

การวิเคราะห์วิดีโอโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อนับจำนวนคนและ
การรับรู้ความสนใจจากการติดตามสายตา

VIDEO ANALYTICS USING DEEP LEARNING
FOR CROWD COUNTING AND ATTENTION AWARENESS
FROM EYE TRACKING

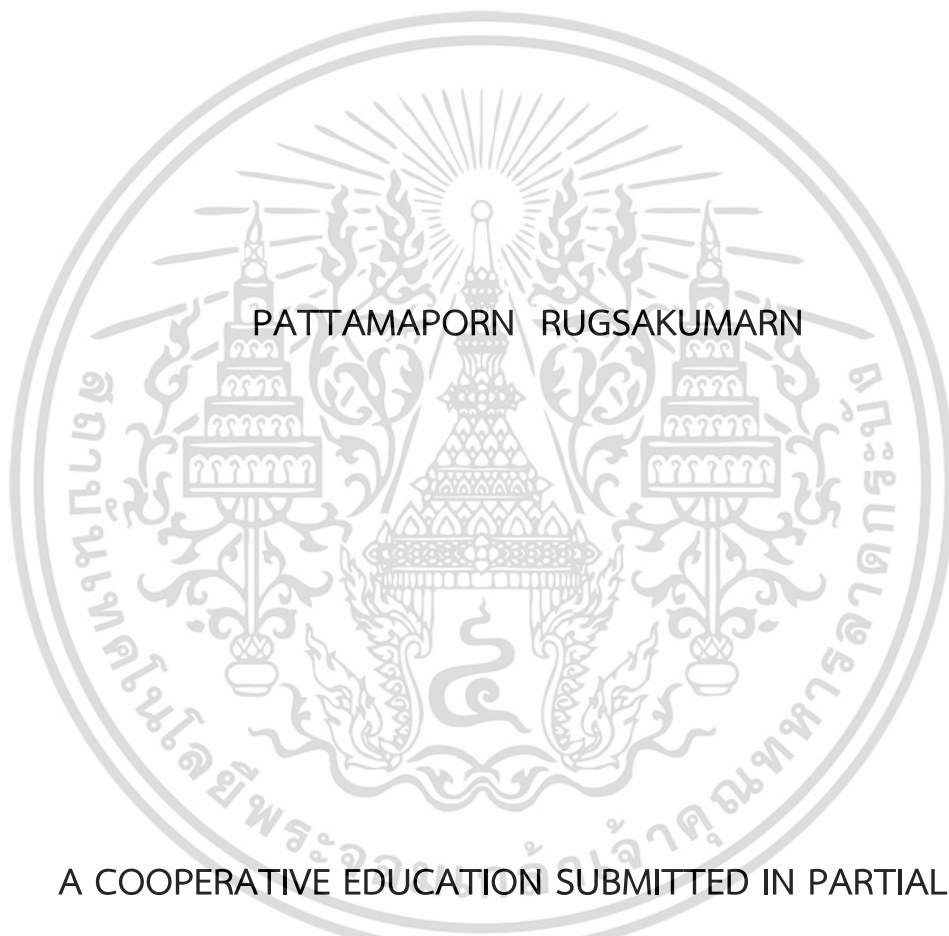


สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIDEO ANALYTICS USING DEEP LEARNING
FOR CROWD COUNTING AND ATTENTION AWARENESS
FROM EYE TRACKING



PATTAMAPORN RUGSAKUMARN

A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED STATISTICS)
DEPARTMENT OF STATISTICS, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การวิเคราะห์วิดีโอโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อนับจำนวนคนและ
การรับรู้ความสนใจจากการติดตามสายตา

VIDEO ANALYTICS USING DEEP LEARNING FOR CROWD
COUNTING AND ATTENTION AWARENESS FROM EYE
TRACKING

ชื่อนักศึกษา

นางสาวปัทมพร รักษา कुमार รหัสนักศึกษา 62050798

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถิติประยุกต์)

ภาควิชา

สถิติ

ปีการศึกษา

2565

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2565

| | |
|--|----------------------|
| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
| ดร.สกุณา ศรีอินมัย ประธานกรรมการ | สกุณา |
| คุณวิศิษฐ์ กิจชัยนุกูล กรรมการ | วิศิษฐ์ |
| ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา | พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|------------------|--|
| หัวข้อสหกิจศึกษา | การวิเคราะห์วิดีโอโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อนับจำนวนคนและการรับรู้ความสนใจจากการติดตามสายตา VIDEO ANALYTICS USING DEEP LEARNING FOR CROWD COUNTING AND ATTENTION AWARENESS FROM EYE TRACKING |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวปัทมพร รักษา कुमार รหัสนักศึกษา 62050798 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถิติประยุกต์) |
| ภาควิชา | สถิติ |
| ปีการศึกษา | 2565 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง YOLOv8 สำหรับการตรวจจับและนับจำนวนคนที่อยู่ในบริเวณที่กล้องบันทึก โดยทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน และไม่ได้รับการฝึกสอน เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพในเบื้องต้นของแบบจำลองสำหรับการตรวจจับและนับจำนวนคนในแต่ละเฟรมในมุมมองที่แตกต่างกัน ได้แก่ มุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา เมื่อทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ในทั้ง 2 มุมมอง โดยแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนในมุมมองระดับเหนือศีรษะ มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ ค่าเฉลี่ยความเที่ยง และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 81, 78.89, 79.11 และ 79 ตามลำดับ และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนในมุมมองระดับสายตา มีค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ ค่าเฉลี่ยความเที่ยง และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 78, 77.82, 70.12 และ 73.75 ตามลำดับ โดยรวมแล้ว ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้รับการฝึกสอนอยู่ในระดับดี บ่งชี้ให้เห็นว่า การฝึกสอนแบบจำลองเป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง และ ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier สำหรับการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่มีความสนใจป้ายโฆษณาดิจิทัลภายในระยะเวลาตั้งแต่ 5 วินาทีขึ้นไป โดยชุดข้อมูลทดสอบคือวิดีโอจำนวน 20 วิดีโอ ที่มีเงื่อนไขที่

เอกสารนี้แตกต่างกันในเรื่องของระยะห่างจากตัวกล้อง พื้นหลัง และองศาของใบหน้าหรือดวงตา ผลการวิจัยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า แบบจำลองมีค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 50, 30, 23.61 และ 26.42 ตามลำดับ โดยผลการศึกษานี้เป็นการประเมินความสามารถของแบบจำลองในเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้เป็นหนึ่งในแนวทางการพัฒนาการตรวจจับความสนใจป้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป

คำสำคัญ : ป้ายโฆษณาดิจิทัล, การตรวจจับวัตถุ, การติดตามวัตถุ, การเรียนรู้เชิงลึก, แบบจำลองโวลล์ เวอร์ชัน 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|--|
| Title | Video Analytics Using Deep Learning for Crowd Counting and Attention Awareness from Eye Tracking |
| Student | Miss Pattamaporn Rugsakumarn Student ID 62050798 |
| Degree | Bachelor of Science (Applied Statistics) |
| Department | Statistics |
| School | Science |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) |
| Academic Year | 2022 |
| Advisor | Asst. Prof. Dr. Pornpimol Chaiwuttisak |

Abstract

The objectives of this research are to apply the YOLOv8 model to detect and count the number of people in an area recorded by a camera, to compare the performance of the trained YOLOv8 model and an untrained version, and to assess their preliminary effectiveness in detecting and counting people from different perspectives, namely a bird's eye view and an eye-level view. The research findings indicate that the trained YOLOv8 model outperformed the untrained version in both perspectives. In the bird's eye view, the trained YOLOv8 model achieved an average accuracy, recall, precision, and F1-score of 81%, 78.89%, 79.11%, and 79%, respectively. In the eye-level view, the trained YOLOv8 model achieved an average accuracy, recall, precision, and F1-score of 78%, 77.82%, 70.12%, and 73.75%, respectively. Overall, the performance of the trained model was relatively good, suggesting that model training significantly improves its effectiveness. Additionally, the research applied the Haar Cascade Classifier model to detect eye regions and count the number of people interested in digital advertisements within a time frame of at least 5 seconds. The test dataset consisted of 20 videos with varying conditions, such as camera distance, background, and facial or eye angles. The findings revealed that the model achieved accuracy, recall, precision, and F1-score of 50%, 30%, 23.61%, and 26.42%, respectively. The

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

current study only involved a preliminary evaluation of the model's capabilities to be used as one of the techniques to develop digital billboard attention detection in the future.

Keywords : Digital Signage, Object Detection, Object Tracking, Deep Learning, YOLOv8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำสหกิจศึกษาเรื่อง “การวิเคราะห์วิดีโอโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อนับจำนวนคนและการรับรู้ความสนใจจากการติดตามสายตา” ในครั้งนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความเมตตากรุณา ความช่วยเหลือ การสนับสนุน และกำลังใจจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและตระหนักถึงพระคุณของท่านเสมอมา จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิสักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปรับปรุงและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดและเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนสหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบริษัทผลิตเครื่องดื่มแห่งหนึ่ง ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้เข้ามาฝึกงาน ได้ทำงานจริง ได้เรียนรู้ข้อมูลในเชิงลึก ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้และประสบการณ์การทำงานที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ ดร.สุกฤดา ศรีอินมัย ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบสหกิจศึกษา ที่เสียสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้สหกิจศึกษานี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณวิศิษฐ์ กิจชัยนุกูล ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ตลอดจนให้การดูแล ให้คำปรึกษา รวมถึงให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ เสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย เพื่อน ๆ และทุก ๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา จนสหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปัทมพร รักษา कुमार

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | จ |
| สารบัญ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญรูป | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 4 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 4 |
| 1.4 สมมติฐานการวิจัย | 4 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 5 |
| 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ | 5 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 7 |
| 2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการโฆษณา | 7 |
| 2.1.1 ป้ายโฆษณาดิจิทัล | 8 |
| 2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับความสนใจ | 9 |
| 2.3 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) | 10 |
| 2.4 โครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN) | 12 |
| 2.5 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) | 14 |
| 2.6 You only look once (YOLO) | 15 |

2.6.1 YOLOv8 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้ผู้อื่นไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.7 Haar Cascade Classifier | 19 |
| 2.8 การเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation)..... | 20 |
| 2.9 การติดตามวัตถุ (Object Tracking) | 21 |
| 2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง | 21 |
| 2.10.1 เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) | 21 |
| 2.10.2 Receiver Operating Characteristic Curve (ROC curve)..... | 24 |
| 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 25 |
| 2.11.1 การตรวจจับบุคคล โดยใช้แบบจำลอง YOLO | 25 |
| 2.11.2 การตรวจจับใบหน้าและดวงตา โดยใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier..... | 29 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 32 |
| 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย..... | 32 |
| 3.2 แบบแผนการวิจัย..... | 32 |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... | 32 |
| 3.3.1 ซอฟต์แวร์ (Software)..... | 32 |
| 3.3.2 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)..... | 33 |
| 3.4 ขั้นตอนในการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก | 33 |
| 3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 35 |
| 3.4.2 การจัดเตรียมข้อมูล | 36 |
| 3.4.3 การฝึกสอนแบบจำลอง | 40 |
| 3.4.4 การทดสอบแบบจำลอง..... | 43 |
| 3.4.5 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง..... | 51 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.5 ขั้นตอนในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... | 52 |
| 3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 54 |
| 3.5.2 การจัดเตรียมข้อมูล..... | 60 |
| 3.5.3 การทดสอบแบบจำลอง..... | 61 |
| 3.5.4 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง..... | 66 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... | 67 |
| 4.1 การตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก..... | 67 |
| 4.1.1 เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับ เหนือศีรษะ..... | 69 |
| 4.1.1.1 การทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบ ด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... | 69 |
| 4.1.1.2 การทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบ ด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... | 73 |
| 4.1.2 เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับ สายตา..... | 77 |
| 4.1.2.1 การทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบ ด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... | 77 |
| 4.1.2.2 การทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบ ด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... | 82 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้นี้

4.2 การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... 90

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------------|
| 4.3 การอภิปรายผล..... | 96 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 98 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 98 |
| 5.1.1 การตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก..... | 98 |
| 5.1.2 การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... | 99 |
| 5.2 ข้อจำกัด..... | 100 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 100 |
| 5.4 แนวทางที่จะศึกษาต่อในอนาคต..... | 101 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 102 |
| ภาคผนวก..... | 107 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|--|
| 2.1 | เกณฑ์ระดับการทำงานของแบบจำลอง เมื่อประเมินด้วยค่า AUC 25 |
| 2.2 | สรุปงานวิจัยที่มีการใช้แบบจำลอง YOLO เวอร์ชันต่าง ๆ สำหรับการตรวจจับบุคคล 28 |
| 2.3 | สรุปงานวิจัยที่มีการใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier ในการตรวจจับใบหน้าและดวงตา 31 |
| 3.1 | จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลอง..... 37 |
| 4.1 | จำนวนชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลอง 67 |
| 4.2 | ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 71 |
| 4.3 | ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 71 |
| 4.4 | การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 73 |
| 4.5 | ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ 75 |
| 4.6 | ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ 75 |
| 4.7 | การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 76 |
| 4.8 | เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ 77 |
| 4.9 | ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา 80 |
| 4.10 | ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา..... 80 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.11 การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา..... | 82 |
| 4.12 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา | 84 |
| 4.13 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา | 84 |
| 4.14 การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา..... | 86 |
| 4.15 เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... | 86 |
| 4.16 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ของแบบจำลองที่ใช้กับภาพในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... | 87 |
| 4.17 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ของแบบจำลองที่ใช้กับภาพในมุมมองระดับสายตา | 88 |
| 4.18 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา | 92 |
| 4.19 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการตรวจจับและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา | 93 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 1.1 | มูลค่าป้ายโฆษณาดิจิทัลทั่วโลก 2 |
| 2.1 | ตัวอย่างป้ายโฆษณาดิจิทัล 9 |
| 2.2 | ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม 11 |
| 2.3 | สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน 12 |
| 2.4 | กระบวนการในชั้นคอนโวลูชัน 13 |
| 2.5 | ตัวอย่างการทำ Max Pooling และ Average Pooling ขนาด 2x2 14 |
| 2.6 | วิวัฒนาการของ YOLO 15 |
| 2.7 | ภาพรวมของสถาปัตยกรรมแบบจำลอง YOLOv8 16 |
| 2.8 | โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLOv8 โดยละเอียด 17 |
| 2.9 | ตัวอย่าง Haar-like features ที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้า 20 |
| 2.10 | ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูล 20 |
| 2.11 | ตัวอย่างเมทริกซ์ความสัมพันธ์การจำแนกประเภทแบบหลายคลาส 22 |
| 2.12 | Receiver Operating Characteristic Curve (ROC curve) 24 |
| 3.1 | ขั้นตอนการดำเนินงาน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก 34 |
| 3.2 | ตัวอย่างภาพจากวิดีโอของชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา 35 |
| 3.3 | ตัวอย่างภาพจากวิดีโอของชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา 36 |
| 3.4 | ตัวอย่างเฟรมที่ทำการแบ่งจากวิดีโอของชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา 36 |
| 3.5 | ตัวอย่างเฟรมที่ทำการแบ่งจากวิดีโอของชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา 37 |
| 3.6 | ตัวอย่างการติดป้ายกำกับ 38 |

เอกสารนี้ 3.7 เอกสาร Blur ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น 39 คำ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.8 การ Flip..... | 39 |
| 3.9 การ Exposure..... | 40 |
| 3.10 ผลการฝึกสอนแบบจำลอง YOLOv8 | 42 |
| 3.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ในการตรวจจับบุคคล | 51 |
| 3.12 ตัวอย่างผลการนับจำนวนคนของแบบจำลอง..... | 51 |
| 3.13 ขั้นตอนการดำเนินงาน ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... | 53 |
| 3.14 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 1 | 54 |
| 3.15 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 2 | 55 |
| 3.16 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 3 | 55 |
| 3.17 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 4 | 56 |
| 3.18 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 5 | 57 |
| 3.19 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 6 | 57 |
| 3.20 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 7 | 58 |
| 3.21 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 8 | 59 |
| 3.22 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 9 | 59 |
| 3.23 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 10 | 60 |
| 3.24 ตัวอย่างการตัดวิดีโอ..... | 61 |
| 3.25 ตัวอย่างภาพป้ายโฆษณาดิจิทัล..... | 66 |
| 3.26 ตัวอย่างผลการตรวจจับใบหน้าและดวงตา..... | 66 |
| 4.1 ตัวอย่างผลการตรวจจับบุคคลของแบบจำลอง ที่ใช้กับชุดข้อมูลทดสอบในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... | 68 |
| 4.2 ตัวอย่างผลการตรวจจับบุคคลของแบบจำลอง ที่ใช้กับชุดข้อมูลทดสอบในมุมมองระดับสายตา..... | 68 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|---|
| 4.3 | เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 69 |
| 4.4 | เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ 70 |
| 4.5 | กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 72 |
| 4.6 | เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ 73 |
| 4.7 | เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ 74 |
| 4.8 | กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ..... 76 |
| 4.9 | เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา..... 78 |
| 4.10 | เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... 79 |
| 4.11 | กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... 81 |
| 4.12 | เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา 82 |
| 4.13 | เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... 83 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.14 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา..... | 85 |
| 4.15 ตัวอย่างบุคคลที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีกลมกลืนกับพื้นหลัง..... | 90 |
| 4.16 เมตริกซ์ความสับสนจากการทดสอบแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... | 91 |
| 4.17 เมตริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลองในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... | 92 |
| 4.18 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลองในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา..... | 94 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

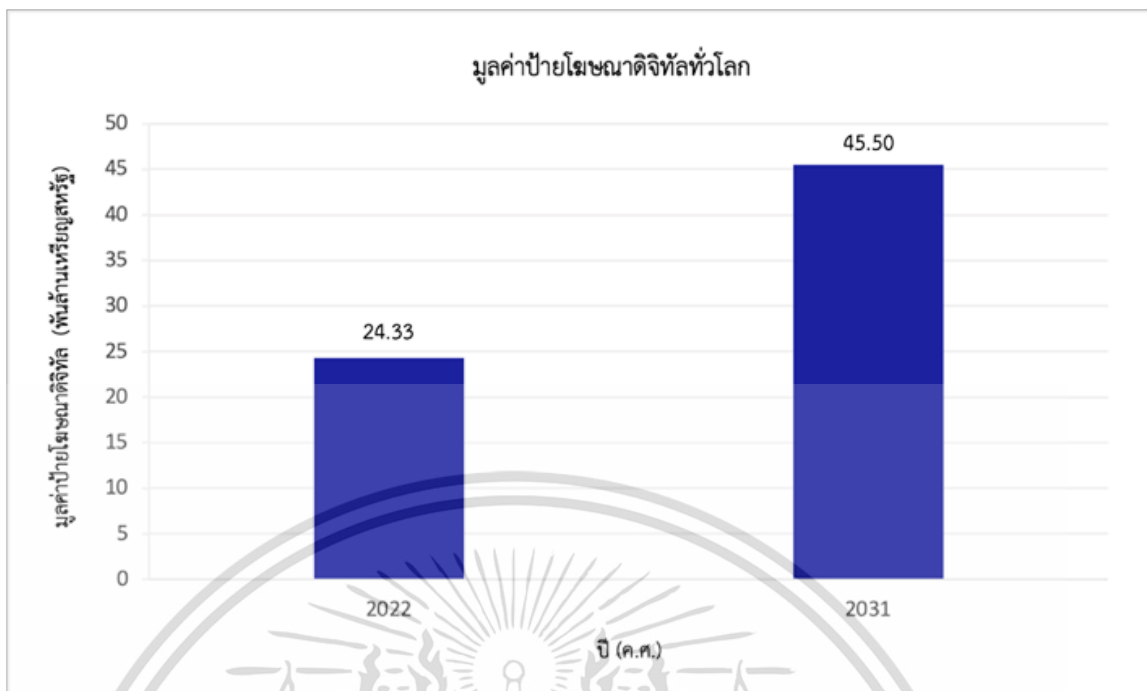
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ป้ายโฆษณาดิจิทัล (Digital Signage) เป็นการนำเทคโนโลยีทางด้านระบบคอมพิวเตอร์ ผสมผสานเข้ากับจอภาพแสดงผล LCD หรือ LED ขนาดใหญ่ โดยอาศัยระบบหลังบ้านในการควบคุมดูแล โดยจะควบคุมเซิร์ฟเวอร์ผ่านทางเครือข่ายไร้สาย เพื่อให้สิ่งที่ปรากฏอยู่บนหน้าจอ นั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันและสามารถควบคุมได้ง่าย ป้ายโฆษณาดิจิทัลมีความสามารถในการแสดงสื่อหลากหลายรูปแบบได้พร้อม ๆ กัน อาทิเช่น ข้อความ ภาพนิ่ง วิดีโอ ภาพสไลด์ หรือแม้แต่ตัวอักษรเคลื่อนที่ ป้ายโฆษณาดิจิทัลสามารถปรับใช้กับพื้นที่ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลข่าวสารที่ต้องการนำเสนอบนป้ายได้ตลอดเวลา ให้สอดคล้องกับแผนทางการตลาด และสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง ป้ายโฆษณาดิจิทัลนี้ยังช่วยลดระยะเวลาในการพิมพ์สื่อแบบเดิม เช่น โปสเตอร์หรือใบปลิว รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว

ป้ายโฆษณาดิจิทัลถูกนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อกลางปี ค.ศ. 1990 เป็นที่ดึงดูดความสนใจของนักการตลาด แต่มีเพียงคนกลุ่มน้อยเท่านั้นที่สามารถนำไปใช้งาน เนื่องจากมีความซับซ้อนในการใช้งานและมีต้นทุนที่สูง แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้ต้นทุนของป้ายโฆษณาต่ำลงมาก ทำให้บริษัทหรือหน่วยงานต่าง ๆ มีการใช้ป้ายโฆษณาดิจิทัลเพิ่มมากขึ้น โดยในปี 2022 ตลาดป้ายโฆษณาดิจิทัลทั่วโลกมีมูลค่า 24.33 พันล้านเหรียญสหรัฐ และคาดว่าจะสูงถึง 45.50 พันล้านเหรียญสหรัฐ ภายในปี 2031 แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยมีอัตราการเติบโตต่อปีแบบทบต้น (CAGR) ร้อยละ 7.20 ในช่วงระยะเวลาคาดการณ์ (Straits Research, 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 มูลค่าป้ายโฆษณาดิจิทัลทั่วโลก

ปัจจัยหลักที่ผลักดันการเติบโตของป้ายโฆษณาดิจิทัล คือ การยอมรับที่เพิ่มขึ้นในภาคการค้า และการบูรณาการของเทคโนโลยี การผสมรวมเทคโนโลยีไบโอเมตริกเข้ากับป้ายดิจิทัลกำลังสร้างโอกาสมากมายสำหรับการเติบโตของตลาดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งรวมถึงการตรวจจับและการติดตามการจ้องมอง เทคโนโลยีการตรวจจับช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งพื้นที่ที่มีผู้คนสัญจรไปมาจำนวนมาก จึงสามารถนำเสนอผลิตภัณฑ์ในสถานที่เป้าหมาย เพิ่มการเจาะตลาดและความนิยมในท้ายที่สุด ในส่วนของเทคโนโลยีการติดตามการจ้องมองนั้น สามารถติดตามความสนใจทางสายตาของผู้บริโภคได้ ดังนั้นองค์กรต่าง ๆ จึงสามารถเข้าใจได้ว่าผู้บริโภคมีความสนใจต่อป้ายโฆษณาหรือไม่

จากรายงานของ Mvix (2023) แสดงผลจากการใช้ป้ายโฆษณาดิจิทัลพบว่า ป้ายโฆษณาดิจิทัลเพิ่มยอดขายเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 29.5 สร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภคเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 46 การรับรู้ถึงแบรนด์เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 80 ผู้ซื้อมากกว่าร้อยละ 40 กล่าวว่าป้ายโฆษณาดิจิทัลมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อของพวกเขา และชาวอเมริกันร้อยละ 68 จ่ายเงินซื้อผลิตภัณฑ์หรือบริการเนื่องจากป้ายมีความดึงดูดสายตา

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าป้ายโฆษณาดิจิทัลเป็นส่วนความสำคัญที่ช่วยสร้างเอกสารนี้ ความพึงพอใจให้กับผู้บริโภค เพิ่มการรับรู้ถึงแบรนด์ รวมถึงมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค และปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ป้ายโฆษณาดิจิทัลเติบโตนั้นคือ การบูรณาการของเทคโนโลยี อาทิเช่น เทคนิคการตรวจจับและการติดตามการจ้องมอง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้บริษัทหรือองค์กรทราบข้อมูลเกี่ยวกับผู้บริโภค ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิจัยในเบื้องต้นเกี่ยวกับการติดตั้งป้ายโฆษณาดิจิทัลของบริษัทผลิตเครื่องดื่มแห่งหนึ่ง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลอง และพัฒนาระบบนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป โดยผู้วิจัยทำการศึกษาวิจัยใน 2 งานย่อย ๆ ที่เป็นอิสระกัน ได้แก่ 1. ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว (Pretrained Model) สำหรับการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนที่สัญจรผ่านไปมาในบริเวณที่มีการติดตั้งป้ายโฆษณาดิจิทัลหรือบริเวณที่กึ่งกลางแจ้ง เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพในเบื้องต้นของแบบจำลองในการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนในแต่ละเฟรม (Frame) โดยพิจารณาใน 2 มุมมอง ได้แก่ มุมมองระดับเหนือศีรษะ (Bird's Eye View) และมุมมองระดับสายตา (Eye Level) และ 2. ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว สำหรับการตรวจจับดวงตา เพื่อนับจำนวนคนที่สนใจโดยการมองมายังกล้องหรือป้ายโฆษณา ภายในระยะเวลาที่กำหนด ด้วยชุดข้อมูลในเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำไปพัฒนาระบบนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป

ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง You only look once version 8 (YOLOv8) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว สำหรับการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคน เนื่องจากแบบจำลอง YOLO เป็นแบบจำลองสำหรับตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ที่ล้ำสมัย มีความรวดเร็วและแม่นยำในการประมวลผล และเวอร์ชัน (version) ที่ 8 เป็นเวอร์ชันที่ได้รับการพัฒนาล่าสุด ซึ่งมีการเปิดตัวในเดือนมกราคม ปี 2023 และรายงานการวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับ YOLOv8 นี้ยังมีไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนา YOLOv8 เพิ่มเติม

นอกจากนี้ การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจในการมองมายังกล้องหรือป้ายโฆษณา ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier โดยงานวิจัยจำนวนมากใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier ในการตรวจจับดวงตา และพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูง เช่น Akshay et al. (2022) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการตรวจจับดวงตาของผู้คนขณะที่สวมหน้ากากอนามัย ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองให้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) สูงถึงร้อยละ 96.72 หรือ Singh et al. (2022) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบการตรวจจับดวงตาสำหรับช่วยในการควบคุมการทุจริตในการสอบออนไลน์ โดยแบบจำลองให้ค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ

97.93 เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังไม่พบรายงานใดที่นำแบบจำลอง Haar Cascade Classifier มาประยุกต์ใช้กับป้ายโฆษณาดิจิทัล ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะใช้แบบจำลองนี้ในการศึกษาวิจัยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว สำหรับตรวจจับและนับจำนวนคนที่อยู่ในบริเวณที่กล้องบันทึกภาพ ในมุมมอง (Camera Angle) ระดับเหนือศีรษะ และระดับสายตา
- 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลองได้รับการฝึกสอน ด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Set)
- 3) ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว เพื่อนับจำนวนคนที่สนใจโดยการมองมายังกล้องหรือป้ายโฆษณา ภายในระยะเวลาที่กำหนด ด้วยชุดข้อมูลในเงื่อนไขต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาโดยใช้กล้องสมาร์ทโฟน (Smartphone) ในการบันทึกวิดีโอที่มีขนาด 1920 x 1080 พิกเซล (Pixel)
- 2) พื้นที่ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ พื้นที่ของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแห่งหนึ่ง และพื้นที่ของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง
- 3) งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเฉพาะบุคคลทั่วไปที่เดินผ่าน ณ บริเวณที่กล้องบันทึกได้ ในระยะครึ่งเมตร ถึง 10 เมตร
- 4) แบบจำลองสำหรับการตรวจจับดวงตาในงานวิจัยนี้ สามารถตรวจจับได้เฉพาะดวงตาโดยองค์รวม ไม่สามารถตรวจจับลูกตาดำเพียงอย่างเดียวได้
- 5) ระยะเวลาการศึกษาวิจัยตั้งแต่วันที่ 9 มกราคม 2566 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2566

1.4 สมมติฐานการวิจัย

- 1) สัดส่วนการทำนายถูก ของแบบจำลอง YOLOV8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่าแบบจำลอง YOLOV8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ
- 2) สัดส่วนการทำนายถูก ของแบบจำลอง YOLOV8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่าแบบจำลอง YOLOV8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับสายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แบบจำลองสามารถตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนในแต่ละเฟรม (Frame) ในมุมมองที่แตกต่างกัน
- 2) เป็นการประเมินประสิทธิภาพในเบื้องต้นของแบบจำลอง
- 3) เป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำไปพัฒนาระบบนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อบ้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1) การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) คือการตรวจหาตำแหน่งของวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นระเบียบกรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรค้นหาสิ่งของในภาพหรือวิดีโอแทนมนุษย์ โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับบุคคลและดวงตา
- 2) คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) คือเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถเรียนรู้และวิเคราะห์ภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวได้ เป็นการนำระบบการเรียนรู้ด้วยตนเองของเครื่องจักรมาทำงานกับข้อมูลประเภทภาพ โดยคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ระบุวัตถุในภาพ ตรวจจับสิ่งผิดปกติในภาพ หรือติดตามวัตถุในภาพ เป็นต้น กล่าวคือ คอมพิวเตอร์วิทัศน์คือระบบอัจฉริยะที่ควบคุมเครื่องจักรให้สามารถทำงานเป็นตาแทนมนุษย์เราได้ (อนันตญา, 2565)
- 3) มุมกล้องระดับเหนือศีรษะ (Bird's Eye View) เป็นมุมมองในลักษณะของบนลงล่าง คล้ายนกที่บินอยู่บนท้องฟ้าแล้วมองลงมายังเบื้องล่าง
- 4) มุมมองระดับสายตา (Eye Level) เป็นมุมที่ตั้งฉากกับวัตถุที่จะทำการบันทึกพอดี้ ในการถือกล้องสำหรับบันทึกภาพต้องการทำเล็งมุมของกล้องเข้าไปในวัตถุแบบตรง ๆ
- 5) แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว (Pretrained Model) คือแบบจำลองที่ได้รับการฝึกอบรมโดยชุดข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อใช้แก้ปัญหาที่คล้ายกัน ซึ่งสามารถนำแบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้วมาใช้งานได้ทันที หรืออาจมีการปรับแต่งพารามิเตอร์เพิ่มเติมให้มีความเหมาะสมกับงานนั้น ๆ
- 6) ชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Set) เป็นชุดข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่แบบจำลอง เพื่อให้

แบบจำลองทำการเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลนั้น ไม่นอญญาตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) ชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) เป็นชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนเรียบร้อยแล้ว
- 8) ป้ายกำกับ (Labels) คือเป้าหมาย (Objective) หรือผลลัพธ์ (Output) ที่ต้องการให้ระบบการเรียนรู้ของเครื่องทำนายหรือจำแนกแยกแยะ โดยการทำป้ายกำกับในงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับวัตถุนั้นจะเป็นการกำหนดตำแหน่งของวัตถุ เช่น กำหนดตำแหน่งที่มีบุคคลในภาพ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการโฆษณา
- 2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับความสนใจ
- 2.3 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)
- 2.4 โครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN)
- 2.5 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)
- 2.6 You only look once (YOLO)
- 2.7 Haar Cascade Classifier
- 2.8 การเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation)
- 2.9 การติดตามวัตถุ (Object Tracking)
- 2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง
- 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการโฆษณา

การโฆษณา (Advertising) ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการสื่อสารทางการตลาด โดยใช้สื่อกลางที่ไม่ใช่ตัวบุคคล เป็นการสื่อสารมวลชนที่เข้าถึงผู้บริโภคด้วยระยะเวลาอันรวดเร็ว ส่งผลให้บุคคลจำนวนมากได้รับรู้ และเป็นการจูงใจกลุ่มผู้บริโภคให้เกิดความต้องการในสินค้าและบริการได้

การโฆษณาเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อให้บรรลุผลตามเป้าหมายที่วางไว้ หน้าที่ของการโฆษณานั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปแล้ววัตถุประสงค์ของการโฆษณาทำเพื่อหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง โดยแบ่งออกเป็นหน้าที่หลัก ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) หน้าที่การตลาด (Marketing Function) กล่าวคือ ทำหน้าที่เป็นหนึ่งในส่วนประสมทางการตลาด ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ ราคา การจัดจำหน่าย และการส่งเสริมการตลาด ทั้งสี่เครื่องมือนี้ใช้ร่วมกันเพื่อตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าไปสู่การสร้างยอดขายและกำไรในที่สุด
- 2) หน้าที่การติดต่อสื่อสาร (Communication Function) การโฆษณาถือเป็นการสื่อสารเพื่อจูงใจให้ผู้บริโภคเกิดความต้องการ หรือเพื่อสร้างทัศนคติที่ดีเกี่ยวกับสินค้าหรือบริการ
- 3) หน้าที่ให้ความรู้ (Education Function) การโฆษณาถือเป็นการให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ผลิตภัณฑ์ และทำให้ทราบถึงคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น
- 4) หน้าที่ด้านเศรษฐกิจ (Economic Function) จากการที่บุคคลรู้จักผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องมาจากการโฆษณา ซึ่งทำให้เกิดการซื้อผลิตภัณฑ์ เท่ากับการโฆษณาเป็นตัวสร้างยอดขายและกำไรให้กับธุรกิจดำเนินไปด้วยดี ทำให้เกิดการขยายตัวด้านการลงทุน เป็นผลทำให้เกิดการสร้างงาน อันเป็นผลทำให้ระบบเศรษฐกิจโดยรวมดีขึ้น
- 5) หน้าที่ด้านสังคม (Social Function) การโฆษณาเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยปรับปรุงมาตรฐานการดำรงชีวิตของประชาชนในประเทศใดประเทศหนึ่งและทั่วโลก การเผยแพร่ข่าวสารการโฆษณามีผลกระทบต่อการพัฒนาด้านสังคมและวัฒนธรรม การโฆษณาไม่ใช่มุ่งแต่ขายสินค้าเท่านั้น แต่มีโฆษณาอีกมากที่ต้องคำนึงถึงภาระความรับผิดชอบของธุรกิจที่มีต่อสังคมและมวลมนุษยชาติ

ปัจจุบันรูปแบบของสื่อโฆษณามีความหลากหลายมากขึ้น เนื่องจากความต้องการที่จะเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้มากขึ้น โดยจะสามารถแบ่งเป็นรูปแบบต่าง ๆ ตามระบบเทคโนโลยีการสื่อสาร คือ สื่อดิจิทัล (Digital Media) สื่อสิ่งพิมพ์ (Print media) สื่อกลางแจ้ง (Outdoor media) และสื่ออื่น ๆ (Others) โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่สื่อดิจิทัล นั่นคือป้ายโฆษณาดิจิทัล (Digital Signage)

2.1.1 ป้ายโฆษณาดิจิทัล

เป็นนวัตกรรมสื่อป้ายโฆษณาที่เข้ามาทดแทนสื่อสิ่งพิมพ์และป้ายโฆษณาแบบเดิมสามารถสื่อสารตอบโต้ สร้างสรรค์จินตนาการด้วยเทคโนโลยีภาพและเสียง ตัวอย่างป้ายโฆษณาดิจิทัล

แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างป้ายโฆษณาดิจิทัล (Pickel, 2022)

ความสามารถในการแสดงผลของป้ายโฆษณาดิจิทัลคือ ความสามารถในการแบ่งหน้าจ่อออกเป็นส่วน ๆ เพื่อแสดงผลข้อมูลในหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ รูปภาพนิ่ง (jpg, gif และ png) ภาพเคลื่อนไหว (movie, swf) และสารสนเทศจากแหล่งอื่น เช่น เวลา อุณหภูมิ ค่าเงิน เป็นต้น นอกจากนี้ระบบป้ายโฆษณาดิจิทัล ในกรณีที่เป็นเครือข่าย สามารถให้บริการถ่ายทอดสดจากสำนักงานใหญ่เข้าสู่ระบบของป้ายโฆษณาดิจิทัลได้

2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับความสนใจ

ตามแนวคิดและทฤษฎีของนักจิตวิทยา กลุ่มมนุษยธรรมนิยมให้ความเห็นว่า การที่บุคคลทำกิจกรรมใด ๆ ด้วยความสนใจ เนื่องจากมีแรงจูงใจเป็นส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลให้บุคคลเกิดความสนใจกระทำกิจกรรมนั้น

Maslow (1943) กล่าวว่า บุคคลจะมีการตอบสนองความต้องการทางจิตใจและสังคมเมื่อได้รับการตอบสนองความต้องการด้านพื้นฐานที่พอเพียง จากนั้นจึงพัฒนาไปสู่ความต้องการ การเข้าใจในตนเอง และพัฒนาไปสู่ความต้องการอื่น ๆ ในขั้นสูงต่อไป

เดโช (2520) ให้ความหมายของความสนใจไว้ว่า ความสนใจหรือความใส่ใจ เป็นการเลือกให้ความสนใจในส่วนใดส่วนหนึ่งของประสบการณ์ที่ซับซ้อน โดยปกติความสนใจกับความใส่ใจจะเกิดคู่กัน เมื่อเราสนใจเรื่องใด เราจะให้ความใส่ใจกับเรื่องนั้น แม้จะไม่หมดทั้งเรื่องก็เป็นเฉพาะส่วนของเรื่องนั้น

กฤษณา (2530) ให้ความหมายของความสนใจไว้ว่า ความสนใจเป็นลักษณะของจิตใจที่ถูกชักนำให้มีความผูกพันและใจจดใจจ่อต่อสิ่งหนึ่ง โดยเป็นความรู้สึกที่เกิดเนื่องจากถูกชักนำโดยสิ่งแวดล้อมหรือปฏิกิริยาตอบสนองที่เป็นไปตามอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม ขนบประเพณี โดยมีมุ่งหมายให้ตนเองประสบผลสำเร็จ ความสนใจเกิดขึ้นโดยเจตนาและไม่เจตนา นอกจากนี้ความสนใจต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งย่อมเปลี่ยนแปลงได้ตามกาลเวลา และตามกระแสความนิยมของชุมชนที่แวดล้อม บุคคลที่มีความสนใจย่อมมีความพึงพอใจในการกระทำกิจกรรมใด ๆ ในช่วงเวลาหนึ่ง หรืออาจกระทำกิจกรรมนั้น ๆ ในระยะเวลาที่ยาวนาน

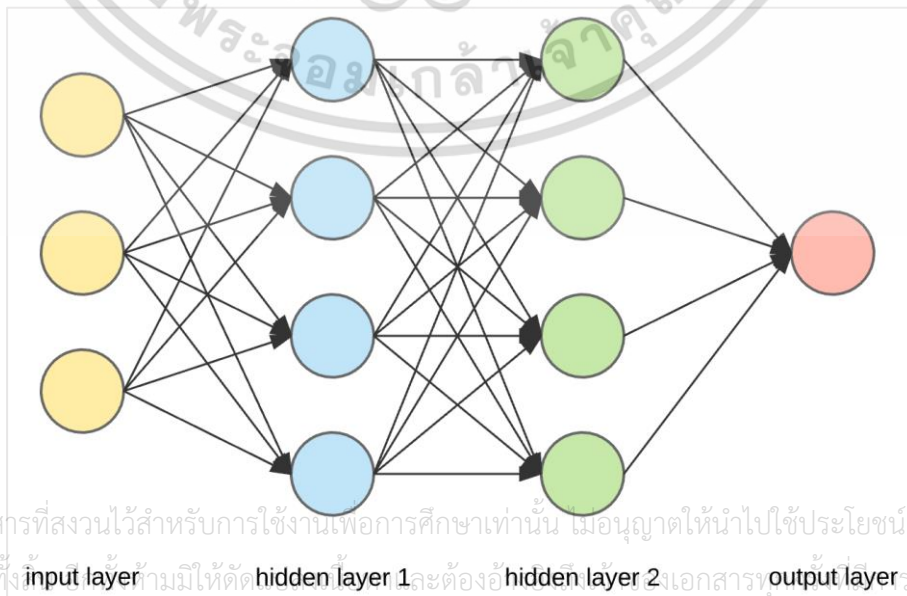
จากคำอธิบายความหมายของความสนใจข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า ความสนใจเป็นลักษณะทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อารมณ์ของบุคคลที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อแรงจูงใจ ทำให้เกิดพฤติกรรมหรือการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำ เพื่อตอบสนองแรงจูงใจหรือความต้องการที่มีอยู่ในตัวบุคคล พฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสนใจที่เห็นเด่นชัดของบุคคลเมื่อมีความสนใจ ได้แก่ การแสดงออกด้วยการกระทำ สีหน้าท่าทาง ความพึงพอใจในการมีส่วนร่วมในกิจกรรมใด ๆ หรือการใช้ความคิดต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง การตั้งคำถามและรับฟังคำตอบอย่างจดจ่อ และการมีส่วนร่วมในกิจกรรมหรือสิ่งใดสิ่งหนึ่งอย่างกระตือรือร้น อาจกล่าวได้ว่าองค์ประกอบหลักที่ก่อให้เกิดความสนใจของบุคคล ได้แก่ สภาพแวดล้อมทางสังคม การได้รับความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งที่ให้ความสนใจ และความต้องการของบุคคล หรือสัญชาตญาณของแต่ละบุคคลอันเป็นกลไกทางสังคมที่แต่ละบุคคลสร้างขึ้นเพื่อตอบสนองการอยู่ร่วมกันในสังคมของบุคคลและความต้องการเรียนรู้ของแต่ละบุคคล

2.3 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึกมีเป้าหมายคือ ทำให้คอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้ และนำความรู้ที่นำมาใช้งาน ตัวอย่างงานที่มักนำการเรียนรู้เชิงลึกมาใช้ในการแก้ปัญหา ได้แก่ การแยกประเภทภาพ (Image Classification) การตรวจจับวัตถุ การประมวลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) การรู้จำใบหน้า (Face Recognition) หรือระบบแนะนำสินค้า (Recommendation engines) เป็นต้น (กอบเกียรติ, 2565)

การเรียนรู้เชิงลึกใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ที่มีความลึกหลายชั้น เลียนแบบการทำงานของเซลล์เครือข่ายสมองมนุษย์ โดยสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ (ณัฐโชติ และสัจจาภรณ์, 2564)



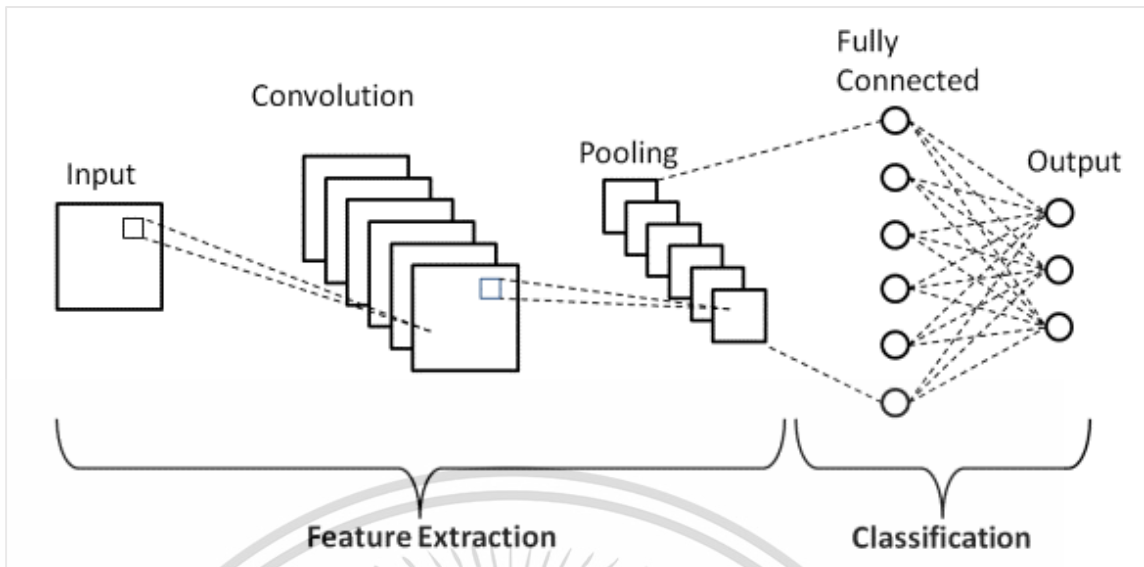
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (Dertat, 2017)

- 1) ชั้นข้อมูลขาเข้า (Input Layer) เป็นชั้นที่จะรับข้อมูลและส่งต่อไปยังส่วนที่เหลือของโครงข่าย โดยจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นนี้เท่ากับจำนวนคุณลักษณะ (Feature) ทั้งหมดในข้อมูล ตัวอย่างชั้นข้อมูลขาเข้า แสดงดังรูปที่ 2.2
- 2) ชั้นที่ซ่อนอยู่ (Hidden Layer) คือชั้นประมวลผลที่ซ่อนอยู่ในโครงข่ายประสาทเทียม อาจมีชั้นที่ซ่อนอยู่มากกว่า 1 ชั้น ขึ้นอยู่กับแบบจำลองและขนาดของข้อมูล แต่ละชั้นที่ซ่อนอยู่สามารถมีจำนวนเซลล์ประสาทที่แตกต่างกัน หน้าที่ของเซลล์ประสาทแต่ละตัวคือการรับข้อมูลทุกตัวจากชั้นก่อนหน้ามาประมวลผลโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) ร่วมกับค่าน้ำหนัก (Weight) ของข้อมูลแต่ละตัว จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า มีชั้นที่ซ่อนอยู่จำนวน 2 ชั้น
- 3) ชั้นข้อมูลขาออก (Output Layer) ผลลัพธ์จากชั้นก่อนหน้าจะถูกป้อนเข้าสู่ Activate Function เช่น Sigmoid, Softmax หรือ ReLu ซึ่งจะแปลงผลลัพธ์ของแต่ละคลาส (Class) เป็นคะแนนความน่าจะเป็นของแต่ละคลาส และทำนายผลลัพธ์ออกมา ตัวอย่างชั้นข้อมูลขาออก แสดงดังรูปที่ 2.2

2.4 โครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน (Convolution Neural Network: CNN)

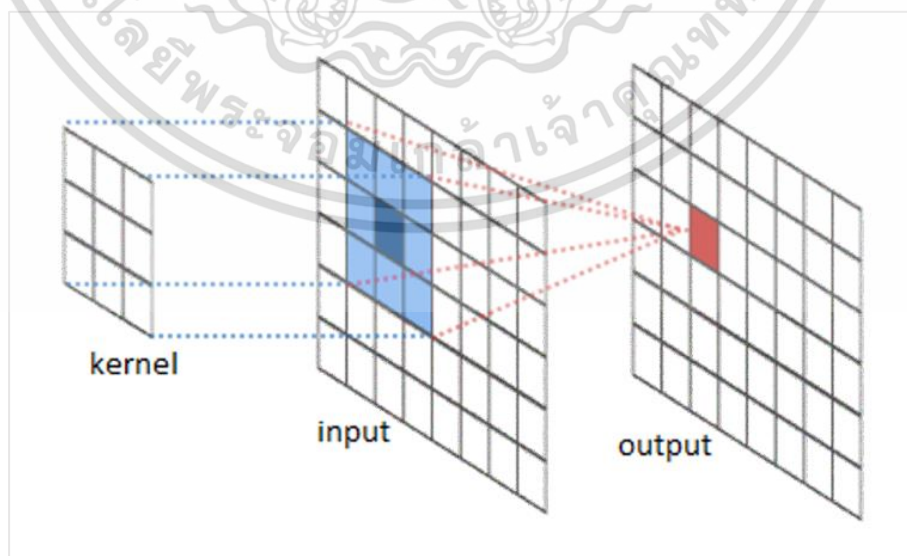
โครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทแบบการเรียนรู้เชิงลึกชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ภาพที่เห็น เช่น คอมพิวเตอร์วิทัศน์ การจดจำภาพ และวิดีโอ เป็นต้น (Gurucharan, 2022) ซึ่งโครงข่ายประสาทคอนโวลูชันประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน (Gurucharan, 2022)

- 1) ชั้นข้อมูลขาเข้า เป็นชั้นที่รับข้อมูลเข้าระบบ โดยข้อมูลมักจะเป็นรูปภาพ ซึ่งจะเป็นภาพโทนเทา (Grayscale) หรือภาพสี
- 2) ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) เป็นชั้นที่นำข้อมูลมาผ่านกระบวนการคอนโวลูชันด้วยตัวกรอง (Kernel) ตามขนาดที่กำหนดขึ้น เช่น 3x3 5x5 เป็นต้น กระบวนการคือ เป็นการหาผลรวมของค่าตัวเลขในตัวกรอง ที่คูณเข้ากับค่าในพิกเซล (Pixel) ของรูปภาพ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ที่เรียกว่า ฝังคุณลักษณะ (Feature Map) ออกมา 1 ภาพต่อ 1 ตัวกรอง กระบวนการในชั้นคอนโวลูชัน แสดงดังรูปที่ 2.4

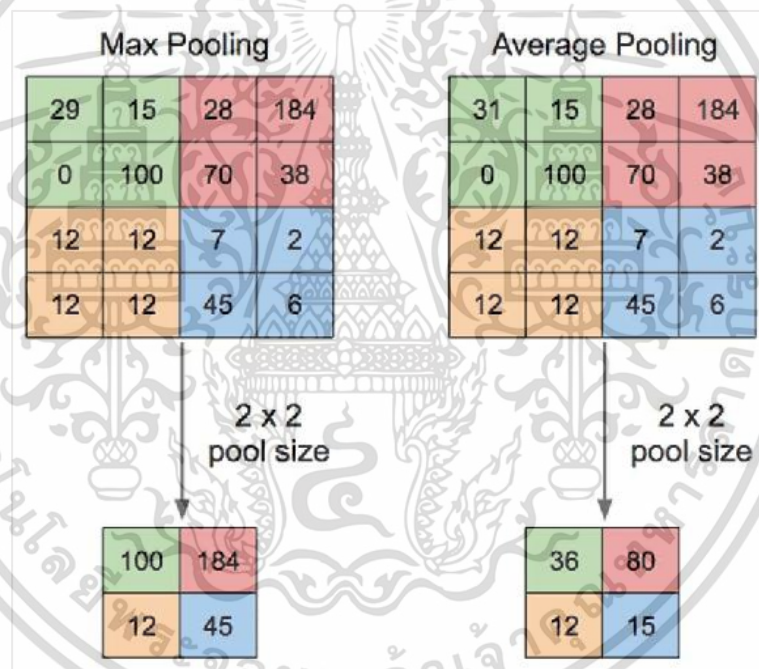


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.4 กระบวนการในชั้นคอนโวลูชัน (Pokhrel, 2019)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer) เป็นชั้นที่นำฟังก์ชันมาลดขนาดลง ช่วยลดทรัพยากรในการประมวลผลข้อมูล การทำพูลลิ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

- การรวมสูงสุด (Max Pooling) จะเป็นการเลือกตัวแทนของภาพด้วยการหาค่าที่มากที่สุดของพิกเซลตามขนาดที่กำหนด
- การรวมเฉลี่ย (Average Pooling) จะเป็นการเลือกตัวแทนของภาพด้วยการหาค่าเฉลี่ยของพิกเซลตามขนาดที่กำหนด

การกำหนดขนาดการทำพูลลิ่ง เช่น ขนาด 2x2 จะทำให้มีการลดขนาดของภาพลงครึ่งหนึ่ง ตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำ Max Pooling และ Average Pooling ขนาด 2x2 (Yani et al., 2019)

4) ชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully-Connected Layer) เนื่องจากฟังก์ชันที่ได้จากชั้นก่อนหน้าเป็นข้อมูลในลักษณะหลายมิติ ดังนั้นระบบจะทำการจัดข้อมูลให้เป็นแบบเวกเตอร์ (Vector) หรือเมทริกซ์ 1 มิติ ที่เรียกว่า Flatten เสียก่อน จากนั้นจะป้อนเข้าสู่ชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ ซึ่งเป็นชั้นที่เป็นโครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

การตรวจจับวัตถุเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) การตรวจจับวัตถุมีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาและจำแนกวัตถุที่มีอยู่ในภาพหรือวิดีโอ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งส่งเสริมความก้าวหน้าอย่างมากสำหรับการตรวจจับวัตถุ มีการใช้โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันเข้ามาช่วยในการตรวจจับวัตถุในลักษณะต่าง ๆ

ปัจจุบันการตรวจจับวัตถุถูกนำมาใช้ในหลาย ๆ ด้าน เช่น ยานยนต์ไร้คนขับ การมองเห็นของหุ่นยนต์ และการเฝ้าระวังความปลอดภัย เป็นต้น (Zou et al., 2023) ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจในการตรวจจับวัตถุ โดยมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับบุคคลและดวงตา งานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลอง You only look once (YOLO) สำหรับการตรวจจับบุคคล และใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier สำหรับการตรวจจับดวงตา

2.6 You only look once (YOLO)

You only look once หรือ YOLO เป็นแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุยอดนิยมที่ใช้สำหรับการตรวจจับและจำแนกวัตถุ YOLO เป็นแบบจำลองการตรวจจับวัตถุแบบขั้นตอนเดียวที่ประมวลผลภาพทั้งหมดด้วยการส่งต่อเพียงครั้งเดียวของโครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน การประมวลผลภาพทั้งหมดในรอบเดียวทำให้แบบจำลองมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมาก (Buhl, 2023)

YOLO ถูกพัฒนาขึ้นโดย Redmon et al. (2015) และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา YOLO ถูกพัฒนาเรื่อย ๆ จนเวอร์ชันล่าสุดคือ You only look once version 8 หรือ YOLOv8 วิวัฒนาการของ YOLO แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วิวัฒนาการของ YOLO (Buhl, 2023)

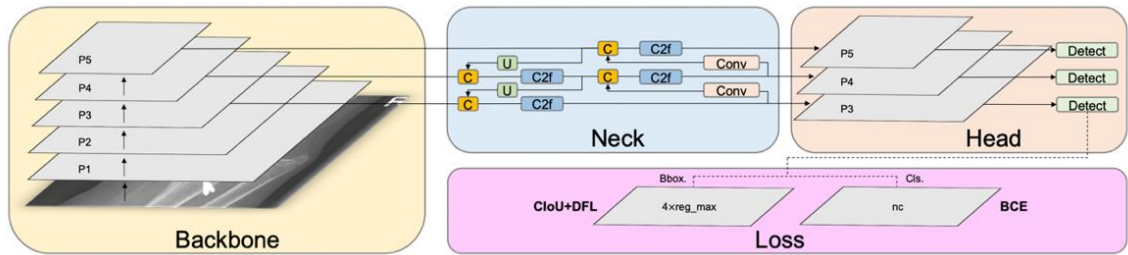
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้แบบจำลอง YOLO ในการตรวจจับและนับจำนวนคน โดยมุ่งเน้นไปที่ YOLOv8

2.6.1 YOLOv8

YOLOv8 มีการนำเสนอคุณสมบัติใหม่ ๆ มีการปรับปรุงโครงสร้างต่าง ๆ จากเวอร์ชันก่อนหน้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นของแบบจำลอง YOLOv8 รองรับงานปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในเรื่องของคอมพิวเตอร์วิทัศน์อย่างเต็มรูปแบบ รวมถึงการตรวจจับวัตถุ การจำแนกประเภท (Classification) และการแบ่งส่วนของภาพ (Image Segmentation) แบบจำลองนี้มาพร้อมกับ API ที่ใช้งานง่ายทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้แอปพลิเคชันต่าง ๆ ผู้ใช้งานสามารถใช้ประโยชน์จากความสามารถของ YOLOv8 ในแอปพลิเคชันและโดเมนที่หลากหลาย (Ultralytics, 2023)

สถาปัตยกรรมของ YOLOv8 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก ได้แก่ โครงสร้างหลัก (backbone) ส่วนกลาง (neck) และส่วนของหัวการทำนาย (head) แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Ju et al., 2023)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

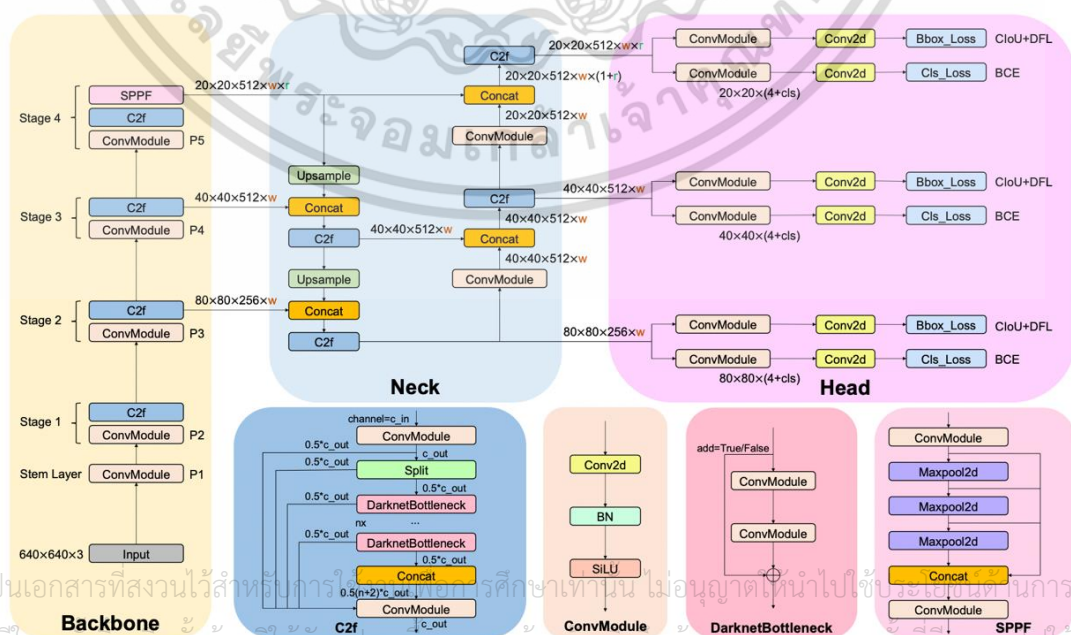


รูปที่ 2.7 ภาพรวมของสถาปัตยกรรมแบบจำลอง YOLOv8 (Ju et al., 2023)

1) โครงสร้างหลัก (Backbone)

ในส่วนนี้มีหน้าที่สกัดคุณลักษณะหลักของภาพ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยโครงข่ายประสาทคอนโวลูชันที่มีความลึกและความซับซ้อนสูง แสดงดังรูปที่ 2.8 เพื่อสกัดคุณลักษณะที่สำคัญของภาพ เช่น การตรวจจับขอบ (Edge Detection) การตรวจจับลายเส้น (Texture Detection) และคุณลักษณะทางเรขาคณิต (Geometric Features)

ใน YOLOv8 ใช้โครงสร้าง Cross Stage Partial (CSP)57 ซึ่งแบ่งฟังก์ชันลักษณะออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ผ่านการดำเนินการคอนโวลูชัน และส่วนที่ 2 ถูกเชื่อมต่อกับผลลัพธ์ของส่วนก่อนหน้า โครงสร้างนี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ของแบบจำลองและลดความซับซ้อนในการคำนวณแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม ในส่วนของโครงสร้างหลักนี้ไม่มีหน้าที่ในการระบุตำแหน่งและชนิดของวัตถุ แต่จะสร้างภาพที่มีลักษณะเหมาะสมสำหรับการตรวจจับในขั้นตอนต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปดลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLOv8 โดยละเอียด (Ju et al., 2023)

2) ส่วนกลาง (Neck)

ส่วนนี้เป็นส่วนกลางระหว่างโครงสร้างหลักและหัวการทำนาย (Head) หน้าที่หลักคือรวมคุณลักษณะจากชั้นต่าง ๆ ของโครงข่ายเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลคุณลักษณะที่หลากหลายและทำให้แบบจำลองสามารถตรวจจับวัตถุในภาพที่มีขนาดต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำและมีความเร็วในการทำนาย

โดยส่วนกลางของ YOLOv8 ใช้โครงสร้าง Feature Pyramid-Path Aggregation Network (FP-PAN) ที่รวมเทคนิค Feature Pyramid Network (FPN) และ Path Aggregation Network (PAN) เข้าด้วยกัน เพื่อรวมคุณลักษณะที่มีขนาดแตกต่างกันให้เข้ากันได้ดี ในการทำงานนี้ FPN ใช้การเพิ่มขนาดของคุณลักษณะจากบนลงล่างเพื่อเพิ่มข้อมูลคุณลักษณะในฟังก์ชันคุณลักษณะด้านล่าง ในขณะที่ PAN ใช้การลดขนาดของคุณลักษณะจากล่างขึ้นบนเพื่อให้ได้ข้อมูลคุณลักษณะจากฟังก์ชันคุณลักษณะด้านบน ทั้งสองคุณลักษณะนี้จะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้การทำนายที่แม่นยำสำหรับภาพที่มีขนาดต่าง ๆ และลดการทำคอนโวลูชันในกระบวนการเพิ่มขนาด (Upsampling) เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ

3) หัวการทำนาย (Head)

ทำการตรวจจับวัตถุโดยการกำหนดกรอบสี่เหลี่ยม (Bounding Box) และคลาสของวัตถุ เป็นส่วนที่ตัดสินใจว่าในแต่ละพื้นที่ของภาพมีวัตถุใดบ้าง ซึ่งใน YOLOv8 ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยชั้นคอนโวลูชันและชั้นปรับปรุง (Refinement Layer) เพื่อทำนายกรอบสี่เหลี่ยมและคลาสของวัตถุ

ใน YOLOv8 หัวการทำนายถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ การจำแนกหมวดหมู่และการตรวจจับ ซึ่งแบบจำลองจะไม่ใช้ส่วน Objectness Branch แต่เก็บเพียงส่วนของ Classification และ Regression เท่านั้น ในการปรับปรุงตำแหน่งของวัตถุอย่างแม่นยำจะใช้วิธี Anchor-Free ซึ่งจะระบุตำแหน่งศูนย์กลางของวัตถุและประมาณระยะห่างระหว่างศูนย์กลางและกรอบสี่เหลี่ยมที่ครอบวัตถุ

สรุปได้ว่า ส่วนของโครงสร้างหลักใช้ในการสกัดคุณลักษณะ ส่วนกลางใช้ในการรวมคุณลักษณะที่ต่างระดับ และส่วนหัวการทำนายใช้ในการทำนายหมวดหมู่และตำแหน่งของวัตถุในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YOLOv8 และเนื่องจาก YOLOv8 เป็นแบบจำลองเวอร์ชันที่ได้รับการพัฒนาล่าสุด จึงได้รับการปรับปรุงในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- **ประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุ** : YOLOv8 มีการปรับปรุงการตรวจจับวัตถุที่ทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเวอร์ชันก่อนหน้า โดยมีการสกัดคุณลักษณะที่ลึกขึ้นด้วยโครงสร้าง Backbone CSP57 และใช้การรวมคุณลักษณะแบบ Multi-scale ผ่าน Neck FP-PAN เพื่อให้สามารถตรวจจับวัตถุที่มีขนาดและความละเอียดต่างกันได้ดีขึ้น
- **ความแม่นยำ** : YOLOv8 ได้รับการปรับปรุงในการทำนายหมวดหมู่และตำแหน่งของวัตถุ โดยการใช้วิธี Anchor-Free ซึ่งช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากขึ้นในการตรวจจับวัตถุ เนื่องจากมีการระบุตำแหน่งศูนย์กลางของวัตถุและประมาณระยะห่างระหว่างศูนย์กลางและกรอบสี่เหลี่ยมที่ครอบวัตถุได้อย่างแม่นยำ
- **ประสิทธิภาพในการทำงาน** : YOLOv8 ได้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลอง โดยใช้โครงสร้าง Backbone CSP57 ที่มีการแยกหัว (Decoupled Head) ซึ่งทำให้แยกการจำแนกหมวดหมู่และการตรวจจับออกจากกัน ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่มากขึ้น
- **การลดการสูญเสียข้อมูล (Information Loss)** : YOLOv8 ออกแบบมาเพื่อลดการสูญเสียข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทำซ้ำของการทำคอนโวลูชัน (Convolution Operations) โดยใช้โครงสร้าง Backbone CSP57 ที่ช่วยลดต้นทุนการคำนวณของแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- **ความเร็วในการทำงาน** : YOLOv8 มีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานโดยลดการทำซ้ำของการทำคอนโวลูชันและการขยายขนาดด้วยการลบการทำคอนโวลูชันในขั้นตอนการขยายขนาด ซึ่งช่วยลดค่าที่ต้องคำนวณและทำให้แบบจำลองทำงานได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

โดยรวมแล้ว YOLOv8 มีความแม่นยำสูงและประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับใช้กับงานและภาพที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Haar Cascade Classifier

Haar Cascade Classifier เป็นแบบจำลองสำหรับการตรวจจับวัตถุในภาพแบบเรียลไทม์ (Real-time) ซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนาโดย Viola and Jones (2001) โดยใช้แนวคิดจาก Haar-like features ซึ่งเป็นลักษณะที่ถูกออกแบบมาเพื่อการวัดความแตกต่างในระดับความเข้มของพิกเซลในส่วนต่าง ๆ ของภาพ เพื่อจับคุณลักษณะของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ

ในกรณีของการตรวจจับใบหน้านั้น Haar-like features จะจับคุณลักษณะของใบหน้า เช่น ตำแหน่งของตา จมูก และปาก ที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ที่มีมืดในบริเวณเล็ก ๆ นั่นคือการนับจำนวนพิกเซลที่มีความเข้มของแสงต่ำในพื้นที่เล็ก ๆ ในภาพ

ตัวอย่างเช่น เมื่อใช้ Haar-like features ในการตรวจจับใบหน้า สีเหลืองเล็กบางส่วนอาจแทนตำแหน่งของตา จมูก หรือปาก ที่มีความเข้มของแสงต่ำกว่าส่วนอื่น ซึ่งอาจเกิดจากเงาหรือแสงที่มาจากภาพภายนอกที่ไม่สะท้อนกลับมาในส่วนนั้น โดยทั่วไป Haar-like features จะถูกนิยามขึ้นโดยพิจารณาความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงของพิกเซลในส่วนต่าง ๆ ของภาพ เพื่อจับคุณลักษณะของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ

รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Haar-like features ที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้า (Mittal, 2020)

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของ Haar-like features ที่ใช้ในการตรวจจับใบหน้า ซึ่งประกอบไปด้วยรูปสี่เหลี่ยมขนาดต่าง ๆ ที่ถูกนิยามเพื่อจับคุณลักษณะของใบหน้า เช่น รูปสี่เหลี่ยมในบริเวณตา จมูก และปาก ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ที่มีมืดในบริเวณเล็ก ๆ

2.8 การเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation)

การเพิ่มข้อมูล เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนข้อมูลภาพสำหรับชุดข้อมูลฝึกสอน ทำโดยการนำภาพต้นฉบับมาดัดแปลง เช่น การหมุนภาพ การปรับแสง หรือการทำภาพเบลอ เป็นต้น วัตถุประสงค์ของการเพิ่มข้อมูลคือ ต้องการให้แบบจำลองได้เห็นหรือเรียนรู้รูปภาพที่หลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (กอบเกียรติ, 2565) ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการเพิ่มข้อมูล (Barreto, 2023)

2.9 การติดตามวัตถุ (Object Tracking)

การติดตามวัตถุ เป็นให้การขยายขอบเขตของการตรวจจับวัตถุ สำหรับวิดีโอ นั้นจะประกอบด้วยภาพหลายเฟรมที่ต่อกัน ดังนั้นจึงมีขั้นตอนเพื่อหาว่าตำแหน่งวัตถุในเฟรมปัจจุบันคือตำแหน่งวัตถุใดในเฟรมถัดไป โดยใช้การระบุเลขประจำตัววัตถุ (Object ID) เพื่อแสดงว่าเป็นวัตถุเดียวกันในแต่ละเฟรม การระบุเลขประจำตัววัตถุ มีความสำคัญอย่างมากในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการระบุตัวตน การนับ หรือการตรวจสอบความเป็นเจ้าของ (ปฎิญา และคณะ, 2564)

2.10 ทฤษฎีเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

2.10.1 เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix)

เมทริกซ์ความสับสน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการจำแนกประเภทหรือคาดการณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานทางด้านปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เมทริกซ์ความสับสน สามารถนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพสำคัญต่าง ๆ ได้ เช่น ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความระลึก (Recall) ค่าความเที่ยง (Precision) และค่าความถ่วงดุล (F1-score) เพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพได้อย่างเป็นรูปธรรม

เนื่องจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการจำแนกประเภทแบบหลายคลาส (Multi-Class) นั่นคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีมากกว่า 2 คลาส ดังนั้น ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงทำการกล่าวถึงเมทริกซ์ความสับสนที่มีการจำแนกประเภทแบบหลายคลาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Confusion Matrix (Percent)

| | | | | |
|---------------|---------|------------------|----------------|----------------|
| | | Predicted Values | | |
| | | Class 1 | Class 2 | Class 3 |
| Actual Values | Class 1 | 16 (cell 1) | 0 (cell 2) | 0 (cell 3) |
| | Class 2 | 0 (cell 4) | 17 (cell 5) | 1 (cell 6) |
| | Class 3 | 0 (cell 7) | 0 (cell 8) | 11 (cell 9) |

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างเมทริกซ์ความสับสนการจำแนกประเภทแบบหลายคลาส

จากรูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างเมทริกซ์ความสับสนการจำแนกประเภทแบบหลายคลาส ซึ่งข้อมูลประกอบไปด้วย 3 คลาส ได้แก่ Class 1, Class 2 และ Class 3 มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 45 ตัวอย่าง โดยแนวคอลัมน์ (Column) แสดงถึงคลาสที่แบบจำลองทำนาย และแนวแถว (Row) แสดงถึงคลาสที่เกิดขึ้นจริง cell 1, cell 5 และ cell 9 หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายผลลัพธ์ตรงกับค่าความเป็นจริง และ cell 2, cell 3, cell 4, cell 6, cell 7 และ cell 8 หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายผลลัพธ์ผิดพลาดจากค่าความเป็นจริง ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ค่าความแม่นยำ (Accuracy) คือ อัตราส่วนของการทำนายที่คาดการณ์อย่างถูกต้องต่อการทำนายทั้งหมด

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{จำนวนข้อมูลที่ถูกต้อง}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{cell1} + \text{cell5} + \text{cell9}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ให้เนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Accuracy} = \frac{16 + 17 + 11}{45}$$

ดังนั้น ค่าความแม่นยำของแบบจำลอง จึงเท่ากับ 0.98 หรือ 98%

- 2) ค่าความระลึก (Recall) คือ อัตราส่วนของการทำนายไว้อย่างถูกต้องกับค่าจริงในแต่ละคลาส เช่น ค่าความระลึกของคลาสที่ 1 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Recall}_{\text{Class1}} = \frac{\text{cell1}}{\text{cell1} + \text{cell2} + \text{cell3}}$$

$$\text{Recall}_{\text{Class1}} = \frac{16}{16 + 0 + 0}$$

ดังนั้น ค่าความระลึกของคลาสที่ 1 จึงเท่ากับ 1 หรือ 100% หากต้องการหาค่าความระลึกโดยรวมของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยทำการหาค่าความระลึกของแต่ละคลาส จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความระลึก จึงได้ค่าความระลึกโดยรวมของแบบจำลอง

- 3) ค่าความเที่ยง (Precision) คือ การวัดระดับการจำแนกเฉพาะคลาสที่สนใจ เช่น ค่าความเที่ยงของคลาสที่ 1 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Precision}_{\text{Class1}} = \frac{\text{cell1}}{\text{cell1} + \text{cell4} + \text{cell7}}$$

$$\text{Precision}_{\text{Class1}} = \frac{16}{16 + 0 + 0}$$

ดังนั้น ค่าความเที่ยงของคลาสที่ 1 จึงเท่ากับ 1 หรือ 100% หากต้องการหาค่าความเที่ยงโดยรวมของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยทำการหาค่าความเที่ยงของแต่ละคลาส จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความเที่ยง จึงได้ค่าความเที่ยงโดยรวมของแบบจำลอง

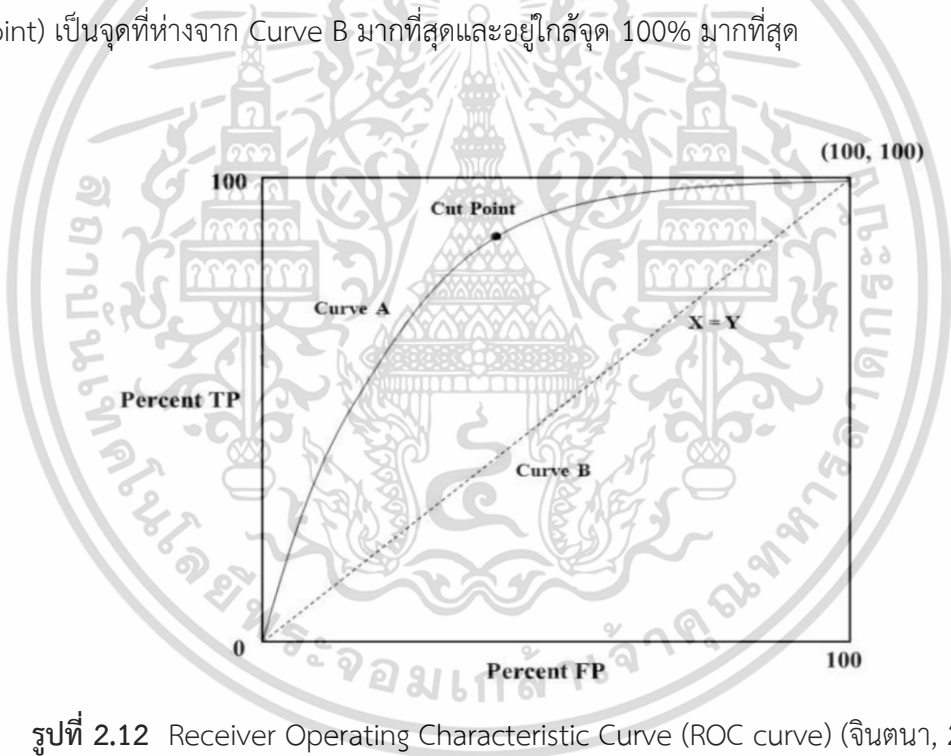
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ค่าความถ่วงดุล (F1-score) คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าความเที่ยงและค่าความระลึก ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$F1 - score = 2 \times \left(\frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \right)$$

2.10.2 Receiver Operating Characteristic Curve (ROC curve)

เส้นโค้ง ROC เป็นเทคนิคพื้นฐานสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกประเภท ซึ่งเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่าง True Positive Rate และ False Positive Rate แสดงดัง **รูปที่ 2.12** ในภาพแสดง Curve A ที่ห่างจากเส้นทแยงมุม Curve B โดยจุดตัด (Cut Point) เป็นจุดที่ห่างจาก Curve B มากที่สุดและอยู่ใกล้จุด 100% มากที่สุด



รูปที่ 2.12 Receiver Operating Characteristic Curve (ROC curve) (จินตนา, 2558)

Area Under the Curve (AUC) เป็นการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ROC โดย AUC มีค่าระหว่าง 0-1 หากค่า AUC เข้าใกล้ 1 หรือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ROC มาก จะถือว่าการทำงานในภาพรวมของแบบจำลองมีประสิทธิภาพมากตามไปด้วย โดยระดับการทำงานของแบบจำลอง เมื่อประเมินด้วยค่า AUC แสดงดัง **ตารางที่ 2.1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ระดับการทำงานของแบบจำลอง เมื่อประเมินด้วยค่า AUC (Trifonova and Lkhov, 2014)

| ค่า AUC | การทำงานของแบบจำลอง |
|-------------|---------------------|
| 0.90 – 1.00 | ยอดเยี่ยม |
| 0.80 – 0.89 | ดีมาก |
| 0.70 – 0.79 | ดี |
| 0.60 – 0.69 | พอใช้ |
| 0.50 – 0.59 | แย่ |

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 การตรวจจับบุคคล โดยใช้แบบจำลอง YOLO

Ahmad et al. (2019) ทำศึกษาการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนในมุมมองระดับเหนือศีรษะ (Bird's Eye View) โดยใช้แบบจำลองการเรียนรู้ You only look once version 3 (YOLOV3) ซึ่งแบบจำลองนี้ได้รับการฝึกฝนกับชุดข้อมูลมุมมองด้านหน้า (Front View) และนำไปทดสอบกับชุดข้อมูลมุมมองเหนือศีรษะ จากการใช้แบบจำลอง YOLOV3 ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในมุมมองเหนือศีรษะ ให้ผลลัพธ์ที่ดี โดยมีค่า True Positive Rates (TPR) สูงถึงร้อยละ 95 และค่า False Positive Rates (FPR) ร้อยละ 0.2 สรุปได้ว่าแบบจำลองที่ฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลมุมมองด้านหน้า เมื่อนำมาทดสอบกับชุดข้อมูลมุมมองระดับเหนือศีรษะ พบว่าให้ผลลัพธ์ที่ดีโดยไม่ต้องนำแบบจำลองมาฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลมุมมองระดับเหนือศีรษะ หากต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองเพิ่มเติมสามารถทำได้โดยให้แบบจำลองทำการเรียนรู้กับชุดข้อมูลมุมมองเหนือศีรษะ และทดสอบกับชุดข้อมูลมุมมองเหนือศีรษะเช่นเดียวกัน

Gunduz and Isik (2023) ทำการศึกษาวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับและนับจำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่ภายในอาคาร เนื่องจากสถานการณ์โรคติดต่อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ได้แพร่เชื้อให้กับผู้คนหลายล้านคนทั่วโลกและทำให้มีผู้เสียชีวิตจำนวนมาก องค์การอนามัยโลก (WHO) จึงกำหนดมาตรการด้านสุขภาพต่าง ๆ ขึ้น หนึ่งในมาตรการด้านสุขภาพคือ การป้องกันไม่ให้ผู้คนแออัดในบริเวณพื้นที่ที่จำกัด ผู้วิจัยจึงทำการศึกษการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณพื้นที่ที่ไม่ว่างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัด ในการศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ภายในอาคารแห่งหนึ่งในการบันทึกวิดีโอและประมาณขนาดของพื้นที่นั้น เกณฑ์การจำกัดคนถูกกำหนดเป็นหนึ่งคนต่อหนึ่งตารางเมตร จากนั้นจึงนับจำนวนคนในบริเวณดังกล่าว ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลอง YOLOv3, YOLOv4, YOLOv5s, YOLOv3-Tiny และ YOLOv4-Tiny เพื่อตรวจจับและนับจำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่ที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้คือ แบบจำลองมีความแม่นยำสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ YOLOv3, YOLOv5s และ YOLOv4 โดยมีค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 96.89, 96.12 และ 94.57 ตามลำดับ และในวิดีโอทดสอบ YOLOv5s ทำงานได้รวดเร็วกว่า YOLOv3 และ YOLOv4 ในแง่ของเฟรมต่อวินาที (Frames Per Second: FPS) ในการประมวลผลวิดีโอแบบเรียลไทม์

Sumit et al. (2020) ทำการศึกษาวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLO และ Mask R-CNN ในการประมวลผลภาพและตรวจจับวัตถุ ในกรณีนี้มุ่งเน้นที่การตรวจจับบุคคล โดยผู้วิจัยประเมินใน 2 ประเด็นคือ ความสามารถในการตรวจจับและเวลาในการประมวลผล ชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นชุดข้อมูลที่ทางผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมขึ้นเอง ซึ่งในชุดข้อมูลมีจำนวนรูปภาพทั้งหมด 500 ภาพ โดยแต่ละภาพมีพื้นหลังที่แตกต่างกัน แต่ละภาพมีบุคคลที่ทับซ้อนกันและไม่ทับซ้อนกัน จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพบว่า ทั้ง Mask R-CNN และ YOLO สามารถตรวจจับวัตถุได้ โดย Mask R-CNN ใช้เวลาในการตรวจจับมากกว่า YOLO ในบางกรณี Mask R-CNN ไม่สามารถตรวจจับบุคคลได้ ในขณะที่ YOLO สามารถตรวจจับบุคคลได้ทุกประเภท และ YOLO สามารถใช้ในการตรวจจับวัตถุประเภทใดก็ได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งถือได้ว่า YOLO เป็นแบบจำลองที่ดีกว่า ทั้งนี้ประสิทธิภาพของแบบจำลองขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลด้วย ชุดข้อมูลที่แตกต่างกันอาจให้ผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ต่างกัน

Zhao et al. (2022) ทำการศึกษาวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับและติดตามผู้โดยสารที่ใช้รถประจำทาง เนื่องจากข้อมูลการเดินทางของผู้โดยสารมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพสายการเดินรถของบริษัท การจัดการตารางเวลาการเดินทาง และการจัดโหมดการเดินทางของผู้โดยสาร ดังนั้นวิดีโอที่บันทึกข้อมูลการขึ้นลงรถประจำทางของผู้โดยสารจึงมีความสำคัญมากที่จะนำมาช่วยในการตรวจจับและนับจำนวนคนที่ขึ้นลงรถโดยสาร ผู้วิจัยทำการรวบรวมตัวอย่างภาพสีระของผู้โดยสารจำนวน 3960 ตัวอย่าง และภาพอื่น ๆ ที่ไม่ใช่สีระของผู้โดยสารจำนวน 4150 ตัวอย่าง จากนั้นสร้างแบบจำลองสำหรับการตรวจจับ โดยการติดป้ายกำกับ (Labels) และให้แบบจำลองทำการเรียนรู้ชุดข้อมูล ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง YOLOv3 มีค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 92.12 และค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 89.71

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Krishnan et al. (2023) ทำการศึกษาวิจัยโดยมีเป้าหมายหลักคือ การไม่สูบบุหรี่ภายในอาคาร ผู้วิจัยใช้แบบจำลอง YOLOv8 ในการตรวจจับใบหน้า ซึ่งเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่จดจำใบหน้าไว้ โดยการตรวจจับใบหน้านี้ทำโดยใช้กล้องที่ติดตั้งไว้ในอาคาร หากมีบุคคลสูบบุหรี่ภายในอาคารจะมีการเตือนด้วยเสียง หากบุคคลนั้นยังคงสูบบุหรี่ต่อไป ระบบจะทำการถ่ายภาพและส่งการแจ้งเตือนผ่าน Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) ไปยังฝ่ายบริหาร และฝ่ายบริหารจะดำเนินการตรวจสอบผู้ที่สูบบุหรี่ต่อไป

Aboah et al. (2023) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้หมวกนิรภัยซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันการบาดเจ็บบริเวณศีรษะและเสียชีวิตจากอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ ผู้คนมักไม่สวมใส่หมวกนิรภัยซึ่งถือเป็นปัญหาสำคัญในเรื่องของความปลอดภัยในการจราจร ผู้วิจัยนำเสนอแบบจำลอง YOLOv5, YOLOv5 + TTA, YOLOv7, YOLOv8 และ YOLOv8 + TTA สำหรับการตรวจจับบุคคลที่ไม่สวมใส่หมวกนิรภัยแบบเรียลไทม์ โดย TTA หมายถึงมีการเพิ่มข้อมูล ผลการทดลองพบว่า YOLOv8 + TTA มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับเวอร์ชันอื่น ๆ โดยมีค่า mAP เท่ากับ 0.5861 ด้วยความเร็ว 95 ภาพต่อวินาที

Ward (2023) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับยานยนต์ไร้คนขับ ระบบการจดจำและทำนายพฤติกรรมของมนุษย์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของยานยนต์ไร้คนขับ การไม่สามารถระบุประเภทของคนเดินถนนได้อย่างถูกต้องอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้แบบจำลองในการตรวจจับและติดตามคนเดินถนน โดยมีการจำแนกคนเดินถนนว่าเป็นผู้ใหญ่หรือเด็ก นอกจากมนุษย์ ยังมีการตรวจจับและติดตามสัตว์จำนวน 51 ชนิดที่พบได้ทั่วไปบนท้องถนน โดยใช้แบบจำลอง YOLOv5, YOLOv7, YOLOv8 สำหรับการตรวจจับวัตถุ และใช้แบบจำลอง DeepSORT ในการติดตามวัตถุ ผลการทดลองระบบตรวจจับและติดตามคนเดินถนนพบว่า แบบจำลอง YOLOv8 มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองเวอร์ชัน โดยมีค่า mAP50 ในการตรวจจับโดยรวม การตรวจจับผู้ใหญ่ และการตรวจจับเด็ก คิดเป็นร้อยละ 98.4, 97.9 และ 98.9 ตามลำดับ และผลลัพธ์การตรวจจับสัตว์ YOLOv8 ให้ค่า mAP50 ร้อยละ 99.5

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาข้างต้น เป็นงานวิจัยที่ใช้แบบจำลอง YOLO เวอร์ชันต่าง ๆ สำหรับการตรวจจับวัตถุ โดยมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับบุคคล สรุปได้ดัง ตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่มีการใช้แบบจำลอง YOLO เวอร์ชันต่าง ๆ สำหรับการตรวจจับบุคคล

| ผู้วิจัย | วัตถุประสงค์ | วิธีการ | | | | | ผลการวิจัย |
|------------------------|---|---------|--------|--------|--------|--------|---|
| | | YOLOv3 | YOLOv4 | YOLOv5 | YOLOv7 | YOLOv8 | |
| Ahmad et al. (2019) | ตรวจจับและนับจำนวนคนในมุมมองเหนือศีรษะ | / | | | | | TPR เท่ากับ 95% และ FPR เท่ากับ 0.2% |
| Gunduz and Isik (2023) | ตรวจจับและนับจำนวนคนที่อยู่ในบริเวณอาคารที่มีพื้นที่จำกัด | / | / | / | | | YOLOv3 ให้ค่าความแม่นยำสูงสุด คือ 96.89% |
| Zhao et al. (2022) | ตรวจจับและติดตามผู้โดยสารที่ใช้รถประจำทาง | / | | | | | ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 89.71% และ Recall เท่ากับ 92.12 |
| Aboah et al. (2023) | ตรวจจับบุคคลที่ไม่สวมใส่หมวกนิรภัยแบบเรียลไทม์ | | | / | / | / | YOLOv8 + TTA ให้ค่า mAP เท่ากับ 0.5861 ด้วยความเร็ว 95 ภาพต่อวินาที |
| Ward (2023) | ตรวจจับและติดตามสัตว์และคนเดินถนนเพื่อความปลอดภัยเกี่ยวกับยานยนต์ไร้คนขับ | | | / | / | / | YOLOv8 ให้ค่า mAP50 ในการตรวจจับคน 98.9% และการตรวจจับสัตว์ 99.5% |

2.11.2 การตรวจจับใบหน้าและดวงตา โดยใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier

Akshay et al. (2022) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการตรวจจับดวงตาของผู้คนขณะสวมหน้ากากอนามัย โดยผู้วิจัยใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier ในการตรวจจับดวงตาแบบเรียลไทม์ โดยแบบจำลอง Haar Cascade Classifier ได้รับการฝึกฝนโดยใช้ภาพเชิงบวกจำนวน 2,000 ภาพ และภาพเชิงลบจำนวน 4,000 ภาพ ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองให้ค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 96.72

Rahmad et al. (2020) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 2 แบบจำลองที่ใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้า ได้แก่ Haar Cascade Classifier และ Histogram of Oriented Gradients (HOG) ผลการทดลองพบว่า Haar Cascade Classifier ให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 75.33 และ Histogram of Oriented Gradients ให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 80.22 แบบจำลอง Haar Cascade Classifier สามารถตรวจจับใบหน้าส่วนหน้าได้เป็นอย่างดีทั้งขนาด ท่าทาง การแต่งหน้า การแสดงออก และแสงสว่าง แต่ค่อนข้างยากในการตรวจจับใบหน้าที่สวมหมวกนิรภัย แว่นตา และหน้ากากอนามัย การสรุปโดยรวมพบว่าในงานวิจัยนี้ Histogram of Oriented Gradients มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า Haar Cascade Classifier

Hoque et al. (2020) ทำการศึกษาวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่สามารถตรวจจับใบหน้ามนุษย์จากการสตรีมวิดีโอสดและเตือนด้วยเสียงไซเรน เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังความปลอดภัย ผู้วิจัยใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier สำหรับการตรวจจับใบหน้า โดยผู้วิจัยมีข้อมูล 128 ใบหน้าจากวิดีโอความยาว 300 นาที วิดีโอมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน 3 ประการ ได้แก่ ภาพปกติที่มีสภาพแสงตามธรรมชาติ ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสง และภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดและอารมณ์ของใบหน้า ผลการทดลองพบว่าภาพที่มีสภาพแสงธรรมชาติ ระบบมีอัตราความสำเร็จในการตรวจจับใบหน้า คิดเป็นร้อยละ 92.19 ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสง ระบบมีอัตราความสำเร็จในการตรวจจับใบหน้า คิดเป็นร้อยละ 75.66 และภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดใบหน้าและอารมณ์ของใบหน้า ระบบมีอัตราความสำเร็จในการตรวจจับใบหน้า คิดเป็นร้อยละ 83.60 สรุปผลได้ว่าประสิทธิภาพของระบบได้รับผลกระทบจากสภาพแสงมากที่สุด ดังนั้นระบบนี้ควรควบคุมแสงให้พอดี โดยใช้กล้องที่มีคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shetty et al. (2021) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 2 แบบจำลองที่ใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้า นั่นคือ Haar Cascade Classifier และ Local Binary Pattern ผลการทดลองพบว่า Haar cascade classifier ให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 96.24 ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่า Local Binary Pattern ที่ให้ค่าความแม่นยำร้อยละ 94.74 แต่ระยะเวลาในการดำเนินการของแบบจำลอง Haar Cascade Classifier นั้นมากกว่า Local Binary Pattern

Singh et al. (2022) ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับระบบการตรวจจับดวงตาสำหรับช่วยในการควบคุมการทุจริตในการสอบออนไลน์ ในงานวิจัยนี้มีการใช้เทคนิคการตรวจจับใบหน้า ตรวจจับดวงตา และการติดตามลูกตา โดยแบบจำลองที่ใช้คือ Haar Cascade Classifier ระบบจะทำการตรวจสอบว่า ผู้สอบออนไลน์มองไปในทิศทางทางอื่นนอกเหนือจากข้อสอบหรือไม่ หากตรวจพบว่ามี การทุจริต ระบบจะส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้คุมสอบและดำเนินการลงโทษต่อไป จากการทดลองพบว่าแบบจำลองให้ค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 97.93

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาข้างต้น เป็นงานวิจัยที่มีการใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier โดยมุ่งเน้นในการตรวจจับใบหน้าและดวงตา โดยสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปงานวิจัยที่มีการใช้แบบจำลอง Haar Cascade Classifier ในการตรวจจับใบหน้าและดวงตา

| ผู้วิจัย | วัตถุประสงค์ | วิธีการ | | | ผลการวิจัย |
|----------------------|--|---------|-----|-----|---|
| | | HCC | HOG | LBP | |
| Akshay et al. (2022) | ตรวจจับดวงตาของผู้คนขณะสวมหน้ากากอนามัย | / | / | / | ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 96.72% |
| Rahmad et al. (2020) | เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 2 แบบจำลองที่ใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้า | / | / | / | HCC ให้ค่าความแม่นยำ 75.33% และ HOG ให้ค่าความแม่นยำ 80.22% |
| Hoque et al. (2020) | ตรวจจับใบหน้ามนุษย์จากการสตรีมวิดีโอสด โดยมีภาพ 3 รูปแบบ | / | / | / | ภาพแสงธรรมชาติให้ค่าความแม่นยำในการตรวจจับใบหน้า 92.19%, ภาพที่มีการเปลี่ยนของแสงให้ค่าความแม่นยำ 75.66%, ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดใบหน้าและอารมณ์ให้ค่าความแม่นยำ 83.60% |
| Shetty et al. (2021) | เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 2 แบบจำลองที่ใช้สำหรับการตรวจจับใบหน้า | / | / | / | HCC ให้ค่าความแม่นยำ 96.42% และ LBP ให้ค่าความแม่นยำ 94.74% |
| Singh et al. (2022) | ตรวจจับดวงตาเพื่อควบคุมการทุจริตในการสอบ | / | / | / | ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 97.93% |

** HCC หมายถึง Haar Cascade Classifier, HOG หมายถึง Histogram of Oriented Gradients และ LBP หมายถึง Local Binary Pattern

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้แนะนำเสนอเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย โดยในการศึกษาวิจัยนี้แบ่งปัญหาออกเป็น 2 งานย่อย ๆ ที่เป็นอิสระกัน ได้แก่ งานที่ 1 การตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก และงานที่ 2 การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลวิดีโอที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ได้แก่ วิดีโอที่ได้จากการบันทึก ณ บริเวณพื้นที่ของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง ในวันที่ 20 มีนาคม 2566 และ ณ บริเวณพื้นที่ของสถานีรถไฟใต้ดินแห่งหนึ่ง ในวันที่ 15 มีนาคม 2566

3.2 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 ซอฟต์แวร์ (Software)

- 1) ระบบปฏิบัติการ macOS Monterey
- 2) เครื่องมือที่ใช้สำหรับการติดป้ายกำกับและการเพิ่มข้อมูล สามารถศึกษารายละเอียดได้จาก www.roboflow.com
- 3) ภาษา Python 3.8.16 สามารถศึกษาารายละเอียดได้จาก <https://www.python.org/>
- 4) เครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรม ใช้ในการเปิดไฟล์ python รวมถึงการแก้ไขโค้ดเพิ่มเติม ได้แก่ Google Colab และ Visual Studio Code
- 5) เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ โปรแกรมสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

