

การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและรูปแบบม่านตา



นายพิพัฒน์ ประทีปอมรกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

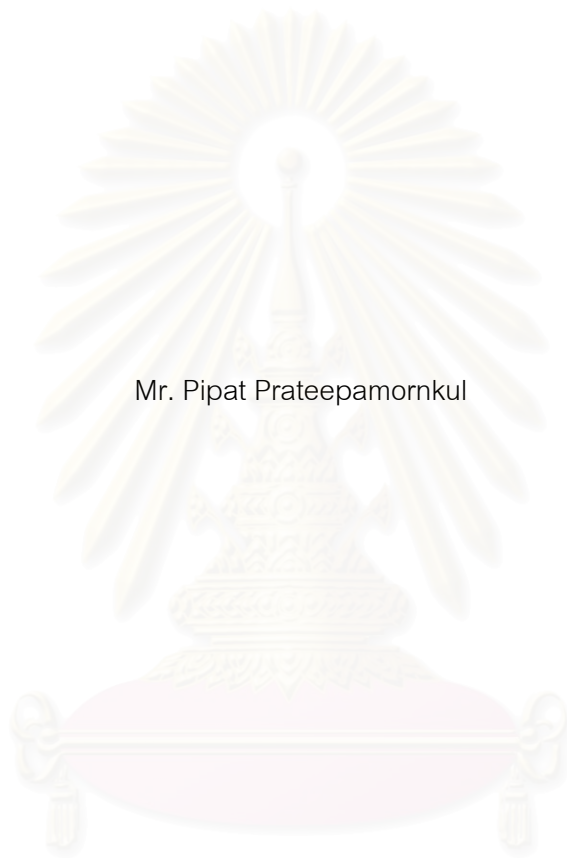
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5070-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERSONAL IDENTIFICATION USING HAND GEOMETRY AND IRIS PATTERN



Mr. Pipat Prateepamornkul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

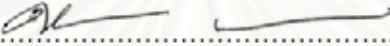
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-5070-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและรูปแบบม่านตา
โดย นายพิพัฒน์ ประทีปอมรกุล
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ ไควาวิสารัช

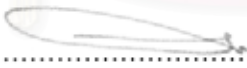
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงลักษณ์ ไควาวิสารัช)


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


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สีปสกุล พิภพมงคล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิพัฒนา ประทีปอมรกุล: การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและรูปแบบม่านตา (PERSONAL IDENTIFICATION USING HAND GEOMETRY AND IRIS PATTERN) อ.ที่ปรึกษา: ผศ.นงลักษณ์ โควาริสารัช, 88 หน้า. ISBN 974-17-5070-6.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีและพัฒนาระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา งานวิจัยนี้ประกอบด้วยระบบไบโอเมตริก 3 ระบบ ได้แก่ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา และระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือเป็นระบบที่ใช้ลักษณะทางกายภาพหรือรูปร่างของมือในการระบุบุคคล ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พีเจอร์ของมือนับตั้งแต่ 5 นิ้ว ความกว้างนิ้วที่ระดับความสูง 1/3 1/2 และ 2/3 ของทั้ง 5 นิ้ว และความกว้างฝ่ามือ รวมทั้งสิ้น 21 พีเจอร์ ในขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่ใช้ฟังก์ชันระยะทางแบบ S_1 วัดความแตกต่างของพีเจอร์ ผลลัพธ์ในการหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือมีความถูกต้อง 91.06% โดยทดสอบกับผู้ใช้จำนวน 96 คน

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาเป็นระบบที่ใช้รูปแบบลายม่านตาในการระบุบุคคล ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ลายม่านตาเฉพาะบริเวณด้านข้างเท่านั้น โดยแบ่งภาพลายม่านตาออกเป็นบล็อกขนาด 24x24 จุดภาพและให้มีส่วนซ้อนทับกัน 6 จุดภาพ ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละบล็อกเป็นพีเจอร์ของลายม่านตาซึ่งจะได้พีเจอร์ทั้งหมด 120 พีเจอร์ ใช้ฟังก์ชันระยะทางแบบค่าสัมบูรณ์ในการเปรียบเทียบคู่พีเจอร์ ผลลัพธ์ในการหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตามีความถูกต้อง 91.55% โดยทดสอบกับผู้ใช้จำนวน 96 คน

ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตาเป็นการรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาเข้าด้วยกัน ในงานวิจัยนี้รวมระบบที่ระดับคะแนนหรือค่าความแตกต่างของคะแนนการเปรียบเทียบ โดยเลือกผู้ใช้ที่มีความแตกต่างที่น้อยที่สุดจากแต่ละระบบมาระบบละ 1 คน นำคะแนนจากทั้งสองระบบมาปรับให้เป็นบรรทัดฐานโดยใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้ของแต่ละระบบเป็นฐาน เมื่อรวมคะแนนจากทั้งสองระบบแล้วเลือกผู้ใช้ที่มีคะแนนรวมน้อยกว่าเป็นคำตอบ ในการทดลองกับผู้ใช้ 96 คนได้ผลลัพธ์คือ ระบบมีความถูกต้อง 98.33%

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์.....

ปีการศึกษา2548.....

ลายมือชื่อนิสิต นงลักษณ์ ประทีปอมรกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา นงลักษณ์

4670417221 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEY WORD: BIOMETRIC / IDENTIFICATION / HAND GEOEMTRY / IRIS / MULTIMODAL

PIPAT PRATEEPAMORNKUL: PERSONAL IDENTIFICATION USING HAND GEOMETRY AND IRIS PATTERN. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. NONGLUK COVAVISARUCH, 88 pp. ISBN 974-17-5070-6.

The purposes of this research are to find and develop multimodal biometric system using hand geometry and iris pattern. This research composes of 3 biometric systems: a biometric system using hand geometry, a biometric system using iris pattern and a multimodal biometric system using hand geometry and iris pattern.

The biometric system using hand geometry is a system that uses the physiological or shape of a hand to identify the identity of a person. The 21 features used in this research are the lengths of 5 fingers, the widths of 5 fingers at the 1/3, 1/2 and 2/3 of the length, and the width of a palm. S_i distance function is used to match the features. The system tested with 96 users possesses 91.06% accuracy.

The biometric system using iris pattern uses an iris pattern to identify the identity of a person. In this research, only the left and the right side of an iris pattern are used. They are divided into 24x24 block size with 6 overlapping pixels. Standard deviation (SD) of each block is used as a feature of the iris pattern, and hence resulting in 120 features. Absolute distance function is used in the matching process. When tested with 96 users, the system accuracy is 91.55%.

The multimodal biometric system using hand geometry and iris pattern in this research is done by integrating the two systems in the matching score level. In each system, the person with least matching score is selected. The matching scores of hand geometry and iris pattern are normalized with the possible min-max scores of each system. The person who has less combined score is the identity of the user. The system is tested with 96 users and the result is 98.33% accuracy.

DepartmentComputer.Engineering.. Student's signature*Winnai do-in-kaspa*.....
 Field of studyComputer.Engineering.. Advisor's signature*non*.....
 Academic year ...2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีเพราะความช่วยเหลือและสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.นงลักษณ์ โคควาวิสารัช ซึ่งได้สละเวลาให้คำแนะนำปรึกษา เสนอแนะแนวทางการวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือดูแลในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.บัณฑิต ทิพากร อ.ดร.สีบสกุล พิภพมงคล ที่ให้ความกรุณาเสนอคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ ตลอดจนถึงตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณพี่กำธร สิมมามี พี่เจษฎา แสงพานิชย์ พี่ศักดิ์พงษ์ ทองเลี่ยมนาค ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางการวิจัย และช่วยแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ สมาชิกภายในห้องปฏิบัติการวิจัย CGCI ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และดูแลเอาใจใส่ตลอดการวิจัยและการศึกษา

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจทุกท่านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่อุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ สนับสนุนในด้านการศึกษาและในด้านต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ | ฎ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 1.2.1 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 3 |
| 1.2.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 5 |
| 1.2.3 ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล | 5 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ | 7 |
| 1.4 ขอบเขตการวิจัย..... | 7 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 7 |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ..... | 8 |
| 1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์..... | 8 |
| 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 9 |
| 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางไบโอเมตริก | 9 |
| 2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบไบโอเมตริก | 9 |
| 2.1.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในการทวนสอบบุคคล | 10 |
| 2.1.3 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในการระบุบุคคล | 11 |
| 2.1.4 การวัดประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริก | 12 |
| 2.2 ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล..... | 15 |
| 2.2.1 รูปแบบการรวมระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล..... | 15 |
| 2.2.2 รูปแบบการทำงานของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล | 16 |

| บทที่ | หน้า |
|-------|--|
| 2.2.3 | ระดับในการรวมระบบไบโอเมตริก 16 |
| 2.3 | การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล 17 |
| 2.3.1 | การหาค่าขีดแบ่ง..... 17 |
| 2.3.2 | การหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ โดยใช้วิธี Otsu..... 18 |
| 2.3.3 | การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ 19 |
| 2.3.4 | การตามรอยขอบด้วยรหัสลูกโซ่ 22 |
| 2.3.5 | การแปลงฮัฟแมนวงกลม 23 |
| 2.3.6 | ตัวดำเนินการอินทิเกรตดิฟเฟอเรนเชียล 24 |
| 2.3.7 | การปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน 24 |
| 2.3.8 | ฟังก์ชันระยะทาง..... 25 |
| 3 | การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา..... 27 |
| 3.1 | ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ 27 |
| 3.1.1 | การเก็บข้อมูลภาพมือ..... 27 |
| 3.1.2 | การประมวลผลภาพมือเบื้องต้น..... 28 |
| 3.1.3 | การหาดำแหน่งสำคัญ 30 |
| 3.1.4 | การสกัดพีเจอร์ลักษณะเรขาคณิตของมือ 32 |
| 3.1.5 | การเปรียบเทียบแบบและการตัดสินใจของระบบ 34 |
| 3.2 | ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา..... 34 |
| 3.2.1 | การเก็บข้อมูลภาพตา 35 |
| 3.2.2 | การหาดำแหน่งม่านตา 35 |
| 3.2.3 | การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น 38 |
| 3.2.4 | การสกัดพีเจอร์ของลายม่านตา..... 41 |
| 3.2.5 | การเปรียบเทียบแบบและการตัดสินใจของระบบ 42 |
| 3.3 | การรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา 42 |
| 3.3.1 | ระดับการรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในงานวิจัย 42 |
| 3.3.2 | วิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบ..... 43 |
| 3.3.3 | การรวมคะแนนการเปรียบเทียบของแต่ละระบบ 45 |
| 4 | การทดลองและผลการทดลอง..... 47 |
| 4.1 | การทดสอบการระบุบุคคล..... 47 |
| 4.2 | การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ 47 |
| 4.2.1 | ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ 47 |

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.2.2 การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 48 |
| 4.2.3 ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 49 |
| 4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 52 |
| 4.3 การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 52 |
| 4.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา..... | 52 |
| 4.3.2 การทดลองหาตำแหน่งม่านตา | 52 |
| 4.3.3 การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 53 |
| 4.3.4 ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา..... | 54 |
| 4.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา..... | 56 |
| 4.4 การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและ ม่านตา | 56 |
| 4.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา | 56 |
| 4.4.2 การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา | 57 |
| 4.4.3 ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา | 59 |
| 4.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา | 60 |
| 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 64 |
| 5.2 สรุปผลการวิจัย | 64 |
| 5.2.1 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 64 |
| 5.2.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 65 |
| 5.2.3 ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา | 66 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 66 |
| รายการอ้างอิง | 68 |
| ภาคผนวก | 70 |
| ภาคผนวก ก..... | 71 |
| บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ | 72 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 88 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ข้อดีและข้อเสียของไบโอเมตริกชนิดต่าง ๆ | 2 |
| 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งม่านตา..... | 37 |
| 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งม่านตา | 38 |
| 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงพิกัดม่านตา..... | 40 |
| 4.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือต่อ ผู้ใช้ 1 ภาพ..... | 49 |
| 4.2 ตัวอย่างค่าสถิติของพีเจอร์ที่ได้จากข้อมูลภาพมือ 7 ภาพของผู้ใช้คนที่ 1 | 49 |
| 4.3 ค่าสถิติของพีเจอร์เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใช้ต่างคนกัน | 50 |
| 4.4 การทดลองหาค่า CER ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ..... | 50 |
| 4.5 ประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 50 |
| 4.6 ผลการทดลองการหาตำแหน่งม่านตา..... | 53 |
| 4.7 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาต่อผู้ใช้ 1 ภาพ | 54 |
| 4.8 การทดลองหาค่า CER ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 54 |
| 4.9 ประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา..... | 55 |
| 4.10 การทดลองหาค่า CER ของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิต ของมือและม่านตาในแต่ละวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบคู่ | 59 |
| 4.11 ประสิทธิภาพของระบบของแต่ละวิธีการปรับบรรทัดฐานและเปรียบเทียบกับการใช้ระบบ ไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมืออย่างเดียวหรือม่านตาอย่างเดียว | 60 |

สารบัญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 2.1 | ขั้นตอนการทำงานของระบบไบโอเมตริก..... 10 |
| 2.2 | ระบบไบโอเมตริกที่ใช้การทวนสอบบุคคล 10 |
| 2.3 | ระบบไบโอเมตริกที่ใช้การระบุบุคคล..... 11 |
| 2.4 | การกระจายของคะแนนการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงและผู้บุกรุก..... 12 |
| 2.5 | กราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ 13 |
| 2.6 | กราฟแสดง CER หรือ EER ซึ่งเป็นจุดตัดกันของค่า FAR และ FRR..... 13 |
| 2.7 | รูปแบบในการใช้งานระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล..... 16 |
| 2.8 | อีสโทแกรมที่มีลักษณะเป็นทิวฐานนิยม 18 |
| 2.9 | ตัวอย่างภาพในการขยายขนาด..... 20 |
| 2.10 | ตัวอย่างภาพในการกร่อน 21 |
| 2.11 | หมายเลขทิศของรหัสลูกโซ่ 22 |
| 3.1 | ตัวอย่างภาพมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 28 |
| 3.2 | อีสโทแกรมของภาพมือ 29 |
| 3.3 | ตัวอย่างการประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน..... 30 |
| 3.4 | การหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายและจุดอ้างอิงของมือ 31 |
| 3.5 | การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว..... 31 |
| 3.6 | การหาความยาวนิ้ว 5 นิ้ว 32 |
| 3.7 | การหาความกว้างนิ้ว 3 ระดับ 33 |
| 3.8 | การหาความกว้างของฝ่ามือ 33 |
| 3.9 | พีเจอร์ของมือที่ได้ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์..... 34 |
| 3.10 | ตัวอย่างภาพตาที่ใช้ในงานวิจัย..... 35 |
| 3.11 | อีสโทแกรมของภาพตา..... 36 |
| 3.12 | ภาพตาที่ผ่านขั้นตอนการแบ่งส่วนโดยใช้ค่าขีดแบ่ง..... 36 |
| 3.13 | ภาพตาที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวน 37 |
| 3.14 | ภาพตาหลังการหาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตา..... 38 |
| 3.15 | ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและม่านตา 39 |
| 3.16 | การแปลงพิกัดภาพม่านตา 40 |

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.17 การปรับภาพลายม่านตาให้เป็นบรรทัดฐาน | 41 |
| 4.1 กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ . | 51 |
| 4.2 กราฟ ROC ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ..... | 51 |
| 4.3 กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 55 |
| 4.4 กราฟ ROC ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา | 55 |
| 4.5 กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของวิธีการปรับบรรทัดฐานที่ใช้ในงานวิจัย..... | 61 |
| 4.6 กราฟ ROC ของวิธีการปรับบรรทัดฐานที่ใช้ในงานวิจัย..... | 63 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีไปอย่างรวดเร็ว ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้เกิดข้อมูลข่าวสารมากยิ่งขึ้น ข้อมูลข่าวสารเหล่านี้จะเป็นสิ่งที่ใช้ในการแข่งขันทางธุรกิจ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องปกป้องข้อมูลข่าวสารที่มีความสำคัญจากบุคคลที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นบริษัทหรือองค์กรจึงพยายามค้นหาและใช้วิธีการพิสูจน์บุคคล (Authentication) ที่มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น ยิ่งกว่านั้นความปลอดภัยได้กลายเป็นสิ่งที่ผู้คนส่วนใหญ่ให้ความสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นการทำธุรกรรมทางการเงิน การธนาคาร งานด้านอุตสาหกรรม ระบบทางการทหารและความเป็นส่วนตัว (Privacy) ได้มีการนำระบบพิสูจน์บุคคลเข้ามาประยุกต์ใช้และเป็นส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งในระบบ

การพิสูจน์บุคคลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีพื้นฐานมาจากการใช้สิ่งที่เกี่ยวข้องกับตัวผู้ใช้งาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

- 1) ใช้สิ่งที่ผู้ใช้งานรู้ เช่น รหัสผ่าน หมายเลขประจำตัว เป็นต้น
- 2) ใช้สิ่งที่ผู้ใช้งานมี เช่น บัตรประชาชน บัตรประจำตัว เป็นต้น
- 3) ใช้ลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของผู้ใช้ หรือที่เรียกว่าไบโอเมตริก (Biometric)

การใช้รหัสผ่านมีข้อเสียคือผู้ใช้อาจลืมรหัสผ่านได้หรือรหัสผ่านง่ายแก่การเดา เนื่องจากผู้ใช้งานมักจะตั้งรหัสผ่านเกี่ยวข้องกับตัวเองเพื่อให้ง่ายแก่การจดจำ ส่วนการใช้บัตรมีข้อเสียคือบัตรอาจมีการสูญหายหรือถูกขโมย นอกจากนั้นบัตรอาจถูกปลอมแปลงได้ การใช้ลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของผู้ใช้นั้นมีข้อดีกว่า 2 วิธีข้างต้นเนื่องจากลักษณะทางกายภาพนั้นไม่สามารถสูญหายหรือถูกขโมยได้ ผู้ใช้ไม่ลืมเพราะจะติดตัวอยู่กับผู้ใช้ตลอดและปลอมแปลงได้ยาก ด้วยข้อดีต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้การใช้ลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของผู้ใช้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมาและถูกนำมาใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ มากมาย

ไบโอเมตริกเป็นวิธีในการวัดลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของมนุษย์ ซึ่งลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของผู้ใช้นั้นต้องสามารถวัดและนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าได้และนำลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมที่ทำการวัดมาทำการทวนสอบบุคคล (Personal verification) โดยทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ หรือใช้ในการระบุบุคคล (Personal identification) เพื่อทำการค้นหาว่าผู้ใช้ที่ทำการทดสอบอยู่นั้นเป็นบุคคลใดในระบบ

ลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบไบโอเมตริก [1] ควรจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

- ความเป็นสากล (Universality) เป็นลักษณะที่คนส่วนใหญ่มี
- ความเป็นไปได้เพียงคนเดียว (Uniqueness) เป็นการบ่งชี้ว่าจะไม่มีบุคคล 2 คนที่มีลักษณะเหมือนกัน
- ความคงทน (Permanence) เป็นลักษณะที่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ความสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลได้ (Collectability) เป็นลักษณะที่สามารถจะทำการวัดออกมาเป็นจำนวนหรือขนาดได้

อย่างไรก็ตาม การใช้งานระบบไบโอเมตริกยังจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน ดังนี้

- สมรรถนะ (Performance) เป็นลักษณะที่จะต้องมีการประมวลผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และมีความรวดเร็ว นอกจากนี้ควรเป็นลักษณะที่ทำให้ระบบยังสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมอื่น ๆ โดยเกิดผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำ และความเร็วที่น้อยที่สุด
- การยอมรับ (Acceptability) เป็นลักษณะที่ผู้ใช้ยอมรับและเต็มใจที่จะใช้งานโดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อตัวผู้ใช้เอง
- การทนทานต่อการปลอมแปลง (Robustness) เป็นลักษณะที่ระบบสามารถรู้ได้ว่าเป็นการปลอมแปลงขึ้นจากผู้บุกรุก

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิดเช่น ลายนิ้วมือ (Fingerprint) ใบหน้า (Face) จอตา (Retina) ม่านตา (Iris) ลักษณะเรขาคณิตของมือ (Hand geometry) เสียงพูด (Voice) เป็นต้น โดยไบโอเมตริกแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งสรุปดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อดีและข้อเสียของไบโอเมตริกชนิดต่าง ๆ [2]

| ชนิดของไบโอเมตริก | ความถูกต้อง | ความง่ายต่อการใช้งาน | การยอมรับจากผู้ใช้ | ค่าใช้จ่าย |
|----------------------|-------------|----------------------|--------------------|------------|
| ลายนิ้วมือ | สูง | ปานกลาง | ต่ำ | ปานกลาง |
| ลักษณะเรขาคณิตของมือ | ปานกลาง | สูง | ปานกลาง | สูง |
| เสียงพูด | ปานกลาง | สูง | สูง | ต่ำ |
| จอตา | สูง | ต่ำ | ต่ำ | ปานกลาง |
| ม่านตา | ปานกลาง | ปานกลาง | ปานกลาง | สูง |
| ลายเซ็น | ปานกลาง | ปานกลาง | สูง | ปานกลาง |
| ใบหน้า | ต่ำ | สูง | สูง | ต่ำ |

การที่ระบบไบโอเมตริกจะมีประสิทธิภาพดีได้นั้นต้องมีการลดความผิดพลาดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของระบบ โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บข้อมูลไปจนถึงขั้นตอนการเปรียบเทียบ (Matching process) ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ข้อมูลเพียงชนิดเดียวหรือไบโอเมตริกแบบยูนิโมดัล (Unimodal biometric) นั้นอาจพบกับปัญหาต่าง ๆ ดังนี้ คือ สัญญาณรบกวนที่อยู่ในข้อมูลนำเข้าซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนถัดไป ความแปรปรวนของลักษณะของผู้ใช้ ทำให้ลักษณะของผู้ใช้แตกต่างกันในแต่ละเวลา ซึ่งอาจเกิดจากตัวผู้ใช้เองหรืออุปกรณ์รับสัญญาณ (Sensor) ความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ ทำให้ระบบปฏิเสธการเข้าใช้งานหรือระบุเป็นบุคคลอื่น โดยปัญหาเหล่านี้จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง ในการแก้ปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของระบบมาก ไม่ว่าจะเป็นการทำให้วิธีการซับซ้อนขึ้นซึ่งทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น หรือการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการนำไบโอเมตริกที่ใช้ข้อมูลตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมารวมกันเพื่อลดปัญหาเหล่านี้และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ข้อมูลตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปหรือไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล (Multimodal biometric) จะช่วยลดปัญหาได้ดังนี้คือ มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนในข้อมูลนำเข้า เนื่องจากการใช้อุปกรณ์รับสัญญาณมากกว่าหนึ่งชนิดในการเก็บข้อมูล ทั้งนี้เพราะมีความเป็นไปได้น้อยที่สัญญาณรบกวนที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมของไบโอเมตริกชนิดหนึ่งจะรบกวนข้อมูลนำเข้าของระบบไบโอเมตริกอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลจะช่วยลดความแปรปรวนของลักษณะของผู้ใช้ด้วยเพราะเป็นการใช้หลายลักษณะในการพิสูจน์บุคคลและเพิ่มความแตกต่างระหว่างผู้ใช้เนื่องจากโอกาสที่ผู้ใช้ต่างคนกันจะมีลักษณะหลายชนิดคล้ายกันนั้นเป็นไปได้น้อย ดังนั้นถ้าใช้วิธีการรวมระบบไบโอเมตริกที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีความถูกต้องมากขึ้นและมีประสิทธิภาพดีขึ้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาและวิธีการรวมระบบไบโอเมตริกหรือระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.2.1 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือเป็นระบบไบโอเมตริกชนิดแรก ๆ ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย มีลักษณะเด่นที่สำคัญคือ เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน ประมวลผลได้รวดเร็ว มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือมีดังต่อไปนี้

1) A Prototype Hand Geometry-based Verification System ปี ค.ศ. 1999 โดย A. K. Jain A. Ross และ S. Pankanti [3] ได้เสนอระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือโดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในการเก็บภาพและมีการใช้กระจกวางทำมุม 45 องศาเพื่อให้เห็นความหนาของมือ ในการเก็บภาพจะใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือของผู้ใช้ ฟิเจอร์ที่ใช้ในระบบได้แก่ ความยาวนิ้ว ความกว้างนิ้ว ความกว้างฝ่ามือและความหนาของมือ จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ฟังก์ชันระยะทางต่าง ๆ ข้อดีของงานวิจัยนี้คือเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน สามารถสกัดฟิเจอร์ได้อย่างรวดเร็วและเป็นต้นแบบของงานวิจัยทางด้านระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตถัดมา แต่ข้อเสียของงานวิจัยนี้คือ ผู้ใช้จำเป็นต้องวางตำแหน่งของมือให้ถูกต้องตามหมุดที่กำหนดไว้ ถ้าผู้ใช้วางมือผิดตำแหน่งอาจทำให้ไม่สามารถสกัดฟิเจอร์ได้หรือได้ฟิเจอร์ที่ไม่ถูกต้องทำให้ระบบที่ได้มีประสิทธิภาพลดลง

2) Hand Geometry Pattern Recognition Through Gaussian Mixture Modeling ปี ค.ศ. 2000 โดย R. Sanchez-Reillo [4] ได้เสนอวิธีการนำเอาการรู้จำแบบ (Pattern recognition) โดยใช้ Gaussian mixture modeling ซึ่งเป็นการนำเอาวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) มาทำการรู้จำบุคคล โดยในขั้นตอนการเก็บภาพจะใช้วิธีเดียวกันกับงานวิจัยของ A. K. Jain และคณะซึ่งกล่าวมาแล้วในข้างต้น จากนั้นทำการสกัดฟิเจอร์ต่าง ๆ ดังนี้คือ ความกว้างนิ้ว ความยาวนิ้ว ความกว้างฝ่ามือ ระยะทางระหว่างนิ้วและมุมระหว่างนิ้ว ในการทดลองจะนำข้อมูลภาพของผู้ใช้มาทำการฝึกสอนระบบก่อน โดยทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบจำนวนข้อมูลภาพของผู้ใช้ที่ใช้ในการฝึกสอนระบบกับประสิทธิภาพของระบบที่ได้ ซึ่งผลลัพธ์มีความถูกต้องถึง 96% ที่ค่า FAR 4.9% เมื่อใช้ข้อมูลภาพของผู้ใช้ 5 ข้อมูลในการฝึกสอน แต่ข้อเสียของงานวิจัยนี้คือ มีการใช้หมุดกำหนดการวางตำแหน่งมือของผู้ใช้และมีการทดลองกับจำนวนผู้ใช้เพียง 20 คน

3) Peg-Free Hand Geometry Recognition using Hierarchical Geometry and Shape Matching ปี ค.ศ. 2002 โดย Alexandra L.N. Wong และ Pengheng Shi [5] ได้เสนอระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ โดยไม่ใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือ ในขั้นตอนการเก็บภาพใช้เครื่องกราดภาพ (Scanner) เป็นอุปกรณ์ในการเก็บภาพ จากนั้นหาตำแหน่งการวางมือโดยใช้วิธีการตามรอยขอบแล้วหาค่าความโค้งของขอบ ซึ่งจุดที่มีค่าความโค้งเปลี่ยนแปลงมากที่สุดจะเป็นจุดปลายนิ้วและจุดง่ามนิ้ว ต่อมาหมุนภาพเพื่อปรับตำแหน่งของแต่ละภาพให้ตรงกัน จากนั้นทำการสกัดฟิเจอร์ ดังนี้คือ ความยาวนิ้ว ความกว้างนิ้วและพื้นที่บริเวณปลายนิ้ว ในขั้นตอนการทดสอบการรู้จำใช้ Gaussian mixture model ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งในการฝึกสอนระบบและใช้ฟังก์ชันระยะทางในการจำแนกบุคคล ผลลัพธ์ในการรู้จำของงานวิจัยนี้มีความถูกต้องถึง 89% ที่ค่า FAR 2.22% ข้อดีของงานวิจัยนี้คือผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระ ไม่จำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งการวางมือ

1.2.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาเป็นระบบที่มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะมีลายม่านตาไม่ซ้ำกันและปลอมแปลงได้ยาก ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตามีดังต่อไปนี้

1) High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence ปี ค.ศ. 1993 โดย J. Daugman [6] ได้เสนอระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา ในขั้นตอนการเก็บภาพใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอในการเก็บภาพ จากนั้นทำการหาตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตา ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ใช้การวิเคราะห์ภาพในโดเมนความถี่ โดยใช้ตัวกรองแบบ Gabor และในขั้นตอนการเปรียบเทียบแผ่นแบบใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิง (Hamming distance function) ในการระบุบุคคล ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้มีความถูกต้องสูงมากโดยใช้วิธีการทางสถิติในการคำนวณซึ่งมีอัตราความผิดพลาดเพียง 1 ใน 131,000 นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ถือได้ว่าเป็นต้นแบบงานวิจัยของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาที่วิจัยต่อ ๆ มา

2) Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology ปี ค.ศ. 1997 โดย R. Wildes [7] ได้เสนอระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา ในขั้นตอนการหาตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตาใช้การแปลงฮัฟ (Hough transform) ในการค้นหาและใช้ตัวกรองแบบลาปลาเซียนของเกาส์เซียน (Laplacian of Gaussian filter) ในการสกัดพีเจอร์ และใช้สหสัมพันธ์แบบปรับบรรทัดฐาน (Normalized correlation) ในการเปรียบเทียบ

3) Iris Recognition with Low Template Size ปี ค.ศ. 2001 โดย R. Sanchez-Reillo และ C. Sanchez-Avila [8] ได้เสนอการลดขนาดของแผ่นแบบในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา โดยการแบ่งส่วนลายม่านตาเฉพาะด้านซ้ายและด้านขวา จากนั้นทำการสกัดพีเจอร์ด้วยตัวกรองแบบ Gabor และใช้ฟังก์ชันระยะทางแฮมมิงในการทดสอบระบบ ซึ่งมีความถูกต้องถึง 98.6% โดยใช้พีเจอร์ขนาด 992 บิต และทดสอบกับผู้ใช้จำนวน 10 คน

1.2.3 ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลเกิดขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ข้อมูลเพียงชนิดเดียว ดังนั้นจึงได้มีการนำระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะต่าง ๆ มารวมกัน เพื่อสามารถแก้ไขข้อจำกัดที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นเพื่อนำไปใช้ในงานที่ต้องการความปลอดภัยสูง

การทำงานของระบบไบโอเมตริกจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การเก็บข้อมูล การสกัดพีเจอร์ การเปรียบเทียบ และการตัดสินใจ สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรวมระบบไบโอเมตริกนั้นจะแบ่งออกตามการรวมระบบไบโอเมตริกที่ขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) Face Recognition using 2D and 3D Facial Data ปี ค.ศ. 2003 โดย K. I. Chang และคณะ [9] ได้ทดลองรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ใบหน้า โดยทำการเก็บภาพใบหน้าแบบ 2 มิติและ 3 มิติ จากนั้นนำภาพที่ได้มารวมกันแล้วทำการสกัดพีเจอร์ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

2) A Hybrid Fingerprint Matcher ปี ค.ศ. 2003 โดย A. Ross และคณะ [10] ทดลองการรวมคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มาจากการเปรียบเทียบพีเจอร์ของลายนิ้วมือ 2 ชนิดคือ พีเจอร์ลายละเอียดเล็ก ๆ ของลายนิ้วมือ (Minutiae-based feature) และลายผิวของลายนิ้วมือ (Texture-based feature) ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการเปรียบเทียบ

งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล ซึ่งใช้ข้อมูลของผู้ใช้เพียงชนิดเดียว แต่อาศัยอุปกรณ์รับสัญญาณต่างชนิดกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หรือใช้วิธีในการสกัดพีเจอร์ต่างกัน เพื่อให้ได้พีเจอร์เวกเตอร์ของลักษณะที่ต่างกัน ซึ่งระบบไบโอเมตริกเหล่านี้ยังคงพบกับข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบไบโอเมตริกแบบยูนิโมดัลคือ สัญญาณรบกวนในข้อมูลนำเข้า ความแปรปรวนของลักษณะของผู้ใช้ และความคล้ายคลึงระหว่างผู้ใช้ ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่เสนอระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ข้อมูลของผู้ใช้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ข้อมูลหลายชนิดจะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไบโอเมตริกแบบยูนิโมดัล งานวิจัยที่ใช้ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ข้อมูลของผู้ใช้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมีดังต่อไปนี้คือ

3) Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric ปี ค.ศ. 2003 โดย A. Kumar และคณะ [11] ได้ทดลองการนำระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและลายฝ่ามือ งานวิจัยนี้ได้ทดลองการรวมระบบไบโอเมตริกที่ 2 ระดับคือ ระดับการสกัดพีเจอร์ โดยการรวมพีเจอร์ที่ได้จากลักษณะเรขาคณิตของมือและลายฝ่ามือให้เป็นพีเจอร์เวกเตอร์เดียว และระดับคะแนนการเปรียบเทียบ โดยนำคะแนนการเปรียบเทียบมารวมกัน จากการทดลองจะพบว่าการรวมระบบที่ระดับการเปรียบเทียบจะให้ผลลัพธ์ดีกว่า เนื่องมาจากการรวมระบบที่ระดับการสกัดพีเจอร์ทำให้มิติของพีเจอร์เวกเตอร์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า "Curse-of-dimensionality" [12]

4) Personal Identification using Multiple Cues ปี ค.ศ. 1995 โดย R. Brunelli และ D. Falavigna [13] ทำการทดลองรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ใบหน้าและเสียง ซึ่งทำการรวมคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มาจากตัวจำแนก (Classifier) ที่ต่างกันโดยใช้เครือข่าย HyperBF ผลลัพธ์ของระบบในการระบุบุคคลมีความถูกต้องถึง 98%

5) Combining Classifiers for Face Recognition ปี ค.ศ. 2003 โดย X. Lu และคณะ [14] ได้ทดลองการรู้จำของใบหน้าและม่านตา โดยรวมระบบที่ระดับคะแนนการเปรียบเทียบ ซึ่งใช้การวิเคราะห์ความแตกต่างของ Fisher (Fisher's Discriminant Analysis) และใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชัน Radial Basis ในการจำแนก ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ได้ความถูกต้องถึง 90.2%

6) Bioid: A Multimodal Biometric Identification System ปี ค.ศ. 2000 โดย R. W. Frischholz และ U. Dieckmann [15] ทำการทดลองรวมระบบไบโอเมตริก 3 ชนิดเข้าด้วยกันคือ

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้เสียงพูด การเคลื่อนไหวของริมฝีปาก และใบหน้า เพื่อทำการทวนสอบบุคคล โดยทำการรวมระบบที่ระดับอุปกรณ์รับสัญญาณ ผลลัพธ์ของการทดลองจะได้ระบบที่มีค่า FAR ต่ำกว่า 1% โดยทดสอบกับผู้ใช้จำนวน 150 คน

1.3 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขั้นตอนวิธีและพัฒนาระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1) พื้นหลังที่ใช้ในการถ่ายภาพมือของผู้ใช้มีสีดำ
- 2) ในการเก็บภาพมือของผู้ใช้ ระยะทางระหว่างอุปกรณ์เก็บภาพกับมือของผู้ใช้จะมีระยะทางคงที่
- 3) นิ้วมือของผู้ใช้จะต้องไม่วางชิดหรือติดกัน
- 4) ภาพมือของผู้ใช้เป็นภาพระดับเทา
- 5) ภาพมือของผู้ใช้จะต้องไม่สวมนาฬิกาหรือเครื่องประดับอื่น ๆ เช่น แหวน กำไล เป็นต้น
- 6) ในการเก็บภาพม่านตาของผู้ใช้ ระยะทางระหว่างอุปกรณ์เก็บภาพกับม่านตาของผู้ใช้จะมีระยะทางคงที่
- 7) ภาพม่านตาเป็นภาพระดับเทา
- 8) ภาพม่านตาจะต้องเห็นลายม่านตาชัดเจน โดยที่เปลือกตาจะต้องไม่ปิดจนไม่เห็นลายม่านตา
- 9) ระบบไบโอเมตริกที่ได้จะไม่มีกระบวนการตรวจสอบความมีชีวิต (Liveness check) ของลักษณะของผู้ใช้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไบโอเมตริก
- 2) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ
- 3) ทดลองสร้างระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและวัดประสิทธิภาพ
- 4) ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา
- 5) ทดลองสร้างระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาและวัดประสิทธิภาพ
- 6) ศึกษาวิธีการรวมระบบไบโอเมตริกให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
- 7) ทดลองวิธีการรวมระบบไบโอเมตริกด้วยวิธีต่าง ๆ
- 8) ทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผล

9) สรุปและวิจารณ์ผล

10) จัดทำรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ได้วิธีการที่จะรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตาเข้าด้วยกัน เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 2) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัยแบบดั้งเดิมที่มีอยู่หรือแทนระบบรักษาความปลอดภัยเดิม เพื่อเพิ่มความปลอดภัย

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีทั้งหมด 5 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงความ เป็นมาและความสำคัญของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอน การวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ ดังที่กล่าวไว้แล้ว สำหรับบทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กับงานวิจัย บทที่ 3 กล่าวถึงระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา บทที่ 4 เป็นการทดลอง การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง และบทสุดท้ายบทที่ 5 เป็นการสรุป ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้นำหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาพัฒนาระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในการระบุบุคคล ซึ่งนำมาใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบเช่น ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นจะใช้ในการปรับปรุงข้อมูลภาพที่นำเข้ามาในระบบให้เหมาะสมเพื่อสามารถนำไปใช้ในการทำงานในขั้นตอนถัดไปได้ หรือใช้ในการวัดประสิทธิภาพการระบุบุคคลของระบบไบโอเมตริก หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ทฤษฎีพื้นฐานทางไบโอเมตริกและการประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital image processing and analysis)

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางไบโอเมตริก

ทฤษฎีพื้นฐานทางไบโอเมตริกจะเกี่ยวข้องกับความรู้พื้นฐานของระบบไบโอเมตริกโดยทั่วไป ซึ่งใช้เป็นการรู้เพื่อให้เข้าใจในการทำงานของระบบไบโอเมตริกมากขึ้น ดังนี้

2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบไบโอเมตริก

ระบบไบโอเมตริกโดยทั่วไปจะแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละขั้นตอนจะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

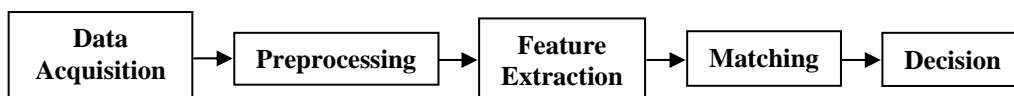
1) การเก็บข้อมูล (Data acquisition) ขั้นตอนนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลลักษณะทางไบโอเมตริกจากผู้ใช้งานเข้ามาในระบบโดยอาศัยอุปกรณ์รับสัญญาณหรืออุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลเช่น กล้องดิจิทัล กล้องวิดีโอ เครื่องบันทึกเสียง เป็นต้น

2) การประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) เป็นขั้นตอนการปรับปรุงข้อมูลให้เหมาะสมเพื่อที่ระบบจะสามารถนำผลเบื้องต้นที่ได้ไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป

3) การสกัดฟีเจอร์ (Feature extraction) เป็นขั้นตอนในการสกัดลักษณะที่สำคัญของผู้ใช้งานจากข้อมูลและนำฟีเจอร์ที่ได้ไปเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลของผู้ใช้ในระบบหรือนำไปทดสอบการเข้าใช้งานของระบบ

4) การเปรียบเทียบ (Matching) เป็นขั้นตอนการนำฟีเจอร์ที่ได้จากขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์มาทำการเปรียบเทียบกับแผนแบบของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล ผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้จะได้เป็นคะแนนการเปรียบเทียบ (Matching score) เพื่อใช้วัดความแตกต่างระหว่างผู้ใช้

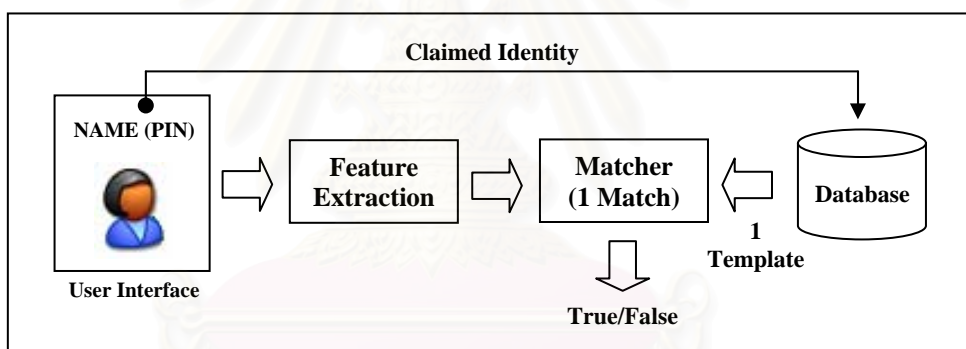
5) การตัดสินใจ (Decision) เป็นขั้นตอนที่น่าจะแนะนำการเปรียบเทียบมาทำการตัดสินใจว่าเป็นผู้ใช้ในระบบตามที่กล่าวอ้างหรือไม่หรือเป็นผู้ใช้คนใดในระบบ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบไบโอเมตริก

2.1.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในการทวนสอบบุคคล

การทวนสอบบุคคล (Personal verification) คือ การพิสูจน์ตัวตนของผู้ใช้ที่ทำการกล่าวอ้างว่าเป็นบุคคลนั้น โดยการนำข้อมูลที่รับเข้ามาใหม่มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของบุคคลที่ถูกกล่าวอ้างที่อยู่ในฐานข้อมูล โดยส่วนใหญ่จะใช้หมายเลขประจำตัว บัตรประจำตัว หรือชื่อผู้ใช้ในการกล่าวอ้าง จะเห็นได้ว่าการทวนสอบบุคคลนั้นเป็นการเปรียบเทียบแบบหนึ่งต่อหนึ่ง คือ มีการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับมากับข้อมูลของผู้ใช้ที่ถูกกล่าวอ้างเท่านั้น ดังนั้น การทวนสอบบุคคลจึงใช้เวลาในการประมวลผลไม่มาก ระบบไบโอเมตริกที่ใช้การทวนสอบบุคคลแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้การทวนสอบบุคคล [2]

การทวนสอบสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ ให้ F_I เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ (Feature vector) ที่ป้อนเข้าสู่ระบบและผู้ใช้ทำการกล่าวอ้างเป็นผู้ใช้ I ดังนั้นเราสามารถที่จะจำแนกผลลัพธ์ได้เป็น 2 กลุ่มคือ w_1 ซึ่งแทนการกล่าวอ้างเป็นจริง และ w_2 ซึ่งแทนการกล่าวอ้างเป็นเท็จ โดยในการทวนสอบจะทำการเปรียบเทียบ F_I กับ Y_I ซึ่งเป็นพีเจอร์เวกเตอร์ที่มาจากฐานข้อมูลของผู้ใช้ I ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 2.1

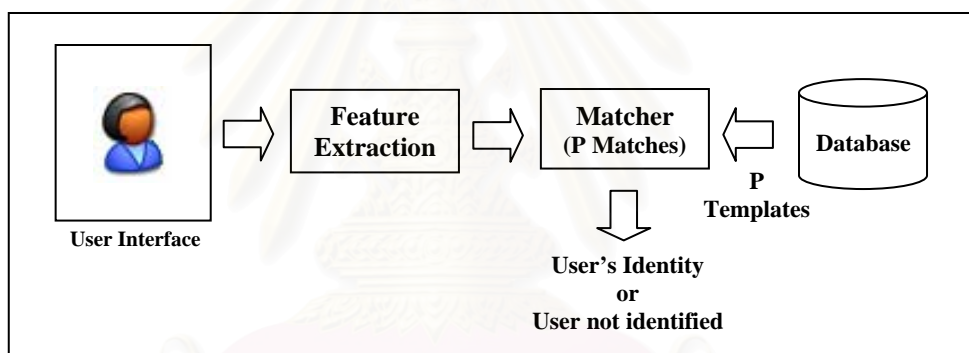
$$V(I, F_I) \in \begin{cases} w_1; & \text{if } D(F_I, Y_I) \leq T \\ w_2; & \text{otherwise} \end{cases} \dots (2.1)$$

โดยที่ $D(F_I, Y_I)$ เป็นฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คำนวณความแตกต่างระหว่างพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่ทำการทวนสอบกับพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่ถูกกล่าวอ้างที่อยู่ในฐานข้อมูล
 T เป็นค่าขีดแบ่งของระบบที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

ในการวัดลักษณะทางไบโอเมตริก ข้อมูลลักษณะของผู้ใช้ที่ทำการทดสอบในแต่ละครั้งจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งส่งผลให้คะแนนการเปรียบคูของผู้ใช้คนเดียวกันมีค่าแตกต่างกันได้ ดังนั้นค่าขีดแบ่งจึงมีความสำคัญในการตัดสินใจของระบบเนื่องจากระบบจะทำการเปรียบเทียบคะแนนการเปรียบคูกับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้าทำให้ระบบอาจมองผู้ใช้จริงเป็นผู้บุกรุกได้หากมีคะแนนการเปรียบคู่น้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้า ถ้าระบบมีการกำหนดค่าขีดแบ่งที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงได้

2.1.3 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในการระบุบุคคล

การระบุบุคคล (Personal identification) คือ การรู้จำบุคคลโดยการนำข้อมูลที่ได้รับเข้ามาใหม่มาเปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมดในฐานะข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องใช้หมายเลขประจำตัวหรือบัตรประจำตัวในการกล่าวอ้าง การระบุบุคคลเป็นการเปรียบเทียบแบบหนึ่งต่อมากกว่าหนึ่ง ทำให้การระบุบุคคลใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าการทวนสอบบุคคล ระบบไบโอเมตริกที่ใช้การระบุบุคคลแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้การระบุบุคคล [2]

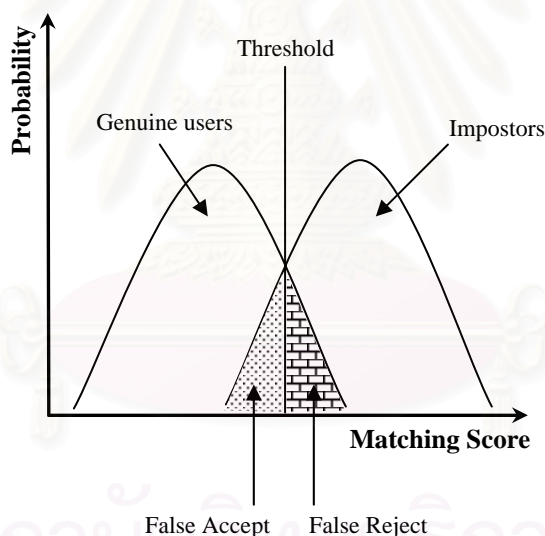
การระบุบุคคลแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ ให้ F_I เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และ I_k เป็นผู้ใช้ที่ระบบทำการระบุ ซึ่ง $k \in \{1, 2, \dots, P, P + 1\}$ โดยที่ I_1, I_2, \dots, I_P แทนผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูล และ I_{P+1} แทนกรณีการปฏิเสธการเข้าใช้งานระบบ ผลลัพธ์ของการระบุบุคคลจะแสดงดังสมการที่ 2.2

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

- โดยที่ Y_{I_k} เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ I_k
- T เป็นค่าขีดแบ่งของระบบที่กำหนดไว้ก่อนหน้า
- $D(F_I, Y_{I_k})$ เป็นฟังก์ชันระยะทางที่ใช้คำนวณความแตกต่างของพีเจอร์เวกเตอร์ที่ทำการระบุบุคคลกับพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูล

2.1.4 การวัดประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริก

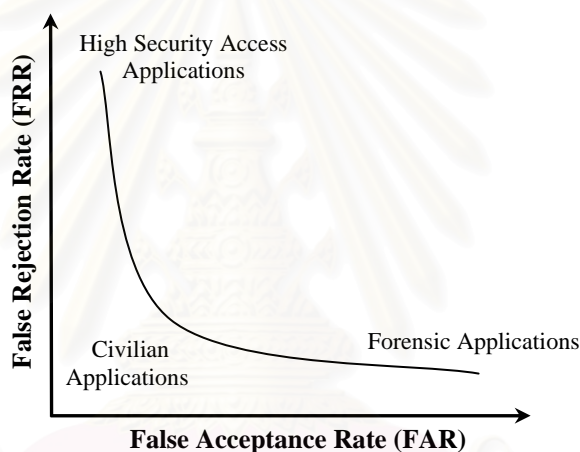
ในการวัดลักษณะของผู้ใช้คนเดียวกันเมื่อเวลาต่างกันนั้น ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะมีค่าไม่เท่ากันได้ เนื่องจากลักษณะของผู้ใช้ที่ได้มานั้นไม่มักจะเหมือนกันอย่างสมบูรณ์ กล่าวคืออาจมีความแตกต่างกันได้เล็กน้อยอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อมของอุปกรณ์รับข้อมูล ลักษณะของผู้ใช้มีการเปลี่ยนแปลง หรือปัจจัยจากอุณหภูมิหรือความชื้น เป็นต้น ดังนั้นผลลัพธ์ในการเปรียบคู่หรือคะแนนการเปรียบคู่นั้นจะถูกนำมาใช้วัดความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ป้อนเข้ามากับข้อมูลแผ่นแบบที่เก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล โดยถ้าคะแนนการเปรียบคู่นี้มีค่าน้อยเท่าไร ระบบก็จะแน่ใจมากขึ้นว่าข้อมูลที่ป้อนเข้ามานั้นมาจากผู้ใช้คนเดียวกัน โดยปกติการตัดสินใจของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งของระบบซึ่งทำการกำหนดไว้ก่อนหน้า รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายของคะแนนการเปรียบคู่ ซึ่งมาจากการกระจายของคะแนนการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริง (Genuine users' matching score distribution) ซึ่งมาจากการเปรียบคู่ลักษณะที่มาจากผู้ใช้คนเดียวกัน และการกระจายของคะแนนการเปรียบคู่ของผู้บุกรุก (Impostors' matching score distribution) ซึ่งได้มาจากการเปรียบคู่ลักษณะที่มาจากผู้ใช้ต่างคนกัน



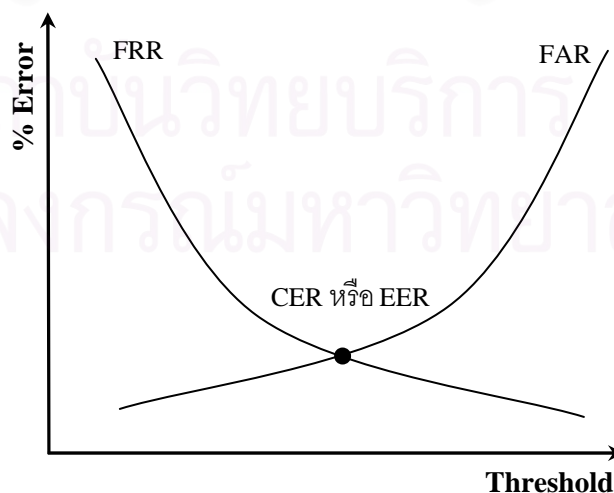
รูปที่ 2.4 การกระจายของคะแนนการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงและผู้บุกรุก

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

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



รูปที่ 2.5 กราฟ ROC แสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ



รูปที่ 2.6 กราฟแสดง CER หรือ EER ซึ่งเป็นจุดตัดกันของค่า FAR และ FRR

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

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

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

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

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

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

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

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

โดยที่ $f(x_i)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบเทียบผู้ใช้ในระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งเป็นผู้ใช้คนละคนกันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

$g(x_k)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบเทียบผู้ใช้นอกระบบกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

F_i เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่อยู่ในระบบและถูกนำมาทดสอบ

Y_j เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

F_k เป็นพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้นอกระบบและถูกนำมาทดสอบ

N เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้ในระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

M เป็นจำนวนข้อมูลของผู้ใช้นอกระบบทั้งหมดที่นำมาทดสอบ

P เป็นจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

2.2 ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล

ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลเป็นระบบไบโอเมตริกที่ใช้ข้อมูลลักษณะของผู้ใช้ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกัน ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการรวมระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล รูปแบบการทำงานและวิธีการรวมระบบไบโอเมตริกในระดับต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 รูปแบบการรวมระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล

รูปแบบในการใช้งานระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลแสดงดังรูปที่ 2.7 สามารถแบ่งรูปแบบการรวมระบบได้ดังนี้

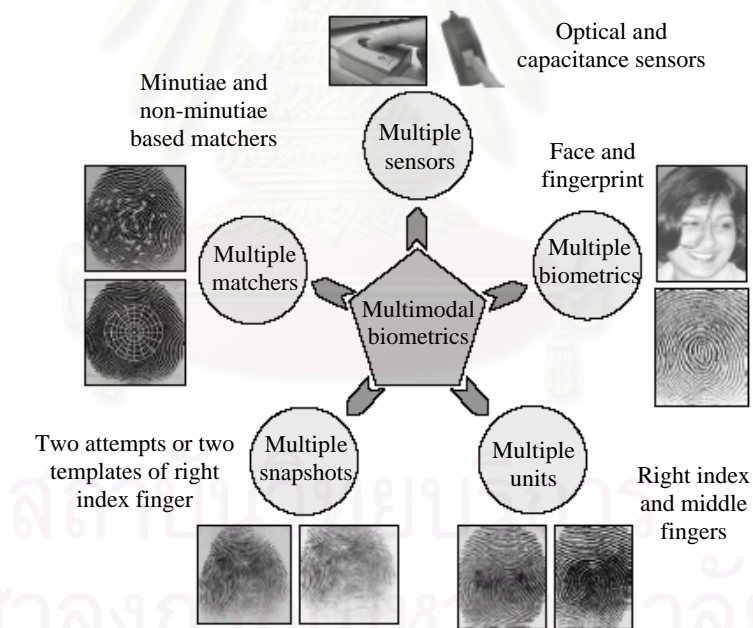
- 1) การใช้หลายอุปกรณ์รับรู้ เป็นวิธีในการรวมระบบไบโอเมตริกโดยการใช้อุปกรณ์รับรู้มากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งจะได้ข้อมูลของลักษณะตามจำนวนของอุปกรณ์รับรู้
- 2) การใช้หลายลักษณะของไบโอเมตริกชนิดเดียวกัน เช่น การใช้ลายนิ้วมือที่มาจากนิ้วมือหลายนิ้วหรือการใช้ม่านตาที่มาจากทั้งสองตาของผู้ใช้เดียวกัน
- 3) การเก็บข้อมูลหลายครั้งจากไบโอเมตริกชนิดเดียวกัน เป็นวิธีรวมระบบไบโอเมตริก โดยการเก็บลักษณะของผู้ใช้หลายครั้งเพื่อใช้ในการทดสอบระบบ
- 4) การใช้วิธีพีเจอร์หลายชนิดและการเปรียบเทียบหลายวิธี เป็นวิธีรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้วิธีในการสกัดพีเจอร์และการเปรียบเทียบหลายวิธี

- 5) การใช้ลักษณะหลายลักษณะ เป็นการรวมระบบไบโอเมตริกโดยการนำลักษณะหลายลักษณะมารวมกัน

2.2.2 รูปแบบการทำงานของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล

การทำงานของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- การทำงานแบบอนุกรม (Serial mode) การทำงานแบบนี้จะเป็นการทำงานเป็นลำดับโดยผลลัพธ์ของระบบไบโอเมตริกก่อนหน้าจะช่วยลดจำนวนผู้ใช้งานส่งไปยังระบบไบโอเมตริกถัดไป
- การทำงานแบบขนาน (Parallel mode) การทำงานแบบนี้จะเป็นการทำงานพร้อมกันโดยส่งลักษณะที่เก็บได้ไปยังระบบไบโอเมตริกที่มีอยู่และทำการประมวลผลในขณะเดียวกัน
- การทำงานแบบเชิงลำดับชั้น (Hierarchical mode) ในการทำงานชนิดนี้จะทำงานโดยการนำตัวจำแนก (Classifier) แต่ละตัวมารวมกันในลักษณะเป็นโครงสร้างแบบต้นไม้ (Tree structure)



รูปที่ 2.7 รูปแบบในการใช้งานระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัล [16]

2.2.3 ระดับในการรวมระบบไบโอเมตริก

ในการรวมระบบไบโอเมตริกหลายระบบเข้าด้วยกัน สามารถที่จะทำการรวมระบบได้ในระดับต่าง ๆ ซึ่งแยกออกได้ 3 ระดับ คือ

- การรวมในระดับการสกัดลักษณะสำคัญ (Fusion at feature extraction level) ข้อมูลที่ได้มาจากลักษณะทางไบโอเมตริกแต่ละชนิดจะถูกรวมเป็นฟีเจอร์เวกเตอร์เดี่ยว ถ้าข้อมูลที่ทำกรสกัดลักษณะสำคัญมีลักษณะข้อมูลที่ต่างกัน จะนำฟีเจอร์เวกเตอร์ต่างชนิดกันมาต่อกันโดยรวมเป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ใหม่ ทำให้ฟีเจอร์เวกเตอร์ที่ได้มีมิติเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มความแตกต่างระหว่างบุคคล
- การรวมในระดับคะแนนการเปรียบเทียบ (Fusion at matching score level) การรวมในระดับนี้เป็นการรวมคะแนนการเปรียบเทียบซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบลักษณะที่มาจากระบบไบโอเมตริกต่าง ๆ การรวมในระดับคะแนนการเปรียบเทียบนั้นจะต้องทำคะแนนการเปรียบเทียบให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อน (Normalization) เนื่องจากคะแนนการเปรียบเทียบที่มาจากไบโอเมตริกต่างชนิดกันจะมีบรรทัดฐานที่แตกต่างกัน
- การรวมในระดับการตัดสินใจ (Fusion at decision level) การรวมในระดับนี้ ระบบไบโอเมตริกต่าง ๆ จะทำการตัดสินใจเองโดยอาศัยฟีเจอร์เวกเตอร์ของแต่ละระบบ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มารวมกัน เพื่อทำการตัดสินใจในขั้นสุดท้าย

2.3 การประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (Digital Image Processing and Analysis)

การประมวลผลภาพดิจิทัลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จะใช้ในการทำงานในขั้นตอนการเตรียมภาพของระบบไบโอเมตริก โดยนำการประมวลผลภาพดิจิทัลมาปรับปรุงภาพที่ได้มาจากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถสกัดลักษณะที่สำคัญของผู้ใช้ออกจากภาพได้อย่างถูกต้อง และใช้ในการสกัดฟีเจอร์ของผู้ใช้และนำฟีเจอร์ที่ได้ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับแผนแบบของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล งานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพดิจิทัลดังต่อไปนี้

2.3.1 การหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

การหาค่าขีดแบ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) โดยอาศัยค่าความเข้มแสงหรือค่าระดับเทา ภาพที่จะนำมาทำการหาค่าขีดแบ่งนั้นต้องเป็นภาพระดับเทา การหาค่าขีดแบ่งนั้นจะเป็นการแบ่งจุดภาพในภาพออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของจุดภาพที่เป็นสีดำและกลุ่มของจุดภาพที่เป็นสีขาว

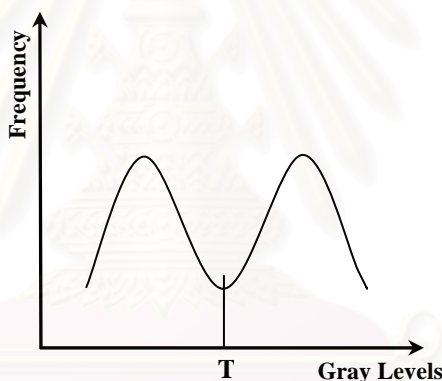
สมมติให้ $f(x, y)$ เป็นฟังก์ชันแทนค่าระดับเทาของภาพ ณ ตำแหน่งจุดภาพ (x, y) จากนั้นกำหนดค่าขีดแบ่ง T โดยถ้าค่าระดับเทาในภาพที่ตำแหน่ง (x, y) ใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง T จะแทนจุดภาพนั้นด้วยค่าระดับเทาที่มีค่าเท่ากับ 1 และถ้าค่าระดับเทาในภาพที่ตำแหน่ง (x, y) ใด ๆ ในภาพมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง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

โดยค่าระดับเทาที่มีค่าเป็น 0 แทนสีดำซึ่งเป็นส่วนพื้นหลังของภาพและค่าระดับเทาที่มีค่าเป็น 1 แทนสีขาวซึ่งเป็นส่วนของวัตถุที่สนใจ การหาค่าขีดแบ่งแสดงดังสมการที่ 2.8

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

2.3.2 การหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ โดยใช้วิธี Otsu

ในการหาค่าขีดแบ่ง ปัญหาที่สำคัญคือการเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ซึ่งในแต่ละภาพนั้นจะมีค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมไม่เท่ากันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น แหล่งกำเนิดแสง สภาพแวดล้อมต่างกัน เป็นต้น ทำให้เกิดความยุ่งยากแก่ผู้ใช้ในการเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ถึงแม้ว่าในงานบางชนิด ภาพที่ใช้จะมีสภาพแวดล้อมเดียวกันและมีการกำหนดค่าขีดแบ่งตายตัวก็ตาม แต่ในการใช้งานจริง ค่าขีดแบ่งที่ได้ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าขีดแบ่งที่เหมาะสม ดังนั้น N. Otsu จึงได้คิดค้นวิธีที่จะช่วยผู้ใช้ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ [17]



รูปที่ 2.8 ฮิสโทแกรมที่มีลักษณะเป็นทวิฐานนิยม

หลักการในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ โดยใช้วิธีของ Otsu นั้น จะใช้สมมติฐานว่าภาพที่จะนำมาใช้ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ นั้น จะต้องมียิสโทแกรมที่มีลักษณะเป็นแบบทวิฐานนิยม (Bimodal) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.8 ซึ่งวิธีการนั้นจะอาศัยความรู้ทางสถิติในการหาค่าขีดแบ่ง โดยสมมติให้ฮิสโทแกรมแทนด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็น P โดยที่ $P(0) \dots P(I)$ แทนความน่าจะเป็นของฮิสโทแกรมที่จะเกิดค่าระดับเทาตั้งแต่ค่า $0 \dots I$ ถ้าฮิสโทแกรมที่ได้จากภาพมีลักษณะเป็นทวิฐานนิยม ค่าขีดแบ่งที่จะแบ่งกลุ่มค่าระดับเทาของฮิสโทแกรมออกเป็น 2 กลุ่มคือค่า t โดยที่สามารถคำนวณค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มได้จากค่าความแปรปรวนของกลุ่มที่มีค่าระดับเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับ t กับค่าความแปรปรวนกลุ่มที่มีค่าระดับเทามากกว่า t ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่าอยู่ระหว่างฐานนิยมทั้งสองและมีค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มน้อยที่สุด

ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ ค่าความแปรปรวนของภาพหาได้จากสมการที่ 2.9 ซึ่งเกิดจากค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มและค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

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

โดยที่ σ^2 เป็นค่าความแปรปรวนของภาพ

$\sigma_w^2(t)$ เป็นค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม

$\sigma_B^2(t)$ เป็นค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม

จากสมการที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนของภาพเป็นค่าคงที่และไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่ง t ในการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ การคำนวณค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีความซับซ้อนน้อยกว่าการคำนวณค่าความแปรปรวนภายในกลุ่ม ดังนั้นค่าขีดแบ่ง t ที่เหมาะสมสามารถหาได้จากค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่มีค่ามากที่สุด โดยการคำนวณค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มหาได้จากสมการที่ 2.10

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

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

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

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

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

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

โดยที่ $q_1(t)$ เป็นความน่าจะเป็นของกลุ่มที่มีค่าระดับเทาน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่ง t

$\mu_1(t)$ เป็นค่าเฉลี่ยค่าระดับเทาของกลุ่มแรก

$\mu_2(t)$ เป็นค่าเฉลี่ยค่าระดับเทาของกลุ่มที่สอง

μ เป็นค่าเฉลี่ยของค่าระดับเทาของภาพต้นฉบับ

$P(i)$ ความน่าจะเป็นของฮิสโทแกรมที่ค่าระดับเทาเท่ากับ i

2.3.3 การประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานเป็นวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งช่วยในการแสดงและอธิบายส่วนประกอบต่าง ๆ ของวัตถุในภาพเช่น พื้นที่ โครงร่าง (Skeleton) ส่วนเว้าและส่วนโค้ง [18] ในการประมวลผลภาพเชิงสัณฐานจะใช้ทฤษฎีของเซต (Set theory) ซึ่งเป็นพื้นฐานทาง

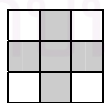
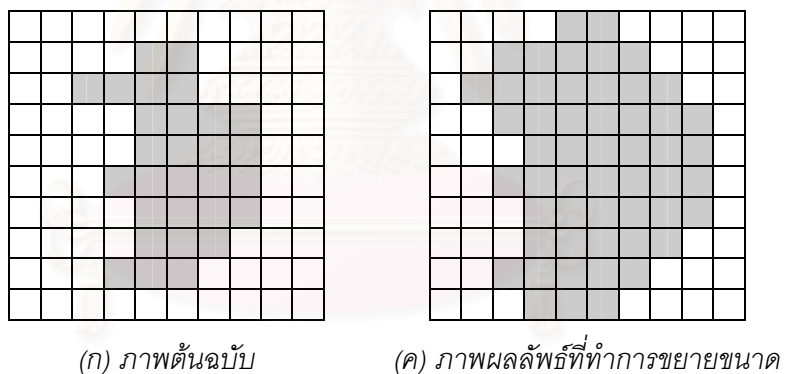
คณิตศาสตร์ในการประมวลผล ในงานวิจัยนี้จะใช้การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณกับภาพลักษณะฐานสองเท่านั้น ตัวดำเนินการ (Operator) ที่ใช้ในการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมีดังต่อไปนี้

