



กทปส

รายงานฉบับสมบูรณ์

ฉบับแก้ไขวันที่ 3 ตุลาคม 2565

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนา
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

โครงการ “ระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning
ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT”

สัญญาเลขที่ B2-040_1-1-62

ผศ.ดร. สโรช บุญศิริพันธ์

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม
เพื่อประโยชน์สาธารณะ (สำนักงาน กสทช.)

สารบัญ

| | | |
|---------|--|------|
| บทที่ 1 | บทนำ..... | 1-1 |
| 1.1 | ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1-1 |
| 1.2 | วัตถุประสงค์..... | 1-1 |
| 1.3 | ขอบเขตการศึกษา..... | 1-2 |
| 1.3.1 | ขอบเขตการศึกษาของความผิดปกติบนท้องถนน | 1-2 |
| 1.3.2 | ขอบเขตการศึกษาด้านพื้นที่..... | 1-2 |
| 1.4 | ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 1-2 |
| 1.5 | กรอบแนวความคิดการวิจัย | 1-3 |
| 1.6 | แผนการทำงาน | 1-5 |
| บทที่ 2 | การแยกประเภทและสาเหตุการเกิดความผิดปกติของพื้นผิวจราจรและกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร..... | 2-1 |
| 2.1 | ประเภทความเสียหายบนผิวทางจราจร..... | 2-1 |
| 2.1.1 | รอยแตก (Crack)..... | 2-3 |
| 2.1.2 | หลุม (Hole)..... | 2-20 |
| 2.1.3 | ผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve)..... | 2-25 |
| 2.1.4 | ไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect)..... | 2-27 |
| 2.2 | กลุ่มสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายบนผิวทางจราจร | 2-29 |
| 2.2.1 | การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน | 2-29 |
| 2.2.2 | วัสดุสร้างไม่ได้มาตรฐาน..... | 2-31 |
| 2.2.3 | สิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผิวจราจร..... | 2-31 |
| 2.2.4 | การซ่อมบำรุงไม่เรียบร้อย | 2-32 |
| 2.2.5 | มีน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ หรือมากเกินไป..... | 2-32 |
| 2.2.6 | ประเภทถูกลบจากความเสียหายชนิดอื่น ๆ..... | 2-33 |

| | | |
|---------|--|------|
| บทที่ 3 | การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเทคโนโลยีที่จำเป็น..... | 3-1 |
| 3.1 | การตรวจจับวัตถุ หรือเงื่อนไขบนถนน..... | 3-1 |
| 3.2 | การประมวลผลภาพ (Image Processing)..... | 3-21 |
| 3.2.1 | การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)..... | 3-21 |
| 3.2.2 | Brightness Uniformization | 3-22 |
| 3.2.3 | การกรองภาพ (Filtering)..... | 3-23 |
| 3.2.4 | การตัด/แบ่งภาพ (Image Segmentation)..... | 3-26 |
| 3.3 | การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning)..... | 3-31 |
| 3.3.1 | Support Vector Machine (SVM)..... | 3-31 |
| 3.3.2 | Decision Tree..... | 3-32 |
| 3.3.3 | Random Forest..... | 3-32 |
| 3.3.4 | Haar Feature-Based Cascade Classifier..... | 3-33 |
| 3.4 | การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)..... | 3-34 |
| 3.4.1 | ResNet..... | 3-34 |
| 3.4.2 | LeNet5 | 3-36 |
| 3.4.3 | Faster RCNN | 3-37 |
| 3.4.4 | Singleshot Multibox Detector (SSD)..... | 3-38 |
| 3.5 | อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... | 3-39 |
| บทที่ 4 | ภาพรวมการออกแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT | 4-1 |
| 4.1 | การออกแบบการทำงานของ Production System..... | 4-1 |
| 4.1.1 | การกำเนิดข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่อยู่บนยานพาหนะ..... | 4-2 |
| 4.1.2 | การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรคมนาคม | 4-4 |

| | | |
|---------|---|------|
| 4.1.3 | การนำประกอบข้อมูลสมทบ (Enrich)..... | 4-5 |
| 4.1.4 | การนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน | 4-9 |
| 4.2 | Classifier Training | 4-11 |
| 4.2.1 | Data Collection | 4-13 |
| 4.2.2 | Data Preparation..... | 4-14 |
| 4.2.3 | Model Training | 4-16 |
| 4.2.4 | Model Performance Optimization | 4-16 |
| 4.2.5 | Deployment..... | 4-18 |
| บทที่ 5 | การทำข้อตกลงความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ | 5-1 |
| 5.1 | ศูนย์ก่อสร้าง และบูรณะถนน กรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร | 5-1 |
| 5.2 | สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท..... | 5-1 |
| 5.3 | เทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี..... | 5-3 |
| 5.4 | สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท (ครั้งที่ 2)..... | 5-5 |
| 5.5 | สำนักงานบริหารเทศบาลเมืองป่าตอง จังหวัดภูเก็ต..... | 5-5 |
| 5.6 | ฝ่ายกองช่าง เทศบาลนครภูเก็ต..... | 5-7 |
| 5.7 | สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง..... | 5-9 |
| 5.8 | การออกแบบ พัฒนา และทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล รายละเอียดการออกแบบพัฒนา และทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง..... | 5-11 |
| 5.9 | โครงสร้างข้อมูล..... | 5-14 |
| 5.10 | บทสรุป..... | 5-15 |
| บทที่ 6 | การออกแบบ พัฒนา และทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง | 6-1 |
| 6.1 | ที่มาและความจำเป็นในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง | 6-1 |
| 6.2 | แนวคิดการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง..... | 6-1 |

| | | |
|---------|---|------|
| 6.3 | รายละเอียดการออกแบบและพัฒนา..... | 6-2 |
| 6.3.1 | สถาปัตยกรรมของระบบ | 6-3 |
| 6.3.2 | โครงสร้างข้อมูล | 6-4 |
| | ประเภทไฟล์ (File Type)..... | 6-6 |
| 6.3.3 | การเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล | 6-7 |
| 6.4 | ผลการพัฒนา | 6-7 |
| 6.4.1 | การติดตั้งและใช้งาน | 6-7 |
| 6.5 | ผลการทดสอบ..... | 6-9 |
| 6.5.1 | อุปกรณ์สำหรับทดสอบการใช้งาน..... | 6-9 |
| 6.5.2 | ผลการทดสอบและผลการเก็บข้อมูลตัวอย่าง | 6-14 |
| 6.6 | อภิปรายและสรุปผล..... | 6-17 |
| บทที่ 7 | การออกแบบ พัฒนา และทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล..... | 7-1 |
| 7.1 | การออกแบบระบบสำหรับรวบรวมข้อมูล..... | 7-1 |
| 7.1.1 | ความต้องการด้านการจัดเก็บข้อมูล..... | 7-4 |
| 7.1.2 | ความต้องการด้านการประมวลผลข้อมูล | 7-5 |
| 7.1.3 | คุณภาพของข้อมูลสำหรับการนำมาใช้ดำเนินงาน..... | 7-7 |
| 7.1.4 | สมรรถนะในการประมวลผลและการรองรับการเติบโตของระบบ..... | 7-8 |
| 7.1.5 | การกำหนดแผนงบประมาณเพื่อรองรับการดำเนินงานระบบ | 7-10 |
| 7.2 | สถาปัตยกรรมระบบของแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผล..... | 7-13 |
| 7.2.1 | การประมวลผลสารสนเทศบนคลาวด์..... | 7-15 |
| 7.2.2 | การจัดเก็บไฟล์บนคลาวด์..... | 7-17 |
| 7.2.3 | การประมวลผลบนคลาวด์..... | 7-18 |
| 7.2.4 | ระบบงานภูมิสารสนเทศ | 7-19 |

| | | |
|---------|---|------|
| 7.3 | ส่วนประกอบของระบบบริหารและจัดเก็บข้อมูล | 7-21 |
| 7.3.1 | Object Storage | 7-21 |
| 7.3.2 | พื้นที่จัดเก็บข้อมูลสำหรับพัฒนาตัวจำแนก | 7-21 |
| 7.4 | ส่วนเชื่อมต่อระบบงานเพื่อเชื่อมโยงข้อมูล..... | 7-22 |
| 7.4.1 | จุดเชื่อมต่อระบบงานเพื่อเชื่อมโยงข้อมูล..... | 7-22 |
| 7.4.2 | จุดรับข้อมูลเข้าระบบเพื่อพัฒนาตัวจำแนก..... | 7-23 |
| 7.4.3 | จุดรับข้อมูลเข้าระบบเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่เป้าหมาย | 7-25 |
| 7.4.4 | จุดบริการข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่เป้าหมาย..... | 7-29 |
| 7.4.5 | ระบบคลังข้อมูล | 7-33 |
| 7.4.6 | ระบบฐานข้อมูลสนับสนุน | 7-34 |
| 7.4.7 | ระบบจัดการข้อมูลในระบบ | 7-36 |
| 7.5 | รายละเอียดและลักษณะจำเพาะของแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล | 7-37 |
| 7.5.1 | โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล (Schema) | 7-37 |
| 7.5.2 | สรุปขั้นตอนการประมวลผล | 7-47 |
| 7.5.3 | รายละเอียดของแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล | 7-53 |
| 7.5.4 | ทรัพยากรที่พร้อมใช้งานบน Google Cloud | 7-55 |
| 7.6 | การทดสอบการทำงานแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล..... | 7-57 |
| 7.7 | สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย..... | 7-57 |
| 7.8 | แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต | 7-59 |
| | เอกสารอ้างอิง..... | 7-60 |
| บทที่ 8 | การเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างสำหรับสร้างตัวจำแนกในพื้นที่เป้าหมายของโครงการ | 8-1 |
| 8.1 | พื้นที่เก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในกรุงเทพฯ | 8-1 |
| 8.1.1 | เขตปทุมวัน | 8-1 |

| | | |
|----------|---|-------|
| 8.1.2 | เขตคลองสาน..... | 8-2 |
| 8.1.3 | เขตจอมทอง..... | 8-3 |
| 8.1.4 | เขตภาษีเจริญ..... | 8-3 |
| 8.2 | พื้นที่เก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในจังหวัดภูเก็ต..... | 8-5 |
| 8.2.1 | ตำบลกะทู้ อำเภอกะทู้..... | 8-5 |
| 8.2.2 | ตำบลป่าตอง อำเภอกะทู้..... | 8-6 |
| 8.3 | สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย..... | 8-7 |
| 8.4 | แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต..... | 8-8 |
| บทที่ 9 | การเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพ..... | 9-1 |
| 9.1 | ที่มาและความจำเป็นของการเตรียมข้อมูลก่อนนำไปประมวลผล..... | 9-1 |
| 9.2 | การรวบรวมข้อมูลจากโทรศัพท์..... | 9-1 |
| 9.3 | การแยก Frame ภาพจากข้อมูลวิดีโอ..... | 9-3 |
| 9.4 | การตัดภาพส่วนที่ไม่ต้องการออก..... | 9-4 |
| บทที่ 10 | การกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ..... | 10-1 |
| 10.1 | ที่มาและความสำคัญของการกำหนดความผิดปกติบนท้องถนน..... | 10-1 |
| 10.2 | ความผิดปกติที่สนใจ..... | 10-1 |
| 10.3 | ลักษณะและแนวทางการกำหนดความผิดปกติที่สนใจ..... | 10-5 |
| 10.3.1 | พื้นที่สนใจในการกำหนดความผิดปกติ..... | 10-5 |
| 10.3.2 | ตัวอย่างการกำหนดความผิดปกติที่ถูกและไม่ถูกต้อง..... | 10-6 |
| 10.4 | การกำหนดความผิดปกติที่สนใจโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ..... | 10-18 |
| 10.4.1 | การกำหนดความผิดปกติที่สนใจ LabelMe..... | 10-18 |
| 10.4.2 | การกำหนดความผิดปกติที่สนใจโดยใช้ LabelImg..... | 10-20 |
| 10.4.3 | การกำหนดความผิดปกติที่สนใจโดยใช้ Laberu..... | 10-21 |

| | | |
|----------|--|-------|
| 10.5 | อภิปรายและสรุปผล..... | 10-22 |
| บทที่ 11 | การวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินผลตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ | 11-1 |
| 11.1 | ความจำเป็นในการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินผลตัวจำแนกด้วย Machine Learning..... | 11-1 |
| 11.2 | Framework ของการสร้างตัวจำแนกด้วย Machine Learning..... | 11-1 |
| 11.3 | Convolutional Neural Network | 11-3 |
| 11.3.1 | YOLO V3..... | 11-4 |
| 11.3.2 | YOLO V4..... | 11-5 |
| 11.3.3 | YOLO V5..... | 11-6 |
| 11.4 | ตัววัดและการประเมินผล | 11-7 |
| 11.5 | ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา..... | 11-9 |
| 11.6 | การวัดและการประเมินผลจากการสร้างตัวจำแนกด้วย Machine Learning | 11-14 |
| 11.6.1 | การทดลองการสร้างโมเดลโดยใช้พารามิเตอร์ต่างกัน | 11-14 |
| 11.6.2 | การทดลองสร้างโมเดลด้วยขนาดของภาพที่ต่างกัน | 11-18 |
| 11.6.3 | อภิปรายและสรุปผล | 11-19 |
| 11.7 | การทดสอบโมเดลกับข้อมูล Unseen..... | 11-19 |
| 11.8 | สรุป..... | 11-22 |
| | เอกสารอ้างอิง..... | 11-23 |
| บทที่ 12 | การพัฒนาแบบจำลองในการประเมินดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index) 12-1 | |
| 12.1 | ที่มาและความจำเป็น..... | 12-1 |
| 12.2 | การออกแบบการทดลอง | 12-1 |
| 12.3 | ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย | 12-2 |
| 12.4 | การเตรียมความพร้อมของข้อมูล | 12-3 |

| | | |
|--|--|-------|
| 12.5 | การทดลองและการประเมินผลการทดลอง..... | 12-3 |
| 12.5.1 | การ Mapping ข้อมูลระหว่าง IRI และ Acceleration..... | 12-3 |
| 12.5.2 | การทำ High Pass Filter..... | 12-7 |
| 12.5.3 | Fast Fourier Transform | 12-8 |
| 12.5.4 | การการคัดเลือกคุณสมบัติและไม่คัดเลือกคุณสมบัติ | 12-8 |
| 12.6 | สรุปผลการทดลอง | 12-13 |
| บทที่ 13 การออกแบบ พัฒนา และประเมินผลการทำงานอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล และผลทดสอบของ | | |
| การประเมินการทำงาน | | 13-1 |
| 13.1 | การติดตั้งใช้งาน | 13-2 |
| 13.2 | สถาปัตยกรรมของระบบ | 13-10 |
| 13.3 | โครงสร้างข้อมูล..... | 13-11 |
| 13.4 | ผลการประเมินและการปรับปรุง | 13-13 |
| 13.4.1 | ลดขนาดไฟล์วิดีโอแต่ให้คงขนาดของความละเอียด | 13-14 |
| 13.4.2 | เพิ่มการกำหนดชื่อเส้นทางเก็บข้อมูล | 13-15 |
| 13.4.3 | การตัดแบ่งไฟล์วิดีโอตามระยะเวลาที่กำหนด..... | 13-15 |
| 13.4.4 | เพิ่มการตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL | 13-15 |
| บทที่ 14 การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรในพื้นที่เป้าหมายของ | | |
| โครงการ 14-1 | | |
| 14.1 | ที่มาและความจำเป็นในการพัฒนาเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร | 14-1 |
| 14.1.1 | บริบทของการใช้งาน..... | 14-1 |
| 14.1.2 | ปัญหาที่พบจากการลงพื้นที่ และนำไปสู่การพัฒนาระบบ..... | 14-2 |
| 14.1.3 | ความรู้ ความสามารถ และพฤติกรรมเดิมของผู้ใช้..... | 14-4 |
| 14.2 | กรณีใช้งานของเว็บไซต์..... | 14-5 |
| 14.2.1 | การควบคุมการเข้าถึงและการระบุตัวผู้ใช้ (Access control)..... | 14-5 |

| | | |
|---------|--|-------|
| 14.2.2 | บัญชีผู้ใช้สำหรับเข้าสู่ระบบสำหรับหน่วยงานท้องถิ่น | 14-5 |
| 14.2.3 | การเปลี่ยนรหัสผ่าน | 14-5 |
| 14.2.4 | การสอดส่องดูแลสภาพถนนโดยรวมของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน | 14-6 |
| 14.2.5 | การตรวจดูและจัดการข้อมูลความผิดปกติ บนถนน..... | 14-6 |
| 14.2.6 | การสร้างและบริหารงานบำรุงทางโดยบูรณาการจากรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบ ... | 14-7 |
| 14.2.7 | การสืบดูข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติหนึ่ง ๆ | 14-8 |
| 14.2.8 | การจัดการข้อมูลสายทางในความดูแลของหน่วยงาน | 14-9 |
| 14.3 | หลักการที่ใช้ในการออกแบบ | 14-10 |
| 14.4 | องค์ประกอบต่าง ๆ และการทำงานของเว็บไซต์..... | 14-11 |
| 14.4.1 | หน้าลงชื่อเข้าใช้ระบบ (Log-in screen)..... | 14-12 |
| 14.4.2 | หน้าหลัก (Home screen)..... | 14-13 |
| 14.4.3 | ถนนในความดูแลของหน่วยงาน | 14-14 |
| 14.4.4 | บทวิเคราะห์สภาพถนนของหน่วยงาน..... | 14-15 |
| 14.4.5 | เมนูสำหรับไปที่หน้าต่าง ๆ (Menu)..... | 14-16 |
| 14.4.6 | หน้าความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น (Irregularities on a road screen)..... | 14-17 |
| 14.4.7 | หน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง (Jobs screen)..... | 14-23 |
| 14.4.8 | หน้ารายการประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุง (Job activities history screen)..... | 14-26 |
| 14.4.9 | หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน (Manage roads screen)..... | 14-28 |
| 14.4.10 | หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ (User profile screen)..... | 14-33 |
| 14.4.11 | หน้าข้อมูลโครงการ (About project screen)..... | 14-35 |
| 14.4 | บทสรุป..... | 14-36 |
| 14.5 | สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย..... | 14-37 |
| | เอกสารอ้างอิง..... | 14-39 |

| | | |
|-------------------------------|--|-------|
| บทที่ 15 | ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ใน | |
| ยานพาหนะ..... | | 15-1 |
| 15.1 | ที่มาและความจำเป็นในการพัฒนา..... | 15-1 |
| 15.2 | แนวคิดการออกแบบ | 15-1 |
| 15.2.1 | การเลือกใช้ฮาร์ดแวร์ | 15-1 |
| 15.2.2 | การรวบรวมและวิเคราะห์ความต้องการของระบบ..... | 15-6 |
| 15.3 | รายละเอียดการออกแบบและพัฒนา..... | 15-6 |
| 15.3.1 | สถาปัตยกรรมของระบบ | 15-6 |
| 15.3.2 | การประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับการผิดปกติของผิวจราจร..... | 15-8 |
| 15.3.3 | การใช้งานโมเดลปัญญาประดิษฐ์..... | 15-10 |
| 15.3.4 | การประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน (IRI Classifier Model)..... | 15-17 |
| 15.3.5 | การเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล | 15-18 |
| 15.4 | ผลการพัฒนา | 15-21 |
| 15.4.1 | การติดตั้งและใช้งาน | 15-21 |
| 15.4.2 | การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน..... | 15-24 |
| 15.5 | อภิปรายและสรุปผล..... | 15-25 |
| บทที่ 16 | ต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ใน | |
| ยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT..... | | 16-1 |
| 16.1 | วัตถุประสงค์..... | 16-1 |
| 16.2 | ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ..... | 16-1 |
| 16.3 | ภาพรวมการทำงานของระบบ | 16-2 |
| 16.3.1 | อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล (Edge Device)..... | 16-2 |
| 16.3.2 | ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการประมาณค่า IRI (Roughness Model)..... | 16-5 |
| 16.3.3 | แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform)..... | 16-5 |

| | | |
|----------|---|-------|
| 16.3.4 | เว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร (Visualization Web site)..... | 16-7 |
| 16.4 | อภิปรายและสรุปผล..... | 16-9 |
| 16.5 | สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย..... | 16-10 |
| 16.6 | แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต..... | 16-10 |
| บทที่ 17 | การวิเคราะห์สภาพผิวจราจรในพื้นที่เป้าหมายด้วยอุปกรณ์ต้นแบบ..... | 17-1 |
| 17.1 | ที่มา..... | 17-1 |
| 17.2 | วิธีการวัดผล..... | 17-1 |
| 17.3 | การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการตรวจจับความผิดปกติในพื้นที่เป้าหมาย..... | 17-5 |
| 17.3.1 | พื้นที่ในเขตเมือง..... | 17-5 |
| 17.3.2 | พื้นที่ในเขตชนบท..... | 17-7 |
| 17.3.3 | พื้นที่ระหว่างเมือง..... | 17-9 |
| 17.3.4 | ทุกพื้นที่รวมกัน..... | 17-11 |
| 17.4 | อภิปรายและสรุปผล..... | 17-12 |
| 17.5 | แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต..... | 17-17 |
| บทที่ 18 | สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ..... | 18-1 |
| 18.1 | ภาพรวมของโครงการ..... | 18-1 |
| 18.2 | การนำไปใช้ประโยชน์..... | 18-3 |
| 18.3 | สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการดำเนินงานวิจัย..... | 18-3 |
| 18.3.1 | การออกแบบ พัฒนา และทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล..... | 18-4 |
| 18.3.2 | การเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพ..... | 18-4 |
| 18.3.3 | การกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ..... | 18-4 |
| 18.3.4 | การวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินผลตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการ จำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ..... | 18-5 |

| | | |
|--------|---|------|
| 18.4 | สรุปผลผลิตที่ได้จากโครงการ | 18-5 |
| 18.4.1 | การดึงค่าข้อมูลจากเซนเซอร์ภายในสมาร์ทโฟนมาเพื่อใช้ตรวจจับสภาพผิดปกติของผิวหนัง... | 18-5 |
| 18.4.2 | การประมวลผลภาพความเสียหายของพื้นผิวหนังแบบอัตโนมัติ ด้วยวิธี CNN..... | 18-5 |
| 18.4.3 | Cloud platform แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล..... | 18-6 |
| 18.4.4 | Visualization tool..... | 18-6 |

สารบัญตาราง

| | | |
|---------------|---|------|
| ตารางที่ 1-1 | แผนการทำงาน | 1-5 |
| ตารางที่ 1-2 | แผนการทำงาน | 1-10 |
| ตารางที่ 2-1 | สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทรอยแตก | 2-3 |
| ตารางที่ 2-2 | สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทหลุม | 2-20 |
| ตารางที่ 2-3 | สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve) | 2-25 |
| ตารางที่ 2-4 | สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect)..... | 2-27 |
| ตารางที่ 2-5 | สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน | 2-30 |
| ตารางที่ 2-6 | สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทวัสดุก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน..... | 2-31 |
| ตารางที่ 2-7 | สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทสิ่งแฉดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัย | 2-31 |
| ตารางที่ 2-8 | สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทการซ่อมบำรุงไม่เรียบร้อย..... | 2-32 |
| ตารางที่ 2-9 | สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทมีน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ หรือกระทำมากเกินไป | 2-33 |
| ตารางที่ 2-10 | สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทลูกกลิ้งมาจากความเสียหายชนิดอื่น ๆ | 2-33 |
| ตารางที่ 3-1 | การเปรียบเทียบงานวิจัยที่ศึกษา | 3-8 |
| ตารางที่ 3-2 | การเปรียบเทียบวิธีการเชิงพื้นที่และเชิงความถี่ [27] | 3-21 |
| ตารางที่ 3-3 | ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง | 3-42 |
| ตารางที่ 3-4 | ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นผิวด้วยสมาร์ตโฟน..... | 3-43 |
| ตารางที่ 3-5 | การเปรียบเทียบกระบวนการที่ใช้..... | 3-45 |
| ตารางที่ 3-6 | การทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้น | 3-46 |
| ตารางที่ 4-1 | ข้อมูลจากเซนเซอร์ในการออกแบบเบื้องต้น..... | 4-5 |
| ตารางที่ 5-1 | ข้อมูลภาพรวมของการเก็บข้อมูล (Metadata) | 5-15 |
| ตารางที่ 5-2 | ข้อมูลการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Geolocation Tracking)..... | 5-15 |
| ตารางที่ 6-1 | ข้อมูลภาพรวมของการเก็บข้อมูล (Metadata) | 6-5 |
| ตารางที่ 6-2 | ข้อมูลการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Geolocation Tracking)..... | 6-6 |
| ตารางที่ 6-3 | ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน (Accelerometer Data) | 6-6 |
| ตารางที่ 6-4 | ข้อมูลบันทึกวิดีโอสภาพถนนจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟน..... | 6-6 |
| ตารางที่ 6-5 | รายการปรับการปรับการตั้งค่า..... | 6-15 |

| | | |
|---------------|---|-------|
| ตารางที่ 7-1 | รายการทรัพยากรคลาวด์สำหรับระบบงาน | 7-11 |
| ตารางที่ 7-2 | พื้นที่เก็บข้อมูลแบบ Object Storage | 7-21 |
| ตารางที่ 7-3 | ชุดคำสั่งการประมวลผลแบบ Serverless..... | 7-22 |
| ตารางที่ 7-4 | ระบบฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องภายใต้แพลตฟอร์ม..... | 7-35 |
| ตารางที่ 7-5 | pavement_surveydrive (การเก็บข้อมูลตัวอย่างสภาพพื้นผิวถนน) | 7-38 |
| ตารางที่ 7-6 | pavement_bangkok (จัดเก็บข้อมูลผิวถนนของกรุงเทพมหานคร) | 7-39 |
| ตารางที่ 7-7 | pavement_phuketcity (จัดเก็บข้อมูลผิวถนนของเทศบาลนครภูเก็ต) | 7-40 |
| ตารางที่ 7-8 | road_inventory (จัดเก็บทะเบียนถนนของแต่ละองค์กรโดยแยกรหัสหน่วยงานและรหัสพื้นที่) . | 7-41 |
| ตารางที่ 7-9 | organization_profile | 7-43 |
| ตารางที่ 7-10 | road_segment (เส้นถนนสำหรับใช้เป็นแผนที่พื้นฐาน จากข้อมูล OSM) | 7-44 |
| ตารางที่ 7-11 | road_profile (ข้อมูลถนนสำหรับสืบค้นและแสดงในหน้ารายละเอียดถนน)..... | 7-45 |
| ตารางที่ 7-12 | road_condition (ข้อมูลสภาพผิวถนนจากการตีความของโมเดลการเรียนรู้) | 7-45 |
| ตารางที่ 7-13 | road_condition_report (ข้อมูลรายงานความผิดปกติของผิวถนนจากระบบ) | 7-46 |
| ตารางที่ 7-14 | รายการทรัพยากร Google Cloud Platform..... | 7-55 |
| ตารางที่ 8-1 | ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เขตปทุมวัน..... | 8-1 |
| ตารางที่ 8-2 | ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เขตคลองสาน | 8-2 |
| ตารางที่ 8-3 | ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เขตจอมทอง | 8-3 |
| ตารางที่ 8-4 | ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เขตภาษีเจริญ | 8-3 |
| ตารางที่ 8-5 | ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดภูเก็ต ตำบลกะทู้ | 8-5 |
| ตารางที่ 8-6 | ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดภูเก็ต ตำบลป่าตอง | 8-6 |
| ตารางที่ 10-1 | ผลการศึกษาค่าความเสียหายบนทางหลวงในแขวงซาลพูรีที่ 1 จำนวน 18 สายทาง..... | 10-4 |
| ตารางที่ 11-1 | ข้อมูลที่ใช้ศึกษาวิจัย..... | 11-10 |
| ตารางที่ 11-2 | จำนวนความผิดปกติที่สนใจในแต่ละประเภท..... | 11-14 |
| ตารางที่ 11-3 | แสดงค่า mAP ที่ได้จากการสร้างตัวจำแนกด้วยวิธีการต่าง ๆ..... | 11-15 |
| ตารางที่ 11-4 | แสดงค่า mAP ที่ได้จากการทดลองด้วยภาพขนาดต่าง ๆ..... | 11-18 |
| ตารางที่ 11-5 | แสดงค่า mAP ที่ได้จากการทดสอบโมเดล..... | 11-19 |
| ตารางที่ 11-6 | แสดงจำนวนความผิดปกติที่ใช้ในการทดสอบโมเดล..... | 11-20 |
| ตารางที่ 11-7 | ผลดำเนินการทดลองข้อมูลวิดีโอจำนวน 8 Session..... | 11-21 |

| | |
|--|-------|
| ตารางที่ 12-1 ตัวอย่างข้อมูลการ Mapping ข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration ของ 1 ค่า IRI | 12-3 |
| ตารางที่ 12-2 ตัวอย่างของพิกัด IRI และ พิกัด Acceleration ที่ใกล้เคียงกัน..... | 12-4 |
| ตารางที่ 12-3 ตัวอย่างข้อมูล Acceleration ของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด | 12-5 |
| ตารางที่ 12-4 ตัวอย่างข้อมูลค่า acceleration ของ แกน X Y Z..... | 12-5 |
| ตารางที่ 12-5 ผลลัพธ์เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของ 5 โมเดล | 12-9 |
| ตารางที่ 12-6 ผลลัพธ์การคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค CFS และเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของ 5 โมเดล..... | 12-10 |
| ตารางที่ 12-7 ผลลัพธ์การคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain และเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของ 5 โมเดล | 12-11 |
| ตารางที่ 12-8 ผลการทดสอบของโมเดล | 12-12 |
| ตารางที่ 13-1 ข้อมูลภาพรวมของการเก็บข้อมูล (Metadata)..... | 13-11 |
| ตารางที่ 13-2 ข้อมูลการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Geolocation Tracking)..... | 13-11 |
| ตารางที่ 13-3 ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน (Accelerometer Data)..... | 13-12 |
| ตารางที่ 13-4 ข้อมูลบันทึกวิดีโอสภาพถนนจากอุปกรณ์สมาร์ทโฟน..... | 13-12 |
| ตารางที่ 13-5 การปรับการตั้งค่าขนาดไฟล์วิดีโอแต่ให้คงขนาดของความละเอียด..... | 13-14 |
| ตารางที่ 14-1 คำอธิบายหัวข้อตารางถนนในความดูแลของหน่วยงาน | 14-15 |
| ตารางที่ 14-2 ความผิดปกติ แสดงข้อมูลดังต่อไปนี้..... | 14-19 |
| ตารางที่ 14-3 คำอธิบายหัวข้อตารางรายงานความผิดปกติ | 14-22 |
| ตารางที่ 14-4 คำอธิบายหัวข้อตารางงานซ่อมบำรุงทางของหน่วยงาน..... | 14-24 |
| ตารางที่ 14-5 คำอธิบายหัวข้อตารางประวัติการดำเนินการซ่อมบำรุงทาง (Job Activity Log)..... | 14-28 |
| ตารางที่ 14-6 หัวข้อในรายการถนน ในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน..... | 14-32 |
| ตารางที่ 15-1 พารามิเตอร์สำหรับการประมวลผลโมเดล | 15-11 |
| ตารางที่ 17-1 Sessions ในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตเมือง..... | 17-5 |
| ตารางที่ 17-2 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตเมือง | 17-6 |
| ตารางที่ 17-3 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ ในพื้นที่ในเขตเมือง | 17-7 |
| ตารางที่ 17-4 Sessions ในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตชนบท | 17-7 |
| ตารางที่ 17-5 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตชนบท | 17-8 |

| | |
|--|-------|
| ตารางที่ 17-6 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ ในพื้นที่ในเขตชนบท | 17-9 |
| ตารางที่ 17-7 Sessions ในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ระหว่างเมือง | 17-9 |
| ตารางที่ 17-8 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ระหว่างเมือง..... | 17-10 |
| ตารางที่ 17-9 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ ในพื้นที่ระหว่างเมือง..... | 17-11 |
| ตารางที่ 17-10 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ทุกพื้นที่รวมกัน..... | 17-11 |
| ตารางที่ 17-11 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ เฉลี่ยทุกพื้นที่รวมกัน..... | 17-12 |
| ตารางที่ 17-12 Sessions ในการทดสอบระบบฯ บนสถาปัตยกรรมที่มีทรัพยากรเพียงพอ | 17-15 |
| ตารางที่ 17-13 การวัดค่า Accuracy ของตัวโมเดลบนสถาปัตยกรรมที่มีทรัพยากรเพียงพอ | 17-16 |

สารบัญรูปภาพ

| | |
|--|------|
| ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดผิวแตกลายงาหรือผิวแตกร้าว (Map Cracking or Crazing) | 2-5 |
| ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดรอยแตกกระแทก (Punch-out)..... | 2-6 |
| ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดรอยแตกเป็นตารางหรือรอยแตกจากการหดตัว (Block Crack or Shrinkage Crack)..... | 2-7 |
| ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดรอยแตกสะท้อน (Reflection Crack)..... | 2-8 |
| ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกระหว่างช่องจราจร (Lane Joint Crack)..... | 2-9 |
| ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกการขยายคันทาง (Widening Crack)..... | 2-10 |
| ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack) | 2-11 |
| ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม (Transverse Crack and Diagonal Crack) | 2-12 |
| ภาพที่ 2-9 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกที่มุม (Corner Crack) | 2-13 |
| ภาพที่ 2-10 ตัวอย่างความเสียหายชนิดแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab)..... | 2-14 |
| ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างความเสียหายของระบบถ่ายน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint Load Transfer System Deterioration) | 2-15 |
| ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน (Durability “D” Crack) | 2-16 |
| ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาว หรือรอยแตก (Transverse Joint Spall Longitudinal Joint Spall or Crack Spall)..... | 2-17 |
| ภาพที่ 2-14 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting)..... | 2-18 |
| ภาพที่ 2-15 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการอัดทะลัก (Pumping)..... | 2-19 |
| ภาพที่ 2-16 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการทรุดตัวขุดฝังสาธารณูปโภค (Utility Cut Depression)..... | 2-21 |
| ภาพที่ 2-17 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม (Patching) | 2-22 |
| ภาพที่ 2-18 ความเสียหายชนิดผิวหลุดลอก (Scaling)..... | 2-23 |
| ภาพที่ 2-19 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกเลื่อนไถล (Slippage Crack)..... | 2-24 |
| ภาพที่ 2-20 ตัวอย่างความเสียหายชนิดหลุมบ่อ (Potholes)..... | 2-25 |
| ภาพที่ 2-21 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการปูตุน (Shoving)..... | 2-26 |
| ภาพที่ 2-22 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching) | 2-27 |

| | |
|---|------|
| ภาพที่ 2-23 ตัวอย่างความเสียหายชนิดความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration)..... | 2-28 |
| ภาพที่ 2-24 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop off) ... | 2-28 |
| ภาพที่ 3-1 ตัวอย่างหลุม รอยแยก และลูกกระนาคบนถนน [2]..... | 3-1 |
| ภาพที่ 3-2 ตัวอย่างการตรวจจับพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest) [15]..... | 3-2 |
| ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ Hough Transform จับเส้นตรงบนถนน [7] | 3-2 |
| ภาพที่ 3-4 ภาพก่อนการทำ Area Filling (ก) หลังจากทำ Area Filling (ข) และ Area Filling (ค) [18] | 3-3 |
| ภาพที่ 3-5 ตัวอย่างภาพรถที่ใช้เทรนข้อมูล [5]..... | 3-4 |
| ภาพที่ 3-6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ (ก) YOLO, (ข) Benchmark SSD และ (ค) Fine-Tuned SSD ซึ่งเป็นวิธีการที่ นำเสนอใหม่ [19]..... | 3-5 |
| ภาพที่ 3-7 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นถนนที่แห้ง (สีเขียว) และเปียก (สีน้ำเงิน) จากหนึ่งเฟรม..... | 3-6 |
| ภาพที่ 3-8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นถนนที่แห้ง (สีเขียว) และเปียก (สีน้ำเงิน)..... | 3-6 |
| ภาพที่ 3-9 ตัวอย่างการทำงานของ Brightness Uniformization [2]..... | 3-22 |
| ภาพที่ 3-10 สัญญาณความเร่ง (Acceleration Signal) ก่อนและหลังผ่านการ Filtering [3]..... | 3-23 |
| ภาพที่ 3-11 ตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนแบบ 1 มิติ | 3-24 |
| ภาพที่ 3-12 ภาพที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวน และลบสัญญาณรบกวน [28]..... | 3-25 |
| ภาพที่ 3-13 ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการขยายภาพ [29]..... | 3-26 |
| ภาพที่ 3-14 ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการลบหลุม [29]..... | 3-26 |
| ภาพที่ 3-15 สมการเส้นตรงในรูปแบบเชิงขั้ว (Polar form)..... | 3-28 |
| ภาพที่ 3-16 การหาแนวเส้นของจุดต่าง ๆ ของวงกลม [31]..... | 3-29 |
| ภาพที่ 3-17 ตัวอย่างภาพต้นแบบและภาพที่ใช้วิธีการแคนนี่ [30] | 3-29 |
| ภาพที่ 3-18 กราฟ Histogram..... | 3-30 |
| ภาพที่ 3-19 ภาพและ Histogram เพื่อดูการ contrast [33] | 3-30 |
| ภาพที่ 3-20 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ [34]..... | 3-31 |
| ภาพที่ 3-21 แผนผังของ decision tree โดย Decision Node เป็นโหนดพ่อ และ Leaf Node เป็นโหนดลูก..... | 3-32 |
| ภาพที่ 3-22 หลักการทำ Random Forest [36]..... | 3-33 |
| ภาพที่ 3-23 รูปแบบของ Haar-Like Feature | 3-33 |
| ภาพที่ 3-24 ขั้นตอนการทำงานของ Cascade Classifier [37] | 3-34 |

| | |
|---|------|
| ภาพที่ 3-25 โครงสร้างของ Residual block [38]..... | 3-35 |
| ภาพที่ 3-26 โครงสร้างของ Resnet-18 [38]..... | 3-36 |
| ภาพที่ 3-27 โครงสร้างของ LeNet5 [39]..... | 3-37 |
| ภาพที่ 3-28 โครงสร้างของ Faster RCNN [41] | 3-38 |
| ภาพที่ 3-29 โครงสร้างของ SSD Base network(VGGNet) + Auxiliary network [42] | 3-38 |
| ภาพที่ 3-30 การจำแนกถนนแบบต่าง ๆ..... | 3-39 |
| ภาพที่ 3-31 ตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ | 3-40 |
| ภาพที่ 3-32 การเชื่อมต่ออุปกรณ์..... | 3-40 |
| ภาพที่ 3-33 กราฟแสดงค่าของ Accelerometer บนแกนต่าง ๆ..... | 3-41 |
| ภาพที่ 3-34 ระบบพิกัดที่เหมาะสมของโทรศัพท์และยานพาหนะ | 3-41 |
| ภาพที่ 3-35 ทิศทางการทำงานบนสมาร์ทโฟน ยานพาหนะ และการเคลื่อนไหว | 3-42 |
| ภาพที่ 3-36 อุปกรณ์ที่ใช้แบบ Embedded device | 3-44 |
| ภาพที่ 4-1 กระบวนการทำงานของ Production System | 4-2 |
| ภาพที่ 4-2 องค์ประกอบเบื้องต้นใน Edge Device | 4-3 |
| ภาพที่ 4-3 การติดตั้ง Edge Device เบื้องต้น | 4-3 |
| ภาพที่ 4-4 การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรคมนาคม | 4-4 |
| ภาพที่ 4-5 ตัวอย่างชั้นข้อมูลของระบบแผนที่..... | 4-6 |
| ภาพที่ 4-6 เส้นทางของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนแผนที่ เส้นทางน (สีน้ำเงิน) เส้นพิกัด GPS ที่บันทึกได้ (สีแดง) .. | 4-7 |
| ภาพที่ 4-7 โครงสร้างข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลในกระบวนการ Transformation ของ Data Warehouse..... | 4-8 |
| ภาพที่ 4-8 การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองรวม..... | 4-10 |
| ภาพที่ 4-9 การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองระดับมองเห็น..... | 4-10 |
| ภาพที่ 4-10 การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองระดับความผิดปกติ | 4-11 |
| ภาพที่ 4-11 กระบวนการสร้างตัวแบ่งประเภทโดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ | 4-12 |
| ภาพที่ 4-12 ภาพรวมของการพัฒนาระบบจำแนกโดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ [57]..... | 4-12 |
| ภาพที่ 4-13 การแบ่งแยกชนิดข้อมูลจริงเป็น parameters สำหรับการเรียนรู้ของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ และการสอนให้ตัวจำแนกปัญญาประดิษฐ์เรียนรู้ถึงข้อมูลที่ได้ทราบชนิดอยู่แล้วผ่านทาง label [55]..... | 4-14 |

| | |
|--|------|
| ภาพที่ 4-14 การจำแนกองค์ประกอบของรูปภาพและภาพเคลื่อนไหวให้กลายเป็น data structure ทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถนำมาประมวลผลในกระบวนการเรียนรู้ของตัวจำแนกชนิดปัญหาประดิษฐ์ได้ [54] | 4-15 |
| ภาพที่ 4-15 วิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวจำแนกชนิดปัญหาประดิษฐ์โดยการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มชุดสำหรับการเรียนรู้และกลุ่มชุดสำหรับการทดสอบ [53] | 4-17 |
| ภาพที่ 4-16 ตัวอย่างการจำแนกผลการวิเคราะห์จากตัวจำแนกชนิดปัญหาประดิษฐ์ที่มีการแบ่งผลการจำแนกเป็นชนิด true positive, false positive, true negative, และ false negative ตามลำดับ [56]..... | 4-18 |
| ภาพที่ 5-1 คณะวิจัยประชุมหารือกับทางกรมทางหลวงชนบท..... | 5-2 |
| ภาพที่ 5-2 กรมทางหลวงชนบทประชาสัมพันธ์การประชุมหารือกับคณะวิจัย..... | 5-3 |
| ภาพที่ 5-3 คณะวิจัยประชุมหารือกับเทศบาลแสนสุข..... | 5-4 |
| ภาพที่ 5-4 คณะวิจัยประชุมหารือกับทางเทศบาลเมืองป่าตอง จ.ภูเก็ต | 5-7 |
| ภาพที่ 5-5 คณะวิจัยและตัวแทนจากทางเทศบาลเมืองป่าตอง จ.ภูเก็ต..... | 5-7 |
| ภาพที่ 5-6 คณะวิจัยประชุมหารือกับทางเทศบาลนครเมือง จ.ภูเก็ต..... | 5-8 |
| ภาพที่ 5-7 ภาพตัวอย่างข้อมูลเส้นทางจากเทศบาลนครภูเก็ต..... | 5-9 |
| ภาพที่ 5-8 คณะวิจัยหารือกับสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง | 5-10 |
| ภาพที่ 5-9 ภาพตัวอย่างระบบ Roadnet | 5-10 |
| ภาพที่ 5-10 ชนิดและจำนวนของ Sensors ใน Smartphone ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างของสภาพผิวถนน..... | 5-12 |
| ภาพที่ 5-11 ขั้นตอนนำส่งข้อมูล จาก Sensors ของ Smartphone ไปยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล..... | 5-13 |
| ภาพที่ 5-12 ภาพตัวอย่าง (Snapshots) จากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้รวบรวมข้อมูลในโครงการ | 5-14 |
| ภาพที่ 6-1 ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder” | 6-3 |
| ภาพที่ 6-2 สถาปัตยกรรมของระบบและการเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล..... | 6-4 |
| ภาพที่ 6-3 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้จากตัวโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับโครงการวิจัยนี้..... | 6-5 |
| ภาพที่ 6-4 ตัวอย่างจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้รวบรวมข้อมูลในโครงการ..... | 6-9 |
| ภาพที่ 6-5 การตั้งชื่อเส้นทางก่อนการเก็บข้อมูล..... | 6-16 |
| ภาพที่ 6-6 การปรับแก้ส่วนตั้งค่าความยาวไฟล์วิดีโอและส่วนแสดงผลรายละเอียดการบันทึก..... | 6-17 |
| ภาพที่ 7-1 การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่าย 7 | 7-3 |
| ภาพที่ 7-2 ข้อมูลการสำรวจเก็บข้อมูลระหว่างดำเนินโครงการในแพลตฟอร์ม..... | 7-8 |
| ภาพที่ 7-3 ชุดคำสั่งสำหรับสรุปสถิติการใช้งานแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล | 7-9 |
| ภาพที่ 7-4 สถิติการใช้งานแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลจนถึงเดือน ส.ค. 2564..... | 7-9 |

| | |
|--|------|
| ภาพที่ 7-5 รายงานค่าใช้จ่าย Google Cloud Platform ในช่วงเวลาระหว่างดำเนินโครงการ | 7-12 |
| ภาพที่ 7-6 สถาปัตยกรรม Data Lake [21] | 7-14 |
| ภาพที่ 7-7 Three User Segment of Data Platform | 7-16 |
| ภาพที่ 7-8 Upgrade Data Architecture by Making Six Foundational Shifts [1]..... | 7-17 |
| ภาพที่ 7-9 Example of Data Lake Object Storage Design [33]..... | 7-18 |
| ภาพที่ 7-10 Cloud Functions ที่พัฒนาและติดตั้งเพื่อรับข้อมูลในช่วงการฝึกสอนตัวจำแนก | 7-23 |
| ภาพที่ 7-11 การรับข้อมูลเข้าคลังข้อมูลมีการบันทึกการทำงานของ API Endpoint..... | 7-23 |
| ภาพที่ 7-12 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์และนำเข้าสู่แพลตฟอร์มแล้วนำมาแสดงผล | 7-24 |
| ภาพที่ 7-13 ตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์จากระบบคลังข้อมูล | 7-24 |
| ภาพที่ 7-14 กระแสการไหลของข้อมูลของอุปกรณ์เข้าระบบคลังข้อมูล | 7-26 |
| ภาพที่ 7-15 การกำหนดรูปแบบข้อมูลสำหรับการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์..... | 7-27 |
| ภาพที่ 7-16 รายละเอียดการรายงานความผิดปกติของพิกัดจากอุปกรณ์ในยานพาหนะ | 7-28 |
| ภาพที่ 7-17 แผงควบคุมสำหรับจัดการชุดคำสั่งการประมวลผลแบบ Serverless | 7-28 |
| ภาพที่ 7-18 ระดับทรัพยากรที่ชุดคำสั่งการประมวลผลแบบ Serverless ใช้งานได้ขณะช่วงเวลาหนึ่งๆ..... | 7-29 |
| ภาพที่ 7-19 ระดับการใช้ทรัพยากรของ Dashboard API | 7-30 |
| ภาพที่ 7-20 รายละเอียดโปรแกรมของ Dashboard API..... | 7-30 |
| ภาพที่ 7-21 การกำหนด OpenAPI ของ Dashboard API..... | 7-31 |
| ภาพที่ 7-22 Dashboard API..... | 7-32 |
| ภาพที่ 7-23 เครื่องมือสำหรับกำหนดข้อมูลพื้นฐานสำหรับแต่ละพื้นที่หรือหน่วยงาน | 7-33 |
| ภาพที่ 7-24 แผงควบคุมสำหรับระบบคลังข้อมูล BigQuery..... | 7-34 |
| ภาพที่ 7-25 ตัวอย่างการจัดเตรียมข้อมูลในคลังข้อมูล..... | 7-35 |
| ภาพที่ 7-26 เครื่องมือจัดการค่าสถิติภาพรวมระดับพื้นที่..... | 7-36 |
| ภาพที่ 7-27 เครื่องมือจัดการข้อมูลระดับรายการ..... | 7-37 |
| ภาพที่ 7-28 โครงสร้างตารางข้อมูลในระบบคลังข้อมูล BigQuery..... | 7-38 |
| ภาพที่ 7-29 การเตรียมข้อมูลเส้นถนนจากแผนที่ OSM และรายชื่อถนนในกรุงเทพมหานคร | 7-48 |
| ภาพที่ 7-30 ตัวอย่างข้อมูลพิกัด GPS จากอุปกรณ์ นำมาหาถนนเส้นที่พบความผิดปกติ | 7-49 |
| ภาพที่ 7-31 ตัวอย่างถนนในพื้นที่เป้าหมาย..... | 7-49 |
| ภาพที่ 7-32 ตัวอย่างตำแหน่งที่ตรวจพบความผิดปกติ..... | 7-50 |

| | |
|---|-------|
| ภาพที่ 7-33 ชุดคำสั่งในการหาเส้นทางจากตำแหน่งที่พบความผิดปกติ | 7-50 |
| ภาพที่ 7-34 พิกัด GPS จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เมื่อเทียบกับแผนที่อ้างอิงแล้วพบการคลาดเคลื่อน ตำแหน่งไม่สัมพันธ์กัน | 7-51 |
| ภาพที่ 7-35 การใช้พิกัด GPS ที่รบกวนเพื่อเทียบหาถนนแต่ไม่สามารถระบุผิวถนนได้ | 7-51 |
| ภาพที่ 7-36 เครื่องมือสร้างตัวอย่างข้อมูลความผิดปกติบนผิวถนนจำลอง | 7-52 |
| ภาพที่ 7-37 ความผิดปกติบนผิวถนนจำลอง จากมุมมองของคลังข้อมูล | 7-53 |
| ภาพที่ 7-38 แผงควบคุมโครงการใน Google Cloud Platform..... | 7-54 |
| ภาพที่ 8-1 การเก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในเขตกรุงเทพฯ..... | 8-4 |
| ภาพที่ 8-2 แผนที่จากพิกัด GPS ของอุปกรณ์ ที่วิ่งเก็บข้อมูลในพื้นที่ จ.กรุงเทพมหานคร..... | 8-4 |
| ภาพที่ 8-3 การเก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในจังหวัดภูเก็ต..... | 8-7 |
| ภาพที่ 8-4 แผนที่ ซึ่งสร้างจากพิกัด GPS ของอุปกรณ์ ที่วิ่งเก็บข้อมูลในพื้นที่ จ.ภูเก็ต | 8-7 |
| ภาพที่ 9-1 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในรถที่ใช้เก็บข้อมูล..... | 9-1 |
| ภาพที่ 9-2 ไฟล์ที่ได้จากการบันทึกด้วยแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder..... | 9-2 |
| ภาพที่ 9-3 ไฟล์ JSON ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน | 9-2 |
| ภาพที่ 9-4 ไฟล์ MP4 ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน | 9-3 |
| ภาพที่ 9-5 ไฟล์ MP4 ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน (ต่อ)..... | 9-3 |
| ภาพที่ 9-6 Code ที่ใช้ในการแยก Frame | 9-4 |
| ภาพที่ 9-7 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการแยกเฟรม..... | 9-4 |
| ภาพที่ 9-8 ภาพตัวอย่างหลังจากตัดพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งที่สนใจออก | 9-5 |
| ภาพที่ 10-1 พื้นที่สนใจในการกำหนดความผิดปกติ..... | 10-6 |
| ภาพที่ 10-2 ขนาดของกรอบ label ไม่พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง..... | 10-7 |
| ภาพที่ 10-3 ขนาดของกรอบ label พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ถูกต้อง..... | 10-7 |
| ภาพที่ 10-4 ขนาดของกรอบ label ไม่พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง..... | 10-8 |
| ภาพที่ 10-5 ขนาดของกรอบ label พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ถูกต้อง..... | 10-8 |
| ภาพที่ 10-6 ตัวอย่างการ label ที่ขนาดของกรอบ label ไม่พอดีกับวัตถุที่สนใจ รวมถึง label ไกลเกินไป และ label วัตถุที่สนใจทับหรือซ้อนกัน ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-9 |
| ภาพที่ 10-7 การ label ที่ถูกต้อง ของรูปที่ 5..... | 10-9 |
| ภาพที่ 10-8 label ไกลเกินไป และไม่ใช่วัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-10 |

| | |
|--|-------|
| ภาพที่ 10-9 label วัตถุที่สนใจทับ หรือซ้อนกัน ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง..... | 10-10 |
| ภาพที่ 10-10 แก๊วจากรูปที่ 10.9 ซึ่งเป็นการ label ที่ถูกต้อง | 10-11 |
| ภาพที่ 10-11 ในกรอบสีแดงใหญ่ ขวามือ ไม่ใช่วัตถุที่สนใจ กรณีนี้หากผู้ label ไม่แน่ใจ ไม่ต้อง label | 10-11 |
| ภาพที่ 10-12 ในกรอบสีแดง วัตถุที่สนใจ อยู่ไกลเกินระยะที่กำหนด ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-12 |
| ภาพที่ 10-13 ในกรอบสีแดงซ้ายมือ วัตถุที่สนใจอยู่นอกระยะที่กำหนด ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-12 |
| ภาพที่ 10-14 การ label ที่ถูกต้อง..... | 10-13 |
| ภาพที่ 10-15 ตัวอย่างกรอบ label ที่มีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-13 |
| ภาพที่ 10-16 ตัวอย่างกรอบ label ที่มีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง..... | 10-14 |
| ภาพที่ 10-17 แก๊วรูปที่ 10.16 ให้ label ถูกต้อง..... | 10-14 |
| ภาพที่ 10-18 กรอบสีแดงใหญ่ แสดงการ label วัตถุที่สนใจไกลเกินระยะที่กำหนด ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-15 |
| ภาพที่ 10-19 การ label แก๊วรูปที่ 10.18 ให้ถูกต้อง..... | 10-15 |
| ภาพที่ 10-20 การ label ที่แยกวัตถุที่สนใจเป็นชิ้นเล็ก รวมถึงระยะระหว่างหัวรถและวัตถุที่สนใจห่างเกินระยะ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง | 10-16 |
| ภาพที่ 10-21 การ label รูปที่ 10.20 ที่ถูกต้อง (กรอบสีเขียว) | 10-16 |
| ภาพที่ 10-22 การ label วัตถุที่สนใจที่มีขนาดยาวให้ถูกต้อง | 10-17 |
| ภาพที่ 10-23 ในกรอบสีเขียว วัตถุอยู่ไกลเกินไป ส่วนกรอบสีม่วงเป็นการตีกรอบติดวัตถุอื่น การ label ที่ถูกต้อง ต้องตีกรอบเฉพาะที่สีแดง เพราะส่วนอื่นติดรถจักรยานยนต์ | 10-17 |
| ภาพที่ 10-24 วัตถุที่เห็นไม่เต็มขึ้นของวัตถุ ดังกรอบสีแดงใหญ่ ไม่ต้อง label | 10-18 |
| ภาพที่ 10-25 การกำหนดสิ่งผิดปกติที่สนใจด้วย LabelMe..... | 10-19 |
| ภาพที่ 10-26 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดจุดที่สนใจด้วย LabelMe..... | 10-19 |
| ภาพที่ 10-27 การกำหนดสิ่งผิดปกติที่สนใจด้วย Labellmg..... | 10-20 |
| ภาพที่ 10-28 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดจุดที่สนใจด้วย Labellmg..... | 10-20 |
| ภาพที่ 10-29 การกำหนดสิ่งผิดปกติที่สนใจด้วย Laberu..... | 10-21 |
| ภาพที่ 10-30 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดจุดที่สนใจด้วย Laberu..... | 10-22 |
| ภาพที่ 11-1 กรอบการดำเนินงานของการสร้างโมเดล | 11-2 |
| ภาพที่ 11-2 ตัวอย่างโครงสร้าง CNN [5]..... | 11-3 |
| ภาพที่ 11-3 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V3 [8]..... | 11-5 |

| | |
|--|-------|
| ภาพที่ 11-4 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V4 [8]..... | 11-6 |
| ภาพที่ 11-5 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V5 [11] | 11-7 |
| ภาพที่ 11-6 ตัวอย่างภาพ original ที่ใช้ในการทดลองที่ 1-3..... | 11-15 |
| ภาพที่ 11-7 ตัวอย่างภาพที่ได้หลังการตัด environment ที่ไม่เกี่ยวข้องออก และใช้ในการทดลองที่ 4-5 | 11-15 |
| ภาพที่ 11-8 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) หลุม (ชมพู) และรอยปะ (เขียว) บนถนนอย่างถูกต้อง..... | 11-16 |
| ภาพที่ 11-9 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) และรอยแตก (เขียวอ่อน) บนถนนอย่างถูกต้อง..... | 11-17 |
| ภาพที่ 11-10 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) บนถนนไม่ถูกต้อง | 11-17 |
| ภาพที่ 11-11 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) บนถนนไม่ถูกต้อง | 11-18 |
| ภาพที่ 13-1 ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder” | 13-1 |
| ภาพที่ 13-2 ภาพตัวอย่าง (Snapshots) จากโปรแกรม เพื่อใช้รวบรวมข้อมูล | 13-9 |
| ภาพที่ 13-3 ขั้นตอนนำส่งข้อมูล จาก Sensors ของ Smartphone ไปยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล..... | 13-10 |
| ภาพที่ 13-4 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้จากตัวโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับโครงการวิจัยนี้ | 13-13 |
| ภาพที่ 13-5 ตั้งชื่อเส้นทางก่อนการเก็บข้อมูล..... | 13-15 |
| ภาพที่ 13-6 การปรับแก้ส่วนตั้งค่าความยาวไฟลิวีดีโอและส่วนแสดงผลรายละเอียดการบันทึก..... | 13-16 |
| ภาพที่ 14-1 States machine diagram สถานะของงานสืบเนื่องกับสถานะของความผิดปกติ..... | 14-8 |
| ภาพที่ 14-2 ความต้องการ 4 ประเภทของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ดิจิทัลตามหลักการของ Aaron Walter [1] | 14-11 |
| ภาพที่ 14-3 ผังโครงสร้างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าของเว็บไซต์ (Site Structure Overview)..... | 14-12 |
| ภาพที่ 14-4 หน้าลงชื่อเข้าใช้ระบบ (Log-in screen)..... | 14-13 |
| ภาพที่ 14-5 สถิติเกี่ยวข้องกับถนนของหน่วยงาน แสดงการ์ดส่วนที่ 1 ในหน้าหลัก | 14-14 |
| ภาพที่ 14-6 สถิติเกี่ยวข้องกับถนนของหน่วยงาน แสดงการ์ดส่วนที่ 2 ในหน้าหลัก | 14-14 |
| ภาพที่ 14-7 รายการถนนในความดูแลของหน่วยงาน | 14-15 |
| ภาพที่ 14-8 บทวิเคราะห์สภาพถนนของหน่วยงาน | 14-16 |
| ภาพที่ 14-9 เมนูสำหรับไปที่หน้าต่าง ๆ..... | 14-17 |
| ภาพที่ 14-10 การกดเพื่อดูรายละเอียดความผิดปกติของถนนจากรายการถนนในการดูแลของหน่วยงาน..... | 14-17 |
| ภาพที่ 14-11 หน้าความผิดปกติบนถนนแต่ละเส้น ส่วนที่เกี่ยวข้องกับถนน | 14-18 |
| ภาพที่ 14-12 หน้าความผิดปกติบนถนนแต่ละเส้น ส่วนที่เป็นตารางรายการความผิดปกติ | 14-18 |
| ภาพที่ 14-13 เมนูดำเนินการกับความผิดปกติ ในตารางรายการความผิดปกติ ในหน้ารายการความผิดปกติบนถนนเส้นหนึ่ง..... | 14-20 |

| | |
|--|-------|
| ภาพที่ 14-14 ตารางรายการความผิดปกติ ในหน้ารายการความผิดปกติบนถนนแต่ละเส้น..... | 14-21 |
| ภาพที่ 14-15 ตารางรายการการรายงานความผิดปกติ ในหน้ารายการการรายงานความผิดปกติบนถนนจาก อุปกรณ์เก็บข้อมูล | 14-22 |
| ภาพที่ 14-16 เมนูต่าง ๆ จากการกดไอคอนในตารางการรายงานความผิดปกติ..... | 14-23 |
| ภาพที่ 14-17 เมฆงานบำรุงทาง ในเมนู | 14-24 |
| ภาพที่ 14-18 ตารางรายการงานซ่อมบำรุงทาง ในหน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง | 14-24 |
| ภาพที่ 14-19 เมนูจัดการงานซ่อมบำรุงในตารางงานซ่อมบำรุง ในหน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง | 14-26 |
| ภาพที่ 14-20 การไปที่ไปที่หน้าประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุงทางจากเมนูหลัก..... | 14-27 |
| ภาพที่ 14-21 หน้าประวัติการดำเนินการซ่อมบำรุงทาง แสดงตารางประวัติการดำเนินการ | 14-27 |
| ภาพที่ 14-22 การไปที่ไปที่หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงานจากเมนูหลัก | 14-29 |
| ภาพที่ 14-23 หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน..... | 14-29 |
| ภาพที่ 14-24 ป๊อปอัพเพิ่มถนน บนหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน | 14-30 |
| ภาพที่ 14-25 แผนที่สำหรับกำหนดเส้นถนนในป๊อปอัพเพิ่มถนน | 14-31 |
| ภาพที่ 14-26 เมนูจัดการดำเนินการกับถนนตารางจัดการถนน ในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน | 14-32 |
| | 14-32 |
| ภาพที่ 14-27 ตารางรายการถนนในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน | 14-33 |
| ภาพที่ 14-28 เมนูไปหน้าข้อมูลผู้ใช้งานในเมนูหลัก | 14-34 |
| ภาพที่ 14-29 หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ | 14-35 |
| ภาพที่ 14-30 เมนูข้อมูลโครงการ ในเมนู..... | 14-36 |
| ภาพที่ 15-1 Raspberry Pi 4 Model B..... | 15-2 |
| ภาพที่ 15-2 NVIDIA Jetson Nano | 15-2 |
| ภาพที่ 15-3 การใช้งาน Coral's USB Accelerator กับ Raspberry Pi 4 Model B | 15-3 |
| ภาพที่ 15-4 อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ Raspberry Pi 4 Model B ในการพัฒนา..... | 15-4 |
| ภาพที่ 15-5 อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ NVIDIA Jetson Nano ในการพัฒนา | 15-5 |
| ภาพที่ 15-6 ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ | 15-8 |
| ภาพที่ 15-7 ภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับการผิดปกติของผิวจราจร..... | 15-9 |
| ภาพที่ 15-8 ตัวอย่าง Pseudocode ของการเรียกใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ | 15-12 |
| ภาพที่ 15-9 ตัวอย่าง Pseudocode ขั้นตอนการรับค่าผลลัพธ์จากโมเดล | 15-12 |

| | |
|--|-------|
| ภาพที่ 15-10 ตัวอย่าง Psuedocode ขั้นตอนการหาตำแหน่งของความผิดปกติ | 15-13 |
| ภาพที่ 15-11 Flowchart ของการติดตามอีอบเจกต์..... | 15-14 |
| ภาพที่ 15-12 ตัวอย่าง Psuedocode ของฟังก์ชัน nms..... | 15-15 |
| ภาพที่ 15-13 ตัวอย่าง Psuedocode ของการติดตามอีอบเจกต์ | 15-15 |
| ภาพที่ 15-14 Psuedocode ของฟังก์ชัน nms..... | 15-16 |
| ภาพที่ 15-15 ขั้นตอนการประมวลผลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน..... | 15-17 |
| ภาพที่ 15-16 ตัวอย่าง Psuedocode ของการประมวลผลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน | 15-18 |
| ภาพที่ 15-17 การดาวน์โหลดแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจร..... | 15-21 |
| ภาพที่ 15-18 การขออนุญาตให้เข้าถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตัวอุปกรณ์..... | 15-22 |
| ภาพที่ 15-19 การเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์ | 15-22 |
| ภาพที่ 15-20 การตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ | 15-23 |
| ภาพที่ 15-21 แผนภาพและตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์บนรถสำรวจ | 15-23 |
| ภาพที่ 16-1 ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ | 16-2 |
| ภาพที่ 16-2 หน้าจอของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์..... | 16-3 |
| ภาพที่ 16-3 การทำงานของตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model)..... | 16-4 |
| ภาพที่ 16-4 ภาพรวมการทำงานของแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform) | 16-7 |
| ภาพที่ 16-5 ผังโครงสร้างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าต่างๆ ของเว็บไซต์ (Site Structure Overview) | 16-8 |
| ภาพที่ 16-6 ตัวอย่างหน้ารายการความผิดปกติบนถนนเส้นหนึ่งๆ | 16-8 |
| ภาพที่ 17-1 อุปกรณ์เก็บข้อมูลแสดงการตรวจพบความผิดปกติต่าง ๆ โดยการตีกรอบรอบความผิดปกติที่ตรวจพบ นั้นซ้อนทับภาพจากวิดีโอที่บันทึกในเวลาจริง..... | 17-2 |
| ภาพที่ 17-2 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลของระบบฯ คู่กับอุปกรณ์ถ่ายวิดีโอซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งความจริง สำหรับเทียบอ้างอิง | 17-3 |
| ภาพที่ 17-3 การตรวจจับความผิดปกติบนผิวจราจรของถนนเพชรเกษม | 17-6 |
| ภาพที่ 17-4 การตรวจจับความผิดปกติบนผิวจราจรของถนนกะทู้-นาเกาะ..... | 17-8 |
| ภาพที่ 17-5 การตรวจจับความผิดปกติบนผิวจราจรของถนนพระราม 2 มุ่งหน้าตะวันออก..... | 17-10 |
| ภาพที่ 18-1 ภาพรวมของระบบ..... | 18-1 |

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาของการจราจร นอกจากการจราจรติดขัดแล้ว อีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญคือเรื่องคุณภาพพื้นผิวจราจร เช่น ถนนมีหลุมบ่อ หรือมีส่วนนูนขึ้นโดยไม่คาดคิด ท่อระบายน้ำที่ฝาปิดไม่เรียบ หรือมีระดับไม่เรียบไปกับท้องถนน รอยต่อระหว่างทางขึ้นสะพานกับถนนทำองศาไม่เนียน ถนนที่แม่พื้นผิวเรียบแต่มีการบิดตัว เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนสามารถสร้างปัญหามากมายที่คนส่วนใหญ่มองข้าม อาทิเช่น ผู้สัญจรทั่วไปซึ่งใช้เวลาในการเดินทางเฉลี่ยวันละหลายชั่วโมง ต้องคอยชะรอความเร็วบ่อยและต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษสืบเนื่องไปถึงสมรรถภาพการทำงานและคุณภาพชีวิตที่ลดลง นอกจากนี้ผู้สัญจรทั่วไปต้องประสบอุบัติเหตุทั้งที่ขับรถตามกฎหมายและใช้ความระมัดระวัง ได้รับบาดเจ็บหรือบางครั้งอาจถึงขั้นเสียชีวิต ทั้งที่เป็นเหตุมาจากพาหนะของตัวเองประสบกับความไม่ปกติของพื้นผิวจราจร หรือเป็นเหตุมาจากยานพาหนะของผู้อื่นที่ประสบกับความไม่ปกติของพื้นผิวจราจรแล้วเสียหลักมาชน

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีขั้นสูงหลายตัวมีต้นทุนที่ต่ำลง อาทิเช่น ระบบประมวลผลโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ ระบบเซนเซอร์ไร้สาย ระบบสื่อสารระหว่างเซลล์ผ่านโครงข่ายไอที เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีขั้นสูงเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องมือวัดผลและจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพพื้นผิวจราจร เทคโนโลยีขั้นสูงเหล่านี้สามารถบูรณาการข้อมูลจากตัวเก็บข้อมูลตัวเล็กที่มีราคาต่ำหลายตัว และหลายประเภท ที่ทำงานร่วมกันโดยอัตโนมัติ ซึ่งใช้งานง่ายกว่าและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีแบบเดิมหลายเท่าที่หน่วยงานใดก็ได้สามารถนำไปใช้งานในราคาที่ต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพเท่าเทียมหรือสูงกว่าระบบของประเทศที่พัฒนาแล้ว

ดังนั้น จุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยในครั้งนี้ คือการสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดยใช้ระบบประมวลผลแบบปัญญาประดิษฐ์ ระบบเซนเซอร์ไร้สาย และระบบการกระจายการประมวลผลและสื่อสารผ่านโครงข่ายไอที เพื่อแก้ปัญหาพื้นฐานเรื่องระบบสาธารณูปโภคของประเทศ อีกทั้งยังเป็นการเสริมสร้างทักษะในการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวแก่คนไทยโดยตรง ซึ่งล้วนเป็นเทคโนโลยีสำคัญตามแผนยุทธศาสตร์ชาติและแผนพัฒนาประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเก็บรวบรวมประเภทของความผิดปกติของผิวจราจรและสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติดังกล่าว
2. เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบสอดส่องพื้นผิวจราจรโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการบูรณาการข้อมูลจากหลายประเภทและจากหลายแหล่ง

3. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวจราจรโดยใช้ระบบสอดส่องจากข้อ 2 เพื่อให้องค์กรส่วนท้องถิ่นสามารถนำไปใช้งานได้โดยง่าย
4. เพื่อพัฒนาระบบนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับสภาพท้องถนนที่เข้าได้ง่าย ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในด้านการพัฒนาและซ่อมแซมพื้นผิวถนนในขั้นตอนอื่นต่อไป

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ขอบเขตการศึกษาของความผิดปกติบนท้องถนน

ความผิดปกติที่สนใจประกอบด้วย หลุมบ่อ ฝารูที่ระบายน้ำที่ไม่เสมอกับระดับถนน แผ่นเหล็กปิดงานขุดถนนชั่วคราว คันชะลอที่ไม่เหมาะสม รางระบายน้ำที่ไม่เหมาะสม รอยต่อระหว่างทางเรียบและสะพาน ช่วงถนนที่มีระนาบิต ส่วนนูนบนถนน และถนนร้าว

1.3.2 ขอบเขตการศึกษาด้านพื้นที่

1. พื้นที่เก็บข้อมูลวิจัยเพื่อสร้างตัวจำแนกของระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดภูเก็ต โดยเน้นถนนและซอยที่มีความผิดปกติมากเป็นพิเศษ และมีความผิดปกติหลายประเภทหนาแน่นอยู่ในพื้นที่เดียวกัน
2. พื้นที่ทดสอบและรายงานผลการทำงานของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร และอุปกรณ์เก็บข้อมูลต้นแบบ เป็นพื้นผิวถนนในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เทศบาลเมืองแสนสุข และจังหวัดภูเก็ต โดยควบคุมพื้นที่ถนนที่มีรถสาธารณะวิ่งผ่านเป็นประจำ ถนนที่มีพื้นผิวที่แตกต่างกัน และพื้นผิวถนนครอบคลุมถนนใน 3 ประเภทถนน คือ (1) ถนนในเขตเมือง (2) ถนนในเขตชนบท และ (3) ถนนระหว่างเมือง โดยมีระยะทางแต่ละประเภทไม่ต่ำกว่า 10 กิโลเมตร

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. **หน่วยงานรัฐ** โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์กรบริหารส่วนท้องถิ่น มีทางเลือกในการสำรวจพื้นผิวจราจรในบริเวณรับผิดชอบด้วยวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำ ได้รับข้อมูลที่เชื่อถือได้ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงสูงและนำไปใช้ได้จริงเกี่ยวกับพื้นผิวจราจรที่มีปัญหาเพื่อนำไปแก้ไขได้อย่างทันท่วงที สามารถจัดลำดับความสำคัญของงานแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว สามารถของงบประมาณบำรุงซ่อมแซมได้อย่างเหมาะสม สามารถประเมินผลงานก่อสร้างถนนที่ผู้รับเหมาทำในระยะยาวได้อย่างแม่นยำมากขึ้น โดยการวัดผลเชิงปริมาณ ทำให้สามารถจัดให้ผู้รับจ้างรับผิดชอบต่องานได้ดีขึ้น
2. **ผู้บริโภค** (ประโยชน์ทางอ้อม) สามารถลดอุบัติเหตุจากการจราจร และได้ตระหนักรู้ถึงคุณภาพพื้นผิวจราจร ซึ่งเป็นภาระทางอ้อมจากการซ่อมแซมยานพาหนะที่สึกหรอจากการใช้บนผิวจราจรที่ไม่เรียบ

3. **ผู้ประกอบการ** (ประโยชน์ทางอ้อม) สามารถลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าเนื่องจากสามารถทำความเร็วได้มากขึ้นและประสบอุบัติเหตุที่น้อยลง ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมยานพาหนะลดลง สหกรณ์แท็กซี่ประหยัดค่าใช้จ่ายบำรุง คนขับแท็กซี่มีประสบการณ์ดีขึ้น
4. **ภาคเอกชน** (ประโยชน์ทางอ้อม) สามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อยอด เช่นสร้างแผนที่เพื่อให้ยานพาหนะไร้คนขับสามารถนำทางจราจรอย่างราบเรียบ สามารถสร้างตัวจำแนกต่อยอดมาใช้กับฐานข้อมูลเดิมเพื่อสอดส่องท้องถนนเพื่อหาจุดที่มีอุบัติเหตุทางการจราจรที่เกิดขึ้นบ่อย การรวบรวมสถิติการละเมิดวินัยทางจราจร และระบบสาธารณสุขภูมิภาคและทรัพยากรสาธารณสุขอื่น ๆ เช่น ที่จอดรถสาธารณะ

1.5 กรอบแนวความคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดของโครงการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่

1. การรวบรวมข้อมูลและจัดเก็บข้อมูล

ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของปัญญาประดิษฐ์ ข้อมูลสภาพพื้นผิวถนนและลักษณะของปัญหาของถนนจริงที่ทราบ เพื่อนำไปสร้างเป็นข้อมูลต้นแบบเพื่อให้ตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ได้สร้างความรู้พื้นฐานสำหรับระบบจำแนกปัญหาของพื้นผิวถนน

ข้อมูลสำหรับการทดสอบปัญญาประดิษฐ์ ข้อมูลสภาพพื้นผิวถนนจริงและลักษณะของปัญหาถนนจริงที่ทราบ เพื่อทดสอบความแม่นยำของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ในการจำแนกปัญหาของพื้นผิวถนน

ข้อมูลสภาพพื้นผิวถนนจริงที่รวบรวมมาเพื่อให้ตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ได้จำแนกแยกแยะปัญหาของผิวถนน เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปในระบบนำเสนอข้อมูลของโครงการ

2. การพัฒนาจำแนกข้อมูลด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์

ในส่วนนี้ การพัฒนาตัวจำแนกข้อมูลด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ จะใช้รูปแบบพัฒนาโดยใช้แนวทางจากงานวิจัยที่มีการอ้างอิงที่ประสบผลสำเร็จและมีความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์ข้อมูล และได้มีการยอมรับในวงการวิจัยนานาชาติอย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ การพัฒนาตัวจำแนกข้อมูลด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์จะอ้างอิงจากโครงการซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส เพื่อให้สามารถนำตัวระบบไปต่อยอดได้ในอนาคต ซึ่งตัวจำแนกปัญญาประดิษฐ์นี้ จะถูกกระจายให้อยู่ในอุปกรณ์เก็บข้อมูลทุกตัวโดยผ่านหน่วยประมวลผลกลางในระบบสารสนเทศอัจฉริยะ

3. การออกแบบพัฒนาอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพื้นถนน

ในส่วนของการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลพื้นถนนนั้น ตัวอุปกรณ์ต้นแบบต้องมีศักยภาพในการบริหารจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยกัน 2 ด้าน ได้แก่

- การจำแนกสภาพพื้นถนนจากข้อมูลที่ได้มาผ่านตัวจำแนกข้อมูลด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ได้ติดตั้งไว้ในระบบ
- การบริหารจัดการการจัดเก็บข้อมูลที่ตัวเคราะห้แล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อนำไปเสนอแก่ผู้ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

4. การพัฒนาระบบแสดงข้อมูล

ระบบแสดงข้อมูลนั้น จัดทำในรูปแบบเว็บไซต์เพื่อให้ผู้ใช้เข้าถึงได้ง่าย โดยใช้ Dashboard ที่แสดงสารสนเทศที่เกี่ยวข้องโดยเข้าใจได้ง่าย และสามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างสะดวก

1.6 แผนการทำงาน

โครงการนี้มีระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 1 ปี 6 เดือน นับตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2563 ถึงวันที่ 8 ตุลาคม 2564 โดยมีแผนการดำเนินงานโครงการ (Work Plan) แสดงดังตารางที่ 1-1

แต่เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 และมาตรการควบคุมการเดินทางของภาครัฐ จึงเป็นอุปสรรคต่อการเดินทางเพื่อขอความร่วมมือจากหน่วยงานต่าง ๆ และการเก็บข้อมูล จนการดำเนินงานล่าช้ากว่าที่กำหนดในแผน ทางคณะคณะวิจัยจึงได้มีการขอขยายระยะเวลาในการดำเนินโครงการถึงวันที่ 6 เมษายน 2565 และปรับแผนการทำงานของโครงการ แสดงดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-1 แผนการทำงาน

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| ระยะที่ 1 | เริ่มต้นโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | จัดตั้งสำนักงานประสานงานโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | กำหนดถนนเป้าหมายสำหรับการทดลอง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์และจัดจ้างผู้ช่วยวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 2 | ศึกษาเบื้องต้น | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 2.1 | ศึกษาการแยกประเภทและสาเหตุ การเกิดความผิดปกติของพื้นผิว จราจร | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 | ทบทวนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | สร้างและสื่อสารแผนดำเนินงาน อย่างละเอียด | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ สำหรับทุกองค์ประกอบอย่าง สมบูรณ์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 3 | การสร้างแพลตฟอร์มสำหรับ รวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | พัฒนาอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล ตัวอย่าง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | การออกแบบ และการพัฒนา แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | ทดสอบอุปกรณ์และแพลตฟอร์ม สำหรับรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 3.4 | การเตรียมการทำข้อตกลงความร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 4 | เก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับสร้างตัวจำแนก | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 | จังหวัดกรุงเทพมหานคร | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | จังหวัดภูเก็ต | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 | จังหวัดอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 5 | การสร้างตัวจำแนกสำหรับตรวจจับความผิดปกติของถนน | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 | การเตรียมความพร้อมของข้อมูล เช่น การกำหนดกลุ่มข้อมูล การกำจัดสิ่งรบกวน การปรับปรุงประสิทธิภาพ เป็นต้น | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | การตรวจจับความผิดปกติที่สนใจ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.3 | การสร้างตัวจำแนก | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | การประเมินประสิทธิภาพของการจำแนก และการปรับแต่ง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| ระยะที่ 6 | การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแบบประหยัดค่าใช้จ่าย | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 | การติดตั้งตัวจำแนกบนอุปกรณ์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.3 | ทดสอบและการปรับแต่ง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.4 | การประเมินผล | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 7 | การดำเนินงานเก็บข้อมูลจริง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.1 | จังหวัดกรุงเทพมหานคร | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | จังหวัดภูเก็ต | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.3 | จังหวัดอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 8 | การจัดทำเว็บไซต์สำหรับนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | ออกแบบการทำงานของเว็บไซต์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | การออกแบบรูปแบบการนำเสนอข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 8.3 | พัฒนาเว็บไซต์สำหรับนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 9 | สรุปโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.1 | การทำข้อตกลงความร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | จัดทำรายงานและเอกสารที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.3 | กิจกรรมสำหรับปิดโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 1-2 แผนการทำงาน

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| ระยะที่ 1 | เริ่มต้นโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | จัดตั้งสำนักงานประสานงานโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | กำหนดถนนเป้าหมายสำหรับการทดลอง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 | การจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์และจัดจ้างผู้ช่วยวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 2 | ศึกษาเบื้องต้น | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | ศึกษาการแยกประเภทและสาเหตุการเกิดความผิดปกติของพื้นผิวจราจร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 | ทบทวนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.4 | สร้างและสื่อสารแผนดำเนินงานอย่างละเอียด | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.5 | ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบสำหรับทุกองค์ประกอบอย่างสมบูรณ์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 3 | การสร้างแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | พัฒนาอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 | การออกแบบ และการพัฒนาแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 | ทดสอบอุปกรณ์และแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 3.4 | การเตรียมการทำข้อตกลงความร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 4 | เก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับสร้างตัวจำแนก | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.1 | จังหวัดกรุงเทพมหานคร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.2 | จังหวัดภูเก็ต | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.3 | จังหวัดอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 5 | การสร้างตัวจำแนกสำหรับตรวจจับความผิดปกติของถนน | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.1 | การเตรียมความพร้อมของข้อมูล เช่น การกำหนดกลุ่มข้อมูล การกำจัดสิ่งรบกวน การปรับปรุงประสิทธิภาพเป็นต้น | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.2 | การตรวจจับความผิดปกติที่สนใจ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.3 | การสร้างตัวจำแนก | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5.4 | การประเมินประสิทธิภาพของการจำแนก และการปรับแต่ง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 6 | การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแบบประหยัดค่าใช้จ่าย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.2 | การติดตั้งตัวจำแนกบนอุปกรณ์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.3 | ทดสอบและการปรับแต่ง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.4 | การประเมินผล | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| ระยะ | กิจกรรม | เดือนที่ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| ระยะที่ 7 | การดำเนินงานเก็บข้อมูลจริง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.1 | จังหวัดกรุงเทพมหานคร | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.2 | จังหวัดภูเก็ต | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7.3 | จังหวัดอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 8 | การจัดทำเว็บไซต์สำหรับนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.1 | ออกแบบการทำงานของเว็บไซต์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.2 | การออกแบบรูปแบบการนำเสนอข้อมูล | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.3 | พัฒนาเว็บไซต์สำหรับนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ระยะที่ 9 | สรุปโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.1 | การทำข้อตกลงความร่วมมือกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานอื่น ๆ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.2 | จัดทำรายงานและเอกสารที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.3 | กิจกรรมสำหรับปิดโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

บทที่ 2 การแยกประเภทและสาเหตุการเกิดความผิดปกติของพื้นผิวจราจรและกำหนดพื้นที่ เป้าหมายในการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร

การตรวจพบความเสียหายบนพื้นผิวจราจรเพื่อบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้องในระยะเวลาที่เหมาะสมถือเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อไม่ให้เกิดการลุกลามของความเสียหายเพิ่ม และรักษาสภาพทางให้มีอายุยืนยาวนานที่สุด ทางคณะวิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลสภาพเสียหายของผิวทางจราจร โดยอ้างอิงข้อมูลจากคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหาย ที่จัดทำโดย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง ซึ่งเป็นคู่มือเพื่อใช้ประเมินความเสียหายของผิวทาง บอกถึงสาเหตุความเสียหาย และทางเลือกการซ่อมบำรุงให้ถูกต้อง โดยได้แบ่งชนิดความเสียหายบนผิวทางทั้ง 2 ประเภท คือ ผิวทางแอสฟัลต์ และผิวทางคอนกรีต ซึ่งชนิดความเสียหายแต่ละชนิดอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุเดียวหรือหลายสาเหตุ สาเหตุเดียวกันอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลายชนิด และอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสาเหตุถัดไปตามมา จึงต้องมีการตรวจสอบข้อมูลสาเหตุของความเสียหายบนผิวทาง และชนิดความเสียหายบนผิวทาง เพื่อการซ่อมบำรุงอย่างถูกวิธี ถูกต้องตามเวลา สภาพทางไม่เสื่อมเร็ว ไม่เกิดปัญหาลุกลาม ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการซ่อมใหม่ และประหยัดค่าใช้จ่ายในกรณีปล่อยให้ลุกลามจนเป็นความเสียหายที่ใหญ่ขึ้น

2.1 ประเภทความเสียหายบนผิวทางจราจร

ทางคณะวิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลสภาพเสียหายของผิวทางจราจร โดยอ้างอิงข้อมูลจากคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหาย ที่จัดทำโดย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง และได้คัดเลือกเสียหายของผิวทางจราจร 24 ชนิดที่สำคัญ

ซึ่งคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายดังกล่าว ได้มีการแบ่งประเภทของความเสียหายในแต่ละผิวทาง ดังต่อไปนี้

ผิวทางแอสฟัลต์

1. รอยแตก (Crack)
2. การเสียรูปร่างหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Distortion or Deformation)
3. รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)
4. ความเสียหายอื่น ๆ (Miscellaneous Distress)

ผิวทางคอนกรีต

1. รอยแตก (Crack)
2. ความเสียหายบริเวณรอยต่อ (Joint Deficiencies)
3. รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)
4. ความเสียหายอื่น ๆ (Miscellaneous Distress)

เนื่องจากการแบ่งประเภทความเสียหายบนผิวทางโดยกรมทางหลวง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบและประเมินความเสียหาย สำหรับเจ้าหน้าที่และวิศวกรที่รับผิดชอบงานสำรวจ ออกแบบ ก่อสร้างและบำรุงทาง ทางคณะวิจัยได้เพิ่มข้อพิจารณาลักษณะประเภทความเสียหายให้สอดคล้องกับลักษณะที่เห็นและประสบการณ์ของผู้ใช้ถนน ในการประมวลแบ่งประเภทความเสียหายในโครงการนี้ โดยจัดประเภทความเสียหายให้ครอบคลุมผิวทางทั้ง 2 ชนิด คือผิวทางแอสฟัลต์ และ ผิวทางคอนกรีต ซึ่ง สามารถแบ่งประเภทความเสียหายได้เป็น 4 ประเภท ประกอบด้วยชนิดความเสียหายที่คณะวิจัยคัดเลือกมาทั้งหมด 24 ชนิด ได้แก่

1. รอยแตก (Crack) ประกอบด้วยชนิดความเสียหาย 15 ชนิด
2. หลุม (Hole) ประกอบด้วยชนิดความเสียหาย 5 ชนิด
3. ผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve) ประกอบด้วยชนิดความเสียหาย 2 ชนิด
4. ไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect) ประกอบด้วยชนิดความเสียหาย 2 ชนิด

2.1.1 รอยแตก (Crack)

ความเสียหายประเภทรอยแตก (Crack) ประกอบด้วยชนิดความเสียหายที่มีลักษณะเป็นรอยแตกหรือรอยร้าวบนผิวทาง ซึ่งเป็นรอยแตกที่มีรูปร่างเป็นเส้นตรงหรือตาราง สามารถเกิดขึ้นได้บนหน้าผิวทางหรือบริเวณรอยต่อสำหรับผิวทางประเภทคอนกรีตที่มีรอยต่อ โดยชนิดความเสียหายประเภทรอยแตก (Crack) ที่คณะวิจัยได้คัดเลือกมาทั้งหมด 10 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทรอยแตก

| ลำดับที่ | ชนิดความเสียหาย | ลักษณะทางกายภาพ | ประเภทผิวทางที่พบ |
|----------|---|---|-------------------|
| 1. | ผิวแตกลายงาหรือผิวแตกร้าว (Map Cracking or Cracking) | แนวของรอยแตกเส้นบาง ๆ ที่มีความลึกไม่เกินชั้นผิวหน้าของคอนกรีตเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายไปทั่วแผ่นพื้นคอนกรีต จนมีลักษณะคล้ายลายแผนที่หรือผิวแตกลายงา | Concrete |
| 2. | รอยแตกกระแทก (Punch-out) | มักเกิดระหว่างรอยแตกและรอยต่อของแผ่นพื้นหรือเกิดจากรอยแตก 2 รอยที่มีระยะห่างไม่เกิน 1.50 เมตร | Concrete |
| 3. | รอยแตกเป็นตารางหรือรอยแตกจากการหดตัว (Block Crack or Shrinkage Crack) | รอยแตกแบ่งแยกผิวทางแอสฟัลต์ออกเป็นช่อง ๆ รูปสี่เหลี่ยมโดยประมาณ มีขนาดตั้งแต่ 0.30 เมตร ถึง 3.00 เมตร | Asphalt |
| 4. | รอยแตกสะท้อน (Reflection Crack) | เป็นรอยแตกที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack) รอยแตกตามแนวขวาง (Transverse Crack) แตกตามแนวทแยง (Diagonal Crack) หรือแตกเป็นตาราง (Block Crack) | Asphalt |
| 5. | รอยแตกระหว่างช่องจราจร (Lane Joint Crack) | รอยแตกระหว่างช่องจราจรกับช่องจราจรที่ติดกัน | Asphalt |

| ลำดับที่ | ชนิดความเสียหาย | ลักษณะทางกายภาพ | ประเภทผิวทางที่พบ |
|----------|---|---|-------------------|
| 6. | รอยแตกการขยายคันทาง (Widening Crack) | รอยแตกตามยาวตรงรอยต่อของคันทางเดิมกับส่วนที่ทำการขยายออกไป | Asphalt |
| 7. | รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack) | รอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นขนานกับแนวกึ่งกลางของถนน | Concrete |
| 8. | รอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม (Transverse Crack and Diagonal Crack) | รอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับแนวกึ่งกลางของถนน ส่วนรอยแตกตามแนวทแยงมุมเป็นรอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นในแนวทแยง | Concrete |
| 9. | รอยแตกที่มุม (Corner Crack) | รอยแตกที่ตัดผ่านรอยต่อ (Joint) แต่ละด้านของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยมีระยะห่างจากมุมไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของแผ่นพื้น | Concrete |
| 10. | แผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab) | แผ่นพื้นคอนกรีตถูกแบ่งแยกด้วยรอยแตกตามยาว รอยแตกตามขวาง หรือรอยแตกตามแนวทแยงมุม ออกเป็น 4 ส่วนขึ้นไป | Concrete |

รายละเอียดสำหรับชนิดความเสียหาย ประเภทรอยแตก (Crack) แต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างรูปภาพ ประเภทผิวทางที่พบ ลักษณะทางกายภาพ สาเหตุ และการซ่อมบำรุง มีดังต่อไปนี้

1. ผิวแตกลายงาหรือผิวแตกร้าว (Map Cracking or Cracking) แสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดผิวแตกลายงาหรือผิวแตกร้าว
(Map Cracking or Cracking)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: แนวของรอยแตกเส้นบาง ๆ ที่มีความลึกไม่เกินชั้นผิวหน้าของคอนกรีตเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายไปทั่วแผ่นพื้นคอนกรีต จนมีลักษณะคล้ายลายแผนที่หรือผิวแตกลายงา

สาเหตุ: ขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน เช่น การตกแต่งผิวหน้าคอนกรีตมากเกินไป (over finishing) การใช้คอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวสูง (Slump) หรือการใช้เครื่องสั่นสะเทือนกดที่ใดที่หนึ่งนานเกินไป เป็นต้น

การซ่อมบำรุง: ไม่ต้องซ่อมบำรุง

2. รอยแตกกระแทก (Punch-out) แสดงดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดรอยแตกกระแทก (Punch-out)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: มักเกิดระหว่างรอยแตกและรอยต่อของแผ่นพื้นหรือเกิดจากรอยแตก 2 รอยที่มีระยะห่างไม่เกิน 1.50 เมตร

สาเหตุ: แรงกระทำซ้ำจากรถบรรทุกหนักเกินพิกัด ความหนาของแผ่นพื้นไม่เพียงพอ การสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของดินฐานรากหรือการขาดสภาพความแข็งแรงหรือความคงทนของคอนกรีตเฉพาะจุด เช่น การมีโพรงอากาศ คล้ายรังผึ้งในเนื้อคอนกรีต (Honeycombing) เป็นต้น

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ขูดซ่อม, เปลี่ยนแผ่นพื้น

3. รอยแตกเป็นตารางหรือรอยแตกจากการหดตัว (Block Crack or Shrinkage Crack) แสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดรอยแตกเป็นตารางหรือรอยแตกจากการหดตัว (Block Crack or Shrinkage Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกแบ่งแยกผิวทางแอสฟัลต์ออกเป็นช่อง ๆ รูปสี่เหลี่ยมโดยประมาณ มีขนาดตั้งแต่ 0.30 เมตร ถึง 3.00 เมตร

สาเหตุ: การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (ยืดและหดตัว) ของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ บ่อยครั้งการหดตัวของส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์ มีสาเหตุมาจากที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก (Fine Aggregate Asphalt Mix) ผสมยางแอสฟัลต์ที่มีค่าเพนิเตอร์ชันต่ำ (Low Penetration Asphalt) และใช้มวลรวมที่มีการดูดซึ่มสูง

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ฉาบผิว, Surface Recycling

4. รอยแตกสะท้อน (Reflection Crack) แสดงดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างความเสียหายบนผิวทางจราจรชนิดรอยแตกสะท้อน (Reflection Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: เป็นรอยแตกที่อาจจะมีทั้งแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack) รอยแตกตามแนวขวาง (Transverse Crack) แตกตามแนวทแยง (Diagonal Crack) หรือแตกเป็นตาราง (Block Crack)

สาเหตุ: การเคลื่อนตัวทั้งตามแนวนอนและแนวตั้งของวัสดุที่อยู่ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ที่เสริมลงไป การเคลื่อนตัวนี้อาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้นทำให้วัสดุนั้นขยายและหดตัวจนเกิดรอยแตกสะท้อนขึ้นบนผิวทาง

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ขุดซ่อม

5. รอยแตกระหว่างช่องจราจร (Lane Joint Crack) แสดงดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกระหว่างช่องจราจร (Lane Joint Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกระหว่างช่องจราจรกับช่องจราจรที่ติดกัน

สาเหตุ: การก่อสร้างรอยต่อระหว่างช่องจราจรไม่ได้มาตรฐาน

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ชุคซ่อม

6. รอยแตกการขยายคันทาง (Widening Crack) แสดงดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกการขยายคันทาง (Widening Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกตามยาวตรงรอยต่อของคันทางเดิมกับส่วนที่ทำการขยายออกไป

สาเหตุ: การก่อสร้างส่วนขยายโดยไม่มีการทำชั้นบันได (Benching) หรือเกิดจากการเคลื่อนตัวทั้งตามแนวนอนและแนวตั้งของวัสดุชั้นทางเดิมและวัสดุส่วนขยายที่อยู่ใต้ชั้นผิวทางแอสฟัลต์ที่เสริมลงไป เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้น ทำให้วัสดุขยายและหดตัวไม่เท่ากันจนเกิดรอยแตกสะท้อนขึ้น

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ชุดซ่อม

7. รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack) แสดงดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นขนานกับแนวกึ่งกลางของถนน

สาเหตุ: น้ำหนักกระทำซ้ำสูงประกอบกับการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของวัสดุฐานราก และเกิดความเค้นของความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความชื้นในวัสดุใต้แผ่นพื้นคอนกรีตลงไปก็ได้

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ชุุดซ่อม, เปลี่ยนแผ่นพื้น, Sub sealing

8. รอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม (Transverse Crack and Diagonal Crack) แสดงดัง
ภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม (Transverse Crack and Diagonal Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับแนวกึ่งกลางของถนน ส่วนรอยแตกตามแนวทแยงมุมเป็นรอยแตกเป็นเส้นที่เกิดขึ้นในแนวทแยง

สาเหตุ: เกิดจากหนึ่งสาเหตุหรือหลายสาเหตุประกอบกันคือ น้ำหนักกระทำซ้ำสูง ความเค้นของความแตกต่างของอุณหภูมิ หรือความชื้น หรือความเค้นของการหดตัว ในวัสดุได้แผ่นพื้นคอนกรีตลงไป การหดตัวของคอนกรีต แผ่นพื้นยาวเกินไป การตัดรอยต่อตามขวางไม่ทัน ในบางกรณีเกิดจากการทรุดตัวของดินคันทางฐานราก

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ชุตซ่อม, Sub sealing

9. รอยแตกที่มุม (Corner Crack) แสดงดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกที่มุม (Corner Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกที่ตัดผ่านรอยต่อ (Joint) แต่ละด้านของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยมีระยะห่างจากมุมไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของแผ่นพื้น

สาเหตุ: น้ำหนักกระทำซ้ำที่สูงมากจากปริมาณการจราจรที่สูงมาก ประกอบกับ การบดตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือกำลังรับน้ำหนักของฐานรากไม่เพียงพอ หรือการเกิดโพรงช่องว่างใต้แผ่นพื้นคอนกรีตเนื่องจากเกิดการอัดทะลัก (Pumping)

การซ่อมบำรุง: ชุตซ่อม, Sub sealing

10. แผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab) แสดงดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ตัวอย่างความเสียหายชนิดแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: แผ่นพื้นคอนกรีตถูกแบ่งแยกด้วยรอยแตกตามยาว รอยแตกตามขวาง หรือรอยแตกตามแนวทแยงมุมออกเป็น 4 ส่วนขึ้นไป

สาเหตุ: การรับน้ำหนักบรรทุกทุกเกินกำหนด หรือกำลังรับน้ำหนักของแผ่นพื้นไม่เพียงพอ หรือวัสดุฐานรากมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ

การซ่อมบำรุง: เปลี่ยนแผ่นพื้น, Sub sealing

11. ความเสียหายของระบบถ่ายน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint Load Transfer System Deterioration)
แสดงดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างความเสียหายของระบบถ่ายน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint Load Transfer System Deterioration)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกตามขวางที่เกิดขึ้นบริเวณปลายของเหล็กเดือยซึ่งมีระยะห่างจากรอยต่อไม่เกิน 0.30 เมตร

สาเหตุ: ปลายเหล็กเดือยอาจมีลักษณะงุ่มเนื่องจากการตัด เกิดการสีกกร่อนอย่างรุนแรงของเหล็กเดือย การวางเหล็กเดือยไม่ได้ระดับ ตำแหน่ง และระยะห่างที่ถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเดือยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เหมาะสมในถนนที่มีปริมาณการจราจรสูง

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ซ่อมระบบถ่ายน้ำหนัก

12. รอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน (Durability “D” Crack) แสดงดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน (Durability “D” Crack)

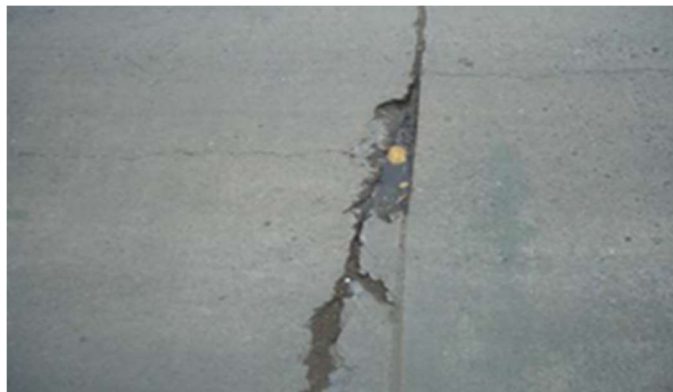
ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตกเส้นบาง ๆ ที่เป็นแนวโค้งหลายแนวขนานกันในบริเวณใกล้เคียงกับแนวรอยต่อ รอยแตก หรือขอบแผ่นพื้น

สาเหตุ: การขยายตัวของวัสดุมวลรวมในแผ่นพื้นคอนกรีต เนื่องจากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุมวลรวมจนส่งผลให้คอนกรีตสูญเสียความทนทานทำให้เกิดรอยแตกขึ้น หรือเกิดจากปฏิกิริยาการแข็งตัว – ละลายตัวของน้ำ (Freeze - Thaw Action)

การซ่อมบำรุง: ชุตซ่อม, เปลี่ยนแผ่นพื้น

13. รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาว หรือรอยแตก (Transverse Joint Spall Longitudinal Joint Spall or Crack Spall) แสดงดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาว หรือรอยแตก (Transverse Joint Spall Longitudinal Joint Spall or Crack Spall)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยแตก หรือรอยแตกหัก หรือแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยจนอาจมีชิ้นส่วนคอนกรีตหลุดร่อน บริเวณแนวขอบแผ่นคอนกรีตไม่เกิน 0.60 เมตรจากรอยต่อหรือรอยแตก

สาเหตุ: น้ำหนักการจราจรกระทำซ้ำมีค่าสูง เกิดร่วมกับ สาเหตุใดสาเหตุหนึ่งดังต่อไปนี้ (เกิดหน่วยแรงที่รอยต่อหรือรอยแตกมากเกินไป ซึ่งมีสาเหตุมาจาก วัสดุที่ไม่ยึดหยุ่นเช่น ดินหรือหิน แทรกตัวเข้าไปบริเวณรอยต่อหรือรอยแตก ทำให้รอยต่อหรือรอยแตกไม่สามารถขยายตัวได้, คอนกรีตขาดความแข็งแรงบริเวณรอยต่อ เช่นมีโพรงอากาศคล้ายรังผึ้งในเนื้อคอนกรีต (Honeycombing) หรือการสร้างรอยต่อโดยใช้ใบมีดตัด หรือฝังโฟมไม่ดีพอ, การออกแบบหรือก่อสร้างระบบถ่ายน้ำหนักไม่ดี (เหล็กเดือยไม่อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมหรือเกิดสนิม, คอนกรีตแตกตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการแข็งตัว-ละลายตัว (Freeze-Thaw Action) ของน้ำ ที่เกิดขึ้นของรอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความคงทน (D Cracking)

การซ่อมบำรุง: ซุดซ่อม, ก่อสร้างใหม่

14. รอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting) แสดงดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting)

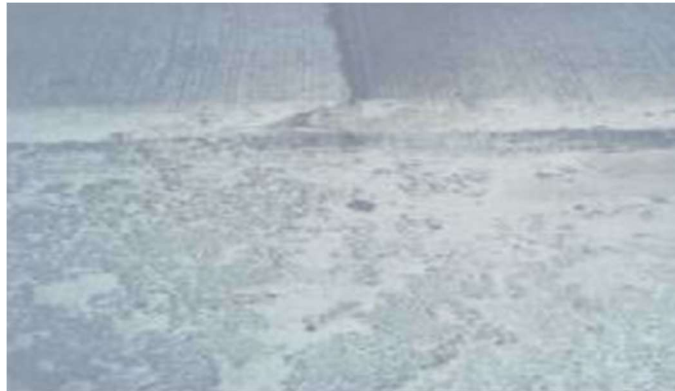
ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: แผ่นพื้นคอนกรีตเกิดการทรุดตัวจนมีระดับต่างกันตามแนวรอยต่อหรือรอยแตก

สาเหตุ: การทรุดตัวของแผ่นพื้นคอนกรีต เนื่องจากวัสดุที่อยู่ใต้แผ่นพื้นในบริเวณใกล้เคียงกับรอยต่อหรือรอยแตกมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอ หรืออาจเกิดจากการอัดทะลัก (Pumping) ซึ่งเป็นการนำพาวัสดุเม็ดละเอียดที่อยู่ใต้แผ่นพื้นออกมาที่น้ำ ขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรวิ่งผ่าน จนเกิดเป็นโพรงภายใต้แผ่นพื้น หรืออาจเกิดจากการอัดทะลักร่วมกับการโค้งงอของแผ่นพื้นอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในบริเวณใกล้เคียงแนวรอยต่อหรือรอยแตก

การซ่อมบำรุง: ขุดไสและเสริมผิว, อุดซ่อม, เปลี่ยนแผ่นพื้น

15. การอัดทะลัก (Pumping) แสดงดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการอัดทะลัก (Pumping)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: มีร่องรอยของวัสดุเม็ดละเอียดกระจายอยู่บนพื้นผิวคอนกรีต

สาเหตุ: การเสื่อมสภาพของวัสดุยาแนวรอยต่อ การแยกตัวของรอยต่อ และการเกิดรอยแตก

จนทำให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านตามแนวรอยต่อหรือรอยแตกที่เสียหาย ลงสู่ชั้นโครงสร้างทางใต้แผ่นพื้นคอนกรีต
เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรวิ่งผ่านทำให้น้ำที่อยู่ใต้แผ่นพื้นถูกอัดให้พุ่งทะลักขึ้นมาตามแนวรอยต่อหรือรอยแตกพร้อมกับนำพาวัสดุเม็ดละเอียด เช่น ทราย ทรายแป้ง หรือดินเหนียว ขึ้นมาด้วย

หากปล่อยทิ้งไว้ไม่ทำการแก้ไขอย่างทันท่วงที จะทำให้วัสดุใต้แผ่นพื้นคอนกรีตค่อย ๆ ถูกนำพาออกไป จนเกิดเป็นโพรงใต้แผ่นพื้น

