

The Development of a Real-Time Facial Recognition System Using the Haar-like Feature-Based Detection Technique

*Keerasak Paya and Thanadol Jandee

Computer science, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

*Corresponding author : keerasak@outlook.com

Received
07/07/2023

Reviewed
04/10/2023

Revised
20/10/2023

Accepted
07/11/2023

Abstract

The objective of this research is to Development of a Real-Time Facial Recognition System Using the Haar-like Feature-Based Detection Technique. A model is developed where the system recognizes faces as one of the methods for verifying and confirming the identity of individuals, utilizing unique spatial features of the face. It extracts the spatial and differential features of the face from photographs, digital images, or video footage for processing. By transforming them into a template, the system compares them with a facial database to find individuals with the closest resemblance to the input image. The system then presents the identified face as the output. The development process involves data collection, facial detection, and feature extraction through training, such as eyes, eyebrows, and mouth, among others. The model development and testing consist of a dataset of 100 facial images and 100 non-facial images. The experiment on facial detection yielded a 91.00% accuracy rate, while the application of the model on test faces resulted in a 78.00% accuracy rate.

Keyword : Real-Time; Facial Recognition; Haar-like

การพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับ ลักษณะเด่นแบบฮาโลค

*กิริศักดิ์ พะยะ และ ธนดล จันดี

วิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร

*ผู้นิพนธ์หลัก : keerasak@outlook.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาโลค มีแบบจำลองพัฒนาขึ้นโดยระบบรู้จำใบหน้าเป็นหนึ่งในวิธีการพิสูจน์ยืนยันตัวตน บุคคล โดยใช้คุณลักษณะจำเพาะทางสรีระ ซึ่งจะนำสรีระและส่วนต่างๆ ของใบหน้าจากภาพถ่าย ดิจิทัลหรือภาพจากกล้อง ดิจิทัลวิดีโอมาประมวลผล ด้วยการแปลงให้อยู่ในรูปของแม่แบบ และนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลใบหน้าที่มีเพื่อหาบุคคลในฐานข้อมูลที่มีหน้าตาคล้ายกับภาพที่นำมาเปรียบเทียบมากที่สุด และแสดงผลเป็นใบหน้านั้นออกมา โดยมีกระบวนการการเก็บรวบรวมข้อมูล การตรวจจับเฉพาะใบหน้า การหาพีเจอร์ของใบหน้าด้วยการเทรนนิ่ง เช่น ตา คิ้ว ปาก เป็นต้น การพัฒนาแบบจำลองและการทดสอบแบบจำลองประกอบด้วยภาพข้อมูลใบหน้า 100 ภาพ และภาพที่ไม่ใช่ใบหน้า 100 ภาพ จากการทดลองการตรวจจับเฉพาะใบหน้าได้ข้อมูลความถูกต้อง 91.00 เปอร์เซนต์ และผลการทดสอบความถูกต้องของการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้จริงกับใบหน้าที่ทดลองผลลัพธ์ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 78.00 เปอร์เซนต์

คำสำคัญ : เรียลไทม์; ตรวจจับใบหน้า; ฮาโลค

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการประมวลผลภาพได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น หนึ่งในเทคโนโลยีที่มีความโดดเด่นและน่าสนใจเป็นอย่างมาก ได้แก่การรู้จำใบหน้าซึ่งเป็นงานวิเคราะห์ภาพใบหน้า และระบุตัวบุคคลในภาพ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และใช้งานได้หลายประเภท เช่น การตั้งกล้องจับภาพคนเข้าเมืองเพื่อหาตัวผู้กระทำความผิดกฎหมายหรือผู้ก่อการร้าย งานรักษาความปลอดภัยในหน่วยงานสถานที่ราชการ หรือสถานศึกษาต่างๆ เป็นต้น ในการใช้จริงของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพนั้นยังมีปัจจัยอีกหลายด้านที่ทำให้ความแม่นยำของกระบวนการรู้จำใบหน้า Griangsak Tripraping et al. (2561) ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากภาพที่นำมาประมวลผลนั้นอาจมีปัจจัยแปรผันหลายอย่าง เช่น อายุที่เปลี่ยนไปของแต่ละบุคคล (Ageing) การแปรผันทางตำแหน่งของใบหน้า (Pose) การแปรผันของแสง (Illumination) เป็นต้น เนื่องจากการแสดงทางอารมณ์ (Expression) ภาพใบหน้าที่มีความละเอียดต่ำ (Low Resolution) ดังนั้นการรู้จำใบหน้าในอดีตจำเป็นต้องใช้ส่วนประกอบของใบหน้าครบทุกส่วนจึงจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดแต่ในโลกความเป็นจริงนั้นยังมีอีกหลายกรณีที่ไม่สามารถใช้ส่วนประกอบของใบหน้าทั้งหมดได้ Adao Nongvee et al. (2021)