1) การขยายขนาด (Dilation)

การขยายขนาดเป็นตัวดำเนินการพื้นฐานของการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณซึ่งใช้ในการเชื่อมวัตถุสองวัตถุที่อยู่ใกล้กันหรือขาดออกจากกันและใช้ในการปิดรูหรือกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กน้อยในภาพซึ่งเกิดจากการหาค่าขีดแบ่งในการแปลงภาพให้เป็นภาพลักษณะฐานสอง การขยายขนาดจะแสดงดังสมการที่ 2.15

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

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



(ข) สมาชิกโครงสร้าง

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างภาพในการขยายขนาด

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

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

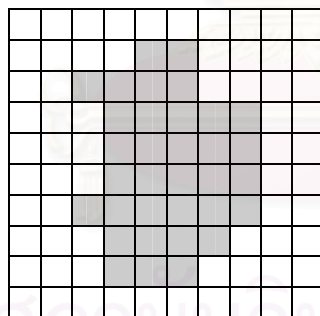
ตัวอย่างการขยายขนาดแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยรูปที่ 2.9(ก) เป็นภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.9(ข) เป็นสมาชิกโครงสร้างที่มาดำเนินการกับภาพและรูปที่ 2.9(ค) เป็นภาพที่ทำการขยายขนาดแล้ว

2) การกร่อน (Erosion)

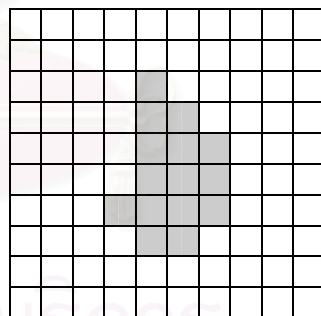
การกร่อนเป็นตัวดำเนินการพื้นฐานของการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณเช่นเดียวกับการขยายขนาด ซึ่งใช้ในการลดขนาดวัตถุให้เล็กลงหรือใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็กน้อยในภาพ การกร่อนจะแสดงดังสมการที่ 2.16

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

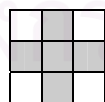
- โดยที่
- A เป็นภาพต้นฉบับ
 - B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ
 - z เป็นตำแหน่งที่ใช้ในการเลื่อนสมาชิกโครงสร้าง



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ค) ภาพผลลัพธ์ที่ทำการกร่อน



(ข) สมาชิกโครงสร้าง

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างภาพในการกร่อน

ขั้นตอนการกร่อนมีลักษณะเช่นเดียวกับการขยายขนาด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เมื่อจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างอยู่ส่วนใด ๆ ในภาพซึ่งไม่อยู่ตรงบริเวณของวัตถุจะไม่ดำเนินการใด ๆ และทำการเลื่อนสมาชิกโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป

- 2) เมื่อจุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างตรงกับบริเวณของวัตถุ จะทำการพิจารณาว่า จุดภาพของสมาชิกโครงสร้างทุกจุดตรงกับจุดภาพของวัตถุหรือเป็นซัพเซต (Subset) ของวัตถุหรือไม่ ถ้าจุดภาพตรงกันทุกจุดจะให้จุดศูนย์กลางของสมาชิกโครงสร้างเป็นบริเวณของวัตถุ แต่ถ้าจุดภาพไม่ตรงกันทุกจุดจะให้เป็นบริเวณพื้นหลังของวัตถุ

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

3) การเปิด (Opening)

การเปิดเป็นการนำตัวดำเนินการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมารวมกัน ซึ่งใช้ในการปรับเรียบขอบที่มีลักษณะเป็นหลุม การเปิดแสดงดังสมการที่ 2.17

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

โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ

B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

4) การปิด (Closing)

การปิดเป็นการนำตัวดำเนินการพื้นฐานทางการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณมารวมกันเช่นเดียวกับการเปิด ซึ่งใช้ในการปรับเรียบขอบที่มีลักษณะเป็นเนิน การปิดแสดงดังสมการที่ 2.18

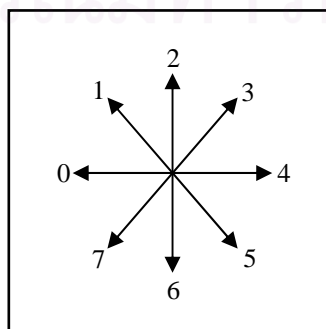
$$A \circ B = (A \oplus B) \ominus B \quad \dots (2.18)$$

โดยที่ A เป็นภาพต้นฉบับ

B เป็นสมาชิกโครงสร้างที่ใช้ดำเนินการกับภาพ

2.3.4 การตามรอยขอบด้วยรหัสลูกโซ่ (Chain Code Border Tracing)

การตามรอยขอบเป็นวิธีการในการหาขอบเขตของวัตถุในภาพ ในงานวิจัยนี้จะใช้รหัสลูกโซ่ ในการตามรอยขอบ ซึ่งรหัสลูกโซ่จะทำการแบ่งจุดภาพข้างเคียงออกเป็นทิศทั้งหมด 8 ทิศและกำหนดหมายเลขให้กับแต่ละทิศ ทิศ 8 ทิศของรหัสลูกโซ่แสดงในรูปที่ 2.11 [19]



รูปที่ 2.11 หมายเลขทิศของรหัสลูกโซ่

ในการเปลี่ยนทิศของรหัสลูกโซ่จะทำการเปลี่ยนตามเข็มนาฬิกา การตามรอยขอบด้วยรหัสลูกโซ่มีขั้นตอนดังนี้

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

2.3.5 การแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough Transform)

การแปลงฮัฟแบบวงกลมเป็นวิธีที่ใช้ในการหาตำแหน่งของวงกลมในภาพโดยกำหนดขนาดรัศมีของวงกลมที่ต้องการ ภาพที่นำมาใช้ต้องเป็นภาพขอบของวัตถุ [20]

การแปลงฮัฟแบบวงกลมจะใช้สมการวงกลมที่มีรัศมีตามที่กำหนดเพื่อหาตำแหน่งของวงกลมในภาพ จากนั้นใช้ตัวสะสม (Accumulator) นับจำนวนครั้งของตำแหน่งของเส้นรอบวงของวงกลมที่ซ้อนทับกัน โดยสามารถหาจุดศูนย์กลางของวงกลมได้จากตำแหน่งที่มีการซ้อนทับกันของเส้นรอบวงของวงกลมมากที่สุด เมื่อต้องการหาวงกลมที่ไม่ทราบรัศมี จำเป็นต้องกำหนดช่วงขนาดของรัศมีที่จะค้นหาซึ่งจะเพิ่มมิติของตัวสะสมและใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้น การแปลงฮัฟแบบวงกลมมีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดขนาดรัศมีของวงกลมที่ต้องการหาในภาพ
- 2) ค้นหาจุดภาพที่เป็นขอบโดยทำการค้นหาจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง
- 3) เมื่อเจอจุดภาพที่เป็นขอบจะให้จุดภาพนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมและหาเส้นรอบวงของวงกลมโดยใช้รัศมีตามที่กำหนด จากนั้นเพิ่มค่าในตัวสะสม ณ ตำแหน่งจุดภาพที่มีเส้นรอบวง
- 4) ค้นหาจุดภาพถัดไปที่เป็นขอบและทำตามขั้นตอนที่ 3 ใหม่อีกครั้ง
- 5) เมื่อค้นหาจุดภาพครบทั้งภาพแล้วจากนั้นตัดตำแหน่งในตัวสะสมที่มีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด ซึ่งค่าขีดแบ่งนี้ใช้ในการตัดสินใจว่าจุดภาพนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมหรือไม่
- 6) ค้นหาตำแหน่งในตัวสะสมที่มีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียงและให้ตำแหน่งนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม
- 7) ค้นหาตำแหน่งถัดไปครบทุกตำแหน่งในตัวสะสม
- 8) ถ้าไม่ทราบรัศมีของวงกลมที่ต้องการค้นหาจะกำหนดรัศมีของวงกลมเป็นช่วงที่ต้องการและทำตามขั้นตอนที่ 1 ใหม่อีกครั้ง จากนั้นจะปรับค่ารัศมีเพิ่มขึ้นจนถึงค่ารัศมีสูงสุดที่ต้องการ

2.3.6 ตัวดำเนินการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียล (Integro-Differential operator)

ตัวดำเนินการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียลเป็นวิธีการหนึ่งของตัวตรวจหาขอบแบบวงกลม (Circular edge detector) ตัวดำเนินการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียลแสดงดังสมการที่ 2.19 [21]

$$(r, x_c, y_c) = \arg \max_{(r, x_c, y_c)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_c, y_c} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad \dots (2.19)$$

โดยที่ $I(x, y)$ เป็นค่าระดับเทาของภาพ ณ ตำแหน่ง (x, y)

$G_\sigma(r)$ เป็นฟังก์ชันปรับเรียบ (Smoothing function) โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ

r, x_c, y_c เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของวงกลมที่หาได้

ตัวดำเนินการอินทิกรัล-ดิฟเฟอเรนเชียลจะหาผลรวมของค่าระดับเทาของจุดภาพที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลมตามช่วงรัศมีของวงกลมและจุดศูนย์กลาง (x_c, y_c) ที่กำหนด จากนั้นแปลงผลรวมของค่าระดับเทาที่รัศมีต่าง ๆ ให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันโดยใช้ความยาวเส้นรอบวง ต่อมาหาอนุพันธ์ย่อยของรัศมีของผลรวมของค่าระดับเทาและคอนโวลูท (Convolute) ด้วยฟังก์ชันปรับเรียบ $G_\sigma(r)$ จากนั้นค้นหาค่ารัศมี r ที่มีค่าอนุพันธ์ย่อยของผลรวมของค่าระดับเทามากที่สุด ซึ่งเป็นรัศมีของวงกลมที่ต้องการ

2.3.7 การปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกัน

ในการประมวลผลภาพดิจิทัล ภาพที่นำมาประมวลผลแต่ละภาพอาจมีระดับความเข้มแสงไม่เท่ากันเนื่องจากสภาพแวดล้อมของบริเวณที่ทำการเก็บภาพเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการประมวลผลภาพดิจิทัลเพราะใช้ค่าความเข้มแสงของภาพในการประมวลผล ดังนั้นควรมีการปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันก่อนนำภาพมาประมวลผล วิธีการปรับความเข้มแสงของชุดภาพให้เป็นบรรทัดฐานเดียวกันแสดงดังสมการที่ 2.20 และ 2.21

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

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

โดยที่ $I'(x, y)$ เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

ϕ_d และ ρ_d เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

ϕ และ ρ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ

$I(x, y)$ เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x, y)

2.3.8 ฟังก์ชันระยะทาง (Distance Function)

ฟังก์ชันระยะทางเป็นฟังก์ชันที่ใช้วัดความแตกต่างของข้อมูล ผลลัพธ์ของฟังก์ชันระยะทางคือค่าระยะทางซึ่งแสดงค่าความแตกต่างของข้อมูล ฟังก์ชันระยะทางที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

1) ฟังก์ชันระยะทาง S_1 (S_1 distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดความแตกต่างของข้อมูลโดยอาศัยค่าน้อยที่สุดและค่ามากที่สุดซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.22 โดยผลลัพธ์ของฟังก์ชันระยะทาง S_1 จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$

$$D_{S_1} = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \frac{\min(y_i, f_i)}{\max(y_i, f_i)} \quad \dots (2.22)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

2) ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ (Absolute distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดความแตกต่างของข้อมูลโดยคำนวณจากค่าสัมบูรณ์ของผลต่างของข้อมูลซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.23

$$D_a = \sum_{i=1}^d |y_i - f_i| \quad \dots (2.23)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

3) ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted absolute distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดความแตกต่างของข้อมูลโดยคำนวณจากค่าสัมบูรณ์ของผลต่างของข้อมูลและปรับด้วยค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.24

$$D_{wa} = \sum_{i=1}^d \frac{|y_i - f_i|}{\sigma_i} \quad \dots (2.24)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด
 σ_i เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

4) ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดความแตกต่างของข้อมูลเป็นระยะทางแบบเส้นตรงซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.25

$$D_e = \sqrt{\sum_{i=1}^d (y_i - f_i)^2} \quad \dots (2.25)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

5) ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Euclidean distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดความแตกต่างของข้อมูลเป็นระยะทางแบบเส้นตรงและปรับด้วยค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.26

$$D_{we} = \sqrt{\sum_{i=1}^d \frac{(y_i - f_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad \dots (2.26)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด
 σ_i^2 เป็นความแปรปรวนของข้อมูล

6) ฟังก์ชันระยะทาง D_1 (D_1 distance function) เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดความแตกต่างของข้อมูลโดยผลต่างและผลบวกของข้อมูลซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.27 โดยผลลัพธ์ของฟังก์ชันระยะทาง D_1 จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$

$$D_{D_1} = \sum_{i=1}^d \frac{|y_i - f_i|}{y_i + f_i} \quad \dots (2.27)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

บทที่ 3

การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

การระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตามีส່วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาและการรวมระบบไบโอเมตริกทั้งสองระบบเข้าด้วยกัน วิธีการที่ใช้ในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือเป็นระบบที่ใช้ลักษณะทางกายภาพหรือรูปร่างของมือในการทวนสอบหรือระบุบุคคล เช่น ความกว้างและความยาวของนิ้ว พื้นที่บริเวณปลายนิ้ว เป็นต้น ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือในงานวิจัยนี้ไม่ใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือทำให้ผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระ

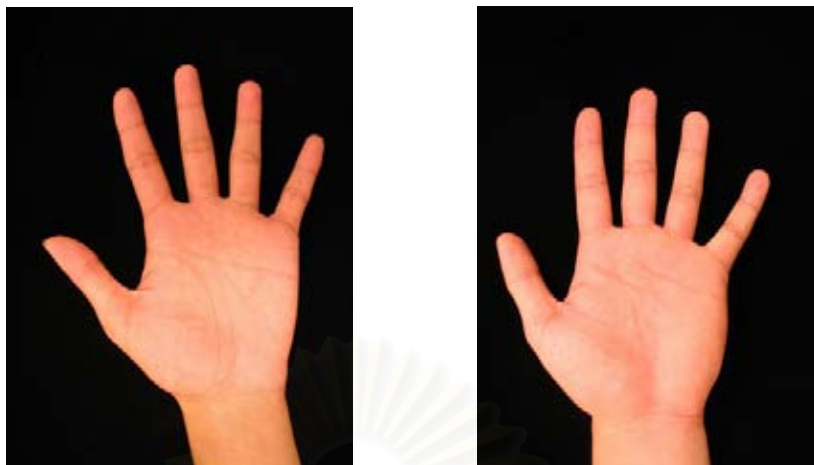
ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนในการทำงานออกเป็นขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพมือ ขั้นตอนการเตรียมภาพ ขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ ตามลำดับ ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

3.1.1 การเก็บข้อมูลภาพมือ (Hand Image Acquisition)

การเก็บข้อมูลภาพมือเป็นขั้นตอนในการเก็บภาพมือของผู้ใช้เข้ามาในระบบ โดยงานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลภาพจาก Visgraph [22]

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงเช่น หลอดไฟหรือโคมไฟ เป็นต้น เพื่อให้สภาพแวดล้อมบริเวณที่ทำการเก็บภาพมีแสงสว่างเพียงพอ ใช้กล้องดิจิทัลและพื้นหลังเรียบสีดำเพื่อให้ภาพที่ได้ไม่มีเงาของมือหรือวัตถุอื่นเข้ามาบดบัง

ขั้นตอนแรกในการเก็บข้อมูลภาพ ผู้ใช้จะวางมือหงายให้หลังมือและนิ้วทุกนิ้วแนบสนิทกับพื้นหลังเรียบสีดำ ผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระโดยไม่มีกำบังตำแหน่งการวางมือ จากนั้นทำการเก็บภาพด้วยกล้องดิจิทัลซึ่งภาพที่ได้ในงานวิจัยนี้เป็นภาพสีแบบ 24 บิตและมีขนาด 1280x960 จุดภาพตัวอย่างภาพที่ทำการเก็บแสดงดังรูปที่ 3.1 และในงานวิจัยนี้ใช้ภาพมือซ้ายของผู้ใช้เท่านั้น



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพมือที่ใช้ในงานวิจัย [22]

3.1.2 การประมวลผลภาพมือเบื้องต้น

ขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นปรับปรุงภาพและกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์เก็บภาพและสภาพแวดล้อมในขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพให้เหมาะสมก่อนนำภาพที่ทำการปรับปรุงแล้วไปทำการสกัดพีเจอรี่ในขั้นตอนถัดไป การเตรียมภาพมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา

เนื่องจากภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพเป็นภาพสีแบบ RGB แต่ในขั้นตอนการเตรียมภาพนั้นจะต้องทำการประมวลผลภาพกับภาพระดับเทา ดังนั้นจึงทำการแปลงภาพสีแบบ RGB ให้กลายเป็นภาพระดับเทา (Grayscale image) โดยใช้โมเดลสีแบบ YIQ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.1

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.60 & -0.28 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \dots (3.1)$$

ในการแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับเทานั้นจะใช้เพียงค่า Y เท่านั้น เนื่องจากค่า Y เป็นค่าความส่องสว่าง (Illumination) ซึ่งสามารถใช้แทนค่าระดับเทาได้ ดังนั้นสมการการแปลงค่าสี RGB ไปเป็นค่าระดับเทาแสดงดังสมการที่ 3.2

$$\text{Grayscale Value} = (0.30 * R) + (0.59 * G) + (0.11 * B) \quad \dots (3.2)$$

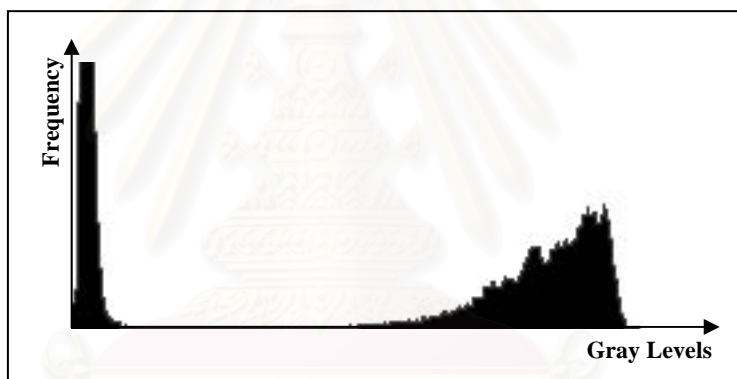
2) การกำจัดสัญญาณรบกวน

เนื่องจากภาพมือที่ได้มาจากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพอาจมีสัญญาณรบกวนเป็นจุดเล็ก ๆ อยู่ในภาพ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพโดยใช้ตัวกรองแบบมัธยฐาน (Median filter) ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้หน้ากาก (Mask) ที่ใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนมีขนาด 5x5 จุดภาพ

3) การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation)

เนื่องจากขั้นตอนการสกัดที่เจอร์จะต้องวัดรูปร่างลักษณะของมือ ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งส่วน (Segmentation) มือของผู้ใช้ออกจากบริเวณพื้นหลังของภาพ เมื่อทำการสังเกตรูปภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจะเห็นว่าภาพประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนบริเวณที่เป็นมือของผู้ใช้และส่วนบริเวณพื้นหลังของภาพซึ่งมีสีดำ โดยทั้ง 2 ส่วนมีค่าระดับเทาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการแบ่งส่วนบริเวณมือออกจากพื้นหลังโดยใช้การหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding)

ในการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่ง ถ้าเลือกใช้ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมก็จะสามารถแบ่งส่วนภาพได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าเลือกใช้ค่าขีดแบ่งไม่เหมาะสมก็จะทำให้ไม่สามารถแบ่งส่วนภาพออกจากกันได้ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เกิดความผิดพลาดขึ้น นอกจากนั้นภาพแต่ละภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพมีค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมแตกต่างกัน ทำให้ไม่สามารถหาค่าขีดแบ่งเพียงค่าใดค่าหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับทุกภาพได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำการหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมตามลักษณะของภาพ



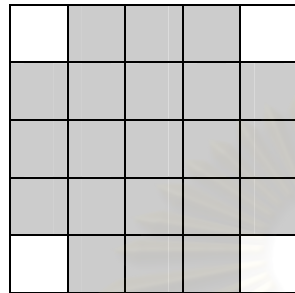
รูปที่ 3.2 ฮิสโทแกรมของภาพมือ

เมื่อนำภาพมาหาค่าฮิสโทแกรมซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าฮิสโทแกรมมีลักษณะแบบทวิฐานนิยม (Bimodal) ซึ่งมีกลุ่มข้อมูลของฮิสโทแกรมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติของ Otsu ซึ่งค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่ได้จะเป็นค่าขีดแบ่งที่อยู่ระหว่างกลุ่มย่อยทั้งสอง ผลลัพธ์ในการหาค่าขีดแบ่งจะได้ภาพลักษณะฐานสองซึ่งแสดงส่วนของบริเวณมือในภาพ

4) การปรับภาพให้เรียบ (Image Smoothing)

หลังจากการหาค่าขีดแบ่งแล้ว ภาพลักษณะฐานสอง (Binary image) ที่ได้อาจมีสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็ก ๆ ในบริเวณส่วนของมือและพื้นหลังอยู่ นอกจากนั้น บริเวณขอบของมือมีลักษณะเป็นรอยหยัก ดังนั้นจึงทำการประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Image morphological processing) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและปรับบริเวณขอบของมือให้เรียบโดยใช้การประมวลผลภาพเชิงสัณฐานแบบ

เปิด (Opening) และปิด (Closing) โดยใช้สมาชิกโครงสร้างแบบวงกลม ขนาด 5×5 จุดภาพ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.3(ก) และผลลัพธ์หลังการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.3(ข)



(ก) สมาชิกโครงสร้างแบบวงกลม



(ข) ภาพที่ผ่านขั้นตอนประมวลผลภาพเชิงสัญญาณแล้ว

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการประมวลผลภาพเชิงสัญญาณ

3.1.3 การหาตำแหน่งสำคัญ

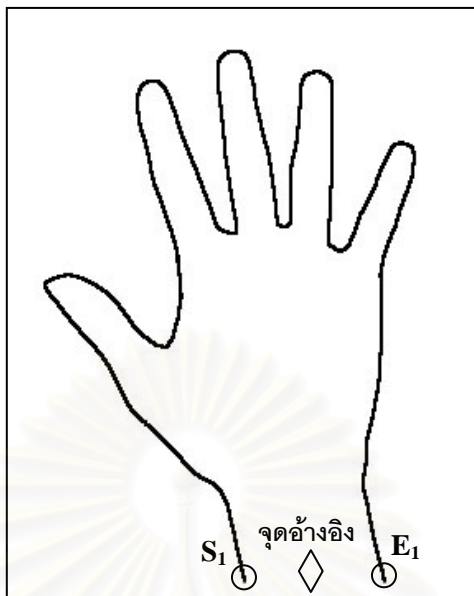
การหาตำแหน่งสำคัญเป็นขั้นตอนการหาจุดที่อยู่บนบริเวณขอบของมือซึ่งจะนำไปใช้ในการสกัดพีเจอรีในขั้นตอนถัดไป ตำแหน่งสำคัญของมือคือ 'จุดปลายนิ้ว' และ 'จุดง่ามนิ้ว' การหาตำแหน่งสำคัญแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1) การหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้าย

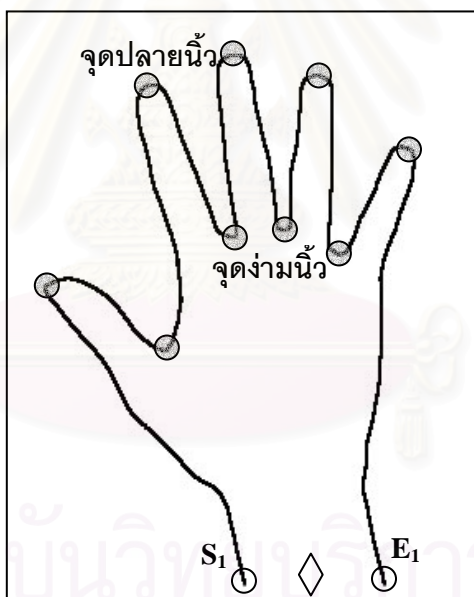
การหาตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายเป็นการหาตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายที่ใช้ในการตามรอยขอบของมือ เนื่องจากบริเวณด้านล่างของภาพเป็นบริเวณข้อมือของผู้ใช้ ดังนั้น ขั้นตอนแรกในการหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายจะค้นหาจุดภาพที่เป็นขอบของข้อมือที่บริเวณจุดภาพแถวล่างสุดของภาพ ผลลัพธ์จะได้ตำแหน่งเริ่มต้น S_1 และตำแหน่งสุดท้าย E_1 ดังรูปที่ 3.4

2) การหาตำแหน่งอ้างอิง

ตำแหน่งอ้างอิงเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบระยะทางจากขอบของมือมายังจุดอ้างอิงซึ่งใช้ในการหาตำแหน่งสำคัญของมือ ตำแหน่งอ้างอิงของมือหาได้จากจุดกึ่งกลางระหว่างจุดเริ่มต้น S_1 และจุดสุดท้าย E_1 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การหาตำแหน่งเริ่มต้นและสุดท้ายและจุดอ้างอิงของมือ



รูปที่ 3.5 การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว

3) การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้ว

การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและง่ามนิ้วจะเริ่มจากการตามรอยขอบของมือโดยใช้รหัสลูกโซ่ (Chain code) ที่จุดเริ่มต้น S_1 ไปสิ้นสุดที่จุดสุดท้าย E_1 จากนั้นทำการหาระยะทางระหว่างจุดภาพที่อยู่บนขอบกับจุดอ้างอิงโดยวัดระยะยูคลิเดียน (Euclidean distance) ดังสมการที่ 3.3

$$D_e = \sqrt{(x - x_r)^2 + (y - y_r)^2} \quad \dots (3.3)$$

โดย (x, y) เป็นตำแหน่งจุดที่อยู่บริเวณขอบของมือ

(x_r, y_r) เป็นตำแหน่งจุดอ้างอิง

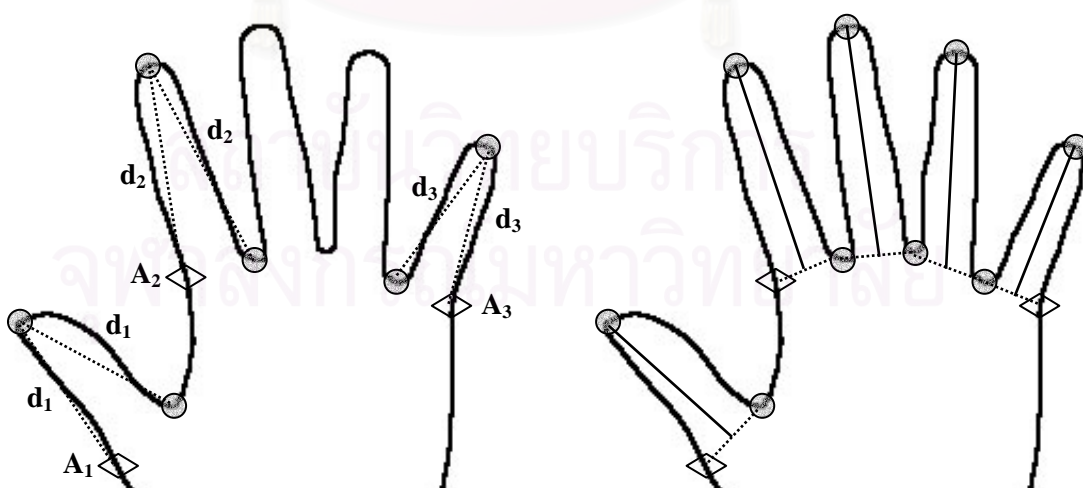
จากการวัดระยะทาง จุดปลายนิ้วหาได้จากจุดที่มีระยะทางมากที่สุดจากจุดอ้างอิงเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียง ส่วนจุดง่ามนิ้วหาได้จากจุดที่มีระยะทางน้อยที่สุดจากจุดอ้างอิงเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียง ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบกับจุดข้างเคียงทางด้านซ้ายและขวาแต่ละ 50 จุด ผลลัพธ์การหาตำแหน่งจุดปลายนิ้วและจุดง่ามนิ้วแสดงดังรูปที่ 3.5

3.1.4 การสกัดพีเจอร์ลักษณะเรขาคณิตของมือ

ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์จะทำการสกัดลักษณะที่สำคัญของมือออกจากภาพ โดยในงานวิจัยนี้พีเจอร์ที่ทำการสกัดมีดังนี้คือ ความยาวนิ้วทั้ง 5 นิ้ว ความกว้างของนิ้ว 3 ระดับทั้ง 5 นิ้วและความกว้างของฝ่ามือ รวม 21 พีเจอร์ ดังนี้

1) การหาความยาวนิ้ว

ในการหาความยาวนิ้วจำเป็นต้องทำการหาเส้นฐานของนิ้วก่อน โดยเส้นฐานของนิ้วกลางและนิ้วนางสามารถหาได้จากจุดง่ามนิ้วที่อยู่ด้านข้างของนิ้วโดยทำการลากเส้นเชื่อมกัน ส่วนนิ้วโป้ง นิ้วชี้และนิ้วก้อยจะเห็นได้ว่ามีจุดง่ามนิ้วที่อยู่ด้านข้างเพียงจุดเดียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงหาเส้นฐานได้จาก 'จุดสิ้นสุด' (End point) A_1 , A_2 และ A_3 ซึ่งเป็นจุดที่ได้จากการตามรอยขอบไปยังด้านตรงข้ามกับจุดง่ามนิ้วจนกระทั่งระยะทางจากจุดที่อยู่บนขอบไปยังจุดปลายนิ้วที่ค่าเท่ากับระยะทางจากจุดปลายนิ้วไปยังง่ามนิ้ว ดังรูปที่ 3.6 เมื่อได้เส้นฐานของนิ้วสามารถหาความยาวนิ้วได้จากระยะทางจากจุดปลายนิ้วไปยังจุดกึ่งกลางของเส้นฐานของนิ้ว



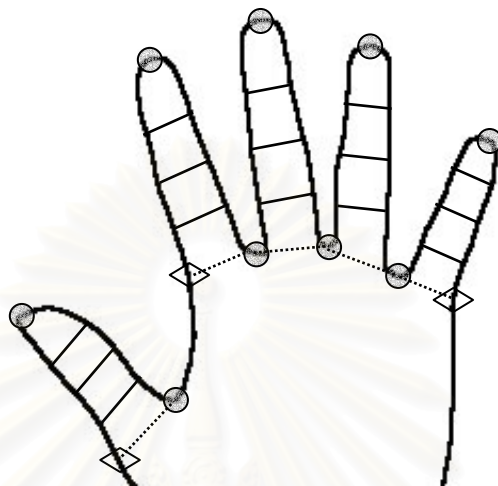
(ก) การหาเส้นฐานของนิ้วโป้ง นิ้วชี้และนิ้วก้อย

(ข) พีเจอร์ความยาวนิ้ว 5 นิ้ว

รูปที่ 3.6 การหาความยาวนิ้ว 5 นิ้ว

2) การหาความกว้างนิ้ว

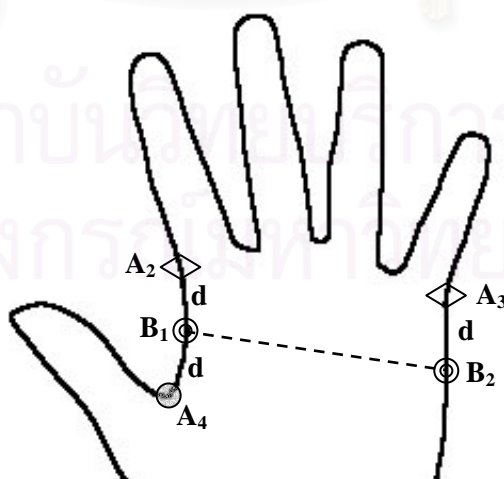
ในการหาความกว้างนิ้วจะใช้ความกว้างนิ้ว 3 ระดับ ซึ่งหาได้จากความกว้างของนิ้วที่ตั้งฉากกับความยาวนิ้วที่ระยะ $1/3$ $1/2$ และ $2/3$ ของความยาวนิ้วตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



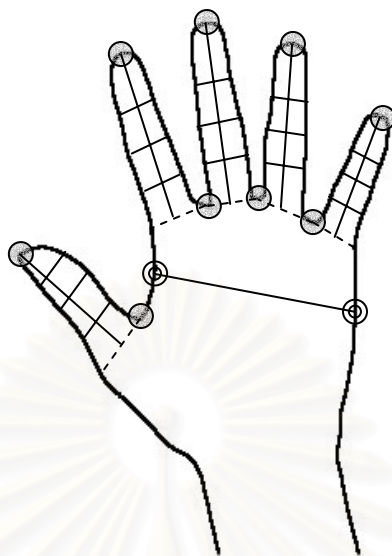
รูปที่ 3.7 การหาความกว้างนิ้ว 3 ระดับ

3) การหาความกว้างของฝ่ามือ

การหาความกว้างของฝ่ามือหาได้จากระยะทางจากจุด B_1 ไปยัง B_2 ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยจุด B_1 หาได้จากจุดกึ่งกลางของเส้นขอบของมือระหว่างจุด A_2 ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของนิ้วชี้และจุด A_4 ซึ่งเป็นจุดง่ามนิ้วของนิ้วโป้ง ส่วนจุด B_2 หาได้จากจุดที่อยู่บนเส้นขอบของมือที่มีระยะทางจากจุดสิ้นสุดของนิ้วก้อย (จุด A_3) เท่ากับระยะทางระหว่างจุด A_2 ไปยัง B_1 หรือระยะทางระหว่างจุด B_1 ไปยัง A_4 ผลลัพธ์ในการสกัดพีเจอร์ทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 การหาความกว้างของฝ่ามือ



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันของมือที่ได้ในขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์

3.1.5 การเปรียบเทียบแบบแผนและการตัดสินใจของระบบ

ในการเปรียบเทียบแบบแผนจะได้ค่าระยะทางหรือค่าความคล้ายซึ่งจะนำไปใช้ในการตัดสินใจว่าเป็นบุคคลตามที่กล่าวอ้างหรือไม่หรือเป็นบุคคลใดในระบบ งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้ฟังก์ชันระยะทาง 6 ชนิด ได้แก่ ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ (Absolute distance function) ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted absolute distance function) ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean distance function) ฟังก์ชันระยะทางยูคลิเดียนแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Euclidean distance function) ฟังก์ชันระยะทาง D_1 (D_1 distance function) และฟังก์ชันระยะทาง S_1 (S_1 distance function) ซึ่งพบว่าฟังก์ชันระยะทาง S_1 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ฟังก์ชันระยะทาง S_1 ในการเปรียบเทียบแบบแผน

ในการตัดสินใจของระบบใช้ค่าขีดแบ่งในการตัดสินใจซึ่งค่าขีดแบ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการทดลอง ถ้าค่าระยะทางทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนการเปรียบเทียบมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้นอกระบบ แต่ถ้าค่าระยะทางที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุเป็นบุคคลในระบบที่เปรียบเทียบแล้วมีค่าระยะทางน้อยที่สุด

3.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

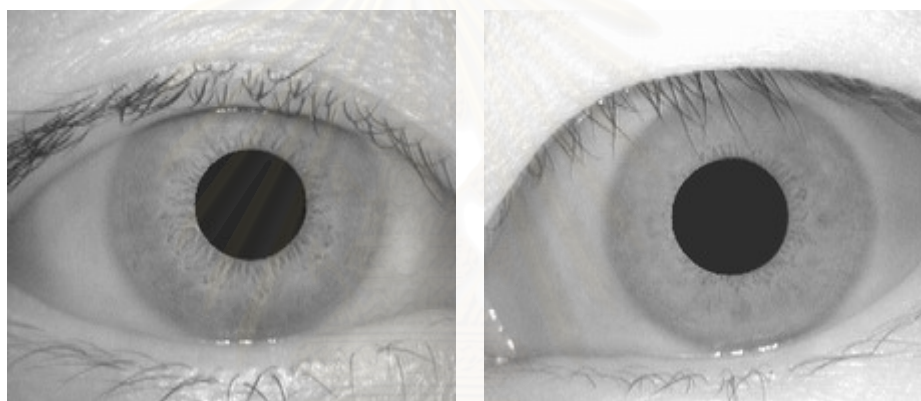
ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะมีลายม่านตาไม่ซ้ำกันแม้ว่าจะเป็นฝาแฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกันก็ตาม [23] การปลอมแปลงทำได้ยากและลายม่านตาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต [24] จึงทำให้ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตามี

ความปลอดภัยสูงและมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นจึงได้มีการนำไปใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ ที่ต้องการความปลอดภัยสูงในการผ่านเข้าออกสถานที่หรือเข้าถึงข้อมูลที่สำคัญ

ขั้นตอนการทำงานของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้ การเก็บข้อมูลภาพตา การหาตำแหน่งม่านตา การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น การสกัดพีเจอร์และการเปรียบเทียบแผ่นแบบ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.2.1 การเก็บข้อมูลภาพตา (Eye Image Acquisition)

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจะทำการเก็บภาพม่านตาของผู้ใช้เข้ามาประมวลผลในระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำภาพม่านตาของผู้ใช้มาจากฐานข้อมูลภาพของ CASIA [25] ซึ่งเป็นภาพระดับเทาแบบ 8 บิต ขนาด 320x280 จุดภาพ ตัวอย่างภาพม่านตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างภาพตาที่ใช้ในงานวิจัย [25]

3.2.2 การหาตำแหน่งม่านตา (Iris Localization)

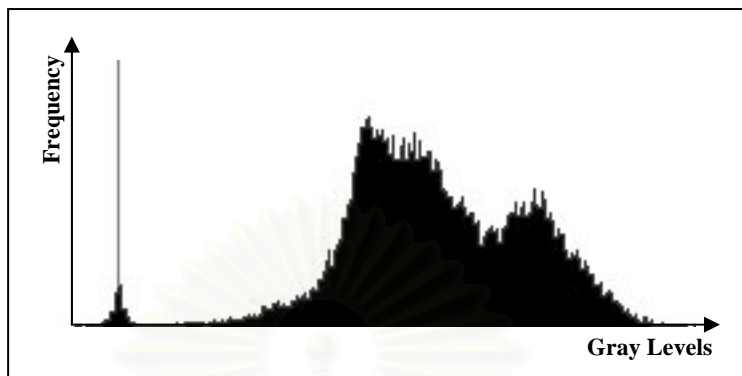
ในการหาตำแหน่งม่านตา เนื่องจากภาพม่านตาที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพตาดังรูปที่ 3.10 มีส่วนบริเวณอื่น ๆ ของตาอยู่ภายในภาพด้วยเช่น เปลือกตา ขนตา เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาตำแหน่งม่านตาเพื่อทำการแบ่งส่วนม่านตาออกมาจากภาพ จากนั้นจึงนำลายม่านตาที่ทำการแบ่งส่วนได้นั้นมาทำการสกัดพีเจอร์ในขั้นตอนถัดไป

การหาตำแหน่งม่านตาจะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การหาตำแหน่งของรูม่านตาและการหาตำแหน่งของม่านตา ดังนี้

1) การหาตำแหน่งของรูม่านตา

ในการหาตำแหน่งของรูม่านตา เมื่อนำฮิสโทแกรมของภาพตามาพิจารณาจะพบว่ารูม่านตามีค่าระดับเทาอยู่ในช่วงค่าต่ำ ๆ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11 ดังนั้นสามารถหารูม่านตาจากภาพได้จากการใช้ค่าขีดแบ่ง โดยการหาค่าขีดแบ่งหาจากตำแหน่งที่มีค่าระดับเทาที่มีความถี่มากที่สุดในฮิสโทแกรมของภาพ

ตา โดยงานวิจัยนี้พิจารณาความถี่ของระดับเทาที่มีค่าน้อยกว่า 100 ผลลัพธ์จากการแบ่งส่วนภาพโดยใช้ค่าขีดแบ่งจะได้ภาพลักษณะฐานสองของบริเวณที่เป็นรูม่านตาในภาพซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.12



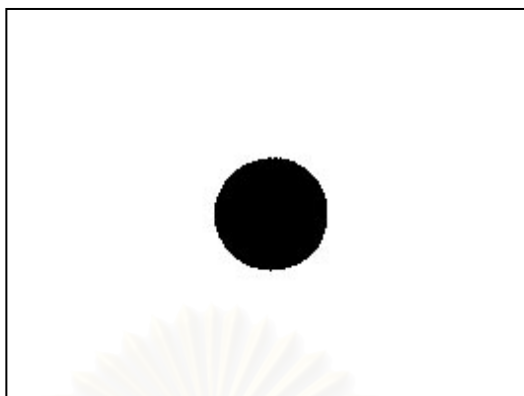
รูปที่ 3.11 ฮิสโทแกรมของภาพตา



รูปที่ 3.12 ภาพตาที่ผ่านขั้นตอนการแบ่งส่วนโดยใช้ค่าขีดแบ่ง

เมื่อได้ภาพลักษณะฐานสองของบริเวณที่เป็นรูม่านตาแล้ว จะพบว่าบริเวณอื่น ๆ ในภาพจะมีลักษณะเป็นสัญญาณรบกวนเป็นจุดเล็ก ๆ ซึ่งเกิดจากส่วนของขนตาที่มีค่าระดับเทาใกล้เคียงกับค่าระดับเทาของรูม่านตา และพบว่าบริเวณขอบของรูม่านตามีลักษณะเป็นรอยหยัก ดังนั้นจึงทำการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพโดยการประมวลผลภาพเชิงสัณฐาน (Morphological image processing) แบบเปิด (Opening) และแบบปิด (Closing) ซึ่งใช้โครงสร้างสมาชิก (Structure element) แบบวงกลมขนาด 5x5 จุดภาพ ผลลัพธ์การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพแสดงดังรูปที่ 3.13

หลังจากกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว หาขนาดและจุดศูนย์กลางของรูม่านตาในภาพโดยใช้การแปลงฮัฟแบบวงกลม (Circular Hough transform) เนื่องจากขนาดของรูม่านตาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดช่วงรัศมีของรูม่านตาในการค้นหา นอกจากนี้การแปลงฮัฟแบบวงกลมจะใช้เวลาในการประมวลผลมาก ดังนั้นจึงกำหนดช่วงมุมที่ใช้ในการค้นหาเพื่อลดเวลาในการประมวลผล ช่วงรัศมีและมุมที่ใช้ในการค้นหาในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.13 ภาพตาที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งรูม่านตา

| พารามิเตอร์ | ค่าที่กำหนด |
|----------------|--|
| รัศมี (จุดภาพ) | $25 \leq R \leq 60$ |
| มุม (องศา) | $-45 \leq \theta \leq 45$ และ $135 \leq \theta \leq 225$ |

2) การหาตำแหน่งของม่านตา

ในการหาตำแหน่งของม่านตา ขั้นตอนแรกจะทำการตัดภาพบริเวณที่ไม่ใช่บริเวณที่สนใจทิ้งไปก่อนเพื่อลดขนาดของภาพลง โดยตัดภาพลงให้มีขนาด 140×140 จุดภาพ โดยใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูม่านตาที่หาได้ในขั้นตอนก่อนหน้าเป็นจุดศูนย์กลางของภาพที่เหลือ เพื่อให้ภาพที่เหลือยังคงครอบคลุมบริเวณลายม่านตาทั้งด้านซ้ายและด้านขวา

ขั้นตอนถัดมาเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนและลดขอบของบริเวณลายม่านตาเพื่อไม่ให้ขอบของลายม่านตาถูกรบกวนไปเป็นขอบของม่านตา โดยใช้เกาส์เซียนฟังก์ชัน (Gaussian function) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.4

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad \dots (3.4)$$

โดยที่ (x, y) เป็นตำแหน่งของหน้ากาก

σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่กำหนด

จากนั้นหาตำแหน่งของม่านตาโดยใช้ตัวดำเนินการอินทิเกรต-ดิฟเฟอเรนเชียล [21] (Integro-Differential operator) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของตัวตรวจหาขอบแบบวงกลม (Circular edge detector) ตัวดำเนินการอินทิเกรต-ดิฟเฟอเรนเชียลแสดงดังสมการที่ 3.5

$$(r, x_c, y_c) = \arg \max_{(r, x_c, y_c)} \left| \frac{\partial}{\partial r} G_\sigma(r) * \oint_{r, x_c, y_c} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad \dots (3.5)$$

โดยที่ $I(x, y)$ เป็นค่าระดับเทาของภาพ ณ ตำแหน่ง (x, y)

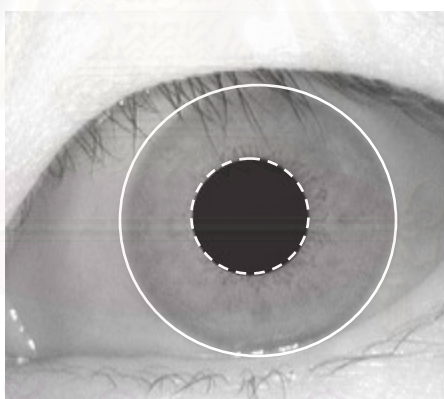
$G_\sigma(r)$ เป็นฟังก์ชันปรับเรียบ (Smoothing function) โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ

r, x_c, y_c เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของม่านตาที่หาได้

ในการหาตำแหน่งของม่านตาโดยใช้ตัวดำเนินการอินทิเกรต-ดิฟเฟอเรนเชียลจะใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูม่านตาที่หาได้จากขั้นตอนก่อนหน้าเป็นจุดศูนย์กลางของม่านตาในการหารัศมี แต่ในความเป็นจริงจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและม่านตาไม่จำเป็นต้องเป็นตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของตำแหน่งจุดศูนย์กลางของม่านตาในการค้นหาโดยกำหนดให้มีขนาด 20×20 จุดภาพโดยใช้ตำแหน่งของรูม่านตาเป็นจุดศูนย์กลาง และทำการกำหนดช่วงของรัศมีและมุมที่ใช้ในการค้นหาเหมือนการหาตำแหน่งของรูม่านตาซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.2 ตัวอย่างในการหาตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตาแสดงดังรูปที่ 3.14

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งม่านตา

| พารามิเตอร์ | ค่าที่กำหนด |
|----------------|--|
| รัศมี (จุดภาพ) | $80 \leq R \leq 125$ |
| มุม (องศา) | $-45 \leq \theta \leq 45$ และ $135 \leq \theta \leq 225$ |



รูปที่ 3.14 ภาพตาหลังการหาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตา

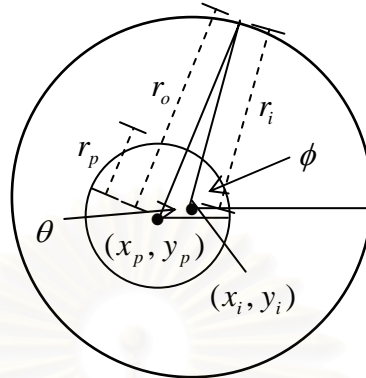
3.2.3 การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้น

การประมวลผลภาพม่านตาเบื้องต้นเป็นขั้นตอนในการปรับภาพให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการสกัดพีเจเจอร์ โดยนำภาพม่านตา ตำแหน่งของรูม่านตาและตำแหน่งม่านตามาประมวลผล 2 ขั้นตอนคือ การแปลงพิกัดภาพม่านตาและการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน

1) การแปลงพิกัดภาพม่านตา

เนื่องจากลายม่านตาในภาพมีลักษณะโค้งเป็นวงกลม ดังนั้นเพื่อให้การประมวลผลในขั้นตอนถัดไปสะดวกขึ้นจึงทำการแปลงพิกัดภาพม่านตาซึ่งอยู่ในพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate) ให้กลายเป็น

พิกัดเชิงเส้น (Cartesian coordinate) การแปลงพิกัดภาพม่านตาจะใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและของม่านตาในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและม่านตา

โดยที่ r_p, x_p, y_p เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของรูม่านตาตามลำดับ
 r_i, x_i, y_i เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของม่านตาตามลำดับ
 r_o เป็นรัศมีที่คำนวณได้จากการแปลงพิกัด
 θ เป็นมุมหลักที่ใช้ในการแปลงจากพิกัดเชิงขั้วไปเป็นพิกัดเชิงเส้น
 ϕ เป็นมุมที่ใช้หาความยาวของรัศมีในการแปลงพิกัด ซึ่งการหาค่ามุม ϕ แสดงดังสมการที่ 3.6

$$\phi = \arcsin\left(\frac{(y_p - y_i) \cos(\theta) - (x_p - x_i) \sin(\theta)}{r_i}\right) + \theta \quad \dots (3.6)$$

เนื่องจากบริเวณด้านบนและล่างของม่านตาส่วนใหญ่มีเปลือกตาบังอยู่ ซึ่งเมื่อทำการแปลงพิกัดภาพม่านตาแล้วนำไปสกัดพีเจอร์จะทำให้พีเจอร์ที่ได้มีสัญญาณรบกวนอยู่ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ดังนั้นจึงแปลงพิกัดภาพม่านตาโดยเลือกเฉพาะบริเวณด้านข้างของม่านตา (-45 ถึง 45 และ 135 ถึง 225) เพื่อตัดบริเวณของเปลือกตาส่วนใหญ่ออก การแปลงพิกัดภาพม่านตาแสดงดังสมการที่ 3.7-3.9

$$T(u, v) = I(x_p + r \cos(\theta), y_p + r \sin(\theta)) \quad \dots (3.7)$$

$$r = r_p + n\Delta r \quad ; \quad 0 \leq n \leq \frac{r_o - r_p}{\Delta r} \quad \dots (3.8)$$

$$\theta = \begin{cases} -45 + m\Delta\theta & ; \text{ if } 0 \leq \theta < \frac{90}{\Delta\theta} \\ 135 + m\Delta\theta & ; \text{ if } \frac{90}{\Delta\theta} \leq \theta < \frac{180}{\Delta\theta} \end{cases} \quad ; \quad 0 \leq m \leq \frac{180}{\Delta\theta} \quad \dots (3.9)$$

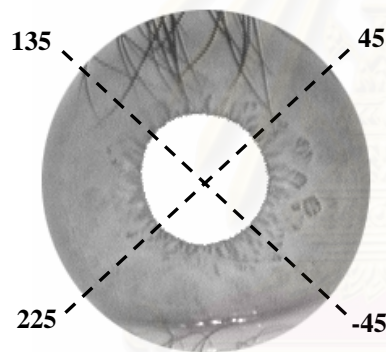
โดยที่ $T(u, v)$ เป็นภาพลายม่านตาที่แปลงพิกัด

Δr และ $\Delta \theta$ เป็นรัศมีและมุมที่ใช้ในการชักตัวอย่าง (Sampling)

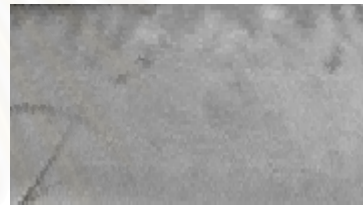
ในงานวิจัยนี้กำหนดให้พารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังตารางที่ 3.3 เมื่อทำการแปลงพิกัดภาพม่านตาจะได้ภาพลายม่านตาที่แปลงพิกัดแล้ว 2 ภาพคือ ภาพลายม่านตาด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งแต่ละภาพมีขนาด 180×100 จุดภาพ ผลลัพธ์ในการแปลงพิกัดภาพม่านตาแสดงดังรูปที่ 3.16

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงพิกัดม่านตา

| พารามิเตอร์ | ค่าที่กำหนด |
|------------------------|---------------------|
| $\Delta \theta$ (องศา) | 0.5 |
| n | $0 \leq n \leq 100$ |
| m | $0 \leq m \leq 45$ |



(ก) ส่วนของลายม่านตาที่ต้องการ



(ข) ภาพลายม่านตาด้านซ้ายที่แปลงพิกัดแล้ว



(ค) ภาพลายม่านตาด้านขวาที่แปลงพิกัดแล้ว

รูปที่ 3.16 การแปลงพิกัดภาพม่านตา

2) การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน (Image Normalization)

การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ การปรับความเข้มแสงและการปรับปรุงภาพให้ชัดเจนขึ้น

ขั้นตอนแรกในการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานคือการปรับความเข้มแสง เนื่องจากภาพม่านตาในแต่ละภาพมีความเข้มแสงไม่เท่ากัน ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์เก็บภาพหรือสภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับภาพแต่ละภาพให้มีความเข้มแสงที่เทียบเคียงกันได้ โดยวิธีการปรับค่าความเข้มแสงแสดงดังสมการที่ 3.10 และ 3.11 [22]

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_a + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_a - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad \dots (3.10)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\rho_d(I(x, y) - \phi)^2}{\rho}} \quad \dots (3.11)$$

โดยที่ $I'(x, y)$ เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

ϕ_d และ ρ_d เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

ϕ และ ρ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ

$I(x, y)$ เป็นค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x, y)

งานวิจัยนี้กำหนดให้ ϕ_d และ ρ_d มีค่าเท่ากับ 100 เมื่อทำการปรับความเข้มแสงแล้ว จากนั้นทำการปรับปรุงภาพให้ชัดเจนขึ้นเพื่อให้เห็นลายม่านตาได้ชัดเจน โดยใช้ฮิสโทแกรมอีควอลไลซ์ (Histogram equalization) ซึ่งผลลัพธ์ของภาพที่ถูกปรับปรุงแล้วแสดงดังรูปที่ 3.17



(ก) ภาพลายม่านตาที่แปลงพิกัดแล้ว



(ข) ภาพลายม่านตาที่ปรับให้เป็นบรรทัดฐาน

โดยปรับความเข้มแสงและทำฮิสโทแกรมอีควอลไลซ์แล้ว

รูปที่ 3.17 การปรับภาพลายม่านตาให้เป็นบรรทัดฐาน

3.2.4 การสกัดพีเจอร์ของลายม่านตา (Iris Feature Extraction)

ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ของภาพลายม่านตาจะทำการแบ่งภาพลายม่านตาที่ทำการปรับบรรทัดฐานแล้วออกเป็นบล็อกโดยให้แต่ละบล็อกมีบางส่วนซ้อนทับกันอยู่ จากนั้นหาค่าทางสถิติของแต่ละบล็อก ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD) ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนของบล็อกแต่ละบล็อก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุก ๆ บล็อกจะถูกใช้เป็นพีเจอร์ของลายม่านตา

งานวิจัยนี้กำหนดให้บล็อกแต่ละบล็อกมีขนาด 24×24 จุดภาพและมีส่วนซ้อนทับกันตามความกว้างและความยาวเป็น 25% ของขนาดบล็อกหรือมีส่วนซ้อนทับกัน 6 จุดภาพ เมื่อนำภาพลายม่านตาทั้งด้านซ้ายและขวาทำการสกัดพีเจอร์ ผลลัพธ์ที่ได้คือพีเจอร์เวกเตอร์ (Feature vector) 1 มิติ ซึ่งเก็บค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทั้งหมด 120 ค่า โดยมาจากภาพลายม่านตาด้านซ้าย 60 ค่าและภาพลายม่านตาด้านขวา 60 จากนั้นนำพีเจอร์เวกเตอร์ที่ได้ไปเก็บไว้เป็นแผ่นแบบของผู้ใช้ในฐานข้อมูลหรือนำไปเปรียบคู่แผ่นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบระบบ

3.2.5 การเปรียบเทียบคู่แผนแบบและการตัดสินใจของระบบ

งานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันระยะทางสัมบูรณ์ (Absolute distance function) ในการเปรียบเทียบคู่แผนแบบ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.12

$$D_a = \sum_{i=1}^d |y_i - f_i| \quad \dots (3.12)$$

โดยที่ f_i เป็นข้อมูลของผู้ใช้ที่นำมาวัด
 y_i เป็นข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
 d เป็นจำนวนข้อมูลทั้งหมด

ในการตัดสินใจของระบบใช้ค่าขีดแบ่งในการตัดสินใจซึ่งค่าขีดแบ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการทดลอง ถ้าค่าระยะทางทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่มีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุว่าเป็นผู้ใช้นอกระบบ แต่ถ้าค่าระยะทางที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุเป็นบุคคลในระบบที่เปรียบเทียบคู่แล้วมีค่าระยะทางน้อยที่สุด

3.3 การรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

การรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา การรวมระบบไบโอเมตริกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ระดับการรวมระบบไบโอเมตริกที่ใช้ในงานวิจัย

การรวมระบบไบโอเมตริกโดยทั่วไปสามารถรวมได้หลายระดับเช่น ระดับอุปกรณ์รับสัญญาณ ระดับการสกัดฟีเจอร์ ระดับคะแนนการเปรียบเทียบและระดับการตัดสินใจ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้การรวมระบบไบโอเมตริกในระดับคะแนนการเปรียบเทียบ เนื่องจากการรวมระบบไบโอเมตริกในระดับอื่น ๆ มีข้อเสียดังนี้ การรวมระบบไบโอเมตริกในระดับอุปกรณ์รับสัญญาณทำได้ยาก เนื่องจากจำเป็นต้องพัฒนาอุปกรณ์รับสัญญาณให้สามารถเก็บข้อมูลจากผู้ใช้ได้พร้อมกันทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนามากและถ้าระบบที่นำมารวมกันเป็นระบบที่ไม่เกี่ยวข้องกันเช่นระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลายนิ้วมือกับระบบไบโอเมตริกที่ใช้ใบหน้าจะไม่สามารถรวมในระดับอุปกรณ์รับสัญญาณได้

สำหรับการรวมในระดับการสกัดฟีเจอร์ ฟีเจอร์ที่ได้จากระบบไบโอเมตริกต่างชนิดกันอาจไม่สามารถรวมเข้ากันได้เนื่องจากเป็นฟีเจอร์คนละชนิดกัน และถ้าฟีเจอร์ที่ได้เป็นฟีเจอร์ชนิดเดียวกันเมื่อรวมกันแล้วทำให้มิติของฟีเจอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ระบบใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ถ้านำระบบไบโอเมตริกที่เป็นเชิงพาณิชย์มาใช้ อาจไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลในระดับการสกัดฟีเจอร์ได้ ส่วนการรวมในระดับการตัดสินใจ ข้อมูลที่เหลือในระดับนี้มีน้อยเกินไปเนื่องจากระบบแต่ละระบบจะทำการ

ตัดสินใจแล้วส่งผลการตัดสินใจนั้นซึ่งเหลือเพียงว่ายอมรับหรือปฏิเสธผู้ใช้เข้าระบบหรือไม่มาทำการรวมกัน ดังนั้นการรวมในระดับคะแนนการเปรียบเทียบจึงมีความเหมาะสมที่สุดเพราะง่ายในการเข้าถึงและในการรวมคะแนน

3.3.2 วิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบ (Matching Score Normalization)

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบ 4 วิธีดังนี้

1) การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบน้อยที่สุด-มากที่สุด (Min-Max matching score normalization) วิธีการนี้จะปรับบรรทัดฐานคะแนนโดยดูจากค่าน้อยที่สุดและค่ามากที่สุดของคะแนนการเปรียบเทียบที่มีอยู่จริงและปรับคะแนนให้อยู่ในช่วง $[0,1]$ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.13

$$MM = \frac{s - \min(S)}{\max(S) - \min(S)} \quad \dots (3.13)$$

โดยที่ s เป็นคะแนนการเปรียบเทียบ

S เป็นเซตของคะแนนการเปรียบเทียบทั้งหมด

เนื่องจากวิธีการนี้จะใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดซึ่งมาจากคะแนนการเปรียบเทียบจริง ดังนั้นข้อดีของวิธีการนี้จึงช่วยให้การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้มีค่าเป็นไปตามคะแนนการเปรียบเทียบที่เกิดขึ้นจริง

2) การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบคะแนน z (Z-score matching score normalization) เป็นการปรับคะแนนให้มีการกระจายเป็นแบบเกาส์เซียนโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.14

$$ZS = \frac{s - \text{mean}(S)}{\text{std}(S)} \quad \dots (3.14)$$

โดยที่ $\text{mean}(S)$ เป็นค่าเฉลี่ยของคะแนนการเปรียบเทียบ

$\text{std}(S)$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนการเปรียบเทียบ

เนื่องจากวิธีการนี้ปรับคะแนนการเปรียบเทียบให้มีการกระจายเป็นแบบเกาส์เซียนซึ่งเมื่อพิจารณาการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบจะมีลักษณะการกระจายเป็นแบบเกาส์เซียนเช่นกัน ดังนั้นวิธีการนี้จะช่วยให้การกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบเป็นไปตามการกระจายของคะแนนการเปรียบเทียบที่เกิดขึ้นจริง

3) การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้ (Possible min-max matching score normalization) เป็นวิธีในการปรับบรรทัดฐานคะแนนโดยใช้ค่า

น้อยที่สุดและมากที่สุดที่เป็นไปได้ของคะแนนการเปรียบเทียบ โดยไม่พิจารณาข้อมูลคะแนนการเปรียบเทียบที่มีอยู่ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.15

$$PMM = \frac{s - P \min(S)}{P \max(S) - P \min(S)} \quad \dots (3.15)$$

โดยที่ s เป็นคะแนนการเปรียบเทียบ

S เป็นเซตของคะแนนการเปรียบเทียบทั้งหมด

เนื่องจากวิธีการนี้ใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยไม่พิจารณาคะแนนการเปรียบเทียบที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสมกับข้อมูลทั่วไปซึ่งมีลักษณะเป็นเช่นใดก็ได้เพราะไม่ได้พิจารณาจากคะแนนการเปรียบเทียบที่เกิดขึ้น แต่จะดูจากช่วงคะแนนการเปรียบเทียบที่เป็นไปได้แล้วนำมาปรับบรรทัดฐาน

4) การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยเลือกเฉพาะคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละระบบมาใช้ วิธีการนี้เป็นการปรับปรุงมาจากวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้ เนื่องจากวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้นั้นใช้คะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้ทั้งหมดในการปรับบรรทัดฐาน ซึ่งเมื่อรวมคะแนนการเปรียบเทียบที่ปรับบรรทัดฐานของทั้งสองระบบแล้วผู้ใช้ที่มีใช้ตัวจริงมีโอกาสจะมีคะแนนรวมน้อยกว่าคะแนนรวมของผู้ใช้ที่เป็นตัวจริง ทำให้ระบบระบุผู้ใช้ผิดคน ดังนั้นวิธีการนี้จึงเลือกผู้ใช้ที่น่าจะเป็นผู้ใช้จริงคือผู้ใช้ที่มีคะแนนการเปรียบเทียบน้อยที่สุดจากแต่ละระบบก่อนแล้วจึงรวมคะแนนการเปรียบเทียบที่ปรับบรรทัดฐานก่อนระบุบุคคลซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดความผิดพลาดของการระบุบุคคลดังกล่าวสามารถพิจารณาจากการคำนวณทางสถิติดังนี้

ให้ H เป็นเหตุการณ์ที่ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือระบุบุคคลถูกต้อง

I เป็นเหตุการณ์ที่ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาระบุบุคคลถูกต้อง

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ทั้ง 2 ระบบจะระบุบุคคลถูกต้องพร้อมกันคือ

$$P(H \wedge I) = P(H|I)P(I)$$

แต่เนื่องจากทั้ง 2 เหตุการณ์เป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน ดังนั้นจะได้

$$P(H \wedge I) = P(H)P(I)$$

โดยที่ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือมีประสิทธิภาพ 91.06% และระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตามีประสิทธิภาพ 91.55% ดังนั้น $P(H) = 0.9106$ และ $P(I) = 0.9155$

$$P(H \wedge I) = 0.9106 * 0.9155$$

$$P(H \wedge I) = 0.8336$$

และความน่าจะเป็นที่ระบบใดระบบหนึ่งจะระบุบุคคลผิดมีค่าเท่ากับ

$$P(\neg H \wedge I) = P(\neg H)P(I) = (1 - 0.9106) * 0.9155$$

$$P(\neg H \wedge I) = 0.0818$$

$$P(H \wedge \neg I) = P(H)P(\neg I) = 0.9106 * (1 - 0.9155)$$

$$P(H \wedge \neg I) = 0.0780$$

และความน่าจะเป็นที่ทั้ง 2 ระบบจะระบุบุคคลผิดพร้อมกันมีค่าเท่ากับ

$$P(\neg H \wedge \neg I) = P(\neg H)P(\neg I) = (1 - 0.9106) * (1 - 0.9155)$$

$$P(\neg H \wedge \neg I) = 0.0076$$

ดังนั้นถ้าระบบเลือกเฉพาะคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของแต่ละระบบมาพิจารณาระบุบุคคล ความน่าจะเป็นที่คะแนนการเปรียบเทียบที่เลือกมาจะเป็นของผู้ใช้ที่ถูกต้องจึงเท่ากับ $= 0.8336 + 0.0818 + 0.078 = 0.9924$

