

การทดสอบแนวคิดระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ Proof of Concept of Automatic Incident Detection System using Image Processing Technology

วันเฉลิม ดวงกันยา^{1,*} พรณรงค์ เลื่อนเพชร² และ เอกรินทร์ เหลืองวัลย์³

^{1,2,3} บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน) กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: wanchaloem.dua@tollway.co.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการทดสอบแนวคิดระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ โดยใช้การจำลองอุบัติเหตุประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย รถหยุด คนเดิน สิ่งของตก หล่น และ รถวิ่งสวนทิศทาง บริเวณด้านดอนเมือง 2 บนทางยกระดับอุดรธานีเป็นพื้นที่ทดสอบ ทั้งในเวลากลางวัน และ ช่วงเวลากลางคืน สำหรับการประเมินประสิทธิภาพพิจารณาจากตัวแปรต่าง ๆ ประกอบด้วย อัตราการตรวจจับ (Detection Rate: DR) เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (Time to Detect: TTD) และอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (False Alarm Rate: FAR) ผลการทดสอบแนวคิดระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ พบว่า อัตราการตรวจจับอุบัติเหตุประเภทต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 97.22 ส่วนเวลาที่ระบบใช้ในการตรวจจับอุบัติเหตุประเภทต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.01 วินาที และ อัตราการแจ้งเตือนอุบัติเหตุผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 1.69 โดยที่ประสิทธิภาพการตรวจจับอุบัติเหตุในช่วงเวลากลางคืนจะดีกว่าในช่วงกลางวันเล็กน้อย เนื่องจากมีผลกระทบจากความสว่างของแสงในแต่ละสถานการณ์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดของระยะทางและมาตรการความปลอดภัยในพื้นที่ทดสอบทำให้ไม่สามารถทดสอบประสิทธิภาพของอุบัติเหตุต่าง ๆ ในกรณีที่ยานพาหนะใช้ความเร็วสูงได้ ทั้งนี้ ผลที่ได้จากการทดสอบทำให้ทราบถึงแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพเพื่อนำไปประกอบการคัดเลือกผลิตภัณฑ์และวางแผนจัดการอุบัติเหตุได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การทดสอบแนวคิด, ระบบตรวจจับอุบัติเหตุ, อัตราการตรวจจับ, เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ, อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด

Abstract

This study presents the results of a proof-of-concept test for an automated incident detection system using image processing technology. A variety of simulated incidents, including stopped vehicles, pedestrians, fallen objects, and wrong-way driving, were tested on the Don Mueang 2 toll plaza elevated road, both during the daytime and nighttime. The system's performance was evaluated based on several variables, including Detection Rate (DR), Time to Detect (TTD), and False Alarm Rate (FAR). The results showed an average detection rate of 97.22% for various types of incidents. The average time for the system to detect incidents was 2.01 seconds, and the average false alarm rate was

1.69%. The detection performance was slightly lower at nighttime due to varying light conditions. However, due to distance limitations and safety measures at the tested site, it was not possible to test the system's performance for incidents involving high-speed vehicles. Overall, the results of this study demonstrate the potential of automated incident detection systems using image processing technology. The findings can be used to notify the selection of products and the development of incident management plans.

Keywords: Proof-of-Concept, Automated Incident Detection System, Detection Rate, Time to Detect, False Alarm Rate

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการบริหารจัดการเหตุการณ์ฉุกเฉินบนทางยกระดับนับเป็นองค์ประกอบสำคัญในการยกระดับความปลอดภัยและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการจราจรสูงหรือมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึง การใช้ระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติ (Automatic Incident Detection: AID) ด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการตอบสนองต่อปัญหาดังกล่าว เนื่องจากสามารถตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติได้อย่างทันทีโดยไม่ต้องพึ่งพาการรายงานจากผู้ใช้ทาง เช่น กรณีรถเสีย อุบัติเหตุ หรือพฤติกรรมจราจรที่ผิดปกติ เป็นต้น ระบบดังกล่าวยังสามารถลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ การควบคุมการแจ้งเตือน และสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และการประมวลผลภาพจากกล้องวงจรปิด ทำให้การพัฒนาแบบ AID มีความแม่นยำและตอบสนองได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งการนำระบบเหล่านี้มาใช้ในบริบทของทางยกระดับในประเทศไทยยังอยู่ในระยะเริ่มต้นเพียงเท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบแนวคิดและประเมินประสิทธิภาพของระบบ AID โดยการจำลองสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบจะเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายและการพัฒนาต่อยอดการใช้งานจริงในระบบบริหารจัดการจราจรอัจฉริยะในอนาคตได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบแนวคิดระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ (Image Processing Technology) ที่ทำให้ทราบถึงแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบฯ รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการบริหารจัดการจราจรบนทางยกระดับ และเพื่อประกอบการคัดเลือกผลิตภัณฑ์และวางแผนจัดการอุบัติเหตุต่าง ๆ ให้เหมาะสม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบริหารจัดการเหตุการณ์ฉุกเฉินบนทางยกระดับอย่างมีประสิทธิภาพเป็นหัวใจสำคัญในการเพิ่มความปลอดภัยและลดผลกระทบต่อการจราจรให้กับผู้ใช้ทาง โดยหนึ่งในระบบที่มีความสำคัญที่เข้ามาช่วยบริหารจัดการจราจร คือ ระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติ (Automatic Incident Detection: AID) โดยอาศัยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ (Image Processing Technology) หรือการประมวลผลด้วยรูปภาพผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่ปัจจุบันได้เข้ามามีบทบาทในการตรวจจับเหตุการณ์ต่าง ๆ เช่น อุบัติเหตุ รถเสีย หรือการจราจรที่ติดขัด โดยไม่ต้องพึ่งพาการรายงานจากผู้ใช้งาน เพื่อเป็นการจัดการบริหารจัดการและการตอบสนองเหตุการณ์ได้อย่างทันทั่วถึง รวมถึงการประเมินผลการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพอย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม ในการประเมินประสิทธิภาพเกี่ยวกับการตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติ มีเกณฑ์การพิจารณาจากปัจจัย ดังต่อไปนี้