การซ่อมบำรุง: ซ่อมยาแนวรอยต่อ

2.1.2 หลุม (Hole)

ความเสียหายประเภทหลุม (Hole) ประกอบด้วยชนิดความเสียหายที่มีลักษณะเป็นหลุมหรือบ่อ อาจเกิดได้ทั้งการยุบตัว การรุกรานจากรอยแตกชนิดต่าง ๆ หรือการซ่อมบำรุงที่มีการขุดผิวทาง โดยชนิดความเสียหายประเภทหลุม (Hole) ที่คณะวิจัยได้คัดเลือกมาทั้งหมด 5 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทหลุม

| ลำดับที่ | ชนิดความเสียหาย | ลักษณะทางกายภาพ | ประเภทผิวทางที่พบ |
|----------|--|---|-------------------|
| 1. | การทรุดตัวขุดฝังสาธารณูปโภค (Utility Cut Depression) | เป็นรอยยุบตัวบนผิวทาง | Asphalt |
| 2. | รอยปะซ่อม (Patching) | รอยที่เกิดจากการปะซ่อมหรือการขุดซ่อมผิวจราจรเดิม | Asphalt |
| 3. | ผิวหลุดลอก (Scaling) | วัสดุผิวหน้าของคอนกรีตเกิดการหลุดลอกเป็นแผ่น ลึกประมาณ 3 ถึง 12 มิลลิเมตร | Concrete |
| 4. | รอยแตกเลื่อนไถล (Slippage Crack) | เป็นรอยแตกโค้งครึ่งวงพระจันทร์ มีปลายทั้งสองของรอยแตกชี้เข้าหาทิศทางจราจร | Asphalt |
| 5. | หลุมบ่อ (Potholes) | เป็นแอ่งหรือถ้ำ มีหลายขนาด โดยทั่วไปมีขอบคม และเป็นแนวตรงบริเวณปากหลุม | Asphalt |

รายละเอียดสำหรับชนิดความเสียหาย ประเภทหลุม (Hole) แต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างภาพที่ 2-16 ถึง ภาพที่ 2-20 ประเภทผิวทางที่พบ ลักษณะทางกายภาพ สาเหตุ และการซ่อมบำรุง มีดังต่อไปนี้

1. การทรุดตัวของผิวจราจร (Utility Cut Depression) ดังแสดงในภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการทรุดตัวของผิวจราจร (Utility Cut Depression)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: เป็นรอยยุบตัวบนผิวทาง

สาเหตุ: การทรุดตัวของวัสดุตามแนวฝั่งท่อ บ่อพัก และคอกสะพาน เป็นรอยยุบตัวบนผิวทางในบริเวณที่ ๆ เคยขุดเพื่อซ่อมแซม ฝังกลบและปะซ่อม ที่มีการใช้วัสดุไม่เหมาะสมการบดทับไม่เพียงพอ

การซ่อมบำรุง: ขุดซ่อม, ก่อสร้างใหม่

2. รอยปะซ่อม (Patching) แสดงดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยปะซ่อม (Patching)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: รอยที่เกิดจากการปะซ่อมหรือการชุดซ่อมผิวจราจรเดิม

สาเหตุ: การปะซ่อมหรือการชุดซ่อมผิวจราจรเดิมที่เกิดความเสียหาย โดยการเสริมด้วยวัสดุใหม่ หรือรี้อวัสดุเดิมออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุใหม่ อย่างไรก็ตามรอยปะซ่อมหรือบริเวณใกล้เคียงนี้ มีคุณภาพการใช้งานไม่ดีเท่าผิวจราจรเดิม

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, ชุดซ่อม

3. ผิวหลุดลอก (Scaling) ดังแสดงในภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 ความเสียหายชนิดผิวหลุดลอก (Scaling)

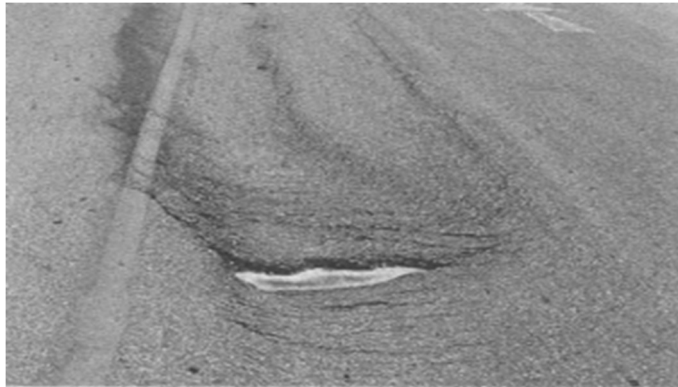
ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: วัสดุผิวหน้าของคอนกรีตเกิดการหลุดลอกเป็นแผ่น ลึกประมาณ 3 ถึง 12 มิลลิเมตร

สาเหตุ: ผิวแตกขยายที่พัฒนาความเสียหายเป็นผิวหลุดลอก การใช้มวลรวมที่ไม่มีคุณภาพ การวางตำแหน่งของเหล็กเสริมอยู่ใกล้พื้นผิวคอนกรีตมาก นอกจากนั้นยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาการแข็งตัว – ละลายตัวของน้ำ (Freeze – Thaw Action) ในภูมิประเทศเขตหนาว

การซ่อมบำรุง: ชุบน้ำซีเมนต์, เปลี่ยนแผ่นพื้น, เสริมผิว

4. รอยแตกเลื่อนไถล (Slippage Crack) ดังแสดงในภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยแตกเลื่อนไถล (Slippage Crack)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: เป็นรอยแตกโค้งครึ่งวงพระจันทร์ มีปลายทั้งสองของรอยแตกชี้เข้าหาทิศทางจราจร

สาเหตุ: การยึดเกาะระหว่างชั้นผิวทางแอสฟัลต์กับชั้นถัดไปไม่ได้มาตรฐาน อาจจะมีฝุ่น น้ำมัน สิ่งสกปรก น้ำ หรือวัสดุอื่นใด ที่ทำให้การยึดเกาะระหว่างสองชั้นไม่ติดแน่น การยึดเกาะไม่ติดแน่นระหว่างชั้นนี้อาจจะมีผลมาจากการไม่ทำ Tack Coat หรือ Prime Coat ประกอบกับการทำผิวทางชั้นบนที่บางไป สาเหตุอีกประการหนึ่งอาจเกิดจากส่วนผสมของผิวทางแอสฟัลต์ที่มีกำลังต่ำ ปริมาณทรายในส่วนผสมมีมากเกินไป หรือมีการบดอัดไม่ดีพอ

การซ่อมบำรุง: ชุดซ่อม

5. หลุมบ่อ (Potholes) ดังแสดงในภาพที่ 2-20



ภาพที่ 2-20 ตัวอย่างความเสียหายชนิดหลุมบ่อ (Potholes)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: เป็นแอ่งหรือถ้ำ มีหลายขนาด โดยทั่วไปมีขอบคมและเป็นแนวตรงบริเวณปากหลุม

สาเหตุ: เกิดจากรอยแตกแห้งจระเข้ การบวมตัว ผิวหลุดร่อน รอยปะซ่อมที่ไม่ได้คุณภาพ ชั้นส่วนที่ไม่ยึดเกาะ เหล่านี้จะหลุดออกไปตามแรงกระทำของล้อรถ วัสดุชั้นทางที่อยู่ใต้ลงไปก็จะหลุดออกตามไปด้วยเกิดเป็นหลุมบ่อที่มีความลึกมากขึ้น

การซ่อมบำรุง: ปะซ่อม, ขุดซ่อม

2.1.3 ผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve)

ความเสียหายประเภทผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve) ประกอบด้วยชนิดความเสียหายที่มีลักษณะเป็นการเว้าหรือนูนบนผิวทาง ส่งผลให้ผิวทางมีระดับที่ไม่เท่ากันหรือไม่สม่ำเสมอ โดยชนิดความเสียหายประเภทผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve) ที่คณะวิจัยได้คัดเลือกมาทั้งหมด 2 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve)

| ลำดับที่ | ชนิดความเสียหาย | ลักษณะทางกายภาพ | ประเภทผิวทางที่พบ |
|----------|--|--|-------------------|
| 1. | การปูดนูน (Shoving) | รายนูนหรือรอยทรุดเป็นแอ่งเฉพาะที่ | Asphalt |
| 2. | รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching) | รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตเกิดความเสียหายมากขึ้น มีร่องรอยของการบิ่นกะเทาะตามขอบของรอยปะจนเกิดการหลุดล่อนของวัสดุปะซ่อมผิวทาง | Concrete |

รายละเอียดสำหรับชนิดความเสียหาย ประเภทผิวทางเว้าหรือนูน (Surface Curve) แต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างรูปภาพ ประเภทผิวทางที่พบ ลักษณะทางกายภาพ สาเหตุ และการซ่อมบำรุง มีดังต่อไปนี้

1. การปูดนูน (Shoving) ดังแสดงในภาพที่ 2-21



ภาพที่ 2-21 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการปูดนูน (Shoving)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: รอยนูนหรือรอยทรุดเป็นแอ่งเฉพาะที่

สาเหตุ: ชั้นผิวทางแอสฟัลต์มีเสถียรภาพ (Stability) น้อยกว่าแรงที่มากระทำ ในภูมิภาคประเทศสภาพอากาศที่ร้อน ซึ่งเนื่องมาจากส่วนผสมของผิวทางแอสฟัลต์มีช่องว่างอากาศ (air void) น้อยเกินไป มียางแอสฟัลต์มากเกินไป ใช้ยางแอสฟัลต์มีค่าเพนิเตอร์ชันสูง (High Penetration Asphalt) มีส่วนละเอียดของมวลรวม (Fine Aggregate) มากเกินไป วัสดุมวลรวมที่ใช้มีเหลี่ยมมุมน้อย หรือมีสิ่งปนเปื้อนในส่วนผสมเป็นต้น

การซ่อมบำรุง: ขุดไสและปะซ่อม, ขุดซ่อม

2. รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching) ดังแสดงในภาพที่ 2-22



ภาพที่ 2-22 ตัวอย่างความเสียหายชนิดรอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching)

ประเภทผิวทางที่พบ: Concrete

ลักษณะทางกายภาพ: รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตเกิดความเสียหายมากขึ้น มีร่องรอยของการบิ่นกะเทาะตามขอบของรอยปะจนเกิดการหลุดล่อนของวัสดุปะซ่อมผิวทาง

สาเหตุ: บริเวณบนพื้นผิวคอนกรีตที่ถูกขูดหรือพื้นผิวเดิมออกบางส่วนหรือทั้งหมด จากนั้นแทนที่บริเวณดังกล่าวด้วยวัสดุปะซ่อม

การซ่อมบำรุง: อุดซ่อม, เปลี่ยนวัสดุปะซ่อม

2.1.4 ไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect)

ความเสียหายประเภทไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect) ประกอบด้วยชนิดความเสียหายที่เกิดบริเวณไหล่ทางหรือขอบผิวทาง โดยชนิดความเสียหายประเภทไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect) ที่คณะวิจัยได้คัดเลือกมาทั้งหมด 2 ชนิด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 สรุปชนิดความเสียหายบนผิวจราจร ประเภทไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect)

| ลำดับที่ | ชนิดความเสียหาย | ลักษณะทางกายภาพ | ประเภทผิวทางที่พบ |
|----------|--|--|-------------------|
| 1. | การปูดนูน (Shoving) | รอยนูนหรือรอยทรุดเป็นแอ่งเฉพาะที่ | Asphalt |
| 2. | รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching) | รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตเกิดความเสียหายมากขึ้น มีร่องรอยของการบิ่นกะเทาะตามขอบของรอยปะจนเกิดการหลุดล่อนของวัสดุปะซ่อมผิวทาง | Concrete |

รายละเอียดสำหรับชนิดความเสียหาย ประเภทไหล่ทางชำรุด (Shoulder Related Deflect) แต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างรูปภาพ ประเภทผิวทางที่พบ ลักษณะทางกายภาพ สาเหตุ และการซ่อมบำรุง มีดังต่อไปนี้

3. ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) ดังแสดงในภาพที่ 2-23



ภาพที่ 2-23 ตัวอย่างความเสียหายชนิดความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: การแตกหรือการบิ่นที่เกิดบริเวณขอบผิวทาง หรือบริเวณรอยต่อของผิวทางและไหล่ทาง

สาเหตุ: การที่ล้อรถวิ่งผ่านทำให้เกิดแรงกระแทกขอบผิวทาง จนบิ่นหรือแตกนั่นเอง มักจะเกิดบริเวณทางที่มีผิวจราจรแคบ หรือทางเชื่อม

การซ่อมบำรุง: ปะซ่อม

4. การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop off) ดังแสดงในภาพที่ 2-24



ภาพที่ 2-24 ตัวอย่างความเสียหายชนิดการทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop off)

ประเภทผิวทางที่พบ: Asphalt

ลักษณะทางกายภาพ: เป็นความแตกต่างของระดับระหว่างขอบผิวทางและไหล่ทาง

สาเหตุ: การบดอัดโครงสร้างทางใต้ไหล่ทางไม่ดีวัสดุชั้นใต้ไหล่ทางไม่แข็งแรง การระบายน้ำที่ผิวของไหล่ทางไม่ดีเกิดน้ำขังและซึมลงไปทำลายโครงสร้างใต้ไหล่ทาง หรือเกิดจากการเสริมผิวทางโดยไม่ทำการเสริมระดับของไหล่ทางตามไปด้วย

การซ่อมบำรุง: ปรับระดับและเสริมไหล่ทาง

2.2 กลุ่มสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายบนผิวทางจราจร

ชนิดความเสียหายบนผิวทางแต่ละชนิดนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากสาเหตุเดียวหรือหลายสาเหตุ สาเหตุเดียวกันอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายได้หลายชนิด และอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดสาเหตุถัดไปตามมาทางคณะวิจัยเล็งเห็นว่าการตรวจสอบข้อมูลสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อการซ่อมบำรุงอย่างถูกวิธี ถูกต้องตามเวลา ทำให้สภาพทางไม่เสื่อมเร็ว ไม่เกิดปัญหาลูกกลาม ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการซ่อมใหม่ และประหยัดค่าใช้จ่ายในกรณีปล่อยให้ลูกกลามจนเป็นความเสียหายที่ใหญ่ขึ้น โดยคณะวิจัยได้คัดเลือกชนิดของสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายเป็น 28 สาเหตุ และแบ่งประเภทของสาเหตุเป็น 6 ประเภทหลัก ได้แก่

1. การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน
2. วัสดุก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน
3. สิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต
4. การซ่อมบำรุงไม่เรียบร้อย
5. มีน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ หรือกระทำมากเกินไป
6. ลูกกลามมาจากความเสียหายชนิดอื่น ๆ

2.2.1 การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน

การก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน อาทิเช่น การบดอัดโครงสร้างทางใต้ไหล่ทางไม่ดี การวางเหล็กเดือยไม่ได้มาตรฐาน การทำผิวทางชั้นบนที่บางไป ส่งผลให้โครงสร้างของชั้นทางมีคุณภาพที่ไม่ดีพอต่อการใช้งานจริง และเป็นสาเหตุของความเสียหายชนิดต่าง ๆ ต่อไป ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|--|---|
| 1. | การใช้มวลรวมขนาดเล็ก (Fine Aggregate Asphalt Mix) ผสมยางแอสฟัลต์ที่มีค่าเพนิเตอร์ชันต่ำ (Low Penetration Asphalt) และใช้มวลรวมที่มีการดูดซึ่มสูง | รอยแตกเป็นตาราง |
| 2. | การไม่ทำ Tack Coat หรือ Prime Coat | รอยแตกเลื่อนไถล |
| 3. | การทำผิวทางชั้นบนที่บางไป | รอยแตกเลื่อนไถล, รอยแตกหนังจระเข้ |
| 4. | การใช้ส่วนผสมของผิวทางแอสฟัลต์ที่มีกำลังต่ำ | รอยแตกเลื่อนไถล, การปูดนูน |
| 5. | การบดอัดตัวถนนไม่ดีพอ | รอยแตกเลื่อนไถล, การหลุดล่อน, การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง |
| 6. | ชั้นผิวทางแอสฟัลต์มีเสถียรภาพ (Stability) ต่ำ | ผิวขรุขระเป็นลูกคลื่นคล้ายลูกกระนวด, การปูดนูน |
| 7. | ยางแอสฟัลต์มีค่าเพนิเตอร์ชันสูง (High Penetration Asphalt) มีส่วนละเอียดของมวลรวม (Fine Aggregate) มากเกินไป | ผิวขรุขระเป็นลูกคลื่นคล้ายลูกกระนวด, การปูดนูน |
| 8. | ยางแอสฟัลต์ในส่วนผสมเกินมากไป | ผิวขรุขระเป็นลูกคลื่นคล้ายลูกกระนวด, การปูดนูน |
| 9. | การวางเหล็กเดือยไม่ได้มาตรฐาน | ความเสียหายของระบบถ่ายน้ำหน้าบริเวณรอยต่อ, รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาวหรือรอยแตก |
| 10. | ความหนาของแผ่นพื้นไม่เพียงพอ | รอยแตกกระแทก |

2.2.2 วัสดุสร้างไม่ได้มาตรฐาน

การเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน อาทิเช่น ใช้วัสดุมวลรวมสกปรกหรือไม่ยัดเกาะ วัสดุชั้นใต้ไหล่ทางไม่แข็งแรง ส่งผลให้โครงสร้างของชั้นทางมีคุณภาพที่ไม่ดีพอต่อการใช้งานจริง และเป็นสาเหตุของความเสียหายชนิดต่าง ๆ ต่อไป ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทวัสดุก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|------------------------------------|--|
| 1. | วัสดุมวลรวมสกปรกหรือไม่ยัดเกาะ | การหลุดล่อน |
| 2. | วัสดุฐานรากมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ | แผ่นพื้นถูกแบ่งแยก, รอยเลื่อนต่างระดับ |
| 3. | การใช้มวลรวมที่ไม่มีคุณภาพ | ผิวหลุดลอก |
| 4. | วัสดุชั้นใต้ไหล่ทางไม่แข็งแรง | การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง |

2.2.3 สิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต

ผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลเสียต่อชั้นทาง อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้น วัสดุที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Incompressible Material) อุดตันอยู่ตามแนวรอยต่อหรือรอยแตก เป็นสาเหตุของความเสียหายชนิดต่าง ๆ ต่อไป แสดงดังภาพที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|---|--|
| 1. | วัสดุที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Incompressible Material) อุดตันอยู่ตามแนวรอยต่อหรือรอยแตก | รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาวหรือรอยแตก |
| 2. | การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ | รอยแตกสะท้อน, รอยแตกการขยายคั่นทาง, รอยแตกที่มุม, รอยเลื่อนต่างระดับ |

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|---|--|
| 3. | การเปลี่ยนแปลงความชื้น | รอยแตกสะท้อน, รอยแตกการขยายคันทาง, รอยเลื่อนต่างระดับ |
| 4. | ปฏิกิริยาการแข็งตัว – ละลายตัวของน้ำ (Freeze - Thaw Action) | รอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน, รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาวหรือรอยแตก, ผิวหลุดลอก |
| 5. | ปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุมวลรวม | รอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน |

2.2.4 การซ่อมบำรุงไม่เรียบร้อย

การซ่อมบำรุงผิวทาง โครงสร้างชั้นทาง หรือสาธารณูปโภค ภายใต้ชั้นผิวทาง ซึ่งมีการจัดการที่ไม่เรียบร้อย ส่งผลให้เกิดความเสียหายชนิดต่าง ๆ หรือเป็นสาเหตุของความเสียหายชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทการซ่อมบำรุงไม่เรียบร้อย

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|---|---------------------|
| 1. | การปะซ่อมหรือการขุดซ่อมผิวจราจรเดิมที่เกิดความเสียหายไม่เรียบร้อย | รอยปะซ่อม, หลุมบ่อ |
| 2. | พื้นผิวคอนกรีตที่ถูกขุดหรือพื้นผิวเดิมออกจากรั้วแทนที่บริเวณดังกล่าวด้วยวัสดุปะซ่อม | รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต |

2.2.5 มีน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ หรือมากเกินไป

การใช้งานการจราจรที่มีน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ หรือใช้น้ำหนักที่มากเกินไปกำหนด ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทมีน้ำหนักระทำซ้ำ ๆ หรือกระทำมากเกินไป

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|--|--|
| 1 | การรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำหนด | แผ่นพื้นถูกแบ่งแยก |
| 2 | น้ำหนักระทำซ้ำสูง | รอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม, รอยแตกที่มุม , รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาวหรือรอยแตก, รอยแตกตามยาว |
| 3 | การที่ล้อรถวิ่งผ่านทำให้เกิดแรงกระแทกขอบผิวทาง | ความเสียหายตามขอบ |
| 4 | การจราจรผ่านโพรงช่องว่างใต้แผ่นพื้นคอนกรีตเนื่องจากการอัดทะลัก (Pumping) | รอยแตกที่มุม, การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง |

2.2.6 ประเภทลูกกลมจากความเสียหายชนิดอื่น ๆ

ความเสียหายยางชนิดสามารถเกิดจากการลูกกลมของความเสียหายชนิดอื่น ๆ อาทิเช่น ผิวหลุดลอกหรือเกิดโพรงเล็ก ๆ และมีการจราจรกระทำซ้ำ ๆ จนลูกกลมเป็นความเสียหายชนิดอื่นตามมา แสดงดังตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 สรุปสาเหตุของความเสียหายบนผิวทางจราจร ประเภทลูกกลมมาจากความเสียหายชนิดอื่น ๆ

| ลำดับที่ | สาเหตุ | ความเสียหายที่พบ |
|----------|--|-------------------------------------|
| 1. | การแยกตัวของรอยต่อ | การอัดทะลัก (Pumping) |
| 2. | การเสื่อมสภาพของวัสดุยาแนวรอยต่อ | การอัดทะลัก |
| 3. | การลูกกลมของความเสียหายต่าง ๆ เช่น รอยแตกหนึ่งจระเข้ การบวมตัว | ผิวหลุดลอก และพัฒนาเป็นหลุมบ่อต่อไป |

บทที่ 3 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเทคโนโลยีที่จำเป็น

3.1 การตรวจจับวัตถุ หรือเงื่อนไขบนถนน

การศึกษาเรื่องเกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ บนถนน โดยใช้กระบวนการจัดการภาพ (image processing) มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย เช่น การตรวจจับช่องจราจร การตรวจจับป้ายจราจร การตรวจจับหลุม เนิน จากพื้นผิวถนน เป็นต้น ซึ่งล้วนมีประโยชน์ต่อผู้ใช้ถนนในแง่ของความปลอดภัยทั้งสิ้น งานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับหลุม รอยแยก และลูกกระขนาดบนถนน ดังแสดงในภาพที่ 3-1 มีการใช้กระบวนการจัดการภาพ โดย Sorandaru และ Stanciu [2] ได้ใช้ Brightness Uniformization Algorithm และ Thresholding ซึ่งมีการแบ่งภาพเป็น 8*8 พิกเซล จากนั้นแต่ละภาพ (Window) ที่แบ่งแล้วจำถูกนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่า Threshold ที่ตั้งไว้ โดยมี 2 ค่า คือ ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ซึ่ง Window ที่มีค่าอยู่นอก Threshold ก็จะถูกตัดทิ้ง



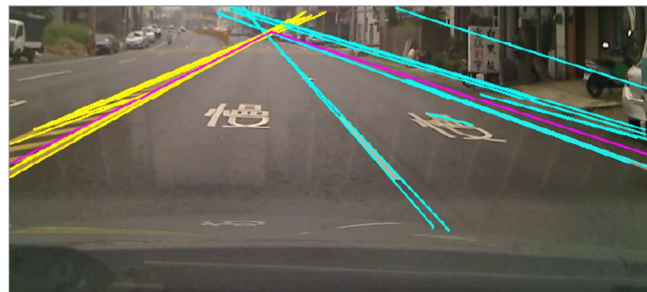
ภาพที่ 3-1 ตัวอย่างหลุม รอยแยก และลูกกระขนาดบนถนน [2]

Kwang และคณะ [15] ได้ทำการเปรียบเทียบสี่ตัวจำแนก (model) เพื่อตรวจจับหลุมบนถนนจากภาพโดยได้จาก Deep Learning คือ Inception_v4, Inception_ResNet_v2, ResNet_v2_152 และ MobileNet_v1 ซึ่งมีค่าความแม่นยำ 96.5 - 97.5% ตัวอย่างการตรวจจับพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest) บนถนนแสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ตัวอย่างการตรวจจับพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest) [15]

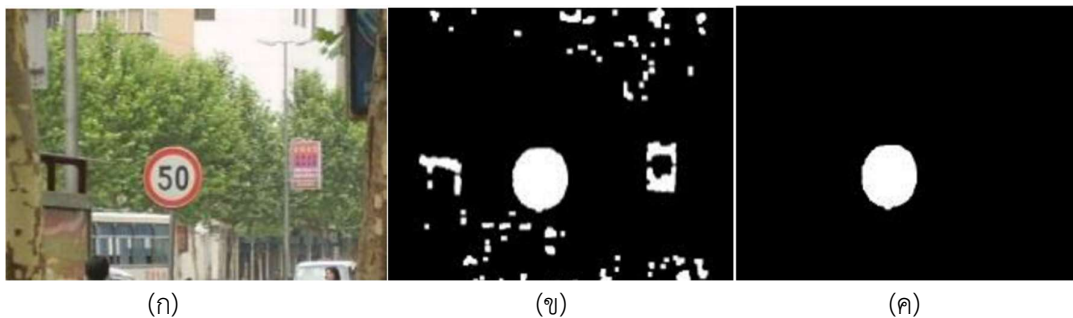
Shao-Peng Lu and Min-Te Sun [7] ได้เสนอการตรวจจับเส้น และการระบุระยะห่างระหว่างรถ โดยใช้ Hough Transform มีการใช้ Gaussian filter เพื่อตัด Noise และ Canny Edge Detection ตรวจจับเส้น ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 3-3 ใช้ Distance Conversion ในการแปลงระยะทางระหว่างยานพาหนะ และ Haar Feature-Based Cascade Classifier ถูกนำมาใช้ในการตรวจจับรถ ซึ่งค่าความแม่นยำที่ได้มากกว่า 95% เมื่อรถทั้งสองคันอยู่ห่างกันไม่เกิน 20 เมตร นอกจากนี้ Huifeng Wang และคณะ [11] ได้ใช้ Hough Transform เพื่อตรวจจับทางตรง และใช้ Curve Fitting Method เพื่อตรวจจับทางโค้ง ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำ 92-93% Shuo Gu และคณะ [10] ใช้ความหลากหลาย ทางเรขาคณิตของข้อมูล 3D LiDAR ตรวจจับถนน แล้วใช้วิธีการทาง Image Processing คือ Histograms เพื่อประมาณการถนน และใช้การสแกนแถว และคอลัมน์



ภาพที่ 3-3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ Hough Transform จับเส้นตรงบนถนน [7]

Hernandez และคณะ [14] ได้เสนอวิธีการตรวจสอบว่าจากภาพมีถนนหรือไม่ วิธีการเริ่มจากลบ Noise โดยใช้ Morphological filter แล้วจับเส้นขอบด้วย Canny Edge Detection จากนั้นแยกส่วนที่เป็นถนนกับขอบถนนที่เป็น สีเดียวกันด้วย Texture Line Detector และแยกส่วนที่เป็นถนนกับส่วนที่ไม่ใช่ถนน เช่น หญ้า ด้วย Color-Based Road Detector ส่วนของการจับขอบถนนนั้นมิงงานวิจัยของ Wang และคณะ [23] ที่ทำการตรวจจับขอบถนนในทุกสภาพอากาศ และความสว่าง โดยโมเดลที่ใช้มี SegNet, Attribute aware, Bayesian SegNet และ PSPNet โดยผลลัพธ์ได้ว่า สภาพอากาศดี มีแสง มีเมฆ ประมาณ 90% สภาพอากาศไม่ดี ราว 78% ส่วน Mehrez และคณะ [17] ได้เสนอการตรวจจับช่องจราจร ซึ่ง Pre-Processing มีการใช้ Smoothing and Edge Detection ส่วน Kalman filter และ Progressive Probabilistic Hough Transform (PPHT) ใช้ในการตรวจจับ และลบเส้นตรง (ขอบฟ้า) ในภาพ ผลลัพธ์ที่ได้ 93.82%

Kaur และคณะ [22] ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการเพิ่มความคมชัด ของภาพ (Enhance) ที่มีหมอกด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ Dark Channel Prior, Histogram Equalization, Brightness Preserving Bi Histogramequalization, Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization (RSWHE) + Gamma Correction ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า RSWHE ใช้คู่กับ Gamma Correction ให้ผลดีที่สุด ในส่วนของ การตรวจจับป้ายจราจรนั้น มีการนำเสนอโดย Zhao และคณะ [18] โดยกระบวนการ Pre-Processing ใช้ Image Reduction, Brightness Adjustment, Filtering จากนั้น Segmentation โดยใช้ Means of Area Filtering และ Morphological Processing Based on Color and Shape Features ส่วน Feature Extraction ใช้ Linear Kernel Function และ ใช้ SVM สร้าง Classifier Based on One-to-One Classification Algorithm และ HOG area block ถูกใช้เพื่อระบุส่วนที่เหมาะสม ตัวอย่างการตรวจจับป้ายจราจรแสดงดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 ภาพก่อนการทำ Area Filling (ก) หลังจากทำ Area Filling (ข) และ Area Filling (ค) [18]

การตรวจจับและติดตามยานพาหนะทั้งทางบกและทางอากาศ จากภาพที่บันทึกเป็นวิดีโอ มีการนำ Machine Learning และ Deep Learning เข้ามาใช้ ไม่ว่าจะเป็น Background Substraction, SVM,

Decision Tree, Neural Network, Deep Convolutional Neural Network (DCNN), Google Tensorflow Object Detection (GTOD) API [1,3,14,20] Dey, M. R. และคณะ ใช้ 3 Feature Selection Algorithm คือ Ranker algorithm, GreedyStepWise และ BestFirst และมีการใช้ MagTrack ในการสร้างโมเดล ในงานวิจัยนี้แบ่งถนนออกเป็น 5 ประเภทคือ ถนนเรียบ ถนนที่ไม่เรียบ หลุมบ่อ เนินชะลอความเร็ว และลูกระนาด ตัวอย่างภาพที่นำมาเทรนข้อมูลแสดงดังภาพที่ 3-5 [4,5,12] ส่วน Basavaraju และคณะ [3] ทำการทดสอบคุณลักษณะ (Feature) ที่ได้จากทิศทางในการเคลื่อนที่ของรถ 1 แกนกับ 3 แกน และได้เสนอ SVM, Decision Tree และ Neural Network ร่วมกับวิธีการ ทางการจัดการภาพ คือ Labelling, Filtering และ Feature Extraction นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ ยังมีการนำ Deep Neural Networks มาใช้ในการ Classify ถนนด้วย โดยทดสอบกับรถ 3 รุ่น 3 ประเภท คือ Ford Focus Sedan, Ford Focus Hatchback และ Subaru Outback SUV ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกวิดีโอคือ ไอโฟน 6 นอกจากนี้ Wiratmoko และคณะ [9] ได้ทำการตรวจจับหลุมบนถนน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และมีความลึก 5 เซนติเมตร มีการใช้การตัด (wrapping) และครอบตัด (cropping) เพื่อโฟกัสวัตถุ รวมถึงใช้ Convolutional Neural Network (CNN) base on LeNet5 ซึ่งให้ความแม่นยำ 92.8%



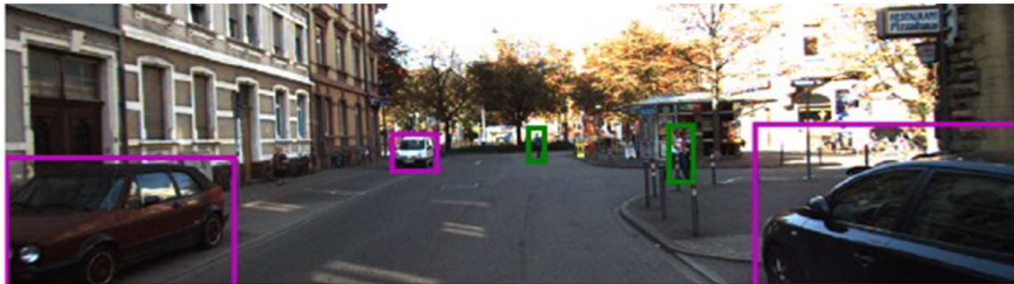
ภาพที่ 3-5 ตัวอย่างภาพรถที่ใช้เทรนข้อมูล [5]

Juntao และคณะ [13] ทำการตรวจจับน้ำบนถนนจากภาพที่จับได้จากวิดีโอ ซึ่งการเลือก ภาพจากวิดีโอ นั้นมีการ เลือก 7 เฟรมก่อนหน้าเฟรมที่ เจอน้ำมาใช้ด้วย งานนี้มีการใช้โมเดล T3D-FCN ที่พัฒนามาจาก C3D และ FCN โดยมีการเพิ่ม temporal pooling เข้าไประหว่างเฟรม เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการตรวจจับ

น้ำ โดยผลการทดลอง ให้ค่า Precision สูงสุดเท่ากับ 0.79 นอกจากนี้ Zohaib และคณะ [6] มีการนำเสนอ งานวิจัย ที่ตรวจจับช่องจราจร และคันหาระยะห่าง ระหว่างเส้นเลน กับสิ่งที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ในงานนี้ ยกตัวอย่างระยะห่างระหว่างเส้นเลนด้านซ้าย กับป้ายจำกัดความเร็ว โดยใช้ Novel Deep Learning Kim และคณะ [19] ได้เสนอการตรวจจับวัตถุบนถนน ระบุชนิดของวัตถุ เช่น Van, Car, Cyclist เป็นต้น โดยใช้ Deep Learning มีการใช้ Fine-Tuned Single Shot Multibox Detector และใช้ SSD ซึ่ง Based on Deep Neural Network โดยมีการปรับแต่ง SSD model โดยการเพิ่มภาพที่ใช้ Train เข้าไปในชุดข้อมูลที่ ใช้ในงานวิจัยเดิม ซึ่งใช้ YOLO และ Benchmark SSD ทำให้ความแม่นยำมากขึ้น ผลลัพธ์แสดงดังภาพที่ 3-6



(ก)



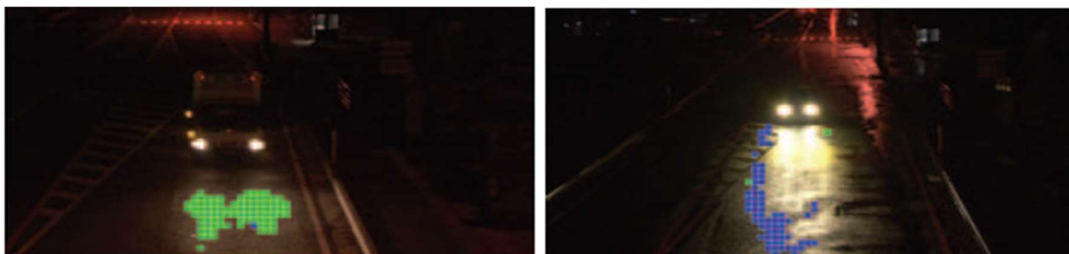
(ข)



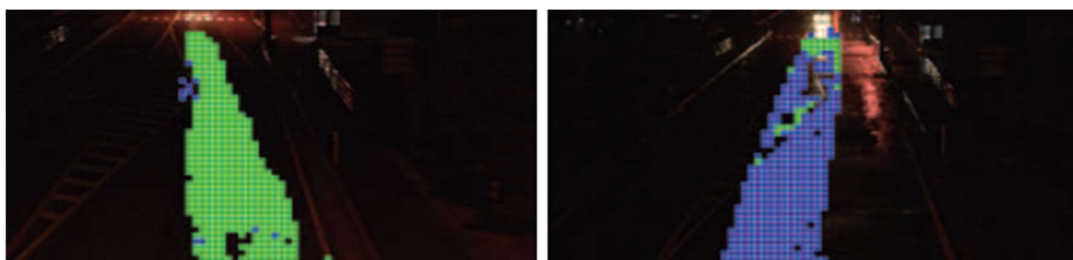
(ค)

ภาพที่ 3-6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ (ก) YOLO, (ข) Benchmark SSD และ (ค) Fine-Tuned SSD ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเสนอใหม่ [19]

นอกจากงานวิจัยด้านการตรวจจับยานพาหนะแล้ว ยังมีการวิเคราะห์การจราจรบนถนน โดย Arinaldi และคณะ [16] มีการสร้างตัวจำแนก 2 ส่วน แล้วมาเปรียบเทียบกัน คือ MoG + SVM และ Faster RCNN ซึ่ง SVM ใช้ Linear SVM และ Radial Basis Function SVM (RBF-SVM) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า MoG + SVM ไม่เหมาะที่จะวิเคราะห์ วิดีโอเกี่ยวกับจราจรในสภาพแวดล้อมจริง ส่วน Faster RCNN มีประสิทธิภาพเหนือกว่าในการตรวจจับยานพาหนะ โดยเฉพาะ ในเวลากลางคืน นอกจากนี้ Kulkarni และคณะ [21] เสนอการตรวจจับสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ Deep Learning จากภาพ และวิดีโอจากภาพถ่ายตอนกลางวัน โดยใช้ RCNN Inception V2 Chen และคณะ [24] เสนอการทำนายเส้นทางการขับขี่ และระยะทางที่ปลอดภัยที่สุด ของรถบัสคันข้างหน้า เพื่อเลี่ยงการชน โดยใช้ Canny edge (2-d Gaussian function ถูกใช้ในการกรอง Noise) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์ของเวลาและความเร็วบัสก่อนการชน และในกรณีที่ถนนตัดกัน มีการใช้ Pixel Value ด้วย สุดท้าย Horita และคณะ [25] ทำการวิเคราะห์สภาพพื้นถนน ส่วนที่เปียกและแห้งจากวิดีโอ โดยภาพมาจาก Video Camera (SONY HDR-FX7, 1280 * 720 pixels) เริ่มจากประเมินแนวถนน โดยจับแนวช่องจราจรจากไฟหน้ารถ ที่เปิดในเวลากลางคืน จากนั้นจับขอบของแนวถนนทั้งสองข้างโดยพิจารณาวัฏจักร (Circularity), จุดศูนย์กลางในพื้นที่ (Center of Gravity in The Area) และพื้นที่ที่มีความสว่างสูง (Area of High Luminance) แล้วจึงประเมิน การเคลื่อนที่ของไฟหน้าโดยใช้ Cubic Polynomial Expression โดยใช้ Least Squares Method แล้วโฟกัสที่พื้นที่ ระหว่างจุดสองจุดที่จับได้เป็นพื้นถนน ซึ่งสามารถจับส่วนที่เปียกได้ 73% และส่วนที่แห้ง 74% ภาพที่ 3-7 และ ภาพที่ 3-8 แสดงผลลัพธ์ที่ได้ในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3-7 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นถนนที่แห้ง (สีเขียว) และเปียก (สีน้ำเงิน) จากหนึ่งเฟรม



ภาพที่ 3-8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นถนนที่แห้ง (สีเขียว) และเปียก (สีน้ำเงิน)

จากทุกเฟรมดังที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า งานวิจัยเกี่ยวกับถนนและส่วนที่เกี่ยวข้อง ที่มีการใช้ Machine Learning และ Deep Learning มีความหลากหลาย และมีการใช้เทคนิคทางกระบวนการจัดการภาพด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดทำตาราง เปรียบเทียบทั้งหมดไว้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 3-1 และหัวข้อถัดไป จะอธิบายถึงรายละเอียดของกระบวนการต่าง ๆ ในกระบวนการจัดการภาพ

ตารางที่ 3-1 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่ศึกษา

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|---|---------------------------------------|---|-----------|------------------------|--------|
| Video Based Vehicle Counting Using Deep Learning Algorithms [1] | Mirthubashini J. and Santhi V. (2020) | เปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำ Vehicle detection , Vehicle Tracking , Algorithm ที่ใช้ในการ generate model | All Frame | Background Subtraction | 94% |
| Urban Traffic Density Estimation Based on Ultrahigh-Resolution UAV Video and Deep Neural Network. [5] | Zhu, J., et al. (2018) | ตรวจจับยานพาหนะทางอากาศ จากวิดีโอ โดยมี Frames Resolution = 3840*2178 ใช้ Singleshot Multibox Detector(SSD) ในการ Detect ใช้ Kalman Filter Algorithm ในการ Track | All Frame | ResNet | 93.7% |
| MagTrack: Detecting Road Surface Condition using Smartphone Sensors and Machine Learning [4] | Dey, M. R., et al. (2019) | MagTrack ซึ่งมีการใช้ 3 Feature Selection Algorithm คือ Ranker Algorithm, GreedyStepWise และ BestFirst ใช้ MagTrack ในการสร้างโมเดล HW Redmi note 5 Road type 5 แบบ คือ 1. ถนนเรียบ (Smooth Roads) | - | MagTrack | 92% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|---|-------------------------------|--|-------|--|-----------------------------------|
| | | 2. ถนนที่ไม่เรียบ (Uneven Roads) 3. หลุมบ่อ (Potholes) 4. เนินชะลอความเร็ว (Speed Breakers) 5. ลูกระนาด (Rumble Strips) | | | |
| A Machine Learning Approach to Road Surface Anomaly Assessment using Smartphone Sensors [3] | Basavaraju, A., et al. (2019) | ทดสอบ Feature ที่ได้จาก 1 แกนกับ 3 แกน มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Machine Learning ที่ใช้ในการจัดกลุ่มของถนน และมีการประเมินประสิทธิภาพของ Deep Neural networks ที่ใช้ในการ Classify ถนน HW- iPhone6 ใช้รถ 3 รุ่น 3 ประเภท คือ Ford Focus sedan, Ford Focus hatchback และ Subaru Outback SUV SW- Vibration Recorder, DJI Osmo ใช้บันทึกวิดีโอ Road type 3 แบบ คือ 1. ถนนเรียบ (Smooth Roads) 2. หลุมบ่อ (Potholes) | - | Pre-processing มี Labelling, Filtering และ Feature Extraction Machine Learning มี SVM, Decision Tree และ Neural Network | แบบ 3 แกน ให้ผลออกมาแม่นยำกว่า |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|----------------------------|--|-----------|---|--|
| | | 3. deep transverse cracks | | | |
| Detecting Road Irregularities by Image Enhancements and Thresholding [2] | Ciprian, S., et al. (2019) | ศึกษากระบวนการทาง Image Processing ที่ใช้ในการตรวจจับหลุม รอยแยกบนถนน และลูกระนาด | All Frame | brightness uniformization algorithm + thresholdin | งานยังไม่เสร็จ |
| A Convolutional Neural Network based Deep Learning Technique for Identifying Road Attributes [6] | Jan, Z., et al. (2018) | ตรวจจับช่องจราจร และคันหนาระยะห่างระหว่างเส้นเลนกับสิ่งที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ในงานนี้ยกตัวอย่าง ระยะห่างระหว่างเส้นเลนด้านซ้ายกับป้ายจำกัดความเร็ว มีการแบ่ง object ออกเป็น 10 ประเภทคือ Speed limits, Median type , Centreline rumble strips ,Shoulder rumble strips, Dangerous roadside objects (left and right sides), Distance to dangerous roadside objects (left and right sides) , Paved shoulder width (left and right side) | All Frame | Novel deep learning | จับได้ถูกต้อง 254 object / จับผิด 5 object |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|---------------------------------|---|-------|---------------------------------------|---------------|
| | | Delineation, Number of lanes, Lane width. | | | |
| Detecting Road Conditions in Front of The Vehicle Using Off-The-Shelf Camera [7] | Lu, S.-P. and Sun, M.-T. (2019) | ตรวจจับเส้นโค้งโดยใช้ Hough Transform มีการใช้ Gaussian filter เพื่อตัด noise และ edge canny detection ตรวจจับเส้น Haar Feature-Based Cascade Classifier ถูกนำมาใช้ในการตรวจจับรถ | - | Haar feature-based cascade classifier | More than 95% |
| A 3-D Real-Time Road Edge Detection System for Automated Smart Car Control [8] | Jing Li., et al. (n.d.) | ระบบตรวจจับเส้นถนน แบบ 3D บนพื้นฐานของ Frequency-Modulated Continuous-Wave (FMCW) Radars. โดยใช้ข้อมูลเดิมที่มีอยู่ตอนทำ 2D แล้วทำให้เป็น 3D โดยใช้โปรแกรมช่วย โดยการทำให้เป็น 3D เพื่อตรวจจับขอบถนนที่อยู่ด้านหน้า | - | - | - |
| Design of Potholes Detection as Road's Feasibility Data Information Using | Wiratmoko, A. D., et al. (2019) | ตรวจจับว่ามีหลุมบนถนนหรือไม่ โดยหลุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ซม. และมีความลึกประมาณ 5 ซม. | - | CNN base on LeNet5 | 92.8% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|----------------------------|---|-------|---------------|--|
| Convolutional Neural Network (CNN) [9] | | มีการใช้ วิธีการตัด (Wrapping) และครอบตัด (Cropping) เพื่อโฟกัสวัตถุ ใช้กล้อง USB Webcam Logitech C525 | | | |
| Histograms of the Normalized Inverse Depth and Line Scanning for Urban Road Detection [10] | Gu, S., et al. (2018) | ใช้ความหลากหลายทางเรขาคณิตของข้อมูล 3D LiDAR ตรวจสอบถนน แล้วใช้วิธีการทาง Image Processing คือ Histograms เพื่อประมาณการถนน และใช้ การสแกนแถว และคอลัมน์ เพื่อตรวจสอบถนน Resolution ขนาด 1242x375 | - | - | มีการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการของงานนี้ให้ผลลัพธ์ออกมาดีกว่าในบางพารามิเตอร์ (ดูตารางใน Paper) |
| Lane Detection of Curving Road for Structural Highway With Straight-Curve Model on Vision [11] | Huifeng ,W., et al. (2019) | ตรวจหาเลนโค้งบนทางหลวง สมการทางคณิตศาสตร์ของ Straight Model ได้มาจากการใช้ Hough Transform สมการของ Curve Model มีการใช้ Curve Fitting Method | - | - | 92-93% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|---|--|--|-----------|---|-------------------------------|
| Path Hole Detection to Assist the Visually Impaired People in Navigation [12] | Md. Milon Islam and Muhammad Sheikh Sadi. (2018) | ตรวจจับหลุมและบ่อ เพื่ออำนวยความสะดวก สะดวกผู้พิการทางสายตา <u>Road type</u> บนถนนมีหลุมหรือไม่มีหลุม | - | CNN | 97.12% |
| Temporal 3D fully connected network for water-hazard detection [13] | Li, J., Nguyen, C., and You, S. (2019) | ตรวจจับน้ำบนถนน โดยใช้โมเดลจาก T3D-FCN ซึ่งพัฒนามาจาก C3D และ FCN, มีการเพิ่ม Temporal Pooling เข้าไประหว่างเฟรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับน้ำ ถ้าเจอน้ำในเฟรมไหน จะเลือก 7 เฟรมก่อนหน้ามาด้วย | 8 เฟรม*** | new temporal 3D fully convolutional network (T3D-FCN) | ค่า precision สูงสุด คือ 0.79 |
| Vision-Based Road Boundary Tracking System for Unstructured Roads [14] | Hernandez, D. E., et al. (2017) | ตรวจจับว่าในภาพมีถนนหรือไม่ ลบ Noise โดยใช้ Morphological Filter จับเส้นขอบด้วย Canny Edge Detection แยกส่วนที่เป็นถนนกับขอบถนนที่เป็นสีเดียวกันด้วย Texture Line Detector แยกส่วนที่เป็นถนนกับส่วนที่ไม่ใช่ถนน เช่น หญ้า ด้วย Color-Based Road Detector | - | - | 94% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|-----------------------------|--|------------|--|--|
| Detecting a pothole using Deep Convolutional Neural Network models for an adaptive shock observing in a vehicle driving [15] | An, K. E., et al. (2018) | ตรวจจ็บรอยแยก หลุมบนถนนด้วย DCNN โดยใช้มือถือ เปรียบเทียบสี่ตัวจำแนก (Model) เพื่อตรวจจ็บหลุมบนถนนจากภาพ โดยได้จาก Deep Learning คือ Inception_v4, Inception_ResNet_v2, ResNet_v2_152 และ MobileNet_v1 | All Frames | deep convolutional neural network (DCNN) | 96.5~97.5% |
| Detection and classification of vehicles for traffic video analytics [16] | Arinaldi, A., et al. (2018) | วิเคราะห์การจราจรบนถนน โดยมีการสร้างโมเดล 2 ส่วน แล้วมาเปรียบเทียบกัน คือ MoG + SVM Faster RCNN SVM ใช้ Linear SVM และ radial basis function SVM (RBF-SVM) Faster RCNN มีประสิทธิภาพเหนือกว่า ในการตรวจจ็บยานพาหนะ โดยเฉพาะใน กลางคืน | - | Faster RCNN | ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า MoG + SVM ไม่เหมาะที่จะวิเคราะห์วิดีโอเกี่ยวกับจราจรในสภาพแวดล้อมจริง Faster RCNN มีประสิทธิภาพเหนือกว่า ในการ |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|---------------------------|--|-------|---------------|--|
| | | | | | ตรวจจับ ยานพาหนะ โดยเฉพาะใน กลางคืน |
| A Lane Tracking Method Based on Progressive Probabilistic Hough Transform [17] | MEHREZ, M., et al. (2020) | ตรวจจับช่องจราจร pre-processing ใช้ smoothing and edge detection Kalman filter และ Progressive Probabilistic Hough Transform (PPHT) ใช้ในการ detect และลบเส้นตรง (ขอบฟ้า) ในภาพ กล้องติดที่กระจกหน้ารถ | - | PPHT | 93.82% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|---|----------------------------|---|-------|----------------|--|
| Research on Road Traffic Sign Recognition Based on Video Image [18] | Zhao, J. D., et al. (2017) | <p>ตรวจจับป้ายจราจร เริ่มจาก pre-processing โดยใช้ image reduction, brightness adjustment, filtering</p> <p>จากนั้น segmentation โดยใช้ means of area filtering และ morphological processing based on color and shape features</p> <p>feature extraction ใช้ Linear kernel function และ ใช้ SVM สร้าง classifier based on one-to-one classification algorithm</p> <p>HOG area block ถูกใช้เพื่อระบุส่วนที่เหมาะสม</p> | - | SVM classifier | - |
| On-road object detection using Deep Neural Network [19] | Kim, H., et al. (2016) | <p>ตรวจจับวัตถุบนถนน ระบุชนิดของวัตถุ เช่น Van Car Cyclist เป็นต้น โดยใช้ deep learning</p> <p>ใช้ fine-tuned Single shot multibox detector</p> | - | SSD | งานวิจัยนี้เพิ่มความแม่นยำขึ้น 6% และสามารถจับวัตถุเช่น คน ปั่นจักรยาน และ |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|-----------------------------|--|-------|---|--|
| | | ใช้ SSD ซึ่ง based on deep neural network มีการปรับแต่ง SSD model โดยการเพิ่มภาพที่ใช้ train เข้าไป | | | คนเดินเท้าได้เพิ่มขึ้น 10% |
| REAL-TIME CAR DETECTION AND DRIVING SAFETY ALARM SYSTEM WITH GOOGLE TENSORFLOW OBJECT DETECTION API [20] | Hsieh, C.-H., et al. (2019) | เสนอระบบตรวจจับรถยนต์แบบ real time และระบบแจ้งเตือนความปลอดภัย ในส่วนการตรวจจับรถยนต์ มีการใช้ Google Tensorflow Object Detection (GTOD) API โดยมีการตรวจจับรถแบบ real time ในส่วนระบบแจ้งเตือนความปลอดภัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1. การคำนวณความกว้างของรถ จากขนาดกรอบสี่เหลี่ยม 2. การคำนวณปัจจัยในเรื่องของความปลอดภัย 3. การแจ้งเตือนสถานะของการขับรถ ได้แก่ safe, dangerous และ warning | - | Google Tensorflow Object Detection (GTOD) API | ไม่สรุปผลเป็นตัวเลข แต่บอกว่าใช้งานได้ |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|----------------------------------|---|-------|---|---|
| Traffic Light Detection and Recognition for Self Driving Cars using Deep Learning [21] | Kulkarni, R., et al. (2018) | ตรวจจับสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ deep learning จากภาพ และวิดีโอ ภาพที่ใช้ถ่ายตอนกลางวัน | - | RCNN Inception V2 | ค่า loss ในช่วง 0.01 |
| Enhancement In Foggy Road Scene Videos Using RSWHE and Gamma Correction [22] | Kaur, D., and Garg, N. K. (2016) | เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเพิ่มความคมชัดของภาพ (Enhance) ที่มีหมอก ด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ Dark channel prior, Histogram equalization, Brightness preserving Bi histogramequalization, Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization (RSWHE) + Gamma Correction. | - | - | RSWHE ใช้คู่กับ gamma correction ให้ผลดีที่สุด |
| Road Edge Detection in All Weather and Illumination via Driving Video Mining [23] | Wang, Z., et al. (2019) | ตรวจจับขอบถนนในทุกสภาพอากาศ และความสว่าง โดยโมเดลที่ใช้มี SegNet, Attribute aware, Bayesian SegNet และ PSPNet ชุดข้อมูล Cityscapes ใช้โมเดล PSPNet ให้ค่า accuracy = 98.6 | - | SegNet, Attribute aware, Bayesian SegNet และ PSPNet | สภาพอากาศดี มีแสง มีเมฆ ประมาณ 90% สภาพอากาศไม่ดี ราว 78% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|--|---------------------------|---|-------|---------------|--|
| | | ชุดข้อมูล CamVid ใช้โมเดล SegNet ให้ค่า accuracy = 96.4 | | | |
| Research on Recognition Methods of Bus Front Road Condition Based on Video [24] | Chen, R., et al. (2013) | ทำนายเส้นทางการขับขี่ และระยะทางที่ปลอดภัยที่สุด ของรถบัสคันข้างหน้า เพื่อเลี่ยงการชน โดยใช้ Canny edge (2-d Gaussian function ถูกใช้ในการกรอง noise) งานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์ของเวลาและความเร็วบัสก่อนการชน ในกรณีที่ถนนตัดกัน มีการใช้ pixel value เข้ามา | - | - | Canny edge สามารถใช้ใน งานวิจัยนี้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ |
| EFFICIENT DISTINCTION OF ROAD SURFACE CONDITIONS USING SURVEILLANCE CAMERA IMAGES IN NIGHT TIME [25] | Horita, Y., et al. (2012) | วิเคราะห์สภาพพื้นถนนส่วนที่เปียกและแห้ง จากวิดีโอ โดยภาพมาจาก video camera (SONY HDR-FX7, 1280 * 720[pixels]) เริ่มจากประเมินแนวถนนโดย จับแนวช่องจราจรจากไฟหน้ารถที่เปิดในเวลากลางคืน จากนั้นจับขอบของแนวถนนทั้งสองข้างโดย พิจารณา circularity, center of gravity | - | - | 74% in "dry", and 73% in "wet". |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Frame | Model process | Result |
|----------------|---------------|---|-------|---------------|--------|
| | | <p>in the area และ area of high luminance.</p> <p>ประเมินการเคลื่อนที่ของโฟหน้าโดยใช้ cubic polynomial expression by using least squares method แล้วโฟกัสที่พื้นที่ระหว่างจุด 2 จุดที่จับได้ เป็นพื้นถนน แยกพื้นที่ถนน โดยใช้การวิเคราะห์ texture ซึ่งใช้ Threshold = 2.18</p> <p>คำนวณ texture feature โดยใช้ Gray level co-occurrence</p> | | | |

3.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

กระบวนการจัดการภาพ (Image Processing) เป็นการนำภาพมาผ่านวิธีการบางอย่าง เพื่อให้ได้ภาพที่ดีขึ้น หรือเพื่อดึงข้อมูลบางอย่างออกมา เพื่อประโยชน์ของงานนั้น ๆ โดยประกอบด้วยสามขั้นตอนคือ 1) การนำภาพเข้าโดยผ่านการเก็บภาพจากเครื่องมือเก็บภาพ 2) การวิเคราะห์และจัดการภาพ และ 3) ได้ผลลัพธ์ซึ่งสามารถแก้ไขภาพ บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ภาพ [26] ซึ่งกระบวนการจัดการภาพมีหลายอย่างด้วยกัน ในที่นี้กล่าวถึง การเพิ่มความคมชัด (Image Enhancement) และการตัดภาพในส่วนที่เราต้องการ (Image Segmentation)

3.2.1 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

การปรับปรุงภาพเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของภาพ เพื่อให้การรับรู้หรือการตีความของมนุษย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของภาพให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ วิธีการโดเมนเชิงพื้นที่ (Spatial domain) เป็นการปรับค่าความสว่างจากจุดที่อยู่รอบ และวิธีการโดเมนเชิงความถี่ (Frequency domain) ซึ่งจะแปลงจากวิธีการโดเมนเชิงพื้นที่ มาความแตกต่างของทั้งสองประเภทดังแสดงในตารางที่ 3-2

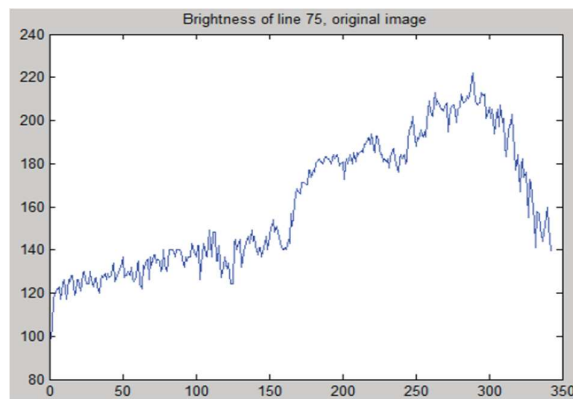
ตารางที่ 3-2 การเปรียบเทียบวิธีการเชิงพื้นที่และเชิงความถี่ [27]

| Factors | Spatial domain | Frequency domain |
|--------------------------|----------------|------------------|
| Computation Cost | Low | High |
| Robustness | Fragile | More Robust |
| Perceptual quality | High control | Low control |
| Computational complexity | Low | High |
| Computational Time | Less | More |
| Capacity | High | Low |

ในที่นี้กล่าวถึงวิธีการในการปรับปรุงภาพ คือ i) Brightness uniformization ii) Filtering iii) Singleshot Multibox Detector(SSD) iv) Gaussian Filter และ v) Morphological Filter รายละเอียดดังที่แสดงต่อไป

3.2.2 Brightness Uniformization

การปรับความสว่างของภาพเป็นหนึ่งในเทคนิคการปรับปรุงภาพ ปกติแล้วการปรับความสว่างมีสองแบบคือ Brightness และ Contrast โดย Brightness คือความมืดหรือความสว่างของภาพ หากค่า Brightness ยิ่งสูง ภาพก็ยิ่งสว่าง ส่วน Contrast คือความแตกต่างของเฉดสี ถ้า Contrast สูง เฉดสีก็ต่างกันมาก Sorandaru และคณะ [2] ได้เสนอวิธีการ Brightness Uniformization แสดงดังภาพที่ 3-9 มาแยกหลุมและรอยแตกบนถนน จากเฟรมวิดีโอ โดยกระทำแบบ Line-by-Line ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถตรวจจับหลุมและรอยแยกได้ดี

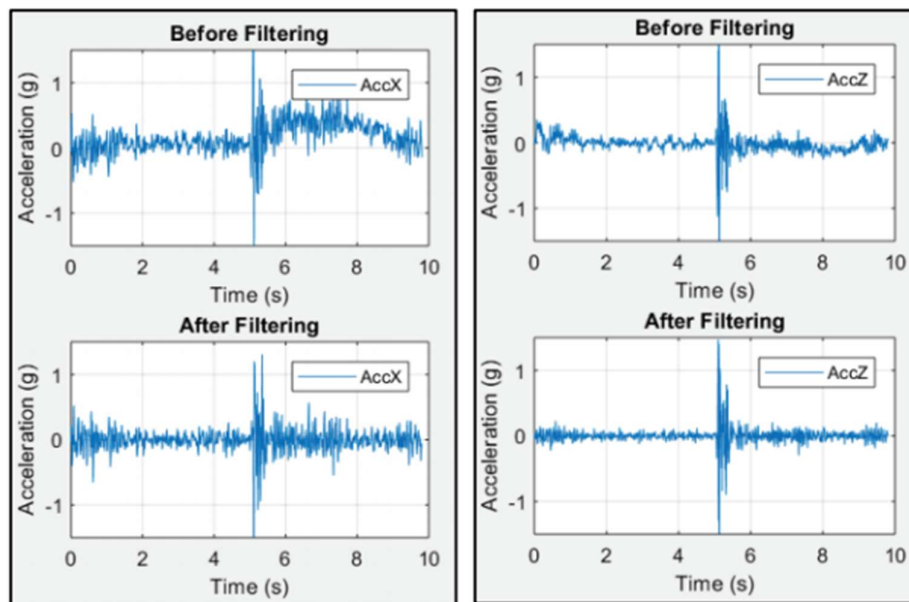


ภาพที่ 3-9 ตัวอย่างการทำงานของ Brightness Uniformization [2]

3.2.3 การกรองภาพ (Filtering)

การกรองข้อมูลภาพ (Image Filtering) คือการนำข้อมูลภาพไปผ่านตัวกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา ภาพผลลัพธ์จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากเดิม และตรงตามต้องการ โดยการเน้น (Enhance) หรือลดทอน (Attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพเป็นวัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพ ตัวอย่างตัวกรองเช่น ตัวกรองสัญญาณรบกวนด้วยเกาส์เซียน (Gaussian Filtering) ซึ่งจะอธิบายต่อไป ลักษณะการทำงานของตัวกรองสัญญาณ จะสามารถแสดงขั้นตอนได้ ซึ่งตัวกรองสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ที่กล่าวมาจะลดสัญญาณรบกวนและรายละเอียดของภาพไปด้วย ทำให้การประมวลผลภาพถูกลดประสิทธิภาพลงไปด้วย ดังนั้นการเลือกตัวกรองจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงาน ว่ามีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการ หรือเน้นสัญญาณที่ต้องการให้เด่นชัด ดังนั้นประโยชน์ของการกรองข้อมูลภาพคือ ทำให้สัญญาณรบกวน (Noise) ลดลง และคุณภาพของภาพ

Basavaraju และคณะ [3] ได้ทำการจัดกลุ่มของถนนออกเป็นสามกลุ่มคือ ถนนเรียบ ถนนที่มีหลุมบ่อ และถนนที่มีรอยแตกหัก โดยมีการนำวิธีการ Filtering เข้ามาใช้เพื่อลบสัญญาณที่ไม่เกี่ยวข้อง เช่น การขับเบรค เลี้ยว เป็นต้น โดยใช้ Butterworth High-Pass Filter ดังภาพที่ 3-10 นอกจากนี้ MEHREZ MARZOUGUI และคณะ [17] ได้เสนอการตรวจจับช่องจราจร โดยใช้ Kalman Filter เพื่อตรวจจับรอยต่อของถนน



ภาพที่ 3-10 สัญญาณความเร่ง (Acceleration Signal) ก่อนและหลังผ่านการ Filtering [3]

1. Gaussian Filter

เป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนที่มีคุณลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ใช้สำหรับลดสัญญาณรบกวน (Noise) และลบความคมของรูปภาพ มักใช้ในการทำภาพให้เบลอ ตัวตรวจกรองสัญญาณมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ ดังแสดงในภาพที่ 3-11 สมการตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนแบบ 1 มิติ มีสมการดังนี้

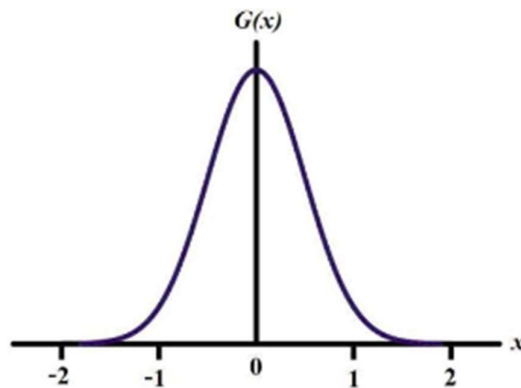
$$G(x) = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \times e^{-a \times x^2} \quad (3-1)$$

หรือเขียนได้จากการใช้พารามิเตอร์ส่วนเบี่ยงเบน คือ

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \sigma}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (3-2)$$

เมื่อ x = ค่าตัวแปรในแกน x

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบน



ภาพที่ 3-11 ตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนแบบ 1 มิติ

เมื่อแทนค่าตัวแปร x ในสมการที่ 3-2 จะได้สมการตัวกรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนแบบ 2 มิติ มีสมการดังนี้

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (3-3)$$

เมื่อ x = ค่าตัวแปรในแกน x

y = ค่าตัวแปรในแกน y

σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบน

ตัวอย่างภาพที่ผ่านการกรองสัญญาณแบบเกาส์เซียน โดยเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ salt & pepper noise ที่ส่วนเบี่ยงเบนเท่ากับ 0.02 (ภาพ ข) และลดสัญญาณรบกวน (ภาพ ค) แสดงดังภาพที่ 3-12



(ก)

(ข)

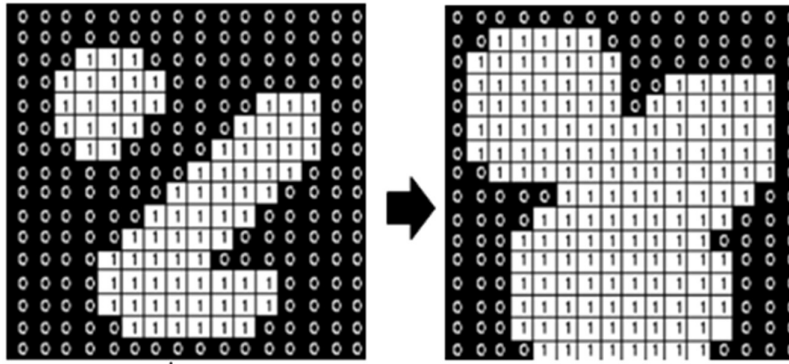
(ค)

ภาพที่ 3-12 ภาพที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวน และลบสัญญาณรบกวน [28]

2. Morphological Filter

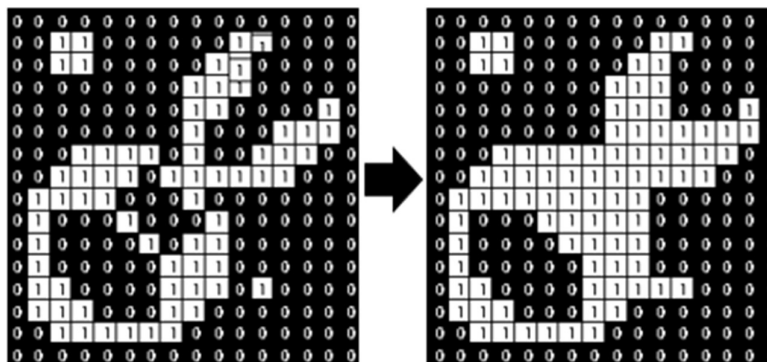
การเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพเป็นการดำเนินการกับภาพที่ไม่ใช่เชิงเส้น (Non-Linear Operation) และคุณสมบัติของภาพ ซึ่งเน้นรูปแบบ (Form) และโครงสร้าง (Structure) Hernandez และคณะ [14] ได้เสนอการตรวจจับถนนจากภาพ และมีการลบ noise โดยใช้ Morphological filter ซึ่งทำที่ชุดงานวิจัยนี้ให้ความแม่นยำถึง 92% ในที่นี้ประกอบด้วย การขยายภาพ (Dilation) และการลบหลุม (Closing) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การขยายภาพ (Dilation) เป็นการขยายโดยนำรูปแบบ (Template) ที่กำหนดวางบนภาพตั้งต้นที่ต้องการขยาย แล้วเลื่อนไป จุดใดที่บนรูปแบบตรงกับภาพตั้งต้น จะได้จุดตรงนั้นมีค่าเท่ากับ 1 แล้วจึงทำการรวม (Union) รูปแบบเข้ากับภาพตั้งต้นเข้าด้วยกัน โดยจะทำบนภาพขาวดำ ดังแสดงในภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการขยายภาพ [29]

การลบหลุม (Closing) เป็นการกระทำ (Operation) ที่ใช้รูปแบบเดียวกันเพื่อย่อและขยายภาพ ทำให้ลบหลุมเล็ก ๆ ที่เป็นช่องว่างอยู่ระหว่างพิกเซล ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการลบหลุมแสดงดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 ตัวอย่างภาพก่อนและหลังการลบหลุม [29]

3.2.4 การตัด/แบ่งภาพ (Image Segmentation)

Image Segmentation หรือ Semantic Segmentation เป็นการแบ่งภาพออกเป็นจุดเล็ก ๆ ที่มีพื้นที่ต่อกัน เพื่อวิเคราะห์ว่าแต่ละจุดคืออะไร ผลลัพธ์แบ่งเป็นพื้นที่สีต่าง ๆ ซึ่งแต่ละสีหมายถึงลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น บ้าน, ถนน, ต้นไม้, เป็นต้น. ในที่นี้จะกล่าวถึงอัลกอริทึมในการทำ Segmentation คือ Thresholding, Background subtraction, Hough Transform, Canny Edge detection และ Histograms ดังที่จะอธิบายต่อไป

1. การทำขีดแบ่ง (Thresholding)

การทำขีดแบ่ง (Thresholding) เป็นวิธีการหนึ่งในการแยกวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลัง (Segmentation) โดยมีการกำหนดค่าความเข้ม (Intensity) ที่ต้องการ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับพิกเซลของภาพที่ต้องการ เรียกว่า เทคนิคในการทำขีดแบ่ง (Thresholding Techniques) ซึ่งผลลัพธ์ของการพิจารณา

แบ่งเป็นจุดขาว ซึ่งมีค่า intensity = 255 และจุดดำ ที่มีค่า intensity = 0 หากพิกเซลนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มที่กำหนด จุดนั้นจะถูกปรับให้เป็นสีดำซึ่งเป็นส่วนของวัตถุ ส่วนพิกเซลที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความเข้มที่กำหนด จุดนั้นจะถูกปรับให้เป็นส่วนของพื้นหลังซึ่งเป็นสีขาว วิธีการนี้สามารถทำงานได้รวดเร็ว แต่ต้องใช้กับภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนมาก สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ

$$g(i,j) = \begin{cases} 0 & \text{if } p_{i,j} < T \\ 1 & \text{if } p_{i,j} \geq T \end{cases} \quad (3-4)$$

โดย $g(i,j)$ = ผลลัพธ์ที่ได้

$p_{i,j}$, j = พิกเซลของภาพที่ต้องการปรับ

T = ค่าความเข้มที่กำหนด

2. การลบพื้นหลัง (Background Subtraction)

เป็นเทคนิคที่ใช้หาความต่างของเฟรม foreground กับเฟรม background เพื่อตรวจจับวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวในวิดีโอ ทำให้บอกได้ว่ามีวัตถุอะไรที่กำลังเคลื่อนไหวอยู่ในเฟรม foreground สมการที่ใช้แสดงดังสมการที่ 5

$$\text{Object} = |\text{foreground}(x,y) - \text{background}(x,y)| \quad (3-5)$$

จากสมการที่ 5 หากนำภาพทั้งสองเฟรมมาลบกันแล้ว ก็ต้องทำ Threshold ต่อเพื่อเป็นการแยกวัตถุที่เคลื่อนไหวในภาพ กับวัตถุที่ไม่ได้เคลื่อนไหว ผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับค่า Threshold ถ้าปรับให้มีความมากเกินไป noise ก็จะเยอะ แต่ถ้าปรับไว้ให้น้อยเกินไป พื้นที่ของวัตถุที่กำลังเคลื่อนไหวก็น้อยเกินไป Mirthubashini และ Santhi V [1] มีการใช้ Background Subtraction ในการตรวจจับยานพาหนะบนถนน โดยภาพถนนที่ไม่มียานพาหนะจะถูกลบออก จากนั้นทำการตรวจจับยานพาหนะที่อยู่ในเบื้องหน้า ในกรณีที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนไหวต่อเนื่องกันหลายเฟรม จะมีการเปรียบเทียบกันเพื่อตรวจจับยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่ การลบพื้นหลังจะทำงานแยกกันในแต่ละเฟรม ภาพที่ทำงานอยู่ขณะนั้นจะถูกลบพื้นหลังออก แล้วจึงมีการใช้ Threshold เพื่อตรวจสอบเมทริกซ์ของภาพที่ไม่เหมือนกัน

3. Hough Transform

Hough Transform ใช้ในการจำแนกลักษณะเฉพาะของภาพ โดยส่วนใหญ่ใช้ตรวจสอบเส้นตรงและวงกลม รูปทรงที่สามารถจำแนกด้วยวิธีนี้ได้จะต้องเกิดขึ้นจากสมการ ซึ่งสามารถใช้ได้หลายวิธีทั้ง Hough Line Transform และ Hough Circle Transform ส่วนวิธี Generalized Hough Transform และ

Modified Generalized Hough Transform ใช้เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุที่ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต (Arbitrary Shape)

ส่วนการคำนวณหามุมเส้นตรงภายในภาพสามารถใช้วิธีการ Hough Line โดยการสร้าง Accumulator array (A) ของ m, c จากสมการที่ 6 แล้วจึงวาดเส้น โดยการสุ่มค่า m หรือ c ภายในภาพทุกจุดที่เป็นสีดำ (X,Y) ซึ่งตำแหน่งที่มีค่าสูงสุดของ A จะเป็นตำแหน่งมุมของเส้นตรงต่าง ๆ ที่พบจากรูปที่นำมาวิเคราะห์ สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\text{สมการเส้นตรง } y = mx + c \quad (3-6)$$

$$\text{หรือ } c = y - mx \quad (3-7)$$

สมการเส้นตรงที่ 6 และ 7 จะเกิดปัญหา หากเส้นเป็นแนวตั้งเนื่องจากค่า m, b จะเพิ่มขึ้นสูงมาก ดังนั้นแก้ไขได้โดยใช้สมการที่ 8 ซึ่งมีหลักการทำงาน เช่นเดียวกับการใช้สมการ $y = mx + c$

$$\text{Polarp} = x - \cos\theta + y\sin\theta \quad (3-8)$$

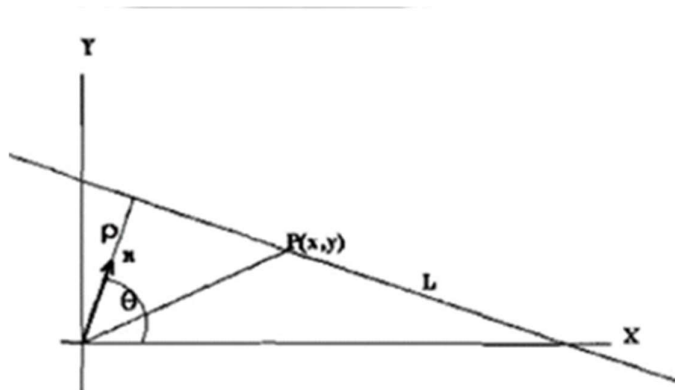
โดย p คือระยะที่สั้นที่สุด จากจุดอ้างอิงถึงจุดบนแนวเส้น (x,y)

θ เป็นมุมของเส้นนั้นๆ กับแกน x

ส่วนของการคำนวณหาตำแหน่งวงกลมในภาพสามารถทำได้โดยวิธีการ Hough circle ที่มีหลักการ เช่นเดียวกับ Hough Line ซึ่งทำได้โดยการสร้าง Accumulator array (A) ของรัศมีที่ต้องการหา (r) แล้วทำการวาดวงกลมใน A ด้วยรัศมี r ของจุดทุกจุดภายในภาพที่มีสีดำ (X,Y) โดยตำแหน่งที่มีค่า vote สูงของ A คือตำแหน่งที่พบวงกลมรัศมีดังกล่าว ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 9 หรือ 10 และดูภาพประกอบได้จากภาพที่ 3-15

$$\text{จากสมการเส้นตรง } (x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (3-9)$$

$$\text{หรือ } x = a + r.\cos\theta, y = b + r.\sin\theta \quad (3-10)$$

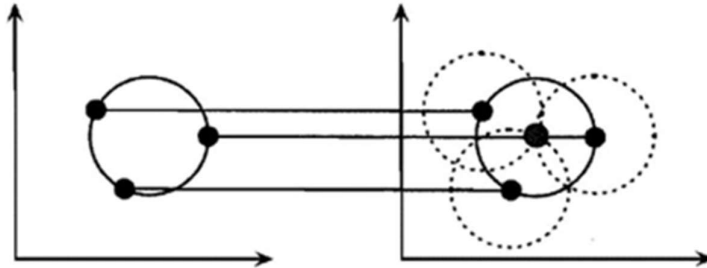


ภาพที่ 3-15 สมการเส้นตรงในรูปแบบเชิงขั้ว (Polar form)

โดย L คือ แนวเส้นของ จุดต่างๆ ภายในรูป

g คือ เวกเตอร์หน่วย (Unit Vector) ของแนวเส้น L กับจุดอ้างอิง

$P(x,y)$ คือ จุดต่างๆ ที่อยู่ในแนวเส้น L



ภาพที่ 3-16 การหาแนวเส้นของจุดต่าง ๆ ของวงกลม [31]

4. Canny Edge Detection

Canny Edge Detector สร้างโดย John F. Canny เป็นการใช้อัลกอริทึมที่มีหลายขั้นตอนหาขอบของภาพ บนพื้นฐานของ Gaussian เพื่อตรวจสอบการไล่ระดับของสี ทำให้ให้ได้ขอบของภาพในหลาย ๆ ช่วง ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการหาขอบของรูปภาพ โดยเริ่มจากใช้ Gaussian Filter ลด noise ของภาพ ภาพที่ได้จะเบลอ จากนั้นใช้วิธีการ Sobel หา Gradient Direction และ Gradient Magnitude แล้วจึงทำการแบ่งชนิด (Non maximum) ของแต่ละ pixel ในขั้นตอนนี้ดู Gradient Direction แล้วจึงเปรียบเทียบค่า Gradient Magnitude ของ pixel ใกล้เคียง เพื่อหาขอบของภาพ สุดท้ายกำหนดค่า threshold สูงสุดและต่ำสุด เพื่อหา pixel ที่เป็นขอบ ตัวอย่างภาพต้นแบบและผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังภาพที่ 3-17

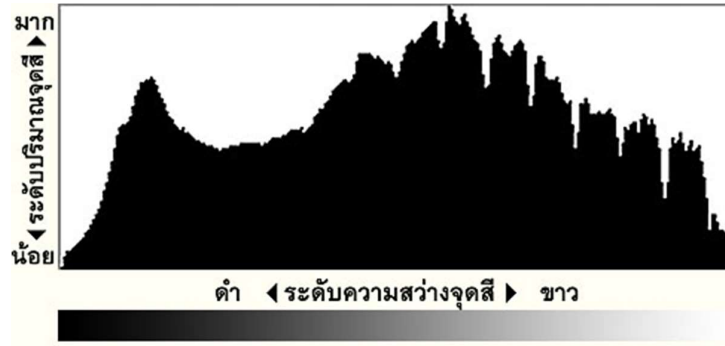


ภาพที่ 3-17 ตัวอย่างภาพต้นแบบและภาพที่ใช้วิธีการแคนนี่ [30]

5. Histograms

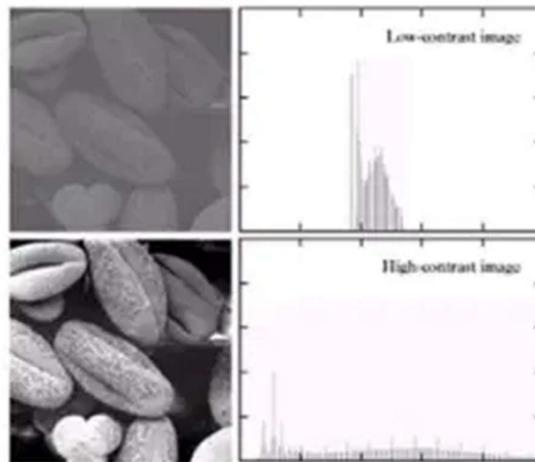
Histograms เป็นกราฟแสดงข้อมูลค่าสี R G B หรือจำนวน pixels ในแต่ละความสว่างต่าง ๆ หรือของรูปภาพ digital ในภาพ gray scale แกนนอนแสดงความสว่าง ซึ่งมีตั้งแต่ 0-255 (แบ่งเป็น 256 ระดับ

ความแตกต่างสี) โดยทางทางด้านขวามือจะมีค่าความสว่างมาก ภาพจึงเข้าใกล้สีขาว ส่วนด้านซ้ายของกราฟ จะมีค่าความสว่างน้อย ภาพจะเข้าใกล้สีดำ และตรงกลางกราฟแสดงส่วนน้ำหนักสีกลาง ส่วนแกนแนวดิ่งแสดง จำนวน Pixels ในแต่ละความสว่างโดยไม่มีขอบเขตจำกัด หากภาพมีความมืดมาก กราฟจะไปกองรวมกันทางด้านซ้าย โดยที่ไม่มีขอบเขตจำกัดแสดงดังภาพที่ 3-18



ภาพที่ 3-18 กราฟ Histogram

เมื่อพิจารณากราฟ หากการกระจายของกราฟเป็นกลุ่มแคบ ๆ แสดงว่าภาพนั้นเป็นภาพที่ Low-Contrast และหากกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งกราฟ แสดงว่า ภาพนั้นเป็นภาพที่ High-Contrast ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 ภาพและ Histogram เพื่อดูการ contrast [33]

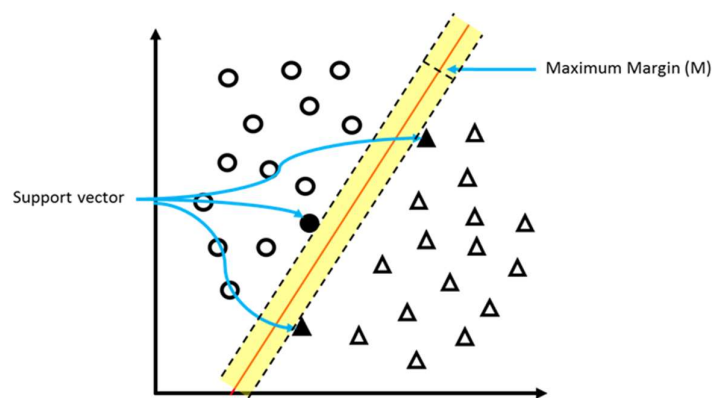
Histogram มีประโยชน์คือ Histogram สามารถบอกความสว่างความเข้มของภาพได้ ในขณะที่มองจากจอภาพอาจมีการคลาดเคลื่อนได้ ข้อมูลจาก Histogram จะช่วยให้เราเลือกโหมดในการถ่ายภาพได้ดีขึ้น เมื่อต้องถ่ายภาพในที่ที่มีความสว่างของภาพสูงหรือต่ำมากได้ โดยการเลือกการชดเชยแสงของภาพ สุดท้ายสามารถนำข้อมูลมาใช้ประกอบในการประมวลผลและปรับแต่งภาพได้ [32]

3.3 การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning)

Machine Learning (ML) เป็นการใช้ข้อมูลทำให้คอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ซึ่งต่างจากการเขียนโปรแกรมทั่วไป การเขียนโปรแกรมโดยทั่วไปนั้นใช้ข้อมูลและโปรแกรมใส่เข้าไปในคอมพิวเตอร์ แล้วจะได้ผลลัพธ์ (Output) ออกมา แต่ ML เป็นการใส่ข้อมูลและผลลัพธ์เข้าไป แล้วจะได้โปรแกรมออกมา โดยมีมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1950 โดยนักคอมพิวเตอร์หาวิธีสอนคอมพิวเตอร์ให้เล่นหมากรุก และเมื่อวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้น ระบบคำนวณค่าต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ก็เพิ่มขึ้น คอมพิวเตอร์จึงเข้าใจและจดจำรูปแบบของค่าต่างๆ ที่ซับซ้อนได้ แล้วจึงประยุกต์ไปสู่การคาดการณ์สถานการณ์และสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตัวเอง ML แบ่งออกเป็นสามประเภทคือ 1) Supervised Learning คือการเรียนรู้โดยมี data มาสอน 2) Unsupervised Learning คือการเรียนรู้โดยไม่มี data สอน และ 3) Reinforcement Learning คือการเรียนรู้ตามสภาพแวดล้อม ML มีหลายตัวด้วยกัน ในที่นี้กล่าวถึง Support Vector Machine (SVM), Decision Tree, Random Forest และ Haar feature-based cascade classifier

3.3.1 Support Vector Machine (SVM)

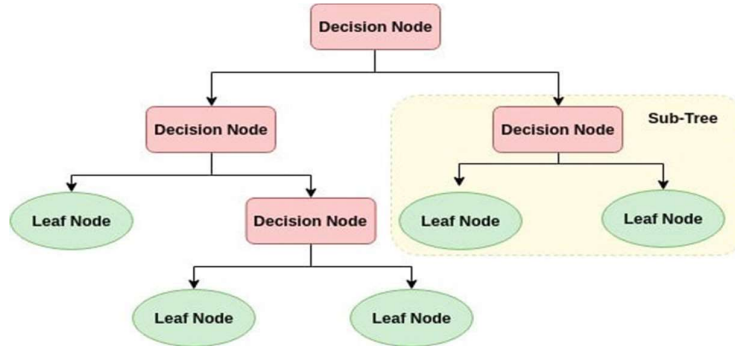
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) เป็นอัลกอริทึมใช้หลักการของการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งกลุ่มข้อมูล เพื่อวิเคราะห์และจำแนกข้อมูล SVM มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีมิติจำนวนมากได้ รวมถึงมีการใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) แปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้น คุณสมบัติของ (Feature Space) สามารถจำแนกข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างในภาพที่ 3-20 เป็นข้อมูลขนาด 2 มิติ ถูกจำแนกออกเป็น 2 คลาส ได้แก่ + (○) และคลาส - (△) โดยมีเส้นตรงแบ่งข้อมูลทั้ง 2 คลาส



ภาพที่ 3-20 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ [34]

3.3.2 Decision Tree

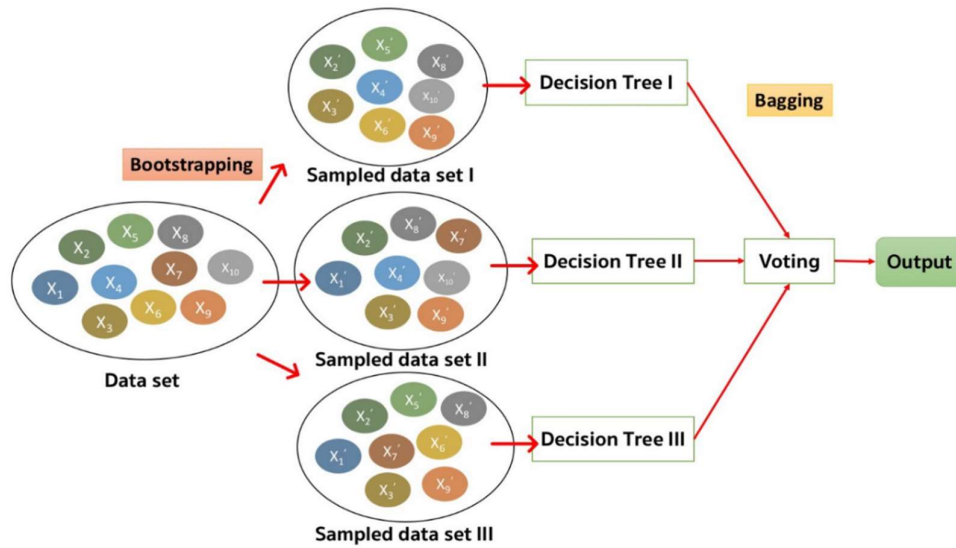
Decision Tree (DT) คือ Machine Learning Model Classification ตัวหนึ่งที่ใช้ “ความลึกของต้นไม้” ยิ่งมีจำนวนชั้นมากเท่าไร ก็ยิ่งถามได้ละเอียดมากขึ้น แต่ก็เกิด overfit มากด้วย ตรงกันข้ามหากจำนวนชั้นน้อยเกินไป ตัวจำแนกก็จะไม่แม่นยำ ซึ่ง DT อาศัยรูปแบบของต้นไม้ (TREE) โดยมี โหนดพ่อและโหนดลูก ซึ่งโหนดพ่อจะเป็นโหนดตั้งคำถาม ส่วนโหนดลูกก็มีทั้งที่ตอบว่าใช่และไม่ใช่ ดังแสดง ในภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-21 แผนผังของ decision tree โดย Decision Node เป็นโหนดพ่อ และ Leaf Node เป็นโหนดลูก

3.3.3 Random Forest

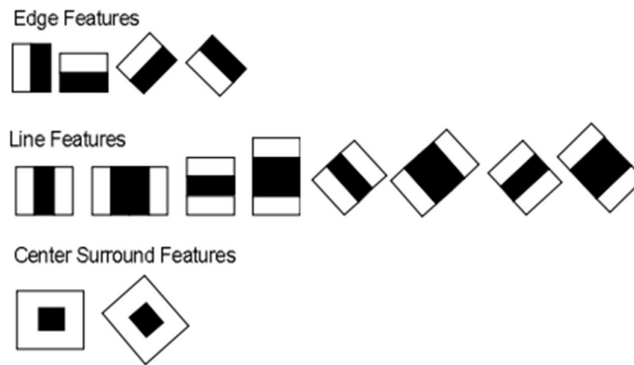
เป็น model ที่ต่อยอดมาจาก Decision Tree แต่ Model มีความยืดหยุ่นมากกว่า เป็นการสร้าง model โดยใช้ Decision Tree หลาย ๆ Model ย่อย โดยข้อมูลที่นำมาสร้าง Decision Tree แล้วจะถูกใส่กลับไป แล้วสุ่มขึ้นมาสร้าง Decision Tree ตัวใหม่อีก แต่ละ Model จะได้รับ Data Set ไม่เหมือนกัน ตอนทำนายก็ทำแยกกัน แล้วจึงคำนวณผลด้วยการโหวต Decision Tree หากเป็นการทำ classification จะเลือกตัวที่ถูกโหวตมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 3-22 ซึ่งการทำงานแบบนี้ทำให้ Random Forest เป็นอัลกอริทึมที่แข็งแกร่งตัวหนึ่ง



ภาพที่ 3-22 หลักการทำ Random Forest [36]

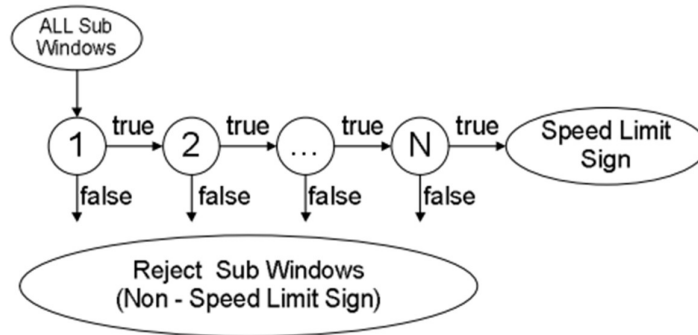
3.3.4 Haar Feature-Based Cascade Classifier

Haar feature-based cascade classifier ได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดย Paul Viola และ Micheal Jones ในปี 2001 โดยอาศัยหลักการ “Haar Wavelets” เพื่อวิเคราะห์พิกเซลในภาพเป็นสีเหลี่ยมโดยฟังก์ชันที่มีการเรียนรู้จากภาพเชิงลบ และภาพเชิงบวก ซึ่งเรียกภาพเหล่านี้ว่า training data โดยตัวกรองของกลุ่มรูปแบบ ดังภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 รูปแบบของ Haar-Like Feature

ในการเรียนรู้นั้นมีการใช้การจำลองรูปแบบด้วย Adaboost และการรวมตัวจำแนกกลุ่มแบบ Cascade Classifier โดย Adaboost เป็นขั้นตอนหนึ่งของการเรียนรู้เพื่อหากลุ่มของพิกเซลที่ใกล้เคียงกับภาพในส่วนย่อย (Sub-Window) ส่วน Cascade classifiers เป็นการซ้ำเพื่อจำแนกรูปร่างที่ต้องการหลายรอบ แต่ละรอบจะตัดส่วนที่เป็น negative ออกไปจนกว่าจะได้รูปที่ต้องการ การทำงานของ Cascade Classifier แสดงดังภาพที่ 3-24



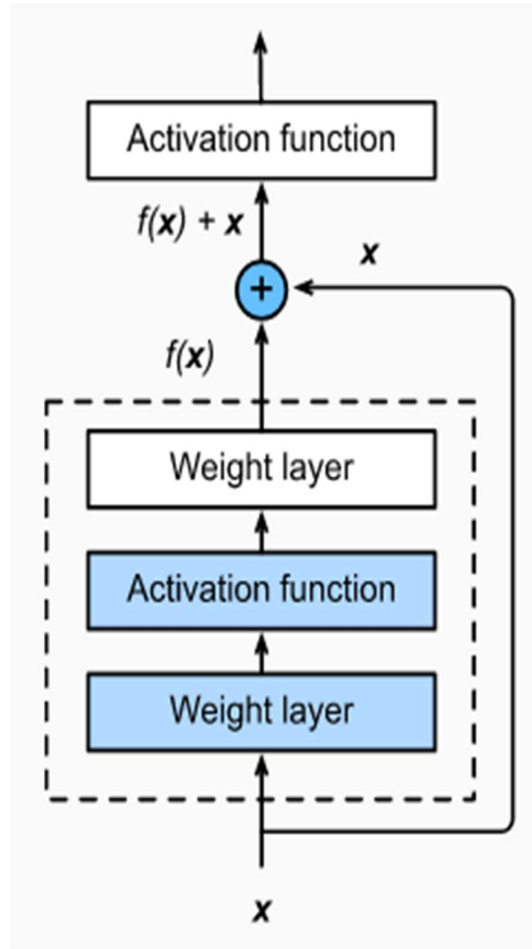
ภาพที่ 3-24 ขั้นตอนทำงานของ Cascade Classifier [37]

3.4 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

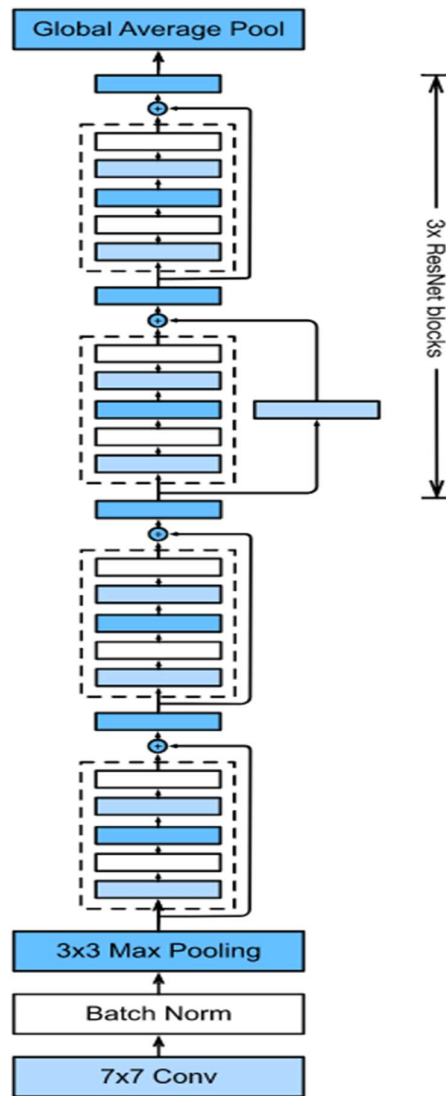
จากที่กล่าวมาแล้วในข้อ 1) การตรวจจับวัตถุ หรือเงื่อนไขบนถนน พบว่ามีการวิจัยที่ใช้ Deep Learning และ CNN ในการสร้างโมเดล อาทิ การตรวจจับยานพาหนะแล้ว ยังมีการวิเคราะห์การจราจรบนถนน Faster RCNN การตรวจจับสัญญาณไฟจราจรโดยใช้ deep learning จากภาพ และวิดีโอจากภาพถ่ายตอนกลางวัน โดยใช้ RCNN Inception V2 ตรวจจับยานพาหนะทางอากาศ จากวิดีโอ โดยใช้ Resnet โดยในที่นี้กล่าวถึง ResNet, LeNet5, RCNN และ Singleshot Multibox Detector (SSD)

3.4.1 ResNet

Resnet หรือ Residual Network เป็นสถาปัตยกรรมที่พัฒนาขึ้นปลายปี ค.ศ. 2015 โดย ไมโครซอฟท์ (Microsoft) และนำเสนอครั้งแรกในงานวิจัยชื่อ Deep Residual Learning for Image Recognition มีเลเยอร์ที่สร้างข้อมูลในการ Classification ตรวจจับ Detection และ Localization 152 เลเยอร์ สิ่งที่เพิ่มเข้ามาของ Resnet คือ Residual module ที่นำมาต่อกัน ส่วนของอินพุท (Input) จะถูกแบ่งเป็นแพท (Patch) เล็ก ๆ ก่อนการเทรน เพื่อแก้ปัญหา Diminishing Gradients ซึ่ง Resnet ยังได้รับรางวัล ILSVRC 2015 ด้วยอัตราข้อผิดพลาดร้อยละ 3.6 จากปกติร้อยละ 5-10 โดย Residual Block แสดงดังภาพที่ 3-25 และตัวอย่างโครงสร้างของ Resnet แสดงดังภาพที่ 3-26



ภาพที่ 3-25 โครงสร้างของ Residual block [38]



ภาพที่ 3-26 โครงสร้างของ Resnet-18 [38]

3.4.2 LeNet5

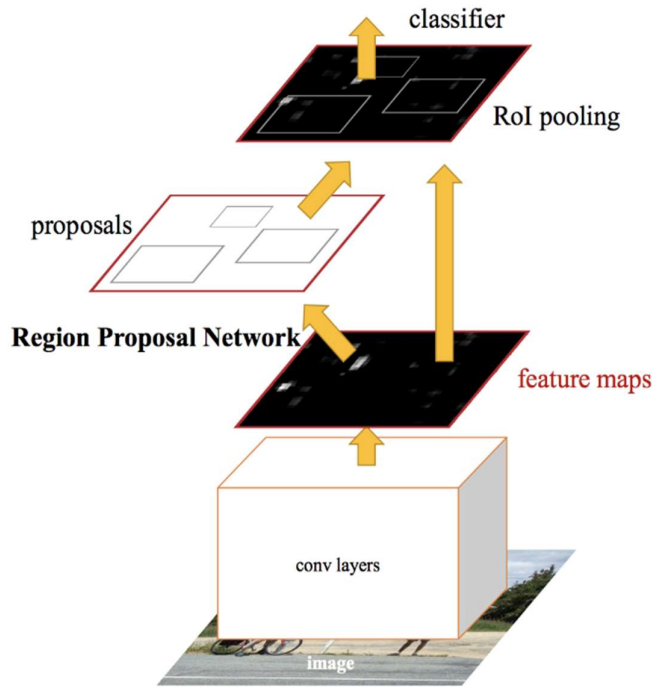
LeNet5 เกิดขึ้นในปี 1998 โดย Yann LeCun, Leon Bottou, Yosuha Bengio และ Patrick Haffner เพื่อใช้ในการแยกแยะอักขระที่เขียนด้วยมือและด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นโครงข่าย CNN ที่มีชั้น Convolutional 2 ชั้น Average Pooling Layers 2 ชั้น Flattening Convolutional Layer Two Fully-Connected Layers และ Softmax Classifier โดยมีการเพิ่มชั้นพูลลิ่งลงไปเพื่อเป็นการลดขนาดของ Feature Map [39,40] โครงสร้างของ LeNet5 แสดงดังภาพที่ 3-27



ภาพที่ 3-27 โครงสร้างของ LeNet5 [39]

3.4.3 Faster RCNN

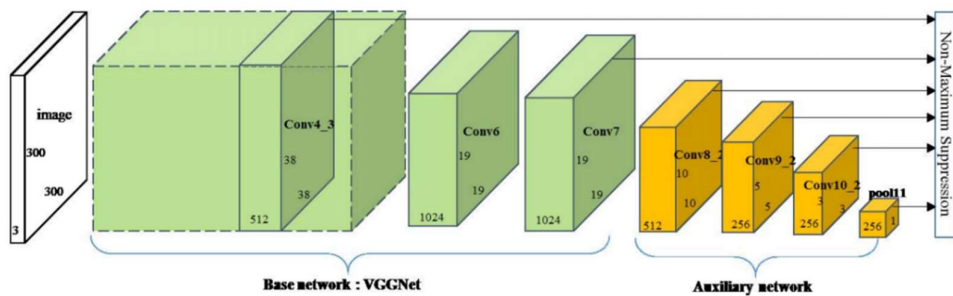
Faster RCNN เกิดขึ้นในปี 2016 เป็น CNN ที่มีการเสนอขึ้นที่ทำให้การทำ Classification สามารถใช้ Input Feature ที่มีขนาดใดก็ได้ นั่นคือชั้น Region Pooling (ROI Pooling) โดยโครงสร้างแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนเสนอพื้นที่ (RPN) และส่วนรู้จำวัตถุ (Recognition) ปกติแล้วส่วน Region Proposals เป็นส่วนที่มีปัญหาขอขวดในการคำนวณ ตัว Faster RCNN จึงทำออกมาเพื่อแก้ปัญหานี้ ซึ่งทำให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้นด้วย [41,42] แสดงดังภาพที่ 3-28



ภาพที่ 3-28 โครงสร้างของ Faster RCNN [41]

3.4.4 Singleshot Multibox Detector (SSD)

SSD ต่อยอดมาจาก YOLO ที่ทำงานบนพื้นฐานของ End-to-End Convolutional Network ซึ่งทำนาย Bounding Boxes ที่มีหลายขนาด ทำให้สามารถทำงานกับภาพที่มีขนาดต่างกันมากได้ ขณะที่ทำนายเครื่องข่ายจะสร้างคะแนนสำหรับการปรากฏตัวของแต่ละประเภทของวัตถุ และสร้างการปรับเปลี่ยนให้เหมาะกับรูปร่างของวัตถุ เครื่องข่ายยังรวมการทำนายจากแผนที่คุณลักษณะหลายอย่างที่มีความละเอียดต่างกันเพื่อจัดการกับวัตถุที่มีขนาดต่างๆ [42,43] แสดงดังภาพที่ 3-29



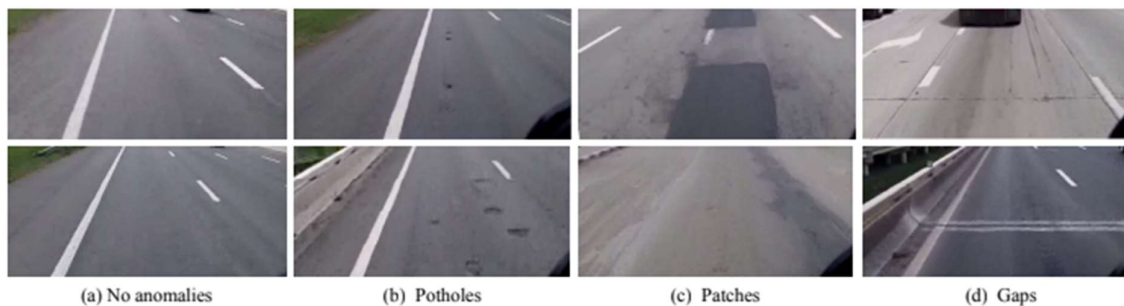
ภาพที่ 3-29 โครงสร้างของ SSD Base network(VGGNet) + Auxiliary network [42]