ดังนั้นกล่าวโดยสรุปได้ว่าในการปรับบรรทัดฐานคะแนนด้วยวิธีนี้ เมื่อผู้ใช้เข้ามาใช้งานระบบระบบจะนำข้อมูลของผู้ใช้ส่งไปยังแต่ละระบบและทำการเปรียบเทียบกับพีเจอร์ของใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งการเปรียบเทียบกับผู้ใช้หนึ่งคนในฐานข้อมูลจะได้คะแนนการเปรียบเทียบของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ 1 ค่าและของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาอีก 1 ค่า จากนั้นเลือกผู้ใช้ที่มีคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา ซึ่งคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่น้อยที่สุดของแต่ละระบบจะมี 2 ค่าคือมาจากระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและมาจากระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา เมื่อเลือกผู้ใช้ที่มีคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดแล้วจะนำคะแนนการเปรียบเทียบมาปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้ เมื่อปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแล้วระบบจะรวมคะแนนการเปรียบเทียบที่มาจากแต่ละระบบซึ่งจะได้คะแนนรวมของผู้ใช้ 2 คน ถ้าผู้ใช้ทั้ง 2 คนที่ถูกเลือกมาเป็นผู้ใช้คนเดียวกัน ระบบจะให้ผู้ใช้คนนั้นเป็นผลลัพธ์ในการระบุบุคคล แต่ถ้าผู้ใช้ทั้ง 2 คนที่ถูกเลือกมาเป็นผู้ใช้คนละคนกัน ระบบจะเลือกผู้ใช้ที่มีคะแนนรวมที่น้อยที่สุดเป็นผลลัพธ์ในการระบุบุคคล

3.3.3 การรวมคะแนนการเปรียบเทียบของแต่ละระบบ

เมื่อได้คะแนนการเปรียบเทียบที่ปรับบรรทัดฐานของแต่ละระบบแล้วจากนั้นจะรวมคะแนนการเปรียบเทียบของแต่ละระบบเข้าด้วยกัน ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการรวมคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3.16

$$Score_{Multi} = W_H * Score_H + W_I * Score_I \quad \dots (3.16)$$

โดยที่ $Score_H$ เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่ปรับบรรทัดฐานแล้วของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ
 $Score_I$ เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่ปรับบรรทัดฐานแล้วของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา
 W_H เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

W_I เป็นค่าถ่วงน้ำหนักของระบบไบโอเมตริกที่ใช้มานานตา
งานวิจัยนี้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักจากความถูกต้องในการระบุบุคคลของแต่ละระบบซึ่งแสดงดัง

สมการ 3.17 และ 3.18

$$W_H = \frac{Accuracy_H}{Accuracy_H + Accuracy_I} \quad \dots (3.17)$$

$$W_I = \frac{Accuracy_I}{Accuracy_H + Accuracy_I} \quad \dots (3.18)$$

โดยที่ $Accuracy_H$ เป็นความถูกต้องในการระบุบุคคลของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิต
ของมือ

$Accuracy_I$ เป็นความถูกต้องในการระบุบุคคลของระบบไบโอเมตริกที่ใช้มานานตา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งงานออกเป็น 3 ส่วนคือ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา และระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา ดังนั้นจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนตามระบบที่ทำ ในบทนี้จะอธิบายถึงแต่ละส่วนโดยกล่าวถึงข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง การหาประสิทธิภาพของระบบ และวิเคราะห์ผลการทดลอง

โปรแกรมต้นแบบที่ใช้ในการทดลองพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 และได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium4 ความเร็ว 1.8 GHz หน่วยความจำ 512 MB ในการประมวลผล

4.1 การทดสอบการระบุบุคคล

ในการทดสอบการระบุบุคคลได้แบ่งกลุ่มของผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มผู้ใช้ที่ลงทะเบียนในระบบ (หรือผู้ใช้ในระบบ) และกลุ่มผู้ใช้ที่ไม่ได้ลงทะเบียนในระบบ (หรือผู้ใช้นอกระบบหรือผู้บุกรุก) โดยข้อมูลของผู้ใช้ในระบบถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ข้อมูลที่ใช้ในการลงทะเบียนและข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบระบบ ส่วนข้อมูลของผู้ใช้นอกระบบเป็นข้อมูลที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

4.2 การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

การทดลองนี้ทำการหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือในการระบุบุคคล โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง การทดลองหาประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นภาพมือซ้ายของผู้ใช้ เป็นภาพสีแบบ 24 บิต ขนาด 1280x960 จุดภาพ จากผู้ใช้ทั้งหมด 96 คน คนละ 7 ภาพ รวมทั้งสิ้น 672 ภาพ โดยทำการสุ่มแบ่งผู้ใช้ 66 คนเป็นผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้อีก 30 คนเป็นผู้ใช้นอกระบบ จากนั้นนำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมด 66 คน คนละ 3 ภาพมาลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ส่วนข้อมูลภาพที่เหลือของผู้ใช้ในระบบทั้งหมด 66 คน อีกคนละ 4 ภาพถูกใช้ในการทดสอบระบบ สำหรับข้อมูลภาพของผู้ใช้นอกระบบทั้ง 30 คน คนละ 7 ภาพถูกใช้ในการทดสอบระบบ

4.2.2 การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

การหาประสิทธิภาพของระบบเริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ นำภาพทดสอบมาหาคะแนนการเปรียบเทียบ ค่าขีดแบ่งของระบบและค่า CER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบ (คนละ 3 ภาพ) ที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ดังนั้นผู้ใช้แต่ละคนจะมีคนละ 3 พีเจอร์เวกเตอร์ (พีเจอร์เวกเตอร์ละ 21 พีเจอร์ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3) เก็บอยู่ในฐานข้อมูล
- 2) ทำการเฉลี่ยค่าแต่ละพีเจอร์ในพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้แต่ละคน เพื่อนำพีเจอร์เวกเตอร์เฉลี่ยที่ได้เป็นแผนแบบของผู้ใช้แต่ละคน
- 3) นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ภาพของผู้ใช้ในระบบ 66 คนมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบ
- 4) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ภาพของผู้บุกรุก 30 คนมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุก
- 5) พิจารณาคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนการเปรียบเทียบที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
- 6) นำค่าขีดแบ่งมาตัดสินคะแนนการเปรียบเทียบจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR และค่า FAR ซึ่งค่า FRR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้จริงในระบบที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และค่า FAR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้ที่ระบุระบุเป็นผู้ใช้ผิดคน
- 7) ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 5,000 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามข้อ 5 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 6 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด
- 8) เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า CER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR

- 9) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบและทำตามขั้นตอนที่ 1-8 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า CER เฉลี่ยจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า CER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด

4.2.3 ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

จากการทดลอง เวลาที่ใช้ในการประมวลผลในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ต่อผู้ใช้หนึ่งคนแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือต่อผู้ใช้ 1 ภาพ

| ขั้นตอนการทดลอง | เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (มิลลิวินาที) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| การประมวลผลภาพเบื้องต้น | 1,141 |
| การสกัดพีเจอร์ | 203 |
| การเปรียบเทียบและการตัดสินใจของระบบ | 16 |

เมื่อพิจารณาข้อมูลของผู้ใช้ที่ใช้ในการทดลอง ตัวอย่างค่าสถิติของพีเจอร์ที่ได้จากข้อมูลภาพมือ 7 ภาพของผู้ใช้คนที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.2 และค่าสถิติของพีเจอร์เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใช้ต่างคนกัน แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างค่าสถิติของพีเจอร์ที่ได้จากข้อมูลภาพมือ 7 ภาพของผู้ใช้คนที่ 1

| ชนิดของพีเจอร์ | ค่าเฉลี่ย (จุดภาพ) | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ชนิดของพีเจอร์ | ค่าเฉลี่ย (จุดภาพ) | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------|
| ความยาวนิ้วโป้ง | 133.61 | 7.62 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วกลาง | 52.44 | 0.63 |
| ความยาวนิ้วชี้ | 165.89 | 2.05 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วกลาง | 49.44 | 0.64 |
| ความยาวนิ้วกลาง | 184.94 | 1.44 | ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วกลาง | 43.58 | 0.71 |
| ความยาวนิ้วนาง | 176.48 | 1.89 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วนาง | 50.02 | 1.23 |
| ความยาวนิ้วก้อย | 133.45 | 3.15 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วนาง | 46.83 | 0.42 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วโป้ง | 58.19 | 1.46 | ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วนาง | 40.56 | 2.06 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วโป้ง | 58.50 | 1.73 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วก้อย | 50.17 | 1.27 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วโป้ง | 57.09 | 1.41 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วก้อย | 44.27 | 0.81 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วชี้ | 54.94 | 1.52 | ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วก้อย | 42.36 | 0.49 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วชี้ | 49.45 | 1.29 | ความกว้างของฝ่ามือ | 229.77 | 1.98 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วชี้ | 42.59 | 1.09 | | | |

ตารางที่ 4.3 ค่าสถิติของพีเจอรืเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใช้ต่างคนกัน

| ชนิดของพีเจอรื | ค่าเฉลี่ย (จุดภาพ) | ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน | ชนิดของพีเจอรื | ค่าเฉลี่ย (จุดภาพ) | ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| ความยาวนิ้วโป้ง | 122.86 | 12.19 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วกลาง | 45.82 | 3.50 |
| ความยาวนิ้วชี้ | 162.07 | 10.70 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วกลาง | 42.26 | 3.18 |
| ความยาวนิ้วกลาง | 182.55 | 11.81 | ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วกลาง | 38.91 | 2.89 |
| ความยาวนิ้วนาง | 170.93 | 11.50 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วนาง | 43.21 | 3.72 |
| ความยาวนิ้วก้อย | 125.98 | 11.53 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วนาง | 39.12 | 3.25 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วโป้ง | 51.00 | 5.04 | ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วนาง | 36.03 | 2.92 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วโป้ง | 49.54 | 5.20 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วก้อย | 38.53 | 3.59 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วโป้ง | 47.26 | 5.31 | ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วก้อย | 35.29 | 3.07 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/3 ของนิ้วชี้ | 45.02 | 3.20 | ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วก้อย | 34.31 | 3.11 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 1/2 ของนิ้วชี้ | 41.63 | 2.88 | ความกว้างของฝ่ามือ | 204.26 | 16.15 |
| ความกว้างนิ้วระดับ 2/3 ของนิ้วชี้ | 37.85 | 3.01 | | | |

เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติของพีเจอรืในผู้ใช้งานเดียวกันและผู้ใช้งานต่างกันพบว่าการกระจายของพีเจอรืในผู้ใช้งานเดียวกันมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากแต่ในผู้ใช้งานกันมีการกระจายต่างกันมาก ดังนั้นพีเจอรืที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นพีเจอรืที่เหมาะสมที่ใช้ในการระบุบุคคล

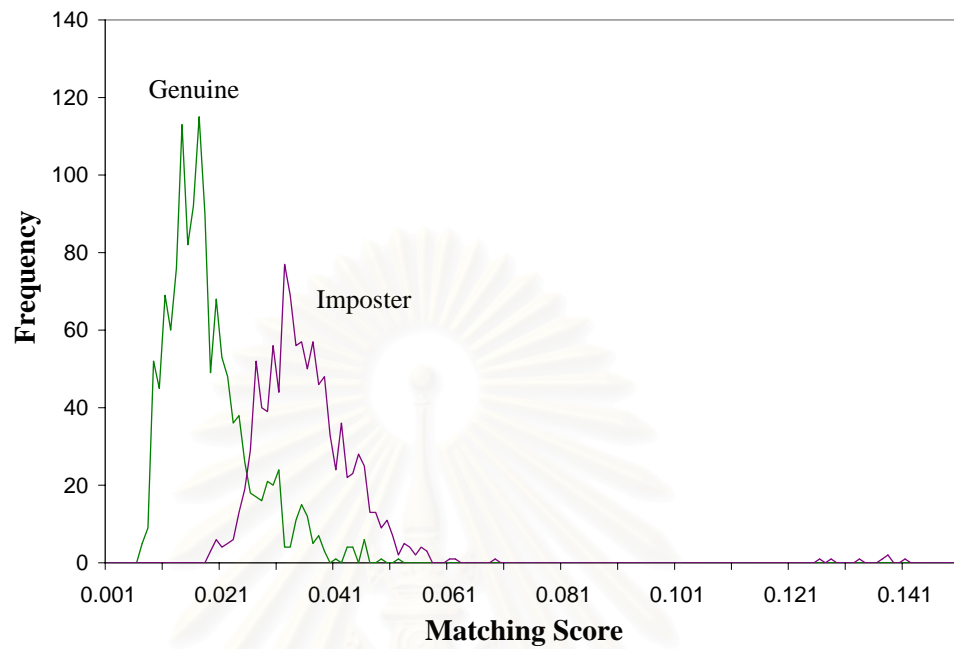
ผลลัพธ์ของการทดลองหาค่า CER ทั้งหมด 12 ครั้งของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือแสดงดังตารางที่ 4.4 และประสิทธิภาพของระบบแสดงดังตารางที่ 4.5 ส่วนกราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่แสดงดังรูปที่ 4.1 และกราฟ ROC ของระบบแสดงดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 การทดลองหาค่า CER ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

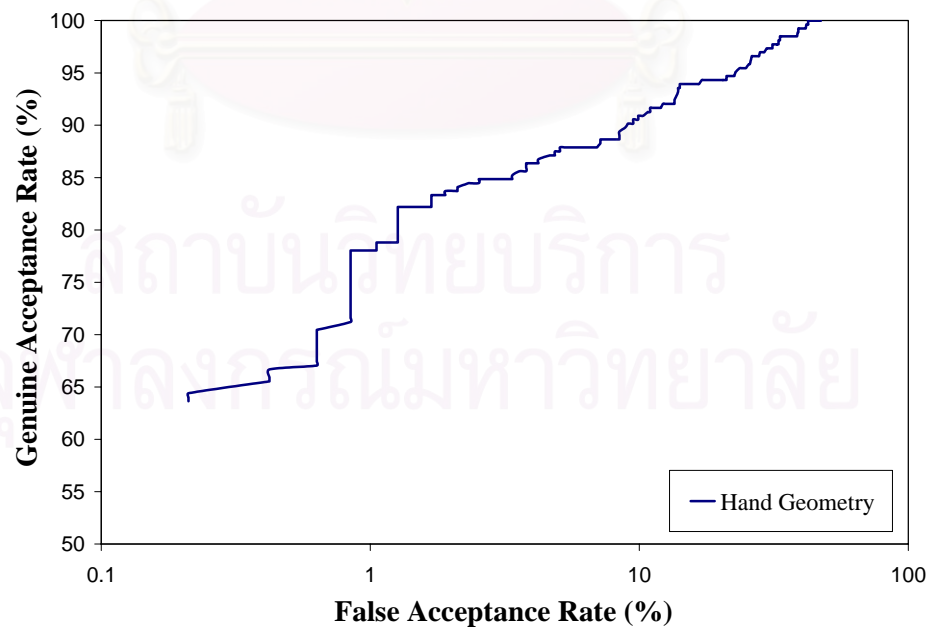
| ครั้งที่ | CER (%) | ครั้งที่ | CER (%) |
|----------|---------|----------|---------|
| 1 | 9.48 | 7 | 8.79 |
| 2 | 9.19 | 8 | 8.68 |
| 3 | 8.39 | 9 | 9.38 |
| 4 | 9.88 | 10 | 8.79 |
| 5 | 8.28 | 11 | 8.58 |
| 6 | 9.48 | 12 | 8.40 |

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

| ความถูกต้อง (%) | ค่า CER เฉลี่ย (%) | ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน | ค่า CER สูงสุด (%) | ค่า CER ต่ำสุด (%) |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 91.06 | 8.94 | 0.52 | 9.88 | 8.28 |



รูปที่ 4.1 กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ



รูปที่ 4.2 กราฟ ROC ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือส่วนมากเกิดจากขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้น เนื่องจากการวัดลักษณะทางกายภาพหรือรูปร่างของมือ ดังนั้นในการหาค่าขีดแบ่ง ถ้าเลือกค่าขีดแบ่งไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้รูปร่างของมือเปลี่ยนได้ ซึ่งการหาค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเป็นไปได้ยากเนื่องจากไม่สามารถทราบค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่จะทำให้รูปร่างของมือของผู้ใช้คนเดียวกันในต่างภาพก็มีลักษณะเหมือนกันได้ ดังนั้นถ้าสามารถกำหนดให้สภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บข้อมูลภาพมีสภาพคงที่ได้ก็จะช่วยให้ค่าขีดแบ่งที่หาได้ใกล้เคียงกับค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมมากที่สุด

4.3 การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

หัวข้อนี้เป็นการหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาในการระบุบุคคล โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง การทดลองหาประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

การทดลองในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตามีการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการทดลองหาตำแหน่งม่านตาของระบบ ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพตาขนาด 320x280 จุดภาพ เป็นภาพระดับเทาแบบ 8 บิตของผู้ใช้ทั้งหมด 108 คนจำนวน 752 ภาพ ซึ่งนำไปใช้ในการหาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตา

ส่วนที่สองเป็นการหาประสิทธิภาพของระบบ ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพม่านตาขนาด 320x280 จุดภาพและเป็นภาพระดับเทาแบบ 8 บิต ซึ่งมาจากผู้ใช้ทั้งหมด 96 คน คนละ 7 ภาพ โดยมีลักษณะการแบ่งข้อมูลเช่นเดียวกับระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือคือสุ่มแบ่งผู้ใช้ 66 คนเป็นผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้อีก 30 คนเป็นผู้ใช้นอกระบบ จากนั้นนำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมด 66 คน คนละ 3 ภาพทำการลงทะเบียนผู้ใช้ลงในระบบ ส่วนข้อมูลภาพที่เหลือของผู้ใช้ในระบบทั้งหมด 66 คน อีกคนละ 4 ภาพจะใช้ในการทดสอบระบบ สำหรับข้อมูลภาพของผู้ใช้นอกระบบทั้งหมด 30 คน คนละ 7 ภาพใช้ในการทดสอบระบบ

4.3.2 การทดลองหาตำแหน่งม่านตา

การทดลองหาตำแหน่งม่านตาคือนำข้อมูลภาพตาทั้งหมด 752 ภาพมาทำการทดลองโดยผ่านขั้นตอนการหาตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตา จากนั้นวัดผลการหาตำแหน่งม่านตาโดยดูจากตำแหน่งของรูม่านตาและตำแหน่งของม่านตาเปรียบเทียบกับตำแหน่งรูม่านตาและตำแหน่งของม่านตาที่แบ่งส่วนด้วยมือไว้ก่อนหน้า โดยภาพที่หาตำแหน่งม่านตาถูกต้องจะต้องมีตำแหน่งของรูม่านตาและตำแหน่ง

ของม่านตาคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 จุดภาพและมีรัศมีของรูม่านตาและของม่านตาคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 จุดภาพ ผลลัพธ์ในการหาตำแหน่งม่านตาแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการหาตำแหน่งม่านตา

| จำนวนภาพ (ภาพ) | จำนวนภาพที่หาตำแหน่งผิดพลาด (ภาพ) | ความถูกต้อง (%) |
|----------------|-----------------------------------|-----------------|
| 756 | 22 | 97.09 |

4.3.3 การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช่ม่านตา

การหาประสิทธิภาพของระบบเริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ นำภาพทดสอบมาทดสอบหาคะแนนการเปรียบคู่ หาค่าขีดแบ่งของระบบและหาค่า CER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการลงทะเบียนผู้ใช้เข้าสู่ระบบ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะมีคนละ 3 พีเจอร์เวกเตอร์ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานภายในบล็อกย่อยดังกล่าวแล้วในบทที่ 3) เก็บอยู่ภายในฐานข้อมูล
- 2) นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ภาพของผู้ใช้ในระบบ 66 คนมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบคู่กับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูล แต่เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจะมี 3 พีเจอร์เวกเตอร์ที่ใช้เป็นแผนแบบ ดังนั้นจึงเปรียบคู่พีเจอร์เวกเตอร์ของภาพทดสอบกับทั้ง 3 พีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้แต่ละคนในฐานข้อมูลและใช้คะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดเป็นตัวแทนในการเปรียบคู่กับผู้ใช้ นั่น ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบ
- 3) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ภาพของผู้บุกรุก 30 คนมาทดสอบระบบ โดยนำภาพทดสอบแต่ละภาพมาเปรียบคู่กับข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่ในฐานข้อมูล จากนั้นทำการหาคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดในการเปรียบคู่ผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดและระบุเป็นผู้ใช้คนใด จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางการเปรียบคู่ของผู้บุกรุก
- 4) พิจารณาคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนการเปรียบคู่ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
- 5) นำค่าขีดแบ่งมาตัดสินคะแนนการเปรียบคู่จากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR และค่า FAR ซึ่งค่า FRR คำนวณจากตารางการเปรียบคู่ของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้จริงในระบบที่คะแนนการเปรียบคู่ที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่า

- ค่าขีดแบ่งที่กำหนด และค่า FAR คำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้ที่ระบบระบุเป็นผู้ใช้ผิดคน
- 6) ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยงานวิจัยนี้กำหนดปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 5,000 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามข้อ 4 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 5 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด
 - 7) เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า CER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR
 - 8) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบและทำตามขั้นตอนที่ 1-7 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า CER เฉลี่ยจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า CER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด

4.3.4 ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้มานานตา

จากการทดลอง เวลาที่ใช้ในการประมวลผลในขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ต่อผู้ใช้นั้นคนแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของระบบไบโอเมตริกที่ใช้มานานตาต่อผู้ใช้ 1 ภาพ

| ขั้นตอนการทดลอง | เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (มิลลิวินาที) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| การประมวลผลภาพเบื้องต้น | 2,328 |
| การสกัดพีเจอร์ | 79 |
| การเปรียบเทียบและการตัดสินใจของระบบ | 47 |

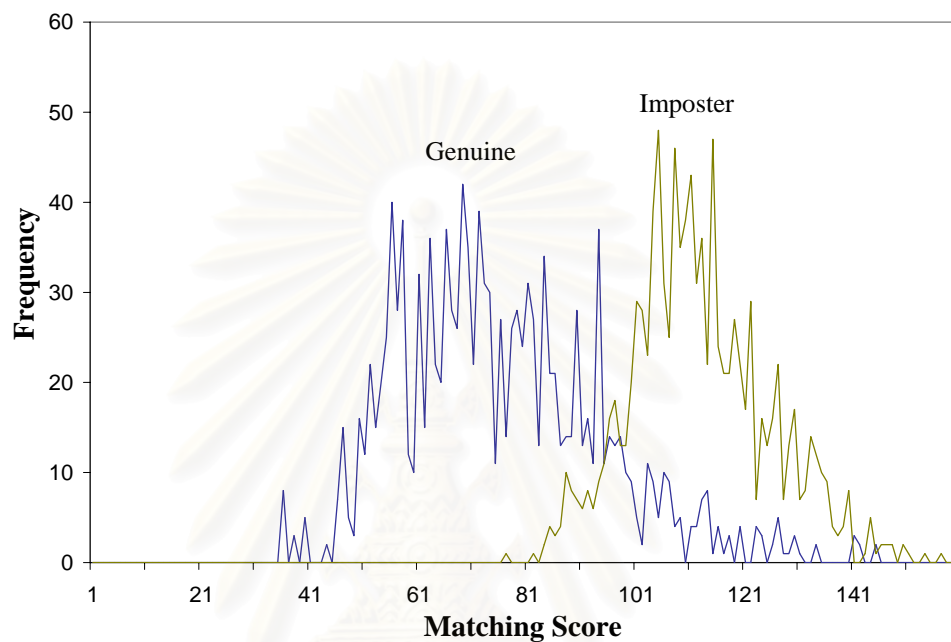
ผลลัพธ์ในการทดลองหาค่า CER ของระบบทั้ง 12 ครั้งแสดงดังตารางที่ 4.8 และประสิทธิภาพของระบบแสดงดังตารางที่ 4.9 ส่วนกราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบเทียบและกราฟ ROC ของระบบแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.8 การทดลองหาค่า CER ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้มานานตา

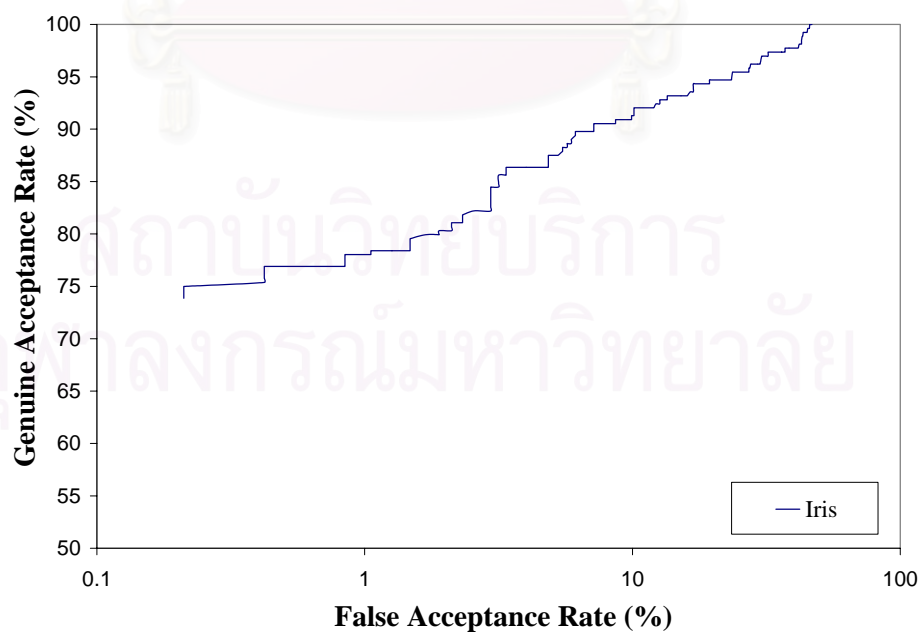
| ครั้งที่ | CER (%) | ครั้งที่ | CER (%) |
|----------|---------|----------|---------|
| 1 | 9.08 | 7 | 10.28 |
| 2 | 7.99 | 8 | 8.20 |
| 3 | 8.68 | 9 | 9.48 |
| 4 | 7.88 | 10 | 9.48 |
| 5 | 9.48 | 11 | 7.88 |
| 6 | 7.59 | 12 | 5.39 |

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

| ความถูกต้อง (%) | ค่า CER เฉลี่ย (%) | ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน | ค่า CER สูงสุด (%) | ค่า CER ต่ำสุด (%) |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 91.55 | 8.45 | 1.28 | 10.28 | 5.39 |



รูปที่ 4.3 กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา



รูปที่ 4.4 กราฟ ROC ของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

4.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

ในการทดลองการหาตำแหน่งม่านตา ตำแหน่งม่านตาที่หาได้ผิดพลาดส่วนใหญ่คือหารัศมีของม่านตาผิดพลาด สาเหตุมาจากเปลือกตาบังส่วนขอบของม่านตาทำให้รัศมีของม่านตาที่ได้มีขนาดเล็กกว่าความเป็นจริงเนื่องจากตรวจพบขอบของลายม่านตาเป็นขอบของม่านตาแทน นอกจากนี้การหาตำแหน่งม่านตาให้มีความถูกต้องสูงนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากขอบของม่านตานั้นค่อนข้างไม่ชัดเจน ทำให้รัศมีที่หาได้นั้นมีความคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ลายม่านตาที่ได้มีการเปลี่ยนตำแหน่งและพีเจอร์รี่ที่หาได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

ในการหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา ความผิดพลาดเกิดจากสาเหตุ 2 ประการคือ การหาตำแหน่งม่านตาคลาดเคลื่อนและส่วนของเปลือกตาและขนตาบังลายม่านตา ปัญหาในการหาตำแหน่งม่านตา ถ้าตำแหน่งที่ได้มีความคลาดเคลื่อนก็จะทำให้ตำแหน่งของลายม่านตาที่แบ่งส่วนได้มีความคลาดเคลื่อนด้วย ส่งผลให้พีเจอร์รี่ที่ได้ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์รี่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปและทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

ปัญหาในส่วนของเปลือกตาและขนตาบังลายม่านตา ทำให้พีเจอร์รี่ที่ได้ในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์รี่มีส่วนของเปลือกตาและขนตาอยู่ด้วย ทำให้ค่าของพีเจอร์รี่ผิดพลาดจากความเป็นจริง ดังนั้นถ้าสามารถกำจัดเปลือกตาและขนตาออกก่อนทำการสกัดพีเจอร์รี่ก็จะสามารถลดความผิดพลาดของระบบได้และทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น

4.4 การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

การทดลองนี้ทำการหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตาในการระบุบุคคล โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง การทดลองหาประสิทธิภาพและวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้เก็บข้อมูลภาพมือและม่านตาจากผู้ใช้นั้นเดียวกันเพราะใช้ข้อมูลภาพมือจากฐานข้อมูลของ Visgraph [23] และฐานข้อมูลภาพตาจาก CASIA [27] ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการทดลองจึงนำข้อมูลภาพของมือและม่านตามาใช้ร่วมกันเสมือนมาจากผู้ใช้นั้นเดียวกัน ในการทดลองมีผู้ใช้ทั้งหมด 96 คน คนละ 7 ชุดภาพซึ่งแต่ละชุดภาพประกอบด้วยภาพมือและภาพตาอย่างละ 1 ภาพ จากนั้นสุ่มแบ่งผู้ใช้ 66 คนเป็นผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้อีก 30 คนเป็นผู้ใช้นอกระบบ ต่อมานำข้อมูลภาพของผู้ใช้ในระบบทั้งหมด 66 คน คนละ 3 ชุดภาพทำการลงทะเบียนผู้ใช้นั้นในระบบ ส่วนข้อมูลภาพที่

เหลือของผู้ใช้ในระบบทั้งหมด 66 คน คนละ 4 ชุดภาพถูกใช้ในการทดสอบระบบ สำหรับข้อมูลภาพของผู้ใช้นอกระบบทั้งหมด 30 คนถูกใช้ในการทดสอบระบบ

4.4.2 การหาประสิทธิภาพของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

ในการหาประสิทธิภาพของระบบเริ่มจากการลงทะเบียนผู้ใช้งานในระบบ นำชุดภาพทดสอบมาทดสอบหาคะแนนการเปรียบเทียบในแต่ละระบบ ปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้ หาค่าขีดแบ่งของระบบและหาค่า CER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เลือกวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบที่จะทำการทดลองจากวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบทั้ง 4 แบบดังกล่าวแล้วในบทที่ 3
- 2) นำชุดภาพของผู้ใช้ในระบบที่ใช้ในการลงทะเบียนมาทำการลงทะเบียนผู้ใช้งานโดยนำภาพมือลงทะเบียนในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและนำภาพตาลงทะเบียนในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา
- 3) ทำการเฉลี่ยค่าพีเจอร์ในพีเจอร์เวกเตอร์ของผู้ใช้แต่ละคนในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ เพื่อนำพีเจอร์เวกเตอร์เฉลี่ยที่ได้เป็นตัวแทนของผู้ใช้แต่ละคน ส่วนพีเจอร์เวกเตอร์ของม่านตาทั้ง 3 พีเจอร์เวกเตอร์ถูกเก็บลงในฐานข้อมูล
- 4) นำข้อมูลภาพทดสอบ 4 ชุดภาพของผู้ใช้ในระบบ 66 คนมาทดสอบระบบ โดยนำภาพมือในแต่ละชุดภาพไปประมวลผลยังระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ และนำภาพตาในแต่ละชุดภาพไปประมวลผลยังระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา โดยแต่ละระบบจะประมวลผลไปจนกระทั่งถึงขั้นตอนการเปรียบเทียบซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบกับผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงในระบบซึ่งประกอบด้วย 2 ตารางคือตารางคะแนนการเปรียบเทียบลักษณะเรขาคณิตของมือและตารางคะแนนการเปรียบเทียบม่านตา
- 5) นำข้อมูลภาพทดสอบ 7 ชุดภาพของผู้บุกรุก 30 คนมาทดสอบระบบ โดยนำภาพมือและภาพตาไปประมวลผลเช่นเดียวกับชุดภาพทดสอบของผู้ใช้ในระบบ จากนั้นเก็บผลลัพธ์ลงในตารางคะแนนการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกซึ่งประกอบด้วย 2 ตารางคือตารางคะแนนการเปรียบเทียบลักษณะเรขาคณิตของมือและตารางคะแนนการเปรียบเทียบม่านตา
- 6) ทำการทดลองวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบที่ใช้ในงานวิจัย (ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3) โดยนำตารางคะแนนการเปรียบเทียบลักษณะเรขาคณิตของมือของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุก และตารางคะแนนการเปรียบเทียบม่านตาของผู้ใช้จริงในระบบและผู้บุกรุกมาปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบเพื่อให้คะแนนการเปรียบเทียบของลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตามีบรรทัดฐานเดียวกัน

- 7) รวมคะแนนการเปรียบเทียบที่ปรับบรรทัดฐานแล้วของตารางคะแนนการเปรียบเทียบคู่ลักษณะเรขาคณิตของมือกับตารางคะแนนการเปรียบเทียบคู่มาตาของผู้ใช้จริงและผู้บุกรุกเข้าด้วยกัน โดยใช้วิธีการรวมคะแนนการเปรียบเทียบคู่แบบใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งงานวิจัยนี้ถ่วงน้ำหนักคะแนนการเปรียบเทียบของทั้งสองระบบให้มีค่าเท่ากันคือ 0.5 จากนั้นเก็บผลลัพธ์การรวมคะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้จริงลงในตารางคะแนนรวมของผู้ใช้จริง และเก็บผลลัพธ์การรวมคะแนนการเปรียบเทียบของผู้บุกรุกลงในตารางคะแนนรวมของผู้บุกรุก
- 8) พิจารณาคะแนนรวมที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดจากตารางคะแนนรวมของผู้ใช้ในระบบในระบบและผู้บุกรุก จากนั้นกำหนดช่วงของค่าขีดแบ่งให้ครอบคลุมคะแนนรวมที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดและกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเริ่มต้นเป็นค่าน้อยที่สุดจากช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนด
- 9) นำค่าขีดแบ่งมาตัดสินคะแนนรวมจากตารางคะแนนรวมของผู้ใช้จริงและผู้บุกรุก เพื่อหาค่า FRR และค่า FAR ซึ่งค่า FRR คำนวณจากตารางคะแนนรวมของผู้ใช้ในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้ในระบบที่คะแนนรมน้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และค่า FAR คำนวณจากตารางคะแนนรวมของผู้บุกรุกซึ่งพิจารณาจากผู้บุกรุกที่คะแนนรมน้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และคำนวณจากตารางคะแนนรวมของผู้ใช้ในระบบซึ่งพิจารณาจากผู้ใช้ที่ระบบระบุเป็นผู้ใช้ผิดคน
- 10) ปรับค่าขีดแบ่งของระบบให้มีค่าเพิ่มขึ้นโดยงานวิจัยนี้กำหนดการปรับค่าขีดแบ่งให้ได้ 5,000 ระดับภายในช่วงของค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตั้งข้อ 8 จากนั้นนำค่าขีดแบ่งที่ปรับค่าแล้วนำมาหาค่า FRR และ FAR ตามขั้นตอนที่ 9 จนกระทั่งปรับค่าขีดแบ่งไปจนถึงค่าสูงสุดของช่วงที่กำหนด
- 11) เมื่อได้ค่า FRR และ FAR ที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตจุดลงกราฟ ROC เพื่อหาค่า CER จากตำแหน่งจุดตัดกันของค่า FRR และ FAR
- 12) ทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่การสุ่มผู้ใช้ในระบบและผู้ใช้นอกระบบและทำตามขั้นตอนที่ 2-11 อีกครั้งเพื่อคำนวณค่า CER เฉลี่ยจากการทดลองเพื่อให้ได้ค่า CER ที่มีความใกล้เคียงความเป็นจริงของระบบมากที่สุด
- 13) เปลี่ยนวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแล้วทำการทดลองซ้ำโดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-12 เพื่อหาวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด

4.4.3 ผลการทดลองของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

ผลลัพธ์ในการทดลองหาค่า CER ของระบบทั้ง 12 ครั้งแสดงดังตารางที่ 4.10 และประสิทธิภาพของระบบของวิธีการปรับบรรทัดฐานแต่ละวิธีและเปรียบเทียบกับการใช้ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมืออย่างเดียวหรือม่านตาอย่างเดียวแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 การทดลองหาค่า CER ของระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตาในแต่ละวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบ

| ครั้งที่ | CER (%) | | | |
|----------|----------------------|---------|----------------------------------|---|
| | น้อยที่สุด-มากที่สุด | คะแนน z | น้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้ | น้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยเลือกเฉพาะคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละระบบมาใช้ |
| 1 | 4.49 | 3.79 | 1.90 | 1.50 |
| 2 | 3.20 | 2.30 | 1.10 | 1.10 |
| 3 | 4.19 | 4.19 | 1.90 | 1.50 |
| 4 | 3.79 | 2.70 | 1.50 | 1.39 |
| 5 | 4.11 | 2.70 | 2.30 | 1.90 |
| 6 | 5.58 | 3.79 | 1.90 | 1.90 |
| 7 | 6.09 | 5.69 | 2.99 | 2.99 |
| 8 | 1.79 | 3.29 | 0.70 | 0.70 |
| 9 | 4.99 | 2.70 | 1.50 | 1.50 |
| 10 | 4.88 | 4.89 | 2.70 | 2.70 |
| 11 | 5.29 | 4.30 | 1.90 | 1.90 |
| 12 | 3.39 | 2.99 | 0.99 | 0.99 |

ส่วนผลลัพธ์การแจกแจงคะแนนการเปรียบเทียบและกราฟ ROC ของวิธีการปรับบรรทัดฐานแต่ละวิธีแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพของระบบของแต่ละวิธีการปรับบรรทัดฐานและเปรียบเทียบกับการใช้ระบบไปโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมืออย่างเดียวหรือม่านตาอย่างเดียว

| ระบบไปโอเมตริก | ความถูกต้อง (%) | ค่า CER เฉลี่ย (%) | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ค่า CER สูงสุด (%) | ค่า CER ต่ำสุด (%) |
|---|-----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| ลักษณะเรขาคณิตของมือ | 91.06 | 8.94 | 0.52 | 9.88 | 8.28 |
| ม่านตา | 91.55 | 8.45 | 1.28 | 10.28 | 5.39 |
| น้อยที่สุด-มากที่สุด | 95.52 | 4.48 | 0.90 | 6.09 | 3.20 |
| คะแนน z | 96.39 | 3.61 | 1.02 | 5.69 | 2.30 |
| น้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้ | 98.22 | 1.78 | 0.68 | 2.99 | 0.70 |
| น้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยเลือกเฉพาะคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละระบบมาใช้ | 98.33 | 1.67 | 0.67 | 2.99 | 0.70 |

4.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองของระบบไปโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

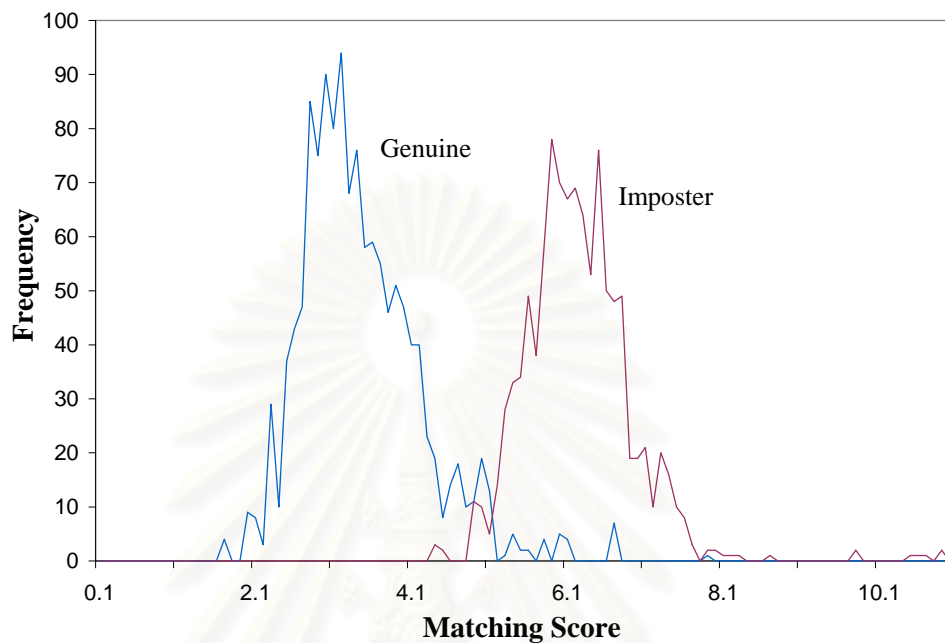
เมื่อพิจารณาวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบน้อยที่สุด-มากที่สุด จากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการแจกแจงคะแนนการเปรียบเทียบของระบบไปโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ จะพบว่ามีความแตกต่างการเปรียบเทียบที่มีค่ามากอยู่เป็นส่วนใหญ่แยกออกจากกลุ่มของผู้บุกรุก ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นข้อมูลประเภทสัญญาณรบกวน (Noise) ที่มีในระบบ มีผลให้ค่าสูงสุดที่นำมาใช้ในการปรับบรรทัดฐานมีค่าเปลี่ยนแปลงมาก ทำให้เมื่อปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแล้วมีความถูกต้องของระบบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการปรับบรรทัดฐานวิธีอื่น แสดงว่าวิธีการปรับคะแนนการเปรียบเทียบแบบน้อยที่สุด-มากที่สุดไม่ทนทานกับข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน

การปรับบรรทัดฐานการเปรียบเทียบแบบคะแนน z เหมาะสำหรับการปรับคะแนนการเปรียบเทียบให้มีลักษณะการกระจายแบบเกาส์เซียน แต่เมื่อพิจารณาคะแนนการเปรียบเทียบของระบบไปโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือแล้วพบว่ามีความแตกต่างไม่เป็นการกระจายแบบเกาส์เซียน ทำให้ความถูกต้องของการปรับบรรทัดฐานแบบคะแนน z ยังมีค่าไม่สูงนัก

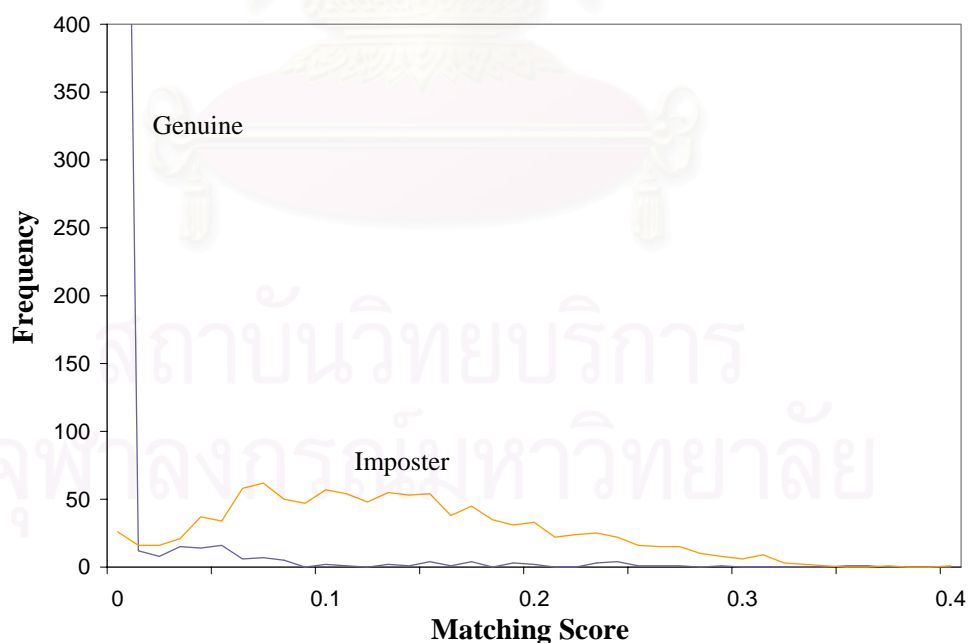
ในการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้จะใช้ค่าน้อยที่สุดและค่ามากที่สุดของคะแนนการเปรียบเทียบที่เป็นไปได้ในการปรับบรรทัดฐาน ดังนั้นสัญญาณรบกวนจะไม่มีผลกับค่าน้อยที่สุดและค่ามากที่สุด ทำให้ความถูกต้องของระบบมีค่าสูงกว่าการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบน้อยที่สุด-มากที่สุดและแบบคะแนน z

การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยเลือกเฉพาะคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละระบบมาใช้จะเลือกคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดของแต่ละ

ระบบไบโอเมตริกและทำการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบ โดยหลักการของวิธีนี้จะช่วยลดค่า FAR ของระบบในการระบุผู้ใช้ผิดคนหรือยอมรับผู้บุกรุกเข้ามาในระบบ

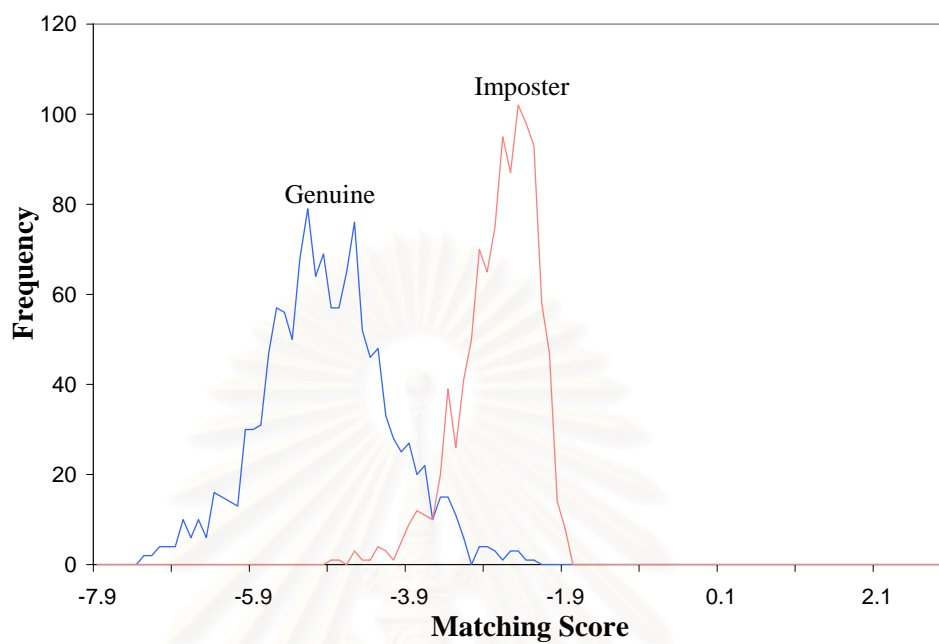


(ก) กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบเทียบของวิธีการปรับบรรทัดฐานแบบค่าถ่วงน้ำหนัก

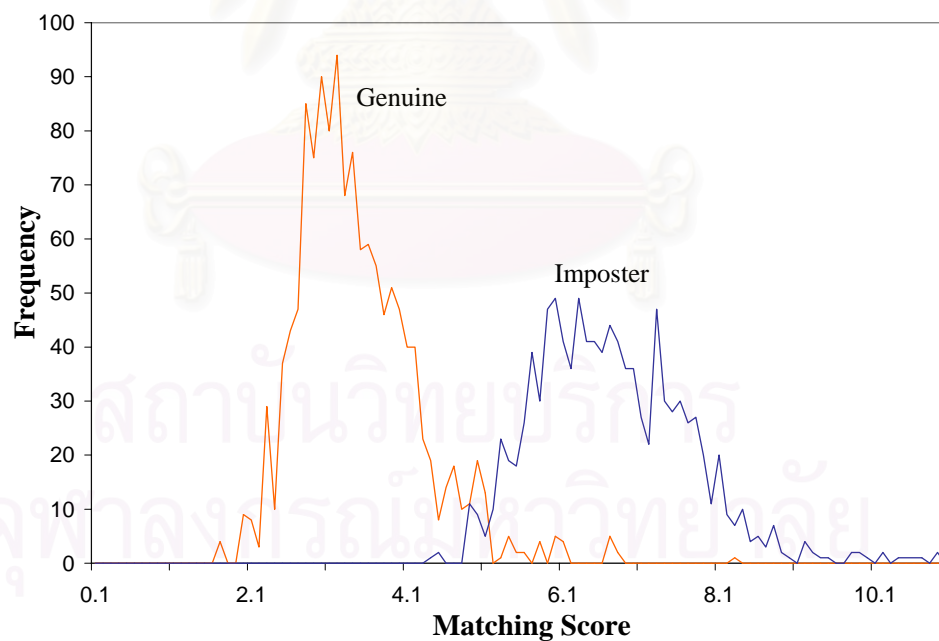


(ข) กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบเทียบของวิธีการปรับบรรทัดฐานแบบน้อยสุด-มากที่สุด

รูปที่ 4.5 กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบเทียบของวิธีการปรับบรรทัดฐานที่ใช้ในงานวิจัย

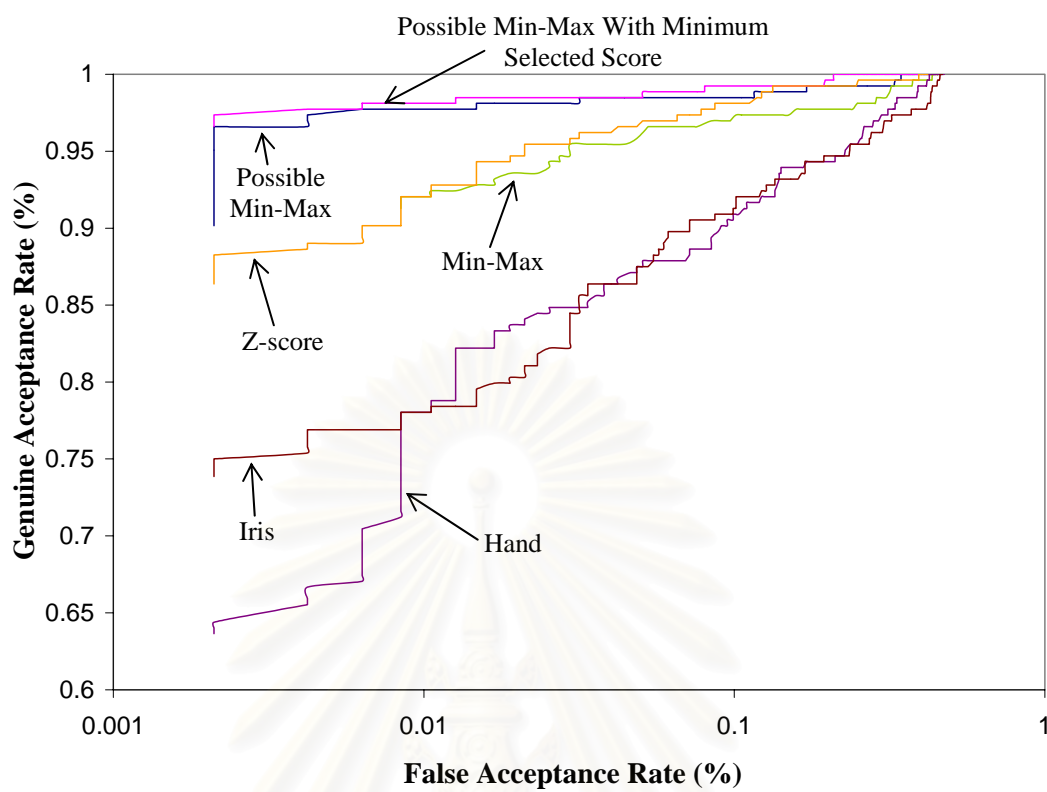


(ค) กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของวิธีการปรับบรรทัดฐานแบบคะแนน z



(ง) กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของวิธีการปรับบรรทัดฐานแบบค่าถ่วงน้ำหนักแบบเลือกข้อมูล

รูปที่ 4.5 (ต่อ) กราฟการแจกแจงคะแนนการเปรียบคู่ของวิธีการปรับบรรทัดฐานที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 4.6 กราฟ ROC ของวิธีการปรับบรรทัดฐานที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการทดลองการระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ การระบุบุคคลโดยระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา และการระบุบุคคลโดยใช้ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา และระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

ขั้นตอนแรกทำการเก็บข้อมูลภาพมือซ้ายของผู้ใช้ โดยให้ผู้ใช้หงายมือและวางหลังมือและนิ้วชิดกับพื้นเรียบสีดำ จากนั้นใช้กล้องดิจิทัลทำการเก็บภาพผู้ใช้และส่งภาพไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ในงานวิจัยนี้ใช้ภาพมือขนาด 1280x960 จุดภาพ จากฐานข้อมูล Visgraph

เมื่อได้ภาพมือของผู้ใช้แล้ว ขั้นตอนถัดมาเป็นการประมวลผลภาพเบื้องต้น เพื่อปรับปรุงภาพให้เหมาะสม โดยขั้นตอนแรกทำการแปลงภาพมือจากภาพสีให้กลายเป็นภาพระดับเทา ต่อมากำจัดสัญญาณรบกวนในภาพโดยใช้ตัวกรองแบบมัลติฐาน จากนั้นทำการแบ่งส่วนมือออกจากพื้นหลังโดยใช้วิธีการหาค่าขีดแบ่งโดยอัตโนมัติของ Otsu และใช้การประมวลผลภาพเชิงสัญญาณแบบเปิดและปิดในการปรับภาพให้เรียบ

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

ขั้นตอนถัดมาเป็นขั้นตอนการสกัดพีเจอร์ พีเจอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ความยาวนิ้วทั้ง 5 นิ้ว ความกว้างนิ้ว 3 ระดับและความกว้างของฝ่ามือ รวมทั้งสิ้น 21 พีเจอร์ ความยาวนิ้วหาจากความยาวของ

เส้นที่ลากจากจุดปลายนิ้วไปยังจุดกึ่งกลางของเส้นฐานซึ่งหาจากจุดง่ามนิ้วที่อยู่ด้านข้าง ความกว้างนิ้วหาจากความกว้างที่ระยะ $1/3$ $1/2$ และ $2/3$ ของความยาวนิ้ว และความกว้างของฝ่ามือหาจากจุดกึ่งกลางของจุดง่ามนิ้วของนิ้วโป้งและจุดสิ้นสุดของนิ้วชี้ลากไปยังจุดที่มีระยะทางจากจุดสิ้นสุดของนิ้วก็้อยเท่ากับระยะทางครึ่งหนึ่งของจุดง่ามนิ้วของนิ้วโป้งและจุดสิ้นสุดของนิ้วชี้ เมื่อได้พีเจอร์ทั้ง 21 พีเจอร์แล้วทำการเก็บรวมเป็นพีเจอร์เวกเตอร์เพื่อใช้ในขั้นตอนการเปรียบเทียบ

ขั้นตอนการเปรียบเทียบจะนำพีเจอร์เวกเตอร์ที่ได้ไปทำการวัดระยะทางแบบ S_1 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นคะแนนการเปรียบเทียบเพื่อไปใช้ในการตัดสินใจของระบบ

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนการตัดสินใจของระบบ โดยระบบจะนำคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้ามาขีดแบ่งเพื่อระบุบุคคล ถ้าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งระบบจะระบุเป็นผู้ใช้ที่ใช้ที่มีคะแนนการเปรียบเทียบน้อยที่สุด และถ้าคะแนนการเปรียบเทียบที่น้อยที่สุดมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งระบบจะระบุเป็นผู้ใช้นอกระบบ

ผลการทดลองจากการสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 12 ครั้ง ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือได้ความถูกต้อง $91.06 \pm 0.52\%$

5.1.2 ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพใช้ฐานข้อมูลภาพจาก CASIA ซึ่งเป็นภาพระดับเทาแบบ 8 บิต ขนาด 320×280 จุดภาพ

ขั้นตอนถัดมาเป็นขั้นตอนการหาตำแหน่งม่านตา เริ่มจากการหาตำแหน่งของรูม่านตาโดยพิจารณาดำแหน่งที่มีความถี่มากที่สุดในฮิสโทแกรม และใช้ค่าขีดแบ่งเพื่อแบ่งส่วนรูม่านตาจากภาพ จากนั้นทำการประมวลผลภาพเชิงสีฐานแบบเปิดและปิดเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ ต่อมาหาตำแหน่งและรัศมีของรูม่านตาจากการแปลงฮัฟแบบวงกลม เมื่อได้ตำแหน่งรูม่านตาแล้วขั้นตอนถัดไปเป็นการหาตำแหน่งของม่านตาโดยใช้อินทิกรัลดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งเปลี่ยนตำแหน่งจุดศูนย์กลางในการหาตำแหน่งของม่านตาในบริเวณที่กำหนดที่มีขนาด 20×20 จุดภาพ โดยใช้จุดศูนย์กลางของรูม่านตาเป็นจุดศูนย์กลางของบริเวณที่กำหนด ผลลัพธ์ในขั้นตอนนี้จะได้ตำแหน่งและรัศมีของรูม่านตาและของม่านตา

ในขั้นตอนการประมวลผลภาพเบื้องต้นจะแปลงพิกัดภาพม่านตาจากพิกัดเชิงขั้วเป็นพิกัดเชิงเส้นเพื่อให้ง่ายในการประมวลผล โดยทำการแบ่งส่วนลายม่านตาบริเวณด้านข้างของม่านตาเพื่อกำจัดการรบกวนของเปลือกตาและขนตาส่วนใหญ่ออกจากภาพ จากนั้นปรับความเข้มแสงในภาพและปรับภาพให้เห็นลายม่านตาชัดเจน

เมื่อได้ภาพลายม่านตาที่ปรับปรุงแล้ว จะสกัดพีเจอร์ของลายม่านตาโดยแบ่งภาพออกเป็นบล็อกขนาด 24×24 จุดภาพและมีส่วนซ้อนทับกัน 6 จุดภาพ ในแต่ละบล็อกจะคำนวณค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐานเก็บเป็นพีเจอรี่ลายม่านตา ผลลัพธ์ในการสกัดพีเจอรี่จะใช้พีเจอรี่ของลายม่านตาทั้งหมด 120 พีเจอรี่

ในขั้นตอนการเปรียบเทียบผู้ใช้ฟังก์ชันระยะทางแบบค่าสัมบูรณ์ในการเปรียบเทียบและใช้ค่าขีดแบ่งตัดสินในการระบุบุคคลในขั้นตอนการตัดสินใจของระบบ

ผลการทดลองจากการสุ่มเปลี่ยนข้อมูล 12 ครั้ง ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะม่านตาได้ความถูกต้อง $91.55 \pm 1.28\%$

5.1.3 ระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพจะนำข้อมูลภาพมือและภาพตาของผู้ใช้มารวมกันเป็นชุดภาพที่ใช้ในระบบ

ขั้นตอนถัดมาจะนำชุดภาพทดสอบมาทดสอบระบบโดยข้อมูลภาพมือจะถูกส่งไปยังระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและข้อมูลภาพตาจะถูกส่งไปยังระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา จากนั้นทั้งสองระบบจะแยกกันประมวลผลจนกระทั่งถึงขั้นตอนการเปรียบเทียบโดยทั้งสองระบบจะเปรียบเทียบกับผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในฐานข้อมูล

เมื่อได้คะแนนการเปรียบเทียบของผู้ใช้ที่มาจากทั้งสองระบบ จากนั้นจะทดลองวิธีการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบทั้งหมด 4 วิธีคือ การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบน้อยที่สุด-มากที่สุด การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบคะแนน z การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้และการปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบใช้ค่าน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยเลือกเฉพาะคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละระบบมาใช้ เมื่อปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบของแต่ละระบบแล้วจึงทำการรวมคะแนนการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีการรวมแบบใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก จากนั้นทำการการระบุบุคคลโดยใช้ค่าขีดแบ่งประกอบการตัดสินว่าเป็นผู้ใช้คนใดในระบบหรือเป็นผู้บุกรุก

ผลลัพธ์การทดลองระบบไบโอเมตริกแบบมัลติโมดัลที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือและม่านตา จะพบว่า การปรับบรรทัดฐานคะแนนการเปรียบเทียบแบบน้อยที่สุด-มากที่สุดที่เป็นไปได้โดยเลือกเฉพาะคะแนนที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละระบบมาใช้ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดและทำให้ระบบมีความถูกต้อง $98.33 \pm 0.67\%$

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาโปรแกรมและทดลองวิธีการที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้พบว่ายังมีส่วนที่น่าจะปรับปรุงเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ ดังต่อไปนี้

- 1) อาจเพิ่มพีเจอรี่ในระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือเพื่อให้ระบบสามารถระบุบุคคลได้ดีขึ้นเช่น ความหนาของมือ พื้นที่ของนิ้ว เป็นต้น

- 2) ตรวจสอบและตัดบริเวณเปลือกตาและขนตาในภาพ เพื่อให้พีเจอร์ที่สกดมาได้ไม่มีส่วนของเปลือกตาและขนตา ซึ่งจะช่วยให้พีเจอร์มีความถูกต้องมากขึ้น
- 3) ทำการหาความสำคัญของแต่ละพีเจอร์ เนื่องจากบางพีเจอร์ที่ได้มีความแปรปรวนสูง ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้นอาจตัดพีเจอร์ที่ไม่จำเป็นหรือมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบออก หรืออาจถ่วงน้ำหนักพีเจอร์ที่ดีให้มีความมากกว่าพีเจอร์อื่น ๆ
- 4) ทดสอบความมีชีวิต (Liveness check) ของข้อมูลที่เข้ามาในระบบ เพื่อตรวจสอบว่าเป็นผู้บุกรุกที่ปลอมแปลงลักษณะของผู้ใช้จริงในระบบหรือไม่
- 5) ทำการเก็บข้อมูลของผู้ใช้เพิ่มเพื่อใช้ในการทดลองระบบ เพื่อให้ความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. A.K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar. An Introduction to Biometric Recognition. IEEE Transaction on Circuits and System for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics 14 (2004): 4-20.
2. R. de Luis-García, C. Alberola-Lopez, O. Aghzout, and J. Ruiz-Alzola. Biometric Identification Systems. Signal Processing 83 (2003): 2539-2557.
3. A.K. Jain, A. Ross, and S. Pankanti. A Prototype Hand Geometry-based Verification System. Proceedings of The 2nd International Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication (1999): 166-171.
4. R. Sanchez-Reillo. Hand Geometry Pattern Recognition Through Gaussian Mixture Modeling. 15th International Conference on Pattern Recognition 2 (2000): 937-940.
5. A. L.N. Wong, and P. Shi. Peg-Free Hand Geometry Recognition Using Hierarchical Geometry and Shape Matching. IAPR Workshop on Machine Vision Applications (2002): 281-284.
6. J. Daugman. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independent. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence 15 (1993): 1148-1161.
7. R. Wildes. Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology. Proceeding of The IEEE 85 (1997): 1348-1363.
8. R. Sanchez-Reillo, and C. Sanchez-Avila. Iris Recognition with Low Template Size. Proceedings of The 3th International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication (2001): 324-329.
9. K. I. Chang, K. W. Bowyer, and P. J. Flynn. Face Recognition using 2D and 3D Facial Data. Proceedings of Workshop on Multimodal User Authentication (2003): 25-32.
10. A. Ross, A. K. Jain, and J. Reisman. A Hybrid Fingerprint Matcher. Pattern Recognition 36 (2003): 1661-1673.
11. A. Kumar, D. C. M. Wong, H. C. Shen, and A. K. Jain. Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric. Proceedings of 4th International

- Conference on Audio- and Video-based Biometric Personal Authentication (AVBPA) (2003): 668-678.
12. R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork. Pattern Classification. John Wiley & Sons, Inc., 2001.
 13. R. Brunelli, and D. Falavigna. Personal Identification using Multiple Cues. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 17 (1995): 955-966.
 14. X. Lu, Y. Wang, and A.K. Jain. Combining Classifiers for Face Recognition. IEEE International Conference on Multimedia and Expo 3 (2003): 13-16.
 15. R. W. Frischholz, and U. Dieckmann. Bioid: A Multimodal Biometric Identification System. IEEE Computer 33 (2000): 64-68.
 16. A. Ross, and A.K. Jain. Multimodal Biometrics: An Overview. Proceedings of 12th European Signal Processing Conference (2004): 1121-1224.
 17. N. Otsu. A Threshold Selection Method From Gray-scale Histogram. IEEE Transaction System 8 (1978): 62-66.
 18. R.C. Gonzalez, and R.E. Woods. Digital Image Processing. U.S.A.:Prentice-Hall, 2002.
 19. T. Kaneko, and M. Okudaira. Encoding of Arbitrary Curves Based on The Chain Code Representation. IEEE Transaction on Communications 33 (1985): 697-707.
 20. R.O. Duda, and P.E. Hart. Use of Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. Communications of ACM 15 (1972): 11-15.
 21. J. Daugman. How Iris Recognition Works. Proceedings of 2002 International Conference on Image Processing 1 (2002): 21-30.
 22. L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain. Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation. IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence 20 (1998): 777-789.
 23. Visgraph. Database of 1080 Hand Images. Available from <ftp://pftp.cs.ust.hk> and http://visgraph.cs.ust.hk/biometrics/DC_img.htm (2004).
 24. L.G. Shapiro, and G.C. Stockman. Computer Vision, U.S.A.:Prentice-Hall, 2001.
 25. J. Daugman. Complete Discrete 2D Gabor Transforms by Neural Networks For Image Analysis and Compression. IEEE Transaction on Acoustics, Speech and Signal Processing 36 (1988): 1169-1179.
 26. I. Mann. The Development of The Human Eye. U.S.A.: Grune and Stratton, Inc., 1950
 27. Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation. Database of 756 Grayscale Eye Images. Available from <http://www.sinobiometrics.com> (2004).



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บทความที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

1. บทความเรื่อง “การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 8th National Science and Engineering Conference 2004 จัดที่โรงแรม เจ บี หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 21-22 ตุลาคม พ.ศ. 2547 บทความนี้ตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of 8th National Science and Engineering Conference 2004 หน้า 209-215
2. บทความเรื่อง “ระบบไบโอเมตริกสำหรับการระบุบุคคลโดยใช้ค่าทางสถิติของลายม่านตา” นำเสนอในงานประชุมวิชาการ The 9th National Science and Engineering Conference 2005 จัดที่มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 27-28 ตุลาคม พ.ศ. 2548 บทความนี้อยู่ในระหว่างรอตีพิมพ์ไว้ใน Proceedings of the 9th National Science and Engineering Conference 2005

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ

Personal Verification and Identification Using Hand Geometry

พิพัฒน์ ประทีปอมรกุล นงลักษณ์ โควาวิสารัช ภูริพันธุ์ รุจิจักร และ ปิยานาฏ ทักษพันธ์

Pipat Prateepamornkul, Nongluk Covavisaruch, Puripant Ruchikachorn and Piyanat Taksaphan

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering

Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

e-mail: pipatp1@hotmail.com, nongluk.c@chula.ac.th, puripant@hotmail.com and waew@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการทวนสอบบุคคล (Verification) และการระบุบุคคล (Identification) โดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือซึ่งใช้ความยาวนิ้ว ความกว้างนิ้วและความกว้างฝ่ามือ โดยผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระ ไม่จำเป็นต้องใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือ ในการทดสอบระบบ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบฟังก์ชันระยะทางหลายชนิดเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบที่ดีที่สุด ในการทดลองใช้ภาพจากผู้ใช้ทั้งหมด 96 คน ซึ่งฟังก์ชันระยะทางแบบ S_1 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้งในการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคล

คำสำคัญ: ไบโอเมตริก ลักษณะเรขาคณิตของมือ การทวนสอบ การระบุบุคคล

Abstract

This research proposes a study of personal verification and identification using hand geometry. Hand geometry used in this research consists of the lengths and widths of fingers and the width of a palm. Users can place their hands freely without the needs for pegs to fix the hand placement. In our experiments tests the system with 6 distance functions and compares the accuracy. Test data are from 96 users. S_1 distance function gives the best result in both verification and identification.

Key-Words: Biometric, hand geometry, verification, identification

1. บทนำ

ในปัจจุบันการพิสูจน์ตัวจริง (Authentication) ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและเป็นวิธีที่ใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยที่ใช้กันอยู่ทั่วไป วิธีการพิสูจน์ตัวจริงที่ใช้กันอยู่แบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ ใช้สิ่งที่ผู้ใช้รู้ เช่น รหัสผ่าน ใช้สิ่งที่ผู้ใช้มี เช่น บัตรประจำตัว และสุดท้ายคือใช้ลักษณะทางกายภาพของผู้ใช้หรือลักษณะพฤติกรรมของผู้ใช้ หรือที่เรียกว่าไบโอเมตริก (Biometric)

ไบโอเมตริกเป็นการทวนสอบบุคคลหรือการระบุบุคคล โดยใช้ลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของมนุษย์ ไบโอเมตริกได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา ไบโอเมตริกที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ม่านตา ลายนิ้วมือ หน้า มือ โดยแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ไบโอเมตริกวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมก็คือการใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ (Hand Geometry) ซึ่งใช้ลักษณะของมือเช่น ความกว้างนิ้ว ความยาวนิ้ว พื้นที่ของมือ เป็นต้น ข้อดีของการใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือคือ สามารถใช้ภาพที่มีความละเอียดต่ำได้ มีประสิทธิภาพดี ระบบไม่ซับซ้อนและได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งาน [1, 2]

ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือนั้นเดิมที่มีอยู่ส่วนใหญ่มักจะใช้หมุดในการกำหนดลักษณะการวางมือ [3, 4, 5, 6] จะมีข้อเสียคือ หมุดจะทำให้รูปร่างของมือเปลี่ยนไปและ

บางครั้งผู้ใช้อาจวางมือผิดตำแหน่ง [7] ดังรูปที่ 1 ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือโดยไม่ใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือ ผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระ ระบบไม่ซับซ้อนและมีประสิทธิภาพดี



รูปที่ 1. ตัวอย่างการวางมือของผู้ใช้ผิดตำแหน่ง [3]

2. การหาค่าลักษณะเรขาคณิตของมือ

การหาค่าลักษณะเรขาคณิตของมือเป็นกระบวนการขั้นแรก โดยเริ่มจากกระบวนการเก็บข้อมูลภาพ (Image Acquisition) การเตรียมภาพ (Preprocessing) และการสกัดฟีเจอร์ (Feature Extraction) ดังต่อไปนี้

2.1 การเก็บข้อมูลภาพ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บภาพประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง กล้องดิจิทัล และพื้นหลังเรียบสีดำ ขั้นตอนการเก็บภาพจะให้ผู้ใช้งานมือหงายขึ้นและให้นิ้วและหลังมือแนบสนิทบนพื้นหลังเรียบสีดำ ผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระโดยไม่มีการกำหนดตำแหน่งการวางนิ้วมือ จากนั้นทำการเก็บภาพด้วยกล้องดิจิทัล โดยในการเก็บภาพจะใช้ภาพมือซ้ายของผู้ใช้เท่านั้น

2.2 การเตรียมภาพ

ขั้นตอนแรกจะทำการแปลงภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นภาพสีให้กลายเป็นภาพระดับเทา จากนั้นทำ

การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพโดยใช้ตัวกรองแบบมัชฌิม (Median Filter) เนื่องจากภาพที่ได้มีพื้นหลังเป็นสีดำ ซึ่งมีความเข้มแสงแตกต่างกับภาพบริเวณมือ ทำให้ฮิสโทแกรม (Histogram) ของภาพมีลักษณะเป็นทวิฐานนิยม (Bimodal) ดังนั้นจึงแปลงภาพให้เป็นภาพลักษณะฐานสอง (Binary Image) โดยหาได้จากการหาค่าขีดแบ่งแบบอัตโนมัติด้วยวิธีของ Otsu [8, 9] ซึ่งจะได้ภาพลักษณะฐานสองที่แยกพื้นหลังกับบริเวณมืออย่างชัดเจน จากนั้นทำให้ขอบภาพเรียบขึ้นโดยใช้ Opening และ Closing ได้ผลดังตัวอย่างในรูปที่ 2



(ก) ภาพต้นฉบับ

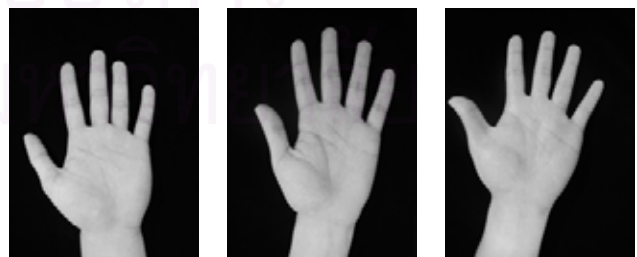


(ข) ภาพลักษณะฐานสองที่ผ่านขั้นตอน Opening และ Closing

รูปที่ 2. ภาพจากขั้นตอนการเตรียมภาพ

2.3 การสกัดฟีเจอร์

เนื่องจากในขั้นตอนการถ่ายภาพไม่ได้ใช้หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือ ดังนั้นภาพมือของผู้ใช้ที่ได้จึงมีได้หลายลักษณะ ดังรูปที่ 3 ในขั้นตอนแรกก่อนทำการสกัดฟีเจอร์จึงต้องหาตำแหน่งสำคัญของมือก่อน ซึ่งตำแหน่งสำคัญของมือที่ต้องการคือ “จุดปลายนิ้ว” และ “จุดง่ามนิ้ว”



รูปที่ 3. การวางมือของผู้ใช้ในรูปแบบต่างๆ

ในการหาตำแหน่งสำคัญของมือนั้นจำเป็นต้องหา “จุดอ้างอิง” ก่อน จากภาพมือของผู้ใช้จะหาตำแหน่งของข้อมือ ซึ่งอยู่บริเวณด้านล่างของภาพ โดยทำการหาจุดเริ่มต้น (S1) และ จุดสุดท้าย (E1) ของข้อมือ จากนั้นจึงหาจุดอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของข้อมือ ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 4

เมื่อได้จุดอ้างอิง ก็จะทำการตามรอยขอบของมือและหาตำแหน่งสำคัญของมือคือจุดปลายนิ้วและจุดง่ามนิ้วได้จากการวัดระยะจากจุดอ้างอิงไปยังขอบของมือ โดยวัดระยะเป็น Euclidean Distance ดังสมการที่ 1

$$D = \sqrt{(x - x_r)^2 + (y - y_r)^2} \quad (1)$$

โดยที่ (x, y) เป็นจุดที่อยู่บริเวณขอบของมือและ (x_r, y_r) เป็นจุดอ้างอิง จุดปลายนิ้วเป็นจุดที่มีระยะทางมากที่สุดจากจุดอ้างอิงเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียง และจุดง่ามนิ้วหาได้จากจุดที่มีระยะทางน้อยที่สุดจากจุดอ้างอิงเมื่อเทียบกับจุดข้างเคียง ผลลัพธ์เมื่อทำการหาตำแหน่งสำคัญของมือจะเป็นดังรูปที่ 4

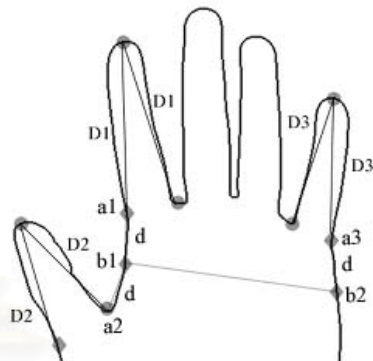


รูปที่ 4. ภาพแสดงตำแหน่งสำคัญของมือ

ขั้นตอนถัดมาจะทำการสกัดฟีเจอร์จากภาพ ซึ่งฟีเจอร์ที่จะทำการสกัดคือ ความขานิ้วทั้ง 5 นิ้ว ความกว้างนิ้ว 3 ระดับ และความกว้างฝ่ามือ รวมทั้งหมด 21 ฟีเจอร์

เส้นฐานของนิ้วกลางและนิ้วนางหาได้จากจุดง่ามนิ้วที่อยู่ทางด้านข้างของนิ้วลากเชื่อมกัน นิ้วโป้ง นิ้วชี้ และนิ้วก้อยมีจุดง่ามนิ้วเพียงจุดเดียว ดังนั้นหาเส้นฐานได้จากการตามรอยขอบของมือด้านตรงข้ามของจุดง่ามนิ้วไปจนถึง “จุดสิ้นสุด” (End

Point) ที่มีระยะทางเท่ากับระยะทางจากจุดปลายนิ้วไปยังจุดง่ามนิ้ว ดังรูปที่ 5

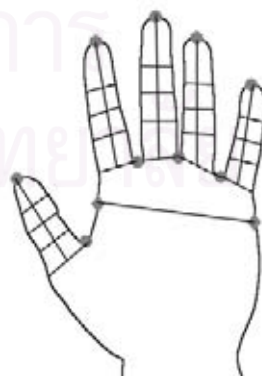


รูปที่ 5. การหาเส้นฐานของนิ้วโป้ง นิ้วชี้ และนิ้วก้อย และความกว้างของฝ่ามือ

ความขานิ้วหาจากระยะทางจากจุดปลายนิ้วไปยังจุดกึ่งกลางเส้นฐานของนิ้ว

ความกว้างนิ้ว 3 ระดับหาได้จาก ความกว้างของนิ้วที่ระยะความขานิ้วที่ 1/3 ที่ระยะ 1/2 และที่ระยะ 2/3

ความกว้างของฝ่ามือจะหาได้จากระยะทางจากจุด b1 ไปยังจุด b2 ดังรูปที่ 5 โดยจุด b1 หาได้จากจุดกึ่งกลางระหว่างจุด a1 ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของนิ้วชี้ และจุด a2 ซึ่งเป็นจุดง่ามนิ้วของนิ้วโป้ง จุด b2 หาได้จากจุดบริเวณขอบที่มีระยะทางจากจุด a3 ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของนิ้วก้อยเท่ากับ d หน่วย ซึ่งเป็นระยะทางเท่ากับจุด a1 ไปยังจุด b1 หรือจากจุด b1 ไปยัง a2 และผลลัพธ์ในการสกัดฟีเจอร์ทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6. ฟีเจอร์ของมือที่ได้ในขั้นตอนการสกัดลักษณะ

3. การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคล

ในการทดสอบระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือการทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคล ซึ่งการทวนสอบบุคคลหมายถึงการยืนยันหรือการปฏิเสธว่าเป็นบุคคลตามที่กล่าวอ้างหรือไม่ ส่วนการระบุบุคคลหมายถึงการรู้จำว่าเป็นบุคคลใด

การทวนสอบบุคคลและการระบุบุคคลจะใช้ฟังก์ชันระยะทาง (Distance Function) ในการตัดสินว่าเป็นบุคคลที่กล่าวอ้างหรือไม่หรือรู้จำว่าเป็นบุคคลใด โดยจะทำการทดสอบฟังก์ชันระยะทาง 6 ชนิดคือ

1. Absolute Distance

$$D_a = \sum_{i=1}^d |y_i - f_i| \quad (2)$$

2. Weighted Absolute Distance

$$D_{wa} = \sum_{i=1}^d \frac{|y_i - f_i|}{\sigma_i} \quad (3)$$

3. Euclidean Distance

$$D_e = \sqrt{\sum_{i=1}^d (y_i - f_i)^2} \quad (4)$$

4. Weighted Euclidean Distance

$$D_{we} = \sqrt{\sum_{i=1}^d \frac{(y_i - f_i)^2}{\sigma_i^2}} \quad (5)$$

5. D_1 Distance

$$D_{d_1} = \sum_{i=1}^d \frac{|y_i - f_i|}{y_i + f_i} \quad (6)$$

6. S_1 Distance

$$D_{s_1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^d \frac{\min(y_i, f_i)}{\max(y_i, f_i)} \quad (7)$$

ให้ $F = \langle f_1, f_2, \dots, f_d \rangle$ เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ ที่มี d มิติ ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล และ $Y = \langle y_1, y_2, \dots, y_d \rangle$ เป็นฟีเจอร์เวกเตอร์ของมือที่นำมาทดสอบ และ σ_i^2 เป็นความแปรปรวน (Variance) ของฟีเจอร์ลำดับที่ i โดยภาพที่นำมา

ทดสอบจะถูกยอมรับก็ต่อเมื่อมีค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด และจะถูกปฏิเสธก็ต่อเมื่อมีค่าระยะทางมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนด

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ได้จากขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาพเป็นภาพมือซ้ายของผู้ใช้ทั้งหมด 96 คนจำนวน 960 ภาพ ซึ่งทำการเก็บภาพ 10 ภาพต่อผู้ใช้นั่งคน จากนั้นแบ่งกลุ่มภาพของผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 5 ภาพ ซึ่งกลุ่มแรกจะเก็บเป็นแม่แบบ (Template) ลงในฐานข้อมูล และกลุ่มที่สองเก็บไว้ใช้ในการทดสอบระบบ

นำภาพ 5 ภาพของผู้ใช้แต่ละคนที่จะเก็บเป็นแม่แบบในฐานข้อมูลมาผ่านขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ทั้ง 21 ฟีเจอร์ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2 แล้วเก็บฟีเจอร์เวกเตอร์ที่ได้ลงในฐานข้อมูล ต่อมาหาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของแต่ละฟีเจอร์ของผู้ใช้แต่ละคน เพื่อใช้ในขั้นตอนการทดสอบระบบ จากนั้นนำภาพ 5 ภาพของผู้ใช้แต่ละคนที่จะนำมาทดสอบระบบมาทดสอบระบบโดยผ่านฟังก์ชันระยะทางทั้ง 6 ชนิด

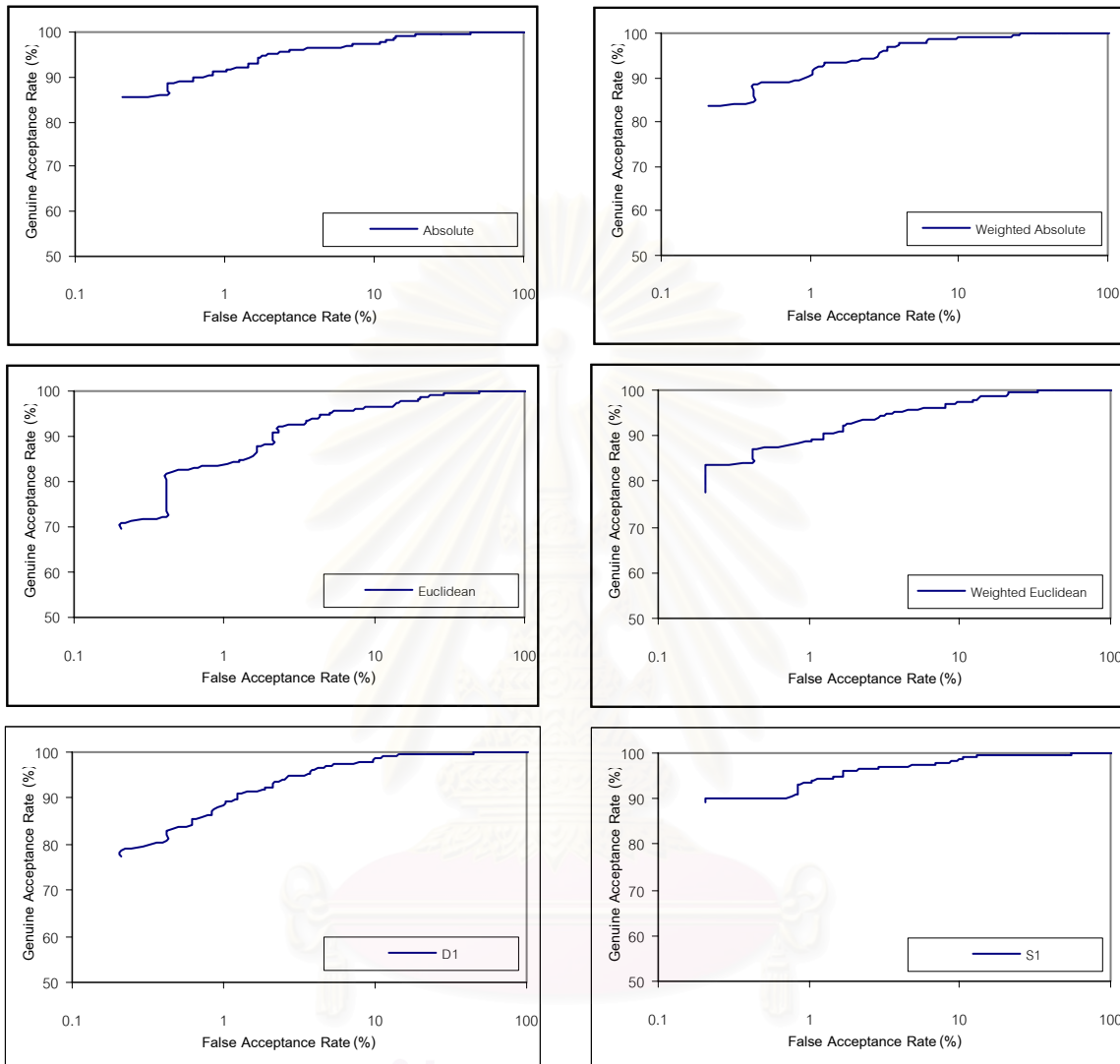
4.2 การทดลองและผลการทดลองการทวนสอบบุคคล

การหาประสิทธิภาพของระบบในการทวนสอบบุคคลได้จากค่า FAR (False Acceptance Rate) และ FRR (False Rejection Rate) โดย FAR คือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบเมื่อระบบยอมรับผู้บุกรุกโดยเห็นเป็นผู้ใช้จริงในระบบ และ FRR คือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบเมื่อระบบปฏิเสธผู้ใช้จริง โดยเห็นผู้ใช้จริงเป็นผู้บุกรุก

การหาค่า FRR หากจากการทดสอบกับผู้ใช้คนเดียวกัน โดยนำภาพทดสอบมาทำการสกัดฟีเจอร์ จากนั้นนำฟีเจอร์มาเปรียบเทียบกับแม่แบบในฐานข้อมูลของผู้ใช้คนเดียวกันเพื่อหาระยะทาง เมื่อได้ค่าระยะทางจะทำการกำหนดค่าขีดแบ่งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้ที่มีค่าระยะทางมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดเทียบกับจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด

ส่วนการหาค่า FAR หากจากการทดสอบกับผู้ใช้ต่างคนกัน

โดยการสุ่มภาพทดสอบมาทำการสกัดฟีเจอร์ จากนั้นนำฟีเจอร์



รูปที่ 7. กราฟ ROC ของฟังก์ชันระยะทาง 6 ชนิด

มาเปรียบเทียบกับแม่แบบในฐานข้อมูลของผู้ใช้ต่างคนกันเพื่อหาค่าระยะทาง แล้วกำหนดค่าขีดแบ่งซึ่งใช้ค่าขีดแบ่งเดียวกันกับการหาค่า FRR เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้ที่มีค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดเทียบกับจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด

ในการทดลองได้เปลี่ยนค่าขีดแบ่งเพื่อหาค่าขีดแบ่งที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยนำค่า FAR และ FRR ที่ได้จากการเปลี่ยนค่าขีดแบ่งมาแสดงผลเป็นกราฟ ROC

(Receiver Operating Characteristics) ซึ่งแสดงค่าระหว่างเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของระบบและ FAR รูปที่ 7 แสดงกราฟ ROC ของฟังก์ชันระยะทางทั้ง 6 ชนิด จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการให้ระบบมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูง ระบบจะมีค่า FAR ที่สูงตาม ซึ่งระบบที่มีประสิทธิภาพดีนั้นจะต้องมีค่า FAR และ FRR ต่ำ ดังนั้นฟังก์ชันระยะทางที่ดีต้องมีค่า FAR ต่ำและมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงซึ่งฟังก์ชันระยะทางที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ S_1 ส่วนตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ฟังก์ชันระยะทางต่างกัน ซึ่งเปรียบเทียบกันโดยใช้ค่า CER (Crossover Error Rate) ซึ่งเป็นจุดที่มีค่า FAR และ FRR เท่ากัน และเป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ โดยระบบที่มีค่า CER ต่ำ จะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่มีค่า CER สูง

ตารางที่ 1. เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการทดสอบ

| ฟังก์ชันระยะทาง | CER (%) |
|--------------------|---------|
| Absolute | 3.374 |
| Weighted Absolute | 3.208 |
| Euclidean | 4.374 |
| Weighted Euclidean | 4.083 |
| D_1 | 3.625 |
| S_1 | 2.999 |

4.3 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคล

เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการระบุบุคคลหาได้จากการนำภาพทดสอบมาสแกนพีเจอร์ จากนั้นนำพีเจอร์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับแม่แบบของผู้ใช้ทุกคนที่อยู่บนฐานข้อมูลเพื่อหาค่าระยะทาง แล้วทำการกำหนดค่าขีดแบ่งของระบบขึ้น ถ้าค่าระยะทางทุกค่าที่หาได้มากกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุเป็นผู้บุกรุก ถ้าค่าระยะทางน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง ระบบจะระบุเป็นผู้ใช้ที่มีค่าระยะทางน้อยที่สุด

ในการทดสอบระบบจะทำการเปลี่ยนค่าขีดแบ่งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบที่น้อยที่สุดซึ่งแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการระบุบุคคล

| ฟังก์ชันระยะทาง | ความผิดพลาด (%) |
|--------------------|-----------------|
| Absolute | 12.5 |
| Weighted Absolute | 11.04 |
| Euclidean | 18.54 |
| Weighted Euclidean | 12.29 |

| | |
|-------|------|
| D_1 | 6.04 |
| S_1 | 5.83 |

ในการทดสอบบุคคลและการระบุบุคคลจะเห็นได้ว่า S_1 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเนื่องจากการทำค่าระยะทางให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalize) ส่วนการหาระยะทางแบบ Weighted Absolute และ Weighted Euclidean มีประสิทธิภาพดีกว่า Absolute และ Euclidean เนื่องจากการปรับค่าระยะทางด้วยค่าความแปรปรวน ทำให้แยกความแตกต่างระหว่างผู้ใช้ได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

5. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการทดสอบและระบุบุคคลโดยใช้ลักษณะเรขาคณิตของมือ ซึ่งใช้ลักษณะความขานิ้ว ความกว้างนิ้วที่ 3 ระดับคือระดับ 1/3 1/2 และ 2/3 ของความขานิ้ว และความกว้างของฝ่ามือ โดยผู้ใช้สามารถวางมือได้อย่างอิสระ ซึ่งไม่ใช่หมุดในการกำหนดตำแหน่งการวางมือ ผลลัพธ์ของการทดลองได้จากฐานข้อมูลที่มีผู้ใช้ทั้งหมด 96 คน โดยการทดสอบ ฟังก์ชันระยะทางที่ดีที่สุดคือระยะทางแบบ S_1 ซึ่งให้ CER ที่ 3 % และการระบุบุคคล ฟังก์ชันระยะทางที่ดีที่สุดคือระยะทางแบบ S_1 ซึ่งมีความถูกต้องถึง 94 % และมีความผิดพลาดเพียง 6 %

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, "An Introduction to Biometric Recognition", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics, Vol. 14, No. 1, January, 2004, pp. 4-20.
- [2] John Chirillo, and Scott Blaul, "Implementing Biometric Security", John Wiley & Sons, Apr, 2003.
- [3] A.K. Jain, A. Ross, and S. Pankanti, "A Prototype Hand Geometry-based Verification System", 2nd International Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication, Mar, 1999, pp. 166-171.

- [4] A.K. Jain and N. Duta, "Deformable Matching of Hand Shapes for Verification", IEEE International Conference on Image Processing, Oct, 1999, pp. 857-861.
- [5] R. Sanchez-Reillo, "Hand Geometry Pattern Recognition Through Gaussian Mixture Modeling", 15th International Conference on Pattern Recognition, Vol.2, Sep, 2000, pp. 937-940.
- [6] R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez-Avila, and A. Gonzalez-Marcos, "Biometric Identification Through Hand Geometry Measurements", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(10), 2000, pp. 1168-1171.
- [7] Alexandra L.N. Wong, and Pengcheng Shi, "Peg-Free Hand Geometry Recognition Using Hierarchical Geometry and Shape Matching", IAPR Workshop on Machine Vision Applications, Nara, Japan, Dec, 2002, pp. 281-284.
- [8] N. Otsu, "A Threshold Selection Method From Gray-scale Histogram", IEEE Transaction Syst., Man, Cybern., Vol.8, 1978, pp. 62-66.
- [9] Linda G. Shapiro, and George C. Stockman, "Computer Vision", Prentice Hall, Jan, 2001.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบไบโอเมตริกสำหรับการระบุบุคคลโดยใช้ค่าทางสถิติของลายม่านตา

Biometric Personal Identification System Based on Statistical Characteristics of Iris Patterns

นงลักษณ์ โควาวิสารัช และ พิพัฒน์ ประทีปอมรกุล

Nongluk Covavisaruch and Pipat Prateepamornkul
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
Email: nongluk.c@chula.ac.th and pipat.p@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการระบุบุคคลโดยใช้ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตา ซึ่งใช้ค่าทางสถิติเป็นฟีเจอร์ของลายม่านตาซึ่งไม่ซับซ้อนและประมวลผลได้อย่างรวดเร็วคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ย โดยทำการวัดความคล้ายโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง 2 ชนิดคือ ฟังก์ชันระยะทางแบบ Absolute และ Euclidean เมื่อทำการทดลองกับผู้ใช้ทั้งหมด 70 คน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อใช้ฟีเจอร์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของบล็อกขนาด 24×24 จุดภาพด้วยฟังก์ชันระยะทางแบบ Absolute คำสำคัญ: ไบโอเมตริก การระบุบุคคล ม่านตา

Abstract

This paper proposes a study of biometric personal identification system via iris patterns. The chosen statistical features, which are standard deviation and mean, are good in that they are simple and fast for calculations. Two different distance functions used to compare the features are absolute distance and Euclidean distance. From our experiments, 70 users are tested. It is found that the SD of 24×24 block size compared with absolute distance gives the best system performance.

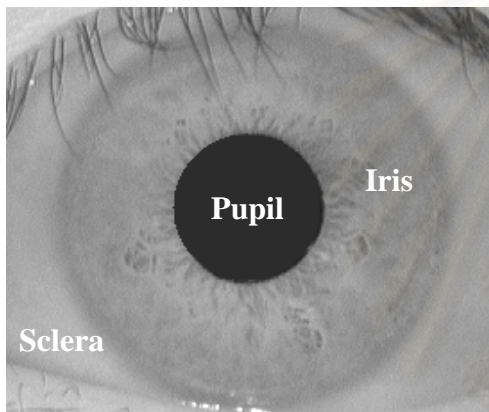
Key Words: Biometric, Identification, Iris

1. บทนำ

ในปัจจุบันข้อมูลข่าวสารได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน จึงต้องมีการปกป้องข้อมูลข่าวสารให้ปลอดภัยจากบุคคลไม่พึงประสงค์ ดังนั้นจึงได้มีการนำการพิสูจน์ตัวตนจริง (Authentication) มาทำการตรวจสอบการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารไบโอเมตริก (Biometric) เป็นวิธีการพิสูจน์ตัวตนจริงที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน วิธีนี้มีข้อดีกว่าวิธีการพิสูจน์ตัวตนชนิดอื่นๆ ซึ่งใช้รหัสผ่านหรือบัตรประจำตัวคือ ผู้ใช้ไม่สามารถลืม ทำสูญหายหรือถูกขโมยได้และติดตัวอยู่กับผู้ใช้ตลอดเวลา

ไบโอเมตริกเป็นการทวนสอบบุคคลหรือการระบุบุคคล โดยใช้ลักษณะทางกายภาพหรือพฤติกรรมของมนุษย์ ลักษณะที่นำมาใช้ในระบบไบโอเมตริกโดยทั่วไปได้แก่ ลายนิ้วมือ ใบหน้า ลักษณะทางเรขาคณิตของมือ ม่านตา เป็นต้น [1] ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาเป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากชนิดหนึ่งในปัจจุบัน มีข้อดีคือ เป็นระบบที่มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากม่านตาของผู้ใช้แต่ละคนจะมีลายม่านตาไม่ซ้ำกัน ซึ่งได้มาจากการศึกษาลักษณะของตา [2, 3] และถึงแม้ว่าเป็นฝาแฝดที่เกิดจากไข่ใบเดียวกันก็ตามก็จะมีลักษณะลายม่านตาไม่เหมือนกัน [4] และปลอมแปลงได้ยาก เป็นต้น

เมื่อสังเกตม่านตาที่นำมาใช้ในไบโอเมตริกจากภายนอก จะเห็นเป็นส่วนของลูกตาบริเวณตาขาว ซึ่งล้อมรอบด้วยเยื่อชั้นนอก สีขาว (Sclera) หรือตาขาว และภายในบริเวณตาขาวจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ บริเวณในสุดจะเป็นรูม่านตา (Pupil) และล้อมรอบด้วยส่วนที่เป็นม่านตา (Iris) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 หน้าที่ของม่านตาจะเป็นส่วนควบคุมปริมาณแสงให้ผ่านสู่รูม่านตา โดยทั่วไปลักษณะลายม่านตาจะเป็นรูปร่างขึ้นในช่วงอายุ 1 ปีแรกและจะมีการสร้างสารสี (Pigment) ซึ่งจะไปจับตัวกับโครงภายในม่านตาอีก 2-3 ปี ทำให้ลายม่านตาจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่เหลือ [5] และรูปแบบลายม่านตาจะเกิดขึ้นแบบสุ่มและไม่ขึ้นอยู่กัปลักษณะทางพันธุกรรม



รูปที่ 1. ส่วนประกอบต่างๆ ภายนอกของตา

งานวิจัยทางด้านไบโอเมตริกที่ใช้ม่านตาที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดเป็นงานวิจัยของ J. Daugman [6] โดยขั้นตอนการหาตำแหน่งม่านตาใช้ตัวตรวจหาขอบแบบวงกลม (Circular edge detector) คือ Integro-Differential ซึ่งใช้หาตำแหน่งรูม่านตาและม่านตาโดยการกำหนดขอบเขตรัศมีของวงกลมที่ใช้ค้นหาต่างกัน จากนั้นทำการหาตำแหน่งเปลือกตาบนและล่างโดยใช้วิธีเดียวกันกับการหาตำแหน่งม่านตาคือใช้วิธี Integro-Differential แต่ทำการปรับเปลี่ยนตัวตรวจหาขอบแบบวงกลมเป็นแบบโค้งคันศร (Arcuate) เมื่อได้ตำแหน่งม่านตาและเปลือกตาแล้วขั้นตอนถัดมาทำการแปลงพิกัดม่านตาให้เป็นพิกัดเชิงเส้น จากนั้นสกัดพีเจอร์ด้วยวิธี 2D Gabor Wavelet และ

ทำการเข้ารหัสพีเจอร์ด้วยวิธี Phase-Quadrant demodulation ในขั้นตอนการเปรียบเทียบใช้การวัดระยะทางแบบ Hamming

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องถัดมาเป็นงานวิจัยของ R. Wildes [7] ซึ่งใช้การแปลงฮัฟ (Hough transform) ในการหาตำแหน่งม่านตา และการสกัดพีเจอร์ใช้ลาปลาเซียนแบบพีระมิด (Laplacian pyramid) ด้วยระดับความละเอียด (Resolution) 4 ระดับเพื่อสร้างรหัสม่านตา จากนั้นทำการเปรียบเทียบโดยใช้สหสัมพันธ์ (Correlation) และ Fisher's linear discriminant ซึ่งการหาตำแหน่งม่านตาในงานวิจัยของ J. Daugman [6] และ R. Wildes [7] ใช้เวลาในประมวลผลมากและจำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์หลายตัวในขั้นตอนการสกัดพีเจอร์เช่น ความถี่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ขนาดของหน้ากาก (Mask) เป็นต้น ซึ่งค่าของพารามิเตอร์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการหาตำแหน่งม่านตาและระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลายม่านตา ที่ใช้พีเจอร์ไม่ซับซ้อน แผนแบบของลายม่านตามีขนาดเล็กและให้ระบบที่มีประสิทธิภาพดี โดยพีเจอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ต้องการเฉพาะพีเจอร์ที่ทำการสกัดจากลายม่านตาเท่านั้น จึงได้เลือกเฉพาะลายม่านตาที่บริเวณด้านซ้ายและขวาของรูม่านตาเท่านั้นเพื่อไม่ให้เปลือกตามีผลต่อพีเจอร์ที่ทำการสกัดมาได้

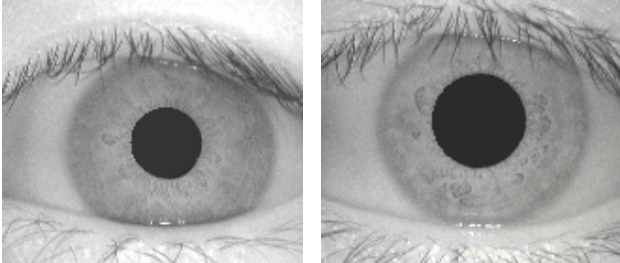
2. การหาลักษณะลายม่านตา

การหาลักษณะลายม่านตาเป็นกระบวนการขั้นแรก ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัย การหาตำแหน่งม่านตา การเตรียมภาพและการสกัดพีเจอร์ตามลำดับดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลภาพที่ได้จาก CASIA [8] ซึ่งเป็นภาพระดับเทา (Grayscale image) แบบ 8 บิต และมีขนาด 320x280 จุดภาพ จากผู้ใช้ทั้งหมด 108 คนจำนวน 756 ภาพ ซึ่งทำการเก็บภาพ 7 ภาพต่อผู้ใช้นี้คน โดยคัดเลือกเฉพาะผู้ที่มีภาพลายม่านตาชัดเจนในบริเวณด้านซ้ายและขวา

ของลูกตา ดังตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งเหลือผู้ใช้เพียง 70 คน ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาว่าพีเจอร์ที่เลือกใช้มีความเหมาะสมและให้ความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยไม่มีปัญหาที่เกิดจากการบังลายม่านตาโดยเปลือกตาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



รูปที่ 2. ตัวอย่างภาพม่านตาที่มาจากฐานข้อมูล CASIA ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้

2.2 การหาคำแหน่งม่านตา (Iris Localization)

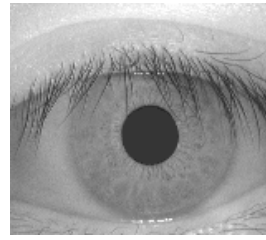
การหาคำแหน่งม่านตาจะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือการหาคำแหน่งของรูม่านตาและการหาคำแหน่งของม่านตา

2.2.1 การหาคำแหน่งของรูม่านตา

เนื่องจากบริเวณรูม่านตาในภาพมีค่าระดับเทาต่ำ ดังนั้นสามารถหารูม่านตาจากภาพได้จากการใช้ค่าขีดแบ่ง (Thresholding) โดยการหาค่าขีดแบ่งหาจากตำแหน่งที่มีค่าระดับเทาที่มีความถี่มากที่สุด ในฮิสโตแกรม (Histogram) ของภาพ

เมื่อได้ค่าขีดแบ่งแล้ว จึงทำการแปลงภาพให้เป็นภาพลักษณะฐานสอง (Binary Image) ซึ่งจะได้บริเวณที่เป็นรูม่านตาของภาพ จากนั้นกำจัดสัญญาณรบกวนและปรับบริเวณขอบของรูม่านตาให้เรียบโดยใช้ Morphological opening และ closing ซึ่งใช้ Structure element แบบวงกลม ซึ่งได้ผลลัพธ์ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3

เมื่อได้บริเวณที่เป็นรูม่านตาของภาพ หาขนาดและตำแหน่งจุดศูนย์กลางของรูม่านตาโดยใช้การแปลงฮัพแบบวงกลม (Circular Hough transform) ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดช่วงของขนาดรัศมีและมุมที่ใช้ในการค้นหาไว้ล่วงหน้าเพื่อลดเวลาในการประมวลผล



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพลักษณะฐานสองที่ผ่านขั้นตอน Opening และ Closing

รูปที่ 3. ภาพจากขั้นตอนการหาคำแหน่งของรูม่านตา

2.2.2 การหาคำแหน่งของม่านตา

ก่อนการหาคำแหน่งของม่านตา จะทำการตัดภาพบริเวณที่ไม่ใช่บริเวณที่สนใจทิ้งไปเพื่อลดขนาดของภาพลง โดยตัดภาพลงเหลือ 140x140 จุดภาพ โดยใช้จุดศูนย์กลางของรูม่านตาเป็นจุดศูนย์กลางของภาพที่เหลือนี้เพื่อให้ครอบคลุมบริเวณลายม่านตาทั้งด้านซ้ายและด้านขวา

จากนั้นกำจัดสัญญาณรบกวนและลดขอบของบริเวณลายม่านตาโดยใช้เกาส์เซียนฟังก์ชัน (Gaussian function) ต่อมาหาตำแหน่งของม่านตาโดยใช้ตัวดำเนินการ Integro-Differential [9] ซึ่งแสดงดังสมการที่ 1

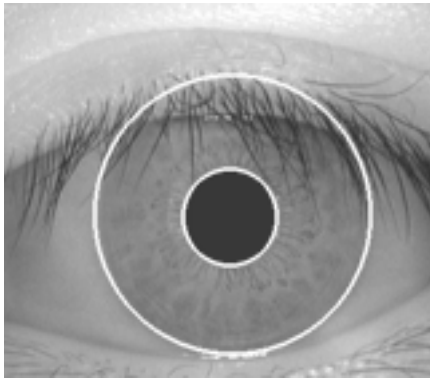
$$(r_i, x_i, y_i) = \arg \max_{(r_i, x_i, y_i)} \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r_i, x_i, y_i} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

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

$G_\sigma(r)$ เป็นฟังก์ชันปรับเรียบ (Smoothing Function) โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ

r_i, x_i, y_i เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของม่านตา

ในการหาคำแหน่งของม่านตา เนื่องจากจุดศูนย์กลางของรูม่านตาและม่านตาไม่จำเป็นต้องเป็นตำแหน่งเดียวกัน ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตในการค้นหาจุดศูนย์กลางของม่านตาให้มีขนาด 20x20 จุดภาพ โดยใช้ตำแหน่งของรูม่านตาเป็นจุดศูนย์กลาง และกำหนดช่วงของรัศมีและมุมที่ใช้ในการค้นหาเหมือนการหาตำแหน่งของรูม่านตา ตัวอย่างผลลัพธ์ในการหาคำแหน่งของรูม่านตาและม่านตาแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. ผลลัพธ์การหาตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตา

2.3 การเตรียมภาพ (Preprocessing)

การเตรียมภาพเป็นขั้นตอนในการปรับภาพให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแปลงพิกัดภาพม่านตาและการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน

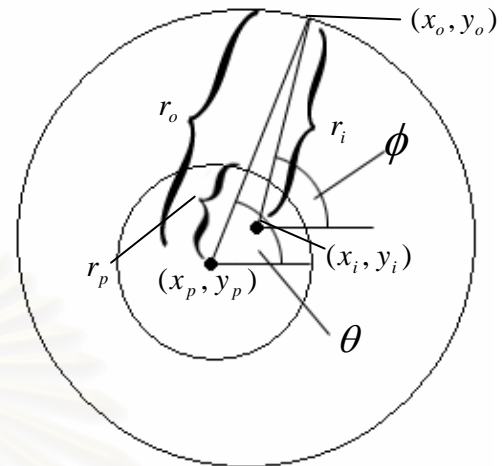
2.3.1 การแปลงพิกัดภาพม่านตา

เนื่องจากลายม่านตาในภาพมีลักษณะโค้งเป็นวงกลม ดังนั้นเพื่อให้การประมวลผลในขั้นตอนถัดไปสะดวกขึ้น จึงทำการแปลงภาพลายม่านตาซึ่งเป็นพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate) ให้กลายเป็นพิกัดเชิงเส้น (Cartesian coordinate) การแปลงพิกัดภาพม่านตาจะใช้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและม่านตา ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยที่ r_p, x_p, y_p เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของรูม่านตาตามลำดับ r_i, x_i, y_i เป็นรัศมีและจุดศูนย์กลางของม่านตา θ เป็นมุมหลักที่ใช้ในการแปลงพิกัดและ ϕ เป็นมุมที่ใช้หาความยาวของรัศมีในการแปลงพิกัด ซึ่งการหาค่ามุม ϕ แสดงดังสมการที่ 2

$$\phi = \arcsin\left(\frac{(y_p - y_i)\cos(\theta) - (x_p - x_i)\sin(\theta)}{r_i}\right) + \theta \quad (2)$$

ในการแปลงพิกัดภาพม่านตาจะใช้จุดศูนย์กลางของรูม่านตาเป็นหลักและใช้ θ เป็นมุมหลักในการแปลงพิกัดลายม่านตา ซึ่งพบว่ารัศมี r_o ที่มุม θ ต่างๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการหาค่ารัศมี r_o จำเป็นต้องหามุม ϕ ให้ได้เสียก่อน จากนั้นจึงนำ

มุม ϕ มาคำนวณหาจุด (x_o, y_o) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ารัศมี r_o กับจุด (x_p, y_p)



รูปที่ 5. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางและรัศมีของรูม่านตาและม่านตา

เนื่องจากบริเวณด้านบนและล่างของม่านตาในภาพส่วนใหญ่มีเปลือกตาบังอยู่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้นจึงแปลงพิกัดภาพม่านตาเฉพาะบริเวณด้านข้างเพื่อตัดบริเวณของเปลือกตาส่วนใหญ่ออก ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3, 4 และ 5 ดังนี้

$$T(u, v) = I(x_p + r \cos \theta, y_p + r \sin \theta) \quad (3)$$

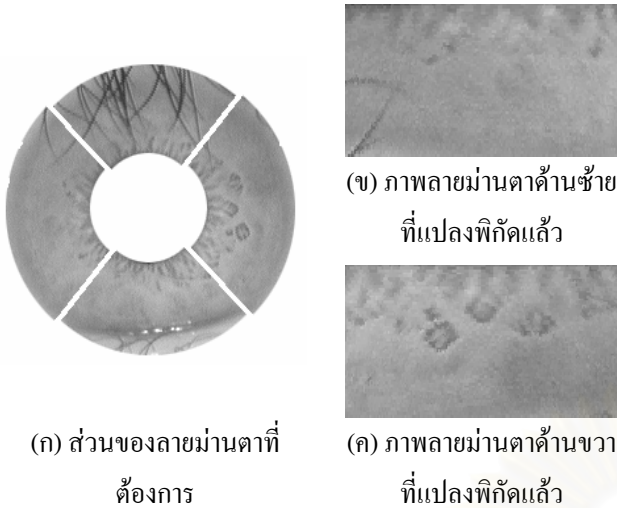
$$r = r_p + n\Delta r ; 0 \leq n \leq \frac{r_o - r_p}{\Delta r} \quad (4)$$

$$\theta = \begin{cases} \frac{-\pi}{4} + m\Delta\theta; & \text{if } 0 \leq \theta < \frac{\pi}{2\Delta\theta} \\ \frac{3\pi}{4} + m\Delta\theta; & \text{if } \frac{\pi}{2\Delta\theta} \leq \theta < \frac{\pi}{\Delta\theta} \end{cases} ; 0 \leq m \leq \frac{\pi}{\Delta\theta} \quad (5)$$

โดยที่ $T(u, v)$ เป็นภาพลายม่านตาที่แปลงพิกัด

Δr และ $\Delta\theta$ เป็นรัศมีและมุมที่ใช้ในการชักตัวอย่าง (Sampling)

ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ $\Delta\theta$ มีค่าเท่ากับ 0.5 และ n มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 ซึ่งผลลัพธ์ในการแปลงพิกัดภาพม่านตาแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6. การแปลงพิกัดภาพม่านตา

2.3.2 การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization)

การปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานประกอบด้วยการปรับความเข้มของแสงและการปรับปรุงภาพให้ชัดเจนขึ้น

ขั้นตอนแรกสุดในการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐานคือการปรับความเข้มแสงของภาพ เนื่องจากภาพม่านตาแต่ละภาพมีความเข้มแสงไม่เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์เก็บภาพหรือสภาพแวดล้อมที่ทำการเก็บภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับความเข้มแสงของแต่ละภาพให้เท่ากัน โดยวิธีการปรับความเข้มแสงแสดงดังสมการที่ 6 [10]

$$I'(x, y) = \begin{cases} \phi_d + \lambda & ; \text{ if } I(x, y) > \phi \\ \phi_d - \lambda & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

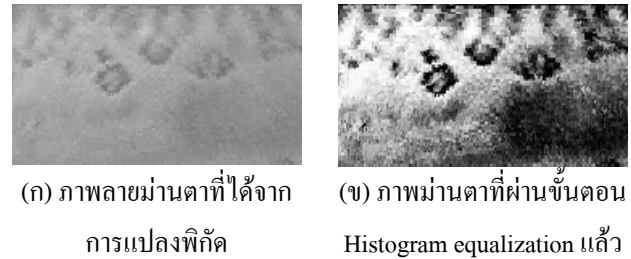
$$\text{where } \lambda = \sqrt{\frac{\rho_d (I(x, y) - \phi)^2}{\rho}}$$

โดยที่ $I'(x, y)$ เป็นภาพที่ปรับความเข้มแสงแล้ว

ϕ_d และ ρ_d เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ

ϕ และ ρ เป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ

เมื่อทำการปรับความเข้มแสงของภาพแล้ว จากนั้นทำการปรับภาพให้เห็นลายม่านตาชัดเจนขึ้น โดยใช้ Histogram equalization ซึ่งผลลัพธ์คือภาพที่ถูกปรับแล้วแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7. ลายม่านตาที่ผ่านการปรับภาพให้เป็นบรรทัดฐาน

2.4 การสกัดฟีเจอร์ (Feature Extraction)

ในขั้นตอนการสกัดฟีเจอร์ จะทำการแบ่งภาพลายม่านตาที่ได้ปรับบรรทัดฐานแล้วออกเป็นบล็อกซึ่งแต่ละบล็อกจะมีส่วนซ้อนทับกัน จากนั้นหาค่าทางสถิติซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนของบล็อกแต่ละบล็อก โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการทดลองคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยแบบ 4 ส่วน (4-Mean)

การหาค่าเฉลี่ยแบบ 4 ส่วนทำโดยการแบ่งบล็อกแต่ละบล็อกออกเป็น 4 บล็อกย่อย จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของแต่ละบล็อกย่อย ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของทั้ง 4 บล็อกย่อยเป็นตัวแทนของบล็อกใหญ่ทั้งบล็อก

3. การระบุบุคคล (Personal Identification)

การระบุบุคคลหมายถึงการรู้จำว่าเป็นบุคคลใดที่ลงทะเบียนไว้ในระบบ ในการตัดสินใจว่าผู้ใช้ที่ทำการทดสอบเป็นผู้ใช้คนใดในระบบหรือเป็นผู้ใช้นอกระบบนั้น จะเปรียบเทียบฟีเจอร์ของผู้ใช้ที่ทำการทดสอบกับฟีเจอร์ที่เก็บจากผู้ลงทะเบียนไว้แล้ว โดยวัดจากค่าระยะทางซึ่งหาได้จากฟังก์ชันระยะทาง (Distance function) ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบระบบโดยวัดค่าระยะทางจากฟังก์ชันระยะทาง 2 ชนิดคือ ฟังก์ชันระยะทางแบบ Absolute และฟังก์ชันระยะทางแบบ Euclidean ซึ่งแสดงดังสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

$$D_a = \sum_{i=1}^d |y_i - f_i| \quad (7)$$

$$D_e = \sqrt{\sum_{i=1}^d (y_i - f_i)^2} \quad (8)$$

โดยที่ d เป็นจำนวนพีเจอรที่ใส่ทั้งหมด

f_i เป็นพีเจอรลำดับที่ i ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

y_i เป็นพีเจอรลำดับที่ i ของผู้ใช้ที่ทำการทดสอบ

D_a และ D_e คือค่าระยะทางของฟังก์ชันระยะทางแบบ

Absolute และ Euclidean ตามลำดับ

ในการระบุบุคคล การตัดสินใจว่าผู้ใช้ที่ทำการทดสอบเป็นผู้ใช้คนใดในระบบหรือเป็นผู้ใช้นอกระบบแสดงดังสมการที่ 9 ซึ่งทำการตัดสินใจโดยใช้ค่าขีดแบ่งของระบบ โดยค่าขีดแบ่งของระบบจะถูกกำหนดตามความเหมาะสมในการใช้งาน

$$User = \begin{cases} User_i; & \text{if } \min(Dist_i) \leq Threshold \\ reject; & \text{if } \min(Dist_i) > Threshold \end{cases} \quad (9)$$

โดยที่ $User$ เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ

$User_i$ เป็นผู้ใช้ลำดับที่ i ที่มีค่าระยะทางน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

$Dist_i$ เป็นค่าระยะทางของผู้ใช้ลำดับที่ i เปรียบเทียบกับผู้ใช้ที่ทำการทดสอบ

4. การหาประสิทธิภาพของระบบ

การหาประสิทธิภาพของระบบในการระบุบุคคลหาได้จากค่าความผิดพลาดของระบบที่เกิดขึ้นคือ FAR (False Acceptance Rate) และ FRR (False Rejection Rate) โดย FAR คือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบเมื่อระบบยอมรับผู้บุกรุกเป็นผู้ใช้จริงที่อยู่ในระบบ และ FRR คือเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระบบเมื่อระบบปฏิเสธผู้ใช้จริง โดยมองเป็นผู้บุกรุก

ค่า FRR หาได้จากการทดสอบกลุ่มข้อมูลของผู้ใช้ในระบบซึ่งแสดงดังสมการที่ 10 และ 11 ดังนี้

$$FRR = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i)}{N} \quad (10)$$

$$f(x_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } \forall D(F_i, Y_j) > T \\ 0; & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

โดยที่ $f(x_i)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อค่าระยะทางทุกค่ามีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งของระบบ

F_i เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของภาพม่านตาที่นำมาทดสอบ

Y_j เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

T เป็นค่าขีดแบ่งของระบบ

$D(F_i, Y_j)$ เป็นฟังก์ชันระยะทางที่วัดระหว่างพีเจอรเวกเตอร์ที่นำมาทดสอบกับพีเจอรเวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

N เป็นจำนวนภาพของผู้ใช้ในระบบที่นำมาทดสอบ

การหาค่า FAR หาจากการทดสอบกลุ่มข้อมูลของผู้ใช้ในระบบที่ทำการระบุบุคคลผิดและจากกลุ่มของผู้บุกรุก ซึ่งแสดงดังสมการที่ 12, 13 และ 14 ดังนี้

$$FAR = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i) + \sum_{k=1}^M g(x_k)}{N + M} \quad (12)$$

$$f(x_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } \exists \min(D(F_i, Y_j)) \leq T; i \neq j \\ 0; & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

$$g(x_k) = \begin{cases} 1; & \text{if } \exists \min(D(F_k, Y_j)) \leq T \\ 0; & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

โดยที่ $f(x_i)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อค่าระยะทางน้อยที่สุดมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบโดยที่เป็นผู้ใช้คนละคนกัน

$g(x_k)$ เป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์เป็น 1 ก็ต่อเมื่อค่าระยะทางที่น้อยที่สุดที่ได้จากการเปรียบผู้บุกรุกกับผู้ใช้ที่อยู่ในฐานข้อมูลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งของระบบ

F_i เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของภาพม่านตาที่นำมาทดสอบ

Y_j เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของผู้ใช้ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

F_k เป็นพีเจอรเวกเตอร์ของผู้ใช้นอกระบบ

N เป็นจำนวนภาพของผู้ใช้ในระบบที่นำมาทดสอบ

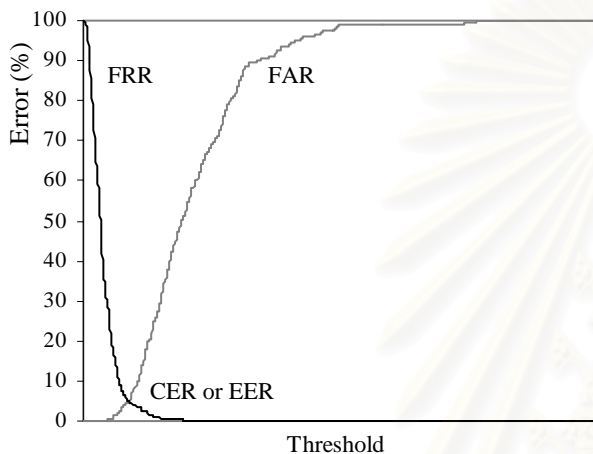
M เป็นจำนวนภาพของผู้บุกรุกที่นำมาทดสอบ

ในการทดลองจะเห็นได้ว่าค่า FAR และ FRR ขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งของระบบ เมื่อทำการปรับค่าขีดแบ่งก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่า

จัดแบ่งของระบบเพื่อหาค่าขีดแบ่งที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งจุดที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือจุด CER (Cross-over Error Rate) หรือ EER (Equal Error Rate) ซึ่งเป็นจุดที่มีค่า FAR และ FRR เท่ากัน ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 8

เมื่อได้ค่า CER สามารถคำนวณความถูกต้องของระบบได้จากสมการที่ 15

$$\text{Accuracy (\%)} = (1 - \text{CER}) * 100 \quad (15)$$



รูปที่ 8. กราฟแสดงค่า CER ซึ่งมีค่า FAR และ FRR เท่ากัน

5. การทดลองและผลการทดลอง

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบสำคัญเป็น 2 ส่วนคือ การทดลองการหาตำแหน่งม่านตาและการทดลองการระบุบุคคล

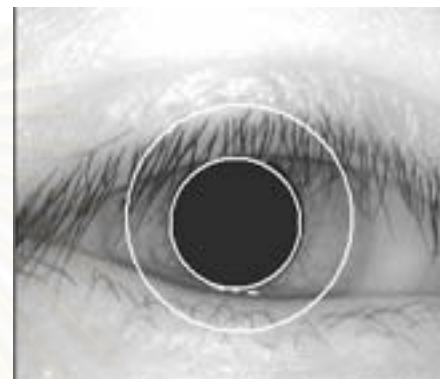
5.1 การทดลองหาตำแหน่งม่านตา

ในการทดลองหาตำแหน่งม่านตา จะนำภาพของผู้ใช้ทั้งหมด 108 คน จำนวน 756 ภาพ มาทำการหาตำแหน่งม่านตาโดยวิธีที่กล่าวไปในหัวข้อ 2.2 โดยภาพที่มีความถูกต้องจะต้องได้ตำแหน่งของรูม่านตาและม่านตาถูกต้อง โดยผลลัพธ์ในการทดลองหาตำแหน่งม่านตาแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งการหาตำแหน่งม่านตามีความถูกต้อง 97.09% โดยพบว่าภาพที่ทำการหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดจะเกิดจากภาพที่มีเปลือกตาบังส่วน

บริเวณด้านข้างของม่านตาทำให้ไม่สามารถหาขอบของม่านตาที่ถูกต้องได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 9

ตารางที่ 1. ความถูกต้องในการหาตำแหน่งม่านตา

| จำนวนภาพ (ภาพ) | จำนวนภาพที่หาตำแหน่งผิดพลาด (ภาพ) | Accuracy (%) |
|----------------|-----------------------------------|--------------|
| 756 | 22 | 97.09 |



รูปที่ 9. ตัวอย่างภาพที่หาตำแหน่งม่านตาผิดพลาด

5.2 การทดลองและผลการทดลองการระบุบุคคล

ในการทดลองหาประสิทธิภาพของการระบุบุคคล จะนำภาพของผู้ใช้ทั้งหมด 70 คน จำนวน 295 ภาพ เนื่องจากต้องการศึกษาความเหมาะสมและความถูกต้องของพีเจอร์ที่เลือกมา ดังนั้นจึงทำการคัดภาพของผู้ใช้ที่ทำการหาตำแหน่งม่านตาผิดพลาดและภาพของผู้ใช้ที่มีเปลือกตาบังส่วนของม่านตาที่ต้องการออก เพื่อลดปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

จากชุดข้อมูลภาพของผู้ใช้ทั้งหมด 70 คน จะทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มของผู้ใช้ในระบบซึ่งมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด 50 คนและกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของผู้บุกรุก ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด 20 คน จากนั้นจะสุ่มภาพของกลุ่มผู้ใช้ในระบบคนละ 3 ภาพ โดยภาพแรกจะใช้เก็บเป็นแม่แบบ (Template) ในฐานข้อมูลและภาพที่เหลือจะใช้ในการทดสอบ

การทดสอบพีเจอร์ที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ได้ทดสอบกับพีเจอร์ทางสถิติ 3 ชนิดคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยแบบ 4 ส่วน ดังกล่าวมาแล้วโดยทดลองเปลี่ยนขนาดบล็อกต่าง ๆ กันและวัดความแตกต่างโดยใช้ฟังก์ชันระยะทาง 2 ชนิดคือ ฟังก์ชันระยะทางแบบ Absolute และฟังก์ชันระยะทางแบบ Euclidean จากนั้นจึงวัดค่า FAR และ FRR ของระบบที่ค่าขีดแบ่งต่าง ๆ และหาจุด CER ของระบบตามลำดับ

เมื่อได้ค่า CER ของระบบ จะดูคุณภาพของผู้ใช้ในระบบใหม่ เพื่อสร้างฐานข้อมูลของผู้ใช้ในระบบและทดลองตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้นซ้ำ 20 รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของ CER ของระบบที่ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ของการหาประสิทธิภาพของระบบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ประสิทธิภาพของระบบในการระบุบุคคล

| Block size (pixel) | Overlap (Pixel) | Feature | Accuracy (%) | |
|-----------------------|--------------------|---------|--------------|-----------|
| | | | Absolute | Euclidean |
| 12x12 | 3 | SD | 90.08 | 88.55 |
| | | Mean | 89.32 | 85.50 |
| 24x24 | 6 | SD | 92.37 | 91.61 |
| | | Mean | 86.30 | 85.50 |
| | | 4-Mean | 90.84 | 90.08 |
| 32x32 | 8 | SD | 85.50 | 80.16 |
| | | Mean | 81.68 | 81.68 |
| | | 4-Mean | 89.32 | 88.55 |

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันระยะทางแบบ Absolute ให้ประสิทธิภาพดีกว่าฟังก์ชันระยะทางแบบ Euclidean เนื่องจากการวัดระยะทางแบบ Euclidean จะลดการกระจายของค่าระยะทางที่มาจากพีเจอร์ของผู้ใช้ในระบบและผู้บุกรุก ทำให้ความแตกต่างของค่าระยะทางของผู้ใช้ในระบบกับผู้บุกรุกมีค่าลดลง ดังนั้นระบบมีโอกาสที่จะระบุผู้ใช้ผิด ส่งผลให้ความถูกต้องของระบบลดลง

นอกจากนี้ขนาดของบล็อกยังมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของบล็อกเล็กลง พีเจอร์ที่เป็น

ค่าเฉลี่ยจะมีแนวโน้มความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ส่วนพีเจอร์ค่าเฉลี่ยแบบ 4 ส่วน มีความถูกต้องมากกว่าพีเจอร์ค่าเฉลี่ยเนื่องจากพีเจอร์ของค่าเฉลี่ยแบบ 4 ส่วนมีจำนวนมากกว่าพีเจอร์ของค่าเฉลี่ยทำให้มีความถูกต้องมากกว่า แต่เมื่อพิจารณาพีเจอร์ที่เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่าบล็อกขนาด 24x24 จุดภาพมีความถูกต้องมากกว่าทั้งบล็อกขนาด 32x32 จุดภาพและบล็อกขนาด 12x12 จุดภาพ ทั้งนี้เนื่องจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานขึ้นกับข้อมูลภายในบล็อกซึ่งมีความแปรปรวนไม่แน่นอนขึ้นกับตำแหน่งบนลายม่านตาและลักษณะของภาพม่านตาของแต่ละคนด้วย

6. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการระบุบุคคลโดยใช้ระบบไบโอเมตริกที่ใช้ลายม่านตา ซึ่งใช้ลายม่านตาทางด้านข้างของม่านตา โดยวิธีในการหาตำแหน่งม่านตาใช้เวลาในการประมวลผลน้อย ในการทดสอบระบบ ทำการทดลองโดยแบ่งลายม่านตาออกเป็นบล็อกและใช้ค่าสถิติซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนเช่นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยแบบ 4 ส่วน แทนค่าในแต่ละบล็อก และทดลองวัดประสิทธิภาพด้วยค่าระยะทาง 2 ชนิดคือ ฟังก์ชันระยะทางแบบ Absolute และ Euclidean ซึ่งผลลัพธ์ในการหาตำแหน่งม่านตาถูกต้อง 97.09% และการระบุบุคคลมีความถูกต้อง 92.37%

จากผลการระบุบุคคลที่ได้ พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ในช่วง 80-92% แสดงให้เห็นว่าพีเจอร์ที่ใช้ค่าทางสถิติยังคงให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีนัก ทั้ง ๆ ที่ทำการทดสอบเฉพาะกับภาพที่มีลายม่านตาชัดเจนครบถ้วนแล้ว

7. งานวิจัยที่จะทำต่อไป

งานวิจัยต่อไปจะทำการปรับปรุงวิธีการที่ใช้ให้ทนทานต่อสัญญาณรบกวนอื่น ๆ เช่น เปลือกตาและขนตา และทำการทดสอบระบบด้วยภาพที่มีเปลือกตาดูดอยู่ในภาพ นอกจากนี้จะปรับปรุงฟังก์ชันระยะทางที่ใช้วัดเพื่อแยกแยะผู้ใช้ได้ดีขึ้นและ

ทำการทดลองกับจำนวนผู้ใช้งานมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation (CASIA) ที่เอื้อเฟื้อฐานข้อมูลภาพม่านตา

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, “An Introduction to Biometric Recognition,” IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics, vol. 14, no. 1, Jan, 2004, pp. 4-20.
- [2] F.H. Adler, “Physiology of The Eye,” St. Louis, MO: Mosby, 1965.
- [3] I. Mann, “The Development of The Human Eye,” New York: Grune and Stratton, 1950.
- [4] J. Daugman, “High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independent,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15, no. 11, 1993.
- [5] E. Wolff, “Anatomy of The Eye and Orbit 7th Edition,” H.K. Lewis & Co. ltd, 1976.
- [6] J. Daugman, “How Iris Recognition Works,” Proc. of 2002 International Conference on Image Processing, vol. 1, 2002.
- [7] R. Wildes, “Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology,” Proc. of The IEEE, vol. 85, no. 9, 1997.
- [8] Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation, “Database of 756 Grayscale Eye Image,” <http://www.sinobiometrics.com>, version 1.0, 2003.
- [9] J. Daugman, “Biometric Personal Identification System Based on Iris Analysis,” U.S. Patent 5 291 560, 1994.
- [10] L. Hong, Y. Wan, and A.K. Jain, “Fingerprint Image Enhancement: Algorithm and Performance Evaluation,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, Aug, 1998, pp.777-789.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิพัฒน์ ประทีปอมรกุล เกิดวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้นได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย