วิธีการตรวจหาขนตาและเปลือกตาด้วยเทคนิค Hough transform และ Active contour เพื่อกำจัดในงานรู้จำม่านตา

อภิชาติ สุทธิธรรมานนท์* และ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ผู้รับผิดชอบบทความ: email 60601009@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบยืนยันตัวบุคคลด้วยลายม่านตาเป็นหนึ่งในระบบการรักษาความปลอดภัยที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ในบ้าน สถานที่ที่ต้องการความปลอดภัย ระบบคอมพิวเตอร์ หรือการทำธุรกรรมด้านการธนาคาร งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (noise) ในภาพของลายม่านตาที่เกิดจากขนตาและเปลือกตา เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตัวตนให้มากยิ่งขึ้น ด้วยการใช้เทคนิคต่างๆ ทางการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) โดยการทำงานประกอบไปด้วย การนำภาพเข้า การประมวลผลภาพก่อน และการแยกส่วนของลายม่านตาด้วย Hough transform และ Active contour เพื่อหาวงกลม และเส้นโค้งในภาพ ผลการศึกษาพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถตรวจหาขนตาและเปลือกตาเพื่อกำจัดสิ่งรบกวนการปนเปื้อนของภาพได้

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, Hough transform, Active contour, การรู้จำม่านตา

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 อีกทั้งความแม่นยำก็ยังเพิ่มตามขึ้นไปด้วย การระบุตัวตนโดยการใช้ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของร่างกายในแต่ละประเภท ประกอบด้วยลายนิ้วมือ ใบหน้า ม่านตา จอประสาทตา จมูก ใบหู ลายฝ่ามือ สารพันธุกรรม และคลื่นสมอง เป็นต้น โดยม่านตาเป็นส่วนที่เห็นเป็นสีดวงตา ประกอบไปด้วย เม็ดสีจำนวนมาก มีหลายสีตามเชื้อชาติ เช่น ดำ น้ำตาล ฟ้า เขียว ม่านตาเป็นเนื้อเยื่อบางๆ ลักษณะเป็นวงกลมขนาดเท่ากับกระจกตาดำ อยู่ด้านในถัดกระจกตาดำเข้าไป ตรงกลางม่านตาเป็นรู เรียกว่ารูม่านตา ซึ่งมีหน้าที่ปรับแสงให้เข้าตาได้มากน้อยตามต้องการ เมื่อได้รับแสงจะหดเล็กลง และขยายใหญ่ขึ้นเมื่ออยู่ในที่มืด ข้อดีของการใช้ม่านตาในการระบุตัวตนคือม่านตาเป็นส่วนประกอบของร่างกายที่อยู่ภายในลูกตาและถูกคลุมไว้ด้วยเนื้อเยื่อ มีลักษณะเฉพาะบุคคลและมีความซับซ้อน คงทนถาวร และปลอมแปลงยาก

เทคโนโลยีการรู้จำม่านตา (iris recognition) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์ ที่ได้รับการยอมรับ สามารถใช้งานได้อย่างน่าเชื่อถือในการระบุอัตลักษณ์บุคคล โดยการวิเคราะห์จากรูปแบบม่านตาของมนุษย์ ลักษณะเฉพาะของม่านตาจะมีมากกว่า 266 จุด ซึ่งจะต่างจากลักษณะเฉพาะของการระบุตัวตนด้วยชีวมาตรประเภทอื่นๆ ที่ใช้ในการตรวจหาจุดลักษณะเพียงแค่ 13 ถึง 60 จุด เท่านั้น ประสิทธิภาพของการสแกนม่านตาขึ้นอยู่กับความคมชัดของเครื่องมือที่ใช้ในการสแกน ซึ่งปกติจะใช้แสงอินฟาเรดในการสแกน ม่านตาสามารถถูกสแกนในระยะใกล้ตั้งแต่ 10 เซ็นติเมตร จนถึงประมาณ 1 เมตร ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการสแกนเก็บข้อมูล อย่างไรก็ดีการรู้จำม่านตาจะไม่สามารถทำได้ในระยะไกลหลายเมตร ดังนั้น การเก็บข้อมูลจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ถูกเก็บสูงมาก และนอกจากนี้ลายม่านตายังมักถูกบดบังได้โดยขนตา เปลือกตา และการสะท้อนจากกระจกตาซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการรู้จำม่านตาลดลง

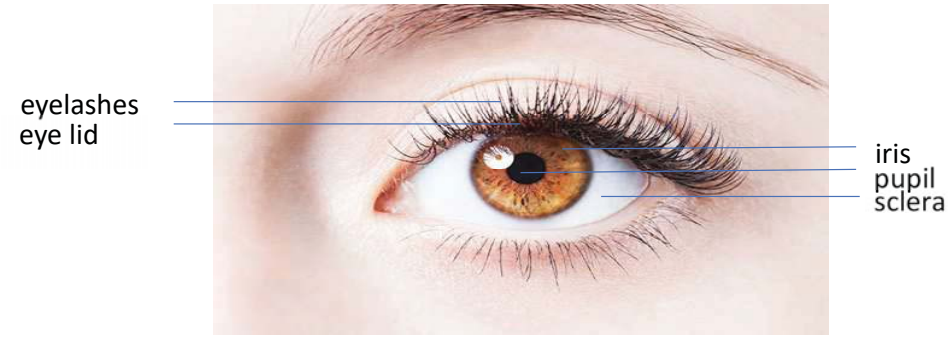
การศึกษาเรื่องรู้จำลายม่านตามีแนวคิดทางทฤษฎีหลักในอัลกอริทึมของ Daugman คือ “ความล้มเหลว” (failure) ของการทดสอบความเป็นอิสระทางสถิติ อาจเป็นพื้นฐานที่สำคัญมากสำหรับการจดจำรูปแบบหากมีเอนโทรปีสูงเพียงพอในกลุ่มตัวอย่างจากคลาสต่างๆ ในปี 1993 ได้ตีพิมพ์บทความเรื่อง " High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence " ใน IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (Daugman, 1993) และในปี 1994 เขาได้จดสิทธิบัตรพื้นฐานนี้สำหรับการจดจำม่านตาและอัลกอริทึมในรูปแบบ Computer Vision ที่เป็นพื้นฐานสำหรับการประมวลผลภาพ การแยกคุณลักษณะ และการจับคู่ อัลกอริทึมดั้งเดิมเหล่านั้นได้รับอนุญาตนำไปใช้งานทางการค้าอย่างกว้างขวางผ่านบริษัทต่างๆ เช่น (IriScan, 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 และความคงทนต่อสิ่งรบกวนต่าง 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) โดยมีองศาการเอียงของตาและระยะจากตาถึงกล้องที่ต่างกัน และการแยกส่วนด้วยการใช้เทคนิค Robust Eyelash Detection (RED) และ Hair Curve Fitting (HCF) (Bremananth, 2016) คือการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละจุดที่เราสนใจ เพื่อประมาณค่าของข้อมูลนั้น จากการทดลองพบว่าการกำจัดสิ่งแปลกปลอมจากเปลือกตาและขนตาออกจากลายม่านตามีประสิทธิภาพดี การใช้ HCF มีลักษณะการทำงานใกล้เคียงกับการประมวลผลภาพดิจิตอลขั้นสูงด้วย 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 รูม่านตาจะหดเล็กลงเพื่อป้องกันไม่ให้แสงเข้าสู่ดวงตามากเกินไป เปลือกตา (eyelids) เป็นส่วนที่ปกป้องดวงตาจากฝุ่นละออง และสิ่งแปลกปลอมที่จะเข้าดวงตา และเปลือกตายังช่วยในการหล่อลื่นของดวงตาเมื่อมีการกระพิบเกิดขึ้น นอกจากนี้ส่วนของขนตา (eyelash) ยังมีหน้าที่เป็นตัวกรองไม่ให้สิ่งแปลกปลอกเข้าดวงตา แต่ทั้งเปลือกตาและขนตาอาจบดบังลายม่านตาซึ่งทำให้มีผลต่อการประมวลภาพของลายม่านตาได้



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 โดยจะถ่ายเข้าไปใกล้กับดวงตาและใช้หลอดอินฟาเรดในการให้ความสว่าง เนื่องจากหลอดอินฟาเรดจะช่วยลดแสงสะท้อนที่ตา และสามารถทำให้มองเห็นได้ในที่สว่างน้อยได้ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ฐานข้อมูลจาก Chinese Academy of Science Institute of Automatic หรือว่า CASIA (Iris Database version 1.0) (http://cbsr.ia.ac.cn/english/index.asp) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลเพื่อการวิจัยทางด้านไบโอเมทริกซ์ จำนวน 108 รูป จากอาสาสมัครจำนวน 108 คน ซึ่งเป็นรูปดวงตาขนาดความละเอียด 320x280 พิกเซล แบบ gray-level นามสกุล .BMP ภายใต้การถ่ายภาพแบบอินฟาเรด

โปรแกรมที่ใช้งานในงานวิจัยนี้คือโปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรม MATLAB คือ โปรแกรมการคำนวนเชิงตัวเลขที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความรวดเร็วในการทำงาน อีกทั้งยังมีไลบรารี่จำนวนมากรองรับ และด้วยลักษณะการทำงานเชิงแมทริกซ์ทำให้สามารถจัดการกับอาร์เรย์ได้ง่าย โค้ดโปรแกรมกระทัดรัด นอกจากนั้นยังสามารถติดต่อกับฮาร์แวร์และโปรแกรมภาษาอื่นๆ ได้อีกหลายโปรแกรม

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

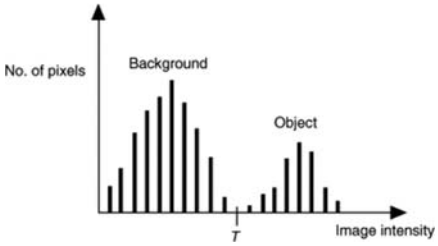
จากขั้นตอนการนำเข้าภาพ ภาพที่ได้มาจะเป็นภาพ Gray scale (ภาพที่ 2) คือเมทริกซ์ของข้อมูลซึ่งค่าถูกสเกลลงให้เป็นค่าความเข้มแสง เมื่อสมาชิกของค่าในภาพความเข้มแสงเป็นชนิด uint 8 หรือ uint 16 ค่าของภาพจะอยู่ในช่วง [0,255] และ [0,65535] ตามลำดับ ถ้าค่าในภาพ Gray scale เป็นชนิด double ค่าของภาพจะอยู่ในช่วง [0,1]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

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

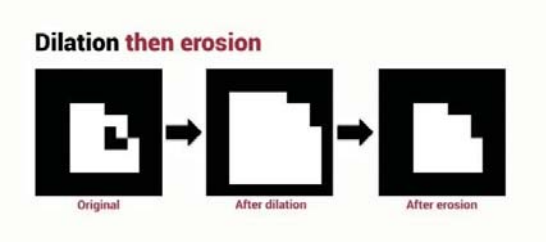
ภาพที่ 2 ภาพ Gray scale (http://www.diabetes.co.uk/diabetes-complications/eye-problems.html)

2.2.3 การแยกส่วนลายม่านตา (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 โดยที่การ fit เส้นตรงด้วย Hough transform มักจะใช้สมการ polar (polar equation) ดังสมการที่ 1

$$xcos\theta + ysin\theta \;=\; \rho \qquad (1)$$

เมื่อ x, y คือ พิกัดของจุดภาพบนระนาบภาพ x, y

ρ คือ ระยะทางที่ตั้งฉากจากเส้นตรงถึงจุดกำเนิดในระนาบภาพ x, y

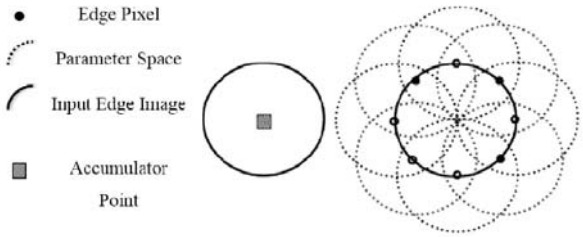
θ คือ มุมจากแกน x ถึงเส้นตั้งฉาก

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

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

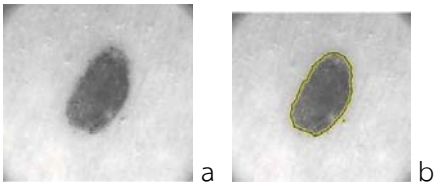
เมื่อ C_x, C_y คือ จุดศูนย์กลางของวงกลมในแนวแกน x และ y

r คือ รัศมีของวงกลมหรือส่วนโค้ง



ภาพที่ 5 การค้นหาวงกลมด้วยวิธี Hough transform (Anaz and Faris, 2015)

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)

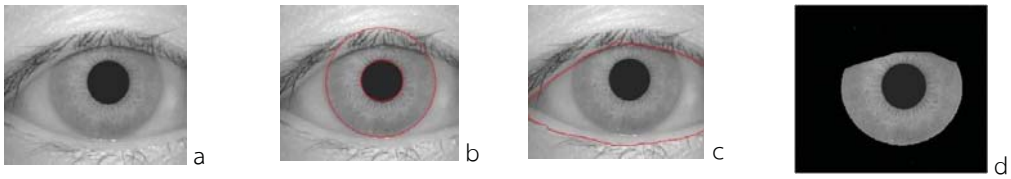
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

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

เพื่อให้เหลือเฉพาะลายม่านตาเท่านั้น อย่างไรก็ดีภาพที่ได้จาก Hough transform (ภาพที่ 8b) เพียงอย่างเดียวนี้ยังคงมีสิ่งรบกวนจากเปลือกตาและขนตาอยู่ เมื่อใช้ Active contour (ภาพที่ 8c) จะเห็นว่าขนตาและเปลือกตาถูกกำจัดและลดน้อยลงไปจนเกือบหมด และเมื่อนำภาพลายม่านตาจาก Hough transform ร่วมกับ Active contour มาประกอบกันจะได้ภาพลายม่านตาที่ขจัดสิ่งแปลกปลอม (เปลือกตาและขนตา) ได้จนเกือบหมด (ภาพที่ 8d) วิธีการกำจัดและลดสิ่งรบกวนทั้งสองนี้ได้ถูกนำไปใช้กับภาพของอาสาสมัครจำนวน 108 คน พบว่ามีภาพอยู่จำนวน 94 ภาพ หรือคิดเป็น 87.04 เปอร์เซ็นต์ ที่ประมวลผลออกมาแล้วสามารถขจัดสิ่งแปลกปลอม (ม่านตาและขนตา) ออกไปได้พร้อมที่จะนำไปประมวลผลการรู้จำม่านตาในลำดับต่อไป และเนื่องจากวิธีที่นำเสนอทั้งสองวิธีเป็นขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพลายม่านตาออกจากดวงตา ดังนั้นการเตรียมภาพเพื่อที่จะนำมาประมวลผลนั้นควรถูกบันทึกด้วยความคมชัด และไม่ควรมีสิ่งรบกวนในภาพมากเกินไปจนเป็นอุปสรรคต่อการประมวลผลภาพ โดยในการทดลองนี้พบว่ามีภาพ 14 ภาพ หรือคิดเป็น 12.96 เปอร์เซ็นต์ ที่มีขาดความคมชัดและมีสิ่งรบกวนปะปนในภาพมากจนทำให้การประมวลผลภาพมีความผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถนำภาพนั้นมาใช้การรู้จำม่านตาได้ต่อไปได้

a b

ภาพที่ 7 ภาพรูม่านตาที่ถูกแยกส่วน (a) ภาพนอกลายม่านตาที่ถูกแยกส่วน (b)


a b c d

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 ปิณฑวิรุจน์ (2553) **การประมวลผลภาพดิจิตอลขั้นสูงด้วย 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.

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.