การค้นหภาพใบหน้าเป็นงานส่วนหนึ่งที่สำคัญซึ่งช่วยให้การรู้จำภาพใบหน้าอัตโนมัติมีความถูกต้องมากขึ้น แต่ในปัจจุบันการค้นหภาพใบหน้าที่ยังไม่สามารถทำงานได้สมบูรณ์มากนัก โดยมีปัญหาที่สำคัญประกอบด้วยขนาดของภาพใบหน้าที่ไม่คงที่ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ และความถูกต้องของตำแหน่งที่ได้จากการค้นหา เทคโนโลยีด้านการตรวจหาจากการรู้จำถือเป็นงานวิจัยแขนงหนึ่งของการวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ซึ่งได้นำมาใช้ประโยชน์กับระบบตรวจหาหลาย ประเภทจากการรู้จำ เช่น การตรวจหาภาพวัตถุการตรวจหาภาพป้ายทะเบียนรถ การตรวจหาลายนิ้วมือ และการตรวจหาภาพใบหน้า เป็นต้น ที่มีความรวดเร็ว ถูกต้อง และแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ในปัจจุบันคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชรได้มีระบบการเข้า-ออกของบุคลากร และนักศึกษาโดยใช้วิธีการลงลายมือชื่อ และการสแกนคิวอาร์โค้ดเพื่อยืนยันตัวตน การเข้าอาคารเรียนตามมาตรการการป้องกันการเกิดโรคติดต่อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด 19 ที่กำลังระบาดอยู่ในขณะนี้ ซึ่งเกิดปัญหาความล่าช้ากับการยืนยันตัวตนของบุคลากรและนักศึกษาจำนวนมาก รวมถึงการรายงานการเข้า-ออกอาคารเรียนในปัจจุบันยังไม่เรียลไทม์ ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญ และความจำเป็นที่จะพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาโลคเป็นการตรวจจับใบหน้าด้วยวิธีการพื้นฐานของการจำลองรูปแบบฮาโลค คือการจำลองรูปแบบฮาโลคนั้นมีความสำคัญต่อความถูกต้องในการตรวจจับใบหน้ามากที่สุด เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการดึงลักษณะเด่นจากใบหน้านางานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นในการปรับปรุงและพัฒนาการจำลองรูปแบบฮาโลค โดยมุ่งเน้นที่จะลดเวลาในการคำนวณในขั้นตอนการหาตัวจำแนกแบบอ่อนแอซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในการตรวจจับใบหน้า ดังที่ปรากฏในงานของ Mita et al. (2005) เพื่อจะได้กล่าวถึงอย่างรายละเอียดในด้านจุดหลักของการศึกษา ความเหมือน ความแตกต่าง และการวิเคราะห์ ออกแบบ โดยผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบเพื่อตรวจสอบการเข้า-ออกของอาคารเรียนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้หลักการการตรวจจับวัตถุภายในภาพ Haar Like

feature-based Detection เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ได้ดีขึ้น เพิ่มความสะดวกสบายต่อการบันทึกข้อมูลรวมไปถึงการลดเวลา และกระบวนการให้มีการผิดพลาดน้อยลง

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์เป็นแบบการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์ Tolba et al. (2005) และขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อเก็บไว้ในฐานข้อมูล และสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือการสร้างฐานข้อมูลของภาพใบหน้าบุคคล (training) ในรูปแบบของไฟล์ XML (eXtensible Markup Language) และการตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยอาศัยการนำเข้าของภาพ (input image) การหาค่าความเฉลี่ยของพื้นที่ในภาพ (Integral Image) เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ (Haar like feature Detection) Mita et al. (2005) และการแสดงขอบเขตของภาพที่ตรวจจับได้ (output video) เป็นต้น โดยสรุปขั้นตอนดำเนินการวิจัยได้ ดังนี้

1. การตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์

การใช้หลักการการตรวจจับวัตถุภายในภาพ Haar Like feature-based Detection โดยขั้นตอนการทำงานของระบบตรวจจับวัตถุภายในแสดงได้ดัง Figure 1

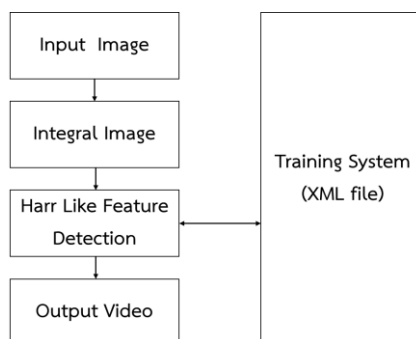


Figure 1 The operational process of a Real-Time Facial Recognition System.

(Ref. Keerasak Paya, 2022)

2. การประมวลผลภาพเพื่อเก็บไว้ในฐานข้อมูล

เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลอง โดยการประมวลผลภาพเพื่อเก็บไว้ในฐานข้อมูลที่ประกอบไปด้วยการรับข้อมูลจากการตรวจจับวิดีโอ (output video) ส่งการนำเข้า (input) ค่าไอดี (ID) ให้ใบหน้า และแปลงภาพให้เป็นสีเทา หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลแสดงได้ดัง Figure 2

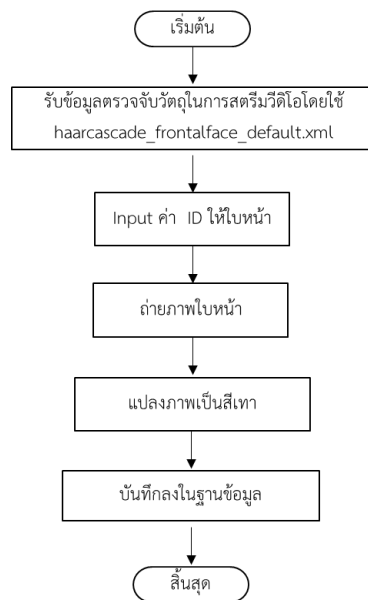


Figure 2 Image processing for storage in a database.

(Ref. Keerasak Paya, 2022)

จาก Figure2 การนำเข้าข้อมูลในการตรวจจับใบหน้าแบบวิดีโอเพื่อทำการถ่ายภาพใบหน้า และแปลงภาพให้เป็นภาพสีเทาและจัดเก็บไว้ยังโฟลเดอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อนำเข้าสู่ขั้นตอนการฝึกฝน (Training) ใบหน้าโดยลักษณะแสดงได้ดัง Figure 3

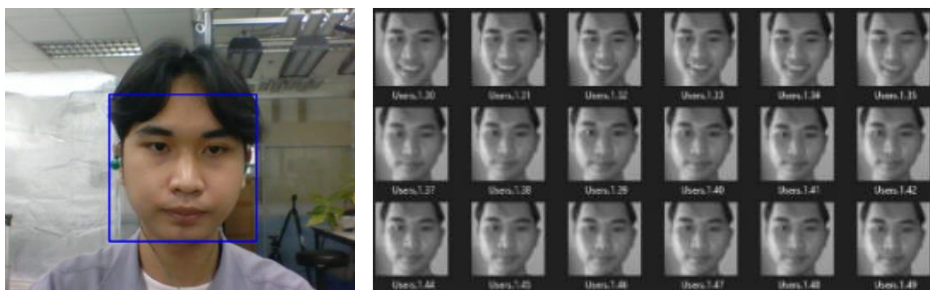


Figure 3 Example training data for facial images.

(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

3. การสร้างฐานข้อมูลภาพ (Training)

การสร้างฐานข้อมูลภาพจะนำภาพใบหน้า (Positive Image) และภาพทั่วไปที่ไม่ใช่ภาพใบหน้า (Negative Image) มาเปรียบเทียบกับกระบวนการ Haar Training Mita et al. (2005) เพื่อสร้างไฟล์ XML สำหรับเก็บค่า Threshold เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการตรวจจับใบหน้าต่อไป ด้วยตัวอย่างของ Negative Image, Positive Image และไฟล์ XML ดัง Figure 4 และ Figure 5 ตามลำดับ



