

ต้นแบบระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลประกอบแขนกล

Prototype Facial Detection and Tracking System Using Digital Image Processing

Assembled with A Mechanical Arm

พิศณุ คุมีชัย¹ จักริน มาลัยโรจน์ศิริ²

Pisanu Kumeechai¹ Jakrin Malairojsiri²

Received: June 1, 2024

Revised: June 25, 2024

Accepted: July 1, 2024

บทคัดย่อ

ระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าเป็นเทคโนโลยีที่ใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อวิเคราะห์และระบุใบหน้าบุคคล เทคโนโลยีนี้นำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในหลายสาขา เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย การติดตามบุคคล และการวิเคราะห์พฤติกรรมลูกค้า ในทางทหารเทคโนโลยีติดตามใบหน้าอาจถูกพัฒนาเป็นระบบควบคุมการยิงอัตโนมัติ โดยเปลี่ยนเป้าหมายจากวัตถุทั่วไปเป็นใบหน้าบุคคล เมื่อทำงานร่วมกับระบบควบคุมแท่นปืน กลายเป็นอาวุธที่มีประสิทธิภาพ การทำงานของระบบเริ่มจากการตรวจจับใบหน้า ระบบใช้กล้องดิจิทัลจับภาพ จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพเพื่อค้นหาและระบุใบหน้าบุคคลในเฟรม ทำการติดตามใบหน้า เมื่อระบบพบใบหน้าแล้วส่งค่าจุดเซนทรอยด์สู่แขนกลอาอูโน่ เพื่อทำการติดตามการเคลื่อนไหวของใบหน้าในเฟรมต่อ ๆ ไป ในการควบคุมแขนกล แขนกลปรับมุมและตำแหน่งตามข้อมูลที่ได้รับจากระบบ

คำสำคัญ: ระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า, การประมวลผลภาพดิจิทัล, ระบบควบคุมการยิงอัตโนมัติ, โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน

¹ อาจารย์กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Instructor, Department of Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: pisanu41984198@hotmail.com

² อาจารย์กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Instructor, Department of Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: jakrin.m@navy.mi.th

โดยชี้เป้าหมายไปที่ใบหน้าบุคคล อัลกอริทึม 4 ตัวในการทดลองในการตรวจจับภาพใบหน้าประกอบด้วย Viola-Jones Algorithm, Dlib Library, Convolutional Neural Networks (CNN) และ Multi-task Cascaded Convolutional Networks (MTCNN) ผลการวัดประสิทธิภาพด้วย Confusion Matrix มีค่าเฉลี่ยในการตรวจจับภาพใบหน้าจากทั้ง 4 อัลกอริทึมพบว่า อัลกอริทึม (CNN) มีประสิทธิภาพดีที่สุด มีค่า Precision ที่ 0.95, Recall ที่ 0.92 และ F1 score ที่ 0.93 ดังนั้น (CNN) เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าสูงที่สุด ประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลร่วมกับอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้าพบว่า อัลกอริทึม (CNN) มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการระบุและติดตามใบหน้าบุคคลได้อย่างแม่นยำ แม้ในสภาพแสงน้อยหรือสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน เมื่อทำงานร่วมกับแขนกลทำการทดสอบหมุนแขนกลในมุม 45 องศา และ 135 องศา สามารถทำงานในการติดตามใบหน้าได้ถึงร้อยละ 82.5

Abstract

Face detection and tracking systems use digital image processing to analyse and identify human faces. This technology is widely applied in various fields such as security systems, personal tracking, and customer behaviour analysis. In the military, face tracking technology can be developed into an automatic targeting system by shifting the focus from general objects to human faces. When integrated with a gun turret control system, it becomes an efficient weapon. The system's operation starts with face detection using digital cameras to capture images, followed by image analysis software to locate and identify faces within frames and then track them. Once a face is detected, the centroid coordinates are sent to an Arduino robotic arm to track the face's movements within subsequent frames. The robotic arm adjusts its angle and position based on the information received from the system, targeting the human face. The experiment utilized four algorithms for face detection: the Viola-Jones algorithm, Dlib library, Convolutional Neural Networks (CNN), and Multi-task Cascaded Convolutional Networks (MTCNN). Performance measurement using a confusion matrix showed that the CNN algorithm had the highest efficiency, with a precision of 0.95, recall of 0.92, and F1 score of 0.93. Therefore, CNN is the most effective algorithm for face detection. The performance of the robotic arm combined with the face detection algorithms demonstrated that the CNN algorithm was the most accurate in identifying and tracking human faces, even in low light or complex environments. Testing the robotic arm's rotation at 45 and 135 degrees achieved an 82.5% success rate in face tracking.

Keywords: Face Detection and Tracking Systems, Image Processing, Automatic Targeting System, Convolutional Neural Networks (CNN)

1. บทนำ

การพัฒนาระบบแขนกลที่ติดตามใบหน้าผ่านการประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นเทคโนโลยีที่มีความน่าสนใจและนำไปประยุกต์ใช้ในหลายสาขาอุตสาหกรรม ระบบดังกล่าวนำมาใช้ในภาครัฐและภาคเอกชนในการเพิ่มระดับความปลอดภัยให้กับระบบประตูอัจฉริยะ การติดตามบุคคลในสถานที่สาธารณะ และการจำแนกประเภทลูกค้าในธุรกิจห้างสรรพสินค้า เทคโนโลยีนี้ใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อตรวจจับใบหน้าของบุคคล โดยระบบรับภาพหน้าบุคคลเข้ามาและนำผ่านกระบวนการวิเคราะห์และการจำแนกภาพ เพื่อระบุและติดตามใบหน้าของบุคคลในเฟรมต่อไป จากนั้นส่งค่าจุดเซนทรอยด์ไปยังแขนกล เพื่อทำการขยับแขนกลเพื่อชี้เป้าหมายได้อย่างแม่นยำ การพัฒนาต้นแบบระบบแขนกลติดตามใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลนี้มีผลกระทบใหญ่ต่อการปรับปรุงระบบรักษาความปลอดภัย การติดตามบุคคลในสถานที่สาธารณะ และการจำแนกประเภทลูกค้าในธุรกิจห้างสรรพสินค้า ด้วยการนำเอาเทคโนโลยีประมวลผลภาพดิจิทัลมาประยุกต์ใช้ ระบบนี้เปิดโอกาสให้เกิดความปลอดภัยที่มั่นคงมากขึ้น การสืบค้นและติดตามบุคคลที่อยู่ในสถานที่สาธารณะทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการจัดการลูกค้าในธุรกิจห้างสรรพสินค้าที่ดียิ่งขึ้น อีกเหตุผลหนึ่งในการพัฒนาแขนกลที่ติดตามใบหน้านั้นก็เพื่อเป็นต้นแบบที่พัฒนาเป็นระบบอาวุธที่ใช้กล้องดิจิทัลเป็นเซ็นเซอร์ในการตรวจจับเป้าหมาย ลดการพึ่งพาการใช้อาวุธจากต่างชาติได้ในอนาคต เนื่องจากระบบควบคุมการยิงแบบออปโทรนิคส์ (Optronic Fire Control System) ที่มีอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกัน

ระบบควบคุมการยิงแบบออปโทรนิคส์เป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีและอัลกอริทึมต่าง ๆ เพื่อควบคุมการยิงอาวุธหรือระบบอาวุธที่ติดตั้งบนออปโทรนิคส์ โดยระบบนี้มีหลักการทำงานอย่างเป็นระบบเพื่อให้การยิงมีความแม่นยำและเป้าหมายที่ถูกต้อง โดยระบบควบคุมการยิงแบบออปโทรนิคส์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลายอย่าง ดังนี้ เซ็นเซอร์ (Sensors) ระบบใช้เซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับและรับข้อมูลเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ซึ่งอาจมีเซ็นเซอร์ที่วัดระยะทาง การเคลื่อนไหว หรือแสง ซึ่งเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตรวจจับและติดตามเป้าหมาย ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ระบบควบคุมการยิงออปโทรนิคส์ใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และตัดสินใจในการปรับการยิงให้เหมาะสม การใช้ปัญญาประดิษฐ์สามารถเรียนรู้และปรับปรุงผลลัพธ์การยิงให้ดียิ่งขึ้นได้ตามเวลา ระบบส่งกำลัง (Power Transmission) ระบบส่งกำลังใช้เพื่อส่งพลังงานไปยังอาวุธหรือระบบอาวุธที่ใช้ในการยิง ระบบนี้สามารถควบคุมและปรับความแรงหรือการยิงได้ตามคำสั่งของระบบควบคุม อัลกอริทึม (Algorithms) ระบบควบคุมการยิงแบบออปโทรนิคส์ใช้อัลกอริทึมเพื่อคำนวณและปรับค่าต่าง ๆ เพื่อให้การยิงมีความแม่นยำและความเสถียร ระบบควบคุมการยิงแบบออปโทรนิคส์เป็นระบบที่ซับซ้อนและใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อให้การยิงมีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง [1-10]

ระบบควบคุมการยิงแบบออปโทรนิคส์และระบบแขนกลติดตามใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นสองเรื่องที่มีความสัมพันธ์กัน 2 ส่วน คือ ส่วนการประมวลผลภาพดิจิทัลและส่วนการติดตามวัตถุ ในด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล ทั้งระบบควบคุมการยิงและระบบแขนกลติดตามใบหน้าใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อวิเคราะห์และจำแนกภาพใบหน้าหรือวัตถุต่าง ๆ ในภาพ เทคโนโลยีประมวลผลภาพ เช่น การตรวจจับและติดตามวัตถุ การจำแนกคุณลักษณะ และการระบุตำแหน่งทางพิกัด เป็นส่วนสำคัญในการทำงานของทั้งสองระบบนี้

ในด้านการติดตามวัตถุ ทั้งระบบควบคุมการยิงและระบบแขนกลติดตามใบหน้าใช้ระบบการติดตามเพื่อระบุและติดตามตำแหน่งของวัตถุหรือใบหน้าที่เป็นเป้าหมาย ใช้เทคโนโลยีติดตามอย่างแม่นยำ เช่น การระบุจุดเซนทรอยด์หรือการใช้เทคนิค Computer Vision เพื่อติดตามการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือใบหน้าในเวลาเป็นที่ยรวดเร็วได้ ถ้าเป็นระบบควบคุมการยิงตรวจจับและติดตามเป้าหมายด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลเมื่อตรวจจับเป้าหมายและได้จุดเซนทรอยด์แล้วส่งค่าสู่ระบบควบคุมอาวุธที่เสมือนแขนกลในการตรวจจับเป้าหมายและอากาศยานที่ปรากฏในเฟรมภาพ โดยต้องการประสิทธิภาพและความแม่นยำสูงที่สุดในการทำงาน [11-14] ดังเช่นตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้การการจำแนกและการติดตามเรือผิวน้ำด้วยระบบอัตโนมัติโดยการจดจำวัตถุด้วยวิธี AlexNet เสนออัลกอริทึมการติดตามเพื่อติดตามวัตถุที่ระบุ [15]

1.1 ความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา

แบบจำลองในการพัฒนาระบบอาวุธที่ใช้กล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายในอนาคต งานวิจัยนี้อาจมีต้นกำเนิดจากความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีทางทหารที่มีความสามารถในการตรวจจับและติดตามศัตรูหรือเป้าหมายเพื่อให้การดำเนินงานทางทหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น การศึกษาและพัฒนาระบบแขนกลที่ติดตามใบหน้าเป็นต้นแบบอาจช่วยเสริมสร้างความรู้และเข้าใจในการพัฒนาระบบอาวุธที่ใช้เทคโนโลยีกล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายได้ในอนาคต

