



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การรู้จำม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัล

โดย นางสาวอชิษกานต์ ไกรทอง

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรณปัญญา)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวรรณ)

กรรมการ

(พันโท ดร.สรพชัย หุวนันทน์)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุ่ง มีสัง)

การรู้จำม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัล

นางสาวอริษกานต์ ไกรทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาวอริษฏกานต์ ไกรทอง

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การรู้จำม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัล

สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์

ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

การรู้จำม่านตาเป็นการรู้จำลักษณะของม่านตาที่อยู่ในดวงตา โดยม่านตาจะเริ่มมีตั้งแต่อายุ 1 ปี ตามเดือนและจะสมบูรณ์ทั้งสีและลายเส้นภายในขวบปีแรก และไม่เปลี่ยนแปลงจนสิ้นอายุขัย ในมนุษย์ม่านตาสองข้างจะไม่เหมือนกัน ไม่มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแม้แต่ในฝาแฝด จึงมีความคงทนในการรู้จำ การนำม่านตามาใช้ ดวงตาไม่ต้องสัมผัสโดยตรงกับอุปกรณ์การตรวจสอบ จึงสามารถรักษาความสะอาดและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจสอบได้ แต่ในปัจจุบันการใช้งานยังอยู่ในวงจำกัด เนื่องจากกระบวนการทำงานที่ค่อนข้างซับซ้อนและราคาของระบบค่อนข้างสูง มิติแฟร็กทัลเป็นวิธีการที่ใช้สมการการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน จึงเป็นวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นที่ใช้เวลาน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอคือการรู้จำม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ เพื่อลดเวลาในการประมวลผล จึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอัตลักษณ์ของบุคคล ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 91.22 จากภาพดวงตาจำนวน 353 ภาพ

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 59 หน้า)

คำสำคัญ : ไปโอเมตริกซ์ การรู้จำม่านตา ร่ม่านตา มิติแฟร็กทัล การสกัดคุณลักษณะเด่น

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Miss Athiskan Kraithong
Thesis Title : Iris Recognition Using Fractal Dimension
Major Field : Computer Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr. Kuntpong Woraratpanya
: Assistant Professor Dr. Supot Nitsuwat
Academic Year : 2006

Abstract

Iris recognition is one of the best biometrics techniques using the characteristic recognition of iris. Normally iris both color and texture has been created since the first three months and it will be completed within one year. Iris will then remain unchanged until the end of one's life. Typically both sides of the eyes iris are difference. Moreover it is unique and independent for genealogy even though in twins. In iris recognition system is not necessary to use any parts of equipment to contact directly to the eye. As a result the cleanness equipment and long life of could be a benefit of this technique. Nowadays iris recognition is not extensively used because complexity system and expensive equipment. Fractal dimension is simply function then using times less then more functions. In this research using fractal dimension box-counting and high-low pass filters to extract features becomes lower time consuming process. Also this method is more interested for identify human. The result from this research has shown that matching score is 91.22 % of 353 eye image samples evaluated.

(Total 59 pages)

Keywords : biometrics, iris recognition, pupil, fractal dimension, feature extraction

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านผู้หญิงที่ศนาวลัย ศรสงคราม คุณสินธุ ศรสงคราม คุณเทียบทาน ทัพพะรังสี คุณชนาดา รัตนยุคล และเพื่อนร่วมงาน หจก.รจนาการ(2530) ทุกท่านที่เป็นแรงสนับสนุนอย่างดีเยี่ยมในทุกด้านตลอดมา

พันโท ดร.สรรพชัย หุวะนันท์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และเป็นกำลังสำคัญด้านข้อมูลให้กับผู้วิจัยอย่างไม่เห็นแก่หน้า และเอาใจใส่ติดตามดูแลด้วยดีตลอดมา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ โกคารัตนกุล สำหรับคำแนะนำด้านงานวิจัย และกำลังใจสำหรับการทำวิจัยชิ้นนี้

คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาว ที่เป็นต้นกำเนิดหล่อเลี้ยงร่างกายและความคิดจนเติบโตใหญ่

พี่น้อง และเพื่อนมิตรทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจ ช่วยเหลือ ผลักดันกันมาตลอดทำให้ข้าพเจ้าสร้างสร้งงานวิจัยชิ้นนี้ได้สำเร็จลุล่วง คุณสุรเดช แซ่ลิ่ม น้องชายที่เป็นแหล่งวัสดุอุปกรณ์และหน่วยสนับสนุนอันเข้มแข็งตลอดระยะเวลาการศึกษา คุณอุทุมพร ผิงผาย สำหรับกำลังใจและกำลังใจทรัพย์เริ่มต้นการจัดซื้อคอมพิวเตอร์ เพื่อนและอาจารย์กลุ่มพัฒนการพระนคร ที่ร่วมทุนจัดซื้ออุปกรณ์การศึกษาในวันแรกเข้าศึกษา ตลอดจนกำลังใจความพยายามจะช่วยเหลือในทุกด้านครอบครัวพัฒนาชนชั้นและสมาชิกน้อยตระกูลทุกท่านสำหรับกำลังใจที่มอบให้ เพื่อนร่วมชะตากรรมในภาควิชาที่เป็นแรงกาย แรงใจให้ต่อสู้จนถึงที่สุด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตยสุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบคุณทุกอุปสรรคที่มีให้ข้ามผ่านและก่อให้เกิดมิตรภาพสวยงามบนโลก ประโยชน์และคุณความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ ครูอาจารย์ ผู้มีพระคุณ คุณสุภเชษฐ รสนานนท์ คุณปรีดา สุวรรณวงศ์ ตลอดจนพี่น้องผองเพื่อนที่แสนดีและเข้มแข็งของข้าพเจ้าทุกท่าน

อชิษกานต์ ไกรทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ประโยชน์ของผลการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไบโอมเมตริกซ์	4
2.2 โครงสร้างตา	6
2.3 ระบบการรู้จำม่านตา	9
2.3.1 การรับภาพ	9
2.3.2 ระบุตำแหน่งม่านตาและปรับขนาดม่านตาให้เป็นขนาดมาตรฐาน	10
2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพม่านตา	20
2.3.4 การสกัดคุณลักษณะเด่นของม่านตา	23
2.3.5 การเข้าสู่คุณลักษณะเด่นของม่านตา	33
2.4 การประเมินประสิทธิภาพ	35
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย	38
3.1 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้มิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ	38
3.2 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง และตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ	44
3.3 ขั้นตอนการการเข้าสู่คุณลักษณะเด่น	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ	48
บทที่ 4 ผลการวิจัย	49
4.1 วิธีดำเนินการทดลอง	49
4.2 ผลการทดลอง	50
4.3 สรุปผลการทดลอง	52
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	55
5.2 ปัญหาของการพัฒนางานวิจัย	56
5.3 ข้อเด่นและข้อด้อยของวิธีการที่พัฒนาขึ้นใหม่	56
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	56
เอกสารอ้างอิง	57
ประวัติผู้วิจัย	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 การเปรียบเทียบผลของการใช้เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ด้วยวิธีที่ต่างกัน	5
4-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำ กรณีการปรับขนาดเคอร์เนลจากตัวกรองสูงต่ำ	50
4-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำ กรณีการปรับค่า Tolerance Threshold ในการเข้าสู่	50
4-3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำ กรณีการปรับจำนวนแถวของภาพม่านตา	51
4-4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำม่านตาด้วยวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นต่างๆ	52

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 โครงสร้างตา	6
2-2 ส่วนประกอบของภาพม่านตา	9
2-3 ระบบการรู้จำม่านตา	9
2-4 ตัวอย่างภาพดวงตาในฐานข้อมูล CASIA	10
2-5 ลักษณะการกระจายแบบเกาส์เซียน 1 มิติ $\sigma = 1$	11
2-6 ลักษณะการกระจายแบบเกาส์เซียน 2 มิติ $\sigma = 1$	12
2-7 ภาพดวงตาผ่านตัวกรองเกาส์เซียน	12
2-8 ความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทารูปแบบต่างๆ	14
2-9 การตรวจจับขอบภาพม่านตา	16
2-10 ผลลัพธ์ของภาพดวงตาจากการทำ Localization	17
2-11 การแทนจุดภาพจากระบบพิกัดเชิงขั้วเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน	18
2-12 การแทนค่าหาขอบเขตม่านตา	20
2-13 ภาพม่านตาหลังการปรับขนาดให้เป็นมาตรฐาน	20
2-14 ภาพม่านตาและกราฟฮิสโตแกรมก่อน-หลังการปรับค่าด้วย Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization	22
2-15 ความสัมพันธ์ของสเกลวัตถุ (n) และมิติ	25
2-16 การแบ่งวัตถุเพื่อหามิติ	25
2-17 ภาพต้นแบบกราฟมิติแฟร็กทัล	26
2-18 กราฟมิติแฟร็กทัล	27
2-19 ตัวกรองเกาส์เซียน	29
2-20 กระบวนการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้ตัวกรองการบอหนึ่งมิติ	30
2-21 การลบกันของสมการตัวกรองความถี่ต่ำได้เป็นตัวกรองความถี่สูง	31
2-22 ผลลัพธ์ของการกรองภาพด้วยตัวกรองความถี่สูง-ต่ำใน 8 ทิศทาง	33
2-23 กระบวนการเปรียบเทียบเลื่อนบิตโดยใช้วิธีการแฮมมิงคิสแทนซ์	35
3-1 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีการมิติแฟร็กทัลและ ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ	39
3-2 ตัวอย่างภาพดวงตา	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-3 การปรับรูปแบบภาพม่านตาให้เป็นขนาดมาตรฐาน (150x400 จุดภาพ)	40
3-4 ภาพการปรับความชัดเจนด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization	40
3-5 การปรับรูปแบบข้อมูลแต่ละแถวภาพเป็นเมตริกซ์ด้านเท่า	41
3-6 ภาพปรับรูปแบบข้อมูลเป็นเมตริกซ์ด้านเท่าขนาด 20 x 20 จุดภาพ	42
3-7 ค่าตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ	43
3-8 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง และตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ	45
3-9 การแบ่งตารางย่อยออกเป็นแบนด์ 2 ระดับ	46
3-10 การคำนวณหาค่าความแตกต่างความเข้มสีในแต่ละตารางย่อย	46
3-11 จำนวนของตัวแทนคุณลักษณะเด่นในแต่ละแถวของภาพม่านตา	47
4-1 แผนผังรูปแบบการทดลอง	49
4-2 กราฟการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ (วินาที) ในการประมวลผลของแต่ละวิธีการ	53
4-3 กราฟการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละวิธีการ	54
4-4 กราฟการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้และค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละวิธีการ	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการจำแนกแยกแยะลักษณะเฉพาะบุคคลมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อการระบุตัวบุคคลในระบบรักษาความปลอดภัย ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ อัตลักษณ์ภายนอกและอัตลักษณ์ภายใน โดยอัตลักษณ์ภายนอก ได้แก่ ลายเซ็น รหัสผ่าน เลขรหัสเฉพาะบุคคล เช่น รหัสบัตรประจำตัวประชาชน รหัสบาร์โค้ด ตัวอย่างการบ่งบอกตัวบุคคลที่ใช้อัตลักษณ์ภายนอกในการทำธุรกรรมในปัจจุบัน ได้แก่ ลายเซ็น แต่ค่าของความคลาดเคลื่อนของการจำแนกอาจขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น น้ำหนักที่กด ภาวะของร่างกายที่ไม่พร้อม เป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาอื่นที่พบบ่อยๆ เช่น การหลงลืมเลขรหัส การขโมยข้อมูล การลอกเลียนปลอมแปลง ดังนั้นควรใช้ระบบที่สามารถจำแนกแยกแยะเฉพาะตัวบุคคลได้โดยไม่ต้องใช้ปัจจัยประกอบภายนอก เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำอัตลักษณ์ภายในซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะในร่างกายของแต่ละบุคคลทางชีวภาพ (Biometrics) มาใช้เพื่อระบุอัตลักษณ์ของแต่ละบุคคล เช่น ลายนิ้วมือ (Fingerprint) ลักษณะของหน้า (Face) ลักษณะท่าทางการเดิน (Gesture) เสียง (Voice) และม่านตา (Iris)

การรู้จำม่านตา (Iris Recognition) ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากม่านตาจะเริ่มมีตั้งแต่อายุได้สามเดือนและจะสมบูรณ์ทั้งสีและลายเส้นภายในขวบปีแรก และไม่เปลี่ยนแปลงจนสิ้นอายุขัยในมนุษย์ม่านตาสองข้างจะไม่เหมือนกัน ไม่มีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแม้แต่ในฝาแฝด [1]

จากลักษณะเด่นของเทคนิคการรู้จำม่านตา ทำให้เป็นที่คาดกันว่าในอนาคตจะเป็นการรู้จำที่ได้รับความนิยม เนื่องจากค่าความผิดพลาดในการตรวจสอบตัวบุคคลต่ำ และลักษณะข้อมูลเปรียบเทียบที่ใช้มีอายุยาวนาน มีโอกาสของการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการรู้จำอัตลักษณ์ชนิดอื่น ทั้งเป็นลักษณะเด่นทางชีวภาพของแต่ละบุคคล ไม่จำเป็นต้องใช้ความจำลดการผิดพลาดในการเขียน ป้องกันการปลอมแปลง ลักลอบการใช้ข้อมูลได้เป็นอย่างดี จึงเป็นไปได้ว่าในอนาคตการรู้จำม่านตาจะเข้ามาใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล การผ่านเข้าออกอาคาร การทำธุรกรรมทางการเงิน รวมถึงการทำสำมะโนประชากรอีกด้วย

แม้ในปัจจุบันจะมีการนำระบบการรู้จำม่านตามาใช้บ้างแล้ว แต่ยังเป็นไปในวงแคบ เนื่องจากความซับซ้อนของเทคนิคและราคาที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรู้จำอัตลักษณ์เทคนิคอื่น ขั้นตอนการทำงานที่สลับซับซ้อนของระบบทำให้การศึกษาทำความเข้าใจการทำงานของระบบถูกจำกัดเฉพาะกลุ่ม จึงเป็นระบบงานที่น่าสนใจและยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกมาก

เนื่องจากงานวิจัยการรู้จำม่านตาจนถึงในปัจจุบันยังมีการนำวิธีการมิติแฟร็กทัลมาใช้ในการรู้จำม่านตาน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น [6] [13] โดยมีการนำวิธีการมิติแฟร็กทัล มาใช้ในการรู้จำของม่านตา แต่ใช้ทั้งภาพในการคำนวณค่าคุณลักษณะเด่นของม่านตา ค่าความผิดพลาดเป็นที่ยอมรับได้ [6] และมีการนำวิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง เลือกคำนวณเฉพาะส่วนของภาพม่านตา มาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามลักษณะเฉพาะของลายม่านตา แยกออกเป็นสี่กลุ่ม ซึ่งได้ค่าความถูกต้องถึงร้อยละ 98.28 [13]

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นหาวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นของม่านตา โดยใช้วิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งมาทดลองสกัดคุณลักษณะเด่นของม่านตา เฉพาะส่วนของภาพดวงตาที่สนใจ โดยเน้นเฉพาะส่วนที่มีลวดลายมากเป็นหลัก เพื่อลดเวลาในการค้นหาและประมวลผล และได้เพิ่มตัวกรองสูง-ต่ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคุณลักษณะเด่น ก่อนผ่านกระบวนการเข้าสู่โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างน้อยที่สุด เพื่อใช้ในการรู้จำอัตลักษณ์ของบุคคล

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนการรู้จำม่านตา โดยใช้หลักการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ สำหรับการสกัดคุณลักษณะเด่นของม่านตา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ฐานข้อมูลม่านตาของ Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation ชื่อ CASIA Version 1 จำนวน 756 ภาพ จาก 108 คน แบ่งออกเป็นชาวจีน 95.3% และชนชาติอื่น ๆ 4.7% ในจำนวนชาวจีนสามารถแบ่งตามอายุได้เป็นอายุน้อยกว่า 25 ปี 41% และชาวจีนอายุตั้งแต่ 25 - 49 ปี 55% ส่วนชาติอื่นๆ มีอายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป คิดสัดส่วนชาย:หญิง เป็น 7:3 เป็นภาพโทนสีเทาขนาด 320 x 280 จุดภาพ [4]

1.3.2 คัดเลือกเฉพาะภาพที่มีการตรวจจับหลายเส้นของส่วนรูม่านตาและลายเส้นนอกม่านตาสมบูรณ์ จำนวน 353 ภาพ จาก 62 คน

1.3.3 ใช้เป็นภาพม่านตาที่ผ่านการ Normalization เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 150 x 400 จุดภาพ โดยใช้เฉพาะส่วนที่เป็นลายม่านตา

1.3.4 ใช้มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองสูง-ต่ำ ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของม่านตา มาใช้เปรียบเทียบอัตลักษณ์ของบุคคล

1.3.5 ใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7 ในการวิเคราะห์และทดลอง

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ใช้เลขจำนวนเต็มกับข้อมูลประเภทจำนวน

1.4.2 ใช้เลขทศนิยมจำนวนสองหลักกับข้อมูลประเภทร้อยละ

1.4.3 ใช้เลขทศนิยมจำนวนสี่หลักกับข้อมูลประเภทค่าความผิดพลาด

1.5 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ไบโอมेटริกซ์ (Biometrics) หมายถึง การผสมผสานเทคโนโลยีทางด้านชีวภาพและทางการแพทย์กับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยการตรวจวัดคุณลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางพฤติกรรม เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละคนมาใช้ในการระบุเอกลักษณ์ตัวบุคคล [16]

1.5.2 Pupil หมายถึง รูม่านตา ซึ่งจะมีการหดขยายตามปริมาณแสงที่ได้รับ

1.5.3 Iris หมายถึง ม่านตา ซึ่งอยู่ถัดจากรูม่านตา

1.5.4 Segmentation หมายถึง การแยกส่วนประกอบเพื่อหาหลายเส้นของส่วนรูม่านตาและลายเส้นนอกของม่านตา

1.5.5 Normalization หมายถึง การปรับรูปทรงจากวงกลมกลวง ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

1.5.6 Feature Extraction หมายถึง การสกัดคุณลักษณะเด่น

1.5.7 Feature Encoding หมายถึง การนำค่าคุณลักษณะเด่นเข้ารหัสข้อมูลเพื่อกำหนดเป็นรูปแบบเฉพาะบุคคล

1.5.8 Matching หมายถึง การเข้าคู่ของรหัสข้อมูล โดยการเปรียบเทียบรหัสข้อมูลคุณลักษณะเด่นของแต่ละบุคคล ใช้จำแนกความเหมือนหรือแตกต่างกันของรหัสข้อมูล เพื่อระบุความเป็นบุคคลเดียวกัน

1.6 ประโยชน์ของผลการวิจัย

1.6.1 ได้ขั้นตอนวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง และตัวกรองความถี่สูง-ต่ำที่มีประสิทธิภาพ

1.6.2 ได้แนวทางในการในการพัฒนาระบบการรู้จำม่านตา

1.6.3 เป็นแนวทางให้ผู้สนใจได้ค้นคว้าและศึกษาเกี่ยวกับการรู้จำม่านตา

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอเมตริกซ์ (Biometrics)

ไบโอเมตริกซ์ คือ การผสมผสานเทคโนโลยีทางด้านชีวภาพและการแพทย์ กับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics) และลักษณะทางพฤติกรรม (Behaviors) ที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละคนมาใช้ในการระบุเอกลักษณ์ตัวบุคคล แล้วนำสิ่งเหล่านั้นมาเปรียบเทียบกับลักษณะที่ได้บันทึกไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้านี้ เพื่อใช้แยกแยะตัวบุคคลนั้นจากบุคคลอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการตรวจสอบตัวบุคคลนั้น ในกรณีที่อาจเป็นผู้ต้องสงสัยในการละเมิดกฎหมายได้อีกด้วย ลักษณะทางกายภาพของคนเรานั้นส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ในขณะที่พฤติกรรมอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ จึงทำให้การพิสูจน์บุคคลโดยใช้ลักษณะทางกายภาพนั้น มีความน่าเชื่อถือมากกว่า ตัวอย่างของลักษณะทางกายภาพที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ ลายนิ้วมือ ม่านตา ซ่อนตา คำ ฝ่ามือ และรูปหน้า เป็นต้น ส่วนเสียงพูด การลงลายมือชื่อ การใช้แป้นพิมพ์ ซึ่งจัดเป็นลักษณะทางพฤติกรรมของบุคคล ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามกาลเวลาและการเรียนรู้ของเจ้าของ แต่ข้อดีอย่างหนึ่งของการใช้ไบโอเมตริกซ์ประเภทนี้ก็คือ ใช้ง่าย เป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ และมีอัตราเสี่ยงต่อการติดเชื่อต่ำ เนื่องจากไม่ต้องนำอวัยวะที่ไวต่อการติดเชื่อ (เช่น ดวงตา) ไปสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านข้อมูลไบโอเมตริกซ์

การนำไบโอเมตริกซ์มาใช้เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์นั้น เป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับองค์กรหรือแม้แต่ว่าระดับประเทศเอง เนื่องจากสามารถป้องกันบุคคลที่น่าสงสัย หรือผู้ไม่ประสงค์ดีเข้ามาก่อวินาศกรรมได้ ดังนั้น ในปัจจุบันจึงเริ่มมีการนำเทคโนโลยีทางด้านนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การควบคุมการเข้าออกอาคาร การจัดฐานข้อมูลอาชญากร การควบคุมการลงเวลางาน และการตรวจสอบคนเข้าเมือง เป็นต้น นอกจากนี้ ธนาคารในต่างประเทศหลายแห่ง ในปัจจุบันเริ่มที่จะนำเทคโนโลยีชนิดนี้เข้ามาใช้กันมากขึ้น เพื่อป้องกันอาชญากรรมที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการระบุตัวบุคคลผิดพลาด [16]

ไบโอเมตริกซ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การใช้ลักษณะทางกายภาพ (Physiological Biometrics) และการใช้ลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioural Biometrics) สำหรับการระบุตัวบุคคล

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพ (Physiological Biometrics)

2.1.1.1 ลายนิ้วมือ (Fingerprint)

2.1.1.2 ลักษณะใบหน้า (Facial Recognition)

2.1.1.3 ลักษณะของมือ (Hand Geometry)

2.1.1.4 ลักษณะของนิ้วมือ (Finger Geometry)

2.1.1.5 ลักษณะใบหู (Ear Shape)

2.1.1.6 ม่านตาและเรตินาภายในดวงตา (Iris และ Retina)

2.1.1.7 กลิ่น (Human Scent)

2.1.2 ลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioural Biometrics)

2.1.2.1 การพิมพ์ (Keystroke Dynamics)

2.1.2.2 การเดิน (Gait Recognition)

2.1.2.3 เสียง (Voice Recognition)

2.1.2.4 การเซ็นชื่อ (Signature) [11]

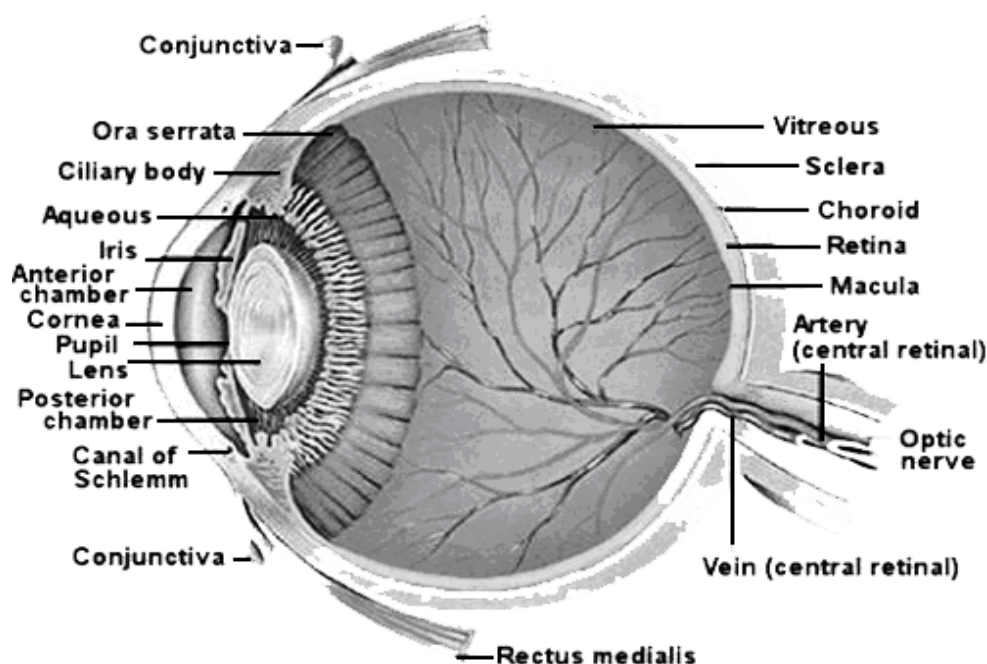
ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบผลของการใช้เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน [16]

Characteristic	Fingerprints	Hand Geometry	Retina	Iris	Face	Signature	Voice
Ease of Use	High	High	Low	Medium	Medium	High	High
Error incidence	Dryness dirt age	Hand injury age	Glasses	Poor Lighting	Lighting age glasses hair	Changing signatures	Noise colds weather
Accuracy	High	High	Very high	Very high	High	High	High
User acceptance	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	High
Required security level	High	Medium	High	Very high	Medium	Medium	Medium
Long-term stability	High	Medium	High	High	Medium	Medium	Medium

จากตารางการเปรียบเทียบผลของการใช้เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ จะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องมากที่สุดจะอยู่ที่จอประสาทตาและม่านตา ซึ่งเป็นส่วนประกอบของดวงตา และมีระยะเวลาในการคงอยู่ทางชีวภาพสูง ระดับของความปลอดภัยสูงสุด คือ ม่านตา และเมื่อเปรียบเทียบความง่ายต่อผู้ใช้งานระหว่างจอประสาทตาและม่านตา แต่ม่านตามีความง่ายต่อผู้ใช้งานมากกว่า ดังนั้น หากพิจารณาจากข้อมูลผลของการใช้เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ ม่านตาจึงเป็นเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ที่น่าสนใจมาก ทั้งในด้านความปลอดภัยและความถูกต้องแม่นยำ

2.2 โครงสร้างตา (Ocular Anatomy)

ตา เป็นอวัยวะสำคัญที่ใช้ในการมองเห็น มีส่วนประกอบและกลไกในการทำงานค่อนข้างสลับซับซ้อน มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญของโครงสร้างตาได้แสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างตา

2.2.1 ขอบตาหรือหนังตา (Eyelids) คือ ผิวหนังบริเวณขอบในสุดของช่องลูกตา (Palpebral Aperture) เป็นผิวหนังส่วนที่บางที่สุดของร่างกายมนุษย์และไวต่อความรู้สึก ทำหน้าที่ปกป้องลูกตาจากสิ่งแปลกปลอม โดยการกระพริบตาและปิดตาอย่างรวดเร็ว ควบคุมปริมาณแสงที่เข้าสู่ตา โดยการหยิหรือหรีตา กระจายน้ำตาให้ทั่วลูกตาในขณะที่กระพริบตา

2.2.2 ขนตา (Eyelashes) ตามปกติขนตาของคนเราจะมีประมาณ 2 – 3 แถว ขึ้นรอบขอบตา ทำหน้าที่ป้องกันฝุ่นละอองไม่ให้เข้าสู่ลูกตา

2.2.3 เยื่อบุตาขาว (Conjunctiva) มีประโยชน์คือ ทำให้ลูกตามีความเรียบและลื่นขณะกระพริบตา

2.2.4 กระจกตา (Cornea) เป็นอวัยวะส่วนสำคัญ ที่มีหน้าที่ในการหักเหแสง มีลักษณะใส ไม่มีเส้นเลือด ประกอบด้วยชั้นต่างๆ 5 ชั้น เป็นส่วนปลายของเส้นประสาท ทำให้ไวต่อความรู้สึก มี Power ประมาณ + 44.00 D. มีความโค้ง (Base Curve) 7.7 – 7.9 มม.

2.2.5 เส้นเอ็นยึดเลนส์ตา (Suspensory Ligaments) มีลักษณะเป็นเส้นเอ็นเล็กๆ ที่เหนียว ทำหน้าที่ยึดเลนส์ตาให้อยู่ในตำแหน่งปกติ

2.2.6 กล้ามเนื้อปรับเลนส์ตา (Ciliary Body) เป็นส่วนฐานของม่านตา (Iris) ทำหน้าที่ช่วยในการควบคุมการเพ่ง

2.2.7 น้ำช่องลูกตาด้านหน้า (Aqueous Humor) มีลักษณะเป็นของเหลวใส (Liquid) คล้ายน้ำอยู่ระหว่างกระจกตากับเลนส์ตา ทำหน้าที่ช่วยรักษาความโค้งของกระจกตา

2.2.8 น้ำวุ้นช่องลูกตาด้านหลัง (Vitreous Humor) มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความหนืดคล้ายเจล อยู่หลังเลนส์ตา ช่วยรักษารูปร่างของลูกตา (Eyeball) ให้อยู่ในสภาวะปกติ

2.2.9 ตาขาว (Sclera) มีลักษณะเป็นสีขาว เป็นชั้นที่มีความหนา เหนียวและแข็งแรง มีหน้าที่รักษารูปร่างลูกตาและปกป้องโครงสร้างตาภายในทั้งหมด

2.2.10 โครอยด์ (Choroid) เป็นชั้นบางๆ สีน้ำตาลเข้มถึงดำ ประกอบด้วยเส้นเลือด (Vascular) เป็นจำนวนมาก อยู่กึ่งกลางระหว่างตาขาวกับจอรับภาพ

2.2.11 จอรับภาพหรือจอประสาทตา (Retina) คือ อวัยวะที่ทำหน้าที่รับภาพคล้ายกับฟิล์มในกล้องถ่ายรูป เป็นชั้นที่อยู่ภายในสุด มีลักษณะเป็นแผ่นบางและใส ประกอบด้วยชั้นต่างๆ 10 ชั้น ภายในเรตินา ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ รอดส์ (Rods) ทำหน้าที่รับภาพในตอนกลางคืนหรือในที่มืด โคนส์ (Cones) ทำหน้าที่รับภาพในช่วงกลางวัน มัคคิวลา (Macula) เป็นส่วนเล็กๆ ในจอประสาทตา ขนาด 1 – 2 มม. ปราศจากเส้นเลือด โฟเวีย (Fovea) ศูนย์กลางของมัคคิวลา จุดที่ปรากฏภาพชัดเจนที่สุด

2.2.12 ออฟติค ดิสก์ (Optic Disc) เป็นส่วนหัวของเส้นประสาท มีลักษณะกลมหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “จุดบอดของตา” คือไม่มีการมองเห็นเกิดขึ้น หากแสงไปตกบริเวณนี้

2.2.13 ออฟติค คัพ (Optic Cup) อยู่บริเวณศูนย์กลาง “จุดบอดของตา” มีรูปร่างคล้ายกรวย เป็นส่วนที่เส้นประสาทตาแยกออกจากกัน

2.2.14 เส้นประสาทตา (Optic Nerve) เป็นเส้นประสาทที่มีหน้าที่นำภาพทั้งหมดที่ปรากฏขึ้นไปสู่สมอง (Brain) โดยสมองจะทำหน้าที่แปลผลว่าภาพที่เห็นนั้นคือวัตถุอะไร

2.2.15 เส้นเลือดดำ – แแดง (Retinal Vein Artery) เส้นเลือดแดงทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนและสารอาหารไปหล่อเลี้ยงโครงสร้างตาภายใน ส่วนเส้นเลือดดำทำหน้าที่ลำเลียงเลือดเสียออกมาสู่กระบวนการฟอกที่ปอดต่อไป

2.2.16 ต่อมผลิตน้ำตา (Lacrimal Gland) ตำแหน่งอยู่บริเวณด้านบนของหางตา ทำหน้าที่ผลิตน้ำตาเพื่อหล่อเลี้ยงผิวตาให้ชุ่มชื้นอยู่ตลอดเวลา โดยมีขอบตาทำหน้าที่เกลี่ยน้ำตาให้กระจายทั่วถึงในขณะที่มีการกระพริบตา

2.2.17 ท่อระบายน้ำตา (Puncta) เป็นท่ออยู่บริเวณหัวตาบนและล่าง ทำหน้าที่ระบายน้ำตาลงสู่โพรงจมูกและลำคอ [15]

2.2.18 เลนส์ตา (Crystalline Lens) เป็นส่วนที่มีหน้าที่หักเหแสงและโฟกัสภาพ มีลักษณะคล้ายเลนส์นูนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เป็นส่วนที่มีกระบวนการเพ่ง (Accommodation) เกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนรูปร่างให้หนูนมากขึ้นหรือแบนลงตามระยะของวัตถุที่มอง มีลักษณะใส โปร่งแสง Power ของเลนส์ตาขณะไม่มีการเพ่ง = + 19.00 D. Power ของเลนส์ตาขณะเพ่งสูงสุด = + 33.00 D.

2.2.19 ม่านตา (Iris) มีลักษณะเป็นแผ่นเนื้อเยื่อทึบแสง ประกอบด้วยเม็ดสี (Pigment) จำนวนมาก เป็นส่วนที่ทำให้ตามีสีต่างๆ เช่น น้ำตาล ดำ ฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับเชื้อชาติและพันธุกรรม ส่วนของม่านตาก็จะมีการพัฒนาดังแต่แรกเกิดจนสมบูรณ์ภายในขวบปีแรก และจะไม่เปลี่ยนแปลงรูปแบบตามอายุ มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 12 มม. [7]

ส่วนประกอบโครงสร้างของม่านตามีดังนี้

2.2.19.1 รูม่านตา (Pupil) เป็นส่วนของรูม่านตาที่มีหน้าที่ควบคุมรับปริมาณแสงผ่านไปยังเรตินา สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดยึดหดได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1-8 มม.

2.2.19.2 Collarette บริเวณเส้นขอบคดเคี้ยวเป็นวงรอบ อยู่ระหว่างพื้นที่รอบรูม่านตา (Radial Furrows) และกล้ามเนื้อปรับเลนส์ตา

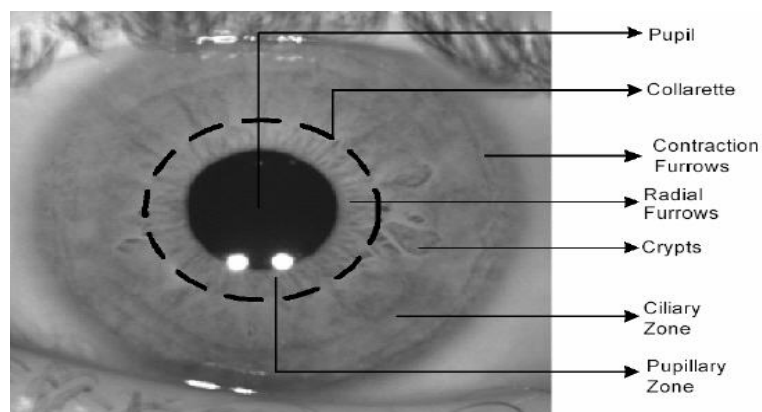
2.2.19.3 Contraction Furrows บริเวณใกล้ขอบนอกสุดของม่านตา

2.2.19.4 Radial Furrows บริเวณถัดจากรูม่านตามีลักษณะเป็นเส้นรัศมีแยกออกมาจากรูม่านตา

2.2.19.5 Crypts คือ ส่วนที่มีหลอดลายซับซ้อน บางแห่งเป็นหลุมลึกจนเห็นสีของชั้นสโตรมา

2.2.19.6 Ciliary Zone บริเวณที่อยู่ใกล้ฐานของม่านตา ที่มีลักษณะเป็นสันและร่องจำนวนมาก

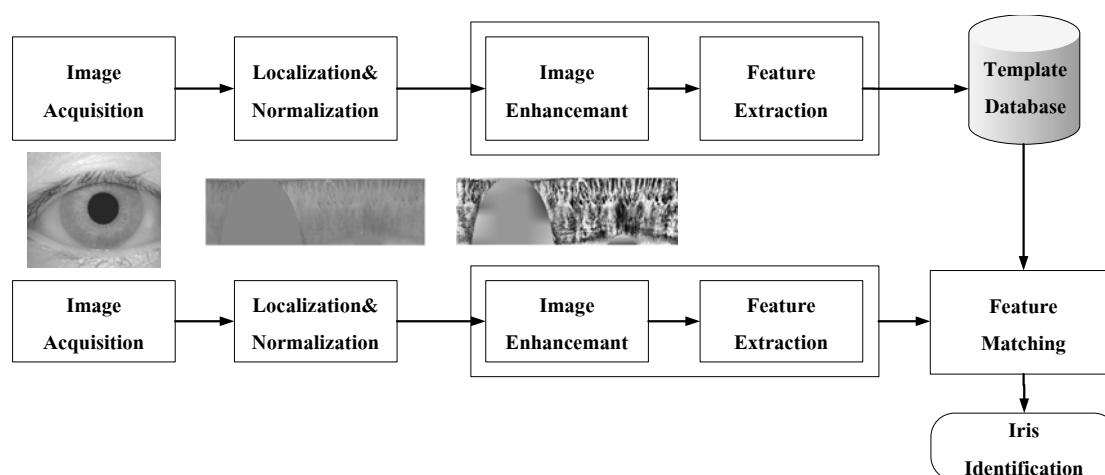
2.2.19.7 Pupillary Zone เป็นบริเวณพื้นที่ส่วนบริเวณที่อยู่ใกล้รูม่านตาที่สุด มีลักษณะเป็นส่วนที่เรียบ [11], [12]



ภาพที่ 2-2 ส่วนประกอบของภาพม่านตา

2.3 ระบบการรู้จำม่านตา (Iris Recognition System)

ระบบการรู้จำม่านตา ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2-3

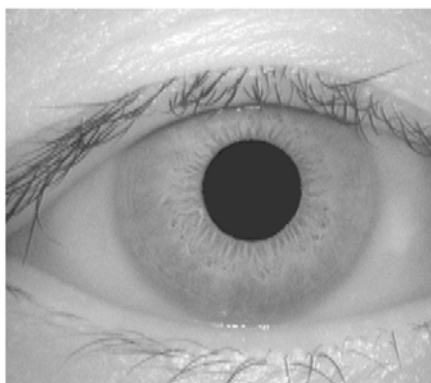


ภาพที่ 2-3 ระบบการรู้จำม่านตา

2.3.1 การรับภาพ (Image Acquisition)

การนำม่านตามาใช้เป็นขนาดของรูม่านตาที่มีความไวต่อแสง ทำให้มีผลต่อขนาดของม่านตา เพราะม่านตามีลักษณะเป็นวงปิดหุ้มรอบๆ รูม่านตา ซึ่งช่วยในการควบคุมแสงที่ผ่านกระจกตา ไปกระทบยังเรตินา และส่งสัญญาณผ่านเส้นประสาทไปยังสมองทำให้เกิดการมองเห็นภาพขึ้น โดยรูม่านตาจะหดให้มีขนาดรูที่เล็กลง เมื่อได้รับปริมาณแสงที่มาก และจะขยายขนาดรูม่านตาให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อรับแสงเพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีปริมาณแสงที่น้อยลง ทำให้การเลือกวิธีในการรับภาพจากกล้องวิดีโอทัศน์จะต้องมีการควบคุมปริมาณแสง เพื่อทำให้รายละเอียดของลายบน

ม่านตามีมากพอที่จะใช้ในการรู้จำ จะต้องมีการใช้แสงไฟเพื่อให้มองเห็นถึงลายบนม่านตาและเพื่อควบคุมขนาดของรูม่านตา ซึ่งในดวงตาก็มีของเหลวที่ผลิตออกมาจากต่อมบริเวณหัวตาเคลือบอยู่ภายนอก ทำให้การใช้แสงไฟในการรับภาพจากกล้องวิดีโออาจเกิดการสะท้อนขึ้นภายในดวงตา ซึ่งจะปรากฏอยู่ในภาพที่รับเข้ามาโดยเป็นสิ่งรบกวนในการวิเคราะห์ภาพ ทำให้การเลือกใช้กล้องวิดีโอที่ต้องใช้แสงไฟช่วยในการรับภาพแบบธรรมดาแล้วนั้นอาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้ในการวิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการรับภาพที่ไม่ต้องใช้แสงไฟโดยการปรับการใช้งานของกล้องวิดีโอให้ใช้งานแบบการรับภาพในที่มืดโดยใช้แสงอินฟราเรด ซึ่งทำให้ภาพที่ได้นั้นมีการสะท้อนจากแสงไฟจากรูม่านตาที่ได้ยังมีขนาดใหญ่ จึงมีการใช้แสงไฟช่วยบ้างเพื่อควบคุมขนาดของรูม่านตาให้มีขนาดเล็กลงโดยไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณแสงมากเหมือนกับการรับภาพด้วยวิธีธรรมดา ซึ่งภาพที่ได้นั้นมีผลจากแสงไฟบ้างเล็กน้อยแต่จะทำให้เห็นถึงรายละเอียดของลายบนม่านตามากขึ้น เนื่องจากการจำกัดของอุปกรณ์ ในที่นี้จึงได้นำฐานข้อมูลภาพดวงตาของ CASIA [5] มาใช้ในการทดลองวิจัย



ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างภาพดวงตาในฐานข้อมูล CASIA

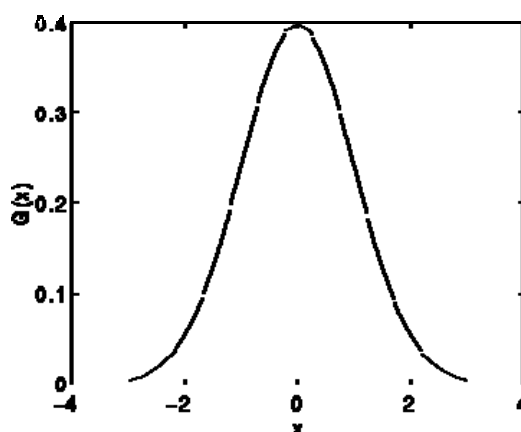
2.3.2 ระบุตำแหน่งม่านตา (Iris Localization) และปรับขนาดม่านตาให้เป็นขนาดมาตรฐาน (Iris Normalization)

นำภาพดวงตาที่ได้มาจากระบบการรับภาพเพื่อระบุตำแหน่งม่านตา เริ่มต้นจากกระบวนการแบ่งภาพ (Segmentation) เป็นการแยกส่วนประกอบเพื่อหาขอบเขตของส่วนรูม่านตาและขอบเขตของม่านตา โดยใช้ตัวกรองเกาส์เซียนกรองความถี่ต่ำของภาพ เพื่อลดสิ่งแปลกปลอม ด้วยสมการตัวกรองเกาส์เซียน นำมาคอนโวลูชัน (Convolution) กับภาพต้นฉบับจะได้เป็นภาพเบลอ ดังภาพที่ 2-7 รายละเอียดตัวกรองเกาส์เซียน มีดังนี้

ตัวกรองเกาส์เซียน ใช้สำหรับลดความคมชัดของภาพจัดข้อมูลส่วนเกิน และข้อมูลที่ซ้ำซ้อนของภาพ ลักษณะของกราฟเกาส์เซียนเป็นรูปทรงระฆัง ดังภาพที่ 2-5 เคอนเลขของตัวกรองเกาส์เซียนที่มีขนาดเป็น 1 มิติ ดังสมการที่ (2-1)

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2-1)$$

เมื่อ	$G(x)$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย
	x	คือ ค่าของจำนวนกลุ่มตัวอย่างของฟังก์ชัน G
	σ	คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจาย

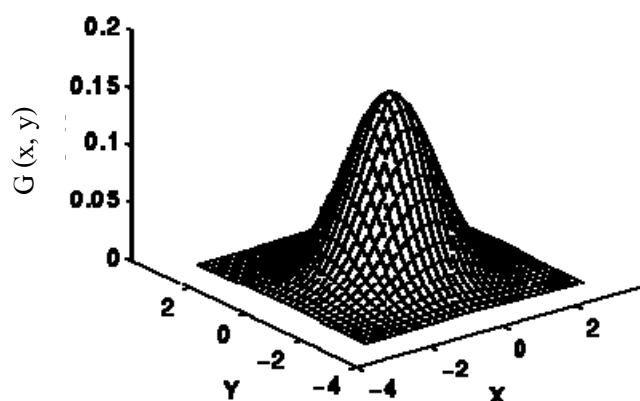


ภาพที่ 2-5 ลักษณะการกระจายแบบเกาส์เซียน 1 มิติ $\sigma = 1$

สำหรับคอนเลขของตัวกรองเกาส์เซียนที่มีขนาดเป็น 2 มิติ ดังภาพที่ 2-6 เขียนแทนด้วยสมการที่ (2-2)

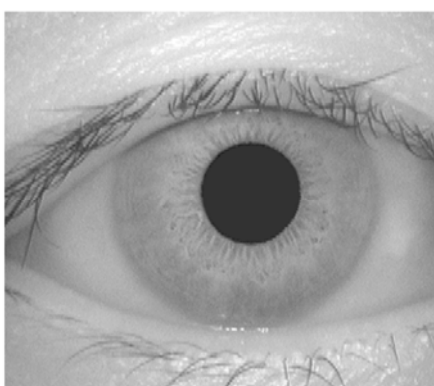
$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2-2)$$

เมื่อ	$G(x, y)$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย
	x และ y	คือ ค่าจำนวนกลุ่มตัวอย่างของฟังก์ชัน G
	σ	คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจาย

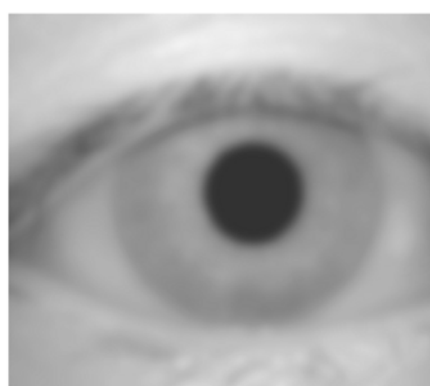


ภาพที่ 2-6 ลักษณะการกระจายแบบเกาส์เซียน 2 มิติ $\sigma = 1$

ตัวกรองเกาส์เซียนสามารถนำมาใช้กรองเส้น โครงภาพเพื่อลดความซ้ำซ้อนของจุดภาพบนเส้นโครงภาพ แสดงได้ดังภาพที่ 2-7 แล้วจึงหาเส้นขอบโดยใช้ Canny Edge Detection



(ก) ภาพดวงตาต้นฉบับ



(ข) ภาพดวงตาล้างผ่านตัวกรองเกาส์เซียน

ภาพที่ 2-7 ภาพดวงตาผ่านตัวกรองเกาส์เซียน

2.3.2.1 การหาขอบของวัตถุภาพ (Edge Detection)

ขอบ (Edge) ตำแหน่งในภาพซึ่งมีความไม่ต่อเนื่องของสีหรือความเข้มที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันต่างๆ ในภาพ เช่น ค่าความเข้มแสงของจุดภาพ ค่าระดับโทนสีเทา หรือลักษณะทางกายภาพของวัตถุภาพ เช่น ลักษณะของพื้นผิวหรือรูปทรงของวัตถุ ซึ่งเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบดังตัวอย่างภาพที่ 2-8

การพิจารณาความเปลี่ยนแปลงหรือความไม่ต่อเนื่องของค่าระดับเทานั้นที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ในภาพนั้น โดยฟังก์ชัน $f(x, y)$ เป็นค่าระดับเทาของจุดภาพ และหาขอบของวัตถุในภาพได้ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x, y)$ นั้นเอง

การเปลี่ยนแปลงฟังก์ชัน $f(x, y)$ สามารถหาได้จากอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของ $f(x, y)$ ดังเช่น หากต้องการหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งของ $f(x, y)$ ก็สามารทำได้โดยแทนด้วย ∇f (Gradient) ของ f ที่ตำแหน่ง (x, y) ดังสมการที่ (2-3)

$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \quad (2-3)$$

หรือ เขียนในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

ซึ่งสามารถหา Magnitude ของเวกเตอร์ดังนี้

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (2-5)$$

แต่ในทางปฏิบัติการประมาณค่า Gradient สามารถประมาณได้จากการใช้ค่าสัมบูรณ์ ดังแสดงในสมการที่ (2-6)

$$|\nabla f| \approx |G_x| + |G_y| \quad (2-6)$$

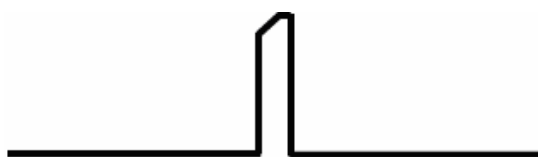
ในการขอบบางวิธีอาจพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $f(x, y)$ สองครั้งนั้นคือใช้การหาอนุพันธ์อันดับที่สองของ $f(x, y)$ ซึ่งแทนด้วย $\nabla^2 f$ ดังสมการที่ (2-7)

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2-7)$$

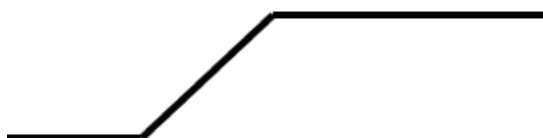
จากภาพที่ 2-8 (ก) แสดงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาแบบทันทีทันใด ขอบลักษณะเช่นนี้ จะเป็นขอบในอุดมคติ ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงและมีการแปรเปลี่ยนอย่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากสัญญาณรบกวนและความไม่ชัดเจนของบางจุดภาพ ลักษณะเส้นแสดงความเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 2-8 (ข) ภาพที่ 2-8 (ค) แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปชั่วขณะหนึ่งแล้วจึงกลับมาที่ค่าระดับเทาค่าเดิม ซึ่งอาจเป็นลักษณะของเส้น หรือวัตถุที่มีลักษณะคล้ายเส้นภาพ และภาพที่ 2-8 (ง) เป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาในภาพที่มีเส้นเป็นแนวแบ่งความแตกต่างของค่าระดับเทาสองค่า



(ก) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาของขอบที่สมบูรณ์



(ข) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาของขอบซึ่งมีสัญญาณรบกวนและความไม่คมชัด



(ค) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาแบบชั่วขณะซึ่งอาจเป็นลักษณะของขอบเส้นหรือวัตถุที่มีลักษณะคล้ายเส้นภาพ



(ง) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาของขอบซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นแบ่งค่าระดับเทาสองค่า

ภาพที่ 2-8 ความเปลี่ยนแปลงค่าระดับเทาแบบต่างๆ

2.3.2.2 การหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธี Canny หลักเบื้องต้นคือต้องการ คิดค้นวิธีการที่สามารถหาขอบของวัตถุในภาพได้อย่างมีคุณภาพ โดยขอบที่ได้จากวิธี Canny นั้นมี คุณสมบัติเด่น คือ มีอัตราสัญญาณข้อมูลต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) มาก ขอบภาพ ที่หาได้เป็นขอบภาพที่มีอยู่จริง และสัญญาณรบกวนถูกแสดงออกมาว่าเป็นขอบน้อยที่สุด โดย ขั้นตอนวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพด้วยวิธี Canny มีดังนี้

การจัดสัญญาณรบกวน ภาพนำเข้า f ที่จะนำมาหาขอบของภาพจะต้องผ่านการจัด สัญญาณรบกวนก่อน โดยได้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (G) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และมีส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน คือ σ ผลที่ได้จากการจัดสัญญาณรบกวนคือ f_G จากนั้นจึงคำนวณ Gradient หรือความ เป็นขอบภาพตามแนวแกน x และ y (G_x และ G_y) ในแต่ละจุดภาพที่ (x, y) โดยประมาณค่าของ ขอบภาพดังสมการที่ (2-8)

$$|\nabla f_G(x, y)| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2-8)$$

และประมาณค่าทิศทางการตั้งฉากกับขอบภาพด้วยสมการที่ (2-9) ผลที่ได้คือภาพ Gradient E_s จาก ค่าของ $|\nabla f_G(x, y)|$ และภาพทิศทาง E_0 จากค่าของ $\alpha(x, y)$

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (2-9)$$

การจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Non-maximum Suppression) เมื่อพิจารณาทิศทาง 4 ทิศทาง คือ $d_1 \dots d_z$ ซึ่งกำหนดทิศทางตำแหน่งที่ 0° 45° 90° และ 135° ในแต่ละจุดภาพ (x, y) ทิศทาง d_k ซึ่งใกล้เคียงกับ $E_0(x, y)$ ที่สุด ถ้า $E_x(x, y)$ มีค่าน้อยกว่าค่าใดค่าหนึ่งของจุดภาพ 2 จุด ระหว่างทิศทางของ d_k ให้กำหนด $I_N(x, y) = 0$ แต่ในทางตรงกันข้าม กำหนดให้ $I_N(x, y) = E_x(x, y)$ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ภาพ $I_N(x, y)$ ซึ่งคือภาพ $E_0(x, y)$ หลังจากจัดจุดของ ขอบภาพที่ไม่มากที่สุดออกไปแล้ว

การกำหนดค่าขีดแบ่ง (Thresholding) กำหนดค่าขีดแบ่ง 2 ค่า τ_l และ τ_h โดย $\tau_l < \tau_h$ สำหรับทุกจุดภาพที่เป็นขอบภาพใน I_N กำหนดให้จุดภาพที่ $I_N(x, y) > \tau_h$ เป็นขอบภาพใหม่ และจากจุดที่เป็นขอบภาพใหม่ จุดภาพที่ $I_N(x, y) > \tau_l$ และอยู่ติดกับจุดภาพที่เป็นขอบภาพใหม่ นั้นถือว่าเป็นขอบภาพ เช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพ ซึ่งเป็นภาพสัญญาณพื้นฐานสองที่ได้จากวิธี Canny



(ก) ภาพต้นฉบับดวงตา



(ข) ภาพเส้นขอบทั้งหมด



(ค) ภาพเส้นขอบเฉพาะในแนวแกนนอน



(ง) ภาพเส้นขอบเฉพาะในแนวตั้ง

ภาพที่ 2-9 การตรวจจับขอบภาพม่านตา

หลังจากนั้นจึงใช้ Hough Transform ในการวาดเส้นวงกลมขอบในรูม่านตาและเส้นวงกลมขอบนอกม่านตา รายละเอียดวิธีการ ดังนี้

2.3.2.3 Hough Transform

เป็นวิธีการที่สามารถตัดสินใจตัวแปรเกี่ยวกับเรขาคณิตของวัตถุทั้งเส้นและวงกลม แสดงในรูปแบบของภาพรูปร่างวงกลมหรือวงแหวน Hough Transform สามารถสร้างรูปร่างวงกลมได้จากการอนุมานจากรัศมีและพิกัดศูนย์กลางของรูม่านตาและบริเวณม่านตา เริ่มต้นจากสร้างจุดขอบ โดยการคำนวณเป็นอนุพันธ์แรกของค่าความเข้มในรูปภาพตาและค่าการตัดสินใจจากจุดขอบ การคำนวณของ Hough Transform จะคาดเดาแต่ละจุดขอบเพื่อให้ได้รูปร่างวงกลม ตามสมการที่ (2-10)

$$x_c^2 + y_c^2 - r^2 = 0 \quad (2-10)$$

โดยที่ x_c, y_c คือ พิกัดศูนย์กลางของวงกลม

r คือ รัศมีของวงกลม

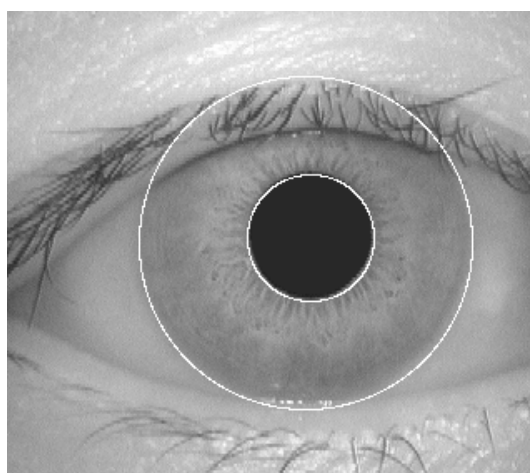
จุดสูงสุดที่ได้มาจากวิธีการ Hough Transform จะแสดงค่ารัศมีและพิกัดศูนย์กลางที่ดีที่สุดของวงกลมจำกัดจากจุดขอบ การประมาณหนึ่งตาด้านบนและต่ำกว่ากับส่วนโค้งรูปพาราโบลา แสดงได้ดังสมการที่ (2-11)

$$(-(x-h_j)\sin\theta_j + (y-k_j)\cos\theta_j)^2 = a_j((x-h_j)\cos\theta_j + (y-k_j)\sin\theta_j) \quad (2-11)$$

โดยที่	a_j	คือ ตัวควบคุมความโค้ง
	(h_j, k_j)	คือ จุดยอดของโค้ง
	θ_j	คือ มุมการหมุนในแนวแกน x

ขั้นตอนการสืบหาขอบในแนวแกนนอนจะแสดงภาพหนึ่งตา และแนวแกนตั้งจะแสดงขอบนอกของม่านตา ดังภาพที่ 2-9 โดยที่หนึ่งตาจะแสดงในแนวแกนนอน และจุดขอบในส่วนหนึ่งของหนึ่งตาจะรบกวนการสร้างแนวจุดของวงกลมม่านตาถ้าใช้ข้อมูลทั้งหมดของภาพ ดังนั้นการใช้ข้อมูลเฉพาะส่วนแนวแกนตั้งเพื่อหาจุดขอบวงกลมของม่านตา จะสร้างภาพวงกลมได้ดีกว่า มีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อมีการทำนายหาจุดขอบในขอบเขตพื้นที่ Hough Space

ปัญหาของวิธีการ Hough Transform คือ เริ่มต้นจากการกำหนดค่าตัดสินใจสำหรับการเลือกเส้นขอบ เพื่อเลือกค่าในการตัดสินใจว่าส่วนใดเป็นเส้นขอบและส่วนใดเป็นส่วนที่ไม่ใช่เส้นขอบ จากนั้นคำนวณหาความเข้มโดยใช้วิธีการสุ่มทั้งหมด (Brute-Force) ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะสำหรับโปรแกรมที่ต้องการการคำนวณในเวลาปัจจุบัน (Real Time) [3]

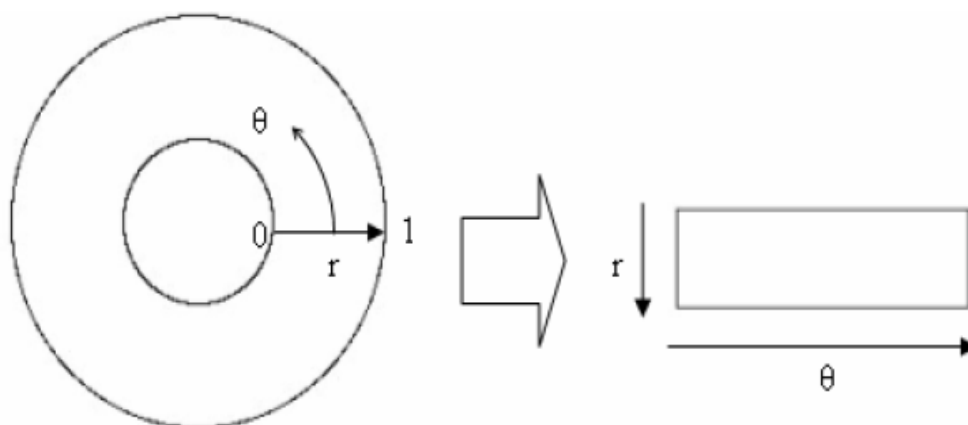


ภาพที่ 2-10 ผลลัพธ์ของภาพดวงตาจากการทำ Localization

หลังจากระบุตำแหน่งม่านตาได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการปรับขนาดม่านตาให้เป็นขนาดมาตรฐาน โดยการนำพื้นที่ม่านตารูปวงกลมที่ได้ทำการปรับขนาดภาพม่านตาให้เป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดมาตรฐานใช้เป็นมาตรฐานเดียวกันทุกภาพ เพื่อนำไปใช้ในการสกัดคุณลักษณะต่อไป ดังรายละเอียดวิธีการ ดังนี้

2.3.2.4 Daugman's Rubber Sheet Model

การคลี่ภาพม่านตาดำด้วยวิธีของ Daugman's Rubber Sheet Model เป็นการแทนการเข้าถึงภาพในแต่ละจุดภาพโดยปกติใช้ตำแหน่ง (x, y) ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate) แต่วิธีการนี้เข้าถึงจุดภาพโดยใช้ตำแหน่ง (r, θ) จากจุดศูนย์กลางของภาพในระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate) แล้วทำการแทนจุดภาพให้อยู่ในแนวแกน (x, y) ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 การแทนจุดภาพจากระบบพิกัดเชิงขั้วเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

โดยที่ภาพ (I) หลังจากการคลี่ภาพแล้วในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่ตำแหน่ง (x, y) มาจากค่าในตำแหน่ง (r, θ) ของระบบพิกัดเชิงขั้ว

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta) \quad (2-12)$$

และ

$$\begin{aligned} x(r, \theta) &= (1-r)x_p(\theta) + rx_l(\theta) \\ y(r, \theta) &= (1-r)y_p(\theta) + ry_l(\theta) \end{aligned} \quad (2-13)$$

เมื่อ $x(r, \theta), y(r, \theta)$	คือ ตำแหน่งจุดภาพของภาพม่านตาที่คลี่ภาพแล้วในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน
$x_p(\theta), y_p(\theta)$	คือ ตำแหน่งจุดพิกัดวงกลมรัศมีด้านใน (เส้นขอบรูม่านตา) ซึ่งอยู่ในแนวมุม θ เดียวกัน
$x_l(\theta), y_l(\theta)$	คือ ตำแหน่งจุดพิกัดวงกลมรัศมีด้านนอก (เส้นขอบม่านตา) ซึ่งอยู่ในแนวมุม θ เดียวกัน
r	มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยมีค่า 0 ที่รัศมีใน (เส้นขอบรูม่านตา) และ 1 ที่รัศมีนอก (เส้นขอบม่านตา)
θ	เป็นค่ามุมมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา

ขั้นตอนการปรับขนาดให้เป็นมาตรฐานคลี่ภาพวงกลมเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากระบบพิกัดเชิงขั้วเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

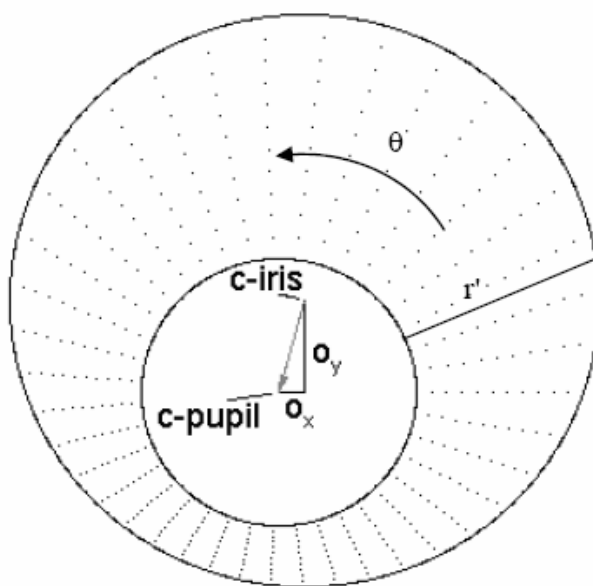
$$r' = \sqrt{\alpha} \beta \pm \sqrt{\alpha \beta^2 - \alpha - r_l^2} \quad (2-14)$$

โดยได้ค่าจากสมการที่ (2-15) และสมการที่ (2-16)

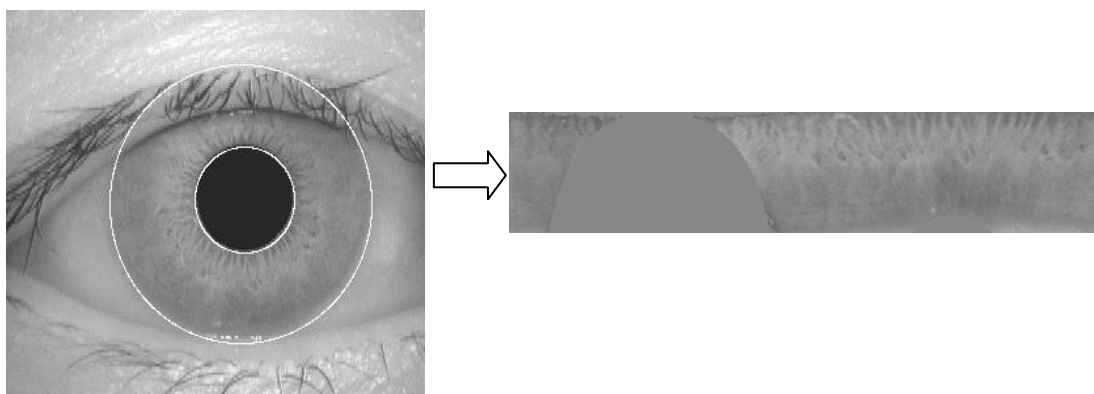
$$\alpha = o_x^2 + o_y^2 \quad (2-15)$$

$$\beta = \cos \left(\pi - \tan^{-1} \left(\frac{o_y}{o_x} \right) - \theta \right) \quad (2-16)$$

เมื่อ α	คือ ระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางรูม่านตาและจุดศูนย์กลางม่านตาคำลึงสอง
β	คือ ค่าโคซายน์ของมุมที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะของสาของมุม θ
o_x	คือ จุดศูนย์กลางของรูม่านตา
o_y	คือ จุดศูนย์กลางของม่านตา
r'	คือ ระยะห่างระหว่างขอบรูม่านตาและขอบของม่านตา ที่ระยะของสาของมุม θ
r_l	คือ รัศมีของม่านตา [3]



ภาพที่ 2-12 การแทนค่าหาขอบเขตม่านตา



(ก) ภาพระบุพื้นที่ม่านตา

(ข) ภาพม่านตาหลังการปรับขนาดให้เป็นมาตรฐาน

ภาพที่ 2-13 ภาพม่านตาหลังการปรับขนาดให้เป็นมาตรฐาน

2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพม่านตา (Image Enhancement)

เนื่องจากการรับภาพม่านตานั้นจำเป็นต้องใช้แสงน้อย เพื่อไม่ให้รู้ม่านตาขยายกว้าง ดังนั้นภาพที่ได้มักเป็นภาพมืดและมีปัญหาเรื่องความชัดเจน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความผิดพลาดในการรู้จำ เห็นได้จากการเปรียบเทียบวิธีต่างๆ ในการใช้เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ [16] ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการปรับปรุงความชัดเจนของภาพม่านตาด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive

Histogram Equalization เป็นวิธีการปรับปรุงความชัดเจนของทุกจุดภาพในภาพ ด้วยการปรับค่าในกราฟฮิสโตแกรม ซึ่งเป็นกราฟแสดงความถี่ความเข้มสีของภาพ โดยในแต่ละจุดภาพจะมีค่าความเข้มสีเฉพาะ อาจเหมือนหรือแตกต่างกับจุดภาพใกล้เคียงขึ้นอยู่กับลักษณะของภาพ วิธีการนี้จะช่วยกระจายค่าความเข้มสีของภาพ ทำให้ลดส่วนเกินของสัญญาณภาพ คงไว้แต่ความชัดเจนของภาพ ดังสมการที่ (2-17)

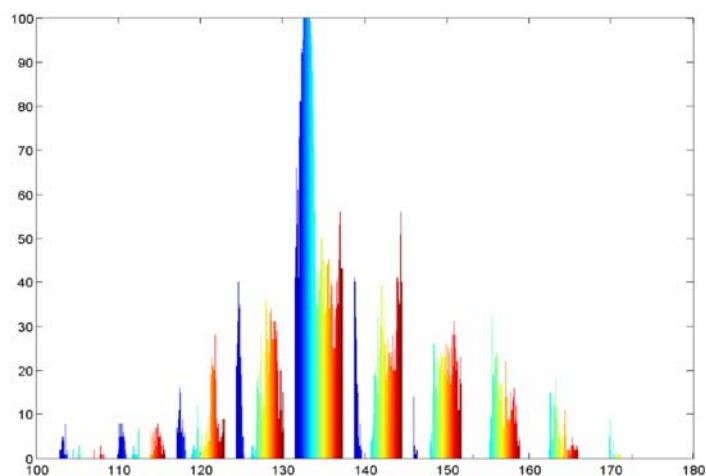
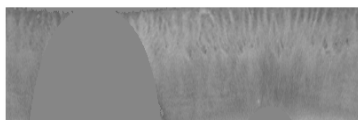
$$t_b = \sum_{i=0}^k P_i \quad (2-17)$$

โดยที่ p_i คือ จุดภาพในภาพต้นฉบับ ที่มีความเข้มสีในช่วงระหว่างค่า p_0 ถึง p_k
 t_b คือ จำนวนจุดภาพที่มีความเข้มสีในช่วงระหว่างค่า 0 ถึง k

การปรับค่าความเข้มสีที่มีค่ามากให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเข้มสีมากที่สุด ในภาพโทนสีเทา ค่าความเข้มสีมากที่สุด คือ “255” และค่าความเข้มสีที่มีค่าน้อยให้มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มสีน้อยที่สุด ในภาพโทนสีเทา ค่าความเข้มสีน้อยที่สุด คือ “0” ภาพที่ได้หลังการปรับปรุงคุณภาพจะมีการกระจายความเข้มสีของภาพได้ภาพที่มีความชัดเจนมากขึ้น โดยใช้สมการที่ (2-18) และได้ผลลัพธ์ ดังแสดงในภาพที่ 2-14

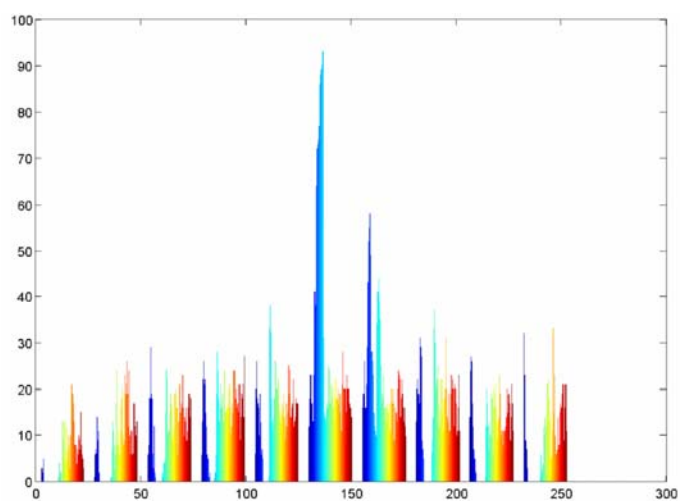
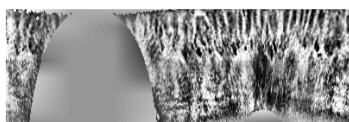
$$q = \frac{t_b(k-1)}{n} - 1 \quad (2-18)$$

โดยที่ q คือ ภาพหลังการปรับค่าความเข้มสีด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization
 n คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดในภาพ



(ก) ภาพม่านตาต้นฉบับ

(ข) กราฟฮิสโตแกรมภาพม่านตาต้นฉบับ



(ค) ภาพม่านตาหลังการปรับค่าด้วย Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization

(ง) กราฟฮิสโตแกรมภาพม่านตาหลังการปรับค่าด้วย Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization

ด้วย Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization

ภาพที่ 2-14 ภาพม่านตาและกราฟฮิสโตแกรมก่อน-หลังการปรับค่าด้วย Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization

2.3.4 การสกัดคุณลักษณะเด่นของม่านตา (Iris Feature Extraction)

เพื่อให้ได้คุณลักษณะเด่นในการระบุอัตลักษณ์บุคคล จำเป็นจะต้องสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาที่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพความชัดเจนมาแล้ว วิธีการที่ใช้ในการรู้จำม่านตาที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดวิธีการดังนี้

2.3.4.1 มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension)

เรขาคณิตเศษส่วน (Fractal Geometry) หรือไวยากรณ์แห่งทฤษฎีไร้ระเบียบ มีคนแปลคำว่า Geometry ในเชิงภาษาว่า "การวัดแผ่นดิน" และคำว่า Fractal มาจากภาษาละติน Fractus หรือ Fractum ซึ่งแปลเป็นภาษาอังกฤษว่า Fragmented หรือ Irregular เมื่อแปลเป็นไทย คือ แตกเป็นชิ้นเป็นเศษ เรขาคณิตเศษส่วน สนใจรูปทรงที่เป็นจริงของธรรมชาติซึ่งขรุขระ ไม่เรียบร้อย เช่น ใบไม้ ก้อนเมฆ สายฟ้าแลบ ชายฝั่งทะเล ภูเขาและโตรกผา ปอดของมนุษย์ เป็นต้น มิติของเรขาคณิตเศษส่วนจึงมีลักษณะคล้ายทศนิยมไม่รู้จบ เช่น มิติเศษส่วนของสมองเรา คือ 2, 79 และของก้อนเมฆ คือ 2, 35 มิติเศษส่วนหรือมิติแฟร็กทัล จะเป็นสองมิติของพื้นที่ หรือเป็นสามมิติของพื้นที่ หรือเป็นสามมิติแบบทรงลูกเต๋าหรือลูกกลมก็ได้ คุณสมบัติสำคัญของแฟร็กทัลหรือเศษส่วนไม่รู้จบ คือ "ความคล้ายตนเอง" (Self-Similarity) นั่นคือ โครงสร้างของเศษส่วนที่ขยายตัวออกไปอย่างไม่สิ้นสุด ไม่ว่าในมิติทางเวลา (Time) หรือมิติทางเทศะ (Space) ล้วนแล้วแต่มีรูปร่างคล้ายคลึงซ้ำกับแบบแผน (Pattern) อย่างไรก็ตาม เมื่อมองเห็นก็รู้ได้ทันทีว่านี่คือต้นมะม่วง นี่คือนมูกุด นี่คือใบโพธิ์ เป็นต้น และนี่เป็นสิ่งที่ทฤษฎีไร้ระเบียบพยายามตอบคำถามว่าทำไมเกล็ดหิมะแต่ละเกล็ดที่โปรยปรายลงมาจึงมีความแตกต่างกันไปเล็กน้อย ก็เนื่องจากว่าผลรวมของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเกล็ดแต่ละเกล็ดต่างกัน การค้นคว้าในมิติแฟร็กทัล จึงมิใช่การนิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเอง แต่เป็นการนำเสนอให้เห็นคุณสมบัติอันแท้จริงของสภาพแวดล้อมในระดับต่างๆ ตั้งแต่ขนาดเล็ก (Micro) จนถึงขนาดใหญ่ (Macro) ซึ่งปรากฏอยู่ในโลก การพัฒนาที่ดำเนินไปในลักษณะเศษส่วนและไร้ระเบียบนั้นน่าสนใจ มิใช่เพียงว่าได้แสดงให้เห็นโครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอในระบบพลวัตที่ไม่เป็นเส้นตรงเท่านั้น ความสำคัญอีกข้อหนึ่งซึ่งจะมีประโยชน์ในการสังเกตรูปแบบของสรรพสิ่งในโลก คือโครงสร้างไร้ระเบียบ (Chaotic Structure) เป็นโครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการสร้างสรรค์ในธรรมชาติ ธรรมชาติมีพลังสร้างสรรค์ในการจัดตั้งรูปแบบอย่างมหัศจรรย์ เมื่อได้สร้างแม่แบบเบื้องต้นขึ้นแล้วรูปแบบอื่นจะลอกเลียนตามมานักวิจัยไร้ระเบียบเรียกเศษส่วนคล้ายธรรมชาตินี้ว่า "ภาษาของธรรมชาติ" โดยเชื่อว่าวิธีการและรูปแบบที่เรขาคณิตเศษส่วนและทฤษฎีไร้ระเบียบได้ถ่ายทอดความเป็นจริงของโลกออกมา นั้นพอจะกล่าวได้ว่าทฤษฎีไร้ระเบียบเป็นเสาหลักของโลกทัศน์ใหม่ได้ และความสำคัญของเศษส่วน

(Fractal) ในการวิจัยคือ การช่วยให้เข้าใจ "จุดดึงดูดไร้ระเบียบ" (Chaotic Attractors) ได้ดีขึ้น เพราะมันมีโครงสร้างเศษส่วน (Fractal Structure) อยู่ในนั้น [20]

มิติแฟร็กทัล เป็นแนวความคิดทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยวิธีการหารเศษส่วนเรขาคณิต ซึ่งลักษณะเฉพาะของ Curve ประเภทนี้ก็คือการทำงานที่เป็นการเวียนเกิด (Recursive) ซึ่งจะยังผลให้แนวเส้นที่ปรากฏมีลักษณะที่ไม่สิ้นสุด ซึ่งเรียกว่า “อนันต์” ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพธรรมชาติได้เป็นอย่างดี เนื่องจากให้ความละเอียดของภาพที่ปรากฏได้เป็นอย่างดีและมีคล้ายคลึงกับธรรมชาติมาก ดังเช่น อาจจะได้ ภาพภูเขา ภาพต้นไม้ ทะเลสาบ ซึ่งกราฟฟิกประเภทอื่นไม่สามารถทำได้ หรือแม้แต่ทำได้ก็ให้ความละเอียดได้ไม่ดีเท่าแฟร็กทัลชนิดหนึ่งที่มีชื่อเสียงมากคือ Mandelbrot ซึ่งเกิดการสร้างตามสูตรสมการคณิตศาสตร์ในแนวจำนวนเชิงซ้อน 2 มิติ ซึ่ง Mandelbrot ที่สร้างขึ้นมาแล้วยังผลให้เกิดการพัฒนาเป็นรูปแบบอื่นๆ อีกมากมาย เช่น Julia Sets, Dragon Curve, Phoenix Curve เป็นต้น [19]

มิติแฟร็กทัลคำนวณจากจำนวนหน่วยของด้านในมิตินั้นๆ คูณกับขนาดของสเกลที่ต้องการใช้วัดยกกำลังด้วยขนาดของมิติ ดังสมการที่ (2-19) และสามารถคำนวณหามิติของ Self-Similarity Fractals ด้วยสมการที่ (2-20)

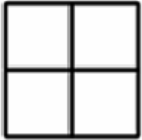
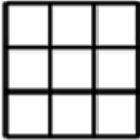
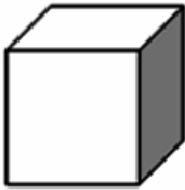
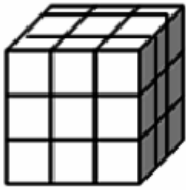
$$ns^D = 1 \quad (2-19)$$

เมื่อ n = จำนวนตอนที่ประกอบขึ้นเป็นวัตถุ
 s = จำนวนสเกลที่ใช้วัด
 D = มิติที่ต้องการ

$$D = \frac{\log(n)}{\log(1/s)} \quad (2-20)$$

เมื่อ n = จำนวนชิ้นของวัตถุ ที่นำมาสร้างเป็นรูปแบบ
 s = จำนวนสเกล ที่นำมาใช้แบ่งขนาดของวัตถุเดิม
 D = มิติของวัตถุที่สร้างเป็นรูปแบบใหม่

โดยค่า D ที่ได้เป็นตัวแทนค่ามิติแฟร็กทัลในภาพซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกค่าในภาพหนึ่งภาพ ไม่ว่าค่าของ n และ s จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จึงใช้เป็นค่าตัวแทนภาพได้ดี ในงานวิจัยนี้จึงได้คิดนำค่า D มาใช้เป็นค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นของภาพมาตาม ดังรายละเอียดในบทที่ 3

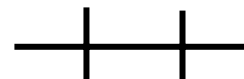
$S = 1$	$S = 1/2$	$S = 1/3$	$ns^D = 1$
 $n = 1$	 $n = 2$	 $n = 3$	$ns^1 = 1$
 $n = 1$	 $n = 4$	 $n = 9$	$ns^2 = 1$
 $n = 1$	 $n = 8$	 $n = 27$	$ns^3 = 1$

ภาพที่ 2-15 ความสัมพันธ์ของสเกลวัตถุ (n) และมิติ

(ก) วัตถุขนาด 1 หน่วย



(ข) แบ่งสเกลเป็น 3



(ค) จัดเรียงรูปแบบ โดยใช้สเกลเท่ากับ 3



ภาพที่ 2-16 การแบ่งวัตถุเพื่อหามิติ

2.3.4.2 มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติง (Fractal Dimension Box-Counting)

วิธีนี้เป็นวิธีหามิติแฟร็กทัลจากภาพธรรมชาติ ใช้สมการมิติแฟร็กทัลดังสมการที่ (2-20) โดยที่ตัวแปร n ได้มาจากการวนการดังต่อไปนี้

ในหนึ่งภาพจะมีสามมิติ ประกอบด้วย (x, y, z) มิติ (x, y) แทนตำแหน่งของจุดภาพในแนวแกนนอน (x) และแนวแกนตั้ง (y) และมิติ (z) แทนค่าความเข้มของแสงสีเทา ในที่นี้กำหนดให้ตำแหน่ง (x, y) แทนด้วย $s \times s$ ในแต่ละจุดแทนด้วย $s \times s \times s$ ให้ค่าความเข้มของแสงสีเทาที่น้อยที่สุดแทนด้วย k และค่าความเข้มของแสงสีเทาที่มากที่สุดแทนด้วย l คำนวณเข้าสู่สูตรเพื่อให้ได้ค่า n_r ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มจุดภาพนั้นๆ ดังสมการที่ (2-21)

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i, j) \quad (2-21)$$

โดยที่
$$n_r(i, j) = l - k + 1 \quad (2-22)$$

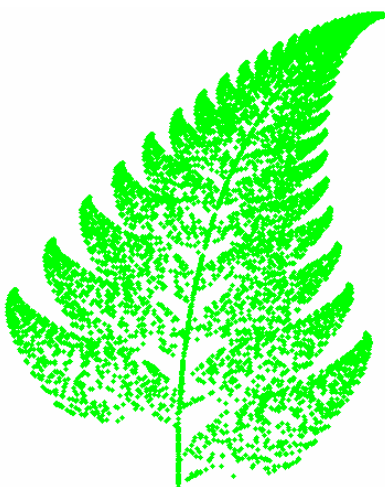
และผลรวมของค่า $n_r(i, j)$ จะรวมไว้ใน N_r ซึ่งจะมีจำนวนตามจำนวนความต่างของค่า b

$$b = \frac{s}{R} \quad (2-23)$$

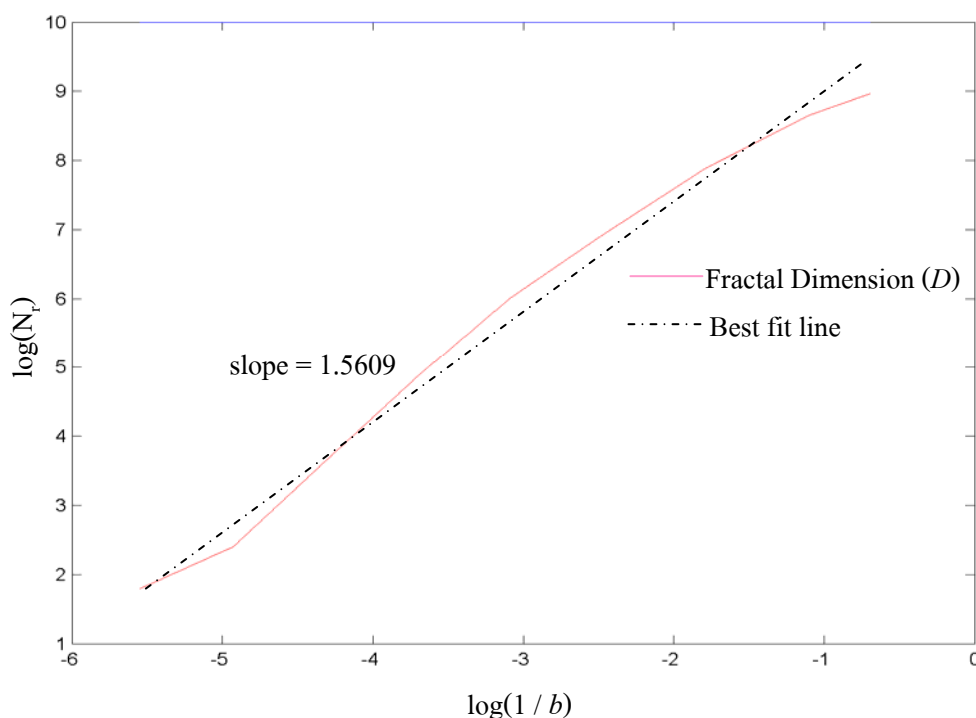
เมื่อ $1 < s \leq \frac{R}{2}$
 b คือ สัดส่วนของพื้นที่สีเหลืองจตุรัสที่ลดลง

การคำนวณต้องกระทำในพื้นที่ข้อมูลที่เป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสเท่านั้น แล้วกำหนดให้ภาพมีขนาดจำนวน $R \times R$ จุดภาพ ลดจำนวนจุดภาพให้เหลือขนาด $s \times s$ จุดภาพ โดยที่ s ต้องเป็นจำนวนเต็มที่ไม่มีทศนิยม มีขนาดมากกว่าหนึ่งและมีขนาดไม่เกินครึ่งหนึ่งของขนาด R ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2-23)

ถึงแม้ว่ามิติแฟร็กทัลจะเป็นคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาได้ แต่การที่จะสกัดคุณลักษณะเด่นที่ดีได้จำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ดีในการสกัดด้วย ดังนั้นในหัวข้อถัดไปจึงเป็นการนำเสนอเครื่องมือที่งานวิจัยนี้เลือกเพื่อใช้สกัดคุณลักษณะเด่นจากภาพม่านตา



ภาพที่ 2-17 ภาพต้นแบบกราฟมิติแฟร็กทัล



ภาพที่ 2-18 กราฟมิติแฟร็กทัล

2.3.4.3 ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filters)

เป็นตัวกรองที่รวมสัญญาณทั้งโดเมนความถี่และสเปซ เชื่อม ตัวกรองการบอสามารถเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไซน์และโคไซน์ด้วยเกาส์เซียน โดยที่คลื่นไซน์จะรับสัญญาณได้ดี ในคลื่นความถี่เปลี่ยนสัญญาณเป็นค่าในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากตัวกรองการบอ นั้น สามารถแยกสัญญาณจำนวนจริงได้จากสัญญาณโคไซน์ และจำนวนเลขสมมติได้จากสัญญาณไซน์ โดยใช้เกาส์เซียน ทั้งนี้เลขจำนวนจริงจะเป็นเลขคู่ และจำนวนสมมติจะเป็นเลขคี่เสมอ

ส่วนกลางของตัวกรองความถี่ที่ได้จากสัญญาณไซน์และสัญญาณโคไซน์ และช่วงความถี่ของตัวกรองจะขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของเกาส์เซียน โดยที่ John Daugman [1] ใช้ตัวกรองการบอสองมิติ (2D Gabor Filter) บนภาพสัญญาณ (x, y) จากสมการที่ (2-24) และค่าตัวเลขคู่และค่าตัวเลขคี่ที่สมมาตรกันในตัวกรองการบอสองมิติ ดังภาพที่ 2-19

$$G(x,y) = e^{-\pi[(x-x_0)^2/\alpha^2 + (y-y_0)^2/\beta^2]} e^{-2\pi i[u_0(x-x_0) + v_0(y-y_0)]} \quad (2-24)$$

โดยที่	(x_0, y_0)	คือ จุดภาพใดๆ บนภาพม่านตา
	(α, β)	คือ ความกว้าง และความยาวคลื่นสัญญาณ
	(u_0, v_0)	คือ ค่าการเปลี่ยนแปลง
	$\omega_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$	คือ ความถี่สเปเชียล

Daugman [1] ไม่ได้ทำการปรับเปลี่ยนหรือลดจำนวนข้อมูลที่ผ่านตัวกรองการบอสองมิติ หรือทำการบีบอัดข้อมูลแต่อย่างใด วิธีการที่ใช้คือการแบ่งค่าออกเป็นสี่ส่วน โดยแบ่งแยกความซับซ้อนของข้อมูลออกเป็นสี่ประเภท แต่ละส่วนสามารถแทนคุณลักษณะเด่นสำคัญของภาพไว้ได้ ถึงแม้ว่าส่วนข้อมูลที่แบ่งออกมานั้นจะลดทอนความละเอียดของภาพ เช่น ความสว่างของภาพ แต่ก็ยังคงความเป็นตัวแทนคุณลักษณะเด่นสำคัญของภาพไว้ได้ครบถ้วน

โดยสี่ประเภทที่แบ่งแยกออกจากกันนั้นจะใช้ค่าตัวแทนข้อมูลส่วนละสองบิต นั่นก็คือการปรับเปลี่ยนค่าจุดภาพในแต่ละจุดภาพจะมีค่าสองบิตในเทมเพลตม่านตา ในหนึ่งเทมเพลตมีขนาด 20x240 จุดภาพ ตำแหน่งจุดภาพละ 2 บิต ซึ่งจะเท่ากับจำนวนบิตในมาสก์เทมเพลตที่เก็บค่าสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่ม่านตา เช่น เปลือกตา หน้ตา เป็นต้น โดยที่จะระบุตำแหน่งระยะพิกัดศูนย์กลางในการปรับเปลี่ยนค่าตามสมการที่ (2-25) และขั้นตอนการนำตัวกรองการบอมาใช้แปลงข้อมูลเป็นเทมเพลตตามภาพที่ 2-20

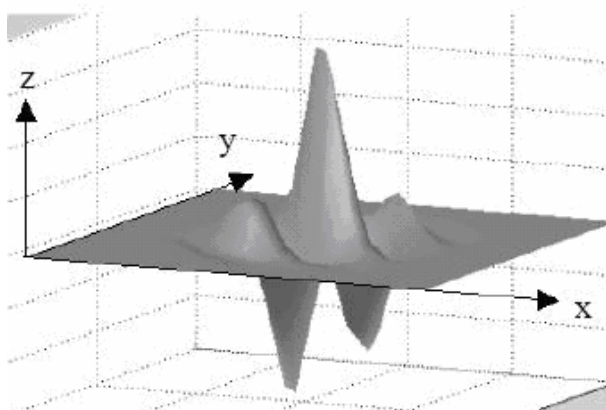
$$H(r, \theta) = e^{-i\omega(\theta-\theta_0)} e^{-(r-r_0)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta-\theta_0)^2/\beta^2} \quad (2-25)$$

โดยที่	(α, β)	คือ ความกว้าง และความยาวคลื่นสัญญาณ
	(r_0, θ_0)	คือ ศูนย์กลางความถี่ของตัวกรอง

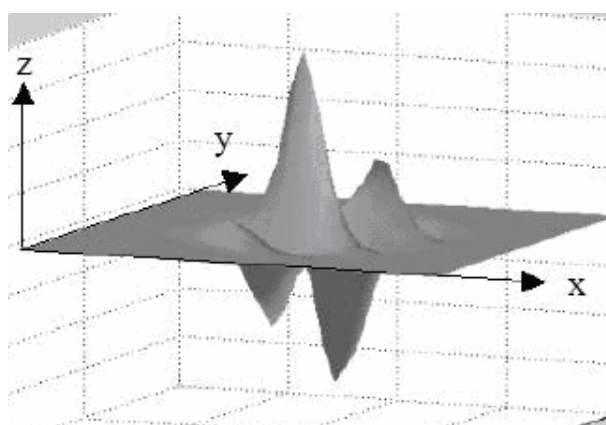
$$h_{\{Re, Im\}} = \text{sgn}_{\{Re, Im\}} \iint_{\rho, \phi} I(\rho, \phi) e^{i\omega(\theta_0-\phi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-i(\theta_0-\phi)^2/\beta^2} \rho d\rho d\phi \quad (2-26)$$

โดยที่ $h_{\{Re, Im\}}$ คือ จำนวนตัวเลขเชิงซ้อนที่มีทั้งส่วนประกอบค่าจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพ

$I(\rho, \phi)$ คือ ภาพม่านตาที่คลี่ภาพเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้ว



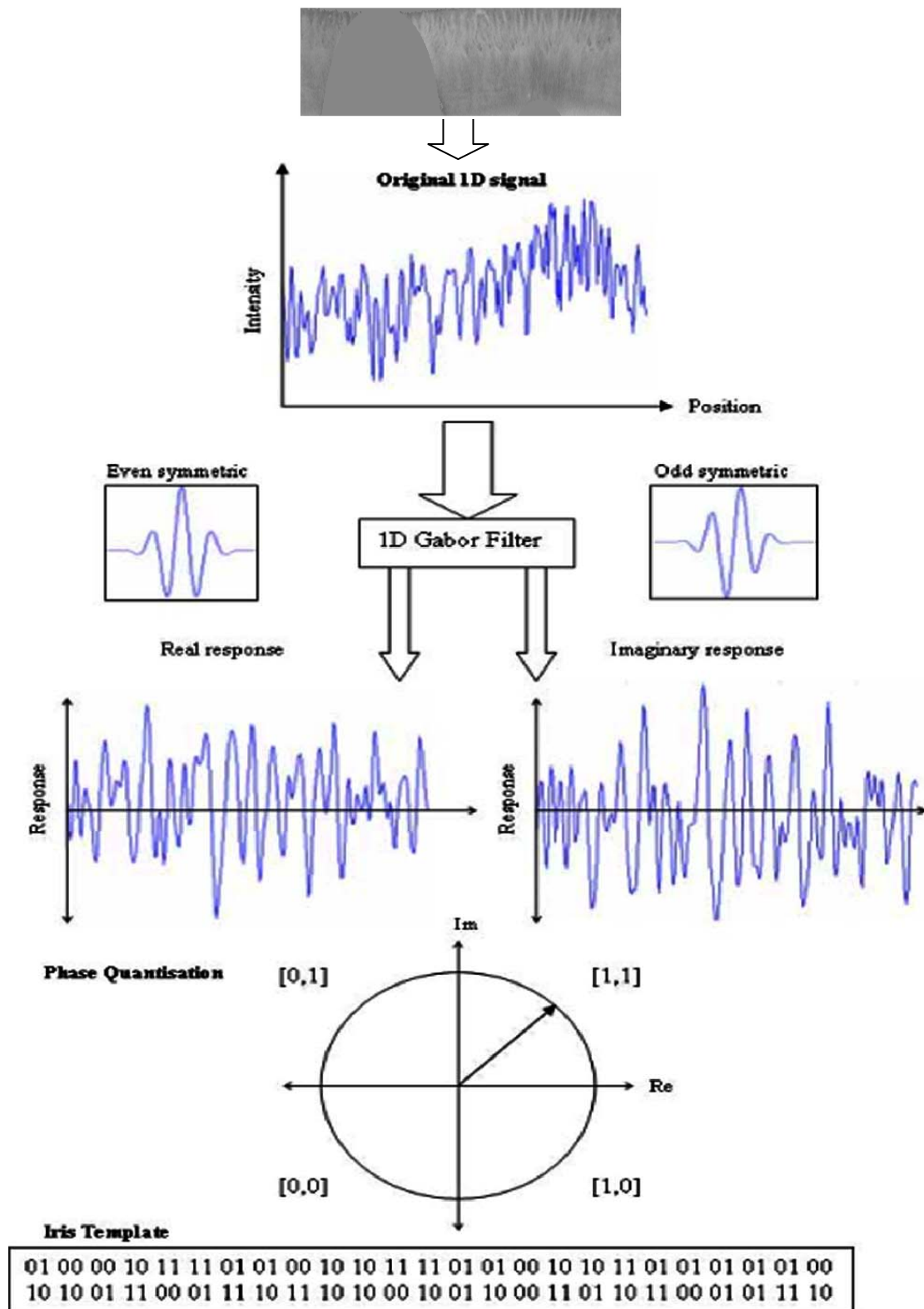
(ก) กราฟของตัวกรองเกาส์เซียนของคุณลักษณะเด่นจากจำนวนจริงหรือเลขคู่



(ข) กราฟของตัวกรองเกาส์เซียนของคุณลักษณะเด่นจากจำนวนสมมติหรือเลขคี่

ภาพที่ 2-19 ตัวกรองเกาส์เซียน

การคำนวณและกระบวนการแยกข้อมูลสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2-26) ซึ่งในกระบวนการเข้ารหัสคุณลักษณะเด่นด้วยตัวกรองการบอหนึ่งมิติ [3] ใช้การแยกข้อมูลจุดภาพม่านตาด้วยสมการเชิงซ้อนและทำการแยกข้อมูลค่าจำนวนจริงและจำนวนจินตภาพที่ได้เป็นสี่ประเภทแทนค่าเป็นเลขไบนารี ดังนั้นค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้จึงเป็นตัวแทนค่าคุณลักษณะเด่นของข้อมูลได้ดี เนื่องจากกระทำการเข้ารหัสคุณลักษณะเด่นที่ละจุดภาพทั้งภาพม่านตา จำนวนคุณลักษณะเด่นมีขนาดมากกว่าจุดภาพของภาพต้นฉบับตำแหน่งจุดภาพละสองบิต ดังนั้นในหนึ่งภาพขนาด 20x240 จุดภาพ ค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้จึงมีจำนวนบิตเท่ากับ 9,600 บิต เพื่อใช้ในการเข้ารหัสข้อมูล



ภาพที่ 2-20 กระบวนการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้ตัวกรองการบอหนึ่งมิติ [3]

2.3.4.4 ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ (High-Low Pass Filter)

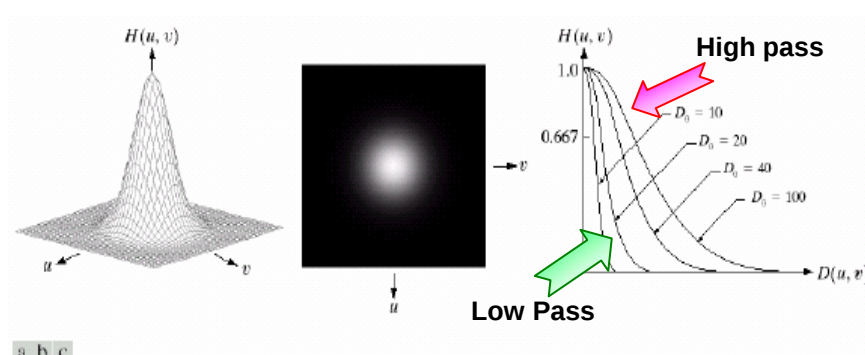
เป็นเครื่องมือในการใช้สกัดคุณลักษณะเด่นเพื่อให้ได้ค่าตัวแทนในมุมมองของลวดลายที่สนใจ โดยมีพื้นฐานมาจากตัวกรองการบีบ และสามารถใช้ได้ดีในการสกัดคุณลักษณะเด่นของลายนิ้วมือ [18] มีรายละเอียดของวิธีการดังนี้

สิ่งที่ทราบกันดีว่าตัวกรองความถี่ต่ำจะทำให้ภาพเบลอ เพื่อขจัดส่วนเกินที่ไม่ประสงค์ของภาพออก คงเหลือแต่โครงภาพที่ชัดเจน และตัวกรองความถี่สูงจะทำให้ภาพขอบคมชัดขึ้น โดยทั่วไปแล้ว สมการตัวกรองความถี่ต่ำแบบเกาส์เซียนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2-27)

$$G_L(x) = \frac{C}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp(-x^2 / 2\sigma_x^2) \quad (2-27)$$

$$G_H(y) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_{y1}^2}} \exp\left(-y^2 / 2\sigma_{y1}^2\right) - \frac{B}{\sqrt{2\pi\sigma_{y2}^2}} \exp\left(-y^2 / 2\sigma_{y2}^2\right) \quad (2-28)$$

สำหรับสมการตัวกรองความถี่ต่ำที่กรองเฉพาะความถี่ต่ำได้ภาพเบลอ ดังสมการที่ (2-27) และสมการตัวกรองที่เพิ่มความชัดของขอบ เขียนได้โดยสมการที่ (2-28) และแสดงได้ดังภาพที่ 2-21



ภาพที่ 2-21 การลบกันของสมการตัวกรองความถี่ต่ำได้เป็นตัวกรองความถี่สูง

จากสมการที่ (2-28) สามารถเขียนเป็นสมการตัวกรองสองมิติได้ดังนี้

$$G(x, y) = \frac{C}{\sqrt{2\pi}\sigma_x^2} \exp\left(-x^2/2\sigma_x^2\right) \left[\frac{A}{\sqrt{2\pi}\sigma_{y1}^2} \exp\left(-y^2/2\sigma_{y1}^2\right) - \frac{B}{\sqrt{2\pi}\sigma_{y2}^2} \exp\left(-y^2/2\sigma_{y2}^2\right) \right] \quad (2-29)$$

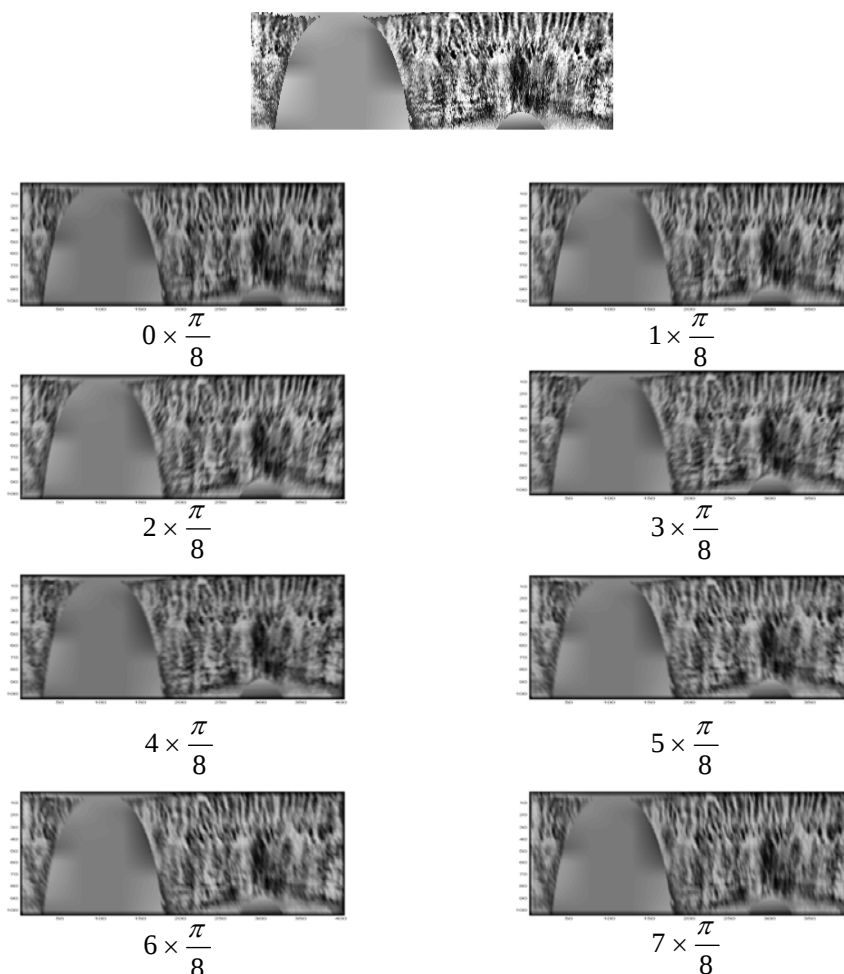
โดยที่ $G(x, y)$ คือ ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำสองมิติ
 A, B, C คือ ค่าคงที่ใดๆ และ $A \geq B, \sigma_{y1} > \sigma_{y2}$
 m คือ เลขจำนวนคี่ ในสมการที่ (2-30)

$$\sigma_i = \frac{1}{2\pi\alpha_i}, \quad \frac{-m+1}{2} \leq x \leq \frac{m-1}{2}, \quad \frac{-m+1}{2} \leq y \leq \frac{m-1}{2} \quad (2-30)$$

หากกำหนดให้หมุนแปดทิศทาง ค่าของ $\theta_i = \frac{\pi i}{8}$ นั่นคือ i จะเท่ากับ 0 ถึง 7 ในเส้นลวดลายตามแนวทิศทาง สามารถกรองทิศทางของลวดลายที่ต้องการได้ด้วยการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่สูง-ต่ำตามทิศทางมุมที่จัดสรรไว้ ตามสมการที่ (2-31) และตัวอย่างการกรองด้วยตัวกรองสูง-ต่ำแปดทิศทางในแต่ละทิศทางจากภาพที่ 2-20

$$F(x, y) = G_{\theta_i}(u, v) * I(x, y) \quad (2-31)$$

โดยที่ $F(x, y)$ คือ ภาพหลังการทำคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ
 $G_{\theta_i}(u, v)$ คือ ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ
 $I(x, y)$ คือ ภาพต้นฉบับ
 θ_i คือ ทิศทางการหมุนของเคอร์เนล



ภาพที่ 2-22 ผลลัพธ์ของการกรองภาพด้วยตัวกรองความถี่สูง-ต่ำใน 8 ทิศทาง

2.3.5 การเข้าสู่คุณลักษณะเด่นของม่านตา (Feature Matching)

การเข้าสู่ของรหัสข้อมูลที่ได้จากระบวนการสกัดคุณลักษณะเด่น โดยการเปรียบเทียบรหัสข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาเพื่อระบุอัตลักษณ์ของบุคคล โดยวิธีการเข้าสู่ที่อ้างถึงมีดังนี้

2.3.5.1 วิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ (Absolute Distance)

ในการจับคู่โดยใช้ค่าผลต่างของค่าคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาได้ระหว่างภาพป้อนเข้า (D_u) และภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล (D_d) โดยเปรียบเทียบค่าแต่ละคุณลักษณะเด่น ตามจำนวนของคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมา (n) รวมค่าผลต่างระหว่างคุณลักษณะเด่นที่ได้ทั้งหมดทำให้เป็นค่าสัมบูรณ์ (Absolute) เพื่อไม่ให้ค่าลบหรือบวกมีผลกับการพิจารณาไล่เรียงที่ละภาพจนสิ้นสุด

$$AD = \min_{i \in n} \left\{ \left| D_{u_i} - D_{d_i} \right| \right\} \quad (2-32)$$

โดยที่ AD	คือ ค่าการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์
n	คือ จำนวนของคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาในแต่ละภาพ
D_u	คือ ค่าคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาของภาพป้อนเข้า
D_d	คือ ค่าคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาของภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

จากนั้นจึงเรียงลำดับค่าผลต่างของคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาที่มีเท่ากับหรือค่าใกล้เคียงศูนย์ที่สุด เนื่องจากหากเป็นคุณลักษณะเด่นที่มาจากภาพเดียวกัน จะได้ค่าผลต่างของคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาเป็นศูนย์ ดังนั้นหากค่าใกล้เคียงศูนย์ที่สุดจึงสมมติฐานได้ว่าอาจมาจากบุคคลเดียวกัน จึงยึดถือค่าที่ได้เป็นภาพที่มีคุณลักษณะเด่นใกล้เคียงภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลที่สุด เมื่อนำมาพิสูจน์หากเป็นภาพที่มาจากบุคคลเดียวกันถือว่าการจับคู่ถูกต้อง หากไม่ใช่ถือว่าการจับคู่ผิดพลาด

2.3.5.2 แฮมมิงคิสแทนซ์ (Hamming Distance)

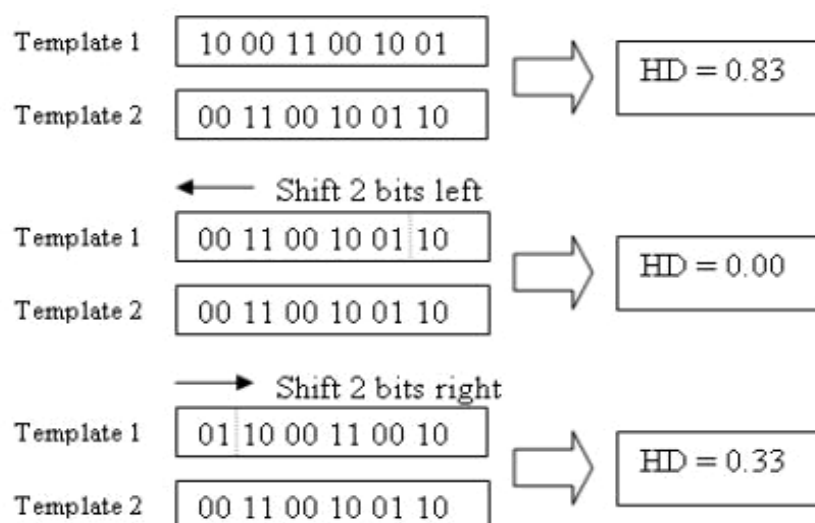
เป็นวิธีการเปรียบเทียบความต่างของจุดใดๆ โดยใช้การนับจำนวนของบิตที่มีความแตกต่างกัน จากสมการที่ (2-33)

$$HD = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j (XOR) Y_j \quad (2-33)$$

โดยที่ HD	คือ ผลรวมของจำนวนบิตที่มีความแตกต่างกันในการเปรียบเทียบ
N	คือ จำนวนบิตทั้งหมด

การเปรียบเทียบหากค่าของบิตที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับบิตต้นฉบับค่าที่ได้จะเป็นศูนย์ แสดงว่ามีความเหมือนกัน แต่หากมีค่าแตกต่างกัน ค่าที่ได้จะมีค่าที่ไม่ใช่ศูนย์ นับรวมจำนวนที่มากกว่าศูนย์ทั้งหมดหารด้วยจำนวนบิตทั้งหมด ได้เป็นค่าแฮมมิงคิสแทนซ์ ดังแสดงในภาพที่ 2-23

เทมเพลตที่มีความเหมือนกันที่สุด คือ เทมเพลตที่ให้ค่าเปรียบเทียบแฮมมิงคิสแทนซ์ สัมบูรณ์ ซึ่งเทมเพลตที่ให้ค่าศูนย์จะเป็นเทมเพลตที่มาจากภาพเดียวกัน ดังนั้นค่าแฮมมิงคิสแทนซ์ที่ สัมบูรณ์จะอนุมานว่าเป็นภาพม่านตาที่มาจากคนเดียวกัน [3]



ภาพที่ 2-23 กระบวนการเปรียบเทียบเลื่อนบิตโดยใช้วิธีการแฮมมิงดิสแทนซ์

2.4 การประเมินประสิทธิภาพ

ระบบการรู้จำม่านตาจำเป็นต้องประเมินประสิทธิภาพของระบบ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานชี้วัดคุณภาพของการรู้จำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ระบุใช้วิธีการประเมินประสิทธิภาพ ดังนี้

2.4.1 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ (Matching Score) เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพป้อนเข้าและค่าข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพในฐานข้อมูล ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่ตรงตามเกณฑ์การเข้าคู่และจำนวนข้อมูลทั้งหมด ดังสมการที่ (2-34)

$$Msc = \frac{SF}{TF} \times 100 \quad (2-34)$$

เมื่อ Msc คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่

TF คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในหนึ่งภาพที่นำมาใช้เปรียบเทียบ

SF คือ จำนวนข้อมูลที่เหมือนกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการรู้จำม่านตานี้ถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรก โดย Flom และ Safir ในปี ค.ศ. 1987 [1] ต่อมา Daugman ได้ทำการพัฒนาระบบการรู้จำม่านตา มีผลงานตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1993 และ 2004 [2] เป็นการเปิดโลกของการรู้จำทางชีวภาพที่มีความถูกต้องของข้อมูลสูงมากคือ

ค่าความผิดพลาดจากการทดสอบม่านตาจำนวน 9.1 ล้านภาพ เพียง 1 ใน 10^{13} เท่านั้น จึงได้รับความสนใจจากผู้วิจัยและมักถูกใช้อ้างอิงถึงเมื่อกล่าวถึงระบบการรู้จำทางชีวภาพ โดยใช้วิธีการ Integro-Differential Operator เพื่อระบุตำแหน่งม่านตาและวงรูม่านตา รวมทั้งหนังตาบนและล่าง เพื่อได้วงกลมตาม่านตา จากนั้นทำการคลี่ภาพให้เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้วิธีการที่เรียกว่า Daugman's Rubber Sheet Model ต่อมาสร้างรหัสม่านตาขึ้นด้วยการควอนไทซ์เฉพาะค่าเฟสที่เกิดจากการกรองด้วยตัวกรองกาบอร์สองมิติเชิงซ้อน (Complex 2-D Gabor filter) และนำค่ารหัสที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีการแฮมมิงคิสแทนซ์เป็นการเปรียบเทียบในระดับบิต แต่เนื่องจากในปัจจุบันรายละเอียดของวิธีการและตัวโปรแกรมยังถูกปิดเป็นความลับ ทำให้เกิดมีงานวิจัยเกิดขึ้นอีกมากเพื่อค้นหาวิธีการเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือมากกว่างานของ Daugman

ผลงานวิจัยของ Wildes ในปี ค.ศ. 1997 [7] โดยใช้วิธีการ Hough Transform ในการหาขอบรูม่านตาและขอบม่านตา โดยมีการตัดส่วนของหนังตาและขนตาออก ได้ค่าเฉพาะส่วนของม่านตาที่ต้องการ จากนั้นใช้วิธีการ Laplacian Pyramid เพื่อแบ่งรายละเอียดของข้อมูลพิจารณาในแต่ละช่วงความแถมความถี่ ด้วยความละเอียด 4 ระดับ แล้วนำมาไปหมุนเลื่อนตำแหน่งให้ภาพม่านตาสองภาพตรงกัน จากนั้นจึงใช้วิธีการ Normalized Correlation ในการเปรียบเทียบข้อมูล เป็นการเสนอแนวความคิดคัดเลือกเฉพาะส่วนลายม่านตามาทำการ สกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูล

Masek เสนองงานวิจัยในปี ค.ศ. 2003 [3] โดยใช้วิธีการ Hough Transform ในการหาขอบรูม่านตาและขอบม่านตา โดยเริ่มจากการจับขอบด้วยวิธี Canny Edge Detection โดยใช้ฟังก์ชันของ Kovesi [4] โดยกำหนดค่าในการตัดขอบรูม่านตาและม่านตาที่ 28-75 สำหรับฐานข้อมูลดวงตาของ CASIA ได้ค่าความถูกต้องในการตรวจจับขอบม่านตา 624 จาก 756 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 83.00 จากนั้นจึงคลี่ภาพม่านตาเป็นข้อมูลภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้วิธี Daugman's Rubber Sheet Model แล้วจึงใช้วิธีการตัวกรองการบอหนึ่งมิติ มาใช้สกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูล แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ซึ่งเป็นค่า เลขจำนวนจริงและเลขจำนวนสมมติ เข้าแยกรหัส โดยใช้วิธีการแบ่งเป็นสี่ส่วนของ Daugman ได้ข้อมูลเป็นเทมเพลตมีค่าเป็นบิต แล้วจึงนำค่ารหัสเปรียบเทียบโดยใช้วิธีการแฮมมิงคิสแทนซ์ ในการเปรียบเทียบระดับบิต ค่าที่ไม่ยอมรับข้อมูลในระบบที่ได้คือ 0.2380 และค่าที่ยอมรับข้อมูลภายนอกเข้ามาในระบบที่ได้คือ 0.0050

Yua และ Zhangb เสนองงานวิจัยในปี ค.ศ. 2005 [6] โดยนำภาพที่ผ่านกระบวนการคลี่ภาพเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าสกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูลโดยใช้วิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ดิ่ง แบ่งจำนวนของข้อมูลออกเป็นช่วงล่างและช่วงกลางส่วนละ 8 ช่อง แต่ละช่องคำนวณหาค่ามิติแฟร็กทัลแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ในหนึ่งภาพตาจึงมีค่าตัวแทนทั้งส่วนล่างและส่วนกลาง แล้วนำมาเข้ากฎการเข้าคู่แล้วนำผลที่ได้เข้าสู่กระบวนการโครงข่ายประสาทเทียม Neural Network

Backpropagation เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามคุณลักษณะเด่นของม่านตา แยกออกเป็นสี่กลุ่ม เพื่อลดเวลาในการค้นหาและประมวลผลในฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ที่นับวันจะเพิ่มปริมาณข้อมูลมากขึ้น ค่าความถูกต้องหลังจากการเข้าคู่ทั้งสองกระบวนการคือร้อยละ 98.28

Teo และ Ewe เสนองานวิจัยในปี ค.ศ. 2005 [13] โดยนำวิธีการแฟร็กทัลหนึ่งมิติ มาใช้ในการรู้จำม่านตา จากภาพที่ผ่านกระบวนการ Normalization ให้มีขนาด 87x360 จุดภาพ ใช้ทั้งภาพสกัดค่าคุณลักษณะเด่น ได้ค่าคุณลักษณะเด่นของภาพ 87 ค่าต่อหนึ่งภาพม่านตา นำมาหาค่าทั้งหมดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ได้ค่าตัวแทนอัตลักษณ์ของภาพ โดยใช้ค่า Tolerance Threshold ที่ 0.0025 ค่า EER ร้อยละ 4.63 จากการทดสอบจากฐานข้อมูล CASIA และร้อยละ 4.71 จากการทดสอบกับฐานข้อมูล MMU (Iris Image Database Multimedia University)

นอกจากนั้นยังมีผลงานวิจัยอื่นที่ถูกอ้างอิงถึงอีก อาทิเช่น Boles และ Boashah ในปี ค.ศ. 1998 [8] ที่สกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูลโดยใช้วิธีการ Dyadic Wavelet Transform และกำหนดการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีการ Zero Crossing ข้อมูลที่ได้จึงมีความทนทานต่อการเคลื่อนที่และปรับตำแหน่งของม่านตา Choc และ Park เสนองานวิจัยในปี ค.ศ. 2005 [9] เสนอการนำการรู้จำม่านตามาใช้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ Real Time โดยนำเสนอเฉพาะส่วนการตรวจจับรูม่านตาและม่านตา วิธีการที่ใช้คือ Corneal Specular Reflection และ Region Restricted Labeling ซึ่งเป็นผลงานที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาให้เต็มระบบต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับระบบการรู้จำม่านตาพบว่าปัจจุบันการนำวิธีการมิติแฟร็กทัลมาใช้น้อยมาก และยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก เนื่องจากวิธีการมิติแฟร็กทัลเป็นวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นที่มีความซับซ้อนในการทำงานน้อยมาก เมื่อเทียบกับวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นชนิดอื่น งานวิจัยนี้จึงได้คิดทดลองนำคุณสมบัติของวิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งที่ใช้ได้ผลดีในการแบ่งกลุ่มของภาพม่านตา [6] ทำงานร่วมกับตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ ที่ใช้ได้ผลดีในการรู้จำลายนิ้วมือ [18] เป็นวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นม่านตา พัฒนาต่อยอดจากวิธีการมิติแฟร็กทัล [13]

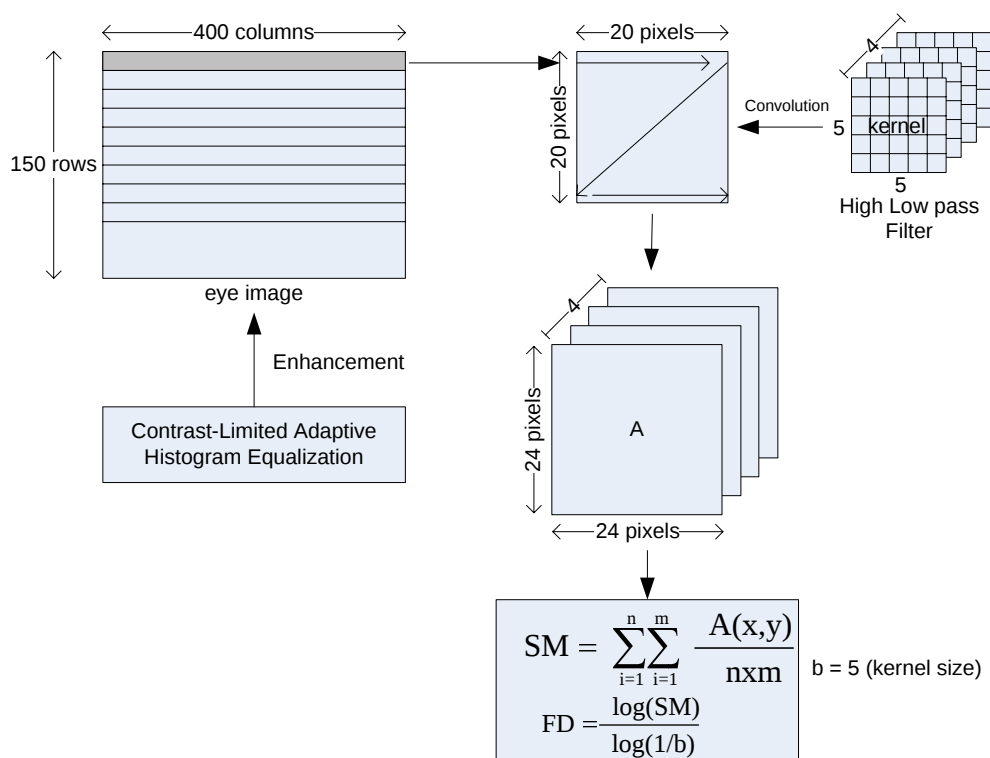
บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัย

วิธีมิติแฟร็กทัลเป็นวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นที่มีความซับซ้อนในการทำงานน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นชนิดอื่น แต่เป็นวิธีการที่เข้าถึงข้อมูลในลักษณะกว้าง มักใช้ในการแบ่งประเภทของพื้นผิวเป็นส่วนใหญ่ [6] ดังนั้นการจะนำวิธีมิติแฟร็กทัลมาใช้ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาที่มีรายละเอียดค่อนข้างมาก ผู้วิจัยจึงคิดนำตัวกรองความถี่สูง-ต่ำที่สามารถเลือกทิศทางของลวดลายพื้นผิวและใช้งานได้ดีในการสกัดคุณลักษณะเด่นลายนิ้วมือ [18] มาทดลองใช้ร่วมกัน และเลือกการเข้าถึงข้อมูลที่ละเอียด ทำให้ได้รายละเอียดของข้อมูลมากขึ้น เพื่อให้ได้ตัวแทนคุณลักษณะเด่นที่มีคุณภาพ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการวิจัยที่นำเสนอระบบการรู้จำม่านตาโดยใช้หลักการมิติแฟร็กทัลและมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ดิ่ง ซึ่งทั้งสองวิธีการใช้ร่วมกับตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ เพื่อสกัดคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตา ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

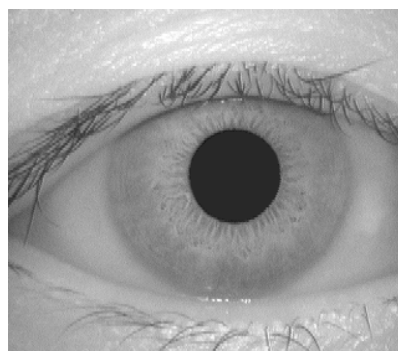
3.1 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้มิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ

จากที่ได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และได้้นำวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นมาปรับใช้ในงานวิจัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการสกัดคุณลักษณะเด่นม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ แสดงดังภาพที่ 3-1



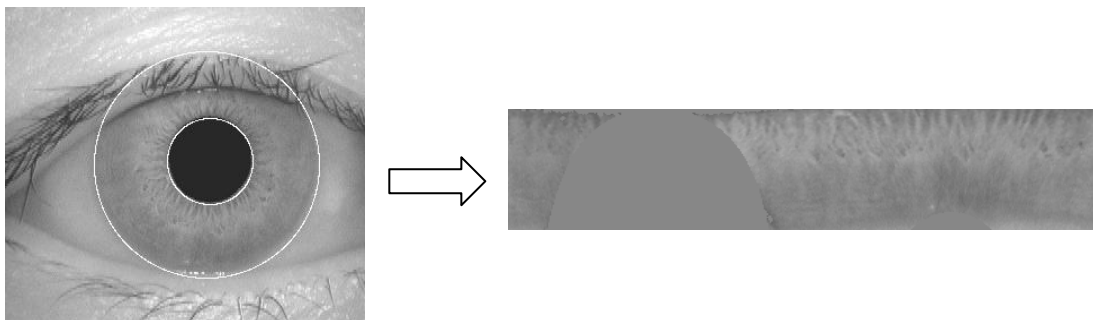
ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีการมิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมภาพ จัดหาฐานข้อมูลรูปภาพดวงตาที่จะใช้สำหรับการทดลองที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป จากฐานข้อมูล CASIA [5]



ภาพที่ 3-2 ตัวอย่างภาพดวงตา

3.1.2 ขั้นตอนการตรวจจับขอบม่านตา ใช้โปรแกรมการระบุตำแหน่งม่านตาจากภาพดวงตาของ Masek [3] ตรวจจับม่านตาจากดวงตาพร้อมทั้งปรับรูปแบบของม่านตาจากวงกลมกลวง ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามขนาดที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีขนาด 150x400 จุดภาพ

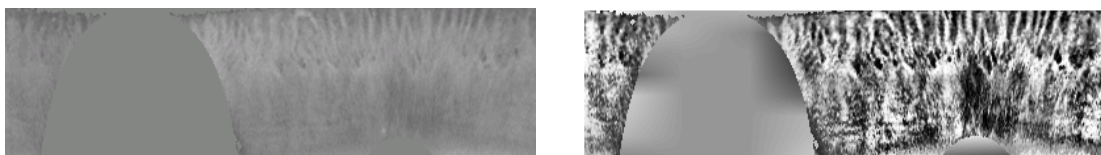


(ก) ภาพระบุตำแหน่งม่านตา

(ข) ภาพหลังการปรับรูปแบบม่านตาให้เป็นรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดมาตรฐาน

ภาพที่ 3-3 การปรับรูปแบบภาพม่านตาให้เป็นขนาดมาตรฐาน (150x400 จุดภาพ)

3.1.3 ขั้นตอนการปรับปรุงความชัดเจนของภาพ นำภาพหลังการปรับพื้นที่ม่านตาให้เป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดมาตรฐาน 150x400 จุดภาพ ปรับความความชัดเจนของทุกจุดภาพในภาพ ด้วยการปรับค่าความเข้มสีของจุดภาพด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.3.3 เพื่อกระจายความเข้มสีของภาพได้ภาพที่มีความชัดเจนมากขึ้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ใช้ Clip Limit มีค่าเท่ากับ 0.01 ดังสมการที่ (2-17) และได้ภาพผลลัพธ์ดังภาพที่ 3-4



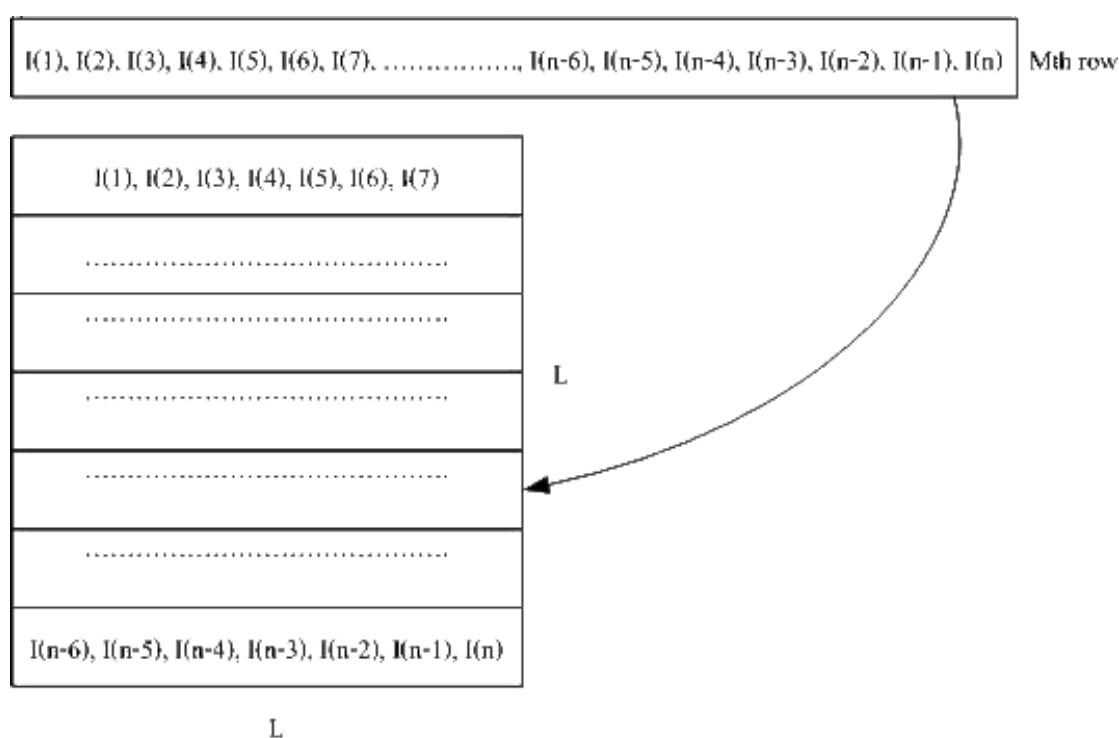
(ก) ภาพม่านตาที่ผ่านการคลีภาพ

(ข) ภาพม่านตาหลังการปรับความชัดเจนของภาพ

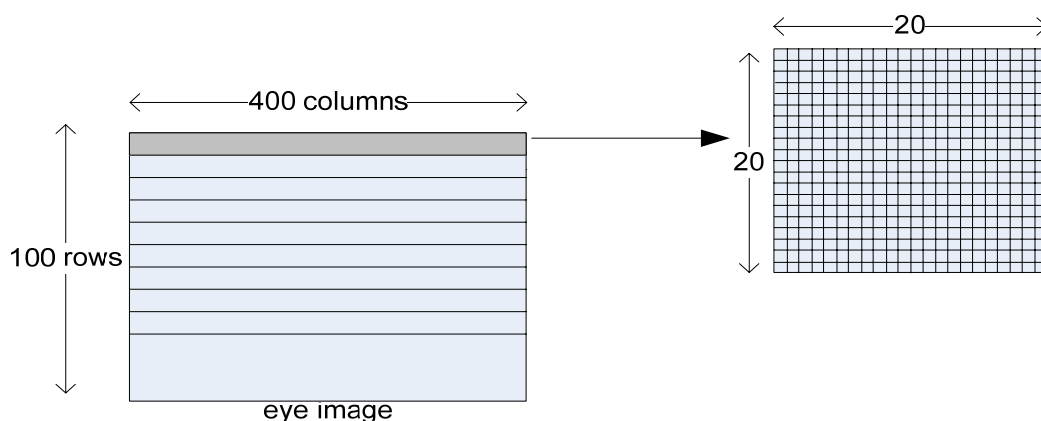
ภาพที่ 3-4 ภาพการปรับความชัดเจนด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization

3.1.4 กำหนดพื้นที่ข้อมูลในการคำนวณหาตัวแทนคุณลักษณะเด่น

ภาพม่านตาหลังจากการคลี่เป็นภาพสี่เหลี่ยมผืนผ้าและปรับปรุงความชัดเจนแล้ว มีขนาดภาพ 150x400 จุดภาพ ระบุพื้นที่ใช้สกัดคุณลักษณะเด่นที่ละหนึ่งแถวของภาพ ได้ภาพขนาด 1x400 จุดภาพ ปรับรูปแบบข้อมูลเป็นเมตริกซ์ด้านเท่าให้มีขนาด 20x20 จุดภาพ ในหนึ่งภาพจะมีสามมิติ ประกอบด้วย (x, y, z) มิติ (x, y) แทนตำแหน่งของจุดภาพในแนวแกนนอน (x) แนวแกนตั้ง (y) และมิติ (z) แทนค่าความเข้มของแสงสีเทา ดังนั้นตารางย่อยจึงมีขนาด 20x20 จุดภาพ ในหนึ่งภาพม่านตามี 150 แถว ดังนั้นจึงได้ตารางย่อยจำนวน 150 ตารางในหนึ่งภาพม่านตา



ภาพที่ 3-5 การปรับรูปแบบข้อมูลแต่ละแถวภาพเป็นเมตริกซ์ด้านเท่า



ภาพที่ 3-6 ภาพปรับรูปแบบข้อมูลเป็นเมตริกซ์ด้านเท่าขนาด 20x20 จุดภาพ

3.1.5 การคอนโวลูชันด้วยเคอร์เนล (Kernel) ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำขนาด 5x5 จุดภาพ จำนวน 4 ทิศทาง ตามสมการที่ (3-1)

$$\theta_i = i \times \frac{\pi}{4} \quad (3-1)$$

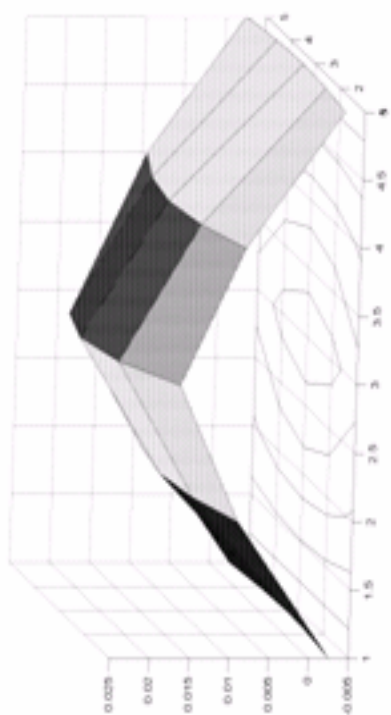
โดยที่ i คือ ทิศทางการหมุนของลวดลายในภาพมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 3 ดังนั้นจำนวนเคอร์เนลที่ได้มี 4 ภาพ ตามจำนวนมุม i

3.1.6 หลังการคอนโวลูชันด้วยเคอร์เนล จะได้ภาพหลังการคอนโวลูชันจำนวน 4 ภาพ ขนาด 24x24 จุดภาพ ในแต่ละภาพถูกนำมาคำนวณหามิติแฟร็กทัล ซึ่งเป็นค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่น ดังสมการที่ (3-2) และเมื่อกำหนดให้ $b = 5$ เท่ากับขนาดของเคอร์เนล และ SM คือ ค่าผลรวมค่าเฉลี่ยของจุดภาพหลังการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของจุดภาพในภาพ ดังสมการที่ (3-3)

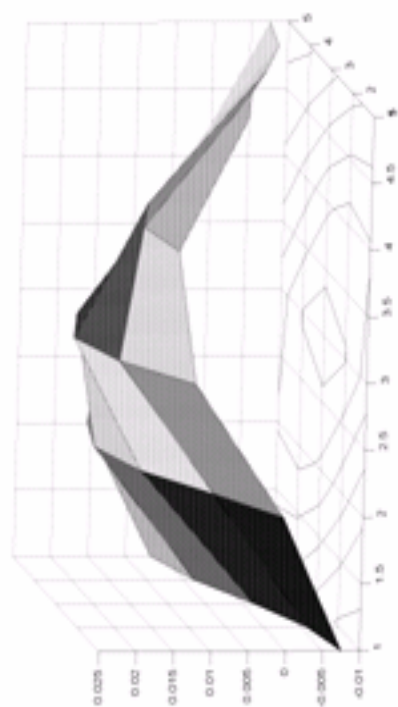
$$FD = \frac{\log(SM)}{\log(1/b)} \quad (3-2)$$

โดยที่ FD คือ มิติแฟร็กทัลของภาพม่านตาหนึ่งแถว

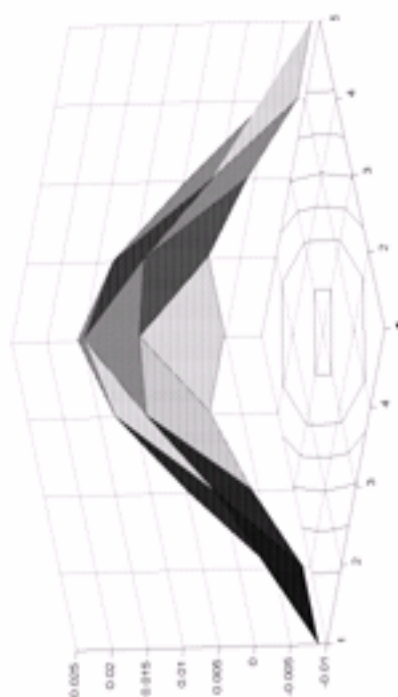
b คือ ขนาดของเคอร์เนลตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ



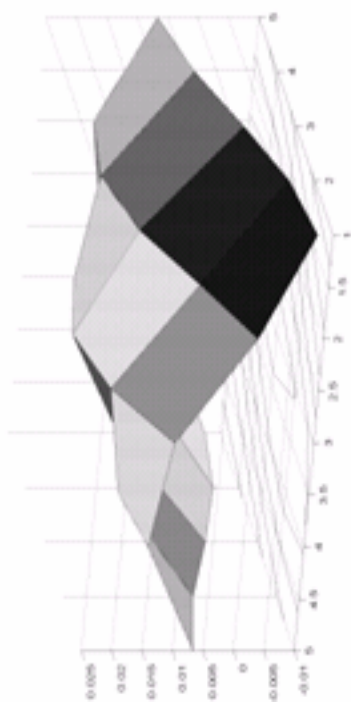
(ก) เวกเตอร์แนลที่ $i = 0$



(ข) เวกเตอร์แนลที่ $i = 1$



(ค) เวกเตอร์แนล ที่ $i = 2$



(ง) เวกเตอร์แนลที่ $i = 3$

ภาพที่ 3-7 ค่าตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ

$$SM = \sum_{i=1}^n \sum_{ii=1}^m \frac{F(x, y)}{mxn} \quad (3-3)$$

โดยที่ $F(x, y)$ คือ ภาพหลังการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ ขนาด 24x24 จุดภาพ ดังนั้น จะได้ค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นม่านตาในแต่ละแถวจนครบทุกแถว ดังนั้นในหนึ่งภาพมีหนึ่งร้อยห้าสิบแถว จะได้ค่าคุณลักษณะเด่นจำนวนหนึ่งร้อยห้าสิบค่าในหนึ่งมุมของตัวกรองความถี่กระทำทั้งสี่ทิศทางจะได้ค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นทั้งสิ้นในหนึ่งภาพจำนวนสี่ร้อยห้าสิบค่า เพื่อนำไปใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ ทั้งนี้ประสิทธิภาพที่ได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ยังไม่ดีพอ ดังรายละเอียดการทดลองในบทที่ 4 ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาการสกัดคุณลักษณะเด่นอีกวิธีการหนึ่งเพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ที่ดีขึ้น ดังมีรายละเอียดวิธีการในหัวข้อถัดไป

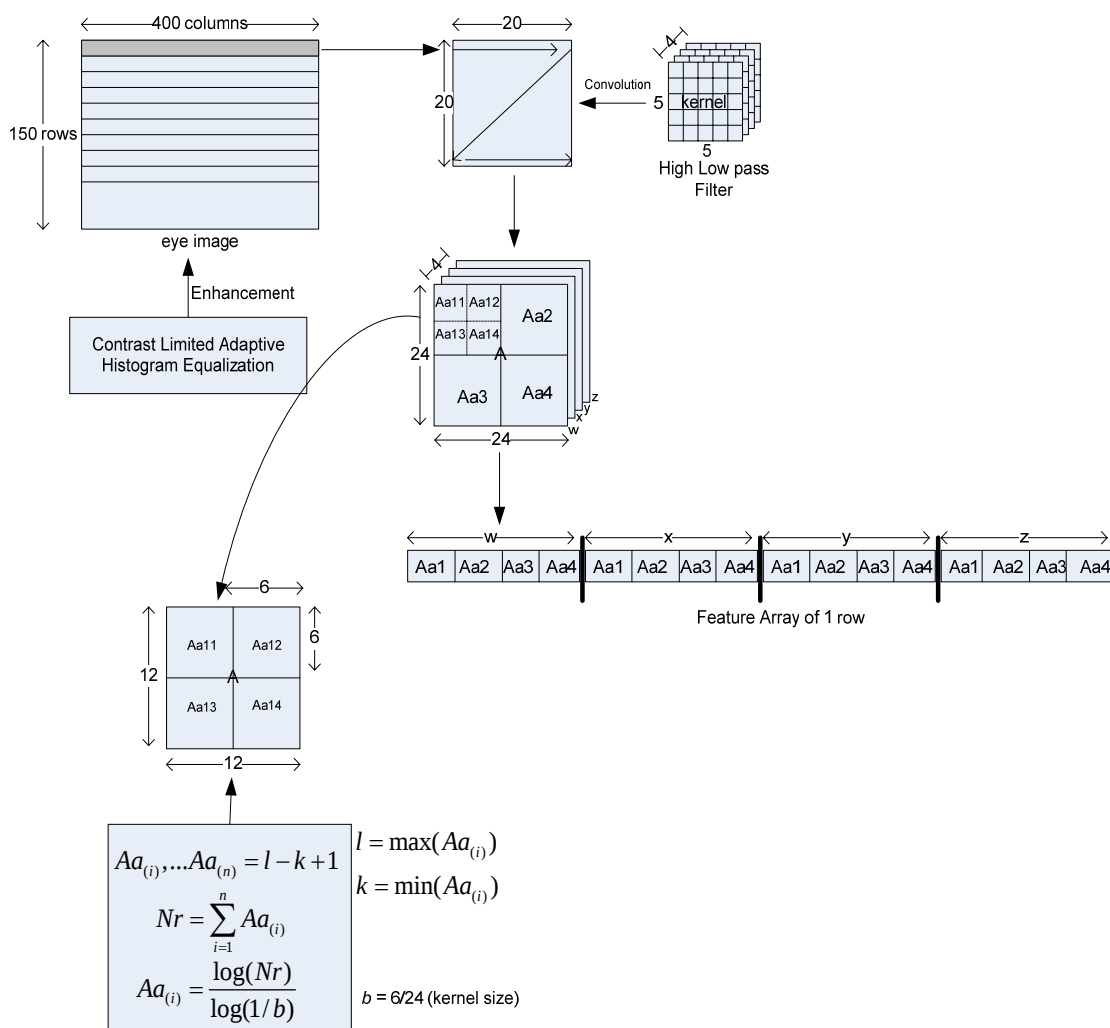
3.2 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ

จากการวิเคราะห์การสกัดคุณลักษณะเด่นโดยใช้มิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ รายละเอียดตามหัวข้อที่ 3.1 พบว่าข้อมูลตัวแทนคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาที่ได้ยังไม่เป็นตัวแทนของภาพม่านตาที่ดีพอ ซึ่งดูได้จากผลการทดลองในบทที่ 4 ผู้วิจัยจึงได้คิดนำมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งเข้ามาทดลองใช้สกัดคุณลักษณะเด่นเพื่อให้ได้ข้อมูลตัวแทนคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาที่มีความละเอียดมากขึ้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ แสดงดังภาพที่ 3-8

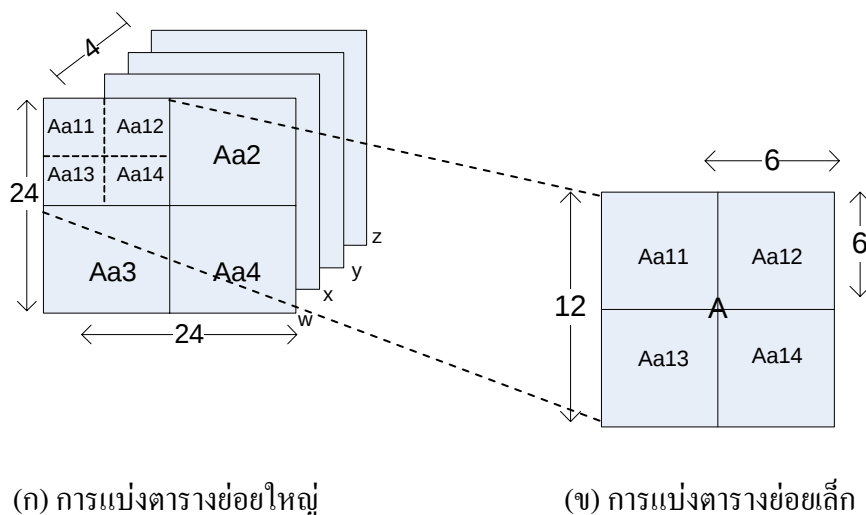
ขั้นตอนการเตรียมภาพและเตรียมข้อมูลเพื่อการสกัดคุณลักษณะเด่น เหมือนหัวข้อที่ 3.1.1-3.1.6 หลังการคอนโวลูชันด้วยเคอร์เนล จะได้ภาพหลังการคอนโวลูชันจำนวน 4 ภาพ ขนาด 24x24 จุดภาพ ในแต่ละภาพนำมาตัดแบ่งเป็นตารางย่อยใหญ่สี่ตารางย่อยใหญ่ ได้ตารางย่อยใหญ่ขนาด 12x12 จุดภาพ จำนวน 4 ตารางในหนึ่งภาพย่อยแต่ละทิศทาง และมีจำนวน 16 ตารางย่อยใหญ่ในสี่ทิศทาง แสดงดังภาพที่ 3-9

โดยที่ $Aa1, Aa2, Aa3, Aa4$ แทนตารางย่อยใหญ่ในภาพย่อยแต่ละทิศทางที่ w, x, y, z แบ่งตารางย่อยเล็กในแต่ละตารางย่อยใหญ่ จะได้ตารางย่อยเล็กขนาด 6x6 จุดภาพ นำแต่ละตารางย่อยเล็กหาความต่างของค่าความเข้มสีมากที่สุด และค่าความความเข้มสีน้อยที่สุดแล้วบวกด้วยหนึ่ง เนื่องจากต้องมีการนำเข้าสู่สมการลอการิทึม ค่าที่ได้จึงไม่ควรน้อยกว่าหนึ่ง ดังสมการที่ (2-21) กำหนดให้ $n_r(i, j)$ คือ ค่าความแตกต่างความเข้มสีในตารางย่อยเล็ก l คือ ค่าความเข้มสีมากที่สุด ในตารางย่อยเล็ก และ k คือ ค่าความเข้มสีน้อยที่สุดในตารางย่อยเล็ก ดังภาพที่ 3-10

จากนั้นนำค่าความแตกต่างความเข้มสีที่ได้ในแต่ละตารางย่อยเล็กมารวมกันเพื่อให้ได้ค่ารวมความแตกต่างความเข้มสีในแต่ละตารางย่อยเล็ก ดังสมการที่ (2-22) โดยกำหนดให้ N_r คือ ผลรวมค่าความแตกต่างความเข้มสีแต่ละตารางย่อยเล็ก และ n_r คือ ค่าความแตกต่างของความเข้มสีแต่ละตารางย่อยเล็ก



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยมิติเฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ



ภาพที่ 3-9 การแบ่งตารางย่อยออกเป็นแบนด์ 2 ระดับ

	ค่าความเข้มสี มากที่สุด	ค่าความเข้มสี น้อยที่สุด	ผลต่าง+1
s1	149	121	29
s2	142	109	34
s3	148	136	13
s4	144	132	13
		Nr	89

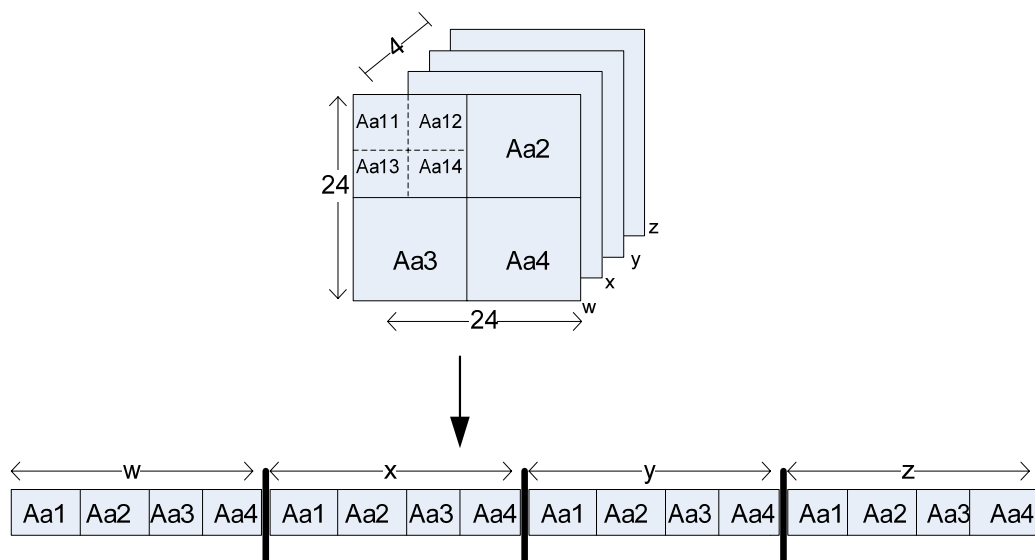
s1	s2
s3	s4

126	123	121	122	124	123	118	113	109	115
134	137	140	140	136	131	125	122	119	124
133	140	148	149	143	135	130	128	126	132
130	136	142	145	142	138	134	132	127	133
140	139	138	140	142	142	138	135	128	132
148	143	138	137	139	139	135	132	133	135
147	144	141	138	136	135	133	132	134	137
144	146	147	144	139	137	138	141	132	136
139	137	137	137	139	140	139	138	144	142
143	140	138	137	137	137	136	135	140	140

ขนาดตารางย่อยใหญ่

ภาพที่ 3-10 การคำนวณหาค่าความแตกต่างความเข้มสีในแต่ละตารางย่อย

เมื่อรวมค่าความแตกต่างความเข้มสีแต่ละตารางย่อยเล็กมาแทนค่าตัวแปร N_r และกำหนดให้ค่าตัวแปร b มีค่าเท่ากับ $6/24$ เป็นสัดส่วนขนาดด้านของตารางย่อยเล็กต่อขนาดด้านของตารางย่อยใหญ่ในสมการของมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ดิง ดังสมการที่ (2-20) ผลลัพธ์ได้ค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นในตารางย่อยใหญ่ ดังนั้นในหนึ่งแถวภาพม่านตา จะได้ค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นจำนวนสิบหกค่า รวมสี่ทิศทางจากตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ แสดงได้ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 จำนวนของตัวแทนคุณลักษณะเด่นในแต่ละแถวของภาพม่านตา

ดังนั้นในหนึ่งภาพม่านตาขนาด 150x400 จุดภาพ จะได้ค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นทั้งสิ้น 2,400 ค่า เพื่อที่จะใช้รู้จำอัตลักษณ์แต่ละบุคคลต่อไป

3.3 ขั้นตอนการเข้าสู่คุณลักษณะเด่น

วิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการจับคู่ โดยใช้ค่าผลต่างของค่าคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาได้ระหว่างภาพป้อนเข้า (D_{in}) และภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล (D_{db}) โดยเปรียบเทียบค่าแต่ละคุณลักษณะเด่นตามจำนวนของคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมา รวมค่าผลต่างระหว่างคุณลักษณะเด่นที่ได้ทั้งหมดทำให้เป็นค่าสัมบูรณ์ เพื่อไม่ให้ค่าลบหรือบวกมีผลกับการพิจารณาไล่เรียงทีละคุณลักษณะเด่นของภาพม่านตาจนสิ้นสุด ตามสมการที่ (2-32)

จากนั้นจึงเรียงลำดับค่าผลต่างของค่าคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาที่มีเท่ากับหรือค่าใกล้เคียงศูนย์ที่สุด เนื่องจากหากเป็นคุณลักษณะเด่นที่มาจากภาพเดียวกัน จะได้ค่าผลต่างของค่าคุณลักษณะเด่นที่สกัดออกมาเป็นศูนย์ ดังนั้นหากค่าใกล้เคียงศูนย์ที่สุดจึงสมมติฐานได้ว่าอาจมาจากบุคคลเดียวกัน จึงยึดถือค่าที่ได้เป็นภาพที่มีคุณลักษณะเด่นใกล้เคียงภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลที่สุด เมื่อนำมาพิสูจน์หากเป็นภาพที่มาจากบุคคลเดียวกันถือว่าการจับคู่ถูกต้อง หากไม่ใช่ถือว่าการจับคู่ผิดพลาด

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพ

ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพป้อนเข้า และค่าข้อมูลคุณลักษณะเด่นของภาพในฐานข้อมูล ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่ตรงตามเกณฑ์การเข้าคู่และจำนวนข้อมูลทั้งหมด ดังสมการที่ (2-34)

โดยให้ค่า Tolerance Threshold ซึ่งมาจากการทดลอง เพื่อให้ได้ค่าที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ในการเข้าคู่โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่มากที่สุด ดังรายละเอียดในตารางที่ 4-2 ซึ่งค่าที่ได้เท่ากับ 0.0450 นั่นก็คือ หากผลต่างน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า Tolerance Threshold ให้ค่าผลต่างเป็น ศูนย์ หากมากกว่าจึงนำค่าผลต่างมาคำนวณรวมกัน แล้วจึงเรียงลำดับค่าทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณสนใจเฉพาะค่าที่น้อยที่สุด นำมาเปรียบเทียบว่าเป็นบุคคลเดียวกัน โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลชี้ลำดับของภาพมานว่าถูกต้องหรือไม่ หากถูกต้องให้นับเป็นหนึ่ง แล้วรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดให้ค่าในตัวแปรจำนวนข้อมูลที่เหมือนกัน (SF) ค่าผลลัพธ์ที่ได้ หากการเข้าคู่ถูกต้องทั้งหมดจะได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่เป็นหนึ่งร้อย และหากมีความผิดพลาดในการเข้าคู่จะได้ค่าผลลัพธ์เป็นสัดส่วนร้อยละ

เมื่อได้ทำครบขั้นตอนเข้าสู่ระบบการรู้จำม่านตาโดยใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นดังที่กล่าวมา จึงทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลลัพธ์ในด้านต่างๆ ซึ่งผลการทดลองของทุกวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่น จะแสดงรายละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป

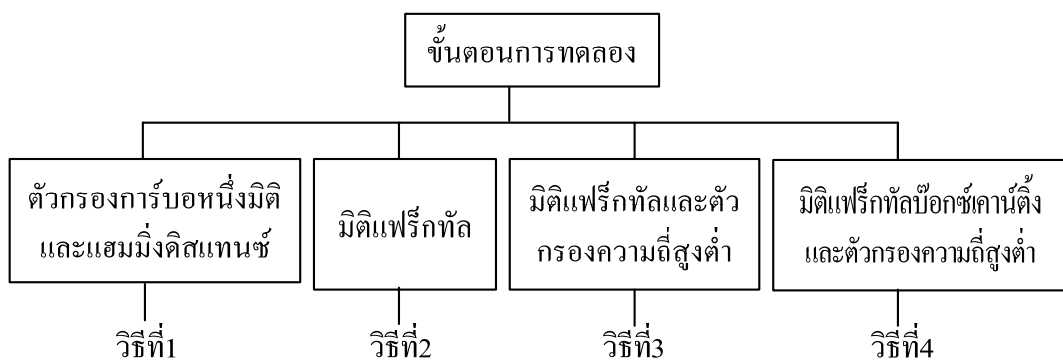
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการวิจัย สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้จากระบบการรู้จำม่านตาโดยใช้คุณลักษณะเด่นที่กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.1 วิธีดำเนินการทดลอง

ในบทนี้ได้จัดรูปแบบการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 แผนผังรูปแบบการทดลอง

หลังจากทำการเตรียมภาพม่านตาที่ผ่านการแปลงรูปแบบเป็นสีเหลี่ยมผืนผ้าแล้ว ต่อมาเป็นขั้นตอนการทดลองซึ่งทำการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น AMD Athlon (tm) มีความเร็วในการประมวลผล 1.79 GHz หน่วยความจำ 768 MB บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP และใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7 ในการคำนวณเพื่อการประมวลผลการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง ขั้นตอนแรกจะดำเนินการทดลองโดยใช้คุณลักษณะเด่นแต่ละวิธีการเริ่มจากการทดลองโดยใช้ตัวกรองการบอหนึ่งมิติในการสกัดคุณลักษณะเด่น และวิธีการแฮมมิงคิสแทนซ์ในการเข้ารหัสซึ่งเป็นวิธีที่ 1 ขั้นตอนต่อมาทำการทดลองโดยใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นจากวิธีการมิติแฟร็กทัล และวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการเข้ารหัสซึ่งเป็นวิธีที่ 2 จากนั้นจึงทดลองโดยใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นจากวิธีการมิติแฟร็กทัลผ่านตัวกรองความถี่สูง-ต่ำและ

วิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการเข้าสู่คู่อิงรายละเอียดในหัวข้อ 3.1 ซึ่งเป็นวิธีที่ 3 และวิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งผ่านตัวกรองความถี่สูง-ต่ำและวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการเข้าสู่คู่อิงรายละเอียดในหัวข้อ 3.2 ซึ่งเป็นวิธีที่ 4 จากนั้นทำการประเมินผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง ขั้นตอนสุดท้ายจึงสรุปผลการทดลอง

4.2 ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการวิจัยในบทที่ 3 ได้สกัดคุณลักษณะเด่นและเข้าสู่ระบบการรู้จำด้วยวิธีการต่างๆ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำกรณีการปรับขนาดเคอร์เนลตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ

ขนาดเคอร์เนล	ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่คู่อิง
3 x 3	89.80
5 x 5	89.80
7 x 7	89.80

จากตารางที่ 4-1 พบว่าการทดลองปรับขนาดเคอร์เนลจากตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ ไม่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่คู่อิงเปลี่ยนแปลง ในกรณีตัวอย่างที่จำนวนภาพม่านตา 353 ภาพ กำหนดขนาดมาตรฐานม่านตา 100x400 จุดภาพ โดยใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ และวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการเข้าสู่คู่อิง จากวิธีที่ 4

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำกรณีการปรับค่า Tolerance Threshold ในการเข้าสู่คู่อิง

ค่า Tolerance Threshold	ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่คู่อิง
0.0150	89.52
0.0250	89.52
0.0350	89.52
0.0450	89.80
0.0500	89.52

จากตารางที่ 4-2 พบว่าการทดลองปรับค่า Tolerance Threshold ในการเข้าสู่ โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นจากค่า Tolerance Threshold ในงานวิจัยที่ใช้มิติแฟร็กทัลในการรู้จำม่านตาเช่นกัน [14] ทำการทดลองปรับค่าจนได้ค่าที่มีผลค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่ดีที่สุดที่ร้อยละ 89.80 ที่ค่า Tolerance Threshold เท่ากับ 0.0450 ในกรณีตัวอย่างที่จำนวนภาพม่านตา 353 ภาพ กำหนดขนาดมาตรฐานม่านตา 100x400 จุดภาพ โดยใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ และวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการเข้าสู่ วิธีที่ 4

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำกรณีการปรับจำนวนแถวของภาพม่านตา

ขนาดภาพ	ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่
50 x 400	87.25
70 x 400	88.38
¹ 87 x 400	88.38
100 x 400	89.80
120 x 400	90.09
150 x 400	91.22
200 x 400	90.09

จากตารางที่ 4-3 พบว่าการทดลองปรับจำนวนแถวของภาพม่านตาหลังการปรับขนาดให้เป็นมาตรฐาน โดยขนาดที่ทำการทดลอง เริ่มตั้งแต่จำนวน 50 แถวภาพ ถึงจำนวน 200 แถวภาพ โดยที่ กำหนดให้ความกว้างคงที่ คือ 400 จุดภาพ เนื่องจากเป็นจำนวนที่มีความเป็นไปได้และได้ค่าคุณลักษณะเด่นที่ดีในการคำนวณมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง โดยขนาดดังกล่าวจะได้ขนาดตารางย่อยเล็กที่ 6 x 6 จุดภาพ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2 ในกรณีตัวอย่างที่จำนวนภาพม่านตา 353 ภาพ ค่า Tolerance Threshold เท่ากับ 0.045 โดยใช้วิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ และวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ในการเข้าสู่ วิธีที่ 4 จะเห็นได้ว่าในการเข้าสู่ จากการทดลองกำหนดจำนวนแถวภาพเท่ากับ 87 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่ใกล้เคียงกับจำนวนแถวภาพที่ 70 จุดภาพ และในภาพม่านตาขนาด 150x400 จุดภาพ ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่ดีที่สุดที่ร้อยละ 91.22 จึงกำหนดให้ภาพม่านตามีขนาด 150x400 จุดภาพ

¹ จำนวนแถวเท่ากับงานวิจัย [14]

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรู้จำม่านตาด้วยวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นต่าง ๆ

วิธีการ	จำนวน ภาพ	เวลา ที่ใช้ (วินาที)	ถูกต้อง		ไม่ถูกต้อง		ค่า เปอร์เซ็นต์ การเข้าสู่
			จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
ตัวกรองการบอหนึ่งมิติ และแฮมมิงคิสแทนซ์	353	9,259.68	352	99	1	1	99.71
มิติแฟร็กทัล	353	622.72	135	38	218	62	38.24
มิติแฟร็กทัลและตัวกรอง ความถี่สูง-ต่ำ	353	1,148.00	258	73	95	27	73.09
มิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติง และตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ	353	954.34	322	91	31	9	91.22

4.3 สรุปผลการทดลอง

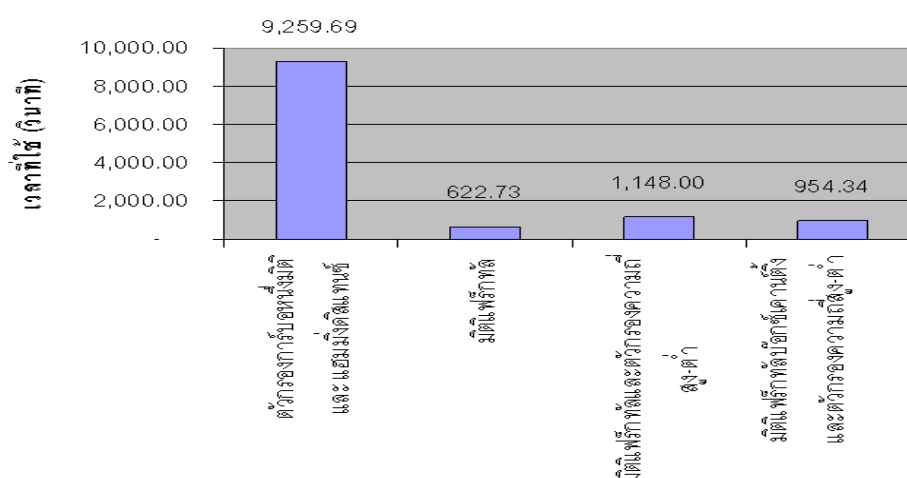
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าวิธีการตัวกรองการบอหนึ่งมิติในการสกัดคุณลักษณะเด่น และวิธีการแฮมมิงคิสแทนซ์ในการเข้าสู่โดย Masek [3] วิธีที่ 1 มีค่าคุณลักษณะเด่นมากจำนวน 9,600 บิต ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.3.4.3 ให้ผลดีในการเข้าสู่ โดยจะเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่ที่ร้อยละ 99.71 แต่ใช้เวลามากที่สุดถึง 9,259.68 วินาที จากการทดลองในฐานข้อมูลภาพ ม่านตาจำนวน 353 ภาพ คิดเป็น 26.23 วินาทีต่อหนึ่งภาพม่านตา ซึ่งในการทำงานจริงที่หากต้อง สืบค้นฐานข้อมูลภาพม่านตาขนาดใหญ่มากกว่านี้ เวลาที่ใช้เข้าสู่ต่อภาพม่านตาจะใช้เวลามากกว่านี้ ซึ่งพบว่าเป็นปัญหาของวิธีการนี้

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการเพื่อลดจำนวนคุณลักษณะเด่น ใช้ลดขนาดของฐานข้อมูลเพื่อ ลดเวลาในการประมวลผลและพยายามรักษาระดับความถูกต้องไว้ ได้แสดงวิธีการแก้ปัญหา ดังบท ที่ 3 ด้วยการลดจำนวนคุณลักษณะเด่นด้วยการสกัดคุณลักษณะเด่นโดยคิดใช้วิธีมิติแฟร็กทัล ซึ่งมี คุณสมบัติไม่แปรผันต่อการหมุนไม่ว่าภาพจะหมุนในทิศทางใด และการย่อส่วนภาพไม่ว่าจะย่อ หรือขยายภาพในขนาดเท่าใด ค่าที่ได้จากมิติแฟร็กทัลจะเป็นดังเดิม และเริ่มมีการนำมิติแฟร็กทัลมา ใช้ในระดับหยาบในการแบ่งกลุ่มภาพม่านตา [6] จึงคิดว่ามิติแฟร็กทัลน่าจะสามารภใช้งานในระดับ รายละเอียดได้ โดยต้องใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพในการสกัดคุณลักษณะเด่น จึงได้เลือกตัวกรองความถี่

สูง-ต่ำ ซึ่งเป็นวิธีการที่เคยใช้สกัดคุณลักษณะเด่นได้ผลดีในลายนิ้วมือมาแล้ว [18] มาใช้ร่วมกับมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งในวิธีที่ 4 ที่ได้ค่าคุณลักษณะเด่นจำนวน 2,400 บิต ซึ่งน้อยกว่าวิธีที่ 1 ถึงสี่เท่า ผลปรากฏว่าจำนวนคุณลักษณะเด่นที่น้อยยังสามารถเป็นตัวแทนภาพที่ดีได้ จากค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ร้อยละ 91.22 แต่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีที่ 1 ถึงเก้าเท่า คิดเป็น 2.70 วินาทีต่อหนึ่งภาพม่านตา วิธีการมิติแฟร็กทัลในวิธีที่ 2 ใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 622 วินาที คิดเป็น 1.76 วินาทีต่อหนึ่งภาพม่านตา แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 38.24 ส่วนวิธีที่ 3 มิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ มีค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่อยู่ที่ร้อยละ 73.09 และใช้เวลาไป 1,148 วินาที คิดเป็น 3.25 วินาทีต่อหนึ่งภาพม่านตามากกว่าวิธีการมิติแฟร็กทัลประมาณสองเท่า จึงเป็นทางเลือกสำหรับการพัฒนาวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่นม่านตาที่ต้องการความรวดเร็วในการคำนวณในการรู้จำม่านตาต่อไป

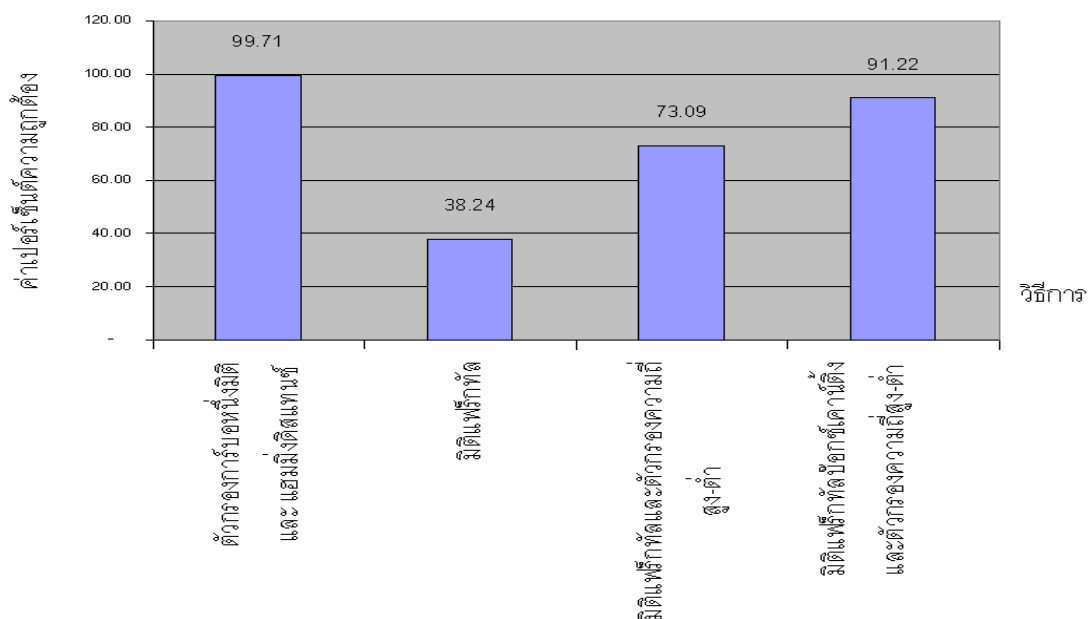
และจากการทดลองที่ผ่านมา โดยใช้วิธีการมิติแฟร็กทัลนั้น พบว่าการทดลองปรับค่าตัวแปรในสมการการแปลงภาพด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization เพื่อเพิ่มความชัดเจนภาพม่านตา ช่วยให้เห็นรายละเอียดของภาพชัดเจนเพิ่มขึ้น สามารถทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่เพิ่มขึ้นได้ จากการทดลองปรับขนาดเคอร์เนลจากตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ ไม่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่เปลี่ยนแปลง งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้เคอร์เนลมีขนาด 5 x 5 จุดภาพ การทดลองปรับค่า Tolerance Threshold ในการเข้าคู่ มีค่าเปอร์เซ็นต์การเข้าคู่ดีที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 91.22 ที่ค่า Tolerance Threshold เท่ากับ 0.0450 ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดใช้ค่า Tolerance Threshold เท่ากับ 0.0450 และจากการทดลองปรับจำนวนแถวภาพม่านตาได้ขนาดมาตรฐานเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดในการสกัดคุณลักษณะเด่นที่ 150x400 จุดภาพ

กราฟเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ (วินาที)



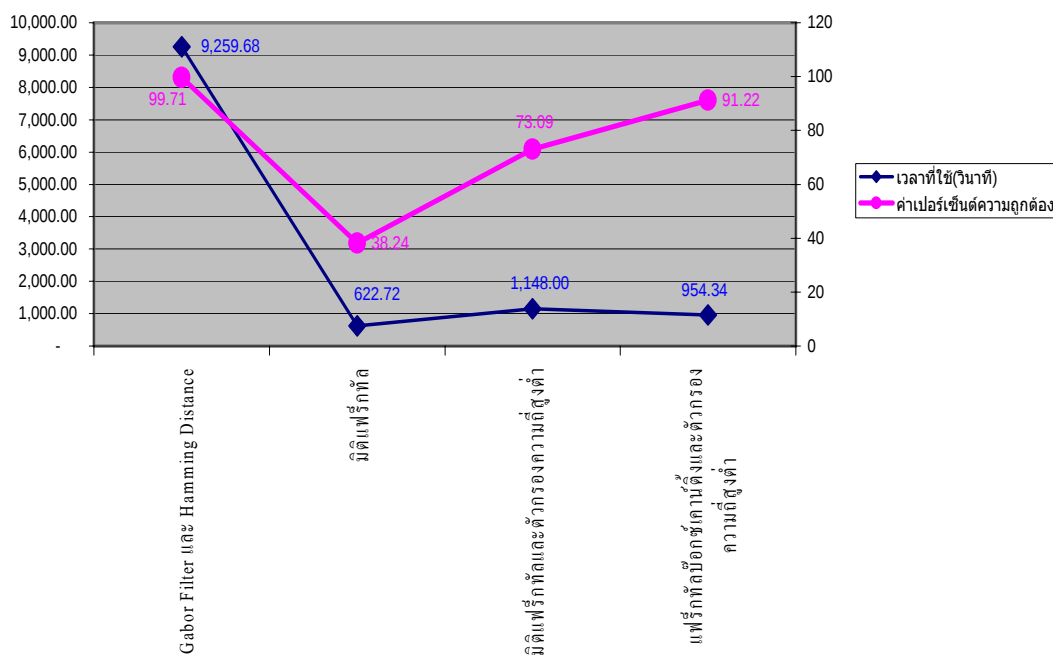
ภาพที่ 4-2 กราฟการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ (วินาที) ในการประมวลผลของแต่ละวิธีการ

กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละวิธีการ



ภาพที่ 4-3 กราฟการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละวิธีการ

กราฟการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้และค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละวิธีการ



ภาพที่ 4-4 กราฟการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้และค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละวิธีการ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการรู้จำม่านตาโดยมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีของงานวิจัยต่างๆ และพัฒนาวิธีการสกัดคุณลักษณะเด่น ด้วยการนำตัวกรองความถี่สูง-ต่ำมาใช้ร่วมกับวิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง ในการรู้จำม่านตา

หากทำการรู้จำม่านตาด้วยวิธีการมิติแฟร็กทัลเพียงวิธีการเดียวค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ได้ยังให้ผลลัพธ์ที่น้อยกว่าร้อยละ 40 แต่ใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 662 วินาที จากการเปรียบเทียบข้อมูลภาพม่านตาจำนวน 353 ภาพ เนื่องจากสมการในการคำนวณไม่มีความซับซ้อน และทฤษฎีที่ใช้เปรียบเทียบสามารถกระทำได้โดยตรง จากการตัดข้อมูลที่ละเอียด ทำให้ไม่ต้องเลื่อนข้อมูลภาพเพื่อให้ตรงกัน เพราะเป็นค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นของทั้งแถวภาพแล้ว

หากทำการรู้จำม่านตาด้วยการสกัดคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีการตัวกรองการบอหนึ่งมิติ และแฮมมิงคิสแทนซ์ในการรู้จำ ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมีค่าสูงมาก คือร้อยละ 99.71 แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณเปรียบเทียบมากที่สุด คือ 9,259 วินาที จากการเปรียบเทียบข้อมูลภาพม่านตาจำนวน 353 ภาพ เนื่องจากจำนวนคุณลักษณะเด่นมีปริมาณมากและต้องมีการเลื่อนภาพเพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกันทั้งสิบหกครั้ง คือ ด้านซ้ายแปดครั้งและด้านขวาแปดครั้ง ทำให้ต้องเสียเวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก แต่ได้ความแม่นยำสูง หากแต่ในการใช้งานจริงเวลาที่ใช้มากเกินไป ทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งานจริง

ในการทดลองใช้ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ หากค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นในแต่ละแถวจุดภาพในภาพม่านตาเข้าสมการของมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง ได้จำนวนค่าตัวแทนคุณลักษณะเด่นตามจำนวนแถวของภาพม่านตา โดยทดลองให้ปรับค่าความเข้มสีของจุดภาพด้วยวิธีการ Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization เพื่อเพิ่มความชัดเจนของภาพม่านตา ก่อนการสกัดคุณลักษณะเด่น การทดลองค่า Tolerance Threshold ที่เหมาะสมที่สุด คือ 0.0450 โดยให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสูงสุดร้อยละ 91.22 และใช้เวลาในการคำนวณเปรียบเทียบ 954.34 วินาที จากการเปรียบเทียบข้อมูลภาพม่านตาจำนวน 353 ภาพ

โดยสรุปการทดลองการรู้จำม่านตาโดยมิติแฟร็กทัลและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ ได้ค่าที่อยู่ในระดับปานกลางทั้งด้านความแม่นยำ และความเร็วในการคำนวณ ซึ่งหากใช้วิธีการมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้งและตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ จะได้ค่าความเร็วใกล้เคียงกับวิธีการมิติแฟร็กทัล แต่มีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงวิธีการตัวกรองการบอหนึ่งมิติและแฮมมิงดิสเทนซ์ เป็นไปได้ว่า หากมีการพัฒนาจากการรู้จำด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าผลต่างสัมบูรณ์ เป็นวิธีการรู้จำชนิดอื่น เช่น วิธีการปัญญาประดิษฐ์โครงข่ายประสาทเทียม ที่มีความเป็นไปได้ที่จะให้ความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น แต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งสามารถทำการวิจัยต่อไปได้

5.2 ปัญหาของการพัฒนางานวิจัย

ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้คือ การตรวจจับขอบม่านตาที่ไม่ถูกต้องเที่ยงตรง ทำให้ค่าคุณลักษณะเด่นม่านตาสำหรับการรู้จำผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นจึงต้องคัดเลือกเฉพาะภาพดวงตาที่มีความเที่ยงตรงของการตรวจจับขอบม่านตาในการทดลอง งานวิจัยเกี่ยวกับมิติแฟร็กทัลเกี่ยวกับการรู้จำม่านตายังมีอยู่น้อยและไม่เปิดเผยข้อมูลการทดลอง ทำให้การวิจัยเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยตามแนวทางเป็นไปได้ยาก

5.3 ข้อเด่นและข้อด้อยของวิธีการที่พัฒนาขึ้นใหม่

คุณลักษณะเด่นที่ได้จากใช้ตัวกรองความถี่สูง-ต่ำ เพิ่มประสิทธิภาพให้การสกัดคุณลักษณะเด่น ด้วยวิธีการมิติแฟร็กทัลและมิติแฟร็กทัลบ็อกซ์เคาน์ติ้ง ซึ่งทำให้ผลการรู้จำม่านตามีความถูกต้องมากขึ้น และสามารถลดเวลาในการทำงานลงได้จริง แต่ข้อเสียคือ ถ้าภาพม่านตาที่ทำการแปลงภาพเป็นสีเหลี่ยมผืนผ้า นั้น มีการตรวจจับขอบไม่ถูกต้องเที่ยงตรง จะทำให้ค่าคุณลักษณะเด่นที่ได้มีความผิดพลาดไปด้วย

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาคุณลักษณะเด่นม่านตาโดยใช้คุณลักษณะพื้นฐานความเข้มสีในการรู้จำเป็นเงื่อนไข และเน้นเฉพาะภาพที่มีการตรวจจับขอบม่านตาได้ถูกต้องเที่ยงตรง งานวิจัยในอนาคตควรเน้นการตรวจจับขอบม่านตาให้มีความถูกต้องเที่ยงตรงเพิ่มมากขึ้น เพื่อประสิทธิภาพของการสกัดคุณลักษณะเด่น

เอกสารอ้างอิง

1. John Daugman. "How Iris Recognition Works." IEEE Transaction on Circuit and Systems for Video Technology. Vol. 14. No.1, 2004.
2. John Daugman. "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 15. No. 11, 1993.
3. Libor Masek. Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification. The School of Computer Science and Software Engineering, The University of Western Australia., 2003. <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/studentprojects/libor>.
4. P. Kovesi. MATLAB Functions for Computer Vision and Image Analysis. Available at: <http://www.cs.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/index.html>.
5. Chinese Academy of Sciences – Institute of Automation. Database of 756 Grayscale Eye Images. <http://www.sinobiometrics.com> Version 1.0, 2003.
6. LiYua, David Zhangb, KuanquanWanga and WenYanga. "Coarse Iris Classification Using Box-Counting to estimate Fractal Dimensions." Pattern Recognition Society. Published by Elsevier Ltd., 2005.
7. Wildes R.P. "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology." IEEE Proc. Vol. 85 No.9, September 1997.
8. Boles, W.W. and B. Boashah. "A Human Identification Technique Using Images of the Iris and Wavelet Transform." IEEE Proc. Vol. 46 No.4, 1998.
9. Dal Ho cho, Kang Ryoung Park and Dae woong Rhee. "Real-time Iris Localization for Iris Recognition in Cellular Phone." IEEE SNPD2005, Towson University, Maryland, USA, May 23 - 25 2005.
10. กิตติพล โหราพงศ์. ขั้นตอนวิธีการรู้จำม่านตาและการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบไบโอเมตริก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
11. <http://www.spu.ac.th/~bmetric>. [2007, April 8]

12. www.biometrics.org/bc2006/presentations/Wed_Sep_20/BSYM/Ross_GAC_Iris_v2.pdf.
[2007, April 8]
13. B. B. Chaudhuri and Nirupam Sarkar. "Texture Segmentation Using Fractal Dimension." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.17 No. 1 1995.
14. Chuan Chin Teo and Hong Tat Ewe. "An Efficient One-Dimensional Fractal Analysis for Iris Recognition." UNION Agency-Science Press, 2005.
15. http://www.topcharoen.co.th/web/expert_detail.php?id=30. [2007, April 8]
16. อัคริมา บุญอยู่. การพิสูจน์ตัวบุคคลด้วยเทคโนโลยี Biometrics. สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ, 2549.
17. Stephen M. Pizer and R. Eugene Johnston. "Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization:Speed and Effectiveness." IEEE , 1990.
18. S. Huvanandana, S. Malisuwan, J. Santiyanon and J. N. Hwang. "A Hybrid System for Automatic Fingerrint Identification." IEEE , 2003.
19. กิตติพงษ์ อรุณรัตน์และมุกดา โพธิ์ไพษยนต์. แฟร็กทัล. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2537.
20. วิจารย์ พานิช. องค์การแห่งการเรียนรู้และการจัดการความรู้. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2550.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวอริษกานต์ ไกรทอง
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การรู้จำม่านตาโดยใช้มิติแฟร็กทัล
สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขา
วิทยาการคอมพิวเตอร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการทำงาน พนักงานห้างหุ้นส่วนจำกัด รังนาการ(2530) อาคารรังนาการ ถนน
สาทรใต้ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120
สถานที่ติดต่อ บ้านเลขที่ 33/399 ตำบลพิมลราช อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110