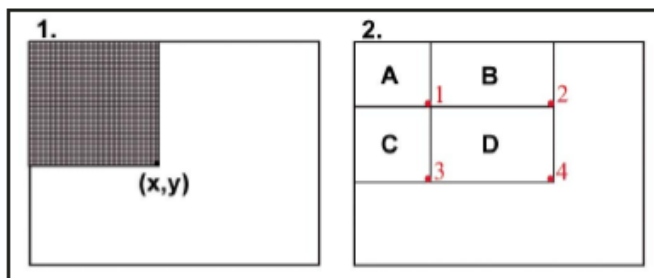
Figure 4 Example images used for training to create a facial image database.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

```
threshold: 1.7976931348623157e+308
radius: 1
neighbors: 8
grid_x: 8
grid_y: 8
histograms:
- !!opencv-matrix
  rows: 1
  cols: 16384
  dt: f
  data: [ 2.49702726e-02, 1.30796665e-02, 0., 5.94530301e-03,
    8.32342450e-03, 4.75624250e-03, 4.75624250e-03,
    2.25921515e-02, 1.18906063e-03, 1.18906063e-03, 0., 0.,
    7.13436399e-03, 2.37812125e-03, 2.02140305e-02,
    5.94530329e-02, 2.61593331e-02, 3.56718199e-03, 0.,
    2.37812125e-03, 0., 0., 0., 2.37812125e-03, 1.30796665e-02,
    2.37812125e-03, 0., 1.18906063e-03, 3.21046375e-02,
    4.75624250e-03, 4.04280610e-02, 4.75624241e-02,
```

Figure 5 Some partial examples of the image database files.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

4. การหาค่าความเฉลี่ยของพื้นที่ในภาพ (Integral Image)

การหาผลรวมของพิกเซล (Pixel) ภายในภาพทำได้รวดเร็วขึ้น โดยนิยามของการหาค่าความเฉลี่ยของพื้นที่ในภาพ คือผลรวมของพิกเซลที่อยู่บน และอยู่ทางซ้ายทั้งหมดของตำแหน่ง x, y และผลรวม ซึ่งสามารถนิยามได้ตามสมการแสดงได้ดัง Figure 6 เมื่อ $ii(x, y)$ คือ Integral Image และ $i(x, y)$ คือ ภาพต้นฉบับ



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

Figure 6 Equation for calculating the average value of an area in an image.

(Ref. Ruslee Sutthaweekul and Vilaiwan Salee, 2011)

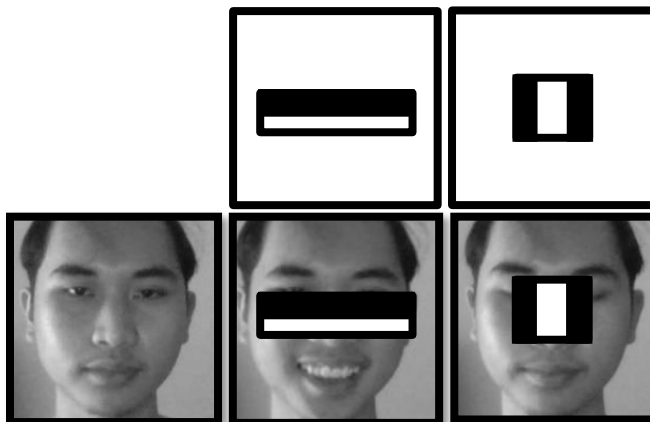


Figure 7 Displaying examples of strong classifiers obtained from the learning process using Adaptive Boosting.

(Ref. Viola et al. (2004)

สำหรับภาพขาวดำ (ดูช่องแรกด้านล่าง) ค่าพิกเซลคือ 0 หรือ 1 แต่ในกรณีจริง ได้ปรับภาพระดับสีเทาให้เป็นมาตรฐานแสดงได้ดัง Figure 8 และการจำแนกกลุ่มแบบต่อเรียงแสดงได้ดัง Figure 9

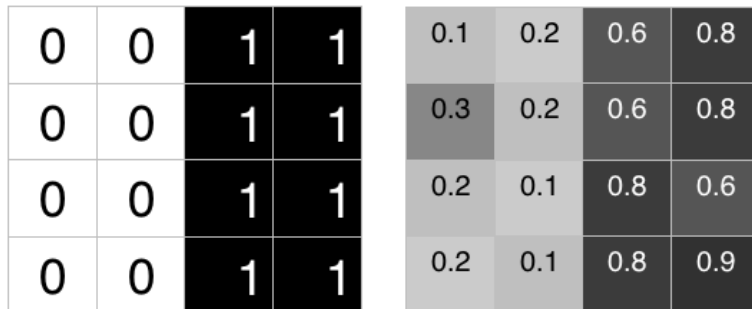


Figure 8 (a) Pixel values 0 and 1 and (b) Normal grayscale intensity values for the actual case.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

