

Automated Detection and License Plate Recognition of Motorcycles on Sidewalks Using Deep Learning

Pichate Keawcharoen^{1,*} and Tanun Jaruvitayakovit²

^{1,2}Department of Computer Engineering, College of Engineering and Technology,
Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210, Thailand; Email: ¹65130126@dpu.ac.th, ²tanun.jar@dpu.ac.th

*Corresponding author: Pichate Keawcharoen (65130126@dpu.ac.th)

Received: 30 March 2026; Revised: 19 May 2026; Accepted: 23 May 2026; Published: 24 August 2026

Abstract

Motorcycle riding on sidewalks is a common traffic violation in urban areas and poses significant risks to pedestrian safety. However, existing approaches remain limited in processing surveillance images under real-world conditions, particularly those captured from top-view CCTV cameras with constrained resolution. In addition, motorcycle license plates are significantly smaller than automobile plates, resulting in fewer pixels available for character recognition and increasing the difficulty of optical character recognition (OCR). This study proposes an automated system for detecting motorcycles on sidewalks and recognizing license plates from CCTV images. The system employs deep learning techniques for object detection and OCR for extracting textual information from license plates, with a focus on real-world deployment using top-view camera perspectives. The proposed system consists of three main stages: motorcycle detection, license plate detection, and character recognition. A YOLO-based model is trained on annotated datasets for detection tasks, and an image enhancement process is applied prior to OCR to improve recognition performance. Experimental results show that the system achieves average confidence scores of 0.80 for motorcycle detection and 0.84 for license plate detection. In addition, OCR accuracy improves from 32% to 46% after image enhancement. The results demonstrate that the proposed system can effectively operate in real-world environments for detecting illegal motorcycle behavior on sidewalks and has the potential to be further developed into an automated traffic law enforcement support system.

Keywords: Object Detection, Motorcycle on Sidewalk, License Plate Recognition, YOLO, Deep Learning



Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

Citation:

Keawcharoen, P., & Jaruvitayakovit, T. (2026). Automated Detection and License Plate Recognition of Motorcycles on Sidewalks Using Deep Learning. *Journal of Computer and Creative Technology*, 4(2), e3827.
<https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3827>

ระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่ซับซ้อนทางเท้าโดยใช้เทคนิค Deep Learning

พิเชษฐ์ แก้วเจริญ^{1*} และ ธนัญ จารุวิทย์โกวิท²

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย; Email: ¹65130126@dpu.ac.th, ²tanun.jar@dpu.ac.th

*ผู้ประพันธ์บทความ: พิเชษฐ์ แก้วเจริญ (65130126@dpu.ac.th)

รับบทความ: 30 มีนาคม 2569; แก้ไขบทความ: 19 พฤษภาคม 2569; ตอรับบทความ: 23 พฤษภาคม 2569;
เผยแพร่บทความ: 24 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

การซับซ้อนของจักรยานยนต์บนทางเท้าเป็นการกระทำผิดกฎหมายที่พบได้บ่อยในเขตเมือง และก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของผู้เดินเท้า อย่างไรก็ตาม แนวทางที่มีอยู่ยังมีข้อจำกัดในการประมวลผลภาพจากกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะมุมมองแบบมุมสูงและภาพที่มีความละเอียดจำกัด อีกทั้งป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์มีขนาดเล็กกว่าป้ายทะเบียนรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้จำนวนพิกเซลที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรลดลง และเพิ่มความท้าทายต่อกระบวนการรู้จำอักขระจากภาพ งานวิจัยนี้นำเสนอระบบอัตโนมัติสำหรับตรวจจับรถจักรยานยนต์บนทางเท้าและรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการตรวจจับวัตถุ และเทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพ (OCR) สำหรับการอ่านข้อความบนป้ายทะเบียน โดยมุ่งเน้นการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงจากกล้องมุมสูง ระบบประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับรถจักรยานยนต์ การตรวจจับป้ายทะเบียน และการรู้จำตัวอักษร โดยใช้แบบจำลอง YOLO ที่ผ่านการฝึกด้วยชุดข้อมูลที่มีการกำกับ พร้อมทั้งมีการปรับปรุงคุณภาพของภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำ ผลการทดลองพบว่าระบบมีความแม่นยำเฉลี่ยในการตรวจจับรถจักรยานยนต์เท่ากับ 0.80 และในการตรวจจับป้ายทะเบียนเท่ากับ 0.84 ขณะที่ความแม่นยำของ OCR เพิ่มขึ้นจาก 32% เป็น 46% หลังการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจจับการกระทำผิดบนทางเท้าในสภาพแวดล้อมจริง และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการบังคับใช้กฎหมายจราจรอัตโนมัติ

คำสำคัญ: การตรวจจับวัตถุ, รถจักรยานยนต์บนทางเท้า, การรู้จำป้ายทะเบียนรถ, YOLO, การเรียนรู้เชิงลึก



Copyright © 2026 Journal of Computer and Creative Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC-ND).

การอ้างอิง:

พิเชษฐ์ แก้วเจริญ, และ ธนัญ จารุวิทย์โกวิท. (2569). ระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่ซับซ้อนทางเท้าโดยใช้เทคนิค Deep Learning. วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 4(2), e3827. <https://doi.org/10.65205/jcct.2026.e3827>

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบัน รถจักรยานยนต์ถือเป็นพาหนะที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในเขตเมือง เนื่องจากมีความคล่องตัวสูง และสามารถใช้ในการเดินทางท่ามกลางสภาพการจราจรที่หนาแน่นได้อย่างสะดวก อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบได้บ่อยในหลายพื้นที่คือการที่ผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์บางส่วนเลือกใช้ทางเท้าเป็นเส้นทางในการหลีกเลี่ยงการจราจร ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของผู้เดินเท้า และเป็นการกระทำที่ขัดต่อกฎหมายจราจรทางบก ทางเท้าถูกออกแบบมาเพื่อให้เป็นพื้นที่ปลอดภัยสำหรับการสัญจรของประชาชน แต่การใช้พื้นที่ดังกล่าวโดยยานพาหนะอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

ปัจจุบัน การเฝ้าระวังและตรวจจับการกระทำผิดลักษณะดังกล่าวยังคงอาศัยการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่ หรือการตรวจดูภาพจากกล้องวงจรปิดโดยมนุษย์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องใช้เวลาและทรัพยากรบุคคลจำนวนมาก อีกทั้งยังไม่สามารถตรวจสอบเหตุการณ์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการติดตั้งกล้องวงจรปิดจำนวนมาก การตรวจสอบภาพวิดีโอจำนวนมากด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมจึงมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพและความรวดเร็ว

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ได้เปิดโอกาสให้เกิดการพัฒนากระบวนการตรวจจับวัตถุจากภาพหรือวิดีโอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะแบบจำลองในตระกูล YOLO (You Only Look Once) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง เนื่องจากมีความสามารถในการประมวลผลที่รวดเร็วและให้ความแม่นยำในระดับสูง เช่น แบบจำลอง YOLOv7 ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่สูงขึ้นทั้งด้านความแม่นยำและความเร็วในการตรวจจับวัตถุ (Wang et al., 2022) เทคโนโลยีดังกล่าวจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะและระบบจัดการจราจรในหลายงานวิจัย

นอกจากการตรวจจับยานพาหนะแล้ว การรู้จำป้ายทะเบียนรถ (License Plate Recognition) ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบตรวจสอบการจราจรอัตโนมัติ โดยทั่วไปกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียน และการรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียนผ่านเทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพ (Optical Character Recognition: OCR) โดยงานวิจัยด้านการรู้จำตัวอักษรในภาพ เช่น Bautista & Atienza (2022) รวมถึงงานวิจัยด้านการรู้จำป้ายทะเบียนโดยใช้ Deep Learning (Ding et al., 2024; Nascimento et al., 2024; Vargoorani & Suen, 2024) ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของโมเดลเชิงลึกในการจัดการกับข้อมูลภาพที่มีความซับซ้อน อย่างไรก็ตาม การรู้จำป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ในประเทศไทยยังคงมีความท้าทาย เนื่องจากมีความหลากหลายของรูปแบบตัวอักษร ภาษาไทย และสภาพแวดล้อมของภาพจากกล้องวงจรปิด เช่น ความละเอียดของภาพ มุมกล้อง สภาพแสง และการเคลื่อนไหวของยานพาหนะ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงมุ่งเน้นการตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม เช่น ลานจอดรถ หรือมุมกล้องระดับสายตา (Nitmai et al., 2023; Audomthankun & Nakharacruangsak, 2024) ซึ่งภาพป้ายทะเบียนมีขนาดใหญ่และมีความคมชัดเพียงพอสำหรับการประมวลผล ในขณะที่การประยุกต์ใช้กับกล้องวงจรปิดที่ติดตั้งในมุมมองจากด้านบน (Top-View) เพื่อใช้ตรวจจับพฤติกรรมการกระทำผิด เช่น การขับขึ้นทางเท้า ยังคงมีข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ ขนาดของป้ายทะเบียนที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับภาพทั้งหมด ความบิดเบี้ยวของมุมมอง และคุณภาพของภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการรู้จำอักขระ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบ OCR ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการตรวจจับยานพาหนะหรือระบบรู้จำป้ายทะเบียน แต่ยังมีงานวิจัยจำนวนจำกัดที่มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขึ้นทางเท้าโดยเฉพาะ รวมถึงการประยุกต์ใช้ระบบดังกล่าวร่วมกับภาพจากกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขึ้นทางเท้าโดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งสามารถตรวจจับและอ่านป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์จากภาพกล้องวงจรปิดได้ โดยอาศัยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการตรวจจับวัตถุ และเทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพสำหรับการอ่านตัวอักษรบนป้ายทะเบียน โดยมุ่งเน้นการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงที่มีข้อจำกัดด้านความละเอียดของภาพและมุมมองของกล้อง

ระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยกระบวนการหลัก ได้แก่ (1) การตรวจจับรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดโดยใช้แบบจำลอง YOLO (Wang et al., 2022) (2) การออกแบบกระบวนการจับคู่ระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนในระดับเหตุการณ์ และ (3) การปรับปรุงคุณภาพภาพป้ายทะเบียนก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรู้จำตัวอักษร (Nascimento et al., 2024) โดยระบบดังกล่าวได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับเคลื่อนทางเท้าโดยอัตโนมัติจากภาพกล้องวงจรปิด โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อสนับสนุนการเฝ้าระวังและตรวจสอบการกระทำผิดกฎหมายจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ วัตถุประสงค์ของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์จากภาพหรือวิดีโอที่ได้จากกล้องวงจรปิด โดยใช้แบบจำลองการตรวจจับวัตถุที่อาศัยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก
2. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์จากภาพที่ตรวจจับได้ และเตรียมข้อมูลสำหรับกระบวนการรู้จำตัวอักษร
3. เพื่อพัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ โดยใช้เทคนิคการรู้จำอักขระจากภาพ (Optical Character Recognition: OCR)
4. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจจับวัตถุและป้ายทะเบียนภายใต้เงื่อนไขของกล้องวงจรปิดที่มีมุมมองแบบมุมสูง (Top-view) ซึ่งไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับแผ่นป้ายทะเบียน
5. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นในการตรวจจับรถจักรยานยนต์และการรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดภายใต้สภาพแวดล้อมจริง
6. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการเฝ้าระวังการกระทำผิดกฎหมายจราจรและสนับสนุนการเพิ่มความปลอดภัยของผู้ใช้ทางเท้าในเขตเมือง

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang et al. (2022) ได้นำเสนอแบบจำลอง YOLOv7 ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดของแบบจำลองในตระกูล YOLO โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทั้งด้านความแม่นยำและความเร็วในการตรวจจับวัตถุได้อย่างมีนัยสำคัญ ผ่านเทคนิค Trainable Bag-of-Freebies และการปรับโครงสร้างของโมเดลให้เหมาะสมกับงานตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแบบจำลองดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก โดยเฉพาะในกรณีที่วัตถุมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับภาพทั้งหมด หรือมีความละเอียดของภาพต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการระบุตำแหน่งและจำแนกวัตถุได้อย่างแม่นยำ

ในด้านการประยุกต์ใช้จริง Ultralytics (2023) ได้พัฒนาเฟรมเวิร์ก YOLO ที่รองรับการใช้งานในหลากหลายบริบท และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานตรวจจับวัตถุในภาพจากกล้องวงจรปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลนำเข้า เช่น ความละเอียดของภาพ มุมกล้อง และสภาพแสง ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญในงานตรวจจับจากภาพในสภาพแวดล้อมจริง ข้อจำกัดดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิจัยนี้ เนื่องจากภาพจากกล้องวงจรปิดแบบมุมมองด้านบน (Top-View) ทำให้วัตถุเป้าหมาย เช่น ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ มีขนาดเล็ก และมีความบิดเบี้ยวของมุมมอง ส่งผลให้การตรวจจับและรู้จำมีความท้าทายมากขึ้น

Ding et al. (2024) ได้นำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการติดตามและรู้จำป้ายทะเบียนจากวิดีโอ โดยใช้แนวทางแบบ Training-Free และการใช้ข้อมูลหลายเฟรม (Multi-Frame) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการรู้จำ แนวทางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้ข้อมูลเชิงเวลา (Temporal Information) สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนของการรู้จำในภาพที่มีคุณภาพต่ำได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวยังมุ่งเน้นไปที่ป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นหลัก ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์

Nascimento et al. (2024) ได้นำเสนอวิธีการเพิ่มความละเอียดของภาพป้ายทะเบียน (Super-Resolution) โดยใช้แนวคิดแบบ Character-Driven เพื่อช่วยให้สามารถรู้จำตัวอักษรได้ดีขึ้นในกรณีที่ภาพมีความละเอียดต่ำแม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ OCR ได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความซับซ้อนของกระบวนการและต้นทุนการประมวลผล ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับระบบที่ต้องการประมวลผลแบบเรียลไทม์

Vargoorani & Suen (2024) ได้นำเสนอแนวทางการรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียนโดยใช้ Deep Learning ร่วมกับการวิเคราะห์รูปแบบตัวอักษร (Font Evaluation) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบ OCR อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวยังคงพึ่งพาคุณภาพของภาพเป็นหลัก และยังไม่ได้พิจารณาปัญหาที่เกิดจากมุมมองที่ไม่เหมาะสมหรือการบิดเบี้ยวของภาพจากมุมมองด้านบน

ในบริบทของงานวิจัยในประเทศไทย Nitmai et al. (2023) และ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ได้พัฒนาระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนภาษาไทยโดยใช้แบบจำลอง YOLO ร่วมกับ OCR ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่ป้ายทะเบียนรถยนต์ และใช้ข้อมูลจากมุมมองที่ค่อนข้างคงที่ ทำให้ยังไม่ครอบคลุมกรณีการใช้งานจริงจากกล้องวงจรปิดที่มีความหลากหลายของมุมมองและสภาพแวดล้อม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ยังมีข้อจำกัดในสามประเด็นหลัก ได้แก่ (1) การมุ่งเน้นป้ายทะเบียนรถยนต์ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า (2) การใช้ข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม และ (3) การขาดการวิเคราะห์เหตุการณ์ร่วมกับการรู้จำป้ายทะเบียน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งแก้ไขช่องว่างดังกล่าว โดยพัฒนาระบบที่สามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์บนทางเท้าและรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งมีข้อจำกัดด้านขนาดของวัตถุ ความละเอียดของภาพ และมุมมองของกล้อง พร้อมทั้งรวมกระบวนการวิเคราะห์เหตุการณ์เข้ากับระบบรู้จำป้ายทะเบียน

Table 1. Related Work Comparison

Study	Detection Method	OCR Capability	Environment	Thai Plate Support	Enhancement	System Type
Wang et al. (2022)	YOLOv7	No	General	No	No	Object Detection
Ultralytics (2023)	YOLO (v8/v11)	No	General	No	No	Detection Framework
Bautista & Atienza (2022)	Deep Learning	Yes	General (Scene Text)	No	No	OCR Model
Ding et al. (2024)	Deep Learning	Yes	Real-world (Video)	No	No	LPR System
Nascimento et al. (2024)	Deep Learning	No	Controlled	No	Yes	Image Enhancement
Vargoorani & Suen (2024)	Deep Learning	Yes	Controlled	No	No	LPR System
Nitmai et al. (2023)	YOLO-based	Yes	Real-world	Yes	No	Thai LPR System
Audomthankun & Nakharacruangsak (2024)	YOLO + OCR	Yes	Real-world	Yes	No	Thai LPR System
Proposed System	YOLO-based with ROI	Yes (RAW + ENH)	Real-world (CCTV)	Yes	Yes (Image Enhancement)	End-to-End System

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น รวมถึงผลการเปรียบเทียบใน Table 1. พบว่า แม้งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับวัตถุและการรู้จำป้ายทะเบียนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้แบบจำลองในตระกูล YOLO และเทคนิค OCR ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูงในหลายบริบท อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อจำกัดสำคัญหลายประการที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างครบถ้วน ดังนี้

1. งานวิจัยส่วนใหญ่ยังประสบปัญหาในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก เช่น ป้ายทะเบียน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อน เช่น แสงที่ไม่สม่ำเสมอ มุมกล้องที่หลากหลาย และการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Wang et al. (2022) และ Ultralytics (2023) ที่แม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กในภาพความละเอียดต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของระบบตรวจจับโดยตรง

2. แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่พัฒนาระบบรู้จำป้ายทะเบียนแบบครบวงจร (ALPR) (Ding et al., 2024; Vargoorani & Suen, 2024) แต่ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นไปที่ป้ายทะเบียนรถยนต์ และใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ รวมถึงยังขาดการพิจารณาปัญหาที่เกิดจากขนาดของป้ายทะเบียนที่แตกต่างกัน เช่น ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ที่มีขนาดเล็กกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และยังไม่รองรับลักษณะเฉพาะของป้ายทะเบียนภาษาไทยอย่างเต็มรูปแบบ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับป้ายทะเบียนภาษาไทย เช่น Nitmai et al. (2023) และ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ยังถูกทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม เช่น มุมกล้องคงที่ หรือภาพที่มีคุณภาพดี ซึ่งแตกต่างจากสภาพแวดล้อมจริงของกล้องวงจรปิดที่มีความแปรปรวนสูง อีกทั้งยังขาดการประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เช่น Super-Resolution หรือ Image Enhancement เพื่อสนับสนุนการทำงานของ OCR ในภาพความละเอียดต่ำ (Nascimento et al., 2024) นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นเฉพาะการตรวจจับและการรู้จำป้ายทะเบียน โดยยังไม่ได้รวมการวิเคราะห์บริบทของเหตุการณ์ เช่น การตรวจจับพฤติกรรมการขับขี่ที่ผิดกฎหมาย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบที่สามารถทำงานได้แบบครบวงจร (End-to-End) โดยรวมการตรวจจับรถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นวัตถุที่มีขนาดเล็กและมีความท้าทายสูงกว่ารถยนต์ การกำหนดพื้นที่สนใจ (ROI) เพื่อระบุบริบทของการกระทำผิด การตรวจจับและตัดภาพป้ายทะเบียน การปรับปรุงคุณภาพของภาพ และการรู้จำตัวอักษรด้วย OCR ทั้งจากภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (RAW และ ENH) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของระบบ นอกจากนี้ ระบบยังถูกออกแบบให้สามารถทำงานกับข้อมูลจริงจากกล้องวงจรปิด ในมุมมองแบบ Top-View ซึ่งมีข้อจำกัดด้านมุมมองและความละเอียดของภาพ และสามารถจัดเก็บผลลัพธ์ในรูปแบบเหตุการณ์ (Event-Based) ได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งช่วยให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 การตรวจจับวัตถุจากภาพกล้องวงจรปิด (CCTV-based Object Detection)

การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) เป็นกระบวนการสำคัญในการระบุประเภทและตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ โดยในงานวิจัยปัจจุบันนิยมใช้แบบจำลองเชิงลึก (Deep Learning) โดยเฉพาะ Convolutional Neural Networks (CNN) ในการสกัดคุณลักษณะของภาพและทำการจำแนกวัตถุ

แบบจำลองในกลุ่ม Single-Stage Detector เช่น YOLO (You Only Look Once) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถตรวจจับวัตถุได้แบบเวลาจริงและความซับซ้อนเชิงคำนวณต่ำ โดยงานวิจัยล่าสุด เช่น Wang et al. (2022) ได้พัฒนา YOLOv7 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งด้านความแม่นยำและความเร็ว ขณะที่ Ultralytics (2023) ได้พัฒนา Framework ของ YOLO ให้สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายและรองรับงานตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีมุมมองแบบมุมสูง (Top-View) วัตถุเป้าหมาย เช่น รถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน มักมีขนาดเล็กและมีความบิดเบือนของมุมมอง ซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำของการตรวจจับลดลง แม้ว่าจะระบบ YOLO รุ่นใหม่จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็กในภาพจากสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะในบริบทของกล้องวงจรปิด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แบบจำลอง YOLO ร่วมกับการกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อลดการตรวจจับวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสามารถในการตรวจจับวัตถุในบริบทของภาพจากกล้องวงจรปิดจริง ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบระบบตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงที่ต้องพิจารณาทั้งบริบทของภาพและข้อจำกัดของข้อมูลนำเข้า

3.3 การตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียน (License Plate Detection)

หลังจากการตรวจจับรถจักรยานยนต์ ขั้นตอนถัดไปคือการตรวจจับตำแหน่งของป้ายทะเบียน ซึ่งเป็นวัตถุขนาดเล็ก และมีรายละเอียดสูงเมื่อเทียบกับขนาดของภาพทั้งหมด

ในสภาพแวดล้อมของกล้องวงจรปิดที่มีมุมมองแบบมุมสูง ป้ายทะเบียนมักมีลักษณะเอียง มีความละเอียดต่ำ และอาจถูกบดบังบางส่วน ทำให้การตรวจจับทำได้ยากกว่าภาพที่ถ่ายในมุมตรง (Frontal View) ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ยังคงพบในงานวิจัยด้านการตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนสมัยใหม่ เช่น Ding et al. (2024) และ Vargoorani & Suen (2024) ที่แม้จะมีการพัฒนาโมเดลเชิงลึก แต่ยังเผชิญกับความท้าทายในสภาพแวดล้อมจริง นอกจากนี้ งานวิจัยล่าสุดยังให้ความสำคัญกับการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เช่น เทคนิค Super-Resolution เพื่อช่วยเพิ่มความชัดเจนของป้ายทะเบียนก่อนการรู้จำ (Nascimento et al., 2024)

ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับ งานวิจัยนี้ใช้วิธีการจับคู่ระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนโดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง (Spatial Relationship) รวมถึงการคัดกรองวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการรู้จำตัวอักษร

3.4 การรู้จำตัวอักษรบนป้ายทะเบียน (Optical Character Recognition: OCR)

การรู้จำตัวอักษรจากภาพ (Optical Character Recognition: OCR) เป็นกระบวนการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อความ โดยในระบบรู้จำป้ายทะเบียน OCR มีบทบาทสำคัญในการแปลงภาพป้ายทะเบียนให้เป็นหมายเลขทะเบียนที่สามารถนำไปใช้งานได้

เทคนิคที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้แบบจำลองเชิงลึก เช่น Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) หรือ Scene Text Recognition (STR) ซึ่งสามารถจัดการกับลำดับของตัวอักษรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยงานวิจัยล่าสุด เช่น Bautista & Atienza (2022) ได้เสนอแนวทาง Scene Text Recognition ที่สามารถจัดการลำดับตัวอักษรได้อย่างแม่นยำ ขณะที่ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ได้ประยุกต์ใช้ OCR ร่วมกับ YOLO สำหรับป้ายทะเบียนในบริบทจริง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีความละเอียดต่ำและมุมมองเอียง ความแม่นยำของ OCR มักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งยังคงเป็นข้อจำกัดสำคัญในงานวิจัยล่าสุด โดยเฉพาะในกรณีของภาพป้ายทะเบียนที่มีขนาดเล็กและคุณภาพต่ำ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) ก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR เพื่อเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษร และช่วยให้ระบบสามารถรู้จำข้อมูลได้ดีขึ้นในสภาพแวดล้อมจริง โดยแนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการปรับปรุงคุณภาพภาพ เช่น Nascimento et al. (2024) ที่ใช้เทคนิค Super-Resolution เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรู้จำป้ายทะเบียน

3.5 การตรวจจับการกระทำผิดด้วยพื้นที่สนใจ (ROI-based Violation Detection)

การตรวจจับการกระทำผิดในงานวิจัยนี้อาศัยแนวคิดของการกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อระบุขอบเขตของพื้นที่ที่ทางเท้า โดยไม่ใช้การวิเคราะห์ลำดับภาพเชิงเวลา เมื่อระบบตรวจพบรถจักรยานยนต์ภายในพื้นที่ที่กำหนด จะถือว่าเป็นการกระทำที่เข้าข่ายการขับขึ้นทางเท้า ซึ่งสามารถนิยามได้จากความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ

แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้แบบจำลองเชิงลึก เช่น YOLO ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ร่วมกับเงื่อนไขเชิงพื้นที่ (Spatial Constraints) เพื่อระบุเหตุการณ์จากภาพนิ่งหรือวิดีโอ (Ding et al., 2024; Vargoorani & Suen, 2024) นอกจากนี้ การใช้ ROI-Based Filtering ยังช่วยลดจำนวน False Positive และลดภาระในการประมวลผล เมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงเวลา (Temporal Analysis) ที่มีความซับซ้อนสูงกว่า โดยเฉพาะในระบบกล้องวงจรปิดที่ต้องการการประมวลผลแบบเวลาจริง อีกทั้งยังเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในระบบกล้องวงจรปิดจริงที่ต้องการการประมวลผลแบบเวลาจริง

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับขึ้นทางเท้า และสามารถรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยอาศัยเทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งถูกออกแบบในลักษณะกรอบ

แนวคิดเชิงระบบ (System Framework) โดยกรอบแนวคิดของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูลนำเข้า (Input) กระบวนการประมวลผล (Process) และผลลัพธ์ (Output) และแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบในรูปแบบแผนภาพกรอบแนวคิด (Framework Diagram) ดังแสดงใน Figure 1. สามารถอธิบาย ดังนี้

1. ข้อมูลนำเข้า (Input) ข้อมูลนำเข้าของระบบประกอบด้วยภาพหรือวิดีโอจากกล้องวงจรปิด (CCTV) ซึ่งมีลักษณะมุมมองแบบมุมสูง (Top-View) และอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง เช่น ความแปรผันของแสง การบดบังของวัตถุ และความหนาแน่นของการจราจร โดยข้อมูลนำเข้ดังกล่าวถือเป็นปัจจัยต้นทางที่มีผลโดยตรงต่อทุกขั้นตอนในกระบวนการประมวลผลของระบบ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจจับและการรู้จำข้อมูล

2. กระบวนการประมวลผล (Process) ในส่วนของกระบวนการประมวลผล ระบบเริ่มต้นจากการตรวจจับรถจักรยานยนต์ด้วยโมเดล YOLO ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง โดยทำหน้าที่เป็นโมดูลหลักในขั้นตอนการรับรู้วัตถุ (Object Perception) จากนั้นทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ร่วมกับการกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อแยกพื้นที่ทางเท้าออกจากถนน และใช้เป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบการกระทำผิดเมื่อระบบตรวจพบวัตถุอยู่ในพื้นที่ต้องห้าม จะดำเนินการตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียน และทำการรู้จำตัวอักษรด้วยเทคนิค Optical Character Recognition (OCR) เพื่อแปลงข้อมูลจากภาพเป็นข้อความ โดยขั้นตอนดังกล่าวทำงานต่อเนื่องในลักษณะ Pipeline ภายในกรอบแนวคิดเดียวกัน เพื่อให้เกิดการประมวลผลแบบ End-to-End

3. ผลลัพธ์ (Output) ผลลัพธ์ของระบบประกอบด้วยข้อมูลการตรวจจับการกระทำผิด (Violation Detection) ข้อมูลป้ายทะเบียน (License Plate Number) ภาพหลักฐาน (Captured Evidence) และข้อมูลประกอบ เช่น เวลา (Timestamp) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการบันทึกเหตุการณ์หรือสนับสนุนการดำเนินการด้านกฎหมาย โดยผลลัพธ์ทั้งหมดถูกจัดเก็บในรูปแบบเหตุการณ์ (Event-Based Output) ตามลำดับของกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ

จากกรอบแนวคิดดังกล่าวถูกออกแบบให้รองรับสภาพแวดล้อมจริงที่มีความแปรผันสูง และสะท้อนโครงสร้างของระบบในรูปแบบ Framework Diagram ที่เชื่อมโยงระหว่าง Input, Process, Output อย่างเป็นลำดับขั้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำของระบบ ทั้งในส่วนของกระบวนการตรวจจับวัตถุและการรู้จำตัวอักษร

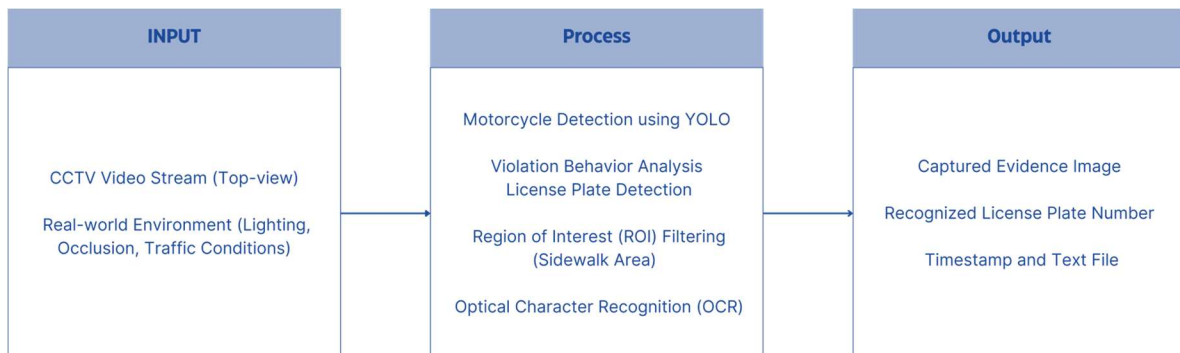


Figure 1. System Overview

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

โครงสร้างการทำงานของระบบโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรับข้อมูล การประมวลผล การจัดการเหตุการณ์ และการแสดงผลลัพธ์ ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การรับข้อมูล (Input)

ในขั้นตอนนี้ ระบบทำการรับข้อมูลจากกล้องวงจรปิดจำนวน 2 ตัว (ด้านหน้าและด้านหลัง) ผ่านกระบวนการ Video Acquisition และแปลงเป็นภาพเฟรมด้วยกระบวนการ Frame Extraction เพื่อใช้ในการประมวลผล

ภาพเฟรมถูกปรับขนาดให้อยู่ในรูปแบบ 640×640 พิกเซล และผ่านกระบวนการปรับทิศทางภาพ (Auto-Orientation) เพื่อให้เหมาะสมกับการฝึกโมเดล

จากนั้นระบบจะกำหนดพื้นที่สนใจ (Region of Interest: ROI Masking) เพื่อจำกัดขอบเขตการวิเคราะห์เฉพาะบริเวณทางเท้า ซึ่งช่วยลดข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ดังแสดงใน Figure 2.

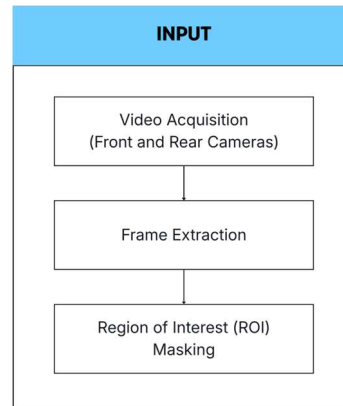


Figure 2. Input Pipeline: Front and Rear Video Capture, Frame Extraction, and ROI Definition

5.2 การประมวลผล (Process)

ระบบทำการตรวจจับวัตถุด้วยกระบวนการ Object Detection โดยพิจารณาวัตถุหลัก ได้แก่ รถจักรยานยนต์ ป้ายทะเบียน บุคคล และจักรยาน โดยใช้แบบจำลอง YOLO ซึ่งถูกฝึกจากชุดข้อมูลที่เตรียมไว้ในงานวิจัยนี้

หลังจากนั้น ระบบจะทำการคัดกรองวัตถุ (Object Filtering) โดยใช้เงื่อนไขด้านตำแหน่ง ขนาด และการซ้อนทับของวัตถุ เพื่อให้เหลือเฉพาะข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์

ในขั้นตอนถัดไป ระบบจะทำการจับคู่ระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน (Pairing Strategy) โดยพิจารณาทั้งกรณีจากกล้องเดียวกันและข้ามกล้อง เพื่อให้ได้คู่ข้อมูลที่เหมาะสม

จากนั้น ระบบจะตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง (Spatial Validation) ระหว่างป้ายทะเบียนและรถจักรยานยนต์ เพื่อยืนยันว่าป้ายทะเบียนนั้นเป็นของรถคันเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 3.

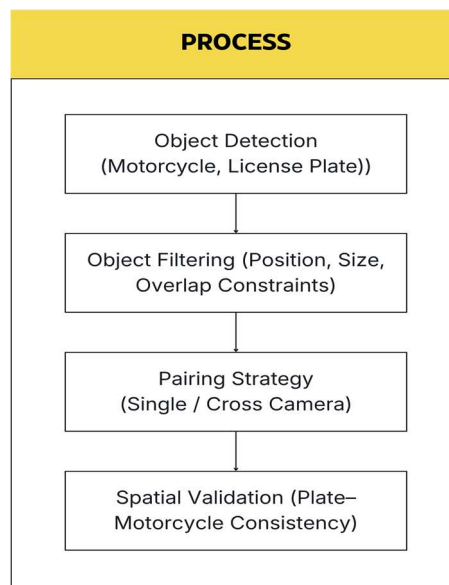


Figure 3. Processing Pipeline: Object Detection, Filtering, Motorcycle-Plate Pairing, and Spatial Validation.

5.3 การจัดการเหตุการณ์และป้ายทะเบียน (Event Processing)

เมื่อระบบตรวจพบการจราจรยานยนต์อยู่ในพื้นที่ที่กำหนด ระบบจะดำเนินการ Event Triggering ซึ่งเป็นการระบุเหตุการณ์ที่เข้าข่ายการกระทำผิด

จากนั้น ระบบจะสร้างโฟลเดอร์สำหรับจัดเก็บข้อมูล (Event Folder Creation) โดยอ้างอิงจากเวลา และทำการบันทึกภาพจากกล้องทั้งสองตัว (Evidence Image Capture) เพื่อใช้เป็นหลักฐาน

ในขั้นตอนถัดไป ระบบจะทำการตัดภาพเฉพาะส่วนของป้ายทะเบียน (License Plate Cropping) และปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) เพื่อเพิ่มความชัดเจนของตัวอักษร

จากนั้น ระบบจะดำเนินการรู้จำตัวอักษรด้วยวิธี Deep Learning-based Character Recognition โดยใช้โมเดลที่ผ่านการฝึกสำหรับการตรวจจับและจำแนกอักขระในระดับตัวอักษร (Character-Level) กระบวนการดังกล่าวประกอบด้วย การตรวจจับตำแหน่งของอักขระ (Character Detection) และการจำแนกประเภทของอักขระแต่ละตัว (Character Classification) ก่อนนำผลลัพธ์มาเรียงลำดับและทำ Mapping เป็นข้อความป้ายทะเบียน โดยโมเดลที่ใช้สำหรับการตรวจจับอักขระนี้ เป็นโมเดลที่แยกออกจากโมเดลที่ใช้ในการตรวจจับรถจักรยานยนต์

เมื่อได้ผลลัพธ์จาก OCR ระบบจะทำการคัดเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Result Selection) และปรับรูปแบบข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน (License Plate Normalization) เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ถูกต้อง ดังแสดงใน Figure 4. ในกรณีที่ผลลัพธ์มีความไม่แน่นอน เช่น การรู้จำอักขระซ้ำหรือค่าความเชื่อมั่นต่ำ ระบบจะใช้กฎเชิงเงื่อนไข (Rule-Based Filtering) เพื่อคัดกรองและเลือกผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุด

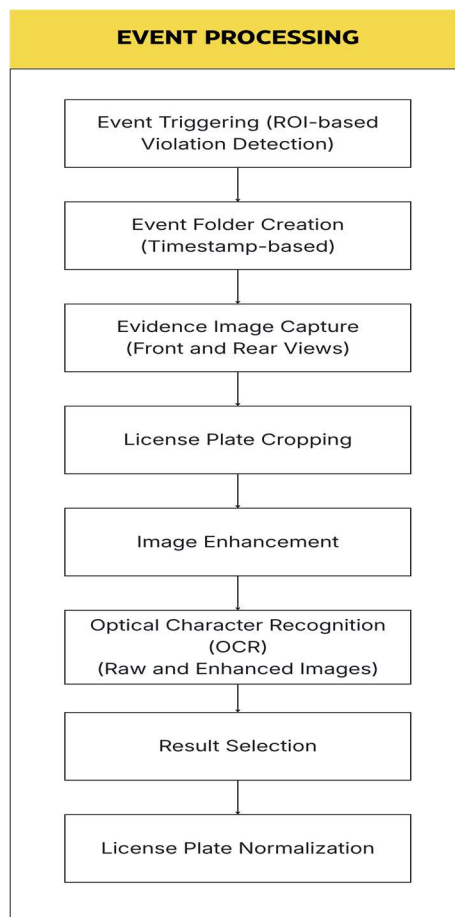


Figure 4. Event Processing Pipeline: Event Detection, Data Storage, Evidence Capture, Plate Cropping, Image Enhancement, OCR, and Result Selection

5.4 การแสดงผลลัพธ์ (Output)

ในขั้นตอนสุดท้าย ระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลซ้ำ (Duplicate Filtering) เพื่อลดการบันทึกข้อมูลซ้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ

จากนั้น ระบบจะบันทึกผลลัพธ์ (Output Generation) ซึ่งประกอบด้วยหมายเลขป้ายทะเบียน ภาพหลักฐาน และเวลา ลงในไฟล์และโฟลเดอร์ของเหตุการณ์ ดังแสดงใน Figure 5.

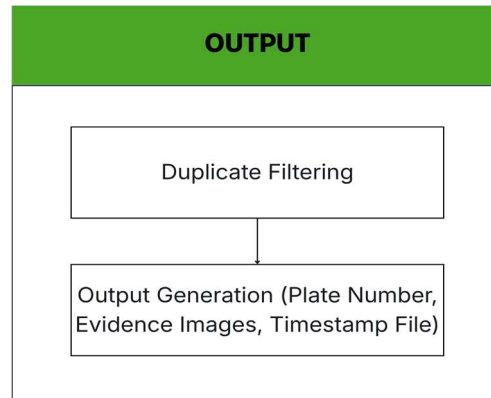


Figure 5. Output Generation: Duplicate Filtering and Output of Plate Number, Evidence Images, and Timestamps

5.5 ชุดข้อมูล (Dataset Description)

ชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกจัดเก็บจากสภาพแวดล้อมจริง (Real-World CCTV Environment) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลภาพจากกล้องวงจรปิดที่มีความหลากหลายด้านแสงและมุมมอง ชุดข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. รถจักรยานยนต์บนทางเท้าและบนถนน จำนวน 431 ภาพ (467 Instances)
2. ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์ จำนวน 245 ภาพ (247 Instances)
3. ภาพทางเท้าที่ไม่มีรถจักรยานยนต์ จำนวน 248 ภาพ (248 Instances)

มีการทำ Data Augmentation เช่น Rotation, Shear, Grayscale, Blur และ Noise เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล หลังจาก Augmentation ชุดข้อมูลมีจำนวนรวม 2,088 ภาพ และถูกแบ่งออกเป็น Training Set (1,746 ภาพ), Validation Set (185 ภาพ) และ Test Set (157 ภาพ) เพื่อใช้ในการฝึกและประเมินผลโมเดล

แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาโดยใช้กระบวนการจัดเตรียมข้อมูลผ่านแพลตฟอร์ม Roboflow สำหรับการกำหนดกรอบวัตถุ (Bounding Box Annotation) โดยกำหนดคลาสในการตรวจจับจำนวน 2 คลาส ได้แก่ รถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์

หลังจากการจัดเตรียมข้อมูลเสร็จสิ้น ชุดข้อมูลถูกนำมาใช้ในการฝึกแบบจำลองด้วย YOLOv11n (You Only Look Once version 11 – nano) ผ่านไลบรารี Ultralytics บนภาษา Python โดยเริ่มจากโมเดลที่ผ่านการฝึกมาก่อน (Pre-Trained Model) และทำการปรับปรุง (Fine-Tuning) ด้วยชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยจัดเตรียมขึ้น

ในการฝึกโมเดล ผู้วิจัยกำหนดขนาดภาพ (Image Size) เท่ากับ 960 พิกเซล และจำนวนรอบการฝึก (Epochs) เท่ากับ 100 รอบ โดยใช้ชุดข้อมูลที่แบ่งออกเป็น Training Set, Validation Set และ Test Set ตามที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ลักษณะของวัตถุจากข้อมูลจริงในสภาพแวดล้อมของกล้องวงจรปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.6 การประเมินประสิทธิภาพ (Evaluation Metrics)

การประเมินประสิทธิภาพของระบบใช้ตัวชี้วัด ได้แก่ Precision, Recall และ F1-Score เพื่อวัดความสามารถในการตรวจจับวัตถุและการรู้จำตัวอักษร นอกจากนี้ ยังใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ได้แก่ Precision-Recall Curve (PR Curve), F1-Score Curve Confusion Matrix ทั้งนี้เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในแต่ละคลาสและวิเคราะห์ความถูกต้องของผลลัพธ์

6. ผลการวิจัย (Results)

ในส่วนของการวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์บนทางเท้า และระบบรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบจริงจำนวน 100 เหตุการณ์ (Events) ซึ่งแต่ละเหตุการณ์เกิดจากการตรวจพบรถจักรยานยนต์ภายในพื้นที่ที่กำหนด (ROI) และมีการบันทึกข้อมูลจากกล้องทั้งสองมุมมอง

ระบบตรวจจับวัตถุในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง YOLO11n ที่ผ่านการฝึกจากชุดข้อมูลในวิธีดำเนินงานวิจัย โดยกำหนดจำนวนคลาสเป็น 2 คลาส ได้แก่ รถจักรยานยนต์ และ ป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์

การประเมินผลใช้ตัวชี้วัด Precision, Recall และ F1-Score สำหรับงานตรวจจับวัตถุ โดยแสดงผลร่วมกับ Confusion Matrix เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโมเดล

สำหรับการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR) ใช้ตัวชี้วัด Character Accuracy และ Plate Accuracy (Exact Match) เพื่อประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์

การประเมินผลแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ (1) การตรวจจับวัตถุ (2) การจับคู่ข้อมูล (3) การรู้จำป้ายทะเบียน และ (4) การทำงานของระบบในภาพรวม

6.1 ผลการวิจัยด้านการตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

ผลการทดลองจากชุดข้อมูลจำนวน 100 เหตุการณ์ภายในพื้นที่ ROI ระบบสามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ครบทั้ง 100 จาก 100 เหตุการณ์ อย่างไรก็ตาม การประเมินผลในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Event-Based Evaluation เนื่องจากระบบจะบันทึกข้อมูลเฉพาะกรณีที่สามารถตรวจจับได้เท่านั้น ดังนั้น จึงไม่สามารถคำนวณค่า True Negative (TN) และ False Negative (FN) ได้อย่างครบถ้วน และไม่สามารถใช้ตัวชี้วัด Recall ในความหมายแบบดั้งเดิมได้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงใช้ Detection Rate ในระดับเหตุการณ์ (Event-Level) ร่วมกับค่า Confidence Score ของโมเดล เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของระบบ คิดเป็นอัตราการตรวจจับ (Detection Rate) เท่ากับ 100% อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาคุณภาพของการตรวจจับจากค่า Confidence ของโมเดล พบว่าค่าเฉลี่ยของ Confidence Score อยู่ที่ 0.80 แสดงให้เห็นว่าระดับความมั่นใจของการตรวจจับมีความแตกต่างกันในแต่ละเหตุการณ์

ในทำนองเดียวกัน การตรวจจับป้ายทะเบียนสามารถตรวจจับได้ครบทั้ง 100 จาก 100 เหตุการณ์ คิดเป็น Detection Rate เท่ากับ 100% โดยมีค่าเฉลี่ยของ Confidence Score อยู่ที่ 0.84 ดังแสดงใน Table 2. นอกจากนี้ เพื่อให้การประเมินผลมีความครบถ้วนมากขึ้น ได้มีการแสดงผล Confusion Matrix จากชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกโมเดล ดังแสดงใน Figure 6. เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของแบบจำลองในระดับ Object Detection

ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจจับวัตถุจาก Precision-Recall Curve พบว่าแบบจำลองมีค่า Average Precision (AP) สำหรับคลาสรถจักรยานยนต์เท่ากับ 0.990 และคลาสป้ายทะเบียนรถจักรยานยนต์เท่ากับ 0.994 โดยมีค่า mean Average Precision (mAP@0.5) รวมทุกคลาสเท่ากับ 0.992

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณา F1-Score Curve พบว่าค่า F1-Score สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 0.98 ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลระหว่าง Precision และ Recall ของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุ

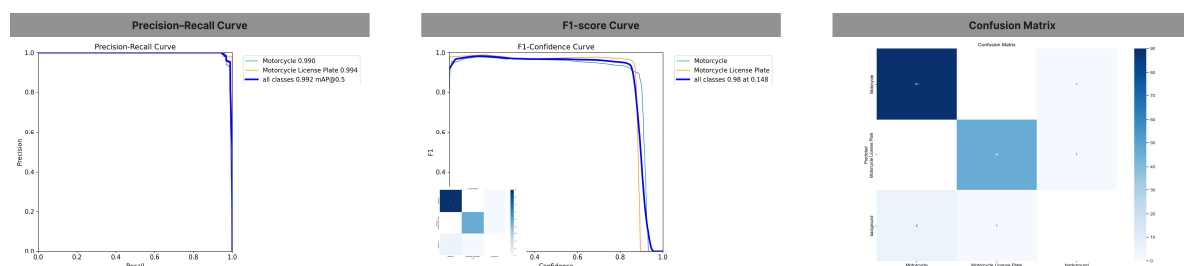


Figure 6. Performance Evaluation of the Proposed Detection Model including Precision-Recall Curve, F1-Score Curve, and Confusion Matrix

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า ความแม่นยำของการตรวจจับจักรยานยนต์ได้รับอิทธิพลจากตำแหน่งการติดตั้งกล้องและระยะห่างจากพื้นที่ ROI โดยกล้องด้านหน้าซึ่งติดตั้งห่างจากพื้นที่ ROI ประมาณ 10 เมตร ทำให้วัตถุปรากฏในภาพด้วยขนาดที่เล็กลง ส่งผลให้รายละเอียดของวัตถุลดลง และเพิ่มความยากในการตรวจจับ ประกอบกับลักษณะของจักรยานยนต์ที่มีความหลากหลายในด้านรูปร่าง สี และองค์ประกอบ ทำให้แบบจำลองต้องเรียนรู้ลักษณะที่ซับซ้อน ส่งผลให้ค่าความแม่นยำโดยรวมยังไม่ถึงระดับที่สูงมาก ดังแสดงใน Figure 7.

ในการทดลองนี้ ใช้แบบจำลอง YOLO11n สำหรับการตรวจจับวัตถุ โดยทำการฝึกด้วยชุดข้อมูลที่แบ่งเป็น training, validation และ test ตามสัดส่วนที่กำหนด และมีจำนวนคลาสหลัก ได้แก่ Motorcycle, License Plate และ Background

ในขณะที่การตรวจจับป้ายทะเบียนมีความแม่นยำสูงกว่า แม้ว่าป้ายทะเบียนจะมีขนาดเล็กกว่าตัวรถจักรยานยนต์ก็ตาม เนื่องจากป้ายทะเบียนมีลักษณะเชิงโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นมาตรฐาน เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยม อัตราส่วนคงที่ และมีขอบเขตที่ชัดเจน ส่งผลให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ลักษณะดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

ประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับถูกประเมินโดยใช้ค่า Precision, Recall และ F1-Score ร่วมกับ Average Precision (AP) จาก Precision-Recall Curve ซึ่งเป็นมาตรฐานในการประเมินงานด้าน Object Detection

นอกจากนี้ ระบบยังมีการปรับปรุงผลการตรวจจับในขั้นตอนการคัดกรองวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความแม่นยำของระบบในการโฟกัสเฉพาะบริเวณทางเท้า เช่น ขนาดของวัตถุ ตำแหน่งศูนย์กลาง และอัตราส่วนของกรอบวัตถุ ยังช่วยลด False Detection ได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่สามารถสรุปค่า TP, FP, TN และ FN ได้โดยตรงในระดับ Event เนื่องจากระบบมีการคัดกรองวัตถุเบื้องต้น (Filtering) ทำให้การประเมินผลในบางกรณีไม่สามารถนิยามค่าดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์

อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดยังคงเกิดขึ้นในบางกรณี เช่น การเคลื่อนที่ของรถด้วยความเร็วสูง หรือการบดบังของวัตถุอื่น ซึ่งทำให้ระบบไม่สามารถตรวจจับได้ในบางเฟรม



Figure 7. Detection Results in ROI

6.2 ผลการวิจัยด้านการจับคู่ข้อมูล (Object Pairing)

ระบบสามารถจับคู่ข้อมูลระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนได้ทั้งในกรณีที่อยู่ในกล้องเดียวกัน และในกรณีที่ต้องใช้ข้อมูลจากกล้องสองตัว (ด้านหน้าและด้านหลัง) โดยมีการใช้เงื่อนไขเชิงตำแหน่ง (Spatial Constraint) เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ของวัตถุ ดังแสดงใน Figure 8. กระบวนการจับคู่นี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำเชิงระบบ โดยลด False Association ระหว่างวัตถุ และช่วยให้ข้อมูลป้ายทะเบียนสอดคล้องกับรถจักรยานยนต์ที่ตรวจจับได้จริง

ผลการทดลองพบว่า การใช้กลไกการจับคู่ช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูลในแต่ละเหตุการณ์ และลดความคลาดเคลื่อนในการระบุป้ายทะเบียนผิดคัน โดยเฉพาะในกรณีที่มุมกล้องหนึ่งไม่สามารถเห็นป้ายทะเบียนได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีที่ป้ายทะเบียนอยู่ไกลหรือมีขนาดเล็กมาก ระบบอาจไม่สามารถจับคู่ข้อมูลได้สำเร็จ



Figure 8. Motorcycle – License Plate Pairing

6.3 ผลการวิจัยด้านการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR)

ผลการทดลองในขั้นตอนการรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียน โดยประเมินจากชุดข้อมูลจำนวน 100 เหตุการณ์ พบว่า การใช้ภาพต้นฉบับ (RAW) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในระดับตัวอักษรอยู่ที่ 32% ขณะที่ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Enhanced Image) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 46%

ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้ใช้ OCR Engine สำเร็จรูป แต่ใช้วิธีการรู้จำอักขระแบบ Deep Learning-based Character Recognition โดยทำการฝึกโมเดลเพื่อจำแนกตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนโดยเฉพาะ โดยก่อนเข้าสู่กระบวนการ OCR ระบบได้ทำการตัดภาพเฉพาะบริเวณป้ายทะเบียน (License Plate Cropping) จากภาพต้นฉบับ ดังแสดงใน Figure 9. เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากพื้นหลังและเพิ่มความชัดเจนของพื้นที่ตัวอักษร ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการรู้จำตัวอักษร จากนั้นทำการแยกอักขระ (Character Segmentation) และนำอักขระแต่ละตัวเข้าสู่โมเดลที่ผ่านการฝึก เพื่อทำการจำแนก (Classification) ก่อนนำผลลัพธ์มาเรียงลำดับและทำ Mapping เป็นข้อความป้ายทะเบียน

การประเมินความถูกต้องในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Position-Based Character Accuracy โดยทำการเปรียบเทียบตัวอักษรในแต่ละตำแหน่งระหว่างผลลัพธ์จากระบบกับข้อมูลจริง (Ground Truth) แบบหนึ่งต่อหนึ่ง โดยกำหนดให้การรู้จำตัวอักษรผิด การอ่านไม่ครบ (Missing) และการมีตัวอักษรเกิน (Insertion) ถูกนับเป็นความผิดพลาดตามจำนวนตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้ ยังมีการประเมินในระดับป้ายทะเบียนทั้งชุด (Exact Match Accuracy) เพื่อสะท้อนความสามารถของระบบในการรู้จำป้ายทะเบียนได้ถูกต้องครบทุกตัวอักษร

เมื่อพิจารณาความถูกต้องในระดับป้ายทะเบียนทั้งชุด (Exact Match) พบว่า การใช้ภาพต้นฉบับ (RAW) สามารถรู้จำได้ถูกต้องครบทุกตัวอักษรจำนวน 12 จาก 100 เหตุการณ์ ขณะที่ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Enhanced Image) สามารถรู้จำได้ถูกต้องครบทุกตัวอักษรจำนวน 20 จาก 100 เหตุการณ์

ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพของภาพมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของโมเดลรู้จำอักขระ โดยช่วยเพิ่มทั้ง Character Accuracy และ Exact Match Accuracy อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่า แม้ระบบจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ในบางกรณี แต่ความสม่ำเสมอของการรู้จำยังเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบรู้จำตัวอักษรจากป้ายทะเบียน ผู้วิจัยได้ใช้ตัวชี้วัดหลัก 2 รูปแบบ ได้แก่ Character Accuracy และ Exact Match Accuracy เพื่อสะท้อนความสามารถของระบบทั้งในระดับตัวอักษรและระดับป้ายทะเบียนโดยรวม

Character Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของการรู้จำในระดับตัวอักษร โดยพิจารณาความถูกต้องของอักขระในแต่ละตำแหน่ง เมื่อเทียบกับค่าจริงของป้ายทะเบียน

$$\text{สูตร : Character Accuracy (\%)} = (\text{จำนวนตัวอักษรที่อ่านถูกต้อง} \div \text{จำนวนตัวอักษรทั้งหมด}) \times 100$$

โดยในการประเมิน หากตัวอักษรในตำแหน่งใดถูกต้องจะนับเป็นค่าที่ถูกต้อง แต่หากมีการอ่านผิด อ่านไม่ครบ หรือสลับตำแหน่ง จะถูกนับเป็นค่าที่ไม่ถูกต้องในตำแหน่งนั้น

Exact Match Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของการรู้จำในระดับป้ายทะเบียน โดยจะพิจารณาว่าผลลัพธ์ถูกต้องก็ต่อเมื่ออักขระทุกตัวในป้ายทะเบียนตรงกับค่าจริงทั้งหมด

สูตร : $Exact\ Match\ Accuracy\ (\%) = \frac{(\text{จำนวนป้ายทะเบียนที่อ่านถูกต้องทั้งหมด} \div \text{จำนวนป้ายทะเบียนทั้งหมด}) \times 100$

โดยหากมีอักขระผิดแม้เพียงหนึ่งตำแหน่ง จะถือว่าป้ายทะเบียนนั้นไม่ถูกต้องทั้งหมด

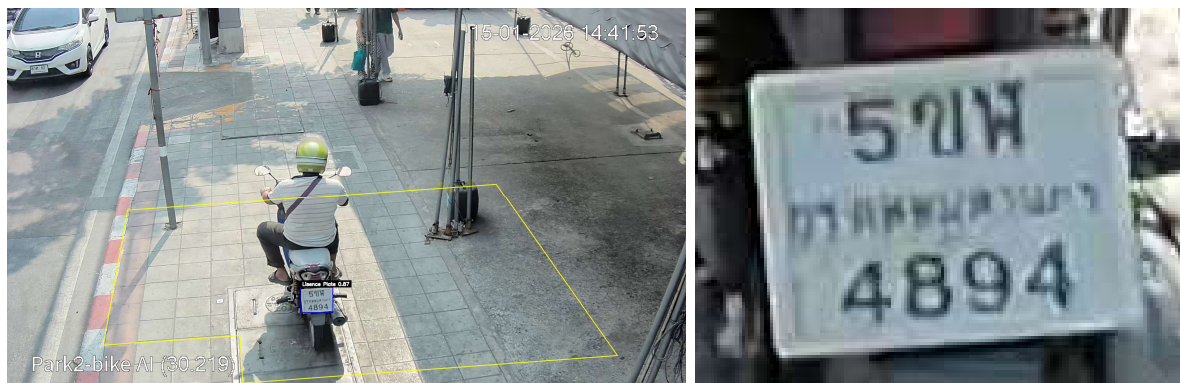


Figure 9. License Plate Cropping

การปรับปรุงคุณภาพของภาพช่วยเพิ่มความคมชัดของตัวอักษร และลดผลกระทบจาก Noise และแสงที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ปัจจัย เช่น มุมกล้องแบบ Top-View ความละเอียดของภาพ และการเคลื่อนที่ของวัตถุ ยังคงส่งผลต่อความแม่นยำของ OCR ดังแสดงใน Figure 10.



Figure 10. RAW vs Enhanced OCR Results

นอกจากนี้ ยังพบว่าความผิดพลาดของ OCR มักเกิดจากการอ่านตัวอักษรผิดรูป อ่านไม่ครบ หรืออ่านสลับตำแหน่ง สาเหตุหลักของความคลาดเคลื่อนในการรู้จำอักขระ (OCR) ในระบบที่นำเสนอสามารถอธิบายได้จากหลายปัจจัยสำคัญ ดังนี้

1. คุณภาพของภาพป้ายทะเบียนที่ถูกตัดออกมา มีความละเอียดและความคมชัดจำกัด แม้ว่าระบบจะสามารถตรวจจับตำแหน่งของป้ายทะเบียนได้ถูกต้อง แต่ภาพที่ได้มักประสบปัญหาความเบลอ ความคมชัดไม่เพียงพอ และรายละเอียดของตัวอักษรที่สูญหาย ส่งผลให้เกิดการจำแนกอักขระผิดพลาด โดยเฉพาะในกรณีของตัวอักษรที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

2. ลักษณะการติดตั้งกล้องในมุมมองด้านบน (Top-View) ส่งผลให้ภาพป้ายทะเบียนเกิดความบิดเบี้ยว เช่น การเอียงของวัตถุและความผิดเพี้ยนของมุมมอง (Perspective Distortion) ดังแสดงใน Figure 11. ซึ่งทำให้รูปทรงของ

ตัวอักษรถูกบิดเปลี่ยนไปจากรูปแบบปกติ ส่งผลกระทบต่อความสามารถของระบบ OCR ในการแยกแยะลักษณะเฉพาะของอักษร

3. สภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา เช่น เงาม แสงสะท้อน และสภาวะแสงน้อย มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของภาพป้ายทะเบียน โดยอาจทำให้บางส่วนของตัวอักษรสูญหายหรือเกิดความสว่างเกินไป (Overexposure) ส่งผลให้การรู้จำอักษรมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น

4. ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลภาพ เช่น การตัดภาพที่แคบเกินไป ขนาดป้ายทะเบียนที่เล็ก หรือการบดบังบางส่วนของตัวอักษร อาจทำให้ระบบ OCR ไม่สามารถรับรู้รูปแบบของป้ายทะเบียนได้ครบถ้วน ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในลักษณะการอ่านตัวอักษรเกิน (Insertion) หรือขาดหาย (Omission)

5. ลักษณะรูปทรงของอักษรภาษาไทยและตัวเลขบางตัวที่มีความคล้ายคลึงกัน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระบบ OCR เกิดความสับสน โดยเฉพาะเมื่อคุณภาพของภาพไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการจำแนกอักษรผิดพลาดได้ง่าย

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่าป้ายทะเบียนที่ถูกตัดออกจากภาพมีขนาดเพียงประมาณ 0.44% ของภาพทั้งหมด ส่งผลให้ข้อมูลเชิงรายละเอียดของตัวอักษรมีจำกัด โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาร่วมกับความละเอียดของภาพที่ลดลงหลังการ crop ทำให้การรู้จำอักษรมีความคลาดเคลื่อนสูง



Figure 11. OCR Failure Cases

Table 2. presents the Overall Performance of the Proposed System Across Major Components, Evaluated Using 100 Test Events

Component	Metric	Method	Value
Motorcycle Detection	Detection Rate	YOLO-based	100% (100/100)
Motorcycle Detection	Avg. Confidence	YOLO-based	0.80
License Plate Detection	Detection Rate	YOLO-based	100% (100/100)
License Plate Detection	Avg. Confidence	YOLO-based	0.84
OCR (RAW)	Character Accuracy	OCR	32%
OCR (Enhanced)	Character Accuracy	OCR + Image Enhancement	46%
OCR (RAW)	Exact Match	OCR	12% (12/100)
OCR (Enhanced)	Exact Match	OCR + Image Enhancement	20% (20/100)

6.4 ผลการทำงานของระบบในภาพรวม (System-Level Performance)

ระบบสามารถทำงานแบบครบวงจร ตั้งแต่การตรวจจับวัตถุ การจับคู่ข้อมูล การตัดภาพป้ายทะเบียน การปรับปรุงคุณภาพภาพ และการรู้จำตัวอักษร โดยในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ ใช้โมเดล YOLO สำหรับการตรวจจับรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน และในขั้นตอนการรู้จำอักษร ใช้โมเดล Deep Learning แยกต่างหากสำหรับการจำแนกตัวอักษรในระดับ Character-Level โดยสามารถสร้างเหตุการณ์ (Event) และบันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์เดอร์ตามเวลาได้โดยอัตโนมัติ

ในแต่ละเหตุการณ์ ระบบจะบันทึกข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ภาพจากกล้องทั้งสองมุม ภาพป้ายทะเบียนที่ถูกตัด และผลลัพธ์จาก OCR ในรูปแบบไฟล์ข้อความ (plate_text.txt) ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้อย่างสะดวก

ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมถูกประเมินจากทั้งส่วนของการตรวจจับ (Precision, Recall, F1-Score และ Average Precision (AP) ร่วมกับ Confusion Matrix) และส่วนของการรู้จำ (Character Accuracy และ Plate-Level Accuracy) นอกจากนี้ ระบบยังมีการป้องกันการบันทึกข้อมูลซ้ำ (Duplicate Filtering) ซึ่งช่วยลดข้อมูลซ้ำซ้อนและเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ในลักษณะ End-to-End ภายใต้สภาพแวดล้อมจริงของกล้องวงจรปิด อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดในบางกรณี เช่น วัตถุเคลื่อนที่เร็ว มุมมองของกล้อง และคุณภาพของภาพ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของทั้งการตรวจจับและการรู้จำ

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับรถจักรยานยนต์ที่ขับเคลื่อนทางเท้า และระบบตรวจจับและรู้จำป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิด โดยใช้เทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ร่วมกับแบบจำลองในตระกูล YOLO และเทคนิค Optical Character Recognition (OCR) เพื่อให้สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมจริง

จากผลการทดลองบนข้อมูลจำนวน 100 เหตุการณ์ พบว่าระบบสามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์ได้ด้วยความแม่นยำเฉลี่ย 80% และสามารถตรวจจับตำแหน่งป้ายทะเบียนได้ 84% แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อน เช่น ความหลากหลายของมุมกล้อง สภาพแสง และการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยค่าความแม่นยำดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถรักษาสสมดุลระหว่างความเร็วในการประมวลผลและความถูกต้องได้ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของโมเดลในตระกูล YOLO ที่ถูกออกแบบมาเพื่อ Real-Time Detection

ในส่วนของการรู้จำป้ายทะเบียน พบว่าการใช้ภาพต้นฉบับ (RAW) ให้ความถูกต้องเฉลี่ย 32% ขณะที่การใช้ภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (Enhanced Image) สามารถเพิ่มความถูกต้องเป็น 46% ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ OCR อย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า Bottleneck หลักของระบบไม่ได้อยู่ที่ขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ แต่เกิดจากข้อจำกัดของคุณภาพข้อมูลนำเข้าในขั้นตอน OCR ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรู้จำตัวอักษร

นอกจากนี้ ระบบยังสามารถทำงานแบบครบวงจร (End-to-End) ตั้งแต่การตรวจจับวัตถุ การจับคู่ข้อมูลระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน การตัดภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การรู้จำตัวอักษร และการจัดเก็บผลลัพธ์ในรูปแบบเหตุการณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการนำไปใช้งานจริงในบริบทของระบบเฝ้าระวัง (Surveillance System) และการบังคับใช้กฎหมาย โดยสามารถลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการตรวจสอบข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุป งานวิจัยนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบตรวจจับพฤติกรรมรถจักรยานยนต์ที่ผิดกฎหมายร่วมกับการรู้จำป้ายทะเบียนจากกล้องวงจรปิดในสภาพแวดล้อมจริง และยืนยันว่าการผสมผสานเทคนิคการตรวจจับวัตถุร่วมกับ OCR ภายใต้ข้อจำกัดของกล้องวงจรปิดทั่วไป สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับปฏิบัติการได้ แม้ว่าจะยังต้องมีการปรับปรุงในส่วนของความแม่นยำของ OCR ในอนาคต

