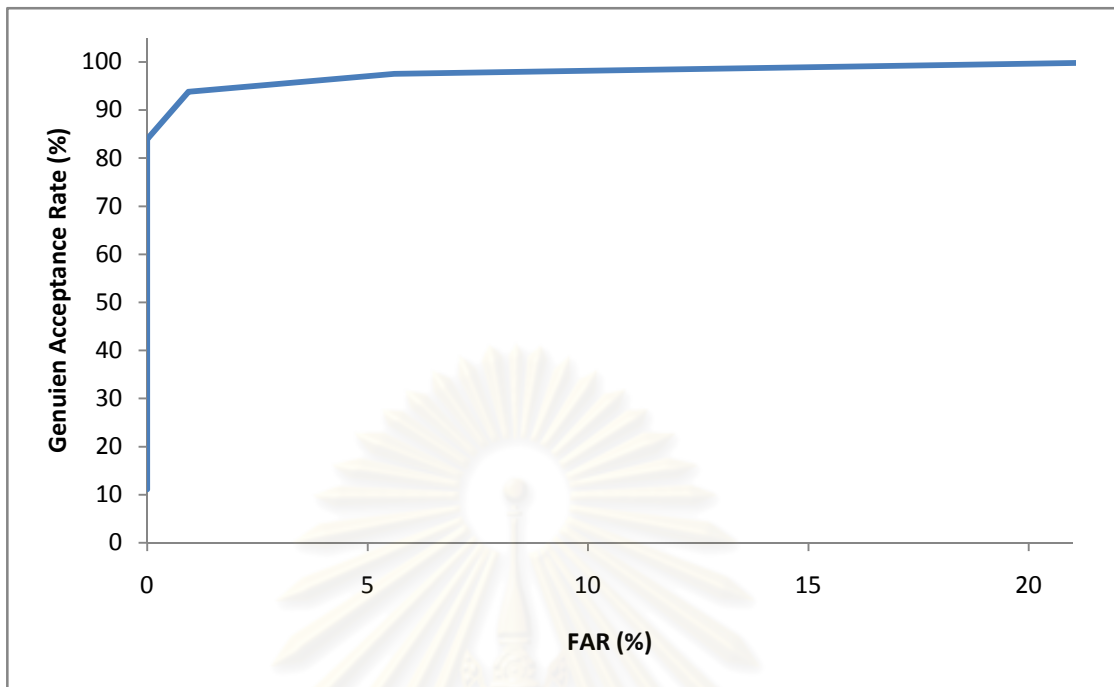
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 1 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0494



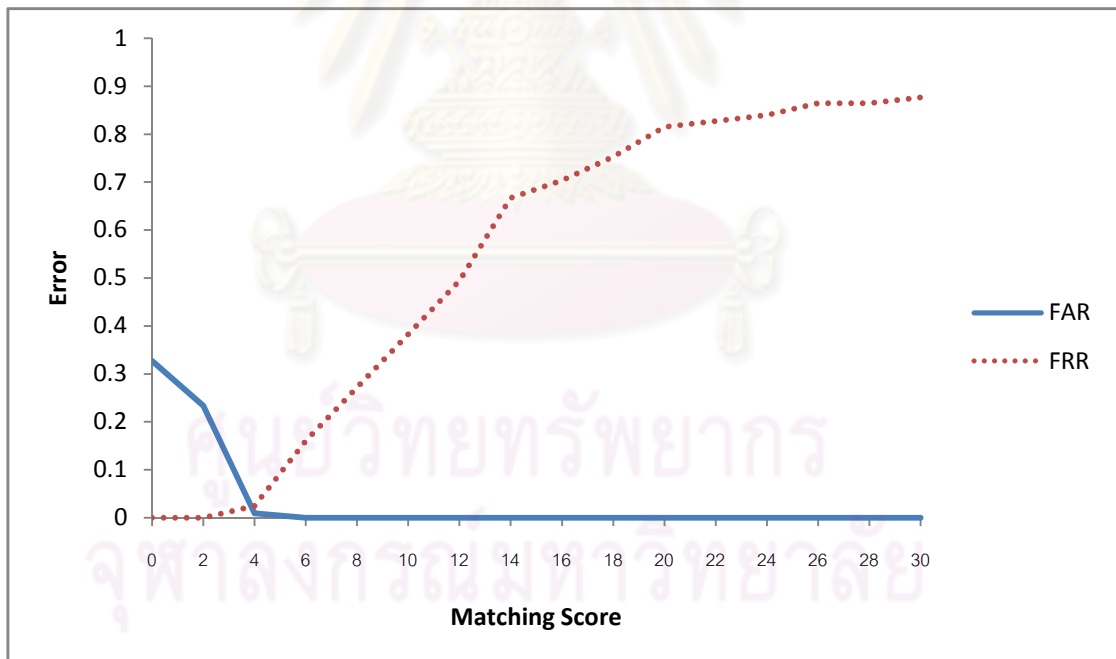
รูปที่ 4.35 กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 1



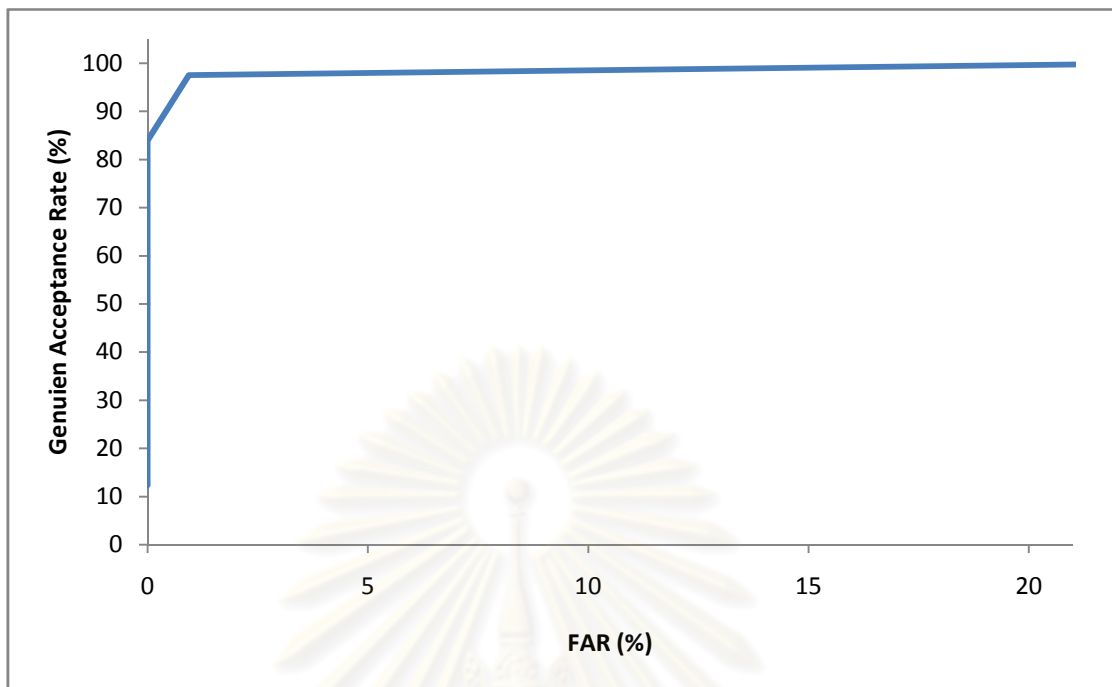
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 2
โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0386



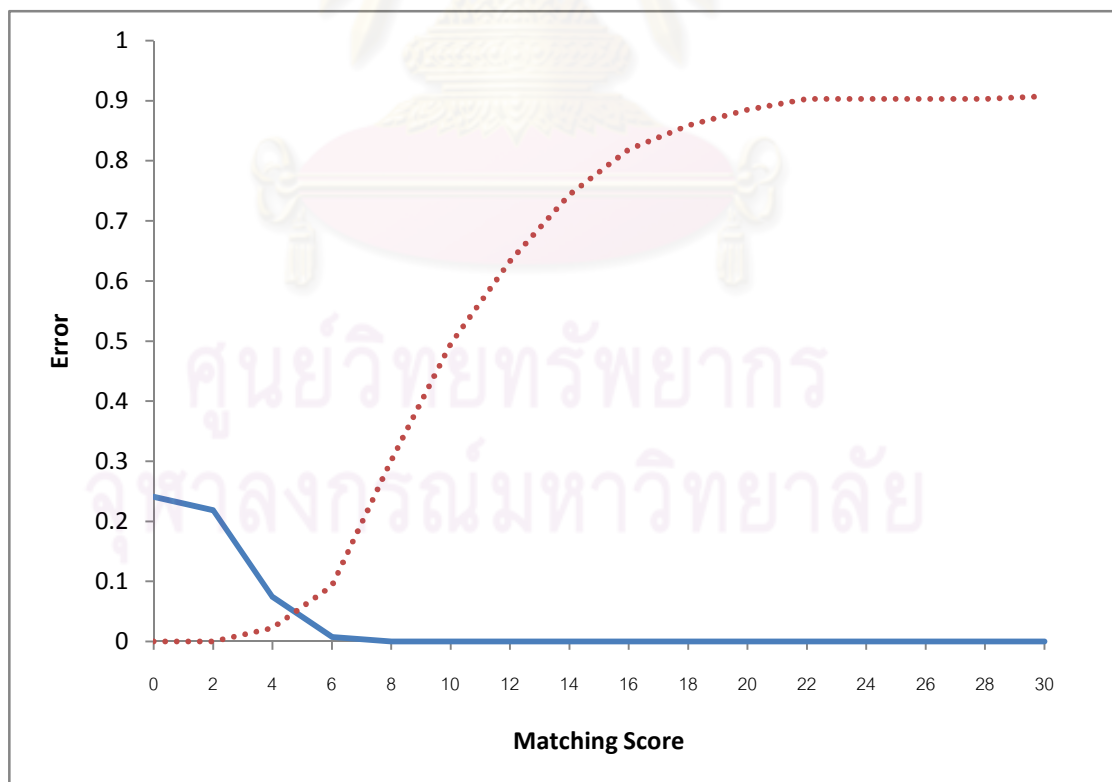
รูปที่ 4.37 กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 2



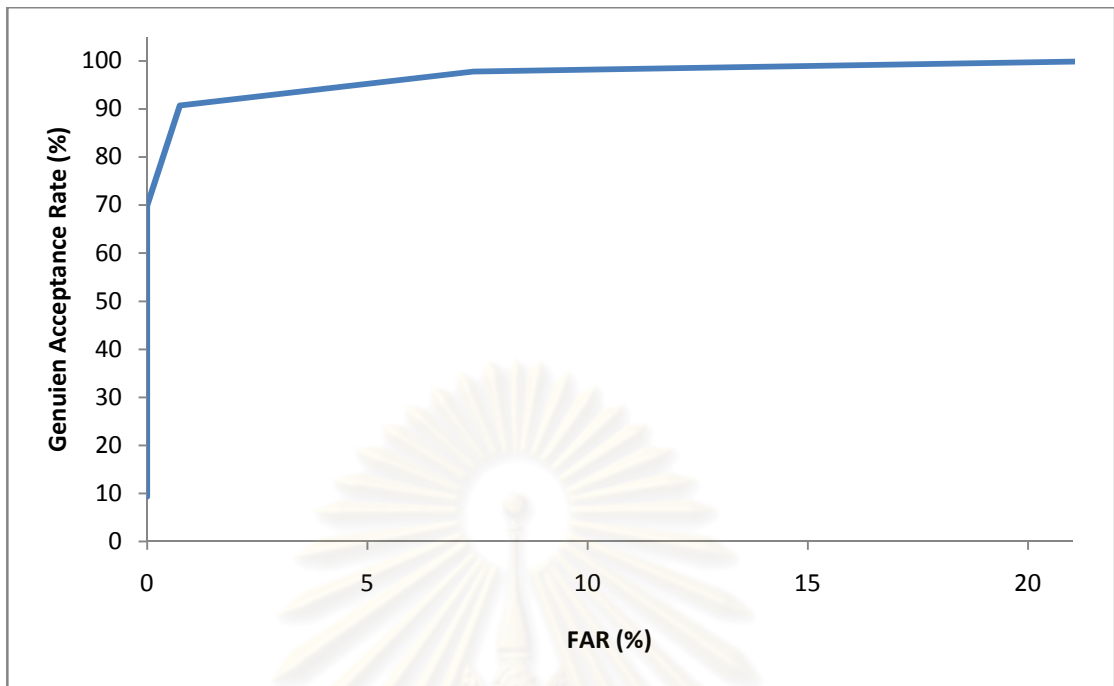
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0232



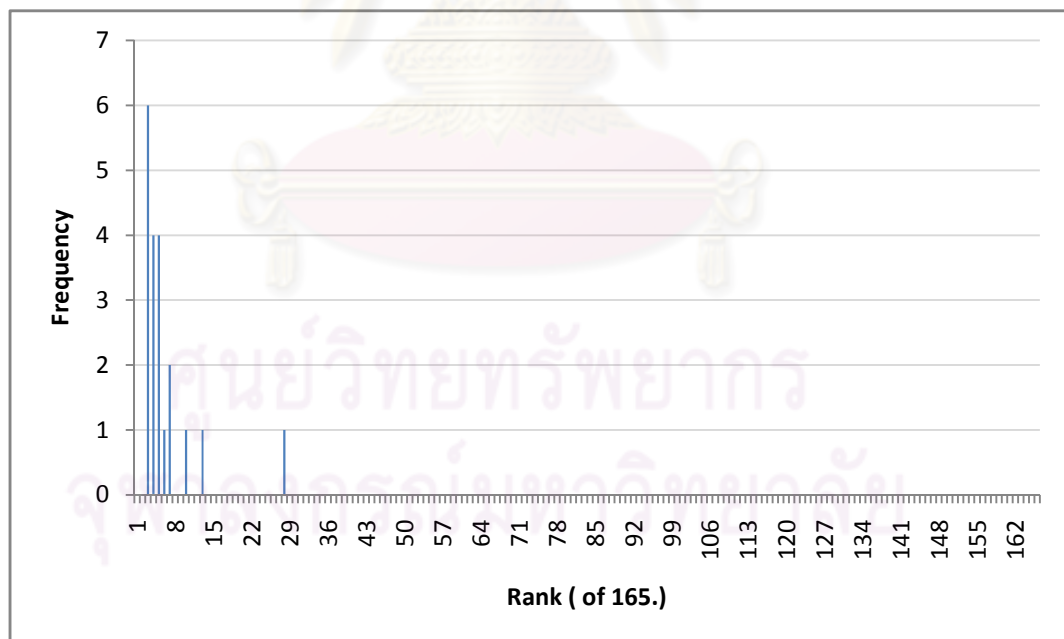
รูปที่ 4.39 กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CASIA 3.0 R ครั้งที่ 3



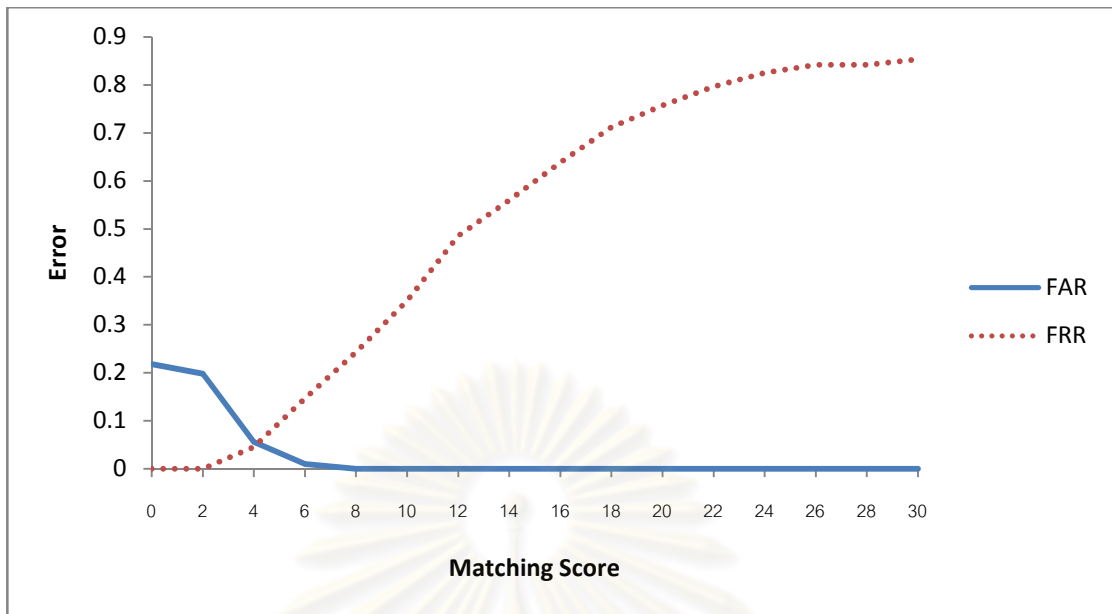
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1
โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0489



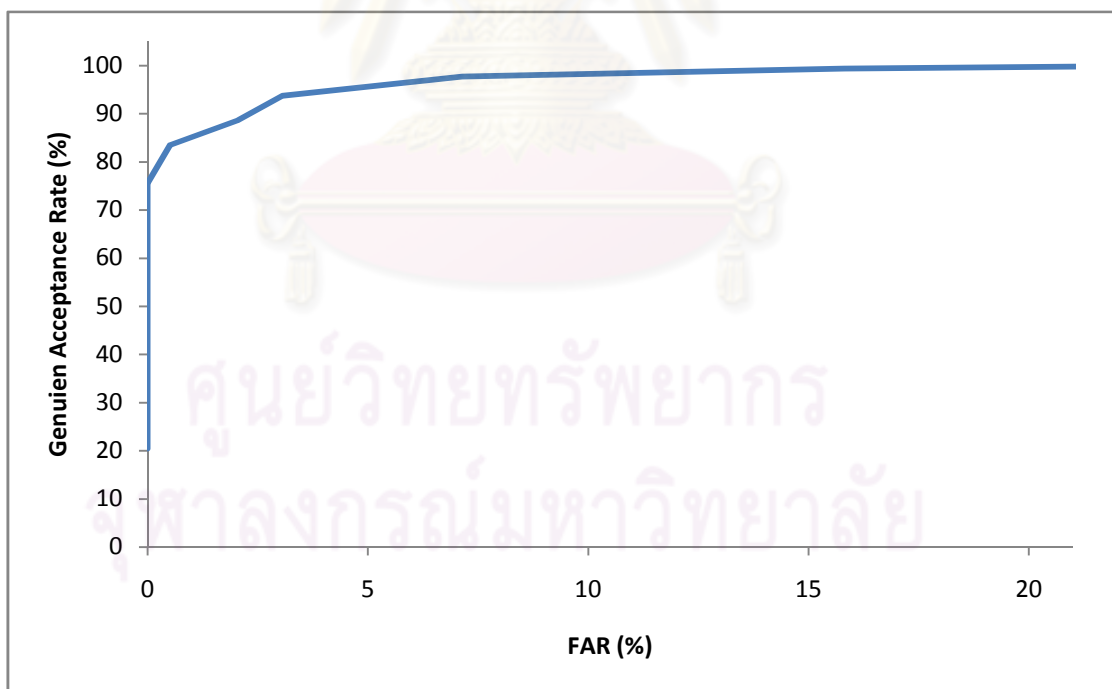
รูปที่ 4.41 กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1



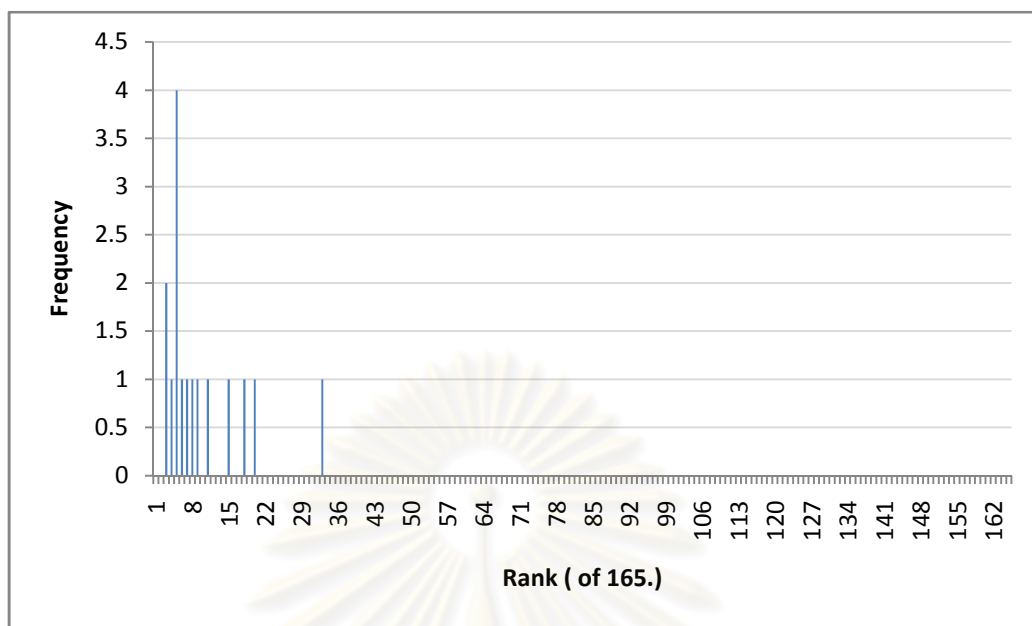
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงอันดับคะแนนของการระบุบุคคลผิดจากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 1



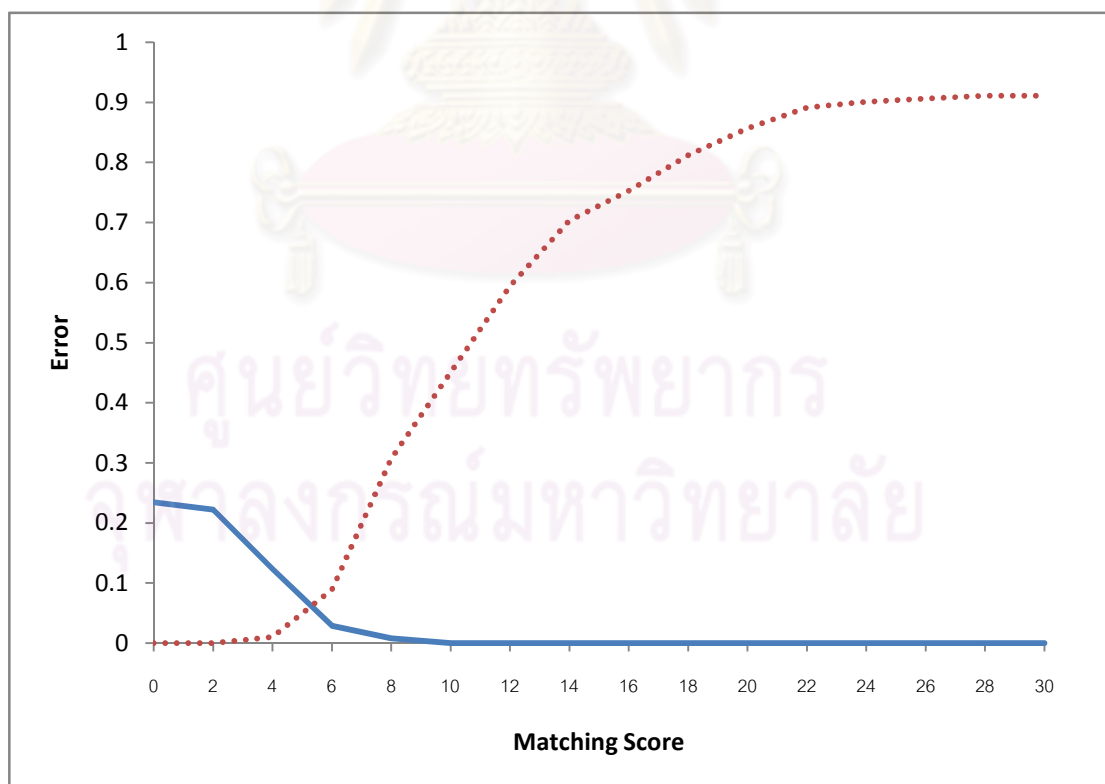
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 2 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0525



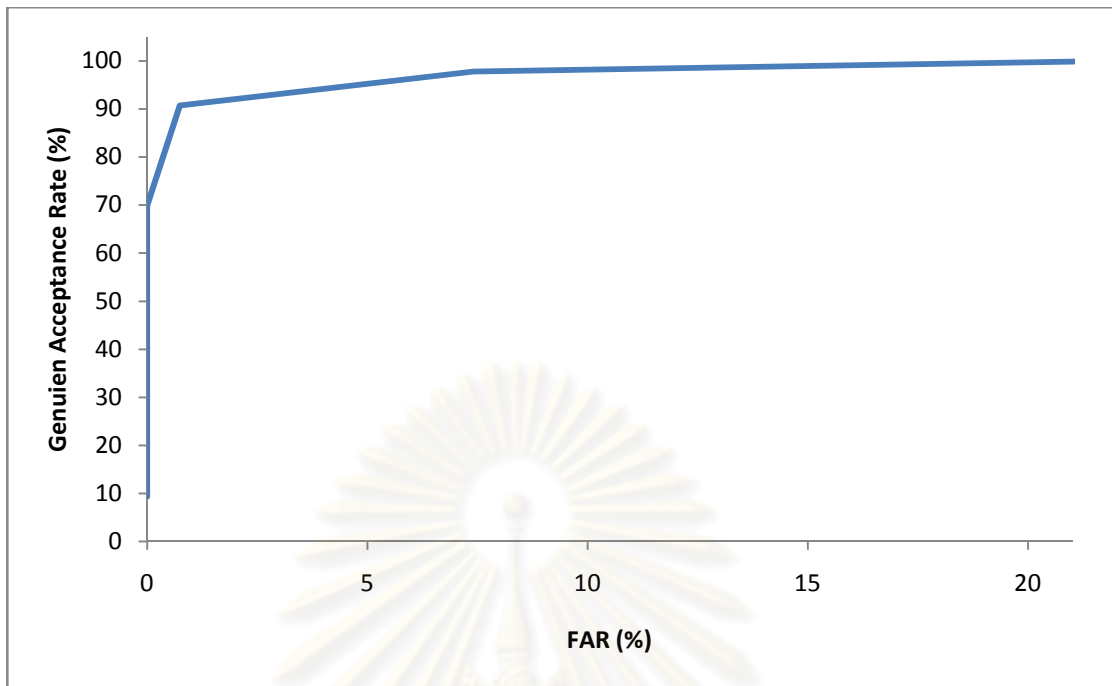
รูปที่ 4.44 กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 2



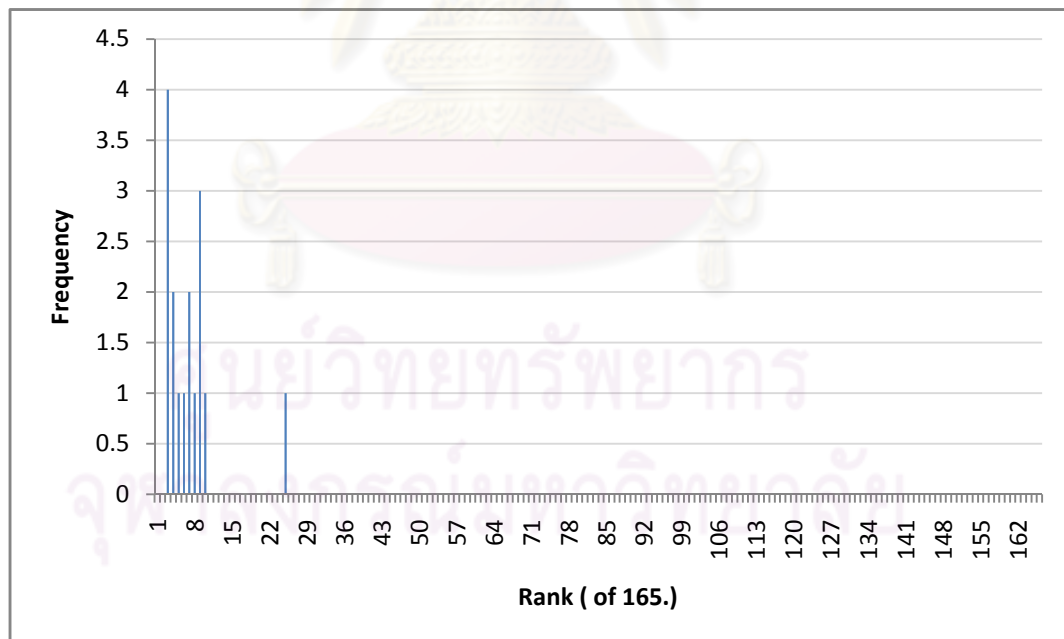
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงอันดับคะแนนของการระบุบุคคลผิดจากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงค่า EER จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 3 โดยได้ค่า EER เท่ากับ 0.0616



รูปที่ 4.47 กราฟ ROC จากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงอันดับคะแนนของการระบุบุคคลผิดจากการทดลองกับฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ครั้งที่ 3

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยการระบุตำแหน่งม่านตา การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดที่ไม่มีแสงสะท้อนภายในม่านตาจากสภาพแวดล้อม การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาที่มีแสงสะท้อนภายในม่านตาจากสภาพแวดล้อม และ ข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การเก็บภาพม่านตาเป็นขั้นตอนแรกของงานวิจัย โดยทำการเก็บภาพด้วยกล้องเว็บแคมแบบอินฟราเรด MD-TECH รุ่น CAM-BB ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดทั้งหมด 6 แหล่ง เป็นภาพระดับเทาที่มีความละเอียดของภาพเป็น 320x240 พิกเซล โดยภาพจะถูกเก็บจากการจัดสภาพแสง 2 สภาพ ได้แก่ สภาพแสงที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมปรากฏอยู่ในม่านตา และสภาพแสงที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมปรากฏอยู่ในม่านตา

ในขั้นตอนถัดมาเป็นการประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นกับภาพตาที่ได้เก็บมา เพื่อทำการเลือกส่วนม่านตาจากภาพตา และให้ภาพม่านตาที่ได้เลือกส่วนมาอยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการเปรียบเทียบกับม่านตาอื่นๆ เนื่องจากรูม่านตาอาจมีขนาดที่ไม่เท่ากันในการเก็บภาพ ณ เวลาต่างกัน ซึ่งเกิดจากปริมาณแสงที่เข้าสู่ดวงตา ณ เวลาดังกล่าว ขั้นตอนประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การระบุตำแหน่งม่านตา และการแปลงภาพม่านตาจากระบบพิกัดเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้ว ขั้นตอนการระบุตำแหน่งม่านตาที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นขั้นตอนวิธีที่คิดค้นขึ้นเพื่อลดเวลาในการประมวลผลจากวิธีทั่วไปที่เป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ การแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough Transform) และ Inegro-differential Equation ในขณะที่การแปลงเชิงเส้นเป็นระบบพิกัดเชิงขั้วจะใช้ Homogeneous Rubber Sheet Model [4] โดยในงานวิจัยนี้ จะกำหนดให้ภาพม่านตามีขนาดหลังจากการแปลงระบบพิกัดเป็น 512x64 พิกเซล

หลังจากการประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นแล้ว จะใช้ผลต่างของเกาส์เชื่อมร่วมกับการแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารีกับภาพม่านตาเพื่อปรับปรุงภาพม่านตาให้โครงสร้างม่านตาปรากฏชัดเจนมากขึ้น ในขั้นตอนถัดมาจะทำการตรวจหาบลิบจากภาพไบนารี เพื่อหาลักษณะ

ม่านตา โดยลักษณะม่านตาประกอบด้วยเซนทรอยด์ ทิศของแกนหลัก และ Hu โมเมนต์ ของแต่ ละบลิบซึ่งจะถูกเก็บไว้ใช้ในขั้นตอนของการเปรียบเทียบโดยการตรวจสอบเป็นลำดับ เริ่มการตรวจดู ตำแหน่งเซนทรอยด์ของบลิบในม่านตาที่นำมาเปรียบเทียบ การตรวจดูทิศของแกนหลักของบลิบที่ นำมาเปรียบเทียบ และการตรวจดูค่าค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ของบลิบ

การเปรียบเทียบม่านตา เป็นขั้นตอนการตรวจสอบความแตกต่างของม่านตาทั้ง 2 โดยผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบเป็นคะแนนความเหมือน ขั้นตอนแรกของการเปรียบเทียบ จะทำการ ตรวจสอบตำแหน่งเซนทรอยด์ของบลิบที่นำมาเปรียบเทียบ หากเซนทรอยด์ของบลิบดังกล่าว อยู่ในช่วงที่กำหนด จะสมมติให้บลิบทั้งสองอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ขั้นตอนถัดมาเป็นการ ตรวจสอบทิศของแกนหลักของบลิบทั้งสองโดยการกำหนดค่าขีดแบ่งทิศของแกนหลักของบลิบ โดยอ้างอิงจากบลิบในแผ่นแบบ หากทิศของแกนหลักของบลิบต่างกันไม่เกินค่าขีดแบ่ง จะถือว่าบลิบทั้ง 2 มีทิศทางเดียวกัน ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการตรวจสอบรูปร่างของบลิบด้วย Hu โมเมนต์ทั้ง 6 โดยใช้ค่าขีดแบ่งซึ่งคือผลรวมของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของ Hu โมเมนต์ บลิบที่มี ตำแหน่งจุดศูนย์กลางเดียวกัน ทิศทางเดียวกัน และมีรูปร่างเหมือนกัน จะถูกนำจำนวนเพื่อไป คำนวณหาคะแนนความเหมือน ดังนั้นในการเปรียบเทียบม่านตาในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบ บลิบทุกบลิบในม่านตาที่นำมาเปรียบเทียบกับม่านตาในแผ่นแบบ เพื่อตรวจสอบจำนวนบลิบที่ เหมือนกัน โดยบลิบที่เหมือนกันหมายถึงบลิบที่มีตำแหน่งเซนทรอยด์ ทิศของแกนหลักและ Hu โมเมนต์ไม่แตกต่างกัน หากผลจากการเปรียบเทียบม่านตาให้คะแนนความเหมือนมาก หมายถึง ม่านตาทั้งสองมีความเหมือนกันมาก และหากการเปรียบเทียบม่านตาให้คะแนนความเหมือนน้อย หมายถึง ม่านตาทั้งสองมีความแตกต่างกันมาก โดยในงานวิจัยนี้คะแนนการเปรียบเทียบอยู่ในช่วง [0,100]