ความสำคัญของปัญหานี้มาจากความเร่งด่วนในการพัฒนาเทคโนโลยีทางทหารที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับและติดตามเป้าหมาย การมีระบบอาวุธที่สามารถตรวจจับและติดตามศัตรูให้ได้ในระยะเวลาที่เร็วและแม่นยำส่งผลให้การดำเนินงานทางทหารมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อนึ่งการศึกษาและพัฒนา ระบบแขนกลที่ติดตามใบหน้าเป็นต้นแบบยังเป็นกระบวนการที่เป็นประโยชน์ในการสร้างความเข้าใจและความรู้เพิ่มเติมในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดให้สำเร็จได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและทดสอบการทำงานอัลกอริทึมในการตรวจจับใบหน้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานกับแขนกลอัตโนมัติในการตรวจจับและติดตามภาพใบหน้าได้

2.2 เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อยอดความรู้เทคโนโลยีทางการทหาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำระบบการทำงานของแขนกลติดตามใบหน้าที่ได้รับการศึกษาและวิเคราะห์มาเป็นต้นแบบ โดยการพัฒนา ระบบอื่น ๆ ที่ใช้กล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายในอนาคต ระบบที่ได้รับแรงบันดาลใจจากงานวิจัยนี้อาจมีการพัฒนาเพื่อเสริมสร้างความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจจับและติดตามเป้าหมาย

2.3 เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องทางทหาร การศึกษาและวิจัยระบบการติดตามใบหน้าในงานนี้อาจช่วยเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น เทคนิคการระบุตำแหน่ง การประมวลผลภาพ หรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้า เนื่องจากเทคโนโลยีเหล่านี้อาจมีความสำคัญในการพัฒนาระบบอาวุธที่ใช้กล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายในอนาคต

3. สมมติฐานของการวิจัย

3.1 ระบบการติดตามใบหน้าด้วยแขนกลสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ สมมติฐานนี้สันนิษฐานว่าระบบการติดตามใบหน้าที่ใช้แขนกลสามารถระบุและติดตามใบหน้าของเป้าหมายอย่างแม่นยำและเป็นระบบที่น่าเชื่อถือในการใช้งานจริงในอนาคต

3.2 การพัฒนาและปรับปรุงระบบการติดตามใบหน้าด้วยแขนกลจะเป็นที่ต้องการในอนาคต สมมติฐานนี้เสนอว่ามีความสำคัญและความต้องการในการพัฒนาระบบการติดตามใบหน้าที่ใช้แขนกลอย่างต่อเนื่อง โดยการปรับปรุงเทคโนโลยีและความสามารถของระบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพและการใช้งานที่เหมาะสมกับระบบอาวุธที่ใช้กล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมาย

3.3 การพัฒนาระบบอาวุธที่ใช้กล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายจะมีผลกระทบในด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการดำเนินงานทางทหาร สมมติฐานนี้เสนอว่าการพัฒนาระบบอาวุธที่สามารถตรวจจับและติดตามเป้าหมายด้วยกล้องจะมีผลกระทบในด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการดำเนินงานทางทหารเนื่องจากมีความสามารถในการระบุและติดตามเป้าหมายในระยะเวลาที่เร็วและแม่นยำ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการดำเนินงานทางทหาร

4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 สามารถควบคุมแขนกลอัตโนมัติประกอบกับกล้องเว็บแคมในการติดตามใบหน้าบุคคลได้ในสภาวะแสงปกติ

4.2 ตรวจจับใบหน้าบุคคลด้วยอัลกอริทึมที่แตกต่างกันจำนวน 4 อัลกอริทึม ประกอบด้วย 1) Viola-Jones Algorithm 2) Dlib Library 3) Convolutional Neural Networks (CNN) และ 4) Multi-task Cascaded Convolutional Networks

4.3 วัดประสิทธิภาพด้วยเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนาย Confusion Matrix เพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการทำงาน อุปกรณ์ที่ใช้กล้องดิจิทัลขนาดไฟล์ภาพ 640 คูณ 480 อัตราเฟรม 50 เฟรมต่อวินาที ชุดข้อมูลรูปภาพทำการตรวจจับภาพใบหน้าจากสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่มีแสงสว่างเพียงพอ มีค่าความสว่างของแสงประมาณ 3500 lumen สามารถมองเห็นวัตถุและผู้คนในภาพได้อย่างถนัด สีสันของภาพสดใส ไม่ซีดจาง ภาพโดยรวมจะดูสว่างและสดใส จากภาพรวมทั้งหมด 1,000 ภาพ แบ่งเป็นตัวอย่างการฝึก 800 ภาพ และตัวอย่างทดสอบ 200 ภาพ ซึ่งจำนวนใบหน้าที่มีในแต่ละภาพ เช่น แต่ละภาพมีใบหน้าไม่เกิน 1 ใบหน้า และจำนวนพิกเซลของใบหน้าที่เล็กที่สุดที่ตรวจจับได้เท่ากับ 40,000 พิกเซล

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การเพิ่มความเข้าใจและความรู้ในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง การศึกษาและวิจัยระบบการติดตามใบหน้าด้วยแขนกลซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความเข้าใจและความรู้ในเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น เทคนิคการระบุตำแหน่ง การประมวลผลภาพ หรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้า ซึ่งอาจนำไปสู่การพัฒนาระบบอื่น ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีกล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายในอนาคต

ระบบการติดตามใบหน้าด้วยแขนกลดังกล่าวนี้ช่วยเสริมสร้างศักยภาพของวิทยาการและนักวิจัยในเชิงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางทหาร ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดนวัตกรรมและการพัฒนาที่สำคัญในการปรับใช้เทคโนโลยีที่ใช้กล้องในการตรวจจับและติดตามเป้าหมายในสถานการณ์ทางทหาร

6. วิธีดำเนินการศึกษา

ในส่วนของการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์จะทำการประกอบแขนกลกับฐานและเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคม จัดเตรียมโปรแกรมเพื่อเตรียมใช้งานตามหัวข้อย่อย ดังนี้

6.1 วัสดุอุปกรณ์

- 6.1.1 Servo MG996R (180 องศา) เซอร์โวเฟืองเหล็กภายใน เฟืองวัสดุผสมกึ่งโลหะ จำนวน 2 ตัว
- 6.1.2 Arduino UNO R3
- 6.1.3 กล้อง WEBCAM LOGITECH (C922)
- 6.1.4 แท่นยึดเซอร์โวมอเตอร์และกล้องเว็บแคม



รูปที่ 1 อุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจจับและติดตามใบหน้า

6.2 ขั้นตอนวิธีการวิจัย

- 6.2.1 เริ่มจากการกำหนดปัญหา นำเสนอในหัวข้อ 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- 6.2.2 การทบทวนวรรณกรรม

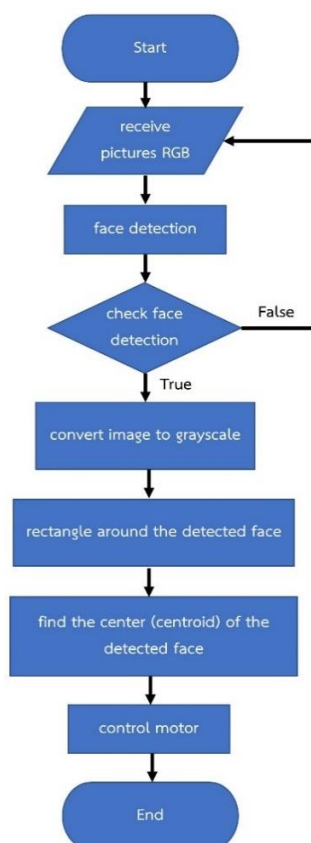
การตรวจจับใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลมีประวัติความเป็นมายาวนานกว่า 50 ปี โดยเริ่มต้นขึ้นในช่วงทศวรรษ 1960 เมื่อเทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัลเริ่มพัฒนาขึ้น ในช่วงแรก ๆ การตรวจจับใบหน้าเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแบบดั้งเดิม เช่น การเปรียบเทียบลักษณะทางเรขาคณิตของใบหน้า เช่น ตำแหน่งของดวงตา จมูก ปาก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เทคนิคเหล่านี้มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากใบหน้าของมนุษย์มีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ทั้งในด้านรูปร่าง ลักษณะ และการแสดงอารมณ์ ในช่วง

ทศวรรษ 1980 ได้มีการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับใบหน้าที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาศัยหลักการของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เทคนิคเหล่านี้สามารถเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของใบหน้าแต่ละบุคคลจากข้อมูลตัวอย่างที่ให้มา ทำให้สามารถตรวจจับใบหน้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น ในช่วงทศวรรษ 1990 ได้มีการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับใบหน้าแบบเรียลไทม์ (Real-time Face Detection) เทคนิคเหล่านี้สามารถตรวจจับใบหน้าได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในระบบต่าง ๆ เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบจดจำใบหน้า เป็นต้น ในปัจจุบัน การตรวจจับใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยเทคนิคใหม่ๆ เช่น การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ทำให้สามารถตรวจจับใบหน้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น และสามารถตรวจจับใบหน้าจากกระยะไกล หรือจากภาพที่มีความละเอียดต่ำได้อีกด้วย สำหรับงานวิจัยที่ใช้เทคนิคในการตรวจจับใบหน้าที่น่าสนใจพอสังเขป ดังนี้ Viola และ Jones ในปี 2004 [16] ได้ศึกษาเทคนิคนี้ใช้หลักการของการเรียนรู้ของเครื่องในการจำแนกใบหน้า โดยแบ่งใบหน้าออกเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วเปรียบเทียบลักษณะของส่วนย่อยเหล่านั้นกับใบหน้าในฐานข้อมูล การพัฒนาการของการตรวจจับใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำมาใช้ในระบบต่าง ๆ ได้อย่างแพร่หลาย Ahonen, T. และคณะ [17] ได้เสนอเทคนิคการตรวจจับใบหน้าโดยใช้ลักษณะเฉพาะของใบหน้าที่เรียกว่า Local Binary Patterns (LBP) เทคนิคนี้ใช้หลักการของการทำแผนที่ภาพเป็นชุดของค่าบิต ซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกใบหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำมาใช้ในระบบต่าง ๆ ได้อย่างแพร่หลาย เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบจดจำใบหน้า Agarwal, A. [18] ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับใบหน้าด้วยไลบรารี Dlib Library เพื่อตรวจจับใบหน้าในสภาพแวดล้อมที่ท้าทาย เช่น สภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อย สภาพแวดล้อมที่มีวัตถุรบกวน เป็นต้น บทความวารสารเล่มนี้นำเสนอเทคนิคการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการตรวจจับใบหน้าด้วยไลบรารี Dlib Library หลายเทคนิค เช่น การใช้เทคนิคการประมวลผลภาพขั้นสูง การใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง Sawhney, S. และคณะ[19] ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับใบหน้าแบบใหม่โดยใช้ไลบรารี Dlib Library และเทคนิค Adaptive Thresholding วิธีการตรวจจับใบหน้าแบบใหม่นี้สามารถตรวจจับใบหน้าในสภาพแวดล้อมที่มีแสงน้อยและสภาพแวดล้อมที่มีวัตถุรบกวนได้ดี Ren, S.และคณะ[20] นำเสนออัลกอริทึม Faster R-CNN ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุแบบหลายภาพ (Multi-stage Detector) ที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบลึก (Deep Learning) อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพสูงและทำงานได้รวดเร็ว Redmon, J. และคณะ [21] นำเสนออัลกอริทึม YOLO ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุแบบหนึ่งภาพ (One-stage Detector) ที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบลึก (Deep Learning) อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพสูงและทำงานได้รวดเร็ว Liu, W. คณะ [22] นำเสนออัลกอริทึม SSD ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุแบบหนึ่งภาพ (One-stage Detector) ที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบลึก (Deep Learning) อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพสูงและทำงานได้รวดเร็ว ในอนาคต การตรวจจับใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลจะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยคาดว่าจะสามารถตรวจจับใบหน้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น และสามารถประยุกต์ใช้งานในสาขาใหม่ ๆ มากขึ้น พิศณุ ค. [23] ได้เสนอการตรวจจับใบหน้าบุคคลโดยใช้โมเดล YOLOv4 และเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ที่ใช้ในงานวิจัยตรวจจับใบหน้า โดยใช้ชุดข้อมูลรูปภาพจำนวนมากจาก 3 สถานะแวดล้อมที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ ภายในอาคารที่มีแสงน้อย น้อยกว่า 3500 lumen, ภายในอาคารที่มีแสงสว่างเพียงพอประมาณ 3500 lumen และภายนอกอาคารในช่วงเวลาปกติที่มีแสงสว่างผลการทดลองพบว่า YOLOv4 เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าบุคคลที่ดีที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้มีข้อดี คือ ใช้ YOLOv4 ในการตรวจจับใบหน้า ทำให้ผลการทดลองดีกว่างานวิจัยอื่น ๆ

6.2.3 การออกแบบการวิจัย

การตรวจจับใบหน้า จะเริ่มจากการรับภาพจากกล้องต่อจากนั้นจะทำการแปลงภาพ RGB เป็นภาพ Gray Scale เพื่อลดขนาดข้อมูลและสะดวกในการประมวลผล ลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์ และลดอิทธิพลจากแสง ในส่วนของการตรวจจับใบหน้าจะทำการคำนวณหาจุดเซ็นทรอยด์ และส่งค่า X และ Y ไปยังส่งค่าจุดเซ็นทรอยด์ X และ Y ไปที่ Arduino ในการขับแขนกลมีขั้นตอนการปฏิบัติสำคัญตามรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงาน

6.2.3.1 การรับภาพ (RGB) ภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัยต้องเป็นนามสกุล jpg/png ที่มีขนาดภาพในตอนแรกขนาด $1,478 \times 1,108$ พิกเซล ภาพมีลักษณะเป็นตัวบุคคลที่สามารถมองเห็นใบหน้าได้ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจจับใบหน้าที่แสดงดังรูปที่ 3



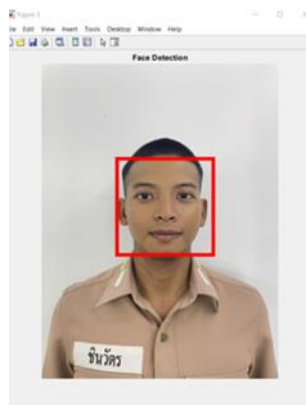
รูปที่ 3 ภาพ (RGB)

6.2.3.2 การปรับภาพเป็นภาพสีเทา (Gray Scale) ดังแสดงดังรูปที่ 4



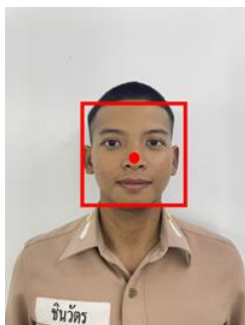
รูปที่ 4 ภาพสีเทา (Gray Scale)

6.2.3.3 ตรวจสอบใบหน้า (Face Detection) และการสร้าง (Bounding Box) คลุมรอบใบหน้า เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการระบุใบหน้าในภาพหรือวิดีโอ โดยใช้เทคนิคการต่าง ๆ ดังแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ภาพสีเทา (Gray Scale)

6.2.3.4 การหาจุดเซ็นทรอยด์ของภาพ กระบวนการหาจุดศูนย์กลางหรือจุดที่มีค่าเฉลี่ยของพิกเซลในภาพ โดยจุดเซ็นทรอยด์เป็นจุดที่มีค่าเฉลี่ยของค่าพิกเซลในแนวแกน X และแกน Y ของภาพดังแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงจุดเซ็นทรอยด์

ในขั้นตอนนี้จะมีการนำค่า x และ y จากภาพมาแปลงให้เป็นค่ามุมของเซอร์โวมอเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (1)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (1)$$

โดยที่ θ คือ มุมองศา

x คือ ค่าที่ได้จากการหาจุดเซ็นทรอยด์จากภาพใบหน้า

y คือ ค่าที่ได้จากการหาจุดเซ็นทรอยด์จากภาพใบหน้า

การคำนวณค่าอะซิมุท (Azimuth) ของเส้นวงรอบ เริ่มจากเส้นที่ทราบค่าอะซิมุทเส้นแรกออกจากสูตร

$$az \text{ ใหม่} = Az \text{ ฐาน} + \text{มุม} \pm 180^\circ \quad (2)$$

+ 180 เมื่อผลรวมน้อยกว่า 180°

- 180 เมื่อผลรวมมากกว่า 180°

6.2.3.5 ส่งค่าจุดเซ็นทรอยด์ ค่า x และ y จะถูกส่งไปที่ Arduino โดยใช้สื่อสารทางซีเรียล (Serial Communication) เพื่อส่งค่าจุดเซ็นทรอยด์ x และ y จากคอมพิวเตอร์ไปยัง Arduino โปรแกรมบน Arduino จะรับค่าจากคอมพิวเตอร์ผ่านการสื่อสารซีเรียล และนำค่า x และ y ไปใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ถูกควบคุมและคำนวณค่า x และ y ให้เหมาะสม แขนกลจะหมุนหรือเคลื่อนที่เพื่อชี้ไปที่จุดเซ็นทรอยด์ที่ส่งมาจากการตรวจจับใบหน้าที่แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทำงานของแขนกล

6.2.3.6 ทดสอบการควบคุมแขนกลอัตโนมัติประกอบกับกล้องเว็บแคม

6.2.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าบุคคล ด้วยค่า Confusion Matrix [24] สามารถทำได้โดยพิจารณาจากค่า Precision, Recall และ F1 Score ดังนี้

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (4)$$

$$F1 \text{ score} = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (5)$$

โดยที่

TP คือ จำนวนตัวอย่างที่จำแนกถูกต้องในกลุ่มตัวอย่างที่คาดว่าจะใบหน้า (True Positive)

FP คือ จำนวนตัวอย่างที่จำแนกผิดพลาดในกลุ่มตัวอย่างที่คาดว่าจะใบหน้า (False Positive)

FN คือ จำนวนตัวอย่างที่จำแนกผิดพลาดในกลุ่มตัวอย่างที่แท้จริงเป็นใบหน้า (False Negative)

Recall คือ อัตราส่วนของตัวอย่างที่จำแนกถูกต้องในกลุ่มตัวอย่างที่แท้จริงเป็นใบหน้า (True Positive) ทั้งหมด

Precision คือ อัตราส่วนของตัวอย่างที่จำแนกถูกต้องในกลุ่มตัวอย่างที่คาดว่าจะใบหน้า (True Positive) ทั้งหมด

F1 Score คือ ค่าเฉลี่ยแบบ Harmonic ของ Precision และ Recall

7. ผลการศึกษา

ระบบแขนงที่ใช้การตรวจจับใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลในการทดลองนี้ได้ทดสอบใช้อัลกอริทึมทั้งหมด 4 ตัว คือ Viola-Jones Algorithm, Dlib Library, Convolutional Neural Networks (CNN) และ Multi-task Cascaded Convolutional Networks (MTCNN) เพื่อตรวจจับใบหน้าบุคคลในภาพ ซึ่งเหตุผลที่เลือกใช้หลักการตรวจจับใบหน้าแทนที่ หลักการรู้จำใบหน้าเนื่องจากว่าในงานวิจัยนี้ต้องการติดตามใบหน้าไม่ได้ต้องการรู้จำใบหน้า ผลการวัดประสิทธิภาพด้วย Confusion Matrix แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม (CNN) มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยมีค่า Precision ที่ 0.95, Recall ที่ 0.92, และ F1 score ที่ 0.93 สรุปว่าอัลกอริทึม (CNN) เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าบุคคลที่ดีที่สุด และมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าบุคคล

Algorithm	Precision	Recall	F1 score	Accuracy (%)
Viola-Jones	0.85	0.78	0.81	85
Dlib library	0.92	0.85	0.88	92
CNN	0.95	0.92	0.93	95
MTCNN	0.93	0.91	0.92	93

จากผลของประสิทธิภาพอัลกอริทึม (CNN) นี้จากภาพรวมทั้งหมด 1,000 ภาพ แบ่งเป็นตัวอย่างการฝึก 800 ภาพ และตัวอย่างทดสอบ 200 ภาพ และต้องการหาประสิทธิภาพของการจำแนก พบว่ามีจำนวนรูปภาพที่ถูกจำแนกถูกต้อง (True Positive) จำนวน 184 ภาพ มีจำนวนรูปภาพที่ถูกจำแนกผิด (False Positive) จำนวน 4 ภาพ ใบหน้าที่จริงมี แต่ตรวจจับไม่ถูกต้อง FN (False Negative) จำนวน 16 ภาพ และใบหน้าที่จริงไม่มี และตรวจจับไม่ถูกต้อง TN (True Negative) จำนวน 18 ภาพ ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบ

	Predicted True (Positive)	Predicted False (Negative)
True (Positive)	True Positive (TP) = 184	False Negative (FN) = 16
False (Negative)	False Positive (FP) = 4	True Negative (TN) = 18

การทดสอบแขนงรวมกับการทำงานของกล้องเว็บแคมในการตรวจจับและติดตามภาพใบหน้าโดยใช้ CNN โดยมีผลการทดลองในการตรวจจับภาพใบหน้าในมุม 45° และ 135° เพราะ 2 มุมนี้ให้ความแตกต่างของใบหน้ามากที่สุด ตามตารางที่ 3 MTCNN ตามตารางที่ 4 Dlib Library ตามตารางที่ 5 และ Viola-Jones ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 3 การตรวจจับและติดตามภาพใบหน้าโดยใช้ CNN ในมุม 45° และ 135° มุมละ 10 ครั้งรวมทั้งหมด 20 ครั้ง

ครั้งที่	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน x	ตรวจจับไม่ได้ แกน x	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน y	ตรวจจับไม่ได้ แกน y
1	✓			✓
2	✓		✓	
3		✓	✓	
4		✓	✓	
5	✓			✓
6	✓		✓	
7	✓		✓	
8	✓			✓
9	✓		✓	
10	✓		✓	
11		✓	✓	
12	✓		✓	
13		✓	✓	
14	✓		✓	
15	✓		✓	
16	✓		✓	
17	✓		✓	
18	✓		✓	
19	✓		✓	
20	✓		✓	
รวม	16	4	17	3

ตารางที่ 4 การตรวจจับและติดตามภาพใบหน้าโดยใช้ MTCNN ในมุม 45° และ 135° มุมละ 10 ครั้งรวมทั้งหมด 20 ครั้ง

ครั้งที่	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน x	ตรวจจับไม่ได้ แกน x	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน y	ตรวจจับไม่ได้ แกน y
1	✓		✓	
2	✓		✓	
3	✓			✓
4	✓		✓	
5		✓	✓	
6	✓		✓	
7	✓			✓
8	✓		✓	
9	✓		✓	
10	✓		✓	
11		✓		✓
12		✓	✓	
13	✓		✓	
14	✓			✓
15		✓	✓	
16	✓		✓	
17	✓			✓
18	✓		✓	
19	✓		✓	
20		✓	✓	
รวม	15	5	15	5

ตารางที่ 5 การตรวจจับและติดตามภาพใบหน้าโดยใช้ Dlib Library ในมุม 45° และ 135° มุมละ 10 ครั้งรวมทั้งหมด 20 ครั้ง

ครั้งที่	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน x	ตรวจจับไม่ได้ แกน x	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน y	ตรวจจับไม่ได้ แกน y
1	✓		✓	
2	✓		✓	
3		✓		✓
4		✓	✓	
5		✓		✓
6	✓		✓	
7	✓		✓	
8	✓			✓
9		✓	✓	
10	✓		✓	
11		✓		✓
12	✓			✓
13		✓	✓	
14	✓		✓	
15		✓		✓
16	✓		✓	
17	✓		✓	
18	✓		✓	
19	✓		✓	
20	✓		✓	
รวม	13	7	14	6

ตารางที่ 6 การตรวจจับและติดตามภาพใบหน้าโดยใช้ Viola-Jones ในมุม 45° และ 135° มุมละ 10 ครั้งรวมทั้งหมด 20 ครั้ง

ครั้งที่	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน x	ตรวจจับไม่ได้ แกน x	ตรวจจับได้ติดตามได้ แกน y	ตรวจจับไม่ได้ แกน y
1	✓			✓
2		✓	✓	
3		✓		✓
4	✓		✓	
5		✓		✓
6	✓		✓	
7		✓		✓
8	✓			✓
9	✓		✓	
10		✓	✓	
11		✓		✓
12	✓		✓	
13		✓	✓	
14	✓			✓
15	✓			✓
16		✓		✓
17	✓		✓	
18		✓	✓	
19	✓			✓
20		✓		✓
รวม	10	10	9	11

จากตารางที่ 2 การทำงานของระบบแขนกลร่วมกับการทำงานของกล้องเว็บแคมสามารถตรวจจับและติดตามใบหน้าได้ร้อยละ 82.5

8. สรุปและอภิปรายผล

8.1 สรุปผล

จากผลการทดลองพบว่าอัลกอริทึม CNN มีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าบุคคลที่ดีที่สุด โดยมีค่า Precision ที่ 0.95, Recall ที่ 0.92 และ F1 score ที่ 0.93 ซึ่งหมายความว่าอัลกอริทึมนี้สามารถระบุและติดตามใบหน้าของบุคคลในภาพได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้

การตรวจจับและติดตามใบหน้าด้วยอัลกอริทึม CNN ในสภาวะมุมการมอง 45° และ 135° สามารถทำได้ด้วยความแม่นยำร้อยละ 82.5 ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพสูงในการทำงานนี้ การที่ระบบสามารถทำงานในสภาวะการหมุนแขนกล เป็นการทดสอบที่สำคัญและแสดงถึงความคล่องตัวของระบบในการรับมือกับสภาวะที่ภาพถูกหมุนหรือมีการเปลี่ยนแปลงมุมการมอง การทดสอบนี้อาจขึ้นอยู่กับการสร้างและปรับแต่งโมเดล CNN และการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการฝึกโมเดลอย่างเหมาะสม

8.2 อภิปรายผล

8.2.1 ผลการทดลองในการตรวจจับใบหน้าด้วยอัลกอริทึมต่าง ๆ

Viola-Jones Algorithm มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการตรวจจับใบหน้าในงานวิจัยนี้ มีความแม่นยำที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ ดังนั้นอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในสถานการณ์ที่ต้องการความแม่นยำสูง

Dlib Library มีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าที่ดีกว่า Viola-Jones Algorithm แต่ยังมี ความแม่นยำที่ไม่ได้สูงมาก เป็นอัลกอริทึมที่น่าพิจารณาในกรณีที่ต้องการความแม่นยำค่อนข้างสูงแต่ไม่จำเป็นต้องมีความเร็วสูงมาก

Convolutional Neural Networks (CNN) เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับ ใบหน้ามากที่สุดในงานวิจัยนี้ มีค่า Precision ที่ 0.95, Recall ที่ 0.92 และ F1 score ที่ 0.93 ทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับงานตรวจจับและติดตามใบหน้าในสถานการณ์ที่ต้องการความแม่นยำสูง

Multi-task Cascaded Convolutional Networks (MTCNN) เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ ในการตรวจจับใบหน้า แต่ค่า Precision, Recall, และ F1 score ของ CNN ยังมีความสูงกว่า

8.2.2 การทำงานในการติดตามใบหน้าในมุมหมุน 45° และ 135°

ระบบสามารถทำงานในการติดตามใบหน้าในมุมหมุน 45° และ 135° ได้ถึงร้อยละ 80 ความสำเร็จนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับและติดตามใบหน้าในสภาวะที่ท้าทาย เช่น เมื่อมีการหมุนแขนกลอย่างมาก

8.3 ข้อเสนอแนะ

8.3.1 เพิ่มการทดสอบและเปรียบเทียบอัลกอริทึมเพิ่มเติม งานวิจัยนี้เลือกใช้อัลกอริทึม Viola-Jones Algorithm, Dlib Library, Convolutional Neural Networks (CNN), และ Multi-task Cascaded Convolutional Networks (MTCNN) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้า อาจมีการเพิ่มอัลกอริทึมอื่น ๆ เพื่อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวอัลกอริทึมเพิ่มเติม ที่มีการพัฒาล่าสุดในสาขาด้านการตรวจจับใบหน้า

นอกจากนี้ ควรทำการทดลองในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน เช่น แสงสว่างต่าง ๆ มุมมองที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพในสถานการณ์ที่สับสนขึ้นตอนมากขึ้น

8.3.2 พัฒนาระบบควบคุมและการติดตามให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการใช้ระบบแขนกลอาคูโนในการขยับแขนกลเพื่อชี้เป้าหมาย อย่างไรก็ตาม สามารถพิจารณาการพัฒนาระบบควบคุมและการติดตามที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อให้สามารถทำงานในสถานการณ์และตัวแปรที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การปรับขนาดหรือมุมมองของใบหน้าในการตรวจจับ การติดตามใบหน้าในระยะเวลาที่ยาวขึ้น หรือการจับใบหน้าในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน ซึ่งอาจเป็นที่พัฒนาเพิ่มเติมในงานวิจัยต่อไป

9. องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้รับองค์ความรู้ที่สำคัญเกี่ยวกับการตรวจจับใบหน้าและการติดตามใบหน้าด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่

9.1 การนำเสนอเทคโนโลยีการตรวจจับและติดตามใบหน้า

การทดลองนี้ช่วยนำเสนอว่าเทคโนโลยีการตรวจจับและติดตามใบหน้าโดยใช้อัลกอริทึม CNN ร่วมกับกล้องเว็บแคมและระบบแขนกลสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์ที่มีการหมุนแขนกล ซึ่งเป็นความรู้ที่มีความสำคัญในการพัฒนาระบบที่ใช้ในการติดตามและระบุใบหน้าในสถานที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงมุมอง

9.2 ความสำเร็จของอัลกอริทึม CNN

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม CNN มีประสิทธิภาพในการตรวจจับและติดตามใบหน้าของบุคคล ซึ่งเป็นความรู้ที่สำคัญสำหรับพัฒนาและปรับปรุงระบบตรวจจับและติดตามใบหน้าในอนาคต

9.3 การประยุกต์ใช้ในหลายสาขาอุตสาหกรรม

การทดลองระบบนี้เน้นถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการตรวจจับและติดตามใบหน้าในหลายสาขาอุตสาหกรรม เช่น การรักษาความปลอดภัยในระบบประตูอัจฉริยะ การติดตามบุคคลในสถานที่สาธารณะ และการจำแนกประเภทลูกค้าในธุรกิจห้างสรรพสินค้า นี่เป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงแอปพลิเคชันหรือระบบที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

9.4 การปรับใช้ในทางทหาร

การเน้นถึงการนำระบบนี้ไปใช้ในทางทหารเมื่อมุมมองเปลี่ยนไปจากการตรวจจับใบหน้าเป็นการจุดเป้าหมายทางทหาร ระบบนี้สามารถพัฒนาเป็นระบบควบคุมการยิงได้ โดยนำระบบตรวจจับใบหน้ามาใช้เป็นอาวุธที่มีประสิทธิภาพในการติดตามและชี้เป้าหมายได้อย่างถูกต้อง และยังสามารถเอางานวิจัยนี้ไปต่อยอดทางการทหารโดยการหาเป้าหมายเพื่อการตรวจจับและติดตาม

จากการศึกษานี้ได้รับความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับใบหน้าและการติดตาม และสามารถเลือกใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมในงานและสถานการณ์ที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Smith J, Johnson A. Robotic Arm Control for Shooting: Design and Implementation. *Int J Robot Autom.* 2020;15(2):45-62.
- [2] Brown R, Lee C. Face Tracking using Digital Image Processing: A Review of Algorithms and Applications. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).* 2018:275-90.
- [3] Li H, Zhang L, Chen Y. Performance Evaluation of Face Detection Algorithms: A Comparative Study. *J Image Process Comput Vis.* 2019;27(3):112-30.
- [4] Johnson M, Davis R. Advanced Image Processing Techniques for Face Recognition and Tracking in Robotic Systems. *IEEE Trans Robot.* 2017;33(5):789-804.
- [5] Gonzalez R, Woods R, Eddins S. *Digital Image Processing.* Pearson Education; 2018.
- [6] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *CVPR 2001: In Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition.* 2001 Dec 8(1); Kauai, HI, USA. [place unknown]: IEEE; 2001. p. I-I.
- [7] King DE. Dlib-ml: A machine learning toolkit. *J Mach Learn Res [Internet].* 2009;10:1755-8. Available from: <https://jmlr.org/papers/volume10/king09a/king09a.pdf>
- [8] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Adv Neural Inf Process Syst [Internet].* 2012;25:1097-1105. Available from: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf
- [9] Zhang K, Zhang Z, Li Z, Qiao Y. Joint face detection and alignment using multi-task cascaded convolutional networks. *IEEE Signal Processing Letters [Internet].* 2016;23(10):1499-1503. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1604.02878>
- [10] National Institute of Standards and Technology (NIST). Face Recognition Vendor Test (FRVT) Part 3: Demographic Effects. NIST Interagency Report (NISTIR) 8280. 2019. Available from: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2019/nist.ir.8280.pdf>
- [11] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *CVPR 2001: In Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition.* 2001 Dec 8(1); Kauai, HI, USA. [place unknown]: IEEE; 2001. p. I-I.
- [12] King DE. Dlib-ml: A machine learning toolkit. *J Mach Learn Res [Internet].* 2009;10:1755-8. Available from: <https://jmlr.org/papers/volume10/king09a/king09a.pdf>

- [13] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Adv Neural Inf Process Syst* [Internet]. 2012;25:1097-1105. Available from: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2012/file/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Paper.pdf
- [14] Zhang K, Zhang Z, Li Z, Qiao Y. Joint face detection and alignment using multi-task cascaded convolutional networks. *IEEE Signal Processing Letters* [Internet]. 2016;23(10):1499-1503. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1604.02878>
- [15] พิศณุ คูมีชัย. การจำแนกและการติดตามเรือผิวน้ำด้วยระบบอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นายเรืออากาศ (NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY). ก.ค. – ธ.ค. 2566;19(2):9–22.
- [16] Viola P, Jones MJ. Robust real-time face detection. *International journal of computer vision* [Internet]. 2004 May;57:137-54. Available from: <https://www.face-rec.org/algorithms/Boosting-Ensemble/16981346.pdf>
- [17] Ahonen T, Hadid A, Pietikäinen M. Face recognition with local binary patterns. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* [Internet]. 2006;28(12):2037-41. Available from: https://www.researchgate.net/publication/221304831_Face_Recognition_with_Local_Binary_Patterns
- [18] Agarwal A, Agrawal A. Robust face detection in challenging conditions using dlib library. *Int J Comput Appl*. 2019;160(1):26-32.
- [19] Sawhney S, Singh M, Gupta V. Face detection using dlib library and adaptive thresholding. 2019 International Conference on Intelligent Systems, Signal Processing and Applications (ISSPA). IEEE; 2019. p. 1-6.
- [20] Ren S, He K, Girshick R, Sun J. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in neural information processing systems* [Internet]. 2015;28. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1506.01497>
- [21] Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 779-88.
- [22] Liu W, Anguelov D, Erhan D, Szegedy C, Reed S, Fu CY, Berg AC. Ssd: Single shot multibox detector. In *Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference; 2016 October 11–14; Netherlands, Amsterdam*. [place unknown]: Springer International Publishing; 2016. p. 21-37.
- [23] พิศณุ คูมีชัย. การตรวจจับใบหน้าบุคคลจาก 3 สภาวะแวดล้อมด้วย YOLOv4. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (THAI SCIENCE AND TECHNOLOGY JOURNAL). มี.ค – เม.ย. 2567;32(2):99-114.
- [24] Wang J, Wang L. Face Recognition: A Survey. *IEEE Trans Syst Man Cybern C Appl Rev*. 2013;43(3):401-22.