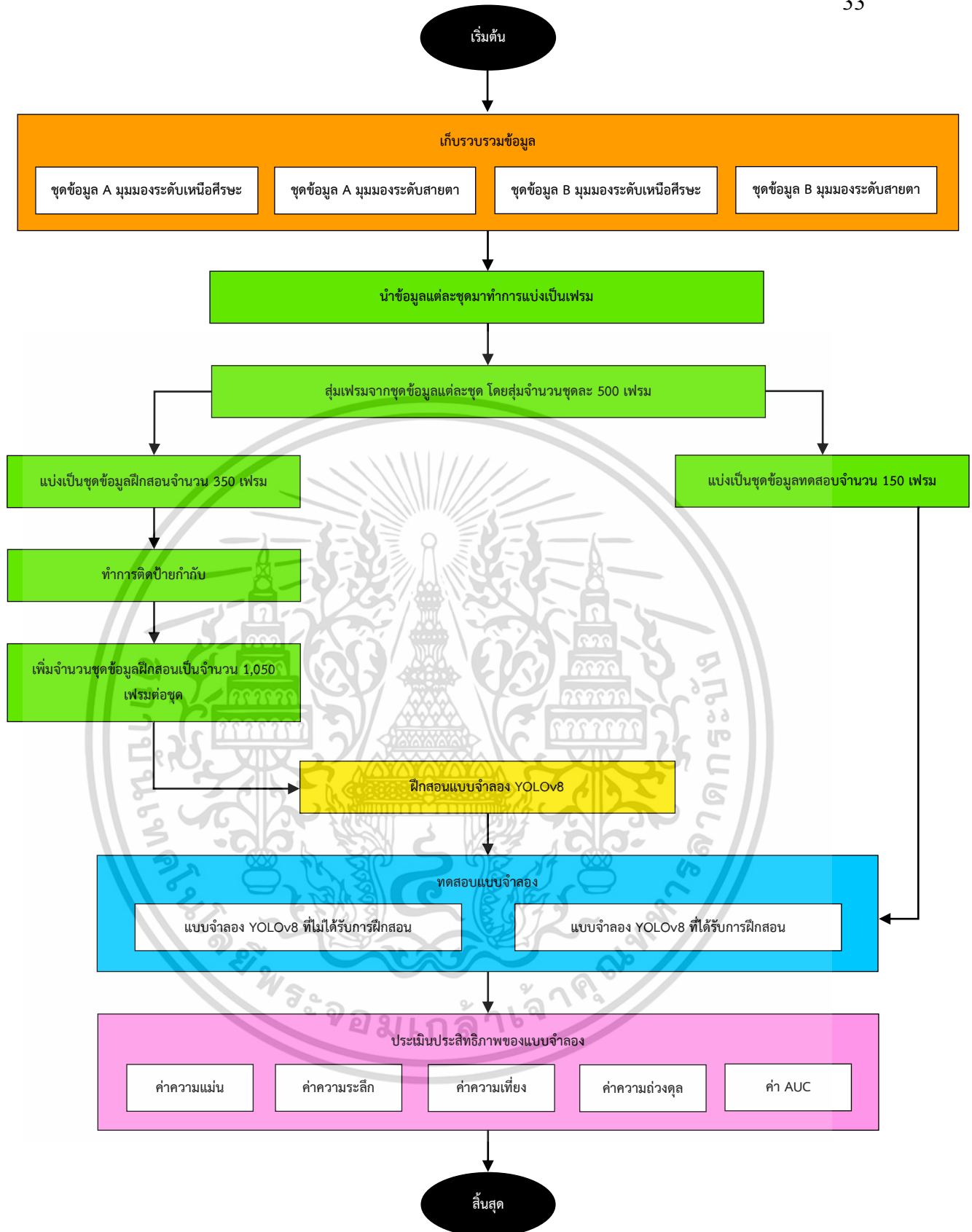
3.3.2 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

- 1) หน่วยประมวลผล Apple Silicon
- 2) CPU 8-core
- 3) GPU 7-core
- 4) Neural Engine 16-core
- 5) หน่วยความจำ 8.0 GB
- 6) ตัวจัดเก็บข้อมูลแบบ SSD ความจุ 256 GB

3.4 ขั้นตอนในการตรวจจับและนับจำนวนคนทีในบริเวณที่กล้องบันทึก

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนทีในบริเวณที่กล้องบันทึก โดยพื้นที่สีส้มแสดงถึงขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล พื้นที่สีเขียวแสดงถึงขั้นตอนในการจัดเตรียมข้อมูล พื้นที่สีเหลืองแสดงถึงขั้นตอนในการฝึกสอนแบบจำลอง พื้นที่สีฟ้าแสดงถึงขั้นตอนในการทดสอบแบบจำลอง และพื้นที่สีชมพูแสดงถึงขั้นตอนในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง รายละเอียดแสดงใน หัวข้อที่ 3.4.1 ถึง หัวข้อที่ 3.4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



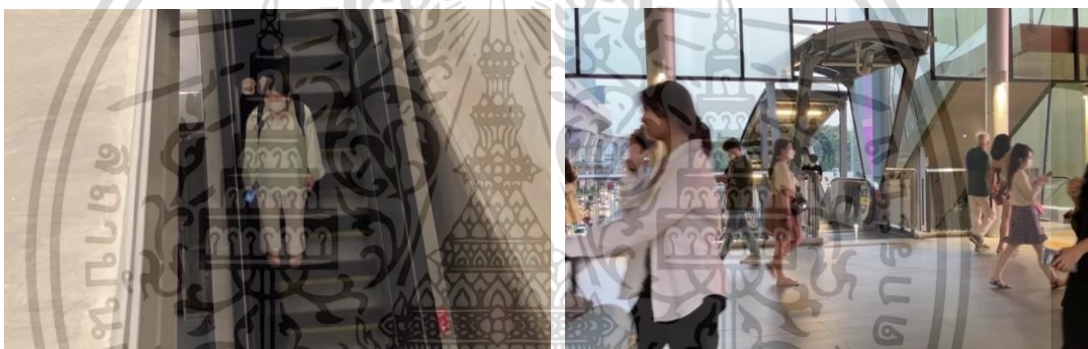
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูล A และ ชุดข้อมูล B โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ชุดข้อมูล A เป็นชุดข้อมูลปฐมภูมิที่ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมขึ้นเอง โดยทำการบันทึกวิดีโอไฟล์ .MOV ใน 2 มุมมอง ได้แก่ 1. มุมมองระดับเหนือศีรษะ ซึ่งเป็นมุมมองในลักษณะของบนลงล่าง คล้ายกับนกที่กำลังบินอยู่บนท้องฟ้าแล้วมองลงมายังเบื้องล่าง และ 2. มุมมองระดับสายตา เป็นมุมมองที่ตั้งฉากกับวัตถุที่ทำการบันทึกพอดี วิดีโอในแต่ละมุมมองมีความยาว 5 นาที พื้นที่ในการบันทึก ได้แก่ พื้นที่ของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง ตัวอย่างภาพจากวิดีโอของชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ **แสดงดังรูปที่ 3.2(ก)** และมุมมองระดับสายตา **แสดงดังรูปที่ 3.2(ข)**



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอของชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา

- ชุดข้อมูล B เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ถูกเก็บรวบรวมขึ้นโดยผู้วิจัยท่านอื่น โดยข้อมูลชุดนี้ประกอบด้วยวิดีโอจำนวน 2 วิดีโอ ได้แก่ วิดีโอในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และวิดีโอในมุมมองระดับสายตา วิดีโอในแต่ละมุมมองมีความยาว 5 นาที พื้นที่ในการบันทึก ได้แก่ พื้นที่ของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินแห่งหนึ่ง ตัวอย่างภาพจากวิดีโอของชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ **แสดงดังรูปที่ 3.3(ก)** และมุมมองระดับสายตา **แสดงดังรูปที่ 3.3(ข)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

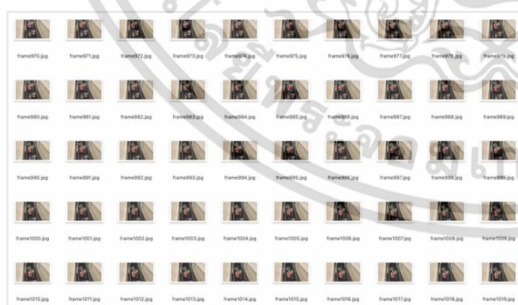


(ข)

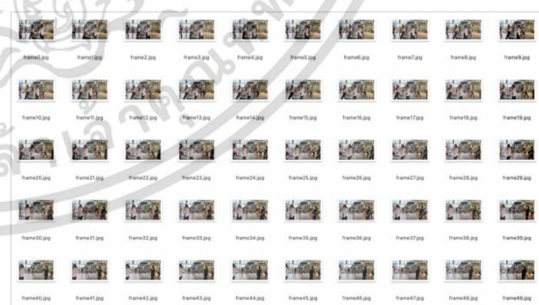
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอของชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา

3.4.2 การจัดเตรียมข้อมูล

1) จัดการไฟล์วิดีโอในแต่ละมุมมอง โดยนำวิดีโอแบ่งเป็นเฟรม (Frame) ซึ่งแบ่งในอัตรา 30 เฟรมต่อวินาที เนื่องจากแต่ละวิดีโอมีความยาว 300 วินาที จึงสามารถแบ่งวิดีโอได้จำนวนทั้งหมด 9,000 เฟรมต่อ 1 วิดีโอ ตัวอย่างเฟรมที่ทำการแบ่งจากวิดีโอของชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ แสดงดังรูปที่ 3.4(ก) และมุมมองระดับสายตา แสดงดังรูปที่ 3.4(ข) และตัวอย่างเฟรมที่ทำการแบ่งจากวิดีโอของชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ แสดงดังรูปที่ 3.5(ก) และมุมมองระดับสายตา แสดงดังรูปที่ 3.5(ข)



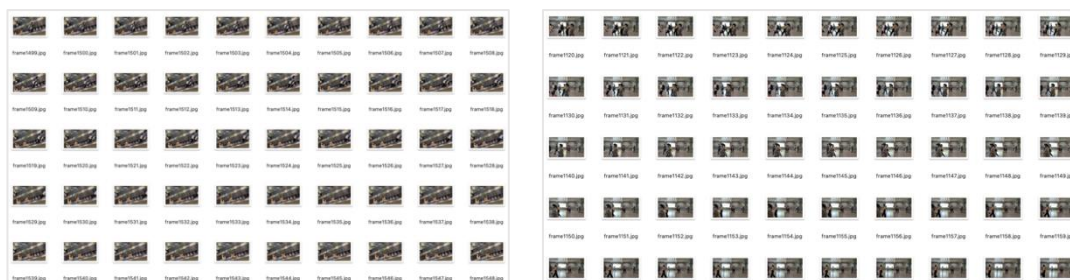
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างเฟรมที่ทำการแบ่งจากวิดีโอของชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างเฟรมที่ทำการแบ่งจากวิดีโอของชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา

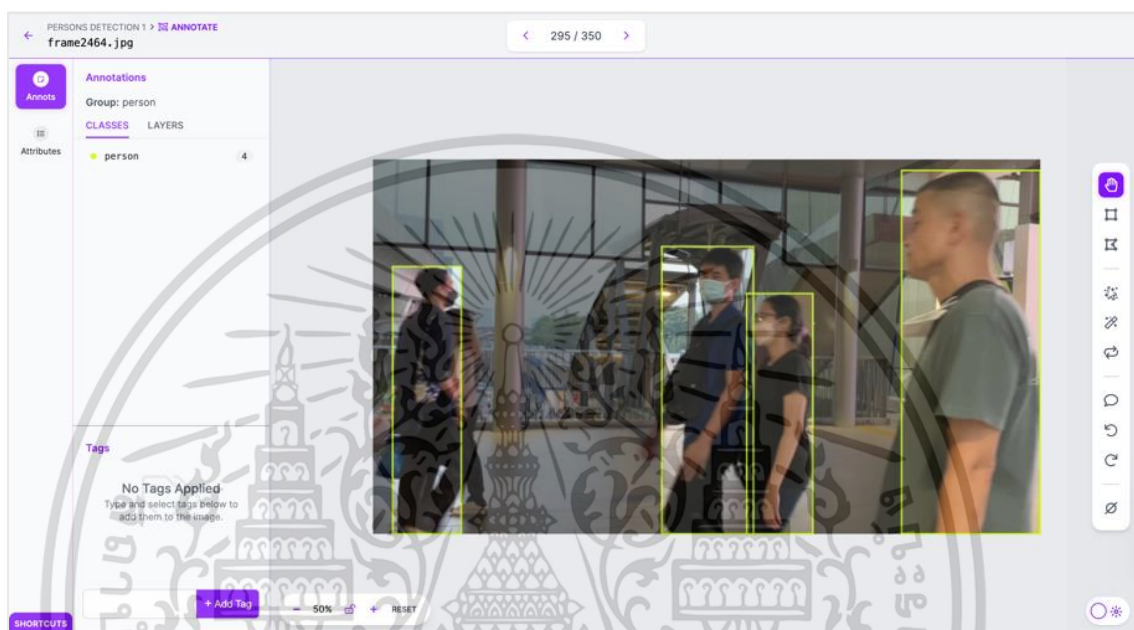
2) ทำการสุ่มเฟรมจากชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในแต่ละมุมมองมาจำนวน 500 เฟรม จาก 9,000 เฟรม โดยแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับการฝึกสอนแบบจำลอง (Training Set) จำนวน 350 เฟรม คิดเป็นร้อยละ 70 และแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบแบบจำลอง (Test Set) จำนวน 150 เฟรม คิดเป็นร้อยละ 30 ใช้วิธีการสุ่มแบบเป็นระบบ (Systematic Sampling) ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็น เนื่องจากทำให้ได้รูปภาพในทุกช่วงของวิดีโอที่ทำการบันทึก รายละเอียดแสดงดัง ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลอง

| มุมมอง ชุดข้อมูล | ชุดข้อมูล A | | ชุดข้อมูล B | |
|---------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | ระดับเหนือศีรษะ | ระดับสายตา | ระดับเหนือศีรษะ | ระดับสายตา |
| ชุดข้อมูลฝึกสอน | 350 (70%) | 350 (70%) | 350 (70%) | 350 (70%) |
| ชุดข้อมูลทดสอบ | 150 (30%) | 150 (30%) | 150 (30%) | 150 (30%) |
| รวม | 500 (100%) | 500 (100%) | 500 (100%) | 500 (100%) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำข้อมูลที่ใช้สำหรับการฝึกสอนแบบจำลองของชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในแต่ละมุมมอง มาทำการติดป้ายกำกับ (Labels) เพื่อระบุวัตถุที่เป็นมนุษย์ในรูปภาพ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการติดป้ายกำกับ คือ www.roboflow.com โดยผู้วิจัยทำการตีกรอบวัตถุที่ถือว่าเป็นมนุษย์ และทำการติดป้ายกำกับว่าวัตถุชิ้นนั้นเป็นมนุษย์ ตัวอย่างการติดป้ายกำกับ แสดงดังรูปที่ 3.6

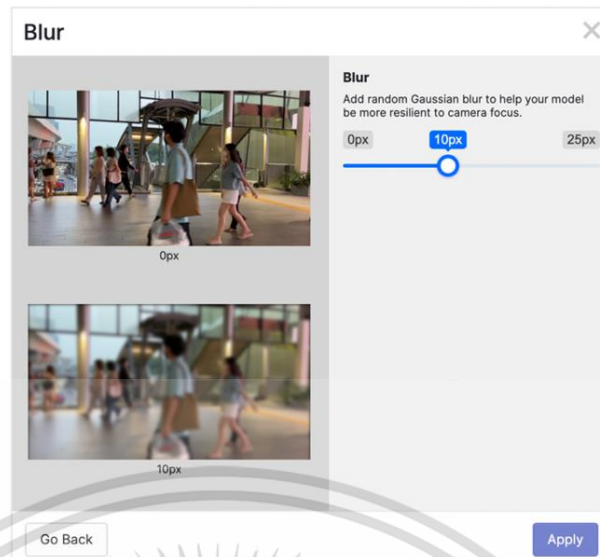


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการติดป้ายกำกับ

4) ทำการเพิ่มจำนวนข้อมูล (Data Augmentation) ที่ใช้ในการฝึกสอนของชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในแต่ละมุมมอง ซึ่งการเพิ่มข้อมูลเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองได้เรียนรู้ข้อมูลที่มีความหลากหลายรูปแบบ โดยผู้วิจัยทำการเพิ่มข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

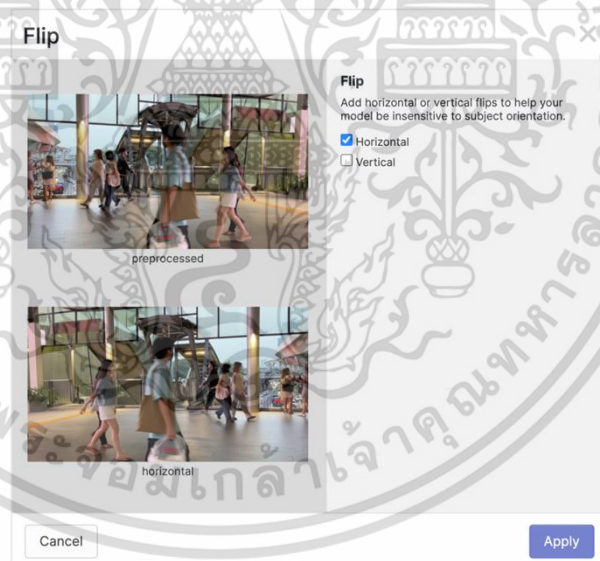
- การ Blur : เป็นการทำให้ภาพมีความพร่ามัว ไม่ชัดเจน โดยผู้วิจัยนี้ทำการเพิ่มภาพที่มีความ blur เพิ่มขึ้น 10 พิกเซล (Pixel) แสดงดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การ Blur

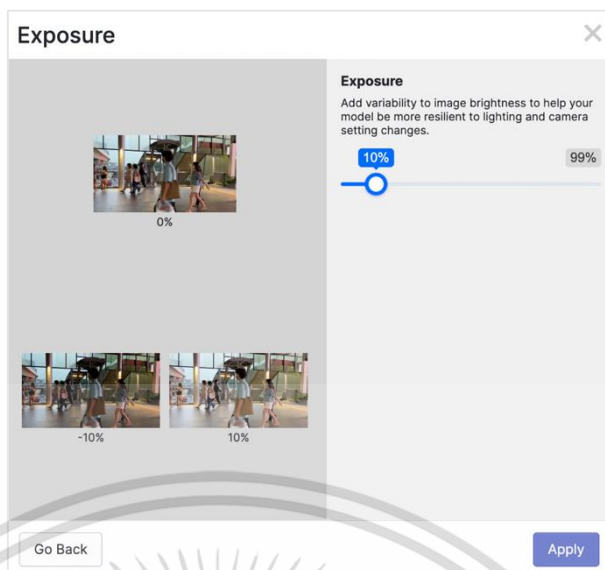
- การ Flip : เป็นการกลับภาพจากซ้ายไปขวา แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การ Flip

- การ Exposure : เป็นการปรับความสว่างของภาพ โดยผู้วิจัยนี้ทำการเพิ่มภาพที่มีความสว่างเพิ่มขึ้น 10% และความสว่างลดลง 10% แสดงดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การ Exposure

หลังจากทำการเพิ่มชุดข้อมูลฝึกสอนเรียบร้อยแล้ว ส่งผลให้จำนวนภาพข้อมูลฝึกสอนของชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B เพิ่มขึ้นจาก 350 ภาพ เป็น 1,050 ภาพต่อ 1 มุมมอง

5) ตั้งค่ารูปภาพทั้งหมดที่ทำการติดป้ายกำกับและเพิ่มจำนวนข้อมูล ให้เป็นชุดข้อมูลฝึกสอน

3.4.3 การฝึกสอนแบบจำลอง

การฝึกสอนแบบจำลอง เป็นการนำชุดข้อมูลฝึกสอนป้อนเข้าสู่แบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองทำการเรียนรู้รูปแบบของข้อมูล ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุที่เป็นมนุษย์ในรูปภาพ ผู้วิจัยทำการฝึกสอนแบบจำลอง YOLOv8 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ทำการเปิดไฟล์ Notebook ใน Google Colab
- 2) ทำการติดตั้งไลบรารี (Library) ultralytics เวอร์ชัน (Version) 8.0.20 และนำเข้า (Import) โมดูล (Module) ultralytics เพื่อใช้งานฟังก์ชัน (Function) ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในไลบรารี

```
!pip install ultralytics==8.0.20
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ `import ultralytics` ศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ทำการนำเข้าฟังก์ชัน YOLO จากโมดูล ultralytics ในไลบรารี ultralytics โดย YOLO จะช่วยในการสร้างและใช้งานแบบจำลองสำหรับตรวจจับวัตถุ

```
from ultralytics import YOLO
```

- 4) ทำการนำเข้าฟังก์ชัน display และ Image จากโมดูล IPython.display เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูลและรูปภาพ

```
from IPython.display import display, Image
```

- 5) ทำการสร้างไดเรกทอรี (Dirctory) ชื่อ datasets ในไดเรกทอรีหลัก และเปลี่ยนไดเรกทอรีปัจจุบันเป็นไดเรกทอรี datasets

```
!mkdir {HOME}/datasets
```

```
%cd {HOME}/datasets
```

- 6) ทำการติดตั้งไลบรารี roboflow ที่ใช้สำหรับการนำเข้าข้อมูลจาก Roboflow และนำเข้าฟังก์ชัน Roboflow จากโมดูล roboflow

```
!pip install roboflow
```

```
from roboflow import Roboflow
```

- 7) ทำการนำเข้าชุดข้อมูลฝึกสอนที่ทำการจัดเตรียมไว้เรียบร้อยแล้วใน หัวข้อที่ 3.4.2 และเก็บไว้ในตัวแปร datasets

```
rf = Roboflow(api_key="lIrErIn6PupDs1gOchAF")
project t= rf.workspace("king-mongkuts-institute-of-
technology-
ladkrabang-2kdhr").project("people-detection-umlon")
dataset = project.version(1).download("yolov8")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 8) วัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงไดเรกทอรีปัจจุบันให้เป็นไดเรกทอรีหลักไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

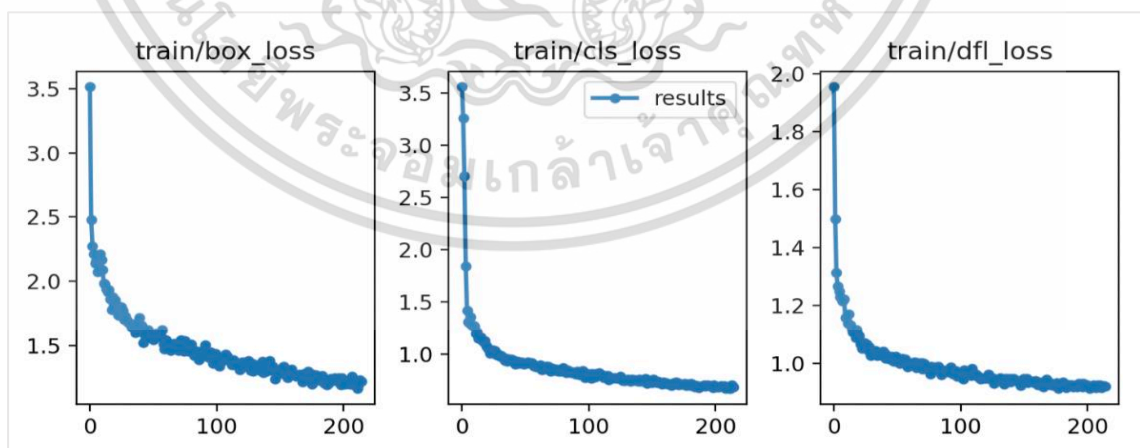
```
%cd {HOME}
```

- 9) ทำการฝึกสอนแบบจำลอง YOLOv8 โดยกำหนดจำนวนรอบของการฝึกสอน (Epoch) และขนาดภาพที่ใช้ในกระบวนการฝึกสอน และกำหนดให้พล็อต (Plots) ผลลัพธ์เพื่อการสรุปผลการฝึกสอน

```
!yolo task=detect mode=train model=yolov8n.pt
data={dataset.location}/data.yaml epochs=1000 imgsz=100
plots=True
```

ในการฝึกสอนแบบจำลองนั้น ผู้วิจัยกำหนดจำนวนรอบในการฝึกสอนแบบจำลอง สูงสุดที่ 1000 รอบ ในการทำงานของโค้ดนั้น เมื่อแบบจำลองทำการเรียนรู้ไปเรื่อย ๆ จนพบว่าค่าความสูญเสีย (Loss) มีค่าคงที่แล้ว แบบจำลองจะหยุดทำการเรียนรู้ แม้ว่าจะยังเรียนรู้ไม่ถึง 1000 รอบก็ตาม

ผลการฝึกสอนแบบจำลอง YOLOv8 พบว่าแบบจำลองทำการเรียนรู้จำนวน 215 รอบและพบว่าค่าความสูญเสียคงที่แล้ว จึงหยุดทำการเรียนรู้ ผลการฝึกสอนแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลการฝึกสอนแบบจำลอง YOLOv8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 3.10 box_loss หรือ box loss เป็นการคำนวณค่าความสูญเสียของตำแหน่งและขนาดของกล่องที่ครอบตัววัตถุ (bounding box) หากค่าการสูญเสียน้อย ตัวกล่องจะทำการครอบวัตถุได้พอดี ไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป

cls_loss หรือ classification loss จะช่วยในการปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพื่อให้ความน่าจะเป็นของคลาสที่ต้องการเพิ่มขึ้น และลดค่าความสูญเสียของคลาสที่ผิดพลาด

dfl_loss หรือ Distribution Focal Loss (DFL) เป็นแนวทางในการคำนวณค่าความสูญเสียในการฝึกแบบจำลองที่เกี่ยวกับปัญหาการจำแนกวัตถุหรือการตรวจจับวัตถุ โดยเฉพาะวัตถุที่มีความหลากหลายของคลาสและเกิดการไม่สมดุลของคลาส (Class Imbalance) ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างในแต่ละคลาสที่แตกต่างกันอย่างมา DFL ให้ค่าความสำคัญ (Importance Weight) ทำให้แบบจำลองสามารถให้ความสำคัญกับตัวอย่างในคลาสที่น้อยมากขึ้น ซึ่งช่วยในการส่งเสริมให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้และจำแนกคลาสที่น้อยได้ดีขึ้น

- 10) ในขั้นตอนสุดท้าย ทำการบีบอัดไฟล์แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้วเป็นไฟล์เตอร์ ZIP ที่ชื่อว่า weights.zip จากนั้นดาวน์โหลดไฟล์นี้ลงเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำแบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว ไปใช้ในการตรวจจับและนับจำนวนคนต่อไป

```
!zip -r weights.zip runs/detect/train/weights/
```

หลังจากทำการฝึกสอนแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบแบบจำลองสำหรับการตรวจจับและนับจำนวนคน โดยรายละเอียดแสดงใน หัวข้อที่ 3.4.4

3.4.4 การทดสอบแบบจำลอง

ในการทดสอบแบบจำลอง ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ทำการนำเข้าโมดูล os และใช้ฟังก์ชัน getcwd() จากโมดูล os เพื่อรับค่าตำแหน่งปัจจุบันของไดเรกทอรีหลัก และกำหนดค่าลงในตัวแปร HOME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
import os
HOME = os.getcwd()
```

- 2) ทำการนำเข้าโมดูล drive จาก Google Colab ซึ่งเป็นโมดูลที่ให้ฟังก์ชันและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการจัดการไฟล์และไดเรกทอรีใน Google Drive

```
from google.colab import drive
```

- 3) ทำการเชื่อมต่อกับ Google Drive และกำหนดไดเรกทอรีที่ทำกรเชื่อมต่อเป็น /content/drive

```
drive.mount('/content/drive')
```

- 4) ทำการสร้างตัวแปร SOURCE_VIDEO_PATH สำหรับนำเข้าไฟล์วิดีโอที่ต้องการตรวจจับและนับจำนวนคน

```
SOURCE_VIDEO_PATH =
f"{HOME}/drive/MyDrive/xxx.mov"
```

- 5) ทำการติดตั้งไลบรารี ultralytics และนำเข้าโมดูล ultralytics เพื่อใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพและวิดีโอ

```
!pip install ultralytics
import ultralytics
```

- 6) เปลี่ยนไดเรกทอรีปัจจุบันเป็นไดเรกทอรีหลัก

```
%cd {HOME}
```

- 7) ทำการคัดลอก (Clone) โปรเจกต์ (Project) ByteTrack จาก Github เข้าสู่โฟลเดอร์ (Folder) ปัจจุบัน และเปลี่ยนไดเรกทอรีปัจจุบันเป็นไดเรกทอรี ByteTrack ที่ถูกสร้างหลังจากการคัดลอก เพื่อให้เข้าถึงแหล่งข้อมูลและใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
!git clone https://github.com/ifzhang/ByteTrack.git
%cd {HOME}/ByteTrack
```

- 8) ทำการแก้ไขไฟล์ requirements.txt เพื่อเปลี่ยน onnx จากเวอร์ชัน 1.8.1 เป็น 1.9.0

```
!sed -i 's/onnx==1.8.1/onnx==1.9.0/g' requirements.txt
```

- 9) ทำการติดตั้งแพ็คเกจ Python จากไฟล์ requirements.txt และเรียกใช้ไฟล์ setup.py

```
!pip3 install -q -r requirements.txt
!python3 setup.py -q develop
```

- 10) ทำการติดตั้งแพ็คเกจ cython_bbox ซึ่งใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานกับข้อมูลพื้นฐานในรูปแบบ bbox (bounding box) และแพ็คเกจ onemetric ใช้สำหรับการวิเคราะห์และวัดค่าเมตริกส์ (metrics) ในงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับวัตถุ

```
!pip install -q cython_bbox
!pip install -q onemetric
```

- 11) ทำการนำเข้าโมดูล sys ซึ่งใช้สำหรับการเข้าถึงและจัดการกับระบบสารสนเทศในไพธอน (Python) และเพิ่มเส้นทาง HOME/ByteTrack เข้าไปยัง sys.path เพื่อให้ไพธอนสามารถเข้าถึงโมดูลหรือไฟล์ที่อยู่ในไดเรกทอรี ByteTrack ได้โดยไม่ต้องระบุเส้นทางเต็มของไดเรกทอรีที่อยู่ใน ByteTrack ทุกครั้งที่ต้องการใช้โมดูลนั้น

```
Import sys
sys.path.append(f"{HOME}/ByteTrack")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) ทำการนำเข้าฟังก์ชัน `dataclass` จากโมดูล `dataclasses` ซึ่งช่วยสร้างคลาสที่เป็นที่มีการจัดเก็บข้อมูลแบบเรียงลำดับ (`dataclass`) ใน Python

```
from dataclasses import dataclass
```

- 13) ทำการสร้างคลาส `BYTETrackerArgs` โดยใช้ฟังก์ชัน `dataclass` และกำหนดค่าเริ่มต้นของคุณลักษณะ (Attribute) ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นของการติดตามวัตถุ จำนวนรูปที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อติดตามวัตถุในอดีต ค่าความเหมือนของวัตถุในการจับคู่ ค่าความสัมพันธ์ทางกายภาพระหว่างอัตราส่วนของความกว้างและความยาวของวัตถุ พื้นที่ขั้นต่ำของสี่เหลี่ยมคางหมู และตัวแปรประเภทบูลีน (Boolean) ในการระบุว่าใช้ข้อมูล Multiple Object Tracking 20 หรือไม่

```
@dataclass(frozen=True)
class BYTETrackerArgs:
    track_thresh: float = 0.25
    track_buffer: int = 30
    match_thresh: float = 0.8
    aspect_ratio_thresh: float = 3.0
    min_box_area: float = 1.0
    mot20: bool = False
```

- 14) ทำการติดตั้งไลบรารี `supervision` เวอร์ชัน 0.1.0 และนำเข้าโมดูล `supervision` เพื่อใช้ในการช่วยเขียนโปรแกรมแบบสร้างกระบวนการ (Process-Based Programming) ในไพธอน เพื่อให้ได้กระบวนการที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพในการจัดการกับการทำงานแบบประสานเทียม