5.2 การระบุตำแหน่งม่านตา

การระบุตำแหน่งม่านตาเป็นขั้นตอนแรกในการระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตา การระบุตำแหน่งม่านตาในงานวิจัยนี้ เป็นการหาตัวแบบวงกลมของรูม่านตาและม่านตา โดยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การระบุตำแหน่งรูม่านตา

การระบุตำแหน่งรูม่านตาเริ่มจากการแปลงภาพให้เป็นภาพฐาน 2 จากนั้น ทำการเติมสีดำในรูม่านตา แล้วทำการหา Seed Point ในภาพตาจากโพรไฟล์การฉายระดับเทา

ต่ำสุดเพื่อใช้อ้างอิงในการหารัศมีและจุดศูนย์กลางของตัวแบบรูม่านตาด้วยทฤษฎีสามเหลี่ยมมี
ทากอรัส

2. การระบุตำแหน่งม่านตา

ในการระบุตำแหน่งม่านตาจะทำการปรับปรุงภาพด้วยผลต่างเกาส์เขียนเพื่อให้
ขอบม่านตาปรากฏขึ้นชัดเจน จากนั้นทำการตรวจหาขอบเพื่อเลือกเฉพาะขอบที่มีขนาดใหญ่
เนื่องจากขอบที่มีขนาดใหญ่จะประกอบด้วยขอบม่านตา ขั้นตอนถัดมาเป็นการหาจุดขอบม่าน
ตาโดยการสร้างเส้นตรงของจุดจากจุดศูนย์กลางของตัวแบบรูม่านตาที่หาได้ไปยังมุมต่างๆ ที่
กำหนดไว้ เพื่อหาตำแหน่งที่มีค่าความส่องสว่างซึ่งเป็นตำแหน่งที่เป็นจุดขอบม่านตา เมื่อได้จุด
ขอบจากการค้นหาจุดขอบม่านตาทุกมุมแล้วจะทำการคัดกรองจุดดังกล่าวด้วยค่าเฉลี่ยและค่า
เบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวระหว่างจุดเริ่มต้นที่ทำการค้นหาและจุดขอบม่านตาที่ได้ โดยจุด
เหล่านี้จะถูกนำไปสร้างเป็นตัวแบบวงกลมของม่านตาโดยใช้ Linear Least Square Circle

การระบุตำแหน่งม่านตาในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. หากระบุตำแหน่งรูม่านตาที่มีความผิดพลาด จะทำให้ผลการระบุตำแหน่งม่านตา
ผิดพลาดด้วย เนื่องจากในการหาจุดขอบม่านตาใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ
ตัวแบบรูม่านตาในการอ้างอิง
2. ในขั้นตอนการเพิ่มความต่างเปรียบให้กับขอบม่านตา หากภาพตามีพื้นที่
ส่วนเปลือกตามากกว่าพื้นที่ส่วนม่านตา อาจทำให้ได้จุดขอบของเปลือกตา
แทนที่จะได้จุดขอบม่านตา เพราะมุมมองในการเลือกจุดขอบม่านตาไม่มี
ความสัมพันธ์กับเปลือกตา
3. ในขั้นตอนการเพิ่มความต่างเปรียบให้กับขอบม่านตา ภาพตามีขนตาซึ่งซ้อนทับ
กับรูม่านตาและม่านตามาก จะทำให้ผลการระบุตำแหน่งผิดพลาด เนื่องจากการ
หาตำแหน่งจุดขอบไปยังมุมต่างๆ ที่กำหนดจะได้จุดขอบของขนตา
แทนที่จะได้จุดขอบม่านตา
4. หากรูม่านตาหรือม่านตาไม่ได้มีลักษณะคล้ายวงกลมจะทำให้ผลการระบุ
ตำแหน่งเกิดความผิดพลาดได้ เพราะในงานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบของรูม่านตา
และม่านตาเป็นวงกลม

5.3 การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดในสภาพที่ไม่มีแสงสะท้อนในม่านตาจากสภาพแวดล้อม

การระบุบุคคลในหัวข้อนี้ ภาพม่านตาผู้ลงทะเบียน ภาพม่านตาของผู้ใช้ และภาพม่านตาผู้บุกรุก จะถูกสุ่มเลือกจากฐานข้อมูลภาพตาในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีแสงสะท้อน โดยทดลองสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 3 ครั้งในแต่ละฐานข้อมูล ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบในแต่ละฐานข้อมูลเป็นดังนี้

ฐานข้อมูล CASIA 3.0 NR: 0.0215 ± 0.033

ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR: 0.0287 ± 0.0037

จากงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาสามารถใช้ภาพตาจากกล้องเว็บแคมแบบอินฟราเรดซึ่งมีคุณภาพของภาพต่ำกว่าภาพตาจากฐานข้อมูล CASIA โดยที่ค่าประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนัก
2. ลักษณะการเก็บภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR ทำให้แสงเข้าสู่ดวงตาน้อยกว่าภาพจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R จึงมีส่วนที่เป็นพื้นที่ของแบบรูปม่านตามากกว่า

5.4 การระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาโดยใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดในสภาพที่มีแสงสะท้อนในม่านตาจากสภาพแวดล้อม

การระบุบุคคลในหัวข้อนี้ ภาพม่านตาผู้ลงทะเบียนจะถูกสุ่มเลือกจากฐานข้อมูลภาพตาในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีแสงสะท้อน ส่วนภาพม่านตาของผู้ใช้ และภาพม่านตาผู้บุกรุก จะถูกสุ่มจากฐานข้อมูลภาพตาในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสะท้อน โดยทดลองสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 3 ครั้งในแต่ละฐานข้อมูล ค่าอัตราความผิดพลาดที่เท่ากันของระบบในแต่ละฐานข้อมูลเป็นดังนี้

ฐานข้อมูล CASIA 3.0 R: 0.0371 ± 0.0108

ฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R: 0.0543 ± 0.0053

จากงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถระบุบุคคลด้วยแบบรูปม่านตาจากการเก็บภาพด้วยเว็บแคมแบบอินฟราเรดในสภาพแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนในม่านตาได้โดยมีค่าความถูกต้องในการระบุบุคคลเท่ากับ 94.57%
2. ความผิดพลาดจากการระบุบุคคลด้วยม่านตาจากสภาพแวดล้อมที่มีแสงสะท้อนนั้นเกิดในส่วนของภาพม่านตาผู้ใช้ซึ่งได้จากสภาพแวดล้อมที่มีแสงสะท้อน โดยได้คะแนนจากการเปรียบคูน้อย เนื่องจากบริเวณบางส่วนของภาพม่านตาของผู้ใช้มีปริมาณแสงมาก เมื่อทำการปรับปรุงภาพม่านตาด้วยผลต่างของเกาส์เขียนโครงสร้างม่านตาบางส่วนมีมากกว่า 1 บล็อกจากที่โครงสร้างม่านตาควรมี 1 บล็อกเมื่อเทียบกับบล็อก ณ ตำแหน่งเดียวกันในแผ่นแบบ
3. ลักษณะการเก็บภาพม่านตาจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-R ทำให้แสงเข้าสู่ดวงตามากกว่าภาพจากฐานข้อมูล CU-CGCI IRIS-NR จึงมีส่วนที่เป็นพื้นที่ของแบบรูปม่านตามากกว่าทำให้แบบรูปม่านตาส่วนที่ถูกเบลอตกตาปิดทับไม่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบ
4. เลนส์ที่ใช้ในการเก็บภาพของฐานข้อมูล CU-CGCI ไม่ได้เป็นเลนส์ที่ให้เฉพาะช่วงแสงอินฟราเรดผ่านได้เท่านั้น ดังนั้นอาจมีแสงช่วงความยาวแสงอื่นๆเข้ามารบกวนในภาพได้

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรม และการทดลองกับวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่า ยังมีส่วนที่น่าจะปรับปรุงเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ ดังต่อไปนี้

- 1) อาจทำการเก็บข้อมูลของผู้ใช้เพิ่มเพื่อใช้ในการทดลองระบบ เพื่อให้ความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด
- 2) ทดสอบความมีชีวิต (Liveness check) ของข้อมูลที่เข้ามาในระบบ เพื่อตรวจสอบว่าเป็นผู้บุกรุกที่ปลอมแปลงลักษณะของผู้ใช้จริงในระบบหรือไม่
- 3) อาจพัฒนาเป็นระบบระบุบุคคลบนโทรศัพท์มือถือ เนื่องจากวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลน้อย
- 4) อาจใช้เว็บแคมแบบอินฟราเรดที่มีการปรับโฟกัสอัตโนมัติเพื่อให้มีความถูกต้องในการระบุบุคคล

- 5) ปรับเปลี่ยนเลนส์ที่ใช้ในการเก็บภาพให้แสงอินฟราเรดสามารถผ่านเข้าไปสู่เซนเซอร์รับแสงของกล้องได้เท่านั้น
- 6) อาจใช้วิธีการลดสัญญาณรบกวนของเว็บแคมแบบอินฟราเรดเพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลภาพจากเว็บแคมแบบอินฟราเรด ทำให้เพิ่มความถูกต้องในการระบุบุคคล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Wildes, R. P. Iris recognition: an emerging biometric technology. Proceedings of the IEEE. 85 (1997): 1348-1363.
- [2] Muroň, A., and Pospíš, J. The Human Iris Structure and Its Usage. Physica. 39 (2000): 87-95.
- [3] Dunstone, T., and Yager, N. Biometric System and Data Analysis. New York, USA: Springer Science+Business Media, 2009.
- [4] Daugman, J. How Iris Recognition Works. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology. 14 (2004): I-33-I-66.
- [5] Daugman, J., and Downing, C. Epigenetic randomness, complexity and singularity of human iris patterns. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 268 (2001): 1737-1740.
- [6] Gonzalez, R. C., and Woods, R. E. Digital Image Processing. USA: Prentice-Hall, 2002.
- [7] Jain, R. et al. Machine Vision. Singapore: McGraw-Hill, 1995.
- [8] Sonka, M. et al. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. USA: Thomson, 2008.
- [9] Ma, L. et al. Iris recognition using circular symmetric filters. in Werner, B., and Kawada, S. (eds), 16th International Conference on Pattern Recognition Proceedings, pp. 414-417. USA: IEEE, 2002.
- [10] Ma, L. et al., Local intensity variation analysis for iris recognition. Pattern Recognition. 37 (2004): 1287-1298.
- [11] Ives, R. W. et al. Iris recognition using histogram analysis. in Mathew, B.M. (ed), Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp. 562-566. USA: IEEE, 2004.
- [12] Zhaofeng, H. et al. Iris Localization via Pulling and Pushing. in Werner, B. (ed), 18th International Conference on Pattern Recognition, pp. 366-369. USA: IEEE, 2006.
- [13] Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation. CASIA Iris database [Online]. 2006. Available from : <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm> [2007, June]

- [14] Elsherief, S. M. et al. Biometric Personal Identification Based on Iris Recognition. in Fahmy, H. M. A., et al. (eds), The 2006 International Conference on Computer Engineering and Systems, pp. 208-213. Cairo, Egypt: IEEE, 2006.
- [15] Benhammedi, F., and Kihal, N. Personal authentication based on iris texture analysis. in Nasser, N. and Alhalabi, B. (eds), IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, pp. 537-543. Doha, Qatar : The Printing House, 2008.
- [16] Grabowski, K. et al. Illumination influence on iris identification algorithms. in Napieralski, A. (ed), 15th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, pp. 571-574. Poland : Technical University of **Łódź**, 2008.
- [17] American Conference of Government Industrial Hygienists. Eye Safety with Near Infra-Red Illuminators [Online]. 1981. Available from : <http://www.acgih.org> [2007, July]
- [18] Wara.com. CCD vs CMOS [Online]. 2006. Available from : <http://www.wara.com/modules.php?name=News&file=article&sid=294> [2007, May]
- [19] Schuckers, S. A. C. et al. On Techniques for Angle Compensation in Nonideal Iris Recognition. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 37 (2007): 1176-1190.
- [20] Sudha, N. et al. Iris recognition on edge maps. in Bi, G. and Zhong W. (eds), 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, pp. 1-4. Singapore : IEEE, 2007.
- [21] Kumar, A., and Passi, A. Comparison and combination of iris matchers for reliable personal identification. in CVPRW 2008, pp. 1-7. NJ, USA : IEEE, 2008.
- [22] Gander, W. et al. Least-Squares Fitting of Circles and Ellipses. BIT 43 (1994): 558-578.
- [23] Manthey, D. General Least-Square - Direct Solutions and Bundle Adjustment [Online]. 2005. Available from : <http://www.orbitals.com/self/least/least.pdf> [2007, May]
- [24] Mukundan, R., and Ramakrishnan, K. R. Moment functions in image analysis: theory and applications. Singapore : World Scientific ,1998.
- [25] Flusser, J. et al. Moments and Moments Invariants in Pattern Recognition. Great Britain : John Wiley & Sons , 2009.
- [26] Ming-Kuei, H. Visual pattern recognition by moment invariants. Information Theory, IRE Transactions on, 8 (1962): 179-187.

- [27] พิชัฒน์ ประทีปอมรกุล. การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและรูปแบบม่านตา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



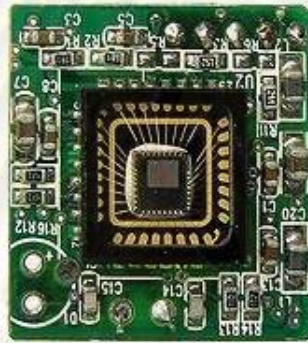
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

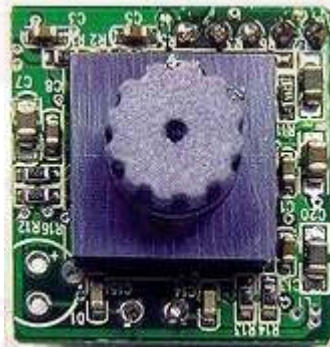
ภาคผนวก ก

เว็บแคม (Web Camera)

เว็บแคมเป็นอุปกรณ์ในการจับภาพที่ต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องถ่ายภาพคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปแล้วเว็บแคมประกอบด้วยเลนส์ วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และเซนเซอร์ด้านภาพ ส่วนใหญ่แล้วเลนส์ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเว็บแคมเป็นเลนส์ที่ทำมาจากพลาสติก และเป็นเลนส์ที่ถูกตรึงโฟกัส (Fixed focus lens) วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ทำหน้าที่อ่านค่าจากเซนเซอร์ด้านภาพและทำการส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Host computer)



(ก) เซนเซอร์ด้านภาพและวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ของ Sonix SN9C101



(ข) เมื่อประกอบชุดเลนส์กับเซนเซอร์ด้านภาพและวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ของ Sonix SN9C101