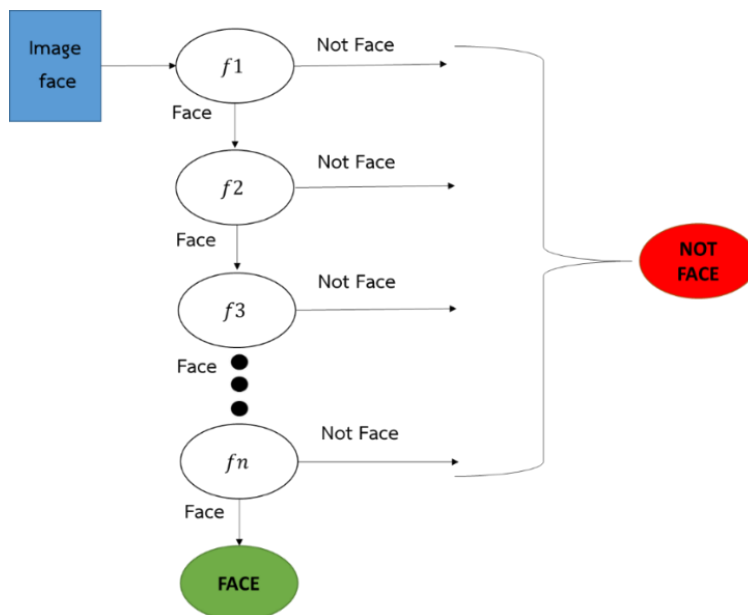


Figure 9 The steps for sequential grouping classification.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

จาก Figure 9 คือการสร้างการรวมตัวจำแนกกลุ่มแบบต่อเรียง Tolba et al. (2005) (Cascaded Classifier) โดย เทคนิคนี้จะนำตัวจำแนก (Classifier) หลายๆ ตัวต่อกันเป็นลำดับ โดยที่ตัวจำแนกในลำดับต้น ๆ มักจะมีความซับซ้อนที่น้อยกว่าเพื่อลดปริมาณการคำนวณ และลดระดับของค่าแบ่งขีด (Threshold) ลง เพื่อเพิ่ม-ลดการความผิดพลาดในการตรวจจับไม่พบใบหน้า ซึ่งภาพย่อยที่ถูกจัดประเภทเป็นไม่ใช่ใบหน้า (Non-face) จะถูกทิ้งไปเป็นจำนวนมากในลำดับต้น ซึ่งในทางตรงกันข้าม ถ้าภาพย่อยนั้นถูกจำแนกว่ามีโอกาสเป็นภาพใบหน้าจะถูกส่งต่อไปยังตัวจำแนกตัวถัดไปซึ่งมีความซับซ้อนสูงขึ้นตามลำดับ ยังมีจำนวนชั้นของตัวจำแนกมากเท่าใดโอกาสที่ภาพย่อยจะเป็นใบหน้าจะยิ่งมีมากขึ้นตามดังแสดงได้ดัง Figure 10

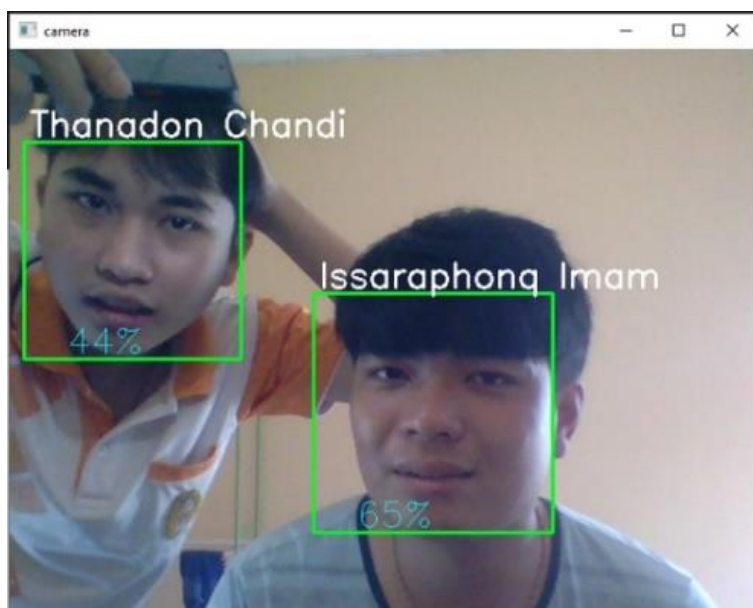


Figure 10 Example of face detection.

(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

5. การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ของโปรแกรมระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์ Tolba et al. (2005) โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาโลค โดยมียารละเอียดแสดงได้ดัง Figure 11

Table 1 Testing the accuracy of face detection.

ลำดับที่	Negative Image	Positive Image	ถูก	ผิด	ผลลัพธ์	ความถูกต้อง(%)
1	10	10	10	-	10	100.00
2	10	10	7	3	7	70.00
3	10	10	8	2	8	80.00
4	10	10	10	-	10	100.00
5	10	10	9	1	9	90.00
6	10	10	7	3	7	70.00
7	10	10	10	-	10	100.00
8	10	10	10	-	10	100.00
9	10	10	10	-	10	100.00
10	10	10	10	-	10	100.00
รวม					91	91.00

(Ref. Keerasak Paya and Thanadol Jandee, 2022)

จาก Table 1 ลำดับที่ 1, 4, 7, 8, 9 และ 10 มีความถูกต้องที่ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยลำดับที่ 2 มีความถูกต้องที่ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่ 3 มีความถูกต้องที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่ 5 มีความถูกต้องที่ 90.00 เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่ 6 มีความถูกต้องที่ 70 เปอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องเฉลี่ยทั้งหมด 91.00 เปอร์เซ็นต์

2. การทดสอบความถูกต้องในการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล ซึ่งสามารถวิเคราะห์ใบหน้าที่น่าสนใจทดสอบจากฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบใบหน้า แสดงรายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Testing accuracy in comparison to the database.

ใบหน้า	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ทั้งหมด	ความถูกต้อง (%)
1	10										10	100.00
2	2	8									10	80.00
3			8				2				10	80.00
4	2			8							10	80.00
5	1	2			7						10	70.00
6	2					8					10	80.00
7							10				10	100.00
8			1				1	8			10	80.00
9	1								9		10	90.00
10			2				1			7	10	70.00
รวม											100	83.00

(Ref. Keerasak Paya and Thanadol Jandee, 2022)

จาก Table 2 ผลการทดสอบระบบโดยผ่านขั้นตอนการตรวจสอบใบหน้าและทำการรู้จำใบหน้าได้ผลที่ถูกต้อง จำนวน 83 ภาพ จากทั้งหมด 100 ภาพ ที่ใช้ในการทดสอบเมื่อนำมาเทียบกับภาพในฐานข้อมูล คิดเป็นความถูกต้องได้ที่ 83.00%

สำหรับการทดสอบความถูกต้องในการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลสามารถแบ่งผลที่ได้ออกเป็น 2 ประเภท คือผลที่ถูกต้องแสดงได้ดัง Figure 12 และผลที่ไม่ถูกต้องแสดงได้ดัง Figure 13 ซึ่งผลที่ไม่ถูกต้องสามารถเกิดได้จาก 4 สาเหตุ คือ ภาพที่มีแสงน้อย ภาพที่มีแสงมาก ภาพในฐานข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกับลักษณะคล้ายคลึงกันมาก และภาพที่ไม่ใช่ใบหน้าของคนแสดงได้ดัง Figure 12, 13, 14 และ 15 ตามลำดับ

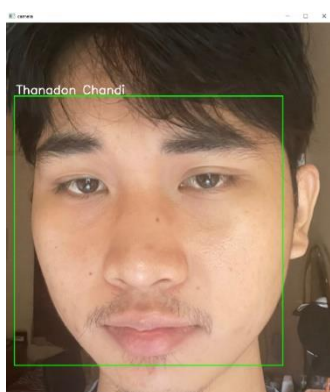


Figure 12 Correct results.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

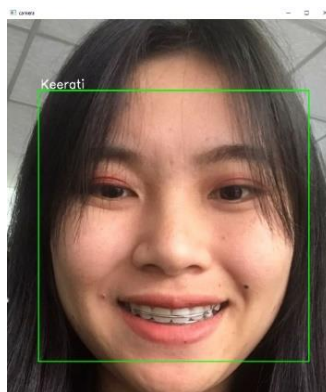


Figure 13 Incorrect results.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

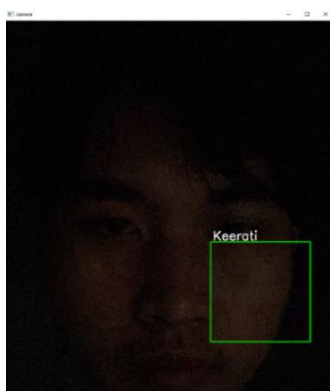


Figure 14 Incorrect results.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)



Figure 15 Incorrect results.
(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

3. การทดสอบความถูกต้องในการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล ซึ่งสามารถวิเคราะห์ใบหน้าที่น่าสนใจทดสอบจากฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบใบหน้าจากการนำไปประยุกต์ใช้จริง พบว่า แบบจำลองรู้จำใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ดัง Table 3

Table 3 Testing the accuracy of applying the model in real-world scenarios.

ใบหน้า	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ทั้งหมด	ความถูกต้อง (%)
1	9	1									10	90.00
2	4	5		1							10	50.00
3	1		9								10	90.00
4	2			8							10	80.00
5	2				8						10	80.00
6	3	1		1		5					10	50.00
7			1				9				10	90.00
8	2							8			10	80.00
9	1								9		10	90.00
10	1									8	10	80.00
รวม											100	78.00

(Ref. Keerasak Paya and Thanadol Jandee, 2022)

จากผลการทดลองใน Table 3 จากการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้งาน ในการวิเคราะห์และตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ จำนวน 10 คน การทดสอบโดยใช้กลับใบหน้าคนแบบเรียลไทม์ และทำการตั้งเวลา 5 นาที เข้าและออกเป็นเวลา 30 วินาที 2 รอบรอบละ 5 ครั้ง ทั้งหมด 10 ครั้ง รู้จำใบหน้าได้ 78 ครั้ง จาก 100 ครั้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องได้ที่ 78.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนหน้าจอโปรแกรมสำหรับผู้ใช้งานมีลักษณะการใช้งานจริงแสดงได้ดัง Figure 16

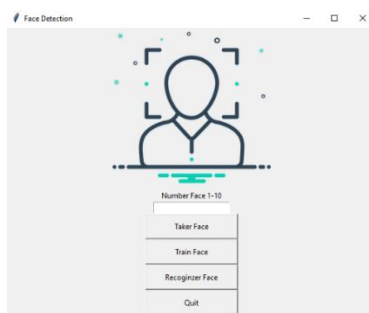


Figure 16 Real-time face detection program interface.

(Ref. Thanadol Jandee, 2022)

สรุปผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ได้มีการพัฒนาจากปัญหาระบบเดิมโดยเป็นระบบสแกนลายนิ้วมือการเข้า-ออกของอาคารทำให้เกิดความล่าช้า ตรวจสอบได้ยาก และเสี่ยงการติดโรคจากการสัมผัสอุปกรณ์สแกนลายนิ้วมือ ทำให้ผู้วิจัยได้คิดพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ โดยระบบรู้จำใบหน้าเพื่อพิสูจน์ยืนยันตัวตนบุคคลได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และเสี่ยงจากการสัมผัสอุปกรณ์ได้มากที่สุด จึงสามารถสรุปงานวิจัยชิ้นนี้ตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ พบว่า ได้ระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ (Haar-Like Feature-Based) เข้ามาตรวจสอบในการเข้า-ออกของอาคารกับกลุ่มตัวอย่าง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Janya Sainui et al. (2021) เรื่อง ต้นแบบระบบลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา โดยประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้า ผลการศึกษาพบว่า การตรวจสอบภาพใบหน้านักศึกษา โดยประสิทธิภาพการตรวจสอบการเข้าชั้นเรียนด้วยภาพใบหน้าอยู่ในระดับเรียลไทม์เช่นเดียวกัน

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ พบว่า ผลการทดสอบระบบในส่วนของการรู้จำใบหน้าโดยไม่ผ่านขั้นตอนการตรวจจับใบหน้ามีความถูกต้องในการเข้า-ออกของอาคาร อยู่ที่ 91.00 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อผ่านขั้นตอนการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้ พบว่า การทดสอบโดยใช้กลับใบหน้าคนแบบเรียลไทม์ (Real time) และทำการตั้งเวลา 5 นาที เข้าและออกเป็นเวลา 30 วินาที 2 รอบ รอบละ 5 ครั้ง ทั้งหมด 10 ครั้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องได้ที่ 78.00 เปอร์เซ็นต์ ถ้าจะทำให้มีความถูกต้องมากขึ้นนั้นควรหาอัลกอริทึมที่สามารถปรับความเข้มแสงของภาพที่ไม่เท่ากันให้มีความใกล้เคียงกันได้ เนื่องจากแสงเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ผลการทดลองเกินข้อผิดพลาด เมื่อเทียบกับ Phubodi Siwawong et al. (2018) ระบบตรวจสอบเพื่อยืนยันบุคคลด้วยใบหน้าบนแอนดรอยด์ ให้ความถูกต้อง 85.71 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยชิ้นนี้จากการพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการตรวจจับลักษณะเด่นแบบฮาไลค์ ได้ใช้เทคนิคการตรวจจับใบหน้า (Haar-Like Feature-Based) และรองรับการใช้งานบนเว็บไซต์ หรือโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์ในการใช้งานสามารถตรวจจับใบหน้าได้เพียงด้านหน้าเท่านั้น อาจจะปรับปรุงโดยเพิ่มให้สามารถตรวจจับด้านข้างเพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับใบหน้ามากขึ้น
2. การพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับค้นหาคนที่ต้องสงสัยที่เข้ามากระทำความผิดภายในอาคาร
3. การพัฒนาระบบตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์สามารถนำไปเขียนเป็นยูเซอร์อินเตอร์เฟซออกมาเป็นหน้าเว็บแอปพลิเคชันเพื่อการใช้งานที่สะดวกมากยิ่งขึ้น

4. การใช้ OpenCV มีฟังก์ชันในการปรับความเข้มของแสงโดยอัตโนมัติ สามารถใช้ในการปรับปรุงภาพในงานวิจัยนี้ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มตัวอย่างที่ใช้บริการระบบ และให้ความช่วยเหลือในการทดสอบระบบเป็นอย่างดีและในโปรแกรมวิชาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับนักวิจัยเป็นอย่างดี และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ความอนุเคราะห์อาคารสถานที่ทรัพยากร และข้อมูลที่ใช้สนับสนุนงานวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่หลักสูตรวิชาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬแก้วเพชร สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนนี้เป็นกำลังใจ และผลักดันให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีผู้วิจัยหวังว่าจะเกิดคุณค่าและประโยชน์

References

- Adao Nongvee, Bunchai Sae-sio, and Suparatchai Vorarat. (2021). The Application of Face Recognition Technology for Recording Time in - out of Employees. *Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University*, 8(1), 99-113. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/itm-journal/article/download/243844/165716/855199>
- Griangsak Tripraping, Phakphat Na-udom and Pichayanat Kongchai. (2021). Attendance monitoring system withface recognition technologies. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 20(2), 92-105. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sci_ubu/issue/view/13780
- Janya Sainui, Nantika Jankaew and Husnanee U-seng. (2021). A prototype ofseminar registration system using face authentication. *Journal of Roi Et Rajabhat University*, 7(2), 40-50. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/project-journal/article/view/245081/166604>
- Phubodi Siwawong, Wisut Sateangkhan, and Titipong Sathiramethakul. (16 July 2018). The system that verifies and confirms a person's identity using facial recognition on Android. *SciMath*. http://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc209_IdPro595.pdf
- Ruslee Sutthaweekul and Vilaiwan Salee. (2011). Face Detection based-on Haar-like Features. *SWU Engineering Journal*, 6(2), 34-43. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SwuENGj/article/view/2306/2348>
- Thanadol Jandee and Keerasak Paya. (2022). The Development of a Real-Time Facial Recognition System Using the Haar-like Feature-Based Detection Technique. [Unpublished doctoral or master or bachelor's thesis]. KamphaengPhet Rajabhat University.
- T. Mita, T. Kaneko and O. Hori (2005). Joint Haar-like features for face detection. *IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1544911>
- Tolba, A. S., El-Baz, A. H., & El-Harby, A. A. (2005). Face recognition: a literature review. *International Journal of Signal Processing*, 2(2), 88-103. https://www.researchgate.net/publication/233864740_Face_Recognition_A_Literature_Review
- Viola, P., & Jones, M. J. (2004). Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 57, 137-154. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb>