ต้นแบบระบบลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา โดยประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า

A prototype of seminar registration system using face authentication

จรรยา สายนุ้ย[1*] นันทิกา จันทร์แก้ว[2] และ ฮุสนานี อุเซ่ง[3]

Janya Sainui[1*], Nantika Jankaew[2] and Husnanee U-seng[3]

สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์[1,2,3]

Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University[1,2,3]

E-Mail: janya.s@psu.ac.th, 6010210705@psu.ac.th, 6010210491@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้าวิธีต่าง ๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาต้นแบบระบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า โดยขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้าที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพมี 3 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Haar Cascades, Histogram of Oriented Gradients (HOG) และ Deep Learning และขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้าที่ทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพมี 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Eigenfaces, Fisherfaces, Local Binary Pattern Histograms (LBPH) และ Deep Learning 2) พัฒนาต้นแบบระบบลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา โดยนำขั้นตอนวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพมาประยุกต์ใช้สำหรับการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า

ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้า พบว่าขั้นตอนวิธี Haar Cascades มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับการตรวจจับใบหน้า โดยสามารถตรวจจับใบหน้าได้ 100% ทั้งจากรูปภาพใบหน้าในชุดข้อมูลมาตรฐาน Yale และจากการสุ่ม 100 รูปภาพจากชุดข้อมูล Flickr-Faces-HQ และขั้นตอนวิธี LBPH มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับการรู้จำใบหน้า โดยสามารถรู้จำใบหน้าจากชุดข้อมูลมาตรฐาน Yale ได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 98% 2) ระบบยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลการยืนยันการเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนาได้อย่างอัตโนมัติจากการตรวจสอบใบหน้า ทำให้การจัดเก็บและเข้าถึงข้อมูลผู้เข้าร่วมงานอบรม/สัมมนามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยจากการทดสอบระบบได้ค่าเฉลี่ยที่ผู้เข้าร่วมอบรมสามารถยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าได้สำเร็จในครั้งแรกคิดเป็น 90% และสามารถยืนยันตัวตนได้สำเร็จ 100 % ภายใน 2 ครั้ง

คำสำคัญ: ระบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า, การตรวจจับใบหน้า, การรู้จำใบหน้า, ระบบลงทะเบียน

ABSTRACT

The purposes of the research were 1) to study and compare the efficiency of performance of detection algorithms which were three steps namely: Haar Cascades, Histogram of Oriented Gradients (HOG) and Deep Learning, and there were four steps of face recognition algorithms: Eigenfaces, Fisherfaces, Local Binary Pattern Histograms (LBPH) and Deep Learning; and 2) to apply the suitable face detection and face recognition algorithms for a face authentication system.

The research findings revealed that the efficiency of detection algorithms was Haar Cascades which was the best step. and the LBPH yielded the highest accuracy for face detection and face recognition. Haar Cascades achieved 100% accuracy to detect faces both on the Yale face dataset and on the 100 random images from the Flickr-Faces-HQ dataset. The LBPH

obtained an average accuracy of 98% on the Yale dataset. Haar Cascade and LBPH outperformed other analyzed algorithms which were applied in a seminar registration system. The experimental results showed that 90% of the participants can successfully verify their identity within the first time. However, the participants were able to verify their identity with 100% success within two attempts.

Keywords: Face Authentication, Face Detection, Face Recognition, Registration System

บทนำ

ปัจจุบันการยืนยันตัวตนในการเข้าร่วมงานอบรมหรือสัมมนา ยังอยู่ในรูปแบบการลงชื่อในกระดาษหน้างานเพื่อยืนยันการเข้าร่วมงาน ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการสืบค้นหรือสรุปข้อมูล นอกจากนี้สำหรับงานอบรม/สัมมนาที่มีผู้เข้าร่วมจำนวนมาก จำเป็นต้องมีเจ้าหน้าที่ฝ่ายลงทะเบียนหน้างานหลายคนเพื่ออำนวยความสะดวกในการลงทะเบียน จากที่กล่าวมานี้ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าพัฒนาร่วมกับเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้เข้าร่วมอบรมหรือสัมมนาสามารถยืนยันตัวตนด้วยตนเองหน้างาน โดยใช้คอมพิวเตอร์หรือแท็บเล็ตที่เจ้าหน้าที่ฝ่ายลงทะเบียนจัดเตรียมไว้ ซึ่งระบบจะบันทึกข้อมูลผู้เข้าร่วมงานลงในฐานข้อมูลอัตโนมัติจากการตรวจสอบใบหน้า ทำให้สะดวกในการเข้าถึงข้อมูลต่อไป

การประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการตรวจจับใบหน้า (Face Detection) และขั้นตอนการรู้จำใบหน้า (Face Recognition) โดยแต่ละขั้นตอนมีขั้นตอนวิธีหลายขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหา ตัวอย่างวิธีการตรวจจับใบหน้า เช่น Haar Cascade, Histogram of Oriented Gradients (HOG) เป็นต้น ตัวอย่างวิธีการรู้จำใบหน้า เช่น Eigenfaces, Fisherfaces ซึ่งการพัฒนาระบบการยืนยันตัวตนแต่ละระบบ จะต้องเลือกขั้นตอนวิธีให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและรูปแบบการทำงาน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยหน้า เช่น การประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียน [12-13] การบันทึกเวลาเข้าออกของพนักงาน [14]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการทำงานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้า 3 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Haar Cascades [1], Histogram of Oriented Gradients (HOG) [2-3] และ Deep Learning [11] และขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้า 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Eigenfaces [5-7], Fisherfaces [6-7], Local Binary Pattern Histograms (LBPH) [4] และ Deep Learning [11] เพื่อวิเคราะห์หาขั้นตอนวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้าที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการลงทะเบียนเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา ที่ผู้เข้าร่วมงานอบรม/สัมมนาสามารถลงทะเบียนยืนยันตัวตนหน้างานได้ด้วยตนเอง พร้อมทั้งระบบมีการบันทึกข้อมูลการลงทะเบียนอัตโนมัติ ทำให้การจัดเก็บและสืบค้นข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาโดยใช้ฐานข้อมูลใบหน้ามาตรฐาน Yale และฐานข้อมูลใบหน้า Flickr-Faces-HQ (FFHQ) พบว่า ขั้นตอนวิธี Haar Cascades เป็นขั้นตอนวิธีในการตรวจจับใบหน้าที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด และขั้นตอนวิธี LBPH เป็นขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้าที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด เมื่อนำทั้งสองขั้นตอนวิธีมาพัฒนาระบบยืนยันตนด้วยใบหน้า พบว่าระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับและรู้จำใบหน้าได้เป็นอย่างดี

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้า

1.2 เพื่อวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาต้นแบบระบบลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมอบรม/สัมมนา โดยประยุกต์ใช้การรู้จำด้วยใบหน้า

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้นตอนวิธีตรวจจับใบหน้า

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีตรวจจับใบหน้า 3 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ การตรวจจับใบหน้าด้วย Haar Cascade, Histogram of Oriented Gradients (HOG) และ Deep Learning แต่ละขั้นตอนวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การตรวจจับใบหน้าด้วย Haar Cascade เป็นเทคนิคการตรวจจับใบหน้าที่ถูกนำเสนอโดย Pual Viola และ Michael Jone ในปี 2001 [1] เป็นขั้นตอนวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความรวดเร็วและมีความถูกต้องในการตรวจจับใบหน้าสูง หลักการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีนี้คือ ทำการตรวจสอบหากลุ่มพิกเซลบนภาพที่มีค่าใกล้เคียงกับคุณลักษณะ Haar-like การตรวจสอบว่า กลุ่มพิกเซลบนภาพมีความใกล้เคียงกับคุณลักษณะ Haar-like หรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยการนำภาพที่ต้องการตรวจหาใบหน้ามาแบ่งเป็นภาพย่อยโดยใช้เทคนิค Sliding window จากนั้นภาพย่อยดังกล่าวจะถูกพิจารณาเป็นภาพอินพุตของกระบวนการตรวจหาใบหน้า และใช้ Haar cascade classifier ซึ่งเป็นการใช้ตัวจำแนก (Classifier) หลายตัวในการจำแนก โดยแต่ละตัวจำแนกจะพยายามกำจัดส่วนของรูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าออกไป โดยภาพย่อยที่ไม่ถูกกำจัดออกไปจากตัวจำแนกใดเลย จะถูกตัดสินว่าเป็นภาพใบหน้า

2.1.2 การตรวจจับใบหน้าด้วย Histogram of Oriented Gradients (HOG) เป็นวิธีการดึงลักษณะเด่นของภาพ โดยการพิจารณาค่าความถี่ของทิศทางตามค่าเกรเดียนท์ [2-3] โดยใช้การกระจายตัวของความเข้มข้นเกรเดียนท์หรือทิศทางของเส้นขอบ การตรวจจับใบหน้าด้วย HOG จะนำกลุ่มรูปภาพใบหน้าและกลุ่มรูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้ามาคำนวณหาคุณลักษณะ HOG ของแต่ละรูป เพื่อนำไปเป็นอินพุตสำหรับสร้างโมเดลการจำแนก ตัวอย่างโมเดลที่นิยมใช้ เช่น Support Vector Machine (SVM) [9-10] เพื่อจำแนกว่า รูปภาพทดสอบเป็นรูปภาพใบหน้าหรือไม่ เมื่อต้องการตรวจจับใบหน้าจะใช้เทคนิค Sliding window เช่นเดียวกับการตรวจจับใบหน้าด้วย Haar Cascade เพื่อนำส่วนของรูปภาพ (Sub image) แต่ละส่วนไปคำนวณหา HOG จากนั้นใช้โมเดลการจำแนก (Classifier model) ที่ได้ทำการเรียนรู้จากกลุ่มภาพใบหน้าและกลุ่มภาพที่ไม่ใช่ใบหน้า ในการตรวจสอบว่าส่วนของรูปภาพนั้นเป็นใบหน้าหรือไม่

2.1.3 การตรวจจับใบหน้าด้วย Deep Learning เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของ Machine Learning ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถแก้ปัญหางานที่มีความซับซ้อนได้ดี เช่น การตรวจจับวัตถุ ระบบรู้จำใบหน้า [11] เนื่องจากเป็นการสร้างโมเดลโดยการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากเพื่อสร้างโมเดลที่มีความแม่นยำสูง จึงทำให้ใช้เวลาในการเรียนรู้นานไปด้วย อย่างไรก็ตาม การตรวจจับใบหน้าด้วย Deep Learning สามารถดาวน์โหลดโมเดลที่ได้เรียนรู้มาแล้ว (Pre-trained model) จากชุดข้อมูลเรียนรู้จำนวนมาก ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการสร้างโมเดลและสามารถตรวจจับใบหน้าได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกรณีที่ภาพที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้ามีความซับซ้อน เช่น มีคนจำนวนมากในรูป การตรวจจับใบหน้าด้วย Deep Learning จะทำงานได้ดีกว่า Haar Cascade และ HOG

2.2 ขั้นตอนวิธีรู้จำใบหน้า

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีรู้จำใบหน้า 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Eigenfaces, Fisherfaces, Local Binary Pattern Histograms (LBPH) และ Deep Learning แต่ละขั้นตอนวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การรู้จำใบหน้าด้วย Eigenfaces ใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis: PCA) [5] ของฐานข้อมูลรูปภาพใบหน้า โดย Eigenfaces เป็นเซตของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Eigen vectors) ที่สามารถหาได้จากเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเกี่ยว (Covariance matrix) ของภาพใบหน้าในฐานข้อมูล การสร้าง Eigenfaces สามารถทำโดยรวบรวมภาพใบหน้าของบุคคลที่ต้องการรู้จำใบหน้าโดยแต่ละบุคคลควรมีหลายรูปภาพ จากนั้นแปลงรูปภาพใบหน้าแต่ละรูปภาพให้เป็นภาพสีเทา (Gray scale) และแปลงเวกเตอร์ของรูปภาพจาก 2 มิติ เป็น 1 มิติ รวมเวกเตอร์ 1 มิติ ของรูปภาพทุกรูปภาพในฐานข้อมูลเป็นเมทริกซ์ **A** ขนาด m x n เมื่อ m คือจำนวนพิกเซลทั้งหมดของรูปภาพ 1 รูป และ n คือจำนวนรูปภาพใบหน้าที่ใช้

สำหรับเรียนรู้ทั้งหมดในฐานข้อมูล สุดท้ายใช้เมทริกซ์ A เป็นอินพุตสำหรับคำนวณหาเซตของ Eigen vectors และใช้ Eigen vector เพื่อคำนวณ Eigenfaces ของภาพใบหน้าทุกรูปในฐานข้อมูล และเมื่อต้องการนำรูปภาพใบหน้าบุคคลที่สนใจมาเปรียบเทียบก็จะทำการคำนวณ Eigenface ของรูปภาพนั้นไปเปรียบเทียบกับ Eigenfaces ของภาพในฐานข้อมูลเพื่อหา Eigenface ที่มีความใกล้เคียงกับ Eigenface ของบุคคลที่สนใจมากที่สุด [8]

2.2.2 การรู้จำใบหน้าด้วย Fisherfaces ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminate Analysis : LDA) [6-7] โดยที่ LDA มีการทำงานที่คล้ายกับ PCA ต่างกันที่ LDA เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) แต่ PCA เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning) โดยหลักการของ LDA คือต้องหาปริภูมิย่อยที่เมื่อป้อนข้อมูลลงไปแล้ว ข้อมูลจากกลุ่มเดียวกันจะเข้าใกล้กันมากขึ้น และข้อมูลจากต่างกลุ่มกันจะอยู่ห่างกันมากขึ้น การรู้จำใบหน้าด้วย Fisherfaces มีการทำงานเหมือนกับการรู้จำใบหน้าด้วย Eigenface โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่า Fisherface ของภาพทุกภาพในฐานข้อมูลและภาพที่ต้องการทดสอบ

2.2.3 การรู้จำใบหน้าด้วย Local Binary Pattern Histograms (LBPH) เป็นการระบุตัวตนโดยอาศัยคุณลักษณะ Local Binary Pattern (LBP) [4] ซึ่งเป็นการแยกแยะรูปแบบลักษณะพิเศษในรูปภาพ โดยนำค่า LBP ที่คำนวณได้ในแต่ละพิกเซลมาทำ Histogram สำหรับการระบุลักษณะพิเศษของใบหน้า และเมื่อต้องการตรวจสอบใบหน้า ก็ให้คำนวณหา LBPH ของรูปภาพใบหน้าที่สนใจเพื่อไปเปรียบเทียบค่า LBPH ของใบหน้าทุกรูปในฐานข้อมูล

2.2.4 การรู้จำใบหน้าด้วย Deep Learning ในงานวิจัยนี้ ทดสอบการรู้จำใบหน้าด้วย Deep Learning โดยการนำโมเดล Deep Learning ที่ถูกสอนมาแล้ว (Pre-trained model) จากฐานข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อนำมาใช้ในการสกัดคุณลักษณะที่ซ่อนอยู่ โดยหลังจากตรวจจับส่วนของใบหน้าได้แล้ว จะใช้ Pre-trained model ในการแปลงรูปภาพใบหน้า 1 รูปเป็นเวกเตอร์ขนาด 128 มิติ [11] และในการรู้จำใบหน้าสามารถนำเวกเตอร์ของรูปภาพในฐานข้อมูลกับรูปภาพที่ต้องการทดสอบมาเปรียบเทียบเพื่อหาเวกเตอร์ที่มีความใกล้เคียงกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 สร้างโมเดลการตรวจจับและรู้จำใบหน้า ด้วยภาษา Phython ไลบรารี่ OpenCV

1.2 พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา Python และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

1.3 ประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับและการรู้จำใบหน้าแต่ละวิธีด้วยการคำนวณหาค่าความถูกต้องในการตรวจจับใบหน้าและรู้จำใบหน้า

2. ฐานข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 ฐานข้อมูลใบหน้ามาตรฐาน Yale ซึ่งเป็นรูปภาพใบหน้าของ 15 บุคคล คนละ 11 รูป รวมทั้งหมด 165 รูป เป็นชุดข้อมูลที่แต่ละรูปภาพมีเพียงใบหน้าเดียว แต่มีลักษณะใบหน้าหลากหลาย เช่น หน้าตรง ใส่แว่น มีแสงเงา หน้ามีความสุข หน้าปกติ หน้าง่วงนอน ขยิบตา สำหรับประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้าแต่ละขั้นตอนวิธี ตัวอย่างรูปภาพในฐานข้อมูล Yale แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ตัวอย่างใบหน้าในฐานข้อมูลมาตรฐาน Yale

2.2 รูปภาพใบหน้าที่ดาวน์โหลดจากฐานข้อมูลใบหน้า Flickr-Faces-HQ (FFHQ) โดยสุ่มมา 100 รูป สำหรับประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้า โดยแต่ละรูปภาพมีเพียงใบหน้าเดียวเช่นกัน เป็นรูปภาพที่มีความละเอียดสูง และเป็นภาพบุคคลจากหลายเชื้อชาติ หลายช่วงอายุ หลายพื้นหลัง เป็นต้น

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาภาพรวมและการทำงานของระบบการรู้จำใบหน้า ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

3.2 วิเคราะห์และออกแบบการประเมินประสิทธิภาพวิธีการตรวจจับใบหน้า

ประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีตรวจจับใบหน้า 3 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Haar Cascades, Histogram of Oriented Gradients (HOG) และ Deep Leaning โดยใช้ฐานข้อมูล Yale จำนวน 165 รูป และชุดข้อมูลที่ดาวน์โหลดจาก FFHQ จำนวน 100 รูป ประเมินประสิทธิภาพด้วยการคำนวณร้อยละความถูกต้องของจำนวนรูปภาพที่ตรวจจับใบหน้าได้ถูกต้องต่อจำนวนรูปภาพที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด ดังสมการด้านล่าง

$$\text{ร้อยละความถูกต้อง} = \frac{\text{จำนวนรูปภาพที่ตรวจจับใบหน้าได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนรูปภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ}} \times 100$$

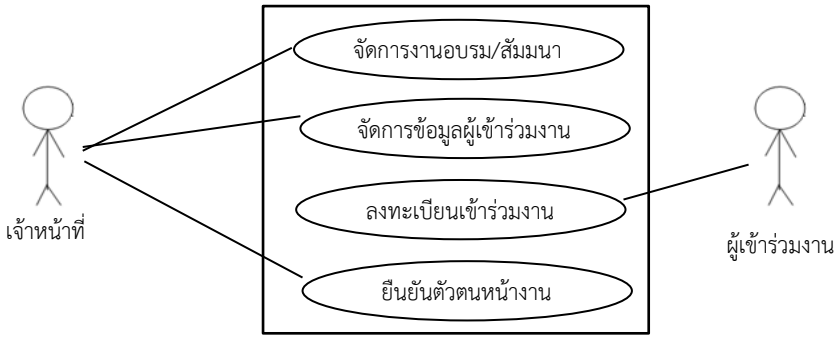
3.3 วิเคราะห์และออกแบบการประเมินประสิทธิภาพวิธีการรู้จำใบหน้า

ประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีรู้จำใบหน้า 4 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ Eigenfaces, Fisherfaces, LBPH และ Deep Learning โดยใช้ฐานข้อมูล Yale ในแต่ละการทดลองจะใช้รูปภาพใบหน้าสำหรับการเรียนรู้แต่ละบุคคล 10 รูป และใช้ 1 รูปที่เหลือสำหรับทดสอบ ดังนั้นในแต่ละการทดลองจะใช้ 150 รูป (10 รูปต่อคน) เป็นรูปภาพสำหรับเรียนรู้ และใช้ 15 รูป (1 รูปต่อคน) สำหรับเป็นรูปภาพทดสอบ รันการทดลองทั้งหมด 10 รอบ ตามลักษณะอารมณ์บนใบหน้า ดังตัวอย่างภาพที่ 1 เช่น รอบที่ 1 ใช้รูปภาพขยิบตา (Wink) ของทุกคนเป็นชุดข้อมูลทดสอบ และรูปที่เหลืออีก 10 รูป ใช้สำหรับเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ รอบที่ 2 ใช้รูปภาพที่มีอารมณ์ประหลาดใจ (Surprised) ของทุกคนเป็นชุดข้อมูลทดสอบ และรูปที่เหลืออีก 10 รูป ใช้สำหรับเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ ประเมินประสิทธิภาพโดยการคำนวณร้อยละความถูกต้องของจำนวนรูปภาพที่รู้จำใบหน้าได้ถูกต้องต่อจำนวนรูปภาพที่ใช้ในการทดสอบในแต่ละรอบการทดลอง ดังสมการด้านล่าง

$$\text{ร้อยละความถูกต้อง} = \frac{\text{จำนวนรูปภาพที่รู้จำใบหน้าได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนรูปภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ}} \times 100$$

3.4 วิเคราะห์และออกแบบต้นแบบระบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าเพื่อเข้าร่วมอบรม/สัมมนา

3.4.1 การวิเคราะห์และออกแบบต้นแบบระบบ จะประกอบไปด้วยโมดูลย่อย กลุ่มผู้ใช้งาน และสิทธิการเข้าใช้งานแต่ละโมดูล แสดงดังภาพที่ 2 โดยเจ้าหน้าที่จะมีหน้าที่ในการสร้างงานอบรม/สัมมนา และสามารถเรียกดูข้อมูลผู้ลงทะเบียนเข้าร่วมงานและผู้ที่เข้าร่วมงานได้ ซึ่งจะต้องล็อคอินเข้าสู่ระบบก่อนจึงจะเข้าสู่ระบบได้ สำหรับผู้ใช้ทั่วไปที่ต้องการจะเข้าร่วมงาน สามารถลงเบียนร่วมงานต่าง ๆ ได้ โดยการเปิดโปรแกรมผ่านเว็บเบราว์เซอร์ และในการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าร่วมงาน จะต้องยืนยันตัวตนหน้างานด้วยโมดูลยืนยันตัวตนหน้างานที่ล็อคอินเข้าสู่ระบบโดยเจ้าหน้าที่เท่านั้น



ภาพที่ 2 Use-Cases Diagram ของระบบ

3.4.2 การวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูล ประกอบด้วยตารางหลัก 2 ตาราง ได้แก่ ตารางสำหรับเก็บรายละเอียดงานอบรม/สัมมนา และตารางเก็บข้อมูลผู้เข้าร่วมอบรม/สัมมนา โดยทั้งสองตารางมีความสัมพันธ์ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของตารางในฐานข้อมูล

3.5 พัฒนาระบบยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าเพื่อเข้าร่วมอบรม/สัมมนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อความสะดวกในการใช้งานโปรแกรม โดยเลือกโมเดลการตรวจจับใบหน้าและโมเดลการรู้จำใบหน้าที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดจากการทดลองมาใช้ในการพัฒนา

ผลการวิจัย

1. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้า

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้า 3 วิธี แสดงดังตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธี Haar Cascade ให้ค่าร้อยละความถูกต้อง 100% ทั้งสองฐานข้อมูล ส่วน HOG ให้ค่าความถูกต้อง 98.79% เมื่อใช้ฐานข้อมูล Yale และให้ค่าความถูกต้อง 100% เมื่อใช้ฐานข้อมูล FFHQ สำหรับ Deep Learning ให้ค่าความถูกต้อง 100% เมื่อใช้ฐานข้อมูล Yale และให้ค่าความถูกต้อง 95% เมื่อใช้ฐานข้อมูล FFHQ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จากการทดลองขั้นตอนวิธี Haar Cascade มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบร้อยละความถูกต้องของแต่ละขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้า

ขั้นตอนวิธี	ร้อยละความถูกต้อง	
	ฐานข้อมูล Yale	ฐานข้อมูล FFHQ
Haar Cascade	100%	100%
HOG	98.79%	100%
Deep Learning	100%	95%

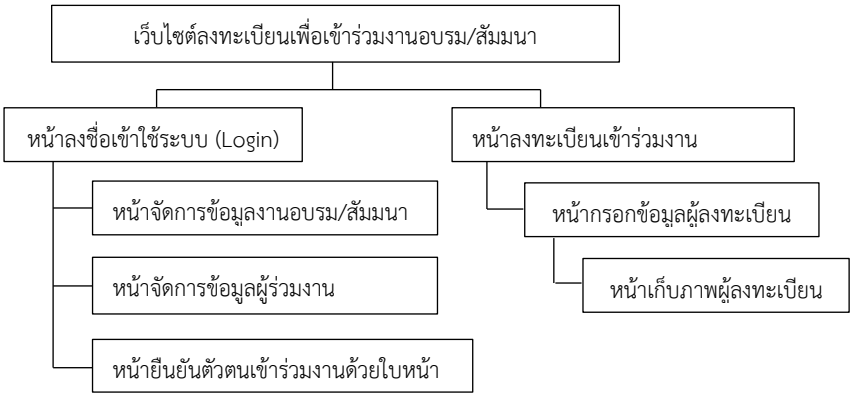
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้า 4 วิธี โดยใช้ฐานข้อมูล Yale แสดงดังตารางที่ 2 โดยแต่ละแถวแสดงค่าความถูกต้องเมื่อใช้รูปภาพที่มีลักษณะใบหน้าที่แตกต่างกันเป็นรูปภาพสำหรับทดสอบ ตัวอย่างลักษณะใบหน้าแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธี LBPH ให้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องสูงที่สุดคือ 98.00% โดยที่ Eigenfaces ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 83.33% Figenfaces ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 76.67% และ Deep Learning ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 86.02%

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบร้อยละความถูกต้องของแต่ละขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้า

รูปภาพที่ใช้ทดสอบ	**ขั้นตอนวิธีรู้จำใบหน้า**			
	Eigenfaces	**Fisherfaces**	**LBPH**	**Deep Learning**
Wink	100.00	80.00	100.00	86.67
Surprise	86.67	80.00	100.00	66.67
Sleepy	93.33	86.67	100.00	100.00
Sad	100.00	100.00	100.00	86.67
Right light	13.33	26.67	93.33	60.00
Normal	100.00	100.00	100.00	100.00
No glasses	100.00	100.00	100.00	100.00
Left right	46.67	26.67	93.33	86.67
Happy	100.00	80.00	100.00	86.67
Glasses	93.33	86.67	93.33	86.67
ความถูกต้องเฉลี่ย	**83.33**	**76.67**	**98.00**	**86.02**

2. ผลการพัฒนาระบบ

จากการวิเคราะห์เพื่อออกแบบต้นแบบระบบการลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา โดยประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของระบบเพื่อให้ผู้เข้าร่วมงานสามารถยืนยันตัวตนหน้างานและมีการบันทึกข้อมูลผู้เข้าร่วมงานได้โดยอัตโนมัติ ทดแทนการลงทะเบียนโดยการเซ็นชื่อในกระดาษ ได้โครงสร้างเว็บไซต์ของระบบแสดงดังภาพที่ 4 โดยหน้าหลักของเว็บไซต์จะแสดงข้อมูลงานอบรม/สัมมนาที่เปิดให้ลงทะเบียน ผู้ใช้ทั่วไปสามารถเลือกงานอบรม/สัมมนาเพื่อลงทะเบียนเข้าร่วมงาน สำหรับเจ้าหน้าที่จะต้องลงชื่อเข้าใช้ระบบ (Log in) จึงจะสามารถจัดการข้อมูลต่าง ๆ ได้

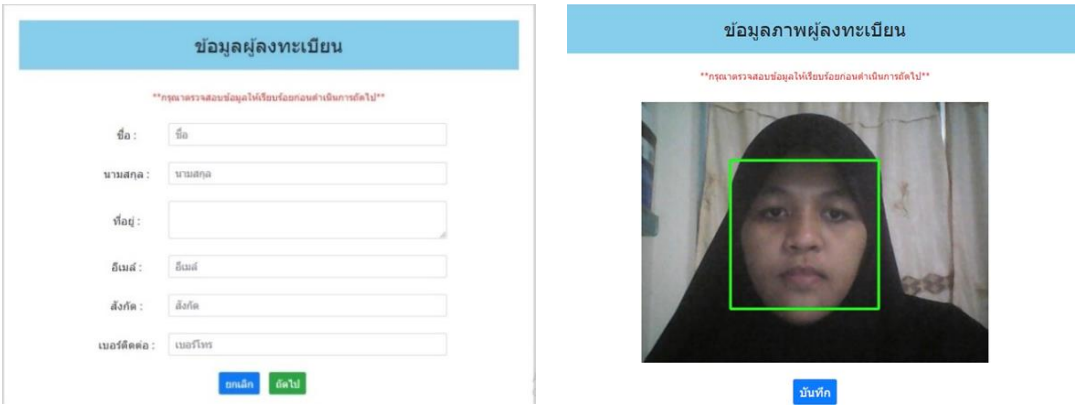


ภาพที่ 4 โครงสร้างเว็บไซต์ของระบบ

จากภาพที่ 4 ระบบต้นแบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าเพื่อเข้าร่วมอบรม/สัมมนา ประกอบด้วยโมดูลหลัก 4 โมดูล ได้แก่

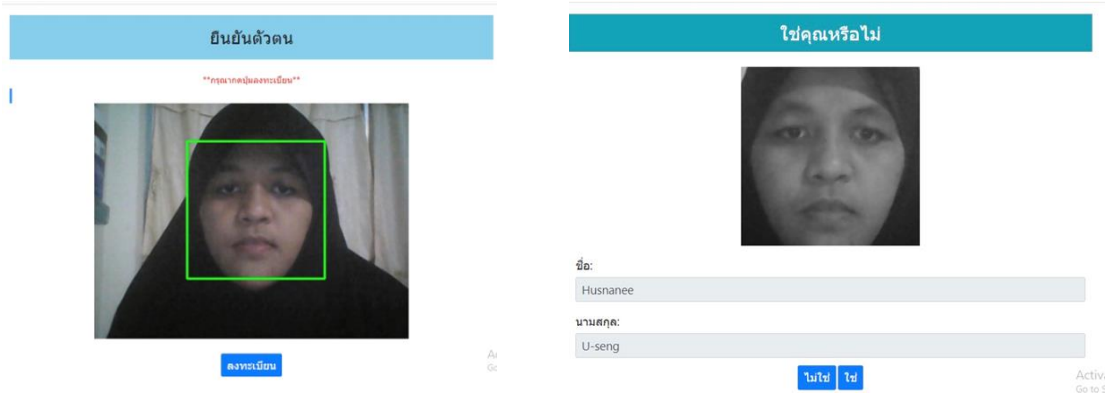
1) การจัดการข้อมูลงานอบรม/สัมมนา เป็นโมดูลสำหรับให้เจ้าหน้าที่ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลงานอบรม/สัมมนา
2) การจัดการข้อมูลผู้เข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา เป็นโมดูลสำหรับให้เจ้าหน้าที่เรียกดูข้อมูลผู้สมัครเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา และเรียกดูข้อมูลผู้เข้าร่วมงานที่ผ่านการยืนยันตัวตนด้วยระบบ
3) การลงทะเบียนเข้าร่วมงาน เป็นโมดูลสำหรับให้ผู้ใช้ทั่วไปเข้าถึงงานอบรม/สัมมนาที่จะถูกจัดขึ้น ผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน และสามารถสมัครเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนาได้ผ่านหน้าเว็บไซต์
4) การยืนยันตัวตนเข้าร่วมงาน เป็นโมดูลสำหรับให้ผู้เข้าร่วมอบรม/สัมมนายืนยันตัวตนหน้างาน โดยโมดูลนี้สามารถเข้าถึงได้โดยเจ้าหน้าที่เท่านั้น การใช้งานโมดูลอธิบายดังรายละเอียดด้านล่าง

หน้าจอหลักของการลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมอบรม/สัมมนา แสดงดังภาพที่ 5 เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลแล้ว กดปุ่มถัดไป จะเป็นการเก็บภาพของผู้ลงทะเบียนจำนวน 10 รูป โดยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้าคือขั้นตอนวิธี Haar Cascade ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดที่ได้จากการทดลอง โดยมีเงื่อนไขในการบันทึกภาพคือจะบันทึกภาพทุก 10 เฟรม จนครบ 10 รูป และจะบันทึกเมื่อมีรูปภาพใบหน้าในเฟรมที่ตรวจจับได้เพียง 1 ใบหน้าเท่านั้น และเพื่อป้องกันการยืนยันตัวตนด้วยการใช้ใบหน้าจากรูปภาพ สามารถคัดกรองได้โดยการกำหนดขนาดของรูปภาพใบหน้าที่ต้องการ เมื่อตรวจจับใบหน้าได้แล้ว ระบบจะปรับขนาดของรูปภาพใบหน้าทุกรูปที่ตรวจจับได้เป็น 112 x 96 พิกเซล ก่อนบันทึกรูปภาพ



ภาพที่ 5 หน้าจอหลักสำหรับกรอกข้อมูลส่วนตัวผู้ลงทะเบียนและหน้าจอการเก็บรูปภาพใบหน้า

การยืนยันตัวตนเพื่อเข้าร่วมงาน ผู้เข้าร่วมงานอบรม/สัมมนาจะต้องมายืนยันตัวตนหน้างาน เนื่องจากผู้เข้าร่วมอบรม/สัมมนาไม่มีสิทธิในการเข้าสู่โมดูลการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า โดยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการรู้จำใบหน้าคือขั้นตอนวิธี LBPH ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดที่ได้จากการทดลอง หน้าจอการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าแสดงดังภาพที่ 6 การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าที่หน้างานถูกออกแบบให้ผู้ใช้สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับระบบได้ เนื่องจากการรู้จำใบหน้ามีโอกาสที่จะได้ผลลัพธ์ไม่ถูกต้อง ดังนั้นการให้ผู้ใช้มีปฏิสัมพันธ์กับระบบเพื่อยืนยันความถูกต้อง ส่งผลให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นโดยระบบจะตรวจจับใบหน้าเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลรูปภาพผู้ลงทะเบียนทั้งหมด และดึงรายชื่อที่สอดคล้องกับใบหน้ามาให้ผู้เข้าร่วมงานยืนยันตัวตนอีกครั้ง กรณีที่ข้อมูลถูกต้องผู้ลงทะเบียนกดปุ่ม “ใช่” เพื่อบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมงาน แต่กรณีที่ข้อมูลไม่ถูกต้อง ให้ผู้ลงทะเบียนกดปุ่ม “ไม่ใช่” เพื่อให้ระบบวิเคราะห์ใบหน้าอีกครั้ง อย่างไรก็ตามอาจเกิดกรณีที่ไม่สามารถยืนยันตัวตนได้ถูกต้องในหลายครั้ง ระบบจะแนะนำให้ติดต่อเจ้าหน้าที่



ภาพที่ 6 หน้าจอสำหรับการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า

3. ผลการทดลองใช้ระบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองใช้ระบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้น กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 10 คน โดยมีทั้งนักศึกษาผู้หญิงและผู้ชาย มีนักศึกษาที่ใส่แว่น ใส่ผ้าคุมฮิญาบ และมีหนวด ลักษณะใบหน้าที่บันทึกได้จากระบบมีหลากหลาย เช่น หน้ายิ้ม หน้าเฉย ๆ ใบหน้าก้ม ใบหน้าเงย ปิดตา ผู้วิจัยได้สร้างงานอบรม/สัมมนาขึ้นมา 3 งาน และให้นักศึกษาแต่ละคนสมัครเข้าร่วมงานและยืนยันตัวตนเพื่อเข้าร่วมงานทั้ง 3 งาน ดังนั้นแต่ละงานจะมีผู้เข้าร่วม 10 คน กำหนดให้แต่ละคนยืนยันตัวตนในแต่ละงานได้สูงสุด 3 ครั้ง ได้ผลลัพธ์ของความถูกต้องในการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าแสดงดังตารางที่ 3 จากตารางแสดงให้เห็นว่า ในงานที่หนึ่ง ผู้เข้าร่วมอบรมสามารถยืนยันตนสำเร็จในครั้งแรก 9 คน และยืนยันตัวตนสำเร็จในครั้งที่ 2 จำนวน 1 คน ในงานที่สอง ผู้เข้าร่วมอบรมยืนยันตัวตนสำเร็จในครั้งแรก 8 คน และยืนยันตัวตนสำเร็จในครั้งที่ 2 จำนวน 2 คน และในงานที่สาม ผู้เข้าร่วมอบรมสามารถสามารถยืนยันตัวตนสำเร็จในครั้งแรกทั้ง 10 คน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรู้จำใบหน้าได้เป็นอย่างดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยที่ผู้เข้าร่วมอบรมสามารถยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าได้สำเร็จในครั้งแรกถึง 90% (ยืนยันตัวตนสำเร็จในครั้งแรก 27 ครั้ง จากทั้งหมด 30 ครั้ง) และยืนยันตัวตนสำเร็จ 100% ภายใน 2 ครั้ง

ตารางที่ 3 ผลการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าจากผู้เข้าร่วมการทดลองทั้งหมด 10 คน ทำการทดลองเข้าร่วมงานคนละ 3 งาน รวมทั้งหมด 30 การทดลอง

งานอบรม/สัมมนา	ผลการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าร่วมงาน		
	ยืนยันตัวตนสำเร็จ ในครั้งที่ 1	ยืนยันตัวตนสำเร็จ ในครั้งที่ 2	ยืนยันตัวตนสำเร็จ ภายใน 3 ครั้ง
งานที่หนึ่ง	9 คน	1 คน	10 คน
งานที่สอง	8 คน	2 คน	10 คน
งานที่สาม	10 คน	-	10 คน
โดยรวม	**27 คน**	**3 คน**	**30 คน**
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	**90%**	**10%**	**100%**

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบการยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าสำหรับบันทึกข้อมูลผู้เข้าร่วมอบรม/สัมมนา โดยการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับและรู้จำใบหน้าหลายขั้นตอนวิธี เพื่อเลือกขั้นตอนวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดมาใช้ในการพัฒนาระบบ ซึ่งจากการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้า 3 ขั้นตอนวิธี พบว่าขั้นตอนวิธี Haar Cascade ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด ให้ค่าความถูกต้อง 100% ทั้งสองฐานข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ และจากการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้า 4 ขั้นตอนวิธี พบว่าขั้นตอนวิธี LBPH ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 98.00% เมื่อใช้ฐานข้อมูล Yale ในการทดสอบ และใช้รูปภาพสำหรับเรียนรู้บุคคลละ 10 รูป และเมื่อพิจารณาแต่ละลักษณะรูปภาพที่นำมาทดสอบ พบว่าขั้นตอนวิธี LBPH ยังให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่าหรือเทียบเท่าขั้นตอนวิธีอื่น ๆ โดยจากการพิจารณาแยกตามลักษณะใบหน้าที่ใช้ทดสอบ พบว่ากลุ่มรูปภาพที่ทำให้การรู้จำใบหน้าขั้นตอนวิธีอื่นด้อยประสิทธิภาพ คือกลุ่มรูปภาพที่มีแสงจากด้านซ้ายหรือด้านขวา กรณีที่รูปภาพทดสอบเป็นภาพที่มีแสงจากด้านขวา พบว่าขั้นตอนวิธี Eigenfaces ให้ค่าความถูกต้องเพียง 13.33% (จำแนกถูกต้องเพียง 2 รูปภาพ จากภาพทดสอบ 15 รูปภาพ) ขั้นตอนวิธี Fisherfaces ให้ค่าความถูกต้อง 26.67% ขั้นตอนวิธี Deep Learning ให้ค่าความถูกต้องมากขึ้นเป็น 60% ในขณะที่ขั้นตอนวิธี LBPH ให้ค่าความถูกต้อง 93.33% และกรณีที่รูปภาพทดสอบเป็นรูปภาพที่มีแสงมาจากด้านซ้ายก็ให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดลองโดยใช้จำนวนรูปภาพสำหรับเรียนรู้ต่อบุคคลน้อยกว่า 10 รูป พบว่า ทุกขั้นตอนวิธีจะมีแนวโน้มให้ค่าความถูกต้องที่น้อยลง อย่างไรก็ตามในการพัฒนาระบบจริงการใช้จำนวนรูปภาพเรียนรู้ที่มากเกินไปจะทำให้การทำงานของระบบช้าลง จึงควรเลือกจำนวนรูปภาพที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบให้ค่าความถูกต้องที่น่าพอใจ และระบบใช้เวลาในการเก็บรูปภาพและตรวจสอบใบหน้าไม่นานเกินไป

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาต้นแบบการนำเทคโนโลยีการรู้จำใบหน้ามาประยุกต์ใช้กับระบบการบันทึกข้อมูลผู้เข้าร่วมอบรม/สัมมนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บและค้นหาข้อมูลต่อไป สำหรับแนวทางในการนำงานวิจัยไปใช้จริงในอนาคต ควรทดสอบการทำงานของระบบ โดยการนำระบบไปจำลองการใช้จริง ในสถานที่ต่าง ๆ และใช้อุปกรณ์สำหรับเก็บรูปภาพที่หลากหลาย เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานของโมเดลการตรวจจับใบหน้าและรู้จำใบหน้าให้ดีที่สุด สำหรับการพัฒนาในส่วนติดต่อผู้ใช้ ควรพัฒนาให้สอดคล้องกับความต้องการของหน่วยงานหรือองค์กร

เอกสารอ้างอิง

[1] Viola, P. & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceeding of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,* 511-518. doi: 10.1109/CVPR.2001.990517

[2] Dehghani, A., Moloney, D. & Xu, X. (2017). Face detection speed improvement using bitmap-based histogram of oriented gradient. *International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP),* 1-5. doi: 10.5281/zenodo.835298

[3] Dala, N. & Triggs, B. (2005). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Year,* 1, 886-893. doi: 10.1109/CVPR.2005.177

[4] Ojala, T., Pietikainen, M. & Maenpaa, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with localbinary patterns. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (24), 971-987. doi: 10.1109/TPAMI.2002.1017623

[5] Turk, M. A. & Pentland, A. P. (1991). Face recognition using eigenfaces. *Proceedings. 1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 586-591. doi:10.1109/CVPR.1991.139758

[6] Dadi, Harihara Santosh & Mohan, P. G. Krishna. (2015). Performance evaluation of eigen faces and fisher faces with different preprocessed data sets. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET),* 4(5), 2110–2116. file:///C:/Users/Admin/Downloads/IJARCET-VOL-4-ISSUE-5-2110-2116.pdf

[7] Belhumeur, P. N., Hespanha, Joao~ P., & Kriegman, D. J. (1997). Eigenface vs. fisherface: recognition using class specific linear projection, *IEEE Trans. On PAMI,* 18(7), 711-720. https://cseweb.ucsd.edu/classes/wi14/cse152-a/fisherface-pami97.pdf

[8] Li SZ, & Lu J. (1999). Face recognition using the nearest feature line method. *IEEE Trans Neural Netw*. 10(2):439-43. doi: 10.1109/72.750575. PMID: 18252542

[9] Guo, G., Li, S. Z., & Chan, K.(2000), Face recognition by support vector machines. *Proceedings Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (Cat. No. PR00580)*, 196-201. doi: 10.1109/AFGR.2000.840634

[10] Osuna, E., Freund ,R. & Girosit, F. (1997). Training support vector machines: an application to face detection. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 130-136 doi: 10.1109/CVPR.1997.609310

[11] Schroff, F., Kalenichenko, D. & Philbin, J. (2015) FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),* 815-823. doi: 10.1109/CVPR.2015.7298682.

[12] เกรียงศักดิ์ ตรีประพิณ, ภัคภัทร นาอุดม, และ ไพชยนต์ คงไชย. (2561). การพัฒนาระบบตรวจสอบนักศึกษาเข้าเรียนด้วยวิธีการรู้จำใบหน้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 20(2), 92-105. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/article/view/182603/132973

[13] สุวัฒน์ บันลือ, และ ขนิษฐา อินทะแสง. (2563). ประสิทธิภาพระบบตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าโดยใช้เทคนิคแอลบีพี. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด*, 14(1), 147-158. file:///C:/Users/Admin/Downloads/209353-Article%20Text-834672-2-10-20200430%20(1).pdf

[14] อะดาว น้องวี, บุญชัย แซ่สิ้ว, และ ศุภรัชชัย วรรัตน์ (2564) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรู้จำใบหน้า เพื่อบันทึกเวลาเข้าออกของพนักงาน. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.* 8(1), 99-113. file:///C:/Users/Admin/Downloads/243844-Article%20Text-855199-3-10-20210627.pdf