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียนจากภาพกล้องวงจรปิดได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยเฉพาะในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุซึ่งให้ค่าความแม่นยำอยู่ในระดับ 80–84% สอดคล้องกับแนวทางของโมเดลในตระกูล YOLO ที่เน้นการประมวลผลแบบ Real-Time และสามารถรักษาสสมดุลระหว่างความเร็วและความแม่นยำได้ (Wang et al., 2022; Ultralytics, 2023) อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวยังสะท้อนข้อจำกัดของการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก เช่น ป้ายทะเบียน โดย Wang et al. (2022) ระบุว่าประสิทธิภาพของ YOLO มีแนวโน้มลดลงเมื่อวัตถุมีขนาด

เล็กหรือมีรายละเอียดจำกัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ที่พบว่าการตรวจจับป้ายทะเบียนมีความท้าทายมากกว่าการตรวจจับรถจักรยานยนต์

การกำหนดพื้นที่สนใจ (ROI) และการใช้เงื่อนไขในการคัดกรองวัตถุ มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของระบบ ซึ่งแนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานประยุกต์ด้านการตรวจจับป้ายทะเบียน เช่น Nitmai et al. (2023) และ Audomthankun & Nakharacruangsak (2024) ที่มีการใช้การกำหนดพื้นที่หรือบริบทของภาพเพื่อช่วยลด False Positive และเพิ่มความแม่นยำของระบบ

ในส่วนของการจับคู่ข้อมูลระหว่างรถจักรยานยนต์และป้ายทะเบียน พบว่าการใช้ข้อมูลจากกล้องสองมุมมองช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูล แนวคิดนี้มีความสอดคล้องกับงานของ Ding et al. (2024) ที่ใช้ข้อมูลเชิงเวลาและหลายเฟรมเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการติดตามและรู้จำป้ายทะเบียน โดยการใช้หลายมุมมองช่วยเพิ่มโอกาสในการได้ภาพที่เหมาะสมต่อการประมวลผล

ในด้านการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพสามารถเพิ่มความถูกต้องของ OCR จาก 32% เป็น 46% ซึ่งสอดคล้องกับของ Nascimento et al. (2024) ที่แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มคุณภาพของภาพ เช่น Super-Resolution และการปรับปรุงรายละเอียดของตัวอักษร สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรู้จำป้ายทะเบียนได้อย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้งานของ Vargoorani & Suen (2024) ยังชี้ให้เห็นว่าลักษณะของตัวอักษรและรูปแบบฟอนต์มีผลต่อความแม่นยำของ OCR ซึ่งสอดคล้องกับข้อผิดพลาดที่พบในงานวิจัยนี้ เช่น การอ่านผิดรูปหรือสับสนระหว่างตัวอักษรที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตาม ค่าความแม่นยำของ OCR ยังอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเทียบกับงานที่ใช้ข้อมูลคุณภาพสูงซึ่งสามารถอธิบายได้จากข้อจำกัดของกล้องวงจรปิด เช่น ความละเอียดของป้ายทะเบียนที่มีขนาดเล็ก มุมมองแบบ Top-View และ Motion Blur ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถของโมเดลรู้จำตัวอักษร (Nascimento et al., 2024) ในมุมมอง Sequence Recognition งานของ Bautista & Atienza (2022) ชี้ให้เห็นว่าการรู้จำข้อความจากภาพที่มีความบิดเบี้ยวหรือมี Noise สูง จะทำให้โมเดลเกิดข้อผิดพลาดในลักษณะการสลับลำดับหรืออ่านไม่ครบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้

เมื่อพิจารณาในภาพรวม ระบบสามารถทำงานแบบครบวงจร (End-to-End) ได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับแนวโน้มของงานวิจัยสมัยใหม่ที่มุ่งเน้นการพัฒนาระบบแบบบูรณาการตั้งแต่การตรวจจับจนถึงการรู้จำ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Ding et al., 2024)

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดหลักของระบบยังคงอยู่ที่ความแม่นยำของ OCR และคุณภาพของภาพ ดังนั้น แนวทางในอนาคตควรมุ่งเน้นไปที่การใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น Super-Resolution หรือการพัฒนาโมเดล OCR ที่ออกแบบเฉพาะสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม (Nascimento et al., 2024) และในบริบทของการใช้งานจริง ควรมีขั้นตอน Human Verification ร่วมกับระบบอัตโนมัติ เพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับการใช้งานด้านกฎหมายและความปลอดภัย

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากผลการวิจัยพบว่ามีแนวทางในการพัฒนาระบบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในอนาคต

1. ในด้านการรู้จำป้ายทะเบียน (OCR) แม้ว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพจะช่วยเพิ่มความแม่นยำได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในกรณีภาพเบลอหรือมุมเอียง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีที่ไม่ซับซ้อนเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานจริง ในอนาคตสามารถพัฒนาโมเดล OCR เฉพาะสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทย หรือประยุกต์ใช้เทคนิคขั้นสูง เช่น Super-Resolution และ Sequence Modeling เพื่อเพิ่มความแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่มีความท้าทาย

2. ในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ ได้ใช้การกำหนดพื้นที่สนใจ (ROI) และเงื่อนไขเชิงตำแหน่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำ ซึ่งเหมาะกับการใช้งานจริง อย่างไรก็ตามงานวิจัยในอนาคตสามารถพัฒนาโมเดลที่เรียนรู้บริบทของภาพ (Context-Aware Learning) ได้โดยอัตโนมัติ เพื่อลดการพึ่งพาการกำหนดเงื่อนไขแบบกำหนดตายตัว และเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

3. ควรเพิ่มจำนวนและความหลากหลายของข้อมูล เช่น สภาพแสงและมุมมองที่แตกต่างกัน เพื่อให้การประเมินผลครอบคลุมมากยิ่งขึ้น รวมถึงการเก็บข้อมูลในสถานการณ์จริงระยะยาว (Long-Term Deployment Data) เพื่อศึกษาความเสถียรของระบบ และผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

4. ระบบสามารถพัฒนาต่อยอดโดยเชื่อมต่อกับระบบอื่น เช่น ระบบแจ้งเตือนหรือระบบจัดเก็บข้อมูล เพื่อรองรับการใช้งานจริงในระดับองค์กร โดยในเชิงการนำไปใช้งานจริง (Deployment) ควรมีการออกแบบระบบให้รองรับการทำงานแบบ Real-Time การจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Data Pipeline) และมีขั้นตอนตรวจสอบความถูกต้องโดยมนุษย์ (Human-in-the-Loop) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ในบริบทการบังคับใช้กฎหมาย

นอกจากนี้ ควรมีการประเมินประสิทธิภาพของระบบในเชิงปฏิบัติการ เช่น Latency ของระบบ อัตราการแจ้งเตือนที่ถูกต้อง (True Alert Rate) และความสามารถในการทำงานต่อเนื่อง (System Robustness) เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับองค์กร

10. การเปิดเผยการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Declaration of Generative AI)

งานวิจัยฉบับนี้มีการใช้ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI) เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนในการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของต้นฉบับ โดยเลือกใช้ OpenAI ChatGPT เพื่อช่วยตรวจสอบความถูกต้องทางภาษา ปรับปรุงโครงสร้างประโยคให้มีความกระชับตามหลักวิชาการ ตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบการอ้างอิง ทั้งนี้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ดังกล่าวถูกใช้ในลักษณะผู้ช่วยในการตรวจสอบและปรับปรุงบทความเท่านั้น มิได้ถูกใช้ในการสร้างผลการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล การสร้างชุดข้อมูล หรือการตัดสินใจแทนผู้วิจัยแต่อย่างใด โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการศึกษา ออกแบบระบบ ทดลอง เก็บข้อมูล วิเคราะห์ผล และเรียบเรียงสาระสำคัญทั้งหมดด้วยตนเอง

11. การแสดงบทบาทผู้เขียน (CRediT Author Statement)

Pichate Keawcharoen: Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal Analysis, Investigation, Resources, Data Curation, Writing-Original Draft, Visualization.

Tanun Jaruvitayakovit: Conceptualization, Validation, Formal Analysis, Writing-Review & Editing, Supervision, Project Administration.

All authors read and approved the final manuscript.

12. เอกสารอ้างอิง (References)

- Audomthankun, P., & Nakharacruangsak, S. (2024). Enhancing the Efficiency of License Plate Detection Using YOLO and Optical Character Recognition. *Journal of Science and Technology Southeast Bangkok University*, 4(2), 140–150. <https://doi.org/10.14456/jsct-sbu.2024.19> (In Thai)
- Bautista, D., & Atienza, R. (2022). *Scene Text Recognition with Permuted Autoregressive Sequence Models*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.06966>
- Ding, H., Wang, Q., Gao, J., & Li, Q. (2024). *A Training-Free Framework for Video License Plate Tracking and Recognition with Only One-Shot*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.05729>
- Nascimento, V., Laroca, R., Ribeiro, R. O., Schwartz, W. R., & Menotti, D. (2024, September 30 – October 3). Enhancing License Plate Super-Resolution: A Layout-Aware and Character-Driven Approach. *2024 37th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images*, 1–6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/SIBGRAPI62404.2024.10716303>
- Nitmai, D., Porsam, S., & Tangchoopong, T. (2023). Vehicle License Plate Detection and Recognition for Parking Management System. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, 5(2), 72–86. (In Thai)
- Ultralytics. (2023). *Ultralytics YOLO Docs*. <https://docs.ultralytics.com>

- Vargoorani, Z. E., & Suen, C. Y. (2024). License Plate Detection and Character Recognition Using Deep Learning and Font Evaluation (Vol. 15154, pp. 231–242). https://doi.org/10.1007/978-3-031-71602-7_20
- Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2022). *YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.02696>