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับถนน ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์คุณภาพถนน การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การสั่น และ ความเร็ว ของรถ การจำแนกสภาพถนน หรืออื่น ๆ ล้วนแต่ต้องมีอุปกรณ์มาประกอบการวิจัยทั้งสิ้น โดยแบ่งเป็นการใช้สมาร์ทโฟนและอุปกรณ์ Accelerometer ที่ประกอบภายนอก ในที่นี้สรุปการศึกษางานวิจัยได้ดังนี้

Amirgaliyev และคณะ [44] เสนอการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพถนนโดยใช้ Accelerometer + GPS Sensor โดยใช้ Smartphone วางไว้ในรถ มีการแสดงความแตกต่างของค่า Accelerometer โดยมีการพิจารณาความเร็วของรถที่กำลังเคลื่อนที่ รวมถึงใช้ค่าความเร่งของ แกน X,Y,Z มาวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งประเภทถนนเป็น Smooth แบ่งเป็น 1) พื้นผิวเรียบ 2) เรียบ แต่หยาบ และ 3) ถนนที่เรียบแต่มีหลุมบ่อและอื่น ๆ ส่วนไม่ Smooth แบ่งเป็น 1) มีพื้นผิวที่ไม่เรียบ 2) ถนนลาดยางไม่ดี และ 3) ถนนไม่ลาดยาง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความเร็วของยานพาหนะมีผลต่อเร็กคอร์ด accelerometer และคุณภาพของถนน มีผลต่อความเร็วของยานพาหนะ

Gueta และ Sato [45] ได้ทำการวิจัยเพื่อจำแนกพื้นผิวถนน ด้วยความสั่น โดยใช้ความถี่ของ Vibration เท่ากับ 50Hz และความถี่ของ GPS เท่ากับ 1 Hz. ทำการทดสอบด้วยสมาร์ทโฟน ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์นั้นติดอุปกรณ์ไว้ใต้เบาะนั่งของคนขับรถบรรทุก ส่วนอุปกรณ์อื่นติดที่แผงควบคุมของรถ โดยใช้ค่าความเร่งของ แกน Z โดยติดตัวให้แกน Z ตั้งฉากกับพื้นถนน การจำแนกถนนแบบต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 3-30



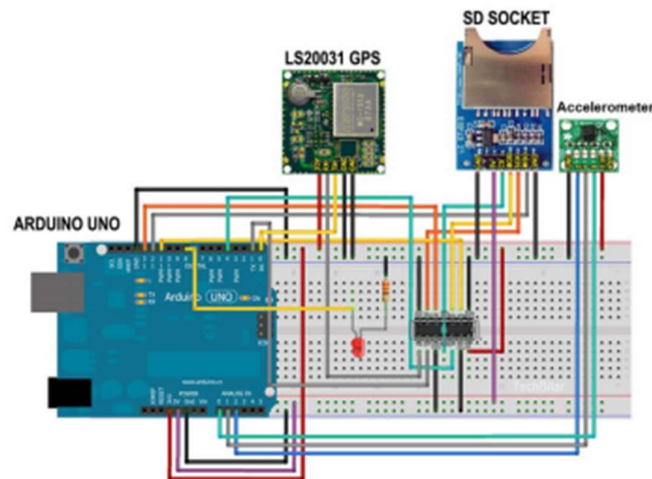
ภาพที่ 3-30 การจำแนกถนนแบบต่าง ๆ

Jerry และคณะ [46] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การสั่น และ ความเร็ว ของรถ โดยใช้รถมอเตอร์ไซด์ ความเร็วเริ่มที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง สูงสุดที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง เพิ่มขึ้นทีละ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทดสอบด้วย ADXL355 Accelerometer และ PIC16F877A ส่วนค่าของ Accelerometer Sensor ใช้ความเร่งของ แกน X และ Y ผลลัพธ์ที่ได้แสดง Exponential Regression ที่ยอมรับได้ซึ่งมี R2 เกิน 0.9

Prapulla และคณะ [47] ได้วิเคราะห์คุณภาพของถนน ด้วยการสั่น เพื่อเลือกเส้นทางที่เร็วและปลอดภัยที่สุด บน APP และ Website โดยอุปกรณ์ติดไว้ที่ฝากระโปรงรถแสดงดังภาพที่ 3-31 ส่วนการเชื่อมต่ออุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 3-32 แล้วเก็บข้อมูลใน SD card ประเมินประสิทธิภาพของถนนจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ใช้ค่าความเร่ง แกน z บน Accelerometer ร่วมกับ Arduino Micro-Controller ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ถ้า SD สูง เท่ากับ คุณภาพถนนต่ำ



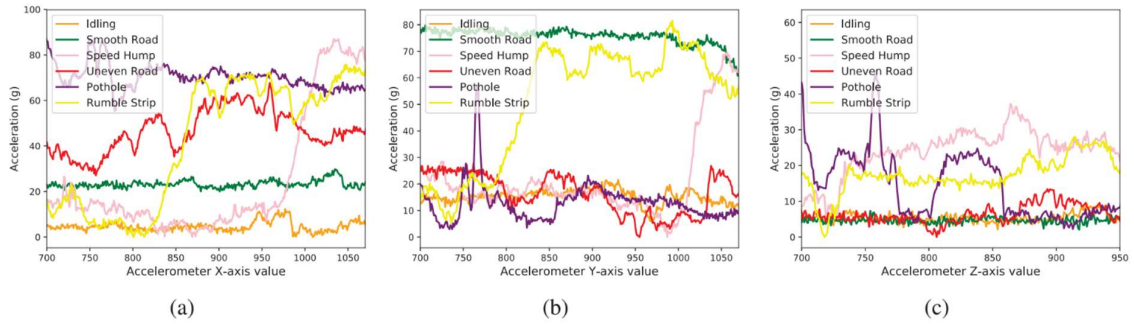
ภาพที่ 3-31 ตำแหน่งที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์



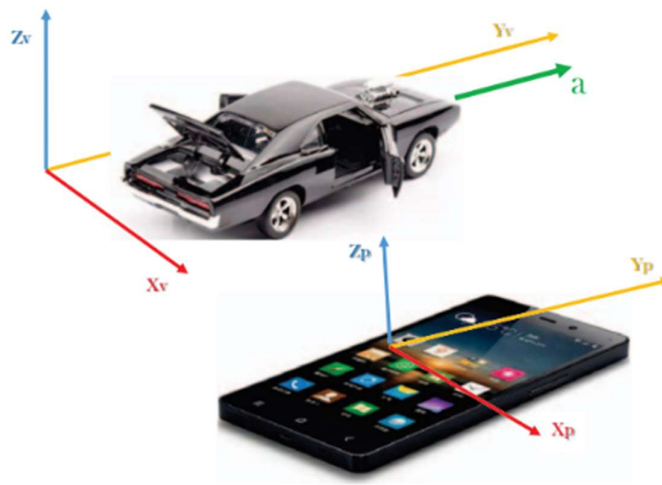
ภาพที่ 3-32 การเชื่อมต่ออุปกรณ์

Basavaraju และคณะ [48] ทำการทดสอบ Feature ที่ได้จาก Accelerometer 1 แกนกับ 3 แกน โดยมีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Machine Learning ที่ใช้ในการจัดกลุ่มของถนน และมีการประเมินประสิทธิภาพของ Deep Neural Networks ที่ใช้ในการ Classify ถนน งานวิจัยนี้ทดสอบด้วย iPhone6 โดยมีการใช้รถ 3 รุ่น 3 ประเภท คือ 1) Ford Focus sedan 2) Ford Focus hatchback และ 3) Subaru Outback SUV ส่วนโปรแกรมที่ใช้คือ Vibration Recorder และมีการบันทึกวิดีโอด้วย DJI Osmo ใช้ค่าทั้ง 3 แกนของ Accelerometer ผลลัพธ์ที่ได้คือ แบบ 3 แกนให้ผลออกมาแม่นยำกว่า

Dey และคณะ [49] ได้ทำการวิจัยโดยใช้ MagTrack ที่มีการใช้ 3 Feature Selection Algorithm คือ 1) Ranker algorithm 2) GreedyStepWise และ 3) BestFirst นอกจากนี้มีการใช้ 3 classification algorithms คือ Support Vector Machine (SVM), RandomForest และ RandomTree งานวิจัยนี้ทดสอบบน Redmi note 5 โดยใช้ค่าความเร่งทั้ง 3 แกนบน Accelerometer ดังแสดงในภาพที่ 3-33 ผลลัพธ์ออกมาให้ความแม่นยำ 92% ระบบพิกัดที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 3-34



ภาพที่ 3-33 กราฟแสดงค่าของ Accelerometer บนแกนต่าง ๆ



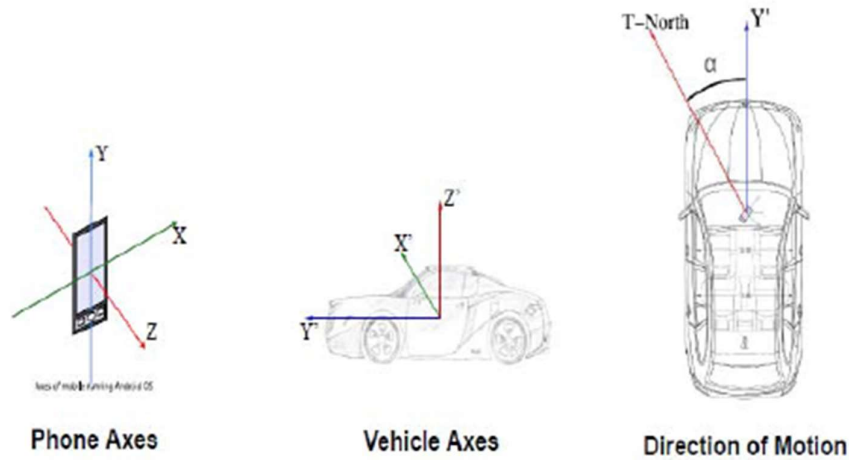
ภาพที่ 3-34 ระบบพิกัดที่เหมาะสมของโทรศัพท์และยานพาหนะ

Mednis และคณะ [50] ได้ใช้สมาร์ทโฟนระบบ Android รุ่นคือ Samsung i5700, Samsung Galaxy S, HTC Desire, HTC HD2 ตรวจสอบหลุมแบบ real time โดยใช้รถ 4 ล้อทดสอบ เช่น รถรับส่งผู้โดยสาร รถตู้ รถบัส ทดสอบบนแกน z และใช้ 4 อัลกอริทึมในการตรวจสอบหลุม คือ Z-THRESH, Z-DIFF, STDEV(Z) และ G-ZERO ผลลัพธ์ที่ได้มีค่า Positive Rate เท่ากับ 90% ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

| Class | Z-THRESH | Z-DIFF | STDEV(Z) | G-ZERO |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Large potholes | 3 (100%) | 3 (100%) | 3 (100%) | 3 (100%) |
| Small potholes | 15 (83%) | 16 (89%) | 16 (89%) | 14 (78%) |
| Pothole clusters | 25 (83%) | 27 (90%) | 27 (90%) | 27 (90%) |
| Gaps | 31 (78%) | 36 (90%) | 30 (75%) | 27 (68%) |
| Drain pits | 10 (59%) | 17 (100%) | 11 (65%) | 8 (47%) |
| Total | 84 (78%) | 99 (92%) | 87 (81%) | 79 (73%) |

Lanjewar และคณะ [51] วิเคราะห์ความปลอดภัย (การชน) ของถนนจากความเร็วของรถ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการท่องเที่ยว คล้าย ๆ Google Map รวมถึงแสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ โดยใช้สมาร์ทโฟน และทำงานทั้งสามแกนแสดงดังภาพที่ 3-35 ในงานนี้มีการเปรียบเทียบอัลกอริทึมคือ Z-THRESH, Z-DIFF, G-ZERO, STDEV (Z) และคอนเซ็ปต์ของ VIMS, IRI ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับ



ภาพที่ 3-35 ทิศทางการทำงานบนสมาร์ทโฟน ยานพาหนะ และการเคลื่อนไหว

Mednis [52] ศึกษาการบันทึกข้อมูล และวิธีการประมวลผลเพื่อตรวจจับสิ่งต่างๆ จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ทั้งอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ และสมาร์ทโฟน โดยแบ่งประเภทพื้นผิวเป็น 5 ชนิด คือ หลุมบ่อขนาดใหญ่ - Big potholes, หลุมบ่อขนาดเล็ก - Small potholes, บ่อ - Pothole, หลุมที่อยู่เป็นกลุ่ม Clusters, ช่องว่าง Gaps และร่องที่มีการระบายน้ำ Drain pits โดยทำการศึกษามาวิธีคือ

1. การตรวจจับพื้นผิวถนนที่มีความเสียหายจากเสียง โดยใช้ไมโครโฟนบนคอมพิวเตอร์พกพา มีการใช้ Global Navigation Satellite System (GNSS) ในการเก็บข้อมูล และใช้ค่า T ที่ 15% - 90%

ผลลัพธ์ที่ได้คือ 80% เป็นหลุมที่กระจุกเป็นกลุ่ม (Cluster) ส่วนของช่องว่าง จับได้สูงสุด 60% และ ร่องที่มีการระบายน้ำ สูงสุด 40%

2. ตรวจสอบพื้นผิวถนนโดยใช้ Accelerometers บนสมาร์ทโฟน Android แล้วประเมินผลโดยใช้ อัลกอริทึมสี่ตัวคือ Z-THRESH, Z-DIFF, STDEV(Z) และ G-ZERO ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 3-4 โดยสามารถตรวจจับได้สูงสุด 92% ด้วยอัลกอริทึม Z-DIFF

ตารางที่ 3-4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นผิวด้วยสมาร์ทโฟน

| Road surface damage class | Z-THRESH | Z-DIFF | STDEV(Z) | G-ZERO |
|---------------------------|----------|-----------|----------|----------|
| Big potholes | 3 (100%) | 3 (100%) | 3 (100%) | 3 (100%) |
| Small potholes | 15 (83%) | 16 (89%) | 16 (89%) | 14 (78%) |
| Pothole clusters | 25 (83%) | 27 (90%) | 27 (90%) | 27 (90%) |
| Gaps | 31 (78%) | 36 (90%) | 30 (75%) | 27 (68%) |
| Drain pits | 10 (59%) | 17 (100%) | 11 (65%) | 8 (47%) |
| Altogether | 84 (78%) | 99 (92%) | 87 (81%) | 79 (73%) |

3. ตรวจสอบพื้นผิวถนนด้วยอุปกรณ์ฝังตัว (Embedded device) โดยใช้ Microphone และ Accelerometers แสดงได้ดังภาพที่ 3-36 ซึ่งประกอบด้วย Wireless Sensor Network Node Tmote Mini, Inertial Measurement Unit (IMU) Analog Combo Board, sensors SHT15 and TEMT6000, Voltage Regulators and SD Memory Card โดยในภาพแสดง Wi-Fi (B), Bluetooth (C), Microphone (D) และ GNSS (E) Add-on Modules

ตารางที่ 3-5 การเปรียบเทียบกระบวนกรที่ใช้

| Methodology | Hardware platform | Used sensor | Sensor placement | Data processing location | Application for road surface monitoring |
|----------------|--|---------------|------------------|--------------------------|---|
| BikeNet | sensor node ^a + smartphone ^b | microphone | external | remote | - |
| SoundSense | smartphone ^c | microphone | internal | locally | - |
| BusNet | sensor node ^d | accelerometer | external | remote | + |
| Pothole Patrol | embedded computer ^e | accelerometer | external | locally | + |
| Nericell | smartphone ^f | accelerometer | external | locally | + |
| NTU | smartphone ^g | accelerometer | internal | loc.+rem. | + |
| RoadMic | PC/special sensor node | microphone | internal | locally | + |
| Potroid | smartphone ^h /sp. sensor node | accelerometer | internal | locally | + |

^aTmote Invent ^bNokia N80 ^cApple iPhone ^dCrossbow MICAz ^eSoekris 4801 ^fwith Windows Mobile OS ^gHTC Diamond ^hwith Android OS

การทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 การทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้น

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|---|--------------------------------|---|--|--------------------------------------|---|
| Road Condition Analysis Using 3-axis Accelerometer And GPS Sensors [44] | Amirgaliye, B.Y., et al (2016) | <ul style="list-style-type: none"> - วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพถนน โดยใช้ Accelerometer + GPS sensor smartphone วางไว้ในรถแสดงความแตกต่างของค่า accelerometer โดยมีการพิจารณาความเร็วของรถที่กำลังเคลื่อนที่ - แบ่งประเภทถนนเป็น smooth และ ไม่ smooth - smooth มี พื้นผิวเรียบอย่างสมบูรณ์แบบ,เรียบ แต่หยาบ ถนนที่เรียบแต่มีหลุม บ่อ และอื่น ๆ - ไม่ smooth มี พื้นผิวที่ไม่เรียบ, ถนนลาดยางไม่ดี และ ถนนไม่ลาดยาง) | ใช้ค่าความเร่งของ แกน X,Y,Z มา วิเคราะห์ | Accelerometer + GPS sensor บน มือถือ | <p>ความเร็วของยานพาหนะ มีผลต่อเร็กคอร์ด accelerometer</p> <p>คุณภาพของถนนมีผลต่อความเร็วของยานพาหนะ</p> |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|--|-----------------------------------|--|--|--|--|
| Classifying Road Surface Conditions Using Vibration Signals [45] | Gueta, L. B., and Sato, A. (2017) | <ul style="list-style-type: none"> - จำแนกพื้นผิวถนน ด้วยความสั่น - ความถี่ของ vibration = 50Hz - ความถี่ของ GPS = 1 Hz. - ติดอุปกรณ์ไว้ใต้เบาะนั่งของคนขับรถบรรทุก ส่วนอุปกรณ์อื่นติดที่แผงควบคุม | ใช้ค่าความเร่งของแกน Z โดยติดตัวให้แกน Z ตั้งฉากกับพื้นถนน | smartphone | 86.15% |
| Estimating Vehicle Speed from Road Surface Vibration Using Exponential Regression [46] | Jerry, L. A., et al. (2013) | <ul style="list-style-type: none"> - ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสั่น และ ความเร็วของรถ - ใช้รถมอเตอร์ไซด์ - ความเร็วเริ่มที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง สูงสุดที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง เพิ่มขึ้นทีละ 10 | ใช้ค่าความเร่งของแกน X , Y | A D X L 3 5 5 accelerometer + PIC16F877A | ผลลัพธ์แสดง exponential regression ที่ยอมรับได้ ซึ่งมี R2 เกิน 0.9 |
| Road Quality Analysis and Mapping for Faster and Safer Travel [47] | Prapulla, S. B., et al. (2017) | <ul style="list-style-type: none"> - วิเคราะห์คุณภาพของถนน ด้วยการสั่น เพื่อเลือกเส้นทางที่เร็วและปลอดภัย | ใช้ ค่าความเร่งแกน z | Acceleration sensor + arduino micro-controller | ถ้า SD สูง = คุณภาพถนนต่ำ |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|--|-------------------------------|---|-------------------------------|----------|-------------------------------|
| | | <p>ที่สุด บน APP และ Website</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุปกรณ์ติดไว้ที่ฝากระโปรงรถ - เก็บข้อมูลใน SD card - ประเมินประสิทธิภาพของถนนจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) | | | |
| A Machine Learning Approach to Road Surface Anomaly Assessment using Smartphone Sensors [48] | Basavaraju, A., et al. (2019) | <ul style="list-style-type: none"> - ทดสอบ feature ที่ได้จาก 1 แกนกับ 3 แกน - มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ machine learning ที่ใช้ในการจัดกลุ่มของถนน และ มีการประเมินประสิทธิภาพของ deep neural networks ที่ใช้ในการ classify ถนน - HW- iPhone6 | ใช้ ค่า ความ เร่ง แกน X,Y,Z | iPhone 6 | แบบ 3 แกนให้ผลออกมาแม่นยำกว่า |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|---|---------------------------|---|-------------------------------|--------------|--------|
| | | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้รถ 3 รุ่น 3 ประเภท คือ Ford Focus sedan, Ford Focus hatchback และ Subaru Outback SUV - SW- Vibration Recorder,DJI Osmo ใช้บันทึกวิดีโอ | | | |
| MagTrack: Detecting Road Surface Condition using Smartphone Sensors and Machine Learning [49] | Dey, M. R., et al. (2019) | <ul style="list-style-type: none"> - MagTrack ซึ่งมีการใช้ 3 feature selection algorithm คือ Ranker algorithm, GreedyStepWise และ BestFirst - นอกจากนี้มีการใช้ 3 classification algorithms คือ Support Vector Machine (SVM), RandomForest และ RandomTree | ใช้ ค่าความเร่ง แกน X,Y,Z | Redmi note 5 | 92% |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|--|----------------------------|--|-------------------------------|--|---------------------|
| | | - HW -- Redmi note 5 | | | |
| Real Time Pothole Detection using Android Smartphones with Accelerometers [50] | Mednis,D., et al. (2011) | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้สมาร์ทโฟนระบบ Android ตรวจจับหลุมแบบ real time - ใช้รถ 4 ล้อทดสอบ เช่น รถรับส่งผู้โดยสาร รถตู้ รถบัส - ใช้ 4 อัลกอริทึมในการตรวจจับหลุม คือ Z-THRESH, Z-DIFF, STDEV(Z) และ G-ZERO | แกน Z | ใช้สมาร์ทโฟน 4 รุ่น คือ Samsung i5700, Samsung Galaxy S, HTC Desire, HTC HD2 | Positive rate = 90% |
| Survey of Road Bump and Intensity Detection algorithms using Smartphone Sensors [51] | Khedkar, J., et al. (2015) | <ul style="list-style-type: none"> - วิเคราะห์ความปลอดภัย (การชน) ของถนนจากความเร็วของรถ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการท่องเที่ยว คล้าย ๆ Google Map รวมถึงแสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้ใช้ | แกน X,Y,Z | สมาร์ทโฟน | มีประสิทธิภาพมาก |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|---|---------------|--|-------------------------------|----------|---|
| Implementation of Participatory Sensing Approach in Mobile Vehicle Based Sensor Networks [52] | MEDNIS (2013) | <ul style="list-style-type: none"> - ศึกษาการบันทึกข้อมูล และวิธีการประมวลผลเพื่อตรวจจับสิ่งต่างๆ จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ทั้งอุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ และสมาร์ตโฟน โดยแบ่งประเภทพื้นผิวเป็น 5 ชนิด คือ หลุมบ่อขนาดใหญ่ - Big potholes, หลุมบ่อขนาดเล็ก - Small potholes, บ่อ - Pothole หลุมที่อยู่เป็นกลุ่ม Clusters, ช่องว่าง Gaps and ร่องที่มีการระบายน้ำ Drain pits - โดยทำการศึกษาสามวิธีคือ - การตรวจจับพื้นผิวถนนที่มีความเสียหายจากเสียง โดยใช้ไมโครโฟนบนคอมพิวเตอร์ | | | <p>วิธีที่ 1 80% เป็นหลุมที่กระจุกเป็นกลุ่ม (Cluster) ส่วนของช่องว่างจับได้สูงสุด 60% และร่องที่มีการระบายน้ำสูงสุด 40%</p> <p>วิธีที่ 2 สามารถตรวจจับได้สูงสุด 92% ด้วยอัลกอริทึม Z-DIFF</p> |

| Research Title | Author (Year) | Detail | Value of Accelerometer sensor | Hardware | Result |
|----------------|---------------|---|-------------------------------|----------|--------|
| | | <p>พกพา มีการใช้ Global Navigation Satellite System (GNSS) ในการเก็บข้อมูล และใช้ค่า T ที่ 15% - 90%</p> <ul style="list-style-type: none"> - ตรวจจับพื้นผิวถนนโดยใช้ accelerometers บนสมาร์ทโฟน Android แล้วประเมินผลโดยใช้อัลกอริทึมสี่ตัวคือ Z-THRESH, Z-DIFF, STDEV(Z) และ G-ZERO - ตรวจจับพื้นผิวถนนด้วยอุปกรณ์ฝังตัว (Embedded device) โดยใช้ microphone และ accelerometers | | | |

บทที่ 4 ภาพรวมการออกแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT

ระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT (Road Surface Quality Monitoring System Powered by Machine Learning with Data from Sensors Transmitted via IoT Network) เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้สำรวจพื้นผิวถนนได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น โดยมุ่งการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนทั้งทางตรงและทางแฝงในการสำรวจพื้นผิวถนน โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการบูรณาการข้อมูลจากตัวเก็บข้อมูลหลายๆ ประเภท และหลายๆ ตัวที่มีราคาต่ำ ให้ทำงานเก็บข้อมูลร่วมกันและสร้างเสริมความแม่นยำให้กันและกันเองได้โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เมื่อรวมกันแล้วมีคุณภาพและประสิทธิภาพสูงด้วยต้นทุนที่ต่ำลง อีกทั้งนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวจราจรที่เข้าใจได้ง่าย

เนื่องจากการออกแบบระบบฯ ใช้หลักการพัฒนาเชิงนวัตกรรม ซึ่งมุ่งเน้นการใช้งานที่ตอบโจทย์จริงของผู้ใช้งาน และการวิจัยมีขอบเขตรวมถึงการเข้าใจวิธีการปฏิบัติงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นการออกแบบระบบฯ จึงมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ตอบโจทย์ผู้ใช้งานและแก้ปัญหาอย่างแท้จริง

ณ ความเข้าใจปัจจุบัน การออกแบบระบบมี 2 ชั้นคือ

1. การออกแบบการทำงานของ Production System ระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร
2. การสร้าง Classifier Model ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของ Product System

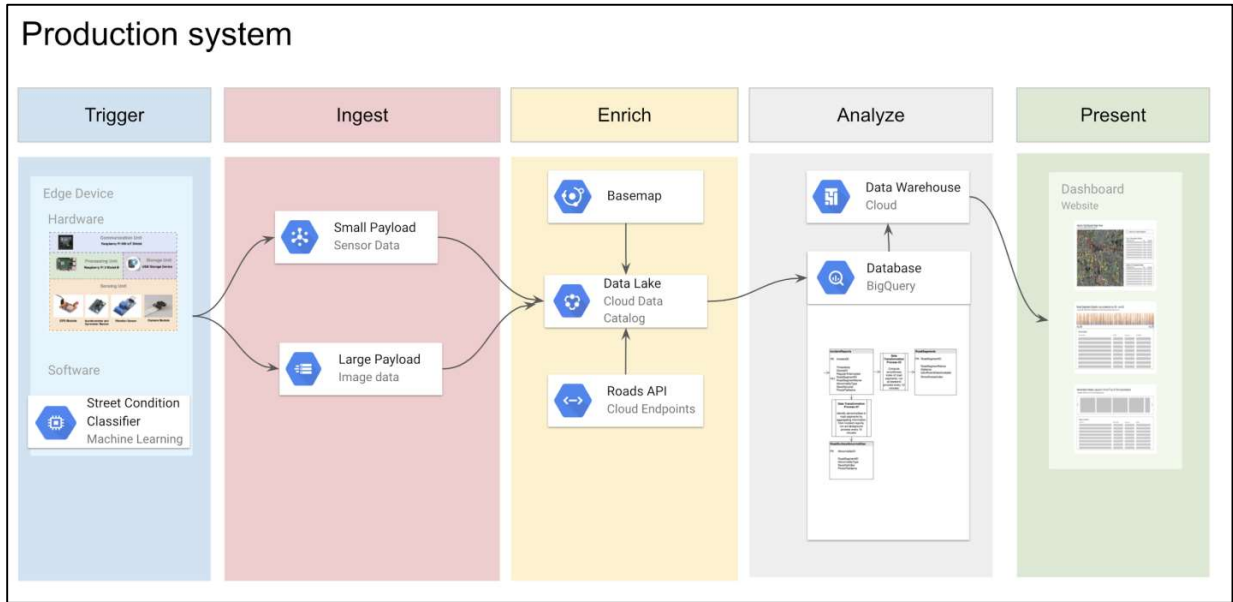
4.1 การออกแบบการทำงานของ Production System

Production System คือตัวระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของโครงการวิจัย เป็นระบบที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้สำรวจพื้นผิวถนนได้

ระบบ Production System แสดงดังภาพที่ 4-1 มีการทำงานแบ่งเป็น 5 กระบวนการ ดังนี้

1. Trigger การกำเนิดข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่อยู่บนยานพาหนะ
2. Ingest การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรคมนาคม
3. Enrich การนำประกอบข้อมูลสมทบ
4. Analyze การวิเคราะห์และประมวลผล

5. Present การนำเสนอรายงานของผลการตรวจจับความผิดปกติของถนน



ภาพที่ 4-1 กระบวนการทำงานของ Production System

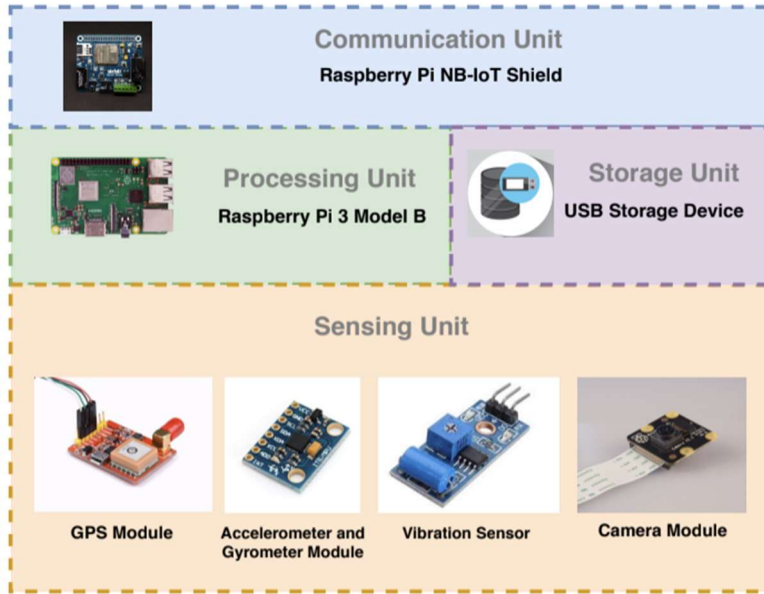
ซึ่งการทำงานของแต่ละกระบวนการ เป็นดังต่อไปนี้

4.1.1 การกำเนิดข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่อยู่บนยานพาหนะ

อุปกรณ์เก็บข้อมูล ทำการวัดคุณภาพพื้นผิวจราจร ในขณะที่ยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่อยู่บนถนนในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลขาเข้าประกอบด้วย ภาพพื้นผิวถนนจากกล้องถ่ายภาพด้านหน้า และค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์วัดค่า (sensor) นำเข้าประมวลผลใน โมเดลการเรียนรู้เชิงเครื่องจักร และได้ผลออกเป็นค่าตัวชี้วัดคุณภาพพื้นผิวจราจร พร้อมทั้ง รายงานความเสียหาย พิกัด และภาพถ่ายหลักฐานในกรณีพืพบความผิดปกติหรือความเสียหายของพื้นผิวจราจร

องค์ประกอบของอุปกรณ์เก็บข้อมูล ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพถนนด้านหน้า อุปกรณ์จับพิกัด GPS ซึ่งรายงานข้อมูลในรูปแบบ GeoJSON อุปกรณ์วัดแรงสั่นสะเทือนพร้อมทิศทางการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์เก็บข้อมูลอื่นๆที่คณะวิจัยทดลองศึกษาเพื่อ optimize การ train model

โดยในระยะแรกของการวิจัย ใช้ Smart Phone ที่มีอุปกรณ์เหล่านี้บูรณาการกันแล้ว เพื่อใ้่ง่ายต่อการเก็บข้อมูลสำหรับการ train model แต่เมื่อ train model สำเร็จแล้ว โครงการวิจัยมีแผนที่จะสร้าง Edge Device ต้นแบบด้วย Maker Device เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดค่าใช้จ่ายของตัว Edge Device เมื่อจะ deploy อุปกรณ์เป็นจำนวนมาก องค์ประกอบและการติดตั้ง ของ Edge device แสดงดังภาพที่ 4-2 และภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-2 องค์ประกอบเบื้องต้นใน Edge Device

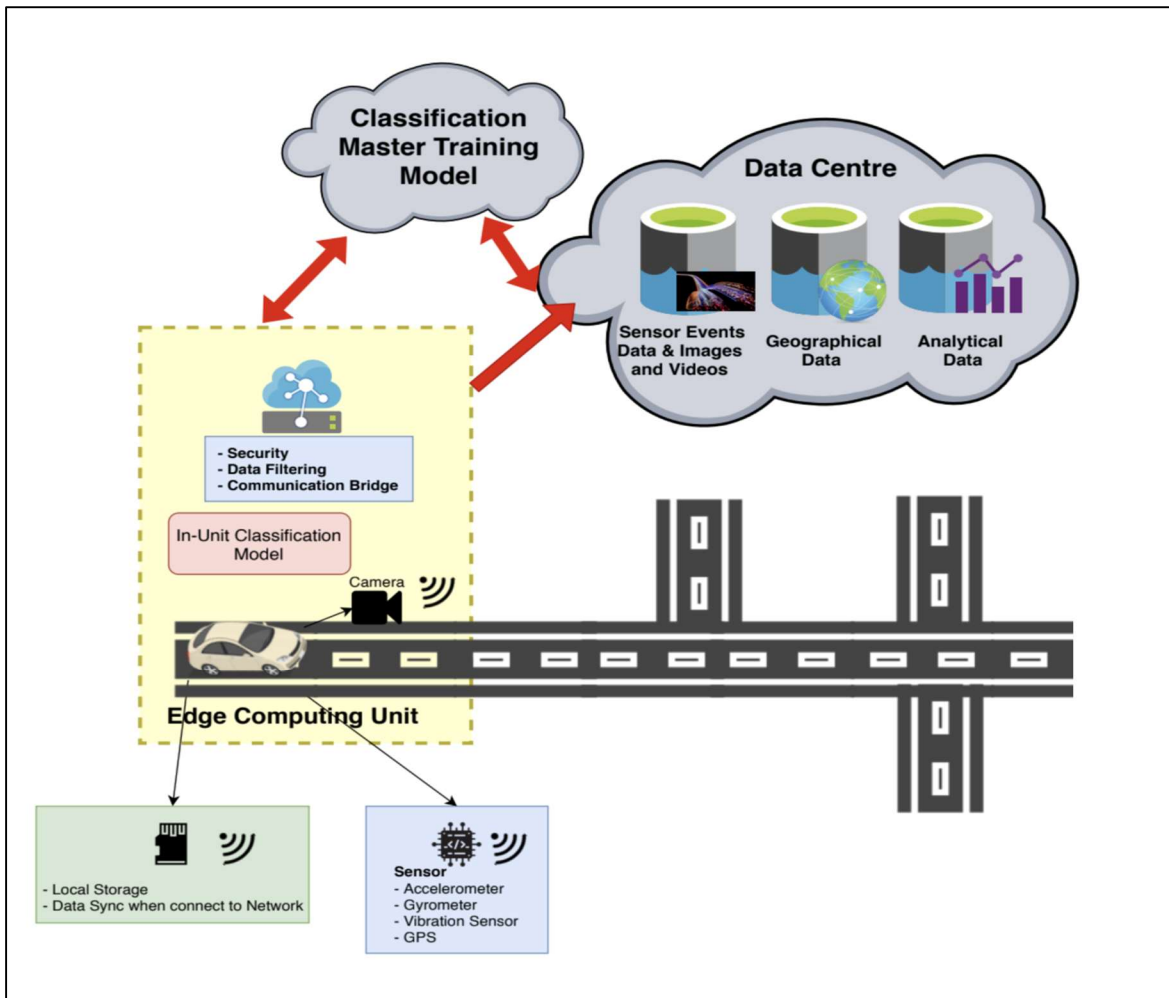


ภาพที่ 4-3 การติดตั้ง Edge Device เบื้องต้น

4.1.2 การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรคมนาคม

ข้อมูลที่เก็บได้จากเซนเซอร์ทุกตัวและจากกล้อง จะถูกย่อยเบื้องต้นแล้วโดย Classifier Model (การทำงานของ Classifier Model อยู่ในหัวข้อถัดไป) โดยข้อมูลที่นำเข้าสู่แพลตฟอร์มสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลขนาดเล็ก (ข้อมูลจากเซนเซอร์) และ ข้อมูลขนาดใหญ่ (ข้อมูลรูปภาพจากกล้อง)

Software และ Communication Unit ของ Edge Device มีการ batch และ queue ข้อมูล และส่งข้อมูล แบบ near real-time ผ่านโครงข่ายโทรคมนาคมที่เหมาะสม ไปที่ Data Lake โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ เก็บไว้ในส่วนที่เก็บข้อมูลประเภทระเบียบ และข้อมูลรูปถ่ายเก็บไว้ในคลังเก็บรูปภาพ โดยตั้งชื่อ file รูปภาพให้อ้างอิงได้จากข้อมูลระเบียบ แสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรคมนาคม

ข้อมูลจากเซนเซอร์ในการออกแบบเบื้องต้นมีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลจากเซนเซอร์ในการออกแบบเบื้องต้น

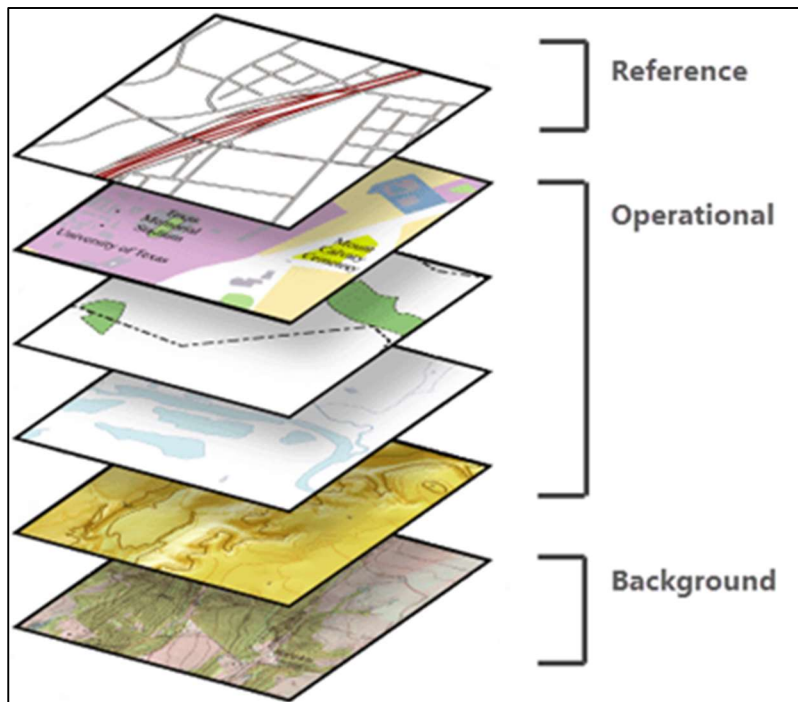
| ชื่อข้อมูล | คำอธิบาย |
|-------------------|---|
| Timestamp | วันที่เวลาที่เก็บข้อมูลได้ |
| DeviceID | รหัสเฉพาะของ Edge Device |
| AbnormalityType | ประเภทความผิดปกติของผิวจราจรที่ Classifier Model จำแนกได้ |
| SeverityLevel | ค่าความผิดปกติ อิงจากแรงสั่นสะเทือนในห้องโดยสาร |
| CoordinateX | ค่าจาก GPS |
| CoordinateY | ค่าจาก GPS |
| GPSPMarginOfError | ค่าจาก GPS |
| ElevationLevelZ | ค่าที่ infer จาก Z-axis accelerometer ใช้ในการแยกแยะถนนต่างระดับที่ทับซ้อนกัน |
| PhotoFileName | ชื่อ file ของรูปที่ส่งไปเก็บในคลังรูปภาพเพื่อใช้อ้างอิง |

4.1.3 การนำประกอบข้อมูลสมทบ (Enrich)

เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับเข้าสู่ระบบยังเป็นข้อมูลดิบ ที่อาจจะไม่แม่นยำ และขาดรายละเอียดที่จำเป็น จึงมีการนำข้อมูลสมทบจากแหล่งอื่นเข้าประกอบ โดยรายละเอียดการประกอบข้อมูลสมทบ มีดังนี้

1. การให้ความหมาย Coordinates โดยระบุความสัมพันธ์กับ Basemap

เป็นขั้นตอนซึ่งนำชุดข้อมูลพิกัด GPS ที่ได้รับจากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนยานพาหนะพร้อมกับรายงานการตรวจพบ มาเปรียบเทียบกับตำแหน่งการรายงานบนพิกัดของระบบแผนที่ฐาน สำหรับประกอบเป็นฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อทำการวิเคราะห์และจัดเก็บเป็นสารสนเทศในคลังข้อมูลกลางต่อไป ตัวอย่างชั้นข้อมูลของระบบแผนที่แสดงดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-5 ตัวอย่างชั้นข้อมูลของระบบแผนที่

ที่มา: ArcGIS Pro-Basemaps

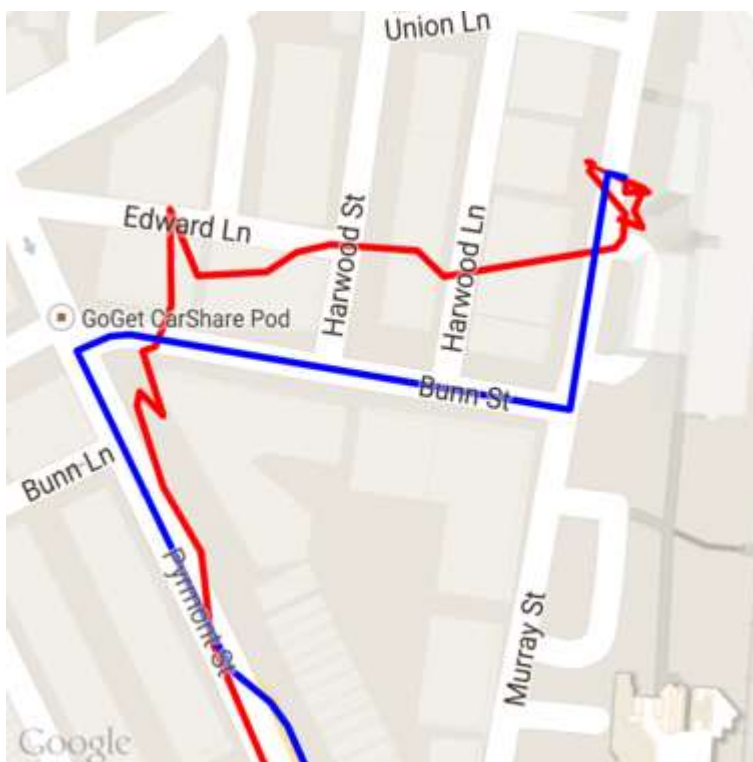
ภาพด้านบน เป็นตัวอย่างระบบแผนที่ซึ่งมีการแบ่งชั้นข้อมูล เพื่อประกอบรวมกันเป็นฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ ทำให้สามารถแสดงและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเหตุการณ์หรือวัตถุในทางภูมิศาสตร์ บนระบบแผนที่ของฐานข้อมูลของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร

2. การ Snap to Road และหาชื่อถนน จาก Public Roads API

เป็นขั้นตอนในการระบุเส้นถนนและชื่อถนน จากรายงานความผิดปกติที่บันทึกได้จากอุปกรณ์ภาคสนาม โดยข้อมูลพิกัด GPS จากรายงานจะถูกประมวลเป็นเส้นถนนและชื่อถนนเพื่อจัดเก็บในคลังข้อมูลกลาง ทั้งนี้การ

ทบทวนวรรณกรรมพบว่าตัว GPS เองอาจมีความคลาดเคลื่อน ถ้าไม่เสริมประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งของถนน แล้วเส้นทางการเดินทาง อาจระบุตำแหน่งความผิดปกติของพื้นผิวจราจรผิดได้

ตัวอย่างการประมวลชุดข้อมูลพิกัด GPS เป็นข้อมูลเส้นถนนและชื่อถนน โดยใช้ Roads API ของบริการ Google Maps แสดงดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 เส้นทางของอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนแผนที่ เส้นถนน (สีน้ำเงิน) เส้นพิกัด GPS ที่บันทึกได้ (สีแดง)

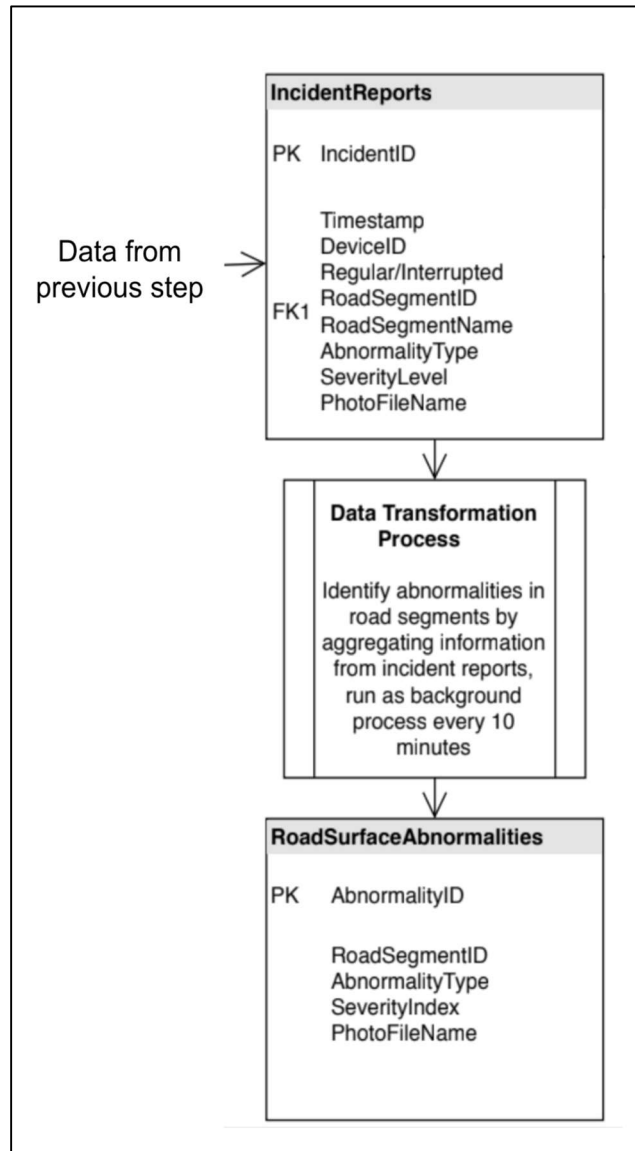
ที่มา: Google Maps Platform-Roads API

3. การวิเคราะห์และประมวลผล

หลังจากผ่านกระบวนการประกอบข้อมูลสมทบ รายงานจากภาคสนามถูกนำเข้าสู่คลังข้อมูลกลาง ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการเตรียมนำเสนอ และบันทึกจัดเก็บในฐานข้อมูล

กระบวนการวิเคราะห์ และประมวลผลเป็นกลไกการทำงานของระบบคลังข้อมูลกลาง (Data Warehouse) ซึ่งคลังข้อมูลกลางนี้ถือเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการ transform data เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการเตรียมนำเสนอ โดย transform ข้อมูลระดับ incidents (รายงานจากภาคสนาม) เป็นข้อมูลระดับ irregularities (ความผิดปกติ) โดยข้อมูลผลลัพธ์

จะถูกจัดเก็บใน Data Warehouse และในขณะเดียว aggregate (ออกรายงานสรุป) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการรายงานผล ส่งต่อให้กระบวนการถัดไป โครงสร้างข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลในกระบวนการ Transformation ของ Data Warehouse แสดงดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 โครงสร้างข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลในกระบวนการ Transformation ของ Data Warehouse

กระบวนการในการทำ Transformation รวบรวมความผิดปกติที่ตรวจพบจากทุกๆการรายงาน และทำการคำนวณเป็นรายงานสรุป ประกอบเป็นผลการตรวจพบสภาพถนน ของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร

การประมวลผลทำทุกๆ ระยะ โดยการออกแบบเบื้องต้นกำหนดระยะเวลาทุกๆ 10 นาที เพื่อปรับปรุงข้อมูลให้เป็นปัจจุบัน และจัดเก็บเรียบเรียงข้อมูลตามลำดับเวลาและความสำคัญ เพื่อให้การนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน สามารถแสดงสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

4.1.4 การนำเสนอผลของการตรวจจับความผิดปกติของถนน

ระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร นำเสนอข้อมูลโดยใช้เว็บไซต์ แสดงข้อมูลเป็น Dashboard ให้ผู้ใช้งานได้รับทราบสารสนเทศในมุมมองที่เหมาะสม โดยการออกแบบเบื้องต้นสรุปว่าจะแสดงสารสนเทศใน 3 มุมมอง ดังนี้

1. มุมมองรวม แสดงข้อมูลสำหรับถนนที่ได้รับการสอดส่องโดยระบบฯ
2. มุมมองระดับถนน แสดงถนนแต่ละเส้นมีความผิดปกติที่ใดบ้าง
3. มุมมองระดับความผิดปกติ แสดงรายละเอียดของความผิดปกตินั้น

ทั้งนี้ผลจากการศึกษาเพิ่มเติม และจากความต้องการจริงที่ค้นพบจากการร่วมมือกับหน่วยงานที่นำระบบไปปฏิบัติงานจริง อาจมีผลให้รายละเอียดของการออกแบบเปลี่ยนไป เพื่อตอบโจทย์ของผู้ใช้งานจริงให้ได้ประโยชน์สูงสุด

1. มุมมองรวม

มุมมองรวมแสดงแผนที่แสดงให้เห็นว่ามีถนนเส้นใดบ้างที่ได้รับรายงานความผิดปกติ สำหรับภาพรวมของแต่ละพื้นที่ศึกษาในระดับเมืองหรือเทศบาล โดยการออกแบบเบื้องต้นกำหนดลักษณะการแสดงผลดังภาพที่ 4-8

Home: Dashboard Map View

Search for a street segment

| Top 10 Smoothest Streets | | |
|--------------------------|-------|--------------|
| Street Segment Name | Score | Last Updated |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

| Bottom 10 Roughest Streets | | |
|----------------------------|-------|--------------|
| Street Segment Name | Score | Last Updated |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

ภาพที่ 4-8 การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองรวม

2. มุมมองระดับถนน

แสดงข้อมูลสำหรับถนนแต่ละเส้น หรือแต่ละช่วงถนนว่ามีความไม่เรียบที่ใดบ้าง แต่ละที่มีลักษณะและประเภทอะไร มีความรุนแรงเพียงใด การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองถนนแสดงดังภาพที่ 4-9

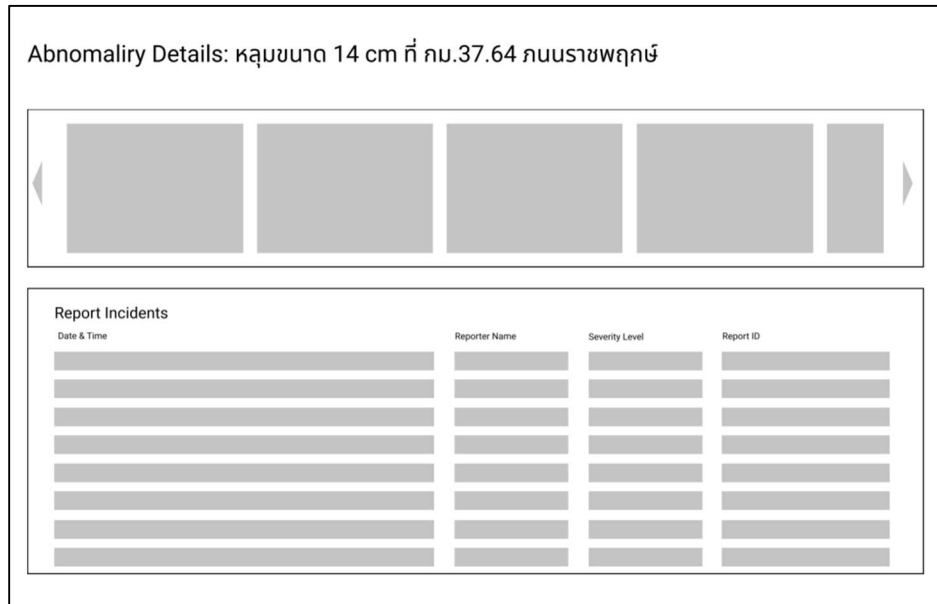
Road Segment Details: ถนนราชพฤกษ์ กม.36 - กม.42

| Abnormalities | | | |
|------------------|----------|----------------|--------------|
| Type Abnormality | Location | Severity Level | Last Updated |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

ภาพที่ 4-9 การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองถนน

3. มุมมองระดับความผิดปกติ

มุมมองระดับความผิดปกติรายงานความผิดปกติแต่ละจุดที่มีการรายงาน แสดงภาพถ่ายที่ตรวจพบและประวัติของการรายงานแต่ละครั้งแต่ละจุดที่มีความไม่เรียบ มีรายงานมาจากใคร เมื่อใด พร้อมหลักฐานรูปถ่าย การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองระดับความผิดปกติแสดงดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 การกำหนดลักษณะการแสดงผลเบื้องต้นของมุมมองระดับความผิดปกติ

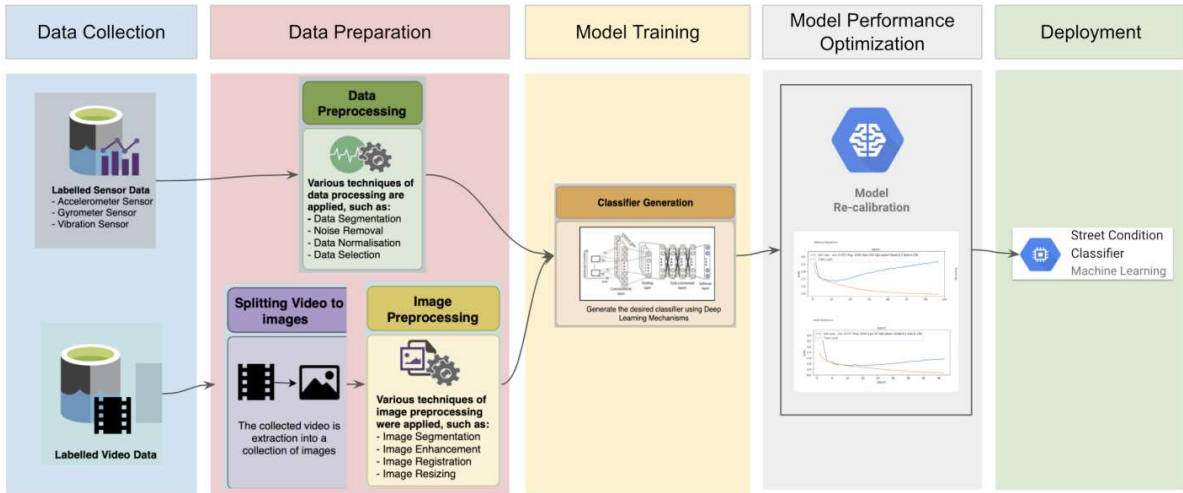
4.2 Classifier Training

องค์ประกอบหนึ่งของ Product System คือ Classifier Model (ตัวแบ่งประเภทโดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์)

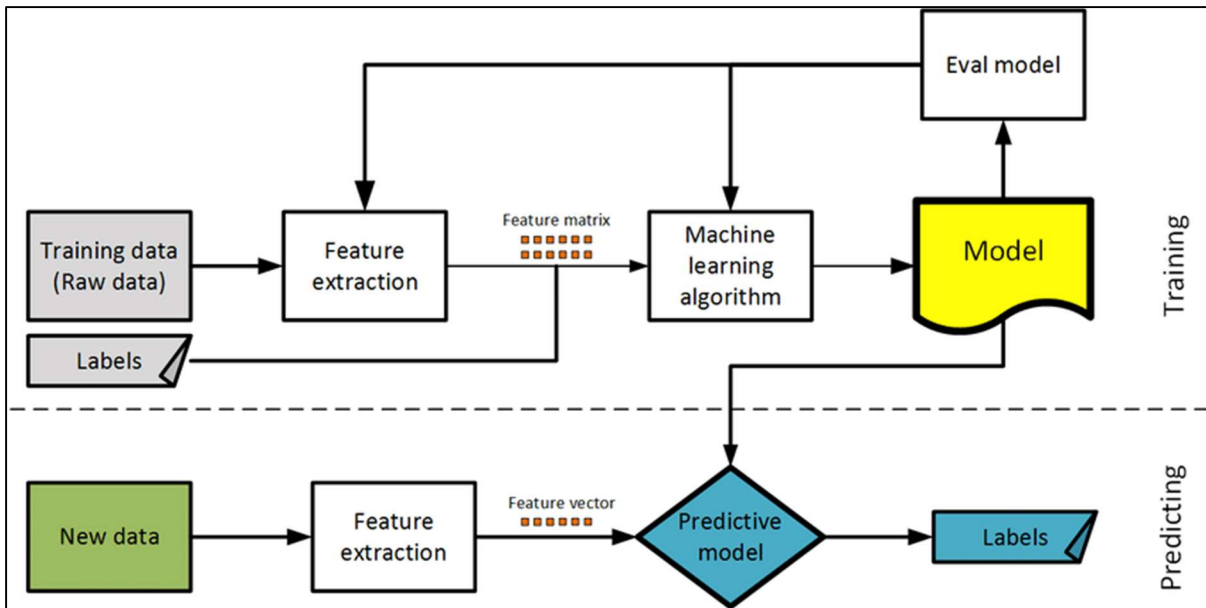
ขั้นตอนของการสร้างตัวแบ่งประเภทโดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์แสดงดังภาพที่ 4-11 ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. Data collection
2. Data preparation
3. Model Training
4. Model performance optimization
5. Model Deployment

AI Classifier Training



ภาพที่ 4-11 กระบวนการสร้างตัวแบ่งประเภทโดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์



ภาพที่ 4-12 ภาพรวมของการพัฒนาระบบจำแนกโดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ [57]

4.2.1 Data Collection

ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลจากตัวเครื่องตรวจจับข้อมูลพื้นผิวถนนที่ได้ติดตั้งไว้บนรถยนต์ที่ใช้สำหรับการสำรวจสภาพพื้นผิวถนน โดยข้อมูลเหล่านี้มี 2 ประเภทหลัก ซึ่งแบ่งตามปริมาณของขนาดข้อมูลที่ทางเครื่องตรวจจับสามารถรวบรวมได้

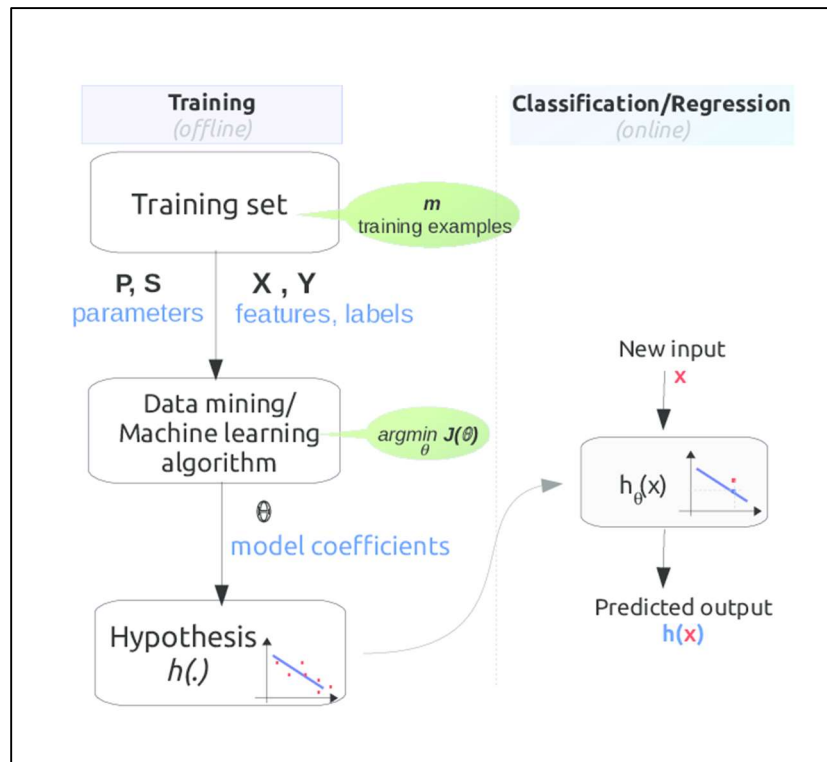
ประเภทที่ 1 ได้แก่ ข้อมูลสภาพผิวถนน ที่มีขนาดข้อมูลน้อย (small payload data) ได้แก่ ข้อมูลจำพวก GPS Coordinates, Gyrometer data, Accelerometer data, Vibration data และอื่น ๆ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้ มีปริมาณข้อมูลไม่มากเท่าไรนัก ดังนั้น การจัดส่งข้อมูลเหล่านี้เพื่อนำไปสร้างและวิเคราะห์ตัวปัญญาประดิษฐ์ จะถูกจัดส่งผ่านทางเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์ ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เพื่อนำไปใช้ในการสร้างตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ต่อไป

ประเภทที่ 2 ได้แก่ ข้อมูลสภาพผิวถนน ที่มีปริมาณมาก (large payload data) ได้แก่ ข้อมูลจำพวก ภาพเคลื่อนไหว ของพื้นผิวถนน ที่ได้ถูกเก็บมาจาก กล้องถ่ายรูป หรือกล้องวิดีโอ ที่ได้ติดตั้งไว้ในรถยนต์ที่ใช้ในการตรวจเก็บข้อมูลสภาพพื้นผิวถนน ทั้งนี้ เนื่องจากภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากกล้อง จะมีความละเอียดสูงและเป็นปริมาณมาก ดังนั้น การออกแบบระบบฯเบื้องต้นสรุปให้การส่งต่อข้อมูลเหล่านี้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อสร้างตัวจำแนกปัญญาประดิษฐ์จะถูกส่งผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงภายหลังจากสิ้นสุดการเก็บข้อมูลสภาพพื้นผิวถนนในแต่ละวัน ทั้งนี้วิธีส่งข้อมูลอาจมีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย ความปลอดภัย ความเสถียร ฯลฯ

นอกจากนี้ ในการส่วนของการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์นั้น จะมีการรวบรวมข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มข้อมูลสำหรับ Model Training เป็นข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องมือที่ใช้ตรวจเก็บข้อมูล โดยจะเป็นการเก็บข้อมูลสภาพพื้นผิวถนนจากข้อมูลตัวอย่างที่ได้ทราบชนิดของพื้นผิวถนนแล้ว (Labelled) ซึ่งจะมีข้อมูลของพื้นผิวถนน ทั้งแบบที่เป็นถนนปกติ และแบบที่มีความผิดปกติ ทั้งนี้ ข้อมูลแต่ละชนิดทั้งจำนวนที่มีความผิดปกติและจำพวกที่ปกติจะถูก labelled ไว้ตามแต่ประเภทของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อให้ทางปัญญาประดิษฐ์สามารถเรียนรู้และจำแนกชนิดของพื้นผิวต่าง ๆ ที่ได้มาจากข้อมูลเหล่านี้ได้ นอกจากนี้ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกสภาพพื้นผิวถนนของตัวปัญญาประดิษฐ์ที่ได้สร้างมาอีกด้วย
2. กลุ่มข้อมูลจริง ที่ได้รับมาจากการตรวจสอบพื้นผิวถนนจริง จะเป็นข้อมูลดิบ ที่ไม่ได้มีการจำแนกประเภทมาก่อน (Unlabeled) และถูกคาดหวังว่าตัวปัญญาประดิษฐ์จะสามารถจำแนกประเภทของตัวพื้นถนนจากข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ข้อมูลเหล่านี้ ภายหลังจากที่ได้รับการจำแนก

ประเภทแล้วจะถูกส่งต่อไปยังระบบแสดงผล เพื่อนำข้อมูลเอาไปวิเคราะห์ทางด้านสถิติเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในภายภาคหน้าต่อไป



ภาพที่ 4-13 การแบ่งแยกชนิดข้อมูลจริงเป็น parameters สำหรับการเรียนรู้ของตัวจำแนกชนิดปัญหาประติษฐ์ และการสอนให้ตัวจำแนกปัญหาประติษฐ์เรียนรู้ถึงข้อมูลที่ได้ทราบชนิดอยู่แล้วผ่านทาง label [55]

4.2.2 Data Preparation

เนื่องจากข้อมูลจากขั้นตอนก่อน ส่วนมากเป็นข้อมูลดิบ (raw data) ซึ่งไม่พร้อมนำไปคำนวณสร้างตัวจำแนกชนิดปัญหาประติษฐ์ จึงต้องเตรียมข้อมูลดังกล่าวให้พร้อมก่อน โดยมี 2 ขั้นตอน ได้แก่

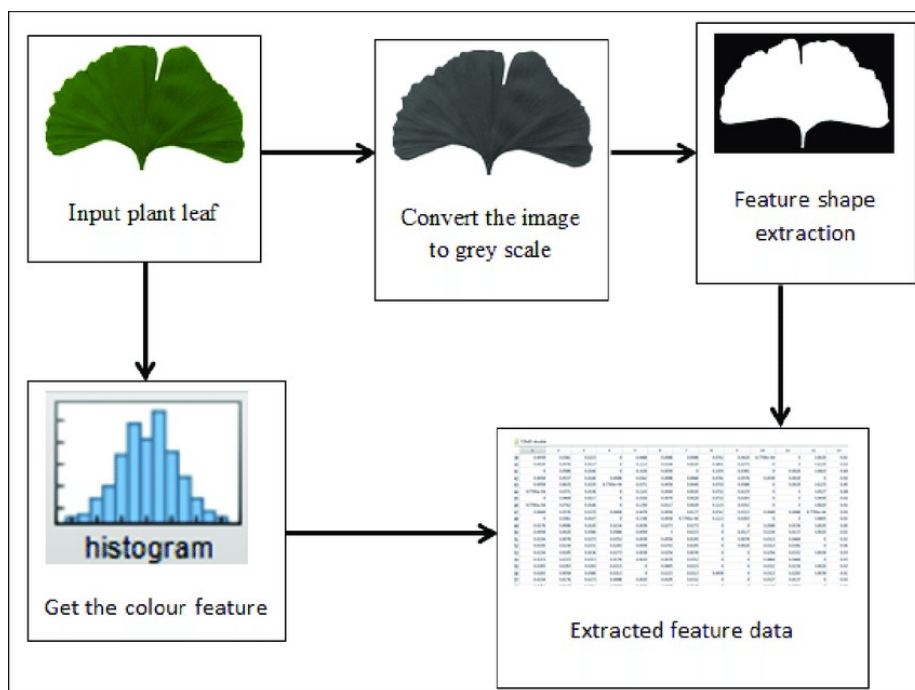
1. Data Cleaning

เป็นการทำความสะอาดข้อมูล เพื่อกำจัดข้อมูลที่ไม่เหมาะสมหรือมีความผิดพลาดอยู่ในตัวข้อมูลเอง ที่อาจเกิดจากความผิดพลาดของการเก็บข้อมูล หรือความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์เก็บข้อมูล หรือข้อมูลบางชนิดที่มีลักษณะไม่เข้าพวกกับข้อมูลส่วนใหญ่ที่รวบรวม ดังนั้น ในขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดข้อมูลเหล่านั้นออกไปด้วยวิธีการ

คำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงและผันผวนน้อย เหมาะสมต่อการสร้างตัวจำแนกชนิด
ปัญญาประดิษฐ์เพื่อจำแนกพื้นผิวถนน

2. Data Parsing & Normalization

เป็นการบริหารจัดการข้อมูลที่ได้รวบรวมมาจากตัวเก็บข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างกัน
ให้อยู่ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกันเพื่อนำมาใช้ในการสร้างตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลที่
รวบรวมมาได้จากตัวเก็บข้อมูลมีหลายมิติที่ต่างประเภทกัน อาทิเช่น ข้อมูลที่ได้มาจาก GPS จะเป็นชนิดตัวเลขที่
บ่งบอกตำแหน่ง ในขณะที่ข้อมูลจาก Accelerometer นั้น ถึงแม้ว่าจะเป็นข้อมูลตัวเลขเหมือนกัน แต่ว่าลักษณะ
ข้อมูลบ่งบอกถึงความเร็วและทิศทาง ซึ่งเป็นคนละชนิดกับข้อมูลตำแหน่ง นอกจากนี้ ข้อมูลประเภท
ภาพเคลื่อนไหวจากกล้องวิดีโอ ก็มีโครงสร้างของข้อมูลที่แตกต่างจากข้อมูลอีกสองชนิดข้างต้นอย่างชัดเจน ดังนั้น
ขั้นตอนนี้เป็น การคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้รูปแบบของข้อมูลที่รวบรวมมาได้มีความเหมาะสมต่อชนิดของตัว
จำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ที่กำลังจะสร้างในขั้นตอนถัดไป แสดงดังภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-14 การจำแนกองค์ประกอบของรูปภาพและภาพเคลื่อนไหวให้กลายเป็น data structure
ทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถนำมาประมวลผลในกระบวนการเรียนรู้ของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ได้ [54]

4.2.3 Model Training

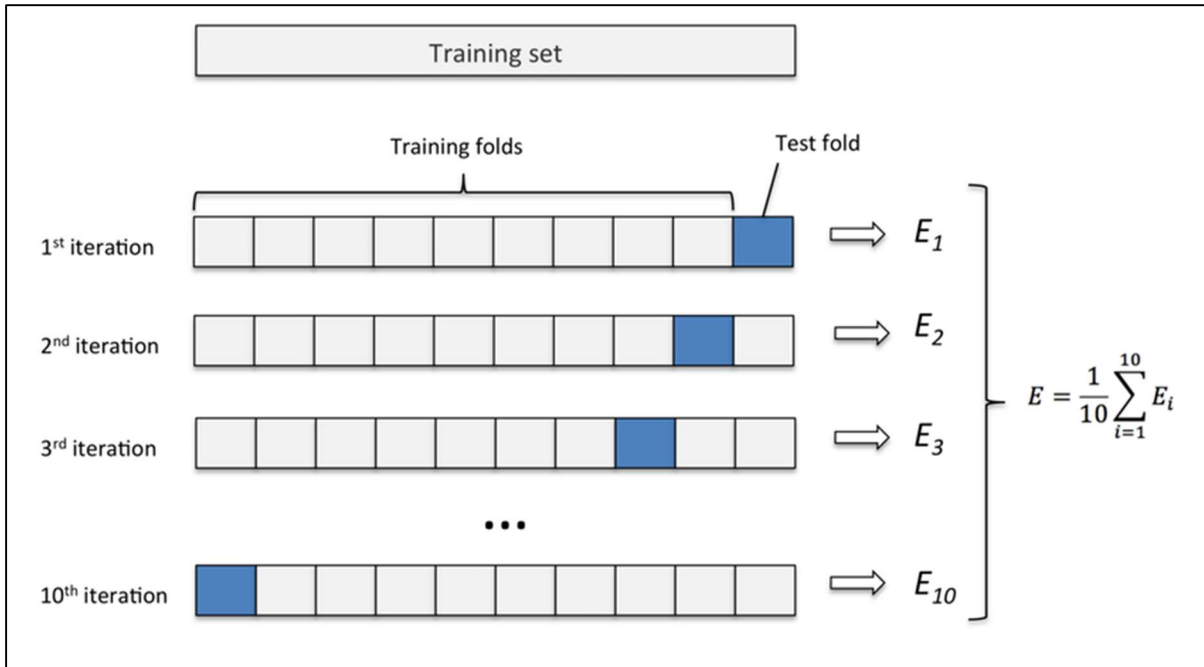
เป็นการสร้างตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ ที่มีหลายรูปแบบแตกต่างกัน โดยอาศัยความรู้จากการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการสร้างตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์หลากหลายรูปแบบ แตกต่างกันในลักษณะการคำนวณ (algorithms) ของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์นั้น เพื่อให้ได้ตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถที่ดีที่สุดในการจำแนกพื้นผิวถนน ทั้งนี้ เกณฑ์ที่จะใช้พิจารณาตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์สำหรับพื้นผิวถนนนั้นจะอาศัยหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. วิธีการคำนวณและจำแนกพื้นผิวถนน จะต้องเหมาะสมและสอดคล้องกับชนิดของข้อมูลที่ได้รับรวบรวมมา จากขั้นตอนก่อนหน้านี
2. ตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ จะต้องมีประสิทธิภาพการจำแนกสภาพพื้นผิวถนนที่แม่นยำและยอมรับได้ตามหลักมาตรฐานทางสถิติ

ทั้งนี้ การพัฒนาตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ จะมีการนำข้อมูลจากการรวบรวมในขั้นตอนที่ 1 มาใช้ในการเรียนรู้และสร้างตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าว จะเป็นข้อมูลกลุ่มที่ทราบประเภทแล้วเท่านั้น เพื่อให้ตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์นั้นสามารถเรียนรู้และจำแนกชนิดของสภาพผิวถนนได้จากข้อมูลที่รวบรวมมา

4.2.4 Model Performance Optimization

ในขั้นตอนนี้ จะมีการตรวจสอบและวิเคราะห์ความสามารถของการจำแนกพื้นผิวถนนของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ที่ได้สร้างมาและเรียนรู้จากข้อมูลที่ได้สะสมมา เพื่อวิเคราะห์และชี้วัดว่าประสิทธิภาพของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ที่ได้สร้างมานี้ เพียงพอต่อเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางสถิติหรือไม่ และเพื่อวิเคราะห์ว่าความผิดพลาดของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์นี้มีมากน้อยเพียงใด แสดงดังภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-15 วิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์โดยการแบ่งข้อมูลเป็นกลุ่มชุดสำหรับการเรียนรู้และกลุ่มชุดสำหรับการทดสอบ [53]

ทั้งนี้ ประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์นั้น อาจจะได้ผลได้ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยให้ตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ได้ทดสอบจำแนกชนิดของพื้นผิวถนนที่ได้ทราบลักษณะความผิดปกติของพื้นผิวถนนอยู่แล้ว และนำมาประมวลผลประสิทธิภาพดังต่อไปนี้ ได้แก่

1. ประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลความผิดปกติได้ตรงตามสภาพพื้นถนนที่ได้ทราบอยู่แล้ว (True Positive)
2. ประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกถนนปกติได้ตรงตามสภาพพื้นถนนที่ปกติอยู่แล้ว (True Negative)
3. ประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลความผิดปกติโดยจำแนกพื้นถนนชนิดที่มีความผิดปกติจากถนนที่ปกติ (False Positive)
4. ประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลความผิดปกติโดยจำแนกพื้นถนนปกติจากพื้นถนนชนิดที่ผิดปกติ (False Negative)

นอกเหนือจากการประเมินประสิทธิภาพของตัวจำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ใน 4 มาตรฐานแสดงดังภาพที่ 4-16 อาจจะมีขั้นตอนในการประเมินและพัฒนาการทำความสะอาดและแปลงข้อมูลที่

ใช้ในการเรียนรู้ของตัวจำแนกชนิดปัญหาประติษฐ์ให้ดียิ่งขึ้น หรือแม้กระทั่งอาจจะปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์ของตัวจำแนกชนิดปัญหาประติษฐ์ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นไปได้

| | | Actual class | |
|-----------------|----------|----------------|----------------|
| | | positive | negative |
| Predicted class | positive | True Positive | False Positive |
| | negative | False Negative | True Negative |

ภาพที่ 4-16 ตัวอย่างการจำแนกผลการวิเคราะห์จากตัวจำแนกชนิดปัญหาประติษฐ์ที่มีการแบ่งผลการจำแนกเป็นชนิด true positive, false positive, true negative, และ false negative ตามลำดับ [56]

4.2.5 Deployment

ตัวจำแนกซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการสร้างตัวจำแนกชนิดปัญหาประติษฐ์ จะถูกนำไปติดตั้งในระบบ Production System ของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร เพื่อใช้งานในการสำรวจพื้นผิวถนน ในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง

บทที่ 5 การทำข้อตกลงความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

สืบเนื่องจากความมุ่งหมายที่จะพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการนำไปสร้างระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย เพื่อช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ได้จริง คณะวิจัยได้เริ่มขอความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ จากการติดต่อประสานเกี่ยวกับการขอความร่วมมือของแหล่งข้อมูล และความรู้เฉพาะด้านที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคุณภาพของถนนจากหน่วยงานที่มีความเชี่ยวชาญในด้านนี้ โดยเฉพาะ ซึ่งในปี 2563 ทางนักวิจัยของโครงการได้มีการติดต่อเพื่อร่วมประชุมและขอความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้วยกันทั้งหมด 6 ครั้ง ซึ่งจำแนกเป็นการประสานงานกับหน่วยงานทั้งหมดรวมกันได้ 5 หน่วยงาน ดังนี้

5.1 ศูนย์ก่อสร้าง และบูรณะถนน กรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร

ส่วนบริหารในสังกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร เขต 1 ในเรื่องการขอความร่วมมือขอข้อมูลเพื่อทำการวิจัย ในวันที่ 11 มิ.ย. 2563

ทางเจ้าหน้าที่โครงการได้ติดต่อประสานงานไปยัง นาย วุฒิพงษ์ ชะนากลาง และ นาย จิรชาติ ราชผลแสน เจ้าหน้าที่ตำแหน่งวิศวกรโยธาชำนาญการ และได้รับการตอบรับ ยินดีร่วมมือในการทำวิจัยเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้ ทางโครงการจะติดต่อประสานงานเพื่อขออนัดประชุมหารือเพื่อรับฟังข้อเสนอและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการเป็นขั้นตอนถัดไป

5.2 สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท

ทางเจ้าหน้าที่โครงการได้ติดต่อประสานงานไปยัง ดร. กิตติ มโนคูน ผู้อำนวยการกลุ่มพัฒนาระบบบริหารงานบำรุง และได้รับการตอบรับ ยินดีร่วมมือในการทำวิจัย ทางโครงการจึงได้นัดเข้าประชุมหารือเพื่อขอความร่วมมือและขอข้อมูลสนับสนุนในโครงการวิจัย คณะวิจัยได้เข้าประชุมเพื่อหารือกับสำนักบำรุงทางกรมทางหลวงชนบท ในหัวข้อ “ระบบการทำงานของกรมทางหลวงชนบท และการประเมินวัดคุณภาพของพื้นถนน” ในวันที่ 23 มิ.ย. 2563 แสดงดังภาพที่ 5-1 และภาพที่ 5-2

คณะวิจัยพบว่ากรมฯ มีการประเมินคุณภาพของถนนหลักด้วยมาตรฐาน IRI (International Roughness Index) ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับสำนักงบประมาณ ใช้การสำรวจด้วยอุปกรณ์ Bump Indicator ซึ่งมีความถูกต้องในระดับ IRI Class 3

กรมทางหลวงชนบท มีรถสำรวจวิ่ง 14 คัน ออกสำรวจอยู่ตลอดทั้งปี และสามารถวิ่งได้ประมาณ 48,000 กิโลเมตร ต่อ 1 ปี ครอบคลุมถนนทั้งหมดในความดูแลของกรมฯ และจากการที่ได้รับความรู้ผ่านการอบรมของผู้ชำนาญการของหน่วยงานกรมทางหลวงชนบท ทางคณะวิจัยยังคงค้นพบว่า ปัจจุบันมีหลายงานวิจัยที่ได้มีการผสมผสานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้าร่วมด้วยกับการใช้ค่าดัชนีทั้ง IRI และ RCI ในการสอนให้ตัว

จำแนกชนิดปัญญาประดิษฐ์ เพื่อให้สามารถจำแนกถึงความสมบูรณ์ของสภาพผิวถนนได้ ดังนั้น คณะวิจัยจึงพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการรวบรวมเอาดัชนี IRI และ RCI มาใช้ในโครงการวิจัยต่อเนื่องในภายหลัง

นอกจากนี้ ทางคณะวิจัยยังได้ศึกษาศักยภาพในการใช้อุปกรณ์โทรศัพท์ชนิดสมาร์ทโฟนเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลสำหรับนำมาวิเคราะห์และจำแนกความสมบูรณ์ของสภาพผิวถนน ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรม ค้นพบว่า โทรศัพท์มือถือซึ่งถึงแม้ว่ามีความแตกต่างกันในรายละเอียดของชุดอุปกรณ์ sensors ของแต่ละยี่ห้อ สามารถรวบรวมชุดข้อมูลในกลุ่มรูปแบบเดียวกันมาใช้ร่วมกัน เพื่อประเมินคุณภาพของผิวถนน ทดแทนอุปกรณ์สำรวจในรถปฏิบัติการเฉพาะได้ [2,3] อาทิเช่น ข้อมูลจากการตรวจจับการสั่นสะเทือนจากตัวโทรศัพท์ (Vibration) [4] หรือแม้กระทั่งข้อมูล GPS และ Accelerometer 1 และจุดเด่นอีกจุดหนึ่งของการใช้โทรศัพท์มือถือในการรวบรวมข้อมูลคือประสิทธิภาพของการรวบรวมข้อมูลที่ฉับไว เนื่องจากความพร้อมในการสื่อสารข้อมูลกลับสู่ศูนย์ปฏิบัติการกลาง [5] นอกจากนี้ การเข้ารหัสข้อมูลที่ทันสมัยขึ้น เป็นปัจจัยผลักดันให้กลุ่มประชากรที่ใช้งานจริง (Crowd-Sourcing) มีความเชื่อมั่นในการส่งข้อมูลมายังระบบของผู้ให้บริการมากขึ้น [6,7] ดังนั้น ทางคณะวิจัยจึงเลือกการพัฒนาาระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องโทรศัพท์มือถือ เพื่อรองรับจำนวนข้อมูลจากพฤติกรรมที่เปลี่ยนไปจากผู้ใช้งานระบบในอนาคต



ภาพที่ 5-1 คณะวิจัยประชุมหารือกับทางกรมทางหลวงชนบท



ภาพที่ 5-2 กรมทางหลวงชนบทประชาสัมพันธ์การประชุมหารือกับคณะวิจัย

5.3 เทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี

ในหัวข้อ วิธีการจัดการในปัจจุบัน สำหรับปัญหาสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพผิวจราจร แก้ไข ป้องกัน ในมุมมองการบริหารจัดการในรูปแบบ Smart City ใน วันที่ 7 ส.ค. 2563 แสดงดังภาพที่ 5-3

ทางเจ้าหน้าที่โครงการได้ติดต่อประสานงานไปยัง นาย มานะ สมนวน หัวหน้าฝ่ายการโยธา ของหน่วยงานช่าง สำนักงานเทศบาลเมืองแสนสุข และได้รับการตอบรับ ยินดีร่วมมือในการทำวิจัย ทางโครงการจึงได้นัดเข้าประชุมหารือเพื่อขอความร่วมมือและขอข้อมูลสนับสนุนในโครงการวิจัยเพิ่มเติม โดยทางคณะวิจัยของโครงการฯ ได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับกระบวนการทำงานเทศบาล เอกลักษณ์ วิสัยทัศน์ หน้าที่ ความสำเร็จที่ที่ต้องดูแล และความตั้งใจเกี่ยวกับการพัฒนาตัวเมืองให้เป็น Smart City จากเจ้าหน้าที่ของทางสำนักงานเทศบาลแสนสุข และนักวิจัยของโครงการได้สอบถามข้อมูลและหารือรายละเอียดความร่วมมือในส่วนของอุปกรณ์ภาคสนามที่ใช้ดูแลตัวถนนของทางเทศบาลเอง ซึ่งได้รับข้อมูลอย่างละเอียดเกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาตัวอย่างที่ตัวเทศบาลแสนสุขได้ดูแลถนนเพื่อเตรียมงานแข่งรถ Formula Three ที่ผ่านมา ในส่วนของถนนเรียบชายหาด หน้าคอนโดบางแสนรอยัลบีช

ขั้นตอนการดำเนินงานของกองช่างในกิจกรรม Formula Three ดังกล่าวมีต่อไปนี้

- ขั้นแรก Recycling มีการใช้เครื่องกัด เพื่อกัดผิวทางที่เสียหาย ซึ่งขนถ่ายเศษผิวทางที่กัดผ่านสายพานไปยังรถบรรทุก ซึ่งรถบรรทุกต้องขับถอยหลังตามเพื่อรับเศษผิวทางที่ได้จากการกัด โดยเศษผิวทาง

เก้าบางส่วน สามารถนำไปผสมเพื่อใช้ทำผิวทางใหม่ได้ โดยเพิ่มสารเคมีและน้ำยางสำหรับผสมรอบใหม่เพิ่มเติมเข้าไป

- ขั้นต่อไป ให้ตั้งระดับให้เท่ากับผิวทางที่ปกติ และกำหนดความลาดให้พอดีกับความลาดของผิวทางโดยรอบ
- หลังจากนั้น เทพื้นด้วย Asphalt ร้อน โดยตรวจสอบอุณหภูมิ Asphalt คอนกรีต ที่ปรงจากโรงงานของหน่วยงาน แล้วจึงขนส่งมาที่หน้างาน
- ขั้นตอนสุดท้าย คือ Coating พ่นน้ำยาง และจึงบดอัดด้วยรถบดถนนให้แน่น

ค่าดำเนินการซ่อมบำรุงโดยการจ้างเหมาจากภายนอก เพื่อกิจกรรมนี้ใช้งบประมาณ เป็นจำนวนคร่าว ๆ ที่ 1 ล้านบาท สำหรับระยะทางประมาณ 300 เมตร ของตัวถนน

นอกจากนี้ ลักษณะการดูแลตัวพื้นผิวถนนของทางหน่วยงาน เป็นการดูแลตามการรายงานที่ได้รับแจ้งมา (case by case) ไม่ได้มีปฏิทินการดูแลผิวถนนเป็น Routine ซึ่งกำลังเจ้าหน้าที่ของเทศบาลมีเจ้าหน้าที่เพียงพอในการดูแลถนน (20-30 คน) และดูแลบำรุงต้นไม้ (50-60 คน) โดยอยู่ภายใต้การควบคุมของหน่วยกองช่าง ซึ่งการเรียงลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุงของเทศบาลเมืองแสนสุข มีดังนี้

- เรียงลำดับตามความอันตรายเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เช่น กรณีเป็นหลุมบ่อที่ผิวถนน เพราะว่ากรณีนี้อาจจะส่งผลต่อการจราจรของผู้ใช้ถนนโดยตรง
- ลำดับถัดมา คือ ตามลำดับการร้องเรียนของประชาชน
- ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขบวนเสด็จ หรือกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนด



ภาพที่ 5-3 คณะวิจัยประชุมหารือกับเทศบาลแสนสุข

5.4 สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท (ครั้งที่ 2)

หัวข้อนี้ กล่าวถึงการประชุมหารือกับสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบทเป็นครั้งที่สอง ในหัวข้อ การประเมินวัดคุณภาพของพื้นถนน วันที่ 11 ก.ย. 2563

ทางนักวิจัยของทางโครงการ ได้นัดหมายเข้าติดต่อกับสำนักบำรุงทางอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเข้าร่วมเยี่ยมชม และทดลองขับรถยนต์ปฏิบัติการที่ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบดัชนี IRI ของสภาพผิวถนน รวมถึงได้รับการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือและระบบที่ได้ติดตั้งอยู่บนรถยนต์ปฏิบัติการของทางหน่วยงาน ซึ่งทางอุปกรณ์ของตัวหน่วยงานนั้นมีการใช้ Bump Indicator ที่จะแสดงดัชนีออกมาเป็นค่า IRI เพื่อวัดความสมบูรณ์ของผิวถนน

ทั้งนี้ ทางตัวกรมทางหลวงชนบทเอง ก็ได้มี KPI ที่สำคัญของทางหน่วยงาน ว่าจะต้องรักษาความสมบูรณ์ของสภาพผิวถนนให้อยู่ในระดับที่พึงพอใจ อุปกรณ์ภายในรถปฏิบัติการสำรวจนั้นได้แก่

- กล้อง CCTV บันทึกภาพเพื่อตรวจสอบย้อนหลัง
- เครื่องวัดระยะทาง จากรอบล้อ
- เครื่องวัด IRI มีลักษณะเป็นสปริงเชื่อมต่อกับเพลลาของรถ
- อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง GPS ซึ่งปัจจุบันไม่ได้ใช้งาน

หลังจากสำรวจ ทางรถปฏิบัติการ จะสามารถ Export ข้อมูลออกมาในรูปแบบไฟล์ csv และไฟล์ วิดีโอ เพื่อส่งต่อลงในระบบ PMMS (Pavement Maintenance Management System) โดยระบุสายทาง และเลขกิโลเมตร ลงในโครงข่ายถนนของระบบ

5.5 สำนักงานบริหารเทศบาลเมืองป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

ในหัวข้อ วิธีการจัดการในปัจจุบัน สำหรับปัญหาสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพผิวจราจร การแก้ไข และการป้องกัน ในรูปแบบ Smart City วันที่ 9 พ.ย. 2563 แสดงดังภาพที่ 5-4 และภาพที่ 5-5

ทางเจ้าหน้าที่โครงการได้ติดต่อประสานงานไปยัง นาย สุรพล บัวแก้ว ผู้อำนวยการกองช่าง สำนักงานเทศบาลป่าตอง และได้รับการตอบรับ ยินดีร่วมมือในการทำวิจัย ทางโครงการจึงได้นัดเข้าประชุมหารือเพื่อขอความร่วมมือและขอข้อมูลสนับสนุนในโครงการวิจัยเพิ่มเติม ซึ่งทางเจ้าหน้าที่เทศบาลป่าตอง ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ ความตั้งใจเกี่ยวกับ Smart City และปัญหาหลัก ๆ ที่เทศบาลดูแลแก้ไข ปัญหาเกี่ยวกับถนนและการจราจรที่เทศบาลดูแลแก้ไข ซึ่งได้แก่

- ลักษณะ ความยาว การพัฒนาและซ่อมแซมถนน ความรับผิดชอบของหน่วยงานเกี่ยวกับคุณภาพผิวจราจร
- วิธีการตรวจสอบถนนของกองช่างในปัจจุบัน
- ปัญหาสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพผิวจราจร

- วิธีการจัดการในปัจจุบัน สำหรับปัญหาสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพผิวจราจร
- ตัวอย่างงานซ่อมแซมถนน
- ลักษณะการทำงานของงานซ่อมบำรุงของกองช่าง
- การได้มาซึ่งข้อมูลที่ทำให้เกิดงานบำรุง
- การเรียงลำดับความสำคัญของการซ่อมบำรุง
- ปัจจัยในการจัดลำดับความสำคัญของการทำงานและปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการซ่อม
- สิ่งที่เทศบาลคาดหวังต่อโครงการระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT

ทางเจ้าหน้าที่วิจัยของโครงการระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร ได้มีการลงพื้นที่ศึกษาด้วยรถสำรวจผิวถนนของทางเทศบาลเอง โดยเจ้าหน้าที่กองช่างเป็นผู้ดำเนินการและให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพถนนของทางเทศบาล ซึ่งถนนสายหลัก ที่ทางกองช่างดูแล ณ ปัจจุบันมีดังนี้

- ถนนเลียบบาด - เน้นส่งเสริมการท่องเที่ยว มีการปักเสาไฟลงดิน และมีตั้งงบซ่อม ทำทางเท้าเพื่อให้นักท่องเที่ยวเดินเพื่อความปลอดภัย
- ถนนทวิวงศ์ - แท้ก็ขี้จอตเต็ม ปัญหาที่เกิดคนไทยที่นำรถมาไม่มีที่จอดรถ และติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ เป็นมลพิษต่อทางผู้เดินทางและนักท่องเที่ยว
- ถนน 200 ปี - การจราจรดี แต่ธุรกิจตอนนี้เจียบ ปัญหาจอดรถเหมือนถนนทวิวงศ์ ซึ่งเกิดจากรถบัส รถทัวร์ที่ติดเครื่องจอตแซร์นักท่องเที่ยวสร้างมลพิษต่อผู้สัญจรอื่น ๆ

นอกจากนี้ ทางเจ้าหน้าที่วิจัยของโครงการ ยังได้รับโอกาสเข้าร่วมหารือกับนายกเทศบาลป่าตอง และได้รับฟังความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการมาดังต่อไปนี้

- ทางเทศบาล มุ่งเน้นเรื่องความยั่งยืนของโครงการ ซึ่งเน้นย้ำในขั้นตอนหลังจากจบโครงการในส่วนวิจัยไปแล้ว ทางเทศบาลต้องการเจ้าหน้าที่เฉพาะ เพื่อมาดูแลต่อเนื่องเป็นระยะ โดยไม่ทอดทิ้งความร่วมมือ
- ทางเทศบาลแนะนำในเรื่องการเพิ่ม Feature ของตัวจำแนกปัญหาสภาพถนน ซึ่งแนะนำการเก็บข้อมูลประเภทอื่น ๆ เช่น ป้ายจราจร เสาไฟริมทางเพิ่มเติมด้วย



ภาพที่ 5-4 คณะวิจัยประชุมหารือกับทางเทศบาลเมืองป่าตอง จ.ภูเก็ต



ภาพที่ 5-5 คณะวิจัยและตัวแทนจากทางเทศบาลเมืองป่าตอง จ.ภูเก็ต

5.6 ฝ่ายกองช่าง เทศบาลนครภูเก็ต

ในหัวข้อ วิธีการจัดการในปัจจุบัน สำหรับปัญหาสำคัญเกี่ยวกับคุณภาพผิวจราจร การแก้ไข และการป้องกัน ในรูปแบบ Smart City วันที่ 24 ธ.ค. 2563 แสดงดังภาพที่ 5-6

ทางเจ้าหน้าที่โครงการได้ติดต่อประสานงานไปยัง หน่วยงานช่าง สำนักงานเทศบาลนครภูเก็ตโดยตรง และได้รับการตอบรับ ยินดีร่วมมือในการทำวิจัย ทางโครงการจึงได้นัดเข้าประชุมหารือเพื่อขอความร่วมมือ และขอข้อมูลสนับสนุนในโครงการวิจัยเพิ่มเติม

ทางคณะวิจัยได้เข้าหารือกับทางเทศบาลนครภูเก็ต และได้รับข้อมูลสายถนนและสภาพพื้นผิวทางจราจรที่ได้สำรวจมาก่อนหน้านี้ แสดงดังภาพที่ 5-7 ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อโครงการเนื่องจากได้รับข้อมูลสำหรับงานวิจัยในเส้นทางที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความแตกต่างจากข้อมูลก่อนหน้าที่ได้รับมาจากเทศบาลป่าตอง ข้อมูลที่ได้รับมาจากทางเทศบาลภูเก็ตนั้นมีความหลากหลาย เนื่องจากสภาพผิวถนนของตัวเทศบาลนครภูเก็ตนั้นรองรับการใช้งานจากประชาชนและชาวบ้านที่อาศัยในตัวเมืองมากกว่านักท่องเที่ยวเช่นเทศบาลป่าตอง



ภาพที่ 5-6 คณะวิจัยประชุมหารือกับทางเทศบาลนครเมือง จ.ภูเก็ต

| ลำดับ ที่ | รหัสสายทาง | ชื่อสายทาง | ชั้นทางวิ่ง เขตเมือง หรือในเขต ชุมชน (ซ.ม.) | ชั้นทางรถ หรือนอก เขตชุมชน (ซ.ม.) | ระยะทาง (กม.) | วงเวียนวงเวียน (ม.) | | | | | ความ ยาวจาก ศูนย์กลาง ถนน (ม.) | ขนาด กว้าง (ม.) | ปีที่ ก่อสร้าง (พ.ศ.) | ระยะเปิด เมื่อ วันเดือนปี | เจ้าหน้าที่ ผู้รับผิดชอบ |
|--------------|------------|--------------------|---|--|------------------|------------------------|-------|------|-----|------|--|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | วงเวียนวงเวียน (ม.) | | | | | | | | | |
| | | | | | | ศาล | กลาง | อุรุ | โอบ | ทาง | | | | | |
| 35 | ภก.ถ20035 | ถนนวิเศษ | 2 | | 1.420 | | 15.80 | | | 1.50 | | 18.80 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 36 | ภก.ถ20036 | ถนนประเวศ | 3 | | 0.565 | | 9.60 | | | 1.00 | | 11.60 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 37 | ภก.ถ20037 | ถนนดำรง | 3 | | 1.667 | | 11.40 | | | 1.20 | | 13.80 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 38 | ภก.ถ20038 | ถนนศรี | 3 | | 0.881 | | 9.00 | | | 1.00 | | 12.30 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 39 | ภก.ถ20039 | ถนนผู้ใหญ่นาน | 3 | | 0.320 | | 10.50 | | | 1.20 | | 12.90 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 40 | ภก.ถ20040 | ถนนพรหม | 3 | | 0.626 | | 10.20 | | | 1.50 | | 13.20 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 41 | ภก.ถ20041 | ถนนสุรินทร์ | 2 | | 1.060 | | 15.50 | | | 1.50 | | 18.50 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 42 | ภก.ถ20042 | ถนนอำนาจ | 3 | | 1.011 | | 10.20 | | | 1.00 | | 12.20 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 43 | ภก.ถ20043 | ถนนอำนาจ | 3 | | 0.492 | | 12.50 | | | 1.20 | | 14.90 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 44 | ภก.ถ20044 | ถนนศรีสุทนต์ | 3 | | 0.498 | | 13.00 | | | 2.00 | | 17.00 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 45 | ภก.ถ20044 | ถนนศรีสุทนต์ | 2 | | 0.760 | | 11.50 | | | 1.20 | | 13.90 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 46 | ภก.ถ20045 | ถนนอนุภาควิเคราะห์ | 3 | | 0.265 | | 15.00 | | | 1.00 | | 17.00 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 47 | ภก.ถ20046 | ถนนวิเศษ | 3 | | 0.590 | | 17.00 | | | 1.50 | | 20.00 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 48 | ภก.ถ20047 | ถนนวิเศษ | 2 | | 0.597 | | 18.50 | | | 1.20 | | 20.90 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 49 | ภก.ถ20048 | ถนนพระเจริญ | 3 | | 0.365 | | 11.50 | | | 1.50 | | 14.50 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 50 | ภก.ถ20049 | ถนนวิเศษ | 3 | | 0.564 | | 16.50 | | | 1.20 | | 18.90 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 51 | ภก.ถ20050 | ถนนอ้อมท้าย | 3 | | 0.255 | | 6.60 | | | 1.00 | | 8.60 | 25-ค.ค.-59 | | |
| 52 | ภก.ถ20051 | ถนนบ้าน | 4 | | | | | | | | | | | | |

ภาพที่ 5-7 ภาพตัวอย่างข้อมูลเส้นทางจากเทศบาลนครภูเก็ต

5.7 สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง

หัวข้อนี้ กล่าวถึงการประชุมหารือกับสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง ในหัวข้อ การเก็บข้อมูล IRI วันที่ 15 ธ.ค. 2564 แสดงดังภาพที่ 5-8

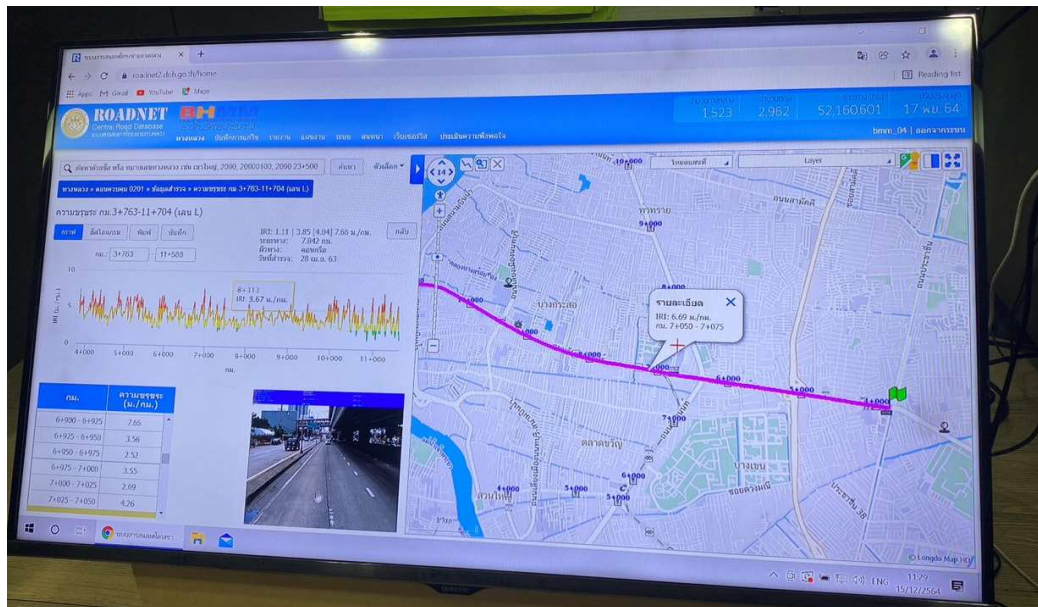
ทางนักวิจัยของทางโครงการ ได้นัดหมายเข้าติดต่อกับสำนักบำรุงทาง เพื่อเข้าหารือเพื่อขอความร่วมมือและขอข้อมูลสนับสนุนในโครงการวิจัย โดยทางคณะวิจัยของโครงการฯ ได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับกระบวนการจัดเก็บข้อมูล IRI และปัญหาในการเก็บข้อมูล IRI จากเจ้าหน้าที่ของทางสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง ซึ่งได้รับข้อมูลอย่างละเอียดเกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดเก็บข้อมูลรวมถึงการใช้งานฐานข้อมูล Roadnet อีกด้วย แสดงดังภาพที่ 5-9 โดยสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ ดังนี้

- ปัจจุบันทางสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง มีทีมเก็บข้อมูล IRI ทั้งหมด 3 ทีม โดยรถเก็บข้อมูลมี 2 ประเภท คือ แบบ Point Laser และแบบ Laser Scan (STS)
- ปัจจุบันไม่สามารถวิ่งรถสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ได้ ทางกรมทางหลวง จึงอยากได้อุปกรณ์ที่สามารถนำไปติดตั้งในรถของคนในพื้นที่แทนการให้คนนอกพื้นที่เข้าไปเก็บข้อมูล เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่บุคคลนอกพื้นที่
- การคำนวณค่า IRI ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดี เนื่องจากความเร็วของรถเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมความเร็วของรถเก็บข้อมูลให้คงที่

- ปัจจุบันทางกรมทางหลวงยังไม่มีระบบสำหรับแจ้งซ่อมและติดตามงานให้กับหมวดทางหลวงและ
แขวงทางหลวง ที่อยู่หน้างาน หากระบบที่ทางที่ปรึกษาพัฒนาสามารถแจ้งซ่อมและติดตามงานจะ
เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทำงานของเจ้าหน้าที่
- ระบบ Roadnet ในปัจจุบันมีข้อมูลแค่ค่า IRI ของเส้นทาง แต่ยังขาดข้อมูลตำแหน่งความเสียหายของ
ถนน



ภาพที่ 5-8 คณะวิจัยหารือกับสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง



ภาพที่ 5-9 ภาพตัวอย่างระบบ Roadnet

5.8 การออกแบบ พัฒนา และทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล

รายละเอียดการออกแบบพัฒนาและทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง

อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างถูกพัฒนาขึ้นเป็น Mobile Application ในระบบปฏิบัติการ Android โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะใช้ข้อมูลจาก Sensor และกล้องของโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการเก็บข้อมูลภาพความผิดปกติของถนนและข้อมูลการสั่นสะเทือนของยานพาหนะ ข้อมูลที่บันทึกได้จะถูกจัดเก็บชั่วคราวในแอปพลิเคชันเพื่อนำเข้าสู่แพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล แสดงดังภาพที่ 5-10 ถึง ภาพที่ 5-12

แอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้น (Smooth Street Recorder) จะมีการทำงานเกี่ยวข้องกับ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ของสมาร์ทโฟนสามส่วนคือ

1. การบันทึกสภาพถนนโดยใช้กล้องวิดีโอ
2. การบันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของยานพาหนะที่เก็บข้อมูลโดยดึงข้อมูลจาก GPS Sensor
3. การบันทึกความเรียบของถนนโดยการรวบรวมข้อมูลจาก Accelerometer Sensor

ด้วยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้ นักวิจัยสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างของถนนเส้นที่สนใจเพื่อนำข้อมูลวิดีโอไปใช้งานในการพัฒนาตัวจำแนกเพื่อตรวจจับความผิดปกติของผิวถนนแบบต่าง ๆ และนำข้อมูลจากสั่นสะเทือนไปสร้างเป็นดัชนีที่สามารถวัดคุณภาพประสบการณ์การใช้ถนน รวมทั้งสามารถนำข้อมูลตำแหน่งและเส้นทางการจัดเก็บข้อมูลไปสร้างเป็นสารสนเทศเชิงแผนที่เพื่อประกอบการวิจัยได้อีกด้วย

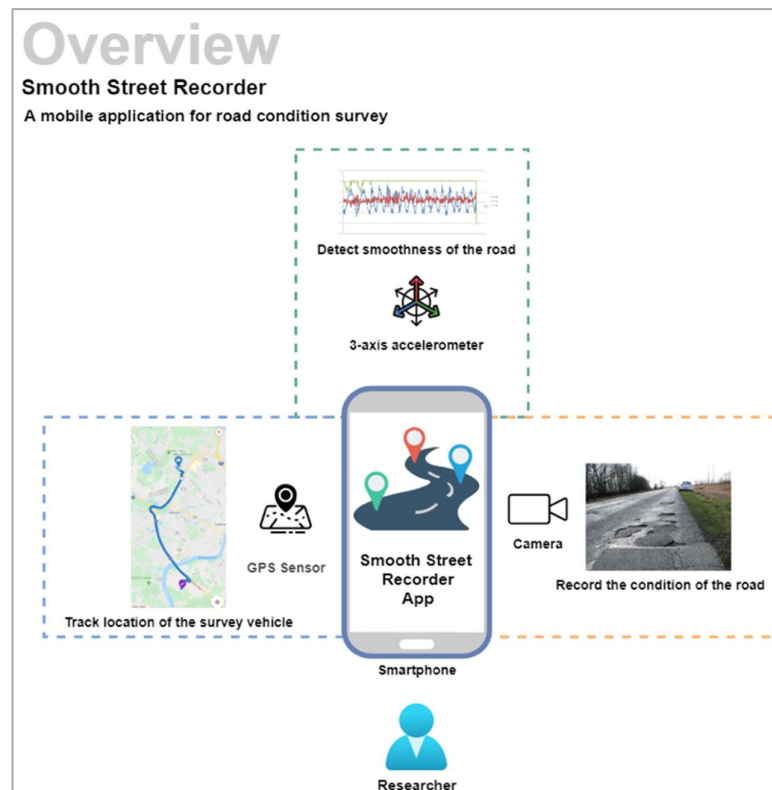
ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันเริ่มต้นจากการที่ผู้ใช้งานเริ่มการบันทึกข้อมูล จากนั้น ส่วนการทำงาน Session Management Module จะดึงข้อมูลจาก Accelerometer Sensor ของเครื่องในทุก ๆ 1 วินาทีเพื่อนำไปสร้างเป็น Accelerometer Logs พร้อมทั้งดักจับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องโดยใช้ GPS Sensor ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลในรูปแบบ Geolocation Logs

หลังจากนั้น Session Management Module จะรวบรวมข้อมูล Accelerometer Logs และ Geolocation Logs เข้าด้วยกันและสร้างข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกในแต่ละครั้งได้แก่ รหัสประจำเครื่องเก็บข้อมูล เวลาเริ่มต้น เวลาสิ้นสุดการบันทึก เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดดังกล่าวจะถูกรวบรวมและจัดเก็บในรูปแบบ JSON ไฟล์แล้วบันทึกลงในพื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของแอปพลิเคชัน (Cache Storage)

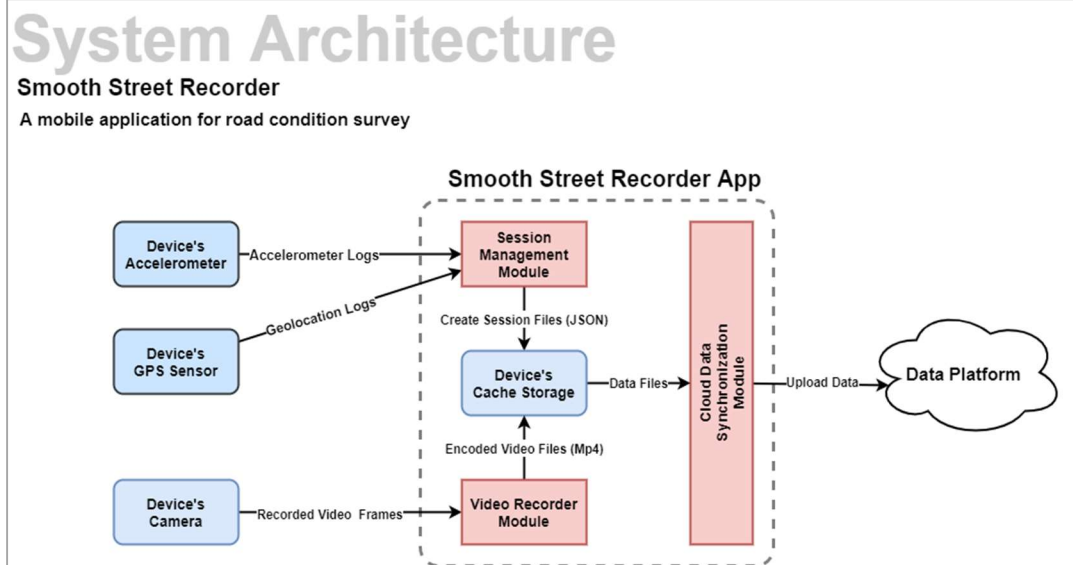
ในขณะเดียวกัน Video Recording Module ก็จะทำการบันทึกวิดีโอสภาพถนนและจัดเก็บไฟล์วิดีโอในรูปแบบ Mpeg-4 เมื่อสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้ง พื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของแอปพลิเคชันจะเกิดไฟล์

ที่ได้จากการเก็บข้อมูลสองไฟล์คือ Session ไฟล์ที่เกิดจากการรวมกันของ Accelerometer Logs และ Geolocation Logs และวิดีโอไฟล์

หลังจากขั้นตอนนี้ เมื่อผู้ใช้ต้องการบันทึกข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล ส่วนการทำงาน Cloud Data Synchronization Module ก็จะทำหน้าที่ส่งข้อมูล Session ไฟล์และวิดีโอไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลโดยผ่านช่องทางการอัปโหลดข้อมูลที่แพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลได้เตรียมไว้



ภาพที่ 5-10 ชนิดและจำนวนของ Sensors ใน Smartphone ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างของสภาพผิวถนน



ภาพที่ 5-11 ขั้นตอนนำส่งข้อมูล จาก Sensors ของ Smartphone ไปยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล

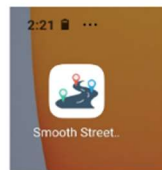
Usage and Installation

Smooth Street Recorder

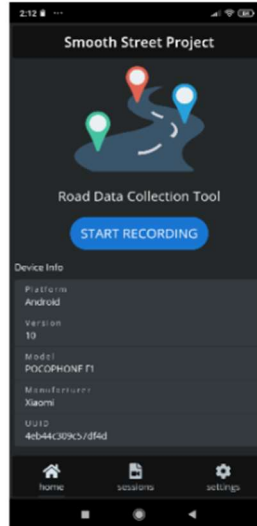
A mobile application for road condition survey



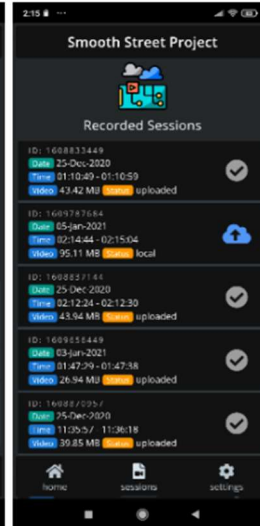
Mount device to front-view of the survey vehicle



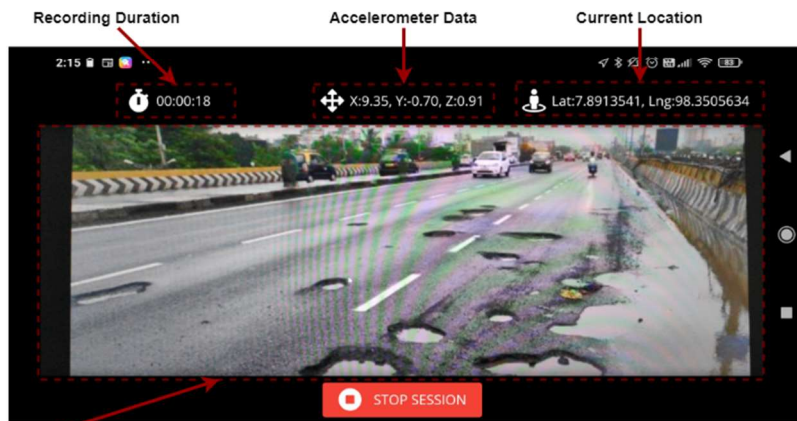
Smooth Street Recorder App



Home screen



Session upload screen



Camera Preview

Recording screen

ภาพที่ 5-12 ภาพตัวอย่าง (Snapshots) จากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้รวบรวมข้อมูลในโครงการ

5.9 โครงสร้างข้อมูล

การเก็บข้อมูลตัวอย่างในแต่ละครั้ง ข้อมูลจะถูกบันทึกไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูลในรูปแบบ JSON (JavaScript Object Notation) ซึ่งมีโครงสร้างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5-1 และตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-1 ข้อมูลภาพรวมของการเก็บข้อมูล (Metadata)

| | |
|-----------|------------------------------|
| id | รหัสประจำการบันทึก |
| platform | ประเภทอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |
| deviceId | รหัสประจำอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |
| timeStart | เวลาเริ่มต้นการบันทึก |
| timeStop | เวลาสิ้นสุดการบันทึก |

ตารางที่ 5-2 ข้อมูลการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Geolocation Tracking)

| | |
|--------------------|---------------------|
| latitude | ละติจูด |
| longitude | ลองจิจูด |
| altitude | ระดับความสูง |
| speed | ความเร็ว |
| horizontalAccuracy | ความแม่นยำในแกนนอน |
| verticalAccuracy | ความแม่นยำในแกนตั้ง |
| direction | ทิศทาง |
| timestamp | เวลาการบันทึก |

5.10 บทสรุป

คณะวิจัยได้ประชุมหารือกับหน่วยงานผู้รับผิดชอบถนนหลายหน่วยงาน เพื่อรวบรวมข้อมูลกระบวนการบำรุงรักษาถนนของแต่ละหน่วยงาน และนำมาใช้ออกแบบระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดยใช้ระบบประมวลผลแบบปัญญาประดิษฐ์ โดยหน่วยงานที่คณะวิจัยได้ประชุมหารือ ได้แก่ สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท เทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี สำนักงานบริหารเทศบาลเมืองป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ฝ่ายกองช่างเทศบาลนครภูเก็ต และสำนักงานบำรุงทาง กรมทางหลวง จากการประชุมหารือ พบว่า หน่วยงานที่มีการตรวจสอบสภาพพื้นผิวถนนอย่างเป็นระบบ ได้แก่ กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท โดยจะใช้รถสำรวจติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบความขรุขระ (International Roughness Index, IRI) แบบอัตโนมัติ วิ่งไปบนถนนในความรับผิดชอบของหน่วยงานปีละครั้ง ซึ่งใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามหน่วยงานปกครองส่วน

ท้องถิ่นส่วนใหญ่ ซึ่งมีความพร้อมของทรัพยากรบุคคลและเครื่องมือที่น้อยกว่า จะใช้การรับแจ้งจากชุมชนในพื้นที่ และการตรวจสอบโดยเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานขณะขับรถอยู่ในพื้นที่ ทางคณะวิจัยเล็งเห็นว่าการใช้ระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดยใช้ระบบประมวลผลแบบปัญญาประดิษฐ์ จะช่วยลดต้นทุนในการออกสำรวจ และเพิ่มความครอบคลุมของพื้นที่สำรวจได้ เมื่อเทียบกับวิธีการสำรวจในปัจจุบัน

บทที่ 6 การออกแบบ พัฒนา และทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง

6.1 ที่มาและความจำเป็นในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง

ประเด็นสำคัญของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถจำแนกความผิดปกติของผิวจราจรในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในขั้นตอนการพัฒนาจำเป็นต้องมีข้อมูลรูปภาพของความผิดปกติ ชนิดต่าง ๆ เป็นจำนวนมากเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลรูปภาพของความผิดปกติประเภทต่าง ๆ จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ใช้ทรัพยากรบุคคลและเวลาเป็นจำนวนมากเพื่อให้ได้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้งานได้จริง โครงการวิจัยนี้ จึงเลือกใช้วิธีการบันทึกวิดีโอของสภาพถนนที่มีความผิดปกติ แล้วนำเอาภาพจากวิดีโอมาแยกเป็นภาพถ่าย จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้มาติดป้าย (Labeling) เพื่อระบุว่าคุณสมบัติที่พบในภาพนั้น ๆ เป็นความผิดปกติประเภทไหนเพื่อใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์

นอกจากความผิดปกติของผิวจราจรที่เก็บข้อมูลได้จากการบันทึกวิดีโอแล้ว ค่าความเรียบของถนนก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่โครงการวิจัยให้ความสนใจ โดยมีการวางแผนในการใช้เซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกน (3-axis Accelerometer) เป็นอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลความสั่นสะเทือนของยานพาหนะไปพร้อม ๆ กับการบันทึกภาพวิดีโอ ซึ่งข้อมูลความสั่นสะเทือนที่ได้จากเซนเซอร์ในส่วนนี้ จะสามารถใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถคำนวณค่าความเรียบของถนนได้ ซึ่งข้อมูลทั้งสองส่วนที่กล่าวมาจำเป็นจะต้องเชื่อมโยงกับข้อมูลของตำแหน่งที่ยานพาหนะเก็บข้อมูลด้วย ดังนั้นการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งจำเป็นจะต้องบันทึกจีพีเอสโลเคชัน (GPS Location) พร้อมกับเวลา (Timestamp) เพื่อกำกับข้อมูลวิดีโอและความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งด้วยวิธีนี้ ข้อมูลภาพจากกล้องวิดีโอและข้อมูลความเรียบของผิวจราจรจะสามารถใช้อ้างอิงกับตำแหน่งของถนนที่ทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิจัยส่วนอื่น ๆ ต่อไปได้

ด้วยความจำเป็นดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับช่วยเก็บข้อมูลตัวอย่าง เพื่อให้อำนวยความสะดวกให้นักวิจัยสามารถนำข้อมูลภาพความผิดปกติของผิวจราจรไปสร้างโมเดลปัญญาประดิษฐ์เพื่อแยกแยะความผิดปกติ และเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนจากเซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนเพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความเรียบของผิวถนน โดยมีการเชื่อมโยงข้อมูลกับตำแหน่งที่มีความผิดปกติและเส้นทางที่มีการสำรวจ

6.2 แนวคิดการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่ต้องการพัฒนาขึ้นในขั้นตอนนี้จะต้องสามารถ

- บันทึกภาพวิดีโอที่มีความละเอียดเพียงสำหรับใช้ในขั้นตอนการระบุความผิดปกติของผิวจราจร

- เก็บข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนเพื่อวัดค่าความสั่นสะเทือนของยานพาหนะ
- บันทึกเส้นทางการเก็บข้อมูลโดยใช้จีพีเอสโลเคชันและเวลา
- จัดเก็บข้อมูลในอุปกรณ์และส่งข้อมูลไปเก็บยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลเพื่อให้นักวิจัยสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์

จากความต้องการดังกล่าว คณะวิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application) ที่สามารถทำงานบนสมาร์ตโฟนทั่วไปได้ เนื่องจากสมาร์ตโฟนในปัจจุบันมีกล้องประสิทธิภาพสูงสามารถบันทึกภาพวิดีโอคุณภาพดีเก็บรายละเอียดได้เพียงพอสำหรับขั้นตอนการระบุความผิดปกติของผิวจราจร สมาร์ตโฟนในปัจจุบันเกือบทั้งหมดยังมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนอยู่แล้ว ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน จีพีเอสเซนเซอร์ที่มีในสมาร์ตโฟนยังสามารถใช้เป็นเครื่องบันทึกเส้นทางได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การติดตั้งสมาร์ตโฟนในรถสำรวจก็สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยในการติดตั้งสมาร์ตโฟนในรถยนต์วางจำหน่ายอยู่แล้ว

ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างเป็นโมบายแอปพลิเคชัน โมบายแอปพลิเคชันที่ประยุกต์ใช้ความสามารถและเซนเซอร์ของสมาร์ตโฟนจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการเก็บข้อมูลตัวอย่าง ได้เป็นอย่างดี

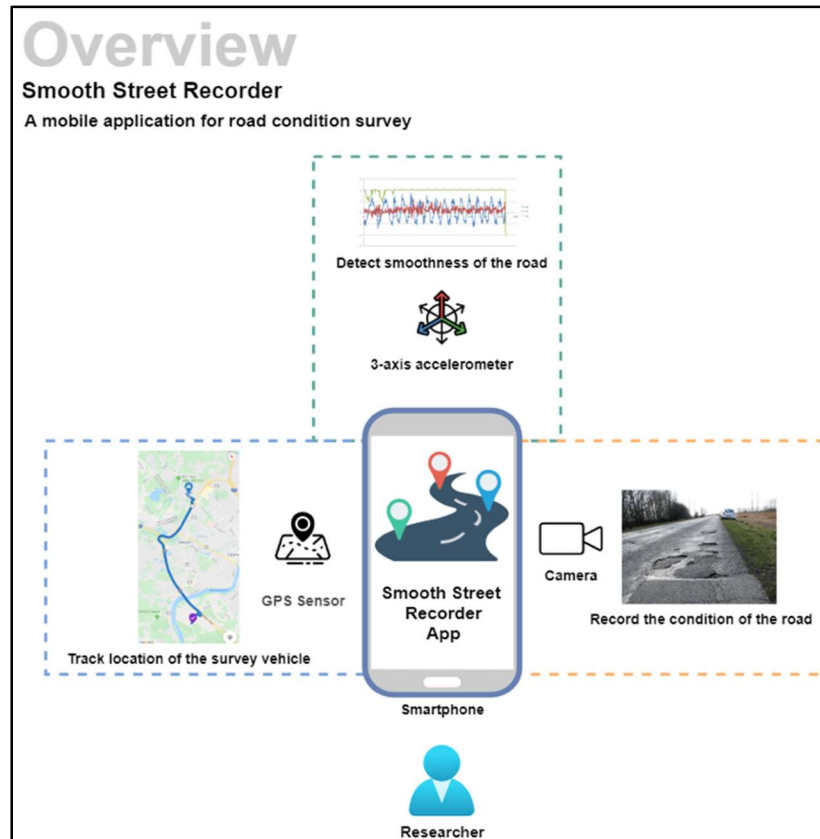
6.3 รายละเอียดการออกแบบและพัฒนา

อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลถูกพัฒนาขึ้นเป็นโมบายแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ชื่อ “Smooth Street Recorder” โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะใช้ข้อมูลจากกล้องของสมาร์ตโฟนในการเก็บข้อมูลภาพความผิดปกติของถนน ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบ 3 แกน (3-axis Accelerometer) ในการบันทึกระดับความสั่นสะเทือนของยานพาหนะ และบันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของยานพาหนะที่เก็บข้อมูลโดยดึงข้อมูลจาก GPS sensor โดยข้อมูลที่บันทึกได้ในแต่ละเส้นทางจะถูกจัดเก็บชั่วคราวในแอปพลิเคชันนี้เพื่อทำการอัปโหลดเข้าสู่แพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

โดยแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล Smooth Street Recorder จะมีการทำงานเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ของสมาร์ตโฟนสามส่วนคือ

1. การบันทึกสภาพถนนโดยใช้กล้องวิดีโอ
2. การบันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของยานพาหนะที่เก็บข้อมูลโดยดึงข้อมูลจาก GPS Sensor
3. การบันทึกความเรียบของถนนโดยการรวบรวมข้อมูลจาก Accelerometer Sensor

ด้วยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้ นักวิจัยสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างของถนนเส้นที่สนใจเพื่อนำข้อมูลวิดีโอไปใช้งานในการพัฒนาตัวจำแนกเพื่อตรวจจับความผิดปกติของผิวถนนแบบต่าง ๆ และนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์อื่นไปสร้างเป็นดัชนีที่สามารถวัดคุณภาพและประสบการณ์การใช้ถนน รวมทั้งสามารถนำข้อมูลตำแหน่งและเส้นทางการจัดเก็บข้อมูลไปสร้างเป็นสารสนเทศเชิงแผนที่เพื่อประกอบการวิจัยได้อีกด้วย ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder” แสดงดังภาพที่ 6-1



ภาพที่ 6-1 ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder”

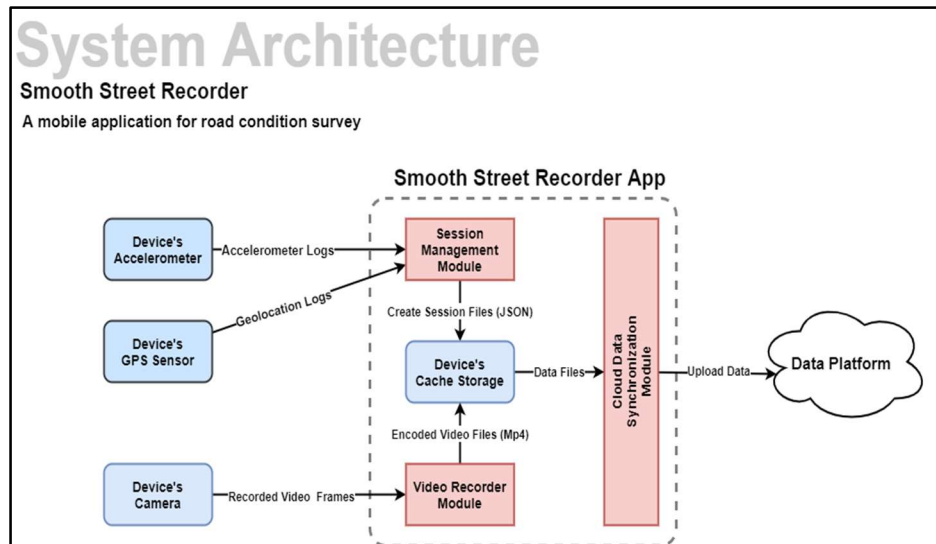
6.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบ

ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันเริ่มต้นจากการที่ผู้ใช้งานเริ่มการบันทึกข้อมูล จากนั้นส่วนการทำงาน Session Management Module จะดึงข้อมูลจาก Accelerometer Sensor ของเครื่องในทุก ๆ 1 วินาทีเพื่อนำไปสร้างเป็น Accelerometer Logs พร้อมทั้งดักจับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องโดยใช้ GPS Sensor ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลในรูปแบบ Geolocation Logs โดยมีการตั้งค่าการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของ GPS Sensor ในระดับที่ละเอียดที่สุดเท่าที่ GPS Sensor ของเครื่องจะรองรับได้

หลังจากนั้น Session Management Module จะรวบรวมข้อมูล Accelerometer Logs และ Geolocation Logs เข้าด้วยกันและสร้างข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกในแต่ละครั้งได้แก่ รหัสประจำเครื่องเก็บข้อมูล เวลาเริ่มต้น เวลาสิ้นสุดการบันทึก เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดดังกล่าวจะถูกรวบรวมและจัดเก็บในรูปแบบ JSON ไฟล์แล้วบันทึกลงในพื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของแอปพลิเคชัน (Cache Storage)

ในขณะเดียวกัน Video Recording Module ก็จะทำการบันทึกวิดีโอสภาพถนนและจัดเก็บไฟล์วิดีโอในรูปแบบ Mpeg-4 เมื่อสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งภายในพื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของแอปพลิเคชันจะเกิดไฟล์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลสองประเภทคือ Session ไฟล์ที่เกิดจากการรวมกันของ Accelerometer Logs และ Geolocation Logs และวิดีโอไฟล์ที่บันทึกสภาพถนน

หลังจากขั้นตอนนี้ เมื่อผู้ใช้ต้องการบันทึกข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล ส่วนการทำงาน Cloud Data Synchronization Module ก็จะทำหน้าที่ส่งข้อมูล Session ไฟล์และวิดีโอไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านทางช่องทางการอัปโหลดข้อมูลที่แพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลได้เตรียมไว้ สถาปัตยกรรมของระบบและการเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลแสดงดังภาพที่ 6-2



ภาพที่ 6-2 สถาปัตยกรรมของระบบและการเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล

6.3.2 โครงสร้างข้อมูล

การเก็บข้อมูลตัวอย่างในแต่ละครั้ง ข้อมูลจะถูกบันทึกไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูลในรูปแบบ JSON (JavaScript Object Notation) ซึ่งมีโครงสร้างข้อมูลแสดงดังภาพที่ 6-3 และแสดงดังตารางที่ 6-1 ถึงตารางที่ 6-4

```

1  {
2    "session": {
3      "id": "1602579358",
4      "platform": "android",
5      "deviceid": "e12cfca8",
6      "timeStart": "2020-09-17T09:47:07.943Z",
7      "timeStop": "2020-09-17T09:50:04.392Z",
8      "locations": [
9        {
10       "latitude": 7.8913816,
11       "longitude": 98.3505928,
12       "altitude": 15.90000057220459,
13       "horizontalAccuracy": 14.23799991607666,
14       "verticalAccuracy": 14.23799991607666,
15       "speed": 0,
16       "direction": 0,
17       "timestamp": "2020-09-17T09:47:07.943Z"
18     },
19     {
20       "latitude": 7.8913778,
21       "longitude": 98.3505996,
22       "altitude": 16.299999237060547,
23       "horizontalAccuracy": 14.253000259399414,
24       "verticalAccuracy": 14.253000259399414,
25       "speed": 0.003650125814601779,
26       "direction": 119.3927993774414,
27       "timestamp": "2020-09-17T09:47:11.187Z"
28     }
29   ],
30   "accelerations": [
31     {
32       "x": -0.41674086451530457,
33       "y": 8.20043659210205,
34       "z": 4.064317226409912,
35       "timestamp": 1606721927601
36     },
37     {
38       "x": -0.41674086451530457,
39       "y": 8.20043659210205,
40       "z": 4.064317226409912,
41       "timestamp": 1606721927601
42     }
43   ]
44 }
45 }

```

ภาพที่ 6-3 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้จากตัวโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับโครงการวิจัยนี้

ตารางที่ 6-1 ข้อมูลภาพรวมของการเก็บข้อมูล (Metadata)

| | |
|-----------|------------------------------|
| id | รหัสประจำการบันทึก |
| platform | ประเภทอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |
| deviceid | รหัสประจำอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |
| timeStart | เวลาเริ่มต้นการบันทึก |
| timeStop | เวลาสิ้นสุดการบันทึก |

ตารางที่ 6-2 ข้อมูลการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Geolocation Tracking)

| | |
|--------------------|---------------------|
| latitude | ละติจูด |
| longitude | ลองจิจูด |
| altitude | ระดับความสูง |
| speed | ความเร็ว |
| horizontalAccuracy | ความแม่นยำในแกนนอน |
| verticalAccuracy | ความแม่นยำในแกนตั้ง |
| direction | ทิศทาง |
| timestamp | เวลาการบันทึก |

ตารางที่ 6-3 ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน (Accelerometer Data)

| | |
|-----------|-------------------------------|
| X | การเปลี่ยนแปลงความเร่งบนแกน X |
| Y | การเปลี่ยนแปลงความเร่งบนแกน Y |
| Z | การเปลี่ยนแปลงความเร่งบนแกน Z |
| timestamp | เวลาการบันทึก |

ตารางที่ 6-4 ข้อมูลบันทึกวิดีโอสภาพถนนจากอุปกรณ์สมาร์ทโฟน

| | |
|--------------------------------|--------------------|
| ประเภทไฟล์ (File Type) | MPEG-4 |
| ความกว้างของเฟรม (Frame Width) | 1920 จุด |
| ความสูงของเฟรม (Frame Height) | 1080 จุด |
| รายละเอียดของเฟรม (Bit rate) | 17000 kbps |
| อัตราเฟรม (Frame Rate) | 29.8 เฟรมต่อวินาที |

6.3.3 การเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล

การเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Platform) จะทำผ่านมาตรฐาน HTTP/REST APIs โดยมีการส่งข้อมูลหลัก 2 ส่วน คือ

1. **ข้อมูลภาพวิดีโอที่ได้จากการบันทึก** ข้อมูลส่วนนี้ จะถูกตัดแบ่งเป็นไฟล์ขนาดเล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการอัปโหลดไฟล์เหล่านี้ไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล โดยนักวิจัยสามารถตั้งค่าความยาวของวิดีโอที่ต้องการให้แอปพลิเคชัน ทำการตัดแบ่งไฟล์ ตัวอย่าง เช่น นักวิจัยสามารถตั้งค่าขนาดของไฟล์ไว้ที่ 5 นาทีเพื่อให้แอปพลิเคชันทำการบันทึกวิดีโอแยกเป็นไฟล์ย่อย ๆ โดยแต่ละฝ่ายจะมีความยาว 5 นาที
2. **ข้อมูลอื่น ๆ** ได้แก่ ข้อมูลที่ใช้อธิบาย การเก็บข้อมูล ข้อมูลรายละเอียดของวิดีโอ และข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน จะถูกจัดเก็บในรูปแบบ JSON

แอปพลิเคชัน จะทำการเก็บข้อมูลที่บันทึกทั้งสองส่วนไว้ในพื้นที่จัดเก็บของอุปกรณ์ก่อน เมื่อสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งนักวิจัยสามารถเล่นไฟล์วิดีโอที่บันทึกได้และเลือกชุดข้อมูลที่สนใจเพื่ออัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

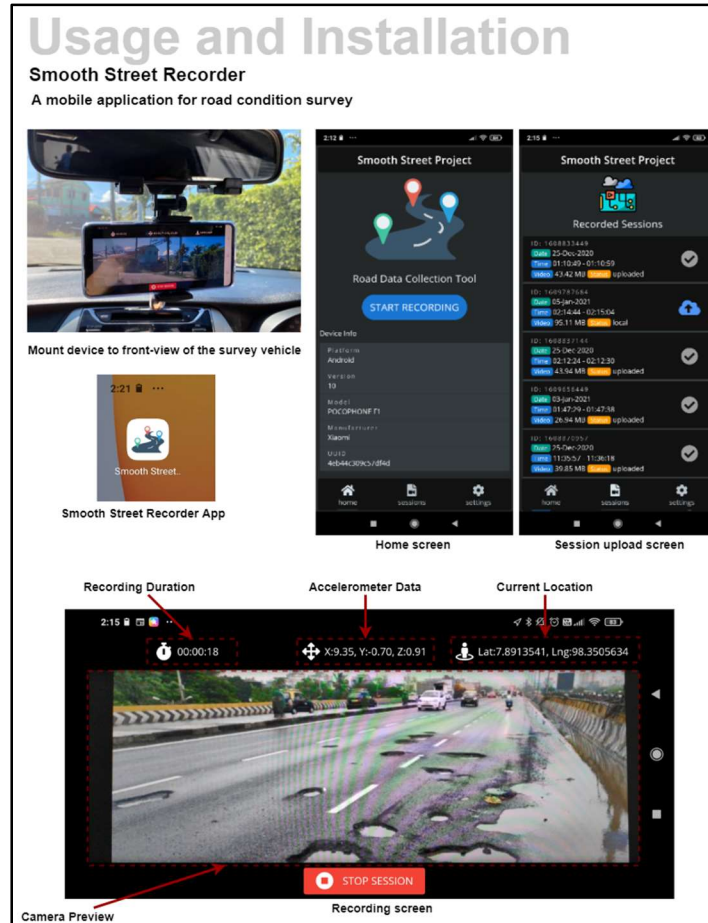
6.4 ผลการพัฒนา

6.4.1 การติดตั้งและใช้งาน

การเริ่มต้นเก็บข้อมูลสามารถทำได้โดยติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder” ไปยังสมาร์ตโฟนที่เตรียมสำหรับการเก็บข้อมูล ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถทำได้เหมือนกับการติดตั้งแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ทั่วไป หลังจากติดตั้งแอปพลิเคชันแล้วจะต้องนำสมาร์ตโฟนสำหรับเก็บข้อมูลไปติดตั้งไว้ในตัวรถที่ใช้สำรวจโดยใช้อุปกรณ์ข้ายึดสมาร์ตโฟนกับกระจกหรือส่วนอื่น ๆ เช่นเดียวกับการติดตั้งกล่องบันทึกเหตุการณ์หนารถยนต์ เมื่อติดตั้งแล้วนักวิจัยสามารถเริ่มบันทึกข้อมูลได้โดยการกดปุ่ม Start Recording จากหน้าแรกของแอปพลิเคชัน หลังจากนั้นแอปพลิเคชันจะทำการเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผลเป็นแนวนอนพร้อมทั้งเปิดการใช้งานกล้องและแสดงภาพพรีวิวให้เห็นมุมมองของภาพที่จะถูกบันทึก ในขณะที่ด้านบนของหน้าจอนี้จะแสดงข้อมูลระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล ค่าพิกัดปัจจุบันของอุปกรณ์สำรวจ และค่าความความเร่งทั้งสามแกน (x, y, z) จาก Accelerometer เมื่อสิ้นสุดการบันทึกข้อมูลไฟล์ข้อมูลและรายละเอียดที่ได้จากการบันทึกแต่ละครั้งจะแสดงในเมนู Sessions ภายในเมนูนี้นักวิจัยสามารถตรวจสอบข้อมูล ย้อนดูวิดีโอที่ได้จากการบันทึก และสามารถเลือกอัปโหลดไฟล์การบันทึกที่สนใจไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูลของโครงการวิจัยนี้ได้

นักวิจัยสามารถติดตั้ง Smooth Street Recorder ได้เหมือนกับแอปพลิเคชัน แอนดรอยด์ทั่วไป หลังจากนั้นสามารถนำเครื่องสมาร์ตโฟนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลไปติดตั้งที่รถเก็บข้อมูลในมุมมองเดียวกันกับกล้องติดรถยนต์ เพื่อให้กล้องของสมาร์ตโฟนสามารถมองเห็นสภาพถนนและบันทึกภาพได้อย่างชัดเจน โดยการติดตั้งสมาร์ตโฟนเข้ากับตัวรถนั้นสามารถใช้อุปกรณ์ทั่วไปที่มีวางจำหน่ายเป็นตัวช่วยยึดสมาร์ตโฟนกับตำแหน่งที่ต้องการเพื่อให้มีการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด

เมื่อต้องการเริ่มการสำรวจ นักวิจัยเปิดแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder จะพบกับหน้าจอแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์เก็บข้อมูลและปุ่มสำหรับการเริ่มบันทึกข้อมูล (Start Recording) เมื่อเริ่มบันทึกข้อมูล แอปพลิเคชัน จะทำการสลับหน้าจอเป็นแอนิเมชันเพื่อบันทึกภาพวิดีโอในอัตราส่วน 16:9 และแสดงหน้าจอภาพรีวิวที่เห็นจากกล้องที่กำลังบันทึก ด้านบนของหน้าจอจะมีการบอกเวลาที่บันทึกข้อมูล ค่าความสั่นสะเทือนสามแกนจากเซนเซอร์ และค่าจีพีเอสโลเคชันของตำแหน่งปัจจุบัน และมีปุ่มเพื่อหยุดการบันทึกข้อมูล เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จแล้วแอปพลิเคชัน จะแสดงข้อมูลการบันทึกครั้งต่าง ๆ โดยเรียงลำดับจากเวลาล่าสุดไปยังการบันทึกก่อนหน้านี้ ในส่วนนี้นักวิจัยสามารถเข้าไปดูภาพวิดีโอที่ได้บันทึกไว้ในครั้งต่าง ๆ และสามารถเลือกอัปโหลดไฟล์วิดีโอที่ต้องการไปเก็บยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลได้จากหน้าจอนี้ โดยมีคำแนะนำคือควรอัปโหลดข้อมูลในขณะที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลแต่ต่อกับ WiFi เพื่อความเร็วในการอัปโหลดข้อมูล ตัวอย่างจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้รวบรวมข้อมูลในโครงการ แสดงดังภาพที่ 6-4



ภาพที่ 6-4 ตัวอย่างจากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้รวบรวมข้อมูลในโครงการ

6.5 ผลการทดสอบ

6.5.1 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการใช้งาน

ในโครงการวิจัยนี้ได้มีการทดสอบแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูลกับสมาร์ทโฟน 3 รุ่น 3 ยี่ห้อเพื่อทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบคุณภาพของไฟล์ที่ได้จากการบันทึก ได้แก่

อุปกรณ์ที่ 1 Xiaomi Mi Note 10 Lite

1. ข้อมูลตัวเครื่อง Xiaomi Mi Note 10 Lite

- สมาร์ทโฟน (โทรศัพท์มือถือพร้อมระบบปฏิบัติการ Android Version 11)
- จอแสดงผล Curved AMOLED 24-bit (16 ล้านสี) จอแสดงผล HDR 10 ความละเอียด 1080 x 2340 พิกเซล (398 ppi) กว้าง 6.47 นิ้ว (แนวทแยง)

- แสดงผลมีรูสำหรับกล้องหน้า (Punch-Hole Display)
2. ระบบเซนเซอร์ (Sensor)
 - ระบบสแกนลายนิ้วมือใต้หน้าจอ (Fingerprint Under Display)
 - ระบบจดจำใบหน้า (Face Detection)
 - ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ (Accelerometer)
 - ตรวจสอบแสงปรับความสว่างอัตโนมัติ (Ambient light)
 - ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของตัวเครื่อง (Accelerometer)
 - ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนา (Proximity)
 - ระบบเซนเซอร์หมุนภาพ (Gyroscope)
 - ปรับมุมมองการแสดงผลอัตโนมัติ (Orientation)
 3. ข้อมูลเครือข่าย (Network)
 - GSM 850/900/1800/1900 MHz
 - UMTS 850/900/1900/2100 MHz
 - LTE Bands 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 7/ 8/ 20/ 28/ 34/ 40
 4. เทคโนโลยีการรับ/ส่งข้อมูล
 - 3G
 - 4G
 5. ระบบปฏิบัติการ: MIUI 11 based on Android 10
 6. หน่วยประมวลผล (CPU): Qualcomm Snapdragon 730G Octa Core ความเร็ว: 2.2 GHz
 7. หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU): Adreno 618
 8. หน่วยความจำ
 - RAM 8GB
 - ROM 128GB
 - UFS 2.1

9. ระบบเชื่อมต่อ

- การหาตำแหน่ง: Assisted GPS
- WiFi 802.11 a/b/g/n/ac
- จุดกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบพกพา (Portable Wi-Fi Hotspot)
- เชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์โดยตรง (Wi-Fi Direct)
- Bluetooth 5.0
- Type-C USB 2.0

10. ฟังก์ชันมัลติมีเดีย

- กล้องดิจิทัล 64MP + 8MP (Ultrawide) + 5MP (Depth) + 2MP (Macro) (Quad Camera) รูรับแสงขนาด $f/1.89$ ขนาดภาพสูงสุด 4624 x 2134 พิกเซล (Image Size)
- Laser Auto Focus
- ค้นหาใบหน้าอัตโนมัติ (Face Detection)
- บันทึกวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหว (Video Recording) ระดับ HD, 30/60 เฟรมต่อวินาที และบันทึกวิดีโอระดับ 4K, 30 เฟรมต่อวินาที

อุปกรณ์ที่ 2 Samsung Galaxy A71

11. ข้อมูลตัวเครื่อง

- สมาร์ทโฟน (โทรศัพท์มือถือพร้อมระบบปฏิบัติการ Android version 10)
- จอแสดงผล Super AMOLED 24-bit (16 ล้านสี) จอแสดงผลมีรูสำหรับกล้องหน้า (Punch-Hole Display)
- ตัวอุปกรณ์ กว้าง 6.7 นิ้ว (แนวทแยง) หน้าจอความละเอียด 1080 x 2400 พิกเซล (393 ppi)

12. ระบบเซนเซอร์ (Sensor)

- ระบบตรวจสอบลายนิ้วมือ (Fingerprint)

- ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ (Accelerometer)
- ตรวจสอบแสงปรับความสว่างอัตโนมัติ (Ambient light)
- ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของตัวเครื่อง (Accelerometer)
- ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนา (Proximity)
- ระบบเซนเซอร์หมุนภาพ (Gyroscope)

13. ข้อมูลเครือข่าย (Network)

- GSM 850/900/1800/1900 MHz
- UMTS 850/900/1900/2100 MHz
- LTE Bands 3/ 40

14. เทคโนโลยีการรับ/ส่งข้อมูล

- 2G: EDGE/GPRS
- 3G
- 4G

15. ระบบปฏิบัติการ: One UI 2 based on Android 10

16. หน่วยประมวลผล: Qualcomm Snapdragon 730 Octa Core ความเร็ว : 2.2 GHz

17. หน่วยความจำ

- RAM 8GB
- ROM 128GB

18. ระบบเชื่อมต่อ

- การหาตำแหน่ง: Assisted GPS
- WiFi 802.11 a/b/g/n/ac
- เชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์โดยตรง (Wi-Fi Direct)
- Bluetooth 5.0
- รองรับ NFC (Near Field Communication)

19. ฟังก์ชันมัลติมีเดีย

- กล้องดิจิทัล 64MP + 12MP (Ultrawide) + 5MP dedicated macro camera + 5MP depth sensor (Quad Camera) รูรับแสงขนาด $f/1.8$
- บันทึกวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหว (Video Recording) บันทึกวิดีโอระดับ HD และ 4K

อุปกรณ์ที่ 3 REDMI NOTE 9S

20. ข้อมูลตัวเครื่อง

- สมาร์ทโฟน (โทรศัพท์มือถือพร้อมระบบปฏิบัติการ Android version 10)
- จอแสดงผล IPS-LCD 24-bit (16 ล้านสี) จอแสดงผล HDR 10 ความละเอียด 1080 x 2400 พิกเซล (395 ppi)
- อุปกรณ์ กว้าง 6.67 นิ้ว (แนวทแยง)

21. ระบบเซนเซอร์ (Sensor)

- ระบบตรวจสอบลายนิ้วมือ (Fingerprint)
- ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ (Accelerometer)
- ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของตัวเครื่อง (Accelerometer)
- ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนา (Proximity)
- ระบบเซนเซอร์หมุนภาพ (Gyroscope)

22. ข้อมูลเครือข่าย (Network)

- GSM 850/900/1800/1900 MHz
- WCDMA 6/19/5/8/4/2/1
- LTE Bands 1/ 3/ 5/ 8/ 18/ 19/ 20/ 26/ 28/ 38/ 40/ 41

23. เทคโนโลยีการรับ/ส่งข้อมูล

- 3G
- 4G

24. ระบบปฏิบัติการ: MIUI 11 based on Android 10.0

25. หน่วยประมวลผล: Qualcomm Snapdragon 720G Octa Core ความเร็ว : 2.3 GHz

26. หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) : Adreno 618

27. หน่วยความจำ

- RAM 6GB
- ROM 128GB
- UFS 2.1

28. ระบบเชื่อมต่อ

- การหาตำแหน่ง: Assisted GPS
- WiFi 802.11 a/b/g/n/ac
- จุดกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบพกพา (Portable Wi-Fi Hotspot)
- เชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์โดยตรง (Wi-Fi Direct)
- Bluetooth 5.0

29. ฟังก์ชันมัลติมีเดีย

- กล้องดิจิทัล 48MP + 8MP (Ultrawide Angle) + 5MP (Macro) + 2MP (Depth sensor) (Quad Camera) รูรับแสงขนาด $f/1.8$
- บันทึกวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหว (Video Recording) บันทึกวิดีโอระดับ HD และ 4K

6.5.2 ผลการทดสอบและผลการเก็บข้อมูลตัวอย่าง

โครงการวิจัยนี้ได้มีการนำแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder ไปใช้ในการเก็บข้อมูลในหลายพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่จังหวัดภูเก็ต กรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียงโดยมีการคัดเลือกเส้นทางการเก็บข้อมูลที่พบความผิดปกติของผิวจราจรชนิดต่าง ๆ และบริเวณต่าง ๆ ที่นักวิจัยให้ความสนใจ และได้อัปโหลดข้อมูลดังกล่าวไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 186 เส้นทางการคิดเป็นพื้นที่จัดเก็บจำนวน 161.2 GB

จากการทดลองใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูลในการเก็บข้อมูลสภาพถนนในพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดภูเก็ตและกรุงเทพมหานครพบว่าแอปพลิเคชันสามารถใช้เก็บข้อมูลได้ตามวัตถุประสงค์ คณะวิจัยและผู้ช่วยวิจัยได้

รายงานปัญหาและมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแอปพลิเคชันเก็บข้อมูลเพื่อให้แอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพการใช้งานและให้ประสบการณ์การใช้งานกับผู้ใช้ที่ดียิ่งขึ้นดังนี้

1. ไฟล์วิดีโอที่บันทึกได้มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ขั้นตอนการบันทึกและการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูลใช้เวลานาน
2. ไม่ต้องการบันทึกเสียงขณะเก็บข้อมูล
3. ต้องการบันทึกชื่อของเส้นทางที่เก็บข้อมูล
4. ต้องการส่วนตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL สำหรับการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูล

จากประเด็นดังกล่าวคณะวิจัยจึงทำการพัฒนาและปรับปรุงแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล Smooth Street Recorder ให้มีประสิทธิภาพและประสบการณ์การใช้งานที่ดียิ่งขึ้นดังนี้

ปรับแก้ 1 ลดขนาดไฟล์วิดีโอแต่ให้คงขนาดของความละเอียดที่เหมาะสมกับการสร้างตัวจำแนก

ในประเด็นนี้ได้มีการปรับรายละเอียดการตั้งค่าการบันทึกวิดีโอเพื่อลดขนาดไฟล์แต่ให้คงความละเอียดและคุณภาพที่ให้ผลดีกับการสร้างตัวจำแนก โดยมีการปรับการตั้งค่าแสดงดังตารางที่ 6-5

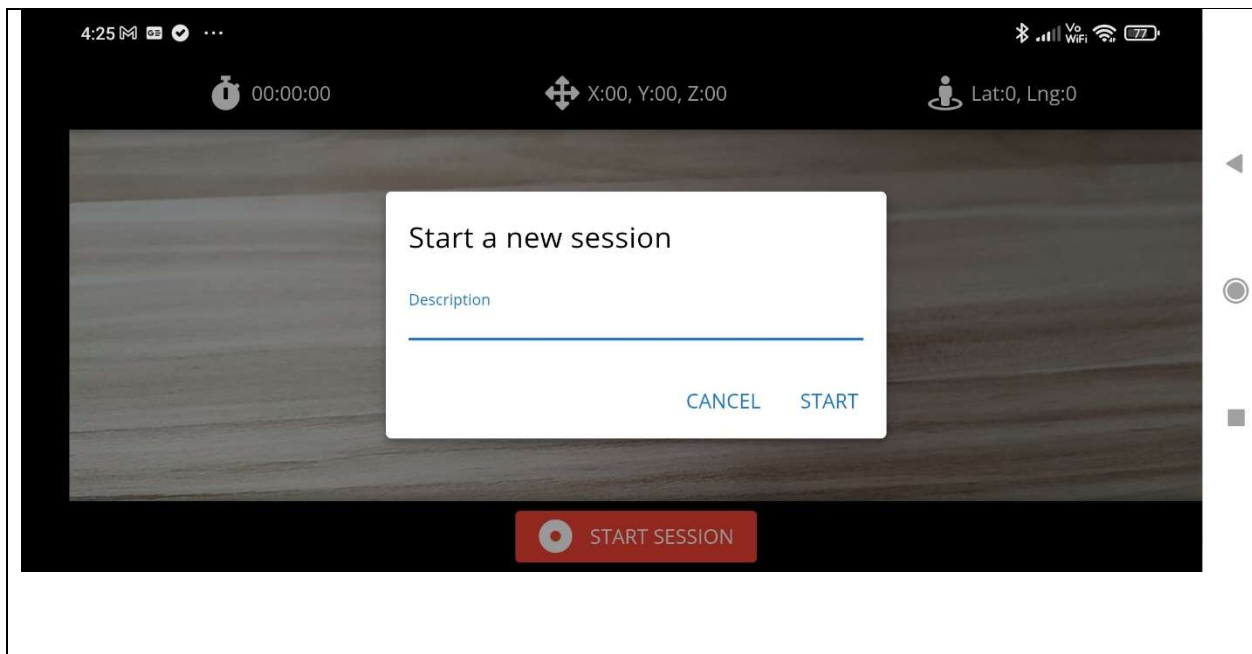
ตารางที่ 6-5 รายการปรับการปรับการตั้งค่า

| รายการปรับแก้การตั้งค่า | เดิม | ใหม่ |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| ประเภทไฟล์ (File Type) | MPEG-4 | MPEG-4 |
| ความกว้างของเฟรม (Frame Width) | 1920 จุด | 1920 จุด |
| ความสูงของเฟรม (Frame Height) | 1080 จุด | 1080 จุด |
| รายละเอียดของเฟรม (Bit rate) | 17000 kbps | 8000 kbps |
| อัตราเฟรม (Frame Rate) | 29.8 เฟรมต่อวินาที | 29.8 เฟรมต่อวินาที |
| บันทึกเสียง | บันทึก | ไม่บันทึก |
| ระบบกันสั่น | อัตโนมัติ | บังคับเปิด |

จากผลการปรับแก้การตั้งค่าดังกล่าวพบว่า สามารถลดขนาดไฟล์วิดีโอได้ 3 เท่า กล่าวคือจากเดิมการบันทึกวิดีโอความยาว 1 นาทีจะใช้พื้นที่จัดเก็บประมาณ 100 เมกะไบต์ ลดลงเป็นใช้พื้นที่จัดเก็บประมาณ 30 เมกะไบต์

ปรับแก้ 2 เพิ่มการกำหนดชื่อเส้นทางเก็บข้อมูล

เนื่องจากขณะวิจัยมีการเก็บข้อมูลความผิดปกติของสภาพถนนในหลาย ๆ เส้นทางทำให้บางครั้งมีความสับสนเกี่ยวกับข้อมูลเส้นทางที่เก็บไปแล้วจึงมีการเพิ่มการตั้งชื่อเส้นทางก่อนการบันทึกเพื่อความสะดวกในการจัดการไฟล์และการเลือกไฟล์ที่จะอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูล แสดงดังภาพที่ 6-5



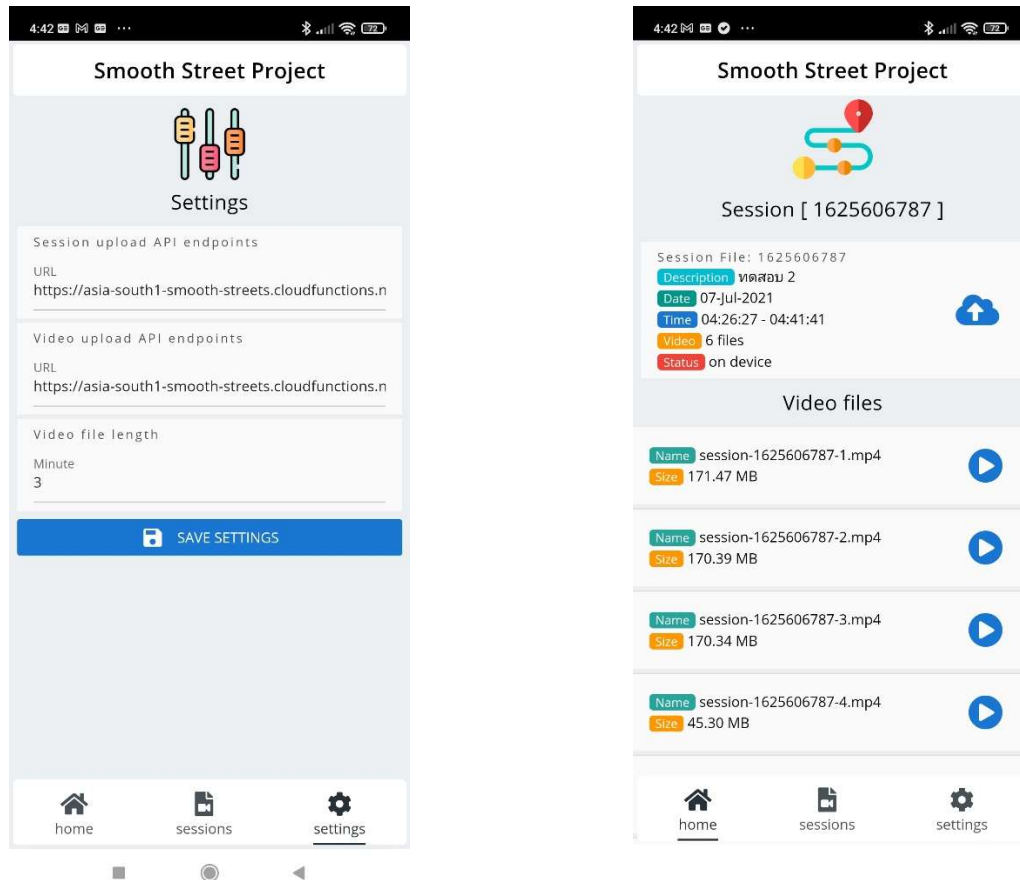
ภาพที่ 6-5 การตั้งชื่อเส้นทางก่อนการเก็บข้อมูล

ปรับแก้ 3 การตัดแบ่งไฟล์วิดีโอตามระยะเวลาที่กำหนด

การบันทึกไฟล์วิดีโอเป็นเวลานานจะทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่และเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาในขั้นตอนการบันทึก จึงมีการปรับแก้ให้มีการตั้งค่าความยาวของไฟล์วิดีโอที่ต้องการในส่วนการตั้งค่า เมื่อตั้งค่าแล้วแอปพลิเคชันจะทำการตัดแบ่งไฟล์วิดีโอเป็นความยาวตามที่กำหนด อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการอัปโหลดข้อมูลยังสามารถอัปโหลดไฟล์วิดีโอของแต่ละเส้นทางเก็บข้อมูลไปพร้อม ๆ กันได้ในครั้งเดียว

ปรับแก้ 4 เพิ่มการตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL สำหรับการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูล

เพิ่มการตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL สำหรับการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูล โดยแยกเป็น URL สำหรับการอัปโหลด session file และ URL สำหรับการอัปโหลดวิดีโอไฟล์ แสดงดังภาพที่ 6-6



ภาพที่ 6-6 การปรับแก้ส่วนตั้งค่าความยาวไฟล์วิดีโอและส่วนแสดงผลรายละเอียดการบันทึก

6.6 อภิปรายและสรุปผล

จากการออกแบบ พัฒนา อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างที่มีการประยุกต์ใช้ กล้องถ่ายวิดีโอ เซนเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกน เซนเซอร์จีพีเอสของสมาร์ตโฟนที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder สามารถช่วยอำนวยความสะดวกให้กับนักวิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการพัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถนำไปใช้ ในขั้นตอนวิจัยขั้นตอนต่อ ๆ ไปของ

โครงการวิจัยได้เป็นอย่างดี ในระหว่างการใช้งาน มีการรับฟังปัญหา เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ในปัจจุบัน อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างสามารถช่วยลดภาระในการเก็บข้อมูลตัวอย่างและเพิ่มประสิทธิภาพ ในการเก็บข้อมูลของโครงการวิจัยได้ตามวัตถุประสงค์

บทที่ 7 การออกแบบ พัฒนา และทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล

7.1 การออกแบบระบบสำหรับรวบรวมข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ และอภิปรายคุณลักษณะ ณ ปัจจุบันของระบบต้นแบบ จากประสบการณ์พัฒนาและติดตั้งระบบพร้อมการดำเนินงานสนับสนุนระบบงานระหว่างช่วงการดำเนินโครงการวิจัย และจากการทบทวนพร้อมอภิปรายเทียบเคียงกับวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งสรุปแนวทางสำหรับประมาณการงบประมาณเพื่อให้บริการข้อมูลและการประมวลผลต่อรายองค์กรสำหรับดำเนินงานระบบในอนาคต

Kersting และ Zhu [11]ⁱ ได้อธิบายถึงกลไกการทำงานของระบบ FixMyStreet ที่ใช้วิธีการ crowd sourcing ในบริบทของการเป็นเครื่องมือช่วยบริหารจัดการเมืองอัจฉริยะ (Smart City) และวิเคราะห์พลวัตด้านการเพิ่มความมีส่วนร่วมของพลเมือง (Participation) ในการสอดส่องดูแลถนนและ สาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน สาธารณะของพื้นที่เทศบาลที่พลเมืองเหล่านั้นอยู่อาศัย โดย Kersting และ Zhu ให้ความเห็นว่าการที่ระบบ FixMyStreet ในประเทศอังกฤษ ประสบความสำเร็จในการสร้างร่วมมือระหว่างรัฐและพลเมืองนั้น มาจากการจัดสร้างแพลตฟอร์มสำหรับเมือง ที่มีคุณสมบัติให้ผู้ใช้มีส่วนได้เสีย สามารถมีพื้นที่สำหรับการแสดงความมีส่วนร่วม ทั้งแบบได้รับเชิญ ('invited' space) และแบบสร้างขึ้นใหม่เฉพาะการ ('invented' space) ภายใต้ระบบสารสนเทศเดียวกัน

จากมุมมองของผู้ใช้งาน (End-user) รูปแบบฟังก์ชันการทำงานและคุณสมบัติการจัดการข้อมูลของระบบต้นแบบเพื่อรวบรวมข้อมูลและประมวลผลสารสนเทศ และ เว็บไซต์แสดงผล Dashboard ได้รับอิทธิพลจากแนวคิดของเว็บไซต์ FixMyStreet ซึ่งเป็นแพลตฟอร์ม Crowdsourcing ที่มีการใช้งานในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นของ ประเทศอังกฤษ (www.fixmystreet.com) และ ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (www.zueriwieneu.ch)

ในการออกแบบระบบสารสนเทศสำหรับโครงการวิจัยนี้ การที่ระบบเว็บไซต์แสดงผล Dashboard และระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผลจากอุปกรณ์ Edge Device ทำงานแยกออกจากกัน โดยใช้วิธีการกำหนดรูปแบบสำหรับข้อมูลสารสนเทศที่ใช้รายงานเหตุการณ์ และกำหนดช่องทางการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับระบบคลาวด์ขึ้นเป็นมาตรฐานเดียวกันแล้วจัดสร้าง API (Application Programming Interface) พร้อมทั้งทดสอบช่องทางการเชื่อมต่อข้อมูล ระหว่างอุปกรณ์ภาคสนามกับระบบเว็บไซต์ประมวลผล เป็นหัวใจสำหรับการที่ทำให้แพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลสารสนเทศ และรูปแบบการใช้งานสารสนเทศที่มีบริบทหลากหลายตามแต่ละพื้นที่ชุมชนและเมืองต่างๆทั่วประเทศไทยได้ในอนาคต

ความท้าทายของการรวบรวมและจัดการข้อมูลเพื่อประมวลผลและจัดเตรียมชุดข้อมูลเป็นรูปแบบมาตรฐาน เพื่อให้ระบบเว็บไซต์ Dashboard สามารถนำไปใช้งานได้ อยู่ที่ยกกำหนดและจัดเตรียม รูปแบบข้อมูล ปริมาณข้อมูล และขั้นตอนการประมวลผล โดยระบบงานจะต้องจัดให้การประมวลผลข้อมูลดำเนินการไปได้โดยอัตโนมัติและเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดระหว่างการทำงาน จึงจำเป็นต้องมองย้อนกลับไปจุดกำเนิดของข้อมูล และกระบวนการสร้างขึ้นข้อมูลที่จะนำเข้าสู่ระบบเพื่อประมวลผล ซึ่งคือข้อมูลจากอุปกรณ์ Edge Device ที่ทำการบันทึกข้อมูลดิบจากเซนเซอร์ และวิเคราะห์หาความผิดปกติบนพื้นผิวถนน แล้วจัดส่งการรายงานความผิดปกตินั้นขึ้นมาที่คลาวด์ ให้ระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผลสารสนเทศ ทำการคัดแยกประมวลผลเพิ่มเติม และจัดเก็บเข้าในคลังข้อมูลกลาง สำหรับเตรียมให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวได้ในรูปแบบสารสนเทศที่เหมาะสม ผ่านช่องทางระบบเว็บไซต์ Dashboard

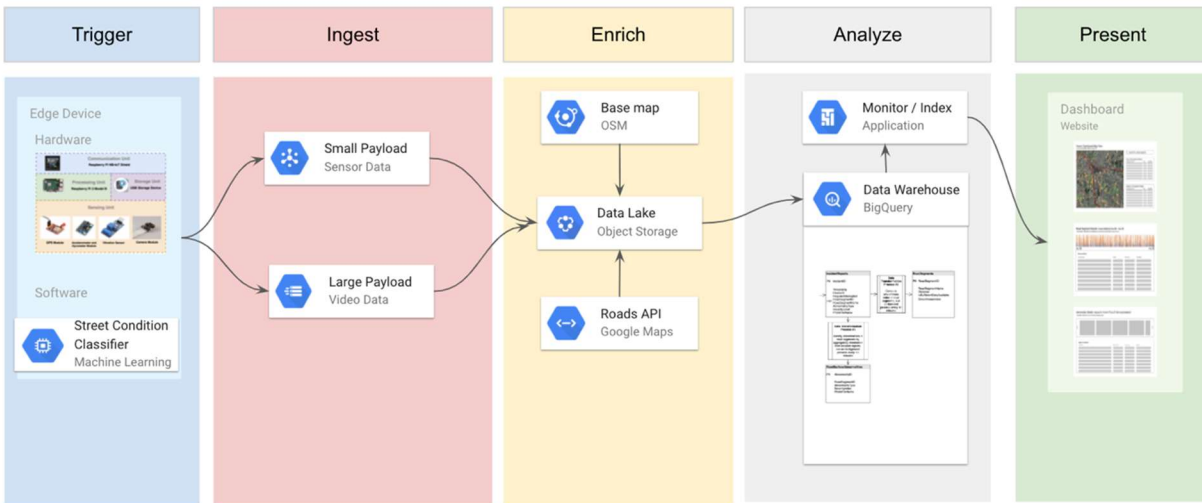
การจัดรูปแบบการประมวลผลข้อมูลลักษณะนี้ ระบบต้นแบบใช้แนวทางการออกแบบโดยอ้างอิงสถาปัตยกรรมที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับเทคโนโลยีและวิธีการทางเทคนิคของ IoT (Internet of Things) หรือ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ซึ่งเป็นหัวข้อวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ [31] และการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเตรียมการนำไปใช้งาน [33]

จากรายงานความคืบหน้าโครงการฉบับที่ 1 แพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Platform) จะทำหน้าที่รองรับการทำงานของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร ฯ ในกระบวนการ 3 ขั้นตอนดังนี้

- Ingest การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่าย IoT
- Enrich การปรับปรุงความละเอียดข้อมูล
- Analyze การวิเคราะห์และประมวลผลรายงานผล

กระบวนการทั้ง 3 ขั้นตอน มีขั้นตอนการทำงานคล้ายคลึงกัน ทั้งในช่วงการฝึกสอนตัวจำแนกสำหรับตรวจจับความผิดปกติของถนน และช่วงการดำเนินงานเก็บข้อมูลจริง ดังนั้น การออกแบบ พัฒนาและทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล จึงได้เริ่มดำเนินการ พัฒนาและทดสอบการใช้งาน ไปพร้อมกัน การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่าย แสดงดังภาพที่ 7-1

Production system



ภาพที่ 7-1 การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่าย 7

และจากรายงานเบื้องต้น ประเด็นสำคัญในการออกแบบ (Design Consideration) ในส่วนของระบบแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล มีหัวข้อหลักดังนี้

- Budget Constraint การดำเนินการแพลตฟอร์ม ค่าใช้จ่ายเพื่อการดำเนินการระบบ ภายใต้งบประมาณที่จำกัด
- Scalable Capacity ขยายขนาดความจุและสมรรถนะการประมวลผล เพื่อรองรับการเติบโตได้
- Vendor Lock-In Risk ความเสี่ยงที่ต้องพึ่งพ้ายึดติดกับระบบเทคโนโลยีของผู้ให้บริการ
- Storage Requirements ความต้องการด้านการเก็บข้อมูล
- Compute Requirements ความต้องการด้านการประมวลผลข้อมูล
- Data Governance การควบคุมดูแลรักษาข้อมูล วางนโยบาย กำหนดกฎเกณฑ์แนวทางการปฏิบัติให้สอดคล้องรองรับกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง
- Data Quality คุณภาพของข้อมูล ที่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน
- Data Security ความปลอดภัยของข้อมูล และเสถียรภาพในการเก็บรักษาข้อมูล
- Orchestration วิธีการปฏิบัติการและการบริหารจัดการแพลตฟอร์ม เครื่องมือ ทักษะ กรรมวิธีและกระบวนการ

7.1.1 ความต้องการด้านการจัดเก็บข้อมูล

ในการวางแผนเตรียมการจัดเก็บข้อมูล สามารถวิเคราะห์ประเภทของข้อมูลที่ถูกนำเข้ามาในระบบแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลที่ถูกนำเข้าสู่ระบบเพื่อใช้ในการฝึกสอนตัวจำแนก และ ข้อมูลที่ถูกนำเข้าสู่ระบบจากรายงานความผิดปกติจากท้องถนนเพื่อนำไปแสดงเป็นสารสนเทศในระบบเว็บไซต์สำหรับแต่ละหน่วยงาน

ส่วนแรกคือข้อมูลสำหรับใช้ฝึกสอนตัวจำแนก ข้อมูลชุดนี้มาจากการนำอุปกรณ์สมาร์ตโฟนซึ่งติดตั้ง แอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder ไปติดตั้งบนรถแล้วทำการออกวิ่งสำรวจในพื้นที่ศึกษา เพื่อรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งข้อมูลที่บันทึกได้จากการวิ่งสำรวจ ประกอบไปด้วยภาพวิดีโอ และข้อมูลจากเซนเซอร์ความเร่ง 3 แกน และข้อมูลพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์จาก GPS สำหรับข้อมูลชุดนี้ขนาดของข้อมูลต่อการออกวิ่งสำรวจหนึ่งครั้งค่อนข้างมีขนาดใหญ่ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นไฟล์วิดีโอที่บันทึกภาพของถนนจากมุมมองด้านหน้าของรถ ซึ่งในการวิ่งสำรวจแต่ละครั้งอาจให้กำเนิดข้อมูลมากถึงหลายกิกะไบต์ (GB) โดยข้อมูลส่วนนี้จะถูกส่งขึ้นมาเก็บบนคลาวด์สำหรับให้ใช้งานเป็นชุดข้อมูลฝึกสอนตัวจำแนก (Training Data Set) พร้อมกับเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับกำหนดพื้นที่เป้าหมายและช่วยสร้างแผนที่พื้นฐานของเส้นถนนในพื้นที่ได้ด้วย

ส่วนที่สองคือข้อมูลจากรายงานความผิดปกติของตัวจำแนกที่อุปกรณ์ส่งขึ้นมาที่ระบบคลาวด์จากพื้นที่เป้าหมายเพื่อใช้งานในการรายงานความผิดปกติจากท้องถนนให้แก่หน่วยงานที่ดูแลถนนเส้นนั้นๆ ข้อมูลที่บันทึกได้จากการรายงานครั้งหนึ่งๆจากอุปกรณ์ชิ้นหนึ่ง จำกัดปริมาณข้อมูลไว้ที่ 10 เมกะไบต์ (MB) ซึ่งประกอบด้วยค่าพิกัด GPS ของอุปกรณ์เพื่อวัดเทียบกับฐานข้อมูลของเส้นถนน สำหรับหาเส้นถนนที่จะรายงานความผิดปกติ การรายงานแยกประเภทและค่าเชิงปริมาณของประเภทความผิดปกติที่ตัวจำแนกพบจากผิวถนนที่ยานพาหนะซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วิ่งผ่าน และภาพนิ่งเพื่อประกอบการรายงานในแต่ละครั้ง

ในการประเมินปริมาณของข้อมูลและรูปแบบข้อมูลที่จะต้องจัดเก็บ เพื่อประมาณการความต้องการด้านการจัดเก็บข้อมูลต่อเดือน อาศัยตัวแปรคร่าวๆดังนี้ เพื่อให้เพียงพอต่อการพัฒนาและทดลองใช้ระบบในขั้นต้น

1. อุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลเข้าสู่ Google Cloud Platform ของทั้งโครงการมีจำนวน 6 ชิ้น
2. ในการวิ่งสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้น โดยใช้แอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder อุปกรณ์แต่ละชิ้นกำเนิดข้อมูลและส่งขึ้นมาจัดเก็บที่คลาวด์ จัดสรรโควตาพื้นที่ให้เก็บข้อมูล 100 GB แยกตามอุปกรณ์

3. พื้นที่จัดเก็บข้อมูลสำหรับรายงานความผิดปกติ เพื่อให้บริการข้อมูลสำหรับระบบเว็บไซต์ ซึ่งเป็นข้อมูลการรายงานความผิดปกติ พร้อมรูปถ่าย จัดสรรพื้นที่ให้เก็บข้อมูล 1TB รวมการรายงานจากทุกอุปกรณ์
4. พื้นที่จัดเก็บข้อมูลสำหรับระบบคลังข้อมูล รวมทั้งพื้นที่สำหรับข้อมูลแผนที่เส้นถนนพื้นฐาน จัดสรรพื้นที่เก็บข้อมูลไว้ 500 GB

7.1.2 ความต้องการด้านการประมวลผลข้อมูล

เนื่องจากการทำงานของโมเดลจำแนกความผิดปกติบนท้องถนนถูกออกแบบให้ทำงานอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ (Edge Device) ความต้องการด้านการประมวลผลของระบบ สำหรับการทำงานในส่วนการรวบรวมข้อมูลและแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน Dashboard จึงอยู่บนสมมติฐานว่า สารสนเทศซึ่งได้รับจากอุปกรณ์ Edge Device มีคุณลักษณะถูกต้องครบถ้วนในบริบทที่จะไปแสดงผลให้กับผู้เกี่ยวข้อง แล้วให้ผู้บริโภคสารสนเทศบน Dashboard สามารถตัดสินใจได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมานั้น จะสามารถนำไปประกอบการดำเนินการต่ออย่างไรได้บ้าง หรือว่าข้อมูลที่ได้ถูกรายงานมานั้นขาดความแม่นยำและไม่เป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงาน และควรนำออกจากระบบการแสดงผลของหน่วยงาน ซึ่งทั้งสองกรณีนี้การตอบสนองของผู้ใช้งาน Dashboard ต่อเหตุการณ์ที่รายงานสามารถนำกลับไปใช้ฝึกสอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพตัวจำแนก อย่างไรก็ตามวิถีวัตถุประสงค์หลักของระบบ คือการให้บริการสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อกลุ่มผู้ใช้งานหลักที่เกี่ยวข้องกับการดูแลบำรุงรักษาถนนและประชาชนที่มีส่วนได้เสียโดยตรงต่อคุณภาพของเส้นทางสัญจร ดังนั้นความต้องการประมวลผลข้อมูลโดยหลักแล้วจะเป็นการทำงานเพื่อคัดแยกข้อมูลและจัดสรรข้อมูล เพื่อนำไปจัดเก็บหรือแปลงรูปแบบให้เหมาะสมแก่ผู้ใช้งานเว็บไซต์ Dashboard

รูปแบบข้อมูลและวิธีการประมวลผล เพื่อจัดเตรียมข้อมูลให้แก่ระบบเว็บไซต์ Dashboard สรุปสาระสำคัญได้ดังนี้:

1. การรับข้อมูลเข้าสู่ระบบและแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดสำหรับจัดเก็บในระบบคลังข้อมูล
 - 1.1. API สำหรับ Edge Device รับข้อมูลในรูปแบบ JSON จากอุปกรณ์ ตรวจสอบความครบถ้วนของรูปแบบการรายงาน แล้วนำไปจัดเก็บชั่วคราวใน Object Storage แยกตามหมายเลขประจำอุปกรณ์
 - 1.2. ในช่วงทดสอบและพัฒนาระบบ API สำหรับ Edge Device สื่อสารกับทางแอปพลิเคชัน Smooth Streets Recorder เพื่อจัดส่งไฟล์ข้อมูลในรูปแบบ JSON และ ไฟล์วิดีโอ เข้ามาจัดเก็บบนคลาวด์โดยพื้นที่เก็บข้อมูลใน Object Storage ใช้การอ้างอิงจากเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูล

- 1.3. การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลที่ได้รับ ทำการตรวจสอบเนื้อหาและรูปแบบข้อมูลโดยใช้รูปแบบไฟล์ที่ตกลงกันไว้ให้ใช้เป็นรูปแบบโปรโตคอล เป็นตัวเทียบมาตรฐาน
 - 1.4. การสืบค้นระเบียบข้อมูลถนนโดยใช้ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ ใช้ระบบแผนที่พื้นฐานในการทำการสืบค้นข้อมูลเพื่อค้นหารายการข้อมูลที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น ต้องการทราบว่าพิกัดดังกล่าวอยู่บนถนนเส้นไหน
 - 1.5. แต่ละเหตุการณ์ที่ได้รับรายงาน เมื่อข้อมูลสารสนเทศที่ได้รับผ่านกระบวนการประมวลผลได้อย่างเรียบร้อยแล้ว รายการการรายงานนั้นจะถูกบันทึกเข้าในระบบคลังข้อมูลกลาง แยกตามรหัสพื้นที่และรหัสหน่วยงาน เพื่อรอการเรียกใช้งานจาก ระบบเว็บไซต์ Dashboard
 - 1.6. การประมวลผลเพื่อรวบรวมสถิติเฉพาะท้องถิ่น หรือในการทำการวิเคราะห์สถิติเชิงพื้นที่ ดำเนินการโดยชุดคำสั่งซึ่งทำงานเป็นระยะๆโดยอัตโนมัติภายในระบบรวบรวมและประมวลผล หรือกระบวนการประมวลผลจะสามารถถูกสั่งการผ่านการส่งคำสั่งจากผู้ใช้งานเว็บไซต์ Dashboard
 - 1.7. ข้อมูลประกอบการรายงานที่มีลักษณะเป็นรูปภาพ ถูกจัดเก็บในแยกใน Object Storage สำหรับให้เตรียมส่งไปแสดงผลได้ผ่าน Dashboard โดยการอ้างอิงด้วย URL (Universal Resource Locator)
2. การให้บริการข้อมูล
 - 2.1. API สำหรับ Dashboard เรียกใช้งาน Dashboard API โดยจะได้รับข้อมูลในรูปแบบ JSON ที่ประกอบไปด้วยสารสนเทศสำหรับนำไปแสดงผลบนหน้าโปรแกรมของผู้ใช้งานเว็บไซต์ Dashboard
 - 2.2. ระบบเว็บไซต์ Dashboard มีฐานข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลเนื้อหาที่สร้างโดยผู้ใช้งาน (User Generated Content) โดยจัดเก็บในฐานข้อมูลแยกต่างหาก จากระบบรวบรวมและประมวลผลข้อมูล
 3. การบริหารจัดการข้อมูลภายในระบบ เช่น ข้อมูลแผนที่พื้นฐาน ข้อมูลหน่วยงานที่สามารถเข้าใช้งานระบบได้
 - 3.1. มีการปรับแต่งและพัฒนาเครื่องมือและส่วนเพิ่มเติมของระบบ เพื่อนำข้อมูลเข้าและจัดการข้อมูลในคลังข้อมูลกลางและระบบแผนที่พื้นฐาน
 - 3.2. การเข้าใช้ทรัพยากรบนคลาวด์ (Google Cloud Platform) สามารถใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ หรือซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สที่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้ โดยการกำหนดสิทธิเข้าถึงชุดข้อมูล ใช้การควบคุมบัญชีผู้ใช้งานสำหรับพัฒนาระบบ เป็นรายบุคคล ซึ่งผู้เข้าใช้งานระบบจะต้องจัดการดูแลสิทธิการเข้าถึงบัญชี และรหัสผ่านสำหรับใช้ในการยืนยันตัวตน เพื่อการเข้าถึงทรัพยากรและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลได้ในกรณีที่เป็น

7.1.3 คุณภาพของข้อมูลสำหรับการนำมาใช้ดำเนินงาน

ข้อมูลที่นำมาใช้สำหรับประมวลผลเพื่อสร้างสารสนเทศสำหรับประกอบเป็นระบบเว็บไซต์ Dashboard มาจากสองแหล่งข้อมูล คือ ข้อมูลการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ (Edge Device) โดยการทำงานของตัวจำแนกความผิดปกติของผิวถนน ซึ่งรายงานข้อมูลเข้ามาเป็นระยะๆ ผ่านเครือข่ายระบบสื่อสารแบบ IoT และข้อมูลพื้นฐานของถนนแต่ละเส้นที่อยู่ภายใต้การเฝ้าระวังของหน่วยงานดูแลถนน หรือถนนซึ่งอยู่ในพื้นที่ต่างๆทั่วประเทศไทยที่ปรากฏในฐานข้อมูลแผนที่เส้นถนนที่สามารถเทียบเคียงตำแหน่งพิกัดเชิงภูมิศาสตร์สำหรับใช้อ้างอิงได้

ข้อมูลการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์ Edge Device มีการกำหนดรูปแบบและวิธีการจัดส่ง ให้ใช้โปรโตคอล JSON ในการบรรจุข้อมูลเป็นรูปแบบมาตรฐาน และใช้โปรโตคอล HTTP POST ในการส่งข้อมูลเข้าสู่การประมวลผลบนคลาวด์

ข้อมูลพื้นฐานของเส้นถนน ใช้โครงสร้างข้อมูลแบบ LineString ตามมาตรฐาน SQL/MM [1] เป็นรูปแบบโครงสร้างข้อมูลเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูล และคอลัมน์ประเภท GEOGRAPHY ในระบบคลังข้อมูล (Big Query) เพื่อจัดเก็บพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์และเพื่อคำนวณความยาวของถนนเป็นระยะทางสำหรับใช้ประมวลผลและใช้เป็นค่าในการคำนวณสถิติสำหรับรายงานตัวชี้วัดของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรฯ สำหรับแต่ละหน่วยงานหรือแต่ละพื้นที่

คุณภาพของข้อมูลหมายถึงความสมบูรณ์ถูกต้องของข้อมูลที่นำเข้าสู่ระบบ เพื่อประมวลผลและจัดเก็บเป็นสารสนเทศสำหรับให้บริการแก่ระบบงานปลายทาง คือระบบเว็บไซต์ Dashboard ดังนั้นคุณภาพของข้อมูลการรายงานความผิดปกติ และข้อมูลฐานข้อมูลเส้นถนนในแต่ละพื้นที่เพื่อจัดให้มีการเฝ้าระวังความผิดปกติจึงเป็นสองปัจจัยที่แยกออกจากกันที่กระทบต่อคุณภาพโดยรวมของข้อมูลที่ระบบสามารถสรุปประมวลผลให้ได้ การจัดการข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลส่วนส่วนนี้ถูกแยกออกจากกันเนื่องด้วยแหล่งกำเนิดข้อมูลทั้งสองนี้อยู่ในคนละบริบทกัน และคุณภาพของข้อมูลขาออกที่ใช้ข้อมูลจากสองแหล่งนี้นำมารวมกันย่อมแปรผันกับคุณภาพข้อมูลของแต่ละแหล่งในการนำมารวมกันสำหรับกรณีวิเคราะห์ข้อมูลและบริบทของการจัดเตรียมสารสนเทศเพื่อแสดงผลให้แก่ผู้ใช้งานระบบเว็บไซต์แสดงผล ซึ่งความเพียงพอของข้อมูลและระดับคุณภาพของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แต่ละครั้งในแต่ละพื้นที่ย่อมมีความแตกต่างกันในเชิงคุณภาพ ดังนั้นจัดให้ระบบงานทั้งหมดให้เป็นอัตโนมัติจึงเป็นแนวทางหนึ่งให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพข้อมูลในหลายๆกรณีตัวอย่างจากการใช้งานจริง และจากนั้นจึงจะหาแนวทางปรับปรุงเพื่อพัฒนาคุณภาพของข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามแนวทางนี้มีความเสี่ยงที่ปริมาณและ

ความหลากหลายของปัญหาด้านคุณภาพของข้อมูลที่ถูกนำไปบริโภคจะมีมากจนรูปแบบของระบบอัตโนมัติที่
จัดเตรียมขึ้นไม่สามารถปรับแก้หรือพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาได้

7.1.4 สมรรถนะในการประมวลผลและการรองรับการเติบโตของระบบ

จากการทดลองระบบ ณ ปัจจุบัน ระบบคลังข้อมูล และ API รับข้อมูลสามารถทำงานรองรับปริมาณข้อมูล
และการรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ได้โดยไม่พบปัญหาด้านสมรรถนะในการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล นอกจากนี้
พบปัญหาในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นปัจจัยที่อยู่นอกความควบคุมของระบบ

และเนื่องด้วยแนวทางการออกแบบให้สถาปัตยกรรมการจัดเก็บข้อมูลและรูปแบบข้อมูลมีความยืดหยุ่น
และรองรับการกระจายการทำงาน เพื่อให้สามารถเข้าถึงพื้นที่เป้าหมายได้หลากหลาย อย่างไรก็ตามเนื่องจากด้วยปัจจุบัน
โครงการมีอุปกรณ์ภาคสนามจำนวน 6 ชิ้นเท่านั้น และยังไม่ได้มีการใช้งานอย่างเต็มรูปแบบจากผู้ใช้งานใน
หน่วยงานที่ทำหน้าที่ดูแลบำรุงรักษาถนนจากพื้นที่เป้าหมาย ดังนั้นตัวอย่างการใช้งานที่พบในปัจจุบันอาจจะ
สามารถเป็นตัวแทนในการแสดงสมรรถนะของระบบได้ในระดับหนึ่ง แสดงดังภาพที่ 7-2 ถึง ภาพที่ 7-4



ภาพที่ 7-2 ข้อมูลการสำรวจเก็บข้อมูลระหว่างดำเนินโครงการในแพลตฟอร์ม

Query results

Query complete (0.2 sec elapsed, 3 KB processed)

Job information Results JSON Execution details

| Row | speed_mean_kmh | total_dist_km | total_time_h |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 31.62145559231845 | 973.7830089936231 | 261.8373194444444 |

ภาพที่ 7-3 ชุดคำสั่งสำหรับสรุปสถิติการใช้งานแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล

Query results

Query complete (0.5 sec elapsed, 115.2 KB processed)

Job information Results JSON Execution details

| Row | month_end | ingest_event_count |
|-----|------------|--------------------|
| 1 | 2021-07-31 | 4131 |
| 2 | 2021-06-30 | 135 |
| 3 | 2021-05-31 | 48 |
| 4 | 2021-04-30 | 16 |
| 5 | 2021-03-31 | 73 |
| 6 | 2021-02-28 | 8 |
| 7 | 2021-01-31 | 92 |
| 8 | 2020-12-31 | 33 |

ภาพที่ 7-4 สถิติการใช้งานแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลจนถึงเดือน ส.ค. 2564

อย่างไรก็ดี เนื่องจากระบบทำงานบนบริการคลาวด์ของ Google Cloud Platform จึงมีความมั่นใจได้ในระดับหนึ่งว่าระบบการประมวลผลปัจจุบันจะสามารถรองรับปริมาณข้อมูลและผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้

7.1.5 การกำหนดแผนงบประมาณเพื่อรองรับการดำเนินงานระบบ

สำหรับการวิเคราะห์ประมาณการค่าใช้จ่ายเพื่อกำหนดแผนงบประมาณในการดำเนินงานระบบ ในบริบทของรายงานนี้จะแยกต้นทุนการพัฒนาแบบออกจากการคำนวณต้นทุนในการดำเนินงานระบบ เนื่องจากคณะวิจัยได้ใช้จ่ายงบประมาณเพื่อดำเนินกิจกรรมดังกล่าวรวมอยู่ในงบประมาณที่ได้รับมาแล้ว ต้นทุนการพัฒนาแบบต้นแบบ เช่นการวิเคราะห์ออกแบบการทำงานของระบบและพัฒนาหรือตั้งค่าซอฟต์แวร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง พร้อมการติดตั้งระบบและบริการดูแลระบบจนถึงระยะเวลาซึ่งครอบคลุมตามการรับประกันคุณภาพงาน จึงถูกแยกออกและไม่นำมารวมกับแผนงบประมาณ เพื่อรองรับการดำเนินงานของระบบในอนาคต

วิธีการประเมินต้นทุนเพื่อกำหนดแผนงบประมาณ. ในที่นี้จะอ้างอิงจากรายการค่าใช้จ่ายที่โครงการวิจัยจ่ายให้แก่ Google Cloud Platform ผู้ให้บริการทรัพยากรคลาวด์ ในช่วงเวลา 18 เดือน ที่มีการใช้งานแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อเก็บข้อมูลสำรวจจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล และให้บริการข้อมูล โดยสรุปประมาณข้อมูลที่ได้จัดเก็บ จำนวนอุปกรณ์สำรวจที่ใช้งาน และจำนวนหน่วยงานที่จัดสร้างขึ้นแยกตามพื้นที่เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผิวดิน จำนวน 6 หน่วยงาน จากนั้นจะประเมินปริมาณข้อมูลและทรัพยากรคลาวด์ที่จำเป็น เพื่อสามารถให้บริการเก็บข้อมูลเผื่อสำรองและให้บริการสารสนเทศแก่เว็บไซต์รายงานข้อมูลของแต่ละหน่วยงานได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ

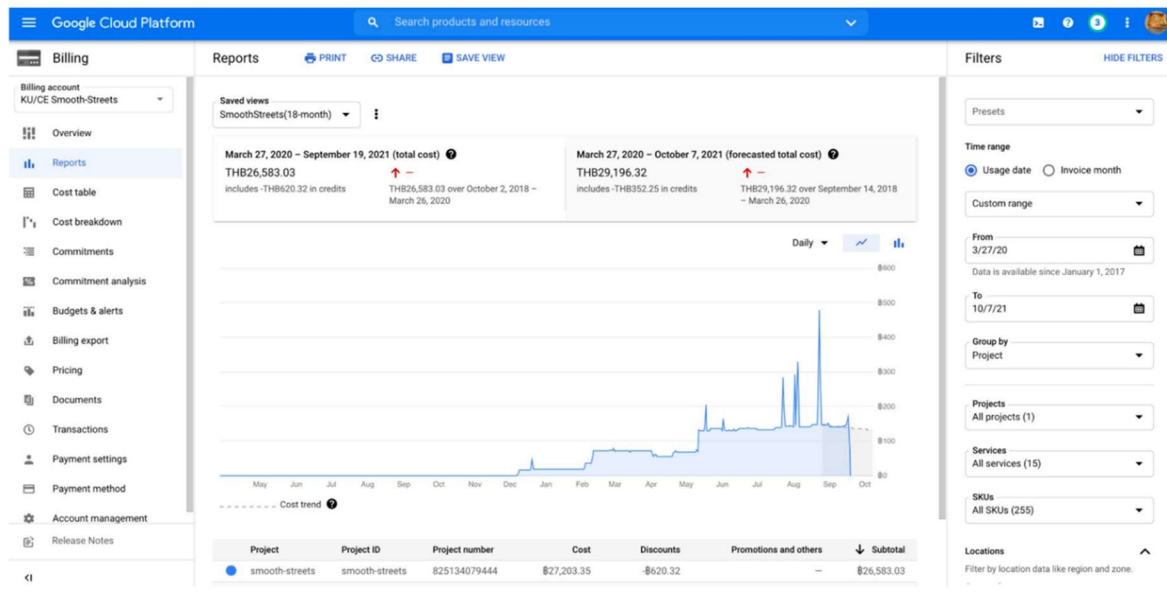
ต้นทุนการดำเนินงานของระบบฯ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนต้นทุนค่าใช้จ่ายจริงเพื่อเช่าใช้งานทรัพยากรของผู้ให้บริการคลาวด์ และส่วนต้นทุนการดำเนินงานเพื่อการปฏิบัติการของระบบงานซึ่งติดตั้งบนคลาวด์ที่พร้อมให้บริการแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งอยู่บนสมมติฐานว่าระบบงานซึ่งติดตั้งอยู่พร้อมใช้งานแล้ว

ทรัพยากรคลาวด์ที่จำเป็นสำหรับการให้บริการแพลตฟอร์ม ระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผล พร้อมการเชื่อมต่อกับ เว็บไซต์ Dashboard เพื่อแสดงผลให้แก่ผู้ใช้งานที่ทำหน้าที่ดูแลบำรุงรักษาถนน มีรายการแสดงดังตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 รายการทรัพยากรคลาวด์สำหรับระบบงาน

| ลำดับ | ทรัพยากรบนคลาวด์ที่ใช้บริการในปัจจุบัน | คุณสมบัติของทรัพยากร กรณีที่ไม่ใช้งาน Google Cloud Platform | ฟังก์ชันการทำงานในการรวบรวมและประมวลผลข้อมูล |
|-------|--|--|---|
| 1 | Big Query | ระบบคลังข้อมูลในคลาวด์ (Cloud-based data warehouse) ซึ่งมีสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล แบบ massively parallel processing (MPP) สำหรับประมวลผลข้อมูล | จัดเก็บข้อมูลของ และทำการประมวลผลสำหรับ ระบบคลังข้อมูลกลาง |
| 2 | Cloud SQL | ระบบฐานข้อมูล OLTP พร้อมชุดคำสั่งประมวลผล SQL/MM ที่รองรับการทำงาน ของซอฟต์แวร์ GIS | จัดเก็บข้อมูลของ ระบบแผนที่ พื้นฐานและจัดเก็บข้อมูล พื้นฐานของหน่วยงานที่จะเข้าใช้งานแพลตฟอร์ม |
| 3 | Mongo Atlas | ระบบฐานข้อมูลแบบ Document-oriented/NoSQL ซึ่ง ทำ การ จัด เก็บ ระเบียนข้อมูลในรูปแบบ JSON | จัดเก็บข้อมูลของ ระบบเว็บไซต์ Dashboard |
| 4 | Cloud Function | บริการประมวลผลข้อมูลฝั่งเครื่องแม่ข่าย (server-side) | ระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผล |
| 5 | Cloud Run | บริการประมวลผลข้อมูลฝั่งเครื่องแม่ข่าย (server-side) | ระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผล |
| 6 | Cloud Storage | ระบบจัดเก็บไฟล์ข้อมูลแบบแบ่งพื้นที่ได้ (Object Storage) | ระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผล |
| 7 | Cloud Compute | บริการเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแบบเสมือน | โฮสเว็บไซต์ Dashboard และระบบงานแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้อง |
| 8 | Bandwidth | ปริมาณการรับ-ส่ง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต | รับ-ส่งข้อมูลระหว่าง Edge Device กับ คลาวด์ และรับ-ส่งข้อมูลระหว่าง Dashboard และข้อมูลสารสนเทศในระบบ |

| | | | |
|---|----------------------|--|--|
| 9 | Internet Domain Name | บริการ DNS สำหรับบริหารจัดการข้อมูลระบบเครือข่าย | กำหนดชื่อเว็บไซต์ Dashboard สำหรับผู้ใช้งาน (End-user) และ สนับสนุนการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์และระบบภายในแพลตฟอร์ม |
|---|----------------------|--|--|



ภาพที่ 7-5 รายงานค่าใช้จ่าย Google Cloud Platform ในช่วงเวลาระหว่างดำเนินโครงการ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรงบประมาณสำหรับการใช้งานคลาวด์ จำนวน 180,000 บาท สำหรับดำเนินการพัฒนาและทดสอบระบบ เป็นเวลา 18 เดือน โดยในปัจจุบันระบบที่ทำงานอยู่มีการจำลองข้อมูลสำหรับ 6 หน่วยงาน โดยเฉลี่ยแล้วต้นทุนต่อหน่วยงานจึงอยู่ที่ หน่วยงานละ 30,000 บาท ต่อระยะเวลา 18 เดือน ดังนั้นในการประมาณการแบบหยาบ จากผลการดำเนินการติดตั้งและทดสอบระบบ ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อปีต่อหนึ่งหน่วยงาน สำหรับการโฮสเว็บไซต์ Dashboard และ บริการเชื่อมต่อข้อมูลผ่าน Dashboard API กับ ระบบรวบรวมข้อมูลและประมวลผล จะอยู่ที่ 20,000 บาท ต่อหน่วยงาน ซึ่งยังไม่รวมปริมาณข้อมูลและทรัพยากรที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้งานสำหรับใช้ดำเนินงานในสภาพแวดล้อมจริง

โดยค่าใช้จ่ายที่โครงการวิจัยนี้ต้องชำระให้ Google ผู้เป็นเจ้าของบริการคลาวด์ทุกๆเดือน โดยซึ่งปัจจุบันทางโครงการกำหนดงบใช้จ่ายสูงสุด-ของโครงการนี้ (Smooth Streets) ไว้ที่ 10,000 บาทต่อเดือน เพื่อป้องกันการใช้จ่ายเกินงบประมาณดำเนินโครงการที่ได้รับการจัดสรรมาจาก กทปส.

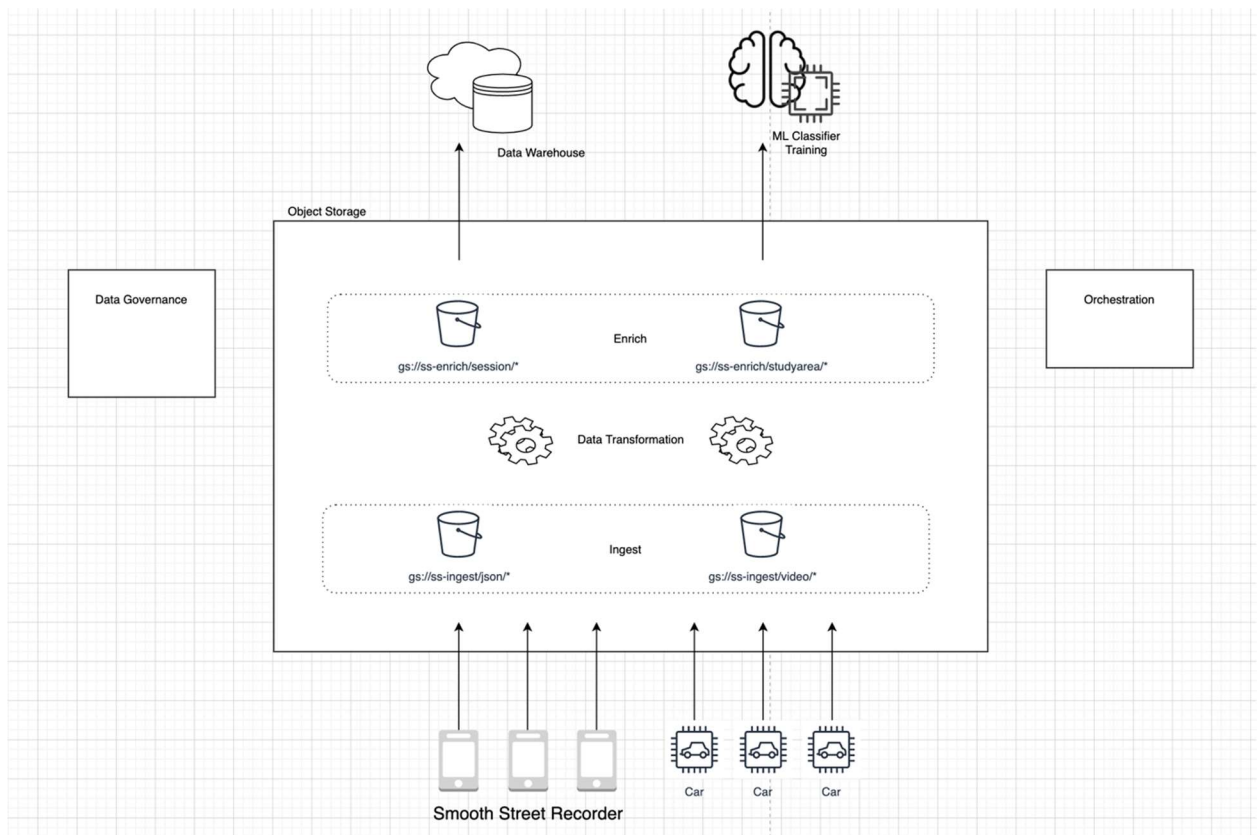
7.2 สถาปัตยกรรมระบบของแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผล

ลักษณะเฉพาะของระบบงานซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้โครงการและติดตั้งใช้งานสำหรับทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนหรืออุปกรณ์ภาคสนาม (Edge Device) เพื่อนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการประมวลผลประมวลผลและจัดเก็บไว้เพื่อให้บริการแก่เว็บไซต์แสดงผล (Dashboard) สำหรับแต่ละหน่วยงาน คือ การที่ระบบงานทั้งระบบถูกพัฒนาขึ้นบนคลาวด์ซึ่งทำให้ระบบดังกล่าวสามารถรองรับการเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ผ่านโครงข่าย IoT ที่สามารถเข้าใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ และสามารถให้บริการข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลแล้ว แก่เว็บไซต์รายงานข้อมูลสารสนเทศเฉพาะแต่ละหน่วยงาน แยกออกจากกันได้โดยที่เว็บไซต์แสดงผลสำหรับแต่ละหน่วยงานไม่จำเป็นต้องอาศัยอยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกัน

คุณลักษณะเด่นอีกข้อหนึ่งของระบบหรือแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผลนี้ คือ ความสามารถในการขยายหรือลดขนาดระบบสำหรับการประมวลผลและพื้นที่จัดเก็บข้อมูล เพื่อเพิ่มหรือลดการรองรับจำนวนผู้ใช้งาน และหน่วยงานเจ้าของข้อมูล ที่มีความประสงค์เข้าร่วมใช้งานระบบแพลตฟอร์มดังกล่าว ที่มีความยืดหยุ่นตามปริมาณความต้องการที่แท้จริงของกลุ่มผู้ใช้งาน ในระหว่างช่วงเวลาหนึ่งๆ ได้

ส่วนประกอบหลักของสถาปัตยกรรมระบบที่ก่อให้เกิดลักษณะจำเพาะดังกล่าว ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบ คือ 1. การประมวลผลสารสนเทศบนคลาวด์ 2. การจัดเก็บไฟล์บนคลาวด์ 3. ระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศกลาง และ 4. ระบบคลังข้อมูลกลาง v แสดงดังภาพที่ 7-6

สถาปัตยกรรมของระบบงานนี้อ้างอิงมาจากสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศแบบ Data Lake โดยประยุกต์ให้องค์ประกอบทำงานบนคลาวด์ สามารถเชื่อมต่อกับระบบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ และสามารถประมวลผลข้อมูลได้ตามความต้องการด้านข้อมูลและการประมวลผลสำหรับทำงานในแอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน รวมไปถึงให้ที่มั่นวิจัยของโครงการที่สามารถใช้สอยระบบเดียวกันเพื่อรวบรวมข้อมูลในทำการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ตามวัตถุประสงค์ของโครงการได้ด้วย



ภาพที่ 7-6 สถาปัตยกรรม Data Lake [21]

สถาปัตยกรรม Data Lake (ที่รวมข้อมูลกลาง) เป็นสถาปัตยกรรมสำหรับระบบสารสนเทศระดับองค์กร ซึ่งได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากการเติบโตของข้อมูลดิจิทัลที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์กรและความต้องการในการรวบรวมจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลเหล่านั้นเพื่อค้นพบรูปแบบหรือความสัมพันธ์ ที่มีคุณลักษณะและมีรูปแบบการทำงานเฉพาะตัว [28], [12], [16],[21] กล่าวคือสถาปัตยกรรม Data Lake หมายถึงระบบงานสำหรับจัดการข้อมูลขององค์กรที่มีคุณสมบัติเฉพาะและขีดความสามารถ ดังนี้:

- ความสามารถในการรองรับข้อมูลที่ไม่มีการนิยามรูปแบบข้อมูล (Unstructured Data)
- ความสามารถรองรับการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) อันมีลักษณะ 3 ประการ คือ ปริมาณ (Volume) ความหลากหลายของรูปแบบข้อมูล (Variety) และ ความสามารถในการประมวลผลได้ทันต่อความเร็วที่ข้อมูลถูกเข้าเข้าสู่ระบบ (Velocity)
- ความสามารถในการรวบรวมข้อมูลจากหลายแห่งไว้ที่เดียวเพื่อให้สามารถทำการประมวลผลข้อมูลจากหลายแหล่งพร้อมกันได้ในคราวเดียว (Data Consolidate)

- ความสามารถในการระบุพื้นที่การจัดเก็บข้อมูล จัดระเบียบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล และกำหนดนโยบายรักษาความปลอดภัยของข้อมูลภายใต้การดูแล
- ความสามารถในการเพิ่มความคล่องตัวให้แก่หน่วยงานในการรองรับความต้องการของผู้ใช้งานและสร้างนวัตกรรมในการประมวลผลข้อมูล

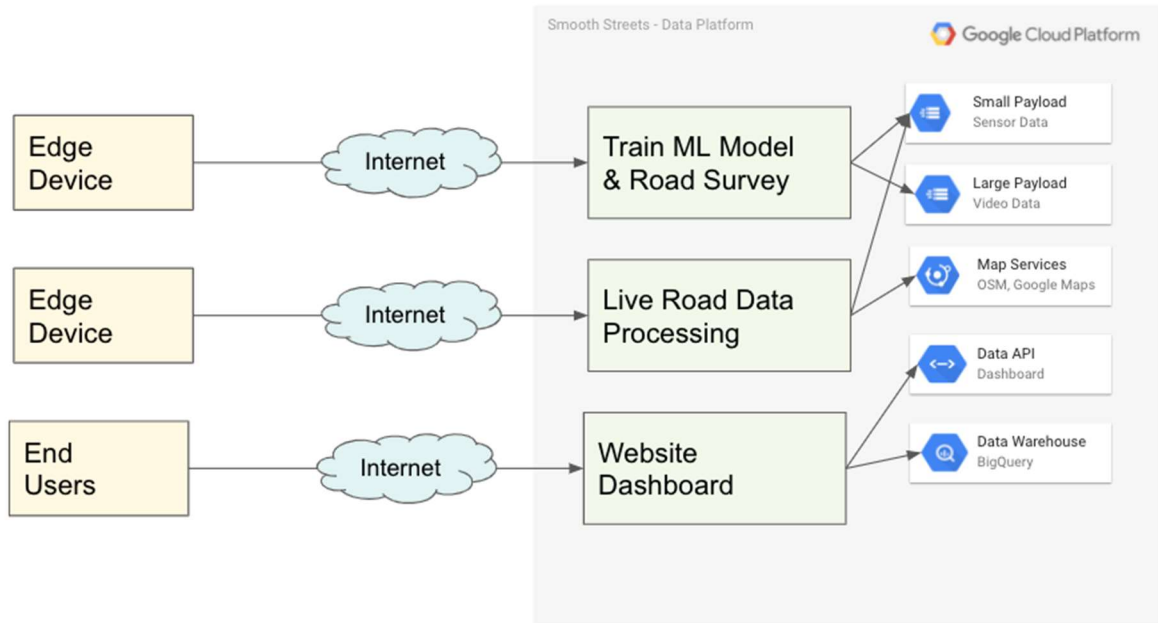
ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้ของ Data Lake มีความเหมาะสมตรงกับความต้องการใช้งานของโครงการวิจัย ที่ต้องการจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ Edge Device ในยานพาหนะที่เป็น IoT เข้าประมวลผลที่ส่วนกลาง และส่งต่อข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลแล้วต่อไปให้กับ Dashboard เพื่อแสดงผล โดยความต้องการใช้งานระบบงานในลักษณะนี้มีทั้งในช่วงการพัฒนาตัวจำแนกความผิดปกติของถนน และการนำตัวจำแนกไปใช้งานในพื้นที่เป้าหมาย

เนื่องด้วยระบบต้นแบบจะยังมีปริมาณข้อมูลน้อยและจำนวนและกลุ่มผู้ใช้งานไม่เยอะมาก และยังคงอยู่ในช่วงทดลองใช้งานระบบ ประกอบทั้งเงื่อนไขและนโยบายในการจัดเก็บและรักษาความปลอดภัยของข้อมูลยังไม่มีข้อจำกัดมาก ดังนั้นการพัฒนาระบบขึ้นในคลาวด์จึงมีข้อได้เปรียบหลายประการ โดยเฉพาะทางด้านต้นทุน อุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์และบุคลากรที่ใช้ในการบำรุงรักษาคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย

การใช้งานคลาวด์สำหรับติดตั้งระบบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผล นอกจากคุณลักษณะระบบเรื่องความยืดหยุ่นของปริมาณทรัพยากรที่สามารถถูกควบคุมโดยงบประมาณได้แล้ว ข้อสังเกตอีกเรื่องหนึ่งของกระบวนการประมวลผล คือ การเข้าถึงระบบงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีคุณลักษณะที่รองรับการเชื่อมต่อจากทุกพื้นที่บนโลก ซึ่งครอบคลุมขอบเขตการศึกษาวิจัยของโครงการนี้ในเชิงพื้นที่โดยอัตโนมัติ และยังรองรับต่อการขยายจำนวนกลุ่มผู้ใช้งานและหน่วยงานที่เชื่อมต่อข้อมูลในอนาคตได้อีกด้วย

7.2.1 การประมวลผลสารสนเทศบนคลาวด์

แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผล สามารถแบ่งการประมวลผลสารสนเทศตามลักษณะของการเรียกใช้บริการประมวลผลและจัดการข้อมูลได้เป็น 3 ส่วน คือ 1. การใช้งานสำหรับเก็บข้อมูลเพื่อฝึกสอนตัวจำแนก 2. การใช้งานโดยอุปกรณ์ Edge Device จากภายในยานพาหนะ 3. การใช้งานของผู้ใช้ Dashboard แสดงดังภาพที่ 7-7

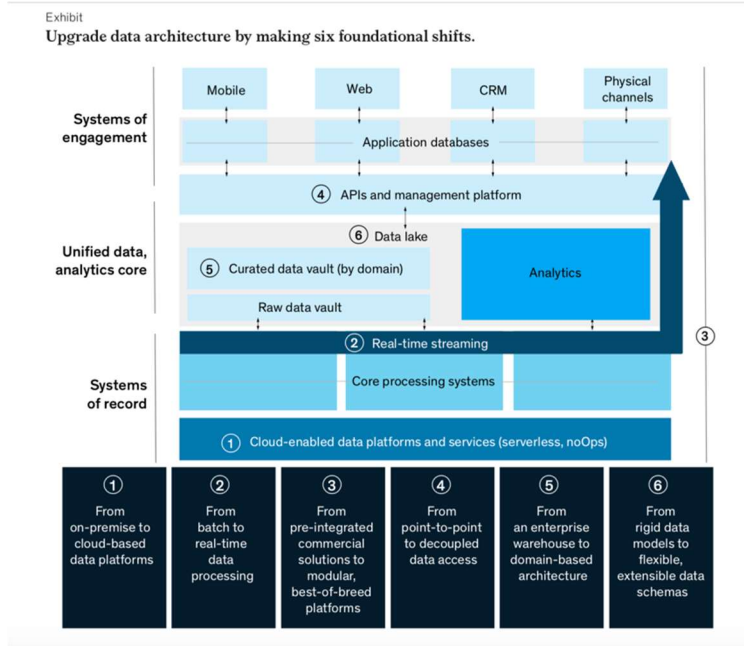


ภาพที่ 7-7 Three User Segment of Data Platform

ในการเรียกใช้บริการประมวลผลและจัดการข้อมูล ที่จุดเชื่อมต่อเพื่อรับ-ส่งข้อมูล จะมีหน่วยรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาและติดตั้งไว้และถูกกำหนดให้ดำเนินการจัดเก็บหรือเรียกค้นข้อมูล ในพื้นที่จัดเก็บข้อมูลหรือระบบงานฐานข้อมูลและคลังข้อมูลของโครงการ หน่วยรับ-ส่งข้อมูลเหล่านี้เรียกโดยรวมว่า API ของแพลตฟอร์ม (Data Platform API) ซึ่งจะทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลตามรูปแบบและโปรโตคอลที่กำหนด

การเรียกใช้งานหน่วยรับ-ส่งข้อมูล แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผลทำหน้าที่เป็นแม่ข่าย รอรับการเรียกใช้งานจากลูกข่าย คือ ชุดคำสั่งที่อยู่ในอุปกรณ์ Edge Device หรือ ชุดคำสั่งที่เป็นส่วนหนึ่งของเว็บไซต์ Dashboard

การออกแบบการประมวลผลสารสนเทศบนคลาวด์ อยู่บนแนวทางการสร้างสถาปัตยกรรมระบบข้อมูลให้รองรับการสร้างนวัตกรรมสำหรับองค์กรเจ้าของระบบ ซึ่งหลักการออกแบบและแนวคิดสำคัญมาจากรายงานการศึกษาของ [Cite: Castero et al.] ซึ่งมีแผนภาพแสดงโครงสร้างของสถาปัตยกรรมระบบข้อมูลสำหรับองค์กรหนึ่งๆ พร้อมกับหลักแนวทางยุทธศาสตร์ 6 ข้อในการเลือกใช้หรือปรับปรุงระบบสารสนเทศเดิมให้ทันสมัยและพร้อมรับกับความต้องการของอนาคต แสดงดังภาพที่ 7-8



ภาพที่ 7-8 Upgrade Data Architecture by Making Six Foundational Shifts [1]

หลักการสำคัญที่สถาปัตยกรรมระบบปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานแล้ว คือ การเลือกใช้คลาวด์ในการสร้างระบบงานเพื่อจัดการกับข้อมูลของโครงการ การใช้ API ในการบริหารจัดการการเข้าถึงและควบคุมการใช้งานข้อมูล และการเลือกใช้สถาปัตยกรรม Data Lake สำหรับรองรับโครงสร้างที่ยืดหยุ่นเพื่อจัดการข้อมูลซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ

โครงการวิจัยนี้ใช้บริการ Cloud Functions และ Cloud Run สำหรับติดตั้งโปรแกรมการประมวลผลให้ทำงานบนคลาวด์

7.2.2 การจัดเก็บไฟล์บนคลาวด์

สถาปัตยกรรม Data Lake ของโครงการใช้วิธีการจัดการกับข้อมูลดิบที่รับเข้าสู่แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลและประมวลผล โดยนำข้อมูลที่ได้รับจัดเก็บเป็น ชิ้นข้อมูล (Object) ใน Bucket (พื้นที่เฉพาะส่วนสำหรับเก็บข้อมูล) ของบริการจัดเก็บข้อมูล Google Cloud Storage ซึ่งเป็นระบบการเก็บข้อมูล Object Storage

การใช้ Object Storage เป็นหนึ่งในสองแนวทางที่เป็นที่นิยมสำหรับระบบ Data Lake ในปัจจุบัน โดยอีกแนวทางหนึ่งคือการใช้ระบบจัดการไฟล์ที่มีประสิทธิภาพสูงโดยเฉพาะ เช่น HDFS (Hadoop Distributed File System) สำหรับจัดเก็บข้อมูล [Cite Matillion 2019] ซึ่งความแตกต่างระหว่างสองทางเลือกนี้ คือ ระบบ

Object Storage จะเข้าถึงและเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ช้ากว่า แต่ข้อมูลจะมีความคงทนถาวรและปลอดภัยมากกว่า HDFS

โครงสร้างของพื้นที่จัดเก็บข้อมูล Object หรือ Bucket ของ Object Storage มีการแบ่งออกเป็นหลาย Bucket เพื่อแยกการใช้งานแบ่งออกตามฟังก์ชันการให้บริการ เพื่อให้สามารถกำหนดนโยบายการเข้าถึงข้อมูล แยกตามกลุ่มผู้ใช้งานและรูปแบบการใช้งานได้อย่างเหมาะสม และในแต่ละพื้นที่จัดเก็บข้อมูล Object มีการกำหนดรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลและแบ่งโครงสร้างย่อยให้เป็นระเบียบโดยจัดลำดับชั้นของ folder (แฟ้มข้อมูล) ดังเช่นตัวอย่างการออกแบบของ Matillion Ltd. [21] และ Xu et al. [9] แสดงดังภาพที่ 7-9 ภาพที่ 7-9

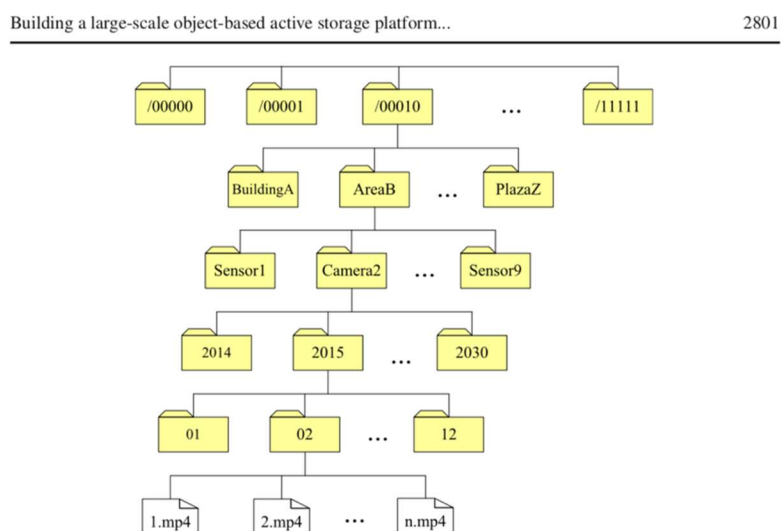


Fig. 3 Object hierarchical namespace

ภาพที่ 7-9 Example of Data Lake Object Storage Design [33]

7.2.3 การประมวลผลบนคลาวด์

ทรัพยากรที่ใช้ประมวลผลสามารถแบ่งออกตามบริการคลาวด์ที่ใช้งานและความเกี่ยวข้องกับกระบวนการประมวลผลเพื่อแปลงข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ภาคสนามเป็นสารสนเทศเพื่อแสดงผลในเว็บไซต์แสดงข้อมูล บริการหลักๆของ Google Cloud Platform ที่นำมาประยุกต์ใช้งานสำหรับประมวลผลข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

- ในการรับข้อมูลเข้าจากอุปกรณ์จะใช้บริการ Cloud Function เป็นหลักซึ่งเป็นการประมวลผลแบบ serverless เป็นหลัก โดย API สำหรับรับข้อมูลเข้าจัดเก็บเพื่อใช้ฝึกสอนตัวจำแนก และ API สำหรับรับข้อมูลจากตัวจำแนก

- ฐานข้อมูลเส้นถนนและข้อมูลการรายงานความผิดปกติแต่ละครั้ง จะใช้บริการ Big Query ซึ่งเป็นระบบคลังข้อมูล ที่มีความสามารถในการประมวลผลด้านความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Geo-Spatial) และสามารถรองรับการทำงานในรูปแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) โดยสามารถรวบรวมสถิติและคำนวณค่าเชิงปริมาณสำหรับการสรุปรายงานความผิดปกติ ให้เป็นสารสนเทศเพื่อนำไปแสดงผลที่ระบบเว็บไซต์ Dashboard ได้
- การให้บริการข้อมูลสำหรับระบบเว็บไซต์ Dashboard จะใช้บริการ Google Maps ในการแสดงแผนที่พื้นหลังบนหน้าเว็บไซต์ และ ข้อมูลจากระบบคลังข้อมูลใช้ Cloud Run ในการเรียกค้นข้อมูลสำหรับให้บริการในรูปแบบ Restful API

7.2.4 ระบบงานภูมิสารสนเทศ

ในการทำงานของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจร จำเป็นต้องมีข้อมูลขึ้นสำคัญคือพิกัดอ้างอิงสำหรับเทียบวัดชุดพิกัดจากข้อมูล GPS ของอุปกรณ์กับพิกัดบนพื้นผิวโลกที่เป็นพื้นผิวของถนนแต่ละเส้น ที่จะทำให้การวัดค่าเพื่อประเมินคุณภาพ การจัดเตรียมฐานข้อมูลเส้นถนน เพื่อใช้เป็นข้อมูลแผนที่พื้นฐานสำหรับโครงการนี้ ใช้ทั้งระบบฐานข้อมูล PostGIS และระบบคลังข้อมูล Big Query ในการการจัดเก็บข้อมูลโมเดลเรขาคณิต (Geometry) ของเส้นถนน ในรูปแบบ LineString และ Point เพื่อจัดเตรียมข้อมูลสำหรับให้ครอบคลุมแต่ละพื้นที่ซึ่งวางแผนจะเปิดให้บริการข้อมูลผ่านทางระบบเว็บไซต์ Dashboard

การเตรียมข้อมูลในขั้นแรกคือการจัดเตรียมพิกัดอ้างอิง เพื่อกำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย เพื่อจะได้สามารถเห็นภาพรวมของทั้งบริเวณ เช่นพื้นที่เมืองหรือตำบล เพื่อให้สามารถกำหนดหรือประสานงานกับแต่ละองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการดูแลถนนในบริเวณนั้นได้ ซึ่งเมื่อมีการกำหนดจุดศูนย์กลางของพื้นที่และจัดสรรองค์กรเป้าหมายแล้ว ระบบจัดการข้อมูลของแพลตฟอร์มสามารถใช้บริการแผนที่ OpenStreetMap ในการแสดงภาพพื้นหลังของบริเวณ และสืบค้นนำข้อมูลแผนที่ OSM ที่เกี่ยวข้องมาใช้ได้

จากนั้นการเตรียมข้อมูลขั้นต่อมาคือการหาข้อมูลอ้างอิงมาประกอบเป็นแผนที่ โดยใช้เอกสารและข้อมูลที่ได้รับจากหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และข้อมูลแผนที่ OSM ซึ่งถูกนำไปใช้โดยผ่านทาง บริการ Big Query (Open Dataset) ส่วนหนึ่ง และการสกัดข้อมูลแผนที่เฉพาะบริเวณของ OSM มาแปลงให้บริการเป็นเส้นถนนเพื่อการอ้างอิงเบื้องต้น ในอีกขั้นหนึ่ง

จากนั้นต้องทำการวิเคราะห์และออกแบบขั้นของแผนที่ และโครงสร้างข้อมูลที่จะจัดเก็บ โดยเนื่องจากข้อมูลแผนที่และตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับจากแต่ละหน่วยงานมีความแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องออกแบบสร้างแผนที่

สำหรับแต่ละพื้นที่ขึ้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับงาน GIS ชื่อ QGIS เพื่อช่วยในการจัดเตรียมข้อมูลและออกแบบโครงสร้างข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบคลังข้อมูล เพื่อให้สามารถรองรับรูปแบบข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลได้อย่างเหมาะสม

จากการทำการทดลองและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลและความจำเป็นในการใช้ข้อมูลและการดูแลบำรุงรักษาฐานข้อมูล ในการออกแบบฐานข้อมูลเส้นถนนสำหรับระบบสอดส่องคุณภาพผิวถนนนี้พบว่าวิธีการจัดการข้อมูลเส้นถนนเพื่อใช้สำหรับเป็นพิกัดอ้างอิงเพื่อเทียบหาตำแหน่งของอุปกรณ์กับถนนที่จะรายงานความผิดปกติ เพื่อให้ได้โครงสร้างข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ชัดเจนและไม่ซับซ้อน มีขั้นตอนการจัดการข้อมูลดังนี้

เริ่มจากการกำหนดหน่วยงานที่จะรับผิดชอบพื้นที่ แล้วกำหนดจุดศูนย์กลางของหน่วยงานนั้นๆบนแผนที่ โดยอาจจะเริ่มจากการใช้หมายเลขรหัสจังหวัดอำเภอตำบลและเทศบาล จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม [3] เช่น อำเภอเกาะทุ่งจังหวัดภูเก็ต ให้ใช้รหัส 8302 เทศบาลนครภูเก็ต ใช้รหัส 8399 เทศบาลเมืองป่าตอง ใช้รหัส 8398 จังหวัดกรุงเทพมหานครใช้รหัส 1099 (สำนักทะเบียนกลาง)

เมื่อได้รหัสพื้นที่และจัดสร้างหน่วยงานสำหรับเป็นองค์กรผู้ใช้งานในฐานข้อมูลแล้ว ขั้นตอนต่อไปในการจัดเตรียมข้อมูล คือการสร้างรายชื่อถนนในความดูแลของหน่วยงานนั้นๆ พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลเส้นถนนของถนนแต่ละเส้น ซึ่งข้อมูลชุดนี้จะเป็นข้อมูลสำหรับให้แต่ละหน่วยงานสามารถบริหารจัดการปรับปรุงให้รายชื่อถนนพร้อมข้อมูลเชิงแผนที่ของเส้นถนนทันสมัยได้ และเป็นข้อมูลเดียวกับที่ใช้ประกอบการเรียกใช้ API จากระบบ Dashboard เพื่อนำสารสนเทศไปแสดงบนเว็บไซต์

จากนั้นระบบจะใช้ข้อมูลเส้นถนนนี้จากฐานข้อมูล ในการเทียบวัดกับพิกัด GPS ที่ได้รับจากอุปกรณ์ ในการระบุว่าเส้นถนนที่มีการตรวจพบความผิดปกติแล้วรายงานเข้ามาที่ระบบงานนั้น คือถนนเส้นใด และเป็นถนนในความรับผิดชอบของหน่วยงานใด และข้อมูลดิบที่จะได้รับเข้าสู่ระบบเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ของการรายงานความผิดปกติ เพื่อแสดงตำแหน่งของพื้นผิวถนนที่มีปัญหาได้อย่างแม่นยำ

จะเห็นได้ว่าโครงการนี้มีความจำเป็นต้องสร้างระบบงาน GIS เพื่อให้สามารถทำการประมวลผลข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงแผนที่ได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมกับความต้องการใช้ข้อมูล เนื่องจากโครงการนี้จำเป็นต้องใช้ความสามารถในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลดิบจาก GPS และข้อมูลเส้นถนนที่หน่วยงานเจ้าของถนนเป็นเจ้าของ จำเป็นต้องมีการปรับจนความละเอียดและปรับแต่งรูปแบบข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้บริการ Google Maps API ในส่วนของบริการ Roads API จะเห็นว่าลักษณะการทำงานของบริการแผนที่เชิงพาณิชย์ นั้นจะยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการขอกระบวนการประมวลผลข้อมูลได้ครบถ้วน แต่การมีบริการดังกล่าวไว้

ใช้งานย่อมช่วยเสริมปริมาณและคุณภาพของแหล่งข้อมูลที่นำมาประกอบเป็นระบบงาน GIS ที่สนับสนุนการทำงานของระบบสอดส่องคุณภาพพิวจราจรได้

7.3 ส่วนประกอบของระบบบริหารและจัดเก็บข้อมูล

7.3.1 Object Storage

พัฒนาระบบต้นแบบโดยใช้บริการ Google Cloud Storage ระบบ Object Storage ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูล Session และ Video ที่ส่งขึ้นมาจาก Edge Device และ ประมวลผลข้อมูลเหล่านี้เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน (Data Transformation) แล้วกลายเป็นข้อมูลชุดใหม่ที่ระบบอื่นนำไปวิเคราะห์ต่อยอดได้

พื้นที่จัดเก็บข้อมูลในระบบ Object Storage เรียกว่า Bucket แบ่งเป็น 4 พื้นที่ แสดงดังตารางที่ 7-2

ตารางที่ 7-2 พื้นที่เก็บข้อมูลแบบ Object Storage

| ชื่อ Bucket | ลักษณะการใช้งาน |
|-------------|--|
| ss-ingest | วางข้อมูล Session และ/หรือ Video ที่รับจาก Edge Device เข้าแพลตฟอร์ม |
| ss-enrich | วางข้อมูล Session และ Video ที่ ผ่านการสมทบข้อมูลกับ Base Map แล้ว |
| ss-analyze | วางข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ และฝึกสอนตัวจำแนก |
| ss-present | วางข้อมูลสำหรับนำเสนอ และข้อมูลสำหรับใช้ใน เว็บไซต์ |

7.3.2 พื้นที่จัดเก็บข้อมูลสำหรับพัฒนาตัวจำแนก

พื้นที่จัดเก็บข้อมูลสำหรับชุดข้อมูลที่ได้รับจากแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder จัดเก็บไว้ใน bucket ชื่อ ss-ingest มีการจัดโครงสร้างพื้นที่แยกกันระหว่างไฟล์ข้อมูล JSON และไฟล์ข้อมูลวิดีโอ MP4

ในการรับข้อมูลจากการวิ่งสำรวจเพื่อพัฒนาตัวจำแนก การประมวลผลที่คลาวด์ มีการแปลงข้อมูลสำรวจที่ได้รับ เพื่อสรุปคุณลักษณะของข้อมูลเบื้องต้น และมีการเพิ่มรายละเอียดของข้อมูล นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Data Lake Administration Portal) สำหรับใช้แสดงข้อมูลการวิ่งสำรวจในรูปแบบแผนที่ และสามารถแสดงวิดีโอจากการสำรวจ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเบื้องต้นได้ด้วย

7.4 ส่วนเชื่อมต่อระบบงานเพื่อเชื่อมโยงข้อมูล

7.4.1 จุดเชื่อมต่อระบบงานเพื่อเชื่อมโยงข้อมูล

จุดเชื่อมต่อระบบงาน หรือ API Endpoint คือการกำหนดกระบวนการและวิธีรับ-ส่งข้อมูล เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถสื่อสารกับแพลตฟอร์มเพื่อบรรลุการทำงานฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้การรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย และมีผู้พัฒนาระบบรับผิดชอบแยกจากกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบและวิธีการขึ้นเป็นมาตรฐาน เพื่อให้ทั้งสองฝ่ายจะสามารถพัฒนาโปรแกรมขึ้นให้ใช้งานได้และระบบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบต้นแบบโดยใช้บริการ Cloud Functions ระบบ API Endpoint เป็นช่องทางที่อุปกรณ์ Edge Device ติดต่อรับส่งข้อมูลกับแพลตฟอร์ม โดยใช้โปรโตคอล HTTP ในการรับส่งข้อมูล ข้อได้เปรียบของการใช้ Cloud Functions คือ เป็น serverless สามารถขยายเพื่อรองรับการใช้งานได้ง่าย

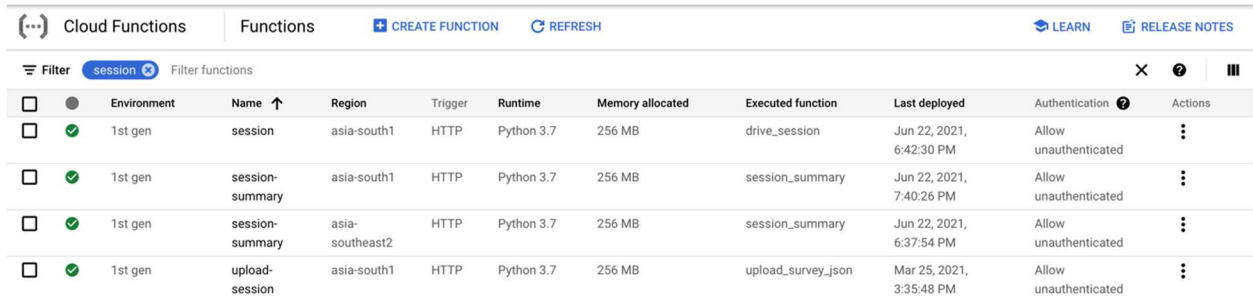
API Endpoint (Cloud Functions) สำหรับรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มมี 5 ฟังก์ชัน แสดงดังตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-3 ชุดคำสั่งการประมวลผลแบบ Serverless

| ชื่อ Function | ลักษณะการใช้งาน |
|-------------------|--|
| upload-session | รับข้อมูล Session จาก Edge Device เข้าแพลตฟอร์ม |
| upload-video | รับข้อมูล Video จาก Edge Device เข้าแพลตฟอร์ม |
| session-summary | สรุปข้อมูลที่บันทึกได้ในแต่ละ Session และถูกประมวลผลเข้า Data Warehouse แล้ว |
| edge-device-echo | ให้บริการข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพื้นที่เป้าหมาย ให้แก่อุปกรณ์ Edge Device |
| edge-report-event | รับข้อมูลการรายงานความผิดปกติจากพื้นที่เป้าหมาย จากอุปกรณ์ Edge Device |

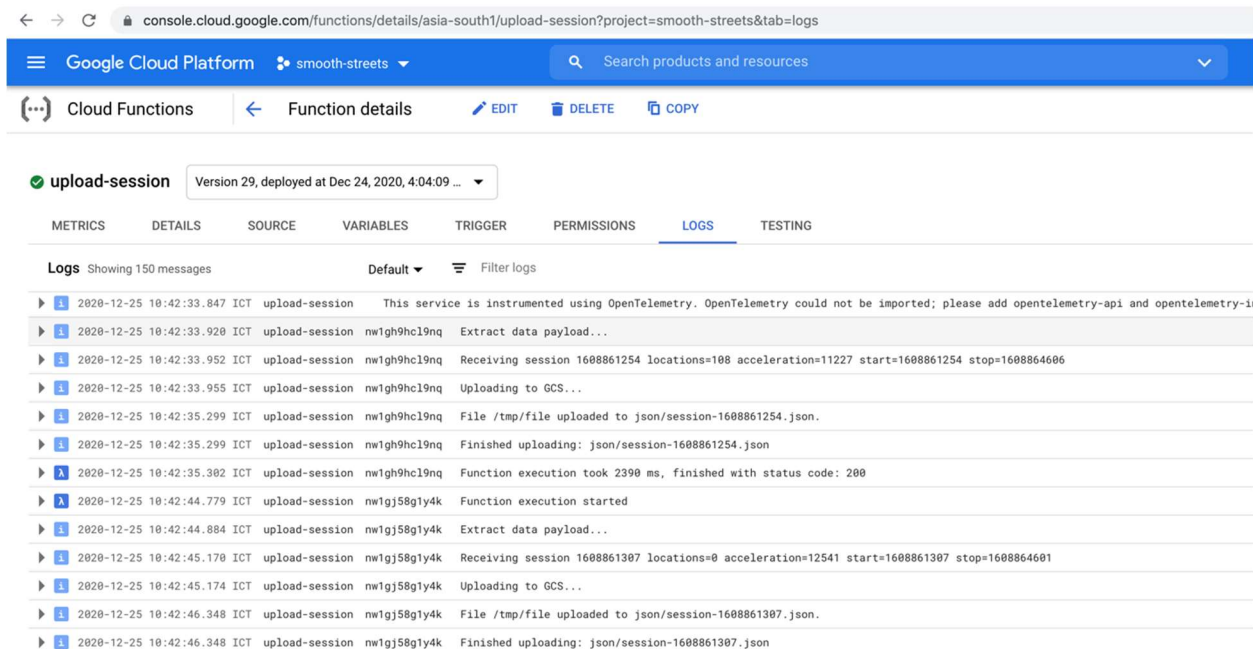
7.4.2 จุดรับข้อมูลเข้าระบบเพื่อพัฒนาตัวจำแนก

ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาตัวจำแนก มีสามส่วนหลัก คือ 1. Video ของพื้นผิวถนน 2. ค่าตำแหน่งพิกัด GPS จากอุปกรณ์ 3. ค่าความเร่ง 3-แกน จากเซนเซอร์ Accelerometer ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้รับการบันทึกโดยแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder และถูกส่งข้อมูลเป็นข้อมูลตัวอย่างมาจัดเก็บที่คลาวด์ เพื่อใช้สำหรับการฝึกสอนตัวจำแนก และติดตามประวัติการออกสำรวจเก็บข้อมูลในพื้นที่ แสดงดังภาพที่ 7-10 และภาพที่ 7-11



| Environment | Name | Region | Trigger | Runtime | Memory allocated | Executed function | Last deployed | Authentication | Actions |
|-------------|-----------------|-----------------|---------|------------|------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|---------|
| 1st gen | session | asia-south1 | HTTP | Python 3.7 | 256 MB | drive_session | Jun 22, 2021, 6:42:30 PM | Allow unauthenticated | ⋮ |
| 1st gen | session-summary | asia-south1 | HTTP | Python 3.7 | 256 MB | session_summary | Jun 22, 2021, 7:40:26 PM | Allow unauthenticated | ⋮ |
| 1st gen | session-summary | asia-southeast2 | HTTP | Python 3.7 | 256 MB | session_summary | Jun 22, 2021, 6:37:54 PM | Allow unauthenticated | ⋮ |
| 1st gen | upload-session | asia-south1 | HTTP | Python 3.7 | 256 MB | upload_survey_json | Mar 25, 2021, 3:35:48 PM | Allow unauthenticated | ⋮ |

ภาพที่ 7-10 Cloud Functions ที่พัฒนาและติดตั้งเพื่อรับข้อมูลในช่วงการฝึกสอนตัวจำแนก



console.cloud.google.com/functions/details/asia-south1/upload-session?project=smooth-streets&tab=logs

Google Cloud Platform smooth-streets

Cloud Functions Function details

upload-session Version 29, deployed at Dec 24, 2020, 4:04:09 ...

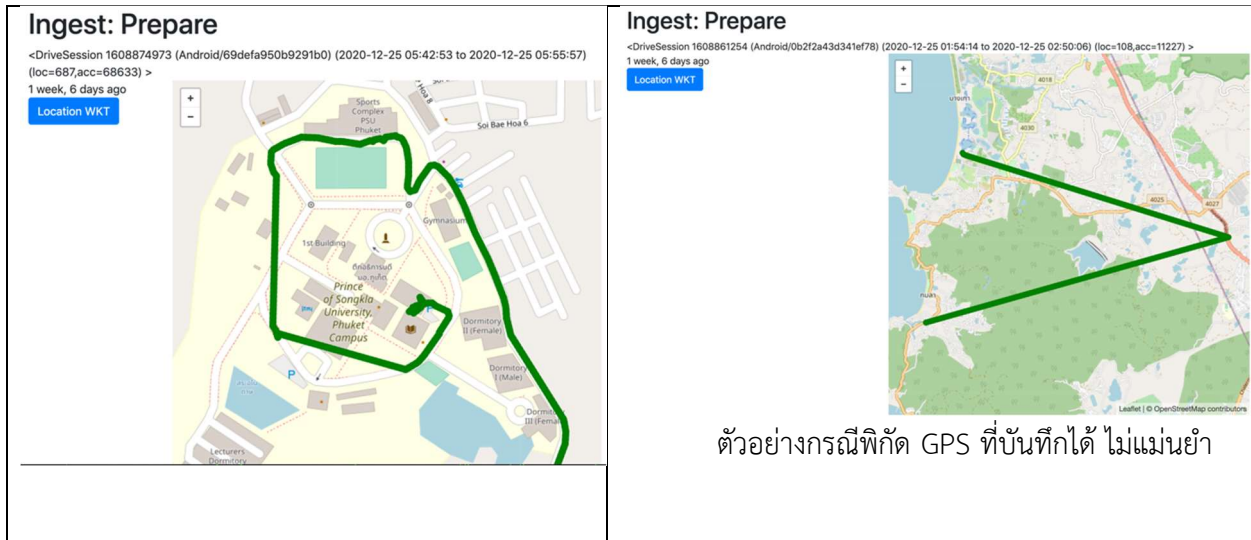
METRICS DETAILS SOURCE VARIABLES TRIGGER PERMISSIONS LOGS TESTING

Logs Showing 150 messages

| | | |
|-----------------------------|----------------|--|
| 2020-12-25 10:42:33.847 ICT | upload-session | This service is instrumented using OpenTelemetry. OpenTelemetry could not be imported; please add opentelemetry-api and opentelemetry-ir |
| 2020-12-25 10:42:33.920 ICT | upload-session | nw1gh9hc19nq Extract data payload... |
| 2020-12-25 10:42:33.952 ICT | upload-session | nw1gh9hc19nq Receiving session 1608861254 locations=108 acceleration=11227 start=1608861254 stop=1608864606 |
| 2020-12-25 10:42:33.955 ICT | upload-session | nw1gh9hc19nq Uploading to GCS... |
| 2020-12-25 10:42:35.299 ICT | upload-session | nw1gh9hc19nq File /tmp/file uploaded to json/session-1608861254.json. |
| 2020-12-25 10:42:35.299 ICT | upload-session | nw1gh9hc19nq Finished uploading: json/session-1608861254.json |
| 2020-12-25 10:42:35.382 ICT | upload-session | nw1gh9hc19nq Function execution took 2390 ms, finished with status code: 200 |
| 2020-12-25 10:42:44.779 ICT | upload-session | nw1gj58g1y4k Function execution started |
| 2020-12-25 10:42:44.884 ICT | upload-session | nw1gj58g1y4k Extract data payload... |
| 2020-12-25 10:42:45.170 ICT | upload-session | nw1gj58g1y4k Receiving session 1608861307 locations=0 acceleration=12541 start=1608861307 stop=1608864601 |
| 2020-12-25 10:42:45.174 ICT | upload-session | nw1gj58g1y4k Uploading to GCS... |
| 2020-12-25 10:42:46.348 ICT | upload-session | nw1gj58g1y4k File /tmp/file uploaded to json/session-1608861307.json. |
| 2020-12-25 10:42:46.348 ICT | upload-session | nw1gj58g1y4k Finished uploading: json/session-1608861307.json |

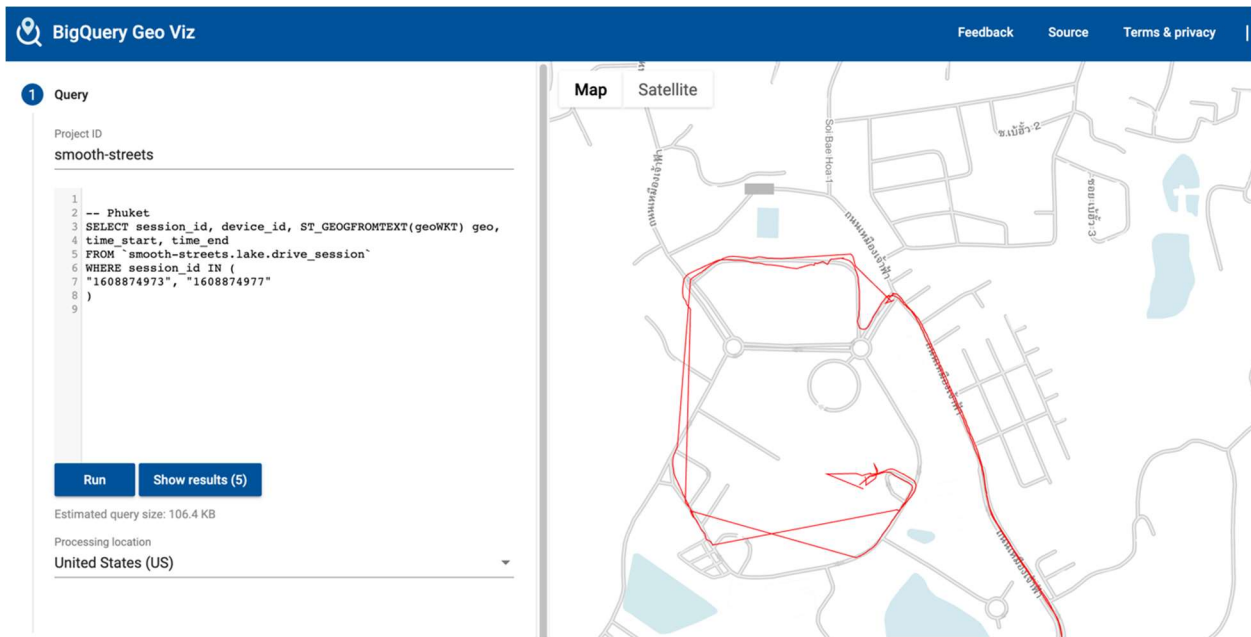
ภาพที่ 7-11 การรับข้อมูลเข้าคลังข้อมูลมีการบันทึกการทำงานของ API Endpoint

ตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับระหว่างช่วงการเก็บข้อมูล และการนำข้อมูลขึ้นแสดงผลเพื่อตรวจสอบเบื้องต้น โดยนำข้อมูลพิกัด GPS และสรุปจำนวนข้อมูลตำแหน่ง GPS และจำนวนข้อมูล 3-axis Acceleration ที่แอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder บันทึกได้มาแสดงผล แสดงดังภาพที่ 7-12



ภาพที่ 7-12 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์และนำเข้าสู่แพลตฟอร์มแล้วนำมาแสดงผล

เมื่อตรวจสอบข้อมูลสำหรับฝึกสอนตัวจำแนก และนำชุดข้อมูลเข้าสู่คลังข้อมูลแล้ว สามารถแสดงข้อมูลเปรียบเทียบ ระหว่างการสำรวจสองครั้งได้ แสดงดังภาพที่ 7-13

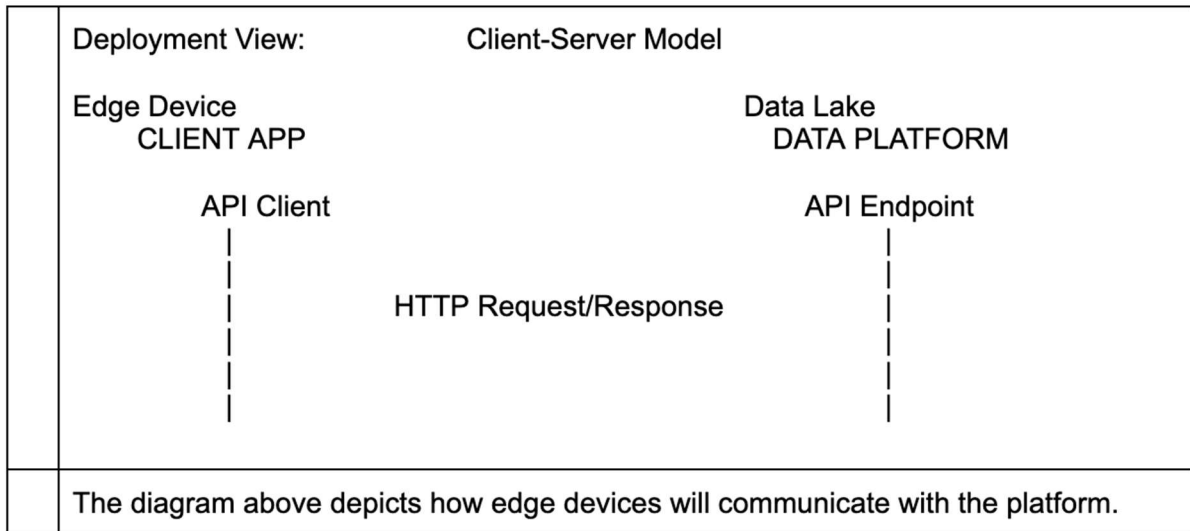


ภาพที่ 7-13 ตัวอย่างการสืบค้นข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์จากระบบคลังข้อมูล

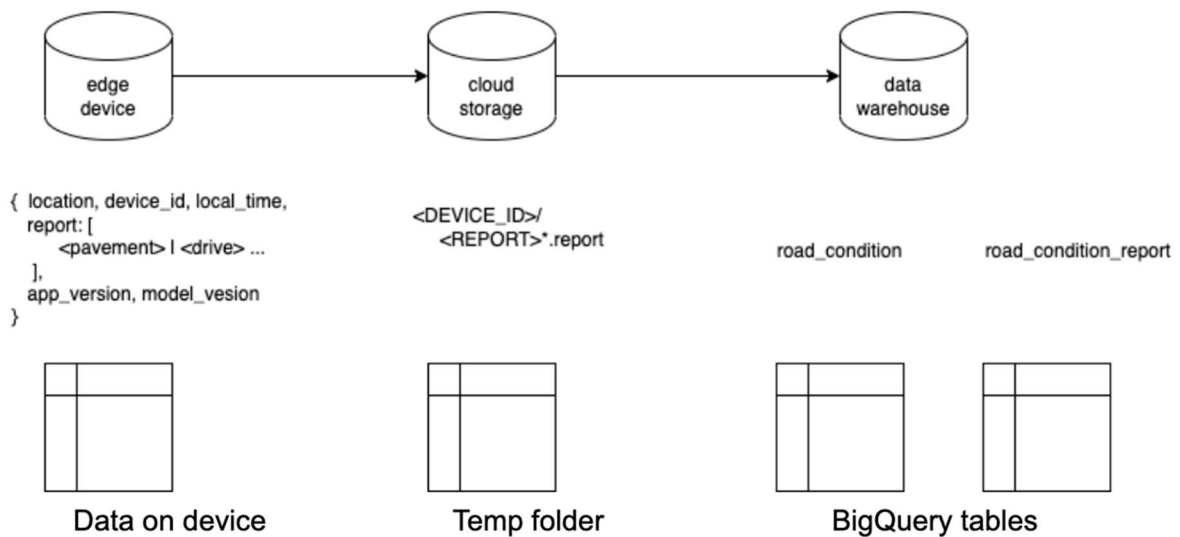
7.4.3 จุดรับข้อมูลเข้าระบบเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่เป้าหมาย

เมื่อตัวจำแนกความผิดปกติได้รับการพัฒนาและติดตั้งที่อุปกรณ์ Edge Device แล้วในไปทำการทดสอบในพื้นที่เป้าหมาย การรายงานการสำรวจดังกล่าวมาที่แพลตฟอร์ม จะทำผ่าน API Endpoint สำหรับรับการรายงานข้อมูลจากพื้นที่เป้าหมาย โดยในปัจจุบันมีการกำหนดรูปแบบข้อมูล และจุดเชื่อมต่อที่พัฒนาไว้เป็นต้นแบบ ดังนี้

API Endpoint สำหรับให้บริการ Edge Device ในพื้นที่เป้าหมายคือ Edge-Device-Echo และ Edge-Report-Event ซึ่งออกแบบเป็น Cloud Function ในฝั่งแม่ข่าย และมีสถาปัตยกรรมแบบ Client-Server เพื่อรับการรายงานข้อมูลจากพื้นที่เป้าหมาย แสดงดังภาพที่ 7-14



Document / Information Flow



ภาพที่ 7-14 กระแสการไหลของข้อมูลของอุปกรณ์เข้าระบบคลังข้อมูล

รูปแบบการส่งข้อมูลถูกกำหนดเป็นเอกสารภายใน ระหว่างทีมพัฒนาระบบ มีการกำหนดข้อมูลและรูปแบบข้อมูลสำหรับรายงาน ดังแสดงดังภาพที่ 7-15 และภาพที่ 7-16

Data structure for the POST data is described as follow:

| | |
|-----------|--|
| HEADER | Authorization: Bearer smooth-streets-edge-device |
| POST data | { <i>location</i> , <i>device_id</i> , <i>local_time</i> , report: [< <i>report_item</i> >, ...], app_version: <i>app_version</i> , model_version: <i>model_version</i> } |

Where:

| | |
|---|---|
| <i>location</i> | "location": {"latitude": NUMERIC(3,6),"longitude": NUMERIC(3,6) } |
| <i>device_id</i> | "device_id": "DEVICE-ID" Device ID |
| <i>local_time</i> | "local_time": "ISO-TIME" ISO time is time in ISO format in local timezone |
| report: [< <i>report_item</i> >, ...] | "report" : [...] List of report items. Can be 1 up to 50 items. There are two types of items, < pavement > or < drive >. See definition below. |
| <i>app_version</i> | "app_version": "VERSION_STRING" |
| <i>model_version</i> | "model_version": "VERSION_STRING" |

ภาพที่ 7-15 การกำหนดรูปแบบข้อมูลสำหรับการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์

Two types of Report Items: <pavement> and <drive>

<pavement>

| | |
|------|--|
| JSON | <pre>{ type code img_data img_format location localization }</pre> |
| | Report Item <pavement> from Computer Vision model |

<drive>

| | |
|------|---|
| JSON | <pre>{ speed heading location lastN_count lastN_distance lastN_location lastN_IRI trip_time trip_distance trip_IRI smoothness_score }</pre> |
| | Report Item <drive> from IRI model |

ภาพที่ 7-16 รายละเอียดการรายงานความผิดปกติของผิวถนนจากอุปกรณ์ในยานพาหนะ

Cloud Function ณ ปัจจุบันชุดโปรแกรม หลักสำหรับรับการรายงานความผิดปกติคือ Edge-Report-Event แสดงดังภาพที่ 7-17

| Environment | Name ↑ | Region | Trigger | Runtime | Memory allocated | Executed function | Last deployed | Authentication | Actions |
|-------------|-------------------|-------------|---------|------------|------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|---------|
| 1st gen | edge-device-echo | asia-south1 | HTTP | Python 3.9 | 256 MB | edge_device_echo | Mar 8, 2022, 11:00:15 AM | | ⋮ |
| 1st gen | edge-report-event | asia-south1 | HTTP | Python 3.7 | 256 MB | edge_report_event | Dec 28, 2021, 4:01:52 PM | Allow unauthenticated | ⋮ |

ภาพที่ 7-17 แผงควบคุมสำหรับจัดการชุดคำสั่งการประมวลผลแบบ Serverless

ซึ่งมีการทดสอบการทำงานเบื้องต้น และสามารถใช้เครื่องมือบน Google Cloud ในการตรวจเช็คการทำงานได้ โดยเมื่อมีการเรียกใช้งานจะเห็นระดับทรัพยากรที่ถูกเรียกใช้ แสดงดังภาพที่ 7-18

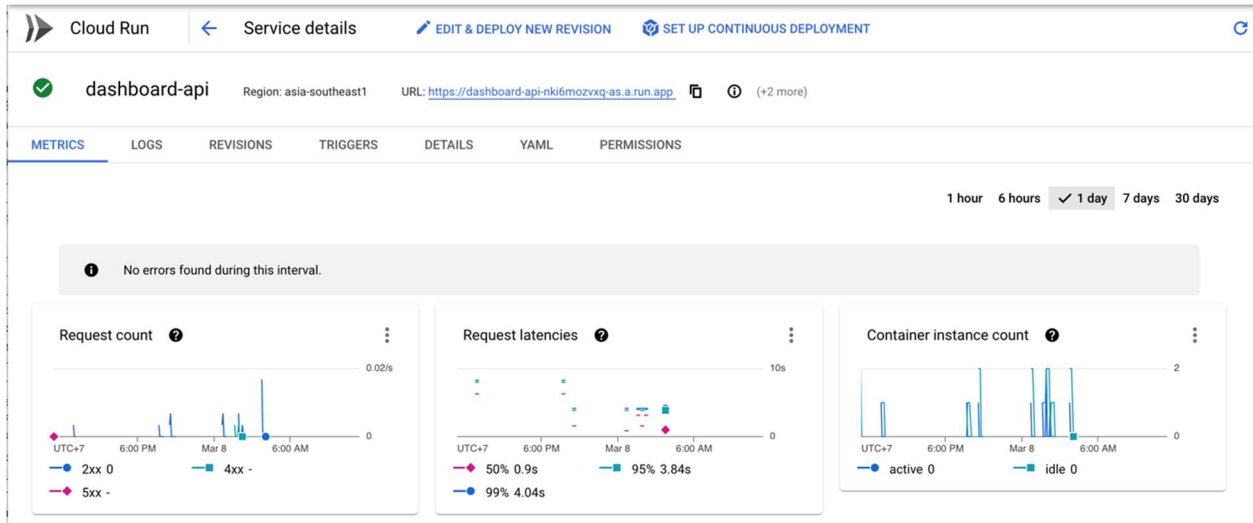


ภาพที่ 7-18 ระดับทรัพยากรที่ชุดคำสั่งการประมวลผลแบบ Serverless ใช้งานขณะช่วงเวลาหนึ่งๆ

7.4.4 จุดบริการข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่เป้าหมาย

ข้อมูลที่ได้รับจาก Edge Device ในพื้นที่เป้าหมาย และได้ถูกประมวลผลเพิ่มเติมบนแพลตฟอร์มเพื่อสรุปค่าสถิติและจำนวนปริมาณพื้นผิวถนนในความดูแลของแต่ละหน่วยงาน จะถูกนำไปใช้งานในระบบเว็บไซต์แสดงผลข้อมูล โดยการนำข้อมูลไปใช้งาน ได้มีการกำหนด API Endpoint สำหรับให้บริการข้อมูลแก่ระบบ Dashboard และพัฒนาชุดคำสั่งพร้อมเครื่องมือในการจัดการข้อมูลภายในแพลตฟอร์ม โดย API Endpoint สำหรับระบบ Dashboard ใช้บริการ Cloud Run ในการโฮสต์บริการข้อมูล และมีการกำหนดรูปแบบข้อมูลสำหรับการให้บริการ โดยใช้มาตรฐาน OpenAPI (Swaggerhub) เป็นเอกสารกำหนดมาตรฐานข้อมูลกลางของ Dashboard API

ณ ปัจจุบันการทำงานของ Dashboard API ถูกติดตั้งที่ Cloud Run และสามารถดูปริมาณการใช้งานได้จากเครื่องมือของ Google Cloud แสดงดังภาพที่ 7-19



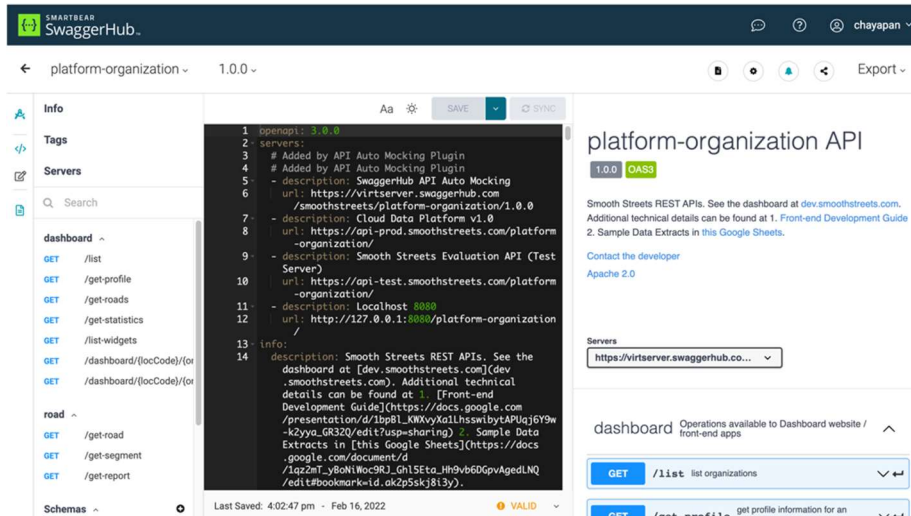
ภาพที่ 7-19 ระดับการใช้ทรัพยากรของ Dashboard API

โครงสร้างของชุดคำสั่งของ Dashboard API แบ่งเป็นหลายโมดูลย่อย โดยออกแบบและพัฒนาตามแนวทาง สถาปัตยกรรม RESTful แสดงดังภาพที่ 7-20

| URL / Module | Match Path | View Name | Function / Class |
|---------------------------------------|---|--------------------------------|---|
| org/ | org/home | dashboard.home | |
| | org/directory | dashboard.organization | |
| | org/<pk> | dashboard.area | |
| | org/<pk>/streetview | dashboard.streetview | |
| | org/<loc_code>/<org_id> | dashboard.organization-profile | |
| | org/about | dashboard.about | |
| | org/recent/sessions | dashboard.recent-sessions | |
| | org/recent/roads | dashboard.recent-roads | |
| | | | |
| platform-user/ | platform-user/<cmd> | | dashboard.views UserKioskView |
| | | | |
| platform-organization/ | platform-organization/<cmd> | | |
| | platform-organization/list | | dashboard.organization_api organization_list |
| | platform-organization/get-profile | | dashboard.organization_api organization_profile |
| | platform-organization/get-roads | | dashboard.organization_api organization_road_registry dashboard.organization_api widget_list |
| | platform-organization/list-widgets | | dashboard.organization_api organization_statistics |
| operationId: getOrganizationStatistic | platform-organization/get-statistics | | dashboard.organization_api organization_statistics |
| operationId: getDashboardReport | platform-organization/dashboard/<locCode>/<orgId> | | dashboard.organization_api organization_report_list |
| operationId: getSummaryReport | platform-organization/dashboard/<locCode>/<orgId>/summary | | dashboard.organization_api organization_report_summary |
| operationId: getRoadProfile | platform-organization/get-road | | road_platform_api get_road_profile |
| operationId: getRoadSegment | platform-organization/get-segment | | road_platform_api get_road_segment |
| operationId: getRoadConditionRepo | platform-organization/get-report | | road_platform_api get_road_condition |
| | platform-organization/list-report | | road_platform_api list_road_condition |

ภาพที่ 7-20 รายละเอียดโปรแกรมของ Dashboard API

และใช้เอกสาร OpenAPI ในการกำหนดโครงสร้างรูปแบบ ให้เป็นมาตรฐาน โดยการออกแบบและ
วิวัฒนาการ สามารถเพิ่มบริการข้อมูลประเภทต่างๆที่แพลตฟอร์มจะให้บริการแก่ระบบ Dashboard ได้ในอนาคต
แสดงดังภาพที่ 7-21



ภาพที่ 7-21 การกำหนด OpenAPI ของ Dashboard API

รูปแบบการให้บริการข้อมูล ถูกกำหนดโดย OpenAPI specification ให้บริการข้อมูลแบบ RESTful แก่
ระบบเว็บไซต์ แสดงดังภาพที่ 7-22

dashboard Operations available to Dashboard website / front-end apps ^

| | | | |
|-----|--|---|-----|
| GET | /list | list organizations | ↕ ↩ |
| GET | /get-profile | get profile information for an organization | ↕ ↩ |
| GET | /get-roads | list roads information for an organization | ↕ ↩ |
| GET | /get-statistics | get values to display in the dashboard (NOT IMPLEMENT) | ↕ ↩ |
| GET | /list-widgets | list lookup key and describe statistic measures for the dashboard (NOT IMPLEMENT) | ↕ ↩ |
| GET | /dashboard /{locCode}/{orgId} | get full report data (NOT IMPLEMENT) | ↕ ↩ |
| GET | /dashboard /{locCode}/{orgId} /summary | get summary data for dashboard display | ↕ ↩ |

ภาพที่ 7-22 Dashboard API

ชุดโปรแกรม API Endpoint สำหรับ Dashboard API ยังมีเครื่องมือสำหรับแสดงภาพรวมของข้อมูลพร้อมให้บริการสำหรับแต่ละหน่วยงานด้วย แสดงดังภาพที่ 7-23

api-prod.smoothstreets.com/org/6/

เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต Street View

Organization: เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

Dashboard AP [Reload this page](#)

[call /get-profile?locCode=8399&orgId=3](#)
[call /dashboard/8399/3/summary](#)
[call /get-roads?locCode=8399&orgId=3](#)
[call /get-reports?locCode=8399&orgId=3](#)

Road network defined for this study area are:

Name (start_date=25 December 2020, 0:00)
 เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต
 (loc_code=8399 loc_name=อำเภอเมืองภูเก็ต)

Map Center
 {"latitude":7.88778701184919,"longitude":98.39341056978485,"zoom":15}

Default Organization
 เทศบาลนครภูเก็ต

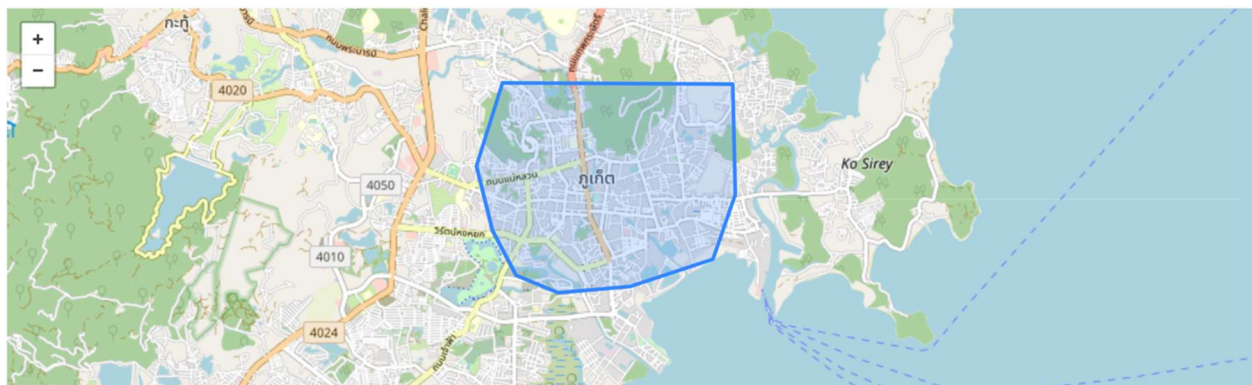
Organization / Dashboard views:

เทศบาลนครภูเก็ต
[Organization Profile](#)
[Map View | Area View | Street View](#)
[Dashboard: https://www.smoothstreets.com/](https://www.smoothstreets.com/)
[Summary of Road Network](#)
[Inventory of Road Pavement](#)

Base Map
 BaseMap(smoothstreets.com::0.3)

Area (by Organization)
 <QuerySet [<Area: เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต>]>

Default Area
 เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

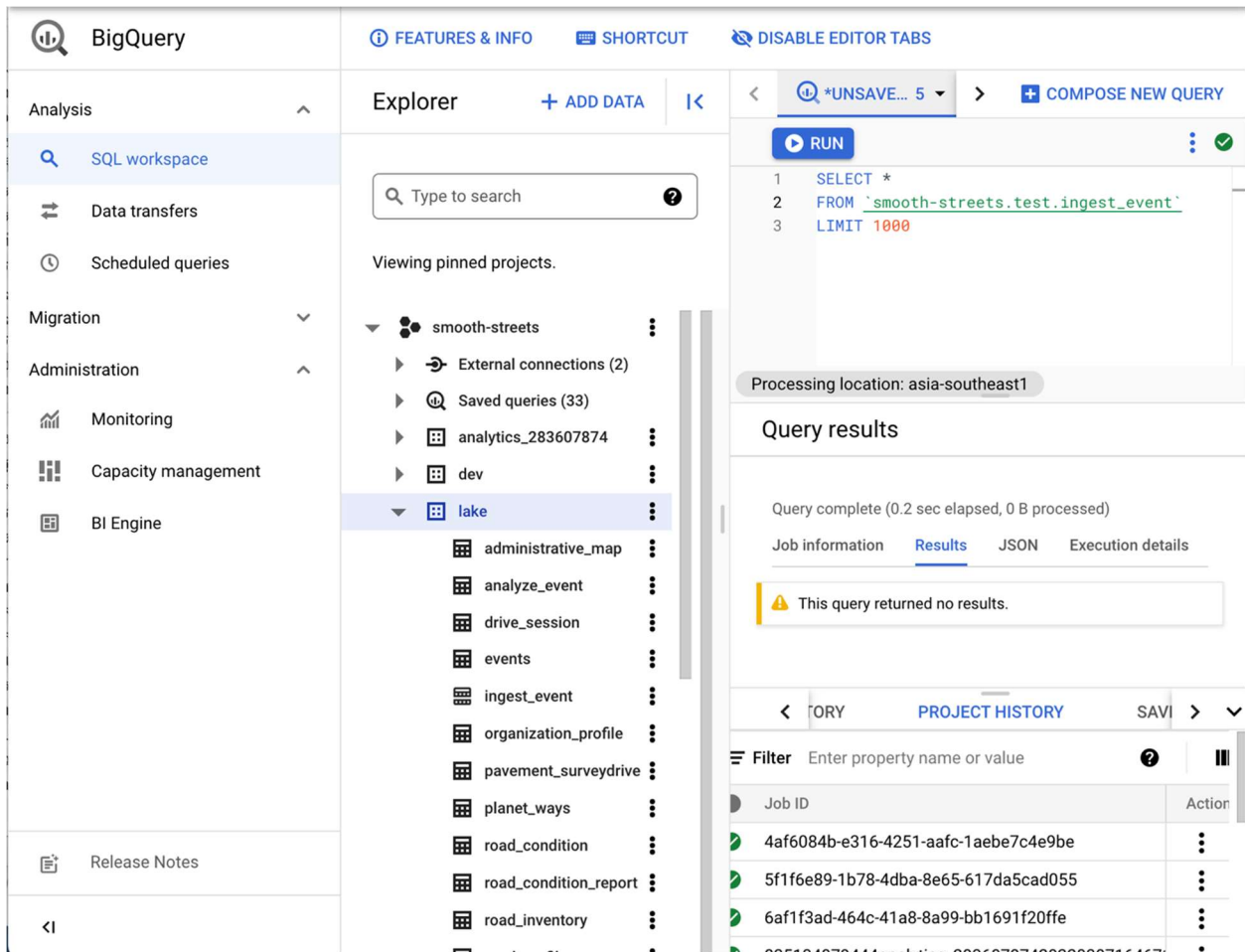


ภาพที่ 7-23 เครื่องมือสำหรับกำหนดข้อมูลพื้นฐานสำหรับแต่ละพื้นที่หรือหน่วยงาน

7.4.5 ระบบคลังข้อมูล

เทคโนโลยีหลักสำหรับใช้ในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล คือบริการระบบคลังข้อมูลบนคลาวด์ BigQuery บน Google Cloud Platform ซึ่งจะสามารถรองรับการเติบโตของปริมาณข้อมูล และสามารถให้บริการประมวลผลและวิเคราะห์ค่าสถิติต่างๆ โดยใช้ภาษา SQL

การทำงานของคลังข้อมูลคือ ข้อมูลถูกบันทึกไว้ในตาราง โดยคลังข้อมูลรองรับการนำเข้าและเชื่อมต่อข้อมูลจากระบบอื่นๆได้ด้วย แสดงดังภาพที่ 7-24



ภาพที่ 7-24 แผงควบคุมสำหรับระบบคลังข้อมูล BigQuery

7.4.6 ระบบฐานข้อมูลสนับสนุน

ในการสร้างคลังข้อมูลและบริหารจัดการข้อมูลสำหรับทั้งระบบจำเป็นต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่อยู่นอก ระบบคลังข้อมูล เพื่อให้ระบบคลังข้อมูลทำหน้าที่เก็บและบริการข้อมูลได้ต้องการชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ แต่ใน ขณะเดียวกันลักษณะการจัดเก็บข้อมูลในคลังข้อมูลไม่ได้ถูกออกแบบให้ใช้สำหรับจัดการรายการข้อมูลทุกประเภท ดังนั้นข้อมูลบางอย่างไม่ถูกนำเข้าจัดเก็บในคลังข้อมูลเพราะเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับอ้างอิงเป็นพื้นฐาน เช่น ข้อมูลใน รายละเอียดของแต่ละหน่วยงานผู้ใช้ระบบและข้อมูลเบื้องต้นพื้นที่ศึกษาเช่นขอบเขตทางภูมิศาสตร์และการตั้งค่า สำหรับปรับแต่งการแสดงผลข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการปฏิบัติการของแพลตฟอร์ม ซึ่งอาจไม่ได้ติดตั้งอยู่บนเครื่องแม่ข่ายชุดเดียวกัน หรืออยู่ในระบบฐานข้อมูลเดียวกัน และไม่จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูลชนิดเดียวกัน ระบบฐานข้อมูลที่จำเป็นต่อการปฏิบัติการของแพลตฟอร์ม แสดงดังตารางที่ 7-4

ตารางที่ 7-4 ระบบฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องภายใต้แพลตฟอร์ม

| ระบบฐานข้อมูล | ลักษณะการใช้งาน | ซอฟต์แวร์ฐานข้อมูล |
|---------------------------------|---|--------------------|
| Organization Profile (Base Map) | สำหรับจัดการข้อมูลของแต่ละหน่วยงานดูแลถนนและแผนที่พื้นฐาน | PostGIS/PostgreSQL |
| Dashboard Application | สำหรับเว็บไซต์รายงานผล (Visualization) | MongoDB |

ตัวอย่างฐานข้อมูลสนับสนุน เช่น ชุดข้อมูลแผนที่ถนนสำหรับใช้เตรียมข้อมูล สำหรับแต่ละหน่วยงาน แสดงดังภาพที่ 7-25

The image shows a web interface for a database query. On the left, there is a text area containing a SQL query:

```

1
2 -- highway lines within province multipolygon
3 WITH bounding_area AS (SELECT geometry
4 FROM `smooth-streets.lake.administrative_map` WHERE name LIKE
5 "อุขอนแก่น" LIMIT 1)
6 -- Total Length of
7 SELECT ST_LENGTH(rgeom) length_m, road_no, cs_no, km_start,
8 km_end, cs_name, rgeom
9 FROM `smooth-streets.lake.pavement_highwaydept` hw,
10 bounding_area
11 WHERE
12 ST_DWithin(bounding_area.geometry, rgeom, 0)

```

Below the query are two buttons: "Run" and "Show results (69)". Below the buttons, it says "Estimated query size: 90.8 MB" and "Processing location: Singapore (asia-southeast1)".

On the right, there is a map of Thailand with a network of roads highlighted in red. The map includes labels for provinces like LOEI, UDON THANI, NONG BUA LAM PHU, KHON KAEN, MAHA SARAKHAM, and CHAIYAPHUM. There are also labels for specific locations like Tessaban Thung Lulalai and ห้างลุงลอย.

ภาพที่ 7-25 ตัวอย่างการจัดเตรียมข้อมูลในคลังข้อมูล

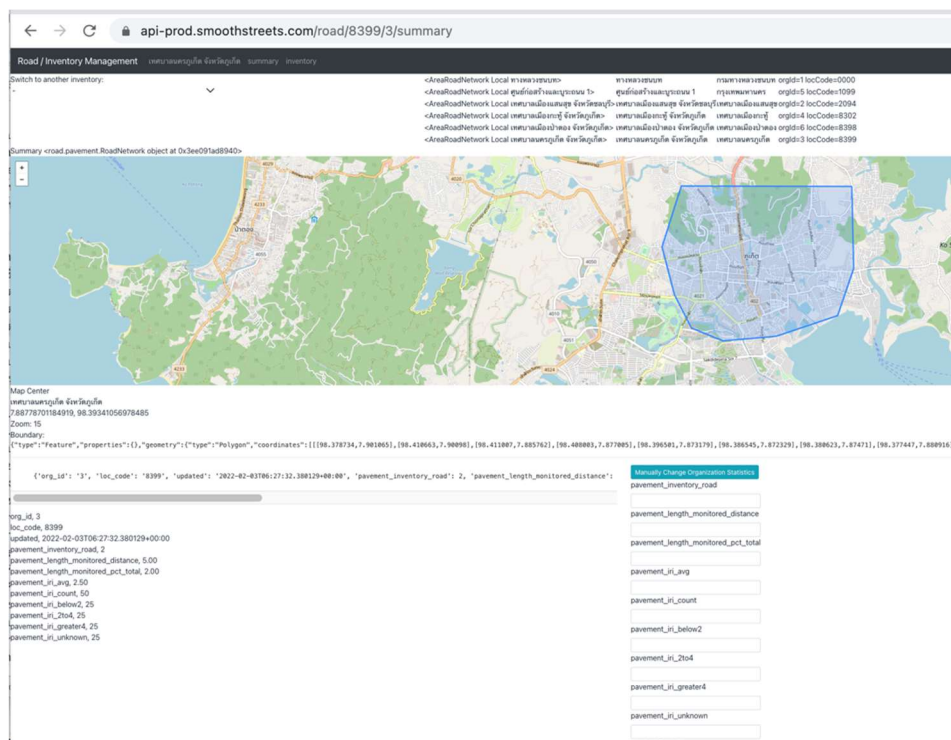
สรุปได้ว่าระบบฐานข้อมูลเพื่อสนับสนุนการทำงานของแพลตฟอร์ม ที่นอกเหนือจากระบบคลังข้อมูล สำหรับทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลเป็นหลัก มีดังนี้

1. ระบบฐานข้อมูลแผนที่และประเภทความผิดปกติสำหรับกำหนดพื้นที่เป้าหมาย
2. ระบบฐานข้อมูลเส้นทางถนนและความผิดปกติที่พบเจอสำหรับแสดงผลในเว็บไซต์
3. ระบบคลังข้อมูลพร้อมด้วยข้อมูลเชิงตำแหน่งของเส้นทางต่างๆ

7.4.7 ระบบจัดการข้อมูลในระบบ

เครื่องมือสำหรับช่วยจัดการข้อมูลในระบบ ถูกพัฒนาขึ้นตามความต้องการในการจัดรูปแบบข้อมูล และตรวจสอบความครบถ้วนถูกต้องของข้อมูลในระบบ แสดงดังภาพที่ 7-26 และภาพที่ 7-27

ตัวอย่างเช่น การแสดงรายชื่อถนน ในความดูแลของแต่ละหน่วยงาน หรือ การแสดงสถิติของแต่ละหน่วยงาน เป็นต้น หรือการเรียกข้อมูลจากคลังข้อมูลเพื่อตรวจสอบและแก้ไขรายการ



ภาพที่ 7-26 เครื่องมือจัดการค่าสถิติภาพรวมระดับพื้นที่

| pavement_surveydrive | | | pavement_bangkok | | | pavement_phuketcity | | |
|---------------------------|--------------------------------|------------|-----------------------------------|-------------|--|---------------------------|---------------|------------|
| ตาราง-1 | ตาราง pavement_surveydrive (T) | ตาราง-2 | ตาราง pavement_bangkok (ตั้งเก็บ) | ตาราง-3 | ตาราง pavement_phuketcity (ตั้งเก็บข้อมูลถนนของเทศบาลภูเก็ต) | | | |
| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
| หมายเลข Session | session_id | STRING | ลำดับ | seq | INT64 | ลำดับที่ | seq | INT |
| เลขอ้างอิงการวิ่งสำรวจ | lat | FLOAT64 | ประเภท เช่น ซอก, ถนน | sttype | STRING | รหัสสายทาง | code | STRING |
| ละติจูด | long | FLOAT64 | ชื่อ ถนน ซอก ซอย | sname | STRING | ชื่อสายทาง | name | STRING |
| พิกัดที่เริ่มบันทึกข้อมูล | road | STRING | จาก | rst | STRING | ชั้นงานในเขตเมืองหลัก | urban_lv | STRING |
| เขตตำบล | amphoe | STRING | ถึง | rend | STRING | ชั้นงานนอกเขตเมืองหลัก | rural_lv | STRING |
| จังหวัด | province | STRING | กว้าง (เมตร) | width_m | STRING | ระยะทาง (ม.) | length_m | STRING |
| ระยะทาง (ม.) | distance | FLOAT64 | ยาว (ม.) | length | STRING | ระยะทางวิ่ง (ม.) | roadwidth_m | STRING |
| เวลา (นาที) | duration | FLOAT64 | ประกาศเมื่อ | declare_on | STRING | ประเภทผิวทาง | pavement_type | STRING |
| | | | เขต | district | STRING | เขตทางวิ่ง(ม.) | waywidth_m | STRING |
| | | | หน่วยงาน | maintorg | STRING | ปีที่ก่อสร้าง (พ.ศ.) | built_y | STRING |
| | | | ถนนพิเศษ | landownr | STRING | ลงทะเบียนเมื่อ วันเดือนปี | register_on | STRING |
| | | | | | | เอกสารอ้างอิง | document | STRING |

| road_inventory | | | organization_profile | | | road_segment | | |
|--------------------------------|------------------------------------|------------|---|-----------------|--|---------------------------------|-----------------|------------|
| ตาราง-4 | ตาราง road_inventory (ตั้งเก็บแม่) | ตาราง-5 | ตาราง organization_profile (ตั้งเก็บ) | ตาราง-6 | ตาราง road_segment (เก็บถนนส่วนไหนได้เป็นแบบที่ฐาน อ้างอิงจากข้อมูล OSM) | | | |
| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
| รหัสพื้นที่ | loc_code | INT64 | รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING | รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| 1. ปีงบประมาณ มท. 1099-2 | | | รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING | 1. รหัสถนน รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| 2. รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING | เวลาที่ปรับปรุงสถิติข้อมูลล่าสุด | updated | DATE TIME | 2. รหัสถนน รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| 3. รหัส Map Feature ที่อ้างอิง | osm_id | STRING | จำนวนรถที่วิ่งบนถนน | pavement_invert | INT32 | 3. ชื่อถนน | name | STRING |
| 4. ข้อมูลเส้นทางจาก OSM | osm_geom | GEOGRAPHY | ระยะเวลาที่ใช้ในการสำรวจ | pavement_length | FLOAT64 | 4. ประเภทถนน | highway_type | STRING |
| ข้อมูลเส้นทาง ของรหัส | geom | GEOGRAPHY | คีย์สำหรับรถที่วิ่งบนถนน | pavement_key | FLOAT64 | 5. ความยาว (ม.) | length | FLOAT64 |
| 5. รหัสสายทาง | code | STRING | ค่าเฉลี่ย IRI | pavement_iri | FLOAT64 | 6. ประเภทผิวถนน | surface | STRING |
| ชื่อถนน | name | STRING | ความถี่ของรถที่วิ่งบนถนน | pavement_ri_cd | INT32 | 7. จำนวนเลน | lanes | INT64 |
| ข้อมูลเส้นทาง | ref_geom | STRING | ระยะเวลาที่วิ่ง IRI ระหว่าง 2.00 - 4.00 | pavement_ri_2l | FLOAT64 | 8. ระบุว่ามีช่องทางวิ่งเป็นเลน | lanel | BOOLEAN |
| ข้อมูลรถวิ่งบนถนนที่วิ่ง | ref_pavement | STRING | ระยะเวลาที่วิ่ง IRI สูงกว่า 4.00 | pavement_ri_4l | FLOAT64 | 9. ระบุว่ามีช่องทางวิ่งเป็นเลน | laneg | BOOLEAN |
| โครงสร้างของถนน | ref_roadshower | STRING | ระยะเวลาที่วิ่ง IRI สูงกว่า 4.00 | pavement_ri_4h | FLOAT64 | 10. ความเร็วสูงสุดที่แนะนำ | maxspeed | FLOAT64 |
| เส้นทางที่วิ่งบนถนน | ref_roadsegment | STRING | ระยะเวลาที่วิ่ง IRI สูงกว่า 4.00 | pavement_ri_4t | FLOAT64 | 11. ระบุว่ามีช่องทางวิ่งเป็นเลน | oneway | BOOLEAN |
| 12. หน้าจอแสดงผลข้อมูล | ref_roadprofile | STRING | | pavement_ri_4w | FLOAT64 | 12. หมายเลขเส้นทาง | route_no | STRING |
| | | | | | | 13. รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | osm_version | INT64 |
| | | | | | | 14. หมายเลขอ้างอิงข้อมูล | osm_id | INT64 |
| | | | | | | 15. ข้อมูลเชิงแผนที่ | geometry | GEOGRAPHY |
| | | | | | | 16. | road_name_idx | STRING |
| | | | | | | 17. | road_name_names | STRING |

| road_profile | | | road_condition | | | road_condition_report | | |
|-------------------|----------------------------------|------------|--|---------------|--|--|---------------|------------|
| ตาราง-7 | ตาราง road_profile (ตั้งเก็บแม่) | ตาราง-8 | ตาราง road_condition (ตั้งเก็บแม่) | ตาราง-9 | ตาราง road_condition_report (ตั้งเก็บ) | | | |
| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล | รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
| 1. รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING | รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING | รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| 2. รหัสพื้นที่ | loc_code | INT | รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING | รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| 3. ชื่อถนน | road_name_idx | STRING | เวลาที่บันทึกข้อมูล | time | TIMESTAMP | ชื่อถนน | road_name_idx | STRING |
| 4. ชื่อถนน ตามกรม | name | STRING | ตำแหน่งที่บันทึกข้อมูล | position | GEOGRAPHY | ชื่อถนน | road_name_idx | STRING |
| 5. รหัสอ้างอิง | ref_pavement | STRING | ชื่อถนน | road_name_idx | STRING | ชื่อถนน | road_name_idx | STRING |
| 6. ความยาวถนน | length_km | FLOAT64 | ตำแหน่งถนน | geo | GEOGRAPHY | ตำแหน่งถนน | geo | STRING |
| 7. ค่า IRI | iri | FLOAT64 | หมายเลขอ้างอิงรายงานผล - จากการศึกษาของโมเดล | inference_id | STRING | หมายเลขอ้างอิงรายงานผล - จากการศึกษาของโมเดล | inference_id | STRING |
| 8. ปีงบประมาณ | yr | STRING | เวลาที่บันทึกข้อมูล | time_start | TIMESTAMP | เวลาที่บันทึกข้อมูล | time_start | TIMESTAMP |
| 9. ปีงบประมาณ | osm_id | FLOAT64 | เวลาที่บันทึกข้อมูล | time_end | TIMESTAMP | เวลาที่บันทึกข้อมูล | time_end | TIMESTAMP |
| 10. ปีงบประมาณ | osm_id | FLOAT64 | ประเภทของถนน | object_class | STRING | ประเภทของถนน | object_class | STRING |
| 11. ปีงบประมาณ | osm_id | FLOAT64 | ค่าความยาวของถนน | object_desc | STRING | ค่าความยาวของถนน | object_desc | STRING |
| | | | หมายเลขอ้างอิงข้อมูล | device_id | STRING | หมายเลขอ้างอิงข้อมูล | device_id | STRING |
| | | | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | model_version | STRING | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | model_version | STRING |
| | | | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | model_output | STRING | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | model_output | STRING |
| | | | หมายเลขอ้างอิงข้อมูล | image_url | STRING | หมายเลขอ้างอิงข้อมูล | image_url | STRING |
| | | | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | osm_id | STRING | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | osm_id | STRING |
| | | | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | osm_version | STRING | รุ่นของข้อมูลที่มีนาม | osm_version | STRING |

ภาพที่ 7-28 โครงสร้างตารางข้อมูลในระบบคลังข้อมูล BigQuery

ตารางที่ 7-5 pavement_surveydrive (การเก็บข้อมูลตัวอย่างสภาพพื้นผิวถนน)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|---|-------------|------------|
| หมายเลข Session เลขอ้างอิงการวิ่งสำรวจ | session_id | STRING |
| ละติจูด พิกัดที่เริ่มบันทึกข้อมูล | lat | FLOAT64 |
| ลองจิจูด พิกัดที่เริ่มบันทึกข้อมูล | long | FLOAT64 |
| ชื่อถนน | road | STRING |

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|------------------|-------------|------------|
| เขต/อำเภอ | amphoe | STRING |
| จังหวัด | province | STRING |
| ระยะทาง (ม.) | distance | FLOAT64 |
| เวลา (วินาที) | duration | FLOAT64 |

(อนึ่ง ข้อมูลตัวอย่างชุดนี้ ปรากฏในรายงานความคืบหน้า Progress Report 2 ของโครงการฯ เกี่ยวกับเรื่องการสร้างโมเดล CNN)

การออกแบบระบบจัดเก็บข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลพื้นผิวถนนสำหรับแต่ละพื้นที่เป้าหมาย คณะวิจัยได้เก็บตัวอย่างข้อมูลจากการหน่วยงานผู้รับผิดชอบการบำรุงรักษาถนน คือ กรุงเทพมหานคร และ เทศบาลนครภูเก็ต โดยคณะวิจัยได้นำเข้าข้อมูลตัวอย่าง มาเป็นต้นแบบในการออกแบบโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล สำหรับการประมวลผลและนำเสนอข้อมูล

ลักษณะข้อมูลตัวอย่างของสององค์กรนี้มีความแตกต่างกัน คณะวิจัยจึงสร้างตารางสำหรับจัดเก็บข้อมูลผิวถนนขึ้นสองตาราง คือ ตาราง pavement_bangkok จัดเก็บข้อมูลผิวถนนของกรุงเทพมหานคร และตาราง pavement_phuketcity จัดเก็บข้อมูลผิวถนนของเทศบาลนครภูเก็ต เพื่อเริ่มทำการรวบรวมข้อมูลพื้นผิวถนนของแต่ละพื้นที่ แสดงดังตารางที่ 7-6 และตารางที่ 7-7

ตารางที่ 7-6 pavement_bangkok (จัดเก็บข้อมูลผิวถนนของกรุงเทพมหานคร)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|-------------------|-------------|----------------------|
| ลำดับ | seq | INT64 |
| ประเภท | stype | STRING เช่น ซอย, ถนน |
| ชื่อ ถนน ตรอก ซอย | sname | STRING |
| จาก | rstr | STRING |
| ถึง | rend | STRING |
| กว้าง (เมตร.) | width_m | STRING |

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|------------------|-------------|------------|
| ยาว (กม.) | length_km | STRING |
| ประกาศเมื่อ | declare_on | STRING |
| เขต | district | STRING |
| หน่วยงาน | maintorg | STRING |
| กรรมสิทธิ์ | landownr | STRING |

ตารางที่ 7-7 pavement_phuketcity (จัดเก็บข้อมูลผิวถนนของเทศบาลนครภูเก็ต)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|---|---------------|------------|
| ลำดับที่ | seq | INT64 |
| รหัสสายทาง | rcode | STRING |
| ชื่อสายทาง | rname | STRING |
| ชั้นทางในเขตเมืองหรือในเขต ชุมชน (ชั้น) | urban_lvl | STRING |
| ชั้นทางนอกเขตเมืองหรือในเขต ชุมชน (ชั้น) | rural_lvl | STRING |
| ระยะทาง (กม.) | length_km | STRING |
| ผิวจราจรกว้าง (ม.) | rwidth_m | STRING |
| ประเภทผิวทาง | pavement_type | STRING |
| เขตทางกว้าง(ม.) | waywidth_m | STRING |
| ปีที่ก่อสร้าง (พ.ศ.) | built_y | STRING |
| ลงทะเบียนเมื่อ วัน/เดือน/ปี | register_on | STRING |
| เอกสาร/ตัวอย่าง | document | STRING |

ระบบจัดเก็บข้อมูลรองรับการสร้างฐานข้อมูลขององค์กรที่ดูแลถนน โดยออกแบบให้สามารถจัดเก็บข้อมูลถนนภายใต้การดูแล โดยแบ่งพื้นที่จัดเก็บข้อมูลแยกตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (loc_code) และหน่วยงาน (org_id) โครงสร้างฐานข้อมูลถนนในพื้นที่ดูแล ของแต่ละองค์กร มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 7-8

ตารางที่ 7-8 road_inventory (จัดเก็บทะเบียนถนนของแต่ละองค์กรโดยแยกรหัสหน่วยงานและรหัสพื้นที่)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|---|-----------------|------------|
| รหัสพื้นที่ อ้างอิงตาม มอก.1099-2548 | loc_code | INT64 |
| รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| รหัส Map Feature ที่อ้างอิงใน แผนที่ OSM | osm_id | STRING |
| ข้อมูลเส้นถนนจาก OSM | osm_geom | GEOGRAPHY |
| ข้อมูลเชิงแผนที่ถนน ของ หน่วยงาน เป็นข้อมูลค่าเดียวกับทะเบียนใน ตาราง road_profile | rgeom | GEOGRAPHY |
| รหัสสายทาง | rcode | STRING |
| ชื่อถนน | rname | STRING |
| ข้อมูลเส้นถนน | ref_geog | STRING |
| ข้อมูลผิวถนน บัญชีอ้างอิง | ref_pavement | STRING |
| โครงข่ายสายทางที่ถนน เชื่อมโยง | ref_roadnetwork | STRING |
| เส้นถนนที่อ้างอิงในตารางเส้น ถนน | ref_roadsegment | STRING |
| หน้าประชาสัมพันธ์ข้อมูลถนน | ref_roadprofile | STRING |

ข้อมูลสำหรับอ้างอิงหลักของแต่ละรายการในตารางนี้คือ รหัสสายทาง (rcode) และชื่อถนน (rname) สำหรับใช้ระบุข้อมูลเชิงตำแหน่งของเส้นถนน (rgeog) ซึ่งแต่ละองค์กรหรือหน่วยงาน และโครงการพัฒนาระบบฯ จะต้องเป็นผู้ดูแลปรับปรุงข้อมูลชุดนี้ให้ทันสมัย โดยอาจจะทำการเชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศที่มีอยู่แล้วโดยตรง เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพ สำหรับอนาคต

ความเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลชื่อถนน กับแผนที่ OpenStreetMap จากตาราง Road Inventory คือ รหัส Map Feature (osm_id) และ ข้อมูลเส้นถนนจาก OSM (osm_geom) รวมไปถึงข้อมูล รหัสพื้นที่ (loc_code) และรหัสหน่วยงาน (org_id) ซึ่งคณะวิจัยได้ดำเนินการจัดเตรียมตัวอย่างข้อมูลสำหรับพื้นที่เป้าหมายของโครงการวิจัยไว้แล้วในเบื้องต้น

สำหรับถนนแต่ละเส้น ใช้คอลัมน์ ข้อมูลพื้นผิวถนน (ref_pavement) ในการอ้างอิงสืบค้นความเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลชื่อถนนและข้อมูลพื้นผิวถนน และเพื่อการรายงานจากท้องถนนที่ระบบถูกนำไปใช้งาน จะใช้คอลัมน์ เส้นถนนที่อ้างอิงในตารางเส้นถนน (ref_roadsegment)

ความเชื่อมโยงของข้อมูลถนนในฐานข้อมูลถนนของแต่ละพื้นที่กับโครงข่ายสายทางในระดับพื้นที่ไปจนถึงระดับประเทศ ใช้ข้อมูลในคอลัมน์ โครงข่ายสายทางที่ถนนเชื่อมโยง (ref_roadnetwork) และ เส้นถนนที่อ้างอิงในตารางเส้นถนน (ref_roadsegment) โดยข้อมูลชุดนี้สัมพันธ์กับระบบแผนที่พื้นฐาน (Base Map) ที่เป็นโครงข่ายเส้นทางจาก OpenStreetMap และข้อมูลสมทบจากแหล่งข้อมูลสาธารณะ และฐานข้อมูลระบบวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล (Dashboard)

โดยระบบแผนที่พื้นฐาน (Base Map) ประกอบด้วยตารางฐานข้อมูลข้อมูลสำคัญ คือ ตาราง เส้นถนน (road_segment) ตารางข้อมูลถนน (road_profile) ส่วนระบบวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล ใช้ตารางข้อมูลหน่วยงาน (organization_profile) สำหรับประมวลผลสรุปสถิติในภาพรวมของพื้นที่

ในการประมวลผลสถิตินี้ ระบบวิเคราะห์และประมวลผลทำการสรุปข้อมูลจาก ตาราง road_condition_report และ road_condition เป็นประจำทุกๆ 10 นาที HH ชั่วโมง และ ลบข้อมูลที่เก่ากว่า NNN วันทิ้ง แสดงดังตารางที่ 7-9

ตารางที่ 7-9 organization_profile

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|--|-------------------------------------|------------|
| รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| เวลาที่ปรับปรุงสถิติข้อมูลสรุปล่าสุด | updated | DATETIME |
| จำนวนถนนที่ได้รับแจ้ง Number of roads under supervision with at least some IRI data; Total number of roads under supervision; | pavement_inventory_road | INT32 |
| ระยะทางที่ได้รับการสำรวจ | pavement_length_monitored_distance | FLOAT64 |
| สัดส่วนระยะทางที่ได้รับการสำรวจ | pavement_length_monitored_pct_total | FLOAT64 |
| ค่าเฉลี่ย IRI | pavement_iri_avg | FLOAT64 |
| ความผิดปกติทั้งหมด | pavement_iri_count | INT32 |
| ระยะทางที่มีค่า IRI ต่ำกว่า 2.00 | pavement_iri_below2 | FLOAT64 |
| ระยะทางที่มีค่า IRI ระหว่าง 2.00 - 4.00 | pavement_iri_2to4 | FLOAT64 |
| ระยะทางที่มีค่า IRI สูงกว่า 4.00 | pavement_iri_greater4 | FLOAT64 |
| ระยะทางที่ยังไม่ได้รับการสำรวจ | pavement_iri_unkonwn | FLOAT64 |

ในการเตรียมข้อมูลของพื้นที่เป้าหมาย ข้อมูลเชิงแผนที่ของเส้นถนนเป็นข้อมูลสำคัญในการนำข้อมูลพิกัด GPS ที่บันทึกได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเส้นถนนในพื้นที่เป้าหมาย โดยใช้แผนที่พื้นฐาน (Base Map) จาก OpenStreetMap ซึ่งแนวเส้นถนนและข้อมูลเชิงตำแหน่งของถนน (Geometry) ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และประมวลผลสถิติภาพรวมของพื้นที่ รวมไปถึงให้ข้อมูลประกอบ เช่น ชนิดของผิวถนน ความยาว ฯลฯ ถูกจัดเก็บใน ตารางเส้นถนน (road_segment) ส่วนข้อมูลประกอบสำหรับสืบค้นชื่อถนน ถูกจัดเก็บใน ตารางข้อมูลถนน (road_profile) แสดงดังตารางที่ 7-10 ถึง ตารางที่ 7-12

ตารางที่ 7-10 road_segment (เส้นถนนสำหรับใช้เป็นแผนที่พื้นฐาน จากข้อมูล OSM)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|------------------------------------|--------------|------------|
| รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| *ข้อมูลดิบ รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| ชื่อถนน | name | STRING |
| ประเภทถนน | highway_type | STRING |
| ความยาว (ม.) | length | FLOAT64 |
| ประเภทผิวถนน | surface | STRING |
| จำนวนเลน | lanes | INT64 |
| ระบุว่าถนนช่วงนี้เป็นอุโมงค์ | tunnel | BOOLEAN |
| ระบุว่าถนนช่วงนี้เป็นสะพาน | bridge | BOOLEAN |
| ความเร็วสูงสุดตามกฎหมาย | maxspeed | FLOAT64 |
| ระบุว่าถนนช่วงนี้เดินรถทางเดียว | oneway | BOOLEAN |
| หมายเลขเส้นทาง | route_no | STRING |
| รุ่นของข้อมูลที่นำมาจาก OSM | osm_version | INT64 |
| หมายเลขอ้างอิงข้อมูลที่นำมาจาก OSM | osm_id | INT64 |

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|--------------------------------|-------------|------------|
| ข้อมูลเชิงแผนที่ WGS84 จาก OSM | geometry | GEOGRAPHY |

ตารางที่ 7-11 road_profile (ข้อมูลถนนสำหรับสืบค้นและแสดงในหน้ารายละเอียดถนน)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|---|--------------------|------------|
| รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| รหัสพื้นที่ | loc_code | INT |
| ชื่อเรียกถนน | road_name_idx | STRING |
| ชื่อถนน ตามทะเบียนใน ตาราง road_inventory | name | STRING |
| รหัสสำหรับอ้างอิงถนนเส้นดังกล่าว | id | STRING |
| อ้างอิงตารางผิวถนนในพื้นที่ ตาราง-2, ตาราง-3 | ref_pavement | STRING |
| ความยาวถนนทั้งเส้น (กม.) | length_km | FLOAT64 |
| ค่า IRI โดยประมาณ | iri_estimate | FLOAT64 |
| ปรับปรุงพร้อมกับการ update ตาราง organization_profile | smoothstreet_score | FLOAT64 |

ตารางที่ 7-12 road_condition (ข้อมูลสภาพผิวถนนจากการตีความของโมเดลการเรียนรู้)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|--------------------------|---------------|------------|
| รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| ชื่อถนนสำหรับดัชนีสืบค้น | road_name_idx | STRING |

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|--|--------------------|------------|
| รหัสอุปกรณ์ | device_id | STRING |
| เวลาที่รายงาน | time | TIMESTAMP |
| ตำแหน่งที่รายงาน | position | GEOGRAPHY |
| ภาพจากกล้องเมื่อรายงาน จัดเก็บที่ Cloud Storage | image_url | STRING |
| ประเภทวัตถุหรือความผิดปกติ | object_class | STRING |
| คำอธิบายวัตถุหรือความผิดปกติ | Object_description | STRING |

ตารางที่ 7-13 road_condition_report (ข้อมูลรายงานความผิดปกติของผิวถนนจากระบบ)

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|-----------------------------------|-------------------|------------|
| รหัสหน่วยงาน | org_id | STRING |
| รหัสพื้นที่ | loc_code | STRING |
| ถนนที่ตรวจพบความผิดปกติ | road_profile_id | STRING |
| ชื่อถนนสำหรับดัชนีสืบค้น | road_name_idx | STRING |
| ตำแหน่งที่พบความผิดปกติ | location | GEOGRAPHY |
| ตำแหน่งผิวถนน เริ่ม | segment_start | GEOGRAPHY |
| ตำแหน่งผิวถนน สิ้นสุด | segment_end | GEOGRAPHY |
| รหัสความผิดปกติ | report_code | STRING |
| ประเภทความผิดปกติ | report_type | STRING |
| เวลาที่รายงานได้รับการบันทึก | report_time | TIMESTAMP |
| หมายเลขรายงานสำหรับใช้ อ้างอิง | report_ref_number | STRING |
| หมายเลขอุปกรณ์ที่รายงาน | report_device | STRING |

| รายละเอียดข้อมูล | ชื่อคอลัมน์ | ชนิดข้อมูล |
|---------------------------------------|---------------|------------|
| โมเดลตัวจำแนกที่ใช้งาน | model_version | STRING |
| เวอร์ชันของแอปพลิเคชันที่ Edge Device | app_version | STRING |

ในการนำระบบต้นแบบไปใช้ในการสำรวจและซ่อมแซมผิวถนนได้อย่างทั่วถึง สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการได้ดังนี้

1. การกำหนดพื้นที่เป้าหมาย สำหรับจัดเก็บข้อมูลและประมวลผลสถิติ
2. การเตรียมข้อมูลพื้นฐานสำหรับพื้นที่เป้าหมาย
3. การนำข้อมูลในพื้นที่เป้าหมายมาวิเคราะห์โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
4. การสรุปข้อมูลและจัดเตรียมรายงานในแต่ละพื้นที่เป้าหมาย
5. การนำเสนอข้อมูลและสารสนเทศที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้งาน

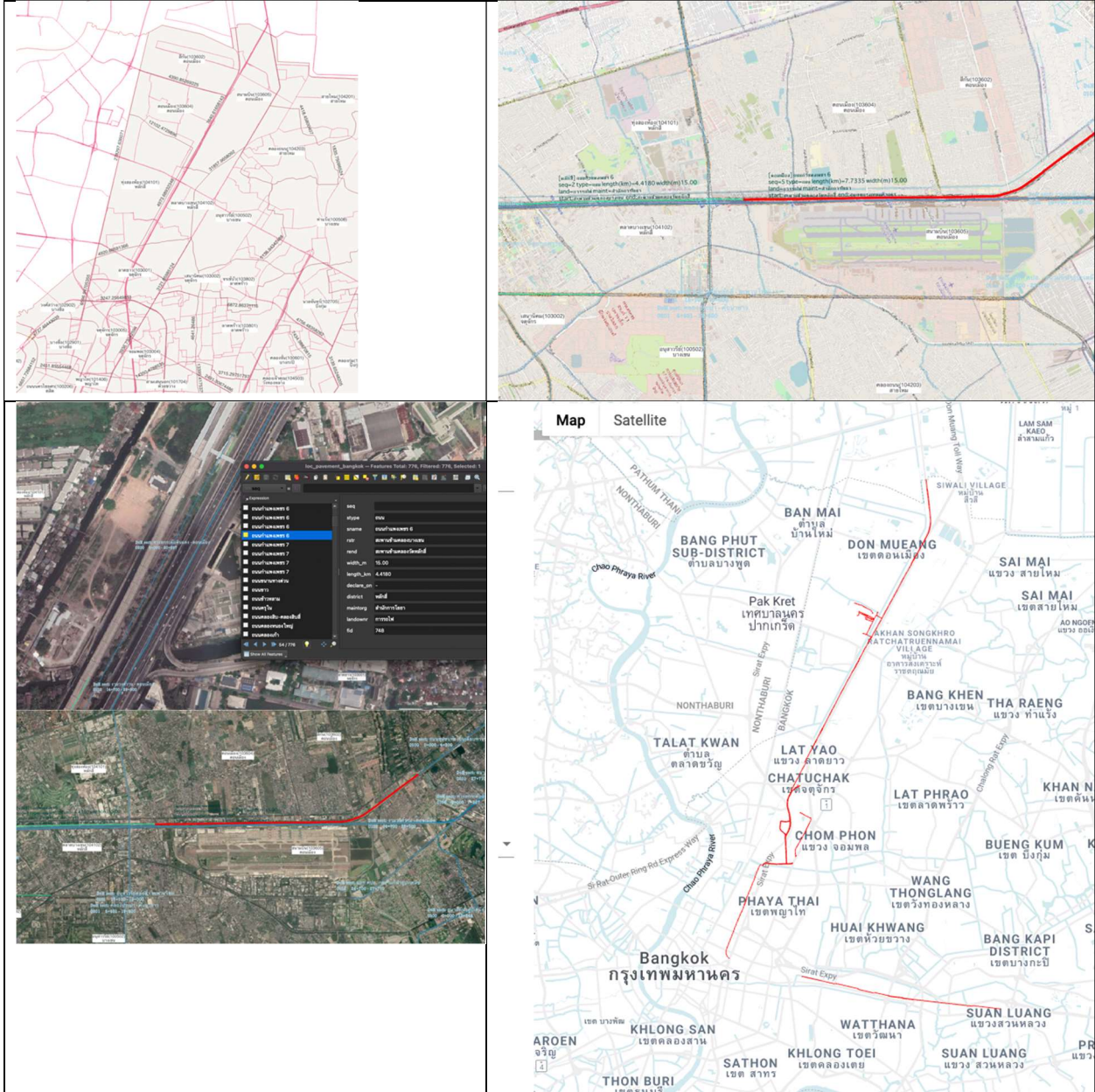
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องทำในการจัดการทำงานของระบบสำหรับแต่ละหน่วยงาน คือ จัดเตรียมข้อมูลขององค์กรเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมาย และดูแลปรับปรุงชุดข้อมูลเหล่านี้ให้ทันสมัยอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งข้อมูลของแต่ละหน่วยงานจะถูกสร้างและจัดเก็บในตารางข้อมูลต่างๆของหน่วยงาน (organization_profile, road_segment, road_inventory, road_profile) เมื่อมีการประมวลผลข้อมูล โดยมีข้อมูลสำหรับอ้างอิงคือ รหัสพื้นที่ (loc_code) และรหัสหน่วยงาน (org_id)

7.5.2 สรุปขั้นตอนการประมวลผล

ขั้นตอนการประมวลผลของแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล สามารถสรุปในภาพรวมได้คร่าวๆ ดังนี้คือ

1. จัดเตรียมข้อมูลผิวสำหรับแต่ละหน่วยงานในระบบ
2. อุปกรณ์ตรวจพบความผิดปกติ แล้วทำการส่งข้อมูลมายังแพลตฟอร์ม
3. แพลตฟอร์มสรุปข้อมูล โดยการประมวลผลแบบอัตโนมัติ แล้วเตรียมข้อมูลเพื่อในระบบ Dashboard นำข้อมูลไปแสดงผล

ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลผิวถนนสำหรับใช้ในระบบ สำหรับแต่ละพื้นที่เป้าหมายจำเป็นต้องมีการสร้างแผนที่ฐานซึ่งประกอบด้วยถนนเส้นต่างๆในพื้นที่ แสดงดังภาพที่ 7-29



ภาพที่ 7-29 การเตรียมข้อมูลเส้นถนนจากแผนที่ OSM และรายชื่อถนนในกรุงเทพมหานคร

จากนั้นเมื่อได้รับข้อมูลจาก Edge Device บนเส้นถนน ระบบจะนำข้อมูลเข้ามารวบรวมเพื่อทำการวิเคราะห์ได้โดยอาศัย ข้อมูลพิกัดจาก GPS ที่อุปกรณ์วิ่งสำรวจที่ตรวจพบความผิดปกติ แสดงดังภาพที่ 7-30 ถึงภาพที่ 7-33

1 Query

Project ID
smoothstreets

```

1 -- Set buffer = 5
2 -- To match ground location
3 -- Search the table highway for matching record
4
5 WITH bounding_area AS (SELECT
6 ST_BUFFER(ST_GEOGPOINT('POINT(10.2914032 7.8874798)'), 5)
7 geo LIMIT 1)
8
9 SELECT *
10 FROM 'smooth-streets.osmth.highway' highway, bounding_area
11 WHERE
12 ST_DWithin(bounding_area.geo, highway.geometry, 0)

```

Run Show results (1)

Estimated query size: 323.6 GB

Processing location
United States (US)

2 Data

3 Style

4 Share

```

{
  "name": "Thason Thawong",
  "name_en": null,
  "name_en": "Thason Thawong",
  "feature_type": "Line",
  "highway_type": "primary",
  "length": 2265.10763104995,
  "surface": "asphalt",
  "lanes": "2",
  "tunnel": null,
  "bridge": null,
  "maxspeed": null,
  "oneway": "yes",
  "all_name": null,
  "int_name": null,
  "route_ref": null,
  "number": null,
  "osm_version": 32,
  "osm_id": 217261616,
  "osm_timestamp": "1:4246040358",
  "geometry": {
    "type": "LineString",
    "coordinates": [
      [130.2912787, 7.88],
      [130.291402116575, 7.88]
    ]
  }
}

```

ภาพที่ 7-30 ตัวอย่างข้อมูลพิกัด GPS จากอุปกรณ์ นำมาหาถนนเส้นที่พบความผิดปกติ

1 Query

2 Data

3 Style

4 Share

Add styles

Geometry column
region

| id | code | reg_id | name | id |
|------|------|---------|----------------|----|
| E298 | 6 | E298-02 | Thason Thawong | |
| E298 | 6 | E298-01 | Wongwong | |
| E298 | 6 | E298-03 | Phang Mung | |
| E298 | 6 | E298-04 | Prachanukhin | |

ภาพที่ 7-31 ตัวอย่างถนนในพื้นที่เป้าหมาย



ภาพที่ 7-32 ตัวอย่างตำแหน่งที่ตรวจพบความผิดปกติ

1 Query

Project ID
smooth-streets

```

1 -- Set buffer = 5
2 -- To match ground location
3 -- Search the table road_inventory for matching record
4
5 WITH bounding_area AS (SELECT
6   ST_BUFFER(ST_GEOGFROMTEXT('POINT(98.2914032 7.8874798)'), 5)
7   geo LIMIT 1)
8
9 SELECT *
10 FROM `smooth-streets.lake.road_inventory` ri, bounding_area
11 WHERE
12 ST_DWithin(bounding_area.geo, ri.rgeom, 0)

```

Run Show results (1)

Estimated query size: 405.8 KB

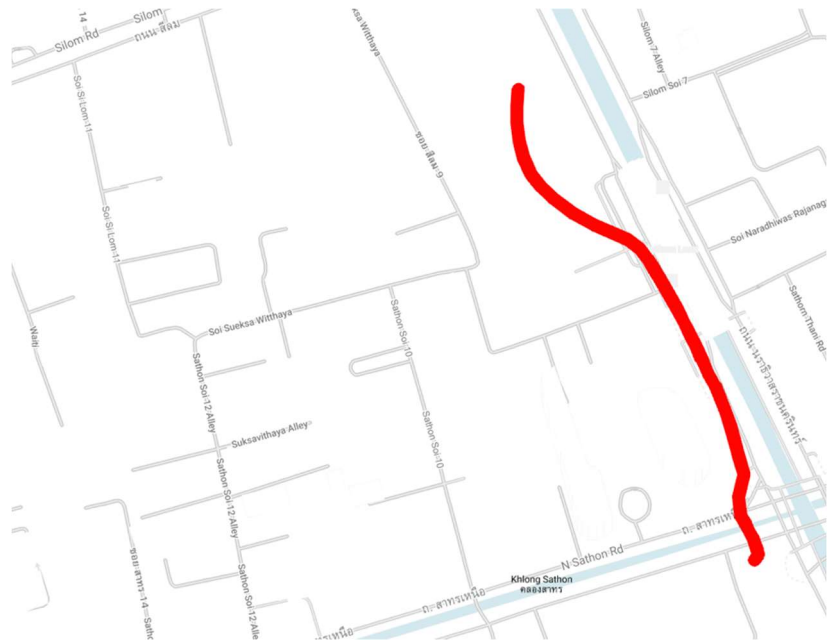
Processing location
United States (US)

Map Satellite

ภาพที่ 7-33 ชุดคำสั่งในการหาเส้นทางจากตำแหน่งที่พบความผิดปกติ

วิธีการอ้างอิงตำแหน่งพิกัด GPS สำหรับการค้นหาถนนจากเส้นทางที่รถวิ่ง โดยจากตัวอย่างการทดลองประมวลผลในชุดข้อมูลทดสอบตัวอย่างหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าพิกัด GPS ที่บันทึกได้เมื่อเทียบกับแผนที่เส้น

ถนนจริง จะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ และนำมาค้นหาพิกัดถนนจากแผนที่พื้นฐาน แสดงดังภาพที่ 7-34 และภาพที่ 7-35



ภาพที่ 7-34 พิกัด GPS จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เมื่อเทียบกับแผนที่อ้างอิงแล้วพบการคลาดเคลื่อนตำแหน่งไม่สัมพันธ์กัน



ภาพที่ 7-35 การใช้พิกัด GPS ที่รວงหาเพื่อเทียบหาถนนแต่ไม่สามารถระบุพิกัดถนนได้

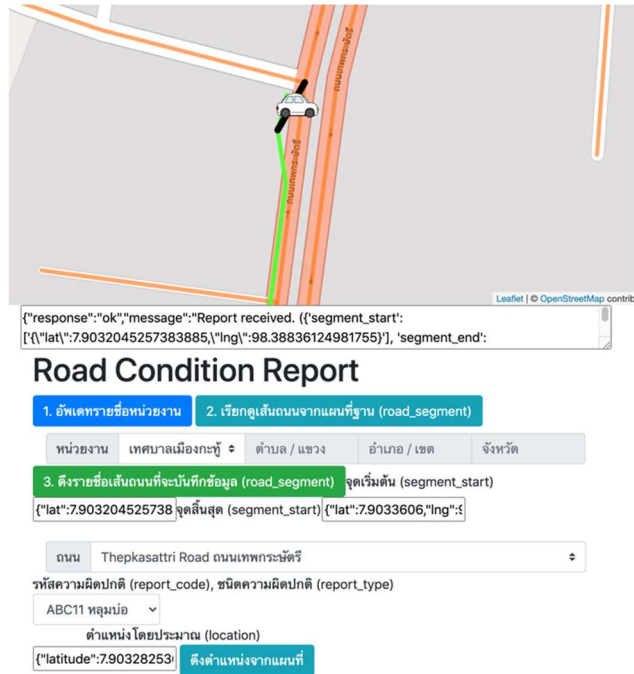
นอกจากการออกแบบและทดสอบกลไกการหาตำแหน่งพิกัดจากเซนเซอร์ GPS ของอุปกรณ์แล้ว ยังมีเครื่องมือสำหรับจำลองการสร้างความผิดปกติที่ตรวจพบ จากอุปกรณ์ Edge Device เพื่อสร้างตัวอย่างข้อมูลการรายงานความผิดปกติ สำหรับ ทดสอบการทำงานของระบบฐานข้อมูล คลังข้อมูล และรูปแบบข้อมูลด้วย แสดงดัง ภาพที่ 7-36 และภาพที่ 7-37

Screenshot of a mobile application interface for reporting road conditions. The interface includes a map showing a road segment highlighted in green. Below the map, there is a form titled "Road Condition Report" with the following fields and buttons:

- 1. อีเมลรายชื่อหน่วยงาน (Agency email)
- 2. เรียกดูเส้นถนนจากแผนที่ฐาน (road_segment) (View road segment from map)
- 3. ติงรายชื่อเส้นถนนที่จะบันทึกข้อมูล (road_segment) (Select road segment for reporting)
- จุดเริ่มต้น (segment_start) (Start point)
- จุดสิ้นสุด (segment_end) (End point)
- ถนน (Road name): Thanon Damrong ถนนดำรง
- รหัสความผิดปกติ (report_code) (Report code): ABC11 หลุมบ่อ (Pothole)
- ชนิดความผิดปกติ (report_type) (Report type): ABC11 หลุมบ่อ
- ตำแหน่งโดยประมาณ (location) (Approximate location): 7.891032,98.391961
- ติงตำแหน่งจากแผนที่ (Select location from map)
- 4. รัน Model สำหรับประมวลผลข้อมูล (road_condition) (Run model for data processing)
- [Submit Road Condition Report]
- 5. ส่งรายงานความผิดปกติ (road_condition_report) (Send report)

At the bottom of the interface, there are fields for "Choose File" (No file chosen), "Platform: android", "DeviceID: e12cfca8", and a "Send Debug Data" button.