รูปที่ ก.1 เว็บแคม

ภาคผนวก ข

การเก็บภาพตาจากเว็บแคมแบบอินฟราเรด



(ก) สภาพแวดล้อมการเก็บภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม

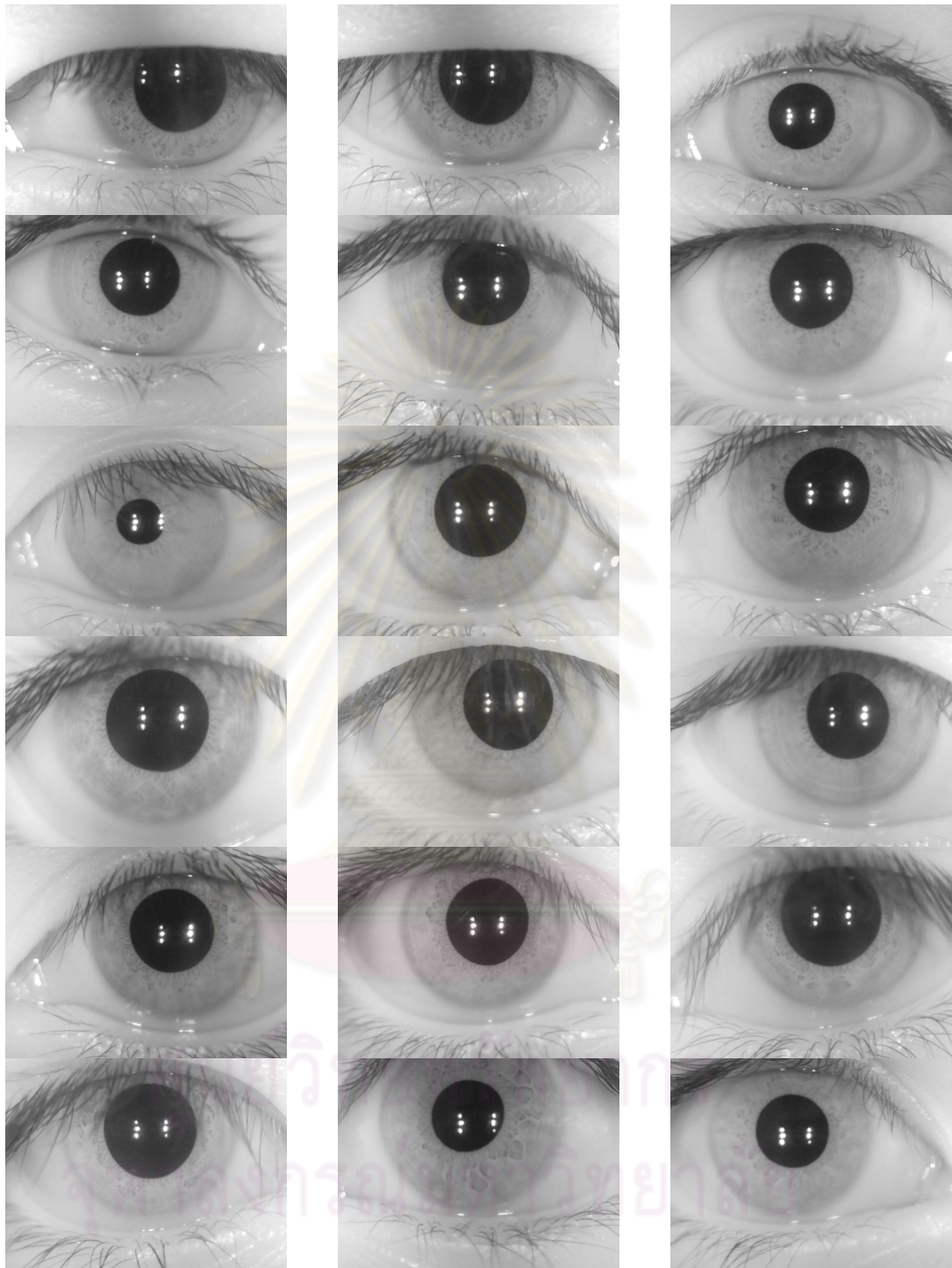


(ข) สภาพแวดล้อมการเก็บภาพตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม

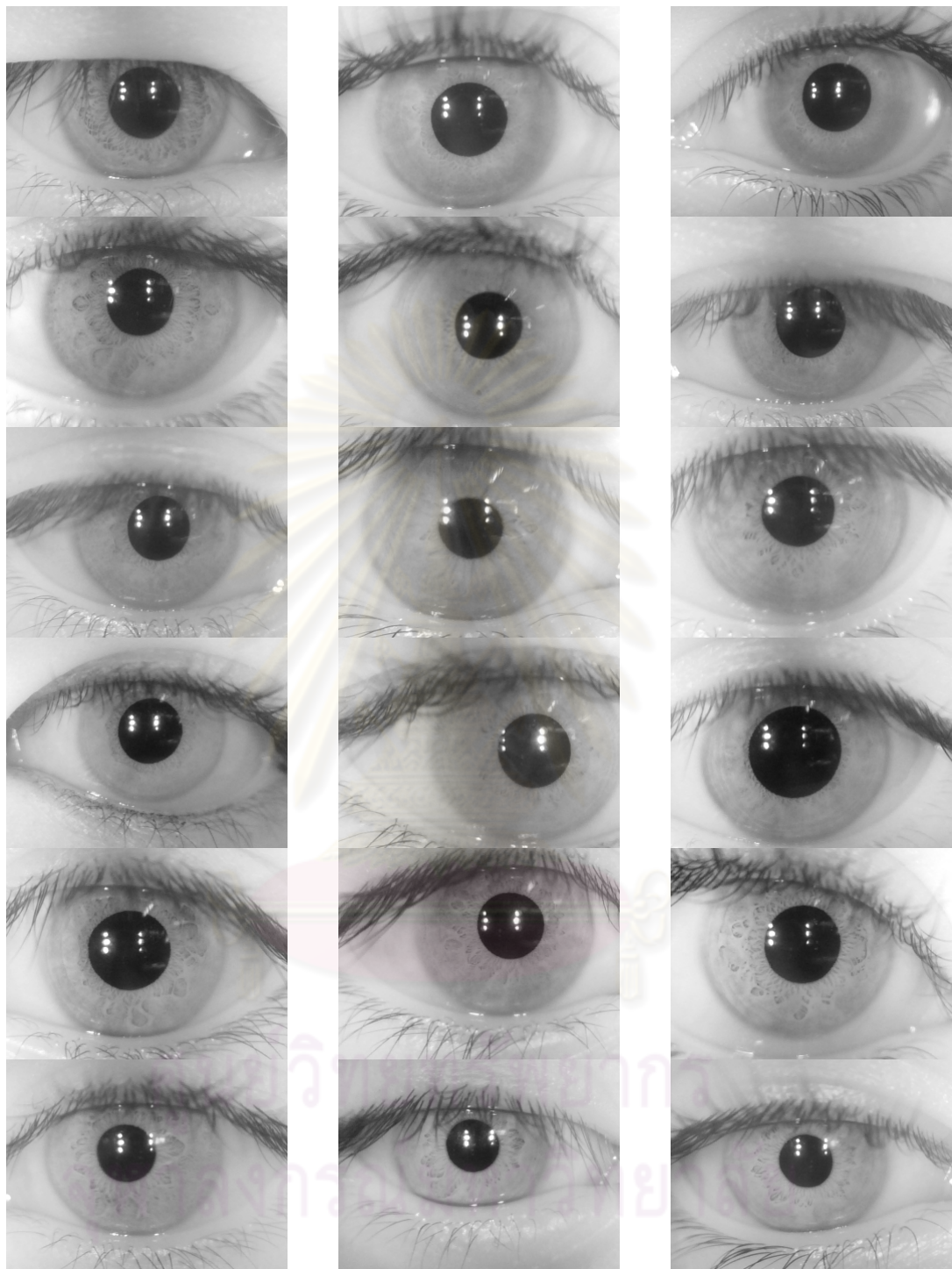
รูปที่ ข.1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บภาพตา



รูปที่ ข.2 การใช้งานอุปกรณ์เก็บภาพในงานวิจัย



รูปที่ ข.3 ตัวอย่างภาพตาที่ไม่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม



รูปที่ ข.4 ตัวอย่างภาพตาที่มีแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม

ภาคผนวก ค

บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง “A Fast Algorithm for Iris Localization” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 12th National Computer Science and Engineering Conference 2008 จัดที่โรงแรมลงปีชการ์เด็น ไฮเทล แอนด์ สปา พัทยา ระหว่างวันที่ 20 - 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of 12th National Computer Science and Engineering Conference 2008 หน้า 406-413
2. บทความเรื่อง “An Iris-Blob Map – A Novel Feature for Iris Pattern Identification” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 6th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering 2009 จัดที่โรงแรมลาгуนา บีช ภูเก็ต ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน – 3 ธันวาคม พ.ศ. 2552 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of 6th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering 2009 หน้า 257-262
3. บทความเรื่อง “An Improvement of Iris-Blob Map Approach for Iris Identification” ได้รับการตอบรับในงานประชุมวิชาการ ECTI-CON 2010 จัดที่โรงแรมเอ็มเพรส เชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 19 – 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2553

A Fast Algorithm for Iris Localization

Ungkarn Jarujareet¹ and Nongluk Covavisaruch².

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

E-mail: ¹ ungnarn.j@student.chula.ac.th and ² nongluk.c@chula.ac.th

Abstract

This paper proposes a fast iris localization algorithm which consumes low computation resources. A pupil's radius is derived based on simple Pythagorean Theorem from a circle segment of an extracted pupil's partial boundary. By referencing the pupil, we extract a few points of the iris's outer boundary on the left-hand and right-hand sides. Linear least square circle is utilized to approximate the radius and center of the iris's outer circle boundary.

In this research, the proposed algorithm is tested with CASIA iris database version 1 and version 3. The average time consumption is 58.87 ms with an accuracy rate of 92.86% for CASIA version 1, and 62.26 ms with 88.89% accuracy for CASIA version 3. Among many popular iris localization algorithms, the proposed algorithm is extremely fast.

Keywords: Iris localization, iris recognition

1. Introduction

Biometric identification system is gaining more and more popularity in today's world. Iris is one of the most accepted characteristics utilized in high security systems. This is because there is no same iris even in identical twins and iris will not change when people are grown up [1].

Human's iris is an annular part between a pupil and a sclera as shown in figure 1 (a). Many structures such as freckles, coronas, stripes, furrows, crypts and so on, generally called iris textures, are laid on the iris. Such structures, which shown in figure 1 (b), provide uniqueness of individuals. That is why iris is one of the selected biometric features. Besides, people do not use knowledge-based and token-based methods, such as password or ID cards which are not reliable, for authentication.

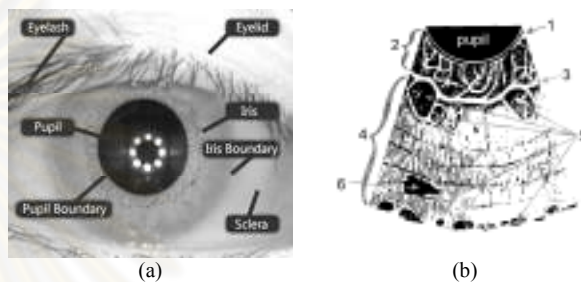


Figure 1. (a) An example of human's eye image [2]. (b) Anterior surface of human's iris (1-pigment frill, 2-pupillary area, 3-collarette, 4-ciliary area, 5-crypts, 6-pigment spot) [3].

A typical iris identification system consists of several processes as follows: Localization, normalization, feature coding and feature matching. Iris localization is an important process of an iris identification system. Not only the accuracy but also the speed of iris localization affect overall performance of such systems. Needless to say that an identification system that spends much time is unfavorable.

Although many iris localization algorithms have been introduced, nearly half of the time in iris identification is spent on iris localization [4]. It is, therefore, needed to reduce the iris localization time especially for the systems that have low processing power such as mobile devices or the systems that require real-time processing.

This paper proposes a fast algorithm for iris localization. Related works are presented in section 2. Section 3 describes our proposed fast algorithm for iris localization. Experiments and results are illustrated in section 4. Finally, section 5 presents our discussions and conclusions.

2. Related Works

This section presents two popular *iris localization methods* and CASIA [2] (the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences) iris database, a popular iris database used in many researches.

2.1. Iris Localization Methods

Iris is usually modeled by two circles; one for pupil's boundary and the other for iris's boundary. These iris models are typically used in iris recognition. This section presents two popular iris localization methods, *Daugman's integro-differential equation* and *circular Hough transform*.

2.1.1 Daugman's Integro-differential equation.

Early iris localization has been developed by John Daugman [5, 6] by applying an integro-differential equation to an eye image. The integro-differential operator is defined by equation 1 as follows.

$$\max_{(r,x_0,y_0)} = \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

Where $I(x,y)$ is an eye image,

r is the radius to search for,

$G_{\sigma}(r)$ is a Gaussian smoothing function,

and s is the contour of the circle given by r, x_0, y_0 .

The operator works as a circular edge detector by varying the centers and radii of many circles.

2.1.2 Circular Hough Transform. Another popular iris localization technique is circular Hough transform [7-9]. Edge points, which are obtained by edge detectors [7-9] in an eye image, are required before applying circular Hough transform. Those edge points are voted in Hough accumulator for circle parameters. Normally, a maximum value in the Hough accumulator gives the best circle defined by the edge points.

Many researches employed circular Hough transform to localize the iris. In 2002 and 2004, L. Ma et al. [10, 11] first approximated region of an iris by projecting the image in horizontal and vertical directions. Then, in this approximated iris region, they obtained the parameters of two circles, pupil and iris's outer boundary, by detecting edges and applying circular Hough transform.

In 2004, R. W. Ives et al. [12] down-sampled the original iris image by a factor of 2 in each direction. Canny edge detection was applied to obtain an edge map of the iris image. A circular Hough transform was then used to find the center of a pupil and its radius. Once the center of the pupil was found, the original image was transformed into resolution invariant polar coordinates using the center of the pupil as the origin. The boundary of the iris was determined by using a

horizontal Sobel filter. Then thresholding was applied to identify glare from reflections, while edge detection was used to identify eyelashes.

However, the algorithms mentioned above are time consuming and resulting in slow iris identification process.

2.2. CASIA Iris Database

CASIA provides the most popular iris database used in many researches. There are two distinct versions which are version 1 and version 3 [2]. In CASIA iris database version 1, pupils are filled with dark color. So there is no reflection from the light sources in the eye image. Consequently, the iris segmentation results are quite good. In CASIA iris database version 3, the pupils are left unfilled. Hence, there are some light reflections in the pupil.

Example images from CASIA iris database version 1 and version 3 are shown in figure 2 (a) and (b) respectively. In this research, both CASIA versions 1 and 3 are used in our experiments.

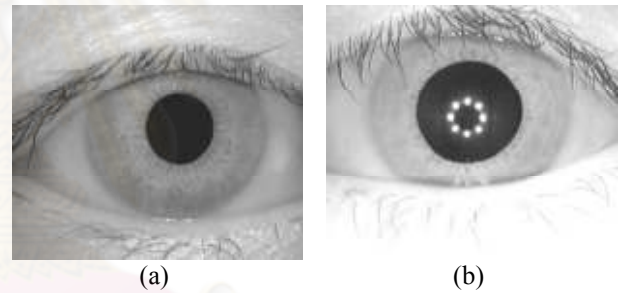


Figure 2. CASIA iris database (a) version 1, and (b) version 3. [2]

3. Our Proposed Algorithm

Since iris is the area between pupil and sclera, it is often localized by seeking the pupil and the outer boundary of iris. Our proposed algorithm follows such concept. It is described in this section in 2 subsections: *localizing a pupil* and *extracting an iris's outer boundary*.

3.1. Localizing a Pupil

Like many other researches, pupil's boundary is estimated as a circle in this paper. Instead of acquiring the center and the radius of a pupil by those mentioned time-consuming algorithms, we apply basic geometry to calculate the pupil's center and radius rapidly. The details are described in this section.

3.1.1 Finding a Seed Point in a Pupil. A point in a pupil can be obtained by using vertical and horizontal gray-level projection profiles of an eye image. A gray-level projection profile is simply the sum of gray levels in a projection direction as demonstrated in figure 3.

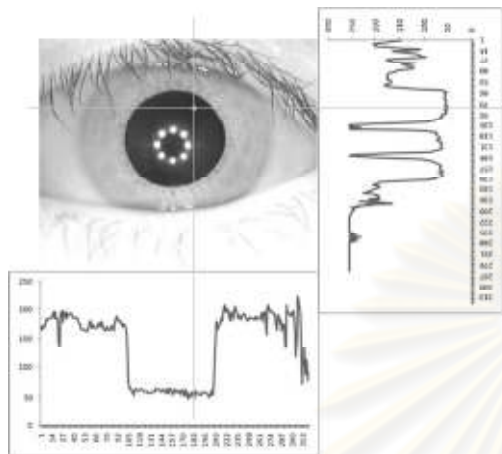


Figure 3. An example of projection profiles of an eye image.

In an eye image, a pupil is the area that has lower sum of gray values than others (e.g. eyelids, iris and sclera) in both directions. A seed point in a pupil, denoted as (x'_{pupil}, y'_{pupil}) , is selected by equations (2) and (3) respectively.

$$x'_{pupil} = \min_x \sum_{y=1}^H I(x, y) \quad (2)$$

$$y'_{pupil} = \min_y \sum_{x=1}^W I(x, y) \quad (3)$$

where $I(x, y)$ is intensity value at location (x, y) ,
 $x = 1, 2, \dots, W$,
 $y = 1, 2, \dots, H$,
 W is image width,
and H is image height.

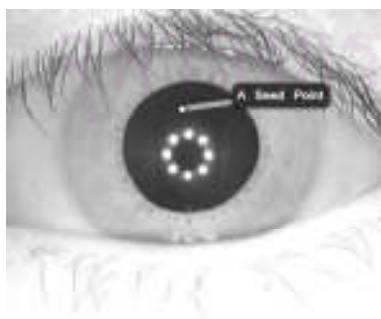


Figure 4. A seed point in a pupil is located by the minimum projection profiles in horizontal and vertical directions.

Figure 4 illustrates an example of a seed point in a pupil obtained by equations (2) and (3).

3.1.2 Finding the Pupil's Radius. As describe above, a pupil's boundary and an iris's boundary can be estimated as circles. An iris's radius can be computed by using a circle's properties as follows.

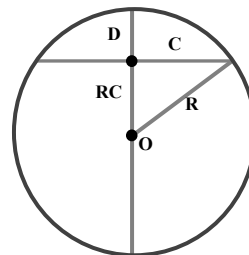


Figure 5. A circle.

From figure 5: $RC + D = R$
 $RC = R - D$

and $RC^2 + C^2 = R^2$

therefore, $(R - D)^2 + C^2 = R^2$

$$R^2 - 2(R)(D) + D^2 + C^2 = R^2$$

$$R = \frac{D^2 + C^2}{2D} \quad (4)$$

where R is a radius of a circle,
 C is a half chord length,
and D is the distance from a midpoint of a chord to an arc of a circle.

Relationships among the obtained seed point, C and D are illustrated in figure 6. If C and D are known, we can compute radius R from equation (4).

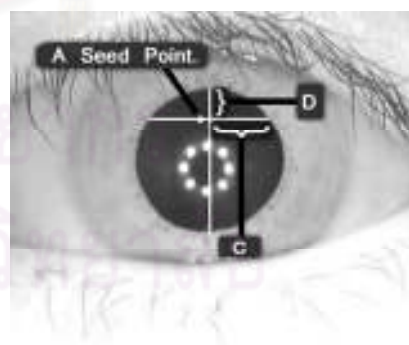


Figure 6. The obtained seed point, C and D in a pupil.

Finding C in a pupil. A horizontal intensity profile can be generated from the original image intensity at row

y'_{pupil} and x_i , where $i = 0, 1, 2, \dots, W$. Then we binarize the image by thresholding.

Figure 7 shows an intensity profile at y'_{pupil} and a threshold value.

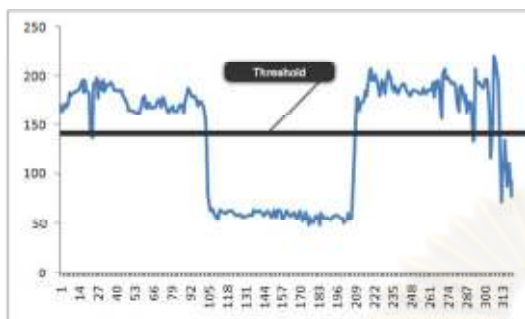
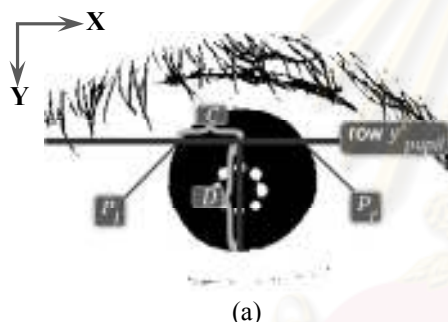
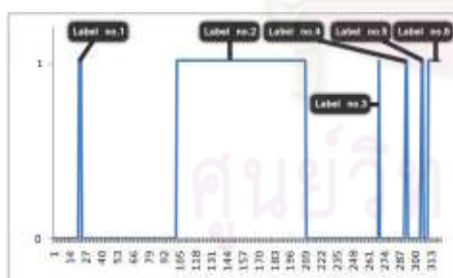


Figure 7. Horizontal intensity profile at y'_{pupil}

Figure 8 (a) represents the binarized eye image from thresholding. The dark areas at row y'_{pupil} are labeled as shown in figure 8 (b).



(a)



(b)

Figure 8. (a) A binarized eye image and the line marked at y'_{pupil} . (b) Labels of the dark areas at row y'_{pupil}

It is most likely that the biggest label, which has the longest length, is in the pupil area while other labels are not. However, if the obtained seed point is in the white spots in the pupil, some other connected labels may also be parts of the pupil. In this case, small labels, which are less than 20% of the biggest one, are eliminated and

then all the rest labels are merged to form a chord (or line segment) of the pupil, P_1P_2 . C is simply half of this chord. Both P_1P_2 and C are shown in figure 8 (a).

Finding D in a pupil. is the distance from the center of P_1P_2 to the pupil's boundary. It can be obtained by the same way as finding C , but with a vertical intensity profile constructed at column x'_i and y_i , where $i = |H - y'_{pupil}|, \dots, H$. The reason that i starts from $|H - y'_{pupil}|$ is because we avoid the occlusion from eyelashes. D is also shown in figure 8 (a).

At this point, we obtain the pupil's center $(X_{c,pupil}, Y_{c,pupil})$ and its radius, R_{pupil} .

3.2. Extracting an Iris's Outer Boundary

Iris's outer boundary is difficult to localize because of the low contrast between white sclera and iris. To determine an iris's outer edge points, a variance filter is applied to the image in the same image rows as the detected pupil. However, some of these detected edge points may not belong to the iris's edge. We, therefore, introduce a new method to classify these edge points as the iris's edge. Finally, a linear least square circle is approximated for the iris outer boundary.

3.2.1 Locating iris's edge points. Generally, high contrast in an image indicates edge areas. In this research, we use a variance filter which calculates a variance in a specified window/mask to measure contrast within the mask. Noise is removed by Gaussian filter, as shown in figure 9 (a), before applying a variance filter. Moreover, in order to reduce time consumption, we apply a variance filter only at the image rows of the detected pupil. Figure 9 (b) illustrates a variance filtered image.

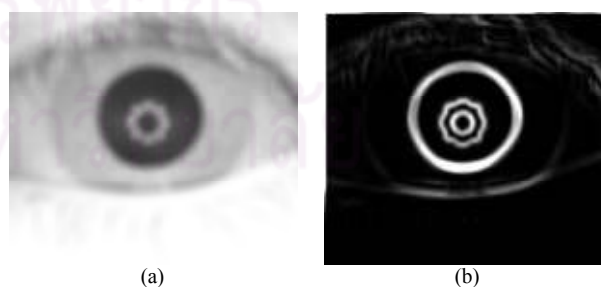


Figure 9. An eye image after applying (a) a Gaussian filter, and (b) then a variance filter.

Since iris's boundary is not as sharp as pupil's edge, variance values in iris's boundary are less than those of pupil's edge. In addition, variance values at high

contrast areas are normally much higher than the maximum gray value of an image. Therefore, we select to clip the variance values at the maximum gray value and set the variance values to integer in order that a variance image can be displayed as shown in figure 9 (b).

In a pupil's variance image from row $(Y_{c,pupil} - R_{pupil})$ to row $(Y_{c,pupil} + R_{pupil})$, we search for two maximum variance values for each row. The first one on the left of pupil is between 0 and $(Y_{c,pupil} - R_{pupil})$, and the second one on the right, between $(Y_{c,pupil} + R_{pupil})$ and W . An example of the detected edge points is illustrated in figure 10.

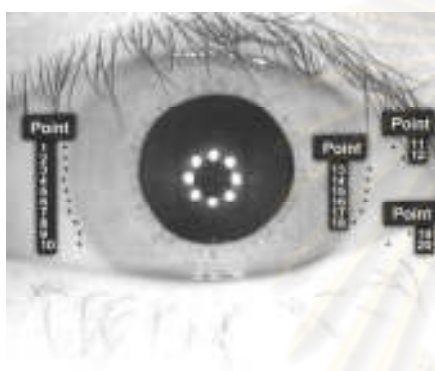


Figure 10. Detected edge points.

3.2.2 Edge points classification. As mentioned earlier, some of these detected edge points may not belong to the iris's edge. We introduce a "relation table" to classify whether the detected edge point belongs to the iris's boundary.

A "relation table" is used to classify edge points. It shows which group an edge point belongs to by comparing the distance between each pair of edge points. If the distance is less than threshold, the two edge points are related. In this research, there are only 2 edge points detected per a row in the variance image, one on the left hand side of the pupil, and the other, on the right. Therefore, in order to accelerate the computation process, we choose to compute the x-position difference of 2 points instead of using other distances that need more computation (e.g. Euclidean distance.)

A relation table is constructed with 1's and 0's where "1" represents "related", and "0", "non-related". Sums of the relations are presented at the bottom of each column. These sum values indicate which group each point belongs to as well as the number of points each group contains. The maximum sum also indicates the biggest group. Due to its low complexity, a relation table benefits computation time of classifying edge points.

For example in figure 10, table 1 represents the relations of points 1 to 10. The sum values are all 10. It means that all 10 points are related and hence, there is only one group of related points. Table 2 represents the relation of points 11 to 20. There are 2 sum values, 4 and 6. Points 11, 12, 19 and 20 are 4 related points and classified as the same group. On the other hand, points 13 to 18 are classified as 6 related points in the other group. Hence, the detected points which are classified as the iris's outer boundary are as shown in figure 11.

Table 1. Relation table of points 1 to 10.

Point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
sum	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Table 2. Relation table of points 11 to 20.

Point	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
12	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
13	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
14	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
15	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
16	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
17	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
18	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
20	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
sum	4	4	6	6	6	6	6	6	4	4

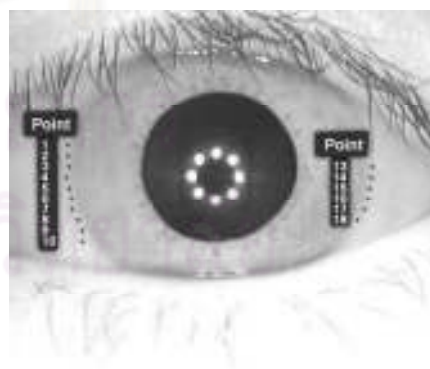


Figure 11. Results of the classified iris's outer boundary edge points by using relation table.

3.2.3 Linear least square circle [13, 14]. The iris's outer boundary edge points are used to approximate a circle. Even though non-linear least square method can better estimate a circle than a linear method, it takes more time for processing. In this research, we choose to use linear least square method to calculate our circles. In our experiments, we found that the results are not much different from a non-linear method.

A circle equation is not linear but it can be written in a linear form as shown in equation (6).

$$F(x, y) = A(x^2 + y^2) + Bx + Cy = 1 \quad (6)$$

where $A = \frac{1}{r^2 - x_0^2 - y_0^2}$,

$$B = \frac{-2x_0}{r^2 - x_0^2 - y_0^2},$$

$$C = \frac{-2y_0}{r^2 - x_0^2 - y_0^2}.$$

(x_0, y_0) is the center of a circle
and r is its radius.

For the 3 unknown parameters, x_0, y_0 and r , it can be written by equations 7 to 9 as follows.

$$x_0 = \frac{-B}{2A} \quad (7)$$

$$y_0 = \frac{-C}{2A} \quad (8)$$

$$r = \frac{\sqrt{4A^2 + B^2 + C^2}}{2A} \quad (9)$$

From the linear circle equation, a Jacobian matrix is shown in equation 10.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial A} & \frac{\partial F_1}{\partial B} & \frac{\partial F_1}{\partial C} \\ \frac{\partial F_2}{\partial A} & \frac{\partial F_2}{\partial B} & \frac{\partial F_2}{\partial C} \\ \frac{\partial F_3}{\partial A} & \frac{\partial F_3}{\partial B} & \frac{\partial F_3}{\partial C} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_n}{\partial A} & \frac{\partial F_n}{\partial B} & \frac{\partial F_n}{\partial C} \end{bmatrix} \quad (10)$$

For the linear least square, the residual vector is

$$K = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

Then unknown parameters, A, B and C, can be solved by equation 11.

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = (J^T J)^{-1} J^T K \quad (11)$$

4. Experiments and Results

4.1. Details of our Experiments

The algorithm program is implemented in C++ with Intel OpenCv [15] and CxImage [16] library. Program is run on a laptop with a AMD Athlon64 X2 1.8GHz.

There are 756 image files from CASIA iris database version 1 and 2,655 images from version 3. These images are tested with our proposed method and two popular iris localization algorithms. The first approach consists of using circular Hough transform to extract pupil, and integro-differential equation to extract iris's outer boundary. The second one is traditional circular Hough transform. The results are compared with our proposed algorithm.

4.2. Iris Localization Result Evaluation Criteria

In our experiments, an iris is considered as "correctly localized" if both the pupil and iris circles fit or closely fit the ground truths. That is, if only one or neither circle fits the ground truth, it is considered as "incorrect". Therefore, incorrect results can be divided into 3 cases; case (1) incorrect iris's outer boundary; case (2) incorrect pupil's boundary; and case (3) incorrect for both pupil's and iris's boundaries.

Examples of correct cases, that both obtained circles fit the pupil's and iris's outer boundaries, are demonstrated in figures 12 (a) and 13 (a) for version 3 and 1 respectively.

Incorrect cases are illustrated as follow: incorrect iris's outer boundaries are shown in figures 12 (b) and 13 (b); incorrect pupil's boundary is shown in figure 12 (c); and lastly, incorrect localization for both pupil's and iris's boundaries are shown in figures 12 (d) and 13 (c).

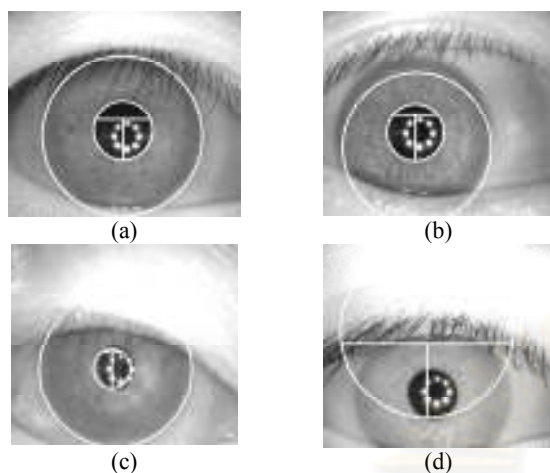


Figure 12. Examples of iris localization results from CASIA iris database version 3. (a) a correct result (b), (c) and (d) incorrect results.

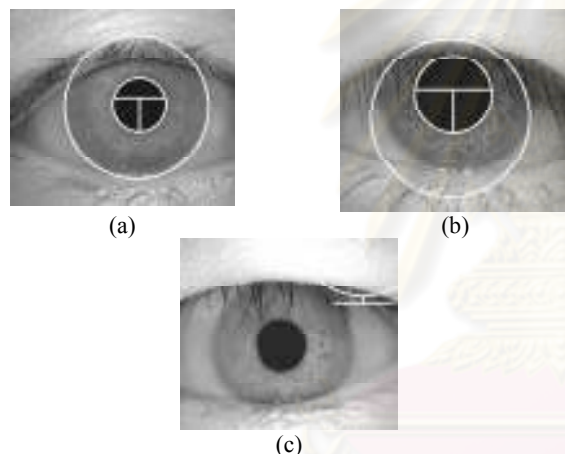


Figure 13. Examples of iris localization results from CASIA iris database version 1. (a) a correct result. (b) and (c) incorrect results.

4.3. Experimental Results

Referring to our evaluation criteria, table 3 shows the details of the results from our proposed method.

Table 3. Results of our proposed iris localization method applied with CASIA iris database version 1 and 3.

		CASIA version 1	CASIA version 3
Incorrect localization (images)	Case 1	46	33
	Case 2	0	115
	Case 3	8	155
	Total	54	303
Correct localization (images)		702	2,352
TOTAL (images)		756	2,655

- Case (1): incorrect iris's outer boundary;
 Case (2): incorrect pupil's boundary;
 Case (3): incorrect for both pupil's and iris's boundaries.

Table 4 illustrates the comparisons of processing time and the correctness of iris localization results from all 3 methods.

Table 4. Comparisons of three iris localization methods with CASIA iris database version 1 and 3.

	CASIA version 1		CASIA version 3	
	Average time (ms)	Correctness (%)	Average time (ms)	Correctness (%)
Method 1.*	5,667.00	95.77	12,081.30	95.40
Method 2.**	22,343.75	93.51	N/A ***	N/A ***
Our proposed method	58.87	92.85	67.26	88.89
Method 1 : our method	9.62 : 1.00	1.03 : 1.00	179.62 : 1.00	1.07 : 1.00
Method 2 : our method	379.54 : 1.00	1.01 : 1.00	N/A ***	N/A ***

* Method 1: Using circular Hough transform to extract pupil, and integro-differential equation to extract iris's outer boundary.

** Method 2: Traditional Circular Hough transform method.

***N/A: No correct iris localization can be achieved.

5. Discussions and Conclusions

From the experimental results in table 4, experiments on CASIA iris database version 1 shows that our proposed iris localization algorithm works 9.6 times faster than using Method 1 (circular Hough transform and integro-differential equation), and about 380 times faster than Method 2 (traditional circular Hough transform). The correctness ratio of Method 1 to our method is 1.03:1.

When tested with CASIA version 3, which consists of eye images with glare and light reflection, it is found that Method 2 cannot provide correct iris localization. Our proposed method runs about 180 times faster than Method 1. The correctness ratio of Method 1 to our method is 1.01:1.

Our proposed approach works fast compared with the other 2 methods is due to many reasons. Firstly, we limit our ROI (region of interest) by avoiding obstacles, such as eyelid and eyelashes, so that the result is not disturbed by those obstacle edge points. Consequently, a lot of edge points are eliminated from the next process. Secondly, we carefully select only a few high-potential pixels of pupil's and iris's outer boundaries to approximate pupil's and iris's circles. Lastly and most importantly, the linear least square circle method that is

used to approximate circles in our research works extremely fast compared with Hough transform.

Acknowledgements

The authors thank CASIA (Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences) for the iris image database.

References

- [1] J. Daugman and C. Downing. "Epigenetic randomness, complexity and singularity of human iris patterns", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2001.
- [2] CASIA Iris database 2007 [cited 2007; Available from: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>].
- [3] A. Muroň and J. Pospíš, "The Human Iris Structure and Its Usage", *Physica*. 39: p. 87-95, 2000.
- [4] X. Ye, Z. Zhuang, and Y. Zhang. "A New Fast Algorithm of Iris Location", *Computer Engineering and Applications*, 2003.
- [5] J. Daugman, "How Iris Recognition Works", *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*. 14(1), 2004.
- [6] S.P. Narote, A.S. Narote, and L.M. Waghmare, *An Automated Iris Image Localization in Eye Images used for Personal Identification*. 2006.
- [7] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*: Prentice-Hall, Inc., 2002.
- [8] R. Jain, R. Kasturi, and B.G. Schunck, *Machine Vision*: McFraw-Hill, Inc., 1995.
- [9] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. 3 ed: Thomson, 2008.
- [10] L. Ma, W. Yunhong, and T. Tan, *Iris Recognition Using Circular Symetric Filters*. 2002.
- [11] L. Ma, et al., "Local intensity variation analysis for iris recognition", *Pattern Recognition*. 37: p. 1287-1298, 2004.
- [12] R.W. Ives, A.J. Guidry, and D.M. Etter, *Iris Recognition using Histogram Analysis*. 2004.
- [13] W. Gander, G.H. Golub, and R. Strelbel. "Least-Squares Fitting of Circles and Ellipses", *BIT*, 1994.
- [14] D. Manthey, *General Least-Square - Direct Solutions and Bundle Adjustment*. 2005.
- [15] Intel. *OpenCv*. 2008 [cited 2008; Available from: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>].
- [16] D. Pizzolato. *CxImage*. 2008 [cited 2008; Available from: <http://www.xdp.it/cximage.htm>].

An Iris-Blob Map - A Novel Feature for Iris Pattern Identification

Ungkarn Jarujareet

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand
ungkarn.j@student.chula.ac.th

Nongluk Covavisaruch

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

Abstract—This paper proposes ‘iris-blob map’ as a new feature for iris identification using Difference of Gaussians technique. After localizing iris in an eye image, iris portion is unwrapped by transforming from a Cartesian-coordinate image to a polar-coordinate image. In this work, four different levels of blurriness of an iris image are applied with the (DoG) for enhancing the iris texture. After thresholding the DoG images, texture blobs (or regions) are located and bounded by rectangles. Occlusions from eyelid and eyelashes are filtered out. Our iris feature is a map (or template) consisting of iris structure bounding rectangles. The proposed identification method is tested with CASIA database versions 1.0 and 3.0. Computational times on a one-to-one matching are 116.13 ms and 174.52 ms while the EER’s are 6.72% and 7.28% respectively.

Keywords—component; Iris-blob Map; Iris identification; Difference of Gaussians; Feature Extraction.

I. INTRODUCTION

Highly distinctive human iris pattern becomes very attractive in today’s biometric security system. It offers much more advantages than other biometric feature such as face and palm print because iris texture pattern remains stable throughout adult life and the physical complexity of iris texture pattern is statically unique.

An iris recognition system generally composes of the following processes: iris preprocessing, feature extraction and feature matching. Iris preprocessing typically includes iris localization, Cartesian-to-Polar coordinate transformation and image enhancement. Iris feature is then extracted. Lastly, matching score of iris feature is usually determined in the feature matching process.

In practice, iris image is often occluded by eyelid and eyelashes. These affect iris localization and bring difficulties to feature extraction. Moreover, environmental changes, such as different illumination, can also cause problems in a captured iris image. This paper proposes to use Difference of Gaussians (DoG) to solve those occlusions of eyelid and eyelashes and also of illumination changes.

II. BACKGROUND

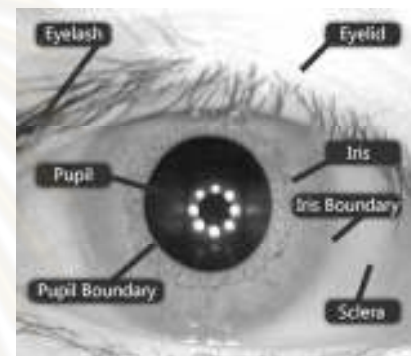


Figure 1. Example of an eye image.

Iris is an annular part between pupil and sclera which is depicted in Fig. 1. An iris texture is composed of freckles, coronas, stripes, furrows and crypts. Iris begins to form during the third month of gestation. The structure is completely formed by the eighth month of gestation, nevertheless pigmentation continues into the first year after birth [1]. The most important function of an iris is to control the size of a pupil by Sphincter and Dilator muscles.

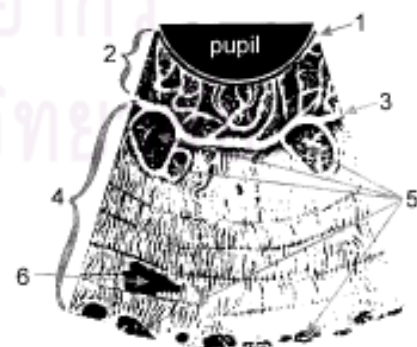


Figure 2. Iris surface. (1-pigment frill, 2-pupillary area, 3-collarette, 4-ciliary area, 5-crypts, 6-pigment spot) [1]

Iris is a multilayered texture; the surface texture of an iris is shown in Fig. 2. This texture is unique and remains stable

throughout an adult life. Therefore, a unique iris texture is eligible to be used as a biometric template.

III. RELATED WORKS

Many iris recognition approaches have been proposed for capturing iris texture patterns which are generated by chaotic processes [1]. Structural elements in an iris can moderately be disturbed by visible light. Therefore, iris recognition using iris images taken with near infrared light is much easier than that with visible light [2]. It should be noted that, all of the following research used near infrared gray images.

In 1993, J. Daugman [3] used integro-differential equation to detect an iris. It was converted from Cartesian to polar coordinate and represented in a rectangular form. A 2D Gabor filter was used to extract iris texture phase information. An iris-code was generated using phase quantization. The difference of a pair of iris-code was compared by Hamming distance. It should be noted that this research is perhaps the most widely referenced in this field of research.

In 2005, G. Gupta et al. [4] localized an iris by using integro-differential equation and converted it from Cartesian to polar coordinate. Iris texture was extracted by GLCM (Gray-level Co-occurrence Matrix). Seven features, which included energy, contrast, correlation, homogeneity, autocorrelation, dissimilarity and inertia, were weighted before matching with Euclidean distance. This method was invariant to iris rotation and resulted in Equal Error Rate (EER) of 9.32% for CASIA database version 1.0.

In 2005, P. Ariyapreechakul et al. [5] detected iris boundary using vertical and horizontal projection profiles followed by circle detection. The partial iris areas on the right side (-45 to 45 degrees) and on the left side (135 to 255 degrees) were transformed into polar-coordinate images and concatenated. Radon transform was used for feature extraction. Feature matching of two iris templates was done with Euclidean distance. The EER of this method was 18% for CASIA iris database version 1.0. In 2007, they proposed an improvement of their work by separately extracting iris features from two partial iris images instead of using the concatenated partial iris images [6]. Furthermore, all polar-coordinate iris images in the database were normalized. The last improvement was that Radon transform was performed over binary partial iris images instead of gray-level partial iris images. The improved method reduced EER from 18% to 3.69%.

In 2006, S. M. Elsherif et al. [7] used Canny edge detection and circular Hough transform to locate an iris. Iris features were extracted by using 2D Haar wavelet transform and compared with Hamming distance. This method was tested on CASIA database version 1.0 and UBIIRIS database. Recognition rates were 97.2% and 85.1% respectively.

In 2007, J.-G. Ko et al. [8] isolated iris region from an eye image with integro-differential equation. In order to avoid eyelid and eyelashes, only partial iris on the right side (45 to 315 degree) and the left side (135 to 225 degree) were transformed into polar-coordinate images. The two partial iris images were enhanced to improve its contrast before extracted feature using cumulative sum. Iris features were compared

with Hamming distance. This method was tested with CASIA database version 1.0 and recognition rate was reported at 98.21%.

IV. OUR PROPOSED METHOD

This paper proposes a novel feature for iris pattern identification called an 'iris-blob map'. Iris is rapidly localized by our inexpensive method [9] which will be briefly described later in this section. After the iris segment is unwrapped, detailed structures of iris images are enhanced with Difference of Gaussians (DoG). Blob detection is performed to locate these structures. Since the blobs (or detailed structures) consist not only of iris but also of eyelid and eyelashes, we can easily filter out eyelid and eyelashes by the sizes of these blobs. In this research, we choose to keep all the bounding rectangles of iris structure blobs as our feature. Lastly, feature matching score is calculated based on the numbers of corresponding (or aligned) and non-corresponding (or unaligned) blobs.

A. Iris Preprocessing

From our previous work [9], we have proposed a fast algorithm for iris localization. It is done by deriving a pupil's radius based on simple Pythagorean Theorem from a circle segment of extracted pupil's partial boundary. A few points on the iris's outer boundary are extracted by referencing the pupil. Then, from these points, the radius and center of iris's outer circle can be calculated by a linear least square circle.

After pupil and iris's outer boundary are localized, a Cartesian-to-Polar coordinate transformation is performed. In this research, the iris segment is unwrapped from a circular iris portion to a rectangular image by using *homogeneous rubber sheet model* [10] as shown in Fig. 3. Homogeneous rubber sheet model is a function that reduces an effect on pupil dilation and contraction caused by illumination changes. In addition, a pair of fixed size rectangular images which obtained by homogenous rubber sheet model are comparable. Homogenous rubber sheet model is defined as in equations (1) to (3). An example from iris pre-processing is illustrated in Fig. 4.

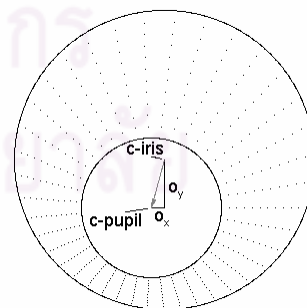


Figure 1. Homogenous rubber sheet model.

$$r' = \sqrt{\alpha\beta} \pm \sqrt{\alpha\beta^2 - \alpha - r_{Iris}^2} \quad (1)$$

$$\alpha = o_x^2 + o_y^2 \quad (2)$$

$$\beta = \cos\left(\pi - \tan^{-1}\left(\frac{o_y}{o_x}\right) - \theta\right) \quad (3)$$

Where o_x, o_y is a displacement of the center of a pupil relative to the center of an iris.
 r' is the distance between the edge of a pupil and edge of an iris at an angle θ .
 r_{Iris} is the radius of an iris.

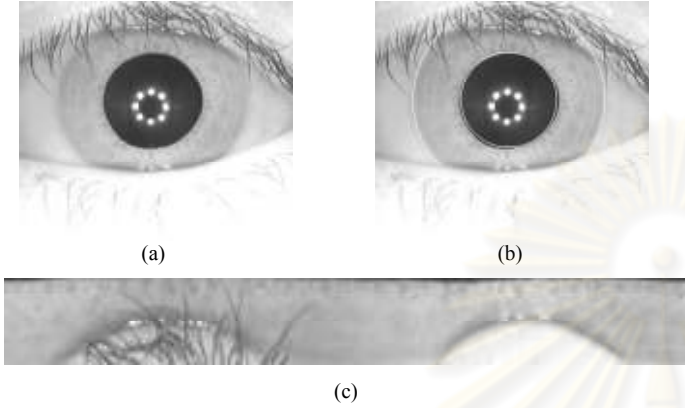


Figure 1. Iris preprocessing: (a) Original image; (b) iris localized image; (c) an unwrapped image.

A. Feature Extraction

From the unwrapped image, we use DoG to enhance the iris's structures. Blob detection is applied to locate such structures. All blobs are bounded with rectangular shape. Feature extraction is composed of two processes as follows.

1) *Difference of Gaussians*: The iris unwrapped image is first blurred by Gaussian kernel of a certain σ . A Gaussian kernel is as defined in equation (4)

$$G_{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Where σ is standard deviation of a Gaussian kernel.

x, y is the position of a peak of Gaussian kernel

“Difference of Gaussians” is simply the difference of two Gaussian blurred images. Its convolution kernel is as defined in equation (5).

$$DoG \triangleq G_{\sigma_1} - G_{\sigma_2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{1}{\sigma_1} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_1^2}} - \frac{1}{\sigma_2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_2^2}} \right] \quad (5)$$

Where σ_1, σ_2 are standard deviations of Gaussian kernels 1 and 2, respectively.

x, y is the position of a peak of Gaussian kernel

2) *Feature selection*: An unwrapped iris image is applied with DoG to enhance the iris structures. In this research, an input image, as shown in Fig. 4(c), is blurred by

Gaussian filter of 4 different σ 's and resulting in 4 blurred images as shown in Fig. 5 (a) – (d). Fig. 5 (f) – (h) are the results of applying the DoG on these blurred images. The intensity of each DoG image are stretched from range $[a, b]$ to a full gray scale, let's say $[0, 255]$, then thresholding is performed. The next step is to ‘AND’ all three binary images to form one iris structure image. At this stage, iris structures are enhanced.

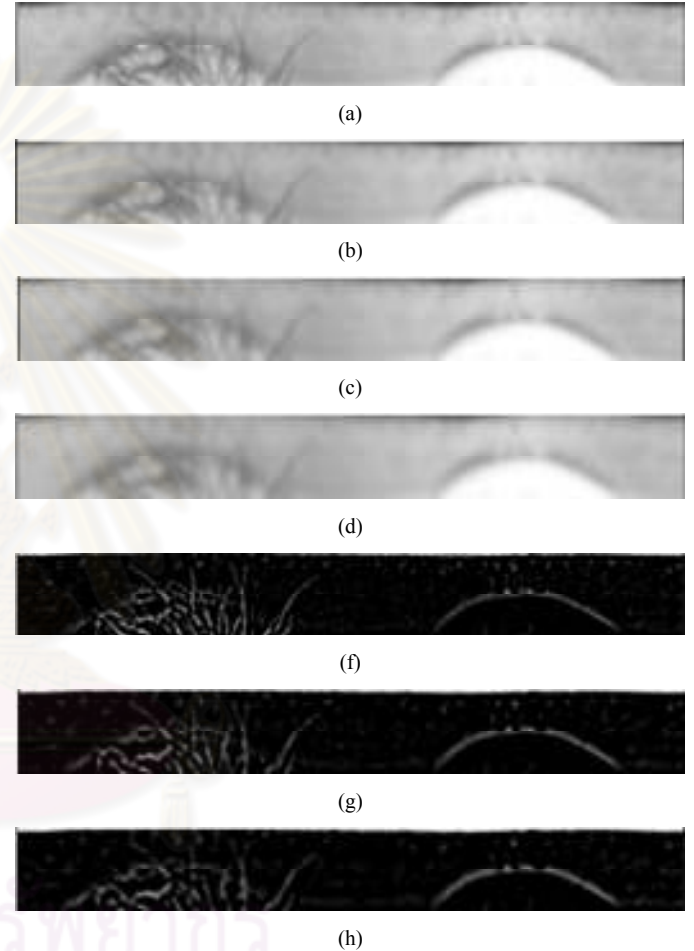


Figure 2. Feature enhancement process: (a) a Gaussian blurred image using a 5x5 Gaussian kernel with $\sigma = 2$; (b)-(g) Gaussian blurred images using 5x5 Gaussian kernel with doubling σ respectively; (f) is the difference between (b) and (a); (g) is the difference between (c) and (b); and (h) is the difference between (d) and (c).

The structures in the enhanced image are detected with blob detection and also bounded with rectangles as shown in Fig. 6. As mentioned earlier, the detected blobs consist not only of the iris but also of the eyelid and the eyelashes; we use the rectangle's width, height and area to get rid of the eyelid and the eyelashes. The result is our iris feature which is an iris-blob map or a template consisting of iris texture bounding rectangles.

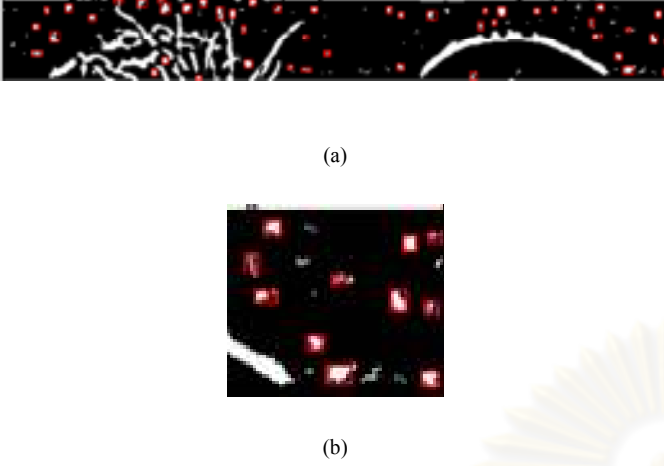


Figure 1. Detected iris structure: (a) iris structures are bounded with red rectangle in an unwrapped iris structure image; (b) a portion of image (a) is enlarged for a clearer view.

A. Feature Matching

In the feature matching process, iris templates consisting of iris structure bounding rectangles from two iris images are matched. We count the number of corresponding bounding rectangles (or those that have the same locations) and the number of non-corresponding bounding rectangles (or those that have different locations). Then we calculate the matching score from equation 6. The more matching score is, the more similar the two iris's are.

$$\text{Matching Score} = \frac{\text{number of the same location rectangles}}{\text{the rest of non matched rectangles}}. \quad (6)$$

In this research, two iris structure bounding rectangles have the same location if they have two properties which are shown in equation (7) and (8).

$$r_1 \cap r_2 \neq \emptyset \quad (7)$$

And

$$\text{Euc}(C_{r_1}, C_{r_2}) < \text{threshold} \quad (8)$$

Where r_1, r_2 are rectangles from iris template 1 and 2 respectively.

C_{r_1}, C_{r_2} are centroids of rectangles 1 and 2 respectively.

$\text{Euc}(\cdot, \cdot)$ is Euclidean distance function.

In the other words, two iris structure bounding rectangles overlap and Euclidean distance of the centroids of each rectangle is within a threshold range as shown in Fig. 7.

In the case that there are more than 2 rectangles overlap, the two rectangles (from different templates) with least Euclidean distance will be chosen as the corresponding iris structure as shown in Fig. 8. Euclidean distance is calculated by equation 9.

$$\text{Euclidean Distance } (d) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (9)$$

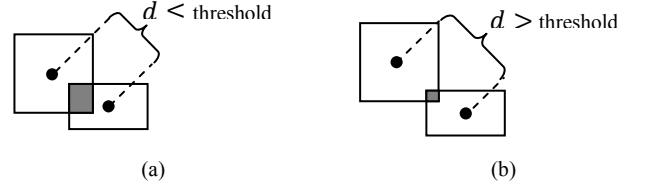


Figure 2. Two overlapped rectangles from two different iris templates: (a) Two rectangles correspond if Euclidean distance is less than or equal to threshold; (b) Two rectangles do not correspond if Euclidean distance is greater than threshold.

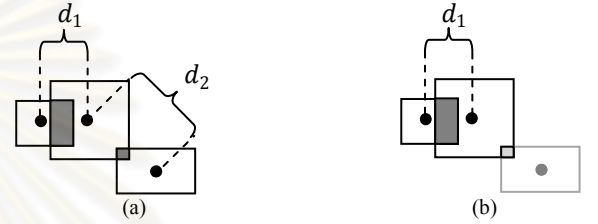


Figure 3. More than two overlapped rectangles from different iris templates: (a) Three overlapped rectangles from three different iris templates; (b) Two overlapped rectangles correspond with least Euclidean distance d_1 .

V. EXPERIMENTS AND RESULTS

The iris images used in our experiments are from CASIA databases versions 1.0 and 3.0 [11]. CASIA database version 1.0 contains 756 eye images of 108 people. Each person has seven images. CASIA database version 3.0 contains 2,655 images of 249 people. Fig. 9 illustrates example eye images of CASIA databases. It is noted that, the main difference between these two sets of eye images is in the pupil areas. There are reflecting lights in the images of CASIA version 3.0 while there is none in CASIA version 1.0. It is also noticed that CASIA version 3.0 contains several sloped eye images. Examples are as shown in Fig. 9 (c) and (d).

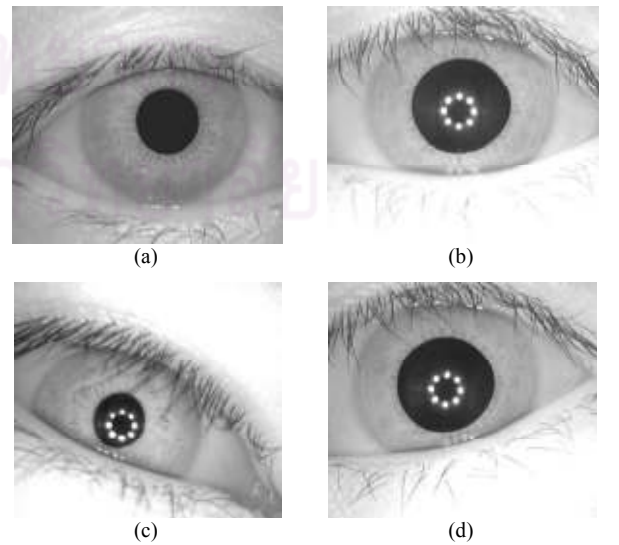


Figure 4. Examples of CASIA database: (a) Version 1.0; (b) Version 3.0; (c)-(d) are sloped eye images from CASIA database version 3.0.

The algorithm of this proposed method is implemented with Microsoft Visual C++.Net and Intel OpenCV [12] and run on a 1.8 GHz laptop processor with 2 GB memory storage. Table 1 illustrates our detail computational time. It should be noted here that feature extraction process includes feature enhancement process.

TABLE I. COMPUTATIONAL TIME ON CASIA VERSION 1.0 AND 3.0

Process	Computational Time (ms)	
	CASIA 1.0	CASIA 3.0
Iris localization	58.87	67.26
Catesian-to-Polar coordinate conversion	55.37	
Feature extraction	16.69	
Feature Matching (1:1)	35.20	
Total	116.13	174.52

The evaluation of our proposed iris pattern identification method is measured by False Acceptance Rate (*FAR*), False Rejection Rate (*FRR*) and Equal Error Rate (*EER*). The *FAR* and *FRR* are computed by equations (10) and (11) respectively. *EER* is where the (*FAR*) equals (*FRR*).

$$FAR (\%) = \frac{\text{number of false acceptances}}{\text{number of total imposter attempts}} \times 100 \quad (10)$$

$$FRR (\%) = \frac{\text{number of false rejections}}{\text{number of total authentic attempts}} \times 100 \quad (11)$$

The *FAR*'s, *FRR*'s and *EER*'s tested with CASIA versions 1.0 and 3.0 in our experiments are shown in Fig. 10 and Fig. 11 respectively.

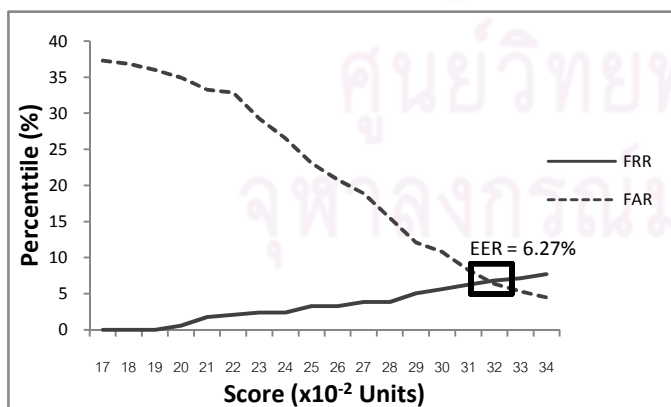


Figure 1. FAR and FRR tested with CASIA version 1.0.

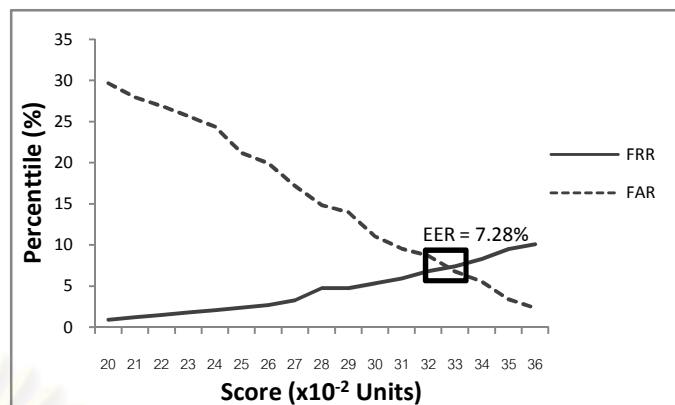


Figure 2. FAR and FRR tested with CASIA version 3.0.

VI. DISCUSSIONS AND CONCLUSION

This paper proposes a method for iris pattern identification by a new feature, an iris-blob map. The iris structures are enhanced with DoG, and as a result, it is robust to illumination changes. With this method, occlusions such as eyelid and eyelashes can be easily eliminated. An iris-blob map, our proposed iris feature template, is a map of iris structure bounding rectangles. Matching score is calculated by the ratio of the number of corresponding bounding rectangles to the number of non-corresponding ones. The more the matching scores is, the more similar the iris patterns are.

From our experiments, it is found that the proposed method works well, with *EER*'s equal 6.72% and 7.28% for CASIA database version 1.0 and CASIA version 3.0 accordingly. The method also works fast. On a one-to-one matching basis, overall computational time is 116.13 ms for CASIA database version 1.0, and 174.52 ms for CASIA version 3.0. The iris localization method, which is adopted from our previous work [9], works fast and hence, speeds up the whole identification process. In addition, the proposed iris feature is simple and needs little computational resources. Therefore, the processes of feature extraction and matching are also fast.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to CASIA (Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences) for the iris image databases.

REFERENCES

- [1] A. Muroň and J. Pospíš, "The Human Iris Structure and Its Usage," *Physica*, vol. 39, pp. 87-95, 2000.
- [2] K. Grabowski, W. Sankowski, M. Zubert, and M. Napieralska, "Illumination influence on iris identification algorithms," 15th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, 2008, pp. 571-574.
- [3] J. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 15, pp. 1148-1161, 1993.
- [4] G. Gupta and M. Agarwal, "iris recognition using non filter-based technique," *Proceedings of Biometric Consortium*, Arlington, VA, 2005, pp. pages 45-47.

- [5] P. Ariyapreechakul and N. Covavisaruch, "Personal Verification and Identification via Iris Pattern Using Radon Transform," The first National Conference on Computing and Information Technology, Nontaburi, 2005, pp. pp. 287-292. (in Thai)
- [6] P. Ariyapreechakul and N. Covavisaruch, "An Improvement of Iris Pattern Identification Using Radon Transform," Transaction on Computer and Information Technology. ECTI, vol. 3, pp. pp.45-50, 2007.
- [7] S. M. Elsherief, M. E. Allam, and M. W. Fakh, "Biometric Personal Identification Based on Iris Recognition," The 2006 International Conference on Computer Engineering and Systems, 2006, pp. 208-213.
- [8] J.-G. Ko, Y.-H. Gil, J.-H. Yoo, and K.-I. Chung, "A Novel and Efficient Feature Extraction Method for Iris Recognition," ETRI Journal, vol. 29, 2007.
- [9] U. Jarujareet and N. Covavisaruch, "A Fast Algorithm for Iris Localization," NCSEC2008, Pattaya, Thailand, 2008, pp. 406-413.
- [10] J. Daugman, "How Iris Recognition Works," IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 14, 2004.
- [11] (2007, July). CASIA Iris database Available: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>
- [12] Intel. (2008, OpenCv. Available: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv>



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

An Improvement of Iris-Blob Map Approach for Iris Identification

Ungkarn Jarujareet

Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand
ungkarn.j@student.chula.ac.th

Nongluk Covavisaruch

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

Abstract- This paper proposes an improved algorithm to identify iris with an iris-blob map. The localized iris segment is unwrapped and transformed from a Cartesian-coordinate image to a polar-coordinate image. In this work, iris texture is enhanced with the Difference of Gaussian (DoG). After thresholding the DoG images, texture blobs (or regions) are located and bounded by rectangles. Then, the occlusions from eyelid and eyelashes are filtered out. Our iris feature is a map (or template) consisting of iris texture bounding rectangles and Hu moments of the detected blobs. With the fusion of our new feature and new matching score, EER is greatly reduced from 19.5% to 4.8%.

I. INTRODUCTION

Identifying the identity of a person has become increasingly important. Some recent computer applications, such as access control and internet banking, require usernames and passwords for personal authorization. Biometric identification has become more and more attractive among current personal protectors. It is because human's physical or behavioral biometric features, such as iris, face, finger print, voice, and etc., provide unique information and cannot be lost or forgotten.

Iris, which is the front part of an eye, has the texture pattern that remains stable throughout an adult life. The physical complexity of the texture pattern is statically unique. Therefore, it is impossible that two persons possess identical iris texture patterns even if they are twins [1-2].

In general iris biometric systems, near-infrared cameras are used for acquiring images. With near-infrared source, the iris structure appears more clearly. However, variations of cameras and lighting environments may cause problems for iris feature extraction. From our previous work, "An Iris-Blob Map - A Novel Feature for Iris Pattern Identification" [3], we have proposed to apply the Difference of Gaussians (DoG) technique to enhance the iris structure. With blob detection, iris patterns are detected and become our iris-blob map. Tests have been done with CASIA database version 3.0 [4]. Our identification Equal Error Rate (EER) is 7.28%.

This paper presents an improvement of our previous method. Iris-blob's shape is utilized in addition to the iris-blob's positions for our new iris feature. Our previous work and the proposed improved approach are explained in sections 4 and 5 consecutively. Experiments and results are presented in

section 6. The last section consists of discussions and conclusion.

II. IRIS ANATOMY

Iris is an annular part between pupil and sclera as depicted in Fig. 1. Iris texture is composed of freckles, coronas, stripes, furrows and crypts. Iris begins to form during the third month of gestation and is completely formed by the eighth month. Nevertheless pigmentation continues into the first year after birth [1]. The most important function of an iris is to control the size of a pupil by Sphincter and Dilator muscles.

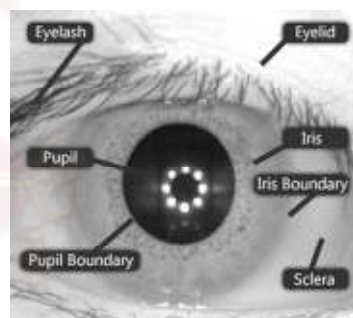


Figure 1. Example of an eye image.

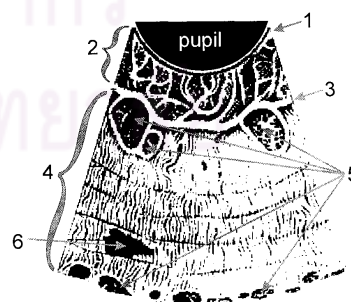


Figure 2. Iris surface. (1-pigment frill, 2-pupillary area, 3-collarette, 4-ciliary area, 5-crypts, 6-pigment spot).

Iris is a multilayered texture. The surface texture is as shown in Fig. 2. This texture is unique and remains stable throughout an adult life. Therefore, a unique iris texture is eligible to be used for personal identification or verification.

III. RELATED WORKS

Many iris recognition approaches have been proposed by using iris texture patterns [1]. Structural elements in an iris can be moderately disturbed by visible light but they are more apparent taken with near infrared light. Hence, iris images in most iris recognition researches are taken with near infrared cameras.

In 1993, J. Daugman [5] used integro-differential equation to detect the iris region in an iris image. It was converted from Cartesian coordinate to polar coordinate and represented in a rectangular form. 2D Gabor filter was used to extract iris texture phase information. An iris-code was generated using phase quantization. Iris-codes were compared with Hamming distance. It should be noted that this research is perhaps the most referenced to in this field of research.

In 2005, G. Gupta et al. [6] also localized an iris by using integro-differential equation and converted it from Cartesian coordinate to polar coordinate. Iris texture was extracted by GLCM (Gray-level Co-occurrence Matrix). Seven features, which included energy, contrast, correlation, homogeneity, autocorrelation, dissimilarity and inertia, were weighted before matching with Euclidean distance. This method was invariant to iris rotation and resulted in EER of 9.32% for CASIA iris database version 1.0.

In 2005, P. Ariyapreechakul et al. [7] detected iris boundary using vertical and horizontal projection profiles followed by circle detection. The partial iris areas on the right side (-45 to 45 degrees) and on the left side (135 to 255 degrees) were transformed into polar-coordinate images and concatenated. Radon transform was used for feature extraction. Feature matching of two iris templates was done with Euclidean distance. The EER of this method was 18% for CASIA database version 1.0. In 2007, they proposed an improvement of their work by separately extracting iris features from two partial iris images instead of using the concatenated partial iris images [8]. Furthermore, all polar-coordinate iris images in the database were normalized. The last improvement was that Radon transform was utilized over binary partial iris images instead of gray-level partial iris images. The improved method reduced EER from 18% to 3.69%.

In 2006, S. M. Elsherif et al. [9] used Canny edge detection and circular Hough transform to locate an iris. Iris features were extracted by using 2D Haar wavelet transform. These features were compared with Hamming distance. This method was tested on CASIA database version 1.0 and UBIIRIS database. Recognition rates were 97.2% and 85.1% respectively.

In 2006, R. Zhu et al. [10] proposed an iris feature extraction process based on scale invariant feature transform (SIFT). Local feature points of iris images were extracted using SIFT.

These feature points were invariant to image translation, rotation, scaling and partially invariant to illumination changes as well as occlusions from eyelid and eyelashes. Iris images from CASIA version 1.0 were tested and resulted in 90% correction rate.

In 2007, J.-G. Ko et al. [11] isolated iris region from an eye image with integro-differential equation. In order to avoid eyelid and eyelashes, only partial iris on the right side (45 to 315 degree) and the left side (135 to 225 degree) were transformed into polar-coordinate images. The contrast of the two partial iris images was enhanced and the features were extracted using cumulative sum. Iris features were compared with Hamming distance. This method was tested on CASIA database version 1.0 and the recognition rate was reported at 98.21%.

IV. OUR PREVIOUS WORK

A. Iris Preprocessing

From the front view of an eye image as shown in Fig. 3 (a), the boundaries of a pupil and an iris can be detected as circular shapes. Our preprocessing process starts at localizing the iris and then transforming the iris region from Cartesian coordinate to Polar coordinate as illustrated in Fig. 3 (b) and (c) respectively.

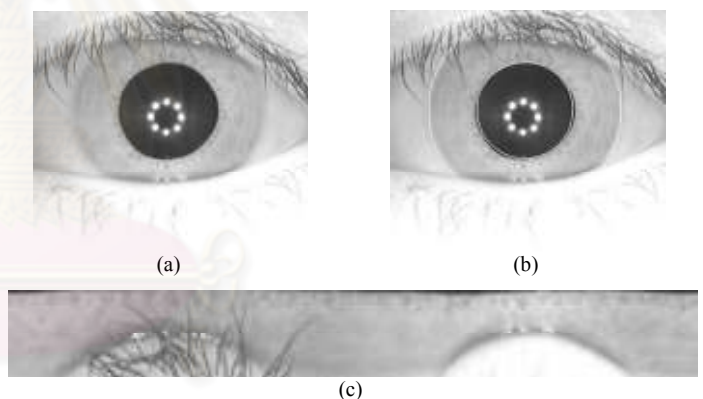


Figure 3. Iris preprocessing process: (a) An eye image; (b) Localized iris image; (c) An unwrapped iris image.

1) *Iris Localization*: At this stage, iris region is localized as the area between two circles; the pupil boundary and the iris outer boundary. An iris can be rapidly localized with our inexpensive method [12]. The pupil's radius is derived by simple Pythagorean Theorem to the extracted pupil's partial boundary. A few points on the iris's outer boundary are determined and from these points, the radius and center of iris outer circle can be calculated by a linear least square circle method.

2) *Cartesian-to-Polar Coordinate Transformation*: It is well aware that pupils change their sizes depending on the amount of light incident. Hence, a pupil of the same eye in different iris images may vary in size. Moreover, iris images taken at various distances may have different resolutions. Therefore, to overcome these problems, Cartesian-to-Polar coordinate transformation is applied on the segmented iris image using the

centers and the radii of the detected pupil and iris. The iris segment is unwrapped from a circular portion to a fixed resolution image by using homogenous rubber sheet model [13] as illustrated in Fig. 3 (c).

A. Feature Enhancement and Feature Selection

An unwrapped iris image is applied with DoG to enhance the iris structures. An input image, as shown in Fig. 4 (a), is blurred by Gaussian filter of 2 different σ 's and resulting in 2 blurred images as shown in Fig. 4 (b) and (c). Fig. 4 (d) is the DoG image of Fig. 4 (a). The intensities of the DoG image are stretched to a full gray scale. The image is then binarized with thresholding as shown in Fig. 4 (e).

After enhancing the iris structures with DoG, iris blobs (or structures) are bounded with bounding boxes (or rectangles). The eyelid and eyelashes are easily filtered out by the sizes of the bounding boxes. The result of our feature extraction process is the iris-blob map (or template) as illustrated in Fig. 4 (f).

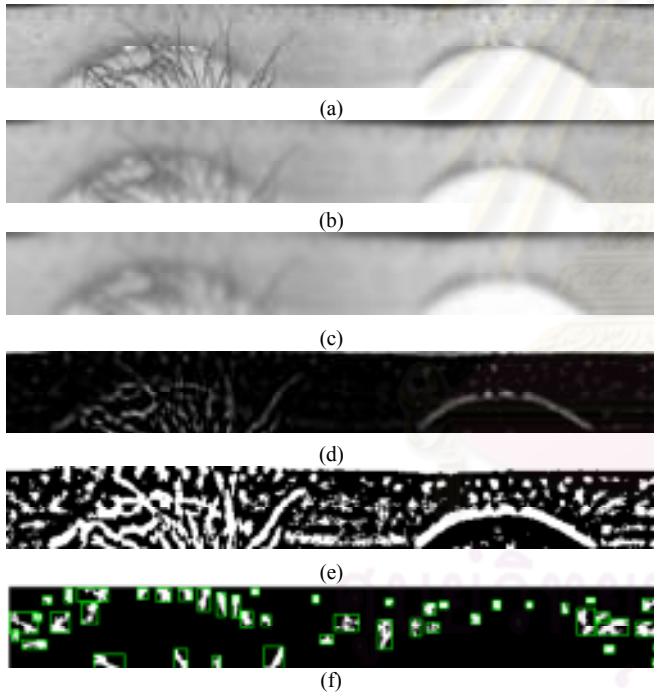


Figure 4. Feature enhancement process: (a) an input image; (b) and (c) Gaussian blurred images using a 7×7 Gaussian kernel with $\sigma = 4$ and $\sigma = 8$ respectively; (d) is the DoG image (difference between (c) and (b)); (e) a binary image of (d) using threshold = 0; (f) an iris blob-map.

B. Feature Matching

In the feature matching process, iris maps consisting of iris structure bounding boxes from two iris images are matched. We count the number of corresponding bounding rectangles (or those that have the same locations) and the number of non-corresponding bounding rectangles (or those that have different locations). Then we calculate the matching score from equation (1). The higher the matching score is, the more similar the two irises are.

$$\text{Old Matching Score} = \frac{2 \times (\text{number of corresponding rectangles})}{(\text{number of non-matched rectangles})} \quad (1)$$

From equation (1), the number of corresponding rectangles is multiplied by 2 since they appear in both templates. The number of non-matched rectangles is counted from those that do not have the same locations from both templates.

V. OUR PROPOSED IMPROVEMENTS

A. Feature Extraction

Like our previous work, two iris structure bounding boxes are considered to have the same location if they are overlapped. In this work, we propose to check if the corresponding blobs are similar in shape by Hu moments [14]. If those two blobs have the same shape, their Hu moments are quite similar.

Hu moment is a shape descriptor in computer vision. It is based on methods of algebraic invariants. A set of variant moments proposed by Hu is a nonlinear combination of geometric moments and it is invariant under translation, rotation and scaling. In this paper, a set of six Hu moments as shown in equations (2) - (7) is utilized.

$$H_1 = \eta_{2,0} + \eta_{0,2} \quad (2)$$

$$H_2 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})^2 + 4\eta_{1,1}^2 \quad (3)$$

$$H_3 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})^2 + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})^2 \quad (4)$$

$$H_4 = (\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 + (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 \quad (5)$$

$$H_5 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})(\eta_{3,0} + \eta_{1,2}) \left[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - 3(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 \right] + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3}) \left[3(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 \right] \quad (6)$$

$$H_6 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2}) \left[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 + 4\eta_{1,1}(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3}) \right] \quad (7)$$

Where η_{pq} is a normalized central moment of order $(p+q)$.

$\{H_1, \dots, H_6\}$ is a set of Hu moment.

B. Matching Score

Our improved approach, a new matching score is a probability of correct blob matched as can be calculated by equation (8). The more the matching score is, the more similar the two iris-maps are.

$$\text{New Matching Score} = \frac{mb \times mb}{nb_1 \times nb_2} \times 100 \quad (8)$$

Where mb is the number of the corresponding blobs in the matching process.

nb_1 is the total number of detected blobs from a registered iris-blob map.

nb_2 is the total number of detected blobs from a matcher's iris-blob map.

VI. EXPERIMENTS AND RESULTS

In our experiments, eye images from CASIA database version 3.0 are used for evaluating our proposed method. The database contains 2,655 iris images which are very good in quality since they possess extremely clear iris texture details [4]. Example images are shown in Fig. 5.

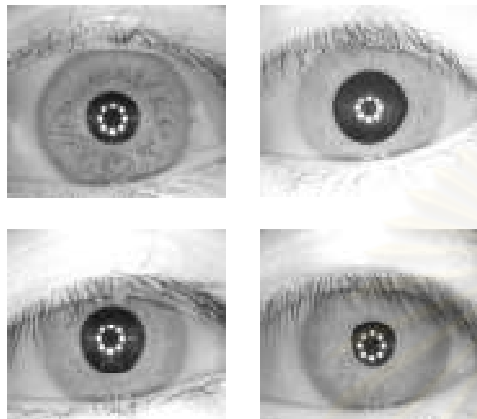


Figure 5. Examples of eye images from CASIA database version 3.0.

The algorithm of this proposed method is implemented with Microsoft Visual C++.Net and Intel OpenCV 1.0 [15]. The program runs on a 2.13GHz laptop processor with 3 GB memory storage. Table 1 illustrates our detail computational time. It should be noted here that computational time is composed of those from feature extraction process and feature enhancement process. It is the average time of processing all images in the database.

TABLE I. AVERAGE COMPUTATIONAL TIME ON CASIA VERSION 3.0

Process	Average Computational Time (ms) from This Work	Average Computational Time (ms) from Previous Work [2]
Iris localization	67.26	
Catesian-to-Polar coordinate conversion	55.37	
Feature extraction	310.57	16.69
Feature Matching (1:1)	182.50	35.20
Total	615.70	174.52

Our proposed iris pattern identification method is evaluated with False Acceptance Rate (FAR), False Rejection Rate (FRR) and Equal Error Rate (EER). The FAR and FRR are computed by equations (9) and (10) respectively. The EER is where the FAR equals FRR .

$$FAR(\%) = \frac{\text{number of false accepts}}{\text{number of total attempts}} \times 100 \quad (9)$$

$$FRR(\%) = \frac{\text{number of false rejects}}{\text{number of authentic attempts}} \times 100 \quad (10)$$

In order to make all results comparable, we have changed the DoG parameters so that iris blobs are bigger than those in our previous work. It is because the small iris blobs in our previous work provide indifferent Hu moments.

Fig. 6 and 7 illustrate the results from matching iris-blob maps by location only, with the old and the new matching scoring methods respectively. It is clearly seen that the new matching scoring method gives better EER at 0.084 compared to the old matching scoring method at 0.195.

Likewise, Fig. 8 and 9 illustrate the results from matching the iris-blob maps by both location and shape, with the old and the new matching scoring methods respectively. The new matching scoring method in Fig. 8 provides less EER (at 0.07) than the old method in Fig. 6 ($EER=0.195$). Finally, the results in Fig. 9 reveal that the improved approach provides the best results with the least EER at 0.048.

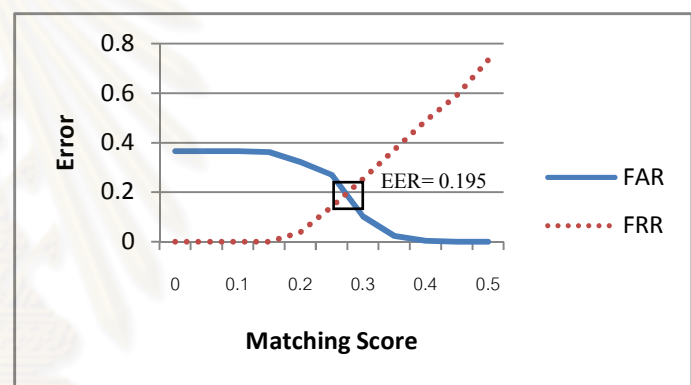


Figure 6. The FAR and FRR of our previous work (location matching and old matching scoring method) tested with CASIA database version 3.0.

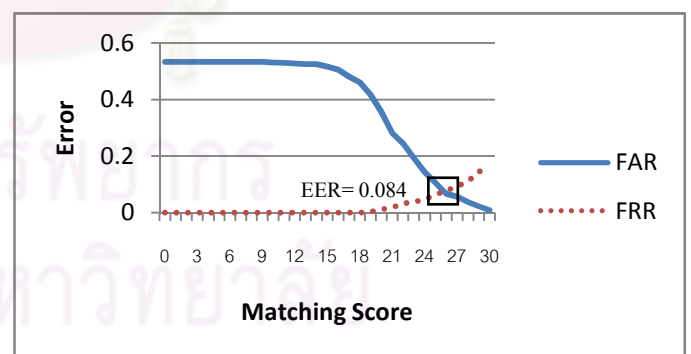


Figure 7. The FAR and FRR of our previous work (location matching) and new matching score calculation tested with CASIA database version 3.0.

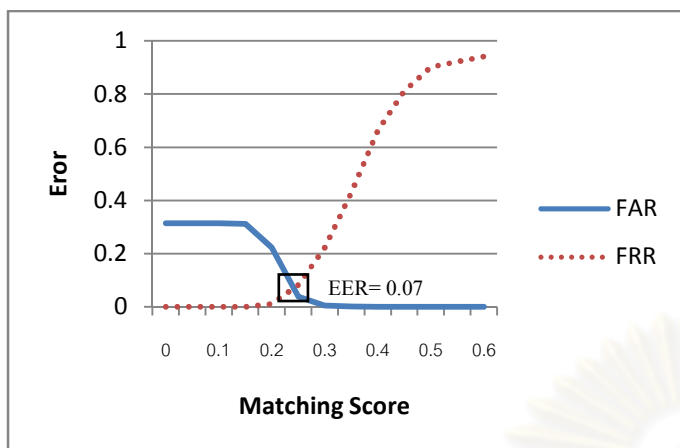


Figure 8. The FAR and FRR of our proposed location and shape matching combined with our old matching score calculation tested with CASIA database version 3.0.

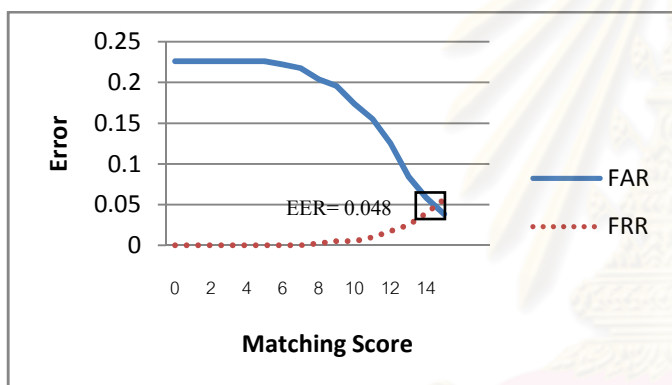


Figure 9. The FAR and FRR of our proposed location and shape matching with new matching scoring approach tested with CASIA database version 3.0.

VII. DISCUSSIONS AND CONCLUSION

This paper proposes an improvement of an iris-blob map feature and a new matching score. The iris structures are enhanced with DoG. With this method, occlusions such as eyelid and eyelashes can be easily eliminated. Iris feature consists of bounding boxes' centroids and Hu moments of each blob in an iris-blob map. The new matching score is calculated based on the probability of correctly matched blobs. The EER 's tested with CASIA version 3.0 by using our proposed iris feature and a new matching score is 0.048.

From our experiments, the results illustrate that the performance of identification using our improved approach is much higher than our previous one. Tests with CASIA version 3.0 with the same DoG parameters show that the EER greatly reduced from 0.195 to 0.048.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to CASIA (Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences) for the iris image databases.

REFERENCES

- [1] A. Muroň and J. Pospíš, "The Human Iris Structure and Its Usage," *Physica*, vol. 39, pp. 87-95, 2000.
- [2] R. P. Wildes, "Iris recognition: an emerging biometric technology," *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, pp. 1348-1363, 1997.
- [3] U. Jarujareet and N. Covavisaruch, "An Iris-Blob Map - A Novel Feature for Iris Pattern Identification," *JCSSE2009*, Phuket, Thailand, pp. 229-234, 2009
- [4] (2007, July). *CASIA Iris database* Available: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>
- [5] J. Daugman, "High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence," *IEEE Trans. on PAMI.*, vol. 15, pp. 1148-1161, 1993.
- [6] G. Gupta and M. Agarwal, "iris recognition using non filter-based technique," *Proceedings of Biometric Consortium*, Arlington, VA, 2005, pp. 45-47.
- [7] P. Ariyapreechakul and N. Covavisaruch, "Personal Verification and Identification via Iris Pattern Using Radon Transform," in *Proceedings of the first National Conference on Computing and Information Technology*, Nontaburi, 2005, pp. 287-292.
- [8] P. Ariyapreechakul and N. Covavisaruch, "An Improvement of Iris Pattern Identification Using Radon Transform," *Transaction on Computer and Information Technology. ECTI*, vol. 3, pp. 45-50, 2007.
- [9] S. M. Elsherief, *et al.*, "Biometric Personal Identification Based on Iris Recognition," *The 2006 International Conference on Computer Engineering and Systems*, 2006, pp. 208-213.
- [10] R. Zhu, *et al.*, "Iris Recognition Based on Local Feature Point Matching," *Communications and Information Technologies, 2006. ISCIT '06. International Symposium on*, 2006, pp. 451-454.
- [11] J.-G. Ko, *et al.*, "A Novel and Efficient Feature Extraction Method for Iris Recognition," *ETRI Journal*, vol. 29, 2007, pp. 1670-1684.
- [12] U. Jarujareet and N. Covavisaruch, "A Fast Algorithm for Iris Localization," *NCSEC2008*, Pattaya, Thailand, 2008, pp. 406-413.
- [13] J. Daugman, "How Iris Recognition Works," *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, 2004, pp. I-33-I-66.
- [14] H. Ming-Kuei, "Visual pattern recognition by moment invariants," *Information Theory, IRE Transactions on*, vol. 8, pp. 179-187, 1962.
- [15] Intel. (2008, *OpenCv*. Available: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอังคาร จารุจารีต เกิดวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดนราธิวาส สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใน ปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยพัทธยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย