

การประเมินประสิทธิภาพการรู้จำม่านตาของภาพที่ถูกแยกส่วนโดยใช้
อัลกอริทึมเซิร์ฟและคาเซ่

IRIS RECOGNITION EVALUATION OF SEGMENTED IMAGES USING SURF AND
KAZE ALGORITHM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-060-070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRIS RECOGNITION EVALUATION OF SEGMENTED IMAGES USING SURF AND
KAZE ALGORITHM

APICHAT SUTTHITHAMMANON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-EN-M-060-070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพการรู้จำม่านตาของภาพที่ถูกแยกส่วน โดยการใช้อัลกอริทึมเซิร์ฟและคาเซ่
นักศึกษา	นายอภิชาติ สุทธิธรรมานนท์
รหัสประจำตัว	60601009
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิศรุต ศรีรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำม่านตาโดยใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE เพื่อการตรวจสอบเอกลักษณ์ของม่านตา โดยการใช้ฐานข้อมูลดวงตาจาก CASIA version 1.0 และ MMU Iris Database โดยมีการปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผลด้วยการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากขนตาและเปลือกตา เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตัวตน และแสดงผลการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB ผลการศึกษาพบว่า การปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผล โดยใช้เทคนิคการแยกส่วนภาพ Hough transform และ Gaussian filter เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนขนตาและเปลือกตา สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพและเพิ่มประสิทธิภาพของการรู้จำม่านตาได้ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำม่านตาโดยใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE พบว่าภาพที่ผ่านการแยกส่วนม่านตามีผลลัพธ์ดีกว่าภาพต้นฉบับ นอกจากนี้การแสดงผลการตรวจสอบเอกลักษณ์โดยการใช้การรู้จำม่านตาโดยโปรแกรม MATLAB สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแสดงผลในระบบการรู้จำม่านตาได้ สรุปได้ว่าการแยกส่วนภาพและกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพก่อนการตรวจสอบเอกลักษณ์ของม่านตาเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการรู้จำม่านตา และการใช้ KAZE เป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับระบบรู้จำม่านตามากกว่า SURF สำหรับฐานข้อมูล CASIA version 1.0, ภาพก่อนแยกส่วนม่านตาและประมวลผลด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE มีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 17 และร้อยละ 52.1 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันภาพที่ผ่านการแยกส่วนม่านตาและประมวลผลด้วยอัลกอริทึมเดียวกัน มีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 86.2 และร้อยละ 95.3 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันกับการใช้ฐานข้อมูล MMU ภาพก่อนแยก

ส่วนม่านตาและประมวลผลด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE มีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 7.2 ตามลำดับ และภาพที่ผ่านการแยกส่วนม่านตาด้วยอัลกอริทึมทั้งสองนี้มีอัตราความแม่นยำที่ร้อยละ 59.1 และร้อยละ 79.4 ตามลำดับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การใช้การแยกส่วนภาพเป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการประมวลผล สามารถเพิ่มความแม่นยำในการระบุตัวบุคคลจากม่านตาโดยใช้อัลกอริทึม SURF หรือ KAZE ได้มากขึ้นสำหรับทั้งฐานข้อมูล CASIA และ MMU โดยสามารถแสดงการประมวลผลผ่านโปรแกรม MATLAB ได้ และเมื่อทำการทดลองกับกล้องเว็บแคมที่มีใช้งานกันทั่วไปก็ได้ผลลัพธ์ออกมาในแนวทางเดียวกัน



Thesis	Iris Recognition Evaluation of Segmented Images using SURF and KAZE Algorithm
Student	Mr. Apichat Sutthithammanon
Student ID.	60601009
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2023
Main Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Witsarut Sriratana
Co-Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kaset sirisantiamrid

ABSTRACT

This study aimed to compare the effectiveness of SURF and KAZE algorithms in recognizing iris patterns by using eye image databases from CASIA version 1.0 and MMU Iris Database. Prior to processing, the images were pre-processed to remove noise resulting from eyelashes and eyelids by applying Hough transform and Gaussian filter techniques to enhance the accuracy of iris recognition. MATLAB was used to analyze the processed images and display the results. The study found that image pre-processing using Hough transform and Gaussian filter techniques effectively eliminated noise in the images, improving the accuracy of iris recognition. Furthermore, the results showed that images that underwent iris segmentation had better performance than the original images. The MATLAB program was found to be a useful tool for displaying the results of iris recognition. In summary, the image pre-processing step, including segmentation and noise removal, was found to be crucial in improving the accuracy of iris recognition. KAZE was found to be a more suitable algorithm for iris recognition than SURF. When utilizing the CASIA version 1.0 eye image database, images pre-processed with SURF and KAZE algorithms yielded accuracy rates of 17% and 52.1%, respectively. Meanwhile, images that underwent iris segmentation using the same algorithms demonstrated accuracy rates of 86.2% and

95.3%, respectively. Similarly, when leveraging the MMU eye image database, pre-processed images using SURF and KAZE algorithms exhibited accuracy rates of 2.5% and 7.2%, respectively. Moreover, images that underwent iris segmentation with these algorithms showed accuracy rates of 59.1% and 79.4%, respectively. This study clearly indicates that by using image segmentation as an initial step in processing, the accuracy of identifying individuals by their iris, using either SURF or KAZE algorithms, can be greatly improved. This has been proven across two databases, CASIA and MMU. The results were effectively displayed using the MATLAB program. The same outcomes were observed when experimenting with commonly used webcams.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความสำเร็จและความเมตตาและกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตน์นะ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะและสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ โอกาส ที่อาจารย์ได้มอบให้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบคุณครับ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในส่วนของแนวคิดและให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ดลฤดี สงวนเสริมศรี และ ผศ.ดร.นลิน วงศ์ขัตติยะ ที่ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตทุกท่านและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่กรุณาให้ช่วยเหลือในทุกอย่างจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อภิชาติ สุทธิธรรมานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	3
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการ.....	4
2.1 โครงสร้างของดวงตา.....	4
2.2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	6
2.2.1 ภาพสี RGB.....	7
2.2.2 ภาพระดับสีเทา.....	7
2.2.3 ภาพขาวดำ.....	8
2.3 การแปลงทางเรขาคณิตของภาพแบบ 2 มิติ.....	8
2.4 การแปลง Similarity, Affine และ Perspective.....	13
2.4.1 Similarity Transformation.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 Affine Transformation.....	13
2.4.3 Perspective Transformation.....	13
2.5 การปรับปรุงภาพ.....	14
2.5.1 ฮิสโทแกรมของภาพ.....	14
2.5.2 การขยายฮิสโทแกรมของข้อมูลภาพ.....	16
2.5.3 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization.....	16
2.6 เทอร์สโซลด์.....	17
2.7 การกรองข้อมูลภาพ.....	18
2.7.1 ตัวกรองเกาส์เซียน.....	19
2.7.2 ตัวกรองมีเดีย.....	20
2.7.3 ตัวกรองความถี่สูงผ่าน.....	21
2.8 กระบวนการมอร์โฟโลยี.....	21
2.8.1 คำจำกัดความและพื้นฐานของเซต.....	21
2.8.2 การขยาย.....	22
2.8.3 การเซาะ.....	23
2.8.4 การเปิดและการปิด.....	24
2.8.5 Element Structure.....	26
2.9 การแปลงฮัฟ.....	27
2.10 Speed-up Robust Feature (SURF).....	28
2.10.1 Integral Image.....	28
2.10.2 Hessian Matrix.....	29
2.10.3 Scale-space representation.....	30
2.10.4 Orientation Assignment.....	31
2.10.5 Description Component.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 KAZE.....	32
2.11.1 Nonlinear Diffusion Filtering.....	33
2.11.1.1 Perona and Malik Diffusion Equation.....	33
2.11.1.2 AOS Schemes.....	34
2.11.2 KAZE Feature.....	35
2.11.2.1 Computation of the Nonlinear Scale Space.....	35
2.11.2.2 Feature Detection.....	36
2.11.2.3 Feature Description.....	37
2.12 โปรแกรม MATLAB.....	38
2.12.1 ชนิดของข้อมูล.....	39
2.12.2 การอ่านภาพและการแสดงภาพด้วยโปรแกรม MATLAB.....	39
2.12.3 การเขียนโปรแกรม MATLAB.....	39
2.12.4 กราฟฟิกและการวาดกราฟ.....	40
2.12.5 การเขียนโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้งาน.....	41
2.13 กล้องเว็บแคม.....	41
บทที่ 3 การแยกส่วนม่านตาและการหาลักษณะเด่นเพื่อระบุตัวตน.....	42
3.1 ภาพรวมของงานวิจัย.....	43
3.2 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	43
3.3 การปรับปรุงภาพ.....	44
3.4 การแยกส่วนม่านตา.....	45
3.5 ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรม MATLAB.....	48
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	52
4.1 ผลการทดลองการรู้จำม่านตาของภาพที่ถูกแยกส่วนกับไม่ถูกแยกส่วน.....	52
และทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลเปรียบเทียบการใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE กับฐานข้อมูล CASIA และ MMU.....	91
4.3 ผลการทดลองเพิ่มเติมโดยการใช้กล้องเว็บแคมในการถ่ายภาพและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE.....	92
บทที่ 5 สรุปผล.....	94
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	94
5.2 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	95
เอกสารอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	98
ผลงานวิจัย.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีของไบโอเมทริกซ์ทั้งสามชนิด.....	4
2.2 การใช้งาน Script และ Function.....	39
4.1 ผลการทดสอบ CASIA vesion1.0 แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย SURF.....	55
4.2 ผลการทดสอบ CASIA vesion1.0 แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย KAZE.....	60
4.3 ผลการทดสอบ MMU แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย SURF.....	65
4.4 ผลการทดสอบ MMU แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย KAZE.....	69
4.5 ผลการทดสอบ CASIA vesion1.0 ไม่แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย SURF.....	73
4.6 ผลการทดสอบ CASIA vesion1.0 ไม่แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย KAZE.....	78
4.7 ผลการทดสอบ MMU ไม่แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย SURF.....	83
4.8 ผลการทดสอบ MMU ไม่แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วย KAZE.....	87
4.9 ผลการทดสอบภาพที่บันทึกด้วยเว็บแคม ไม่แยกส่วนม่านตา ทดสอบด้วย SURF และ KAZE.....	91

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างดวงตา.....	4
2.2 ม่านตา.....	5
2.3 จุดภาพ.....	6
2.4 ค่าสีของพิกเซล.....	6
2.5 แม่สีหลัก.....	7
2.6 ค่าสีของพิกเซล.....	7
2.7 ระดับความเข้มแสงของภาพระดับสีเทา.....	7
2.8 ค่าสีเทาของพิกเซล.....	8
2.9 ภาพขาวดำ.....	8
2.10 Cartesian Coordinate และ Homogeneous coordinate.....	9
2.11 การเลื่อนจุด.....	9
2.12 การหมุนที่จุดหมุนอยู่ที่ (0,0).....	10
2.13 การหมุนที่จุดหมุนอยู่ที่ (x_r, y_r)	10
2.14 การย่อและขยายภาพ.....	12
2.15 การบิดภาพ.....	12
2.16 การแปลง 2 มิติ.....	14
2.17 การปรับปรุงภาพ.....	14
2.18 ฮิสโทแกรมของภาพที่มีด.....	15
2.19 ฮิสโทแกรมของภาพที่คมชัด.....	15
2.20 ฮิสโทแกรมของภาพที่ค่อนข้างสว่าง.....	15
2.21 การขยายฮิสโทแกรม.....	16
2.22 contrast ของภาพ	16
2.23 ขั้นตอนการทำงานของ การปรับฮิสโทแกรมแบบปรับตัวเองได้.....	17
2.24 การตั้งค่าเทรชโพลด์เพื่อแบ่งข้อมูลในภาพ.....	18
2.25 การทำเทรชโพลด์ ที่ค่า $T = 100$	18
2.26 การคอนโวลูชัน.....	19

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 การกรองภาพด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน.....	20
2.28 หน้าต่างย่อยขนาด 3x3.....	20
2.29 ผลการกรองมีเดีย.....	20
2.30 การหาขอบภาพด้วยตัวกรองแบบ Canny และ Prewitt.....	21
2.31 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบขยาย.....	23
2.32 ผลลัพธ์การมอร์โฟโลยีแบบขยาย.....	23
2.33 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเซาะ.....	24
2.34 ผลลัพธ์การมอร์โฟโลยีแบบเซาะ.....	24
2.35 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเปิด.....	24
2.36 ผลลัพธ์การมอร์โฟโลยีแบบเปิด.....	25
2.37 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบปิด.....	25
2.38 ผลการมอร์โฟโลยีแบบปิด.....	25
2.39 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเปิด.....	26
2.40 Structure Element ในลักษณะต่างกัน.....	26
2.41 การค้นหาวงกลมด้วยวิธี Hough transform.....	27
2.42 รัศมีการค้นหาวงกลมในภาพของ Hough transform.....	28
2.43 การหา integral image	29
2.44 อนุพันธ์ย่อยของเกาส์เซียนในทิศทาง xy และทิศทาง y	30
2.45 พื้นที่สีเกล.....	31
2.46 การวางแนวของเวกเตอร์ตัวอธิบาย.....	31
2.47 การหาตัวอธิบายด้วยการใช้การวางแนวตารางขนาด 4x4.....	32
2.48 การเพิ่มความชัดของขอบภาพโดยการเพิ่มค่า k	34
2.49 ผลลัพธ์จากการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน.....	35
2.50 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้สเปซเกาส์เซียนกับสเปซแบบไม่เชิงเส้น.....	36
2.51 โปรแกรม MATLAB.....	38
2.52 ชนิดข้อมูล.....	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.53 หน้าต่างสำหรับเขียนโปรแกรม.....	40
2.54 หน้าต่างสำหรับเขียนกราฟฟิก.....	41
2.55 กล้องเว็บแคม.....	41
3.1 แสดงการแยกส่วนภาพ.....	42
3.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรม.....	43
3.3 การตัดฮิสโทแกรม.....	44
3.4 รูปต้นฉบับ.....	45
3.5 ผลลัพธ์การใช้ CLAHE.....	45
3.6 หาพื้นที่รูปร่างมาตา.....	45
3.7 หาพื้นที่วงกลมมาตา.....	46
3.8 เหน้เพลทพื้นที่มาตา.....	46
3.9 พื้นที่ของมาตา.....	46
3.10 ผลการเบลอด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนและเทมเพลทที่สอง.....	47
3.11 ผลการรวมเทมเพลทที่หนึ่งและเทมเพลทที่สอง.....	47
3.12 มาตา.....	47
3.13 Median filter.....	47
3.14 การระบุลักษณะเด่น.....	48
3.15 การจับคู่ภาพ.....	48
3.16 การนำภาพเข้าระบบ.....	49
3.17 การแยกส่วนมาตา.....	50
3.18 การหาลักษณะเด่นของมาตา.....	50
3.19 การจับคู่ลักษณะเด่นของมาตา.....	50
3.20 ภาพรวมของระบบ.....	51
3.21 การแสดงผลว่าเป็นบุคคลเดียวกัน.....	51
3.22 การแสดงผลว่าไม่ใช่บุคคลเดียวกัน.....	51
4.1 หน้าต่างแสดงระบบรู้จำมาตา.....	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 เปรียบเทียบภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล CASIA.....	91
4.3 เปรียบเทียบภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล MMU.....	91
4.4 เปรียบเทียบภาพที่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล CASIA.....	92
4.5 เปรียบเทียบภาพที่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล MMU.....	92



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ ระบบรู้จำม่านตาได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในงานด้านต่าง ๆ มากขึ้นทั้งที่ใกล้ตัวหรือไกลตัว เช่น ระบบรักษาความปลอดภัยในโทรศัพท์ บ้าน หรือแม้แต่ในรถยนต์รุ่นใหม่ ๆ บางรุ่นที่กำลังจะนำระบบนี้เข้ามาติดตั้งกับรถ การลงทะเบียนต่าง ๆ และด้านการแพทย์ อีกทั้งยังมีการระบาดครั้งใหญ่ของโรคโควิด-19 ได้สร้างความเสียหายในวงกว้างและส่งผลกระทบต่อผู้คนไปทั่วโลก ทั้งด้านสุขภาพและเศรษฐกิจ มีการรณรงค์การเว้นระยะห่างทางสังคม การลดการสัมผัสกัน เพื่อลดการแพร่กระจายของไวรัส งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การรู้จำม่านตาซึ่งเป็นวิธีการระบุตัวตนที่ไม่มีการสัมผัสกับอุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์โรคระบาดในปัจจุบัน นอกจากนี้การรู้จำม่านตายังมีความแม่นยำสูง มีความน่าเชื่อถือ และปลอมแปลงเลียนแบบได้ยาก

ไบโอเมทริกซ์ (Biometric) เป็นการวัดลักษณะเฉพาะที่มีความแตกต่างกันของตัวบุคคลหรือเรียกว่าอัตลักษณ์ของแต่ละบุคคล ไบโอเมทริกซ์ที่นิยมนำมาใช้ในการยืนยันตัวตนที่สำคัญมี 6 ชนิด คือการรู้จำใบหน้า การรู้จำลายนิ้วมือ การรู้จำม่านตา การรู้จำลายเส้นเลือด การรู้จำลายเซ็น และการรู้จำเสียงพูด ไบโอเมทริกซ์นั้นจะต้องมีคุณสมบัติ 7 ประการ ได้แก่ ความเป็นเอกลักษณ์ ความคงทนถาวร ความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะทั่วไปของมนุษย์ ความสามารถในการตรวจวัดได้ สมรรถนะ ความเป็นที่ยอมรับได้ของผู้ใช้งาน และการปลอมแปลงเลียนแบบที่ทำได้ยาก แต่จากการศึกษาพบว่าไม่มีไบโอเมทริกซ์ชนิดใดเลยที่มีคุณสมบัติครบทุกประการดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงต้องเปรียบเทียบข้อดีของไบโอเมทริกซ์แต่ละชนิดเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานเฉพาะด้านนั้น ๆ

เทคโนโลยีการรู้จำม่านตา (Iris recognition) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีไบโอเมทริกซ์ที่ได้รับการยอมรับ โดยการวิเคราะห์รูปแบบของม่านตา ในปี พ.ศ. 2537 John G. Daugman ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ [1] ได้พัฒนาอัลกอริทึมระบบรู้จำม่านตาจนมีการจดสิทธิบัตรและนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรก โดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้ลักษณะเฉพาะของม่านตา ซึ่งสามารถใช้ยืนยันตัวตนได้อย่างแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือสูง การสแกนม่านตาสามารถระบุจุดที่ไม่ซ้ำกันได้มากกว่า 266 จุดบนม่านตา ต่างกับวิธีอื่น ๆ ที่ระบุได้เพียง 13 ถึง 60 จุด เท่านั้น ประสิทธิภาพของการสแกนม่านตาจะขึ้นอยู่กับความคมชัดของเครื่องมือที่ใช้ในการสแกน และลดการสะท้อนของแสงด้วยการใช้แสงอินฟราเรด การสแกนดวงตาสามารถทำได้ในระยะตั้งแต่ 10 เซนติเมตร จนถึง 1 เมตร โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสแกน อย่างไรก็ตามการรู้จำม่านตาไม่สามารถทำได้ในระยะไกลหลายเมตรได้ ดังนั้นการเก็บข้อมูลจึงต้องอาศัยความร่วมมือของบุคคลที่ถูกสแกนม่านตา และนอกจากนี้ม่านตายังอาจถูกบดบังได้โดยขนตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกตา และการสะท้อนแสงที่กระจกตา ซึ่งอาจจะทำให้ประสิทธิภาพของการรู้จำม่านตาลดลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดหรือลดทอนสิ่งรบกวนเหล่านี้ออกไปให้ได้มากที่สุด

การหาลักษณะเด่นและการอธิบายภาพ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในงานที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ อัลกอริทึมที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจหาลักษณะเด่นและการตีความลักษณะเด่นแบบหลายสเกลภาพ (Multiscale) ได้แก่อัลกอริทึม SURF (Speed-up robust feature) [2] และ KAZE [3] ซึ่งทั้งสองมีจุดประสงค์ของการนำมาใช้งานที่เหมือนกัน แต่จะมีลักษณะของขั้นตอนการทำงานที่ต่างกัน โดยอัลกอริทึม SURF จะทำงานแบบพื้นที่สเกลเชิงเส้น (Linear scale space) และอัลกอริทึม KAZE จะทำงานแบบพื้นที่ไม่เชิงเส้น (Non-linear scale space)

การที่อัลกอริทึม SURF และ KAZE จะตรวจหาลักษณะเด่นต่าง ๆ ในภาพเพื่อตีความได้มีความแม่นยำมากหรือน้อยเพียงใดก็จะขึ้นอยู่กับกระบวนการที่สำคัญอีกสองขั้นตอน คือการประมวลผลภาพเบื้องต้นและการแยกส่วนภาพ โดยทั้งสองขั้นตอนนี้จะปรับปรุงภาพเพื่อให้มีความคมชัดมากขึ้น และกำจัดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในภาพ เช่น ขนตา เปลือกตา และแสงสะท้อนต่าง ๆ รวมไปถึงการแยกส่วนของพื้นที่ม่านตาออกมาจากภาพ

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้เกือบทุกด้าน เนื่องจากโปรแกรมมีฟังก์ชันสำหรับงานด้านต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งทางด้านการประมวลผลภาพ เรียกว่า IPT (Image processing toolbox) และโปรแกรม MATLAB ยังสามารถสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน เรียกว่า GUI (Graphic User Interface)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อประเมินผลของการลบสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากขนตาและเปลือกตาต่อความแม่นยำในการรู้จำม่านตา
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระบบรู้จำม่านตาโดยการใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE เพื่อตรวจสอบหาเอกลักษณ์ของม่านตาที่ตรงกัน
3. เพื่อประมวลผลและนำเสนอขั้นตอนในการทำวิจัยด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าใจการทำงานได้มากยิ่งขึ้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. การลบสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากขนตาและเปลือกตาทำให้เพิ่มความแม่นยำในการรู้จำม่านตามากยิ่งขึ้น
2. ระบบรู้จำม่านตาโดยการใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE ในการตรวจสอบหาเอกลักษณ์ของม่านตามีประสิทธิภาพแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. เปรียบเทียบระบบรู้จำม่านตาโดยนำข้อมูลภาพลายม่านตาของบุคคลจำนวน 198 คน จากฐานข้อมูลมาตรฐาน CASIA version 1.0 [4] และ MMU (Multimedia University database) [5]
2. ใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE ในการรู้จำม่านตา
3. ปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผลภาพ การแยกส่วนภาพด้วยเทคนิค Hough transform และ Gaussian filter
4. ประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม MATLAB

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ใช้ฐานข้อมูลมาตรฐานจาก CASIA version 1.0 และ MMU สำหรับงานวิจัยนี้
2. ปรับปรุงภาพก่อนการประมวลผลภาพด้วยการปรับความสว่างของภาพด้วยวิธี CLAHE และแยกส่วนภาพด้วยเทคนิค Hough transform และ Gaussian filter
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม SURF และ KAZE ในแง่ของความแม่นยำในการรู้จำม่านตา
4. แสดงการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.6 ข้อยกเว้นของการศึกษา

ระบบทำการเปรียบเทียบเฉพาะบุคคลเดียวกัน

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เรียนรู้ระบบรู้จำม่านตา
2. ศึกษาการเตรียมภาพก่อนการประมวลผลภาพ
3. ศึกษาความแตกต่างของอัลกอริทึม SURF และ KAZE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

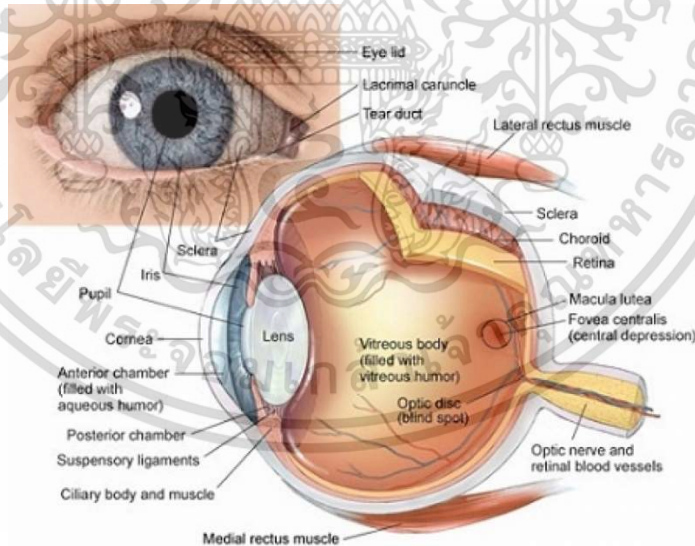
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและหลักการ

บทนี้กล่าวถึงโครงสร้างและส่วนประกอบของดวงตา ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ อัลกอริทึม SURF, KAZE โปรแกรม MATLAB และกล่องเว็บแคม

2.1 โครงสร้างของดวงตา

ดวงตาเป็นอวัยวะที่ใช้ในการมองเห็น มีกระดูกเข้าตาและเปลือกตาช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับดวงตา ด้านในเปลือกตาและผิวด้านนอกของลูกตาเป็นเยื่อเมือกเรียกว่า เยื่อบุตา ซึ่งมีความชุ่มชื้นอยู่ตลอดเวลาด้วยน้ำตาที่หลั่งมาจากต่อมน้ำตา ด้านหน้าสุดของลูกตาคือ กระจกตา (Cornea) ซึ่งมีลักษณะใส โปร่งแสง ทำหน้าที่เป็นหน้าต่าง ค่อยอมให้แสงผ่านเข้ามาในตา ถัดจากกระจกตาเข้ามาเป็นโครงสร้างใสเรียกว่าเลนส์ (Lens) มีกล้ามเนื้อคอยปรับความโค้งทำให้เลนส์เป็นรูปกลม หรือรูปไข่ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้แสงหรือภาพวัตถุที่เข้ามาในตาไปตกพอดีบนผนังชั้นในสุดของลูกตาที่เรียกว่า จอตา (Retina) โดยจะเป็นภาพหัวกลับกับวัตถุจริง ด้านหน้าของเลนส์เป็นส่วนที่มีสีของตาเรียกว่าม่านตา (Iris)

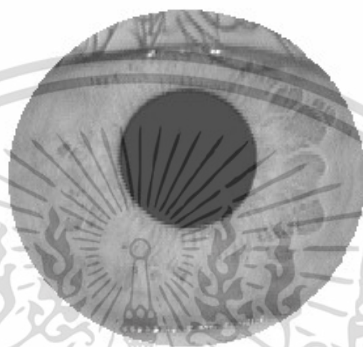


รูปที่ 2.1 โครงสร้างดวงตา [6]

โครงสร้างดวงตา ดังรูปที่ 2.1 มีลักษณะเป็นทรงกลม ประกอบด้วยตาขาว (Sclera) ถัดมาเป็นชั้นของม่านตา เป็นส่วนที่เห็นชัดที่สุดของดวงตา มีลักษณะเป็นวงแหวนมีสีที่แตกต่างกันออกไปตามเชื้อชาติหรือกรรมพันธุ์ ส่วนตรงกลางของม่านตาจะเป็นรูกลมสีดำ เรียกว่ารูม่านตา (Pupil) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นรูรับแสงที่จะเข้าสู่ดวงตา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-4 มิลลิเมตร ม่านตาจะทำหน้าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัตถ์ทำให้รูม่านตาลีกลงเมื่อตาเจอแสงและจะขยายตัวเมื่ออยู่ในที่มืด เปลือกตา (Eyelids) เป็นส่วนที่ปกป้องดวงตาจากฝุ่นละอองและสิ่งแปลกปลอมที่จะเข้าสู่ดวงตา ขนตา (Eyelash) ทำหน้าที่เป็นตัวกรองฝุ่นละอองเข้าสู่ดวงตา

ม่านตาทำหน้าที่คล้ายไดอะแฟรม (Diaphragm) ทำหน้าที่ในการควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่จอประสาทตาให้มีความเหมาะสม ถ้าสภาวะแสงมากม่านตาก็จะขยายตัวทำให้รูม่านตาคอดเล็กลงเพื่อจำกัดแสง ตรงกันข้ามถ้าสภาวะแสงน้อยม่านตาก็จะหดตัวทำให้รูม่านตาขยายตัวขึ้นเพื่อรับแสง แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ม่านตา [4]

ข้อดีของม่านตามีอยู่หลายประการเมื่อเทียบกับไบโอเมทริกซ์ประเภทอื่นที่นิยมนำมาใช้ในงาน เช่น การตรวจสอบใบหน้าและลายนิ้วมือ เช่น ความแม่นยำของการวัด การใช้งานขณะสวมใส่ถุงมือ การใช้งานขณะใส่หน้ากาก เป็นต้น แสดงการเปรียบเทียบไบโอเมทริกซ์ทั้ง 3 ชนิด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อดีของไบโอเมทริกซ์ทั้งสามชนิด [7]

Benefit	Iris recognition	Facial recognition	Fingerprint
Accuracy	Excellent	Moderate	High
Speed	Excellent	Good	Good
Stability	Excellent	Low	Moderate
Works with gloves	Yes	Yes	No
Works with masks	Yes	No*	Yes
Works with glasses/goggles	Yes	No	Yes
Privacy	Yes	No	Yes
Contactless	Yes	Yes	No

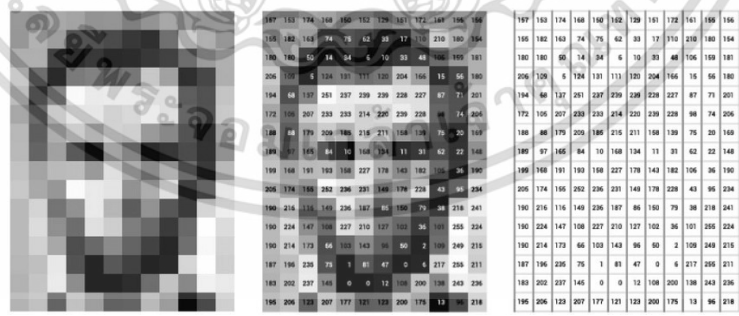
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล

มนุษย์สามารถมองเห็นภาพแล้วสามารถจดจำและเข้าใจได้ทันที เนื่องจากมนุษย์มีความทรงจำแตกต่างจากคอมพิวเตอร์ที่ไม่สามารถเข้าใจได้เหมือนมนุษย์ การนำภาพเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์จึงจำเป็นต้องมีการแปลงภาพจากระบบ 3 มิติ ไปเป็นภาพระบบ 2 มิติ เหลือแค่มิติของความกว้างและความยาว ส่วนความลึกของภาพจะหายไป ภาพที่ปรากฏอยู่บนหน้าจอของคอมพิวเตอร์จะเกิดจากการเรียงตัวของจุดภาพเล็ก ๆ ที่เรียกว่าพิกเซล (Pixels) แสดงดังรูปที่ 2.3 การเรียงตัวของจุดภาพเหล่านั้นจะแทนด้วยระดับสีต่าง ๆ ตามชนิดของภาพที่แสดง ตัวอย่างเช่น ภาพขาวดำ (Binary) ภาพระดับสีเทา (Gray scale) และภาพสี (RGB) ตัวอย่างเช่น ภาพระดับสีเทามีค่าตั้งแต่ 0 หมายถึงสีดำและไล่ลำดับไปจนถึง 255 หมายถึงสีขาว เป็นต้น แสดงค่าสีเทาดังรูปที่ 2.4 จากนั้นคอมพิวเตอร์จะประมวลผลภาพจากพิกเซลเหล่านั้นและสามารถตีความได้ว่าพิกเซลที่เรียงตัวกันอยู่บนหน้าจอมีความหมายว่าอย่างไร ดังนั้นภาพในความหมายของคอมพิวเตอร์จึงแทนด้วยฟังก์ชัน 2 มิติ หรือฟังก์ชัน $f(x, y)$ โดย x และ y จะเป็นตัวบอกตำแหน่งของจุดภาพ แสดงเป็นเมทริกซ์ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.3 จุดภาพ



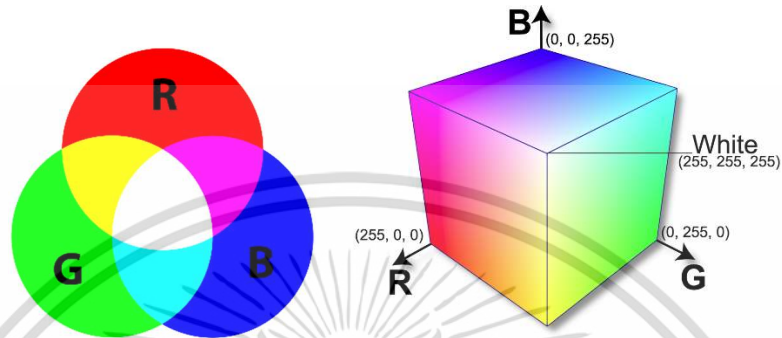
รูปที่ 2.4 ค่าสีของพิกเซล

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M - 1, 0) & f(M - 1, 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ภาพสี (RGB)

ภาพชนิดนี้แต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บค่าระดับความเข้มของแต่ละแถบของแม่สีหลัก 3 สี ที่เรียงซ้อนกันคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน หรือที่เรียกรวมว่า RGB แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งในแต่ละพิกเซลก็จะแสดงผลของค่าสีแต่ละพิกเซลตามระดับความเข้มในแต่ละแถบสีนั้น แสดงดังรูปที่ 2.6



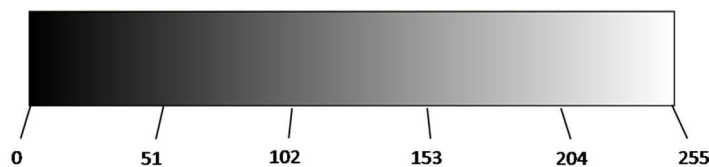
รูปที่ 2.5 แม่สีหลัก



รูปที่ 2.6 ค่าสีของพิกเซล

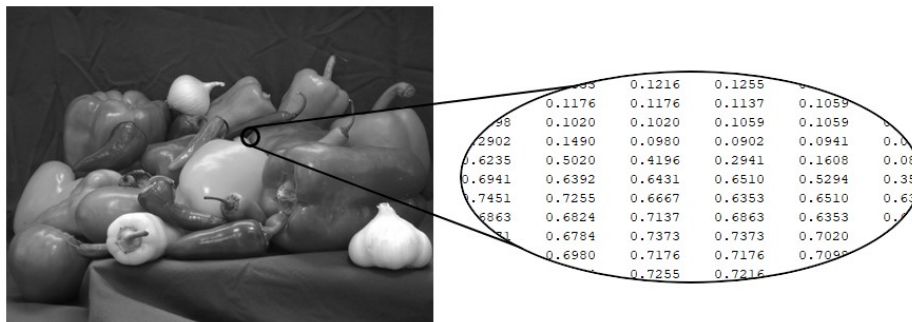
2.2.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale)

ภาพชนิดนี้แต่ละพิกเซลจะมีค่าของระดับความเข้มแสงที่ต่างกักันตั้งแต่สีดำไล่ระดับไปจนถึงสีขาว โดยสีดำมีค่าเท่ากับ 0 และสีขาวมีค่าเท่ากับ 255 แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยทั่วไปภาพระดับสีเทาจะมีค่าความละเอียดเท่ากับ 8 บิต แสดงค่าของสีของแต่ละพิกเซล ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ระดับความเข้มแสงของภาพระดับสีเทา

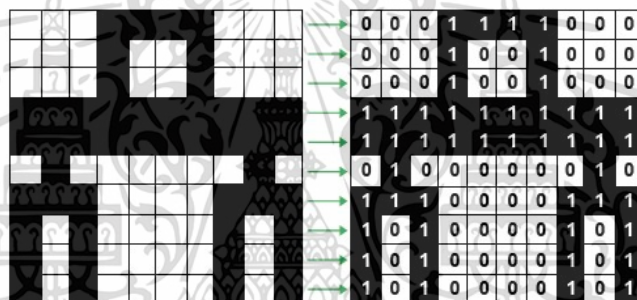
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ค่าสีเทาของพิกเซล

2.2.3 ภาพขาวดำ

ภาพขาวดำหรือภาพไบนารี คือภาพที่มีระดับความเข้มสีเพียง 2 ระดับ โดยสีดำจะเท่ากับ 0 และสีขาวจะเท่ากับ 1 แสดงดังรูปที่ 2.9



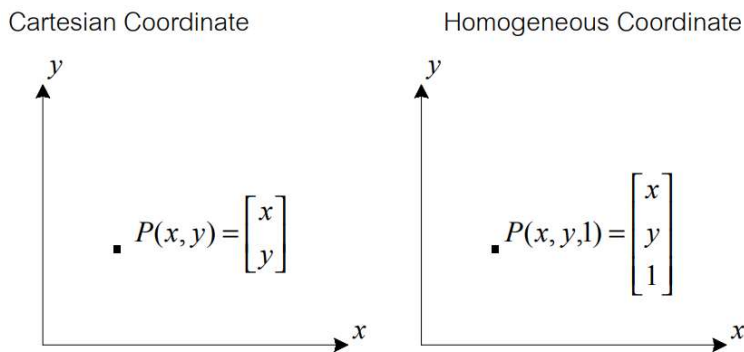
รูปที่ 2.9 ภาพขาวดำ

2.3 การแปลงทางเรขาคณิตของภาพแบบ 2 มิติ (2-D Geometry Transformations of Image) [8]

การแปลงทางเรขาคณิตของภาพเป็นกระบวนการพื้นฐานในการประมวลผลภาพดิจิทัล โดยจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของการแปลงภาพ เช่น การเลื่อนภาพ (Translation) การหมุนภาพ (Rotation) การย่อ/ขยายภาพ (Scaling) และการบิดภาพ (Shearing)

การอ้างอิงระบบพิกัด (Coordinate) ที่ผ่านมาจะเป็นการอ้างอิงตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ได้แก่ x และ y เรียกว่าระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate) แต่วิธีนี้จะมีข้อเสียคือ เมื่อมีการแปลงภาพหลายอย่างเข้าด้วยกันจะทำให้ผลลัพธ์ของเมตริกซ์ของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการบวกและการคูณกันของเมตริกซ์ ดังนั้นเพื่อให้ผลลัพธ์ของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการคูณกันของเมตริกซ์ทั้งหมดจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดให้มีโคออดิเนตแบบ Homogeneous coordinate แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 Cartesian Coordinate และ Homogeneous coordinate

คุณสมบัติหลักของการแปลงทางเรขาคณิตทั้ง 4 แบบ ได้แก่

1. การเลื่อนภาพ

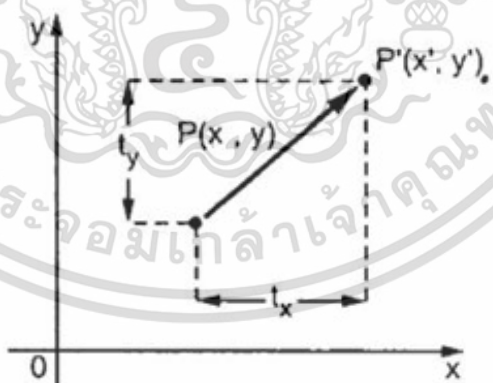
เป็นการย้ายตำแหน่งของวัตถุในภาพจากพิกัดหนึ่งไปยังอีกพิกัดหนึ่งตามระยะขจัดทางแนวแกนนอน T_x และแนวตั้ง T_y จะเห็นว่าพิกัดเดิมของภาพอยู่ที่จุด (x, y) พิกัดใหม่ที่เกิดจากการเลื่อนเปลี่ยนไปเป็นจุด (x', y') ดังรูปที่ 2.11 สมการของการเลื่อน แสดงดังสมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3 และสามารถแสดงเป็นเมทริกซ์ได้ดังสมการ 2.4

$$x' = x + T_x \quad (2.2)$$

$$y' = y + T_y \quad (2.3)$$

แสดงให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ $P' = P + T$ จะได้

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

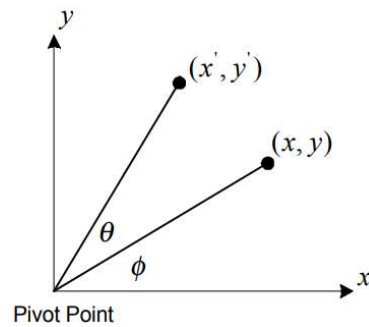


รูปที่ 2.11 การเลื่อนจุด

2. การหมุนภาพ

การหมุนตำแหน่งของภาพในระนาบ xy รอบจุดหมุน (Pivot point) กำหนดมุมของจุดหมุนเป็น θ และกำหนดตำแหน่งเดิมเป็น (x, y) ไปเป็น (x', y') แสดงดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การหมุนที่จุดหมุนอยู่ที่ (0,0)

$$x = r\cos(\phi) \quad (2.5)$$

$$y = r\sin(\phi) \quad (2.6)$$

และ

$$x' = r\cos(\phi + \theta) = r(\cos\phi\cos\theta - \sin\phi\sin\theta) \quad (2.7)$$

$$y' = r\sin(\phi + \theta) = r(\sin\phi\cos\theta + \cos\phi\sin\theta) \quad (2.8)$$

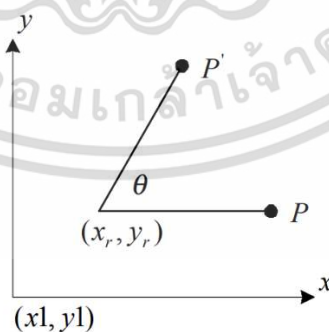
จากสมการ 2.5, 2.6, 2.7 และ 2.8 ทำให้ได้สมการของการหมุนรอบจุดหมุน ดังนี้

$$x' = x\cos(\theta) - y\sin(\theta) \quad (2.9)$$

$$y' = x\sin(\theta) + y\cos(\theta) \quad (2.10)$$

แสดงให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ $P' = R \cdot P$ ได้ดังสมการ 2.11

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

เมื่อจุดหมุนไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง (0,0) แต่ย้ายไปที่จุด (x_r, y_r) ดังรูปที่ 2.13รูปที่ 2.13 การหมุนที่จุดหมุนอยู่ที่ (x_r, y_r)

การหมุนเมื่อจุดหมุนไม่อยู่ที่ (0,0) ทำได้ดังนี้

- 1) ทำการเปลี่ยนจุดหมุนไปยังจุด (0,0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x_1 = x - x_r \quad (2.12)$$

$$y_1 = y - y_r \quad (2.13)$$

2) ทำการหมุนรอบจุด (0,0)

3) ทำการย้ายไปยังจุดเดิม โดยการบวกค่าด้วย x_r, y_r

4) สมการของการหมุนรอบจุดใด ๆ จะได้ดังสมการ 2.14 และ 2.15

$$x' = (x - x_r)\cos\theta - (y - y_r)\sin\theta + x_r \quad (2.14)$$

$$y' = (x - x_r)\sin\theta + (y - y_r)\cos\theta + y_r \quad (2.15)$$

3. การย่อและขยายภาพ

เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปทรงของวัตถุโดยใช้ Scaling factor ได้แก่ s_x และ s_y ซึ่งใช้สำหรับการย่อและขยายภาพในทางแกน x และแกน y ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2.14

โดยถ้า $0 < s_x, s_y < 1$ เป็นการย่อภาพ

$s_x, s_y > 1$ เป็นการขยายภาพ

$s_x = s_r$ เป็นการย่อและขยายแบบตามอัตราส่วน

$s_x \neq s_r$ เป็นการย่อและขยายแบบไม่ตามอัตราส่วน

สมการการย่อหรือการขยายภาพจะได้ดังสมการที่ 2.16 และสมการที่ 2.17

$$x' = x \cdot s_x \quad (2.16)$$

$$y' = y \cdot s_y \quad (2.17)$$

การย่อและขยายภาพจะใช้เมทริกซ์มีลักษณะดังนี้ $P' = S \cdot P$ จะได้ดังสมการที่ 2.18

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad S = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

ในกรณีที่มีการย่อและขยายภาพเมื่อจุดตรึง (Fixed Point) ไม่ได้อยู่ที่จุด (0,0) สามารถทำได้ดังนี้

1) ย้ายตำแหน่งไปยังจุด (0,0)

2) ทำการย่อและขยายรอบจุด (0,0)

3) ย้ายไปยังจุดตรึง (Fixed Point) เหมือนเดิม

จะได้สมการการย่อและขยายภาพดังสมการที่ 2.19 และสมการที่ 2.20

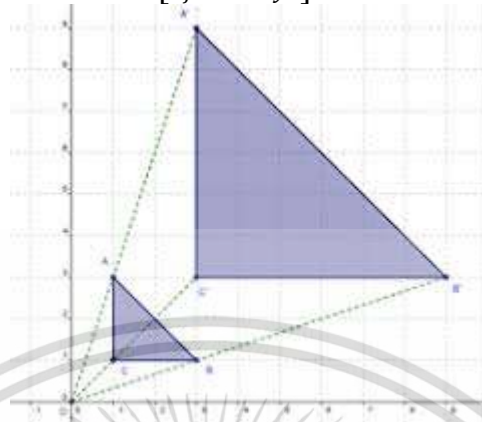
$$x' = (x - x_f)s_x + x_f = xs_x + x_f(1 - s_x) \quad (2.19)$$

$$y' = (y - y_f)s_y + y_f = ys_y + y_f(1 - s_y) \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสมการย่อและขยายภาพแสดงเป็นเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ 2.21

$$P' = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_f(1 - s_x) \\ y_f(1 - s_y) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$



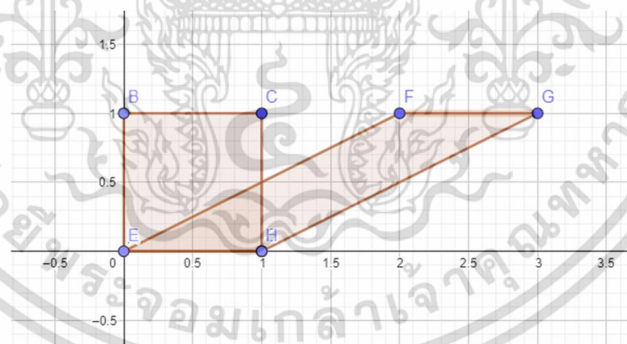
รูปที่ 2.14 การย่อและการขยายภาพ

4. การบิดภาพ

เป็นการปรับทิศทางของภาพให้เพี้ยนไปจากเดิม ทำได้ทั้งแนวแกน x และแกน y ดังรูปที่ 2.15 และมีสมการของการบิดภาพตามแนวแกน x และแกน y แสดงดังสมการ 2.22 และสมการ 2.23

$$y' = y, x' = x + y.shX \quad (2.22)$$

$$x' = x, y' = y + x.shY \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.15 การบิดภาพ

ดังนั้นเมทริกซ์ของการแปลงแบบต่าง ๆ จะแสดงได้ดังสมการ 2.24, 2.25

และ 2.26

เมทริกซ์ของการเลื่อนภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_x \\ y + T_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทริกซ์ของการหมุนภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

เมทริกซ์ของการย่อและขยายภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

2.4 การแปลง Similarity, Affine และ Perspective

เมื่อนำคุณสมบัติการแปลงทางเรขาคณิตที่กล่าวไปแล้วข้างต้นมารวมกัน จะได้การแปลงทางเรขาคณิตที่เรียกว่า Similarity Transformation, Affine Transformation และ Perspective Transformation แสดงดังรูปที่ 2.16

2.4.1 Similarity Transformation

เรขาคณิตของยูคลิด (Euclidean geometry) วัตถุสองชิ้นจะมีความคล้ายกันหากมีรูปร่างที่เหมือนกัน หรือตัวหนึ่งมีรูปร่างเหมือนกับภาพสะท้อนของอีกตัวหนึ่ง วัตถุสามารถปรับขนาด เปลี่ยนตำแหน่งและสะท้อนกลับ เพื่อให้ตรงกับวัตถุอื่นอย่างแม่นยำ หากวัตถุสองชิ้นมีความคล้ายคลึงกัน จะสอดคล้องกันกับผลลัพธ์ของการปรับขนาดที่สม่ำเสมอของอีกวัตถุ การแปลงแบบ similarity จะมีคุณสมบัติการแปลงร่วมกัน คือ การเลื่อน การหมุน การย่อขยาย และการสะท้อน

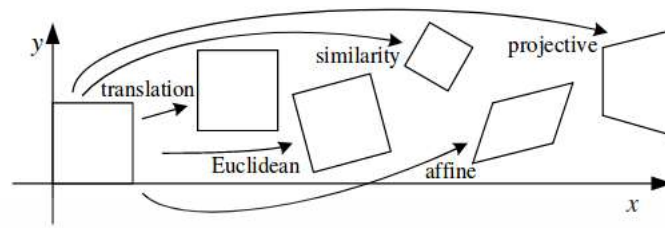
2.4.2 Affine Transformation

คือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่คงไว้ซึ่งความสอดคล้องกัน (เช่น จุดทั้งหมดที่วางอยู่บนเส้นในชั้นต้นยังคงอยู่บนเส้นหลังการเปลี่ยนแปลง) และอัตราส่วนของระยะทาง (เช่น จุดกึ่งกลางของส่วนของเส้นตรงยังคงเป็นจุดกึ่งกลางหลังการแปลง) ในแง่นี้ affine เป็นชื่อคลาสพิเศษของการแปลงแบบโปรเจกทีฟที่ไม่ย้ายวัตถุใด ๆ จากสเปซที่สัมพันธ์กับระนาบที่ระยะอนันต์หรือในทางกลับกัน หรืออาจมองว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพซึ่งตำแหน่งของรูปเปลี่ยนแปลงไป แต่จะมีบางอย่างที่ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น เส้นก็ยังคงความเป็นเส้น จุดก็ยังคงความเป็นจุด เส้นขนานก็ยังคงความเป็นเส้นขนาน การแปลง affine เรียกอีกอย่างว่าสัมพรรคภาพ โดยทั่วไป การแปลง affine คือองค์ประกอบของการเลื่อน การหมุน การขยายหรือย่อ และการบิด แม้ว่าการเปลี่ยนรูปตามความชอบจะรักษาสัดส่วนของเส้นไว้ แต่ก็ไม่ได้รักษามุมหรือความยาวไว้เสมอไป สามเหลี่ยมใด ๆ สามารถแปลงเป็นรูปอื่นได้โดยการแปลงแบบ affine ดังนั้นรูปสามเหลี่ยมทั้งหมดจึงมีความคล้ายคลึงกัน

2.4.3 Perspective Transformation

เมื่อตามนุษย์มองเห็นสิ่งใกล้ตัว จะดูใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งที่อยู่ไกล นี้เรียกว่า มุมมองในลักษณะทั่วไป ในขณะที่การแปลงเป็นการถ่ายโอนวัตถุจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งโดยรวมแล้ว การแปลง perspective เกี่ยวข้องกับการแปลงโลก 3 มิติเป็นภาพ 2 มิติ หลักการ

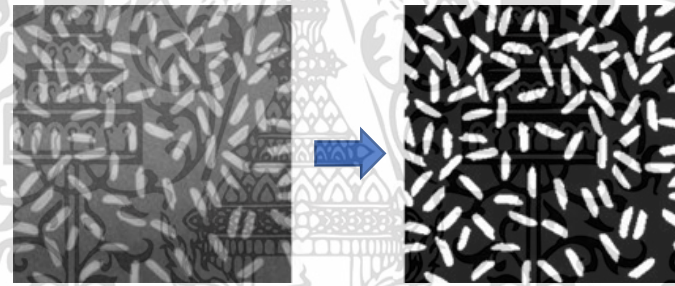
เดียวกันกับการมองเห็นของมนุษย์ทำงานและหลักการเดียวกันกับที่กล้องทำงาน เราจะดูรายละเอียดว่าทำไมสิ่งนี้จึงเกิดขึ้น วัตถุที่อยู่ใกล้จะดูใหญ่ขึ้น ในขณะที่วัตถุที่อยู่ห่างไกลดูเล็กลง



รูปที่ 2.16 การแปลง 2 มิติ

2.5 การปรับปรุงภาพ

การปรับปรุงภาพ หมายถึงขั้นตอนการปรับภาพดิจิทัลเพื่อให้ผลลัพธ์มีความเหมาะสมสำหรับการแสดงผลหรือการวิเคราะห์ภาพต่อไป ตัวอย่างเช่น การกำจัดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในภาพ การเพิ่มความคมชัดของภาพ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้ระบุคุณลักษณะเด่นในภาพได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างของการปรับปรุงภาพดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การปรับปรุงภาพ

2.5.1 ฮิสโทแกรมของภาพ [9]

ฮิสโทแกรมหมายถึงการกระจายของค่าพิกเซลหรือค่าความเข้มในภาพ ในกรณีของภาพระดับสีเทา ในกรณีของภาพสีฮิสโทแกรมเป็นการดูการกระจายของค่าสีในแต่ละองค์ประกอบ การแสดงฮิสโทแกรมมักแสดงเป็นกราฟโดยแกนนอนเป็นจำนวนระดับของภาพ ตัวอย่างเช่น ถ้าเป็นภาพขนาด 8 บิต ก็จะได้ $2^8 = 256$ ระดับ โดยค่า 0 จะเป็นสีดำ และ 255 เป็นสีขาว ภาพที่มีโทนสีไปทางด้านมืดแสดงในรูปที่ 2.18 ภาพที่มีโทนสีที่มีความคมชัดแสดงในรูปที่ 2.19 และภาพที่มีโทนสีไปทางด้านสว่างแสดงในรูปที่ 2.20

การสร้างฮิสโทแกรมของภาพดิจิทัล กำหนดให้ L แทนจำนวนของระดับเทา ในช่วง $[0, G]$ โดยค่า G จะเท่ากับ 255 เมื่อภาพเป็นแบบ 8 บิต และเท่ากับ 65535 เมื่อเป็นภาพแบบ 16 บิต จะได้เป็นดังสมการที่ 2.27 และ 2.28

$$h(r_k) = n_k \quad (2.27)$$

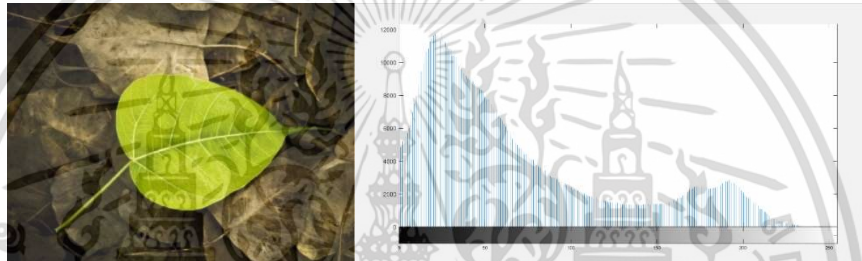
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ r_k = เป็นระดับของความเข้มในช่วง $[0, G]$
 n_k = จำนวนของพิกเซลในภาพที่ระดับความเข้มเทาเท่ากับ r_k

การทำฮิสโทแกรมให้เท่ากันสำหรับภาพดิจิทัล จะถูกนิยามความน่าจะเป็นสำหรับค่าระดับเทาที่มีค่าเป็นดีสครีตได้เป็น

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} \quad (2.28)$$

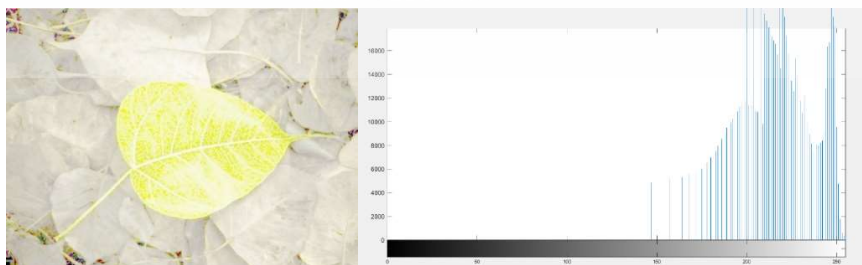
เมื่อ $p(r_k)$ = แทนความน่าจะเป็นของระดับเทาที่ k^{th}
 n_k = จำนวนของพิกเซลในภาพที่ระดับความเข้มเทาเท่ากับ r_k
 n = แทนจำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพ



รูปที่ 2.18 ฮิสโทแกรมของภาพที่มืด



รูปที่ 2.19 ฮิสโทแกรมของภาพที่คมชัด

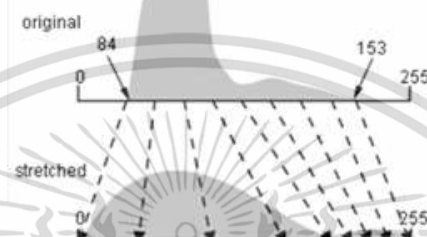


รูปที่ 2.20 ฮิสโทแกรมของภาพที่ค่อนข้างสว่าง

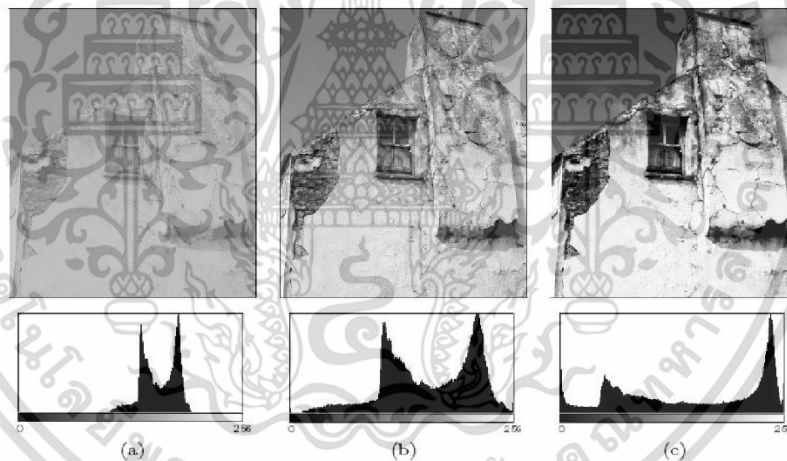
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การขยายฮิสโทแกรมของข้อมูลภาพ

เป็นวิธีการขยายฮิสโทแกรมของข้อมูลภาพ ที่มีการจับกลุ่มอยู่ที่ค่าระดับความเข้มในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เพื่อให้ฮิสโทแกรมของข้อมูลภาพใหม่ มีการกระจายของข้อมูลครอบคลุมทุก ๆ บริเวณของค่าระดับความเข้ม ดังรูปที่ 2.21 เมื่อภาพผ่านกระบวนการขยายฮิสโทแกรมแล้วจึงมีผลทำให้ภาพมีความชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.21 การขยายฮิสโทแกรม



รูปที่ 2.22 contrast ของภาพ (a) low contrast (b) normal contrast (c) high contrast

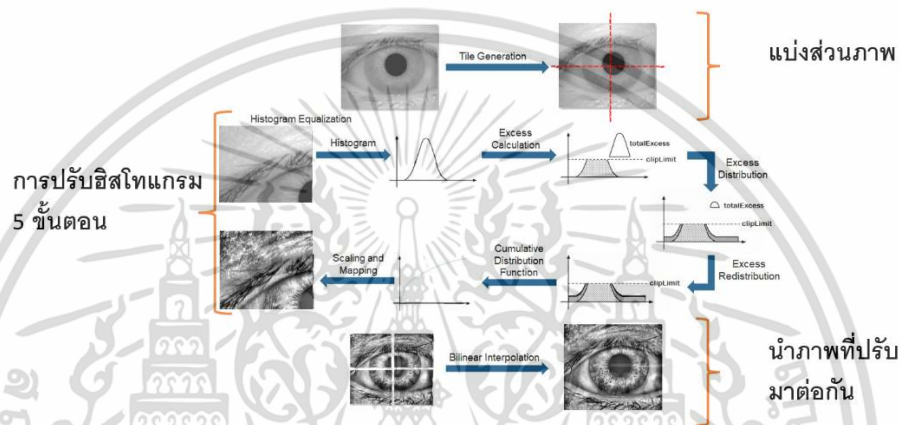
การเปรียบเทียบกันระหว่างส่วนที่สว่างที่สุด กับส่วนที่มืดที่สุด ว่าห่างกันอยู่เท่าไร ตัวอย่างภาพดิจิทัลขนาด 8 บิต แบ่งระดับของความสว่างออกเป็น 256 ระดับ ความมืดที่สุดจะมีค่าระดับความสว่างเป็น 0 และความสว่างสูงสุดมีระดับความสว่างเป็น 255 ดังนั้นภาพ contrast สูง หมายถึงระดับความแตกต่างระหว่างจุดที่สว่างที่สุด กับส่วนที่มืดที่สุด ควรจะมากที่สุด คือมีส่วนสว่างที่สุดคือ 255 และมีส่วนที่มืดที่สุดคือ 0

2.5.3 Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

จากเดิมการปรับฮิสโทแกรมของภาพนั้นเป็นการนำทั้งภาพมาประมวลผลพร้อมกัน ซึ่งเมื่อไปเจอบางบริเวณในภาพที่มีค่าสีแตกต่างกันมากเกินไปทำให้พื้นบริเวณนั้นเกิดการเสียสมดุลจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลไป ดังนั้นจึงมีการคิดวิธีการใหม่ ที่มีการแยกประมวลผลเป็นบริเวณไปก็จะช่วยรักษาสมดุลของภาพหลังประมวลผลได้ จะได้ภาพที่ออกมาคุณภาพที่ดีกว่าเดิม ส่วนฮิสโทแกรมก็จะมีการแจกแจงที่ดีขึ้น ผลบวกสะสมแม้จะไม่ได้เรียงตรงเสียทีเดียว แต่ก็ทำให้ค่อนข้างเรียบ ในขณะที่รักษาสมดุลสีในแต่ละบริเวณไปด้วย แสดงขั้นตอนของกระบวนการและผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.23

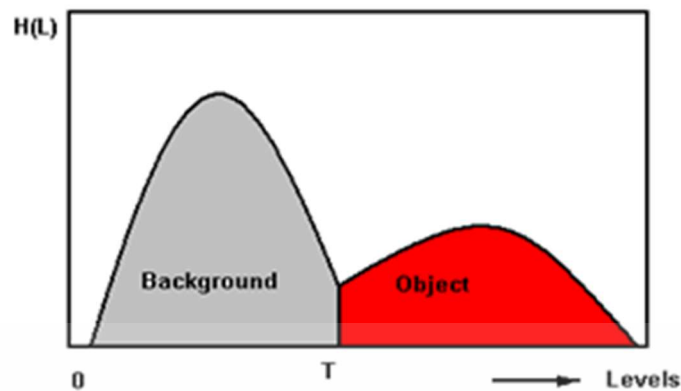
CLAHE [10] เป็นเทคนิคที่ใช้ปรับปรุงความแตกต่างของความสว่างในภาพให้มีความเหมาะสมสำหรับการประมวลผลภาพ มีการทำงาน 3 ขั้นตอนดังนี้ tile generation, histogram equalization และ bilinear interpolation แสดงขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการทำงานของการปรับฮิสโทแกรมแบบปรับตัวเองได้

2.6 เทรสโซลต์ (Threshold)

คือการกำหนดค่าระดับความเข้มสีเทาคงที่ที่ค่าหนึ่งเพื่อทำการแยกสิ่งที่ต้องการ (Object) ออกจากพื้นหลังของภาพ (Background) และยังเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งเพื่อใช้ในการสร้างภาพแบบไบนารี ซึ่งในการกำหนดค่าเทรสโซลต์ ถ้ากำหนดค่าเทรสโซลต์ไม่เหมาะสม เช่น ค่าเทรสโซลต์ที่มีค่าน้อยหรือมากเกินไป อาจทำให้รายละเอียดบางส่วนของภาพวัตถุที่ต้องการขาดหายไปหรือภาพจะมีสิ่งไม่พึงประสงค์ปะปนมาด้วยเช่น สัญญาณรบกวน (Noise) ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดค่าเทรสโซลต์ที่เหมาะสม ซึ่งในปัจจุบันมีผู้เสนอวิธีในการหาค่าเทรสโซลต์หลายวิธีซึ่งจะถูกนำไปใช้ในงานที่มีลักษณะแตกต่างกันไป เช่นการหาค่าเทรสโซลต์หนึ่งระดับ (Single Thresholding) เป็นวิธีการแยกข้อมูลโดยพิจารณาจากฮิสโทแกรมของภาพ ซึ่งกลุ่มของข้อมูลทั้งสองจะแยกออกเป็นสองกลุ่มตามการกระจายของข้อมูลดังนั้นการเลือกค่าเทรซโซลต์จะต้องเลือกค่าที่ต่ำสุดที่อยู่ระหว่างกลุ่มข้อมูลทั้งสองดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การตั้งค่าเทรชโวลต์เพื่อแบ่งข้อมูลในภาพ

ในการทดสอบแยกกลุ่มข้อมูล เมื่อสร้างฮิสโตแกรมระดับเทาของภาพแล้ว กลุ่มของข้อมูล 2 กลุ่ม คือกลุ่มหนึ่งเป็นกลุ่มของวัตถุ และกลุ่มหนึ่งเป็นกลุ่มของพื้นหลังของภาพ จากนั้นทำการเลือกค่าต่ำสุดระหว่างสองกลุ่มเป็นค่าเทรชโวลต์ โดยจะกำหนดให้เทรชโวลต์มีค่าต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังสมการที่ 2.29 และ 2.30

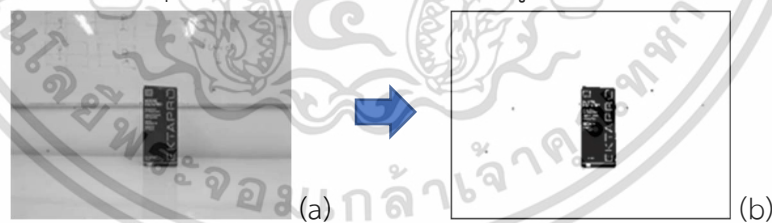
1. กำหนดค่าระดับความเข้มเทาในการเทรชโวลต์ (T)

2. กำหนดให้ $I(x, y)$ คือภาพต้นแบบ

$$\text{ถ้า } I(x, y) > T \text{ แล้ว ให้ } O(x, y) = 255 \quad (2.29)$$

$$\text{แต่ถ้า } I(x, y) \leq T \text{ ให้ } O(x, y) = 0 \quad (2.30)$$

การทำเทรชโวลต์เพื่อแยกวัตถุออกมาจากพื้นหลังของภาพ ดังรูปที่ 2.25



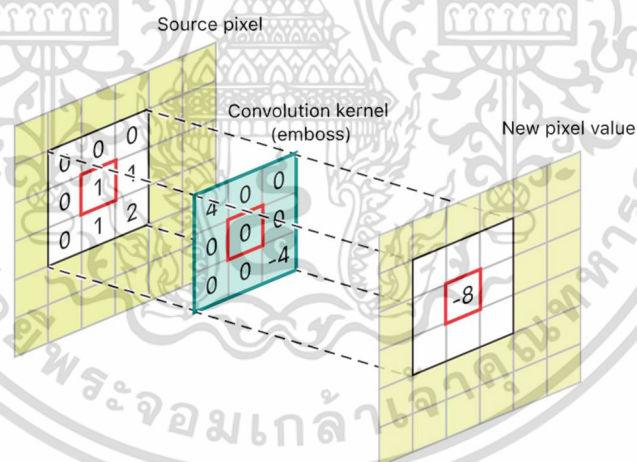
รูปที่ 2.25 การทำเทรชโวลต์ ที่ค่า $T = 100$ (a) รูปต้นแบบ, (b) เทรชโวลต์ที่ $T = 100$

2.7 การกรองข้อมูลภาพ

การกรองข้อมูลภาพเป็นการประมวลผลที่สำคัญในการกำจัดองค์ประกอบที่มีความถี่ที่ไม่ต้องการออกจากภาพ การกำจัดความถี่สูงออกจากภาพซึ่งเรียกว่าการกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ผลลัพธ์คือทำให้ภาพดูเบลอ (Blur) หรือเรียบขึ้น (Smooth) ใช้ในการหาคุณลักษณะสำคัญที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเมื่อภาพถูกเบลอมากขึ้นแต่คุณลักษณะเด่นก็จะยังสามารถสกัดออกมาได้ ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจเรียกฟิลเตอร์นี้ว่าฟิลเตอร์การเฉลี่ย (Averaging) ตัวอย่างเช่น ตัวกรองมีเดีย (Median filter) ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian filter) เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม การกำจัดความถี่ต่ำออกจากภาพซึ่งเรียกว่าการกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass filter) ผลลัพธ์คือทำให้เหลือแต่องค์ประกอบที่เป็นขอบภาพ หรืออาจเรียกว่าการตรวจหาขอบภาพ (Edge detection) ตัวอย่างเช่น การตรวจหาขอบโดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First-order derivative edge detection) และ การตรวจหาขอบโดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second-order derivative edge detection) โดยการกรองภาพจะทำได้ 2 วิธี คือการกรองภาพในโดเมนเชิงพื้นที่และการกรองข้อมูลภาพในโดเมนเชิงความถี่ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการกรองข้อมูลภาพในโดเมนเชิงพื้นที่เท่านั้น สำหรับกระบวนการกระทำกับภาพหรือการคอนโวลูชัน (Convolution) ค่าระดับความเข้มสีเทาของกลุ่มพิกเซลแต่ละจุดในภาพผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับระดับความเข้มสีเทาของกลุ่มพิกเซลที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงกัน (Neighborhood pixels) ของภาพต้นแบบ รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะกระบวนการคอนโวลูชันของภาพ

การคอนโวลูชันแบบ 2 มิติ เป็นกระบวนการกระทำกับภาพเฉพาะบริเวณ (Local Processing) โดยกระบวนการกระทำกับภาพแบบนี้ ค่าระดับความเข้มสีเทาของพิกเซลแต่ละจุดของภาพผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับค่าระดับความเข้มสีเทาของกลุ่มพิกเซลที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงกัน (Neighborhood pixels) โดยใช้หน้ากาก (Mask) กรองสัญญาณภาพ



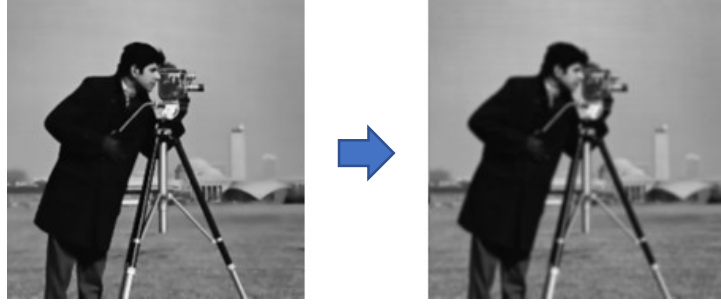
รูปที่ 2.26 การคอนโวลูชัน

2.7.1 ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian Filter)

ตัวกรองแบบเกาส์เซียนเป็นตัวกรองพื้นฐานที่นิยมมากกว่าแบบอื่น ถูกนำมาใช้งานได้หลากหลาย ตัวกรองชนิดนี้จะทำให้ภาพให้เบลอ (Blur) แสดงรูปที่ 2.27 ของภาพต้นฉบับน้อยกว่าการใช้ตัวกรองแบบอื่น ตัวกรองประเภทนี้สามารถที่จะออกแบบสมบัติของตัวกรองได้หลายรูปแบบ โดยที่สมบัติของตัวกรองแบบเกาส์เซียนสองมิติ $G(x, y)$ จะมีค่าตามสมการ 2.31

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.31)$$

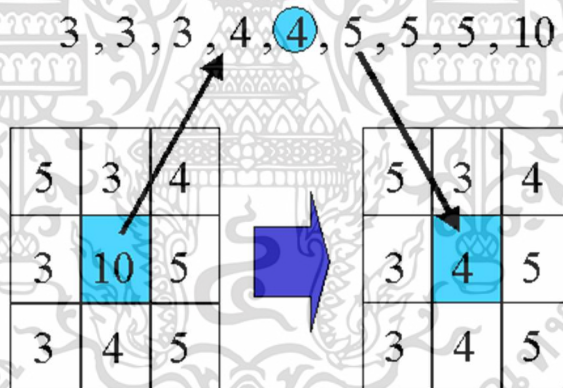
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



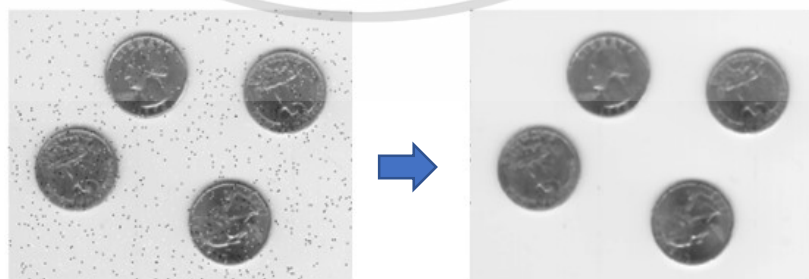
รูปที่ 2.27 การกรองภาพด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน

2.7.2 ตัวกรองมีเดีย (Median Filter)

เป็นตัวกรองความถี่ที่พิจารณาข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ค่ามัธยฐานทำได้โดยการนำข้อมูลในหน้าต่างย่อย (Mask) มาทำการเรียงค่าจากน้อยไปมากตามค่าระดับความเข้มเทาของข้อมูล ซึ่งค่ามัธยฐานเป็นค่าตำแหน่งกึ่งกลางของกลุ่มข้อมูลที่พิจารณา จากนั้นนำค่ามัธยฐานที่ได้แทนค่ากลับลงไปตำแหน่งตรงกลางของหน้าต่างดังรูปที่ 2.28 และการใช้ตัวกรองมีเดียกับรูปที่มีสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.28 หน้าต่างย่อยขนาด 3x3



รูปที่ 2.29 ผลการกรองมีเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

ผลลัพธ์คือทำให้เหลือแต่องค์ประกอบที่เป็นขอบภาพ หรืออาจเรียกว่าการตรวจหาขอบภาพ (Edge Detection) ขอบภาพเป็นคุณสมบัติความไม่ต่อเนื่องของระดับเทา (Discontinuity) ที่น่าสนใจของภาพ เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องที่ไม่แปรผันต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม เช่น แสงและเงา เป็นต้น ขอบภาพถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในด้านการประมวลผลภาพ เช่น การลงทะเบียนภาพ การรู้จำรูปแบบ เป็นต้น การหาขอบภาพสามารถทำได้โดยใช้วิธีหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First-Order Derivative Edge Detection) และ การตรวจหาขอบโดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second-Order Derivative Edge Detection) รูปที่ 2.30 แสดงการหาขอบภาพด้วยตัวกรองแบบ Canny และ Prewitt



ต้นฉบับ

Canny

Prewitt

รูปที่ 2.30 การหาขอบภาพด้วยตัวกรองแบบ Canny และ Prewitt

2.8 กระบวนการมอร์โฟโลยี (Morphological Image Processing) [11]

เทคนิคของมอร์โฟโลยี (Morphology) ซึ่งเป็นเทคนิคเกี่ยวกับการจัดการเกี่ยวกับรูปร่างและโครงสร้าง ในทางการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อแยกองค์ประกอบของภาพที่จำเป็นเพื่อใช้แทน (Representation) หรือใช้อธิบาย (Description) รูปร่างของบริเวณ (Region Shape) ตัวอย่างขององค์ประกอบของภาพเช่น เส้นขอบเขต (Boundary) เส้นโครง (Skeleton) และ Convex Hull เป็นต้น

ภาษาของขบวนการมอร์โฟโลยีเชิงคณิตศาสตร์คือทฤษฎีของเซต เซตในทางมอร์โฟโลยีเชิงคณิตศาสตร์คือรูปร่างของวัตถุในภาพ เช่นเซตของพิกเซลสีดำในภาพไบนารีเป็นคำอธิบาย (Descriptor) ได้อย่างครบถ้วนบริบูรณ์ ในภาพไบนารี เซตเป็นสมาชิกของสเปซ 2 มิติ (Z^2) โดยแต่ละสมาชิกของเซตคือเวกเตอร์ 2 มิติซึ่งมีพิกัดคือ (x, y) ของพิกเซลสีดำในภาพ

2.8.1 คำจำกัดความและพื้นฐานของเซต

ให้ A และ B เป็นเซตใน Z^2 ที่มีองค์ประกอบ (a_1, a_2) และ (b_1, b_2) ตามลำดับ การเลื่อน หรือ Translation ของ A ด้วยระยะ $x = (x_1, x_2)$ ซึ่งแทนด้วย $(A)_x$ มีคำจำกัดความดังสมการ 2.32

$$(A)_x = \{c/c = a + x, \text{ for } a \in A\} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะท้อนหรือ Reflection ของ B แทนด้วยคำจำกัดความดังสมการ 2.33

$$B = \left\{ \frac{x}{x} = -b, b \in B \right\} \quad (2.33)$$

คอมพลิเมนต์ (Complement) ของเซต A ดังสมการ 2.34

$$A^c = \{x/x \notin A\} \quad (2.34)$$

ผลต่างระหว่างเซต 2 เซต A และ B แทนด้วย $A - B$ แทนคำจำกัดความดังสมการ 2.35

$$A - B = \{x/x \in A, \notin B\} \quad (2.35)$$

2.8.2 การขยาย (Dilation)

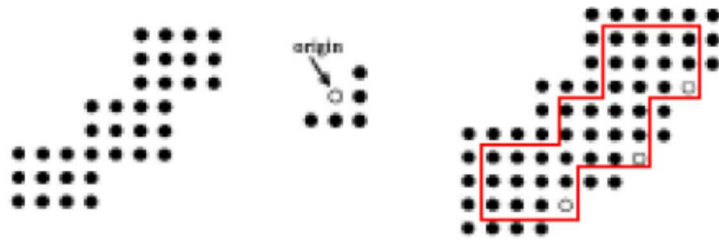
การขยายจะทำให้วัตถุกว้างขึ้น โดยทั่วไปมักใช้ในการเติมเต็มโดยทั้งปริมาณและรูปแบบของการขยายจะขึ้นโดยตรงกับการเลือกรูปแบบของ Structure Element โดยการเลื่อน Structure Element ไปเรื่อย ๆ จากด้านซ้ายไปขวา และจากด้านบนลงล่าง จากภาพที่ 2.31 นำ Structure Element ขนาด 3×3 ไปวางครอบคลุมพื้นที่ใด ๆ ในภาพแล้วพิจารณาพิกเซลรอบข้างของจุด origin ใน Structure Element กับรูปต้นแบบที่เป็นภาพไบนารีว่ามีค่าเหมือนกันอย่างน้อย 1 พิกเซลหรือไม่ ถ้าเหมือนกันอย่างน้อย 1 พิกเซลให้เปลี่ยนพิกเซลที่อยู่รอบข้างจุด Origin ในภาพไบนารีให้เป็นพิกเซลสีดำทั้งหมด แต่ถ้าพิกเซลรอบจุด Origin ในภาพไบนารีไม่มีพิกเซลไหนที่เหมือนกับพิกเซลรอบจุด Origin ใน Structure Element ให้เปลี่ยนพิกเซลรอบจุด Origin ในภาพไบนารีให้เป็นพิกเซลสีขาวทั้งหมด จากนั้นหน้าต่างที่เป็น Structure Element ก็จะเลื่อนไปที่พิกเซลอื่น ๆ จากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง และทำแบบเดียวกันทั่วทั้งภาพ ให้เซต A และ B เป็นเซตใน Z^2 และ \emptyset แทนเซตว่าง การขยายของ A ด้วย B แทนด้วย $A \oplus B$ มีคำจำกัดความดังสมการ 2.36

$$A \oplus B = \{x/(B)_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2.36)$$

ดังนั้นขบวนการขยายประกอบด้วยวิธีการการสะท้อน (Reflection) ของ B รอบจุดกำเนิดแล้วทำการเลื่อน (Shift) ผลลัพธ์จากการสะท้อนด้วยระยะ x การขยายของ A ด้วย B คือเซตของระยะ x ที่เคลื่อนที่ทั้งหมดโดยที่ B และ A มีการซ้อนทับกัน (Overlap) อย่างน้อยหนึ่งสมาชิกที่ไม่เป็นศูนย์ สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการ 2.37

$$A \oplus B = \{x/(B)_x \cap A \subseteq \emptyset\} \quad (2.37)$$

เซต B มักรู้จักกันในชื่อหน่วยโครงสร้าง (Element Structure) ในการขยาย สังเกตว่าขบวนการขยายมีลักษณะคล้ายการคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะท้อนหน่วยโครงสร้างและตามด้วยการเลื่อนหน่วยโครงสร้างไปทั่ว A รูป 2.32 แสดงผลลัพธ์จากการขยาย



รูปที่ 2.31 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบขยาย



รูปที่ 2.32 ผลลัพธ์การมอร์โฟโลยีแบบขยาย

2.8.3 การเซาะ (Erosion)

การเซาะทำให้วัตถุแคบลง หรือลดขนาดวัตถุลงมักใช้ในการลบส่วนที่ยื่นออกมาจากวัตถุ โดยทั้งปริมาณและรูปแบบของการขยายจะขึ้นโดยตรงกับการเลือกรูปแบบของ Structure Element โดยการเลื่อน Structure Element ไปเรื่อย ๆ จากด้านซ้ายไปขวา และจากด้านบนลงล่าง จากภาพที่ 2.33 นำ Structure Element ขนาด 2x2 ไปวางครอบคลุมพื้นที่ใด ๆ ในภาพ แล้วพิจารณาพิกเซลรอบข้างของจุด origin ใน Structure Element กับรูปต้นแบบที่เป็นภาพไบนารีว่ามีค่าเหมือนกันอย่างน้อย 1 บิตหรือไม่ ถ้าเหมือนกันก็ให้แทนค่าบิตที่เหลือเป็นสีดำ แต่ถ้าพิกเซลที่อยู่รอบจุด origin ในภาพไบนารีไม่มีพิกเซลไหนที่เหมือนกับพิกเซลรอบข้างจุด origin ให้เปลี่ยนพิกเซลที่วางซ้อนทับกับจุด origin ในภาพไบนารีให้เป็นพิกเซลสีขาว ส่วนพิกเซลอื่น ๆ ก็ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก จากนั้นหน้าต่างที่เป็น Structure Element ก็จะเลื่อนไปที่พิกเซลอื่น ๆ จากซ้ายไปขวา และจากบนลงล่าง และทำแบบเดียวกันทั่วทั้งภาพ

ให้เซต A และ B เป็นเซตใน Z^2 การเซาะของ A ด้วย B แทนด้วย $A \ominus B$ มีคำจำกัดความดังสมการ 2.38

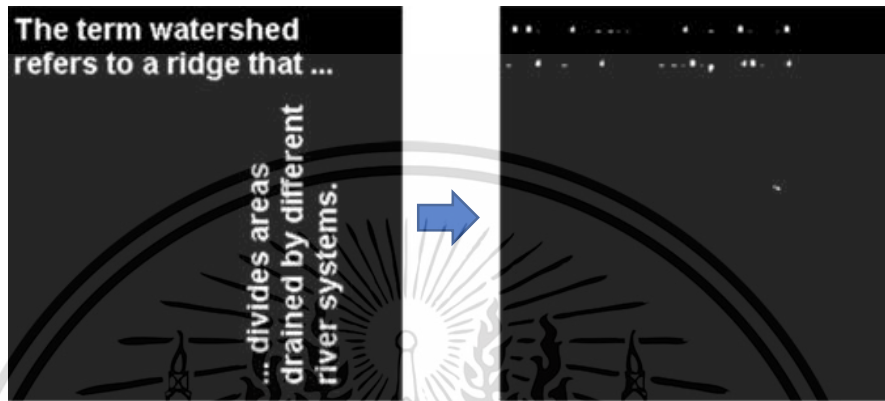
$$A \ominus B = \{x / (B)_x \subseteq A\} \tag{2.38}$$

นั่นคือ การเซาะของ A และ B คือเซตของจุด x ทุกจุดที่ซึ่งการเคลื่อนย้าย B ด้วยระยะ x อยู่ภายใน A รูป 2.34 แสดงผลลัพธ์จากการเซาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเซาะ



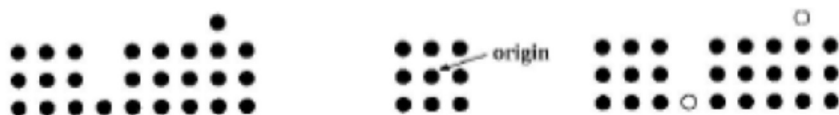
รูปที่ 2.34 ผลลัพธ์การมอร์โฟโลยีแบบเซาะ

2.8.4 การเปิด (Opening) และการปิด (Closing)

การขยายทำให้ภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นและการเซาะทำให้ภาพมีขนาดเล็กลง แต่ยังมีกระบวนการมอร์โฟโลยีที่สำคัญอีก 2 กระบวนการได้แก่ การเปิดและการปิด การเปิดโดยทั่วไปแล้วหมายถึงการทำให้เส้นโครงร่าง (Contour) ของรูปมีความเรียบขึ้น ทำให้ช่องแคบที่ต่อภาพขาดออกจากกัน และทำการกำจัดส่วนยื่นที่บาง ๆ การปิดเป็นกระบวนการที่ตรงข้ามกับการเปิด โดยทั่วไปเป็นการเติมช่องว่างในเส้นโครงร่าง เชื่อมช่องต่อที่แคบ ๆ และกำจัดรูเล็กในรูปภาพ

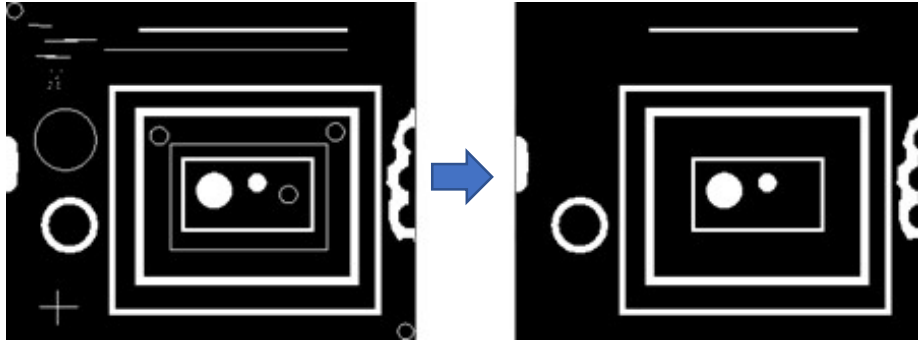
การเปิดของเซต A โดย B แทนด้วย $A \circ B$ ทำได้โดยการเซาะ A ด้วย B แล้วตามด้วยการขยายผลลัพธ์ด้วย B สามารถเขียนได้ดังสมการ 2.39 แสดงกระบวนการเปิดดังรูปที่ 2.35 และผลลัพธ์การเปิดดังรูปที่ 2.36

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \tag{2.39}$$



รูปที่ 2.35 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



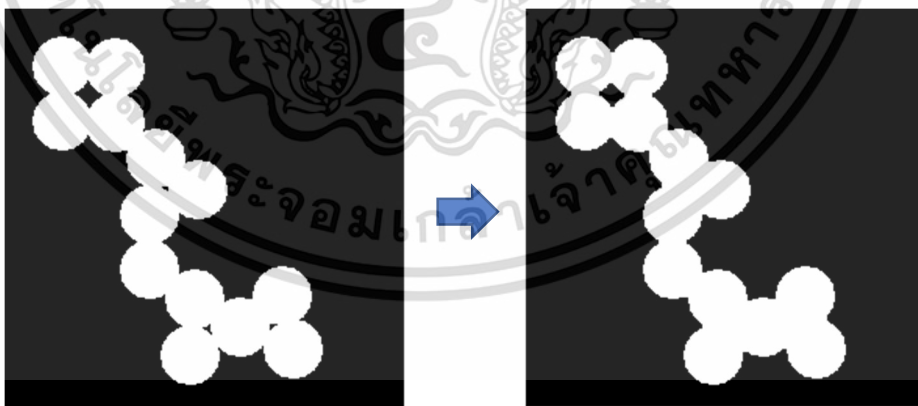
รูปที่ 2.36 ผลลัพธ์การมอร์โฟโลยีแบบเปิด

การปิดของเซต A โดย B แทนด้วย $A \bullet B$ ทำได้โดยการขยาย A ด้วย B แล้วตามด้วยการเซาะผลลัพธ์ด้วย B สามารถเขียนได้เป็นสมการ 2.40 และแสดงขบวนการปิดแสดงดังรูปที่ 2.37 และผลลัพธ์การปิดดังรูปที่ 2.38

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.40)$$



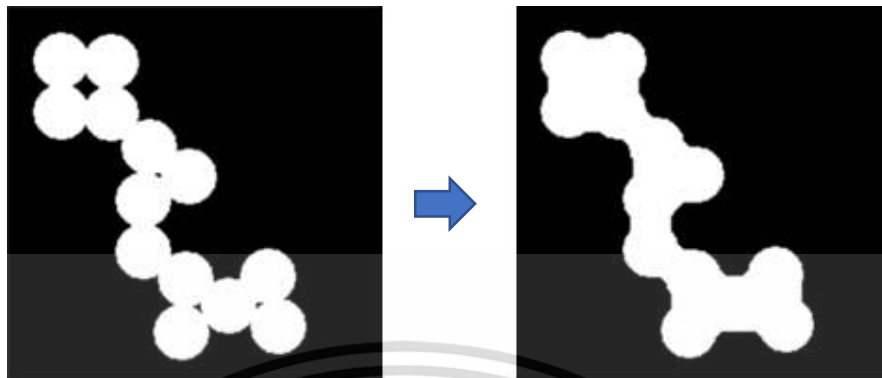
รูปที่ 2.37 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบปิด



รูปที่ 2.38 ผลการมอร์โฟโลยีแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเปิดและปิดแสดงดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 กระบวนการมอร์โฟโลยีแบบเปิดและปิด

2.8.5 Element Structure

Element Structure คือ เมตริกที่ถูกนิยามให้เป็นรูปร่าง สำหรับการทำให้ Morphological Operation โดยเมตริกจะประกอบด้วยค่าไบนารี 2 ค่าคือ 0 และ 1 ซึ่งสามารถมีรูปร่างต่าง ๆ ตามที่เรากำหนด ตัวอย่างของ Structure Element แสดงในภาพที่ 2.40

BOX	<table border="1"> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
1	1	1	1	1																						
1	1	1	1	1																						
1	1	1	1	1																						
DISK	<table border="1"> <tbody> <tr><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr> </tbody> </table>		1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	
	1	1	1																							
1	1	1	1	1																						
1	1	1	1	1																						
1	1	1	1	1																						
	1	1	1																							
RING	<table border="1"> <tbody> <tr><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td></td></tr> </tbody> </table>		1	1	1		1				1	1				1	1				1		1	1	1	
	1	1	1																							
1				1																						
1				1																						
1				1																						
	1	1	1																							

รูปที่ 2.40 Structure Element ในลักษณะต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การแปลงฮัฟ (Hough Transform) [12]

เทคนิค Hough transform มีบทบาทสำคัญในการรู้จำรูปร่างของวัตถุต่าง ๆ (Shape recognition) เช่น การติดตามเลนของถนน (Road tracking) และการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น โดยการตรวจหาเส้นตรง เส้นโค้ง และวงกลมในรูปภาพ โดยที่การ fit เส้นตรงด้วย Hough transform มักจะใช้สมการ polar (polar equation) ดังสมการที่ 2.41

$$x\cos\theta + y\sin\theta = \rho \quad (2.41)$$

เมื่อ x, y คือ พิกัดของจุดภาพบนระนาบภาพ x, y

ρ คือ ระยะทางที่ตั้งฉากจากเส้นตรงถึงจุดกำเนิดในระนาบภาพ x, y

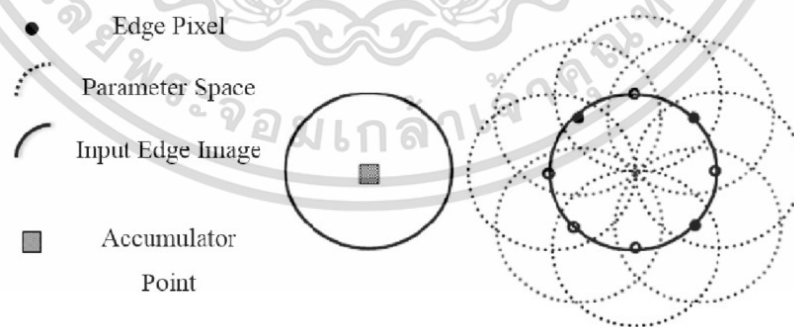
θ คือ มุมจากแกน x ถึงเส้นตั้งฉาก

จากนั้นจึงสร้าง Accumulator cell สองมิติ $A(i, j)$ ซึ่งมีส่วนประกอบของ ρ_i, θ_i กับทุก ๆ จุดภาพ พิกัด x, y ของจุดภาพใด ๆ ที่อยู่บนเส้นตรงเส้นเดียวกันจะสะสมอยู่ใน accumulator cell ตัวเดียวกัน โดยมีค่า ρ และ θ เท่ากัน ดังนั้นถ้าจำนวนที่สะสมใน accumulator cell ตัวใดมีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้ก็จะถูกแปลงกลับไปเป็นพิกัด (x, y) ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าเส้นตรงดังกล่าวมีพิกัดที่จุดใดบ้างบนระนาบ x, y ในทำนองเดียวกันการหาส่วนของเส้นโค้งและรูปวงกลมจะมีวิธีการดังรูปที่ 2.41 และรูป 2.42 แสดงสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 2.42

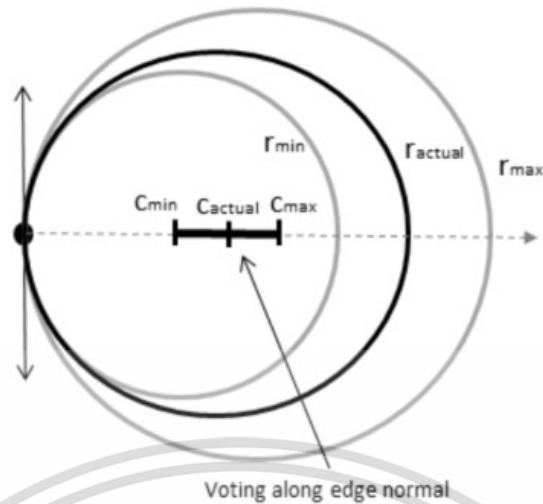
$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = r^2 \quad (2.42)$$

เมื่อ C_x, C_y คือ จุดศูนย์กลางของวงกลมในแนวแกน x และ y

r คือ รัศมีของวงกลมหรือส่วนโค้ง



รูปที่ 2.41 การค้นหาวงกลมด้วยวิธี Hough transform



รูปที่ 2.42 รัศมีการค้นหาวงกลมในภาพของ Hough transform

2.10 Speed Up Robust Feature

SURF เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ค้นหาจุดเด่นและจับคู่ภาพทั้งสองภาพที่มีลักษณะคล้ายกันได้อย่างรวดเร็วและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของภาพแวดล้อมในการตรวจจับ ถูกนำเสนอโดย [10] ซึ่งกระบวนการตรวจจับจะไม่แปรผันตามการเลื่อน (Translation) การหมุน (Rotation) การย่อหรือขยาย (Scaling) และการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่าง ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำหรับอัลกอริทึมแบบดั้งเดิม เนื่องจากอัลกอริทึมแบบเดิมนั้นจะนำจุดของภาพมาใช้ในการหาลักษณะเด่นของภาพเป็นหลัก

SURF ถูกนำเสนอโดย Herbert Bay [13] ถูกปรับปรุงต่อมาจากอัลกอริทึม SIFT [14] ที่ประมวลผลได้ช้า เนื่องจากอัลกอริทึม SIFT ประมวลผลอยู่บนพื้นฐานของ Difference of Gaussian ซึ่งมีขั้นตอนการหาลักษณะเด่นด้วยการนำภาพมาเบลอด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนและหาผลต่างของภาพ จากนั้นก็ทำซ้ำแบบเดิมไปจนกว่าจะครบจำนวนรอบที่กำหนดเอาไว้ อัลกอริทึม SURF ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ การสกัดลักษณะเด่น (Feature Extraction) และการอธิบายภาพ (Feature Description)

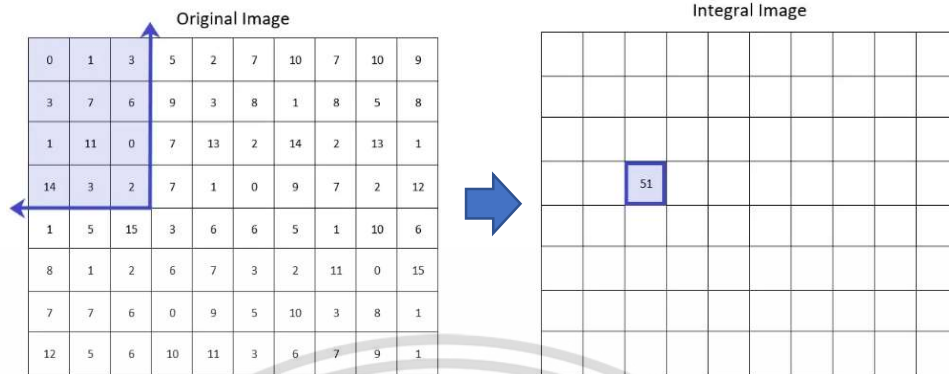
การสกัดลักษณะเด่น (Feature Extraction) ขั้นตอนนี้จะเป็นการสกัดเอาลักษณะเด่นของวัตถุในภาพออกมาโดยจะอาศัยหลักการของ integral image และเมทริกซ์เฮสเซียน

2.10.1 Integral Image

Integral Images หรือ Summed-Area Table เป็นวิธีการที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาผลรวมสะสมของค่าของพิกเซลในภาพหรือรวมความเข้ม (Intensity) ของแต่ละพิกเซลเข้าด้วยกัน ทำได้อย่างรวดเร็วด้วยการคำนวณเพียงครั้งเดียว การคำนวณจะเริ่มคิดที่พิกเซลมุมด้านบนซ้ายสุดของภาพ จากนั้นหาผลรวมทุกพิกเซลด้านบนและด้านซ้ายของภาพ จนถึงตำแหน่งที่ต้องการ แสดงได้ดังสมการที่ 2.43 และรูปที่ 2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (2.43)$$



รูปที่ 2.43 การหา integral image

2.10.2 เมทริกซ์เฮสเซียน (Hessian Matrix)

SURF ใช้เมทริกซ์เฮสเซียนในการคำนวณเนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ดีและมีความแม่นยำ สำหรับการค้นหาการเปลี่ยนแปลงรอบจุดใด ๆ บนภาพ โดยอาศัยดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์เฮสเซียนตามสมการที่ 2.44 และใช้สมการเมทริกซ์เฮสเซียนที่จุดใด ๆ กับสเกล (σ) ตามสมการที่ 2.45

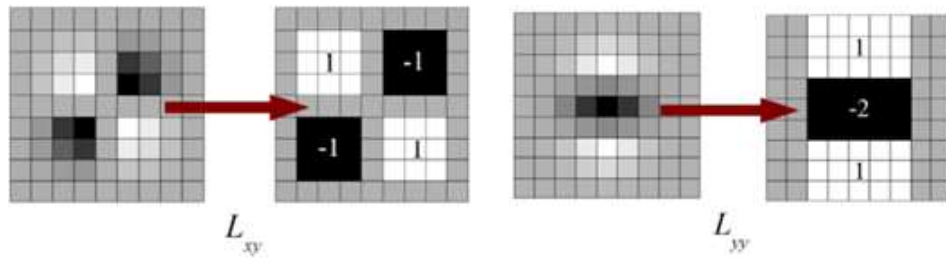
$$H(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

เมื่อ $L_{xx}(x, \sigma)$ เป็นการคอนโวลูชันของอนุพันธ์อันดับสองของเกาส์เซียนกับภาพที่จุด x เช่นเดียวกับกับ $L_{xy}(x, \sigma)$ และ $L_{yy}(x, \sigma)$

ฟังก์ชันเกาส์เซียนเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์พื้นที่แบบสเกล (Scale Space) แต่จะต้องแยกส่วนและครอบตัด สิ่งนี้นำไปสู่การสูญเสียความสามารถในการทำซ้ำภายใต้การหมุนภาพ ในการคำนวณดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์เฮสเซียน ก่อนอื่นเราต้องคอนโวลูชันฟังก์ชันเกาส์เซียน แล้วจึงตามด้วยคำนวณด้วยอนุพันธ์อันดับสอง หลังจากความสำเร็จในงานของ Lowe เกี่ยวกับการประมาณค่า LoG (SIFT) ส่วน SURF ใช้ทั้งการคอนโวลูชันและอนุพันธ์อันดับสองในการคำนวณ ที่ได้ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าด้วยและเพิ่มความรวดเร็วด้วย integral image จึงเป็นเหตุผลว่าทำไม SURF จึงมีรวดเร็ว แสดงตัวกรองขนาด 9×9 ดังรูปที่ 2.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.44 อนุพันธ์ย่อยของเกาส์เซียนในทิศทาง xy และทิศทาง y

ตัวกรองขนาด 9×9 ในภาพด้านบนเป็นการประมาณของอนุพันธ์อันดับสองแบบเกาส์เซียนที่มีค่า $\sigma = 1.2$ เราระบุค่าประมาณเหล่านี้ด้วย D_{xx} , D_{yy} และ D_{xy} สามารถหาค่า ดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์เฮสเซียนได้ดังสมการที่ 2.46

$$\det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (2.46)$$

2.10.3 Scale-space representation

พื้นที่สเกล (Scale Space) ภาพจะมีลักษณะการเรียงตัวเป็นรูปทรงคล้ายกับพีระมิดดังรูป 2.45 ภาพจะถูกปรับให้เรียบด้วย Gaussian จากนั้นจึงทำการซูมตัวอย่างย่อยเพื่อให้ได้พีระมิดในระดับที่สูงขึ้น เรียกว่า octave โดยจะกระทำทั้งหมด 5 ช่วง และทำการเพิ่มระดับของตัวกรองให้มีขนาดใหญ่ขึ้นดังนี้

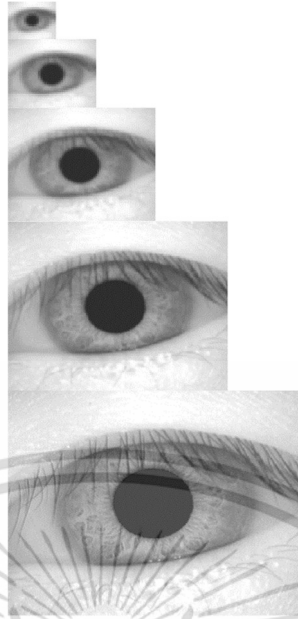
octave ที่ 1 มีขนาดตัวกรอง $9 \times 9 \rightarrow 15 \times 15 \rightarrow 21 \times 21 \rightarrow 27 \times 27$

octave ที่ 2 มีขนาดตัวกรอง $15 \times 15 \rightarrow 27 \times 27 \rightarrow 39 \times 39 \rightarrow 51 \times 51$

octave ที่ 3 มีขนาดตัวกรอง $27 \times 27 \rightarrow 39 \times 39 \rightarrow 51 \times 51 \rightarrow 99 \times 99$

octave ที่ 4 มีขนาดตัวกรอง $51 \times 51 \rightarrow 99 \times 99 \rightarrow 147 \times 147 \rightarrow 195 \times 195$

octave ที่ 5 มีขนาดตัวกรอง $99 \times 99 \rightarrow 195 \times 195 \rightarrow 291 \times 291 \rightarrow 381 \times 381$



รูปที่ 2.45 พื้นที่สเกล

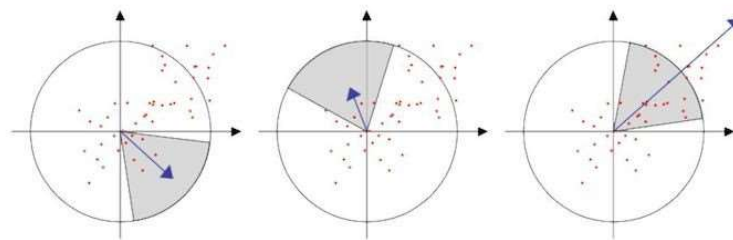
การสร้างตัวอธิบายของอัลกอริทึม SURF มีสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการกำหนดการวางแนวที่ทำซ้ำได้โดยอาศัยข้อมูลจากพื้นที่วงกลมรอบจุดสำคัญ จากนั้น เราสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดคล้องกับการวางแนวที่เลือก และดึงตัวอธิบายของ SURF ออกมา

2.10.4 Orientation Assignment

เพื่อป้องกันไม่ให้แปรผันตามการหมุน SURF จะระบุทิศทางแสดงดังรูปที่ 2.46 ที่ทำซ้ำได้สำหรับจุดสนใจ ทำได้ดังนี้

1. SURF จะคำนวณผลตอบสนองของ Haar-wavelet ในทิศทางแกน x และ y เป็นวงกลมที่มีรัศมี $6s$ รอบ ๆ จุดสำคัญด้วยสเกล s ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างยังขึ้นอยู่กับสเกลส่วนและเลือกค่าของ s และการตอบสนองของเวฟเล็ตจะถูกคำนวณที่สเกลปัจจุบันนั้น ดังนั้นที่สเกลระดับสูงขนาดของเวฟเล็ตจะมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการใช้ integral image อีกครั้งเพื่อการกรองที่รวดเร็ว

2. ค่ารวมผลรวมของการตอบสนองเวฟเล็ตแนวตั้งและแนวนอนในพื้นที่กำหนด จากนั้นเปลี่ยนการวางแนวการสแกนโดยจะเพิ่ม $\pi/3$ และคำนวณใหม่ จนกว่าพบการแนวที่มีค่าผลรวมมากที่สุด การวางแนวนี้เป็นการวางแนวหลักของตัวบอกคุณลักษณะ



รูปที่ 2.46 การวางแนวของเวกเตอร์ตัวอธิบาย

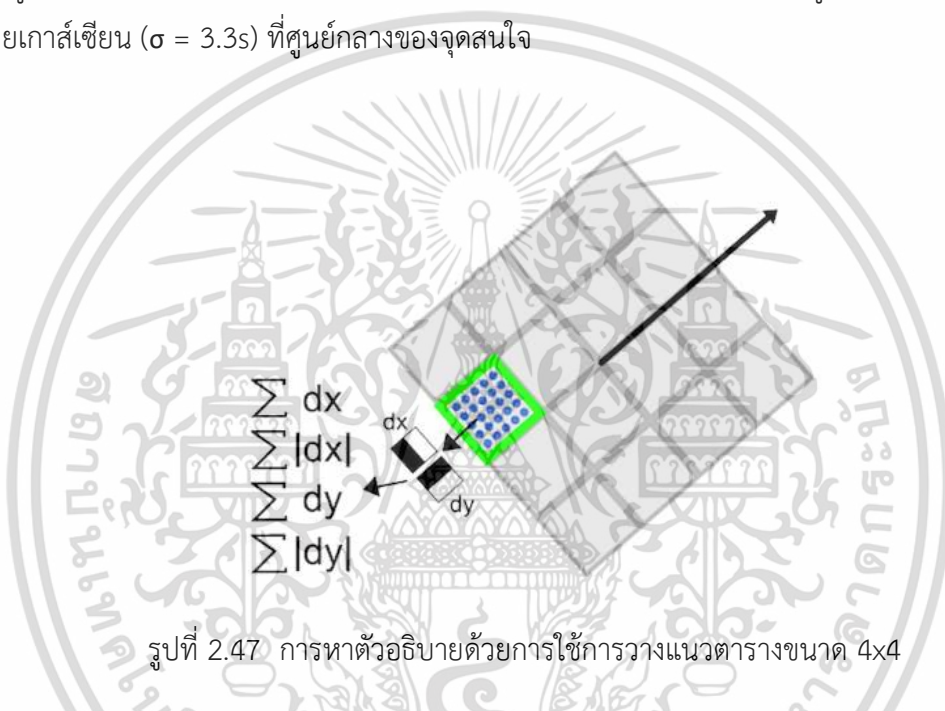
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 Descriptor Components

ขั้นตอนการแยกคำอธิบาย 2 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนแรกประกอบด้วยการสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีศูนย์กลางรอบจุดสนใจและจัดวางตามทิศทางที่กำหนดไว้ ขนาดของหน้าต่างนี้คือ $20s$

2. แบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อยขนาด 4×4 สำหรับแต่ละพื้นที่ย่อย จากนั้นคำนวณหาลักษณะเด่น กำหนดให้ dx เป็นผลตอบสนองของ Haar wavelet ในทิศทางแนวนอน และ dy เป็นผลตอบสนองของ Haar wavelet ในทิศทางแนวตั้ง (ขนาดตัวกรอง $2s$) เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการเสียรูปทางเรขาคณิตและข้อผิดพลาดเชิงพื้นที่ ผลตอบสนอง dx และ dy จะถูกถ่วงน้ำหนักในขั้นแรกด้วยเกาส์เซียน ($\sigma = 3.3s$) ที่ศูนย์กลางของจุดสนใจ



รูปที่ 2.47 การหาตัวอธิบายด้วยการใช้การวางแนวตารางขนาด 4×4

ผลการตอบสนองของเวฟเล็ต dx และ dy จะถูกรวมกันในแต่ละพื้นที่ย่อย และสร้างเวกเตอร์คุณลักษณะ จากนั้นจะได้ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ตามแนวแกนแนวนอนและแกนตั้ง $|dx|$ และ $|dy|$ ดังนั้นพื้นที่ย่อยจะมีเวกเตอร์ของตัวอธิบาย 4 มิติ กำหนดให้เป็น v ซึ่งหาได้จาก $v = (\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|)$ แสดงดังรูปที่ 2.47 ทำให้ได้เวกเตอร์ของตัวอธิบายของพื้นที่ย่อยขนาด 4×4 ที่มีความยาว 64 (อัลกอริทึม SIFT ตัวอธิบายจะเป็นเวกเตอร์ขนาด 128-D ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่อัลกอริทึม SURF ทำงานได้รวดเร็วกว่าอัลกอริทึม SIFT)

2.11 KAZE

KAZE เป็นวิธีการตรวจหาคุณลักษณะ (Detector) และตัวอธิบาย (Descriptor) ที่ทำงานบนพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Scale Space) ซึ่งวิธีการก่อนหน้านี้ เช่น SIFT หรือ SURF ค้นหาคุณสมบัติในปริภูมิสเกลเกาส์เซียน อย่างไรก็ตามการทำให้ภาพเบลอบแบบเกาส์เซียนจะไม่คงขอบเขตของวัตถุไว้เนื่องจากขอบของภาพจะถูกทำให้ลดทอนความคมชัดลงไปด้วย แต่ด้วยวิธีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่กระจายแบบไม่เชิงเส้นสามารถตรวจจับและอธิบายคุณสมบัติในพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้น โดยสามารถเก็บรายละเอียดภาพที่สำคัญและลบสัญญาณรบกวนให้ลดลงไปได้ การแพร่กระจายแบบแปรผัน (variable conductance diffusion) ซึ่งเป็นหนึ่งในกรณีที่ยากที่สุดของการแพร่แบบไม่เชิงเส้น พื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้นถูกสร้างขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้โครงร่าง Additive operator splitting (AOS) ซึ่งมีความเสถียร

2.11.1 Nonlinear Diffusion Filtering

การแพร่กระจายแบบไม่เชิงเส้นใช้อธิบายถึงความสว่างของจุดภาพหรือพิกเซล ทำโดยการเพิ่มสเกลของภาพ ซึ่งจะคล้าย ๆ กับฟังก์ชันของไหลหรือ Flow function ซึ่งวิธีการเหล่านี้มักจะถูกอธิบายด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (PDEs) เนื่องจากลักษณะไม่เชิงเส้นของสมการเชิงอนุพันธ์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการกระจายความสว่างของจุดภาพผ่านสเกลที่ไม่เป็นเชิงเส้น สมการ 2.47 แสดงการแพร่กระจายแบบไม่เชิงเส้น

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \text{div}(c(x, y, t) \cdot \nabla L) \quad (2.47)$$

เมื่อ div และ ∇ คือ ตัวกระทำไดเวอเจน และเกรเดียน

c คือ ฟังก์ชันตัวนำ หรือ conductivity function

t คือ พารามิเตอร์มาตราส่วน

2.11.1.1 Perona and Malik Diffusion Equation [15]

การกรองแบบแพร่กระจายไม่เชิงเส้นถูกนำมาใช้ในงานด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer vision) โดย Perona and Malik นำเสนอการสร้าง function c ที่ขึ้นกับการไล่ระดับสี (gradient) เพื่อลดการแพร่กระจายของพื้นที่ขอบและทำให้พื้นที่ภายในราบเรียบแทนที่วิธีการเดิมที่จะทำให้เกิดความราบเรียบทั้งภาพแบบเท่า ๆ กัน โดย function c แสดงดังสมการที่ 2.48

$$c(x, y, t) = g(|\nabla L_\sigma(x, y, t)|) \quad (2.48)$$

เมื่อ ∇L_σ คือ การไล่ระดับสีของภาพต้นฉบับ L ด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียน

Perona and Malik นำเสนอสมการที่เกี่ยวข้องกับ conductivity function g ดังสมการที่ 2.49

$$g_1 = \exp\left(-\frac{|\nabla L_\sigma|^2}{k^2}\right), \quad g_2 = \frac{1}{1 + \frac{|\nabla L_\sigma|^2}{k^2}} \quad (2.49)$$

เมื่อ k คือ ค่าแฟคเตอร์ความสว่างที่ควบคุมระดับของการแพร่

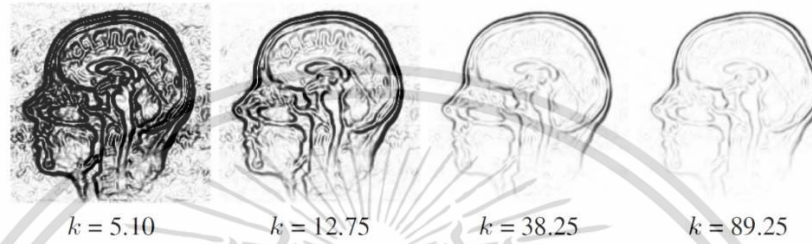
ฟังก์ชัน g_1 จะช่วยทำให้ส่วนของขอบภาพชัดขึ้น ส่วนฟังก์ชัน g_2 จะปรับปรุงในส่วนอื่นในบริเวณกว้าง Weickert [16] นำเสนอฟังก์ชันการแพร่กระจายที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อการแพร่ลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดจากการทำให้ราบเรียบทั้งสองฝั่งของเส้นขอบ เรียกว่าฟังก์ชัน g_3

และแสดงดังสมการ 2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_3 = \begin{cases} 1 & , |\nabla L_\sigma|^2 = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{3.315}{(|\nabla L_\sigma|/k)^8}\right) & , |\nabla L_\sigma|^2 > 0 \end{cases} \quad (2.50)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การนำ g_1 ในสมการ Perona and Malik สามารถใช้ค่า k เพื่อปรับค่าของฟังก์ชันได้ การเพิ่มขึ้นของ k จะพิจารณาเฉพาะการไล่ระดับสีที่สูงขึ้นเท่านั้น แสดงผลลัพธ์จากการปรับค่า k ของฟังก์ชัน g_1 ดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 การเพิ่มความชัดของขอบภาพโดยการเพิ่มค่า k

2.11.1.2 AOS Schemes

ไม่มีวิธีการเชิงวิเคราะห์สำหรับ PDE ที่เกี่ยวข้องกับการกรองการแพร่กระจายแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีเชิงตัวเลขเพื่อประมาณค่าส่วนต่างสมการ การแยกสมการการแพร่กระจายจะเรียกว่า linear implicit หรือ Semi-implicit แสดงได้ดังสมการที่ 2.51

$$\frac{L^{i+1} - L^i}{\tau} = \sum_{l=1}^m A_l(L^i) L^{i+1} \quad (2.51)$$

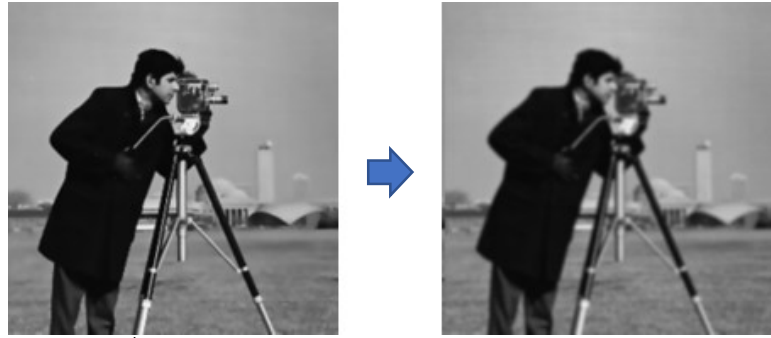
เมื่อ A_l = เมทริกซ์ที่เข้ารหัสการนำภาพสำหรับแต่ละมิติ

และสามารถหาผลลัพธ์ของ L^{i+1} จากสมการที่ 2.52

$$L^{i+1} = (I - \tau \sum_{l=1}^m A_l(L^i))^{-1} L^i \quad (2.52)$$

ในสมการข้างต้นด้านบนค่อนข้างมีความเสถียร นอกจากนี้ยังสร้างพื้นที่สเกลการแพร่กระจายแบบไม่เชิงเส้นที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete nonlinear diffusion scale space) เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลา จำเป็นต้องแก้ระบบสมการเชิงเส้นโดยที่ระบบเมทริกซ์เป็นแบบสามมิติในแนวทแยงระบบดังกล่าวสามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพมากโดยใช้วิธี Thomas algorithm ซึ่งเป็นรูปแบบที่รู้จักกันอัลกอริทึมการกำจัดแบบเกาส์เซียน (Gaussian elimination) ในรูปที่ 2.49 แสดงรูปต้นแบบและผลลัพธ์จากการใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.49 ผลลัพธ์จากการใช้ใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน

2.11.2 KAZE Feature

สร้างสเปซสเกลแบบไม่เชิงเส้นโดยใช้เทคนิค AOS และการแพร่กระจายแบบแปรผัน (variable conductance diffusion) จากนั้น เราจะตรวจพบลักษณะเด่นซึ่งแสดงค่าสูงสุดของการปรับสเกลให้เป็นมาตรฐานด้วยดีเทอร์มิแนนต์ของ Hessian ผ่านพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้น จากนั้นจะคำนวณการวางแนวหลักของจุดสนใจและตัวอธิบายที่ไม่แปรเปลี่ยนตามขนาดส่วนและการหมุน พิจารณานู่นพันธุ์อันดับหนึ่ง จะมีวิธีการดังนี้

2.11.2.1 Computation of the Nonlinear Scale Space

ขั้นตอนนี้คล้ายกับที่ทำในอัลกอริทึม SIFT โดยแยกเป็นพื้นที่สเกล (Scale Space) ที่จัดเรียงเป็นชุดของระดับ O (Octaves) และระดับย่อย S เริ่มต้นจากภาพต้นฉบับ โดยไม่ต้องทำการดาวน์แซมปลิงใด ๆ ในแต่ละภาพใหม่อีกเทพที่ทำใน SIFT ชุดของอีกเทพและระดับย่อยจะถูกระบุโดยแยกจากกันดัชนีอีกเทพ o และระดับย่อยหนึ่ง s มีการแมปดัชนีระดับอีกเทพและระดับย่อยเป็นสเกลที่สอดคล้องกัน σ ด้วยสมการที่ 2.53

$$\sigma_i(o, s) = \sigma_0 2^{o+s/S}, o \in [0 \dots o-1], s \in [0 \dots S-1], i \in [0 \dots N] \quad (2.53)$$

เมื่อ σ_0 = สเกลเริ่มต้น

N = จำนวนภาพทั้งหมดที่ผ่านการกรองแล้ว

จากนั้นทำการแปลงชุดของระดับสเกลที่ไม่ต่อเนื่องในหน่วยพิกเซล σ_i ไปเป็นหน่วยเวลา การแปลงนี้เป็นเพราะการกรองการแพร่กระจายแบบไม่เชิงเส้นถูกกำหนดเป็นเงื่อนไขเวลา ในกรณีของสเกลสเปซแบบเกาส์เซียน การบิดเบี้ยวของภาพด้วยเกาส์เซียนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ (หน่วยเป็นพิกเซล) เทียบเท่ากับการกรองภาพเป็นระยะเวลาหนึ่ง $t = \sigma^2/2$ เราใช้การแปลงนี้เพื่อให้ได้เวลาวิวัฒนาการ (Evolution time) และแปลงพื้นที่สเกล $\sigma_i(o, s)$ เป็นหน่วยเวลาดังนี้ $\sigma_i \rightarrow t_i$ ดังสมการที่ 2.54

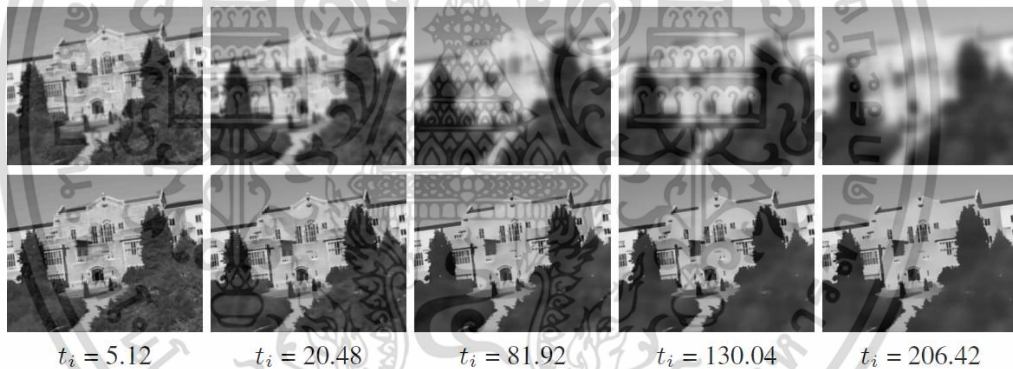
$$t_i = \frac{1}{2} \sigma_i^2, i = \{0, \dots, N\} \quad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราทำการแปลง $\sigma_i \rightarrow t_i$ เพื่อหาเวลาวิวัฒนาการ (Evolution time) เพื่อสร้างพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้น โดยทั่วไปแล้วในพื้นที่สเกลไม่เชิงเส้นที่ผ่านการกรองแล้วจะได้ค่า t_i ภาพผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับการคอนโวลูชันของภาพต้นฉบับด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ_i จากนั้นหาสมการของพื้นที่สเกลแบบเกาส์เซียน (Gaussian Scale Space) ได้โดยการกำหนดค่าการแพร่กระจายฟังก์ชัน g เท่ากับ 1 ในปริภูมิสเกลแบบไม่เชิงเส้น ฟังก์ชันการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะคงที่มากที่สุดของพิกเซลในภาพยกเว้นขอบภาพที่โดดเด่นอยู่แล้วซึ่งสอดคล้องกับขอบเขตของวัตถุ

เมื่อได้รับภาพเข้ามาแล้ว อันดับแรกจะคอนโวลูชันภาพกับเคอร์เนลเกาส์เซียนที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_0 เพื่อลดสัญญาณรบกวน จากนั้นคำนวณฮิสโทแกรมการไล่ระดับสี (Gradient) ของภาพและจะได้ค่าคอนทราสต์เท่ากับ k จากนั้นกำหนดให้ตัวแปรคอนทราสต์และเซตของ Evolution time (t_i) การสร้างพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้น ด้วยวิธีการวนซ้ำโดยใช้ AOS ซึ่งมีความเสถียรในการใช้งาน ดังสมการ 2.55 และแสดงภาพกับค่า t_i ระดับต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.50

$$L^{i+1} = (I - (t_{i+1} - t_i) \cdot \sum_{l=1}^m A_l(L^l))^{-1} L^i \quad (2.55)$$



รูปที่ 2.50 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้สเปซเกาส์เซียนกับสเปซแบบไม่เชิงเส้น

2.11.2.2 Feature Detection

การตรวจหาลักษณะเด่นในภาพจะคำนวณผลตอบสนองของดีเทอร์มิแนนต์ที่เป็นมาตราส่วนของ Hessian ที่ระดับมาตราส่วนต่าง ๆ ดังสมการที่ 2.56 สำหรับการตรวจจับคุณลักษณะแบบหลายสเกล จุดของตัวดำเนินการดิฟเฟอเรนเชียลจำเป็นต้องทำให้เป็นมาตรฐานตามสเกล (Normalized) เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว แอมพลิจูดของอนุพันธ์เชิงพื้นที่จะลดลงตามสเกล

$$L_{Hessian} = \sigma^2 (L_{xx}L_{yy} - L_{xy}^2) \quad (2.56)$$

เมื่อ $(L_{xx}, L_{yy}) =$ อนุพันธ์อันดับสองในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ

$L_{xy} =$ อนุพันธ์อันดับสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดภาพที่ผ่านการกรองจากพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้น L_i และการวิเคราะห์ผลตอบสนองที่ระดับสเกลต่าง ๆ σ_i จากนั้นค้นหาค่าสูงสุด (Maxima) ในสเกลและตำแหน่งเชิงพื้นที่และค้นหาสุดขีด (Extrema) จากภาพทั้งหมดที่ผ่านการกรองยกเว้นตำแหน่งที่ $i = 0$ และ $i = N$ จุดที่เป็นค่าสุดขีด (Extrema) จะถูกค้นหาผ่านหน้าต่างขนาด $\sigma_i \times \sigma_i$ กับภาพที่ผ่านการกรองแล้ว กำหนดให้ตำแหน่งปัจจุบันเป็น i , ตำแหน่งด้านบนเป็น $i + 1$ และตำแหน่งด้านล่างเป็น $i - 1$ เพื่อความรวดเร็วในการค้นหา extrema จะทำการกำจัดผลตอบสนองที่ไม่ใช่จุดสูงสุดออกด้วยหน้าต่างขนาด 3×3 และสุดท้ายตำแหน่งของจุดสำคัญ (Keypoint) จะถูกประมาณค่าด้วยความแม่นยำของพิกเซลย่อยโดยใช้วิธีการที่เสนอใน [17]

ชุดของอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอันดับสองถูกประมาณโดยใช้ตัวกรอง Scharr ขนาด 3×3 กับอนุพันธ์ที่มีค่า σ_i แตกต่างกัน อนุพันธ์อันดับสองถูกประมาณโดยใช้ตัวกรอง Scharr ที่ต่อเนื่องกันในพิกัดของอนุพันธ์เหล่านั้น ตัวกรองเหล่านี้มีค่าความแปรปรวนของการหมุนโดยประมาณที่ดีกว่าตัวกรองแบบอื่น เช่นตัวกรอง Sobel เราจำเป็นต้องคำนวณอนุพันธ์หลายมาตราส่วนสำหรับทุก ๆ พิกเซล

2.11.2.3 Feature Description

Finding the Dominant Orientation เพื่อให้ได้ตัวอธิบาย (Descriptor) ที่ไม่แปรผันตามการหมุน จำเป็นต้องประมาณการวางแนวที่เด่นชัดรอบ ๆ จุดสำคัญ ซึ่งจะคล้ายคลึงกับอัลกอริทึม SURF การวางแนวที่เด่นชัดในพื้นที่วงกลมกับรัศมีเท่ากับ $6\sigma_i$ กับการสุ่มตัวอย่างขนาด σ_i พิจารณาตัวอย่างในพื้นที่วงกลม อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง L_x และ L_y จะถูกถ่วงน้ำหนักด้วยเกาส์เซียนตรงจุดสนใจ จากนั้นคำตอบเชิงอนุพันธ์จะถูกแสดงเป็นจุดในปริภูมิเวกเตอร์ และพบการวางแนวที่เด่นชัดได้โดยการรวมผลตอบสนองภายในส่วนของวงกลมที่ครอบคลุมมุม $\pi/3$ โดยจะเวกเตอร์ที่ยาวที่สุดจะเป็นการวางแนวที่เป็นลักษณะเด่น

Building the Descriptor ตัวอธิบาย M-SURF ที่ปรับให้เข้ากับพื้นที่สเกลแบบไม่เชิงเส้นของกรอบพื้นที่ขนาด สำหรับลักษณะเด่นที่ตรวจพบที่สเกล σ_i อนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง L_x และ L_y มีขนาด σ_i จะถูกคำนวณบนกริดสี่เหลี่ยมขนาด $24\sigma_i \times 24\sigma_i$ ตารางกริดนี้ถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อย 4×4 ขนาด $9\sigma_i \times 9\sigma_i$ โดยทับซ้อนกันที่ $2\sigma_i$ คำตอบเชิงอนุพันธ์ในแต่ละอนุภูมิภาคมีการถ่วงน้ำหนักด้วยเกาส์เซียน ($\sigma_1 = 2.5\sigma_i$) ซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่ศูนย์กลางของอนุภูมิภาคและรวมเข้ากับเวกเตอร์คำอธิบาย $d_v = (\sum L_x, \sum L_y, \sum |L_x|, \sum |L_y|)$ จากนั้น เวกเตอร์แต่ละภูมิภาคย่อยจะถูกถ่วงน้ำหนักโดยใช้เกาส์เซียน ($\sigma_i = 1.5\sigma_i$) ที่กำหนดบนหน้ากากขนาด 4×4 และอยู่กึ่งกลางที่จุดสำคัญที่น่าสนใจ เมื่อพิจารณาการวางแนวที่เด่นชัดของจุดสำคัญ แต่ละตัวอย่างในตารางสี่เหลี่ยมจะถูกหมุนตามแนวทางที่เป็นลักษณะเด่น นอกจากนี้อนุพันธ์ยังถูกคำนวณตามการวางแนวหลัก สุดท้ายเวกเตอร์อธิบายของความยาว 64 จะถูกทำให้เป็นมาตรฐานเพื่อเป็นเวกเตอร์ที่ไม่มีความแปรผัน

2.12 โปรแกรม MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และการเขียนโปรแกรม โดยเฉพาะกับงานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ ที่มีประสิทธิภาพสูง มีความสามารถครอบคลุม ตั้งแต่ การพัฒนาอัลกอริทึม การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการทำจำลองระบบ การสร้างระบบควบคุม และโดยเฉพาะเรื่อง image processing และ wavelet การสร้างเมตริกซ์ สามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อให้ MATLAB ประมวลผลไปเรื่อย ๆ หรือสามารถที่จะรวบรวม ชุดคำสั่งเรานั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของ MATLAB ก็คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บใน ลักษณะของแถวลำดับ คือในแต่ละตัวแปรจะได้รับ การแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็ก ๆ ขึ้นการคำนวณของโปรแกรม MATLAB อยู่ในรูปของเมตริกซ์ นอกจากนี้ โปรแกรม MATLAB ยังมี Graphical User Interface (GUI) ที่ทำให้ผู้ใช้งานทำงานได้ง่ายขึ้น ทำให้ การสร้างโปรแกรมประยุกต์เฉพาะที่ผู้ใช้ต้องการสามารถทำได้โดยง่าย ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ โปรแกรม MATLAB ถูกนำมาใช้งานทั้งในการเรียนการสอนหรือนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอย่าง แพร่หลาย ตัวอย่างคุณสมบัติต่าง ๆ ของ MATLAB เช่น Data Analytics , wireless Communications , Deep Learning , Computer Vision , Robotics , Control Systems โปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 2.51



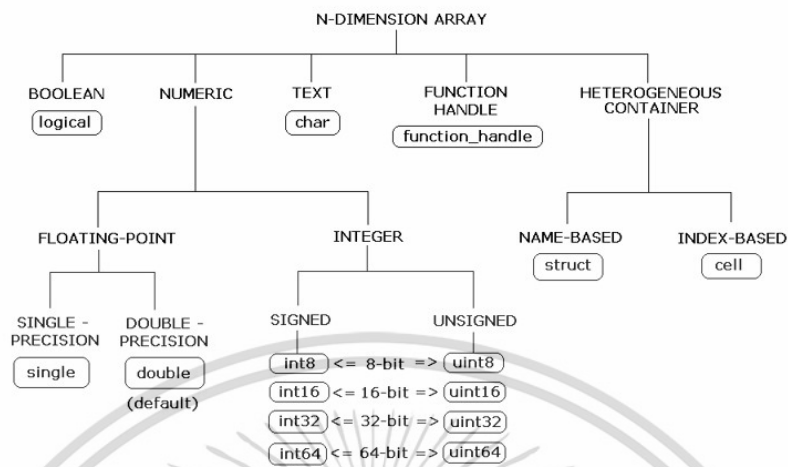
รูปที่ 2.51 โปรแกรม MATLAB

การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม MATLAB ไม่ยากมากเนื่องจากตัวโปรแกรมมีเครื่องมือสำหรับใช้ งานไว้ค่อนข้างครบและครอบคลุมในทุกด้าน เมนูหลักสำหรับใช้งานจะแบ่งออกเป็นแถบเมนูหลัก ด้านบนเรียกว่า Ribbon, พื้นที่เขียนโปรแกรม(Editor) ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมคล้ายกับ Text Editor ทั่วไป ใช้วิเคราะห์โปรแกรมและควบคุมการทำงานของโปรแกรม , พื้นที่แสดงตัวแปร (Workspace) ส่วนนี้จะให้แสดงและบอกชนิดตัวแปรที่กำลังใช้งาน , พื้นที่แสดงไดเรกทอรีหรือพาธ (Path) ปัจจุบันที่กำลังเรียกใช้งาน รูปที่ 2.52 แสดงหน้าต่างสำหรับทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.1 ชนิดของข้อมูล

โปรแกรม MATLAB สามารถจำแนกชนิดของข้อมูลที่ใช้งานได้ดัง รูปที่ 2.52



รูปที่ 2.52 ชนิดข้อมูล

2.12.2 การอ่านภาพและการแสดงภาพด้วยโปรแกรม MATLAB

1) การอ่านภาพ

โปรแกรม MATLAB ใช้คำสั่ง `imread` ในการอ่านข้อมูลภาพเข้ามาในเมทริกซ์ ลักษณะการใช้งานดังนี้

```
imread('filename')
```

2) การแสดงภาพ

โปรแกรม MATLAB ใช้คำสั่ง `imshow` ในการแสดงภาพ ลักษณะการใช้งานดังนี้

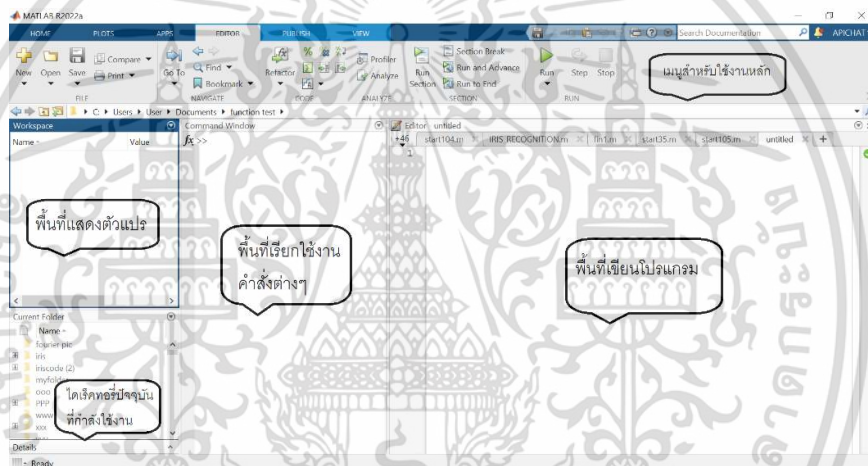
```
imshow(เมทริกซ์ของภาพ)
```

2.12.3 การเขียนโปรแกรม MATLAB

การเขียนโปรแกรมใน MATLAB สามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ แบบ script และแบบ Function ซึ่งทั้งสองแบบจะมีการใช้งานที่ต่างกัน โดยการเขียนโปรแกรมแบบ Script เหมาะกับการใช้งานเป็นแบบชุดคำสั่ง และต้องใช้ตัวแปรที่ปรากฏทุกตัวแปร ส่วนการเขียนโปรแกรมแบบ Function จะสนใจตัวแปรเข้าและตัวแปรออกเท่านั้น ข้อแตกต่างกันแสดงดังตาราง 2.2 และแสดงหน้าตาสำหรับเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 2.53

ตารางที่ 2.2 การใช้งาน Script และ Function

Script	Function
ตัวแปรทุกตัวเป็นแบบ Global	ตัวแปรภายในเป็นแบบ Local ทั้งหมด
ตัวแปรทุกตัวเหลืออยู่ใน Workspace เมื่อรันเสร็จสิ้น	มีแต่ตัวแปรเข้าและออกเท่านั้นที่เหลืออยู่ใน Workspace
ใช้ชื่อเพิ่มในการเรียก	ต้องประกาศชื่อฟังก์ชัน ตัวแปรเข้าและออก กรณีเป็นฟังก์ชันหลักใช้ชื่อเพิ่มข้อมูลในการเรียก และในกรณีเป็นฟังก์ชันย่อยใช้ชื่อฟังก์ชันเรียก



รูปที่ 2.53 หน้าต่างสำหรับเขียนโปรแกรม

2.12.4 กราฟฟิกและการวาดกราฟ

โปรแกรม MATLAB สามารถวาดกราฟได้ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยสามารถแสดงภาพ และกราฟชนิดต่าง ๆ เช่น กราฟแท่ง กราฟเส้น เป็นต้น

1) การวาดกราฟสามารถทำได้โดยการป้อนค่า 2 ประเภท คือ ค่าพิกัดหรือป้อนเป็นสมการ ใช้คำสั่งดังนี้

Plot(X,Y,LineStyle)

โดย X คือ อาร์เรย์ของพิกัด x ของคู่อันดับ (x,y)

Y คือ อาร์เรย์ของพิกัด y ของคู่อันดับ (x,y)

LineStyle คือ การกำหนดรูปแบบของเส้นที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 การเขียนโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้งาน (GUI)

ส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้งาน (Graphical User Interface, GUI) เป็นส่วนที่คอยติดต่อระหว่างตัวโปรแกรมหลักกับผู้ใช้งาน เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งานมากขึ้น การสร้าง GUI จะประกอบด้วยวัตถุส่วนติดต่อผู้ใช้ ดังนี้

- 1) Edit Text ใช้สำหรับป้อนข้อมูล
- 2) Static Text ใช้สำหรับแสดงข้อความต่าง ๆ
- 3) Push Button ใช้สำหรับกดเพื่อใช้เป็นการตอบตกลงหรือยกเลิก
- 4) Pop-up Menu ใช้สำหรับเป็นรายการเพื่อให้ผู้ใช้งานเลือก
- 5) Slider Bar ใช้สำหรับปรับเพิ่มหรือลดค่า
- 6) Radio Button ใช้สำหรับเป็นรายการให้เลือก
- 7) Check Box ใช้สำหรับเลือกเปิดหรือปิด
- 8) Axes ใช้สำหรับแสดงกราฟฟิก เช่น กราฟ ภาพ เป็นต้น
- 9) List Box ใช้สำหรับเป็นรายการให้ผู้ใช้งานเลือก



รูปที่ 2.54 หน้าต่างสำหรับเขียนกราฟฟิก

2.13 กล้องเว็บแคม

กล้องเว็บแคมเป็นอุปกรณ์สำหรับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อการสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต สามารถสื่อสารได้ทั้งภาพและเสียง นำมาใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น การเรียนออนไลน์ การประชุมออนไลน์ เป็นต้น โดยกล้องเว็บแคมมีราคาตั้งแต่หลักร้อยบาทไปจนถึงหลายพันบาท เว็บแคมที่ใช้ในงานวิจัย คือกล้อง OKER Model 088 ดังรูปที่ 2.55



รูปที่ 2.55 กล้องเว็บแคม

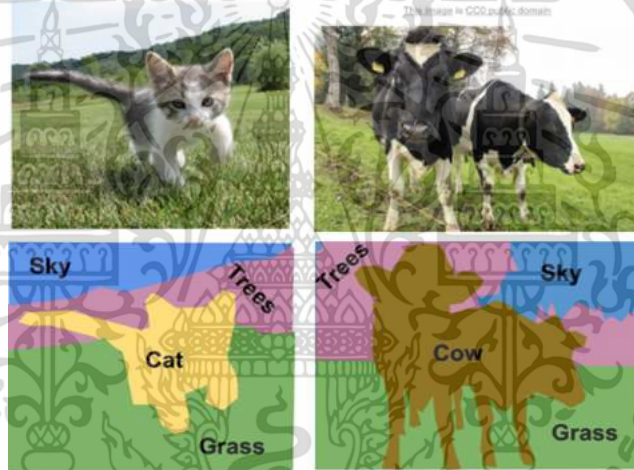
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การแยกส่วนม่านตาและการหาลักษณะเด่นเพื่อระบุตัวตน

บทนี้จะกล่าวถึงการแยกส่วนม่านตาออกจากภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเนื่องจากจะช่วยเพิ่มความถูกต้องของกระบวนการรู้จำม่านตามากยิ่งขึ้น โดยจะอธิบายถึงวิธีการและขั้นตอนการปรับปรุงภาพก่อนนำไปแยกส่วนโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการทำงานแต่ละขั้นตอน โดยจะอธิบายทั้งในส่วนของการปรับปรุงภาพ การแยกส่วนม่านตาออกจากภาพและการระบุตัวตน

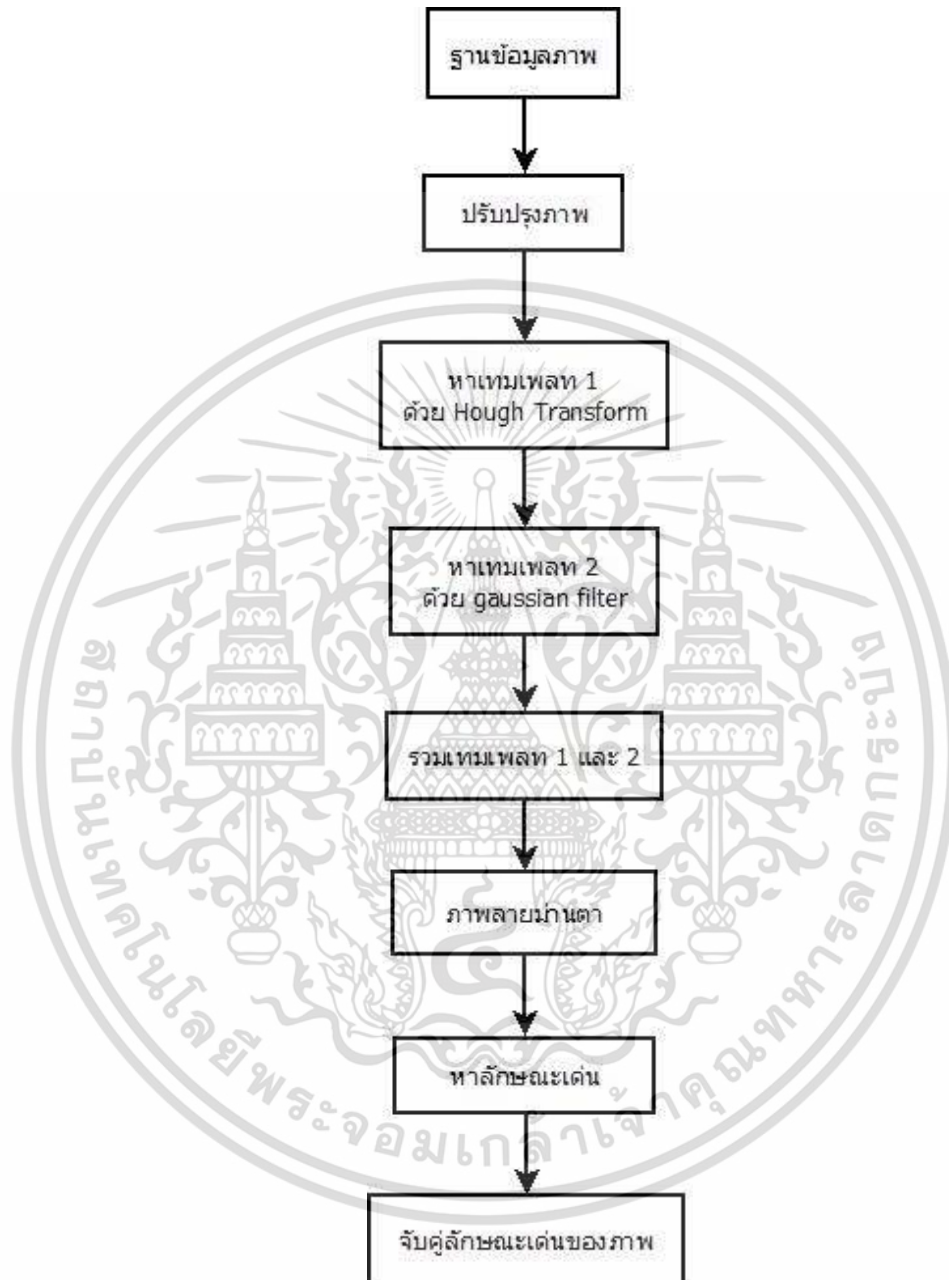
การแยกส่วนภาพนั้นจะกระทำเพื่อแยกเอาส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่สนใจออกมาจากสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในภาพ เช่น ขนตา เปลือกตา แสงที่อาจจะมากหรือน้อยเกินไปรวมทั้งพื้นที่ส่วนอื่นของภาพที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป รูปที่ 3.1 แสดงการแยกส่วนภาพ



รูปที่ 3.1 แสดงการแยกส่วนภาพ

3.1 ภาพรวมของงานวิจัย

ส่วนนี้จะแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมแต่ละส่วนตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้าย แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลำดับการทำงานของโปรแกรม

3.2 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

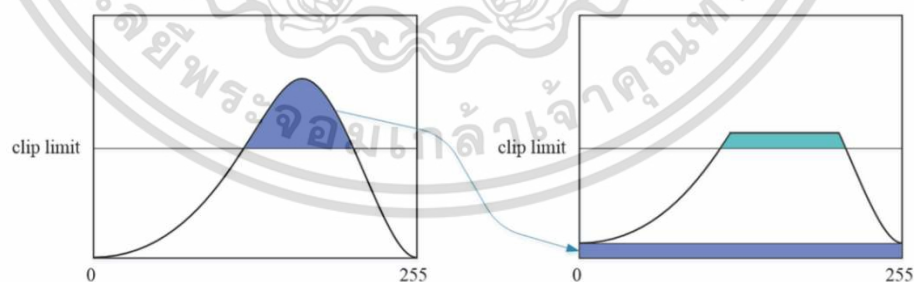
งานวิจัยนี้ใช้ฐานข้อมูลมาตรฐาน CASIA version1.0 ซึ่งเป็นฐานข้อมูลภาพตาของอาสาสมัครจำนวน 108 คน ถ่ายที่มุมมองที่แตกต่างกัน 6 มุมมอง และฐานข้อมูล MMU Iris Database ซึ่งเป็นฐานข้อมูลภาพตาของอาสาสมัครจำนวน 90 คน ถ่ายที่มุมมองที่แตกต่างกัน 4 มุมมอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การปรับปรุงภาพ

เนื่องจากรูปภาพมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ อีกทั้งสัญญาณรบกวนในภาพที่เกิดจากแสงที่อาจมีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมขณะบันทึกภาพภาพ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นอุปสรรคในการประมวลผลภาพทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงค่าความสว่างของภาพเพื่อให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุด การปรับปรุงความสว่างของภาพสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ได้แก่ การยืดคอนทราสต์แบบเชิงเส้น (Linear contrast stretch) การยืดคอนทราสต์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear contrast stretch) และ Piecewise linear contrast stretch

งานวิจัยนี้เลือกวิธีการปรับปรุงความสว่างของภาพเป็นแบบการยืดคอนทราสต์แบบไม่เชิงเส้น เนื่องจากสัญญาณรบกวนที่มาจากหลายปัจจัย เช่น ขนตา เปลือกตา ความสว่างของแสงที่ไม่เท่ากันทั่วทั้งภาพ ดังนั้นการปรับปรุงภาพในแต่ละส่วนจึงแตกต่างกันออกไป การปรับปรุงภาพแบบการยืดคอนทราสต์แบบไม่เชิงเส้นเองก็สามารถทำได้อีกหลายวิธี เช่น Histogram Equalization (HE), Adaptive Histogram Equalization (AHE), Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) เป็นต้น งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี CLAHE เนื่องจากวิธีอื่น ๆ มีแนวโน้มที่จะขยายสัญญาณรบกวนที่มากเกินไปจนทำให้ภาพมีขนาดที่เล็กถูกรบกวนได้

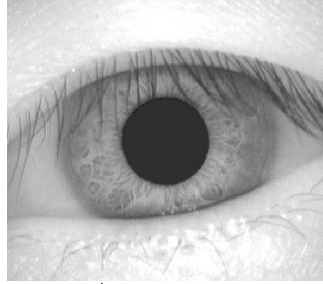
วิธี CLAHE เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธี HE และ AHE ตามลำดับ มีข้อดีที่สามารถลดการกระจายของสัญญาณรบกวนโดยการตัดฮิสโตแกรม (Clip histogram) ที่เป็นส่วนเกินจากเกณฑ์ของการตัด (N_{clip}) ที่ตั้งไว้ แล้วนำส่วนที่เกินไปกระจายให้กับค่าความสว่างอื่น ๆ ที่มีค่าความถี่สะสมไม่เกินค่าที่เป็นเกณฑ์ของการตัด ดังรูปที่ 3.3 วิธี CLAHE สามารถเลือกลักษณะการกระจายตัวของฮิสโตแกรมได้ 3 แบบ คือ uniform, Rayleigh และ exponential ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้การแจกแจงแบบ uniform ซึ่งมีความเหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์จากการนำวิธี CLAHE มาใช้ปรับปรุงความสว่างของภาพ



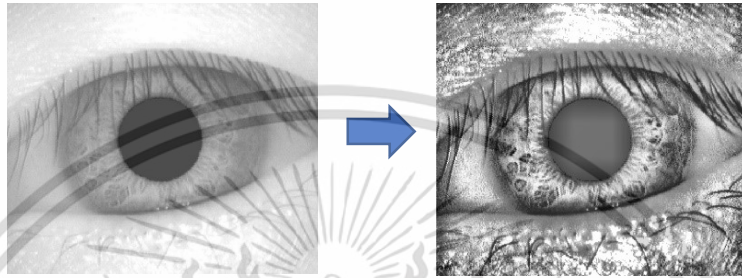
รูปที่ 3.3 การตัดฮิสโตแกรม

เริ่มต้นด้วยการอ่านภาพดวงตาที่ถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูลที่เก็บในคอมพิวเตอร์ขึ้นมาด้วยโปรแกรม MATLAB โดยภาพที่ถูกอ่านเข้ามาจะเป็นภาพระดับสีเทาที่มีนามสกุล .bmp แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปต้นฉบับ

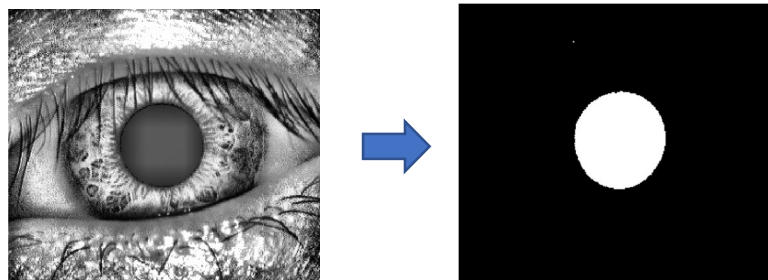


รูปที่ 3.5 ผลลัพธ์การใช้ CLAHE

3.4 การแยกส่วนม่านตา (Iris Segmentation)

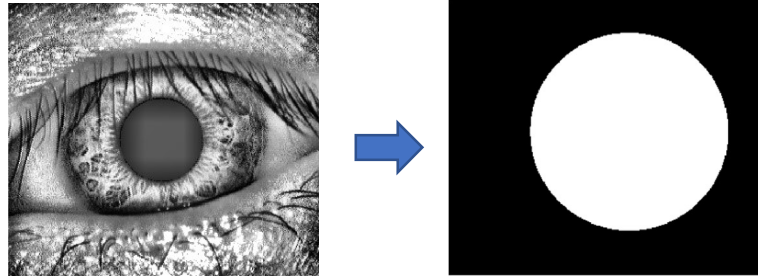
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแยกม่านตาออกมาจากภาพ โดยจะอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ เรียงไปตามลำดับ ดังนี้

1. หาดำแหน่งของรูม่านตาดำวยการกำหนดค่าเทรสโซลต์โดยกำหนดให้พื้นที่ของรูม่านตาเป็นสีขาว งานวิจัยนี้กำหนดค่าไว้ที่ 70 จากนั้นใช้ Circular Hough Transform ซึ่งเป็นอัลกอริทึมสำหรับค้นหาวงกลมในภาพ อัลกอริทึมนี้มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ได้ดีทั้งการถูกบดบังและการเปลี่ยนแปลงสภาพแสงในภาพได้ดี โดยอัลกอริทึมจะทำการสร้างตารางสะสมที่เรียกว่า accumulator cell สองมิติขึ้นมา จากนั้นทำการโหวต (Vote) ว่าพิกัดใดมีค่ามากกว่าค่าเทรสโซลต์ที่ถูกกำหนดไว้ จะทำให้ทราบว่าวงกลมที่ค้นหาพิกัดที่จุดใดบ้าง การค้นหาวงกลมจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของการค้นหาด้วยการกำหนดค่าของรัศมี ในงานวิจัยนี้ทำการค้นหาวงกลม 2 วง เป็นวงกลมเล็กคือรูม่านตา แสดงผลลัพธ์การดังรูปที่ 3.6 และวงกลมใหญ่คือขอบนอกของวงกลมม่านตา แสดงผลลัพธ์การดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 หาพื้นที่รูม่านตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

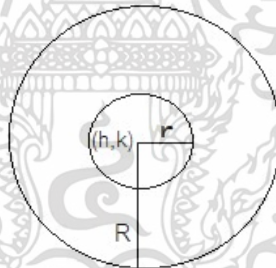


รูปที่ 3.7 หาพื้นที่วงกลมม่านตา

2. หาพื้นที่ม่านตาด้วยการสร้างเทมเพลตโดยแบ่งออกเป็นสองเทมเพลตเพื่อหาพื้นที่ของม่านตา ดังนี้

1) เทมเพลตที่หนึ่ง หาได้จากวงกลมใหญ่และวงกลมเล็กที่ซ้อนกันเป็นวงแหวน โดยที่วงกลมใหญ่ ซึ่งจะแทนพื้นที่ของม่านตากับรูม่านตา กำหนดให้วงกลมใหญ่มีรัศมี 100 และวงกลมเล็กที่จะได้จากเทมเพลตที่สอง โดยวงกลมทั้งสองมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน แสดงดังรูปที่ 3.8 จากนั้นนำวงกลมทั้งสองมาหาพื้นที่ของม่านตาดังสมการที่ 3.1 ซึ่งจะเป็นนำเอาผลลัพธ์ของสมการทั้งสองมา OR กัน ดังสมการ 3.1 จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาอินทิเกรตอีกครั้งก็จะได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่เป็นพื้นที่ของม่านตา ดังรูปที่ 3.9

$$\sim [(x - h)^2 + (y - k)^2 - R^2 > 0] \vee [(x - h)^2 + (y - k)^2 - r^2 < 0] \quad (3.1)$$



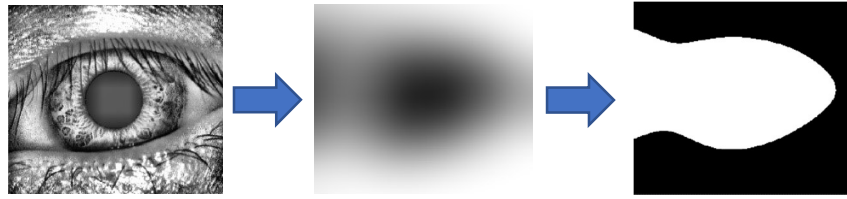
รูปที่ 3.8 เทมเพลตพื้นที่ม่านตา



รูปที่ 3.9 พื้นที่ของม่านตา

2) เทมเพลตที่สอง ขั้นตอนนี้จะเป็นการเบลอภาพเพื่อลดทอนองค์ประกอบที่เป็นรายละเอียดออกไป เพื่อทำแยกพื้นที่ของดวงตาออกจากภาพ ด้วยการใชฟังก์ชันเกาส์เซียนทำการคอนโวลูชันกับภาพที่ถูกปรับปรุค่าความสว่างแล้ว ต่อจากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของค่า

เทรชโฮลด์ที่ตั้งไว้ จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3.10
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ผลการเบลอด้วยฟังก์ชันเกาส์เซียนและเทมเพลตที่สอง

3) รวมเทมเพลตทั้งสอง



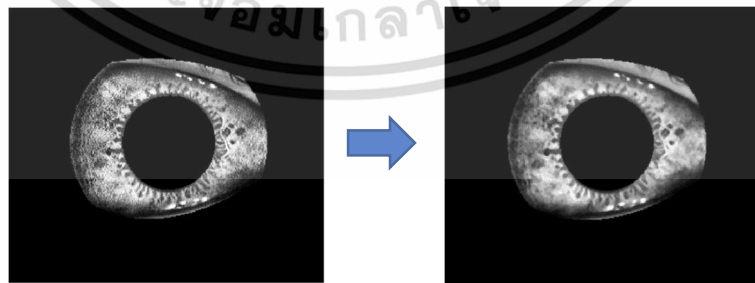
รูปที่ 3.11 ผลการรวมเทมเพลตที่หนึ่งและเทมเพลตที่สอง

4) การหาพื้นที่ม่านตาโดยใช้เทมเพลต



รูปที่ 3.12 ม่านตา

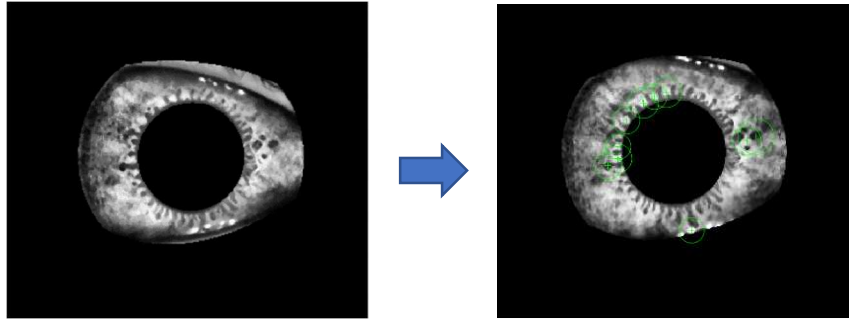
3. กำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดเล็ก ๆ ออกจากภาพด้วยตัวกรองมีเดียเนียนซึ่งเป็นตัวกรองที่คำนวณค่ามัธยฐาน ทำได้โดยการนำข้อมูลค่าระดับสีเทาของพิกเซลในหน้าต่าง (Mask) มาเรียงจากค่าน้อยไปค่ามากแล้วเลือกค่ากึ่งกลางเป็นค่ามัธยฐาน แล้วแทนค่าลงไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าต่าง แสดงผลลัพธ์การใช้ตัวกรองมีเดียเนียนดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 Median filter

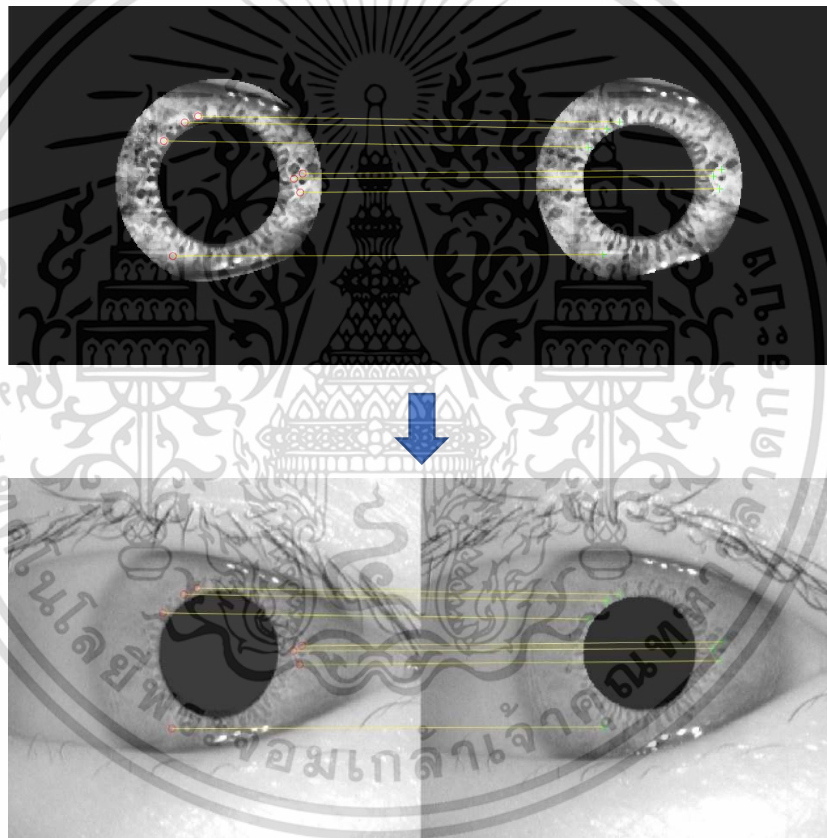
4. ใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE ตรวจสอบลักษณะเด่นในภาพ แสดงผลลัพธ์การตรวจหา
ลักษณะเด่นดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 การระบุลักษณะเด่น

5. ขั้นตอนการจับคู่ม่านตาจะนำจุดที่เป็นลักษณะเด่นจากขั้นตอนก่อนหน้ามาหาความสัมพันธ์ของระยะทางของทั้งภาพตรวจสอบและภาพจากฐานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การจับคู่ภาพ

3.5 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรม MATLAB

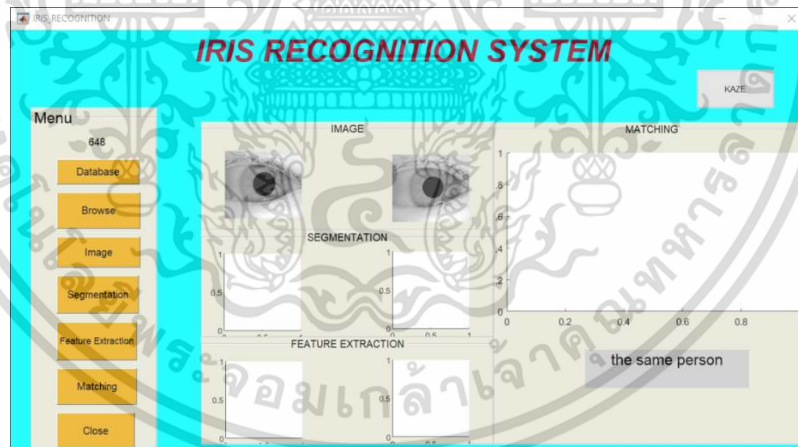
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับสร้างส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้งาน เพื่อการนำเสนอที่เข้าใจได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น จะมีทั้งในส่วนของการนำภาพเข้าสู่ระบบ การแยกส่วนม่านตา การตรวจหาลักษณะเด่นของม่านตา และการจับคู่ม่านตา โดยในหน้าต่างจะประกอบไปด้วยปุ่มกดเพื่อสั่งงานสำหรับขั้นตอนต่าง ๆ และมีหน้าต่างย่อยสำหรับแสดงกราฟฟิคของขั้นตอนต่าง ๆ

หน้าต่างการทำงานจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. MENU ส่วนนี้จะประกอบไปด้วยปุ่มกดเพื่อสั่งงานในขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

Database	ใช้ตรวจสอบจำนวนของภาพในฐานข้อมูลทั้งหมด
Browse	ใช้เรียกภาพเพื่อตรวจสอบกับภาพจากฐานข้อมูล
Image	ใช้แสดงภาพที่กำลังตรวจสอบ
Segmentation	ใช้แยกส่วนของม่านตาออกจากภาพ
Feature Extraction	ใช้ค้นหาลักษณะเด่นของภาพ
Matching	ใช้จับคู่ลักษณะเด่นของภาพทั้งสอง
Close	ใช้ปิดหน้าต่าง
KAZE, SURF	ใช้สลับหน้าต่างเพื่อเปลี่ยนอัลกอริทึม
2. หน้าต่างย่อย IMAGE ใช้แสดงภาพที่กำลังตรวจสอบทั้งสองภาพ
3. หน้าต่างย่อย SEGMENTATION ใช้แสดงม่านตาที่ถูกแยกส่วนแล้วทั้งสองภาพ
4. หน้าต่างย่อย FEATURE EXTRACTION ใช้แสดงลักษณะเด่นของภาพทั้งสอง
5. หน้าต่างย่อย MATCHING ใช้แสดงผลการจับคู่ลักษณะเด่นของภาพทั้งสอง
6. หน้าต่างย่อยแสดงผลการจับคู่ว่าเป็นบุคคลเดียวกันหรือไม่

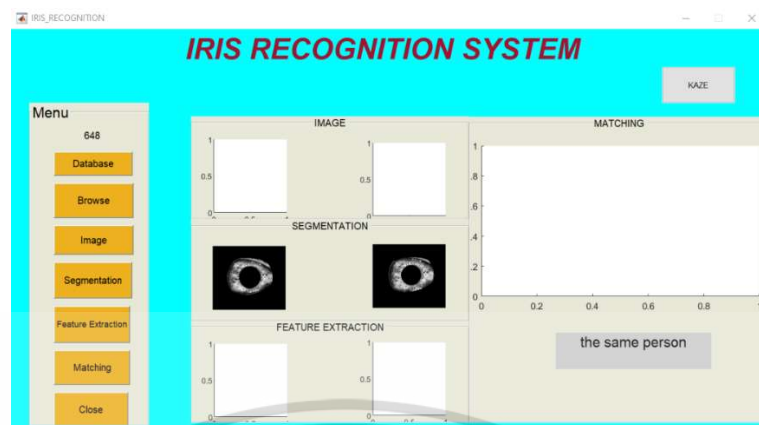
การนำภาพเข้าระบบ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การนำภาพเข้าระบบ

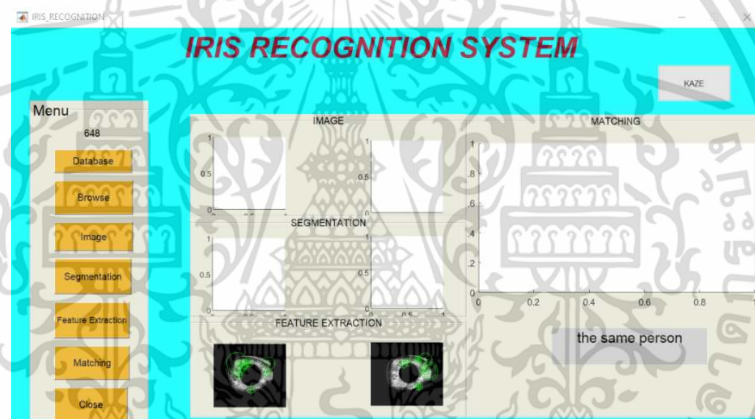
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกส่วนม่านตาออกจากภาพแสดงดังรูปที่ 3.17



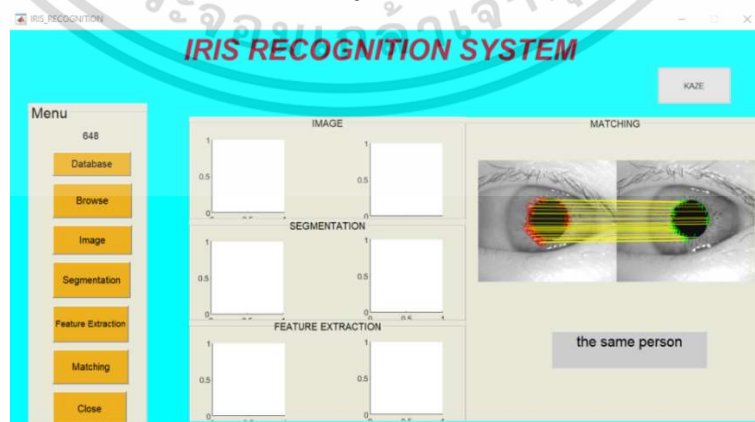
รูปที่ 3.17 การแยกส่วนม่านตา

การหาลักษณะเด่นของม่านตา แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การหาลักษณะเด่นของม่านตา

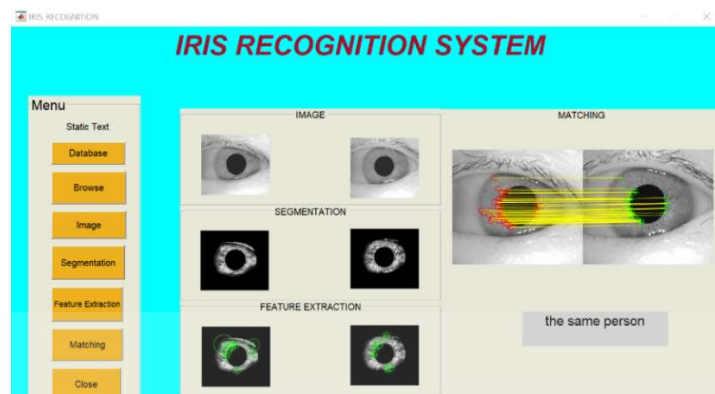
การจับคู่ลักษณะเด่นของม่านตา แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การจับคู่ลักษณะเด่นของม่านตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพรวมของระบบ แสดงดังรูปที่ 3.20



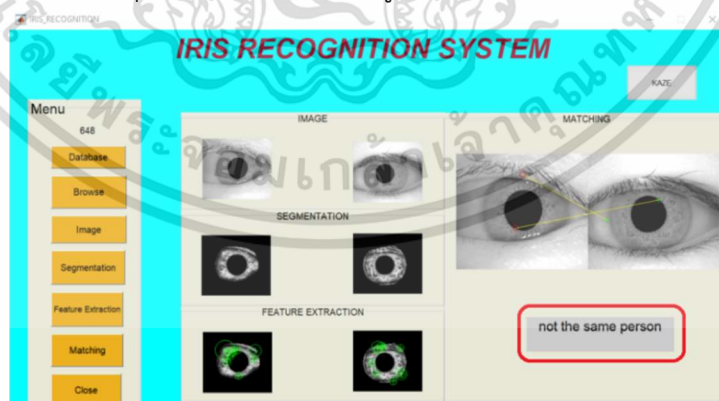
รูปที่ 3.20 ภาพรวมของระบบ

ระบบแสดงผลว่าเป็นบุคคลเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การแสดงผลว่าเป็นบุคคลเดียวกัน

ระบบแสดงผลว่าไม่ใช่บุคคลเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การแสดงผลว่าไม่ใช่บุคคลเดียวกัน

จากการทดลองพบว่ายังมีภาพอยู่จำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถแยกส่วนออกมาได้ เนื่องจากปัญหา
 ขณะบันทึกภาพที่อาจมีแสงมากจนเกินไป และแสดงผลในบทที่ 4 ต่อไป
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพที่ถูกนำมาแยกส่วนมานตาแลพภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนมานตา จากนั้นทำการทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE ว่าอัลกอริทึมใดจะมีความเหมาะสมกว่ากันเมื่อนำมาใช้ค้นหาและจับคู่ลักษณะเด่นของมานตา โดยภาพมานตาเหล่านั้นได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB ตั้งแต่การปรับปรุงภาพ การแยกส่วนภาพที่เป็นมานตาด้วยการมใช้อัลกอริทึม Hough transform และ Gaussian filter เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน เช่น ขนตาและเปลือกตา โดยการทดลองจะเปรียบเทียบค่าระยะทางในภาพโดยหาผลต่างของเมทริกซ์ที่ได้จากการแมพ (Mapping) กับเมทริกซ์ของภาพต้นฉบับ ถ้าผลต่างมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเทรโซลด์ที่ตั้งไว้คือ 0.15 ให้ระบุว่าเป็นบุคคลเดียวกัน แต่ถ้ามีค่าอยู่นอกเหนือจากค่าที่กำหนดให้ระบุว่ามีคนคนเดียวกัน โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของบุคคลเดียวกันออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ กำหนดไว้ดังนี้

สำหรับฐานข้อมูล CASIA vesion 1.0 ทดสอบทั้งหมด 6 มุมมองที่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์ตรงกัน 6 ภาพ เท่ากับร้อยละ 100

ผลลัพธ์ตรงกัน 5 ภาพ เท่ากับร้อยละ 83

ผลลัพธ์ตรงกัน 4 ภาพ เท่ากับร้อยละ 63

ผลลัพธ์ตรงกัน 3 ภาพ เท่ากับร้อยละ 50

ผลลัพธ์ตรงกัน 2 ภาพ เท่ากับร้อยละ 33

ผลลัพธ์ตรงกัน 1 ภาพ เท่ากับร้อยละ 17

ผลลัพธ์ตรงกัน 0 ภาพ เท่ากับ 0

สำหรับฐานข้อมูล MMU ทดสอบทั้งหมด 4 มุมมองที่แตกต่างกัน

ผลลัพธ์ตรงกัน 4 ภาพ เท่ากับร้อยละ 100

ผลลัพธ์ตรงกัน 3 ภาพ เท่ากับร้อยละ 75

ผลลัพธ์ตรงกัน 2 ภาพ เท่ากับร้อยละ 50

ผลลัพธ์ตรงกัน 1 ภาพ เท่ากับร้อยละ 25

ผลลัพธ์ตรงกัน 0 ภาพ เท่ากับ 0

4.1 ผลการทดลองการรู้จำมานตาของภาพที่ถูกแยกส่วนกับไม่ถูกแยกส่วนและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE

การทดลองระบุตัวบุคคลจะแบ่งออกเป็น 8 ตาราง ทดสอบด้วยฐานข้อมูล 2 ชุด นำไปทดสอบกับภาพต้นฉบับและภาพที่ถูกแยกส่วนมานตา แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

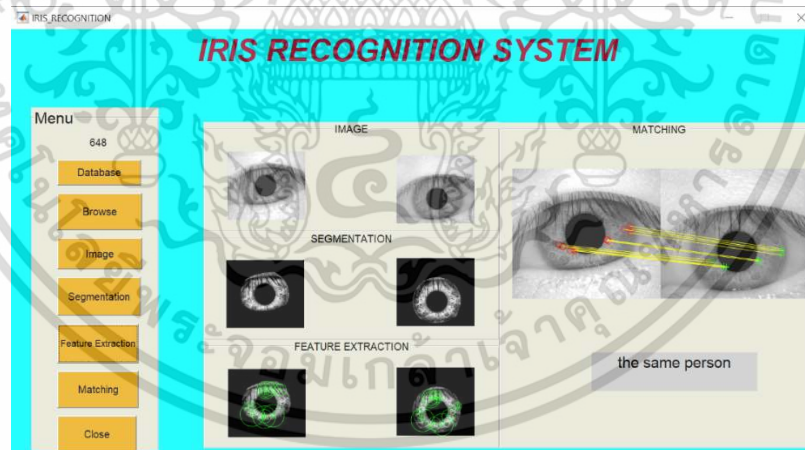
1. ทดสอบกับภาพที่ถูกแยกส่วนม่านตา แสดงดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4

ฐานข้อมูล CASIA version 1.0	ผลการทดสอบ SURF เท่ากับร้อยละ 86.2	KAZE เท่ากับร้อยละ 95.3
ฐานข้อมูล MMU	ผลการทดสอบ SURF เท่ากับร้อยละ 59.1	KAZE เท่ากับร้อยละ 79.4
2. ทดสอบกับภาพไม่ถูกแยกส่วนม่านตาหรือภาพต้นฉบับ แสดงดังตารางที่ 4.5, 4.6, 4.7, 4.8

ฐานข้อมูล CASIA version 1.0	ผลการทดสอบ SURF เท่ากับร้อยละ 17	KAZE เท่ากับร้อยละ 52.1
ฐานข้อมูล MMU	ผลการทดสอบ SURF เท่ากับร้อยละ 2.5	KAZE เท่ากับร้อยละ 7.2

ผลการทดลองใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE กับภาพที่ผ่านการแยกส่วนม่านตาและภาพที่ไม่ผ่านการแยกส่วน พบว่าภาพที่ผ่านการแยกส่วนม่านตาสามารถระบุตัวตนได้ดีกว่าทั้งสองอัลกอริทึม โดยที่อัลกอริทึม KAZE นั้นสามารถทำได้ดีกว่าอัลกอริทึม SURF

การทดลองนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ทุกขั้นตอนพร้อมทั้งใช้สร้างหน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้งานเพื่อง่ายต่อการเข้าใจและการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 หน้าต่างแสดงระบบรู้จำม่านตา

ผลการทดลองทั้ง 8 ตาราง ได้แก่

1. ตารางที่ 1 ฐานข้อมูล CASIA version 1.0, แยกส่วนม่านตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF
2. ตารางที่ 2 ฐานข้อมูล CASIA version 1.0, แยกส่วนม่านตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตารางที่ 3 ฐานข้อมูล MMU, แยกส่วนมานตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF
4. ตารางที่ 4 ฐานข้อมูล MMU, แยกส่วนมานตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE
5. ตารางที่ 5 ฐานข้อมูล CASIA vesion 1.0, ไม่แยกส่วนมานตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF
6. ตารางที่ 6 ฐานข้อมูล CASIA vesion1.0,ไม่แยกส่วนมานตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE
7. ตารางที่ 7 ฐานข้อมูล MMU, ไม่แยกส่วนมานตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF
8. ตารางที่ 8 ฐานข้อมูล MMU, ไม่แยกส่วนมานตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนผลลัพธ์ในตารางผลการทดลอง ได้แก่

- | หมายถึง การจับคู่เป็นบุคคลเดียวกัน
- หมายถึง การจับคู่เป็นไม่เป็นบุคคลเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ฐานข้อมูล CASIA version 1.0 แยกส่วนอ่านตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF

บุคคลที่	จำนวนภาพที่ทดสอบ	SURF						จำนวนภาพที่ระบุได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ภาพที่ระบุได้ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
1	6							6	100
2	6							6	100
3	6							6	100
4	6			○	○	○	○	2	33
5	6			○	○	○	○	2	33
6	6		○					5	83
7	6							6	100
8	6						○	5	83
9	6							6	100
10	6							6	100
11	6					○	○	4	67
12	6			○		○	○	3	50
13	6			○				5	83
14	6							6	100
15	6			○				5	83
16	6				○			5	83
17	6							6	100
18	6	○			○		○	3	50
19	6					○		5	83
20	6							6	100
21	6						○	5	83
22	6							6	100
23	6							6	100
24	6							6	100
25	6							6	100
26	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
27	6	○						5	83
28	6				○	○		4	67
29	6							6	100
30	6							6	100
31	6						○	5	83
32	6			○				5	83
33	6							6	100
34	6							6	100
35	6			○				5	83
36	6							6	100
37	6							6	100
38	6							6	100
39	6							6	100
40	6		○			○		4	67
41	6		○	○	○	○		2	33
42	6							6	100
43	6							6	100
44	6							6	100
45	6							6	100
46	6							6	100
47	6					○		5	83
48	6				○	○		4	67
49	6					○	○	4	67
50	6				○	○	○	3	50
51	6	○						5	83
52	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลอื่นที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
53	6							6	100
54	6							6	100
55	6							6	100
56	6							6	100
57	6		○	○	○	○		2	33
58	6							6	100
59	6				○			5	83
60	6							6	100
61	6						○	5	83
62	6							6	100
63	6							6	100
64	6				○		○	4	67
65	6	○			○	○	○	2	33
66	6							6	100
67	6							6	100
68	6				○			5	83
69	6							6	100
70	6					○		5	83
71	6	○			○			4	67
72	6							6	100
73	6			○				5	83
74	6		○				○	4	67
75	6							6	100
76	6							6	100
77	6							6	100
78	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้คนอื่นไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
79	6							6	100
80	6							6	100
81	6							6	100
82	6					○	○	4	67
83	6							6	100
84	6							6	100
85	6							6	100
86	6							6	100
87	6	○						5	83
88	6			○				5	83
89	6							6	100
90	6							6	100
91	6							6	100
92	6							6	100
93	6						○	5	83
94	6				○			5	83
95	6							6	100
96	6						○	5	83
97	6							6	100
98	6				○			5	83
99	6						○	5	83
100	6			○				5	83
101	6		○					5	83
102	6							6	100
103	6					○	○	4	67
104	6		○	○				4	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
105	6			○				5	83
106	6			○	○	○		3	50
107	6	○	○	○	○	○		1	17
108	6				○	○		4	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ฐานข้อมูล CASIA vesion1.0 แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE

บุคคลที่	จำนวนภาพที่ทดสอบ	KAZE						จำนวนภาพที่ระบุได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ภาพที่ระบุได้ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
1	6							6	100
2	6							6	100
3	6							6	100
4	6							6	100
5	6							6	100
6	6							6	100
7	6							6	100
8	6							6	100
9	6							6	100
10	6							6	100
11	6							6	100
12	6							6	100
13	6							6	100
14	6							6	100
15	6			○				5	83
16	6							6	100
17	6							6	100
18	6				○		○	4	67
19	6							6	100
20	6							6	100
21	6						○	5	83
22	6							6	100
23	6							6	100
24	6							6	100
25	6							6	100
26	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
27	6							6	100
28	6		○					5	83
29	6							6	100
30	6							6	100
31	6							6	100
32	6							6	100
33	6							6	100
34	6							6	100
35	6							6	100
36	6							6	100
37	6							6	100
38	6							6	100
39	6							6	100
40	6							6	100
41	6	○	○	○	○			2	33
42	6							6	100
43	6							6	100
44	6							6	100
45	6							6	100
46	6							6	100
47	6							6	100
48	6							6	100
49	6							6	100
50	6							6	100
51	6							6	100
52	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
53	6							6	100
54	6			○		○		4	67
55	6							6	100
56	6							6	100
57	6		○	○		○		3	50
58	6						○	5	83
59	6							6	100
60	6							6	100
61	6							6	100
62	6							6	100
63	6							6	100
64	6							6	100
65	6						○	5	83
66	6							6	100
67	6							6	100
68	6							6	100
69	6							6	100
70	6							6	100
71	6	○						5	83
72	6							6	100
73	6				○			5	83
74	6		○					5	83
75	6							6	100
76	6							6	100
77	6							6	100
78	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
79	6							6	100
80	6							6	100
81	6							6	100
82	6							6	100
83	6							6	100
84	6							6	100
85	6							6	100
86	6							6	100
87	6							6	100
88	6			○				5	83
89	6							6	100
90	6							6	100
91	6							6	100
92	6							6	100
93	6							6	100
94	6							6	100
95	6	○						5	83
96	6				○	○		4	67
97	6							6	100
98	6				○			5	83
99	6							6	100
100	6							6	100
101	6							6	100
102	6							6	100
103	6					○	○	4	67
104	6							6	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

บุคคล ที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
105	6							6	100
106	6				○	○	○	3	50
107	6							6	100
108	6		○					5	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ฐานข้อมูล MMU แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
1	4	○				3	75
2	4		○	○		2	50
3	4			○	○	2	50
4	4					4	100
5	4				○	3	75
6	4			○	○	2	50
7	4					4	100
8	4					4	100
9	4	○				3	75
10	4	○	○	○	○	0	0
11	4					4	100
12	4				○	3	75
13	4		○	○	○	1	25
14	4	○	○	○	○	0	0
15	4	○		○	○	1	25
16	4					4	100
17	4	○	○			2	50
18	4	○				3	75
19	4			○	○	2	50
20	4					4	100
21	4					4	100
22	4			○		3	75
23	4			○	○	2	50
24	4		○		○	2	50
25	4		○			3	75
26	4	○	○		○	1	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
27	4		○	○	○	1	25
28	4					4	100
29	4	○				3	75
30	4			○		3	75
31	4					4	100
32	4					4	100
33	4				○	3	75
34	4		○			3	75
35	4	○		○	○	1	25
36	4	○	○	○		1	25
37	4				○	3	75
38	4		○	○		2	50
39	4					4	100
40	4		○		○	2	50
41	4				○	3	75
42	4		○	○	○	1	25
43	4		○			3	75
44	4	○	○		○	1	25
45	4			○		3	75
46	4					4	100
47	4		○		○	2	50
48	4		○		○	2	50
49	4	○				3	75
50	4	○		○		2	50
51	4	○	○	○	○	0	0
52	4					4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
53	4		○			3	75
54	4					4	100
55	4	○			○	2	50
56	4					4	100
57	4	○		○		2	50
58	4	○		○	○	1	25
59	4	○		○	○	1	25
60	4	○			○	2	50
61	4		○	○	○	1	25
62	4	○	○	○	○	0	0
63	4	○		○	○	1	25
64	4	○	○		○	1	25
65	4			○		2	50
66	4					4	100
67	4			○	○	2	50
68	4			○		3	75
69	4				○	3	75
70	4	○				3	75
71	4	○	○		○	1	25
72	4	○	○	○	○	0	0
73	4		○		○	2	50
74	4				○	3	75
75	4	○			○	2	50
76	4	○	○	○	○	0	0
77	4		○	○	○	1	25
78	4					4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
79	4	○	○	○	○	0	0
80	4				○	3	75
81	4					4	100
82	4		○	○	○	1	25
83	4	○		○	○	1	25
84	4			○	○	2	50
85	4				○	3	75
86	4				○	3	75
87	4				○	3	75
88	4				○	3	75
89	4			○		3	75
90	4	○				3	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ฐานข้อมูล MMU แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
1	4	○				3	75
2	4	○	○			2	50
3	4					4	100
4	4					4	100
5	4					4	100
6	4					4	100
7	4					4	100
8	4					4	100
9	4					4	100
10	4			○		3	75
11	4					4	100
12	4					4	100
13	4		○		○	2	50
14	4	○	○	○	○	0	0
15	4			○		3	75
16	4					4	100
17	4		○			3	75
18	4	○			○	2	50
19	4				○	3	75
20	4					4	100
21	4					4	100
22	4					4	100
23	4				○	3	75
24	4				○	3	75
25	4	○				3	75
26	4	○	○			2	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
27	4	○				3	75
28	4					4	100
29	4	○				3	75
30	4					4	100
31	4					4	100
32	4					4	100
33	4					4	100
34	4					4	100
35	4			○	○	2	50
36	4					4	100
37	4					4	100
38	4					4	100
39	4					4	100
40	4				○	3	75
41	4					4	100
42	4		○	○	○	1	25
43	4		○			3	75
44	4			○		3	75
45	4					4	100
46	4					4	100
47	4	○			○	2	50
48	4	○		○	○	1	25
49	4					4	100
50	4	○	○		○	1	25
51	4		○	○	○	1	25
52	4			○		3	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
53	4					4	100
54	4					4	100
55	4	○				3	75
56	4		○			3	75
57	4					4	100
58	4					4	100
59	4			○	○	2	50
60	4	○			○	2	50
61	4		○		○	2	50
62	4	○	○			2	50
63	4					4	100
64	4					4	100
65	4					4	100
66	4					4	100
67	4					4	100
68	4					3	75
69	4					4	100
70	4	○				3	75
71	4					4	100
72	4			○	○	2	50
73	4					4	100
74	4					4	100
75	4				○	3	75
76	4		○		○	2	50
77	4					4	100
78	4					4	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
79	4	○	○	○		1	25
80	4			○		3	75
81	4	○				3	75
82	4			○		3	75
83	4	○				3	75
84	4					4	100
85	4					4	100
86	4			○	○	2	50
87	4				○	3	75
88	4					4	100
89	4			○		3	75
90	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ฐานข้อมูล CASIA vesion 1.0 ไม่แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF

บุคคลที่	จำนวนภาพที่ทดสอบ	SURF						จำนวนภาพที่ระบุได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ภาพที่ระบุได้ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
1	6	○	○	○	○			1	17
2	6	○	○	○	○	○	○	0	0
3	6							4	67
4	6	○	○	○	○	○	○	0	0
5	6	○	○	○	○	○	○	0	0
6	6	○	○	○		○	○	1	17
7	6	○	○	○		○	○	1	17
8	6	○	○	○	○	○	○	0	0
9	6	○	○	○	○	○	○	0	0
10	6	○	○	○	○	○	○	0	0
11	6				○		○	4	67
12	6		○			○	○	3	50
13	6							6	100
14	6	○	○	○	○	○	○	0	0
15	6	○	○	○	○	○	○	0	0
16	6	○	○	○		○	○	1	17
17	6	○			○	○	○	2	33
18	6	○	○	○	○	○	○	0	0
19	6	○	○	○	○	○	○	0	0
20	6	○	○	○	○	○	○	0	0
21	6	○	○	○	○	○	○	0	0
22	6	○	○	○	○	○	○	0	0
23	6	○	○	○		○	○	1	17
24	6							6	100
25	6	○	○	○	○	○	○	0	0
26	6		○	○		○		3	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
27	6		○	○	○	○	○	1	17
28	6	○		○	○	○	○	1	17
29	6		○	○	○	○	○	1	17
30	6	○	○	○	○	○	○	0	0
31	6	○	○	○	○	○	○	0	0
32	6	○	○	○	○	○	○	0	0
33	6	○	○	○	○	○	○	0	0
34	6	○	○	○	○	○	○	0	0
35	6	○	○	○	○	○	○	0	0
36	6	○	○	○	○	○	○	0	0
37	6	○	○			○	○	2	33
38	6		○	○		○		50	50
39	6	○		○	○	○		2	33
40	6	○	○	○	○	○	○	0	0
41	6	○	○	○	○			2	33
42	6				○		○	4	67
43	6	○	○	○	○	○	○	0	0
44	6	○		○			○	3	50
45	6	○	○	○	○	○		1	17
46	6	○		○		○		3	50
47	6	○	○	○	○	○	○	0	0
48	6	○	○	○	○	○	○	0	0
49	6	○	○	○	○		○	1	17
50	6	○	○	○	○	○	○	0	0
51	6							6	100
52	6	○	○	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
53	6	○	○	○	○	○	○	0	0
54	6		○		○	○	○	2	33
55	6	○	○	○	○	○	○	0	0
56	6	○	○	○	○	○	○	0	0
57	6	○	○	○	○	○	○	0	0
58	6	○	○	○	○	○	○	0	0
59	6	○	○	○	○	○	○	0	0
60	6	○	○	○	○	○	○	0	0
61	6	○	○	○	○	○	○	0	0
62	6	○	○	○	○	○	○	0	0
63	6	○	○	○	○	○	○	0	0
64	6		○		○		○	3	50
65	6	○	○	○	○	○	○	0	0
66	6	○	○	○	○	○	○	0	0
67	6	○	○			○	○	2	33
68	6				○		○	4	67
69	6	○	○	○	○	○	○	0	0
70	6		○	○	○	○	○	1	17
71	6	○	○	○	○	○	○	0	0
72	6	○	○	○	○	○	○	0	0
73	6	○	○	○	○	○	○	0	0
74	6	○	○	○	○	○	○	0	0
75	6	○	○		○	○		2	33
76	6	○		○	○	○	○	1	17
77	6	○	○	○	○	○	○	0	0
78	6	○		○	○			3	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
79	6	○	○	○	○	○	○	0	0
80	6						○	5	83
81	6	○	○	○	○	○	○	0	0
82	6	○	○	○	○	○	○	0	0
83	6	○	○	○	○	○	○	0	0
84	6	○	○			○		3	50
85	6	○	○	○	○			2	33
86	6	○		○	○	○		2	33
87	6	○	○	○	○	○	○	0	0
88	6	○	○	○	○	○	○	0	0
89	6	○		○			○	3	50
90	6	○	○	○	○	○	○	0	0
91	6		○	○	○	○	○	1	17
92	6	○	○	○	○	○	○	0	0
93	6	○	○	○	○		○	1	17
94	6	○	○	○		○	○	1	17
95	6	○		○		○		3	50
96	6	○	○	○	○	○	○	0	0
97	6	○	○	○	○	○	○	0	0
98	6	○	○	○	○	○	○	0	0
99	6					○	○	4	67
100	6	○	○	○	○	○	○	0	0
101	6	○	○	○	○	○	○	0	0
102	6	○	○	○	○	○	○	0	0
103	6	○	○	○	○	○	○	0	0
104	6			○	○	○		3	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
105	6	○	○	○	○	○	○	0	0
106	6	○	○	○	○	○	○	0	0
107	6	○	○	○	○	○	○	0	0
108	6	○	○	○	○	○		1	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ฐานข้อมูล CASIA vesion1.0 ไม่แยกส่วนม่านตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE

บุคคลที่	จำนวนภาพที่ทดสอบ	KAZE						จำนวนภาพที่ระบุได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ภาพที่ระบุได้ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
1	6	○	○	○		○		2	33
2	6		○	○	○			3	50
3	6	○						5	83
4	6	○	○		○	○	○	1	17
5	6	○					○	4	67
6	6	○		○	○	○		2	33
7	6	○		○		○	○	2	33
8	6		○	○			○	3	50
9	6	○	○	○	○	○		1	17
10	6		○	○		○	○	2	33
11	6							6	100
12	6							6	100
13	6					○	○	4	67
14	6		○	○	○			3	50
15	6					○		5	83
16	6		○		○	○		3	50
17	6		○					5	83
18	6	○	○	○	○	○	○	0	0
19	6		○					5	83
20	6	○	○	○	○		○	1	17
21	6			○		○	○	3	50
22	6	○	○				○	3	50
23	6							6	100
24	6	○	○					4	67
25	6							6	100
26	6	○		○				4	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้แก่โรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
27	6							6	100
28	6		○		○	○	○	2	33
29	6	○	○	○				3	50
30	6			○		○		4	67
31	6	○	○				○	3	50
32	6	○	○	○	○	○	○	0	0
33	6		○					5	83
34	6	○	○	○	○	○		1	17
35	6	○	○	○	○	○	○	0	0
36	6	○				○		4	67
37	6	○	○					4	67
38	6		○		○	○		3	50
39	6	○		○		○		3	50
40	6		○	○	○	○	○	1	17
41	6	○	○		○			3	50
42	6			○				5	83
43	6				○	○		4	67
44	6	○			○		○	3	50
45	6	○	○	○	○	○		1	17
46	6	○	○					4	67
47	6	○	○	○	○	○	○	0	0
48	6	○						5	83
49	6	○	○	○	○			2	33
50	6							5	83
51	6							6	100
52	6	○	○					4	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
53	6	○	○	○	○			2	33
54	6			○		○	○	3	50
55	6			○	○	○	○	2	33
56	6	○	○	○	○	○	○	0	0
57	6	○		○	○	○	○	1	17
58	6							6	100
59	6		○				○	4	67
60	6	○	○	○	○	○	○	0	0
61	6	○	○	○	○	○	○	0	0
62	6							6	100
63	6	○	○			○		3	50
64	6							6	100
65	6	○	○	○				3	50
66	6		○		○	○	○	2	33
67	6	○	○	○	○	○		1	17
68	6	○		○	○	○	○	1	17
69	6		○					5	83
70	6		○			○	○	3	50
71	6							6	100
72	6				○			5	83
73	6	○	○	○		○		2	33
74	6		○			○	○	3	50
75	6					○		5	83
76	6			○				5	83
77	6							6	100
78	6	○		○		○		3	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

บุคคล ที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE						จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์ เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
79	6	○						5	83
80	6							6	100
81	6	○	○	○	○	○	○	0	0
82	6							6	100
83	6	○	○	○	○		○	1	17
84	6		○					5	83
85	6				○			5	83
86	6	○				○	○	3	50
87	6							6	100
88	6	○		○	○	○	○	1	17
89	6	○	○			○		3	50
90	6						○	5	83
91	6							6	100
92	6	○				○		4	67
93	6		○		○			4	67
94	6	○			○	○	○	2	33
95	6	○	○	○	○	○	○	0	0
96	6	○	○	○		○	○	1	17
97	6	○			○	○	○	2	33
98	6	○	○		○	○		2	33
99	6	○	○	○	○	○	○	0	0
100	6			○	○	○	○	2	33
101	6	○	○	○	○	○		1	17
102	6		○	○		○	○	2	33
103	6	○					○	4	67
104	6		○					5	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ที่นอกเหนือจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวนภาพที่ทดสอบ	KAZE						จำนวนภาพที่ระบุได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ภาพที่ระบุได้ถูกต้อง
		ภาพ 1	ภาพ 2	ภาพ 3	ภาพ 4	ภาพ 5	ภาพ 6		
105	6	○	○	○	○	○	○	0	0
106	6			○	○		○	3	50
107	6	○		○	○	○	○	1	17
108	6	○	○	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ฐานข้อมูล MMU ไม่แยกส่วนมานตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
1	4	○	○		○	1	25
2	4	○	○	○	○	0	0
3	4	○	○	○	○	0	0
4	4	○	○	○	○	0	0
5	4	○	○	○		1	25
6	4	○	○	○	○	0	0
7	4	○	○	○	○	0	0
8	4	○	○	○	○	0	0
9	4	○	○	○	○	0	0
10	4	○	○	○	○	0	0
11	4	○	○	○	○	0	0
12	4	○	○	○	○	0	0
13	4	○	○	○	○	0	0
14	4	○	○	○	○	0	0
15	4	○	○	○	○	0	0
16	4	○	○	○	○	0	0
17	4	○	○	○	○	0	0
18	4	○	○	○	○	0	0
19	4	○	○	○	○	0	0
20	4	○	○	○	○	0	0
21	4	○	○	○	○	0	0
22	4	○	○	○	○	0	0
23	4	○	○	○	○	0	0
24	4	○	○	○	○	0	0
25	4	○	○	○		1	25
26	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
27	4	○	○	○	○	0	0
28	4		○	○	○	1	25
29	4	○	○	○	○	0	0
30	4	○	○	○	○	0	0
31	4	○	○	○	○	0	0
32	4	○	○	○	○	0	0
33	4	○	○	○	○	0	0
34	4	○	○	○	○	0	0
35	4	○	○	○	○	0	0
36	4	○	○	○	○	0	0
37	4	○	○	○	○	0	0
38	4	○	○	○	○	0	0
39	4	○	○	○	○	0	0
40	4	○	○	○	○	0	0
41	4	○	○	○	○	0	0
42	4	○	○	○	○	0	0
43	4	○	○			2	50
44	4	○	○	○	○	0	0
45	4	○	○	○	○	0	0
46	4	○	○	○	○	0	0
47	4	○	○	○	○	0	0
48	4	○	○	○	○	0	0
49	4	○	○	○	○	0	0
50	4	○	○	○	○	0	0
51	4	○	○	○	○	0	0
52	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
53	4	○	○	○	○	0	0
54	4	○	○	○	○	0	0
55	4	○	○	○		1	25
56	4	○	○	○	○	0	0
57	4	○	○	○	○	0	0
58	4	○	○	○	○	0	0
59	4	○	○	○	○	0	0
60	4	○	○	○	○	0	0
61	4	○	○	○	○	0	0
62	4	○	○	○	○	0	0
63	4	○	○	○	○	0	0
64	4	○	○	○	○	0	0
65	4	○	○	○	○	0	0
66	4	○	○	○	○	0	0
67	4	○	○	○	○	0	0
68	4	○	○	○	○	0	0
69	4	○	○	○	○	0	0
70	4	○	○	○	○	0	0
71	4	○	○	○	○	0	0
72	4	○	○	○	○	0	0
73	4	○	○	○	○	0	0
74	4	○	○	○	○	0	0
75	4	○	○	○	○	0	0
76	4	○	○	○	○	0	0
77	4	○	○	○	○	0	0
78	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	SURF				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
79	4	○	○	○	○	0	0
80	4	○	○	○	○	0	0
81	4	○	○	○	○	0	0
82	4	○	○	○	○	0	0
83	4	○	○	○	○	0	0
84	4	○	○	○	○	0	0
85	4	○	○	○	○	0	0
86	4		○	○	○	1	25
87	4	○	○	○	○	0	0
88	4	○	○	○	○	0	0
89	4	○	○	○		1	25
90	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ฐานข้อมูล MMU ไม่แยกส่วนมานตาและทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
1	4	○				3	75
2	4	○		○	○	1	25
3	4	○	○	○	○	0	0
4	4	○	○	○	○	0	0
5	4	○	○	○	○	0	0
6	4	○	○	○	○	0	0
7	4	○	○	○	○	0	0
8	4	○	○	○	○	0	0
9	4	○	○	○	○	0	0
10	4	○	○	○	○	0	0
11	4	○	○	○	○	0	0
12	4	○	○	○	○	0	0
13	4	○	○	○	○	0	0
14	4	○	○	○	○	0	0
15	4	○	○	○	○	0	0
16	4	○	○	○	○	0	0
17	4	○	○	○	○	0	0
18	4	○	○	○	○	0	0
19	4	○	○	○	○	0	0
20	4	○	○	○	○	0	0
21	4	○	○	○	○	0	0
22	4	○	○	○	○	0	0
23	4	○	○	○	○	0	0
24	4	○	○	○	○	0	0
25	4	○	○	○	○	0	0
26	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
27	4	○	○	○	○	0	0
28	4	○	○	○	○	0	0
29	4		○			3	75
30	4	○	○	○		1	25
31	4	○	○	○	○	0	0
32	4	○	○	○	○	0	0
33	4		○	○	○	1	25
34	4		○	○	○	1	25
35	4	○	○	○	○	0	0
36	4	○	○	○	○	0	0
37	4	○	○	○	○	0	0
38	4	○		○		2	50
39	4	○	○	○	○	0	0
40	4	○	○	○	○	0	0
41	4			○	○	2	50
42	4			○	○	2	50
43	4	○	○	○	○	0	0
44	4	○	○	○	○	0	0
45	4	○	○	○	○	0	0
46	4	○	○	○	○	0	0
47	4	○	○	○	○	0	0
48	4	○	○	○	○	0	0
49	4	○	○	○	○	0	0
50	4	○	○		○	1	25
51	4	○	○	○	○	0	0
52	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
53	4	○	○	○	○	0	0
54	4	○	○	○	○	0	0
55	4	○	○	○	○	0	0
56	4		○	○	○	1	25
57	4	○	○	○	○	0	0
58	4	○	○	○	○	0	0
59	4	○	○	○	○	0	0
60	4	○	○	○	○	0	0
61	4		○	○	○	1	25
62	4	○	○	○	○	0	0
63	4	○	○	○	○	0	0
64	4	○	○	○	○	0	0
65	4	○	○	○	○	0	0
66	4	○	○	○	○	0	0
67	4	○	○	○	○	0	0
68	4	○	○	○	○	0	0
69	4	○	○	○	○	0	0
70	4	○	○	○	○	0	0
71	4	○	○	○	○	0	0
72	4	○	○	○	○	0	0
73	4	○	○	○	○	0	0
74	4	○	○	○	○	0	0
75	4	○	○	○	○	0	0
76	4	○	○	○	○	0	0
77	4	○	○	○	○	0	0
78	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

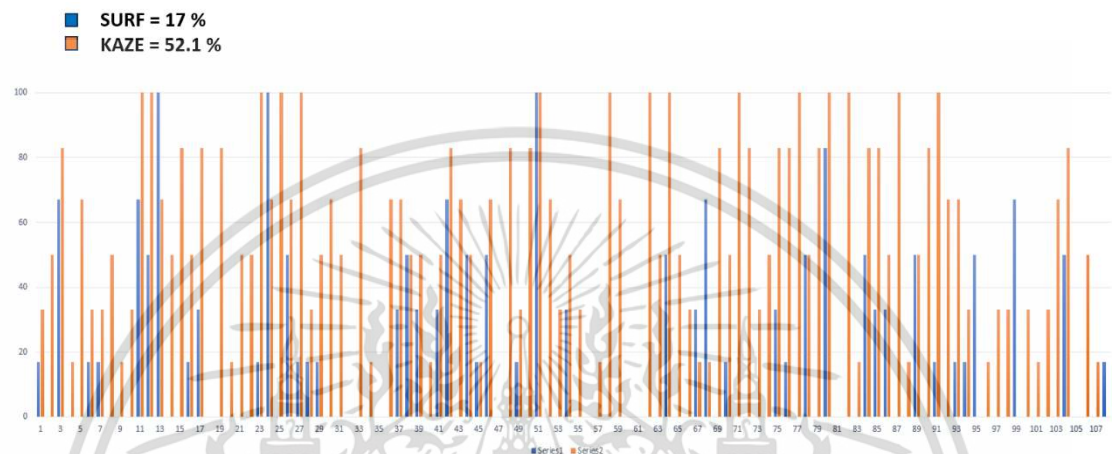
ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

บุคคลที่	จำนวน ภาพที่ ทดสอบ	KAZE				จำนวน ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ ระบุได้ ถูกต้อง
		ภาพที่ 1	ภาพที่ 2	ภาพที่ 3	ภาพที่ 4		
79	4	○	○	○		1	25
80	4	○	○	○	○	0	0
81	4	○	○		○	1	25
82	4	○	○	○	○	0	0
83	4	○	○	○	○	0	0
84	4	○	○	○	○	0	0
85	4	○	○			2	50
86	4			○		3	75
87	4	○	○	○	○	0	0
88	4	○	○	○	○	0	0
89	4	○	○	○	○	0	0
90	4	○	○	○	○	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

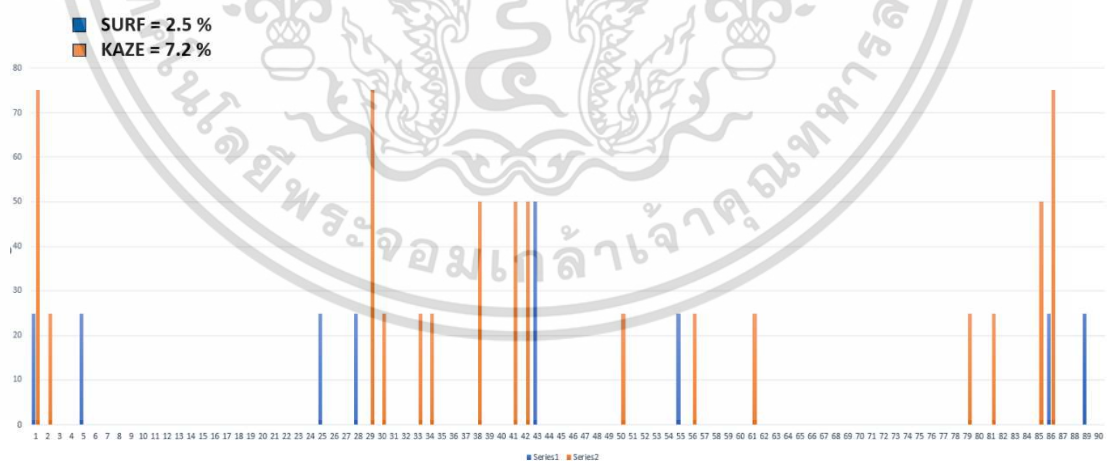
4.2 ผลการเปรียบเทียบการใช้อัลกอริทึม SURF และ KAZE กับฐานข้อมูล CASIA และ MMU

กราฟเปรียบเทียบภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล CASIA และทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE จะเห็นว่าอัลกอริทึม KAZE สามารถระบุตัวตนได้ดีกว่าอัลกอริทึม SURF แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล CASIA

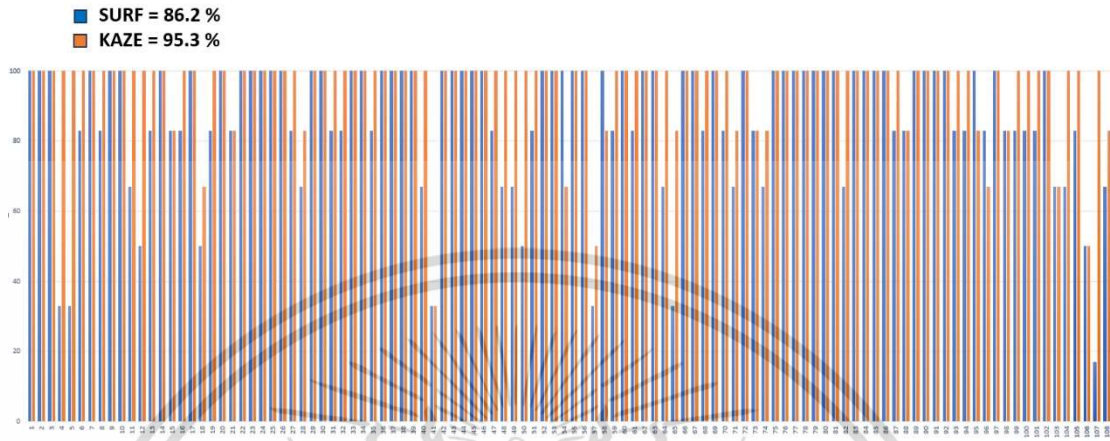
กราฟเปรียบเทียบภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล MMU และทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE จะเห็นว่าอัลกอริทึม KAZE สามารถระบุตัวตนได้ดีกว่าอัลกอริทึม SURF แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล MMU

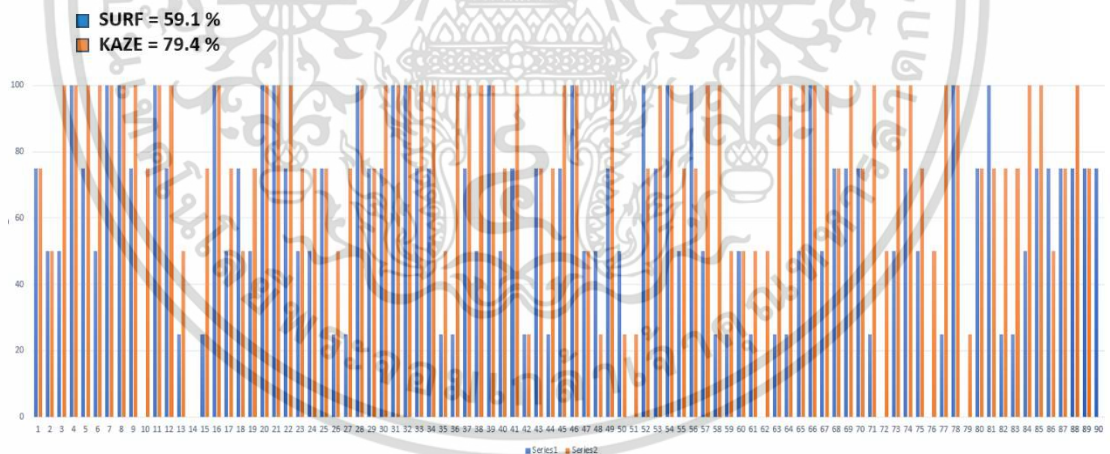
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟเปรียบเทียบภาพที่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล CASIA และทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE จะเห็นว่าอัลกอริทึม KAZE สามารถระบุตัวตนได้ดีกว่าอัลกอริทึม SURF แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบภาพที่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล CASIA

กราฟเปรียบเทียบภาพที่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล MMU และทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE จะเห็นว่าอัลกอริทึม KAZE สามารถระบุตัวตนได้ดีกว่าอัลกอริทึม SURF แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบภาพที่ถูกแยกส่วนจากฐานข้อมูล MMU

4.3 ผลการทดลองเพิ่มเติมโดยการใช้กล้องเว็บแคมในการถ่ายภาพและทดสอบด้วยอัลกอริทึม SURF และ KAZE

ส่วนนี้จะเป็นการทดลองเพิ่มเติมกับกล้องเว็บแคมยี่ห้อ OKER Model 088 กล้องมีความละเอียด 2 M เฟรมเรทเท่ากับ 30 เฟรมต่อวินาที โดยจะบันทึกภาพจำนวน 15 ภาพ โดยเก็บภาพแรกเป็นภาพต้นฉบับ และใช้อีก 14 ภาพเป็นภาพที่ถูกทดสอบ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 บันทึกด้วยกล้องเว็บแคม, ไม่แยกส่วนม่านตา, ทดสอบด้วยอัลกอริทึม KAZE และ SURF

ภาพ ที่	ความสว่าง 100 LUX			ความสว่าง 200 LUX				ความสว่าง 300 LUX				ความสว่าง 400 LUX			
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SURF	○				○			○	○	○	○	○	○	○	○
KAZE	○				○				○			○	○	○	○

ทดสอบกับภาพที่ไม่ถูกแยกส่วนม่านตา แสดงดังตารางที่ 4.9

บันทึกด้วยกล้องเว็บแคม ผลการทดสอบ SURF เท่ากับร้อยละ 33.33

KAZE เท่ากับร้อยละ 53.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

ไบโอเมทริกซ์ (Biometric) คือเทคโนโลยีที่ใช้ระบุตัวตนและตรวจพิสูจน์ผู้ใช้ โดยใช้เทคนิคการแปรค่าเอกลักษณ์เฉพาะบุคคล ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกม่านตา (Iris) เนื่องจากข้อดีหลายข้อ เช่น เปลี่ยนแปลงไปได้ยาก มีลักษณะเด่นในม่านตาหลายจุด ความแม่นยำของการตรวจจับ และที่สำคัญคือเป็นการทดสอบแบบไม่สัมผัสกับตัวอุปกรณ์ ซึ่งในโลกยุคปัจจุบันนี้มีการระบาดอย่างรุนแรงและกระจายไปทั่วทั้งโลกของโรคโควิด-19 หนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการติดเชื้อได้ก็คือการสัมผัส ดังนั้นการทดสอบแบบไม่สัมผัสจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้น เพราะสามารถลดการติดเชื้อโรคลงได้

การรู้จำม่านตามีการพัฒนาอัลกอริทึมกันมาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบันทั้งทางด้านความเร็ว ความแม่นยำ และความคงทน อัลกอริทึมที่มีชื่อเสียงและถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเป็นของนักวิจัยที่ชื่อ John G. Daugman ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ แต่เนื่องจากอัลกอริทึมแบบเดิมนั้นจะนำจุดภาพมาใช้ในการหาลักษณะเด่นของภาพเป็นหลัก จึงมีข้อจำกัดที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการเลื่อน (Translation) การหมุน (Rotation) การขยายหรือหด (Scaling) เนื่องจากเมื่อสิ่งเหล่านี้มีการแปรเปลี่ยนไปทำให้การเปรียบเทียบภาพมีความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นมาใหม่เพื่อลดความผิดพลาดนั้นลงไป โดยผู้วิจัยเลือกอัลกอริทึม SURF และ KAZE มาเปรียบเทียบเพื่อหาผลลัพธ์ว่าอัลกอริทึมแบบใดที่จะเหมาะสมกับฐานข้อมูลของม่านตามากกว่ากัน

การทดลองนี้ใช้ฐานข้อมูลม่านตาจาก CASIA version 1.0 และ MMU Database ทั้งหมด 198 คน จำนวนม่านตาารวม 1008 ม่านตา เป็นภาพระดับสีเทา ความละเอียดภาพขนาด 320x280 พิกเซล การนำภาพต้นฉบับมาปรับปรุงรายละเอียดและแยกส่วนม่านตาก่อนนำไปใช้ในการระบุตัวบุคคล จากผลการทดลองพบว่าโปรแกรมสามารถระบุตัวตนได้แม่นยำกว่าภาพที่ไม่ผ่านการปรับปรุงรายละเอียดและแยกส่วนภาพ เนื่องจากการปรับปรุงรายละเอียดจะทำให้ม่านตามีความคมชัดขึ้น และการแยกส่วนม่านตาออกมาจากภาพต้นฉบับก็สามารถลดภาระการคำนวณของโปรแกรมลงได้อีก ทั้งยังลดความผิดพลาดจากการคำนวณลงได้

จากการทดลองพบว่าอัลกอริทึม KAZE มีความเหมาะสมในงานระบุตัวตนด้วยม่านตาว่า อัลกอริทึม SURF เนื่องจากสามารถตรวจพบเส้นใยเล็ก ๆ ที่เป็นม่านตาแม่นยำกว่าอัลกอริทึม SURF โดยอัลกอริทึม SURF จะไม่คงขอบของวัตถุเอาไว้ มีการปรับปรุงภาพเท่ากันทั้งภาพ และกำจัดทั้งสัญญาณรบและข้อมูลขอบภาพ แต่อัลกอริทึม KAZE สามารถลดสัญญาณรบกวนและคงขอบของ

ภาพเอาไว้ เนื่องจากมีการปรับปรุงภาพแบบเฉพาะพื้นที่และกลไกการแพร่ของอัลกอริทึม KAZE จะหยุดลงทันทีเมื่อตรวจพบขอบภาพ

5.2 แนวทางการพัฒนาต่อ

1. พัฒนาอัลกอริทึมให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งจากขั้นตอนการแยกส่วนมานตาและส่วนอื่น ๆ
2. พัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถเปรียบเทียบมานตากับบุคคลอื่น ๆ ได้ทุกคนในฐานข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Daugman, J. (1993). High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 15 (11), 1148-1161.
- [2] Mohammed A, Taha. and Hanaa M, Ahmed. “Speeded Up Robust Feature Descriptor for Iris Recognition Systems” **JOURNAL OF UNIVERSITY OF BABYLON For Pure and Applied Sciences**, Vol.29, No.2.May-August, 2021
- [3] Pablo Fernández Alcantarilla. Adrien Bartoli. and Andrew J, Davison. “KAZE Feature” **ECCV 2012-12th European Conference on Computer Vision**, Florence, Italy, October 7-13, 2012, Proceeding, Part VI, pp. 214-227.
- [4] Center for Biometrics and Security Research. **Databases**. [Online]. Available : <http://www.cbsr.ia.ac.cn/china/Iris%20Databases%20CH.asp>.
- [5] MultiMedia University Iris database for Biometric Attendance system. **Databases**. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/naureenmohammad/mmu-iris-dataset>.
- [6] BioGraphix. [Online]. Available : <http://www.biographixmedia.com/human/eye-anatomy.html>
- [7] Iris ID Systems. **How the “Big Three” Biometrics Compare**. [Online]. Available : <https://www.irisid.com/how-the-big-three-biometrics-compare>
- [8] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. 2550 การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย MATLAB คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [9] Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. **Digital Image Processing**. 3rd Edition. New Jersey : Pearson/Prentice Hall. 2007.
- [10] Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. [Online]. Available : <https://www.mathworks.com/help/visionhdl/ug/contrast-adaptive-histogram-equalization.html>
- [11] ชูชาติ ปิณฑวิรุจน์. 2551 การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย MATLAB คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [12] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ และคณะ. 2544. “การปรับปรุง Hough transform ให้ดีขึ้น.” หน้า 209-216. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Herbert, Bay. Tinne, Tuytelaars. and Luc Van, Gool. “SURF:Speed Up Robust Feature” **ECCV 2006: Computer Vision**, pp. 404-417.
- [14] Lowe,D.G (2004), “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints” **International Journal of Computer Vision**, pp. 91-110
- [15] Perona, P., Malik, J. “Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion.” **IEEE TRANSACTION ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE**. VOL. 12 NO. 12.NO, 7 JULY 1990, pp. 629-639
- [16] Weickert, J. “Efficient image segmentation using partial differential equations and morphology.” **Pattern Recognition Volume 34. Issue 9. September 2001**, pp.1813-1824.
- [17] Brown, M., Lowe, D. “Invariant features from interest point groups. In: **British Machine vision Conf.**, BMVC, Cardiff, UK (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันที่ใช้ในสร้างอัลกอริทึม

imread = อ่านภาพ

rgb2gray = แปลงภาพจากภาพ rgb ไปเป็นภาพ gray scale

adapthisteq = ใช้ปรับปรุงภาพเฉพาะพื้นที่

imfindcircles = ใช้หาวงกลมในภาพด้วย hough transform

im2double = ใช้แปลงภาพให้เป็นชนิด double

imgaussfilt = ใช้กรองภาพด้วย gaussian filter

medfilt2 = ใช้กรองภาพด้วย median filter

detectSURFFeature = ใช้ตรวจหาลักษณะเด่นของภาพด้วยอัลกอริทึม SURF

detectKAZEFeature = ใช้ตรวจหาลักษณะเด่นของภาพด้วยอัลกอริทึม KAZE

extractFeatures = ใช้สกัดลักษณะเด่นของภาพที่ตรวจพบ

matchFeatures = ใช้จับคู่ลักษณะเด่น

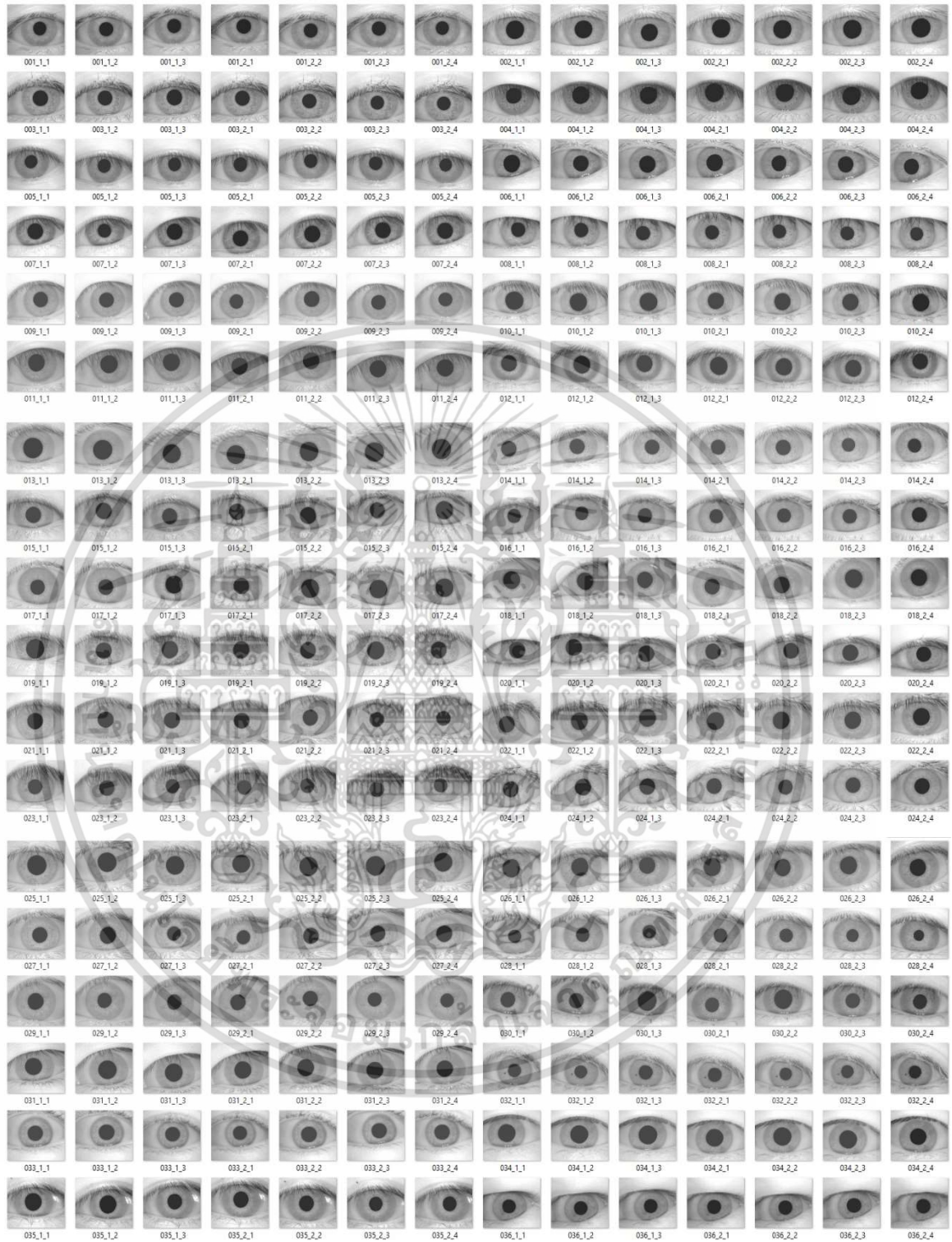
estimateGeometricTransform = ใช้ประมาณค่าการแปลงทางเรขาคณิตของการจับคู่ลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



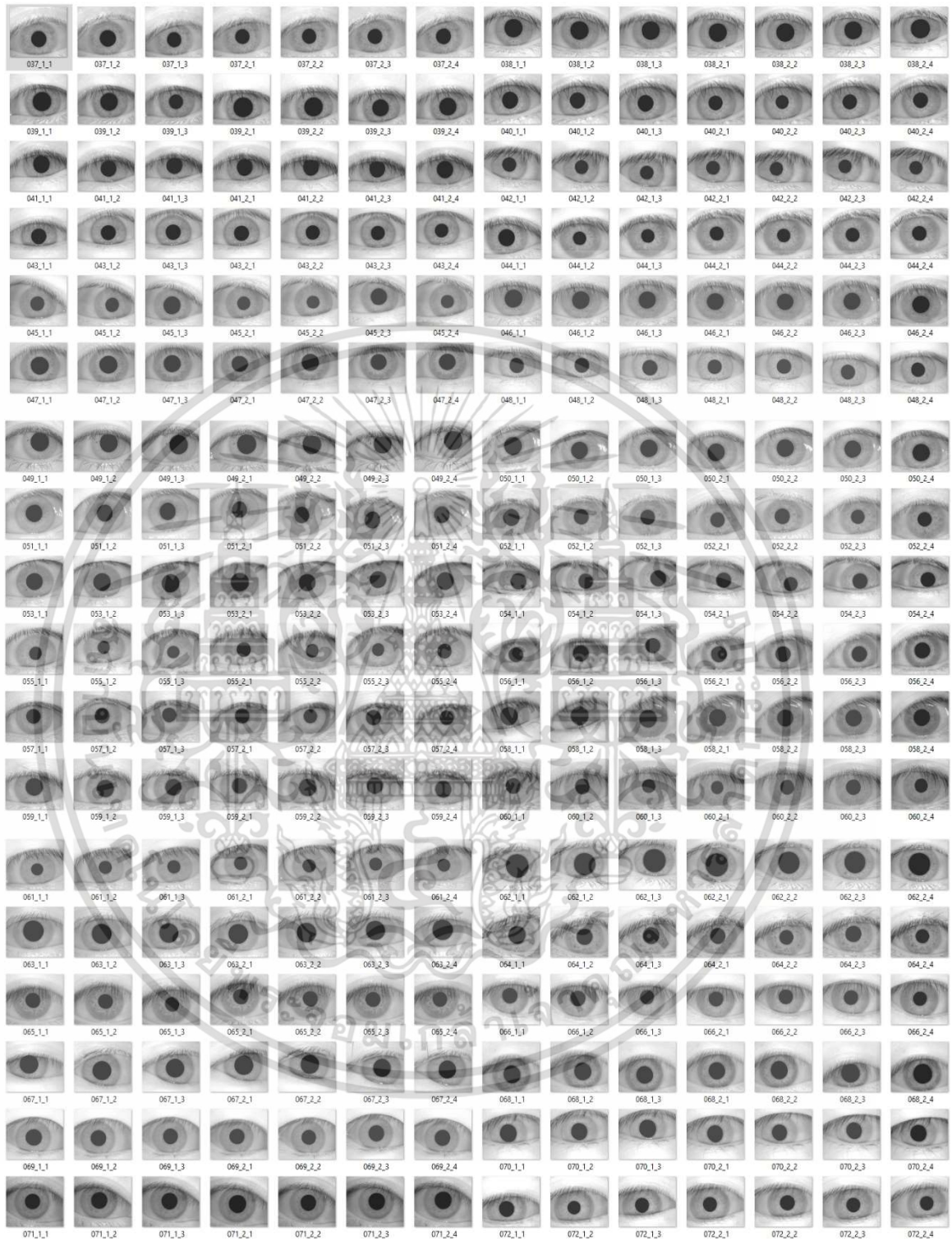
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพม่านตาในงานวิจัยจำนวน 108 คน จากฐานข้อมูล CASIA version 1.0



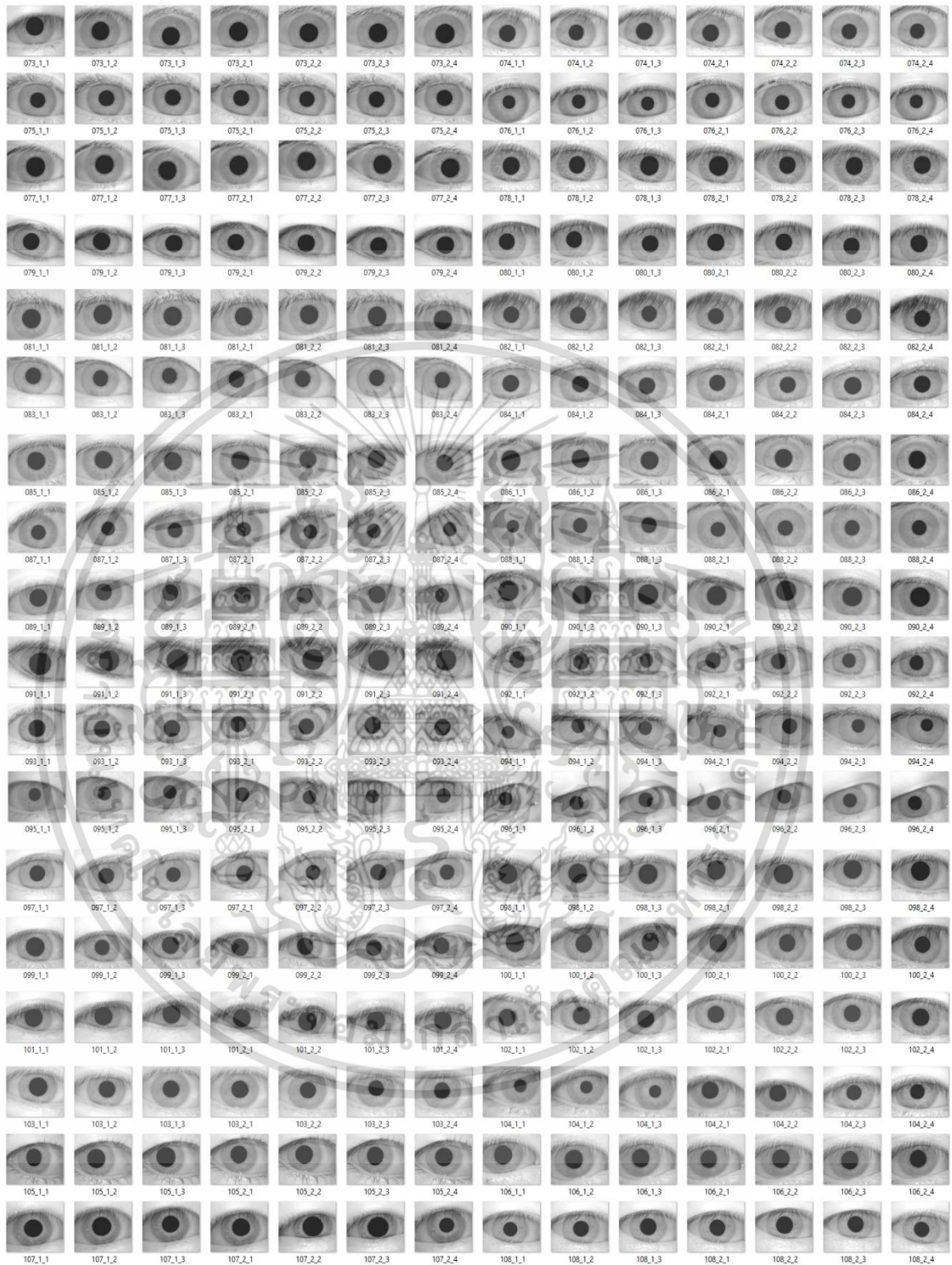
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพม่านตาในงานวิจัยจำนวน 108 คน จากฐานข้อมูล CASIA version 1.0 (ต่อ)



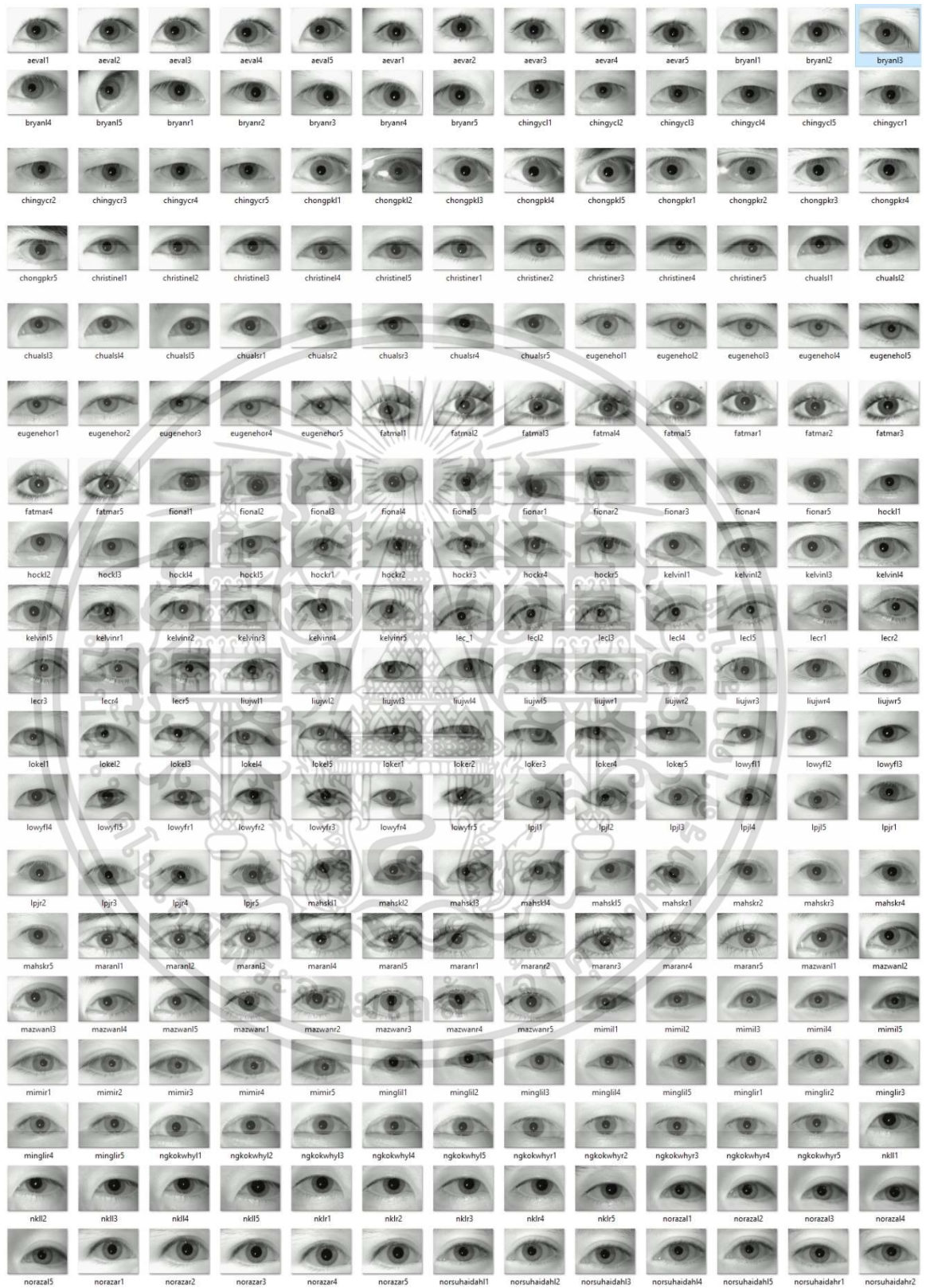
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพม่านตาในงานวิจัยจำนวน 108 คน จากฐานข้อมูล CASIA version 1.0 (ต่อ)



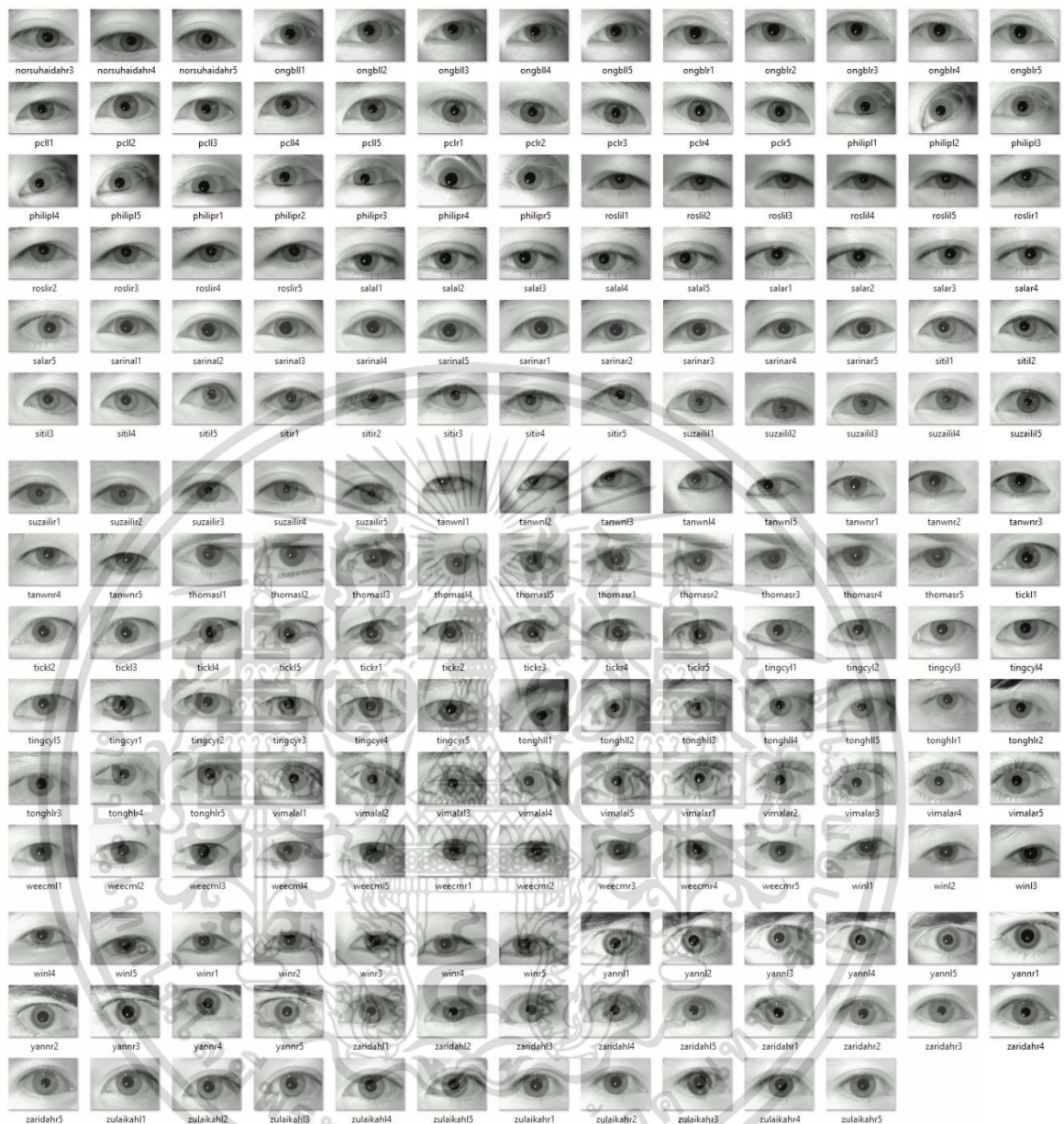
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพม่านตาในงานวิจัยจำนวน 90 คน จากฐานข้อมูล MMU Database



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพม่านตาในงานวิจัยจำนวน 90 คน จากฐานข้อมูล MMU Database (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพม่านตาในงานวิจัยจำนวน 1 คน จากกล้องเว็บแคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 13
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
The 13th NPRU NATIONAL ACADEMIC CONFERENCE







การวิจัย สร้างดุลยภาพชีวิตเพื่อรองรับ New Normal
Life Balance in the New Normal
8 - 9 กรกฎาคม 2564



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Method for determining eyelash and eyelids using Hough transform and active contour for their removal in iris recognition

Apichat Sutthithammanon* and Kaset Sirisantisamrid

Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

*Corresponding author. Email: 60601009@kmitl.ac.th

Abstract

Iris pattern recognition is one of the identification systems used for security systems in various tasks such as in home, secure places, computer system or bank transactions. This article presents the method for noise removal in images caused by eyelashes and eyelids to increase the accuracy of identification by using various techniques in the image processing program, MATLAB. The work consisted of image acquisition, pre-processing, and segmentation of the iris pattern using Hough transform and active contour techniques to find circles, and curves of the image. The results showed that the method can be used for determining eyelashes and eyelids for noise removal in the images.

Keywords: Image processing, Hough transform, Active contour, Iris recognition

1. บทนำ

ระบบรักษาความปลอดภัยในปัจจุบันมีการพัฒนาไปมาก ด้วยวิธีการที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งความแม่นยำก็ยิ่งเพิ่มตามขึ้นไปด้วย การระบุตัวตนโดยใช้ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของร่างกายในแต่ละประเภท ประกอบด้วยลายนิ้วมือ ใบหน้า ม่านตา จอประสาทตา จมูก ใบหู ลายฝ่ามือ สารพันธุกรรม และคลื่นสมอง เป็นต้น โดยม่านตาเป็นส่วนที่เห็นเป็นสีดวงตา ประกอบไปด้วย เม็ดสีจำนวนมาก มีหลายสีตามเชื้อชาติ เช่น ดำ น้ำตาล ฟ้า เขียว ม่านตาเป็นเนื้อเยื่อบางๆ ลักษณะเป็นวงกลมขนาดเท่ากับกระจกตา อยู่ด้านในถัดกระจกตาเข้าไป ตรงกลางม่านตาเป็นรู เรียกว่ารูม่านตา ซึ่งมีหน้าที่รับแสงให้เข้าตาได้มากน้อยตามต้องการ เมื่อได้รับแสงจะหดเล็กลง และขยายใหญ่ขึ้นเมื่ออยู่ในที่มืด ข้อดีของการใช้ม่านตาในการระบุตัวตนคือม่านตาเป็นส่วนประกอบของร่างกายที่อยู่ภายในลูกตาและถูกคลุมไว้ด้วยเนื้อเยื่อ มีลักษณะเฉพาะบุคคลและมีความซับซ้อน คงทนถาวร และปลอมแปลงยาก

เทคโนโลยีการรู้จำม่านตา (iris recognition) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ ที่ได้รับการยอมรับ สามารถใช้งานได้อย่างน่าเชื่อถือในการระบุตัวตนบุคคล โดยการวิเคราะห์จากรูปแบบม่านตาของมนุษย์ ลักษณะเฉพาะของม่านตาจะมีมากกว่า 266 จุด ซึ่งจะต่างจากลักษณะเฉพาะของการระบุตัวตนด้วยชีวมาตรประเภทอื่นๆ ที่ใช้ในการตรวจหาจุดลักษณะเพียงแค่ 13 ถึง 60 จุด เท่านั้น ประสิทธิภาพของการสแกนม่านตาขึ้นอยู่กับความคมชัดของเครื่องมือที่ใช้ในการสแกน ซึ่งปกติจะใช้แสงอินฟราเรดในการสแกน ม่านตาสามารถถูกสแกนในระยะใกล้ตั้งแต่ 10 เซนติเมตร จนถึงประมาณ 1 เมตร ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสแกนเก็บข้อมูล อย่างไรก็ตามการรู้จำม่านตาจะไม่สามารถทำได้ในหลายกรณี ดังนั้น การเก็บข้อมูลจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ถูกเก็บสูงมาก และนอกจากนี้ลายม่านตาก็ยังมักถูกบดบังได้โดยขนตา เปลือกตา และเงาสะท้อนจากกระจกตาซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการรู้จำม่านตาลดลง

การศึกษาเรื่องรู้จำลายม่านตามีแนวคิดทางทฤษฎีหลักในอัลกอริทึมของ Daugman คือ "ความล้มเหลว" (failure) ของการทดสอบความเป็นอิสระทางสถิติ อาจเป็นพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับการจดจำรูปแบบหากมีเอนโทรปีสูงเพียงพอในกลุ่มตัวอย่างจากคลาสต่างๆ ในปี 1993 ได้ตีพิมพ์บทความเรื่อง " High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence " ใน IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (Daugman, 1993) และในปี 1994 เขาได้จัดสิทธิบัตรพื้นฐานนี้สำหรับการจดจำม่านตาและอัลกอริทึมในรูปแบบ Computer Vision ที่เป็นพื้นฐานสำหรับการประมวลผลภาพ การแยกคุณลักษณะ และการจับคู่ อัลกอริทึมดั้งเดิมเหล่านั้นได้รับอนุญาตนำไปใช้งานทางการค้าอย่างกว้างขวางผ่านบริษัทต่างๆ เช่น (IrisScan, Iridian, Sarnoff, Sensar, LG-Iris, Panasonic, Oki, BI2, IrisGuard, Unisys, Sagem, Enschede, Securimetrics และ L1 ซึ่งปัจจุบันเป็นของ บริษัท French company Safran/Morpho) จากนั้นได้มีนักวิจัยอีกหลายๆ ท่านที่ได้พัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งในเรื่องของความเร็ว ความถูกต้องแม่นยำในการประมวลผล และความทนทานต่อสิ่งรบกวนต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การขจัดสิ่งรบกวนจากเปลือกตาและขนตา โดยใช้ข้อมูลจาก IIT Delhi Iris Database ประเทศอินเดีย ด้วยเทคนิค Hough transform (Illingworth and Kittler, 1987) โดยการตรวจจับแบบเส้นตรงและวงกลม พบว่าสามารถลดสิ่งรบกวนได้ดี (Madhukar and Todmal, 2015) ส่วนงานของ Bremananth (2016) ได้ศึกษาการตรวจจับเปลือกตาและขนตาจากฐานข้อมูลของคณะผู้วิจัยเองจากตัวอย่างภาพลายม่านตาจากบุคคลจริงและสถานที่จริงจาก Learning Resource Center (LRC) โดยมีองค์ประกอบของตาและระยะจากตาถึงกล้องที่ต่างกัน และการแยกส่วนด้วยการใช้เทคนิค Robust Eyelash Detection (RED) และ Hair Curve Fitting (HCF) (Bremananth, 2016) คือการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละจุดที่เราสนใจ เพื่อประมาณค่าของข้อมูลนั้น จากการทดลองพบว่าการกำจัดสิ่งแปลกปลอมจากเปลือกตาและขนตาออกจากลายม่านตามีประสิทธิภาพดี การใช้ HCF มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกับการประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย โปรแกรม MATLAB ที่เรียกว่า Active contour คือการเคลื่อนที่ของจุดภาพ ที่มีการเปลี่ยนรูปจากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งข้างเคียง โดยใช้ลักษณะเด่น เช่น ขอบของวัตถุในภาพในการเคลื่อนที่ (ชูชาติ, 2553) จากข้อมูลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมวลผลภาพม่านตาด้วยการใช้เทคนิค Hough transform ร่วมกับ Active contour โดยใช้ข้อมูลจาก Chinese Academy of Science Institute of Automatic (CASIA) เพื่อกำจัดหรือลดสิ่งรบกวนต่างๆ ในภาพลง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในงานรู้จำลายม่านตา

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 โครงสร้างของดวงตา (Eye structure)

โครงสร้างดวงตา (ภาพที่ 1) มีลักษณะเป็นทรงกลม ประกอบด้วยตาขาว (sclera) ชั้นถัดมาเป็นชั้นของลายม่านตา (iris) เป็นส่วนที่เห็นชัดที่สุดของดวงตา มีลักษณะเป็นวงแหวน และมีสีต่างกันไปตามกรรมพันธุ์หรือเชื้อชาติ ส่วนตรงกลางของ

ลายม่านตาจะเป็นรูกลมๆ เรียกว่ารูม่านตา (pupil) มีสีดำทำหน้าที่เป็นรูรับแสงที่ให้แสงเข้าสู่ดวงตา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-4 มม. โดยทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของแสงเข้าสู่ดวงตา ในที่แสงน้อยรูม่านตาจะขยายขนาด เพื่อให้แสงเข้าสู่ดวงตาได้มากขึ้นและในที่แสงมาก รูม่านตาจะหดเล็กน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้แสงเข้าสู่ดวงตามากเกินไป เปลือกตา (eyelids) เป็นส่วนที่ปกป้องดวงตาจากฝุ่นละออง และสิ่งแปลกปลอมที่จะเข้าดวงตา และเปลือกตายังช่วยในการหล่อลื่นของดวงตาเมื่อมีการกระพริบเกิดขึ้น นอกจากนี้ส่วนของขนตา (eyelash) ยังมีหน้าที่เป็นตัวกรองไม่ให้สิ่งแปลกปลอมเข้าดวงตา แต่ทั้งเปลือกตาและขนตาอาจบดบังลายม่านตาซึ่งทำให้มีผลต่อการประมวลผลภาพของลายม่านตาได้



ภาพที่ 1 โครงสร้างของดวงตา (<http://www.quizizz/admin/quiz/5fa99a5f8d02b5001bd32d06/the-eye>)

2.2 ขั้นตอนการหาภาพลายม่านตา (The process of identifying the iris pattern)

2.2.1 การนำภาพเข้า (Iris image acquisition)

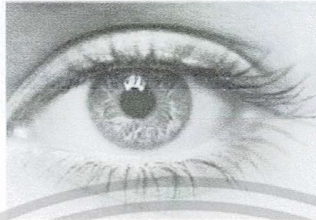
ขั้นตอนนี้เป็นการนำภาพเข้า โดยการใช้กล้องที่มีความละเอียดสูง โดยจะถ่ายเข้าไปใกล้กับดวงตาและให้หลอดอินฟราเรดในการให้ความสว่าง เนื่องจากหลอดอินฟราเรดจะช่วยลดแสงสะท้อนที่ตา และสามารถทำให้มองเห็นดีในที่สว่างน้อยได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ฐานข้อมูลจาก Chinese Academy of Science Institute of Automatic หรือว่า CASIA (Iris Database version 1.0) (<http://cbsr.jia.ac.cn/english/index.asp>) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเพื่อการวิจัยทางด้านไบโอเมทริกซ์ จำนวน 108 รูป จากอาสาสมัครจำนวน 108 คน ซึ่งเป็นรูปดวงตาขนาดความละเอียด 320x280 พิกเซล แบบ gray-levelนามสกุล .BMP ภายใต้การถ่ายภาพแบบอินฟราเรด

โปรแกรมที่ใช้งานในงานวิจัยนี้คือโปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรม MATLAB คือ โปรแกรมการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความรวดเร็วในการทำงาน อีกทั้งยังมีไลบรารีจำนวนมากรองรับ และด้วยลักษณะการทำงานเชิงเมทริกซ์ ทำให้สามารถจัดการกับอาร์เรย์ได้ง่าย โค้ดโปรแกรมกระทัดรัด นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อกับฮาร์ดแวร์และโปรแกรมภาษาอื่นๆ ได้อีกหลายโปรแกรม

2.2.2 การแปลงภาพ Gray scale เป็นภาพ Binary (Image transformation from gray scale image to binary image)

จากขั้นตอนการนำเข้าภาพ ภาพที่ได้มักจะเป็นภาพ Gray scale (ภาพที่ 2) คือเมทริกซ์ของข้อมูลซึ่งค่าถูกกลบลงให้เป็นค่าความเข้มแสง เมื่อสมาชิกของค่าในภาพความเข้มแสงเป็นชนิด uint 8 หรือ uint 16 ค่าของภาพจะอยู่ในช่วง [0,255] และ [0,65535] ตามลำดับ ถ้าค่าในภาพ Gray scale เป็นชนิด double ค่าของภาพจะอยู่ในช่วง [0,1] ส่วนภาพไบนารี คือ

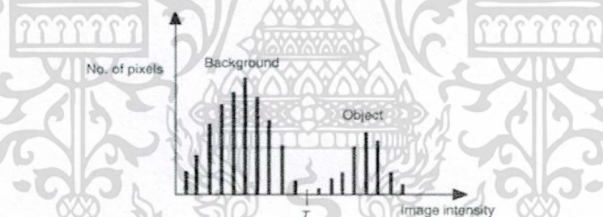
อาร์เรย์ของข้อมูลแบบตรรกะ (Logic Array) ที่มีค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น โดย 0 หมายถึงจุดภาพที่มีสีดำและ 1 หมายถึงจุดภาพที่มีสีขาว



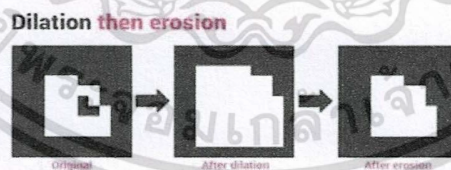
ภาพที่ 2 ภาพ Gray scale (<http://www.diabetes.co.uk/diabetes-complications/eye-problems.html>)

2.2.3 การแยกส่วนสายม่านตา (Iris segmentation)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการแยกส่วนของรูม่านตาซึ่งเป็นวงกลมเล็กออกมาจากภาพก่อน ใช้การกำหนดค่า threshold หรือค่า T ให้กับภาพ (ภาพที่ 3) ถ้าค่าของพิกเซลใดในภาพที่มีค่ามากกว่าค่า threshold กำหนดให้พิกเซลนั้นมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าพิกเซลใดมีค่าน้อยกว่าค่า threshold กำหนดให้พิกเซลนั้นมีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นจะเป็นการแยกส่วนของวงกลมวงใหญ่ซึ่งจะอยู่ระหว่างลายม่านตาและตาขาว โดยในขั้นตอนนี้จะนำเทคนิคของมอร์โฟโลยี (Morphology) ซึ่งเป็นเทคนิคเกี่ยวกับการจัดการเกี่ยวกับรูปร่างและโครงสร้าง ซึ่งมีอยู่แล้วในโปรแกรม MATLAB มาใช้งานเพื่อทำการกำหนดรูปร่างที่อาจจะไม่มีความสมบูรณ์ในบางส่วน เช่น การขยายและการเซาะ (Dilation and Erosion) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การกำหนดค่า threshold (<http://www.sciencedirect.com/topics/engineering/global-thresholding>)



ภาพที่ 4 การขยาย (Dilation) และการเซาะ (Erosion) (<http://www.robotacademy.net.au/lesson/mathematical-morphology>)

เทคนิค Hough transform มีบทบาทสำคัญในการรู้จำรูปร่างของวัตถุต่างๆ (Shape recognition) เช่น การติดตามเลนของถนน (road tracking) และการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น โดยการตรวจหาเส้นตรง เส้นโค้ง และวงกลมในรูปภาพ โดยการ fit เส้นตรงด้วย Hough transform มักจะใช้สมการ polar (polar equation) ดังสมการที่ 1

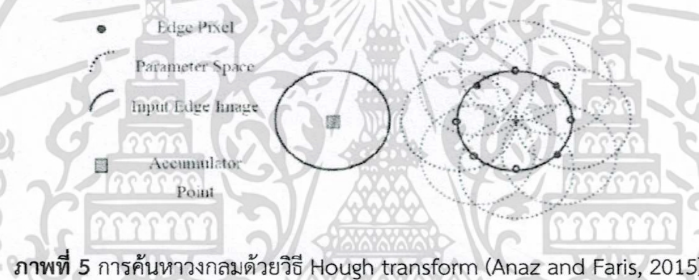
$$x \cos \theta + y \sin \theta = \rho \quad (1)$$

เมื่อ x, y คือ พิกัดของจุดภาพบนระนาบภาพ x, y
 ρ คือ ระยะทางที่ตั้งฉากจากเส้นตรงถึงจุดกำเนิดในระนาบภาพ x, y
 θ คือ มุมจากแกน x ถึงเส้นตั้งฉาก

จากนั้นจึงสร้าง accumulator cell สองมิติ $A(i, j)$ ซึ่งมีส่วนประกอบของ ρ_j, θ_j กับทุกๆ จุดภาพ พิกัด x, y ของจุดภาพใดๆ ที่อยู่บนเส้นตรงเส้นเดียวกันจะสะสมอยู่ใน accumulator cell ตัวเดียวกัน โดยมีค่า ρ และ θ เท่ากัน ดังนั้น ถ้าจำนวนที่สะสมใน accumulator cell ตัวใดมีค่ามากกว่าค่า threshold ที่กำหนดไว้ก็จะถูกแปลงกลับไปเป็นพิกัด x, y ซึ่งจะให้เราทราบว่าเส้นตรงดังกล่าวมีพิกัดที่จุดใดบ้างบนระนาบ x, y ในทำนองเดียวกันการหาส่วนของเส้นโค้งและรูปวงกลมจะมีวิธีการดังภาพที่ 5 และใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 2

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = r^2 \quad (2)$$

เมื่อ C_x, C_y คือ จุดศูนย์กลางของวงกลมในแนวแกน x และ y
 r คือ รัศมีของวงกลมหรือส่วนโค้ง



Active contour หรือ Snake มีลักษณะเหมือนกับ Energy Minimizing Spline โดยพลังงานของ Snake ขึ้นอยู่กับรูปร่างและตำแหน่งของ Snake บนภาพ เส้นโครงสร้างของ Snake สามารถที่แสดงในรูปของจุดควบคุม (Control Point) ที่เชื่อมต่อเหมือนยางและการที่พลังงานต่ำสุดของ Snake ทำให้เส้นโครงสร้างเปลี่ยนรูปจากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งข้างเคียง โดยใช้ลักษณะเด่น เช่น ขอบของวัตถุในภาพ (ภาพที่ 6a) เป็นพลังงานในการเคลื่อน Active contour ให้ครอบคลุมบริเวณที่เราสนใจ (ภาพที่ 6b)



ภาพที่ 6 การตรวจจับภาพ: ภาพต้นฉบับ (a), ภาพจาก Active contour (b) (Hemalatha, et al., 2018)

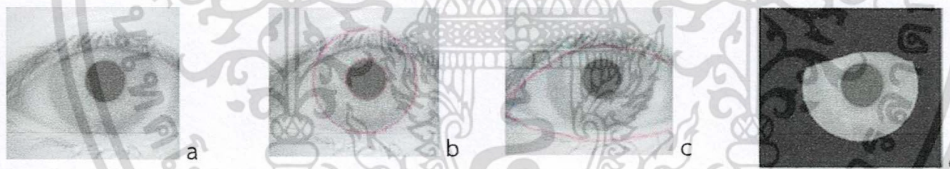
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการประมวลผลการคัดเลือกพื้นที่ของลายม่านตาที่ไม่ถูกบดบังด้วยขนตาและเปลือกตาด้านบน ด้วยการใช้ Hough transform เพื่อกำจัดส่วนของ noise ออกไป โดยพบว่ารูม่านตาและวงนอกของม่านตาถูกแยกส่วนออกมา ดังภาพที่ 7 (a และ b) จากนั้นเราจะหาพื้นที่ของลายม่านตาได้ด้วยการนำภาพที่ 7 (a) และภาพที่ 7 (b) มาเข้ากระบวนการลบภาพกัน

เพื่อให้เหลือเฉพาะลายม่านตาเท่านั้น อย่างไรก็ตามที่ได้จาก Hough transform (ภาพที่ 8b) เพียงอย่างเดียวก็ยังมีความมีสิ่งรบกวนจากเปลือกตาและขนตาอยู่ เมื่อใช้ Active contour (ภาพที่ 8c) จะเห็นว่าขนตาและเปลือกตาถูกกำจัดและลดน้อยลงไปจนเกือบหมด และเมื่อนำภาพลายม่านตาจาก Hough transform ร่วมกับ Active contour มาประกอบกันจะได้ภาพลายม่านตาที่จัดสิ่งแปลกปลอม (เปลือกตาและขนตา) ได้จนเกือบหมด (ภาพที่ 8d) วิธีการกำจัดและลดสิ่งรบกวนทั้งสองนี้ได้ถูกนำไปใช้กับภาพของอาสาสมัครจำนวน 108 คน พบว่ามีภาพอยู่จำนวน 94 ภาพ หรือคิดเป็น 87.04 เปอร์เซ็นต์ที่ประมวลผลออกมาแล้วสามารถจัดสิ่งแปลกปลอม (ม่านตาและขนตา) ออกไปได้พร้อมที่จะนำไปประมวลผลการรู้จำม่านตาในลำดับต่อไป และเนื่องจากวิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธีเป็นขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพลายม่านตาออกจากดวงตา ดังนั้นการเตรียมภาพเพื่อที่จะนำมาประมวลผลนั้นควรถูกบันทึกด้วยความคมชัด และไม่ควรมีสิ่งรบกวนในภาพมากเกินไปจนเป็นอุปสรรคต่อการประมวลผลภาพ โดยในการทดลองนี้พบว่ามีภาพ 14 ภาพ หรือคิดเป็น 12.96 เปอร์เซ็นต์ ที่มีขาดความคมชัดและมีสิ่งรบกวนปะปนในภาพมากจนทำให้การประมวลผลภาพมีความผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถนำภาพนั้นมาใช้ในการรู้จำม่านตาได้ต่อไปได้



ภาพที่ 7 ภาพม่านตาที่ถูกแยกส่วน (a) ภาพนอกลายม่านตาที่ถูกแยกส่วน (b)



ภาพที่ 8 การระบุพื้นที่ของลายม่านตาด้วยเทคนิคต่าง ๆ: original image (a), Hough transform (b), Active contour (c) และ Hough transform ร่วมกับ Active contour (d)

4. สรุปผลการวิจัย

การประมวลผลภาพม่านตาด้วยเทคนิค Hough transform ร่วมกับ Active contour ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถตรวจหาขนตาและเปลือกตา เพื่อกำจัดหรือลดสิ่งรบกวนการปนเปื้อนของภาพได้อย่างดี ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบรู้จำม่านตาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

ชูชาติ ปินทวิรุจน์ (2553) การประมวลผลภาพดิจิทัลขั้นสูงด้วย MATLAB คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Anaz, A.S. & Faris, D.M. (2015). Comparison between open CV and MATLAB performance in real time applications. *Al-Rafidain Engineering*. 23(4), 183-190.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา ⁷⁰¹ และต้องอ้างอิง The 13th NPRU National Academic Conference

- Biometrics ideal test/CASIA Iris Image Database** Version 1.0, retrieved 18 April, 2020. from <http://www.cbsr.ia.ac.c/english/index.asp>.
- Bremananth, R. (2016). A Robust eyelashes and eyelid detection in transformation invariant iris recognition: In application with LRC security system. **International Journal of Computer and Information Engineering**, 10 (10), 1865-1871.
- Corke, P. Mathematical Morphology. **Robot Academy**. Australian Centre for Robotic Vision. retrieved 24 May 2020. from <http://robotacademy.net.au/lesson/mathematical-morphology>
- The eye, retrieved 2 March, 2020. from <http://www.quizizz/admin/quiz/5fa99a5f8d02b5001bd32d06/the-eye>.
- Daugman, J. (1993). High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 15 (11), 1148-1161.
- Diabetes. (2018). **Diabetes and Eye Problems**, retrieved 25 April, 2020. from <http://www.diabetes.co.uk/diabetes-complications/eye-problems.html>.
- Hemalatha, R.J., Thamizhvani, T.R., Dhivya, A.J.A., Joseph J.E., Babu B. & Chandrasekaran R. (2018). Active contour based segmentation techniques for medical image analysis. **Medical and Biological Image Analysis**. DOI: 10.5772/intechopen.74576. 17-34.
- Illingworth, J. & Kittler, J. (1987). The Adaptive Hough Transform. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**. PAMI-9(5), 690-698.
- Madhukar, A. & Todmal, S. R. (2015). Eyelids, eyelashes detection algorithm and Hough transform method for noise removal in iris recognition. **International Journal of Computer Applications**, 112 (3),28-31.

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล	นายอภิชาติ สุทธิธรรมานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	14 กันยายน 2525
ที่อยู่	2/3 ถนนรัชฎา ตำบลบ่อหิน อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน ผลงานวิจัย พ.ศ. 2564	การประมวลผลภาพ วิธีการตรวจหาขนตาและเปลือกตาด้วยเทคนิค Hough Transform และ Active contour เพื่อกำจัดในงาน รู้จำม่านตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้