- อัตราการตรวจจับ (Detection Rate: DR)
สัดส่วนของเหตุการณ์จริงทั้งหมดที่ระบบสามารถตรวจจับได้สำเร็จ (หน่วยเป็นร้อยละ) เช่น การตรวจจับอุบัติเหตุ รถจอดเสีย หรือพฤติกรรมรถขับซัดผิดกีดบนทางยกระดับ เป็นต้น โดยค่าที่ได้เมื่อมีการประเมินผลเรียบร้อยแล้ว หากพบว่ามีส่วนที่ต่ำจะทำให้ทราบถึงความสามารถของระบบในการตรวจพบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นได้ทันเวลา ซึ่งการพิจารณาในปัจจุบันจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในระบบบริหารจัดการจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems: ITS)

สมการคำนวณอัตราการตรวจจับ (DR)

$$DR = \frac{\text{จำนวนเหตุการณ์ที่ตรวจจับได้สำเร็จ}}{\text{จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด}} \times 100\%$$

- เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (Time to Detect: TTD)
ระยะเวลาตั้งแต่เกิดเหตุการณ์จนกระทั่งระบบสามารถตรวจพบและส่งสัญญาณแจ้งเตือนกลับมาได้ (หน่วยเป็นวินาที) ซึ่งหากพบว่าค่าที่ต่ำจะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ผิดปกติได้ดีเพียงใด ทำให้สามารถช่วยลดเวลาในการแก้ไขปัญหาเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมถึงเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ทางและลดผลกระทบต่อการจราจรโดยรวมบนโครงข่ายเส้นทาง
- อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (False Alarm Rate: FAR)
สัดส่วนของเหตุการณ์ที่ระบบแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ขึ้น (หน่วยเป็นร้อยละ) แต่ในความเป็นจริงไม่ได้เกิดขึ้นจริง หรือไม่ใช่อุบัติเหตุที่สนใจ ซึ่งหากพบว่าค่าที่ได้สูงเกินไป อาจจะส่งผลต่อภาระงานที่เพิ่มขึ้นของเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรหรือศูนย์ควบคุมได้ด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม หากประเมินอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาดยังมีค่าที่ต่ำ ควบคู่กับอัตราการตรวจจับ (DR) เมื่อมีค่าที่สูง นั้นหมายความว่า ระบบมีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของระบบสามารถตรวจจับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

สมการคำนวณอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR)

$$FAR = \frac{\text{จำนวนการแจ้งเตือนผิดพลาด}}{\text{จำนวนการแจ้งเตือนทั้งหมด}} \times 100\%$$

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีประมวลผลภาพ ในประเทศไทย โดยจากบทความวิชาการเรื่องการติดตั้งระบบบริหารจัดการจราจรบนทางพิเศษแบบอัตโนมัติทางพิเศษคลองรัช (ปี 2564) [5] ได้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกล้องวงจรปิด ซึ่งเป็นหนึ่งในรูปแบบที่เข้ามาช่วยลดปัญหาการใช้ความเร็วเกินกำหนดและการขับผิดช่องจราจรที่ทำงานร่วมกับระบบบริหารจัดการจราจร (Lane Management System) ให้มีการควบคุมทั้งในด้านทิศทางการเดินรถ ประเภทของยานพาหนะที่อนุญาตให้ใช้ช่องทางการควบคุมการเข้าใช้ช่องจราจร และการใช้มาตรการบังคับต่าง ๆ ซึ่งเทคโนโลยีกล้องวงจรปิดได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของจราจรและความปลอดภัยบนโครงข่ายถนนได้เป็นอย่างดีเช่นกัน และในบทความทางวิชาการเรื่องการพัฒนาโปรแกรมตรวจจับการฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดงและการสวมหมวกนิรภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด (ปี 2562) [6] พบว่า การพัฒนาโปรแกรมที่สามารถตรวจจับการกระทำผิดโดยอัตโนมัติผ่านภาพจากกล้องวงจรปิดเป็นแนวทางสำคัญในการสนับสนุนเจ้าหน้าที่ตำรวจให้สามารถบังคับใช้กฎหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยลดการพึ่งพาการเผชิญหน้าระหว่างเจ้าหน้าที่กับประชาชนและนำไปสู่การลดจำนวนอุบัติเหตุและความรุนแรงบนท้องถนนได้อย่างยั่งยืน

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีประมวลผลภาพ ในต่างประเทศ โดยจากบทความวิชาการเรื่องระบบตรวจจับเหตุการณ์อัตโนมัติจากวิดีโอบนสะพานขานมาเทโอในพื้นที่ยาวซานฟรานซิสโก (ปี 2548) [4] ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกล้องวงจรปิด (CCTV) สำหรับการเฝ้าระวังและจัดการจราจร ซึ่งการพัฒนาและใช้ระบบอัจฉริยะยังสามารถตรวจจับเหตุการณ์โดยอัตโนมัติที่เป็นการช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่และเพิ่มความสามารถในการตรวจจับเหตุการณ์ที่สำคัญได้อย่างทันท่วงที รวมถึงสามารถตรวจจับยานพาหนะที่หยุดนิ่งได้ทั้งในช่วงเวลาปกติและช่วงการจราจรติดขัดในสภาพแสงและอากาศที่หลากหลายได้อีกด้วยเช่นกัน ซึ่งจากบทความวิชาการเรื่องการพัฒนาระบบตรวจจับเหตุการณ์อัตโนมัติโดยการใช้อัลกอริทึมของระบบบริหารจัดการจราจรอัตโนมัติที่มีอยู่เดิม (ปี 2562) [3] พบว่าจากการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับเหตุการณ์อัตโนมัติจากภาพกล้องวงจรปิดแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการตรวจจับเหตุการณ์จราจรแบบเรียลไทม์และการจัดการความแออัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีพื้นฐานจากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เช่น อัลกอริทึม YOLO (V.3) ซึ่งสามารถตรวจจับและจำแนกยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น นอกจากนี้ในงานศึกษาการพัฒนาเว็บไซต์ตรวจจับความหนาแน่นการจราจรแบบเรียลไทม์โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลด้วย YOLOv8 และ OpenCV (ปี 2567) [2] โดยการศึกษาชิ้นนี้นำเสนอระบบตรวจสอบความหนาแน่นของการจราจรแบบเรียลไทม์ โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัลที่อิงจาก YOLOv8 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการจราจร โดยอาศัยความเร็วและความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นของ YOLOv8 ระบบสามารถตรวจจับและจำแนกยานพาหนะได้ 5 ประเภท

และแสดงข้อมูลจราจรผ่านอินเทอร์เน็ตเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วย OpenCV และ Flask ที่เจอร์สำคัญของการนำไปใช้ ได้แก่ การสตรีมวิดีโอแบบเรียลไทม์และการวัดค่าความแม่นยำในการตรวจจับ โดยระบบมีความแม่นยำ (Precision) อยู่ที่ 96% ค่าการดึงข้อมูล (Recall) ที่ 84% และคะแนน F1 ที่ 90% จากการทดสอบภาคสนามในเมืองโบกอร์ ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการลดการตรวจสอบการจราจรแบบ Manual และช่วยให้หน่วยงานด้านจราจรสามารถตัดสินใจได้จากข้อมูลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลจริง นอกจากนี้ งานวิจัยยังกล่าวถึงการบูรณาการระบบเข้ากับการจัดการจราจรในเมือง และความสามารถในการปรับขยายการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และการศึกษากการตรวจจับเหตุการณ์บนทางด่วนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม: Artificial Neural Networks (ปี 2536) [1] ได้มีการพยายามพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจจับเหตุการณ์บนทางด่วนอัตโนมัติ (Automated Incident Detection - AID) เพื่อบรรเทาผลกระทบจากอุบัติเหตุหรือเหตุการณ์ไม่ปกติที่ทำให้การจราจรหยุดชะงัก เช่น อุบัติเหตุ รถเสีย หรือการซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นต้นเหตุของความล่าช้าบนทางด่วนถึงร้อยละ 50-60 ของเวลาทั้งหมด ซึ่งความพยายามเหล่านี้จะมีความก้าวหน้าแต่ยังมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ เช่น อัตราการตรวจจับ (Detection Rate) ที่ไม่สม่ำเสมอ อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (False Alarm Rate) ที่สูง และเวลาตอบสนองต่อเหตุการณ์ (Time to Detect) ที่ล่าช้า ซึ่งทำให้อัลกอริทึมเหล่านี้ยังไม่สามารถใช้งานได้แพร่หลายในระบบจริง ภายหลังจากนั้นนักวิจัยจึงได้สำรวจแนวทางใหม่โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เช่น เครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks - ANNs) ที่มีศักยภาพสูงในการเรียนรู้ รูปแบบของข้อมูลจราจรแบบไม่แน่นอนในเชิงพื้นที่และเวลา จุดเด่นของ ANN คือความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่าง การประมวลผลแบบขนาน การทนต่อสัญญาณรบกวน และการจัดการกับข้อมูลที่ไม่มีรูปแบบอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการตรวจจับเหตุการณ์ที่อาจถูกปกปิดด้วยข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนหรือรูปแบบที่ไม่แน่นอน โดยท้ายที่สุดเมื่อมีการนำ ANN มาปรับใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์บนทางด่วนเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูง โดยเฉพาะในด้านการตอบสนองแบบเรียลไทม์ ความแม่นยำในการแยกแยะสถานการณ์ที่แท้จริงออกจากเหตุการณ์ลวง และการปรับตัวต่อข้อมูลที่จราจรที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ยังมีความจำเป็นในการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อขยายการใช้งานให้ครอบคลุมหลายพื้นที่และทดสอบกับข้อมูลจริงเพื่อยืนยันความสามารถในการนำไปใช้จริง

อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีประมวลผลภาพ (Image Processing Technology) ทั้งในประเทศและต่างประเทศจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีประมวลผลภาพมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการจราจรและเสริมสร้างความปลอดภัยบนท้องถนน โดยสามารถตรวจจับพฤติกรรมที่ผิดกฎหมายและเหตุการณ์ผิดปกติได้แบบเรียลไทม์ ช่วยลดภาระเจ้าหน้าที่และเพิ่มความแม่นยำในการบังคับใช้กฎหมาย ทั้งนี้ ยิ่งหากมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ AI และอัลกอริทึม Deep Learning เข้ามาช่วยให้ระบบตรวจจับมีความรวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ยิ่งจะทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการตัดสินใจเชิงนโยบายและวางแผนจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ในการศึกษา

บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 31 สายดินแดง - ดอนเมือง กม. 21+075 (Don Muang Tollway) ณ บริเวณพื้นที่หน้าและหลังด่าน

จัดเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางดอนเมือง 2 ดังรูปที่ 1 โดยมีติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบระบบระหว่างเดือนกันยายน - ตุลาคม ปี 2567



รูปที่ 1 พื้นที่ในการศึกษา

3.2 รูปแบบและวิธีทดสอบระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติ

การทดสอบแนวคิดระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ ในครั้งนี้ เป็นการจำลองอุบัติเหตุประเภทต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นบนทางยกระดับดอนเมือง ซึ่งสามารถกำหนดการจำลองอุบัติเหตุได้เป็น 4 ประเภท คือ รถหยุด คนเดิน สิ่งของตกหล่น และรถวิ่งสวนทิศทาง โดยมีวัตถุประสงค์ให้ระบบสามารถตรวจจับได้เพื่อประกอบการจำลอง ได้แก่ คน รถ กระบะ และกล่อง ดังที่แสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้ในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่แตกต่างกันได้มีการกำหนดระยะเวลาการตรวจจับวัตถุที่เริ่มตั้งแต่ระยะ 50 เมตร และเพิ่มระยะตรวจจับวัตถุทีละ 50 เมตร ตามลำดับไปจนถึงระยะที่ 300 เมตร นอกจากนี้การตรวจจับอุบัติเหตุได้มีการทดสอบทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบในสถานะที่เสมือนความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 2 วัตถุประกอบการจำลองอุบัติเหตุต่าง ๆ

3.3 กลุ่มตัวอย่างในการศึกษา (Sample Size)

สำหรับจำนวนกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้ ผู้ศึกษาได้เลือกใช้หลักการทางสถิติ โดยใช้สมการ Slovin (Slovin's formula) เพื่อคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำที่จำเป็นในการประมาณค่าทางสถิติที่พิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95) ซึ่งจากการประเมินจำนวนของกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำในแต่ละสถานการณ์ควรมีน้อย 368 กรณี (Cases) โดยผู้ศึกษาได้เลือกสมการ Slovin เนื่องจากมีข้อมูลประชากรจำกัด ต้องการความรวดเร็วในการประเมิน และต้องการควบคุมระดับความแม่นยำตามข้อจำกัดของทรัพยากร สมการนี้จึงตอบโจทย์ทั้งในแง่ของ ความไม่ซับซ้อน ความยืดหยุ่น และความเหมาะสมกับการใช้งานจริง ได้เป็นอย่างดี

สมการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง (Slovin's formula)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

n = ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดประชากรทั้งหมด

e = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

3.4 การประเมินประสิทธิภาพระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติ

การประเมินประสิทธิภาพระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีเกณฑ์การพิจารณาจากตัวแปรหรือดัชนีการตรวจจับอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ดังนี้

- 1) อัตราการตรวจจับ (DR)
- 2) เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (TTD)
- 3) อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR)

จากเกณฑ์การพิจารณาดังกล่าว ผู้ศึกษาได้กำหนดให้อัตราการตรวจจับได้ (DR) มีค่าดัชนีไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 95 ส่วนเวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (TTD) ไม่ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 30 วินาที และอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR) ไม่ควรมากกว่าร้อยละ 5 ซึ่งหากทั้ง 3 ดัชนีเหล่านี้ มีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จึงจะถือว่า ระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพที่น่าเชื่อถือและสามารถนำไปต่อยอดในการประยุกต์ใช้ระบบฯ บนทางยกระดับต่อไป

อย่างไรก็ตาม เกณฑ์การพิจารณาค่าทั้ง 3 ดัชนี ผู้ศึกษาได้ประเมินมาจากข้อกำหนดเอกสารคำขอข้อเสนอ (Request for Proposal: RFP) ของหน่วยงานกรมทางหลวงในการให้เอกชนร่วมลงทุนในการดำเนินงานและบำรุงรักษา (O&M) โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองหมายเลข 6 สายบางปะอิน-นครราชสีมา (M6) ปี 2564 นอกจากนี้ในการประเมินประสิทธิภาพระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติผู้ศึกษาได้ทบทวนดัชนีอื่น ๆ เพิ่มเติมไม่ว่าจะเป็น Accuracy Rate (AR) – อัตราความแม่นยำรวม: อัตราส่วนของจำนวนการตรวจจับที่ถูกต้องต่อจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด รวมทั้งเหตุการณ์ที่ตรวจพบและไม่พบ และ Detection Reliability (Consistency Over Time) – ความเสถียรของการตรวจจับ: ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่องหรือไม่ เช่น ตลอด 24 ชั่วโมง หรือหลายวัน เป็นต้น ทั้งนี้ในการศึกษาได้เลือก 3 ดัชนี เนื่องจากเป็นเกณฑ์การพิจารณาอย่างน้อยที่สุดตามที่ RFP ของกรมทางหลวงได้กำหนดไว้

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ผู้ศึกษาได้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพที่เป็นโปรแกรมประยุกต์สำเร็จรูป โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

1) อัตราการตรวจจับ (DR)

จากประเมินอัตราการตรวจจับในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ รถหยุด รถวิ่งสวนทิศทาง คนเดิน และสิ่งของตกหล่น โดยแบ่งช่วงเวลากการทดสอบเป็นช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน พบว่า ระบบสามารถตรวจจับเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ โดยมีอัตราการตรวจจับเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ร้อยละ 97.22 เมื่อพิจารณาช่วงเวลากลางวันพบว่า DR ในช่วงเวลากลางวันอยู่ที่ร้อยละ 97.41 และ DR ในช่วงเวลากลางคืนอยู่ที่ร้อยละ 97.01 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในสภาพแสงกลางวันและกลางคืน ดังที่แสดงในตารางที่ 1

นอกจากนี้ หากพิจารณาในรายละเอียดของแต่ละสถานการณ์ จะเห็นได้ว่าการตรวจจับกรณีรถหยุดและคนเดินสามารถตรวจจับได้เกือบ

ทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับเหตุการณ์ที่มีลักษณะเด่นชัดหรือมีการเคลื่อนไหวชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในกรณีการตรวจจับสิ่งของตกหล่นในช่วงเวลากลางคืนพบว่า ความสามารถในการตรวจจับลดลงเหลือเพียงร้อยละ 92.00 ซึ่งต่ำกว่ากรณีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลากลางวันซึ่งสามารถตรวจจับได้ครบถ้วน ทำให้สามารถสันนิษฐานได้ว่า การตรวจจับสิ่งของขนาดเล็กหรือวัตถุที่มีลักษณะคล้ายพื้นถนนอาจได้รับผลกระทบจากสภาพแสงที่ไม่เพียงพอ

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาอัตราการตรวจจับ (DR)

การจำลองสถานการณ์	จำนวนช่วงกลางวัน		จำนวนช่วงกลางคืน		จำนวนช่วงทั้งวัน	
	จริง (ครั้ง)	ตรวจจับได้ (ครั้ง)	จริง (ครั้ง)	ตรวจจับได้ (ครั้ง)	จริง (ครั้ง)	ตรวจจับได้ (ครั้ง)
รถหยุด	48	48	48	48	96	96
รถวิ่งสวนทิศทาง	217	209	190	182	407	391
คนเดิน	61	59	48	48	109	107
สิ่งของตกหล่น	60	60	48	46	108	106
รวมทุกสถานการณ์	386	376	334	324	720	700
Detection rate (%)	97.41%		97.01%		97.22%	

หมายเหตุ: กำหนดให้อัตราการตรวจจับได้ (DR) ไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 95

2) เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (TTD)

จากประเมินเวลาที่ใช้ในการตรวจจับในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ รถหยุด รถวิ่งสวนทิศทาง คนเดิน และสิ่งของตกหล่น โดยแบ่งช่วงเวลากการทดสอบเป็นช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน พบว่า โดยค่าเฉลี่ยรวมทั้งวันอยู่ที่ 2.01 วินาที ส่วนช่วงเวลากลางวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.85 วินาที และช่วงเวลากลางคืนเท่ากับ 2.17 วินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโดยรวมระบบสามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ อาจมีผลกระทบบ้างจากสภาพแสงในช่วงกลางคืนที่ทำให้เวลาในการตรวจจับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังที่แสดงในตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาในรายสถานการณ์ พบว่า กรณีการเดินของคน (คนเดิน) เป็นสถานการณ์ที่สามารถตรวจจับได้เร็วที่สุด โดยมีค่า TTD อยู่ที่ 0.49 วินาทีในช่วงกลางวัน และ 0.71 วินาทีในช่วงกลางคืน คิดเป็นค่าเฉลี่ยทั้งวันที่ 0.59 วินาที ซึ่งแสดงถึงการตอบสนองที่รวดเร็วของระบบต่อเหตุการณ์ที่มีลักษณะการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ขณะที่สถานการณ์รถหยุดใช้เวลาในการตรวจจับนานที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 2.88 วินาที ทั้งนี้ ค่า TTD ในช่วงกลางวันอยู่ที่ 3.21 วินาที และลดลงเป็น 2.54 วินาทีในช่วงกลางคืน อาจเนื่องมาจากลักษณะของเหตุการณ์ที่มีการเคลื่อนไหวช้าหรือคงที่ ทำให้ระบบใช้เวลามากขึ้นในการยืนยันสถานการณ์ และในส่วนเหตุการณ์รถวิ่งสวนทิศทางและสิ่งของตกหล่น มีค่า TTD อยู่ในระดับปานกลาง โดยเฉลี่ยรวมทั้งวันที่ 2.16 และ 1.98 วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (TTD)

การจำลองสถานการณ์	ช่วงกลางวัน		ช่วงกลางคืน		ทั้งวัน	
	ค่าเฉลี่ยเวลาที่ตรวจจับ (วินาที)	จำนวนที่ตรวจจับ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยเวลาที่ตรวจจับ (วินาที)	จำนวนที่ตรวจจับ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยเวลาที่ตรวจจับ (วินาที)	จำนวนที่ตรวจจับ (ครั้ง)
รถหยุด	3.21	48	2.54	48	2.88	96
รถวิ่งสวนทิศทาง	1.94	209	2.37	209	2.16	418
คนเดิน	0.49	59	0.71	59	0.59	118

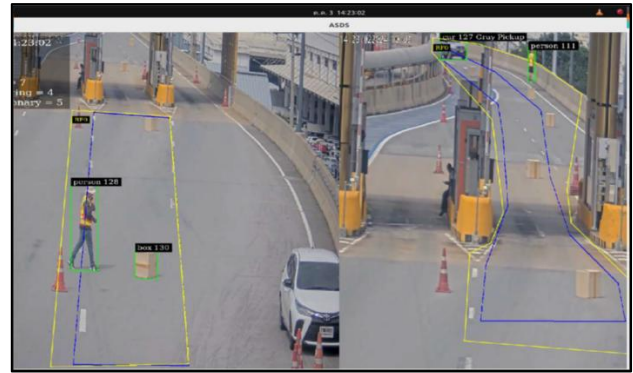
สิ่งของตก หล่น	1.77	60	2.59	60	2.12	120
Time to Detect	1.85	376	2.17	376	2.01	752

หมายเหตุ: กำหนดให้เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (TTD) ไม่ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 30 วินาที

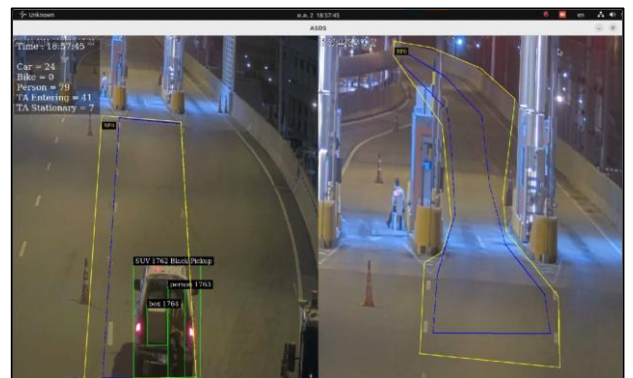
3) อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR)

จากประเมินอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาดในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้แก่ รถหยุด รถวิ่งสวนทิศทาง คนเดิน และสิ่งของตกหล่น โดยแบ่งช่วงเวลาการทดสอบเป็นช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน พบว่าค่า FAR โดยรวมทั้งวันอยู่ที่ร้อยละ 1.69 แต่ในช่วงเวลากลางวันมีค่า FAR เท่ากับร้อยละ 2.34 ซึ่งสูงกว่าช่วงเวลากลางคืนที่มีค่าเพียงร้อยละ 0.92 เท่านั้น ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบในการลดการแจ้งเตือนผิดพลาดได้ดีเป็นพิเศษในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งอาจเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความนิ่งมากขึ้นหรือลดสัญญาณรบกวนจากภาพพื้นหลัง ดังที่แสดงในตารางที่ 3

อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาในรายละเอียดของแต่ละสถานการณ์พบว่า เหตุการณ์รถหยุดไม่มีการแจ้งเตือนผิดพลาดเลยตลอดทั้งวัน (FAR เท่ากับร้อยละ 0) แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือสูงในการตรวจจับสถานการณ์นี้ ส่วนเหตุการณ์รถวิ่งสวนทิศทางมีการแจ้งเตือนผิดพลาดเพียง 5 ครั้งจากทั้งหมด 396 เหตุการณ์จริง คิดเป็น FAR ประมาณร้อยละ 1.26 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ขณะที่คนเดินและสิ่งของตกหล่นมีการแจ้งเตือนผิดพลาด 3 และ 4 ครั้งตามลำดับ



รูปที่ 3 ตัวอย่างการแสดงผลระบบตรวจจับอุบัติเหตุการอัตโนมัติของโปรแกรมประยุกต์สำเร็จรูป (ช่วงกลางวัน)



รูปที่ 4 ตัวอย่างการแสดงผลระบบตรวจจับอุบัติเหตุการอัตโนมัติของโปรแกรมประยุกต์สำเร็จรูป (ช่วงกลางคืน)

5. บทสรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับอุบัติเหตุการอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ ซึ่งดำเนินการทดสอบในพื้นที่จริงบนทางยกระดับดอนเมือง โดยจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้จริง ได้แก่ รถหยุด รถวิ่งสวนทิศทาง คนเดิน และสิ่งของตกหล่น พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับอุบัติเหตุการอัตโนมัติด้วยการพิจารณาจากปัจจัยหรือดัชนีทั้ง 3 ค่า ได้แก่ อัตราการตรวจจับ (Detection Rate: DR) เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (Time to Detect: TTD) และอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (False Alarm Rate: FAR) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ระบบมีความสามารถในการตรวจจับเหตุการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า DR เฉลี่ยรวมทั้งวันอยู่ที่ร้อยละ 97.22 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 95 ส่วนกรณีรถหยุดและคนเดินสามารถตรวจจับได้ครบถ้วนในทุกช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม ในสถานการณ์สิ่งของตกหล่นช่วงกลางคืน พบว่า DR ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 92.00 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในบรรดาทุกสถานการณ์ อันอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดของแสงสว่างและความคล้ายคลึงของวัตถุกับพื้นถนน

ด้านเวลาในการตรวจจับ (TTD) ระบบสามารถตรวจจับได้ภายในเวลาเฉลี่ยรวมทั้งวันที่ 2.01 วินาที ซึ่งอยู่ในระดับที่เร็วและมีประสิทธิภาพ โดยกรณีคนเดินตรวจจับได้เร็วที่สุดที่เฉลี่ยเพียง 0.59 วินาที ส่วนรถหยุดใช้เวลานานที่สุดที่เฉลี่ย 2.88 วินาที ซึ่งอาจเนื่องจากลักษณะของเหตุการณ์ที่ไม่ชัดเจนหรือเคลื่อนไหวน้อย ขณะที่ค่า TTD ในช่วงกลางคืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกสถานการณ์ โดยเฉพาะกรณีรถวิ่งสวนทิศทางที่เพิ่มขึ้นจาก 1.94 วินาทีในกลางวันเป็น 2.37 วินาทีในกลางคืน และโดยภาพรวมค่า TTD มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 วินาทีตามที่กำหนดไว้

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (FAR)

การจำลอง สถานการณ์	จำนวนช่วงกลางวัน		จำนวนช่วงกลางคืน		จำนวนช่วงทั้งวัน	
	จริง (ครั้ง)	ตรวจจับผิด (ครั้ง)	จริง (ครั้ง)	ตรวจจับผิด (ครั้ง)	จริง (ครั้ง)	ตรวจจับผิด (ครั้ง)
รถหยุด	48	0	48	0	96	0
รถวิ่งสวน ทิศทาง	214	5	182	0	396	5
คนเดิน	62	3	48	0	110	3
สิ่งของตกหล่น	61	1	49	3	110	4
รวมทุก สถานการณ์	385	9	327	3	712	12
False alarm rate (%)	2.34%		0.92%		1.69%	

หมายเหตุ: กำหนดให้อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR) ไม่ควรมากกว่าร้อยละ 5

ด้านของอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR) พบว่าอยู่ในระดับต่ำมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมทั้งวันเท่ากับร้อยละ 1.69 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่ควรเกินร้อยละ 5 ทั้งนี้ ค่า FAR ช่วงเวลากลางคืน (ร้อยละ 0.92) ต่ำกว่าช่วงเวลากลางวัน (ร้อยละ 2.34) อย่างชัดเจน ส่วนในเหตุการณ์รถหยุดไม่มีการแจ้งเตือนผิดพลาดเลย ขณะที่เหตุการณ์ที่มี FAR สูงสุดคือ รถวิ่งสวนทิศทางที่มีการแจ้งเตือนผิดพลาดเพียง 5 ครั้งจากเหตุการณ์ทั้งหมด 396 กรณี

โดยภาพรวมของการทดสอบแนวคิดระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพในการศึกษานี้ ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบในการทำงานที่น่าเชื่อถือ ซึ่งจากผลการประเมินประสิทธิภาพระบบตรวจจับอุบัติเหตุอัตโนมัติ ได้แก่ อัตราการตรวจจับ (DR) เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (TTD) และอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (FAR) พบว่า ประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้อย่างเป็นที่น่าพึงพอใจทั้งในด้านความแม่นยำ ความรวดเร็ว และความน่าไว้วางใจในการจำแนกเหตุการณ์จริงจากการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ ยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการบริหารจัดการจราจรบนทางยกระดับ รวมถึงการนำไปประกอบการคัดเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อนำระบบไปใช้ในการวางแผนเกี่ยวกับการจัดการอุบัติเหตุบนโครงข่ายทางยกระดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายบริหารโครงการ บริษัท ทางยกระดับดอนเมือง จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนงานศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพงานด้านการบริหารจัดการจราจรบนทางยกระดับอย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hussein Dia, "Freeway Incident Detection Using Artificial Neural Networks," The 15th Conference of Australian Institutes of Transport Research, Transport Research Centre Melbourne University Australia, December 1993.
- [2] Rizki Juliansyah, Muhammad Aqil Musthafa Ar Rachman, Muhammad Al Amin, Aisya Tyanafisyah, Nurrikyta Aulia Hanifah, Endang Purnama Giri, Gema Parasti Mindara, "Development of a Real-Time Traffic Density Detection Website Using YOLOv8-Based Digital Image Processing with OpenCV," Journal of Information Systems and Informatics, Vol. 6, No. 4, December 2024.
- [3] Stanley Chien, Yaobin Chen, Qiang Yi, Zhengming Ding, "Development of Automated Incident Detection System Using Existing ATMS CCTV," Joint Transportation Research Program Technical Report FHWA/IN/JTRP-2019/23, Indiana Department of Transportation and Purdue University.
- [4] Thomas Wells, Eric Toffin, "Video-Based Automatic Incident Detection on San Mateo Bridge in the San Francisco Bay Area," 12th World Congress on ITS, 6-10 November 2005 (2548), San Francisco.
- [5] จูติพงศ์ สุขเสริม, นันทวรรณ พิทักษ์พานิช, เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร, "การติดตั้งระบบบริหารจัดการช่องจราจรบนทางพิเศษแบบอัตโนมัติทางพิเศษคลองรัช," ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, การประชุมรูปแบบออนไลน์, วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564.
- [6] พลิชฐ์ วงษ์หาญศย์, รุจชัย อึ้งอารุณยะวี, ดร.ธเนศ เสถียรนาม, ดร. วาธิส สิลลาภัทร, ปิยณัฐ จันทสุทธิ์, เจษฎา คามอง, "การพัฒนาโปรแกรมตรวจจับการฝ่าฝืนสัญญาณไฟแดงและการสวมหมวกนิรภัยโดยใช้กล้องวงจรปิด," วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) ปีที่ 19 ฉบับที่ 2: เมษายน-มิถุนายน