```
!pip install supervision==0.1.0
import supervision
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 15) ทำการนำเข้าฟังก์ชัน ColorPalatte จากโมดูล supervision.draw.color ซึ่งใช้ในการสร้างและจัดการกับพาเลตสี (Color Palette) ในการวาดภาพหรือแผนภาพใน Python

```
from supervision.draw.color import ColorPalette
```

- 16) ทำการนำเข้าฟังก์ชัน get_video_frames_generator จากโมดูล supervision.video.source ซึ่งใช้สำหรับเรียกดูภาพจากวิดีโอ สามารถใช้โครงสร้างการซ้ำเพื่อเข้าถึงและประมวลผลรูปภาพและรูปในวิดีโอได้

```
from supervision.video.source import  
get_video_frames_generator
```

- 17) ทำการนำเข้าฟังก์ชัน Detections และ BoxAnnotator จากโมดูล supervision.tools.detections ซึ่งช่วยในการจัดการกับการตรวจจับวัตถุและวาดกรอบสี่เหลี่ยม

```
from supervision.tools.detections import Detections,  
BoxAnnotator
```

- 18) ทำการนำเข้า List จากโมดูล typing เพื่อใช้ในการประกาศตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่มีลักษณะเป็นลิสต์ (List)

```
from typing import List
```

- 19) นำเข้า numpy จากโมดูล numpy เพื่อใช้ในการทำงานกับอาร์เรย์ (Array) หรือโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่มีตัวแปรหลายมิติ

```
import numpy as np
```

- 20) ทำการแปลงโครงสร้างข้อมูล Detections ให้เป็นอาร์เรย์ข้อมูลตำแหน่งของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ล่วงหน้าซึ่งง่ายกว่ากับ numpy นั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
def detections2boxes(detections: Detections) -> np.ndarray:
    return np.hstack((detections.xyxy,
                      detections.confidence[:,np.newaxis]))
```

- 21) ทำการติดตั้งแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ทำการฝึกสอนเรียบร้อยแล้วใน หัวข้อที่ 3.2.3

```
#แบบจำลองที่ไม่ได้รับการฝึกสอน
MODEL = "yolov8n.pt"
model = YOLO(MODEL)
```

```
#แบบจำลองที่ทำการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอนเรียบร้อยแล้วใน
หัวข้อที่ 3.4.2
!unzip "/content/weights.zip"
MODEL =
"/content/ByteTrack/runs/detect/train/weights/best.pt"
model = YOLO(MODEL)
```

- 22) ทำการสร้างตัวแปรเพื่อใช้ในการกำหนดค่าข้อมูลเกี่ยวกับชื่อคลาสและรหัสคลาส (Class ID)

```
CLASS_NAMES_DICT = model.model.names
CLASS_ID = [0]
```

- 23) ทำการสร้างตัวแปรเพื่ออ่านรูปภาพจากไฟล์วิดีโอที่ระบุในตัวแปร SOURCE_VIDEO_PATH โดยเข้าถึงรูปของวิดีโอแต่ละรูป เพื่อใช้ในกระบวนการตรวจจับวัตถุต่อไป

```
generator =
get_video_frames_generator(SOURCE_VIDEO_PATH)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น มิใช่ผู้ให้คำแนะนำอย่างเป็นทางการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 24) ทำการสร้างตัวแปรสำหรับใช้ในการวาดกล่องรอบวัตถุที่ตรวจจับบนรูปของวิดีโอ เพื่อแสดงผลและจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกล่องและวัตถุในวิดีโอ

```
box_annotator = BoxAnnotator(color=ColorPalette(),
thicknes=4, text_thicknes=4, text_scale=2)
```

- 25) ทำการสร้างตัวแปรที่สามารถใช้ในการวนซ้ำและเข้าถึงรูปแต่ละรูปของวิดีโอ

```
iterator = iter(generator)
```

- 26) ทำการสร้างตัวแปรสำหรับนับจำนวนรูปภาพของวิดีโอที่ผ่านไปในกระบวนการตรวจจับ โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้นเป็น 0

```
frame_count = 0
```

- 27) ทำการวนซ้ำของรูปภาพในวิดีโอและเพิ่มค่า frame_count ขึ้นครั้งละ 1 เพื่อ นับจำนวนรูปภาพในวิดีโอที่ผ่านไปในกระบวนการตรวจจับ

```
for frame in iterator:
frame_count += 1
```

- 28) ทำการตรวจสอบค่า frame_count หากหารด้วย 18 ไม่ลงตัวจะข้ามการทำงานในลูปปัจจุบันแล้วเริ่มลูปใหม่กับรูปภาพถัดไป ทำเพื่อต้องการให้ระบบทำการแสดงผลรูปภาพทุก ๆ 18 รูป

```
if frame_count % 18 != 0:
continue
```

- 29) ใช้แบบจำลองเพื่อประมวลผลกับรูปภาพในวิดีโอและเก็บผลลัพธ์ไว้ในตัวแปร result

```
results = model(frame)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 30) ทำการสร้างตัวแปร detections ซึ่งใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเพื่อ กำหนดค่าพิกัดของกล่อง (xyxy) ค่าความเชื่อมั่น (confidence) และรหัส คลาสของวัตถุที่ตรวจจับในรูปภาพของวิดีโอ

```
detections = Detections(
xyxy=results[0].boxes.xyxy.cpu().numpy(),
confidence=results[0].boxes.conf.cpu().numpy(),
class_id=results[0].boxes.cls.cpu().numpy().astype(int))
```

- 31) ทำการสร้างตัวแปร labels ที่ประกอบด้วยข้อความสำหรับแต่ละกล่องที่ ตรวจจับแล้วในรูปภาพของวิดีโอ โดยข้อความประกอบไปด้วยชื่อคลาสและค่า ความเชื่อมั่นที่ถูกปัดเศษทศนิยมไปเป็นเลขทศนิยมสองตำแหน่ง (confidence:0.2f)

```
labels = [f"{{CLASS_NAMES_DICT[class_id]}} {{confidence:0.2f}}"
for _, confidence, class_id, tracker_id in detections ]
```

- 32) ทำการวาดตัวอักษรและกล่องบนรูปภาพของวิดีโอ เพื่อแสดงผลข้อความและ ขอบเขตของวัตถุที่ตรวจจับในรูปภาพของวิดีโอ

```
annotated_frame = box_annotator.annotate(frame=frame,
detections=detections, labels=labels)
```

- 33) แสดงผลลัพธ์ชื่อของวัตถุและค่าความเชื่อมั่น

```
print(labels)
```

สรุปได้ว่าการทดสอบแบบจำลอง ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน สำหรับใช้ในการ ตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงชื่อคลาส นั่นคือ person กรอบสี่เหลี่ยมที่ทำการครอบตัวมนุษย์ ค่าความเชื่อมั่น และจำนวนคนที่แบบจำลองทำการ อกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ที่เห็นประโยชน์ในการกั ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนาย ตัวอย่างผลลัพธ์ในการตรวจจับบุคคล แสดงดังรูปที่ 3.11 และผลการนับจำนวนคน แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ในการตรวจจับบุคคล

```

0: 192x320 3 persons, 9.6ms
Speed: 0.3ms preprocess, 9.6ms inference, 2.0ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 3 persons, 10.0ms
Speed: 0.3ms preprocess, 10.0ms inference, 2.0ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 3 persons, 9.7ms
Speed: 0.3ms preprocess, 9.7ms inference, 2.0ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 3 persons, 8.9ms
Speed: 0.4ms preprocess, 8.9ms inference, 2.2ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 3 persons, 9.0ms
Speed: 0.4ms preprocess, 9.0ms inference, 2.0ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 3 persons, 8.3ms
Speed: 0.3ms preprocess, 8.3ms inference, 2.2ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 2 persons, 9.5ms
Speed: 0.3ms preprocess, 9.5ms inference, 1.9ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

0: 192x320 2 persons, 8.3ms
Speed: 0.4ms preprocess, 8.3ms inference, 1.8ms postprocess per image at shape (1, 3, 320, 320)

```

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างผลการนับจำนวนคนของแบบจำลอง

3.4.5 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

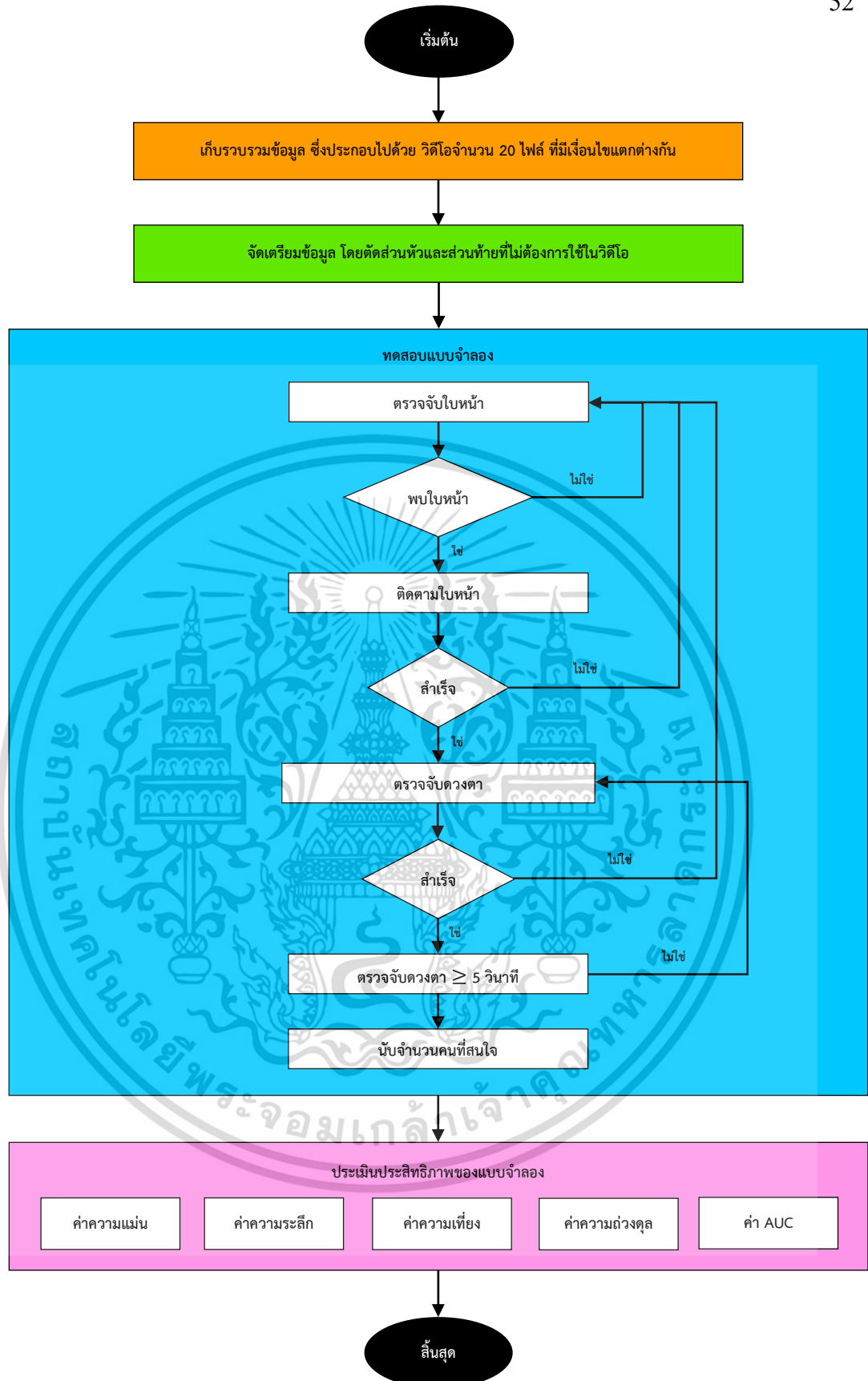
ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองต่าง ๆ หากจำนวนคนที่แบบจำลองทำนายไม่เท่ากับจำนวนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนที่ปรากฏจริงในรูปภาพ จะให้ค่าเป็น 0 แต่หากจำนวนคนที่แบบจำลองทำนายเท่ากับจำนวนคนที่ปรากฏจริงในรูปภาพ จะให้ค่าเป็น 1 จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความระลึก (Recall) ค่าความเที่ยง (Precision) ค่าความถ่วงดุล (F1-score) พื้นที่ใต้เส้นโค้ง (AUC) และการใช้ทรัพยากร (Resource) ของแบบจำลอง ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ
- 2) เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

3.5 ขั้นตอนในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

รูปที่ 3.13 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา โดยพื้นที่สีส้มแสดงถึงขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล พื้นที่สีเขียวแสดงถึงขั้นตอนในการจัดเตรียมข้อมูล พื้นที่สีฟ้าแสดงถึงขั้นตอนในการทดสอบแบบจำลอง และพื้นที่สีชมพูแสดงถึงขั้นตอนในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง รายละเอียดแสดงใน หัวข้อที่ 3.5.1 ถึง หัวข้อที่ 3.5.4



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการดำเนินงาน ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการบันทึกวิดีโอไฟล์ .MOV จำนวนทั้งสิ้น 10 เงื่อนไข แต่ละเงื่อนไขมีข้อมูลชุดทดสอบจำนวน 2 วิดีโอ ดังนั้นจึงมีชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 20 วิดีโอ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 1 : ป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาด 10 นิ้ว เป็นป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาดเล็กที่มักติดตั้งในบริเวณชั้นวางสินค้าต่าง ๆ ในร้านค้าปลีก เช่น ป้ายโฆษณาดิจิทัลที่แสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์บนชั้นวางสินค้าภายในร้านขายผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพและความงาม ผู้คนที่ยืนห่างจากป้ายโฆษณาในระยะ 1 เมตร จะสามารถอ่านและให้ความสนใจมายังป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาดเล็กนี้ได้ จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 1 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล ซึ่งยืนห่างจากป้ายในระยะ 1 เมตร ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 1

เงื่อนไขที่ 2 : ป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาด 27 นิ้ว เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งในพื้นที่ภายในร้านค้าปลีกหรือร้านอาหาร ที่ผู้คนสามารถมองเห็นและให้ความสนใจในระยะ 2 เมตรได้ อาทิเช่น ป้ายโฆษณาดิจิทัลในร้านอาหาร ที่แสดงเมนูใหม่ ๆ ซึ่งป้ายห่างจากโต๊ะรับประทานอาหารประมาณ 2 เมตร จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 2 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล ซึ่งยืนห่างจากป้ายในระยะ 2 เมตร ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 2

เงื่อนไขที่ 3 : ป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาด 32 นิ้ว เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งในพื้นที่ภายในห้างสรรพสินค้าหรือร้านค้าปลีก ที่ผู้คนสามารถมองเห็นและให้ความสนใจในระยะ 3 เมตรได้ อาทิเช่น ป้ายโฆษณาดิจิทัลที่ติดตั้งบริเวณด้านหน้าของร้านค้าปลีกในห้างสรรพสินค้า ที่นำเสนอการลดราคาสินค้าเฉพาะระยะเวลาที่กำหนด อาจมีข้อความเช่น "ส่วนลดพิเศษวันนี้เท่านั้น!" เพื่อดึงดูดความสนใจของคนในบริเวณนั้นที่มองหาสิ่งที่ถูกลดราคา จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 3 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล ซึ่งยืนห่างจากป้ายในระยะ 3 เมตร ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่ 4 : ป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาด 46 นิ้ว เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งในพื้นที่ภายในอาคารหรือภายในห้างสรรพสินค้า ที่ผู้คนสามารถมองเห็นและให้ความสนใจในระยะ 4 เมตรได้ อาทิเช่น ป้ายโฆษณาที่ติดตั้งในแนวตั้ง บริเวณเสาภายในห้างสรรพสินค้า ที่นำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับแบรนด์ เพื่อเป็นการสร้างความรู้จักให้กับแบรนด์ จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 4 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล ซึ่งยืนห่างจากป้ายในระยะ 4 เมตร ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 4 แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 4

เงื่อนไขที่ 5 : ป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาด 55 นิ้ว เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งในพื้นที่ภายในอาคารหรือภายในห้างสรรพสินค้า ที่ผู้คนสามารถมองเห็นและให้ความสนใจในระยะ 5 เมตรได้ อาทิเช่น ป้ายโฆษณาที่ติดตั้งบริเวณด้านบนประตูทางเข้า – ออกของห้างสรรพสินค้า ที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับข่าวสาร หรือกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 5 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล ซึ่งยืนห่างจากป้ายในระยะ 5 เมตร ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 5 แสดงดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 5

เงื่อนไขที่ 6 : ป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาด 60 นิ้ว เป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งในพื้นที่ภายในอาคารหรือภายในห้างสรรพสินค้า ที่ผู้คนสามารถมองเห็นและให้ความสนใจในระยะ 6 เมตรได้ อาทิเช่น ป้ายโฆษณาดิจิทัลที่แสดงข้อมูลการเชิญชวนเลือกชมสินค้าในร้านค้าที่กำลังจะเปิดใหม่ในระยะเวลาอันใกล้ จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 6 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล ซึ่งยืนห่างจากป้ายในระยะ 6 เมตร ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 6 แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่ 7 : ในการมองมายังป้ายโฆษณาดิจิทัลนั้น ผู้คนอาจให้ความสนใจในการมองมายังป้ายโฆษณา และมีการเบนหน้าไปคุยกับบุคคลอื่นในเรื่องของป้ายโฆษณา และหันกลับมามองที่ป้ายอีกครั้ง จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 7 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจมองมายังป้ายโฆษณา โดยมีการเบนหน้าหันไปทางอื่นในระยะเวลาหนึ่ง และหันกลับมามองที่กล้องอีกครั้ง ตัวอย่างภาพจากวิดีโอรูปแบบที่ 7 แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 7

เงื่อนไขที่ 8 : ในบางครั้ง มีผู้คนที่ยืนอยู่บริเวณด้านหน้าป้ายโฆษณาดิจิทัล แต่ไม่มีความสนใจในการมองมายังป้าย เช่น ผู้คนที่ทำการสั่งกาแฟอยู่บริเวณหน้าเคาน์เตอร์ (Counter) และบริเวณหน้าเคาน์เตอร์มีป้ายโฆษณาดิจิทัลขนาดเล็กติดตั้งอยู่ จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยมีความสนใจในการทดสอบแบบจำลองที่มีผู้ที่โฉบหน้าหันมาทางป้ายโฆษณาอย่างชัดเจน แต่ลูกตาดำของบุคคลนั้นมองไปในทิศทางอื่น โดยไม่ได้สนใจมองมาที่ป้ายโฆษณา ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 8 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอรูปแบบที่ 8 แสดงดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 8

เงื่อนไขที่ 9 : ในบางครั้ง มีผู้คนที่มองมายังป้ายโฆษณาดิจิทัล โดยองศาของใบหน้าในการมองป้ายโฆษณาของบุคคลดังกล่าวมีการเอียง เช่น ป้ายดิจิทัลขนาดเล็กที่ติดตั้งบนโต๊ะอาหารที่มีการนำเสนอเมนูใหม่ เนื่องจากเป็นป้ายขนาดเล็กและติดตั้งอยู่กับโต๊ะอาหาร ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ผู้คนจึงอาจมีการเอียงใบหน้าเพื่ออ่านป้ายดังกล่าว จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 9 นั่นคือ มีผู้คนที่มองมายังป้ายโฆษณาดิจิทัล โดยองศาของใบหน้าในการมองป้ายโฆษณาของบุคคลดังกล่าวมีการเอียง ใบหน้าไม่อยู่ในระดับที่ตั้งตรง ตัวอย่างภาพจากวิดีโอรูปแบบที่ 9 แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่ 10 : หลายครั้งผู้คนมักจะมองและให้ความสนใจมายังป้ายโฆษณาดิจิทัลในเวลาเดียวกัน เช่น บุคคลที่มาเดินห้างสรรพสินค้ากับเพื่อนหรือครอบครัว อาจมองและให้ความสนใจมายังป้ายโฆษณาพร้อม ๆ กันหลายคน จากเงื่อนไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการทดสอบแบบจำลองที่มีบุคคลที่สนใจป้ายโฆษณาจำนวนหลายคน ในเวลาเดียวกัน จึงทำการบันทึกวิดีโอเงื่อนไขที่ 10 นั่นคือ มีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณาดิจิทัลมากกว่า 1 คน อยู่ในเฟรมเดียวกัน ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 10 แสดงดังรูปที่ 3.23

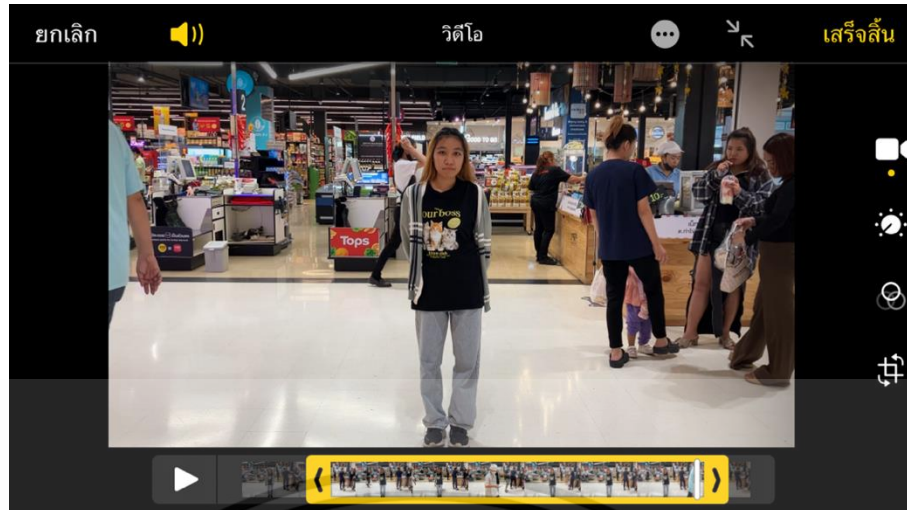


รูปที่ 3.23 ตัวอย่างภาพจากวิดีโอเงื่อนไขที่ 10

3.5.2 การจัดเตรียมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการจัดการไฟล์วิดีโอทั้ง 10 เงื่อนไข โดยตัดวิดีโอส่วนหัวและส่วนท้ายที่ไม่ต้องการใช้ออก ตัวอย่างการตัดวิดีโอ แสดงดังรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างการตัดวิดีโอ

หลังจากจัดเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง เพื่อทำการทดสอบแบบจำลองในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่มีความสนใจป้ายโฆษณา รายละเอียดแสดงใน หัวข้อที่ 3.5.3

3.5.3 การทดสอบแบบจำลอง

- 1) นำเข้าไฟล์วิดีโอที่ต้องการตรวจจับดวงตา

```
cap = cv2.VideoCapture("XXXX.MOV")
```

โดยที่ XXXX หมายถึงชื่อไฟล์วิดีโอ

- 2) นำเข้าแบบจำลองที่ใช้สำหรับตรวจจับใบหน้า

```
face_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.harcascades
+ "haarcascade_frontalface_default.xml")
```

- 3) นำเข้าแบบจำลองที่ใช้สำหรับตรวจจับดวงตา

```
eye_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.harcascades
+ "haarcascade_eye.xml")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) นำเข้าฟังก์ชันสำหรับการติดตามใบหน้า

```
tracker = cv2.legacy.TrackerMedianFlow_create()
```

- 5) ทำการสร้างตัวแปรเพื่อใช้เก็บสถานะของการติดตามวัตถุ โดยมีค่าเริ่มต้นเป็น False นั่นคือการติดตามยังไม่เกิดขึ้นในขณะนี้

```
Ontracking = False
```

- 6) ทำการสร้างตัวแปรสำหรับเก็บจำนวนรูปภาพที่ถูกประมวลผล โดยกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 0

```
contframe = 0
```

- 7) ทำการสร้างตัวแปรที่ใช้ในการเก็บค่าเวลาหรือจำนวนวินาทีที่แบบจำลองทำการตรวจจับ โดยกำหนดที่ 5 วินาที

```
secinre = 5
```

- 8) ทำการสร้างตัวแปรสำหรับนับจำนวนบุคคลที่สนใจมองมาที่กล้องหรือป้ายโฆษณา

```
person = 0
```

- 9) ทำการสร้างลูป (Loop) เพื่อเล่นวิดีโอ

```
While True:
```

- 10) ทำการสร้างตัวแปรเพื่อเก็บสถานการณ์อ่านวิดีโอ (เป็น True หรือ False) และตัวแปร frame เก็บภาพที่ถูกอ่าน

```
ret, frame = cap.read()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11) เมื่อมีการอ่านภาพใหม่ ตัวแปร contframe จะถูกเพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง ซึ่งช่วยในการนับจำนวนภาพที่ผ่านการอ่านไปแล้ว

```
contframe+=1
```

- 12) ทำการคำนวณระยะเวลาที่ภาพนั้นอยู่

```
sec = int(contframe//30)
```

- 13) ทำการตรวจสอบว่าภาพดังกล่าวอยู่ในวินาทีเดิมหรือไม่เพื่อป้องกันการนับซ้ำ

```
interestsec = int(contframe%30)
```

- 14) ทำการตรวจจับใบหน้า โดยยังไม่มี การติดตามใบหน้า

```
if not Ontracking:
```

- 15) ทำการตรวจหาใบหน้าในภาพ เมื่อพบใบหน้าทำการตีกรอบรอบใบหน้า

```
gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
for (x, y, w, h) in faces:
    cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 5)
```

- 16) ทำการติดตามใบหน้า

```
if tracker.init(frame, (x, y, w, h)) :
    Ontracking = True
```

- 17) กระบวนการต่อมาจะทำงานเมื่อมีการติดตามใบหน้าแล้ว เป็นการทำให้กรอบรอบใบหน้าทำการตรวจจับได้เคลื่อนที่ไปตามใบหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else:
    ok,bbox = tracker.update(frame)
    if ok:
        p1 = (int(bbox[0]), int(bbox[1]))
        p2 = (int(bbox[0]+int(bbox[2])), int(bbox[1]+int(bbox[3])))
        cv2.rectangle(frame, p1, p2, (255, 0, 0), 5)
        gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        aces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
        for (x, y, w, h) in faces:
            roi_gray = gray[y:y+w, x:x+w]
            roi_color = frame[y:y+h, x:x+w]

```

18) ทำการตรวจจับดวงตา

```

eyes = eye_cascade.detectMultiScale(roi_gray, 1.3, 5)
for (ex, ey, ew, eh) in eyes:

```

19) ทำการเปลี่ยนสีกรอบรอบดวงตาเมื่อพบว่าบุคคลมองมาที่กล้องเกินระยะเวลาที่กำหนด

```

if sec >= secinre:
    cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey),(ex+ew, ey+eh),(0, 255, 0), 5)
else:
    cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey),(ex+ew, ey+eh),(0, 0, 255), 5)

```

20) ทำการนับจำนวนคนที่สนใจ และแสดงผลลัพธ์

```

if sec == secinre and interestsec == 0 and str(type(eyes))
!="<class

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ 'tuple'>: เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

person+=1
print("Person interest :", person)

```

21) กรณีเมื่อการติดตามใบหน้าหลุด จะทำการจับใหม่อีกครั้ง

```

else:
    Ontracking=False
    tracker = cv2.legacy.TrackerMedianFlow_create()
    contframe=0

```

22) ทำการแสดงวิดีโอ

```

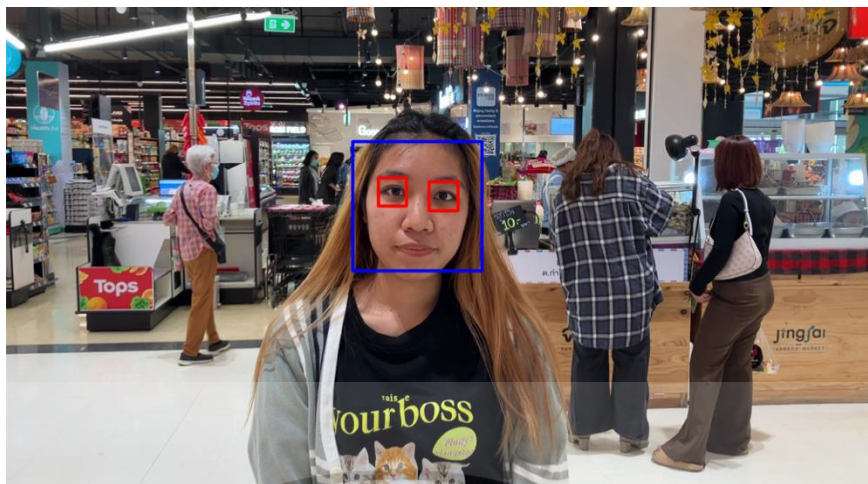
cv2.imshow('frame', frame)

```

การทดสอบการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา สามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองทำการค้นหาใบหน้าในภาพ เมื่อเจอใบหน้าจะทำการตรวจจับใบหน้า จากนั้นทำการติดตามใบหน้าและตรวจจับดวงตา ตามลำดับ กรณีที่การตรวจจับใบหน้าหลุด แบบจำลองจะทำการค้นหาใบหน้าใหม่อีกครั้ง จากนั้นทำการตรวจจับใบหน้า ติดตามใบหน้า และตรวจจับดวงตาเช่นเดิม เนื่องจากโฆษณาดิจิทัลของทางบริษัทมีความยาวประมาณ 15 วินาที ผู้วิจัยจึงทำการตรวจจับดวงตาของบุคคลในวิดีโอ หากตรวจพบว่าบุคคลในภาพมองมายังป้ายโฆษณาตั้งแต่ 5 วินาทีขึ้นไป จะถือว่าบุคคลดังกล่าวมีความสนใจในป้ายโฆษณา แบบจำลองจะทำการนับจำนวนบุคคลที่สนใจ ตัวอย่างภาพป้ายโฆษณาดิจิทัล แสดงดังรูปที่ 25 และตัวอย่างภาพผลการตรวจจับใบหน้าและดวงตา แสดงดังรูปที่ 3.26

รูปที่ 3.25 ตัวอย่างภาพป้ายโฆษณาดิจิทัล (Filyakov, 2021)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างผลการตรวจจับใบหน้าและดวงตา

3.5.4 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ผู้วิจัยทำการทดสอบวิดีโอจำนวน 20 วิดีโอ ที่แตกต่างกันใน 10 เงื่อนไข หากจำนวนคนที่แบบจำลองทำนายไม่เท่ากับจำนวนคนที่ปรากฏจริงในวิดีโอ จะให้ค่าเป็น 0 แต่หากจำนวนคนที่แบบจำลองทำนายเท่ากับจำนวนคนที่ปรากฏจริงในวิดีโอ จะให้ค่าเป็น 1 จากนั้นประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความระลึก (Recall) ค่าความเที่ยง (Precision) ค่าความถ่วงดุล (F1-score) และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (AUC) เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำไปพัฒนาระบบนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้นำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผล โดยแบ่งเป็น 2 งาน ที่เป็นอิสระกัน ได้แก่ งานที่ 1 การตรวจจับและนับจำนวนคนทีในบริเวณที่กล้องบันทึก และงานที่ 2 การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การตรวจจับและนับจำนวนคนทีในบริเวณที่กล้องบันทึก

ในงานศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยนำเสนอแบบจำลอง You Only Look Once version 8 (YOLOv8) ที่ไม่ได้รับการฝึกสอนจากชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Set) และแบบจำลอง You Only Look Once version 8 (YOLOv8) ที่ได้รับการฝึกสอนจากชุดข้อมูลฝึกสอน สำหรับการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนในมุมมองที่แตกต่างกัน

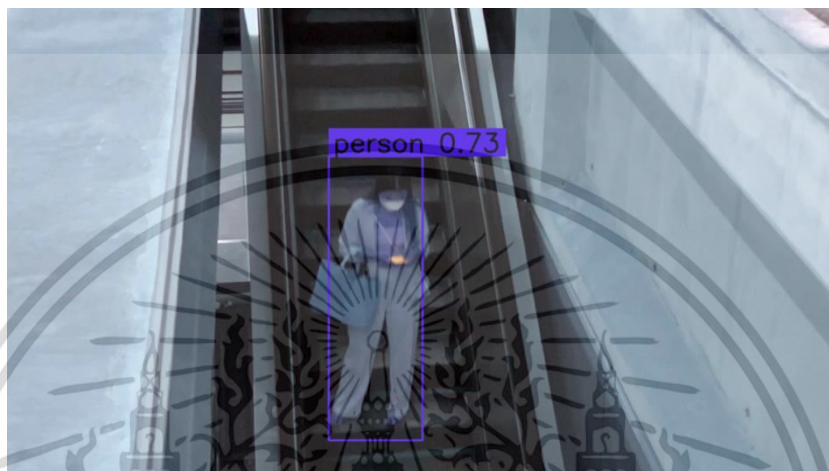
ในการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผู้วิจัยทำการป้อนชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) ที่ได้จัดเตรียมไว้เรียบร้อยแล้วใน หัวข้อที่ 3.4.2 เข้าสู่แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยชุดข้อมูลทดสอบของชุดข้อมูล A ประกอบไปด้วยเฟรม (Frame) จำนวน 150 เฟรมต่อ 1 มุมมอง และชุดข้อมูลทดสอบของชุดข้อมูล B ประกอบไปด้วยเฟรมจำนวน 150 เฟรมต่อ 1 มุมมอง เช่นเดียวกัน แสดงดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลอง

| มุมมอง ชุดข้อมูล | ชุดข้อมูล A | | ชุดข้อมูล B | |
|---------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | ระดับเหนือศีรษะ | ระดับสายตา | ระดับเหนือศีรษะ | ระดับสายตา |
| ชุดข้อมูล ทดสอบ | 150 | 150 | 150 | 150 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแบบจำลองทำการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคนที่ทำการตรวจจับได้ ตัวอย่างผลการตรวจจับบุคคลของแบบจำลอง ที่ใช้กับชุดข้อมูลทดสอบในมุมมองระดับเหนือศีรษะ แสดงดังรูปที่ 4.1 และตัวอย่างผลการตรวจจับบุคคลของแบบจำลอง ที่ใช้กับชุดข้อมูลทดสอบในมุมมองระดับสายตา แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลการตรวจจับบุคคลของแบบจำลอง ที่ใช้กับชุดข้อมูลทดสอบ
ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการตรวจจับบุคคลของแบบจำลอง ที่ใช้กับชุดข้อมูลทดสอบ
ในมุมมองระดับสายตา

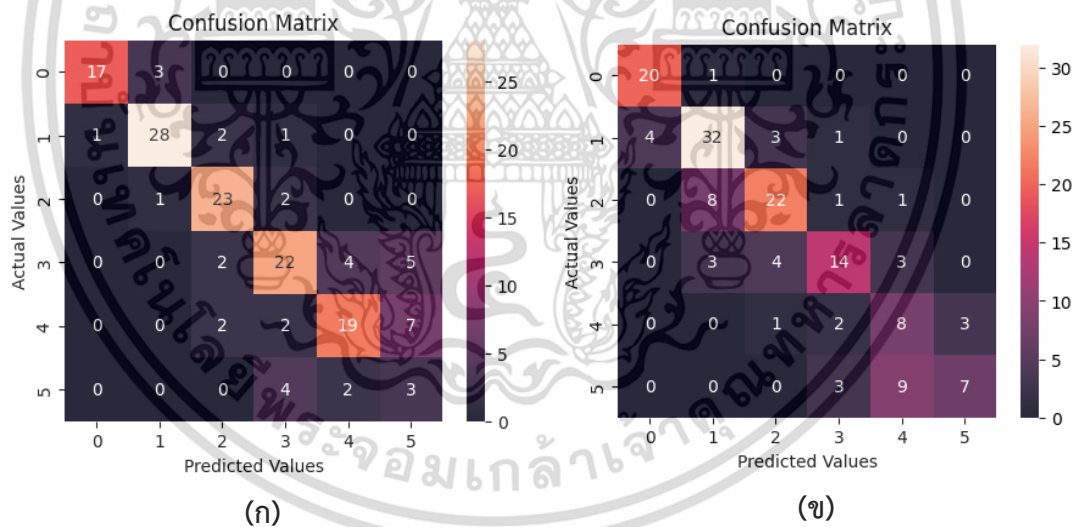
หลังจากแบบจำลองทำการตรวจจับและนับจำนวนคนเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการประเมินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาทให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ (Accuracy) ค่าความระลึก (Recall) ค่าความเที่ยง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาแก้ไข

(Precision) ค่าความถ่วงดุล (F1-score) พื้นที่ใต้เส้นโค้ง (AUC) และการใช้ทรัพยากร (Resource) ของแบบจำลอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบกับชุดข้อมูลในมุมมองต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

4.1.1.1 การทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ ผลการทดสอบแสดงในรูปแบบของเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

รูปที่ 4.3(ก) แสดงเมทริกซ์ความสับสน ที่ทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูล A และ รูปที่ 4.3(ข) แสดงเมทริกซ์ความสับสน ที่ทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ โดยแกน x หมายถึง จำนวนคนที่แบบจำลองทำนาย และแกน y หมายถึง จำนวนคนที่ปรากฏจริงในเฟรม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง ค่าความถ่วงดุล และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง รวมถึงประเมินการใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Confusion Matrix (Percent)

| Actual \ Predicted | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 90.24% | 9.76% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 1 | 6.94% | 83.33% | 6.94% | 2.78% | 0.00% | 0.00% |
| 2 | 0.00% | 15.52% | 77.59% | 5.17% | 1.72% | 0.00% |
| 3 | 0.00% | 5.26% | 10.53% | 63.16% | 12.28% | 8.77% |
| 4 | 0.00% | 0.00% | 6.82% | 9.09% | 61.36% | 22.73% |
| 5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 25.00% | 39.29% | 35.71% |

รูปที่ 4.4 เมทริกซ์ความสับสนในรูปแบบของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ผู้วิจัยทำการหาค่าความแม่นยำของแบบจำลองโดยแยกเป็นแต่ละคลาส รูปที่ 4.4 แสดงเมทริกซ์ความสับสนในรูปแบบของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองเหนือศีรษะ พบว่ามีข้อมูลจำนวนทั้งหมด 6 คลาส โดยแต่ละคลาสหมายถึงจำนวนคนในเฟรม เช่น คลาสที่ 0 หมายถึงมีคนในเฟรมจำนวน 0 คน และคลาสที่ 5 หมายถึงมีคนในเฟรมจำนวน 5 คน พื้นที่สีน้ำเงินแสดงข้อมูลของคำตอบที่ถูกต้อง พื้นที่สีฟ้าแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาด 1 คน และพื้นที่สีเทาแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาดตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป รายละเอียดค่าความแม่นยำในแต่ละคลาส ที่มีความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน แสดงดัง ตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

| จำนวนคน (คลาส) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-----|-------|-------|-------|-------|----|
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 100 | 97.22 | 98.28 | 85.96 | 93.18 | 75 |

จาก ตารางที่ 4.2 พบว่า แบบจำลองมีค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสที่ 5 ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน น้อยที่สุด นั่นคือ ร้อยละ 75

สาเหตุของความผิดพลาดในการทำนายจำนวนคนในแต่ละคลาส เกิดจากการเปลี่ยนผ่านของผู้คนในเฟรมที่มีการเดินผ่านกล้อง จากบุคคลที่ไม่ทับซ้อนกัน กลายเป็นบุคคลที่ทับซ้อนกัน หรือจากบุคคลที่ทับซ้อนกัน กลายเป็นบุคคลที่ไม่ทับซ้อนกัน ซึ่งการที่บุคคลมีการทับซ้อนกัน ยังคงเห็นช่วงตัวของบุคคลเหล่านี้ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป และในบางครั้งแบบจำลองทำการตรวจจับวัตถุอื่นที่ไม่ใช่มนุษย์ เช่น กระเป๋าเดินทาง เป็นต้น

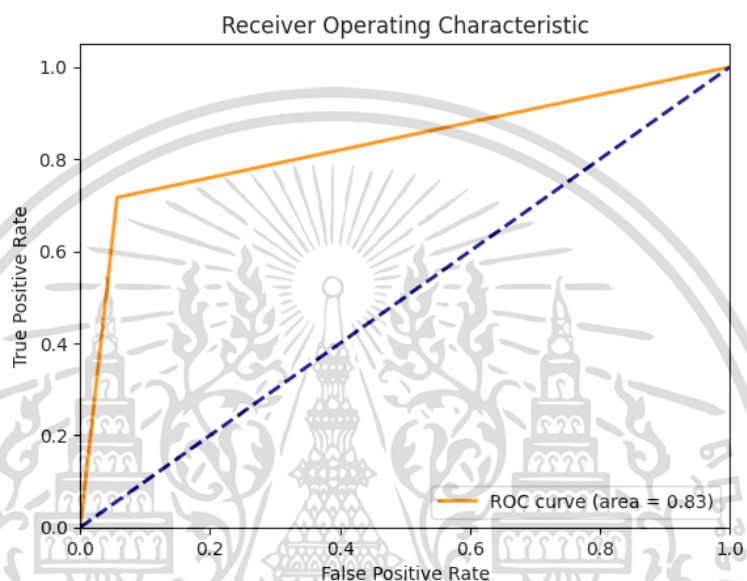
จากนั้นผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง ค่าความระลึก ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุล ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และ B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | ค่าความแม่นยำ | ค่าความระลึก | ค่าความเที่ยง | ค่าความถ่วงดุล |
|-----------------|-----------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| ระดับเหนือศีรษะ | A | 74.67% | 70.72% | 71.37% | 71.04% |
| | B | 65.33% | 60.07% | 59.24% | 59.65% |
| ค่าเฉลี่ย | | 70% | 65.40% | 65.31% | 65.35% |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน เมื่อทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ พบว่าแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำร้อยละ 70 ค่าเฉลี่ยความระลึกร้อยละ 65.40% ค่าเฉลี่ยความเที่ยงร้อยละ 65.31 และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุลร้อยละ 65.35 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ต่ำ นอกจากนี้ ผู้วิจัยทำการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง หรือค่า AUC ของแบบจำลอง ผลลัพธ์แสดงดัง รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

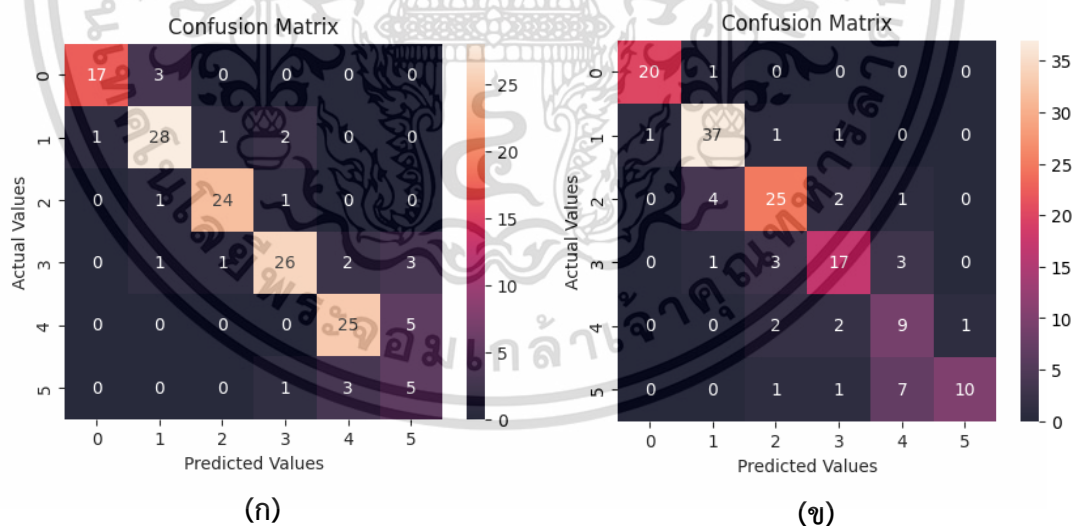
จาก รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ จะเห็นได้ว่าแบบจำลองมีค่า AUC เท่ากับ 0.83 ซึ่งหมายความว่า การทำงานแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในมุมมองระดับเหนือศีรษะ อยู่ในระดับที่ดีมาก

ตารางที่ 4.4 การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | จำนวนชุดข้อมูลทดสอบ (เฟรม) | RAM ของระบบ (GB) | RAM ของ GPU (GB) | Disk (GB) | ระยะเวลาในการทดสอบ (วินาที) |
|-----------------|-----------|----------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------------------------|
| ระดับเหนือศีรษะ | A | 150 | 4.8 | 1.7 | 24.6 | 16.42 |
| | B | 150 | 4.7 | 1.7 | 24.2 | 14.10 |

4.1.1.2 ทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ ผลการทดสอบแสดงในรูปแบบของเมทริกซ์ความสับสน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6(ก) แสดงเมทริกซ์ความสับสน ที่ทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูล A และ รูปที่ 4.6(ข) แสดงเมทริกซ์ความสับสน ที่ทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ ผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง ค่าความถ่วงดุล และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง รวมถึงประเมินการใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Confusion Matrix (Percent)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 90.24% | 9.76% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 1 | 2.78% | 90.28% | 2.78% | 4.17% | 0.00% | 0.00% |
| 2 | 0.00% | 8.62% | 84.48% | 5.17% | 1.72% | 0.00% |
| 3 | 0.00% | 3.51% | 7.02% | 75.44% | 8.77% | 5.26% |
| 4 | 0.00% | 0.00% | 4.55% | 4.55% | 77.27% | 13.64% |
| 5 | 0.00% | 0.00% | 3.57% | 7.14% | 35.71% | 53.57% |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Actual Values

Predicted Values

รูปที่ 4.7 เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ผู้วิจัยทำการหาค่าความแม่นยำของแบบจำลองโดยแยกเป็นแต่ละคลาส รูป

ที่ 4.7 แสดงเมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ โดยพื้นที่สีน้ำเงินแสดงข้อมูลของคำตอบที่ถูกต้อง พื้นที่สีฟ้าแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาด 1 คน และพื้นที่สีเทาแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาดตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป รายละเอียดค่าความแม่นยำในแต่ละคลาส ที่มีความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน แสดงดัง ตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

| จำนวนคน (คลาส) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 100 | 95.83 | 98.28 | 91.23 | 95.45 | 89.29 |

จาก ตารางที่ 4.5 พบว่า แบบจำลองมีค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสที่ 5 ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน น้อยที่สุด นั่นคือ ร้อยละ 89.29

สาเหตุของความผิดพลาดในการทำนายจำนวนคนในแต่ละคลาส เกิดจากการเปลี่ยนผ่านของผู้คนในเฟรมที่มีการเดินผ่านกล้อง และในบางครั้งแบบจำลองทำการตรวจจับวัตถุอื่นที่ไม่ใช่มนุษย์ เช่น กระเป๋าเดินทาง เป็นต้น

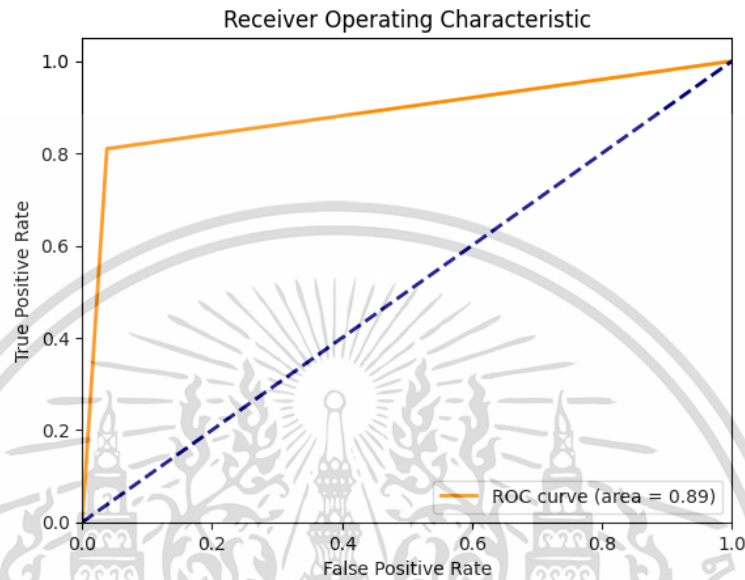
จากนั้นผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ด้วยค่าความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุล ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และ B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | ค่าความแม่นยำ | ค่าความระลึกลับ | ค่าความเที่ยง | ค่าความถ่วงดุล |
|-----------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| ระดับเหนือศีรษะ | A | 83.33% | 80.41% | 80.01% | 80.21% |
| | B | 78.67% | 77.36% | 78.21% | 77.78% |
| ค่าเฉลี่ย | | 81% | 78.89% | 79.11% | 79% |

จาก ตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน เมื่อทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ พบว่า แบบจำลองมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำร้อยละ 81 ค่าเฉลี่ยความระลึกลับร้อยละ 78.89 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงร้อยละ 79.11

และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุลร้อยละ 79 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี แต่
 ยังมีความเป็นไปได้ที่จะมีข้อผิดพลาดบางส่วนในการทำนาย นอกจากนี้ ผู้วิจัยทำการหาพื้นที่ใต้เส้น
 โค้ง หรือค่า AUC ของแบบจำลอง ผลลัพธ์แสดงดัง **รูปที่ 4.8**

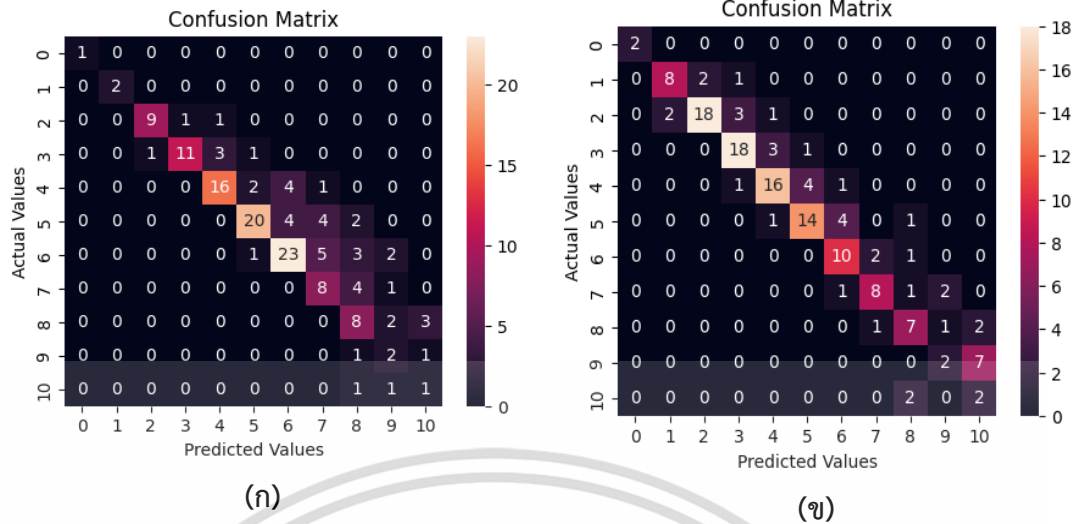


รูปที่ 4.8 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOV8 ที่ได้รับฝึกสอน
 ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

จาก **รูปที่ 4.8** แสดงให้เห็นถึงค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง
 YOLOV8 ที่ได้รับฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ จะเห็นได้ว่า
 แบบจำลองมีค่า AUC เท่ากับ 0.89 หมายความว่า การทำงานแบบจำลอง YOLOV8 ที่ได้รับการ
 ฝึกสอน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในมุมมองระดับเหนือศีรษะ อยู่ในระดับที่ดีมาก

ตารางที่ 4.7 การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOV8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล
 A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

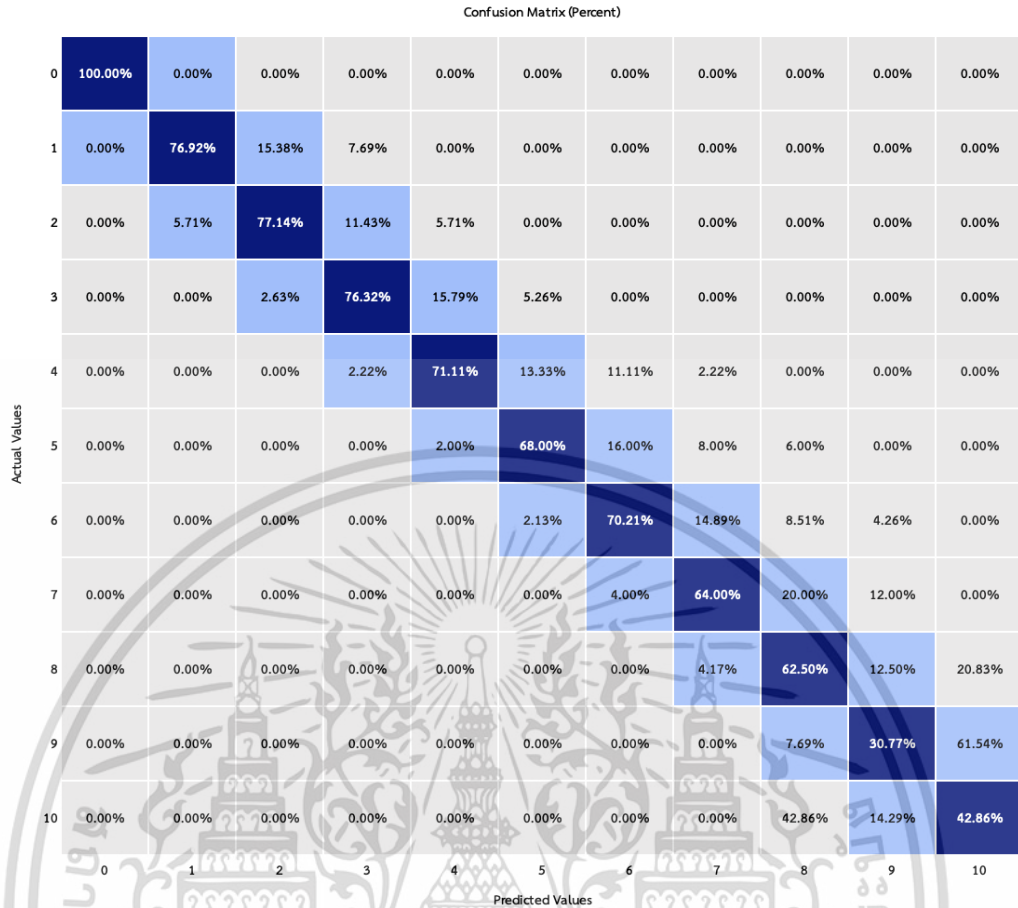
| มุมมอง | ชุดข้อมูล | จำนวนชุด ข้อมูล ทดสอบ (เฟรม) | RAM ของ ระบบ (GB) | RAM ของ GPU (GB) | Disk (GB) | ระยะเวลาใน การทดสอบ (วินาที) |
|---------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------|------------------------------------|
| ระดับเหนือ ศีรษะ | A | 150 | 4.7 | 1.5 | 24.8 | 38.33 |
| | B | 150 | 4.4 | 1.5 | 24.4 | 37.62 |



รูปที่ 4.9 เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

รูปที่ 4.9(ก) แสดงเมทริกซ์ความสับสน ที่ทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูล A และ รูปที่ 4.9(ข) แสดงเมทริกซ์ความสับสน ที่ทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา ผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก ค่าความเที่ยง ค่าความถ่วงดุล และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง รวมถึงประเมินการใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

ผู้วิจัยทำการหาค่าความแม่นยำของแบบจำลองโดยแยกเป็นแต่ละคลาส รูปที่ 4.10 แสดงเมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา พบว่ามีข้อมูลจำนวนทั้งหมด 11 คลาส โดยแต่ละคลาสหมายถึงจำนวนคนในเฟรม เช่น คลาสที่ 0 หมายถึงมีคนในเฟรมจำนวน 0 คน และคลาสที่ 10 หมายถึงมีคนในเฟรมจำนวน 10 คน พื้นที่สีน้ำเงินแสดงข้อมูลของคำตอบที่ถูกต้อง พื้นที่สีฟ้าแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาด 1 คน และพื้นที่สีเทาแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาดตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป รายละเอียดค่าความแม่นยำในแต่ละคลาส ที่มีความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน แสดงดัง ตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

| จำนวนคน (คลาส) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 100 | 92.31 | 94.29 | 94.74 | 86.67 | 86 |
| จำนวนคน (คลาส) | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 87.23 | 88 | 79.17 | 100 | 57.14 | |

จาก ตารางที่ 4.9 พบว่า แบบจำลองมีค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสที่ 10 ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน น้อยที่สุด นั่นคือ ร้อยละ 57.14

สาเหตุของความผิดพลาดในการทำนายจำนวนคนในแต่ละคลาส เกิดจากการเปลี่ยนผ่านของผู้คนในเฟรมที่มีการเดินผ่าน และในบางครั้ง แบบจำลองทำการตรวจจับวัตถุอื่นที่ไม่ใช่มนุษย์ เช่น เสือ หรือกระเป๋าดูทาง เป็นต้น

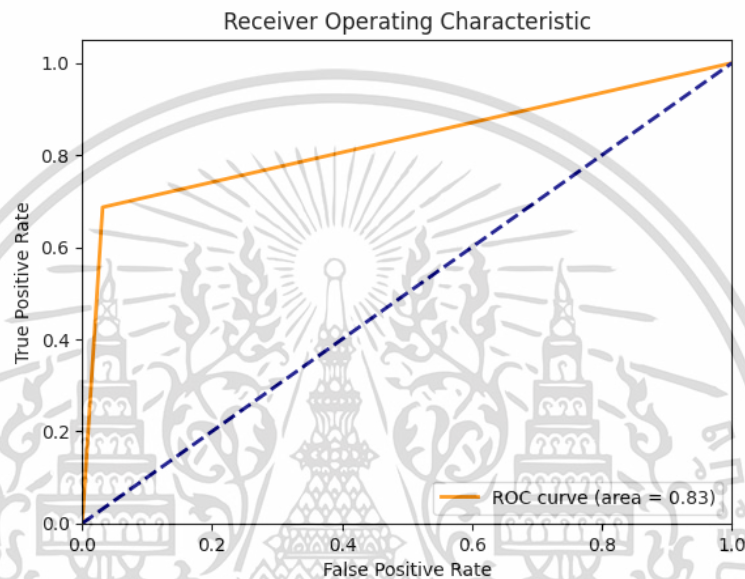
จากนั้นผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ด้วยค่าความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง ค่าความระลึก ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุล ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และ B ในมุมมองระดับสายตา

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | ค่าความแม่นยำ | ค่าความระลึก | ค่าความเที่ยง | ค่าความถ่วงดุล |
|------------|-----------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| ระดับสายตา | A | 67.33% | 69.17% | 66.43% | 67.77% |
| | B | 70% | 68.34% | 68.17% | 68.25% |
| ค่าเฉลี่ย | | 68.67% | 68.76% | 67.3% | 68.01% |

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยาดำเนินการใดๆ เกี่ยวกับเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้คัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน เมื่อทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา พบว่า แบบจำลองมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำร้อยละ 68.67 ค่าเฉลี่ยความระลึกร้อยละ 68.76 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงร้อยละ 67.3 และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุลร้อยละ 68.01 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ต่ำ นอกจากนี้ ผู้วิจัยทำการหาและพื้นที่ใต้เส้นโค้ง หรือค่า AUC ของแบบจำลอง ผลลัพธ์แสดงดัง รูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

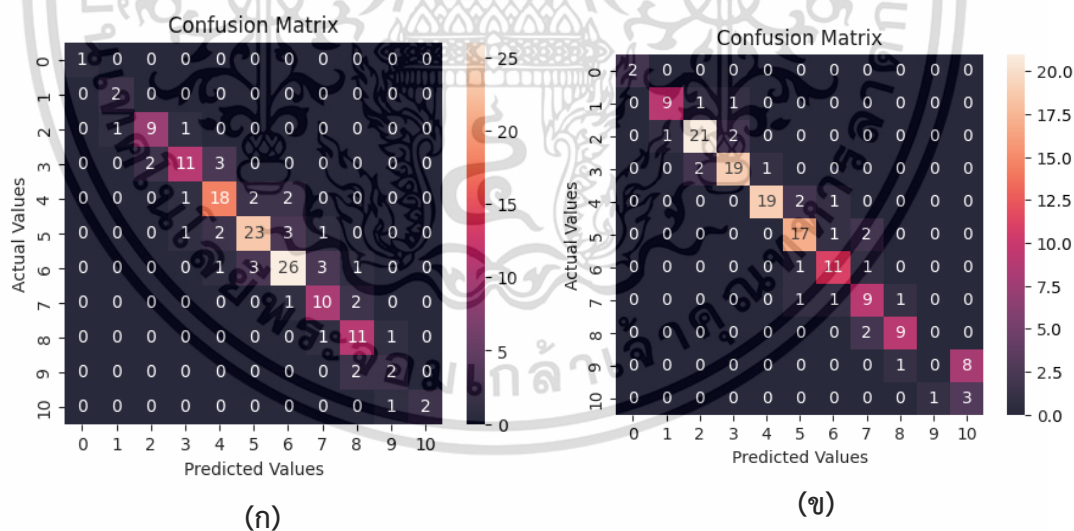
จาก รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา จะเห็นได้ว่าแบบจำลองมีค่า AUC เท่ากับ 0.83 หมายความว่า การทำงานแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในมุมมองระดับสายตา อยู่ในระดับที่ดีมาก

ตารางที่ 4.11 การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | จำนวนชุดข้อมูลทดสอบ (เฟรม) | RAM ของระบบ (GB) | RAM ของ GPU (GB) | Disk (GB) | ระยะเวลาในการทดสอบ (วินาที) |
|------------|-----------|----------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------------------------|
| ระดับสายตา | A | 150 | 4.6 | 1.7 | 24.3 | 15.35 |
| | B | 150 | 4.5 | 1.7 | 24.1 | 14.52 |

4.1.2.2 ทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา ผลการทดสอบแสดงในรูปแบบของเมทริกซ์ความสับสน ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 เมทริกซ์ความสับสน จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Confusion Matrix (Percent)

| | | | | | | | | | | | |
|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 100.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 1 | 0.00% | 84.62% | 7.69% | 7.69% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 2 | 0.00% | 5.71% | 85.71% | 8.57% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 3 | 0.00% | 0.00% | 10.53% | 78.95% | 10.53% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 4 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.22% | 82.22% | 8.89% | 6.67% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 5 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.00% | 4.00% | 80.00% | 8.00% | 6.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 6 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 2.13% | 8.51% | 78.72% | 8.51% | 2.13% | 0.00% | 0.00% |
| 7 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 4.00% | 8.00% | 76.00% | 12.00% | 0.00% | 0.00% |
| 8 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 12.50% | 83.33% | 4.17% | 0.00% |
| 9 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 23.08% | 15.38% | 61.54% |
| 10 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 28.57% | 71.43% |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

Actual Values

Predicted Values

รูปที่ 4.13 เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

ผู้วิจัยทำการหาค่าความแม่นยำของแบบจำลองโดยแยกเป็นแต่ละคลาส รูปที่ 4.13 แสดงเมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา โดยพื้นที่สีน้ำเงินแสดงข้อมูลของคำตอบที่ถูกต้อง พื้นที่สีฟ้าแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาด 1 คน และพื้นที่สีเทาแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาดตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป รายละเอียดค่าความแม่นยำในแต่ละคลาส ที่มีความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน แสดงดัง ตารางที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

| จำนวนคน (คลาส) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------|-------|-----|-----|-------|----|
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 100 | 92.31 | 100 | 100 | 93.33 | 92 |
| จำนวนคน (คลาส) | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาด น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 95.74 | 96 | 100 | 100 | 100 | |

จาก ตารางที่ 4.12 พบว่า แบบจำลองมีค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสที่ 5 ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน น้อยที่สุด นั่นคือ ร้อยละ 92

สาเหตุของความผิดพลาดในการทำนายจำนวนคนในแต่ละคลาส เกิดจากการเปลี่ยนผ่านของผู้คนในเฟรมที่มีการเดินผ่านกล้อง และในบางครั้งแบบจำลองทำการตรวจจับวัตถุอื่นที่ไม่ใช่มนุษย์ เช่น เสือ หรือกระเปาเดินทาง เป็นต้น

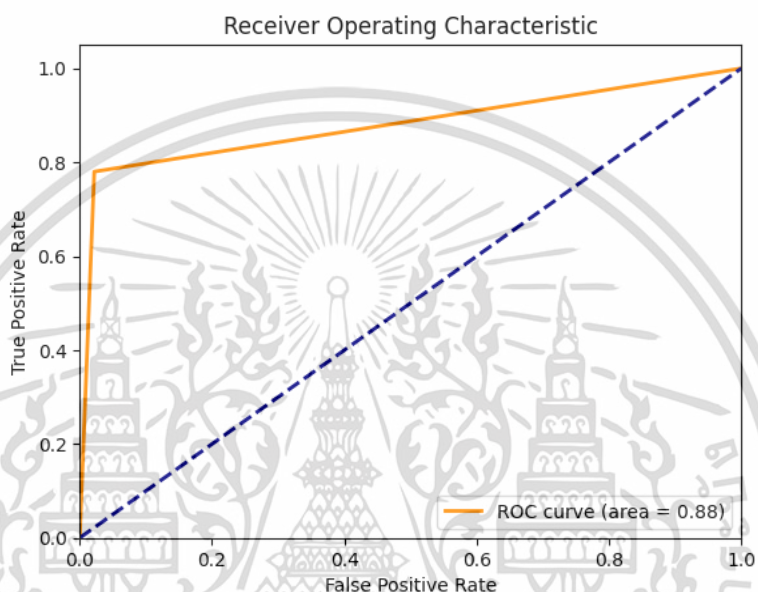
จากนั้นผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง ค่าความระลึก ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุล ของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และ B ในมุมมองระดับสายตา

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | ค่าความแม่นยำ | ค่าความระลึก | ค่าความเที่ยง | ค่าความถ่วงดุล |
|------------|-----------|---------------|--------------|---------------|----------------|
| ระดับสายตา | A | 76.67% | 78.20% | 68.26% | 72.89% |
| | B | 79.33% | 77.44% | 71.98% | 74.61% |
| ค่าเฉลี่ย | | 78% | 77.82% | 70.12% | 73.75% |

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้

จาก ตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน เมื่อทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา พบว่าแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำร้อยละ 78 ค่าเฉลี่ยความระลึกร้อยละ 77.82 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงร้อยละ 70.12 และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุลร้อยละ 73.75 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี นอกจากนี้ ผู้วิจัยทำการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง หรือค่า AUC ของแบบจำลอง ผลลัพธ์แสดงดัง รูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

จาก รูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา จะเห็นได้ว่าแบบจำลองมีค่า AUC เท่ากับ 0.88 หมายความว่า การทำงานแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในการตรวจจับและนับจำนวนคนในมุมมองระดับสายตา อยู่ในระดับที่ดีมาก

ตารางที่ 4.14 การใช้ทรัพยากรของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูล A และชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

| มุมมอง | ชุดข้อมูล | จำนวนชุดข้อมูลทดสอบ (เฟรม) | RAM ของระบบ (GB) | RAM ของ GPU (GB) | Disk (GB) | ระยะเวลาในการทดสอบ (วินาที) |
|------------|-----------|----------------------------|------------------|------------------|-----------|-----------------------------|
| ระดับสายตา | A | 150 | 4.5 | 1.5 | 24.7 | 43.75 |
| | B | 150 | 4.2 | 1.5 | 24.4 | 40.23 |

ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา พบว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ในเรื่องของค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 78 ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ คิดเป็นร้อยละ 77.82 ค่าเฉลี่ยความเที่ยง คิดเป็นร้อยละ 70.12 และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 73.75 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนอยู่ในระดับค่อนข้างดี อาจจะยังไม่สูงมากนัก แต่โดยรวมแล้วแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน บ่งชี้ให้เห็นว่า การฝึกสอนแบบจำลองเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้น ผลลัพธ์แสดงดัง ตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา

| มุมมอง | แบบจำลอง | ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ | ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ | ค่าเฉลี่ยความเที่ยง | ค่าเฉลี่ยความถ่วงดุล |
|------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| ระดับสายตา | YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน | 68.67% | 68.76% | 67.3% | 68.01% |
| | YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน | 78% | 77.82% | 70.12% | 73.75% |

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์การทดสอบการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก นำมาทดสอบกับสมมติฐานทางสถิติที่กำหนดไว้ในสมมติฐานการวิจัย คือ

- 1) สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ
- 2) สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับสายตา

โดยใช้สถิติการทดสอบ Z ในการทดสอบสัดส่วน ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลลัพธ์โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สมมติฐานการวิจัย

H_0 : สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน มากกว่าหรือเท่ากับแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

H_1 : สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ของแบบจำลองที่ใช้กับภาพในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

| Test | | |
|------------------------|----------------------|---------|
| Null hypothesis | $H_0: p_1 - p_2 = 0$ | |
| Alternative hypothesis | $H_1: p_1 - p_2 < 0$ | |
| Method | Z-Value | P-Value |
| Normal approximation | -2.69 | 0.004 |
| Fisher's exact | | 0.005 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ให้ค่าสถิติ Z เท่ากับ -2.69 และให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.004 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่า สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

สมมติฐานการวิจัย

H_0 : สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน มากกว่าหรือเท่ากับ แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับสายตา

H_1 : สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับสายตา

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ของแบบจำลองที่ใช้กับภาพในมุมมองระดับสายตา

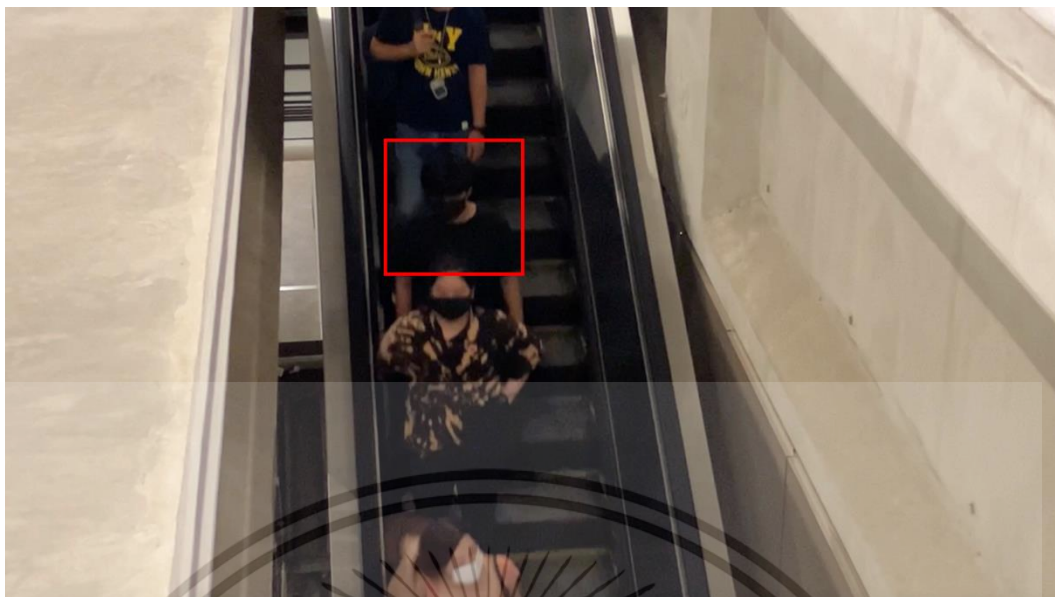
| Test | | |
|------------------------|----------------------|---------|
| Null Hypothesis | $H_0: p_1 - p_2 = 0$ | |
| Alternative Hypothesis | $H_1: p_1 - p_2 < 0$ | |
| Method | Z-Value | P-Value |
| Normal Approximation | -2.58 | 0.005 |
| Fisher's Extract | | 0.006 |

จาก ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ให้ค่าสถิติ Z เท่ากับ -2.58 และให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.005 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่า สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ในมุมมองระดับสายตา

จากการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการตรวจจับและนับจำนวนคน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ให้คนอื่นได้
 ไม่ว่ากรในบริเวณที่กล้องบันทึก สามารถสรุปได้ดังนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ในการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า AUC ของแบบจำลองที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา พบว่าการทำงานของแบบจำลองในการทำนายคลาสต่าง ๆ อยู่ในระดับที่ดีมาก แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าอื่น ๆ ร่วมด้วย นั่นคือ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ ค่าเฉลี่ยความเที่ยง และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุลของแบบจำลอง ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ไม่ได้รับการฝึกสอนอยู่ในระดับที่ต่ำ
- 2) ในการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า AUC ของแบบจำลองที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา พบว่าการทำงานของแบบจำลองในการทำนายคลาสต่าง ๆ อยู่ในระดับที่ดีมาก แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าอื่น ๆ ร่วมด้วย นั่นคือ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ ค่าเฉลี่ยความเที่ยง และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุลของแบบจำลอง ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้รับการฝึกสอนอยู่ในระดับที่ค่อนข้างดี
- 3) สาเหตุของความผิดพลาดในการทำนายจำนวนคนในแต่ละคลาส เกิดจากการเปลี่ยนผ่านของผู้คนในเฟรมที่มีการเดินผ่านกล้อง จากบุคคลที่ไม่ทับซ้อนกัน กลายเป็นบุคคลที่ทับซ้อนกัน หรือจากบุคคลที่ทับซ้อนกัน กลายเป็นบุคคลที่ไม่ทับซ้อนกัน ซึ่งการที่บุคคลมีการทับซ้อนกัน ยังคงเห็นช่วงตัวของบุคคลเหล่านี้ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป และในบางครั้ง แบบจำลองทำการตรวจจับวัตถุอื่นที่ไม่ใช่มนุษย์ เช่น เสือ หรือกระเป๋าดูหนัง เป็นต้น
- 4) จากการทดสอบสมมติฐานในการวิจัย พบว่าแบบจำลองที่ไม่ได้รับการฝึกสอน มีสัดส่วนการทำนายถูกน้อยกว่าแบบจำลองที่ได้รับการฝึกสอน ทั้งในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา หมายความว่า การฝึกสอนแบบจำลองมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง
- 5) ภาพในมุมมองระดับเหนือศีรษะของชุดข้อมูล A มีสีของพื้นหลังที่ค่อนข้างมืด ทำให้ในบางครั้ง แบบจำลองไม่สามารถตรวจจับบุคคลที่สวมใส่เสื้อผ้าในสีที่กลมกลืนกับพื้นหลังได้ ตัวอย่างบุคคลที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีกลมกลืนกับพื้นหลัง **แสดงดังรูปที่ 4.15**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



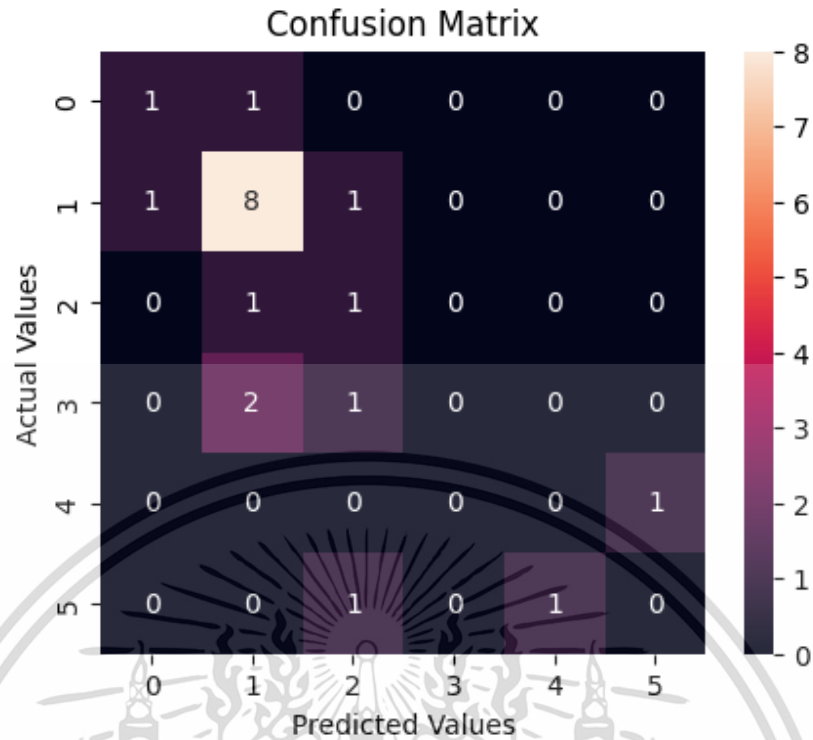
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างบุคคลที่สวมใส่เสื้อผ้าที่มีสีกลมกลืนกับพื้นหลัง

4.2 การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยนำเสนอแบบจำลอง Haar Cascade Classifier ในการตรวจจับดวงตา เพื่อดูความสนใจของผู้คนที่มิต่อป้ายโฆษณา ตามระยะเวลาที่ระบุไว้

ในการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้น ผู้วิจัยทำการป้อนชุดข้อมูลทดสอบเข้าสู่แบบจำลอง โดยชุดข้อมูลทดสอบประกอบไปด้วย วิดีโอจำนวนทั้ง 20 วิดีโอ ที่มีความแตกต่างกันใน 10 เงื่อนไข แต่ละเงื่อนไขมีความแตกต่างกันในเรื่องของ ระยะห่างจากตัวกล้อง พื้นหลัง และองศาของใบหน้าหรือดวงตา เมื่อนำชุดข้อมูลทดสอบเข้าสู่แบบจำลองแล้ว แบบจำลองจะทำการตรวจจับใบหน้า ติดตามใบหน้า และตรวจจับดวงตา ตามลำดับ หากบุคคลในวิดีโอมีการมองมาที่ป้ายโฆษณาตั้งแต่ 5 วินาทีขึ้นไป จะถือว่าบุคคลดังกล่าวมีความสนใจในป้ายโฆษณา โดยแบบจำลองจะทำการนับจำนวนผู้ที่สนใจ ผลการทดสอบแบบจำลองแสดงในรูปแบบของเมตริกซ์ความสับสน ดังรูปที่ 4.16 และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง ค่าความถ่วงดุล และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (AUC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 เมทริกซ์ความสัมพันธ์จากการทดสอบแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตา และนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

รูปที่ 4.16 แสดงเมทริกซ์ความสัมพันธ์ ที่ทำการทดสอบแบบจำลอง Haar Cascade Classifier ด้วยชุดข้อมูลทดสอบที่ประกอบไปด้วยวิดีโอจำนวน 20 วิดีโอ มีข้อมูลจำนวนทั้งหมด 6 คลาส โดยแต่ละคลาสหมายถึงจำนวนคนในเฟรม เช่น คลาสที่ 0 หมายถึงมีคนในเฟรมจำนวน 0 คน และคลาสที่ 5 หมายถึงมีคนในเฟรมจำนวน 5 คน โดยแกน x หมายถึง จำนวนคนที่แบบจำลองทำนาย และแกน y หมายถึง จำนวนคนที่ปรากฏจริงในเฟรม

ผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก ค่าความเที่ยง ค่าความถ่วงดุล และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Confusion Matrix (Percent)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--------|--------|--------|-------|--------|---------|
| 0 | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 1 | 10.00% | 80.00% | 10.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 2 | 0.00% | 50.00% | 50.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 3 | 0.00% | 66.67% | 33.33% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| 4 | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100.00% |
| 5 | 0.00% | 0.00% | 50.00% | 0.00% | 50.00% | 0.00% |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

รูปที่ 4.17 เมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

รูปที่ 4.17 แสดงเมทริกซ์ความสับสนในรูปของร้อยละ จากการทดสอบแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา โดยพื้นที่สีน้ำเงินแสดงข้อมูลของคำตอบที่ถูกต้อง พื้นที่สีฟ้าแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาด 1 คน และพื้นที่สีเทาแสดงข้อมูลการทำนายที่ผิดพลาดตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป รายละเอียดค่าความแม่นยำในแต่ละคลาส ที่มีความผิดพลาดในการทำนายน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน แสดงดัง ตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าความแม่นยำในการทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน ของแบบจำลองในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

| จำนวนคน (คลาส) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----|-----|-----|-------|-----|----|
| ค่าความแม่นยำ (%) ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน | 100 | 100 | 100 | 33.33 | 100 | 50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตารางที่ 4.18 พบว่า แบบจำลองมีค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสที่ 3 ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน น้อยที่สุด นั่นคือ ร้อยละ 33.33

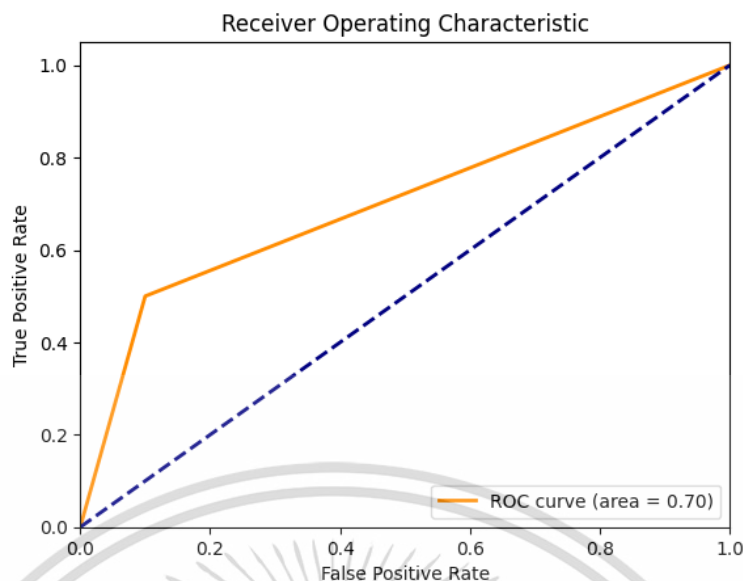
สาเหตุของความผิดพลาดในการทำนายจำนวนคนในแต่ละคลาสเกิดจาก แบบจำลองไม่สามารถตรวจจับบุคคลจำนวนหลายคนที่อยู่พร้อมกันในเฟรมเดียวกันได้ และพบว่าค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสที่ 0, 1, 2 และ 4 ที่ทำนายผิดพลาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 คน สูงสุดที่ร้อยละ 100 โดยการทำนายคลาสที่ 0, 1 และ 2 ยังไม่ถูกต้องทั้งหมด แต่เมื่อคิดรวมกับการทำนายผิดพลาดเพียง 1 คน ถือว่าแบบจำลองมีการทำนายผิดพลาดน้อยมาก จึงมีค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 100 และการทำนายคลาสที่ 4 ไม่มีการทำนายที่ถูก แต่เมื่อคิดรวมกับการทำนายที่ผิดพลาดเพียง 1 คน ทำให้คลาสที่ 4 มีค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 100

จากนั้นผู้วิจัยทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ด้วยค่าความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลอง ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุล รายละเอียดแสดงดัง ตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

| จำนวนชุดข้อมูลทดสอบ | ค่าความแม่นยำ | ค่าความระลึกลับ | ค่าความเที่ยง | ค่าความถ่วงดุล |
|---------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| 20 | 50% | 30% | 23.61% | 26.42% |

จาก ตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า ค่าความแม่นยำของแบบจำลอง คิดเป็นร้อยละ 50 ค่าความระลึกลับ คิดเป็นร้อยละ 30 ค่าความเที่ยง คิดเป็นร้อยละ 23.61 และค่าความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 26.42 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ต่ำ นอกจากนี้ ผู้วิจัยทำการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง หรือค่า AUC ของแบบจำลอง ผลลัพธ์แสดงดัง รูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟ ROC และค่า AUC จากการทดสอบแบบจำลองในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

จาก รูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นถึงค่า AUC ของแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา จะเห็นได้ว่าแบบจำลองมีค่า AUC เท่ากับ 0.70 ซึ่งหมายความว่า การทำงานแบบจำลองในการทำนายคลาสต่าง ๆ สำหรับการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา อยู่ในระดับที่ดี

จากการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) เมื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า AUC พบว่าการทำงานของแบบจำลองในการทำนายคลาสต่าง ๆ อยู่ในระดับที่ดี โดยแบบจำลองมีค่า AUC เท่ากับ 0.70 อย่างไรก็ตาม ควรประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าอื่น ๆ ร่วมด้วย นั่นคือ การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ ค่าความเที่ยง และค่าความถ่วงดุลของแบบจำลอง พบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ต่ำ โดยแบบจำลองมีค่าความแม่นยำร้อยละ 50 ค่าความระลึกลับร้อยละ 30 ค่าความเที่ยงร้อยละ 23.61 และค่าความถ่วงดุลของแบบจำลองร้อยละ 26.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) ในการทดสอบการตรวจจับใบหน้าและดวงตา ในระยะความห่างจากกล้องที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 6 เมตร ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองสามารถตรวจจับใบหน้าและดวงตาได้ถึงระยะความห่างจากตัวกล้อง 5 เมตร เมื่อระยะห่างจากตัวกล้อง 6 เมตร แบบจำลองทำการตรวจจับใบหน้าได้เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถตรวจจับดวงตาได้ ในระยะความห่างจากตัวกล้อง 6 เมตร จึงไม่สามารถรับรู้ความสนใจของผู้คนได้
- 3) แบบจำลองสามารถตรวจจับใบหน้าและดวงตาได้ แม้ว่าแสงสว่างในบริเวณใบหน้าของผู้ที่สนใจจะค่อนข้างน้อย
- 4) ในการทดสอบการตรวจจับใบหน้าและดวงตาของบุคคลที่มีการเบนหน้าหันไปทางอื่น ในระยะเวลาหนึ่ง ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองทำการตรวจจับใบหน้าและดวงตาของผู้ที่สนใจ และในขณะที่บุคคลดังกล่าวเบนหน้าหันไปทางอื่นในระยะเวลาหนึ่ง แบบจำลองยังคงสามารถตรวจจับใบหน้าได้ เนื่องจากมีการติดตามใบหน้า หลังจากนั้นบุคคลดังกล่าวหันหน้ากลับมาทางป้ายโฆษณาอีกครั้ง แบบจำลองจึงทำการตรวจจับดวงตาต่อ โดยนับเวลาความสนใจต่อจากเดิม
- 5) ในการทดสอบการตรวจจับใบหน้าและดวงตาของบุคคลที่ใบหน้าหันมาทางป้ายโฆษณาอย่างชัดเจน แต่ลูกตาดำของบุคคลดังกล่าวมองไปในทิศทางอื่น โดยไม่ได้สนใจมองมาที่ป้ายโฆษณา ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลองทำการตรวจจับใบหน้าและดวงตาของบุคคลดังกล่าว แม้ว่าบุคคลดังกล่าวจะไม่มี ความสนใจมองมาที่ป้ายก็ตาม เนื่องจากแบบจำลองทำการจับดวงตาโดยรวม ไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับลูกตาดำ จึงทำให้แบบจำลองนับว่ามีผู้ที่สนใจป้ายโฆษณา
- 6) ในการทดสอบการตรวจจับใบหน้าและดวงตาของบุคคลที่มองมายังป้ายโฆษณา โดยองศาของหน้าในการมองป้ายโฆษณาของบุคคลดังกล่าวมีการเอียง ใบหน้าไม่อยู่ในระดับที่ตั้งตรง ผลการทดสอบพบว่า ในขณะที่ผู้ที่สนใจป้ายโฆษณามีการเอียงคอแบบจำลองไม่สามารถตรวจจับใบหน้าและดวงตาได้ แบบจำลองสามารถตรวจจับได้ในขณะที่ใบหน้ามีการตั้งตรงเท่านั้น ทำให้แบบจำลองไม่สามารถตรวจจับ และนับจำนวนบุคคลที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาได้
- 7) ในการทดสอบการตรวจจับใบหน้าและดวงตาของบุคคลหลายคน ที่มองมายังป้ายโฆษณาพร้อม ๆ กัน ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพในการตรวจจับบุคคลจำนวนหลายคนที่อยู่ในเฟรมเดียวกัน อยู่ในระดับต่ำ ในบางครั้งแบบจำลองไม่สามารถนับจำนวนคนในเฟรมได้ครบทุกคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ นครเชียงใหม่ โดยมีผู้ให้เหตุผลเรื่องลิขสิทธิ์นี้มาจากการที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ในเฟรมได้ครบทุกคน

- 8) แบบจำลองไม่สามารถจดจำบุคคลเดิมที่เดินออกจากกล้องไปแล้ว และเดินกลับเข้ามาใหม่ ทำให้แบบจำลองนับจำนวนบุคคลเดิมซ้ำ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองสามารถตรวจจับบุคคลที่มีความสนใจป้ายโฆษณาได้ในระยะไม่เกิน 5 เมตร แบบจำลองสามารถตรวจจับใบหน้าและดวงตาได้แม้ในบริเวณที่มีแสงสว่างค่อนข้างน้อย และยังสามารถตรวจจับบุคคลที่มีการเบนหน้าหันไปทางอื่นได้ เนื่องจากการใช้เทคนิคการติดตามใบหน้า แต่แบบจำลองไม่สามารถตรวจจับบุคคลที่มีการเอียงของใบหน้าได้ และยังคงมีความผิดพลาดในการตรวจจับบุคคลที่ลูกตาดำมองไปในทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ป้ายโฆษณา เนื่องจากการตรวจจับนี้เป็นการตรวจจับดวงตาโดยรวม โดยไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับลูกตาดำ นอกจากนี้ การตรวจจับบุคคลที่สนใจป้ายโฆษณาพร้อมกันหลายคนในเฟรมเดียวกันก็ยังคงเกิดความผิดพลาด

4.3 การอภิปรายผล

จากผลการวิจัย การตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก มีสมมติฐานในการวิจัยคือ สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน จะต้องน้อยกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา จากการทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติ Z พบว่า สัดส่วนการทำนายถูกของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน น้อยกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน โดยทดสอบในมุมมองระดับเหนือศีรษะ และมุมมองระดับสายตา ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนด อันเนื่องมาจากการฝึกสอนแบบจำลอง มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองเพิ่มขึ้น

และในเรื่องของการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา จากการศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า Singh et al. (2023) ทำการตรวจจับดวงตา เพื่อควบคุมการทุจริตในการสอบ ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 97.93 และ Akshay et al. (2022) ทำการตรวจจับดวงตาของผู้คนขณะสวมหน้ากากอนามัย ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองให้ค่าความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 96.72 จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ผลการศึกษาวิจัยของผู้วิจัยในครั้งนี้ ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยท่านอื่น เนื่องจากการตรวจจับดวงตาในงานวิจัยนี้ให้ค่าความแม่นยำเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น ซึ่งประสิทธิภาพที่ต่ำนี้อาจเกิดจาก แบบจำลองไม่ได้รับการเรียนรู้จากชุดข้อมูลฝึกสอน

และจำนวนข้อมูลชุดทดสอบมีจำนวนน้อย จำนวนชุดทดสอบที่มีน้อยส่งผลให้ยังไม่สามารถประเมินเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของแบบจำลองได้อย่างแท้จริง ควรเพิ่มชุดทดสอบเพื่อให้สามารถวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองได้อย่างแท้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการศึกษาวิจัยใน 2 งาน ที่เป็นอิสระกัน ได้แก่ 1. การตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก และ 2. การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 การตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก

มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ผ่านการฝึกสอนมาแล้ว (Pretrained Model) สำหรับตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึกใน 2 มุมมอง ได้แก่ มุมมองระดับเหนือศีรษะ (Bird's Eye View) และมุมมองระดับสายตา (Eye Level) โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ไม่ได้รับการฝึกสอน และแบบจำลองที่ได้รับการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Set) เพื่อประเมินประสิทธิภาพในเบื้องต้นของแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่นำเสนอ ได้แก่ You only look once version 8 (YOLOv8)

ผลการทดสอบแบบจำลอง ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูลในมุมมองระดับเหนือศีรษะ พบว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ในเรื่องของค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 81 ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ คิดเป็นร้อยละ 78.89 ค่าเฉลี่ยความเที่ยง คิดเป็นร้อยละ 79.11 และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 79 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนอยู่ในระดับค่อนข้างดี อาจจะไม่สูงมากนัก แต่โดยรวมแล้วแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน

และผลการทดสอบแบบจำลอง ที่ทำการทดสอบกับชุดข้อมูลในมุมมองระดับสายตา พบว่า แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ในเรื่องของค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 78 ค่าเฉลี่ยความระลึกลับ คิดเป็นร้อยละ 77.82 ค่าเฉลี่ยความเที่ยง คิดเป็นร้อยละ 70.12 และค่าเฉลี่ยความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 73.75

ประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอนอยู่ในระดับค่อนข้างดี
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลฝึกสอน บ่งชี้ให้เห็นว่า การฝึกสอนแบบจำลองเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้น

5.1.2 การตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา

ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองสำหรับตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่ให้ความสนใจโดยการมองมายังกล้องหรือป้ายโฆษณา ตามระยะเวลาที่ระบุไว้ สำหรับเป็นแนวทางเบื้องต้นในการนำไปพัฒนาระบบนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป

ในการการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัลนั้น ผู้วิจัยนำเสนอแบบจำลอง Haar Cascade Classifier โดยผู้วิจัยนำแบบจำลองทดสอบกับวิดีโอจำนวนทั้งสิ้น 20 วิดีโอ ที่แตกต่างกันใน 10 เงื่อนไข โดยมีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะห่างจากตัวกล้อง พื้นหลัง และองศาของใบหน้าหรือดวงตา หากแบบจำลองทำการตรวจจับดวงตาได้ตามระยะเวลาที่ระบุ นั่นคือ 5 วินาที จะถือว่าบุคคลนั้นมีความสนใจในป้ายโฆษณาดิจิทัล

จากการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองสามารถตรวจจับดวงตาได้ในระยะห่างไม่เกิน 5 เมตร จากตัวกล้อง แบบจำลองสามารถตรวจจับดวงตาได้แม้ในบริเวณที่มีแสงสว่างค่อนข้างน้อย และยังสามารถตรวจจับบุคคลที่มีการเบนหน้าหันไปทางอื่นในระยะเวลาหนึ่งได้ แต่แบบจำลองไม่สามารถตรวจจับบุคคลที่มีการเอียงของใบหน้าได้ และยังมีผลผิดพลาดในการตรวจจับบุคคลที่ลูกตาดำมองไปในทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ป้ายโฆษณา เนื่องจากการตรวจจับนี้เป็นการตรวจจับดวงตาโดยรวม โดยไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับลูกตาดำ นอกจากนี้การตรวจจับบุคคลจำนวนหลายคนที่อยู่ในเฟรมเดียวกัน ยังเกิดความผิดพลาด ในบางครั้งแบบจำลองไม่สามารถนับจำนวนคนในเฟรมได้ครบทุกคน และแบบจำลองไม่สามารถจดจำบุคคลเดิมที่เดินออกจากกล้องไปแล้ว และเดินกลับเข้ามาใหม่ ทำให้แบบจำลองนับจำนวนบุคคลเดิมซ้ำ

แบบจำลองมีค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 50 ค่าความระลึกลับ คิดเป็นร้อยละ 30 ค่าความเที่ยง คิดเป็นร้อยละ 23.61 และค่าความถ่วงดุล คิดเป็นร้อยละ 26.42 ซึ่งถือว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองอยู่ในระดับที่ต่ำ อาจเกิดจากการที่แบบจำลองไม่ได้รับการเรียนรู้ชุดข้อมูลฝึกสอน และจำนวนข้อมูลชุดทดสอบมีจำนวนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อจำกัด

ปัญหาหนึ่งในการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึกคือ ในบางครั้งแบบจำลองไม่สามารถตรวจจับบุคคลที่สวมใส่เสื้อผ้าในสีที่มีความกลมกลืนกับพื้นหลังได้ และในเรื่องของการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัล แบบจำลองไม่สามารถตรวจจับบุคคลที่มีการเอียงของใบหน้าได้ และยังมีความผิดพลาดในการตรวจจับบุคคลที่ลูกตาดำมองไปในทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ป้ายโฆษณา เนื่องจากในการตรวจจับนี้เป็นการตรวจจับดวงตาโดยรวม โดยไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับลูกตาดำ นอกจากนี้การตรวจจับบุคคลที่สนใจป้ายโฆษณาพร้อมกันหลายคนยังคงเกิดความผิดพลาด

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่าอาจมีวิธีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

- 1) ในการตรวจจับบุคคลและนับจำนวนคน ควรเพิ่มจำนวนขนาดของตัวอย่างให้มากขึ้นสำหรับภาพบุคคลที่มีความกลมกลืนกับพื้นหลัง เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้น
- 2) ทำการฝึกสอนแบบจำลองสำหรับการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่มีความสนใจป้ายโฆษณาดิจิทัล เนื่องจากในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบแบบจำลองเพียงอย่างเดียวเท่านั้น
- 3) จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ธนพล (2559) ทำการตรวจจับและรู้จำอารมณ์บนใบหน้าจากวิดีโอ โดยใช้ตัวกรองกาบอร์ ในการค้นหามุมขององค์ประกอบต่าง ๆ บนใบหน้า ซึ่งตัวกรองนี้เป็นตัวกรองที่สามารถตั้งค่าองศาในการตรวจจับใบหน้าที่เอียงหรือองค์ประกอบของใบหน้าในมุมต่าง ๆ ได้ ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะในการนำเทคนิคกาบอร์ สำหรับการตรวจจับใบหน้าและดวงตาที่มีการเอียง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและนับจำนวนคนที่สนใจได้อย่างถูกต้อง
- 4) เพิ่มเทคนิคการตรวจจับดวงตา โดยมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับลูกตาดำ ซึ่งอาจทำโดยการใช้เทคนิคการตรวจจับขอบ (Edge-base approach) โดยลูกตาดำจะมีขอบที่สามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจนจากพื้นหลัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองในการตรวจจับบุคคลที่มีดวงตาดำที่ป้ายโฆษณาอย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์อย่างเคร่งครัด ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

5.4 แนวทางที่จะศึกษาต่อในอนาคต

เนื่องจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยในเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยในอนาคต ในส่วนของการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาแบบจำลอง YOLOv8 หรือ YOLO เวอร์ชันใหม่ ๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัยให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ถูกต้อง และครอบคลุมกับงานมากขึ้น ให้สามารถแก้ไขข้อจำกัด หรือข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ หากทำจนสุดทาง จะสามารถเป็นประโยชน์ในการนำแบบจำลองไปติดตั้งกับกล้องในมุมมองที่มีความเหมาะสม และสามารถนับจำนวนคนที่เดินผ่านในบริเวณที่กล้องบันทึกได้แบบเรียลไทม์

และในส่วนของการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างแบบจำลองอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น Histogram of Oriented Gradients เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง และพัฒนาระบบนับจำนวนคนที่มีความสนใจต่อป้ายโฆษณาดิจิทัลต่อไป หากทำการวิจัยในเรื่องของการตรวจจับดวงตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้ายโฆษณา จนสุดทาง จะส่งผลให้เป็นประโยชน์ในการเป็นแนวทางในการพัฒนาป้ายโฆษณาให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ดึงดูดให้ผู้คนมองมายังป้ายโฆษณามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กฤษณา ศักดิ์ศรี. 2530. จิตวิทยาการศึกษา. กรุงเทพฯ. บำรุงสาส์น.

กอบเกียรติ สระอุบล. 2565. เรียนรู้ AI: Deep Learning ด้วย Python. กรุงเทพฯ. อินเทอร์เน็ตมีเดีย.

จินตนา ตาคำ. 2558. การใส่ค่าข้อมูลที่ขาดหายโดยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดเคตว์ เพื่อจำแนกประเภทในชุดข้อมูลสมดุล. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิทยาการคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชวิต ภูมิพัฒน์. 2563. ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ กรณีศึกษา ฟาร์มขนางแอนกิ้งรัง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

ณัฐโชติ พรหมฤทธิ์ และสัจจาภรณ์ ไวจรรยา. 2564. Fundamental of Deep Learning in Practice. นนทบุรี. ไอดีซี พรีเมียร์.

เดโช สวานานนท์. 2520. ปทานุกรมจิตวิทยา. กรุงเทพฯ. โอเดียนสโตร์.

ธนพล พุ่มลำเจียก. 2559. การรู้จำอารมณ์บนใบหน้าจากวิดีโอโดยใช้ตัวกรองกาบอร์ วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปริญญญา ตันทวิวัฒน์, ไตรรัตน์ สบายใจ, ตัซกรณ์ ต้นเจริญ, ณัฐชัย วัชรภินชัย และศีตภา รุจิเกียรติ กัจจร. 2564. การวิเคราะห์ภาพคนและสัมภาษณ์สำหรับการตรวจจับวัตถุที่ปราศจากเจ้าของ. Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT). 2: 49-60.

ปยุตนา อุกษ์วลีกุล. 2563. Machine Learning – คำศัพท์ที่ควรรู้. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://shorturl.asia/x0MTw>.

รัฐพร สันตมาศ. 2561. การรับรู้และพฤติกรรมการรับสื่อจากจอดีจิทัลไซน์เนจ (Digital Signage). ปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต วิทยาลัยการจัดการ. มหาวิทยาลัยมหิดล.

อนันตญา พรวิเชียรวงศ์. 2565. Computer Vision คืออะไร? รู้จัก 5 ประโยชน์สุดล้ำของ

Computer Vision ที่ทำอะไรก็ได้. [Online]. เข้าถึงได้จาก
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท ออโต้แมติก เทคโนโลยี จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ <https://shorturl.asia/ChkXm>.หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- อินทัช คุณากรธรรม. 2564. **Image detection โดยใช้ YOLOv5 จากต้นจนจบ (ตอน 3: Data Labeling and Image Augmentation)**. [Online]. เข้าถึงได้จาก <https://citly.me/Hs76r>.
- Aboah, A, Wang, B, Bagci, U. and Adu-Gyamfi, Y. 2023. **Real-time Multi-Class Helmet Violation Detection Using Few-Shot Data Sampling Technique and YOLOv8**. Computer Vision and Pattern Recognition
- Ahmad, M, Ahmed, I. and Adnan, A. 2019. **Overhead View Person Detection Using YOLO**. 627-633. 2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON). New York.
- Akshay, S, Prakash, M. and Das, K. 2022. **Eye Detection from Face Images Covered in Face-masks Using HAAR Features**. 160-165. 2022 IEEE 7th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE). Bangalore.
- Barreto, S. 2023. **Data Augmentation**. [Online]. Available <http://www.baeldung.com/cs/ml-data-augmentation>
- Buhl, N. 2023. **YOLO models for Object Detection Explained [Yolov8 Updated]**. [Online]. Available <https://encord.com/blog/yolo-object-detection-guide/>.
- Dertat, A. 2017. **Applied Deep Learning - Part 1: Artificial Neural Networks**. [Online]. Available <http://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-1-artificial-neural-networks-d7834f67a4f6>
- Filyakov, R. 2021. **Digital Signage and Why it Deserves to Be a Part of Your Marketing Strategy?**. [Online]. Available <https://www.lookdigitalsignage.com/blog/pos-digital-signage>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Gunduz, M. and Isik, G. 2023. **A new YOLO-based method for real-time crowd detection from video and performance analysis of YOLO models.** Journal of Real-Time Image Processing. 5.

Gurucharan, M. 2022. **Basic CNN Architecture: Explaining 5 Layers of Convolutional Neural Network.** [Online]. Available <https://www.upgrad.com/blog/basic-cnn-architecture/>.

Hoque, M, Islam, T, Ahmed, T. and Amin, A. 2020. **Autonomous Face Detection System from Real-time Video Streaming for Ensuring the Intelligence Security System.** 261-265. 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). Coimbatore.

Ju, R. and Cai, W. 2023. **Fracture Detection in Pediatric Wrist Trauma X-ray Images Using YOLOv8 Algorithm.** Computer Vision and Pattern Recognition.

Khalid, S, Oqaibi, H, Aqib, M. and Hafeez, Y. 2023. **Small Pests Detection in Field Crops Using Deep Learning Object Detection.** MDPI Journals. 15: 6815.

Krishnan, M, Surya, K, Varan, R. and Moorthy, R. 2023. **An Integrated Smoking Detection Method Based on Convolutional Neural Network.** Data Analytics and Artificial Intelligence. 3: 91-98.

Maslow, H. 1943. **A theory of human motivation.** Psychological Review, 4: 370–396.

Mittal, A. 2020. **Haar Cascades, Explained.** [Online]. Available <https://medium.com/analyticd-vidhya/haar-cascades-explained-38210e57970d>.

Mvix. 2023. **Digital Signage Statistics 2023 | Benefits & Infographic.** [Online]. Available <https://mvix.com/blog/digital-signage-statistics-infographic/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Pickel. 2022. **Everything You Need to Know About Digital Signage Advertising Networks**. [Online]. Available <https://shorturl.asia/M0rgb>.

Pokhrel, S. 2019. **Beginners Guide to Convolutional Neural Networks**. [Online]. Available <https://towardsdatascience.com/beginners-guide-to-understanding-convolutional-neural-networks-ae9ed58bb17d>.

Rahmad, C, Asmara, R, Putra, D, Dharma, I, Darmono, H. and Muhiqqin, I. 2020. **Comparison of Viola-Jones Haar Cascade Classifier and Histogram of Oriented Gradients (HOG) for face detection**. The 1st Annual Technology, Applied Science, and Engineering Conference 29–30 August 2019. East Java.

Redmon, J, Divvala, S, Girshick, R. and Farhadi, A. 2015. **You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection**. Computer Vision and Pattern Recognition. 1506.02640.

Shetty, A, Bhoomika, Deeksha, Rebeiro, J. and Ramyashree. 2021. **Facial recognition using Haar cascade and LBP classifiers**. Global Transitions Proceedings. 2: 330-335.

Singh, J, Aggarwal, R, Tiwari, S. and Joshi, V. 2022. **Exam Proctoring Classification Using Eye Gaze Detection**. 371-376. 2022 3rd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC). Trichy.

Straits Research. 2023. **Digital Signage Market**. [Online]. Available <https://straitresearch.com/report/digital-signage-market>.

Sumit, S, Watada, J, Roy, A. and Rambli, D. 2020. **In object detection deep learning methods, YOLO shows supremum to Mask R-CNN**. The 2nd Joint International Conference on Emerging Computing Technology and Sports

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (JICETS) 2019. Bandung.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Trifonova, O. and Lokhov, G. 2014. **Metabolic profiling of human blood.**
Biomeditsinskaya Khimiya. 3: 281-294.
- Ultralytics. 2023. **Ultralytics YOLOv8.** [Online]. Available <https://docs.ultralytics.com/>.
- Viola, P. and Jones, M. 2001. **Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features.** *Computer Vision and Pattern Recognition 2001.* Kauai.
- Ward, T. 2023. **Development of Detection and Tracking Systems for Autonomous Vehicles Using Machine Learning.** Master of Science in Engineering and Technology Management. Morehead State University.
- Yani, M, Irawan, M. and Setiningsih, M. 2019. **Application of Transfer Learning Using Convolutional Neural Network Method for Early Detection of Terry's Nail.** international Conference on Electronics Representation and Algorithm (ICERA 2019) 29–30 January 2019. Yogyakarta.
- Zhao, J, Li, C, Xu, Z, Jiao, L, Zhao, Z. and Wang, Z. 2022. **Detection of passenger flow on and off buses based on video images and YOLO algorithm.** *Multimed Tools Appl.* 81: 4669–4692.
- Zou, Z, Chen, K, Shi, Z, Guo, Y. and Y, J. 2023. **Object Detection in 20 Years: A Survey.** *Proceedings of the IEEE.* 111: 257-276.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | |
|--------|---|-----------|----|----|----|----|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Actual | 0 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 28 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 23 | 2 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 22 | 4 | 5 |
| | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 19 | 7 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 3 |

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{17 + 28 + 23 + 22 + 19 + 3}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.7467 \text{ หรือ } 74.67\%$$

- ค่าความระลึก

| Class | | Predicted | | | | | | Recall |
|----------------|---|-----------|----|----|----|----|---------------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 85.00% |
| | 1 | 1 | 28 | 2 | 1 | 0 | 0 | 87.50% |
| | 2 | 0 | 1 | 23 | 2 | 0 | 0 | 88.46% |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 22 | 4 | 5 | 66.67% |
| | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 19 | 7 | 63.33% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 3 | 33.33% |
| Average | | | | | | | 70.72% | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความเที่ยง

| Class | | Predicted | | | | | | |
|-----------|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1 | 1 | 28 | 2 | 1 | 0 | 0 | |
| | 2 | 0 | 1 | 23 | 2 | 0 | 0 | |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 22 | 4 | 5 | |
| | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 19 | 7 | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 3 | |
| Precision | | 94.44% | 87.50% | 79.31% | 70.97% | 76.00% | 20.00% | Average 71.37% |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึกลับ}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึกลับ}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{71.37 \times 70.72}{71.37 + 70.72} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 71.04\%$$

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | |
|--------|---|-----------|----|----|----|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Actual | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 4 | 32 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 8 | 22 | 1 | 1 | 0 |
| | 3 | 0 | 3 | 4 | 14 | 3 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 1 | 2 | 8 | 3 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 7 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{20 + 32 + 22 + 14 + 8 + 7}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.6867 \text{ หรือ } 68.67\%$$

- ค่าความระลึก

| Class | | Predicted | | | | | | Recall |
|---------|---|-----------|----|----|----|---|--------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.24% |
| | 1 | 4 | 32 | 3 | 1 | 0 | 0 | 80.00% |
| | 2 | 0 | 8 | 22 | 1 | 1 | 0 | 68.75% |
| | 3 | 0 | 3 | 4 | 14 | 3 | 0 | 58.33% |
| | 4 | 0 | 0 | 1 | 2 | 8 | 3 | 57.14% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 7 | 36.84% |
| Average | | | | | | | 66.05% | |

- ค่าความเที่ยง

| Class | | Predicted | | | | | | Precision |
|---------|---|-----------|----|----|----|---|--------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83.33% |
| | 1 | 4 | 32 | 3 | 1 | 0 | 0 | 72.73% |
| | 2 | 0 | 8 | 22 | 1 | 1 | 0 | 73.33% |
| | 3 | 0 | 3 | 4 | 14 | 3 | 0 | 66.67% |
| | 4 | 0 | 0 | 1 | 2 | 8 | 3 | 38.10% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 3 | 9 | 7 | 70.00% |
| Average | | | | | | | 67.36% | |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึก}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึก}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{67.36 \times 66.05}{67.36 + 66.05} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความถ่วงดุล = 66.70%

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับเหนือ
ศีรษะ

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | |
|--------|---|-----------|----|----|----|----|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Actual | 0 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 28 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 24 | 1 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 1 | 1 | 26 | 2 | 3 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 5 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 5 |

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{17 + 28 + 24 + 26 + 25 + 5}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.8333 \text{ หรือ } 83.33\%$$

- ค่าความระลึก

| Class | | Predicted | | | | | | Recall |
|----------------|---|-----------|----|----|----|----|---------------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 85.00% |
| | 1 | 1 | 28 | 1 | 2 | 0 | 0 | 87.50% |
| | 2 | 0 | 1 | 24 | 1 | 0 | 0 | 92.31% |
| | 3 | 0 | 1 | 1 | 26 | 2 | 3 | 78.79% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 5 | 83.33% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 5 | 55.56% |
| Average | | | | | | | 80.41% | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความเที่ยง

| Class | | Predicted | | | | | | |
|-----------|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1 | 1 | 28 | 1 | 2 | 0 | 0 | |
| | 2 | 0 | 1 | 24 | 1 | 0 | 0 | |
| | 3 | 0 | 1 | 1 | 26 | 2 | 3 | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 5 | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 5 | |
| Precision | | 94.44% | 84.85% | 92.31% | 86.67% | 83.33% | 38.46% | |
| Average | | | | | | | | 80.01% |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึกลับ}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึกลับ}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{80.01 \times 80.41}{80.01 + 80.41} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 80.21\%$$

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับเหนือศีรษะ

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | |
|--------|---|-----------|----|----|----|---|----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Actual | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 37 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 4 | 25 | 2 | 1 | 0 |
| | 3 | 0 | 1 | 3 | 17 | 3 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 9 | 1 |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | 12 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอยู่ต่อนักไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{20 + 37 + 25 + 17 + 9 + 12}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.7867 \text{ หรือ } 78.67\%$$

- ค่าความระลึก

| Class | | Predicted | | | | | | Recall |
|---------|---|-----------|----|----|----|---|--------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.24% |
| | 1 | 1 | 37 | 1 | 1 | 0 | 0 | 92.50% |
| | 2 | 0 | 4 | 25 | 2 | 1 | 0 | 78.13% |
| | 3 | 0 | 1 | 3 | 17 | 3 | 0 | 70.83% |
| | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 9 | 1 | 64.29% |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | 12 | 63.16% |
| Average | | | | | | | 77.36% | |

- ค่าความเที่ยง

| Class | | Predicted | | | | | | Precision |
|---------|---|-----------|----|----|----|---|--------|-----------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Actual | 0 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.24% |
| | 1 | 1 | 37 | 1 | 1 | 0 | 0 | 86.05% |
| | 2 | 0 | 4 | 25 | 2 | 1 | 0 | 78.13% |
| | 3 | 0 | 1 | 3 | 17 | 3 | 0 | 73.91% |
| | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 9 | 1 | 45.00% |
| | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 7 | 10 | 90.91% |
| Average | | | | | | | 78.21% | |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึก}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึก}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{78.21 \times 77.36}{78.21 + 77.36} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุตบแต่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 77.78\%$$

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับ
สายตา

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-----------|---|---|----|----|----|----|---|---|---|----|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Actual | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 1 | 11 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 23 | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 3 | 0 |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{1 + 2 + 9 + 11 + 16 + 20 + 23 + 8 + 8 + 2 + 1}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.6733 \text{ หรือ } 67.33\%$$

- ค่าความระลึก

| Class | | Predicted | | | | | | | | | | | Recall | |
|----------------|----|-----------|---|---|----|----|----|----|---|---|---|----|--------|---------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 2 | 0 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.82% |
| | 3 | 0 | 0 | 1 | 11 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68.75% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 69.57% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 66.67% |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 23 | 5 | 3 | 2 | 0 | 0 | 67.65% |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 4 | 1 | 0 | 0 | 61.54% |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 3 | 0 | 61.54% |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 50.00% |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 33.33% |
| Average 69.17% | | | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

● ค่าความเที่ยง

| Class | Predicted | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 2 | 0 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 3 | 0 | 0 | 1 | 11 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 23 | 5 | 3 | 2 | 0 | |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 4 | 1 | 0 | |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 3 | |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | |
| Precision | 100.00% | 100.00% | 90.00% | 91.67% | 80.00% | 83.33% | 74.19% | 44.44% | 42.11% | 25.00% | 0.00% | Average | 66.43% |

● ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึก}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึก}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{66.43 \times 69.17}{66.43 + 69.17} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 67.77\%$$

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ไม่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

● ค่าความแม่นยำ

| Class | Predicted | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------|---|---|----|----|----|----|----|---|---|----|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Actual | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 8 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 2 | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 1 | 2 | 0 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 1 | 2 |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{2 + 8 + 18 + 18 + 16 + 14 + 10 + 8 + 7 + 2 + 2}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.7 \text{ หรือ } 70\%$$

- ค่าความระลึกลับ

| Class | Predicted | | | | | | | | | | | Recall | |
|---------|-----------|---|---|----|----|----|----|----|---|---|----|--------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 1 | 0 | 8 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.73% |
| | 2 | 0 | 2 | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 75.00% |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.82% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.73% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 70.00% |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 1 | 0 | 0 | 76.92% |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 1 | 2 | 0 | 66.67% |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 1 | 2 | 63.64% |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | 22.22% |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 50.00% |
| Average | | | | | | | | | | | | 68.34% | |

- ค่าความเที่ยง

| Class | Predicted | | | | | | | | | | | Precision | |
|---------|-----------|---|---|----|----|----|----|----|---|---|----|-----------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 1 | 0 | 8 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80.00% |
| | 2 | 0 | 2 | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90.00% |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 18 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78.26% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76.19% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 73.68% |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 1 | 0 | 0 | 62.50% |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 1 | 2 | 0 | 72.73% |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 1 | 2 | 58.33% |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 7 | 40.00% |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 18.18% |
| Average | | | | | | | | | | | | 68.17% | |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึกลับ}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึกลับ}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{68.17 \times 69.34}{68.17 + 69.34} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารค่าความถ่วงดุล = 68.25% เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล A ในมุมมองระดับ
สายตา

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | | | | | | |
|--------|----|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|---|----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Actual | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 23 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 26 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 2 | 0 | 0 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 1 | 0 |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{1 + 2 + 9 + 11 + 18 + 23 + 26 + 10 + 11 + 2 + 2}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.7667 \text{ หรือ } 76.67\%$$

- ค่าความระลึก

| Class | | Predicted | | | | | | | | | | Recall | |
|---------|----|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|---|--------|---------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | 10 |
| Actual | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 2 | 0 | 1 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.82% |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68.75% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78.26% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 23 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 76.67% |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 26 | 3 | 1 | 0 | 0 | 76.47% |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 2 | 0 | 0 | 76.92% |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 1 | 0 | 84.62% |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 50.00% |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 66.67% |
| Average | | | | | | | | | | | | 78.20% | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความเที่ยง

| Class | | Predicted | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|--------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 2 | 0 | 1 | 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 23 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 26 | 3 | 1 | 0 | 0 | | |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 2 | 0 | 0 | | |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 1 | 0 | | |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | | |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | | |
| Precision | | 100.00% | 66.67% | 81.82% | 78.57% | 75.00% | 82.14% | 81.25% | 66.67% | 68.75% | 50.00% | 0.00% | Average | 68.26% |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึกลับ}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึกลับ}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{68.26 \times 78.20}{68.26 + 78.20} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 72.89\%$$

แบบจำลอง YOLOv8 ที่ได้รับการฝึกสอน ที่ทำการทดสอบด้วยชุดข้อมูล B ในมุมมองระดับสายตา

- ค่าความแม่นยำ

| Class | | Predicted | | | | | | | | | | |
|--------|----|-----------|---|----|----|----|----|----|----|---|---|----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Actual | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 1 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 1 | 0 | 0 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = \frac{2 + 9 + 21 + 19 + 19 + 17 + 11 + 10 + 9 + 0 + 3}{150}$$

$$\text{ค่าความแม่นยำ} = 0.7933 \text{ หรือ } 79.33\%$$

- ค่าความระลึกลับ

| Class | Predicted | | | | | | | | | | | Recall | |
|---------|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|---|----|--------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 1 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81.82% |
| | 2 | 0 | 1 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87.50% |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.36% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.36% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 85.00% |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 84.62% |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 1 | 0 | 0 | 83.33% |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 | 81.82% |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0.00% |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 75.00% |
| Average | | | | | | | | | | | | 77.44% | |

- ค่าความเที่ยง

| Class | Predicted | | | | | | | | | | | Precision | |
|---------|-----------|---|---|----|----|----|----|----|---|---|----|-----------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| Actual | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100.00% |
| | 1 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90.00% |
| | 2 | 0 | 1 | 21 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87.50% |
| | 3 | 0 | 0 | 2 | 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.36% |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95.00% |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 80.95% |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 78.57% |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 | 1 | 0 | 0 | 64.29% |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 | 81.82% |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 0.00% |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 27.27% |
| Average | | | | | | | | | | | | 71.98% | |

- ค่าความถ่วงดุล

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{\text{ค่าความเที่ยง} \times \text{ค่าความระลึกลับ}}{\text{ค่าความเที่ยง} + \text{ค่าความระลึกลับ}} \right)$$

$$\text{ค่าความถ่วงดุล} = 2 \times \left(\frac{71.98 \times 77.44}{71.98 + 77.44} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทางโรงเรียนได้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

คำสั่งที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการตรวจจับและนับจำนวนคนในบริเวณที่กล้องบันทึก

- ชุดคำสั่งในการฝึกสอนแบบจำลอง

```
!pip install ultralytics==8.0.20

import ultralytics

from ultralytics import YOLO

from IPython.display import display, Image

!mkdir {HOME}/datasets

%cd {HOME}/datasets

!pip install roboflow

from roboflow import Roboflow

rf = Roboflow(api_key="UrErln6PupDs1gOchAF")

project = rf.workspace("king-mongkuts-institute-of-technology-ladkrabang-2kdh").project("people-detection-umlon")

dataset = project.version(1).download("yolov8")

%cd {HOME}

!yolo task=detect mode=train model=yolov8n.pt

data={dataset.location}/data.yaml epochs=1000 imgsz=100 plots=True

!zip -r weights.zip runs/detect/train/weights/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดคำสั่งในการทดสอบแบบจำลอง

```

import os

HOME = os.getcwd()

from google.colab import drive

drive.mount('/content/drive')

SOURCE_VIDEO_PATH = f'{HOME}/drive/MyDrive/Co/front1.mov'

!pip install ultralytics

import ultralytics

%cd {HOME}

!git clone https://github.com/ifzhang/ByteTrack.git

%cd {HOME}/ByteTrack

!sed -i 's/onnx==1.8.1/onnx==1.9.0/g' requirements.txt

!pip3 install -q -r requirements.txt

!python3 setup.py -q develop

!pip install -q cython_bbox

!pip install -q onemetric

import sys

sys.path.append(f'{HOME}/ByteTrack')

from onemetric.cv.utils.iou import box_iou_batch

from dataclasses import dataclass

@dataclass(frozen=True)

class BYTETrackerArgs:

    track_thresh: float = 0.25

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง track_thresh: float = 0.25 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

track_buffer: int = 30

match_thresh: float = 0.8

aspect_ratio_thresh: float = 3.0

min_box_area: float = 1.0

mot20: bool = False

!pip install supervision==0.1.0

import supervision

from supervision.draw.color import ColorPalette

from supervision.video.source import get_video_frames_generator

from supervision.tools.detections import Detections, BoxAnnotator

from typing import List

import numpy as np

def detections2boxes(detections: Detections) -> np.ndarray:

    return np.hstack((

        detections.xyxy,

        detections.confidence[:,np.newaxis]))

!unzip "/content/weights.zip"

MODEL = "/content/ByteTrack/runs/detect/train/weights/best.pt"

model = YOLO(MODEL)

CLASS_NAMES_DICT = model.model.names

CLASS_ID = [0]

generator = get_video_frames_generator(SOURCE_VIDEO_PATH)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

text_thickness=4, text_scale=2)

iterator = iter(generator)

frame_count = 0

for frame in iterator:

    frame_count += 1

    if frame_count % 18 != 0:

        continue

    results = model(frame)

    detections = Detections(

        xyxy=results[0].boxes.xyxy.cpu().numpy(),

        confidence=results[0].boxes.conf.cpu().numpy(),

        class_id=results[0].boxes.cls.cpu().numpy().astype(int))

    labels = [

        f'{CLASS_NAMES_DICT[class_id]} {confidence:0.2f}'

        for _, confidence, class_id, tracker_id

        in detections ]

    annotated_frame = box_annotator.annotate(frame=frame,

        detections=detections, labels=labels)

    print(labels)

```

คำสั่งที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการตรวจจับสายตาและนับจำนวนคนที่สนใจป้าย

โฆษณา

- ชุดคำสั่งในการทดสอบแบบจำลอง

```

import cv2

cap = cv2.VideoCapture("7.MOV")

face_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.harcascades +

```

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 'haarcascade_frontalface_default.xml') เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

eye_cascade = cv2.CascadeClassifier(cv2.data.harcascades +
'haarcascade_eye.xml')
tracker = cv2.legacy.TrackerMedianFlow_create()
Ontracking = False
contframe = 0
secinre = 8
person = 0
while True:
    ret, frame = cap.read()
    contframe+=1
    sec = int(contframe//30)
    interestsec = int(contframe%30)
    if not Ontracking:
        gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
        for (x, y, w, h) in faces:
            cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), (255, 0, 0), 5)
            if tracker.init(frame, (x, y, w, h)) :
                Ontracking = True
    else:
        ok,bbox = tracker.update(frame)
        if ok:
            p1 = (int(bbox[0]), int(bbox[1]))
            p2 = (int(bbox[0]+int(bbox[2])), int(bbox[1]+int(bbox[3])))
            cv2.rectangle(frame, p1, p2, (255, 0, 0), 5)
            gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
            faces = face_cascade.detectMultiScale(gray, 1.3, 5)
            for (x, y, w, h) in faces:
                roi_gray = gray[y:y+w, x:x+w]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา

```

roi_color = frame[y:y+h, x:x+w]
eyes = eye_cascade.detectMultiScale(roi_gray,
                                     1.3, 5)
for (ex, ey, ew, eh) in eyes:
    if sec >= secinre:
        cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey), (ex +
                                           ew, ey + eh), (0, 255, 0), 5)
    else:
        cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey), (ex +
                                           ew, ey + eh), (0, 0, 255), 5)
    if sec == secinre and interestsec == 0 and
       str(type(eyes)) != "<class 'tuple'>":
        person+=1
        print("Person interest :", person)
    else:
        Ontracking=False
        tracker = cv2.legacy.TrackerMedianFlow_create()
        contframe=0
        cv2.imshow('frame', frame)
        if cv2.waitKey(1) == ord('q'):
            break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ปัทมพร รักษา कुमार (เนย)

ที่อยู่ : 11/57 หมู่ 8 หมู่บ้านศิวนคร ตำบลท้ายบ้านใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10280

เบอร์โทรศัพท์ : 095-553-0916 Email : nuey.ss1907@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- ระดับมัธยมศึกษา
โรงเรียนสตรีวัดมหาพฤฒาราม ในพระบรมราชินูปถัมภ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- ระดับปริญญาตรี
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสถิติประยุกต์
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มสหกิจศึกษา

วันที่ 6 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาวปัทมพร รักษา कुमार รหัสประจำตัว 62050798

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา สถิติประยุกต์ ภาควิชา สถิติ ขอรับรองว่าโครงการ
สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การวิเคราะห์วิดีโอโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อนับจำนวนคนและการรับรู้
ความสนใจจากการติดตามสายตา

ชื่อภาษาอังกฤษ Video Analytics Using Deep Learning for Crowd Counting and
Attention Awareness from Eye Tracking

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
โครงการสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.19% โปรแกรม Turnitin 5%

ลงชื่อ..... **ปัทมพร รักษา कुमार**

(นางสาวปัทมพร รักษา कुमार)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบ โครง
งานสหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหา
สมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ..... **พ.ศ.ดร.พรพิมล ชัยวุฒิศักดิ์**

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้