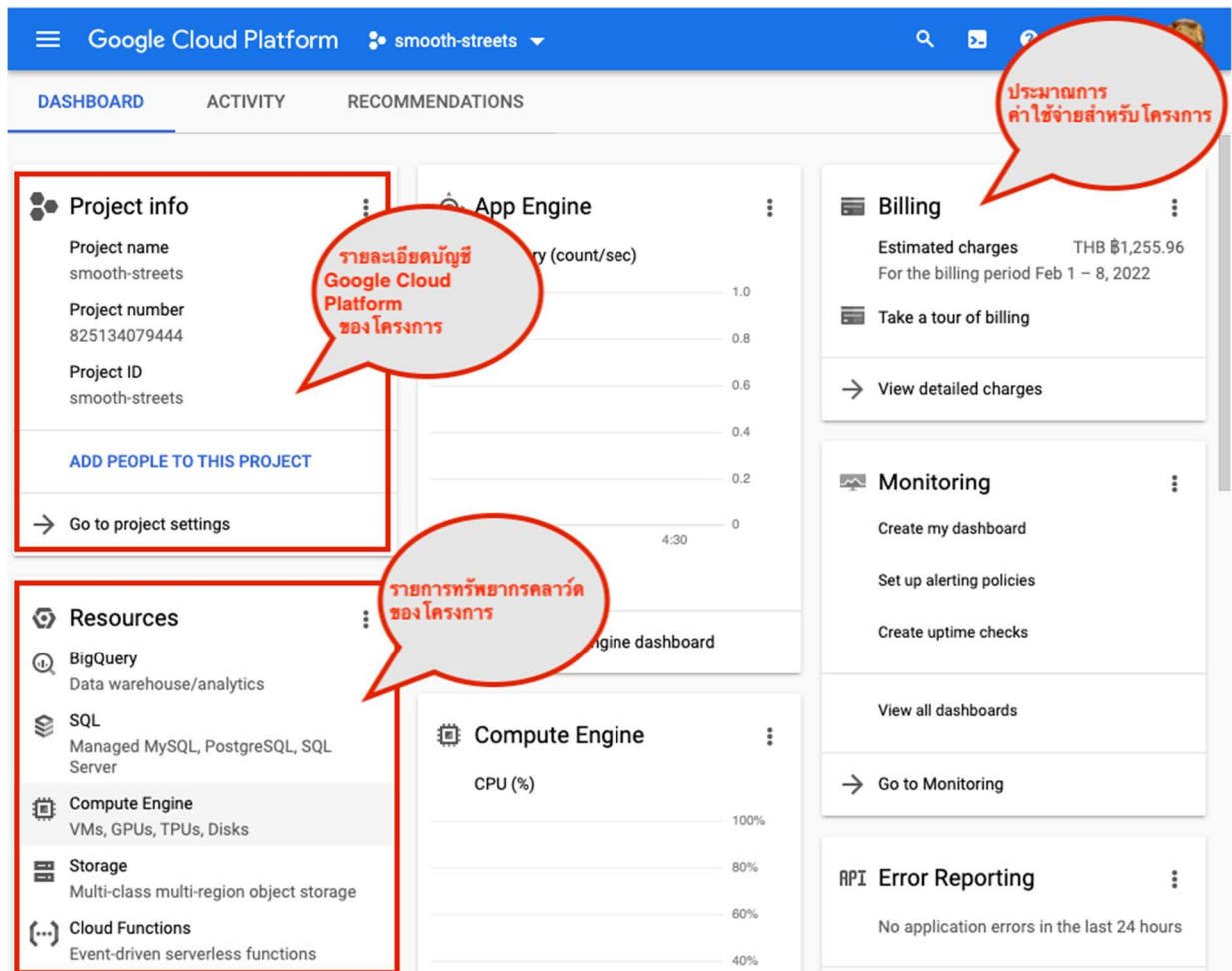
ภาพที่ 7-36 เครื่องมือสร้างตัวอย่างข้อมูลความผิดปกติบนพิกัดจำลอง



ภาพที่ 7-37 ความผิดปกติบนผิวถนนจำลอง จากมุมมองของคลังข้อมูล

7.5.3 รายละเอียดของแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล

แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล ใช้บริการ Google Cloud Platform เพื่อจัดเก็บและประมวลผลข้อมูล โดยสามารถเข้าสู่ระบบจัดการทรัพยากรได้ที่ <https://console.cloud.google.com/> แสดงดังภาพที่ 7-38



ภาพที่ 7-38 แผงควบคุมโครงการใน Google Cloud Platform

ทรัพยากรที่ใช้:

1. BigQuery
2. Cloud SQL (PostgreSQL)
3. Cloud Storage
4. Cloud Functions
5. Cloud Run
6. App Engine

โดยทำการให้บริการแก่ Edge Device และ Dashboard จากโดเมน smoothstreets.com

7.5.4 ทรัพยากรที่พร้อมใช้งานบน Google Cloud

1. Edge Device API
2. Dashboard API
3. ฐานข้อมูล Cloud SQL และ BigQuery
4. Cloud Console เพื่อจัดการข้อมูลที่ Google Cloud Storage และ BigQuery

บริการคลาวด์ดังตารางต่อไปนี้ ระบุประเภทของทรัพยากรและโควตาการใช้งานที่คณะวิจัยจัดเตรียมและติดตั้งไว้ เพื่อใช้งานในการพัฒนาระบบและให้บริการข้อมูลตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ แสดงดังตารางที่ 7-14

ตารางที่ 7-14 รายการทรัพยากร Google Cloud Platform

| Item | Component | Description | Remarks |
|------|-----------------|---|--|
| 1 | Cloud Functions | lake-API Invocations: 2,000,000 GiB-seconds: 37,500 per month GHz-seconds: 60,000 per month Networking: 476.837 GiB per month | 2,000,000 calls (6 devices making five API calls every minute = 1.2M calls) |
| 2 | Cloud Storage | Total Amount of Storage: 1,024 GiB Class A operations: 2 million Class B operations: 15 million | 1TB / Month (6 devices generating 100GB of data (video+sensor) = 600GB) |
| 3 | BigQuery | lake Storage 500 GiB | |

| Item | Component | Description | Remarks |
|------|----------------|--|---------|
| | | Streaming Inserts 1,024 MB Queries 1 TB | |
| 4 | App Engine | Instance Type: F1 Instance Hours: 1,460 per month | |
| 5 | Cloud SQL | Cloud SQL for PostgreSQL backend # of instances: 1 Instance type: db-pg- f1-micro 730.0 total hours per month SSD Storage: 10.0 GiB Backup: 0.0 GiB | |
| 6 | Compute Engine | 1 x time-series db/analytics 730 total hours per month VM class: regular Instance type: e2- standard-2 Region: Mumbai Static public IP 730 hours | |
| 7 | | 1 x web app/visualization | |

| Item | Component | Description | Remarks |
|------|-----------------|--|---------|
| | | 730 total hours per month VM class: regular Instance type: e2-medium Region: Mumbai Static public IP 730 hours | |
| 8 | | 1 x gis db/shared desktop 21.726 total hours per month VM class: regular Instance type: n1-standard-2 | |
| 9 | Internet Egress | Standard Tier: 1,024 GiB | |

7.6 การทดสอบการทำงานแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล

ทางคณะวิจัยได้มีการทดสอบการทำงานของแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ

7.7 สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาระบบงานประมวลผลข้อมูล IoT โดยใช้บริการคลาวด์ มีความคล่องตัวสูงในการจัดหาและจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็น โดยเฉพาะการสร้างระบบเครือข่าย การจัดให้มีพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและทรัพยากรคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสำหรับประมวลผลข้อมูล และการใช้ขีดความสามารถของบริการคลาวด์นั้นๆ เช่น บริการระบบคลังข้อมูล (Cloud Data Warehouse) และบริการจัดเก็บข้อมูล (Cloud Object Storage) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับฝึกสอนตัวจำแนก

โครงสร้างระบบคลังข้อมูลที่รับข้อมูลเข้าจากอุปกรณ์ภาคสนามแล้วแปลงรูปแบบข้อมูลให้เป็นสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้งาน ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากโครงการนี้ สามารถใช้เป็นต้นแบบหรือนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับวัตถุประสงค์หรือภารกิจอื่นนอกเหนือจากการใช้ข้อมูลสำหรับการรายงานและเฝ้าระวังคุณภาพผิวดิน โดยประสบการณ์จากการออกแบบและทดสอบระบบนี้ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติและลักษณะการใช้งานเทคโนโลยีทางซอฟต์แวร์และระบบเครือข่ายที่เหมาะสม

การเทียบวัดพิกัดอ้างอิงของข้อมูล GPS จากอุปกรณ์ภาคสนาม กับเส้นถนนในฐานะข้อมูลแผนที่พื้นฐานเพื่อวัดค่าคุณภาพของผิวดิน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องกับแผนที่และพิกัดจริงวัดของเส้นถนน ที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของแต่ละหน่วยงานที่จะนำข้อมูลไปใช้งาน การประมวลผลข้อมูล GPS บนคลาวด์มีความสะดวกเพราะเป็นการรวบรวมความต้องการประมวลผลข้อมูลไว้ที่เดียวกัน อย่างไรก็ตาม ความสะดวกด้านสมบูรณ์ของชุดข้อมูลที่ระบบประกอบเป็นสารสนเทศสำหรับจัดเก็บในคลังข้อมูลเพื่อนำไปใช้ให้บริการ แปรผันตรงกับความครบถ้วนถูกต้องของฐานข้อมูลเส้นถนนที่ใช้ข้อมูลแผนที่พื้นฐาน และคุณภาพของข้อมูลเชิงตำแหน่งจากอุปกรณ์ภาคสนาม

นอกจากนี้ความต้องการข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมสามารถใช้ข้อมูลจากบริการแผนที่เชิงพาณิชย์ประกอบได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โครงสร้างการประมวลผลยังจำเป็นต้องใช้ควบคุมการเตรียมข้อมูลและบริหารจัดการข้อมูลโดยเฉพาะ สำหรับแต่ละพื้นที่เป้าหมาย

การใช้บริการคลาวด์เป็นแกนหลักของระบบงานสามารถจัดให้มีการทำงานร่วมกันของบุคลากรจำนวนมากและจากหลายสังกัดหน่วยงานได้ แต่จำเป็นต้องมีการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงทรัพยากร การควบคุมบัญชีผู้ใช้งาน และการระบุตัวตนผู้ใช้งาน อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันการดำเนินการส่วนนี้ทำแบบเฉพาะกิจ (ad-hoc) ทำให้โครงสร้างด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบสารสนเทศของโครงการมีความซับซ้อนเกิดขึ้น

ทรัพยากรคลาวด์ที่มีการใช้บริการอยู่จำเป็นต้องมีการควบคุมและเฝ้าติดตาม เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายรายเดือนซึ่งกระทบงบประมาณที่ได้รับจัดสรรโดยตรง ดังนั้นหากขาดการสนับสนุนงบประมาณที่เหมาะสมและต่อเนื่อง โดยเฉพาะเมื่อโครงการสิ้นสุดแล้วและขาดความชัดเจนในความต้องการและเป้าหมายของการดำเนินโครงการต่อ จำเป็นต้องมีการโยกย้ายข้อมูลและการตั้งค่าของระบบเครือข่ายออกจากบริการคลาวด์ เพื่อจัดเก็บลงในอุปกรณ์เก็บข้อมูลถาวรหรือคลังข้อมูล (Archive) ที่ศูนย์ข้อมูลภายใต้หน่วยงานเจ้าของข้อมูลและระบบ

7.8 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

การนำโครงสร้างของสถาปัตยกรรมคลาวด์นี้ ไปใช้ให้บริการภายใต้สภาพแวดล้อมจริง โดยขยายการรองรับผู้ใช้งาน และพร้อมให้บริการปรับปรุงคุณภาพข้อมูล หรือรูปแบบการนำเสนอข้อมูล เพื่อให้สามารถบริการสารสนเทศได้อย่างเหมาะสมและทันเวลากับความต้องการของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย จำเป็นต้องมีการลงทุนในงบประมาณใช้จ่ายเพื่อจัดให้มีบริการนี้เกิดขึ้นในแต่ละท้องที่ และ มีการติดต่อประสานงานและมีการตอบจากเจ้าของพื้นที่และผู้เกี่ยวข้อง เพราะการจัดให้มีระบบสารสนเทศลักษณะนี้ให้บริการสำหรับแต่ละพื้นที่จึงจำเป็นต้องมีการจัดสรรงบประมาณระยะยาวในการพัฒนาปรับปรุงและดูแลให้พอเพียง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและจัดสร้างตัวชี้วัดความสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อให้สามารถกระจายหน้าที่ความรับผิดชอบไปยังแต่ละท้องที่จะได้จัดให้มีขอบเขตความรับผิดชอบที่ชัดเจนและจัดสรรการลงทุนทรัพยากรเพิ่มเติมได้อย่างคุ้มค่าเหมาะสม

นอกจากนี้ในความเกี่ยวข้องกับระบบโทรคมนาคม เนื่องจากสถาปัตยกรรมคลาวด์ของโครงการวิจัยนี้ใช้หลักการสื่อสารที่มุ่งเน้นการกระจายข้อมูลดิจิทัลสู่พื้นที่ คือให้บริการสารสนเทศที่ประมวลผลแล้วแก่เจ้าหน้าที่ประจำท้องถิ่นและใช้การรับเข้าข้อมูลดิบจากพื้นที่เป้าหมายโดยตรง โดยปริมาณการใช้ข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานที่เกิดขึ้นแปรผันตามปริมาณการใช้งานระบบ ดังนั้นคุณภาพของบริการโทรคมนาคมในแต่ละท้องถิ่นจึงมีผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของระบบนี้โดยตรง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยและเงื่อนไขที่สำคัญในเชิงเทคนิคทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม สำหรับการนำระบบนี้ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงให้เหมาะสมกับแต่ละท้องที่ในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Castro, J. Machado, M. Roggendorf, and H. Soller, “How to build a data architecture to drive innovation—today and tomorrow,” McKinsey Technology, Jun. 2020.
- [2] C. Chin, “The Rise and Fall of the OLAP Cube,” Jan. 30, 2020.
<https://www.holistics.io/blog/the-rise-and-fall-of-the-olap-cube/>
- [3] Dale Anderson and Kent Graziano, “Building a Governed Data Lake in the Cloud,” 2020.
- [4] Defence Geospatial Information Working Group, “Profile of ISO 19131 Geographic information – Data product specification,” Apr. 2018. [Online]. Available: <http://www.dgiwg.org/dgiwg/>
- [5] K. Devabhakthuni, B. Munukurthi, and S. Rodda, “Selection of Commercially Viable Areas for Taxi Drivers Using Big Data,” in *Smart Intelligent Computing and Applications*, vol. 105, S. C. Satapathy, V. Bhateja, and S. Das, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2019, pp. 517–525. doi: [10.1007/978-981-13-1927-3_55](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1927-3_55).
- [6] A. S. El-Wakeel, J. Li, M. T. Rahman, A. Noureldin, and H. S. Hassanein, “Monitoring road surface anomalies towards dynamic road mapping for future smart cities,” in *2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Montreal, QC, Nov. 2017, pp. 828–832. doi: [10.1109/GlobalSIP.2017.8309076](https://doi.org/10.1109/GlobalSIP.2017.8309076).
- [7] A. Finogeev, A. Finogeev, and S. Shevchenko, “Monitoring of Road Transport Infrastructure for the Intelligent Environment «Smart Road»,” in *Creativity in Intelligent Technologies and Data Science*, vol. 754, A. Kravets, M. Shcherbakov, M. Kultsova, and P. Groumpos, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 655–668. doi: [10.1007/978-3-319-65551-2_47](https://doi.org/10.1007/978-3-319-65551-2_47).
- [8] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data mining: concepts and techniques*, 3rd ed. Elsevier, 2012.

- [9] B. Heim, J. Klump, H. Oberhänsli, and N. Fagel, "Assembly and concept of a web-based GIS within the paleolimnological project CONTINENT (Lake Baikal, Russia)," *J Paleolimnol*, vol. 39, no. 4, pp. 567–584, May 2008, doi: [10.1007/s10933-007-9131-0](https://doi.org/10.1007/s10933-007-9131-0).
- [10] C. Homer and J. Fry, "The National Land Cover Database," U.S. Geological Survey U.S. Department of the Interior, Feb. 2012.
- [11] N. Kersting and Y. Zhu, "Crowd Sourced Monitoring in Smart Cities in the United Kingdom," in *Digital Transformation and Global Society*, vol. 858, D. A. Alexandrov, A. V. Boukhanovsky, A. V. Chugunov, Y. Kabanov, and O. Koltsova, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 255–265. doi: [10.1007/978-3-030-02843-5_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02843-5_20).
- [12] P. P. Khine and Z. S. Wang, "Data lake: a new ideology in big data era," *ITM Web Conf.*, vol. 17, p. 03025, 2018, doi: [10.1051/itmconf/20181703025](https://doi.org/10.1051/itmconf/20181703025).
- [13] B. Kolanowski, J. Augustyniak, and D. Latos, "Cartographic Line Generalization Based on Radius of Curvature Analysis," *IJGI*, vol. 7, no. 12, p. 477, Dec. 2018, doi: [10.3390/ijgi7120477](https://doi.org/10.3390/ijgi7120477).
- [14] D. Li, C. Wang, Q. Wang, T. Yan, W. Bing, and J. Wang, "Grazing trajectory statistics and visualization platform based on cloud GIS," *J Cloud Comp*, vol. 9, no. 1, p. 59, Dec. 2020, doi: [10.1186/s13677-020-00184-9](https://doi.org/10.1186/s13677-020-00184-9).
- [15] Y. Long and X. Liu, "Automated identification and characterization of parcels (AICP) with OpenStreetMap and Points of Interest," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 43, no. 2, pp. 341–360, 2016.
- [16] Margy Ross and Ralph Kimball, *The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling*, 3rd ed. Wiley, 2013.
- [17] Matillion Ltd., "Essential Guide to Data Lakes." 2019.
- [18] National Institute for Space Research (INPE), Brazil, "Brazilian Earth Observation Data Cube using AWS for Land Use and Cover Change." National Institute for Space Research (INPE), Brazil, 2019. [Online]. Available:

https://www.earthobservations.org/documents/aws/brazil_2019_data_cube_land_use_aws_proposal.pdf

[19] M. Perttunen *et al.*, “Distributed Road Surface Condition Monitoring Using Mobile Phones,” in *Ubiquitous Intelligence and Computing*, vol. 6905, C.-H. Hsu, L. T. Yang, J. Ma, and C. Zhu, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 64–78. doi: [10.1007/978-3-642-23641-9_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23641-9_8).

[20] B. W. Piyasak Thiandee, “AN EXPERIMENT ON MEASUREMENT OF PAVEMENT ROUGHNESS VIA ANDROID-BASED SMARTPHONES,” *International Transaction Journal of Engineering, Management, p. 10A09G: 19*, 2019, doi: [10.14456/ITJEMAST.2019.114](https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2019.114).

[21] F. Ramm, “OpenStreetMap Data in Layered GIS Format.” Jan. 13, 2020.

[22] P. Russom, “Data Lakes: Purposes, Practices, Patterns, and Platforms,” Talend, 2017.

[23] A. I. Sarwat, A. Sundararajan, and I. Parvez, “Trends and Future Directions of Research for Smart Grid IoT Sensor Networks,” in *Proceedings of International Symposium on Sensor Networks, Systems and Security*, N. S. V. Rao, R. R. Brooks, and C. Q. Wu, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 45–61. doi: [10.1007/978-3-319-75683-7_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75683-7_4).

[24] P. Sawadogo and J. Darmont, “On data lake architectures and metadata management,” *J Intell Inf Syst*, vol. 56, no. 1, pp. 97–120, Feb. 2021, doi: [10.1007/s10844-020-00608-7](https://doi.org/10.1007/s10844-020-00608-7).

[25] H. Schafer, E. Santana, A. Haden, and R. Biasini, “A Commute in Data: The comma2k19 Dataset,” *arXiv:1812.05752 [cs]*, Dec. 2018, Accessed: Feb. 12, 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1812.05752>

[26] D. Sculley *et al.*, “Machine Learning: The High-Interest Credit Card of Technical Debt,” in *SE4ML: Software Engineering for Machine Learning*, 2014, p. 9.

[27] K. Stolze, “SQL/MM Spatial: The Standard to Manage Spatial Data in Relational Database Systems,” Gesellschaft für Informatik eV, 2003.

- [28] G. Szwoch, “Combining Road Network Data from OpenStreetMap with an Authoritative Database,” *J. Transp. Eng., Part A: Systems*, vol. 145, no. 2, p. 04018085, Feb. 2019, doi: [10.1061/JTEPBS.0000215](https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000215).
- [29] P. J. G. Teunissen and O. Montenbruck, Eds., *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: [10.1007/978-3-319-42928-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42928-1).
- [30] J. Topf, “OSM Data Processing with PostgreSQL / PostGIS,” 2019.
- [31] D. Q. Tu, A. S. M. Kayes, W. Rahayu, and K. Nguyen, “IoT streaming data integration from multiple sources,” *Computing*, vol. 102, no. 10, pp. 2299–2329, Oct. 2020, doi: [10.1007/s00607-020-00830-9](https://doi.org/10.1007/s00607-020-00830-9).
- [32] S. Verhagen and P. J. G. Teunissen, “Least-Squares Estimation and Kalman Filtering,” in *Springer handbook of global navigation satellite systems*, Springer, 2017, pp. 639–660.
- [33] Q. Xu, K. M. M. Aung, Y. Zhu, and K. L. Yong, “Building a large-scale object-based active storage platform for data analytics in the internet of things,” *J Supercomput*, vol. 72, no. 7, pp. 2796–2814, Jul. 2016, doi: [10.1007/s11227-016-1621-2](https://doi.org/10.1007/s11227-016-1621-2).
- [34] กระทรวงอุตสาหกรรม, *ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2469 (พ.ศ.2549)*. 2549.
- [35] ว. เกียรติโกมล and อ. พูลสุวรรณ, “โครงการศึกษาความสัมพันธ์และคาดการณ์ระหว่างความเร็ว และ อุบัติเหตุสำหรับทางด่วนและมอเตอร์เวย์ในประเทศไทย,” *มูลนิธิไทยโรดส์*, 2557.
- [36] ว. คชนานนท์, “การประเมินความจุของทางหลวง จากรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและอัตราไหล: กรณีศึกษาถนนธนรัชต์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา,” *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*, 2554.
- [37] พ. ฉิมดอนทอง, “การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้บริการน้ำมันบนอุปกรณ์ สมาร์ทโฟนและระบบแผนที่ออนไลน์,” *มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 2560.
- [38] ม. บุรณรัช, “มาตรฐานและแนวปฏิบัติสำหรับการเปิดเผยข้อมูลภาครัฐ,” presented at the *หลักสูตร CIO รุ่นที่ 28*, 2559.

[39] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, “โครงการพัฒนาแบบจำลองยี่ห้อความละเอียดสูงของประเทศไทย,” กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย, 2560.

[40] สถาบันการขนส่ง ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “โครงการพัฒนาระบบสารสนเทศ ด้านอำนวยความสะดวก (ระยะที่ 1),” กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2557.

[41] สถาบันการขนส่ง ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “โครงการพัฒนาระบบบริหารจัดการความปลอดภัยทางถนน สำหรับกรมทางหลวง (ระยะที่ 1),” สำนักอำนวยความสะดวก กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2558.

[42] สถาบันการขนส่ง ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, “โครงการพัฒนาระบบบริหารจัดการความปลอดภัยทางถนน สำหรับกรมทางหลวง (ระยะที่ 2),” สำนักอำนวยความสะดวก กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2560.

[43] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), “ข้อกำหนดของมาตรฐานโครงสร้าง เนื้อหา คุณลักษณะ คุณภาพ ของชุดข้อมูลภูมิศาสตร์พื้นฐาน (Fundamental Geographic Data Set: FGDS),” เล่มที่ 2, 2557.

บทที่ 8 การเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างสำหรับสร้างตัวจำแนกในพื้นที่เป้าหมายของโครงการ

ทางคณะวิจัย ได้มีการออกสำรวจพื้นที่จริง เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลสภาพผิวถนน เพื่อใช้ในการทดสอบระบบสำรวจและเก็บข้อมูล รวมถึงระบบบริหารจัดการเก็บข้อมูล เพื่อตรวจสอบหาข้อผิดพลาดก่อนที่จะนำระบบสำรวจและจัดเก็บข้อมูลไปใช้ในการเก็บข้อมูลไปใช้จริง เพื่อรวบรวมข้อมูลมาพัฒนาตัวจำแนกสภาพผิวถนนอัจฉริยะในขั้นตอนถัดไปของโครงการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในพื้นที่เป้าหมายของโครงการ มี 2 พื้นที่ โดยมุ่งเน้นเส้นทางที่มีความผิดปกติมากเป็นพิเศษและมีความผิดปกติหลายประเภทหนาแน่นอยู่ในพื้นที่เดียวกัน รายละเอียดดังนี้

8.1 พื้นที่เก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในกรุงเทพฯ

8.1.1 เขตปทุมวัน

ทางคณะวิจัยได้ออกสำรวจพื้นที่ในเขตปทุมวัน ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 8-1

ตารางที่ 8-1 ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร
เขตปทุมวัน

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|---|--|---------------|--|
| ถนนวิฑูรย์ ตั้งแต่แยกสารสิน ถึง แยกพระราม 4 จาก ตำแหน่ง (13.734108138046055, 100.5458590808946) ถึง (13.726406096994703, 100.54459307834378) | ช่องทางซ้ายทางมีฝา ท่ระบายน้ำที่ไม่ เรียบตลอดทั้ง เส้นทาง | 0.81 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 83.73 MB |
| ถ.นาราธิวาส ตั้งแต่ แยกสารธร ถึง แยกพระราม 3 จาก ตำแหน่ง (13.721757651983163, 100.53041492161603) ถึง (13.707082136745646, 100.53783927555813) | มีแผลจากการขูดซ่อม ถนนที่เกี่ยวไม่ เรียบร้อยจำนวนมาก และบางช่วงผิวจราจร เสียหายเป็นหลุม อย่างหนัก | 2.68 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 323.24 MB |

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|--|--|---------------|---|
| ชอยปลุกจิต ต่อด้วยชอยสนาม คลี ตั้งแต่ปากชอยปลุกจิตบน ถนนพระราม 4 ถึง ปากชอย สนามคลีบนถนนวิฑู จาก ตำแหน่ง (13.724655123940755, 100.54870758559188) ถึง (13.732200890190269, 100.54572496952233) | บางช่วงผิวจราจร เสียหายเป็นหลุม อย่างมาก และมีลูก ระนาดชำรุดทั้ง เส้นทาง | 1.45 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 121.78MB |

8.1.2 เขตคลองสาน

ทางคณะวิจัยได้ออกสำรวจพื้นที่ในเขตคลองสาน ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 8-2
ตารางที่ 8-1

ตารางที่ 8-2 ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร
เขตคลองสาน

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|--|---|---------------|---|
| ถนนกรุงธนบุรี ตั้งแต่ สะพาน ตากสิน ถึง แยกรัชดา จาก ตำแหน่ง (13.719735653920905, 100.51108692115375) ถึง (13.71590006334971, 100.47937248272778) | เป็นถนนที่มีผู้ใช้มาก และมีหลุมเป็นช่วง ๆ | 4.61 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 653.25MB |

8.1.3 เขตจอมทอง

ทางคณะวิจัยได้ออกสำรวจพื้นที่ในเขตจอมทอง ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 8-3
**ตารางที่ 8-3 ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร
 เขตจอมทอง**

| เส้นทาง | ความ น่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|---|---|---------------|---|
| ถนนพระราม 3 ตั้งแต่ แยกรัชดา ถึง แยกท่าพระ จาก ตำแหน่ง (13.716004292215535, 100.47898624402201) ถึง (13.729386889639795, 100.47409389518157) | บางช่วงผิวจราจร เสียหายเป็นหลุม อย่างหนัก | 1.63 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 211.38MB |

8.1.4 เขตภาษีเจริญ

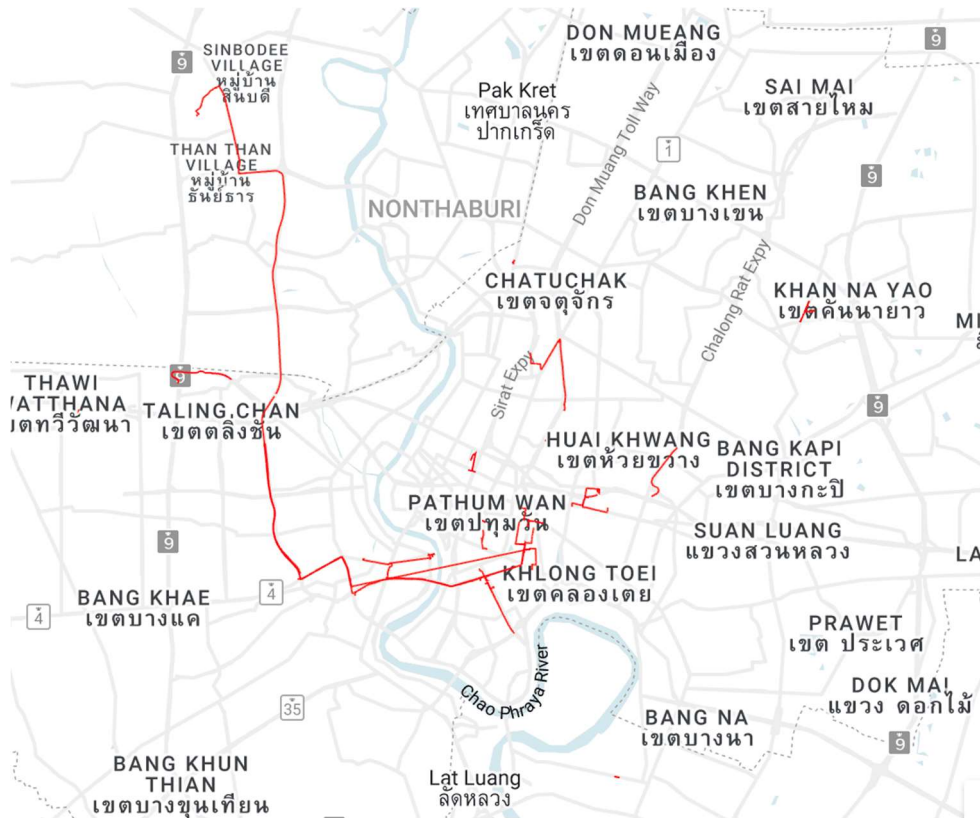
ทางคณะวิจัยได้ออกสำรวจพื้นที่ในเขตภาษีเจริญ แสดงดังภาพที่ 8-1 และภาพที่ 8-2 ข้อมูลที่ได้จากการ
 เก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่ 8-4

**ตารางที่ 8-4 ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดกรุงเทพมหานคร
 เขตภาษีเจริญ**

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|--|---|---------------|---|
| ถนนราชพฤกษ์ ตั้งแต่แยกบาง หว้าตัดกับถนนเพชรเกษม ถึง แยกตัดกับถนนราชชนนี จาก ตำแหน่ง ถึง | เป็นถนนที่มีผู้ใช้มาก และมีหลุมเป็นช่วง ๆ | 6.64 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 982.44MB |



ภาพที่ 8-1 การเก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในเขตกรุงเทพฯ



ภาพที่ 8-2 แผนที่จากพิกัด GPS ของอุปกรณ์ ที่วิ่งเก็บข้อมูลในพื้นที่ จ.กรุงเทพมหานคร

8.2 พื้นที่เก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในจังหวัดภูเก็ต

8.2.1 ตำบลกะทู้ อำเภอกะทู้

ทางคณะวิจัยได้ออกสำรวจพื้นที่ในตำบลกะทู้ อำเภอกะทู้ ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล แสดงดังตารางที่

8-5

ตารางที่ 8-5 ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดภูเก็ต ตำบลกะทู้

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|--|--|---------------|---|
| ถนนพระภูเก็ตแก้ว จาก ตำแหน่ง (7.908420018379589, 98.34773827507601) ถึง (7.91073017477867, 98.3337588004464) | ถนนที่มีปัญหา เกี่ยวกับฟาทอระบาย น้ำ | 2.05 km | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 215.76MB |
| ถนนเจ้าฟ้าตะวันตก จาก ตำแหน่ง (7.864405185051282, 98.34728399261793) ถึง (7.868775129228173, 98.35716127847819) ไปยังถนนหมายเลข 4010 จาก ตำแหน่ง (7.868775129228173, 98.35716127847819) ถึง (7.893530299117828, 98.35392692869118) | ถนนที่เป็นเส้นทาง หลักในการเดินทาง ของนักท่องเที่ยว ซึ่ง ปัจจุบันมีการซ่อม บำรุง | 5.48 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 575.4MB |
| ถนนวิชิตสงคราม จาก ตำแหน่ง (7.899406149332077, 98.35107218210695) ถึง | ถนนที่เป็นเส้นทาง หลักในการเดินทาง ของประชาชนไปยัง ตัวเมือง ซึ่งปัจจุบันมี | 7.52 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 719.28MB |

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|---|--|---------|--------------------------|
| (7.890171158003399, 98.36738001291333) | การซ่อมบำรุงและมี ปัญหาเกี่ยวกับฝาท่อ ระบายน้ำ | | |

8.2.2 ตำบลป่าตอง อำเภอกะทู้

ทางคณะวิจัยได้ออกสำรวจพื้นที่ในตำบลป่าตอง อำเภอกะทู้ ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล แสดงดังตาราง
ที่ 8-6

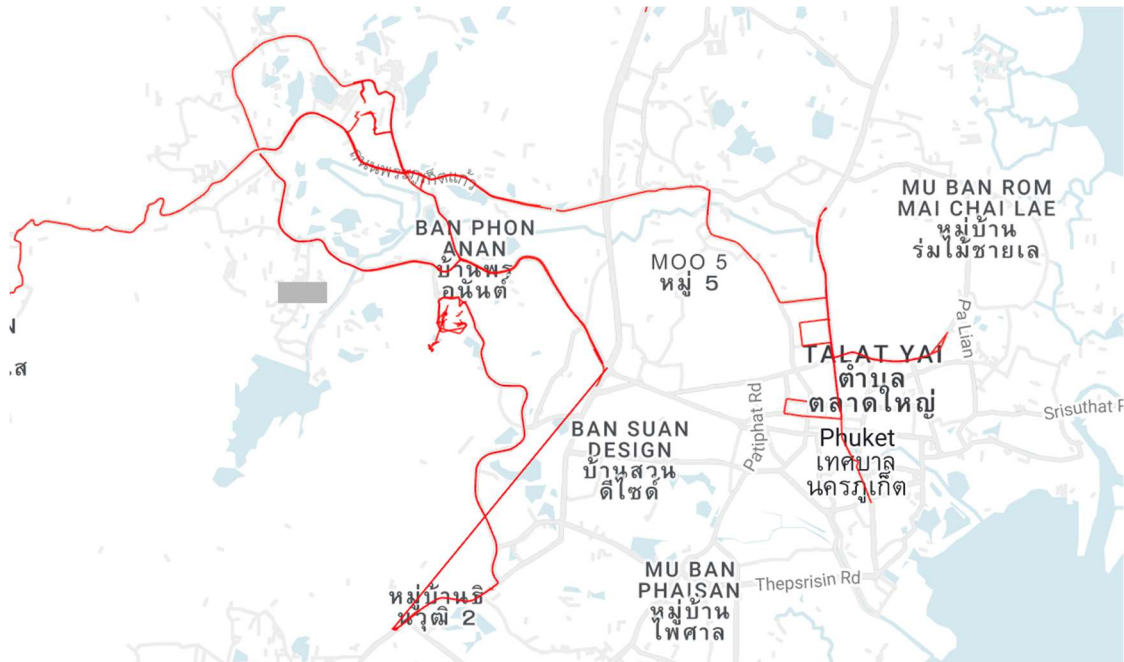
ตารางที่ 8-6 ชุดข้อมูลในการพัฒนาตัวจำแนก จากการเก็บข้อมูลในจังหวัดภูเก็ต ตำบลป่าตอง

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|--|--|---------------|---|
| ถนนหมายเลข 4209 จาก ตำแหน่ง (7.910495898201672, 98.3332660134141) ถึง (7.902509153367609, 98.30997719967482) ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร | ถนนที่เป็นเส้นทางหลัก ในการเดินทางของ นักท่องเที่ยว ซึ่ง ปัจจุบันมีการซ่อม บำรุง | 3.56 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 359.64MB |
| ถนนพระบรมมี จากตำแหน่ง (7.902482853010197, 98.30986719640914) ถึง (7.906209972715732, 98.29768338543032) | ถนนที่เป็นเส้นทางหลัก ในการเดินทางของ นักท่องเที่ยว ซึ่ง ปัจจุบันมีการซ่อม บำรุง | 1.51 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 143.84MB |
| ถนนทวิวงศ์ จากตำแหน่ง (7.90609431673212, 98.29738485097853) ถึง | ถนนเลียบชายหาดที่มี ความสำคัญต่อ ภาพลักษณ์การ ท่องเที่ยวของจังหวัด | 2.27 กิโลเมตร | - Session File - วิดีโอไฟล์ ขนาดของวิดีโอไฟล์ ประมาณ 265.56MB |

| เส้นทาง | ความน่าสนใจ | ระยะทาง | ข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ |
|---|-------------|---------|--------------------------|
| (7.887369975748805, 98.29118412662868) | | | |



ภาพที่ 8-3 การเก็บข้อมูลตัวอย่างสำหรับการสร้างตัวจำแนกในจังหวัดภูเก็ต



ภาพที่ 8-4 แผนที่ ซึ่งสร้างจากพิกัด GPS ของอุปกรณ์ ที่วิ่งเก็บข้อมูลในพื้นที่ จ.ภูเก็ต

8.3 สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

จากการดำเนินโครงการ คณะวิจัยพบว่าการลงพื้นที่เก็บข้อมูล โดยมีระบบการส่งข้อมูลขึ้นมาจัดเก็บที่คลาวด์เพื่อจัดเก็บและทำการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การดำเนินการวิจัยได้เป็นวงกว้างในเชิง

พื้นที่ และรองรับการทำงานแบบกระจายตัว สามารถลงทะเบียนข้อมูลได้พร้อมกันหลายทีมหลายพื้นที่ อย่างไรก็ตามการปฏิบัติการลักษณะดังกล่าว จำเป็นต้องมีการวางแผนดำเนินงานและประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเตรียมกระบวนการนำข้อมูลไปใช้ต่อให้ชัดเจน รวมถึงกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบสำหรับการดูแลจัดการและรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่ได้รับเข้าระบบมาแล้ว และแผนการจัดเก็บข้อมูลในระยะยาว ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดสรรงบประมาณหรือถ่ายโอนข้อมูลออกจากคลาวด์เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้ว

จากการสุ่มตรวจข้อมูล พบว่าวิธีการใช้งานข้อมูลพิกัด GPS จากอุปกรณ์ Android สำหรับเป็นข้อมูลอ้างอิง พิกัดที่ตั้งของถนนเส้นต่าง ๆ นั้นมีระดับความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่ และจำเป็นต้องอาศัยฐานข้อมูลเส้นถนนที่ครบถ้วนจากชุดแผนที่ของทางการ หรือเทคนิคประมวลผลเพิ่มเติม เพื่อนำไปใช้งานสำหรับวัตถุประสงค์ในการอ้างอิงตำแหน่งผิวถนนที่จะทำการรายงานความผิดปกติได้

8.4 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

ข้อมูลที่ได้รับเข้าสู่ระบบ และได้นำไปใช้ฝึกสอนตัวจำแนก เป็นเพียงส่วนหนึ่งของชุดข้อมูลที่ได้รวบรวมตลอดโครงการวิจัย และระบบรวบรวมข้อมูลนี้ยังสามารถรองรับ ขั้นตอนวิธีการออกสำรวจ เก็บข้อมูลเส้นทางพร้อมวิดีโอ เพื่อให้ได้ข้อมูลตำแหน่งและรูปภาพของเส้นทางที่อุปกรณ์เดินทางผ่าน แล้วนำมารวบรวมเป็นฐานข้อมูลกลางสำหรับแต่ละพื้นที่ หรือแต่ละหน่วยงาน ได้อย่างสะดวก

การพัฒนาในอนาคตสามารถ เพิ่มจำนวน sensor ที่ติดตั้งในอุปกรณ์, ระบบการวางแผนการสำรวจ, และระบบการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลที่ได้จัดเก็บ เพื่อให้ชุดข้อมูลมีความละเอียดครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และเพื่อให้การปฏิบัติการสำรวจเก็บข้อมูลดำเนินงานได้อย่างเป็นระบบและรองรับกับความต้องการใช้งานในโครงการเก็บข้อมูลอื่น ๆ ได้

บทที่ 9 การเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพ

9.1 ที่มาและความจำเป็นของการเตรียมข้อมูลก่อนนำไปประมวลผล

จากแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder ที่ทางทีมผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้น ทางคณะวิจัยได้นำแอปพลิเคชันไปติดตั้งภายในรถที่ต้อง โดยจะมีการติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังภาพที่ 9-1



(a) The left side



(b) The front side

ภาพที่ 9-1 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในรถที่ใช้เก็บข้อมูล

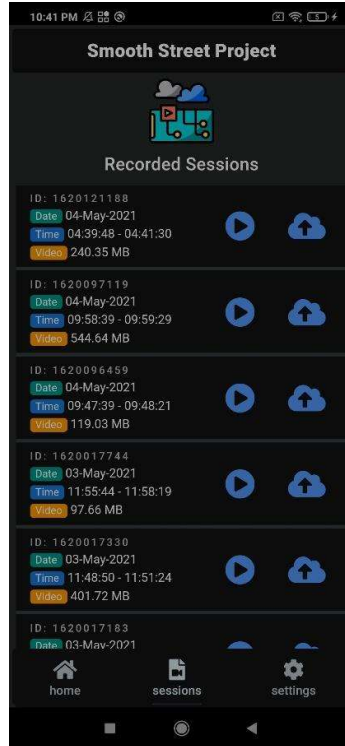
จากภาพที่ 9-1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์อันประกอบด้วย (i) แอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder ที่มีการติดตั้งบนโทรศัพท์มือถือ (ii) ตัวยึดโทรศัพท์มือถือกับกระจก และเพื่อป้องกันไม่ให้โทรศัพท์สั่นทำให้ภาพวิดีโอที่บันทึกมานั้นเบลอลงและไม่สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลขั้นถัดไปได้ จึงต้องมีการยึดอุปกรณ์โดยใช้ตัวยึด 2 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 9-1

เมื่อได้ภาพจาก แอปพลิเคชัน Smooth Street แล้วก่อนที่จะนำข้อมูลวิดีโอไปพัฒนาโมเดลเพื่อใช้ในการตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนนได้นั้นจำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมของข้อมูลเสียก่อน โดยมีรายละเอียดของการประมวลผลเพื่อเตรียมความพร้อมดังแสดงในหัวข้อย่อยต่อไป

9.2 การรวบรวมข้อมูลจากโทรศัพท์

ผู้พัฒนาได้ทำการนำโทรศัพท์ที่ได้ติดตั้งแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder ใช้สำหรับเก็บและบันทึกข้อมูลเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลของเส้นทางจราจรในเส้นทางต่าง ๆ ทั้งในกรุงเทพฯ และต่างจังหวัด เช่น ภูเก็ตและชลบุรี เป็นต้น โดยข้อมูลที่ทำการรวบรวมมาจะประกอบไปด้วยข้อมูลการบันทึกวิดีโอและข้อมูล Sensor ด้วยโทรศัพท์แล้ว มีการอัดไฟล์วิดีโอ ที่มีนามสกุลเป็น MP4 และข้อมูลจาก Accelerometer ซึ่งเป็นข้อมูลจาก Sensor ที่มีนามสกุลเป็น JSON ขึ้นบน Cloud (Google Cloud Platform) โดยภาพที่ 9-2

แสดงไฟล์ JSON ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน ภาพที่ 9-3 ถึง ภาพที่ 9-5 แสดงไฟล์ MP4 ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน

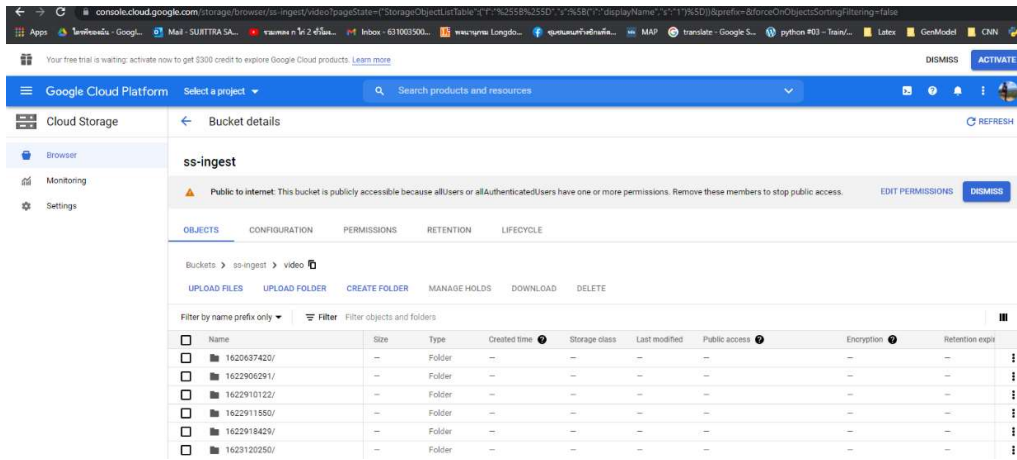


ภาพที่ 9-2 ไฟล์ที่ได้จากการบันทึกด้วยแอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder

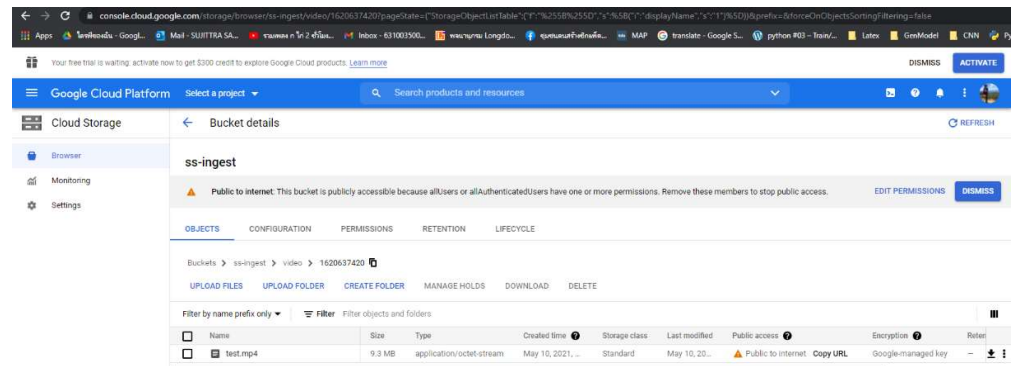
A screenshot of the Google Cloud Platform console showing the "Bucket details" page for a bucket named "ss-ingest" under the "json" folder. The table lists several JSON files with their names, sizes, types, creation times, storage classes, last modified dates, public access status, and encryption options.

| Name | Size | Type | Created time | Storage class | Last modified | Public access | Copy URL | Google | Encrypt |
|-------------------------|--------|------------------|------------------------|---------------|--------------------|--------------------|----------|--------|---------|
| session-1605784707.json | 1.7 MB | application/json | Jan 28, 2021, 11:35... | Standard | Jan 28, 2021, 1... | Public to internet | Copy URL | Google | Encrypt |
| session-1605784941.json | 4.9 MB | application/json | Jan 28, 2021, 11:35... | Standard | Jan 28, 2021, 1... | Public to internet | Copy URL | Google | Encrypt |
| session-1605785475.json | 2.6 MB | application/json | Jan 28, 2021, 11:35... | Standard | Jan 28, 2021, 1... | Public to internet | Copy URL | Google | Encrypt |
| session-1605785759.json | 2.2 MB | application/json | Jan 28, 2021, 11:35... | Standard | Jan 28, 2021, 1... | Public to internet | Copy URL | Google | Encrypt |
| session-1605785997.json | 3.4 MB | application/json | Jan 28, 2021, 11:35... | Standard | Jan 28, 2021, 1... | Public to internet | Copy URL | Google | Encrypt |
| session-1605786358.json | 2.8 MB | application/json | Jan 28, 2021, 11:35... | Standard | Jan 28, 2021, 1... | Public to internet | Copy URL | Google | Encrypt |

ภาพที่ 9-3 ไฟล์ JSON ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน



ภาพที่ 9-4 ไฟล์ MP4 ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน



ภาพที่ 9-5 ไฟล์ MP4 ที่มีการอัปโหลดขึ้น Google Cloud แล้วบางส่วน (ต่อ)

เพื่อนำภาพวิดีโอที่ได้รวบรวมมาไปสร้างตัวจำแนกสำหรับตรวจจับความผิดปกติบนเส้นทางจราจร จำเป็นต้องมีการประมวลผลเพื่อแยกข้อมูลวิดีโอให้เป็นชุดของข้อมูลภาพ (Frame) ก่อน แล้วจึงนำภาพที่ได้ไปใช้ในกระบวนการถัดไป ซึ่งการแยก Frame อธิบายในหัวข้อ 9.3

9.3 การแยก Frame ภาพจากข้อมูลวิดีโอ

เมื่อได้ข้อมูลวิดีโอแล้ว การแยก Frame ภาพจากวิดีโอ สามารถกำหนดด้วยการเขียนโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ 9-6 กล่าวคือ ข้อมูลวิดีโอ 1 วินาที จะแยกภาพออกเป็นแต่ละเฟรม ได้ทั้งหมด 30 ภาพ

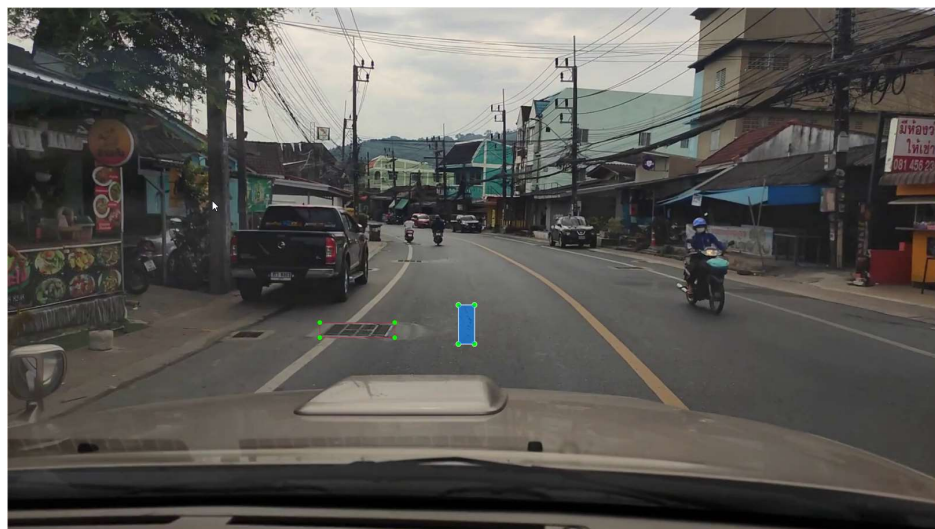
```
import cv2
lresize = False
#1
vidcap = cv2.VideoCapture('allvideo/session-1605784707.mp4')
count = 0
success = True
while success:
    success, image = vidcap.read()
    count += 1
    if count % 3 == 0:
        if success == True:
            cv2.imwrite("allvideo/session-1605784707-%d.jpg" % count, image, [cv2.IMWRITE_JPEG_QUALITY, 100])
            if cv2.waitKey(10) == 27 & cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'): # exit if Escape
                break
        else:
            break
```

ภาพที่ 9-6 Code ที่ใช้ในการแยก Frame

เนื่องจากจำนวนข้อมูลวิดีโอที่เก็บรวบรวมมาได้มีเยอะ และเมื่อมีการแยกเฟรมจะได้เฟรมที่ดี และภาพมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีการกำหนดจำนวนเฟรมที่ใช้ในการแยกเฟรมไว้ที่ 10 เฟรมต่อวินาที

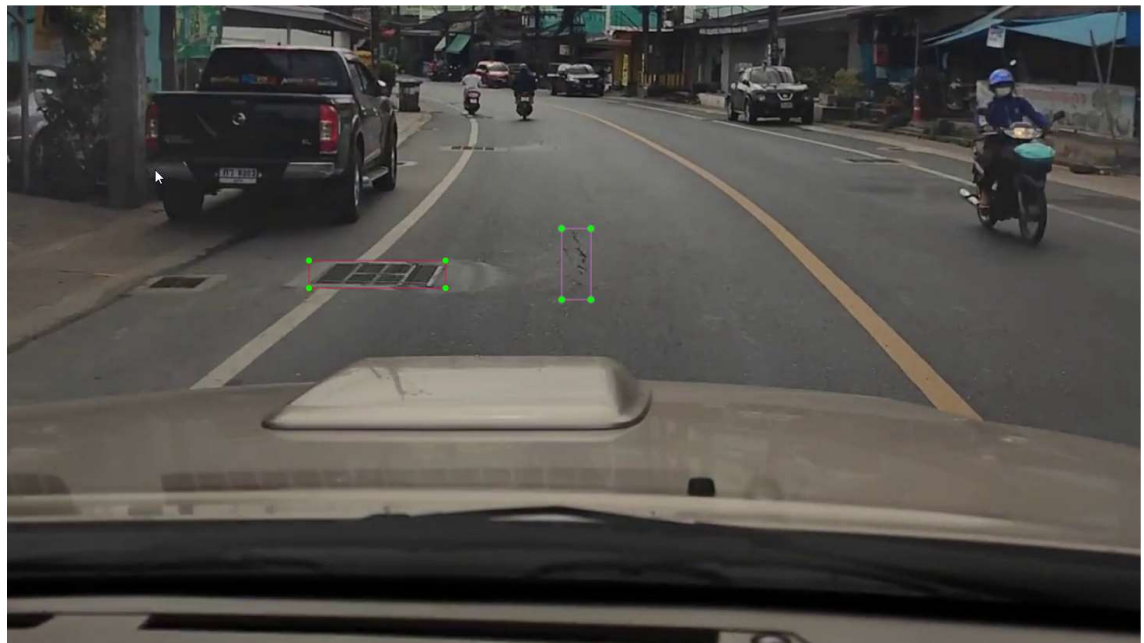
9.4 การตัดภาพส่วนที่ไม่ต้องการออก

เนื่องจากภาพที่ได้แยกเป็นเฟรมมาจากวิดีโอ นั้น จะมีบางส่วนของภาพที่ไม่มีองค์ประกอบของภาพที่สนใจ เช่น ท้องฟ้าเป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 9-7 แสดงตัวอย่างภาพที่ได้จากการแยกเฟรม



ภาพที่ 9-7 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการแยกเฟรม

จากตัวอย่างภาพที่ 9-7 แสดงให้เห็นภาพที่ได้จากการแยกเฟรม ซึ่งจะเห็นว่าภาพจะมีบริเวณของท้องฟ้าซึ่งไม่ใช่ผิวถนน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งที่น่าสนใจ ดังนั้นแสดงให้เห็นเพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการสร้างโมเดลสำหรับตรวจจบบความผิดปกติบนผิวถนนนั้นจึงมีการตัดส่วนของภาพที่ไม่มีสิ่งที่น่าสนใจออกดังแสดงในภาพที่ 9-8



ภาพที่ 9-8 ภาพตัวอย่างหลังจากตัดพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งที่น่าสนใจออก

9.5 อภิปรายและสรุปผล

เพื่อเตรียมความพร้อมของข้อมูลวิดีโอก่อนที่จะนำไปใช้ในการสร้างโมเดลต้องมีการเตรียมความพร้อมก่อนจะนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างโมเดลได้ ซึ่งจะมีขั้นตอนการแยกเฟรมภาพโดยในงานวิจัยนี้ ข้อมูลวิดีโอ 1 วินาทีจะแยกออกมาเป็นข้อมูลภาพได้ 10 ภาพ และมีการตัดส่วนของพื้นที่ที่ไม่มี ความผิดปกติ หรือไม่ได้ใช้ออก เช่น บริเวณท้องฟ้า เป็นต้น

บทที่ 10 การกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ

10.1 ที่มาและความสำคัญของการกำหนดความผิดปกติบนท้องถนน

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการตรวจจับสิ่งผิดปกติบนผิวถนน ซึ่งในบทนี้จึงจะกล่าวถึงการกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงความผิดปกติที่มีอยู่บนท้องถนน การเลือกความผิดปกติเพื่อใช้ในการวิจัย ลักษณะและแนวทางการกำหนดความผิดปกติที่สนใจ การใช้เครื่องมือประเภทในการกำหนดความผิดปกติที่สนใจให้กับข้อมูลวิดีโอที่รวบรวมมาเพื่อใช้ในการสร้างโมเดล และการอธิบายและสรุปผล ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ในหัวข้อย่อย 10.2 ถึง 10.4 ดังต่อไปนี้

10.2 ความผิดปกติที่สนใจ

ทางคณะวิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลสภาพเสียหายของผิวทางจราจร โดยอ้างอิงข้อมูลจากคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหาย ที่จัดทำโดย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง ซึ่งคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายดังกล่าว ได้มีการแบ่งประเภทของความเสียหายในแต่ละผิวทาง ดังต่อไปนี้

ประเภทและชนิดความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์

ลักษณะความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์พอจะแบ่งออกได้ตามชนิดเป็น 4 ประเภทหลัก คือ

1. รอยแตก (Crack)
2. การเสียรูปร่างหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Distortion or Deformation)
3. รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)
4. ความเสียหายอื่น ๆ (Miscellaneous Distress)

โดยในแต่ละประเภทความเสียหายสามารถแบ่งเป็นชนิดความเสียหายได้ ดังนี้

รอยแตก (Crack)

- รอยแตกหนังจระเข้ (Alligator Crack)
- รอยแตกตามขอบ (Edge Crack)
- รอยแตกสะท้อน (Reflection Crack)
- รอยแตกเป็นตาราง หรือรอยแตกจากการหดตัว (Block Crack or Shrinkage Crack)
- รอยแตกเลื่อนไถล (Slippage Crack)
- รอยแตกตรงขอบรอยต่อ (Edge Joint Crack)
- รอยแตกระหว่างช่องจราจร (Lane Joint Crack)

- รอยแตกการขยายคันทาง (Widening Crack)

การเสียรูปร่าง หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Distortion or Deformation)

- ร่องล้อ(Rutting)
- ผิวขรุขระเป็นลูกคลื่นคล้ายลูกกระนาค (Corrugation)
- การปูคูน (Shoving)
- การบวมตัว (Swell or Upheaval)
- การยุบตัวเป็นแอ่ง (Depression)
- การทรุดตัวขุดฝังสาธารณูปโภค (Utility Cut Depression)

รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)

- ผิวมวลรวมถูกขัดสีเป็นมัน (Polished Aggregate)
- การเยิ้ม (Bleeding)
- การหลุดล่อน (Raveling)
- หลุมบ่อ (Pothole)
- รอยปะซ่อม (Patching)

ความเสียหายอื่น ๆ (Miscellaneous Distress)

- ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration)
- การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop off)

ประเภทและชนิดความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

ลักษณะความเสียหายของผิวทางคอนกรีต พอจะแบ่งออกได้ตามชนิดเป็น 4 ประเภทหลัก คือ

1. รอยแตก (Crack)
2. ความเสียหายบริเวณรอยต่อ (Joint Deficiencies)
3. รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)
4. ความเสียหายอื่น ๆ (Miscellaneous Distress)

โดยในแต่ละประเภทความเสียหายสามารถแบ่งเป็นชนิดความเสียหายได้ ดังนี้

รอยแตก (Crack)

- รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack)

- รอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม (Transverse Crack and Diagonal Crack)
- รอยแตกที่มุม (Corner Crack)
- แผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab)
- ความเสียหายของระบบถ่ายน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint Load Transfer System Deterioration)
- รอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน (Durability “D” Crack)

ความเสียหายบริเวณรอยต่อ(Joint Deficiencies)

- ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
- รอยบิ่นกะเทาะที่มุม (Corner Spall)
- รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาว หรือรอยแตก (Transverse Joint Spall Longitudinal Joint Spall or Crack Spall)

รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)

- รอยแตกจากการหดตัว (Shrinkage Crack)
- ผิวแตกลายงาหรือผิวแตกร้าว (Map Cracking or Cracking)
- ผิวหลุดลอก (Scaling)
- ผิวรวมรวมถูกขัดสีเป็นมัน (Polished Aggregate)

ความเสียหายอื่น ๆ (Miscellaneous Distress)

- การโก่งงอ (Blow-up or Buckling)
- การอัดทะลัก (Pumping)
- รอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting)
- รอยแตกกระแทก (Punch-out)
- การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop off)
- การแยกตัวของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Separation)
- รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching)

ผลการศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการศึกษาเส้นทางในทางหลวงพื้นที่ควบคุมของแขวงชลบุรีที่ 1 จำนวน 18 สายทาง โดยมีระยะทาง 54.425 กิโลเมตร จากผลการศึกษาสัดส่วนความเสียหายของทางหลวง โดยแบ่งตามชนิดความเสียหาย พบว่า ชนิดความเสียหายประเภทรอยแตก (Crack) มีสัดส่วนมากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 88.12 ของชนิดความเสียหายทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 10-1 ตารางที่ 10-1 ผลการศึกษาความเสียหายบนทางหลวงในแขวงชลบุรีที่ 1 จำนวน 18 สายทาง

| ชนิดความเสียหาย | เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย |
|-------------------------------------|------------------------|
| รอยแตกตามยาว | 21.05% |
| รอยแตกตามขอบ | 18.42% |
| รอยแตกตรงขอบรอยต่อ | 18.42% |
| รอยแตกระหว่างช่องจราจร | 15.77% |
| รอยแตกตามขวางและรอยแตกตามแนวทแยงมุม | 11.84% |
| การยุบตัวเป็นแอ่ง | 6.58% |
| การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง | 5.26% |
| รอยแตกเป็นตาราง | 2.65% |
| รอยแตกหนึ่งจะเข้ | ไม่พบความเสียหาย |
| รอยแตกสะเกท่อน | ไม่พบความเสียหาย |
| รอยแตกเส้นไถล | ไม่พบความเสียหาย |
| รอยแตกการขยายคันทาง | ไม่พบความเสียหาย |
| รอยแตกจากการหดหัว | ไม่พบความเสียหาย |
| ผิวแตกลายงาหรือผิวแตกร้าว | ไม่พบความเสียหาย |
| ร่องล้อ | ไม่พบความเสียหาย |
| ผิวขรุขระเป็นลูกคลื่นคล้ายลูกกระนวด | ไม่พบความเสียหาย |
| การปูดนูน | ไม่พบความเสียหาย |
| การบวมตัว | ไม่พบความเสียหาย |
| การทรุดตัวจุดฝังเสาธาธารูปโภาค | ไม่พบความเสียหาย |
| ผิวมวลรวมถูกขีดสีเป็นมัน | ไม่พบความเสียหาย |
| การเยิ้ม | ไม่พบความเสียหาย |
| การหลุดล่อน | ไม่พบความเสียหาย |
| หลุมบ่อ | ไม่พบความเสียหาย |
| รอยปะซ่อม | ไม่พบความเสียหาย |
| ความเสียหายตามขอบ | ไม่พบความเสียหาย |

| ชนิดความเสียหาย | เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย |
|-----------------|------------------------|
| การโก่งงอ | ไม่พบความเสียหาย |

จากผลการศึกษาข้างต้นทางคณะวิจัยได้คัดเลือกชนิดของความเสียหายและจัดกลุ่มประเภทความเสียหายทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่

ประเภทความเสียหายในด้านโครงสร้าง (Structural Failure) ประกอบด้วย ความเสียหายชนิดหลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) ความเสียหายชนิดรอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) และความเสียหายตามขอบถนน (Edge Deterioration)

นอกจากนี้ยังมีความเสียหายในด้านการใช้งาน (Functional Failure) ซึ่งไม่จัดอยู่ในประเภทความเสียหายในด้านโครงสร้าง (Structural Failure) แต่สร้างผลกระทบต่อผู้ใช้งานถนน ในด้านความสะดวกสบายและความปลอดภัย ได้แก่ รอยปูดนูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) และฝาที่ระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole)

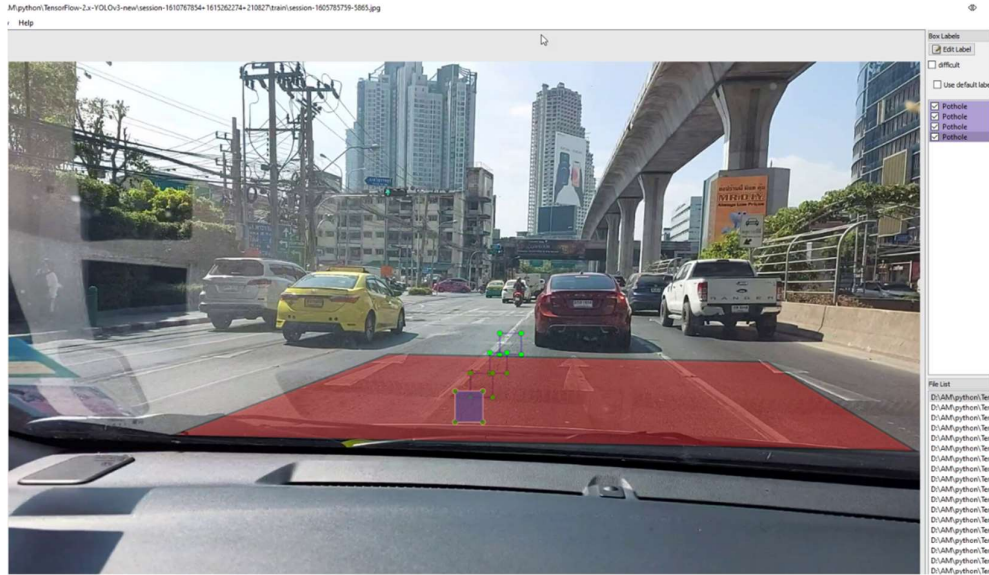
10.3 ลักษณะและแนวทางการกำหนดความผิดปกติที่สนใจ

จากที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 10.1 แล้วความผิดปกติบนถนนที่สนใจได้แก่ (1) ความเสียหายชนิดหลุมบ่อบนผิวถนน (2) ความเสียหายชนิดรอยแตกในช่องทางจราจร (3) ความเสียหายตามขอบถนน (4) รอยปูดนูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง และ (5) ฝาที่ระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร ก่อนที่จะนำข้อมูลภาพวิดีโอที่ได้แยกเฟรมไปใช้ในการสร้างโมเดลได้นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดความผิดปกติที่สนใจบนภาพเสียก่อน ซึ่งลักษณะและแนวทางในการกำหนดความผิดปกติที่สนใจสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

10.3.1 พื้นที่สนใจในการกำหนดความผิดปกติ

เนื่องจากภาพวิดีโอที่ได้อัปโหลดมาโดยการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลไว้ในห้องผู้โดยสาร และติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลไว้ในส่วนหน้า บริเวณกระจกหน้าภายในห้องผู้โดยสารนั้น ซึ่งข้อมูลภาพวิดีโอที่ได้จะมีพื้นที่ที่สนใจในบริเวณส่วนของหน้ารถเท่านั้น ดังนั้นวิธีการกำหนดพื้นที่สนใจในการกำหนดความผิดปกติสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

- วัตถุที่สนใจ ต้องอยู่บนถนนไม่เกิน 4 เซนติเมตร จากพื้นที่กระโปรงรถ ดังแสดงในภาพที่ 10-1 ซึ่งแสดงบริเวณพื้นที่ที่จะให้ความสนใจ แสดงในกรอบสีแดง

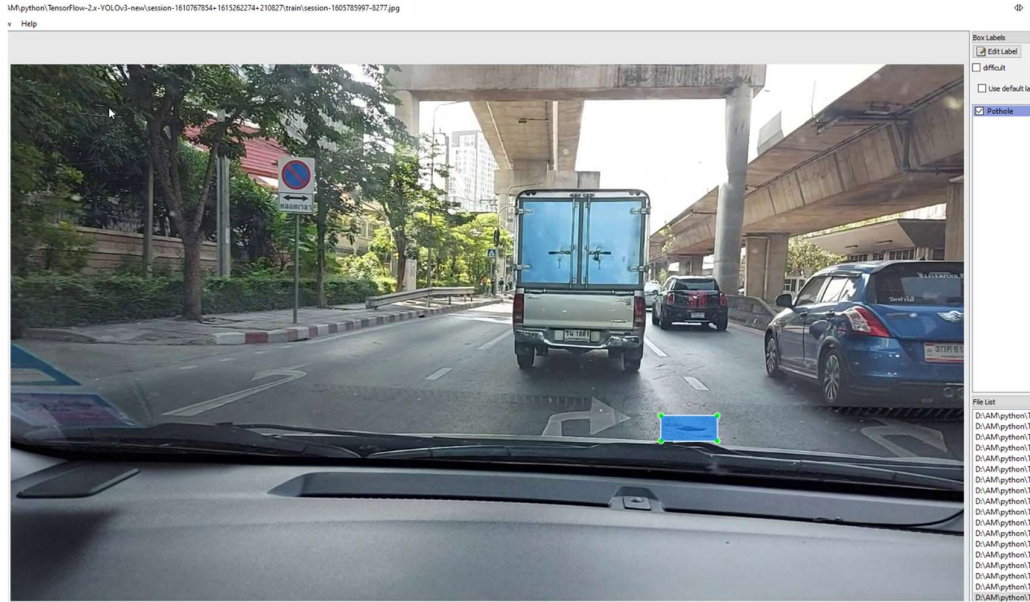


ภาพที่ 10-1 พื้นที่สนใจในการกำหนดความผิดปกติ

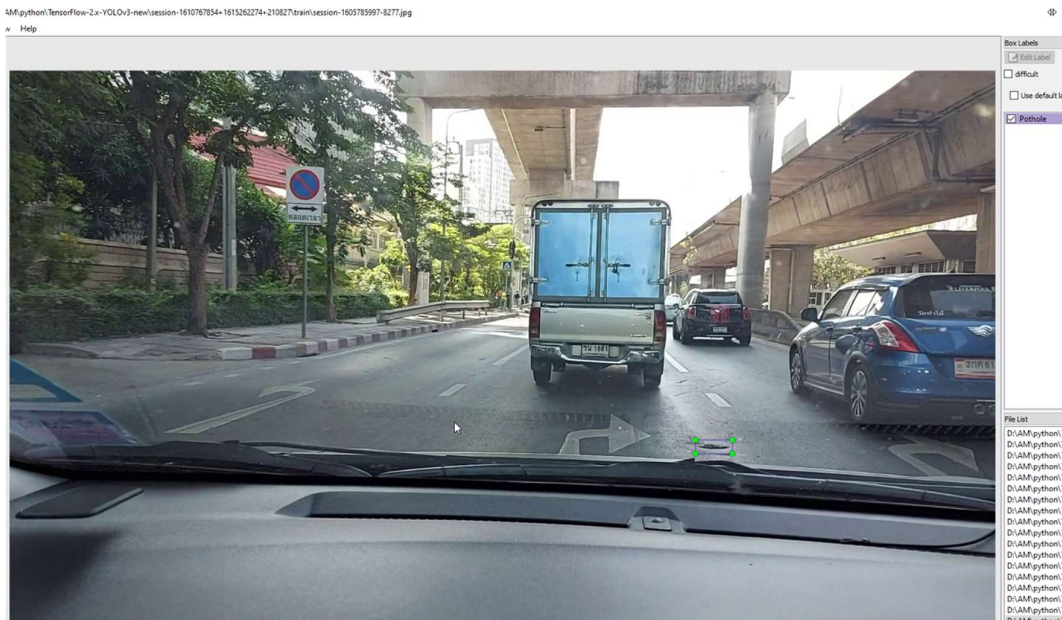
- ในการล้อมรอบ/ติกรอบ วัตถุที่สนใจ ต้องกำหนดให้พอดีกับกรอบ กรณีที่มีวัตถุที่สนใจในตำแหน่งใกล้เคียงกัน ไม่ควรกำหนดให้กรอบทับซ้อนกัน หรือทับซ้อนให้น้อยที่สุด
- วัตถุที่สนใจ ไม่แน่ใจ หรือมองเห็นไม่ชัด ไม่ต้องไม่ต้องการกำหนดความผิดปกติ

10.3.2 ตัวอย่างการกำหนดความผิดปกติที่ถูกและไม่ถูกต้อง

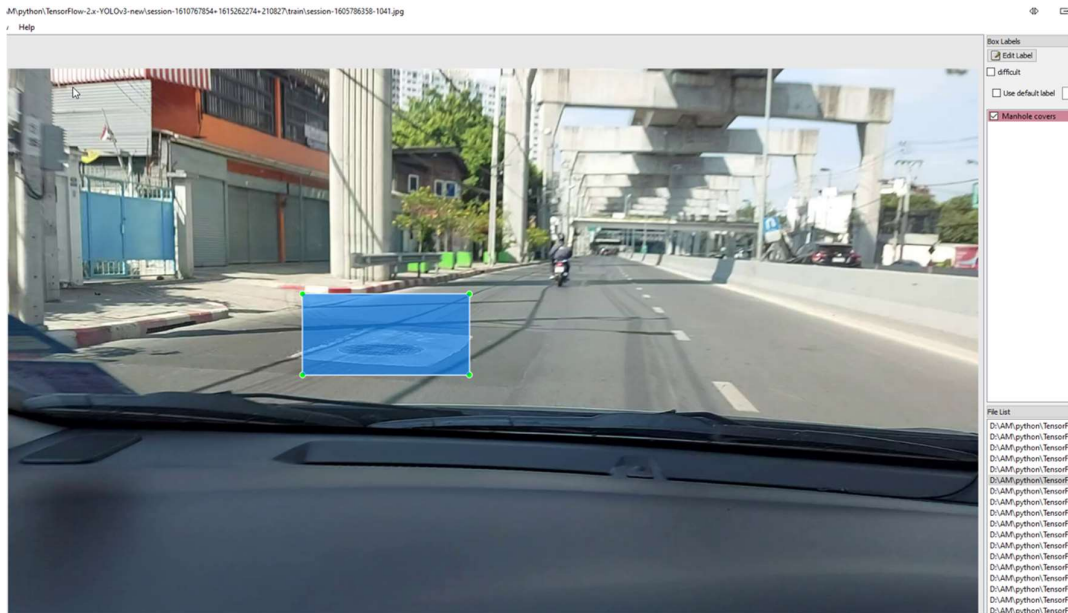
เพื่อให้ผู้ที่กำหนดความผิดปกติสามารถปฏิบัติการกำหนดได้ถูกต้องตรงกัน ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมการกำหนดความผิดปกติที่ถูกและไม่ถูกต้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติต่อไป ดังภาพที่ 10-2 ถึง ภาพที่ 10-24 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



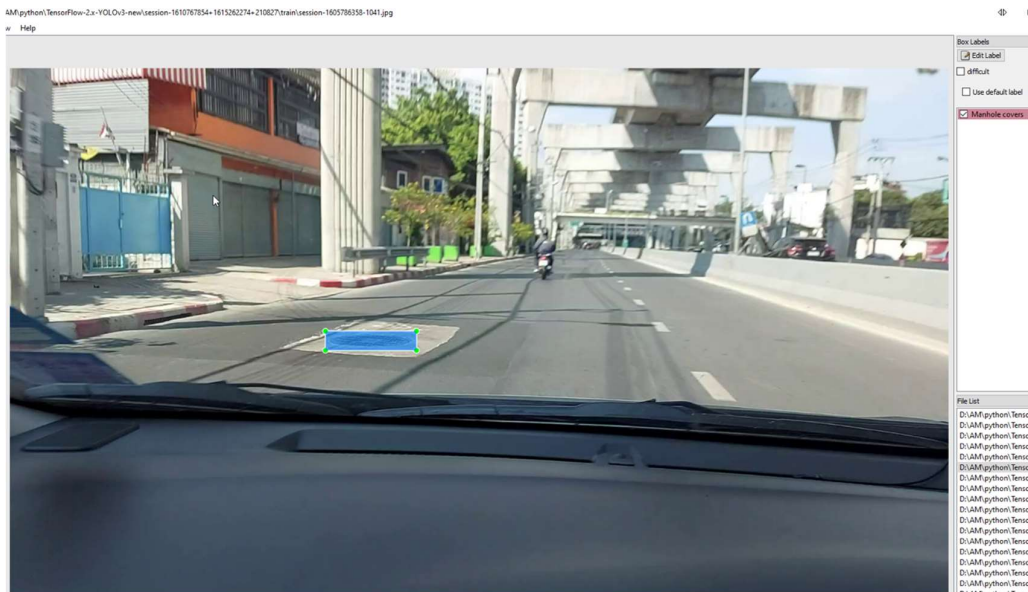
ภาพที่ 10-2 ขนาดของกรอบ label ไม่พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



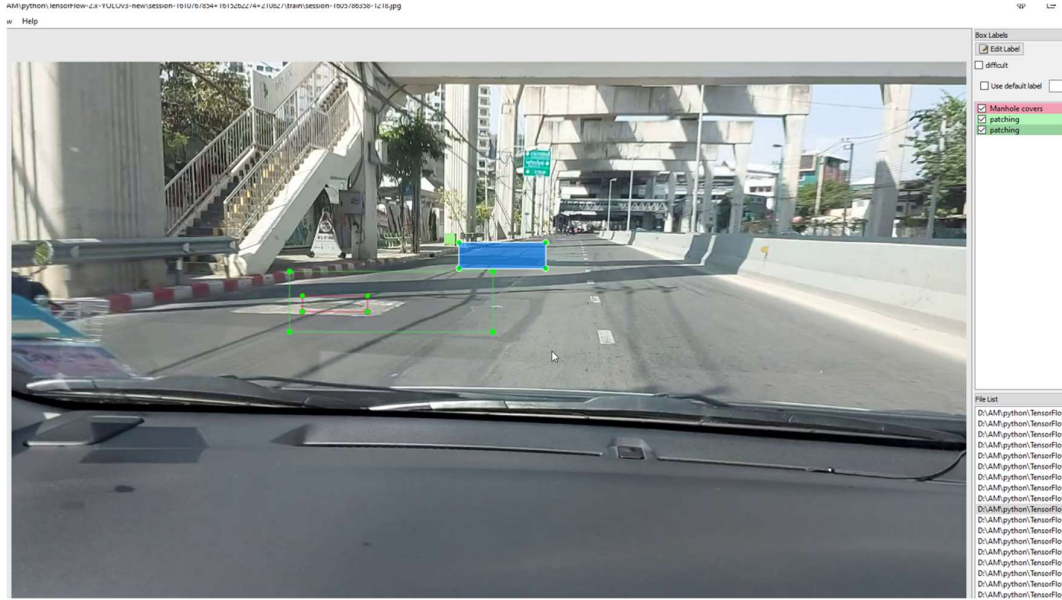
ภาพที่ 10-3 ขนาดของกรอบ label พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ถูกต้อง



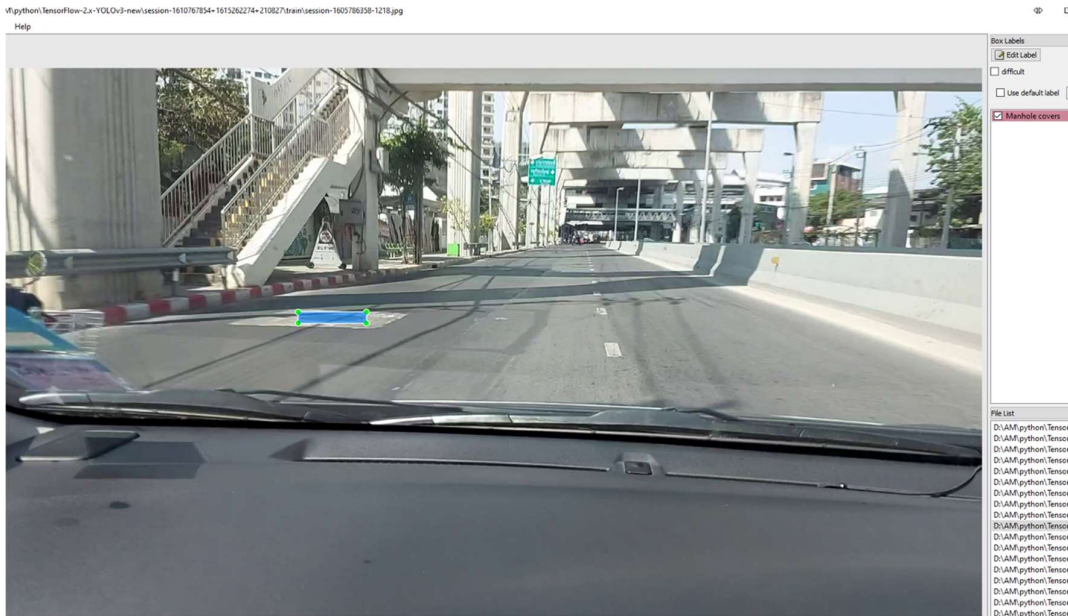
ภาพที่ 10-4 ขนาดของกรอบ label ไม่พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



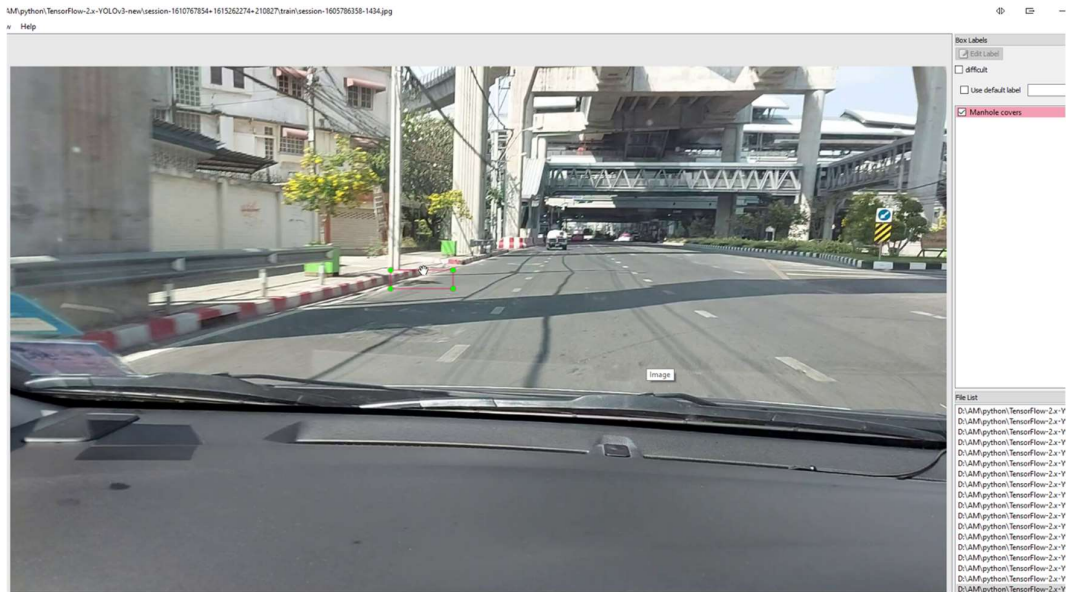
ภาพที่ 10-5 ขนาดของกรอบ label พอดีกับวัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ถูกต้อง



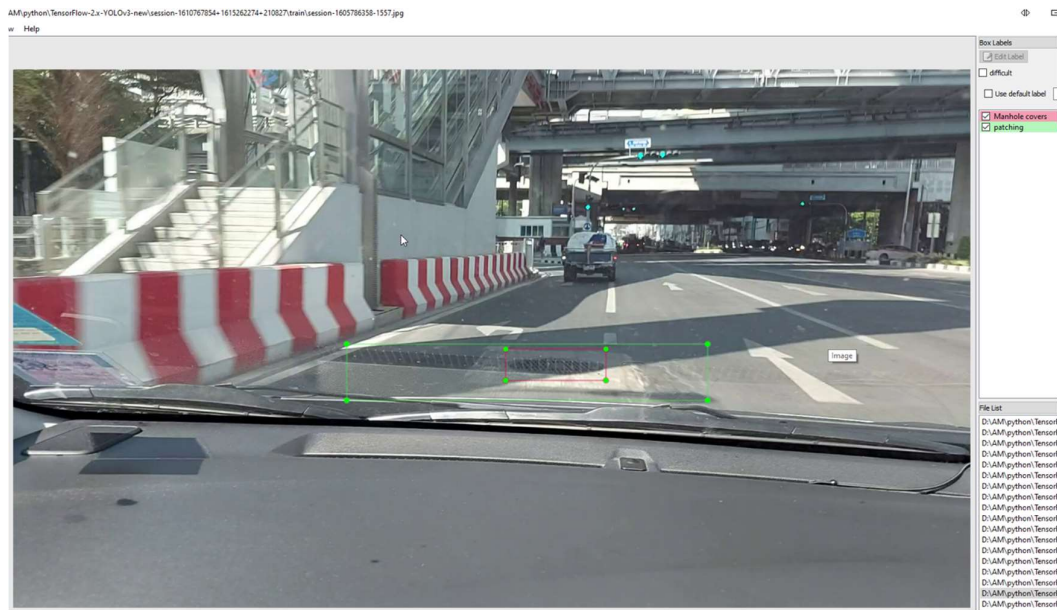
ภาพที่ 10-6 ตัวอย่างการ label ที่ขนาดของกรอบ label ไม่พอดีกับวัตถุที่สนใจ รวมถึง label ไกลเกินไป และ label วัตถุที่สนใจทับหรือซ้อนกัน ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 10-7 การ label ที่ถูกต้อง ของรูปที่ 5



ภาพที่ 10-8 label ไกลเกินไป และไม่ใช่วัตถุที่สนใจ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 10-9 label วัตถุที่สนใจทับ หรือซ้อนกัน ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



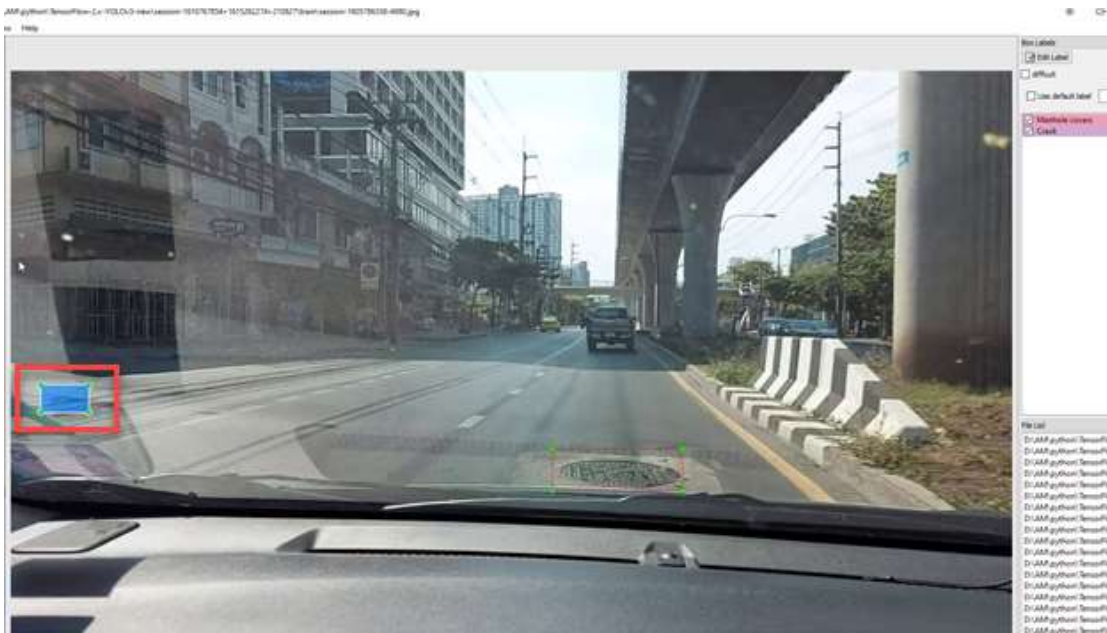
ภาพที่ 10-10 แกะไขจากรูปที่ 10.9 ซึ่งเป็นการ label ที่ถูกต้อง



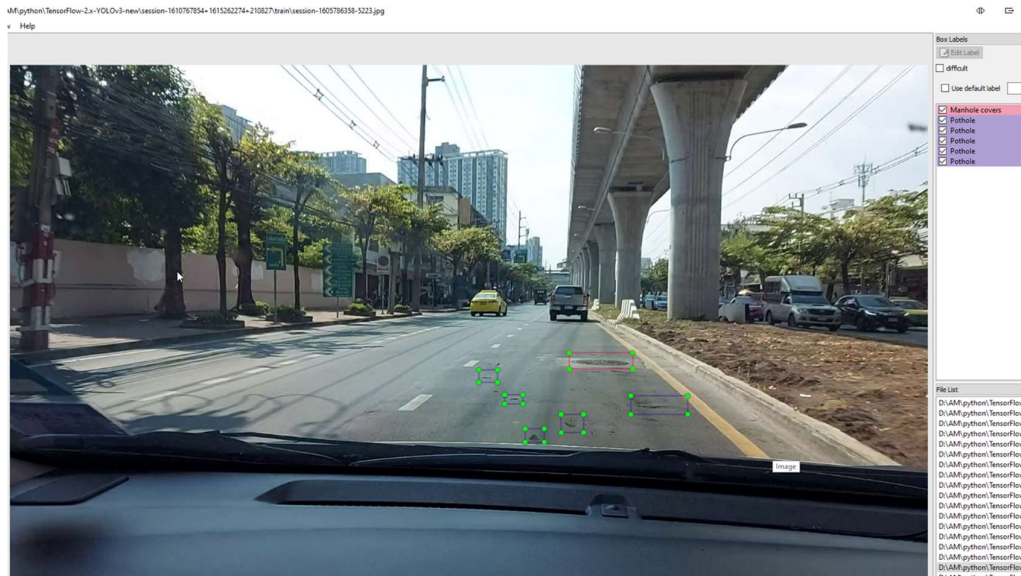
ภาพที่ 10-11 ในกรอบสีแดงใหญ่ ขวามือ ไม่ใช่วัตถุที่สนใจ กรณีนี้หากผู้ label ไม่แน่ใจ ไม่ต้อง label



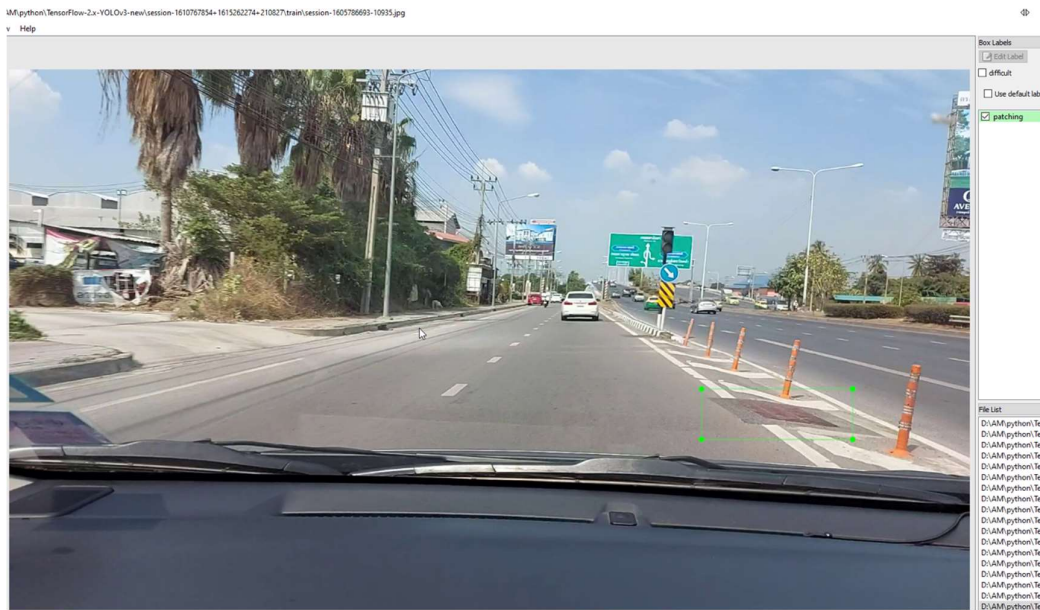
ภาพที่ 10-12 ในกรอบสีแดง วัตถุที่สนใจ อยู่ไกลเกินระยะที่กำหนด ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



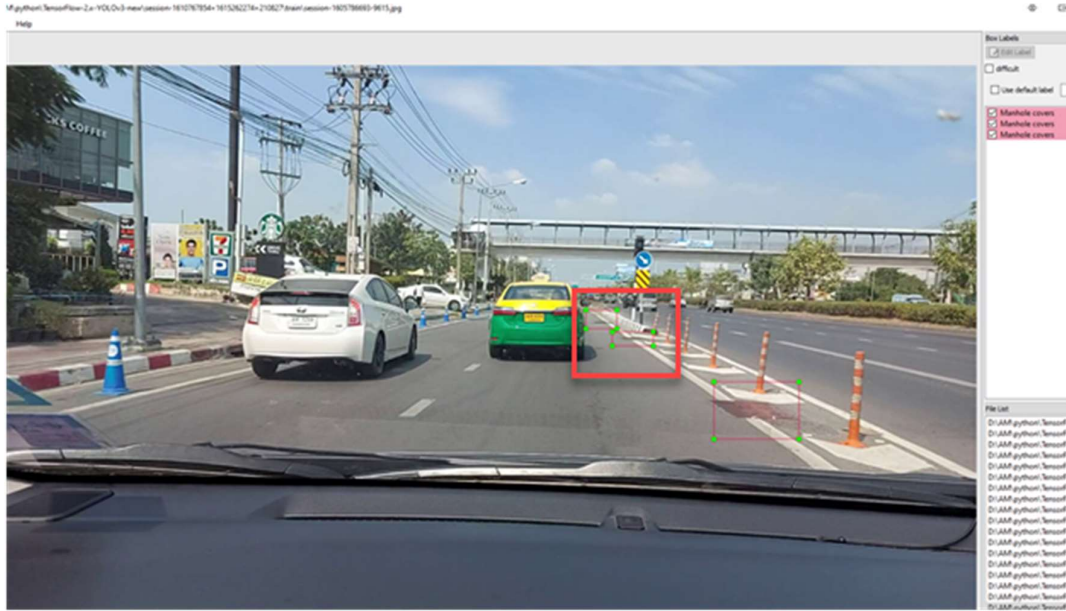
ภาพที่ 10-13 ในกรอบสีแดง ข้ามมือ วัตถุที่สนใจอยู่นอกระยะที่กำหนด ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



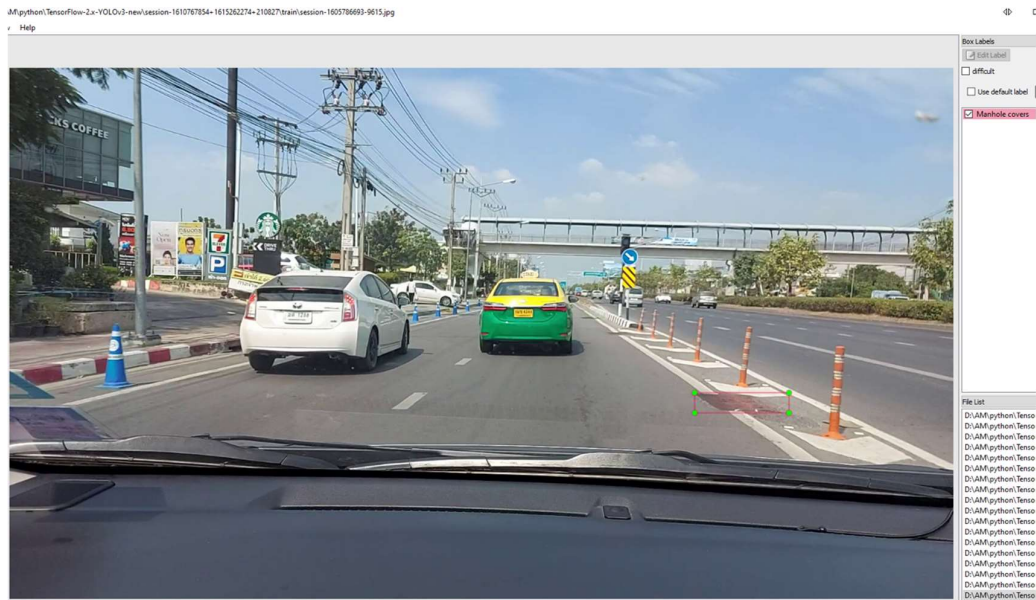
ภาพที่ 10-14 การ label ที่ถูกต้อง



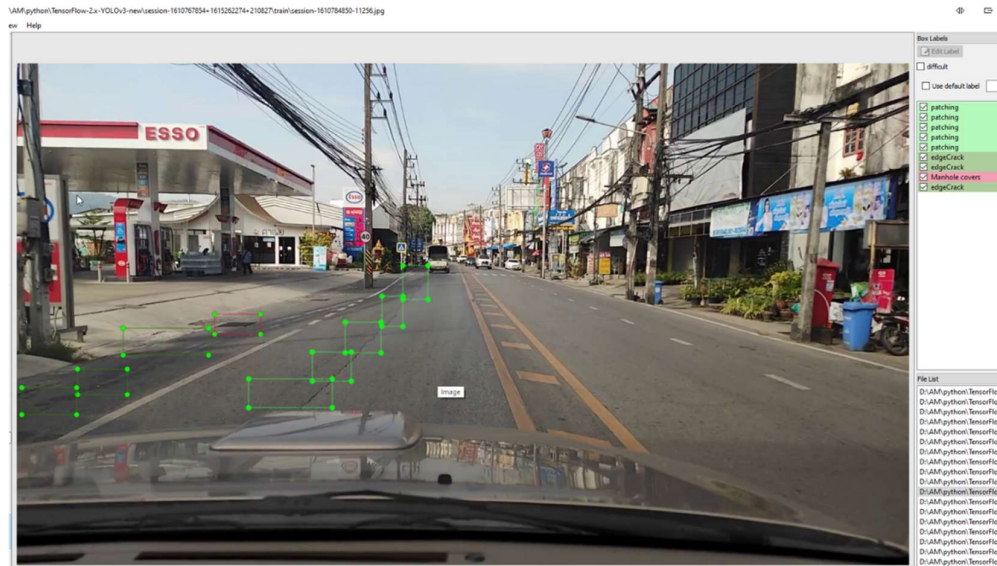
ภาพที่ 10-15 ตัวอย่างกรอบ label ที่มีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



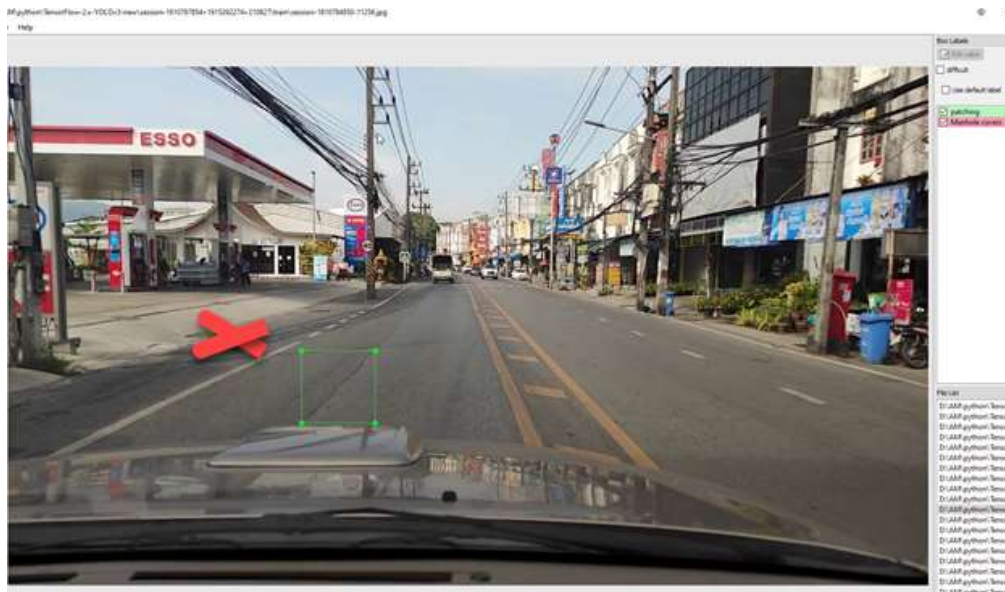
ภาพที่ 10-18 กรอบสีแดงใหญ่ แสดงการ label วัตถุที่สนใจไกลเกินระยะที่กำหนด ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



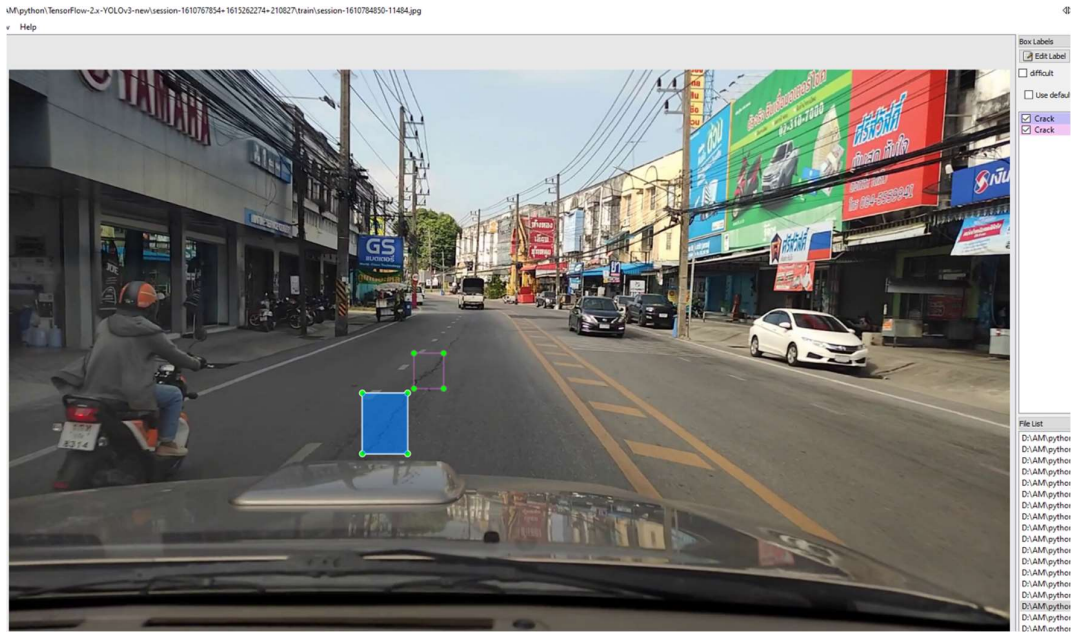
ภาพที่ 10-19 การ label แก้ไขรูปที่ 10.18 ให้ถูกต้อง



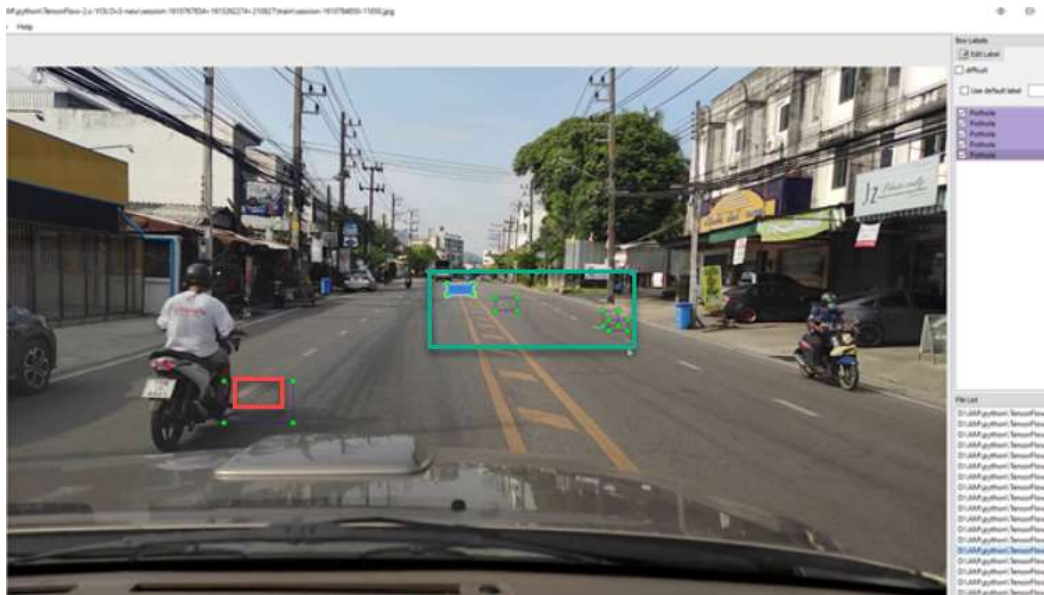
ภาพที่ 10-20 การ label ที่แยกวัตถุที่สนใจเป็นชิ้นเล็ก รวมถึงระยะระหว่างหัวรถและวัตถุที่สนใจห่างเกินระยะ ซึ่งเป็นการ label ที่ไม่ถูกต้อง



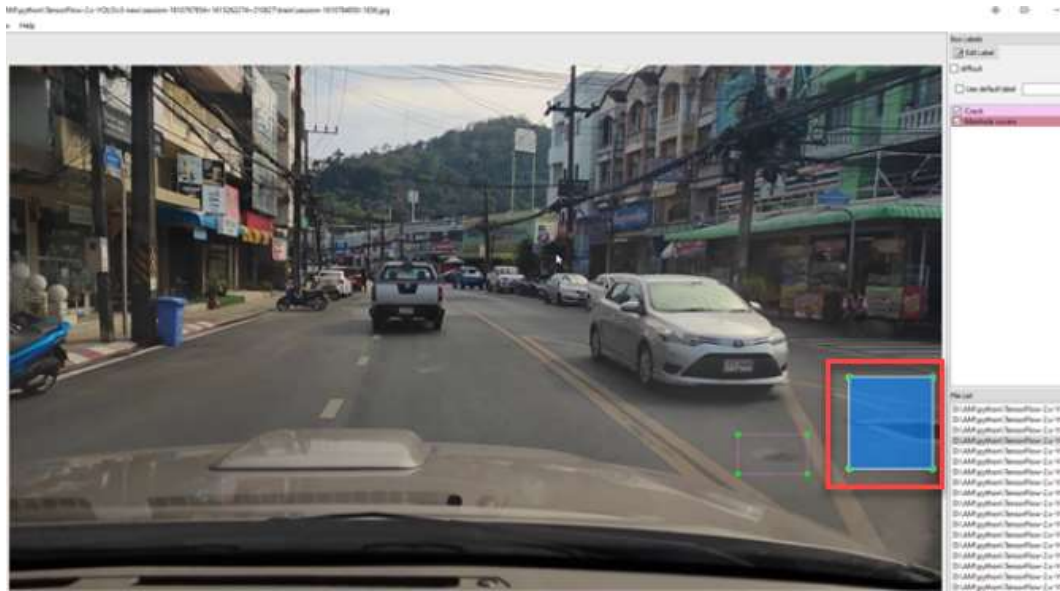
ภาพที่ 10-21 การ label รูปที่ 10.20 ที่ถูกต้อง (กรอบสีเขียว)



ภาพที่ 10-22 การ label วัตถุที่สนใจที่มีขนาดยาวให้ถูกต้อง



ภาพที่ 10-23 ในกรอบสี่เหลี่ยม วัตถุอยู่ไกลเกินไป ส่วนกรอบสี่เหลี่ยมเป็นการตีกรอบวัตถุอื่น การ label ที่ถูกต้อง ต้องตีกรอบเฉพาะที่สีแดง เพราะส่วนอื่นติดรถจักรยานยนต์



ภาพที่ 10-24 วัตถุที่เห็นไม่เต็มขึ้นของวัตถุ ดังกรอบสีแดงใหญ่ ไม่ต้อง label

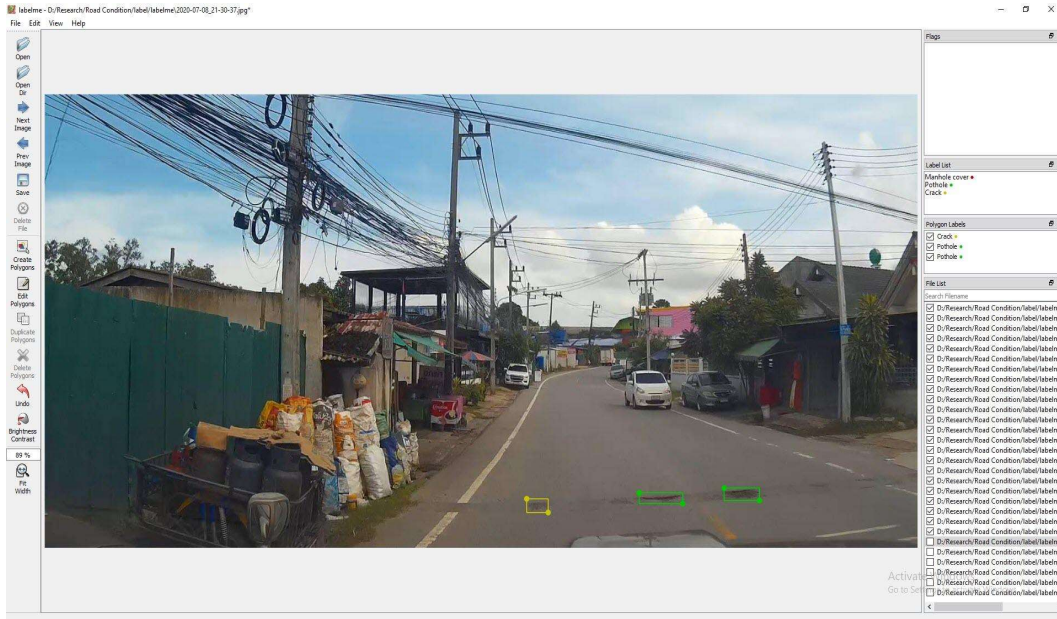
10.4 การกำหนดความผิดปกติที่สนใจโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ

เมื่อข้อมูลวิดีโอมีการแยกออกมาเป็นเฟรมเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำภาพที่ได้ไปสร้างเป็นโมเดลสำหรับตรวจจับสิ่งผิดปกติบนวิวดนนั้น ต้องมีกระบวนการกำหนดความผิดปกติที่สนใจ ภายในภาพที่ได้จากวิดีโอ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างโมเดลโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องต่อไป

ในงานวิจัยนี้การกำหนด (Label) ความผิดปกติในภาพมีการใช้เครื่องมือสำหรับการ Label จำนวน 3 ซอฟต์แวร์ได้แก่ (1) LabelMe (2) Labelimg และ (3) Laberu มีรายละเอียดดังนี้

10.4.1 การกำหนดความผิดปกติที่สนใจ LabelMe

การกำหนดความผิดปกติที่สนใจด้วยซอฟต์แวร์ LabelMe เป็นการเลือกจุดนั้น ๆ โดยใช้ มือ บังคับ Mouse ให้กำหนดรอบความผิดปกติที่สนใจบนจอManual ดังแสดงในภาพที่ 10-25 จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้เป็นไฟล์ประเภท JSON ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 10-26



ภาพที่ 10-25 การกำหนดสิ่งผิดปกติที่สนใจด้วย LabelMe

```

1  {
2  "version": "4.5.9",
3  "flags": {},
4  "shapes": [
5  {
6  "label": "Manhole covers",
7  "points": [
8  [
9  465.0602409638554,
10 757.6144578313252
11  ],
12  [
13  585.5421686746987,
14  767.2530120481927
15  ],
16  [
17  626.5060240963855,
18  755.2048192771084
19  ],
20  [
21  503.61445783132524,
22  743.156626506024
23  ]
24  ],
25  "group_id": null,
26  "shape_type": "polygon",
27  "flags": {}
28  }
29  ],
30  "imagePath": "session-1624348903-1-810.jpg",
31  "imageData": "/9j/4AAQSkZJRgABAQAAQABAAQ/2wBDAAgGBgcGBQgHBwcJCQgKDBQNDAsLDBkSEw8UHRofHh0aHBwgJC4n
32  "imageHeight": 1080,
33  "imageWidth": 1920
34  }

```

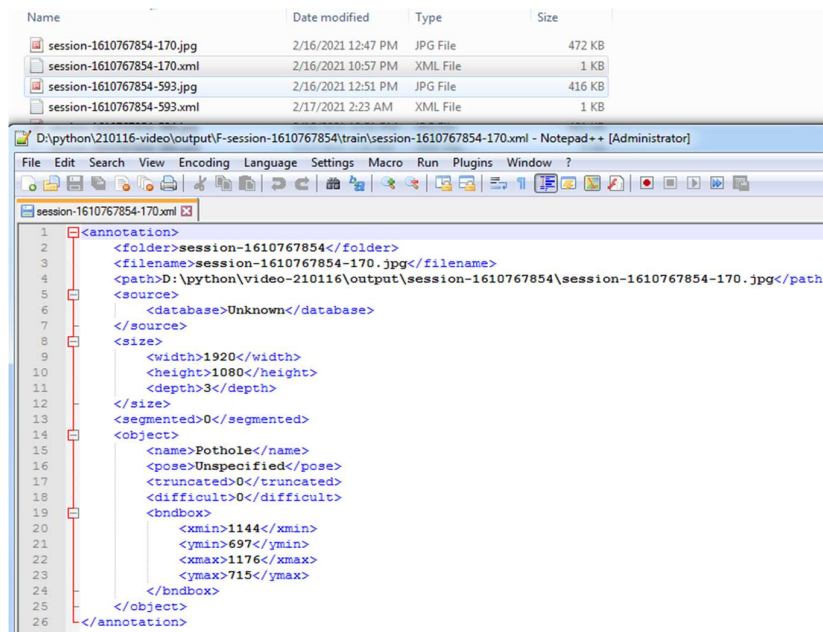
ภาพที่ 10-26 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดจุดที่สนใจด้วย LabelMe

10.4.2 การกำหนดความผิดปกติที่สนใจโดยใช้ Labellmg

การกำหนดความผิดปกติที่สนใจด้วยซอฟต์แวร์ Labellmg สามารถทำได้ โดยการลากเส้นทแยงมุม แล้วโปรแกรมจะสร้างกรอบสี่เหลี่ยมให้เอง ดังแสดงในภาพที่ 10-27 จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้เป็นไฟล์ประเภท xml ดังแสดงในภาพที่ 10-28



ภาพที่ 10-27 การกำหนดสิ่งผิดปกติที่สนใจด้วย Labellmg

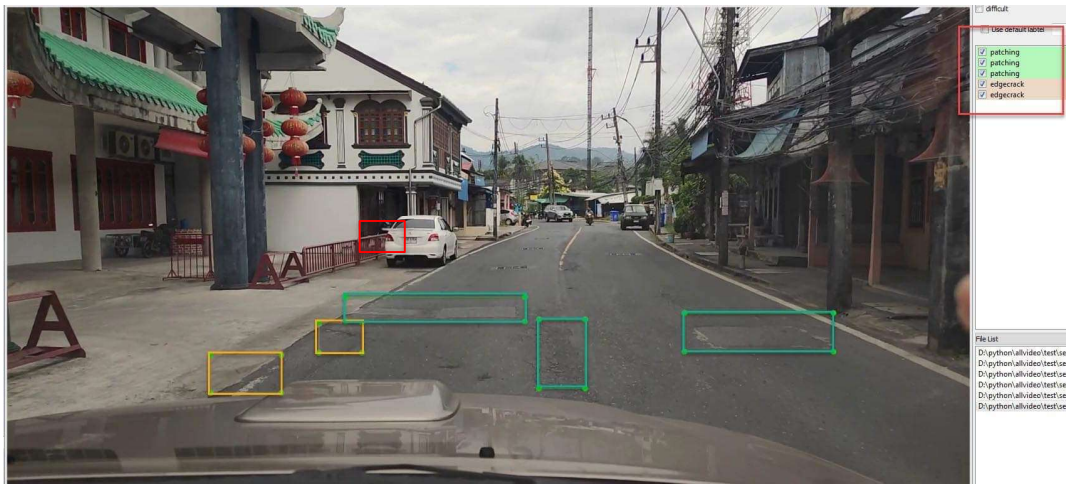


ภาพที่ 10-28 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดจุดที่สนใจด้วย Labellmg

จากภาพที่ 10-28 แสดงตัวอย่างข้อมูลไฟล์ xml ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Labellmg โดยข้อมูลของไฟล์ จะประกอบด้วย ชื่อ Session ชื่อไฟล์ (file name) ข้อมูลรายละเอียดของภาพ (ขนาดของภาพ กว้าง สูง และ จำนวน Layer) และข้อมูลของข้อมูลสิ่งผิดปกติโดยประกอบด้วย xmin, xmax, ymin และ ymax ซึ่งแต่ละค่า คือตัวเลขแสดงค่าตำแหน่งในพิกัด (x, y) ของ x และ y จากมุมซ้ายบนของกรอบ และ x และ y จากมุม ขวาล่างของกรอบ ล้อมรอบสิ่งผิดปกติที่สนใจ

10.4.3 การกำหนดความผิดปกติที่สนใจโดยใช้ Laberu

การกำหนดความผิดปกติที่สนใจด้วยซอฟต์แวร์ Laberu สามารถทำได้โดยการลากเส้นทแยงมุมแล้ว โปรแกรมจะสร้างกรอบสี่เหลี่ยมให้เอง โดยที่ Laberu มีข้อแตกต่างจากเครื่องมืออื่น ๆ คือ Laberu สามารถทำงานพร้อมกันได้หลายคนพร้อมกัน ซึ่งการทำงานของ Laberu สามารถแสดงได้ดังแสดงในภาพที่ 10-29 จากนั้นผลลัพธ์ที่ได้เป็นไฟล์ประเภท Json ดังแสดงในภาพที่ 10-30



ภาพที่ 10-29 การกำหนดสิ่งผิดปกติที่สนใจด้วย Laberu

```
xml_november.json
19633  ],
19634  }, {
19635  "shortcode": "session-1624348903-1-810.jpg",
19636  "filename": "session-1624348903-1-810.jpg",
19637  "size": [],
19638  "object": [
19639  {
19640  "name": "manholes",
19641  "bbox": {
19642  "xmin": "456",
19643  "ymin": "737",
19644  "xmax": "619",
19645  "ymax": "769"
19646  }
19647  }
19648  ]
19649  }, {
19650  "shortcode": "session-1624348903-1-8100.jpg",
19651  "filename": "session-1624348903-1-8100.jpg.jpg",
19652  "size": [],
19653  "object": [
19654  {
19655  "name": "manholes",
19656  "bbox": {
19657  "xmin": "456"
```

ภาพที่ 10-30 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดจุดที่สนใจด้วย Laberu

10.5 อภิปรายและสรุปผล

จากข้อมูลที่ได้อีกแล้วนั้น ประเภทความเสียหายหรือวัตถุที่สนใจที่อยู่บนผิวถนน จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทความเสียหายในด้านโครงสร้าง (Structural Failure) ประกอบด้วย ความเสียหายชนิดหลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) ความเสียหายชนิดรอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) และความเสียหายตามขอบถนน (Edge Deterioration)

นอกจากนี้ยังมีความเสียหายในด้านการใช้งาน (Functional Failure) ซึ่งไม่จัดอยู่ในประเภทความเสียหายในด้านโครงสร้าง (Structural Failure) แต่สร้างผลกระทบต่อผู้ใช้งานถนน ในด้านความสะดวกสบายและความปลอดภัย ได้แก่ รอยปูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) และฝาที่ระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole)

เมื่อได้เลือกความปกติที่เรียบร้อยแล้ว การกำหนดความผิดปกติให้กับภาพวิดีโอที่รวบรวมโดยใช้เครื่องมือในการกำหนดบริเวณของความผิดปกติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองทั้งหมด 3 เครื่องมือด้วยกันได้แก่ (1) LabelMe, (2) LabelImg และ (3) Laberu พบว่าเครื่องมือ Laberu เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากสามารถทำงานแบบหลายคนพร้อมกันได้ ใช้งานได้ง่าย เป็นการกำหนดกรอบโดยลากเส้นทแยง และข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูลเดียวกันสามารถ Export ออกมาพร้อมกันและใน Format ที่กำหนดได้

บทที่ 11 การวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินผลตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ

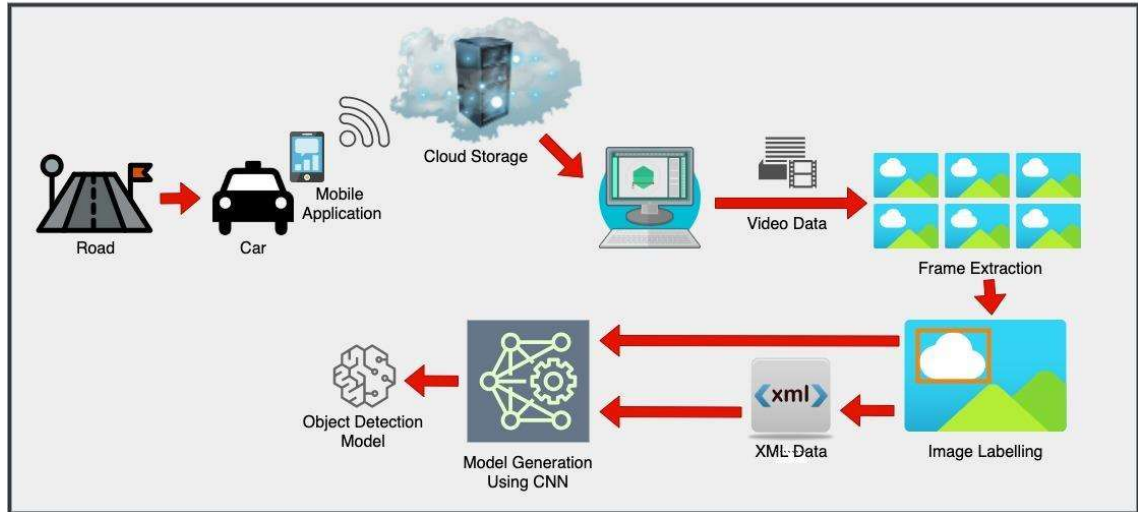
11.1 ความจำเป็นในการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินผลตัวจำแนกด้วย Machine Learning

ในการตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการตรวจจับความผิดปกติโดยใช้ภาพ หรือวิดีโอในการตรวจจับ และใช้ Machine Learning ในการสร้างตัวโมเดลสำหรับจำแนก ซึ่งในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก ทำให้การสร้างโมเดลสำหรับจำแนกความผิดปกตินั้นสามารถทำได้สะดวก และแม่นยำมากยิ่งขึ้น [1,2,3] โดยการเรียนรู้เชิงลึกที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ หรือ Convolutional Neural Network (CNN) ซึ่งในงานวิจัยนี้วัตถุประสงค์หลักคือการสร้างโมเดลที่ใช้ตรวจจับและจำแนกความผิดปกติจากข้อมูลวิดีโอ ดังนั้นจะใช้ CNN สำหรับการตรวจจับวัตถุ หรือ Object Detection ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคของการถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer Learning) ภายใต้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (YOLO Deep Learning) โดยทำการเพิ่มและลดโมดูลของ Convolutional Neural Networks (CNNs) Layers และ Fully connected (FC) layers เข้าไปบางส่วนเพื่อให้ YOLO สามารถประยุกต์ใช้งานกับระบบตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนนได้

ในบทนี้จะนำเสนอ Framework ของการสร้างตัวจำแนกด้วย Machine Learning ในหัวข้อ 11.2 และ หัวข้อ 11.3 แสดงเนื้อหาโดยสั้นของ Convolutional Neural Network และ เทคนิคของการถ่ายโอนการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การประเมินผลโมเดลสำหรับการตรวจจับวัตถุโดยใช้ mAP แสดงรายละเอียด ในหัวข้อ 11.4 ข้อมูลที่สำหรับการศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงในหัวข้อ 11.5 หัวข้อ 11.6 แสดงรายละเอียดของการทดลอง และการประเมินผลที่ได้จากการสร้างโมเดล และหัวข้อ 11.5 แสดงรายละเอียดของการนำเอาโมเดลไปใช้งานในข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน

11.2 Framework ของการสร้างตัวจำแนกด้วย Machine Learning

งานวิจัยที่กล่าวถึงในรายงานฉบับนี้นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวโมเดล (Model) สำหรับตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนนจากข้อมูลวิดีโอโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และเพื่อวางแผนการดำเนินงาน คณะวิจัยได้ออกแบบกรอบการดำเนินงานของการพัฒนาโมเดล ซึ่งสามารถแสดงดังภาพที่ 11-1



ภาพที่ 11-1 กรอบการดำเนินงานของการสร้างโมเดล

จากภาพที่ 11-1 แสดงกรอบการดำเนินงานของการสร้างโมเดลสำหรับตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนน โดยกระบวนการเริ่มจากการเก็บข้อมูลตัวอย่างความผิดปกติโดยการบันทึกวิดีโอ ตำแหน่งของพาหนะสำรวจและข้อมูลจากเซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือนจากสมาร์ทโฟน โดยใช้แอปพลิเคชัน Smooth Street Recorder ที่ทางคณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งข้อมูลต่างๆ เช่นข้อมูลของ Session, ตำแหน่ง (ละติจูด และลองจิจูด), วัน/เวลา ข้อมูลวิดีโอ, ข้อมูลจากเซนเซอร์ Accelerometer จะถูกส่งขึ้นไปเก็บไว้ใน Cloud Storage เมื่อมีการกด อัปโหลดข้อมูล จากนั้นข้อมูลของวิดีโอจะถูกดาวน์โหลดมาเพื่อกระบวนการเตรียมข้อมูล (Pre-processing) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล ให้เหมาะสมกับการใช้งานในขั้นตอนต่อไป โดยข้อมูลวิดีโอจะทำกระบวนการ Image Pre-processing ได้แก่ การแยกเฟรม (Frame Extraction) ถัดมาเป็นการกำหนดความผิดปกติที่สนใจ (Interesting Objects) โดยใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ Laberu (รายละเอียดของการกำหนดความผิดปกติที่สนใจกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 10) โดยประเภทความเสียหายที่สนใจในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย (1) ความเสียหายชนิดหลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) (2) ความเสียหายชนิดรอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) (3) ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) (4) รอยปูนูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) และ (5) ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) (รายละเอียดของการเลือกประเภทความผิดปกติที่สนใจกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 10) ซึ่งเมื่อกำหนดพื้นที่ของสิ่งผิดปกติที่สนใจแล้วจะสร้างข้อมูลการกำหนดความผิดปกติเป็น .xml (พัฒนา Code สำหรับแปลง Json เป็น xml อัตโนมัติ)

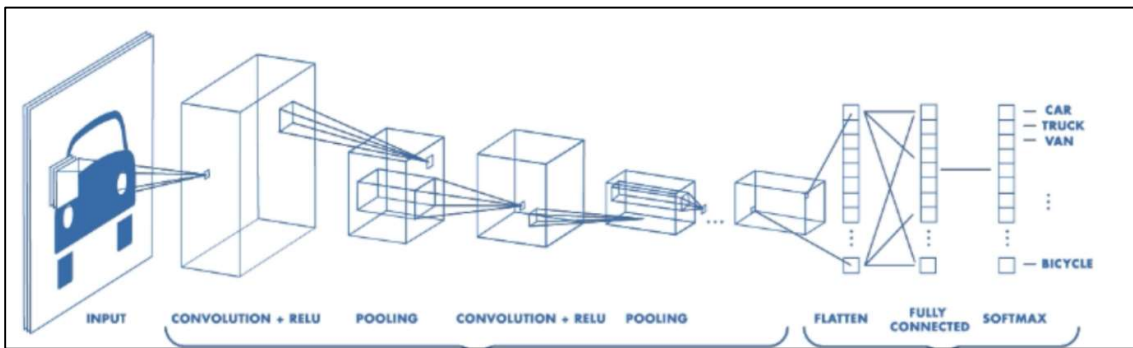
ข้อมูลภาพ และข้อมูลการกำหนดความผิดปกติที่สนใจ จะถูกนำไปใช้เป็น input เพื่อสร้างโมเดลสำหรับการตรวจจับความผิดปกติของผิวถนนต่อไป โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การเรียนรู้เชิงลึกประเภท โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Network) ในการเรียนรู้เพื่อสร้างตัวโมเดล และเพื่อการได้มาซึ่งโมเดลที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งาน งานวิจัยจึงทำศึกษาและทดลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการจำนวน 3 สถาปัตยกรรม ได้แก่ (1) YOLO V3, (2) YOLO V4,

และ (3) YOLO V5 และเพื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการทั้ง 3 สถาปัตยกรรม ผลการดำเนินงานของแต่ละโมเดลจะถูกบันทึกโดยใช้ค่า mAP (mean Average Precision)

11.3 Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network (CNN) หรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ เป็นโครงข่ายที่เลียนแบบโครงข่ายประสาทของมนุษย์ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ โดย CNN เกิดขึ้นหลัง Machine Learning ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ หรือ AI (Artificial Intelligence)

CNN สามารถเรียนรู้ที่จะสกัดคุณลักษณะของภาพออกมาได้เอง CNN โดยใช้ชั้น Convolution ในการดึงส่วนต่าง ๆ ของภาพออกมา ทำให้ตัวจำแนกสามารถจำแนกคุณลักษณะของภาพได้แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ CNN ยังประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ กล่าวคือ ชั้น Pooling ที่มีหน้าที่ดึงส่วนที่สำคัญที่สุด และทำให้ประสิทธิภาพ ของการประมวลผลมีมากขึ้น และรวดเร็วขึ้น [4,5] ตัวอย่างโครงสร้าง CNN แสดงดังภาพที่ 11-2



ภาพที่ 11-2 ตัวอย่างโครงสร้าง CNN [5]

คอนโวลูชัน (Convolution) เป็นกระบวนการสำหรับการสกัดคุณลักษณะที่สำคัญของภาพ โดยการใช้ค่าพิกเซล โดยค่าพิกเซลได้มาจากการมองของกล้องทั่วไปนั้นมีด้วยกันสามแชนแนล (Channel) แบ่งเป็นสี ได้แก่ สีแดง (Red), สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) โดยแต่ละจุดสามารถแทนค่าด้วยตัวเลขแสดงความเข้มของสีนั้น โดยจะแสดงค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 นอกจากนี้ยังมีการกำหนดเมทริกซ์อีกหนึ่งชุดขึ้นมา เพื่อใช้เป็นตัวกรองค่าไปเก็บไว้ในเมทริกซ์ชุดที่เล็กกว่า โดยที่เมทริกซ์ชุดนี้มีชื่อเรียกว่าตัวกรองค่า (Filter), เคอร์เนล (Kernel) หรือตัวตรวจจับลักษณะสำคัญ (Feature Detector) หลักจากที่เมทริกซ์ตัวกรองค่าจะเคลื่อนไปทั่วภาพและคำนวณค่าเก็บไว้ในเมทริกซ์ชุดใหม่คือ คอนโวลด์ฟีเจอร์ (Convolved Feature) หรือ ฟีเจอร์แมพ (Feature Map)

การจัดความเป็นเชิงเส้น (ReLU) ใช้หลังจากที่ได้ทำการ Convolution ภาพ และได้ Feature Map แล้วจะมีการปรับปรุงให้ค่าของ Feature Map นั้นไม่เป็นลักษณะเชิงเส้น โดยการใช้ ReLU ซึ่งจะทำการแทนที่ผลของฟังก์ชันที่มีค่าเป็นเชิงลบด้วย 0 เพื่อให้ CNN เรียนรู้ข้อมูลที่ไม่มีเป็นเชิงเส้นจากภาพ

การพูลลิ่ง (Pooling) เป็นการช่วยลดมิติของ Feature Map ลงแต่พยายามรักษาข้อมูลสำคัญเอาไว้ ซึ่งการพูลลิ่งที่ได้รับความนิยมจะสามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธีได้แก่ (1) Max Pooling (พูลลิ่งด้วยค่าสูงสุด) และ (2) Average Pooling (การพูลลิ่งด้วยค่าเฉลี่ย) ทั้งนี้วัตถุประสงค์ของการพูลลิ่งนั้นเพื่อทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มามีขนาดเล็กลงสามารถจัดการได้ง่ายขึ้น และยังช่วยลดพารามิเตอร์และการคำนวณที่เกิดความจำเป็นใน CNN ได้อีกด้วย

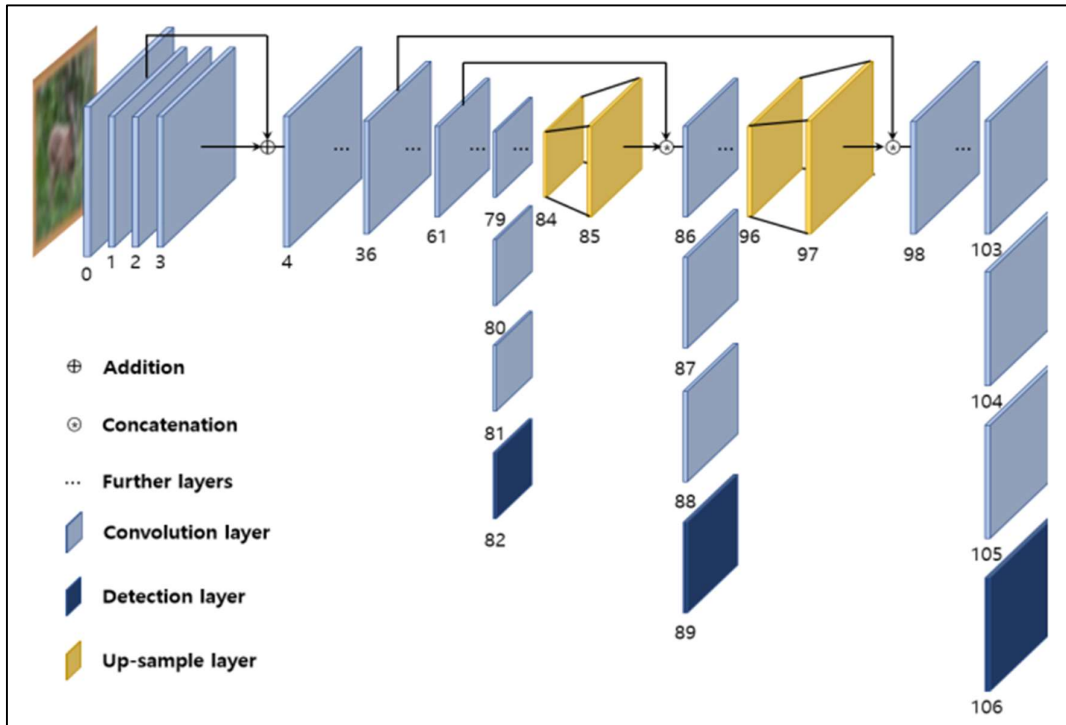
การเชื่อมต่อแต่ละชั้นโดยสมบูรณ์ (Fully Connected Layer) คือการทำกระบวนการคอนโวลูชัน, การจัดความเป็นเชิงเส้น และการพูลลิ่งซ้ำจนกว่าจะมีการเชื่อมต่อของแต่ละชั้นกันอย่างสมบูรณ์ โดยใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวไปเชื่อมโยงกับผลลัพธ์ (Class) [5,6]

โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการดำเนินงานประเภทการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ซึ่งจำแนก และตรวจจับวัตถุที่อยู่ในรูป เป็นการตรวจจับมาร์กจุด มาร์กพื้นที่ โดยหลักการ สามารถทำได้หลายวิธี การทำมาร์กพื้นที่ที่นิยมได้แก่ วาดกล่องรอบวัตถุ (Bounding Box) หรือ ถมสีให้ทุก Pixel ของวัตถุนั้น (เรียกว่า Segmentation)

สำหรับงานวิจัยนี้โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการที่นำมาใช้เพื่อตรวจจับความผิดปกติบนผิวดน ได้แก่ (1) YOLO V3, (2) YOLO V4 และ (3) YOLO V5, ดังรายละเอียดในข้อ 11.3.1 ถึง 11.3.3 ตามลำดับ

11.3.1 YOLO V3

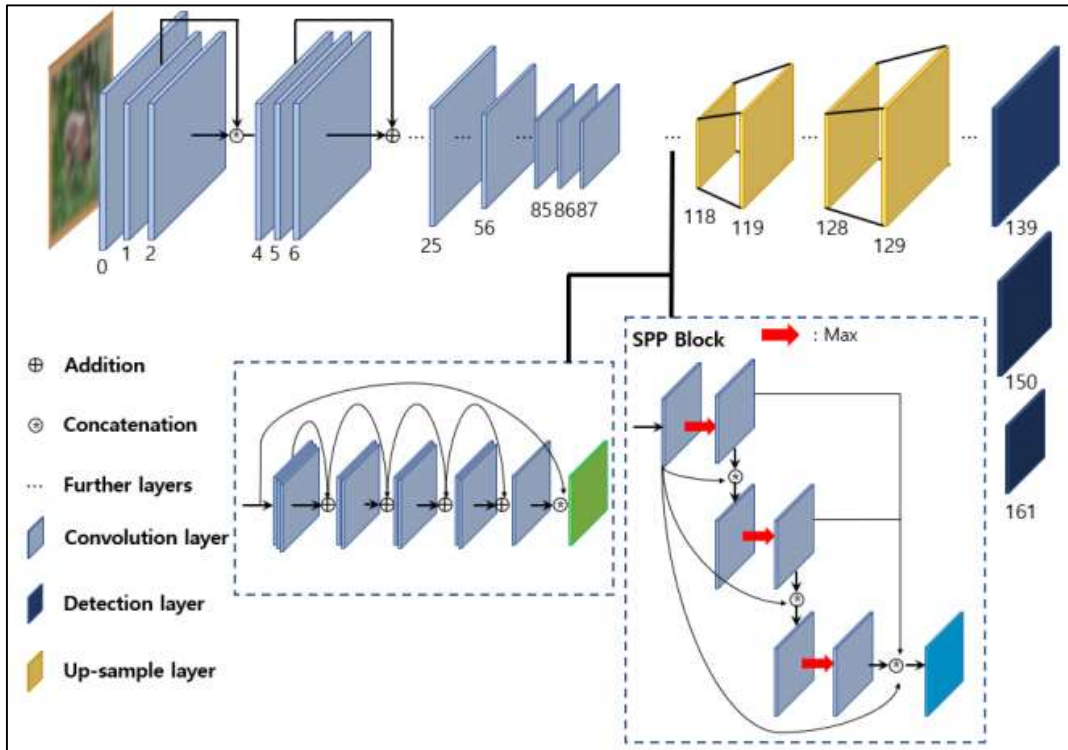
YOLO V3 เป็นสถาปัตยกรรมที่พัฒนาต่อจาก YOLO V2 โดยพื้นฐานของสถาปัตยกรรม Darknet 53 ที่มี 53 ชั้น โดย YOLO V3 มีทั้งหมด 106 ชั้น ทำให้มีความแม่นยำมากกว่า YOLO V2 รวมถึงใช้เวลาในการทำงานนานกว่าด้วย สถาปัตยกรรมนี้นำเสนอโดย Joseph และ Ali ในปี 2018 [7] โครงสร้างของ YOLO V3 แสดงดังภาพที่ 11-3



ภาพที่ 11-3 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V3 [8]

11.3.2 YOLO V4

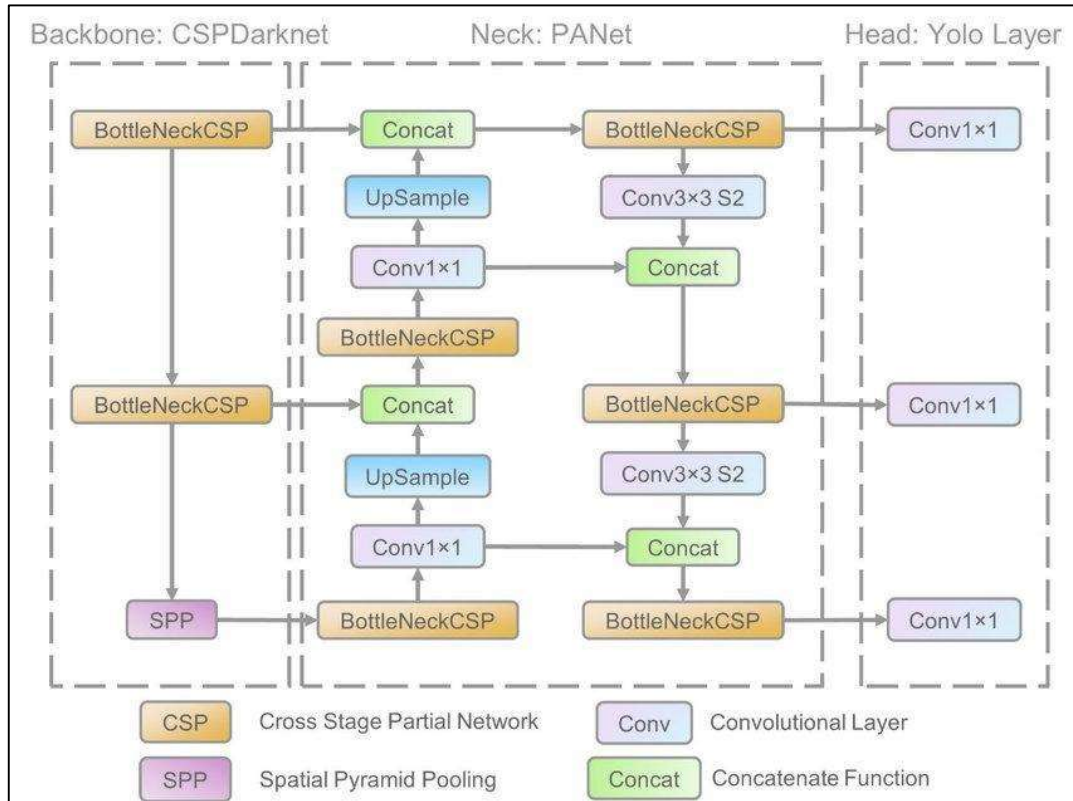
YOLO V4 เป็นสถาปัตยกรรมที่ประกอบด้วยสถาปัตยกรรม Darknet 53 เป็น backbone โดยมีการใช้ Spatial Pyramid Pooling (SPP) ในการขยายเขตข้อมูล รวมถึงการใช้โมดูลความสนใจเชิงพื้นที่ (SAM) ซึ่ง SPP และ SAM เป็นส่วน neck สุดท้าย ส่วนหัวหน้ามีการใช้ YOLO V3 ทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่า YOLO V3 โดยสถาปัตยกรรมนี้นำเสนอโดย Bochkovskiy และคณะ [9] ในเดือนเมษายน ปี 2020 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V4 แสดงดังภาพที่ 11-4



ภาพที่ 11-4 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V4 [8]

11.3.3 YOLO V5

YOLO V5 ถูกนำเสนอในเดือนมิถุนายน ปี 2020 โดย Jocher [10] ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมแรกในตระกูล YOLO ที่ทำงานบน PyTorch (ซึ่ง YOLO V3 และ V4 ทำงานบน Darknet) ทำให้ทำงานได้ง่ายกว่าและใช้บนอุปกรณ์พกพาได้ง่าย นอกจากนี้ยังทำงานได้เร็ว และมีความแม่นยำ รวมถึงมีขนาดเล็กอีกด้วย โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V5 แสดงดังภาพที่ 11-5



ภาพที่ 11-5 โครงสร้างสถาปัตยกรรม YOLO V5 [11]

11.4 ตัววัดและการประเมินผล

การทำ *Object Detection* นิยมใช้การวัดประสิทธิภาพด้วย *Intersection over Union (IoU)* โดยเป็นการคำนวณอัตราส่วนระหว่างส่วนที่ *Intersection* กันและส่วนที่ *Union* กันของกรอบล้อมวัตถุ ซึ่งค่า *IoU* สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 11-1 และแสดงดังรูปที่ 11.6

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (11-1)$$

เมื่อ A คือ bounding box ที่ได้จากการทำนาย และ B คือ bounding box ของส่วนที่เป็นวัตถุจริง

๑



รูปที่ 11.6 การคำนวณค่า IoU

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพอีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับวัตถุคือค่า mean Average Precision (mAP) โดยเป็นค่าที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (Precision) และความลึก (Recall) ของวัตถุในรูปที่สนใจ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 11-2 และ 11-3

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (11-2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (11-3)$$

ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าในสมการ 2 และ 3 อธิบายได้ดังนี้

True Positive (TP) หมายถึง วัตถุที่โมเดลทำนายว่าจริง และสิ่งนั้นเป็นจริง โดยจะกำหนดให้เป็น TP เมื่อภาพที่พิจารณามีค่า IoU มากกว่า Threshold ที่กำหนดไว้ และโมเดลทำนายชนิดของวัตถุถูกต้อง

True Negative (TN) หมายถึง วัตถุที่โมเดลทำนายว่าไม่จริง และสิ่งนั้นไม่จริง

False Positive (FP) หมายถึง วัตถุที่โมเดลทำนายว่าจริง แต่สิ่งนั้นไม่จริง โดยจะกำหนดเป็น FP เมื่อภาพที่พิจารณามีค่า IoU น้อยกว่า Threshold

False Negative (FN) หมายถึง วัตถุที่โมเดลทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งนั้นเป็นจริง โดยจะกำหนดเป็น FN เมื่อภาพที่พิจารณามีค่า IoU มากกว่า Threshold และโมเดลทำนายชนิดของวัตถุไม่ถูกต้อง

สำหรับขั้นตอนในการหาค่า mAP เริ่มจากการหาคะแนนการทำนาย (Prediction Scores) จากโมเดลที่ได้ แล้วทำการแปลงคะแนนการทำนายเป็น Class Label จากนั้นทำการคำนวณค่า Confusion matrix ที่ประกอบด้วย 4 ค่า คือ TP, FP, TN, และ FN แล้วจึงคำนวณค่า Precision และ Recall เมื่อได้ค่า Precision และ Recall แล้ว นำค่าทั้งสองไปคำนวณพื้นที่ใต้เส้นโค้ง แล้วจึงวัดค่า Average Precision (AP) ออกมา ทำที่ที่สุด mAP จะได้จากการหาค่า AP ของแต่ละคลาส แล้วมาหาค่าเฉลี่ยตามจำนวนคลาส สมการที่ 11-4 แสดงการหาค่า mAP

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (11-4)$$

mAP มีการพิจารณาถึง False Positives (FP) และ False Negatives (FN) ร่วมกับค่า Precision และ Recall จึงทำให้เหมาะสมกับการใช้เป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับการทำแอปพลิเคชันการตรวจจับ

11.5 ข้อมูลสำหรับการศึกษา

ในหัวข้อย่อหน้านี้นำเสนอรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยและดำเนินการศึกษาร่างโมเดล โดยข้อมูลที่ใช้ในระยษณีนี้นั้นจะเก็บรวบรวมโดยใช้แอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้นมีชื่อว่า Smooth Street Recorder โดยข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษา ทางผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในระหว่างเดือนมีนาคม – พฤศจิกายน 2564 โดยเลือกข้อมูลจำนวน 125 Session ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จังหวัดภูเก็ต จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยองและจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยอุปกรณ์โทรศัพท์ที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์โดยใช้อุปกรณ์ยึดหน้ากระจก โดยกำหนดความเร็วของการวิ่งอยู่ที่ 30-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ข้อมูลวิดีโอจะถูกนำมาแยกเฟรมโดยในการศึกษาข้อมูลวิดีโอ ความยาว 1 วินาทีจะถูกแยกเฟรมจำนวน 10 เฟรมเนื่องจากถ้ากำหนดเฟรมสูงจะได้ภาพที่มีความซ้ำกันสูง ดังนั้นในการศึกษาทางคณะผู้พัฒนาจึงกำหนดจำนวนที่ 10 ภาพต่อหนึ่งวินาที เมื่อได้ชุดของภาพที่เกิดจากการแยกเฟรมแล้วนั้นทางทีมผู้พัฒนาได้ทำการคัดแยกภาพโดยจะเลือกเฉพาะภาพที่มีความผิดปกติที่สนใจเท่านั้น เมื่อทำการคัดภาพเรียบร้อยแล้วก่อนจะนำไป Label ความผิดปกติที่สนใจเนื่องจากภาพมีจำนวนมาก จึงสุ่มเลือกภาพจากเส้นทางต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลให้กับตัวโมเดล โดยแสดงรายละเอียดข้อมูลที่น่าสนใจศึกษาเบื้องต้น โดยสรุปคือ

มีจำนวน Session จำนวน 125 Session รวมระยะทาง 1,118.13 กิโลเมตร เป็นระยะเวลา 134,176 วินาที หรือ 37 ชั่วโมง 16.16 นาที จำนวนเฟรมที่แยกได้ทั้งหมดจำนวน 1,341,760 ภาพ ภาพที่มีความผิดปกติทั้งหมดจำนวน 32,929 ภาพ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยตารางที่ 11-1

ตารางที่ 11-1 ข้อมูลที่ใช้ศึกษาวิจัย

| หมายเลข Session | ละติจูด | ลองจิจูด | ถนน | เขต/อำเภอ | จังหวัด | เวลา (s) | จำนวน ภาพ |
|-----------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|----------|----------|-----------|
| 1605785759 | 13.7215889 | 100.5302067 | นราธิวาสราชนครินทร์ | บางรัก | กรุงเทพฯ | 236 | 2360 |
| 1605785997 | 13.7181077 | 100.516578 | สะพานสมเด็จพระเจ้าตากสิน | สาทร | กรุงเทพฯ | 355 | 3550 |
| 1605786358 | 13.7192721 | 100.477455 | รัชดาภิเษก | ธนบุรี | กรุงเทพฯ | 294 | 2940 |
| 1605786693 | 13.7211921 | 100.4588604 | เพชรเกษม | ภาษีเจริญ | กรุงเทพฯ | 397 | 3970 |
| 1605787092 | 13.7720331 | 100.4440545 | | ตลิ่งชัน | กรุงเทพฯ | 332 | 3320 |
| 1609918322 | 13.7290134 | 100.4744462 | รัชดาภิเษก | บางกอกใหญ่ | กรุงเทพฯ | 349 | 3490 |
| 1609918673 | 13.7182133 | 100.5177416 | สาทรเหนือ | สาทร | กรุงเทพฯ | 377 | 3770 |
| 1609919140 | 13.7337032 | 100.5459149 | วิฑู | ปทุมวัน | กรุงเทพฯ | 26 | 260 |
| 1609919201 | 13.7345206 | 100.5460428 | วิฑู | ปทุมวัน | กรุงเทพฯ | 170 | 1700 |
| 1609930458 | 13.7437458 | 100.5456184 | เพลินจิต | ปทุมวัน | กรุงเทพฯ | 123 | 1230 |
| 1609930651 | 13.7440109 | 100.5444779 | เพลินจิต | ปทุมวัน | กรุงเทพฯ | 129 | 1290 |
| 1609930784 | 13.7344486 | 100.5422357 | หลังสวน | ปทุมวัน | กรุงเทพฯ | 60 | 600 |
| 1609930879 | 13.7341244 | 100.5457907 | สารสิน | ปทุมวัน | กรุงเทพฯ | 151 | 1510 |
| 1609931105 | 13.7247095 | 100.5483186 | พระรามที่ 4 | สาทร | กรุงเทพฯ | 449 | 4490 |
| 1610767854 | 7.91096786 | 98.33368165 | | กะทู้ | ภูเก็ต | 415 | 4150 |
| 1610768407 | 7.90826647 | 98.34798208 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 378 | 3780 |
| 1610769536 | 7.90860633 | 98.34840825 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 581 | 5810 |
| 1610770133 | 7.91073853 | 98.33400787 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 174 | 1740 |
| 1610770321 | 7.90855924 | 98.34754475 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 436 | 4360 |
| 1610775287 | 7.88787303 | 98.3667887 | | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 307 | 3070 |
| 1610776007 | 7.91433373 | 98.34339789 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 153 | 1530 |
| 1610784157 | 7.91433373 | 98.34339789 | | กะทู้ | ภูเก็ต | 383 | 3830 |
| 1610784850 | 7.90673493 | 98.37783081 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 434 | 4340 |
| 1610785540 | 7.90072349 | 98.38862753 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 89 | 890 |
| 1610785639 | 7.9039745 | 98.38878084 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 667 | 6670 |
| 1610786322 | 7.8904578 | 98.39830064 | ตำรง | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 489 | 4890 |
| 1610786817 | 7.90107196 | 98.38840734 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 196 | 1960 |
| 1610789859 | 7.90439723 | 98.37769171 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 212 | 2120 |
| 1610790074 | 7.90495745 | 98.36241995 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 123 | 1230 |
| 1610790293 | 7.90845968 | 98.34827056 | พระบารมี | กะทู้ | ภูเก็ต | 794 | 7940 |
| 1615023409 | 7.914726281 | 98.34445104 | | กะทู้ | ภูเก็ต | 100 | 1000 |
| 1615256518 | 7.908105 | 98.353468 | พระภูเก็ตแก้ว | กะทู้ | ภูเก็ต | 79 | 790 |
| 1615256668 | 7.906050446 | 98.36880719 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 359 | 3590 |

| หมายเลข Session | ละติจูด | ลองจิจูด | ถนน | เขต/อำเภอ | จังหวัด | เวลา (s) | จำนวน ภาพ |
|--------------------|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|----------|-------------|--------------|
| 1615258060 | 7.888999855 | 98.36866475 | วิชิตสงคราม | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 26 | 260 |
| 1615258136 | 7.888156613 | 98.37088352 | วิชิตสงคราม | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 192 | 1920 |
| 1615258342 | 7.885119607 | 98.38384261 | กระบี่ | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 351 | 3510 |
| 1615258702 | 7.889633887 | 98.38607022 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 311 | 3110 |
| 1615259214 | 7.903376077 | 98.37766207 | เยาวราช | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 154 | 1540 |
| 1615259467 | 7.903465394 | 98.38849477 | เทพกระษัตรี | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 403 | 4030 |
| 1615260286 | 7.880850841 | 98.39863611 | วีระพงษ์หงษ์หยก | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 84 | 840 |
| 1615260928 | 7.875656092 | 98.39821395 | ซอยหลิมช้อยู้ | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 208 | 2080 |
| 1615262274 | 7.899293401 | 98.35116031 | วิชิตสงคราม | กะทู้ | ภูเก็ต | 371 | 3710 |
| 1620015892 | 7.89094547 | 98.38994478 | เทพกระษัตรี | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 289 | 2890 |
| 1620005627 | 7.89884309 | 98.35627062 | วิชิตสงคราม | กะทู้ | ภูเก็ต | 80 | 800 |
| 1615259882 | | | | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 376 | 3760 |
| 1610869677 | 7.88088933 | 98.29537616 | นาโน | กะทู้ | ภูเก็ต | 599 | 5990 |
| 1610767651 | 7.91898755 | 98.3317589 | กะทู้ | กะทู้ | ภูเก็ต | 125 | 1250 |
| 1610767355 | 7.91527353 | 98.34421547 | กะทู้ | กะทู้ | ภูเก็ต | 256 | 2560 |
| 1605787430 | 13.7228819 | 100.4577714 | ราชพฤกษ์ | ภาษีเจริญ | กรุงเทพฯ | 53 | 530 |
| 1605785475 | 13.700539 | 100.5417056 | นราธิวาสราชนครินทร์ | ยานนาวา | กรุงเทพฯ | 277 | 2770 |
| 1605784941 | 13.7249016 | 100.528163 | นราธิวาสราชนครินทร์ | บางรัก | กรุงเทพฯ | 519 | 5190 |
| 1605784707 | 13.7215139 | 100.5299104 | สาทรใต้ | สาทร | กรุงเทพฯ | 177 | 1770 |
| 1624348903 | | | | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 586 | 5890 |
| 1624430732 | 13.8423772 | 100.5419374 | ประชาชื่น | บางซื่อ | กรุงเทพฯ | 516 | 5160 |
| 1624431268 | | | | | กรุงเทพฯ | 300 | 3000 |
| 1624432326 | | | | | กรุงเทพฯ | 300 | 3000 |
| 1624519591 | | | | | กรุงเทพฯ | 300 | 3000 |
| 1624944203 | 8.0052663 | 98.3087998 | ช. ป่าสัก 5 | ถลาง | ภูเก็ต | 312 | 3120 |
| 1624947235 | 7.9825741 | 98.2852872 | ซอย หัวเดียว | ถลาง | ภูเก็ต | 292 | 2920 |
| 1624947891 | 7.9887944 | 98.3090939 | ศรีสุนทร | ถลาง | ภูเก็ต | 56 | 560 |
| 1624948296 | 7.9873671 | 98.3167842 | ศรีสุนทร | ถลาง | ภูเก็ต | 133 | 1330 |
| 1624949566 | 7.8998965 | 98.388812 | เทพกระษัตรี | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 169 | 1690 |
| 1624949794 | 7.8908124 | 98.3899229 | เทพกระษัตรี | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 263 | 2630 |
| 1624953224 | 7.9240176 | 98.3715972 | เฉลิมพระเกียรติรัชกาล ที่ 9 | เมืองภูเก็ต | ภูเก็ต | 240 | 2400 |
| 1624953610 | 7.980598 | 98.3637823 | ศรีสุนทร | ถลาง | ภูเก็ต | 46 | 460 |
| 1624953681 | 7.9794014 | 98.3594753 | ศรีสุนทร | ถลาง | ภูเก็ต | 235 | 2350 |
| 1624954188 | 7.9924819 | 98.3061888 | บ้านดอน-เชิงทะเล | ถลาง | ภูเก็ต | 282 | 2820 |
| 1625728986 | | | | | กรุงเทพฯ | 23 | 230 |
| 1626054367 | | | | | กรุงเทพฯ | 237 | 2370 |
| 1626060437 | | | | | | 300 | 3000 |
| 1626060454 | 13.2708447 | 101.1752594 | ชบ.3026 | บ้านบึง | ชลบุรี | 2040 | 20400 |

| หมายเลข Session | ละติจูด | ลองจิจูด | ถนน | เขต/อำเภอ | จังหวัด | เวลา (s) | จำนวน ภาพ |
|--------------------|------------|-------------|-------------------------------|------------|------------|-------------|--------------|
| 1626063061 | 13.2611938 | 101.3167216 | خب.4082 | หนองใหญ่ | ชลบุรี | 1793 | 17930 |
| 1626063072 | 13.2619553 | 101.3159508 | خب.4082 | หนองใหญ่ | ชลบุรี | 1788 | 17880 |
| 1626064943 | 13.1200827 | 101.4082215 | خب.4082 | หนองใหญ่ | ชลบุรี | 1720 | 17200 |
| 1626064959 | 13.1199433 | 101.4081802 | خب.4082 | หนองใหญ่ | ชลบุรี | 1770 | 17700 |
| 1626066814 | 13.1348785 | 101.5539225 | خب.4082 | บ่อทอง | ชลบุรี | 1680 | 16800 |
| 1626066826 | 13.1347077 | 101.5542114 | خب.4082 | บ่อทอง | ชลบุรี | 1700 | 17000 |
| 1626068653 | 13.0354553 | 101.6629877 | Highway 0702 | เขาชะเมา | ระยอง | 1543 | 15430 |
| 1626068666 | 13.0351625 | 101.6629511 | Highway 0702 | เขาชะเมา | ระยอง | 1547 | 15470 |
| 1626076189 | 12.9378874 | 101.5209296 | 344 | วังจันทร์ | ระยอง | 2210 | 22100 |
| 1626076210 | 12.9378006 | 101.5209167 | 344 | วังจันทร์ | ระยอง | 2270 | 22700 |
| 1626078535 | 12.8950297 | 101.3711764 | ซอย สายหนองกรับ-โรง น้ำตาล | บ้านค่าย | ระยอง | 2602 | 26020 |
| 1626078552 | 12.8952073 | 101.371221 | ซอย สายหนองกรับ-โรง น้ำตาล | บ้านค่าย | ระยอง | 2673 | 26730 |
| 1626081350 | 12.9782869 | 101.3763989 | ซอยคลองน้ำแดง - เขา ลูกรัง | ปลวกแดง | ระยอง | 2264 | 22640 |
| 1626081360 | 12.9781225 | 101.3763921 | ซอยคลองน้ำแดง - เขา ลูกรัง | ปลวกแดง | ระยอง | 2326 | 23260 |
| 1626083920 | | | | | | 2494 | 24940 |
| 1626083929 | 13.063938 | 101.2675502 | خب 5059 | หนองใหญ่ | ชลบุรี | 2682 | 26820 |
| 1626145449 | 13.2715344 | 101.174832 | خب 3026 | บ้านบึง | ชลบุรี | 2682 | 26820 |
| 1626145452 | 13.2707496 | 101.1749447 | خب 3026 | บ้านบึง | ชลบุรี | 2630 | 26300 |
| 1626148229 | 13.4861117 | 101.1668104 | ศุขประยูร | พนัสนิคม | ชลบุรี | 2242 | 22420 |
| 1626150592 | 13.5024814 | 101.208699 | เมืองเก่า | พนัสนิคม | ชลบุรี | 2266 | 22660 |
| 1626150593 | 13.5024529 | 101.2091907 | เมืองเก่า | พนัสนิคม | ชลบุรี | 2204 | 22040 |
| 1626152554 | 13.7545359 | 100.5744352 | พระราม 9 | ห้วยขวาง | กรุงเทพฯ | 580 | 5800 |
| 1626152953 | 13.5088823 | 101.3785534 | ฉช.3010 | แปลงยาว | ฉะเชิงเทรา | 2108 | 21080 |
| 1626152955 | 13.5088925 | 101.378678 | ฉช.3010 | แปลงยาว | ฉะเชิงเทรา | 2170 | 21700 |
| 1626153551 | 13.7543715 | 100.5744841 | พระราม 9 | ห้วยขวาง | กรุงเทพฯ | 360 | 3600 |
| 1626157135 | 13.3870679 | 101.2876108 | เกาะโพธิ์ | เกาะจันทร์ | ชลบุรี | 2340 | 23400 |
| 1626157136 | 13.3870626 | 101.2875269 | เกาะโพธิ์ | เกาะจันทร์ | ชลบุรี | 2430 | 24300 |
| 1626160388 | 13.3641877 | 101.4158881 | 3245 | บ่อทอง | ชลบุรี | 1972 | 19720 |
| 1626160389 | 13.3642309 | 101.4158711 | 3245 | บ่อทอง | ชลบุรี | 2028 | 20280 |
| 1626162478 | 13.3828505 | 101.5827357 | خب.4084 | ท่าตะเกียบ | ฉะเชิงเทรา | 2436 | 24360 |
| 1626162480 | 13.3827057 | 101.5828481 | خب.4084 | ท่าตะเกียบ | ฉะเชิงเทรา | 2515 | 25150 |
| 1626165056 | | | | | | 2435 | 24350 |
| 1626165060 | | | | | | 522 | 5220 |
| 1626165731 | 13.3319326 | 101.5287642 | ฉช.4008 | บ่อทอง | ชลบุรี | 1702 | 17020 |
| 1626233915 | 13.2686463 | 101.1661127 | خب.3059 | บ้านบึง | ชลบุรี | 3482 | 34820 |
| 1626236174 | 13.1527953 | 101.0292204 | خب.4098 | ศรีราชา | ชลบุรี | 2204 | 22040 |

| หมายเลข Session | ละติจูด | ลองจิจูด | ถนน | เขต/อำเภอ | จังหวัด | เวลา (s) | จำนวน ภาพ |
|--------------------|------------|-------------|---|-------------|---------|-------------|--------------|
| 1626236175 | 13.1527405 | 101.0291453 | ชบ.4098 | ศรีราชา | ชลบุรี | 2259 | 22590 |
| 1626238481 | 13.0019444 | 100.9934488 | 3701 | บางละมุง | ชลบุรี | 2206 | 22060 |
| 1626238483 | 13.0019301 | 100.9934712 | 3701 | บางละมุง | ชลบุรี | 2146 | 21460 |
| 1626240744 | 12.8938331 | 100.9286345 | ทุ่งกลม-ตาลหม่น | บางละมุง | ชลบุรี | 2206 | 22060 |
| 1626240746 | 12.8938249 | 100.9286215 | ทุ่งกลม-ตาลหม่น | บางละมุง | ชลบุรี | 2146 | 21460 |
| 1626247452 | 12.7944163 | 100.9198917 | ชบ.1003 | สัตหีบ | ชลบุรี | 1972 | 19720 |
| 1626249533 | 12.8960165 | 101.0259151 | ทางหลวงยุทธศาสตร์ สัตหีบ - พนมสารคาม | บางละมุง | ชลบุรี | 2378 | 23780 |
| 1626252035 | 13.0949093 | 101.0825185 | | ศรีราชา | ชลบุรี | 2030 | 20300 |
| 1626254212 | 13.1164787 | 101.1081394 | 3241 | ศรีราชา | ชลบุรี | 2030 | 20300 |
| 1626247450 | 12.7943525 | 100.9200442 | ชบ.1003 | สัตหีบ | ชลบุรี | 2022 | 20220 |
| 1626249531 | 12.8960099 | 101.0259084 | ทางหลวงยุทธศาสตร์ สัตหีบ - พนมสารคาม | บางละมุง | ชลบุรี | 2436 | 24360 |
| 1626252032 | 13.0948953 | 101.0825014 | | ศรีราชา | ชลบุรี | 2115 | 21150 |
| 1626254210 | 13.1163762 | 101.108338 | 3241 | ศรีราชา | ชลบุรี | 2086 | 20860 |
| 1630039427 | | | | | | 4186 | 41860 |
| 1630043685 | 13.0314698 | 100.9963662 | ชลบุรี-พัทยา | บางละมุง | ชลบุรี | 1541 | 15410 |
| 1630049412 | 12.7170773 | 101.0224896 | พัทยา-มาบตาพุด | บ้านฉาง | ระยอง | 2612 | 26120 |
| 1630054764 | 13.3403775 | 101.0247796 | ชลบุรี-พัทยา | เมืองชลบุรี | ชลบุรี | 1837 | 18370 |
| 1632813042 | 13.7557713 | 100.5696398 | พระราม 9 | ห้วยขวาง | กรุงเทพ | 300 | 3000 |
| รวม | | | | | | 134,176 | 1,341,760 |

ตามที่ระบุไว้ก่อนหน้าในบทที่ 10 โดยความผิดปกติที่สนใจในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย (i) ความเสียหายชนิดหลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) (ii) ความเสียหายชนิดรอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) (iii) ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) (iv) รอยปูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) และ (v) ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole)

การกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ มีการทดสอบใช้หลายซอฟต์แวร์ ดังแสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 10 ซึ่งจากบทที่ 10 สรุปได้ว่า ซอฟต์แวร์ที่นำมาใช้ในการดำเนินการวิจัย จะเป็นซอฟต์แวร์ชื่อ Laberu โดยมีผู้ช่วยทำการ Label จำนวน 17 คน เนื่องจาก Laberu นั้นเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถทำการกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจได้หลายคนพร้อมกัน เพื่อกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ หลังจากทำการ Label ข้อมูลชุดที่สุ่มเลือกเรียบร้อยแล้วนั้น สามารถสรุปจำนวนความผิดปกติที่สนใจในแต่ละประเภทได้ดังตารางที่ 11-2

ตารางที่ 11-2 จำนวนความผิดปกติที่สนใจในแต่ละประเภท

| รอยแตก (Crack) | หลุม (Pothole) | รอยแตกริมถนน (Edge Deterioration) | รอยปะ (Patching) | ฝาท่อ (Manhole) |
|-------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 17,391 | 3,573 | 1,080 | 7,454 | 14,606 |

11.6 การวัดและการประเมินผลจากการสร้างตัวจำแนกด้วย Machine Learning

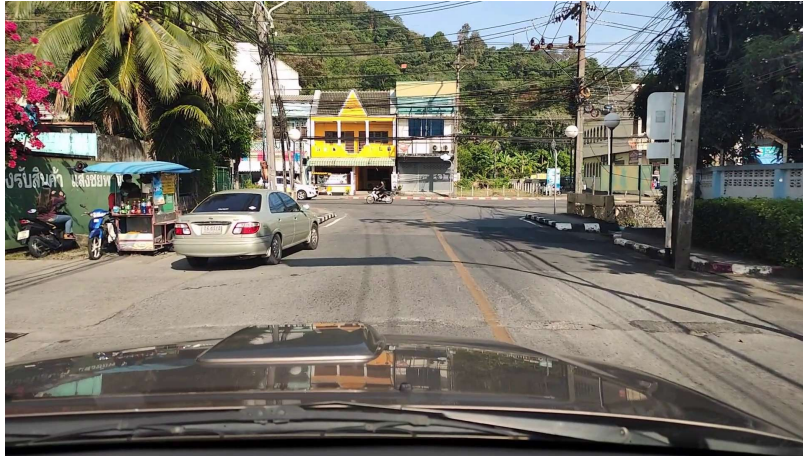
ในการวัดและประเมินผลจากการสร้างตัวจำแนกด้วย Machine Learning ได้แบ่งออกเป็น การทดลองย่อย ๆ โดยมีการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนรอบ (epoch) และการเปลี่ยนแปลงของขนาดภาพ รายละเอียดการทดลองดังแสดงในข้อ 11.6.1 - 11.6.2 และการอภิปรายผลดังข้อ 11.6.3

11.6.1 การทดลองการสร้างโมเดลโดยใช้พารามิเตอร์ต่างกัน

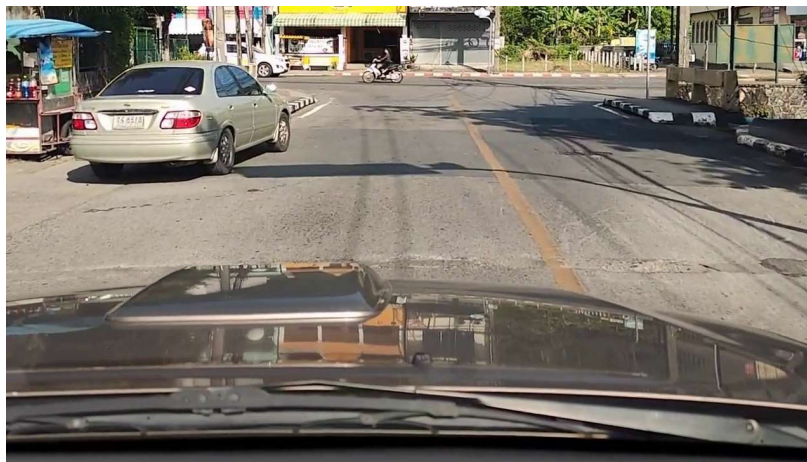
ในการทดลองนั้นมีการใช้ภาพทั้งหมด 32,939 ภาพ และกำหนดขนาดภาพที่ 320 x 320 ผลการทดลองวัดจากค่า mAP ดังตารางที่ 11-3 ส่วนรายละเอียดการทำลงมีดังนี้

1. การทดลองที่ 1 : ใช้ภาพ original จำนวน 200 epoch และ batch 8
2. การทดลองที่ 2 : ใช้ภาพ original จำนวน 500 epoch และ batch 8
3. การทดลองที่ 3 : ใช้ภาพ original จำนวน 500 epoch และ batch 16 มีการเพิ่มภาพที่ไม่มีวัตถุที่สนใจเข้าไปด้วย
4. การทดลองที่ 4 : ใช้ภาพที่มีการตัด Environment ที่ไม่เกี่ยวข้อง จำนวน 200 epoch และ batch 8
5. การทดลองที่ 5 : ใช้ภาพที่มีการตัด Environment ที่ไม่เกี่ยวข้อง จำนวน 500 epoch และ batch 8

ในการทดลองที่ 4 และ 5 ใช้ภาพที่มีการตัด Environment ที่ไม่เกี่ยวข้องออก ดังแสดงในภาพที่ 11-7 ตัวอย่างภาพที่ได้หลังการตัด environment ที่ไม่เกี่ยวข้องออก และใช้ในการทดลองที่ 4-5



ภาพที่ 11-6 ตัวอย่างภาพ original ที่ใช้ในการทดลองที่ 1-3



ภาพที่ 11-7 ตัวอย่างภาพที่ได้หลังการตัด environment ที่ไม่เกี่ยวข้องออก และใช้ในการทดลองที่ 4-5

ตารางที่ 11-3 แสดงค่า mAP ที่ได้จากการสร้างตัวจำแนกด้วยวิธีการต่าง ๆ

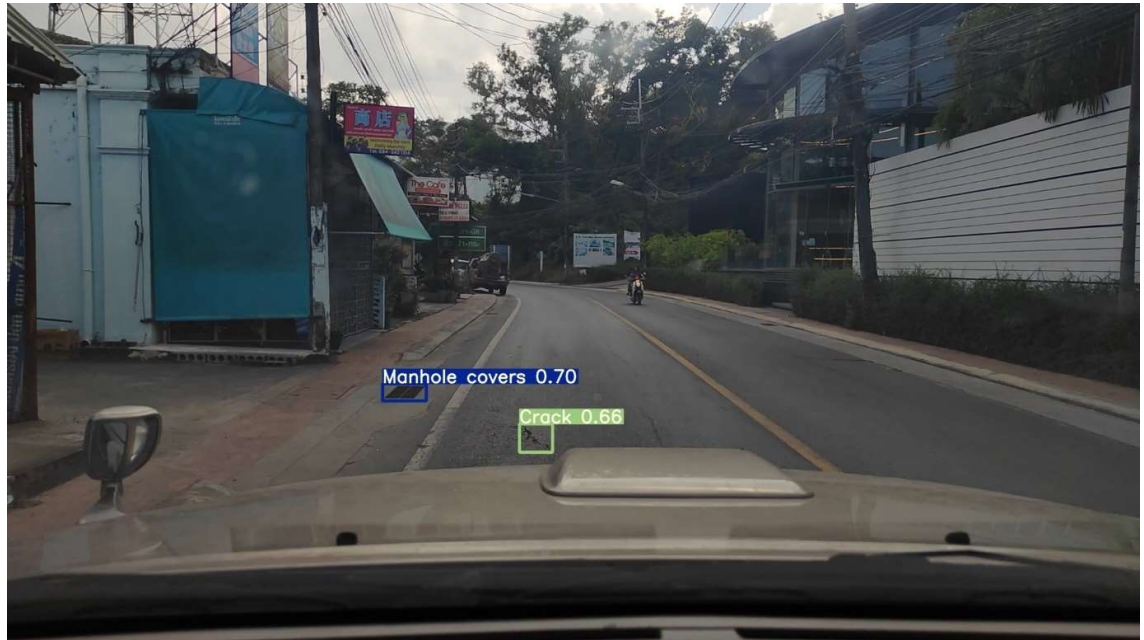
| การทดลองที่ | YOLO V3 | YOLO V4 | YOLO V5 |
|---------------|---------|---------|---------|
| การทดลองที่ 1 | 11.50% | 14.00% | 68.80% |
| การทดลองที่ 2 | 38.86% | 43.58% | 82.30% |
| การทดลองที่ 3 | 34.27% | 41.67% | 72.80% |
| การทดลองที่ 4 | 50.38% | 56.17% | 69.60% |
| การทดลองที่ 5 | 31.57% | 39.41% | 78.60% |

ตารางที่ 11-3 แสดงค่า mAP หรือประสิทธิภาพการตรวจจับของการปรับพารามิเตอร์ พื้นที่ในภาพ และจำนวน epoch ที่แตกต่างกัน โดยในการทดสอบนั้นมีการแบ่งภาพออกเป็น ข้อมูลชุดสร้างโมเดล (Training Set) และภาพเพื่อเป็นข้อมูลชุดทดสอบ (Test Set) โดย Training Set เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ของคอมพิวเตอร์ โดยใช้วิธีการสุ่ม (random) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้ของเครื่องคือโมเดล จากนั้นจึงใช้ข้อมูลชุด Test Set มาทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล ซึ่งข้อมูลที่ใช้ทดสอบในตาราง 11.3 เป็นข้อมูลที่ใช้วิดีโอชุดเดียวกัน ทั้ง Training Set และ Test Set จะใช้ 26,469 ภาพเพื่อเป็นข้อมูลชุดสร้างโมเดล (Training Set) และจะใช้ 6,470 ภาพเพื่อเป็นข้อมูลชุดทดสอบ (Test Set) ตารางที่ 11.3 แสดงประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุด้วยค่า mAP โดยใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้และชุดทดสอบ จากตารางพบว่า ใช้ภาพ original จำนวน 500 epoch และ batch 8 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลดีที่สุดที่ 82.30% รองลงมา ใช้ภาพที่มีการตัด environment ที่ไม่เกี่ยวข้อง จำนวน 500 epoch และ batch 8 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลเท่ากับ 78.60% ส่วนการใช้ภาพ original จำนวน 500 epoch และ batch 16 มีการเพิ่มภาพที่ไม่มีวัตถุที่สนใจเข้าไปด้วย ให้ประสิทธิภาพของโมเดลเท่ากับ 72.80% ถัดมาการใช้ภาพที่มีการตัด environment ที่ไม่เกี่ยวข้อง จำนวน 200 epoch และ batch 8 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลเท่ากับ 69.60% และการใช้ภาพ original จำนวน 200 epoch และ batch 8 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลต่ำสุดคือ 68.80% โดยใช้สถาปัตยกรรม YOLO V5

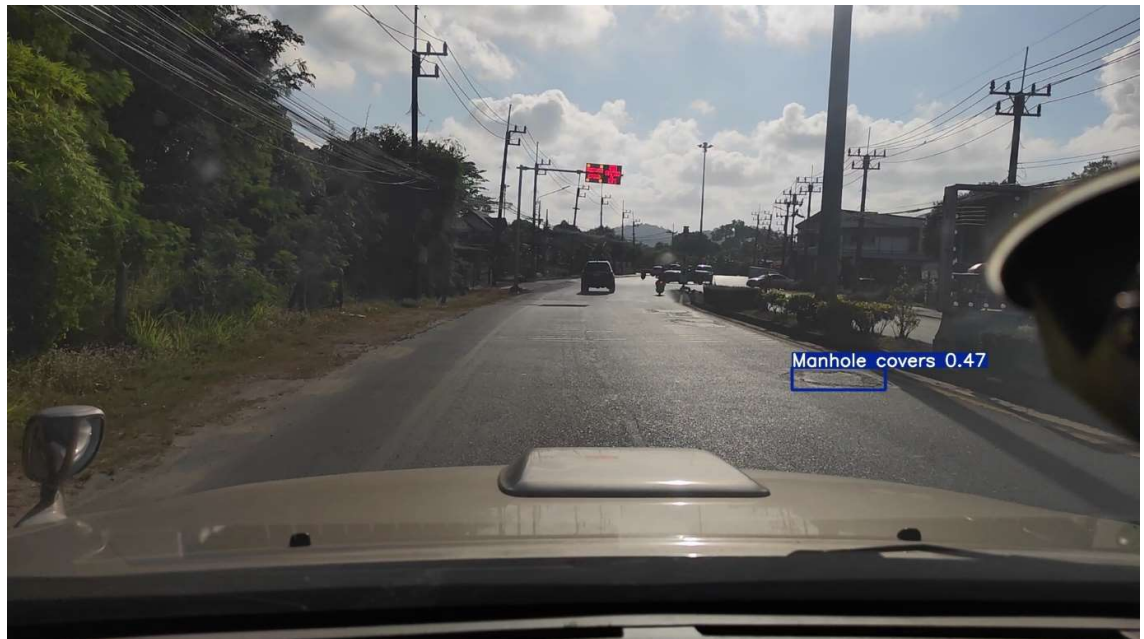
ตัวอย่างภาพที่มีการตรวจจับวัตถุถูกต้อง แสดงดังภาพที่ 11-8 และภาพที่ 11-9



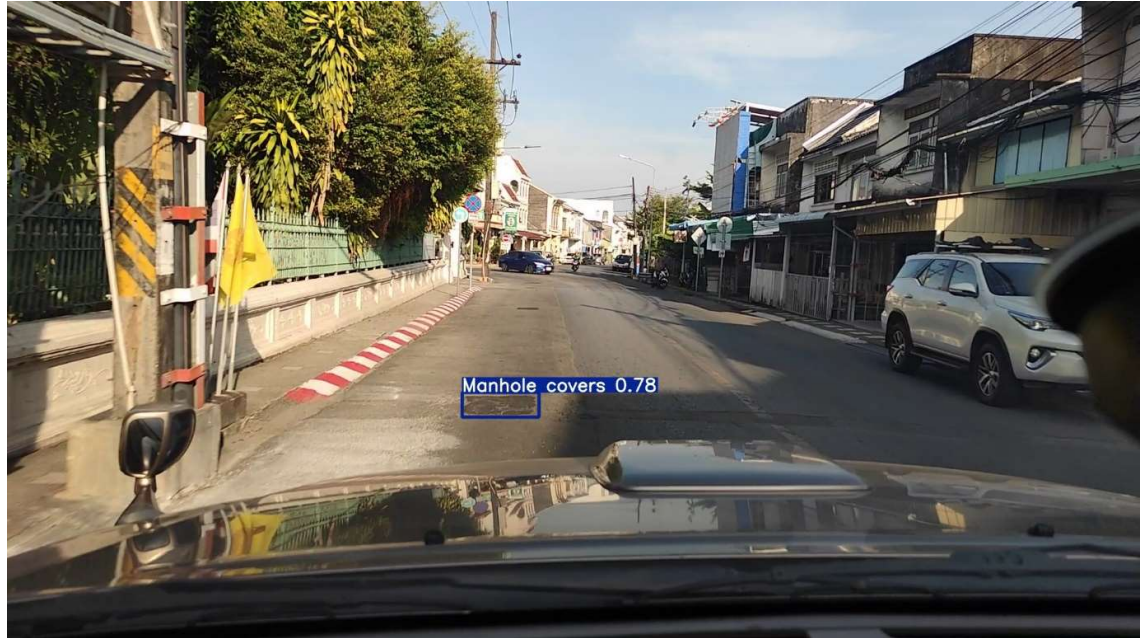
ภาพที่ 11-8 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) หลุม (ชมพู) และรอยปะ (เขียว) บนถนนอย่างถูกต้อง



ภาพที่ 11-9 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) และรอยแตก (เขียวอ่อน) บนถนนอย่างถูกต้อง
ตัวอย่างภาพที่มีการตรวจจับวัตถุไม่ถูกต้อง แสดงดังภาพที่ 11-10 และภาพที่ 11-11



ภาพที่ 11-10 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) บนถนนไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 11-11 ผลจากการตรวจจับฝาท่อ (น้ำเงิน) บนถนนไม่ถูกต้อง

11.6.2 การทดลองสร้างโมเดลด้วยขนาดของภาพที่ต่างกัน

ในการทดลองเพื่อดูประสิทธิภาพของโมเดลเมื่อใช้ภาพที่มีขนาดแตกต่างกัน ได้ทำการทดลองโดยด้วยภาพจำนวน 32,939 ภาพ จำนวน 100 epoch ใช้ YOLO V5 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 11-4

ตารางที่ 11-4 แสดงค่า mAP ที่ได้จากการทดลองด้วยภาพขนาดต่าง ๆ

| ขนาดของภาพ | Batch | ผลการทดสอบบนข้อมูลชุดทดสอบ (mAP) |
|-------------|-------|----------------------------------|
| 320 x 320 | 16 | 73.16% |
| 640 x 640 | 16 | 70.70% |
| 736 x 736 | 16 | 70.10% |
| 1024 x 1024 | 16 | 85.80% |
| 1920 x 1920 | 4 | 92.40% |

ตารางที่ 11-4 แสดงค่า mAP หรือประสิทธิภาพการตรวจจับของการปรับขนาดภาพและขนาดของ batch ที่แตกต่างกัน โดยในการทดสอบนั้น จะใช้ 26,469 ภาพเพื่อเป็นข้อมูลชุดสร้างโมเดล (Training Set) และจะใช้ 6,470 ภาพเพื่อเป็นข้อมูลชุดทดสอบ (Test Set) ที่มาจากวิดีโอชุดเดียวกัน ทั้ง Training Set และ Test Set ตารางที่ 11-4 แสดงประสิทธิภาพของการตรวจจับวัตถุด้วยค่า mAP โดยใช้ข้อมูลชุดเรียนรู้และชุดทดสอบ จากตารางพบว่า ใช้ภาพขนาด 1920x1920 และ batch 4 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ดีที่สุดที่

92.40% รองลงมาคือ ใช้ภาพขนาด 1024x1024 และ batch 16 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ 85.80% ภาพขนาด 320x320 และ batch 16 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ 73.16% ภาพขนาด 640 x 640 และ batch 16 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ 70.70% และภาพขนาด 736 x 736 และ batch 16 ให้ประสิทธิภาพของโมเดลต่ำที่สุดที่ 70.10%

11.6.3 อภิปรายและสรุปผล

จากตารางที่ 11-3 พบว่าทั้ง 5 การทดลอง YOLO V5 ให้ค่าความแม่นยำสูงที่สุดในแต่ละการทดลอง และการทดลองที่ 2 ใช้ภาพ original จำนวน 500 epoch และ batch 8 สถาปัตยกรรม YOLO V5 ให้ค่า mAP มากที่สุดคือ 82.30% เมื่อพิจารณาประเภทของภาพที่เป็น original และภาพที่มีการตัด environment ที่ไม่เกี่ยวข้องออกพบว่าการทดลองที่ใช้ภาพ original มีค่า mAP สูงกว่า

และจากตารางที่ 11-4 พบว่าภาพขนาดต่างกันก็ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน โดยภาพขนาด 1920 x 1920 เมื่อรันที่ batch = 4 ให้ค่า mAP = 92.40% ซึ่งถือว่าสูงที่สุดในการทดลองนี้ ภาพขนาด 320x320 ให้ค่า mAP เท่ากับ 86.50% ที่ batch 16 ส่วนภาพขนาด 1024 x 1024 736 x 736 และ 640 x 640 รันที่ batch 16 ให้ค่า mAP ลดลงมากคือ 85.8% 70.10% 70.70% ตามลำดับ โดยการทดลองที่ภาพขนาด 1920 x 1920 จำเป็นต้องใช้ batch ต่ำกว่าภาพขนาดอื่น ๆ เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์

11.7 การทดสอบโมเดลกับข้อมูล Unseen

เมื่อพัฒนาโมเดลเรียบร้อยแล้ว ได้มีการนำโมเดลไปทดสอบกับวิดีโอ ที่ทำการแยกออกมาเป็นภาพทั้งหมด 10 ชุด ที่ได้มาจากวิดีโอใหม่ โดยรวมเป็นภาพทั้งหมด 2,292 ภาพ โดยการทดสอบนี้ใช้ภาพขนาด 1920x1920 batch size = 4 และ ค่า iou_threshold = 0.5 ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 11.5 และจำนวนความผิดพลาดที่ใช้ในการทดสอบโมเดลแสดงดังตารางที่ 11-5

ตารางที่ 11-5 แสดงค่า mAP ที่ได้จากการทดสอบโมเดล

| ภาพชุดที่ | จำนวน | ฝ่าท้อ | รอยปะ | รอยแตกริมถนน | รอยแตก | หลุม | mAP รวม |
|-----------|-------|--------|--------|--------------|--------|--------|---------|
| 1 | 230 | 82.30% | 52.90% | 49.80% | 32.90% | 43.30% | 52.20% |
| 2 | 230 | 85.60% | 59.00% | 0 | 30.70% | 26.00% | 50.30% |
| 3 | 229 | 86.50% | 56.50% | 0 | 26.30% | 16.10% | 46.40% |
| 4 | 229 | 83.60% | 55.40% | 99.50% | 32.70% | 28.1% | 59.90% |
| 5 | 229 | 77.20% | 61.50% | 99.50% | 24.80% | 23.80% | 57.40% |
| 6 | 229 | 78.20% | 61.30% | 99.50% | 27.60% | 26.40% | 58.60% |
| 7 | 229 | 81.00% | 60.60% | 0 | 22.90% | 44.80% | 52.30% |
| 8 | 229 | 87.40% | 57.00% | 0 | 36.90% | 19.50% | 50.20% |

| | | | | | | | |
|----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9 | 229 | 84.50% | 44.10% | 0 | 39.40% | 57.50% | 56.40% |
| 10 | 229 | 77.20% | 48.60% | 99.50% | 28.50% | 35.50% | 57.90% |

ผลการนำเอาโมเดลที่ได้พัฒนาขึ้น ไปใช้ในการตรวจจับสิ่งผิดปกติบนผิวถนนในวิดีโอที่สนใจจำนวน 10 ชุด ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางที่ 11-5

จากตารางมีการแสดงผลค่า mAP แยกตามความผิดปกติบนผิวถนน และ mAP รวมที่ได้จากการทดสอบภาพแต่ละชุด พบว่า มีภาพจำนวน 9 ชุดที่มีค่า mAP มากกว่า 50% และมีภาพ 1 ชุดที่มีค่า mAP น้อยกว่า 50% โดยภาพที่พบได้มากที่สุด รองลงมาคือ รอยปะ หลุม รอยแตก และรอยแตกริมถนนตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำโมเดลไปทดสอบกับภาพทั้ง 10 ชุดในครั้งเดียว พบว่ามีค่า mAP เท่ากับ 56.40% โดยแยกเป็น รอยแตกริมถนนมีค่า mAP เท่ากับ 89.80% ฝาท่อมีค่า mAP เท่ากับ 81.20% รอยปะมีค่า mAP เท่ากับ 54.10% รอยแตกมีค่า mAP เท่ากับ 12.50% และหลุมมีค่า mAP เท่ากับ 28.00%

ตารางที่ 11-6 แสดงจำนวนความผิดปกติที่ใช้ในการทดสอบโมเดล

| ภาพชุดที่ | ฝาท่อ | รอยปะ | รอยแตกริมถนน | รอยแตก | หลุม |
|-----------|-------|-------|--------------|--------|------|
| 1 | 182 | 24 | 1 | 46 | 10 |
| 2 | 176 | 33 | 0 | 53 | 11 |
| 3 | 182 | 28 | 0 | 52 | 14 |
| 4 | 184 | 24 | 1 | 52 | 6 |
| 5 | 179 | 29 | 1 | 45 | 7 |
| 6 | 175 | 27 | 2 | 47 | 4 |
| 7 | 180 | 25 | 0 | 57 | 5 |
| 8 | 186 | 26 | 0 | 55 | 7 |
| 9 | 180 | 19 | 0 | 54 | 5 |
| 10 | 184 | 25 | 1 | 46 | 7 |

จากตารางที่ 11-5 พบว่าที่โมเดลสามารถตรวจจับความผิดปกติชนิดที่เป็นฝาท่อได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 11-6 ที่ค่า $iou_threshold = 0.5$ ฝาท่อมีจำนวนภาพที่ลาเบล และนำมาใช้ในการทดสอบโมเดลมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งถือเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดบนท้องถนน

เพื่อประเมินการตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนนโดยใช้โมเดลที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับข้อมูลใหม่หากแต่มีการประเมินประสิทธิภาพของการตรวจโดยใช้การประเมินด้วย Confusion Matrix ซึ่ง Confusion Matrix คือการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมระหว่างค่าการทำนายและค่าจริงในรูปแบบของตารางเมทริกซ์

โดยประกอบไปด้วย TP คือ (i) ค่าการทำนายที่ทำนายว่าจริงซึ่งตรงกับค่าจริง (ii) TN คือ ค่าการทำนายที่ทำนายว่าไม่จริงซึ่งตรงกับค่าจริง (iii) FP คือ ค่าการทำนายที่ทำนายว่าไม่จริงซึ่งไม่ตรงกับค่าจริง และ (iv) FN คือ ค่าการทำนายที่ทำนายว่าจริงซึ่งไม่ตรงกับค่าจริง โดยการประเมินประสิทธิภาพสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Accuracy} = (TP + TN)/(TP+TN+FP+FN)$$

$$\text{Precision} = (TP)/(TP+FP)$$

$$\text{Sensitivity} = (TP)/(TP+FN)$$

$$\text{Specificity} = (TN)/(TN+FP)$$

ซึ่งจากการทดลองข้อมูลวิดีโอจำนวน 8 Session ซึ่งเป็นข้อมูล Unseen (ข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน) ขับรถด้วยความเร็วประมาณ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 17.23 นาที คิดเป็น 11.487 กิโลเมตร มีทั้งหมด 8 วิดีโอ ซึ่งแต่ละวิดีโอมีความยาวประมาณ 1 นาที 44 วินาที ซึ่งสามารถสรุปผลดำเนินการได้ดังตารางที่ 11-7

ตารางที่ 11-7 ผลดำเนินการทดลองข้อมูลวิดีโอจำนวน 8 Session

| Video | True Positive | False Positive | False Negative | True Negative |
|--------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| 1 | 11 | 3 | 0 | 8 |
| 2 | 52 | 11 | 0 | 54 |
| 3 | 252 | 22 | 3 | 93 |
| 4 | 167 | 18 | 4 | 80 |
| 5 | 146 | 17 | 31 | 107 |
| 6 | 164 | 7 | 59 | 133 |
| 7 | 159 | 9 | 45 | 68 |
| 8 | 71 | 0 | 6 | 73 |
| Total | 1022 | 87 | 148 | 616 |

ซึ่งจากการทดลองข้อมูลจำนวน 8 Session ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น สามารถคำนวณเป็นค่าความถูกต้อง (Accuracy) ได้ที่ 87.45% Precision คิดเป็น 92.15% Sensitivity คิดเป็น 87.35% และ Specificity คิดเป็น 87.62% ซึ่งจากผลการดำเนินการดังกล่าวพบว่าประสิทธิภาพของโมเดลนั้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาต่อไปได้

11.8 สรุป

จากการสร้างโมเดล และนำโมเดลไปใช้ พบปัญหาต่าง ๆ ดังนี้

1. ภาพของวัตถุที่ใช้ในการเทรนโมเดลมีจำนวนไม่มากพอ เช่น รอยแตกริมถนน (Edge crack) ที่มีจำนวนน้อยมาก ทำให้โมเดลที่ได้ไม่สามารถจับรอยแตกริมถนนได้อย่างแม่นยำ ซึ่งการที่จะทำให้โมเดลสามารถตรวจจับได้อย่างแม่นยำ จะต้องมีการที่มีจำนวนมากพอ
2. การถอดข้อมูลวัตถุ (Labeling) จำเป็นต้องใช้คนจำนวนมากในการถอดข้อมูลวัตถุ (Labeling) เนื่องจากภาพมีจำนวนมาก และการถอดข้อมูลวัตถุ (Labeling) มีการทำหลายรอบ หลายกลุ่มคน ทำให้เจอปัญหาที่ผู้ลาเบลไม่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องปัญหาต่าง ๆ บนถนน และแนวทางในการถอดข้อมูลวัตถุ (Labeling) ไม่เหมือนกัน เช่น ล้อมกรอบวัตถุเล็ก หรือใหญ่เกินไป รวมถึงการแยกความผิดปกติก็มีความสับสนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รอยแตกและรอยแตกริมถนน
3. การติดตั้งกล้องจะต้องไม่สั่นขณะรถวิ่ง และไม่ติดหัวรถ เพราะจะทำให้ได้วิดีโอ และภาพที่ไม่ชัด ทำให้ไม่สามารถนำภาพ และวิดีโอที่บันทึกมาให้ได้ ดังที่มีการใช้ขาตั้งกล้องสองตัวในงานวิจัยนี้ ทำให้ได้ภาพที่ชัดขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้
4. การขับรถในขณะที่บันทึกภาพ จะต้องใช้ความเร็วที่เหมาะสม ยิ่งช้าจะยิ่งดี เพราะทำให้ได้ภาพที่มีความชัดเพิ่มขึ้น รวมถึงสภาพอากาศในขณะที่บันทึกภาพ จะต้องมียามที่โปร่งใส และแสงสว่างเพียงพอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Vishal Mandal, Lan Uong, and Yaw Adu-Gyamfi. Automated road crack detection using deep convolutional neural networks. In 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), pages 5212–5215, 2018.
- [2] Kwang Eun An, Sung Won Lee, Seung-Ki Ryu, and Dongmahn Seo. Detecting a pothole using deep convolutional neural network models for an adaptive shock observing in a vehicle driving. In 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pages 1–2, 2018.
- [3] Achmad Donni Wiratmoko, Albiyan Wanda Syauqi, Muhamad Surya Handika, Dinni Bangkit Nurriszki, Muhammad Wafi, Mat Syai'in, Imam Sutrisno, Muhammad Khoirul Hasin, li Munadhif, Afif Zuhri Arfianto, et al. Design of potholes detection as road's feasibility data information using convolutional neural network (cnn). In 2019 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), pages 1–5. IEEE, 2019.
- [4] Shuihua Wang, Chaosheng Tang, Junding Sun, Jingyuan Yang, Chenxi Huang, Preetha Phillips, and Yu-Dong Zhang. Multiple sclerosis identification by 14-layer convolutional neural network with batch normalization, dropout, and stochastic pooling. *Frontiers in Neuroscience*, 12:818, 11 2018.
- [5] Ozcan, T., & Basturk, A. (2019). Transfer learning-based convolutional neural networks with heuristic optimization for hand gesture recognition. *Neural Computing and Applications*, 31(12), 8955-8970.
- [6] Aghdam, H. H., & Heravi, E. J. (2017). *Guide to convolutional neural networks*. New York, NY: Springer, 10(978-973), 51.
- [7] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- [8] Kim, S., & Kim, H. (2021). Zero-centered fixed-point quantization with iterative retraining for deep convolutional neural network-based object detectors. *IEEE Access*, 9, 20828-20839.
- [9] Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*.

[10] roboflow.com: YOLOv5 is Here: State-of-the-Art Object Detection at 140 FPS (2020). <https://blog.roboflow.com/yolov5-is-here/>. Accessed 4 July 2021

[11] Xu, R., Lin, H., Lu, K., Cao, L., & Liu, Y. (2021). A Forest Fire Detection System Based on Ensemble Learning. *Forests*, *12*(2), 217.

[12] Intel® AI Technologies. (2020, October). Surface Crack Detection using Computer Vision. Retrieved September 6, 2021, from

<https://www.wipro.com/content/dam/nexus/en/service-lines/business-process/latest-thinking/surface-crack-detection-using-computer-vision.pdf>

บทที่ 12 การพัฒนาแบบจำลองในการประเมินดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index)

12.1 ที่มาและความจำเป็น

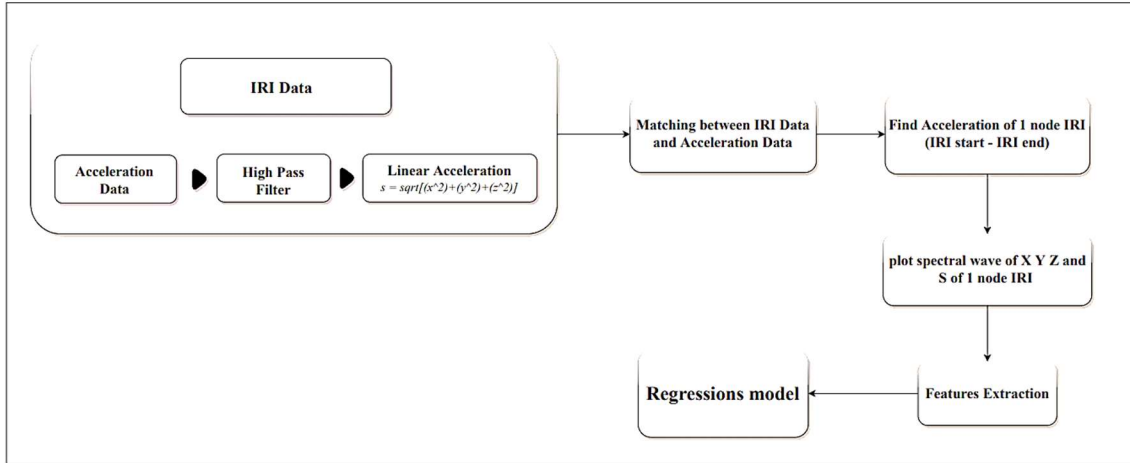
ดัชนีความขรุขระสากล หรือ International Roughness Index (IRI) คือ ดัชนีการวัดประเมินการซ่อมบำรุงถนนทางหลวง โดยปกติ IRI จะวัดโดยใช้ Laser Profilers และ Walking Profilers โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีการติดตั้งไว้ในรถสำรวจ ซึ่งในปัจจุบันนี้ข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานที่รับผิดชอบในประเทศไทย จะมีกำหนดการใช้รถเก็บข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลความเรียบ หรือ International Roughness Index ตามพื้นที่ ที่กำหนดไว้ ซึ่งรถสำรวจเก็บข้อมูลนี้จะมีราคาสูง อีกทั้งการเก็บข้อมูลจะมีความถี่ได้ไม่บ่อยนัก นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในบางพื้นที่ เช่น ในท้องที่ห่างไกล เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงใช้อุปกรณ์ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล Acceleration (อัตราการเร่ง) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประมวลผลหาค่า IRI

จากผลงานวิจัย Montha, A., Huytook, A., Rakmark, T., Lertworawanich, P. (2022). Road Roughness Estimation Using Acceleration Data from Smartphones. In: et al. Advances in Road Infrastructure and Mobility. IRF 2021. Sustainable Civil Infrastructures. Springer, Cham. ได้นำเสนอวิธีการ ในการประมาณค่า IRI จากข้อมูล Acceleration (อัตราการเร่ง) ที่รวบรวมจาก Smartphone โดยข้อมูลจะแบ่งออกเป็นทุก ๆ 100 เมตร โดยใช้ประมวลผลโดยใช้ Fast Fourier Transform (FFT) โดยมีการเก็บข้อมูลของถนนที่มีความยาวทุก ๆ 100 เมตร พร้อมด้วยเก็บค่า IRI เฉลี่ย โดยใช้ Laser Profilers และเปรียบเทียบกับข้อมูลการประมวลผล acceleration โดยผลลัพธ์จะแสดงถึงความสัมพันธ์ IRI เชิงเส้นกับผลลัพธ์ของ FFT ของ Acceleration โดยวัตถุประสงค์หลักของงานเพื่อใช้ smartphone ในการประเมินสภาพของพื้นผิวถนนเบื้องต้นได้ แม้จะไม่มีข้อมูล IRI ที่แน่นอนจากข้อมูลเจ้าหน้าที่จังหวัด โดยสามารถจำแนกลักษณะการขรุขระของถนน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แนวทางของงานวิจัยดังกล่าวเพื่อสร้างโมเดลในการประเมินค่า IRI โดยในบทนี้จะมีรายละเอียดของการดำเนินงานซึ่งสามารถแสดงได้ดังหัวข้อย่อต่อไปนี้

12.2 การออกแบบการทดลอง

การดำเนินการทดลองการประเมินการขรุขระของถนนโดยใช้ข้อมูลจาก Accelerometer โดยใช้ Linear Regression Model ในการประเมินแบ่งออกเป็นขั้นตอนการทดลอง ได้แก่ i) การเก็บข้อมูล IRI และ ข้อมูล Accelerometer ii) การหาความสัมพันธ์และจับคู่ (Matching Data) ของข้อมูล IRI และ ข้อมูล Accelerometer iii) การหาคุณสมบัติของข้อมูล และ iv) การประเมินผลการทดลองจากข้อมูล Accelerometer โดยรายละเอียดการทดลองแสดงดังภาพที่ 12-1



รูปที่ 12-1 แผนการดำเนินการทดลอง

จากรูปที่ 12-1 คือแผนการดำเนินการ โดยเริ่มต้นจากข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration ที่ได้ทำการรวบรวมมา โดยข้อมูล Acceleration จะมีการเก็บโดยใช้ Smooth Street Recorder ซึ่งจะได้ข้อมูล Acceleration ของทั้งแกน X, Y และ Z และคณะวิจัยได้ไปเก็บข้อมูลพร้อมกับรถเก็บข้อมูลของหน่วยงานที่รับผิดชอบพร้อมก็ได้รับข้อมูล IRI ของระยะทางในทุก ๆ 25 เมตร

ข้อมูล Acceleration จะถูกนำมาเตรียมความพร้อมของข้อมูลโดยใช้ High pass filter เป็นตัวกรองความถี่เพื่อลดทอนความถี่ที่ไม่ต้องการของข้อมูลนำเข้า จากนั้นนำข้อมูลที่ผ่านตัวกรองแล้ว นำมาคำนวณอัตราความเร็ว (Linear Acceleration) เมื่อข้อมูล Acceleration ผ่านการเตรียมความพร้อมแล้วนั้น จะถูกนำมาจับคู่กับ IRI โดยใช้พิกัดของข้อมูล IRI และ พิกัดข้อมูล Accelerometer โดยนำพิกัดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของ 1 IRI ระยะทาง 25 เมตร เพื่อหา ข้อมูล Accelerometer ในระยะประมาณ 25 เมตรตาม IRI

จากนั้นเป็นกระบวนการวิเคราะห์หาคุณสมบัติ โดยการดึงคุณสมบัติทางคณิตศาสตร์ ในงานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้ Fast Fourier Transform (FFT) และ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ผ่านการเตรียมความพร้อมและการประมวลผลแล้วนั้นมาวิเคราะห์และความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

12.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ถนนที่ใช้เป็นข้อมูล : จังหวัดภูเก็ต

ระยะทางของ 1 IRI (จุดเริ่มต้น - จุดสิ้นสุด) : เก็บข้อมูล IRI ทุกๆ 25 เมตร บนถนน

จำนวน node ที่ใช้ในการทดลอง : 516 nodes ครอบคลุมระยะทางประมาณ 12.90 กิโลเมตร

12.4 การเตรียมความพร้อมของข้อมูล

การเตรียมความพร้อมของข้อมูลก่อนนำไปประมวลผล หลังจากที่คุณจะวิจัยได้รับข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration มาแล้วนั้น คุณควรจะนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมา Mapping กันซึ่งจะอธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป จากนั้นนำข้อมูล Acceleration ที่ได้จากการ Mapping ข้อมูล นำข้อมูลมาตรวจสอบเนื่องจากข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration จะถูกเก็บด้วยอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนรถยนต์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ติดตั้งจะถูกเปิดใช้งานตั้งแต่รถยนต์จอดหรือยังไม่มีรถเคลื่อนไหว ทำให้ค่า IRI และข้อมูล Acceleration ไม่ปรากฏ คุณวิจัยจึงต้องมีการตัดส่วนนี้ออกไป โดยหลังจากการเตรียมข้อมูลให้พร้อมสำหรับการทดลองแล้ว การดำเนินการทดลองและผลการทดลองจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

12.5 การทดลองและการประเมินผลการทดลอง

ผลการทดลองการพัฒนาโมเดลสำหรับประเมิน International roughness index สามารถรายงานและแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

12.5.1 การ Mapping ข้อมูลระหว่าง IRI และ Acceleration

การ Mapping ข้อมูลระหว่าง IRI และ Acceleration เนื่องจากข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration เป็นข้อมูลที่แยกจากกัน แต่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงด้วยนัยสำคัญ ทำให้ผู้วิจัยจะต้องทำการ Mapping ข้อมูลทั้ง 2 ทั้งส่วนนี้เข้าด้วยกัน โดยใช้พิกัดละติจูดและลองจิจูด (Latitude-Longitude) ของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของค่า IRI 1 ค่า นำมาหาพิกัดละติจูดและลองจิจูดของข้อมูล Acceleration ที่มีใกล้เคียงกันกับพิกัด IRI ผลลัพธ์ที่ได้คือพิกัดของพิกัดที่ใกล้เคียงของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของข้อมูล Acceleration ซึ่งค่า IRI 1 ค่า อาจจะมีพิกัดข้อมูล Acceleration มากกว่า 1 จุด ตัวอย่างของข้อมูลการ Mapping ข้อมูลระหว่าง IRI และ Acceleration ดังตารางที่ 12-1

ตารางที่ 12-1 ตัวอย่างข้อมูลการ Mapping ข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration ของ 1 ค่า IRI

| RI node | IRI Latitude-Longitude Start | IRI Latitude-Longitude End | Distance | Accelerometer Latitude-Longitude Start | Accelerometer Latitude-Longitude End | Distance |
|---------|------------------------------|----------------------------|----------|--|--------------------------------------|----------|
| 70 | 7.98595845 98.30220836 | 7.98576254 98.30209555 | 25 เมตร | 7.98592419 98.30224957 | 7.98575795 98.30214894 | 24 เมตร |

จากตารางที่ 12-1 เป็นข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการ Mapping ข้อมูล ระหว่างข้อมูล IRI และ ข้อมูล Acceleration โดยใช้พิกัด Latitude และ Longitude ของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของข้อมูล IRI จากนั้นหาพิกัดที่ใกล้เคียงกันจากพิกัด Latitude และ Longitude ของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างผลลัพธ์การ Mapping หาพิกัดข้อมูล IRI และ Acceleration แสดงดังตารางที่ 12-2

ตารางที่ 12-2 ตัวอย่างของพิกัด IRI และ พิกัด Acceleration ที่ใกล้เคียงกัน

| ข้อมูล IRI | ข้อมูล Accelerometer |
|--|---|
|  |  |

หลังจาก Mapping พิกัดระหว่าง IRI และ Acceleration ได้แล้วนั้น จากนั้นจะนำข้อมูล Timestamp จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของพิกัด Accelerometer เพื่อหาค่า acceleration ของแกน X Y Z ที่อยู่ระหว่าง Timestamp จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของพิกัด Accelerometer แสดงดังตารางประกอบที่ 12-3

ตารางที่ 12-3 ตัวอย่างข้อมูล Acceleration ของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด

| Accelerometer Latitude-Longitude Start | Timestamp Start | Accelerometer Latitude-Longitude End | Timestamp End | Average IRI |
|--|-------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|
| 7.98592419 98.30224957 | 165354204300 0 | 7.98575795 98.30214894 | 1653542045000 | .82 |

จากข้อมูลที่ได้อ้างอิงไว้ในตารางที่ 12-3 นำข้อมูล Timestamp มาหาค่าระหว่าง Timestamp ของจุดเริ่มต้น และ Timestamp ของจุดสิ้นสุดจุด แสดงดังตารางที่ 12-4

ตารางที่ 12-4 ตัวอย่างข้อมูลค่า acceleration ของ แกน X Y Z

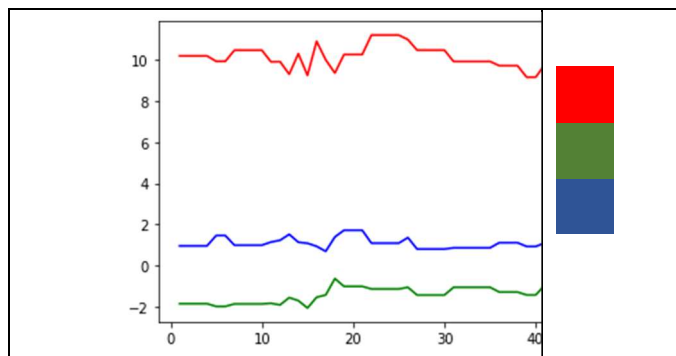
| x | y | z | timestamp | node_IRI |
|-------------|--------------|-------------|---------------|----------|
| 10.20623779 | -1.864730835 | 0.951217651 | 1653542043018 | 270 |
| 10.20623779 | -1.864730835 | 0.951217651 | 1653542043018 | 270 |
| 10.20623779 | -1.864730835 | 0.951217651 | 1653542043018 | 270 |
| 10.20623779 | -1.864730835 | 0.951217651 | 1653542043018 | 270 |
| 9.942886353 | -1.996414185 | 1.457580566 | 1653542043105 | 270 |
| 9.942886353 | -1.996414185 | 1.457580566 | 1653542043105 | 270 |
| 10.48516846 | -1.87550354 | 0.984741211 | 1653542043171 | 270 |
| 10.48516846 | -1.87550354 | 0.984741211 | 1653542043171 | 270 |
| 10.48516846 | -1.87550354 | 0.984741211 | 1653542043171 | 270 |
| 10.48516846 | -1.87550354 | 0.984741211 | 1653542043171 | 270 |
| 9.920135498 | -1.845581055 | 1.137969971 | 1653542043240 | 270 |
| 9.924926758 | -1.92338562 | 1.225357056 | 1653542043324 | 270 |
| 9.313201904 | -1.567855835 | 1.51385498 | 1653542043378 | 270 |
| 10.31637573 | -1.715087891 | 1.129577637 | 1653542043462 | 270 |
| 9.259338379 | -2.075408936 | 1.079299927 | 1653542043541 | 270 |
| 10.91970825 | -1.551086426 | 0.930862427 | 1653542043742 | 270 |

| x | y | z | timestamp | node_IRI |
|-------------|--------------|-------------|---------------|----------|
| 10.01470947 | -1.439758301 | 0.686660767 | 1653542043894 | 270 |
| 9.371871948 | -0.641296387 | 1.386962891 | 1653542043963 | 270 |
| 10.2744751 | -1.020767212 | 1.713775635 | 1653542044028 | 270 |
| 10.2744751 | -1.020767212 | 1.713775635 | 1653542044028 | 270 |
| 10.2744751 | -1.020767212 | 1.713775635 | 1653542044028 | 270 |
| 11.22138977 | -1.146469116 | 1.085296631 | 1653542044111 | 270 |
| 11.22138977 | -1.146469116 | 1.085296631 | 1653542044111 | 270 |
| 11.22138977 | -1.146469116 | 1.085296631 | 1653542044111 | 270 |
| 11.22138977 | -1.146469116 | 1.085296631 | 1653542044111 | 270 |
| 11.00231934 | -1.066253662 | 1.354644775 | 1653542044182 | 270 |
| 10.48756409 | -1.443359375 | 0.797988892 | 1653542044244 | 270 |
| 10.48756409 | -1.443359375 | 0.797988892 | 1653542044244 | 270 |
| 10.48756409 | -1.443359375 | 0.797988892 | 1653542044244 | 270 |
| 10.48756409 | -1.443359375 | 0.797988892 | 1653542044244 | 270 |
| 9.934494019 | -1.066268921 | 0.856643677 | 1653542044325 | 270 |
| 9.934494019 | -1.066268921 | 0.856643677 | 1653542044325 | 270 |
| 9.934494019 | -1.066268921 | 0.856643677 | 1653542044325 | 270 |
| 9.934494019 | -1.066268921 | 0.856643677 | 1653542044325 | 270 |
| 9.934494019 | -1.066268921 | 0.856643677 | 1653542044325 | 270 |
| 9.731002808 | -1.297302246 | 1.106842041 | 1653542044407 | 270 |
| 9.731002808 | -1.297302246 | 1.106842041 | 1653542044407 | 270 |
| 9.731002808 | -1.297302246 | 1.106842041 | 1653542044407 | 270 |
| 9.17074585 | -1.439758301 | 0.923675537 | 1653542044463 | 270 |
| 9.17074585 | -1.439758301 | 0.923675537 | 1653542044463 | 270 |
| 9.782470703 | -0.951339722 | 1.094863892 | 1653542044611 | 270 |
| 9.782470703 | -0.951339722 | 1.094863892 | 1653542044611 | 270 |
| 9.425735474 | -0.878311157 | 1.631164551 | 1653542044676 | 270 |
| 10.08294678 | -0.857971191 | 0.692642212 | 1653542044778 | 270 |

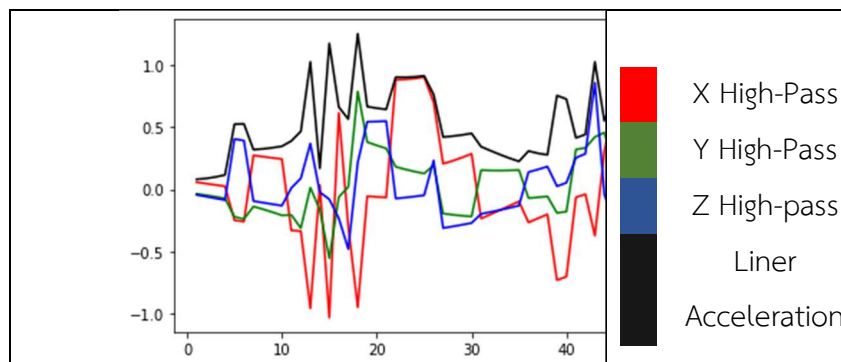
| x | y | z | timestamp | node_IRI |
|-------------|--------------|-------------|---------------|----------|
| 10.43847656 | -1.141677856 | 0.458007813 | 1653542044839 | 270 |
| 9.758529663 | -1.408630371 | 0.630401611 | 1653542044896 | 270 |
| 9.677124023 | -1.378707886 | 0.623214722 | 1653542044970 | 270 |

12.5.2 การทำ High Pass Filter

การทำ High Pass Filter คือการกรองความถี่ที่ปล่อยคลื่นความถี่สูงและลดทอนคลื่นความถี่ต่ำกว่าที่กำหนดออก ตัวอย่างแสดงผลลัพธ์ก่อนการทำ High Pass และ หลังจากการทำ High Pass Filter ดังภาพประกอบที่ 12-2 และภาพประกอบที่ 12-3



รูปที่ 12-2 คลื่นความถี่ของข้อมูล acceleration ของแกน X Y Z ก่อนการทำ High Pass Filter

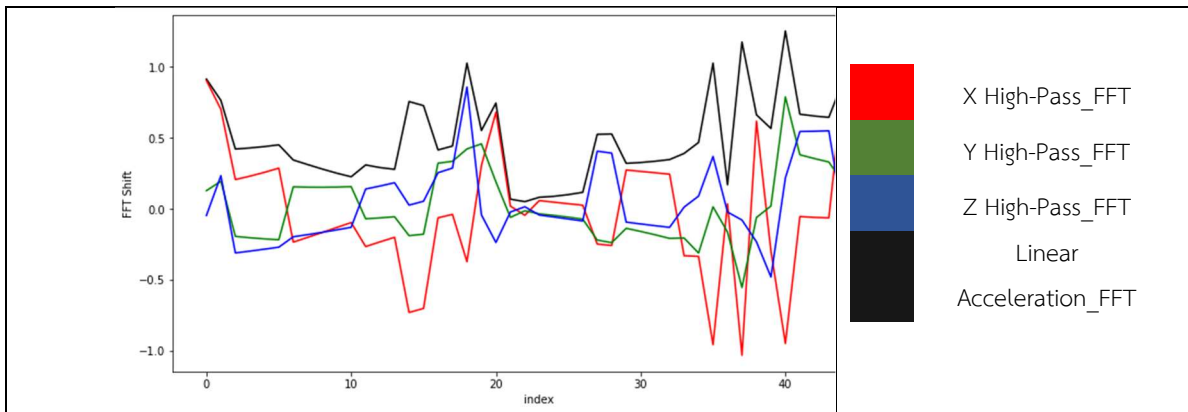


รูปที่ 12-3 คลื่นความถี่ของข้อมูล acceleration ของแกน X Y Z หลังจากผ่านตัวกรอง High-Pass filter

ซึ่งหลังจากการทำ High Pass Filter แล้วจะทำข้อมูลเข้าสู่การทำ Fast Fourier Transform ซึ่งจะอธิบาย ในหัวข้อถัดไป

12.5.3 Fast Fourier Transform

การประมวลผลของข้อมูลโดยใช้ Fast Fourier Transform ในการดึงคุณสมบัติของข้อมูล ซึ่ง Fast Fourier Transform คือการคำนวณทางคณิตศาสตร์สำหรับแยกค่าคลื่นความถี่ (Frequency) ออกจาก waveform ข้อมูล acceleration ของแกน X Y Z หลังจากผ่านตัวกรอง High-Pass filter และนำไปประมวลผลโดยใช้ Fast Fourier Transform (FFT) แสดงดังภาพประกอบที่ 12-4



รูปที่ 12-4 คลื่นความถี่ของข้อมูล Acceleration หลังจากทำ High Pass Filter และประมวลผลโดยใช้ Fast Fourier Transform

12.5.4 การการคัดเลือกคุณสมบัติและไม่คัดเลือกคุณสมบัติ

1. การไม่คัดเลือกคุณสมบัติ (Non-Feature Selection)

การประเมินการขรุขระของถนนโดยใช้ข้อมูลจาก Accelerometer โดยใช้ข้อมูล IRI จำนวน 516 node (1 node IRI คือ จุดเริ่มต้น – จุดสิ้นสุด ระยะทาง 25 เมตร) และจำนวนคุณสมบัติ (Features) 44 คุณสมบัติ โดยใช้ Linear Regression Models ทั้งหมด 5 โมเดล ได้แก่ 1. Linear Regression 2. Simple Linear Regression 3. Sequential minimal optimization (SMO) 4. Random Forest และ 5. Gaussian Processes โดยผลลัพธ์แสดงดังตารางประกอบที่ 12-5

ตารางที่ 12-5 ผลลัพธ์เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของ 5 โมเดล

| Non-Feature Selection | | | | | |
|----------------------------|-------------------|--------------------------|--------|---------------|--------------------|
| Model | Linear Regression | Simple Linear Regression | SMO | Random Forest | Gaussian Processes |
| Mean Absolute Errors (MAE) | 0.8986 | 0.899 | 0.8407 | 0.9003 | 0.8786 |
| Mean Square Errors (MSE) | 1.2089 | 1.2391 | 1.1936 | 1.2025 | 1.184 |

2. การคัดเลือกคุณสมบัติ (Feature Selection)

การประเมินการขรุขระของถนนโดยใช้ข้อมูลจาก Accelerometer โดยการคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้ อัลกอริทึมในการคัดเลือกคุณสมบัติ คือ Correlation Based Feature Selection (CFS) และ Information Gain ในการประเมินการขรุขระของถนน และใช้ Linear Regression Models ทั้งหมด 5 โมเดล ได้แก่ 1. Linear Regression 2. Simple Linear Regression 3. Sequential minimal optimization (SMO) 4. Random Forest และ 5. Gaussian Processes แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

การหาคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Correlation Based Feature Selection (CFS)

หลังจากการใช้เทคนิค Correlation Based Feature Selection (CFS) ในการคัดเลือกคุณสมบัติ จาก 44 คุณสมบัติ ลดคุณสมบัติเหลือ 11 คุณสมบัติ ดังนี้

คุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Correlation Based Feature Selection (CFS) ได้แก่

- Xstd
- YSTD
- ShighpassMean
- YHighPassMax
- XHighpassSTD
- YHighpassSTD
- ZHighpassSTD
- YFFTmin

- ZFFTmin
- YFFTmax
- ZFFTstd

จาก 11 คุณสมบัติข้างต้น นำไปใช้กับ Linear Regression Models แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 12-6

ตารางที่ 12-6 ผลลัพธ์การคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค CFS และเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของ 5 โมเดล

| Feature Selection (CFS) | | | | | |
|----------------------------|-------------------|--------------------------|--------|---------------|--------------------|
| Model | Linear Regression | Simple Linear Regression | SMO | Random Forest | Gaussian Processes |
| Mean Absolute Errors (MAE) | 0.8908 | 0.899 | 0.8623 | 0.9365 | 0.8747 |
| Mean Square Errors (MSE) | 1.1965 | 1.2391 | 1.1944 | 1.2315 | 1.177 |

จากตารางที่ 12-6 สรุปได้ว่าการคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค CFS ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ของ SMO model มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.8623 แสดงว่าค่าทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง และตัวต้นแบบมีความถูกต้องโดยให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) คือ 1.1944

การหาคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain + Ranker

หลังจากการใช้เทคนิค Correlation Based Feature Selection (CFS) ในการคัดเลือกคุณสมบัติ จาก 44 คุณสมบัติ ลดคุณสมบัติเหลือ 11 คุณสมบัติ ผู้วิจัยได้ทดลองการหาคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain + Ranker โดยเลือก 10 คุณสมบัติลำดับแรก จาก 44 คุณสมบัติ ดังนี้

คุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain + Ranker

- SFSTstd
- SHighpassMean
- ZHighpassMean
- XHighpassMean

- SHighpassMax
- ZFFTstd
- ZHighpassMin
- YHighpassMin
- ZHighpassMax
- XHighMin

จากการคัดเลือกคุณสมบัติข้างต้น นำไปใช้กับ Linear Regression Models แสดงผลลัพธ์ดังตารางประกอบที่ 12.7

ตารางที่ 12-7 ผลลัพธ์การคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain และเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) และ ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ของ 5 โมเดล

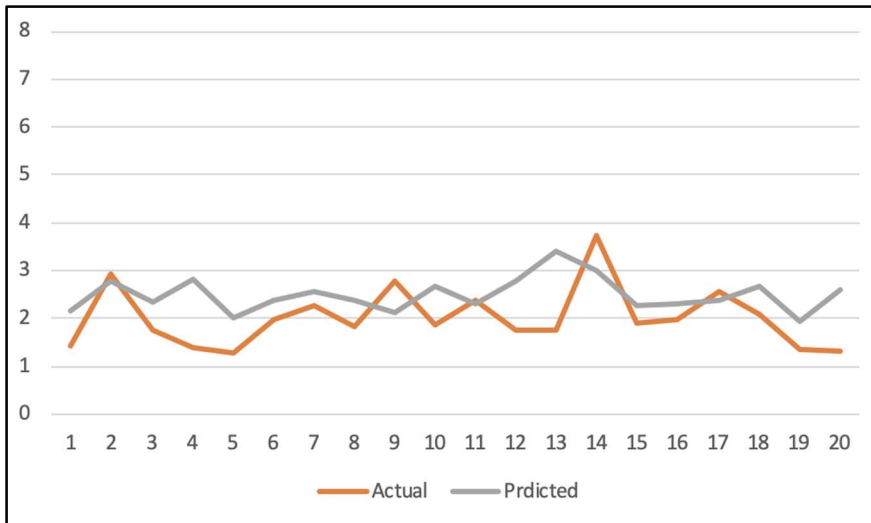
| Feature Selection (10 Ranker+InformationGain) | | | | | |
|---|-------------------|--------------------------|--------|---------------|--------------------|
| Model | Linear Regression | Simple Linear Regression | SMO | Random Forest | Gaussian Processes |
| Mean Absolute Errors (MAE) | 0.8811 | 0.894 | 0.8603 | 0.9431 | 0.8882 |
| Mean Square Errors (MSE) | 1.1883 | 1.2142 | 1.2064 | 1.245 | 1.1998 |

จากตารางที่ 12-7 สรุปได้ว่าการคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ของ SMO model มีค่าน้อยที่สุดคือ 0.8603 แสดงว่าค่าทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง และตัวต้นแบบมีความถูกต้องโดยให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) คือ 1.2064

ซึ่งจากการพัฒนาสำหรับการประเมิน International roughness index สรุปได้ว่าโมเดลที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองโมเดล 5 โมเดลคือ SMO แบบไม่คัดเลือกคุณสมบัติ ผู้วิจัยจึงได้นำโมเดลไปทดสอบกับข้อมูล แสดงผลดังนี้

ตารางที่ 12-8 ผลการทดสอบของโมเดล

| nst# | actual | predicted | error |
|------|--------|-----------|--------|
| 1 | 1.43 | 2.151 | 0.721 |
| 2 | 2.93 | 2.779 | -0.151 |
| 3 | 1.76 | 2.349 | 0.589 |
| 4 | 1.39 | 2.837 | 1.447 |
| 5 | 1.28 | 2.007 | 0.727 |
| 6 | 1.97 | 2.376 | 0.406 |
| 7 | 2.27 | 2.556 | 0.286 |
| 8 | 1.82 | 2.376 | 0.556 |
| 9 | 2.8 | 2.121 | -0.679 |
| 10 | 1.85 | 2.69 | 0.84 |
| 11 | 2.37 | 2.3 | -0.07 |
| 12 | 1.74 | 2.774 | 1.034 |
| 13 | 1.77 | 3.391 | 1.621 |
| 14 | 3.72 | 3.011 | -0.709 |
| 15 | 1.91 | 2.263 | 0.353 |
| 16 | 1.97 | 2.321 | 0.351 |
| 17 | 2.58 | 2.388 | -0.192 |
| 18 | 2.08 | 2.683 | 0.603 |
| 19 | 1.36 | 1.939 | 0.579 |
| 20 | 1.33 | 2.605 | 1.275 |



รูปที่ 12-5 การทำนายของโมเดล

จากภาพประกอบที่ 12-4 และข้อมูลที่แสดงข้างต้น คือข้อมูล IRI 20 nodes ซึ่งในแต่ละ nodes จะมีค่า IRI ที่แท้จริง (Actual) และค่า IRI ที่โมเดลได้ทำนาย (Predicted) และค่าที่แสดงความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่แท้จริงและข้อมูลการทำนาย (Error) สรุปได้ว่า จากการทดสอบโมเดลที่ได้พัฒนา ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) น้อยที่สุด คือ 0.6594 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) คือ 0.7761

12.6 สรุปผลการทดลอง

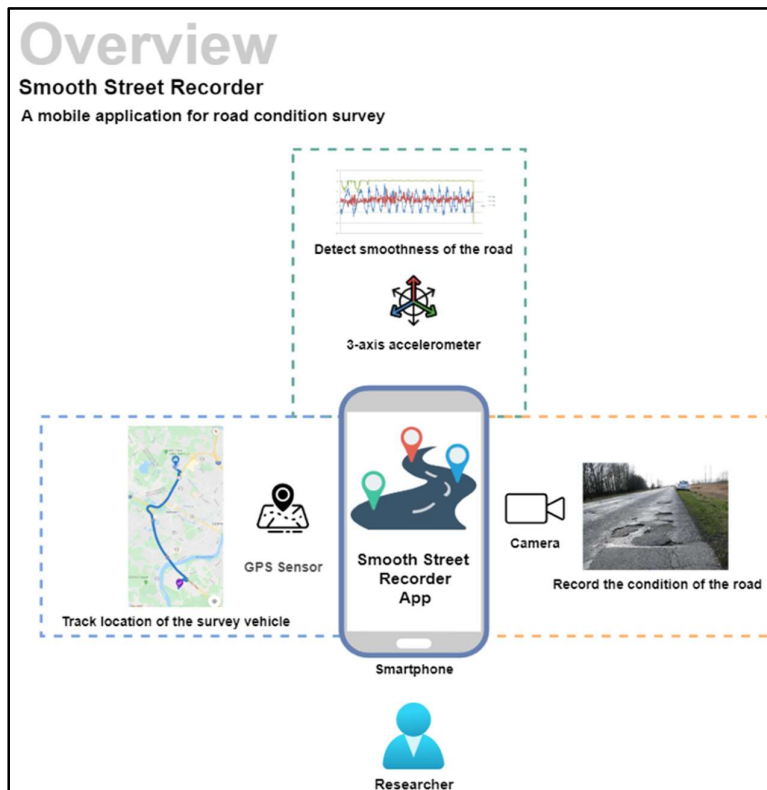
จากผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อก่อนหน้า สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การประเมินการขรุขระของถนนโดยไม่มีการคัดเลือกคุณสมบัติและเปรียบเทียบ Linear Regression Models ทั้งหมด 5 โมเดล สรุปได้ว่า โมเดลที่ดีที่สุดคือ SMO model ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) น้อยที่สุด คือ 0.8407 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) คือ 1.1936
2. การประเมินการขรุขระของถนนโดยมีการคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Correlation Based Feature Selection (CFS) และเปรียบเทียบ SMO Models ทั้งหมด 5 โมเดล สรุปได้ว่า โมเดลที่ดีที่สุดคือ Random Forest model ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) น้อยที่สุด คือ 0.8623 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) คือ 1.1944II.
3. การประเมินการขรุขระของถนนโดยมีการคัดเลือกคุณสมบัติโดยใช้เทคนิค Information Gain และเปรียบเทียบ Linear Regression Models ทั้งหมด 5 โมเดล สรุปได้ว่า โมเดลที่ดีที่สุดคือของ SMO model ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) น้อยที่สุด คือ 0.8603 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) คือ 1.2064

จากสรุปข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ในการทดลองการประเมินการขรุขระของถนนโดยใช้ข้อมูลจาก Accelerometer สามารถประเมินได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยไม่คัดเลือกคุณสมบัติจากการใช้ SMO model ในการทำนาย

บทที่ 13 การออกแบบ พัฒนา และประเมินผลการทำงานอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล และผลทดสอบของการประเมินการทำงาน

อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลถูกพัฒนาขึ้นเป็นโมบายแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะใช้ข้อมูลจากกล้องของโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการเก็บข้อมูลภาพความผิดปกติของถนน ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบ 3 แกน (3-axis Accelerometer) ในการบันทึกระดับความสั่นสะเทือนของยานพาหนะ และบันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของยานพาหนะที่เก็บข้อมูลโดยดึงข้อมูลจาก GPS sensor โดยข้อมูลที่บันทึกได้ในแต่ละเส้นทางจะถูกจัดเก็บชั่วคราวในแอปพลิเคชันนี้เพื่อทำการอัปโหลดเข้าสู่แพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูลแสดงดังภาพที่ 13-1



ภาพที่ 13-1 ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder”

แอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street Recorder” จะมีการทำงานเกี่ยวข้องกับ อุปกรณ์
ตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ของสมาร์ทโฟนสามส่วนคือ

1. การบันทึกสภาพถนนโดยใช้กล้องวิดีโอ
2. การบันทึกการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของยานพาหนะที่เก็บข้อมูลโดยดึงข้อมูลจาก GPS Sensor
3. การบันทึกความเรียบของถนนโดยการรวบรวมข้อมูลจาก Accelerometer Sensor

ด้วยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้ นักวิจัยสามารถใช้ในการเก็บข้อมูลตัวอย่างของถนนเส้นที่สนใจเพื่อนำ
ข้อมูลวิดีโอไปใช้งานในการพัฒนาตัวจำแนกเพื่อตรวจจับความผิดปกติของผิวถนนแบบต่าง ๆ และนำข้อมูลจาก
การสั่นสะเทือนไปสร้างเป็นดัชนีที่สามารถวัดคุณภาพและประสบการณ์การใช้ถนน รวมทั้งสามารถนำข้อมูลตำแหน่ง
และเส้นทางการจัดเก็บข้อมูลไปสร้างเป็นสารสนเทศเชิงแผนที่เพื่อประกอบการวิจัยได้อีกด้วย

13.1 การติดตั้งใช้งาน

การเริ่มต้นเก็บข้อมูลสามารถทำได้โดยติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล “Smooth Street
Recorder” ไปยังสมาร์ทโฟนที่เตรียมสำหรับการเก็บข้อมูล ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถทำได้เหมือนกับการติดตั้งแอป
พลิเคชันแอนดรอยด์ทั่วไป หลังจากติดตั้งแอปพลิเคชันแล้วจะต้องนำสมาร์ทโฟนสำหรับเก็บข้อมูลไปติดตั้งไว้ใน
ตัวรถที่ใช้สำรวจโดยใช้อุปกรณ์ข้ายึดสมาร์ทโฟนกับกระจกหรือส่วนอื่น ๆ เช่นเดียวกับการติดตั้งกล้องบันทึก
เหตุการณ์นารถยนต์

เมื่อติดตั้งแล้วนักวิจัยสามารถเริ่มบันทึกข้อมูลได้โดยการกดปุ่ม Start Recording จากหน้าแรกของแอป
พลิเคชัน หลังจากนั้นแอปพลิเคชันจะทำการเปลี่ยนรูปแบบการแสดงผลเป็นแนวนอนพร้อมทั้งเปิดการใช้งานกล้อง
และแสดงภาพพริ้วให้เห็นมุมมองของภาพที่จะถูกบันทึก ในขณะที่ด้านบนของหน้าจอจะแสดงข้อมูลระยะเวลา
ที่บันทึกข้อมูล ค่าพิกัดปัจจุบันของอุปกรณ์สำรวจ และค่าความความเร่งทั้งสามแกน (x, y, z) จาก
Accelerometer

เมื่อสิ้นสุดการบันทึกข้อมูล ไฟล์ข้อมูลและรายละเอียดที่ได้จากการบันทึกแต่ละครั้งจะแสดงในเมนู
Sessions ภายในเมนูนี้นักวิจัยสามารถตรวจสอบข้อมูล ย้อนดูวิดีโอที่ได้จากการบันทึก และสามารถเลือกอัปโหลด
ไฟล์การบันทึกที่สนใจไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูลของโครงการวิจัยนี้ได้

ในโครงการวิจัยนี้ได้มีการทดสอบแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูลกับสมาร์ทโฟน 3 รุ่น 3 ยี่ห้อเพื่อทดสอบ
การทำงานและเปรียบเทียบคุณภาพของไฟล์ที่ได้จากการบันทึกได้แก่

อุปกรณ์ที่ 1 Xiaomi Mi Note 10 Lite

1. ข้อมูลตัวเครื่อง Xiaomi Mi Note 10 Lite

- สมาร์ทโฟน (โทรศัพท์มือถือพร้อมระบบปฏิบัติการ Android version 11)
- จอแสดงผล Curved AMOLED 24-bit (16 ล้านสี) จอแสดงผล HDR 10 ความละเอียด 1080 x 2340 พิกเซล (398 ppi) กว้าง 6.47 นิ้ว (แนวทแยง)
- จอแสดงผลมีรูสำหรับกล้องหน้า (Punch-Hole Display)

2. ระบบเซนเซอร์ (Sensor)

- ระบบสแกนลายนิ้วมือใต้หน้าจอ (Fingerprint Under Display)
- ระบบจดจำใบหน้า (Face Detection)
- ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ (Accelerometer)
- ตรวจสอบแสงปรับความสว่างอัตโนมัติ (Ambient light)
- ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของตัวเครื่อง (Accelerometer)
- ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนา (Proximity)
- ระบบเซนเซอร์หมุนภาพ (Gyroscope)
- ปรับมุมมองการแสดงผลอัตโนมัติ (Orientation)

3. ข้อมูลเครือข่าย (Network)

- GSM 850/900/1800/1900 MHz
- UMTS 850/900/1900/2100 MHz
- LTE Bands 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 7/ 8/ 20/ 28/ 34/ 40

4. เทคโนโลยีการรับ/ส่งข้อมูล
 - 3G
 - 4G
5. ระบบปฏิบัติการ: MIUI 11 based on Android 10
6. หน่วยประมวลผล (CPU): Qualcomm Snapdragon 730G Octa Core ความเร็ว: 2.2 GHz
7. หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU): Adreno 618
8. หน่วยความจำ
 - RAM 8GB
 - ROM 128GB
 - UFS 2.1
9. ระบบเชื่อมต่อ
 - การหาตำแหน่ง: Assisted GPS
 - WiFi 802.11 a/b/g/n/ac
 - จุดกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบพกพา (Portable Wi-Fi Hotspot)
 - เชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์โดยตรง (Wi-Fi Direct)
 - Bluetooth 5.0
 - Type-C USB 2.0
10. ฟังก์ชันมัลติมีเดีย
 - กล้องดิจิตอล 64MP + 8MP (Ultrawide) + 5MP (Depth) + 2MP (Macro) (Quad Camera) รูรับแสงขนาด $f/1.89$ ขนาดภาพสูงสุด 4624 x 2134 พิกเซล (Image Size)
 - Laser Auto Focus
 - ค้นหาใบหน้าอัตโนมัติ (Face Detection)

- บันทึกวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหว (Video Recording) ระดับ HD, 30/60 เฟรมต่อวินาที และบันทึกวิดีโอระดับ 4K, 30 เฟรมต่อวินาที

อุปกรณ์ที่ 2 Samsung Galaxy A71

1. ข้อมูลตัวเครื่อง

- สมาร์ทโฟน (โทรศัพท์มือถือพร้อมระบบปฏิบัติการ Android version 10)
- จอแสดงผล Super AMOLED 24-bit (16 ล้านสี) จอแสดงผลมีรูสำหรับกล้องหน้า (Punch-Hole Display)
- ตัวอุปกรณ์ กว้าง 6.7 นิ้ว (แนวทแยง) หน้าจอความละเอียด 1080 x 2400 พิกเซล (393 ppi)

2. ระบบเซนเซอร์ (Sensor)

- ระบบตรวจสอบลายนิ้วมือ (Fingerprint)
- ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ (Accelerometer)
- ตรวจสอบแสงปรับความสว่างอัตโนมัติ (Ambient light)
- ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของตัวเครื่อง (Accelerometer)
- ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนา (Proximity)
- ระบบเซนเซอร์หมุนภาพ (Gyroscope)

3. ข้อมูลเครือข่าย (Network)

- GSM 850/900/1800/1900 MHz
- UMTS 850/900/1900/2100 MHz
- LTE Bands 3/ 40

4. เทคโนโลยีการรับ/ส่งข้อมูล

- 2G: EDGE/GPRS

- 3G
 - 4G
5. ระบบปฏิบัติการ: One UI 2 based on Android 10
 6. หน่วยประมวลผล: Qualcomm Snapdragon 730 Octa Core ความเร็ว : 2.2 GHz
 7. หน่วยความจำ
 - RAM 8GB
 - ROM 128GB
 8. ระบบเชื่อมต่อ
 - การหาตำแหน่ง: Assisted GPS
 - WiFi 802.11 a/b/g/n/ac
 - เชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์โดยตรง (Wi-Fi Direct)
 - Bluetooth 5.0
 - รองรับ NFC (Near Field Communication)
 9. ฟังก์ชันมัลติมีเดีย
 - กล้องดิจิทัล 64MP + 12MP (Ultrawide) + 5MP dedicated macro camera + 5MP depth sensor (Quad Camera) รูรับแสงขนาด $f/1.8$
 - บันทึกวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหว (Video Recording) บันทึกวิดีโอระดับ HD และ 4K

อุปกรณ์ที่ 3 REDMI NOTE 9S

1. ข้อมูลตัวเครื่อง
 - สมาร์ทโฟน (โทรศัพท์มือถือพร้อมระบบปฏิบัติการ Android version 10)
 - จอแสดงผล IPS-LCD 24-bit (16 ล้านสี) จอแสดงผล HDR 10 ความละเอียด 1080 x 2400 พิกเซล (395 ppi)

- อุปกรณ์ กว้าง 6.67 นิ้ว (แนวทแยง)
2. ระบบเซนเซอร์ (Sensor)
 - ระบบตรวจสอบลายนิ้วมือ (Fingerprint)
 - ระบบหมุนภาพอัตโนมัติ (Accelerometer)
 - ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของตัวเครื่อง (Accelerometer)
 - ระบบเปิด/ปิดหน้าจออัตโนมัติขณะสนทนา (Proximity)
 - ระบบเซนเซอร์หมุนภาพ (Gyroscope)
 3. ข้อมูลเครือข่าย (Network)
 - GSM 850/900/1800/1900 MHz
 - WCDMA 6/19/5/8/4/2/1
 - LTE Bands 1/ 3/ 5/ 8/ 18/ 19/ 20/ 26/ 28/ 38/ 40/ 41
 4. เทคโนโลยีการรับ/ส่งข้อมูล
 - 3G
 - 4G
 5. ระบบปฏิบัติการ: MIUI 11 based on Android 10.0
 6. หน่วยประมวลผล: Qualcomm Snapdragon 720G Octa Core ความเร็ว : 2.3 GHz
 7. หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (GPU) : Adreno 618
 8. หน่วยความจำ
 - RAM 6GB
 - ROM 128GB
 - UFS 2.1
 9. ระบบเชื่อมต่อ

- การหาตำแหน่ง: Assisted GPS
- WiFi 802.11 a/b/g/n/ac
- จุดกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบพกพา (Portable Wi-Fi Hotspot)
- เชื่อมต่อไร้สายระหว่างอุปกรณ์โดยตรง (Wi-Fi Direct)
- Bluetooth 5.0

10. ฟังก์ชันมัลติมีเดีย

- กล้องดิจิทัล 48MP + 8MP (Ultrawide Angle) + 5MP (Macro) + 2MP (Depth sensor) (Quad Camera) รูรับแสงขนาด $f/1.8$
- บันทึกวิดีโอ ภาพเคลื่อนไหว (Video Recording) บันทึกวิดีโอระดับ HD และ 4K

ภาพตัวอย่างจากโปรแกรมสำหรับใช้รวบรวมข้อมูลในโครงการแสดงดังภาพที่ 13-2

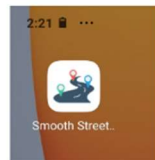
Usage and Installation

Smooth Street Recorder

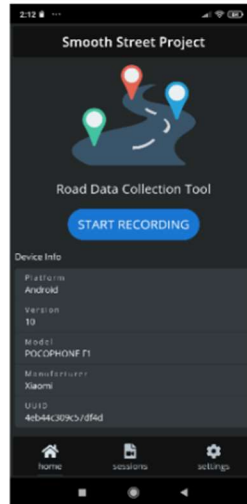
A mobile application for road condition survey



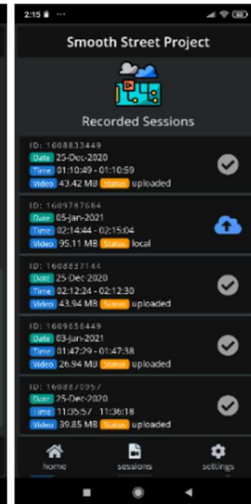
Mount device to front-view of the survey vehicle



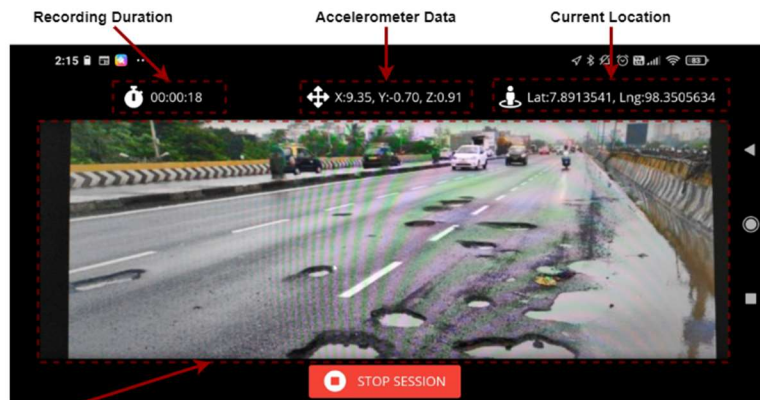
Smooth Street Recorder App



Home screen



Session upload screen



Camera Preview

Recording screen

ภาพที่ 13-2 ภาพตัวอย่าง (Snapshots) จากโปรแกรม เพื่อใช้รวบรวมข้อมูล

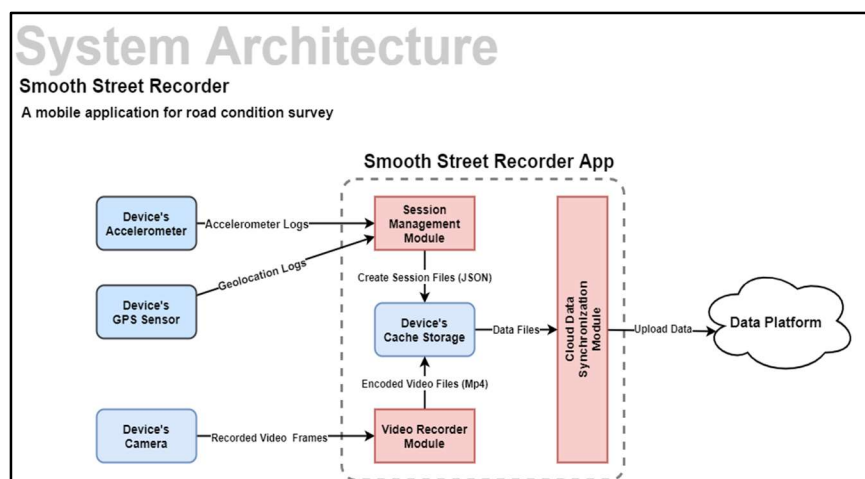
13.2 สถาปัตยกรรมของระบบ

ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันเริ่มต้นจากการที่ผู้ใช้งานเริ่มการบันทึกข้อมูล จากนั้น ส่วนการทำงาน Session Management Module จะดึงข้อมูลจาก Accelerometer Sensor ของเครื่องในทุก ๆ 1 วินาที เพื่อนำไปสร้างเป็น Accelerometer Logs พร้อมทั้งดักจับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องโดยใช้ GPS Sensor ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลในรูปแบบ Geolocation Logs โดยมีการตั้งค่าการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของ GPS Sensor ในระดับที่ละเอียดที่สุดเท่าที่ GPS Sensor ของเครื่องจะรองรับได้

หลังจากนั้น Session Management Module จะรวบรวมข้อมูล Accelerometer Logs และ Geolocation Logs เข้าด้วยกันและสร้างข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกในแต่ละครั้งได้แก่ รหัสประจำเครื่องเก็บข้อมูล เวลาเริ่มต้น เวลาสิ้นสุดการบันทึก เป็นต้น ข้อมูลทั้งหมดดังกล่าวจะถูกรวบรวมและจัดเก็บในรูปแบบ JSON ไฟล์แล้วบันทึกลงในพื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของแอปพลิเคชัน (Cache Storage)

ในขณะเดียวกัน Video Recording Module ก็จะทำการบันทึกวิดีโอสภาพถนนและจัดเก็บไฟล์วิดีโอในรูปแบบ Mpeg-4 เมื่อสิ้นสุดการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งภายในพื้นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของแอปพลิเคชันจะเกิดไฟล์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลสองประเภทคือ Session ไฟล์ที่เกิดจากการรวมกันของ Accelerometer Logs และ Geolocation Logs และวิดีโอไฟล์ที่บันทึกสภาพถนน

หลังจากขั้นตอนนี้ เมื่อผู้ใช้ต้องการบันทึกข้อมูลตัวอย่างที่เก็บได้ไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูล ส่วนการทำงาน Cloud Data Synchronization Module ก็จะทำหน้าที่ส่งข้อมูล Session ไฟล์และวิดีโอไปยังแพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านทางช่องทางอินเทอร์เน็ตข้อมูลที่แพลตฟอร์มเก็บรวบรวมข้อมูลได้เตรียมไว้ แสดงดังภาพที่ 13-3



ภาพที่ 13-3 ขั้นตอนนำส่งข้อมูล จาก Sensors ของ Smartphone ไปยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล

13.3 โครงสร้างข้อมูล

การเก็บข้อมูลตัวอย่างในแต่ละครั้ง ข้อมูลจะถูกบันทึกไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูลในรูปแบบ JSON (JavaScript Object Notation) ซึ่งมีโครงสร้างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 13-1 ถึงตารางที่ 13-4 และแสดงดังภาพที่ 13-4

ตารางที่ 13-1 ข้อมูลภาพรวมของการเก็บข้อมูล (Metadata)

| | |
|-----------|------------------------------|
| id | รหัสประจำการบันทึก |
| platform | ประเภทอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |
| deviceId | รหัสประจำอุปกรณ์บันทึกข้อมูล |
| timeStart | เวลาเริ่มต้นการบันทึก |
| timeStop | เวลาสิ้นสุดการบันทึก |

ตารางที่ 13-2 ข้อมูลการติดตามตำแหน่งของอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Geolocation Tracking)

| | |
|---------------------|---------------------|
| latitude | ละติจูด |
| longitude | ลองจิจูด |
| altitude | ระดับความสูง |
| speed | ความเร็ว |
| horizontal accuracy | ความแม่นยำในแกนนอน |
| vertical accuracy | ความแม่นยำในแกนตั้ง |
| direction | ทิศทาง |
| timestamp | เวลาการบันทึก |

ตารางที่ 13-3 ข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน (Accelerometer Data)

| | |
|-----------|-------------------------------|
| X | การเปลี่ยนแปลงความเร่งบนแกน X |
| Y | การเปลี่ยนแปลงความเร่งบนแกน Y |
| Z | การเปลี่ยนแปลงความเร่งบนแกน Z |
| timestamp | เวลาการบันทึก |

ตารางที่ 13-4 ข้อมูลบันทึกวิดีโอสภาพถนนจากอุปกรณ์สมาร์ทโฟน

| ประเภทไฟล์ (File Type) | MPEG-4 |
|--------------------------------|--------------------|
| ความกว้างของเฟรม (Frame Width) | 1920 จุด |
| ความสูงของเฟรม (Frame Height) | 1080 จุด |
| รายละเอียดของเฟรม (Bit rate) | 17000 kbps |
| อัตราเฟรม (Frame Rate) | 29.8 เฟรมต่อวินาที |

```
1 {
2   "session": {
3     "id": "1602579358",
4     "platform": "android",
5     "deviceid": "e12cfca8",
6     "timeStart": "2020-09-17T09:47:07.943Z",
7     "timeStop": "2020-09-17T09:50:04.392Z",
8     "locations": [
9       {
10        "latitude": 7.8913816,
11        "longitude": 98.3505928,
12        "altitude": 15.90000057220459,
13        "horizontalAccuracy": 14.23799991607666,
14        "verticalAccuracy": 14.23799991607666,
15        "speed": 0,
16        "direction": 0,
17        "timestamp": "2020-09-17T09:47:07.943Z"
18      },
19      {
20        "latitude": 7.8913778,
21        "longitude": 98.3505996,
22        "altitude": 16.299999237060547,
23        "horizontalAccuracy": 14.253000259399414,
24        "verticalAccuracy": 14.253000259399414,
25        "speed": 0.003650125814601779,
26        "direction": 119.3927993774414,
27        "timestamp": "2020-09-17T09:47:11.187Z"
28      }
29    ],
30    "accelerations": [
31      {
32        "x": -0.41674086451530457,
33        "y": 8.20043659210205,
34        "z": 4.064317226409912,
35        "timestamp": 1606721927601
36      },
37      {
38        "x": -0.41674086451530457,
39        "y": 8.20043659210205,
40        "z": 4.064317226409912,
41        "timestamp": 1606721927601
42      }
43    ]
44  }
45 }
```

ภาพที่ 13-4 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บได้จากตัวโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับโครงการวิจัยนี้

13.4 ผลการประเมินและการปรับปรุง

จากการทดลองใช้งานแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูลในการเก็บข้อมูลสภาพถนนในพื้นที่ต่าง ๆ ในจังหวัดภูเก็ตและกรุงเทพมหานครพบว่าแอปพลิเคชันสามารถใช้เก็บข้อมูลได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ทีมนักวิจัยและผู้ช่วยวิจัยได้รายงานปัญหาและมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแอปพลิเคชันเก็บข้อมูลเพื่อให้แอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพการใช้งานและให้ประสบการณ์การใช้งานกับผู้ใช้ที่ดีขึ้นดังนี้

1. ไฟล์วิดีโอที่บันทึกได้มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ขั้นตอนการบันทึกและการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูลใช้เวลานาน
2. ไม่ต้องการบันทึกเสียงขณะเก็บข้อมูล
3. ต้องการบันทึกชื่อของเส้นทางที่เก็บข้อมูล
4. ต้องการส่วนตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL สำหรับการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูล

จากประเด็นดังกล่าวคณะวิจัยจึงทำการพัฒนาและปรับปรุงแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล Smooth Street Recorder ให้มีประสิทธิภาพและประสบการณ์การใช้ที่ดีขึ้นดังนี้

13.4.1 ลดขนาดไฟล์วิดีโอแต่ให้คงขนาดของความละเอียด

ในประเด็นนี้ได้มีการปรับรายละเอียดการตั้งค่าการบันทึกวิดีโอเพื่อลดขนาดไฟล์แต่ให้คงความละเอียดและคุณภาพที่ให้ผลดีกับการสร้างตัวจำแนก โดยมีการปรับการตั้งค่าแสดงดังตารางที่ 13-5

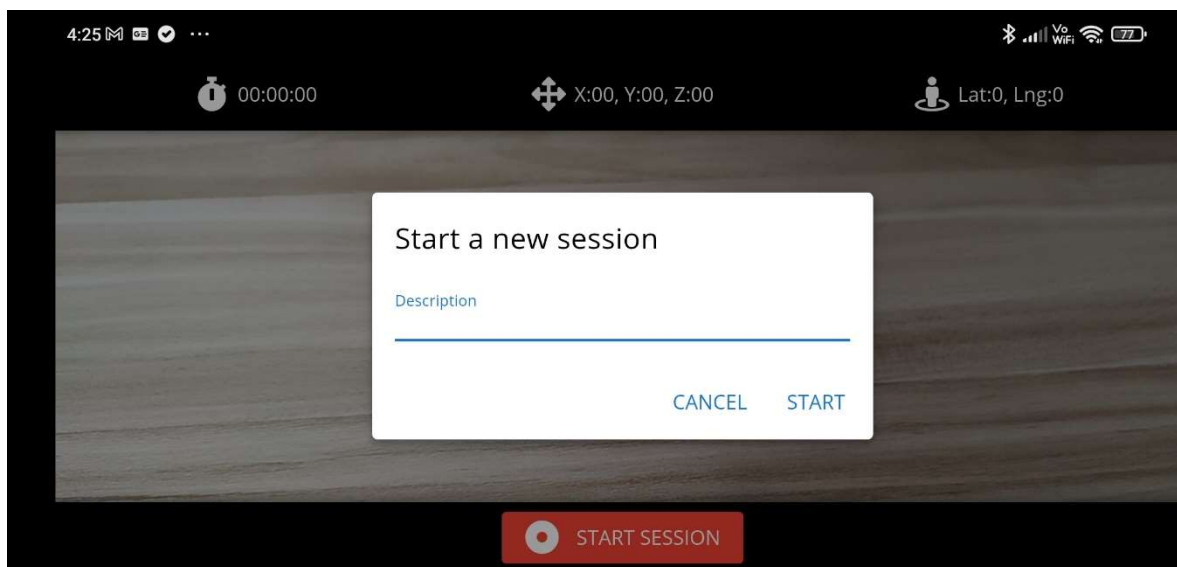
ตารางที่ 13-5 การปรับการตั้งค่าขนาดไฟล์วิดีโอแต่ให้คงขนาดของความละเอียด

| การตั้งค่า | เดิม | ใหม่ |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| ประเภทไฟล์ (File Type) | MPEG-4 | MPEG-4 |
| ความกว้างของเฟรม (Frame Width) | 1920 จุด | 1920 จุด |
| ความสูงของเฟรม (Frame Height) | 1080 จุด | 1080 จุด |
| รายละเอียดของเฟรม (Bit rate) | 17000 kbps | 8000 kbps |
| อัตราเฟรม (Frame Rate) | 29.8 เฟรมต่อวินาที | 29.8 เฟรมต่อวินาที |
| บันทึกเสียง | บันทึก | ไม่บันทึก |
| ระบบกันสั่น | อัตโนมัติ | บังคับเปิด |

จากผลการปรับแก้การตั้งค่าดังกล่าวพบว่า สามารถลดขนาดไฟล์วิดีโอลงได้ 3 เท่า กล่าวคือจากเดิมการบันทึกวิดีโอความยาว 1 นาทีจะใช้พื้นที่จัดเก็บประมาณ 100 เมกะไบต์ ลดลงเป็นใช้พื้นที่จัดเก็บประมาณ 30 เมกะไบต์

13.4.2 เพิ่มการกำหนดชื่อเส้นทางเก็บข้อมูล

เนื่องจากคณะวิจัยมีการเก็บข้อมูลความผิดปกติของสภาพถนนในหลาย ๆ เส้นทางทำให้บางครั้งมีความสับสนเกี่ยวกับข้อมูลเส้นทางที่เก็บไปแล้วจึงมีการเพิ่มการตั้งชื่อเส้นทางก่อนการบันทึกเพื่อความสะดวกในการจัดการไฟล์และการเลือกไฟล์ที่จะอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูล แสดงดังภาพที่ 13-5



ภาพที่ 13-5 ตั้งชื่อเส้นทางก่อนการเก็บข้อมูล

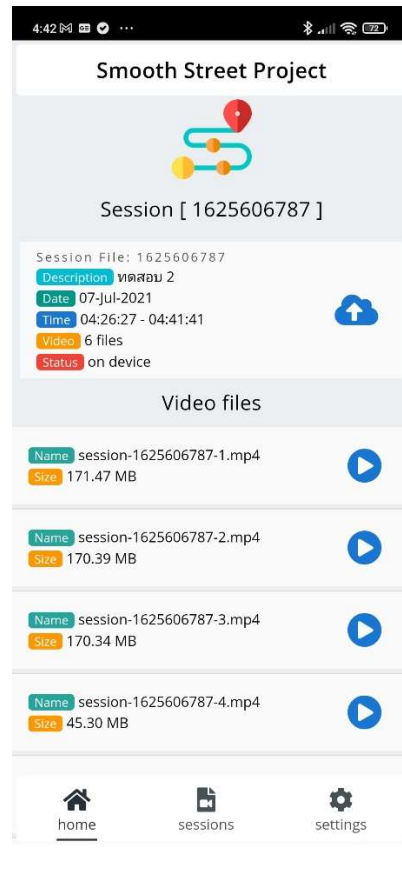
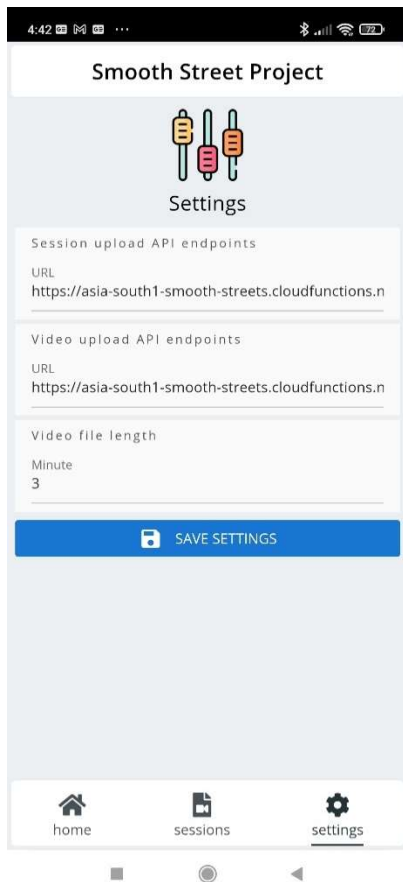
13.4.3 การตัดแบ่งไฟล์วิดีโอตามระยะเวลาที่กำหนด

การบันทึกไฟล์วิดีโอเป็นเวลานานจะทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่และเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาในขั้นตอนการบันทึก จึงมีการปรับแก้ให้มีการตั้งค่าความยาวของไฟล์วิดีโอที่ต้องการในส่วนการตั้งค่า เมื่อตั้งค่าแล้วแอปพลิเคชัน จะทำการตัดแบ่งไฟล์วิดีโอเป็นความยาวตามที่กำหนด

อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการอัปโหลดข้อมูลยังสามารถอัปโหลดไฟล์วิดีโอของแต่ละเส้นทางเก็บข้อมูลไปพร้อม ๆ กันได้ในครั้งเดียว

13.4.4 เพิ่มการตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL

เพิ่มการตั้งค่าเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลง URL สำหรับการอัปโหลดไปยังแพลตฟอร์มเก็บข้อมูลโดยแยกเป็น URL สำหรับการอัปโหลด Session File และ URL สำหรับการอัปโหลดวิดีโอไฟล์ แสดงดังภาพที่ 13-6



ภาพที่ 13-6 การปรับแก้ส่วนตั้งค่าความยาวไฟล์วิดีโอและส่วนแสดงผลรายละเอียดการบันทึก

บทที่ 14 การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรใน พื้นที่เป้าหมายของโครงการ

14.1 ที่มาและความจำเป็นในการพัฒนาเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร

เว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างมากของระบบ สอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT เพราะว่า ถ้าขาดการนำเสนอข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ตรงประเด็น และเข้าใจง่าย ให้แก่หน่วยงานและเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบ ในการสำรวจและบำรุงถนน บุคลากรเหล่านี้ก็จะไม่รับทราบถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และย่อมไม่สามารถที่จะ แก้ปัญหาได้ตรงตามจุดประสงค์ของโครงการ

คณะวิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาดังนั้นเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรนี้ ให้ หน่วยงานและเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในการสำรวจและปรับปรุงถนน โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานองค์กร บริหารส่วนท้องถิ่นใช้งานโดยตรง ซึ่งในการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งแบ่งเป็น หมวดหมู่ได้ดังนี้

1. บริบทของการใช้งาน
2. ลักษณะของปัญหาซึ่งระบบฯ พยายามแก้ไข
3. ความรู้ ความสามารถ และพฤติกรรมเดิมของผู้ใช้

14.1.1 บริบทของการใช้งาน

จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่า ถนนของประเทศไทยส่วนใหญ่ ตกอยู่ใต้ความรับผิดชอบของหน่วยงาน ท้องถิ่น ซึ่งผิดกับการคาดการณ์เบื้องต้นของคณะวิจัยหลายคน ที่คิดว่าถนนส่วนใหญ่น่าจะตกอยู่ใต้ความ รับผิดชอบของหน่วยงานกลาง เช่น กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท โดยปรากฏว่าถนนความยาวรวมกว่า 300,000 กิโลเมตร หรือ 75% ของความยาวถนนของทั้งประเทศไทย มีความรับผิดชอบที่ถูกแบ่งย่อยไปตาม ท้องถิ่น โดยให้ถนนในท้องถิ่นใด ๆ ตกอยู่ใต้ความรับผิดชอบของ เทศบาล องค์กรบริหารส่วนจังหวัด หรือองค์กร บริหารส่วนตำบล ของท้องถิ่นนั้น ๆ ซึ่งหน่วยงานองค์กรบริหารส่วนท้องถิ่นเหล่านี้ ไม่มีกำลังทุนเท่ากับหน่วยงาน ส่วนกลาง และขาดเทคโนโลยีที่จะใช้ตรวจสอบคุณภาพของถนนในความรับผิดชอบของตนได้อย่างทั่วถึงและ รวดเร็ว เนื่องจากมีกำลังทุนต่ำ

การออกแบบเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรนี้ จึงมีความตั้งใจให้เป็น เทคโนโลยีที่หน่วยงานท้องถิ่นที่มีกำลังทุนต่ำ ไม่มีงบประมาณในการจัดซื้อรถตรวจถนนของตัวเอง แต่มี งบประมาณจัดจ้าง บริการดิจิทัลเป็นประจำ ๆ ไป สามารถเข้าถึงและนำไปใช้ตรวจสอบคุณภาพของถนนในความ

รับผิดชอบของตนได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว โดยมีการออกแบบให้หน่วยงานท้องถิ่นลงชื่อแสดงตัวตน เพื่อให้ระบบแสดงข้อมูลเฉพาะเจาะจงกับท้องถิ่นนั้น

หน่วยงานส่วนท้องถิ่นหนึ่ง ๆ อาจมีการสร้างถนนของตนเอง หรือรับมอบถนนจากหน่วยงานส่วนกลาง เช่น กรมทางหลวงชนบท เข้าอยู่ในดูแลของตน ซึ่งหน่วยงานส่วนท้องถิ่นแต่ละหน่วยงาน มีพื้นที่รับผิดชอบจำนวนถนนที่รับผิดชอบ และความยาวรวมกันของถนน ต่างกัน ตั้งแต่หน่วยงานท้องถิ่นขนาดเล็ก ที่ดูแลถนนประมาณ 5 - 30 เส้น ระยะรวมกันประมาณ 5 - 30 กิโลเมตร ไปถึงหน่วยงานท้องถิ่นขนาดใหญ่ ที่ดูแลถนนหลายร้อยเส้น ระยะทางรวมกันหลายร้อยกิโลเมตร โดยถนนในความดูแลของหน่วยงานท้องถิ่นโดยทั่วไป มีทั้งถนนในเขตชุมชน ถนนที่เชื่อมต่อชุมชนกับถนนระหว่างเมือง และถนนที่เชื่อมต่อกับถนนสายหลักของประเทศ

ในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับถนนนั้น หน่วยงานส่วนท้องถิ่นโดยทั่วไปเก็บข้อมูลในระดับสายทาง ซึ่งถนนแต่ละเส้น มักจะประกอบไปด้วยหลายสายทาง โดยแต่ละสายทางมีความยาวระหว่าง หลักสิบลเมตรจนถึง 2 - 3 กิโลเมตร ทั้งนี้ การแบ่งซอยถนนให้เป็นสายทางเกิดขึ้นเองตามบริบทของการสร้างและจัดการถนน เพราะถนนแต่ละเส้นอาจจะถูกสร้างขึ้นไม่พร้อมกันทั้งเส้น แต่สร้างเป็นระยะ ๆ ซึ่งการที่ถนนที่มีระยะยาวได้รับการแบ่งซอยเป็นสายทางที่มีระยะสั้น ๆ นั้น ช่วยให้เกิดความละเอียดเชิงข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการดูแลถนน

การออกแบบเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรนี้ จึงใช้สายทางเป็นหน่วยพื้นฐานในการจัดเก็บและจัดระเบียบข้อมูลเกี่ยวกับพื้นผิวจราจร

14.1.2 ปัญหาที่พบจากการลงพื้นที่ และนำไปสู่การพัฒนาระบบ

จากการได้ลงสนามและศึกษาในเชิงปฏิบัติกับหน่วยงานท้องถิ่นที่บำรุงรักษาถนนหลายหน่วยงาน คณะวิจัยได้เข้าใจลักษณะของปัญหาซึ่งหน่วยงานท้องถิ่นยังไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยระบบการทำงานปัจจุบัน โดยมีข้อสังเกตหลัก 3 ข้อ ดังนี้

1. ลักษณะของการใส่ใจดูแลถนนในความรับผิดชอบของหน่วยงานท้องถิ่น

ในบริบทของการบำรุงทาง คณะวิจัยพบว่าหน่วยงานท้องถิ่นให้ความสำคัญกับความสะดวกรสบายในการสัญจรของประชาชนในท้องที่ โดยสัญจรบนถนนเดิม ๆ บ่อยครั้งได้อย่างราบรื่น มากกว่าความสามารถในการทำความเร็ว ตลอดจนความสามารถในการรับน้ำหนัก ซึ่งเป็นปัจจัยที่หน่วยงานขนาดใหญ่ที่ดูแลถนนระหว่างเมืองให้ความสำคัญมากกว่า

คณะวิจัยเห็นความสอดคล้องระหว่างข้อสังเกตข้างต้น กับการที่หน่วยงานท้องถิ่นให้ความสำคัญแก่การระบุความผิดปกติที่เจอเป็นจุด ๆ ให้ชัดเจน และทำการซ่อมบำรุงเล็กน้อยอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนถนนที่มีการสัญจรบ่อยครั้ง โดยผลของการออกแบบเพื่อตอบโจทย์ดังกล่าว อาทิ การมุ่งเน้นแสดงความผิดปกติบนถนนเป็นจุด ๆ โดยรายงานจุดพิกัดพร้อมนำเสนอรูปถ่ายอย่างชัดเจน เพื่อให้หน่วยงานท้องถิ่นได้รับรู้ถึงความผิดปกติของผิวจราจรที่เกิดขึ้นใหม่ได้อย่างรวดเร็ว

2. การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการบำรุงทางของหน่วยงานท้องถิ่น

คณะวิจัยพบว่าหน่วยงานท้องถิ่นใช้กระดาษเป็นสื่อหลักในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพและความจำเป็นในการซ่อมบำรุงของสายทางในความรับผิดชอบ ซึ่งการใช้กระดาษเป็นสื่อหลักเป็นข้อจำกัดทั้งในแง่ของละเอียดของข้อมูลที่เก็บได้ ในแง่ของความถี่ในการเก็บข้อมูล และในแง่ของความสามารถและความคล่องตัวในการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานท้องถิ่นส่วนใหญ่ที่คณะวิจัยได้ศึกษามีแฟ้มเก็บข้อมูลรายการสายทางในความรับผิดชอบหลายแฟ้มซึ่งเก็บในตู้เหล็ก โดยในแต่ละแฟ้มมีรูปแบบข้อมูลเป็นตาราง โดยเป็นตารางของสายทางในความรับผิดชอบ และแต่ละแถวของตารางเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพและความจำเป็นในการซ่อมบำรุงของสายทางนั้น โดยมีการทำให้เป็นปัจจุบันทุก 6 เดือน ซึ่งการอ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับสภาพและความจำเป็นในการซ่อมบำรุงของสายทางหนึ่ง ๆ ทำได้โดยการค้นหาแฟ้มข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และเปิดไปตามหน้าต่าง ๆ จนเจอสายทางที่สนใจ

ในการทำข้อมูลเกี่ยวกับสภาพและความจำเป็นในการซ่อมบำรุงถนนให้เป็นปัจจุบันนั้น หน่วยงานท้องถิ่นหนึ่งที่คณะวิจัยได้ศึกษามีการวิ่งรถกระบะทุก 6 เดือน ไปตามถนนต่าง ๆ ที่อยู่ในความรับผิดชอบดูแล และมีแบบฟอร์มที่เป็นกระดาษให้เจ้าหน้าที่บนรถบันทึก ว่าแต่ละสายทางมีสภาพเป็นคุณภาพเชิงปริมาณเท่าไรจาก 1 – 5 และ ความเห็นจากเจ้าหน้าที่ว่าสายทางนั้นต้องการการซ่อมบำรุงหรือยัง โดยไม่ได้ระบุถึงตำแหน่งพิกัดของจุดที่ต้องบำรุง ทั้ง ๆ ที่แต่ละสายทางนั้นมีความยาวได้ตั้งแต่หลักร้อยเมตรถึงหลายกิโลเมตร ซึ่งการเก็บข้อมูลในลักษณะนี้ มีข้อดีอย่างความไม่สม่ำเสมอในการประเมินคุณภาพ เพราะประเมินด้วยบุคคลต่างบุคคลกัน ซึ่งมีมาตรฐานภายในไม่เหมือนกัน และขาดความเฉพาะเจาะจงซึ่งนำไปสู่การ ซ่อมบำรุงผิวจราจรให้ถูกจุดได้โดยไม่ต้องทำการสำรวจซ้ำอีกรอบ

ทั้งนี้คณะวิจัยเล็งเห็นว่าเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรนี้ จะเข้ามามีบทบาทช่วยให้หน่วยงานท้องถิ่นสามารถเข้าถึงและบริหารจัดการข้อมูลเกี่ยวกับสภาพและความจำเป็นในการซ่อมบำรุงสายทางในความรับผิดชอบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการออกแบบเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร คณะวิจัยได้นำวิธีปฏิบัติจากหน่วยงานส่วนกลาง ซึ่งใช้ค่า IRI (International Roughness Index) ในการประเมินคุณภาพพื้นผิวจราจรตลอดเส้นทาง เพราะค่า IRI นี้ มีมาตรฐานเป็นสากล และมีการเก็บข้อมูลละเอียดระดับทุก 1 เมตร ไม่ใช่ระดับทั้งสายทาง

3. ความพยายามในการนำข้อมูลที่เก็บได้มาใช้ในการบำรุงทางของหน่วยงานท้องถิ่น

คณะวิจัยพบว่าหน่วยงานท้องถิ่นขาดระบบที่บูรณาการข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติที่เก็บได้ และการนำข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติเหล่านี้ไปบริหารจัดการงานบำรุงทาง ซึ่งการขาดการบูรณาการนี้มีต้นเหตุส่วนหนึ่งมาจากการที่หน่วยงานท้องถิ่นใช้กระดาษเป็นสื่อหลักในการเก็บข้อมูล ทำให้การบริหารจัดการข้อมูลมีต้นทุนทางธุรการและต้นทุนทางเวลาสูง

ทั้งนี้คณะวิจัยได้พบหน่วยงานท้องถิ่นหนึ่งซึ่งได้พยายามด้วยตนเองในการปฏิรูปวิธีการเก็บข้อมูลโดยการนำ สื่ออิเล็กทรอนิกส์มาใช้ กล่าวคือมีการใช้ไลน์กรุปเป็นสื่อกลาง ที่เจ้าหน้าที่ต่าง ๆ ที่ได้พบเห็นความผิดปกติบนท้องถิ่นสามารถถ่ายรูป เขียนคำอธิบาย และแบ่งปันให้เจ้าหน้าที่อื่น ๆ ทราบ แต่ระบบไลน์กรุปนี้ไม่สามารถติดตามความคืบหน้าหรือสถานะของการซ่อมบำรุงความผิดปกติที่รายงานขึ้นมาได้ บ่อยครั้งที่ความผิดปกติหลุดรอดจากความสนใจไปเนื่องจากมีการรายงานใหม่ ๆ ขึ้นมามากมาย และไม่มีการจัดหมวดหมู่ของความผิดปกติที่ซ้ำซ้อน หรือจัดให้แยกดูได้ตามทำรายถนน หรือระบบพิกัดตำแหน่งให้แน่ชัด ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้ออกแบบเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร ให้มีการจัดหมวดหมู่ของความผิดปกติที่เจอตามรายถนน ได้จัดการกำจัดความซ้ำซ้อนของความผิดปกติเดียวกันที่เจอหลายครั้ง และได้สร้างและผนวกระบบบริหารจัดการงานบำรุงทาง ที่บูรณาการโดยตรงกับความผิดปกติที่ระบบได้พบ ซึ่งจะนำเสนอในเนื้อหาต่อไป

14.1.3 ความรู้ ความสามารถ และพฤติกรรมเดิมของผู้ใช้

ผู้ใช้งานเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร ส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานส่วนท้องถิ่น โดยส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่ในฝ่ายโยธา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเจ้าหน้าที่ในส่วนงานช่าง ซึ่งเจ้าหน้าที่ทุกคนที่คณะวิจัยได้ศึกษา มีความรู้ความสามารถในการใช้ระบบคอมพิวเตอร์และคอมพิวเตอร์พกพาได้อย่างดี และทุกคนมีโทรศัพท์สมาร์ตโฟน

เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานช่างมี 2 ระดับ คือระดับปฏิบัติการและระดับบริหาร ซึ่งทำงานใกล้ชิดกัน โดยเจ้าหน้าที่ในระดับปฏิบัติการใช้เวลาส่วนใหญ่บนท้องถิ่นในการทำงานซ่อมบำรุง มีการเข้าสำนักงานเพื่อประชุมเข้าในงานที่จะนำไปปฏิบัติในภาคสนาม และรายงานผลการสำรวจตลอดจนผลการบำรุงทาง ส่วนเจ้าหน้าที่ระดับบริหารใช้เวลาส่วนใหญ่ในสำนักงาน ในการพิจารณาข้อมูล ประชุม และตัดสินใจเกี่ยวกับงานบำรุงทางต่าง ๆ

เนื่องจากเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถของเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานส่วนท้องถิ่นให้สามารถบริหารจัดการและสื่อสารข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติของถนน และงานบำรุงทางที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งการบริหารจัดการดังกล่าว กระทำโดยเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารในสำนักงาน และการสื่อสารระหว่างเจ้าหน้าที่ฝ่ายบริหารและเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการ เกิดขึ้นเมื่อเจ้าหน้าที่ทั้งหลายประชุมกันในสำนักงาน ดังนั้น คณะวิจัยจึงได้มุ่งเน้นการพัฒนาเว็บไซต์ให้มีการใช้งานในสำนักงานเป็นหลัก กล่าวคือมุ่งเน้นให้ใช้บนจอใหญ่ คือจอคอมพิวเตอร์ และคอมพิวเตอร์พกพาเป็นหลัก โดยยังไม่มุ่งเน้นการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อให้ได้รับการใช้งานเป็นหลักในจอของโทรศัพท์มือถือ เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากร

14.2 กรณีใช้งานของเว็บไซต์

จากบริบทของการใช้งาน ลักษณะของปัญหาซึ่งระบบฯ พยายามแก้ไข และความรู้ ความสามารถ ตลอดจนพฤติกรรมเดิมของผู้ใช้ข้างต้น คณะวิจัยได้นำมาออกแบบเว็บไซต์ฯ ในเชิงความสามารถในการใช้งาน โดยเว็บไซต์ฯ ควรมีความสามารถในการใช้งานในหมวดหมู่ดังต่อไปนี้

1. การควบคุมการเข้าถึงและการระบุตัวผู้ใช้ (Access control)
2. การสอดส่องดูแลสภาพถนนโดยรวมของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน
3. การตรวจดูและจัดการข้อมูลความผิดปกติต่าง ๆ บนถนนแต่ละเส้น
4. การสร้างและบริหารงานบำรุงทางโดยบูรณาการจากรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบ
5. การสืบดูข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติหนึ่ง ๆ
6. การจัดการข้อมูลสายทางในความดูแลของหน่วยงาน

โดยคณะวิจัยได้แยกแยะกรณีใช้งาน (Use case) ต่าง ๆ ของเว็บไซต์ จัดเรียงตามหมวดหมู่ข้างต้น ดังต่อไปนี้

14.2.1 การควบคุมการเข้าถึงและการระบุตัวผู้ใช้ (Access control)

- เว็บไซต์จะต้องเก็บรักษาข้อมูล เฉพาะของแต่ละหน่วยงานท้องถิ่น และไม่ให้บุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้าถึงข้อมูล ดังนั้นจะต้องมีการลงชื่อเข้าใช้ (log in) โดยต้องใส่รหัสผู้ใช้ (username) และรหัสผ่าน (password) เพื่อยืนยันตัวตนของผู้ใช้เป็นอันดับแรกของการเริ่มใช้งาน

14.2.2 บัญชีผู้ใช้สำหรับเข้าสู่ระบบสำหรับหน่วยงานท้องถิ่น

- เมื่อมีการลงชื่อเข้าใช้งานเว็บไซต์ ระบบจะสามารถรู้ได้ว่า ผู้ใช้คนนี้อยู่ในสังกัดของหน่วยงานใด และจะแสดงตราสัญลักษณ์ของหน่วยงานนั้นเป็นสำคัญตลอดการใช้งานเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้งานรู้ว่าข้อมูลที่ผู้ใช้งานกำลัง เข้าถึงและบริหารจัดการอยู่เป็นข้อมูลในสังกัดหน่วยงานใด

14.2.3 การเปลี่ยนรหัสผ่าน

- ผู้ใช้สามารถเพิ่มและเปลี่ยนรูปถ่ายของตน เพื่อแสดงอัตลักษณ์ในฐานะผู้ใช้ของระบบได้ ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ในกรณีที่เจ้าหน้าที่หลาย ๆ คนในองค์กรแสดงความคิดเห็นกับความปกติที่ระบบ พบเจอ ตลอดจนมีการสร้างงานบำรุงทาง และการแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับงานบำรุงทางต่าง ๆ

- ในกรณีที่ผู้ใช้ลิ้มรสผ่าน ระบบมีกระบวนการให้ผู้ใช้สามารถยืนยันตัวตนในรูปแบบสำรอง เพื่อได้รับรหัสผ่านของตนอีกครั้ง
- เจ้าหน้าที่ที่ได้ลงชื่อเข้าใช้ระบบ สามารถออกจากระบบได้ ซึ่งมีผลให้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ถูกเจ้าหน้าที่ใช้ระบบอยู่ก่อน ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลเฉพาะของหน่วยงานของเจ้าหน้าที่ได้ จนกระทั่งมีการเข้าสู่ระบบอย่างถูกต้องครั้งต่อไป

14.2.4 การสอดส่องดูแลสภาพถนนโดยรวมของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน

- เจ้าหน้าที่สามารถดูภาพรวมของสภาพถนนทั้งหมดที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน และที่ระบบมีข้อมูล ในรูปแบบแผนที่เพื่อให้เข้าใจง่าย
- เจ้าหน้าที่สามารถดูสถิติโดยรวมเกี่ยวกับระดับความครอบคลุมของการสำรวจพื้นผิวจราจรโดยอัตโนมัติโดยระบบของโครงการ ได้แก่ จำนวนถนนที่มีข้อมูลจากการรับแจ้งโดยอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติของโครงการ ระยะทางที่ได้รับการสำรวจโดยอุปกรณ์เก็บข้อมูลอัตโนมัติของโครงการ สัดส่วนของระยะทางที่ได้รับการสำรวจดังกล่าวต่อระยะทางรวมกันของถนนทั้งหมดที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน
- เจ้าหน้าที่สามารถดูสถิติโดยรวมที่สำคัญเกี่ยวกับสภาพพื้นผิวจราจรของถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน ได้แก่ จำนวนความผิดปกติที่ระบบพบบนถนนทั้งหมดในความดูแลของหน่วยงาน ค่าเฉลี่ยดัชนีความขรุขระสากลของถนนทั้งหมดในความดูแลของหน่วยงาน รายการถนนที่มีความขรุขระสูงที่สุดเป็นอันดับต้น ๆ และ การกระจายตัวของระดับความขรุขระของระยะทางทั้งหมดในความดูแลของหน่วยงาน
- เจ้าหน้าที่สามารถดูรายการถนนในความดูแลของหน่วยงานทั้งหมด ที่มีข้อมูลความผิดปกติจากโครงการ โดยรายการถนนแสดงข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับถนน ได้แก่ ชื่อสายทาง ชนิดผิวจราจร ระยะทาง และ ตำแหน่งบนแผนที่ และเจ้าหน้าที่เห็นว่าถนนแต่ละเส้นมีความผิดปกติที่ระบบตรวจพบจำนวนเท่าใด
- เจ้าหน้าที่สามารถค้นหา คัดกรอง และเรียง รายการถนนในความดูแลของหน่วยงานทั้งหมด ที่มีข้อมูลความผิดปกติจากโครงการ ตามลักษณะที่สำคัญได้

14.2.5 การตรวจดูและจัดการข้อมูลความผิดปกติ บนถนน

- เมื่อเจ้าหน้าที่เลือกถนนเส้นหนึ่งจากรายการถนนในความดูแลของหน่วยงาน ที่มีข้อมูลความผิดปกติจากโครงการฯ เจ้าหน้าที่เห็นรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนเส้นนั้น โดยแต่

ละรายการแสดงข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความผิดปกตินั้น อาทิ ชนิดของความผิดปกติ ตำแหน่งบนแผนที่ เวลาที่ความผิดปกตินี้ถูกรายงานล่าสุด และรูปตัวอย่าง

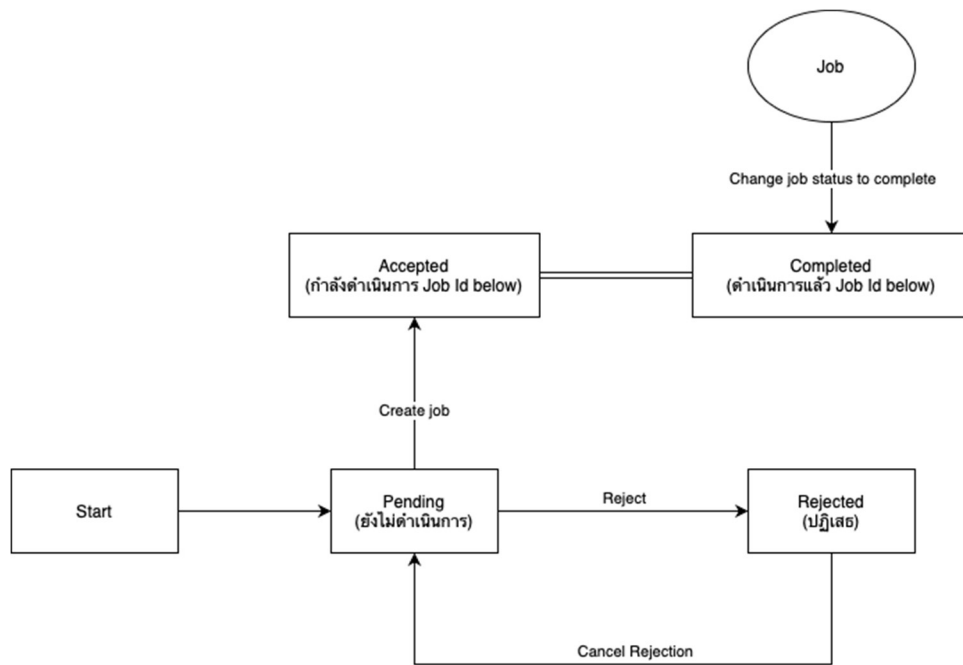
- ในแต่ละรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้น เจ้าหน้าที่สามารถระบุระดับความสำคัญของความผิดปกติหนึ่ง ๆ ได้อย่างน้อยสามระดับ และสามารถแก้ไขระดับความสำคัญของความผิดปกติเหล่านี้ได้
- ในแต่ละรายการความผิดปกติที่ระบบฯ ตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้น เจ้าหน้าที่สามารถแสดงความคิดเห็นเป็นลายลักษณ์อักษรเกี่ยวกับความผิดปกติทั้งหลาย เพื่อสื่อสารและประสานงานกับเจ้าหน้าที่อื่น ๆ ในองค์กร และเจ้าหน้าที่ใด ๆ ในองค์กรสามารถแสดงความคิดเห็นต่อจากความคิดเห็นของกันและกันได้
- ในแต่ละรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้น เจ้าหน้าที่สามารถปฏิเสธความผิดปกตินั้นได้ โดยระบบจะขึ้นสถานะของความผิดปกติเหล่านี้ว่าได้รับการปฏิเสธ เช่น ในกรณีที่ เจ้าหน้าที่ต้องการให้ไม่รวมความผิดปกติที่ระบบตรวจพบในสารระบบขององค์กร
- เจ้าหน้าที่สามารถ คัดกรอง และเรียง รายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้นตามหัวข้อที่สำคัญได้

14.2.6 การสร้างและบริหารงานบำรุงทางโดยบูรณาการจากรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบ

- ในแต่ละรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้น เจ้าหน้าที่สามารถดูสถานะของความผิดปกติทั้งหลาย ซึ่งอาจมีสถานะว่า ยังไม่มีการดำเนินการซ่อมบำรุง อยู่ระหว่างการซ่อมบำรุง และซ่อมบำรุงเสร็จแล้ว ทั้งนี้สถานะต่าง ๆ ของงานซ่อมบำรุงมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน ผ่านการกระทำของผู้ใช้ ดังแสดงในภาพที่ 14-1 ในแต่ละรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้น ซึ่งยังไม่มีมีการดำเนินการซ่อมบำรุง เจ้าหน้าที่สามารถสร้างงานซ่อมบำรุงใหม่ สำหรับความผิดปกตินั้นได้ โดยระบุ แผนการดำเนินงานโดยสรุป วันที่คาดว่าจะเริ่ม วันที่คาดว่าจะสิ้นสุด และงบประมาณที่คาดว่าจะต้องใช้
- ในแต่ละรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบบนถนนในแต่ละเส้น ซึ่งอยู่ระหว่างการซ่อมบำรุง เจ้าหน้าที่สามารถเห็นว่างานซ่อมบำรุงเกี่ยวข้องกับความผิดปกตินั้นที่คืองานใด และสามารถเข้าไปดูรายละเอียดของงานซ่อมบำรุงนั้นได้
- เจ้าหน้าที่สามารถดูรายการงานบำรุงทางทั้งหมดของหน่วยงาน โดยแต่ละรายการแสดงข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับงานซ่อมบำรุงนั้น ได้แก่ ชื่อถนน ตำแหน่งโดยประมาณ ชนิดของความผิดปกติ

วันที่คาดว่าจะเริ่มงาน วันที่คาดว่าจะสิ้นสุดงาน สถานะของงาน ระดับความสำคัญของงาน และงบประมาณที่คาดว่าจะต้องใช้

- เจ้าหน้าที่สามารถระบุระดับความสำคัญของงานหนึ่ง ๆ ได้อย่างน้อยสามระดับ และสามารถแก้ไขระดับความสำคัญของงานเหล่านี้ได้
- เจ้าหน้าที่สามารถ คัดกรอง และเรียง รายการงานบำรุงทางทั้งหลายตามลักษณะที่สำคัญได้



ภาพที่ 14-1 States machine diagram สถานะของงานสืบเนื่องกับสถานะของความผิดปกติ

14.2.7 การสืบดูข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติหนึ่ง ๆ

- ในแต่ละรายการความผิดปกติที่บนถนนในแต่ละเส้น เจ้าหน้าที่สามารถเข้าไปดูรายงานความผิดปกติ ที่อาจมีหลายรายงานจากหลายเวลาและหลายอุปกรณ์เก็บข้อมูล ที่เว็บไซต์ใช้ในการรวบรวมสรุป (aggregate) ว่าตรวจพบความผิดปกติรายการนั้น โดยแต่ละรายงานจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการรายงาน ได้แก่ รหัสอุปกรณ์เก็บข้อมูล วันที่รายงาน เวลาที่รายงาน รูปถ่าย ดั้งเดิมที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลส่งขึ้น Data Platform

- เจ้าหน้าที่สามารถแสดงความคิดเห็นเป็นลายลักษณ์อักษร เกี่ยวกับการรายงานทั้งหลายจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล เพื่อสื่อสารและประสานงานกับเจ้าหน้าที่อื่น ๆ ในองค์กร และเจ้าหน้าที่ใด ๆ ในองค์กรสามารถแสดงความคิดเห็นต่อจากความคิดเห็นของกันและกันได้
- เจ้าหน้าที่สามารถปฏิเสธการรายงานจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล กรณีที่เจ้าหน้าที่สงสัยว่าการรายงานน่าจะมีข้อผิดพลาด และมีผลกระทบเชิงลบต่อการนำไปรวบรวมสรุปเป็นรายการความผิดปกติ โดยระบบจะขึ้นสถานะของการรายงานเหล่านี้ว่าได้รับการปฏิเสธ และเจ้าหน้าที่สามารถยกเลิกการปฏิเสธรายงานได้
- เจ้าหน้าที่สามารถ คัดกรอง และเรียง รายงานทั้งหลายจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล ตามลักษณะที่สำคัญได้

14.2.8 การจัดการข้อมูลสายทางในความดูแลของหน่วยงาน

- เจ้าหน้าที่สามารถเพิ่มสายทางที่อยู่ในความดูแลของหน่วยงานเข้ามาในระบบฯ เพื่อให้ระบบฯ สามารถระบุได้ว่าความผิดปกติที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลตรวจพบความเป็นปกติบนสายทางนั้นได้ เช่น ในกรณีที่ หน่วยงานได้สร้างถนนใหม่ หรือได้รับโอนถนนจากหน่วยงานอื่น ซึ่งการเพิ่มสายทางต้องได้รับข้อมูล พื้นฐานเกี่ยวกับสายทางใหม่นั้น ได้แก่ รหัสสายทางที่ไม่ซ้ำกับรหัสสายทางเดิม ชื่อสายทาง ประเภทพื้นผิว ระยะทาง พิกัดของตำแหน่งต่าง ๆ ที่นิยามสายทางบนแผนที่ (Line string) ทั้งนี้ ระบบฯ จะผนวกข้อมูลจากการเพิ่มสายทางใหม่นี้ ในการปรับปรุงสถิติต่าง ๆ ของหน่วยงาน เช่น สัดส่วนของระยะทางที่ได้รับการสำรวจต่อระยะทางรวมกันของถนนทั้งหมดที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน

หมายเหตุ: ในตอนเริ่มต้นใช้งานระบบฯ หน่วยงานอาจใช้วิธีอื่นในการนำเข้าสู่ข้อมูลเกี่ยวกับสายทางโดยไม่ผ่านเว็บไซต์ฯ

- เจ้าหน้าที่สามารถแก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับสายทางในระบบ ได้แก่ รหัสสายทางที่ไม่ซ้ำกับรหัสสายทางเดิม ชื่อสายทาง ประเภทพื้นผิว ระยะทาง พิกัดของตำแหน่งต่าง ๆ ที่นิยามสายทางบนแผนที่ (Line string) ทั้งนี้ ระบบฯ จะใช้ข้อมูลจากการแก้ไขสายทางนี้ ในการปรับปรุงสถิติต่าง ๆ ของหน่วยงาน เช่น สัดส่วนของระยะทางที่ได้รับการสำรวจต่อระยะทางรวมกันของถนนทั้งหมดที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน
- เจ้าหน้าที่สามารถลบสายทางออกจากระบบ (Line string) ทั้งนี้ ระบบฯ จะใช้ข้อมูลจากการลบสายทางนี้ ในการปรับปรุงสถิติต่าง ๆ ของหน่วยงาน เช่น สัดส่วนของระยะทางที่ได้รับการสำรวจต่อระยะทางรวมกันของถนนทั้งหมดที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน

14.3 หลักการที่ใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร คณะวิจัยได้พิจารณาความต้องการของผู้ใช้ทั้ง 4 ประเภท และได้จัดให้เว็บไซต์ฯ ตอบสนองความต้องการทั้งสี่ประเภทโดยสมดุลกัน ตามหลักการของ Aaron Walter [1] ซึ่งความต้องการของผู้ใช้ 4 ประเภท ดังที่แสดงในภาพที่ 14-2 กล่าวคือ

1. ความต้องการด้านความสามารถและฟังก์ชัน (Functional needs)

ในการออกแบบเว็บไซต์ นักวิจัยถือหลักเอาความต้องการของผู้ใช้เป็นที่ตั้ง (User-centric design) โดยจากการศึกษาทำความเข้าใจความต้องการด้านความสามารถและฟังก์ชันที่หลากหลายของผู้ใช้งาน นักวิจัยได้ประเมินความสำคัญของแต่ละความต้องการ และได้จัดลำดับความต้องการดังกล่าวตามความสำคัญ แล้วจึงออกแบบเว็บไซต์ให้ตอบโจทย์ความต้องการตามลำดับความสำคัญดังกล่าว เพื่อให้ทรัพยากรที่จำกัดในการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ ถูกนำไปใช้ไปการตอบโจทย์ความต้องการที่สำคัญสูงสุดก่อน

2. ความต้องการด้านความคงเส้นคงวาและความเชื่อถือได้ในการใช้งาน (Reliability needs)

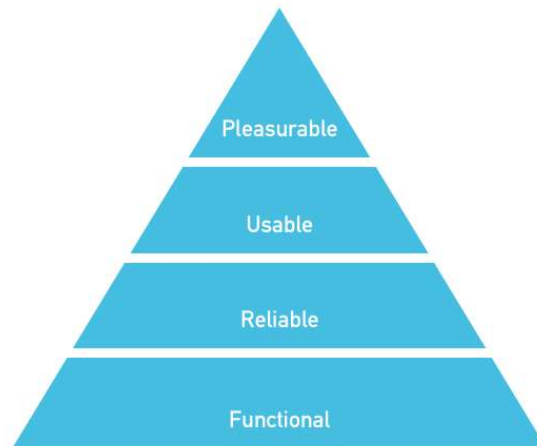
ในแต่ละต้องการด้านความสามารถและฟังก์ชันของผู้ใช้งาน คณะวิจัยได้หาวิธี ให้เว็บไซต์ตอบโจทย์ความต้องการดังกล่าวได้อย่างคงเส้นคงวาทุกครั้งที่ใช้ใช้งานเรียกใช้ โดยการวางสถาปัตยกรรมระบบแบบ Modular ซึ่งทำให้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่ง ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบส่วนอื่น และโดยการคัดเลือกเทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์และทดสอบแล้ว อีกทั้งได้ทำการทดสอบเว็บไซต์และแก้ไขหลายครั้งระหว่างการพัฒนา เพื่อให้มั่นใจว่าเว็บไซต์ทำงานได้อย่างคงเส้นคงวา

3. ความต้องการด้านการเข้าถึงฟังก์ชันการใช้งานโดยง่าย (Usability needs)

ในแต่ละต้องการด้านความสามารถและฟังก์ชันของผู้ใช้งาน นอกจากที่จะต้องทำงานได้อย่างคงเส้นคงวาแล้ว ยังต้องสามารถถูกเข้าถึงได้โดยง่ายผ่าน user interface ที่เหมาะสม เป็นที่คุ้นเคยกับผู้ใช้งาน และ/หรือมีสัญลักษณ์ที่ผู้ใช้งานสามารถรับรู้หรือคาดเดาความหมายได้โดยสัญชาตญาณ อาทิ การมีเมนูสำหรับเลือกไปหน้าที่สำคัญต่าง ๆ ของเว็บไซต์ การจัดเรียงลำดับหน้าต่างของเว็บไซต์ตามลำดับการทำงาน การกำหนดความสามารถในการดำเนินการที่ผู้ใช้สามารถเรียกใช้ได้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละหน้า การให้เครื่องมือตัวตัดกรองและ การเรียงลำดับข้อมูลในตารางต่าง ๆ การให้เครื่องมือปฏิทินเพื่ออำนวยความสะดวกในการป้อนข้อมูลที่เป็นวันที่ เป็นต้น

4. ความต้องการทางด้านสุนทรียภาพในการใช้งาน (Emotional needs)

เนื่องจากการใช้งานเว็บไซต์ถือได้ว่าเป็นประสบการณ์อย่างหนึ่งของผู้ใช้งาน คณะวิจัยจึงได้ออกแบบเว็บไซต์ ให้ผู้ใช้ได้ประสบการณ์และความรู้สึกที่ดีในการใช้เว็บไซต์ อาทิ การเว้นที่ว่างให้เหมาะสม การเลือกขนาดตัวอักษรที่เหมาะสม การเลือกโทนสีที่เหมาะสม เป็นต้น



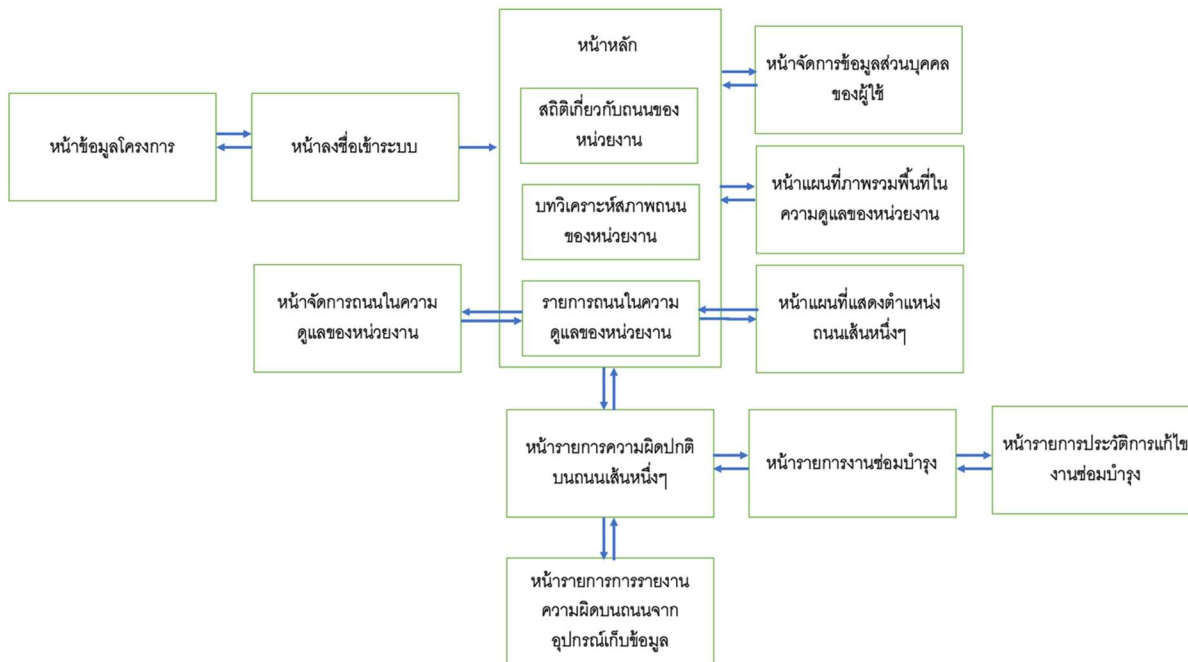
ภาพที่ 14-2 ความต้องการ 4 ประเภทของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ดิจิทัลตามหลักการของ Aaron Walter [1]

14.4 องค์ประกอบต่าง ๆ และการทำงานของเว็บไซต์

คณะวิจัยได้ออกแบบเว็บไซต์ฯ ตามหลักการ และกรณีใช้งานข้างต้น โดยเว็บไซต์มีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

- หน้าลงชื่อเข้าระบบ
- หน้าแผนที่ภาพรวมพื้นที่ในความดูแลของหน่วยงาน
- หน้าแผนที่แสดงตำแหน่งถนนในแต่ละเส้น
- หน้ารายการความผิดปกติบนถนนในแต่ละเส้น
- หน้ารายการการรายงานความผิดปกติบนถนนจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล
- หน้ารายการงานซ่อมบำรุง
- หน้ารายการประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุง
- หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน
- หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้
- หน้าข้อมูลโครงการ

ซึ่งหน้าต่างข้างต้น มีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในภาพที่ 14-3



ภาพที่ 14-3 ผังโครงสร้างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าของเว็บไซต์ (Site Structure Overview)

รายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ และการทำงานของเว็บไซต์ มีดังนี้

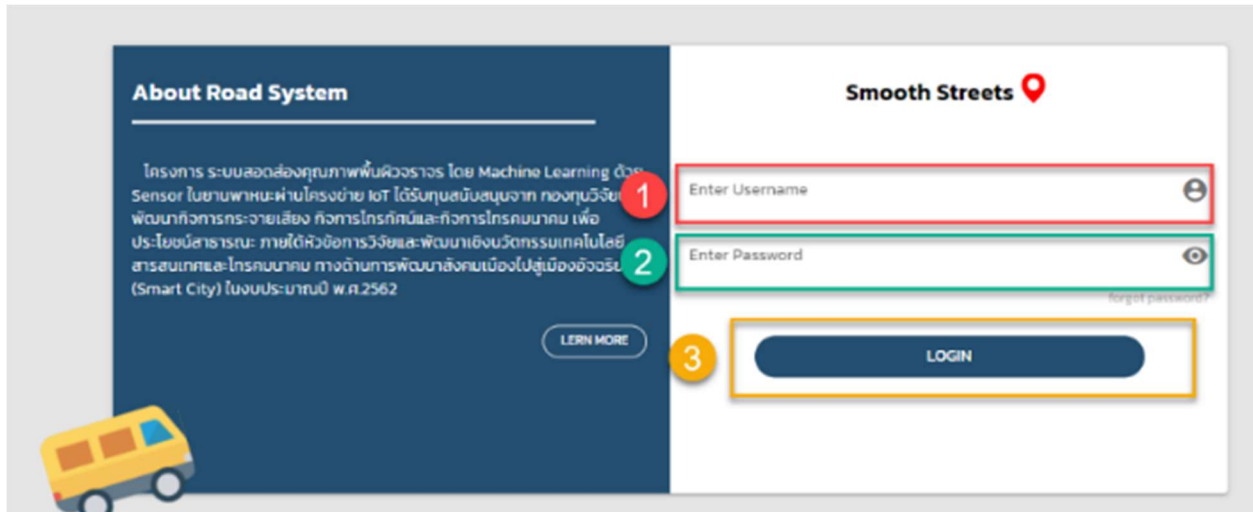
14.4.1 หน้าลงชื่อเข้าใช้ระบบ (Log-in screen)

เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่เว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร ผู้ใช้สามารถลงชื่อเข้าใช้ระบบในหน้าลงชื่อเข้าใช้ระบบ ดังแสดงในภาพที่ 14-4

การเข้าสู่ระบบ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- กรอกชื่อผู้ใช้งาน หรือ อีเมล ดังแสดงในภาพที่ 14-4 จุดที่ (1)
- กรอกรหัสผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 14-4 จุดที่ (2)
- กดปุ่ม login เพื่อเข้าสู่ระบบ ดังแสดงในภาพที่ 14-4 จุดที่ (3)

โดยผู้ใช้งานแต่ละคนจะมีอีเมลไม่ซ้ำกัน และผู้ใช้งานแต่ละคนมีสังกัดได้เพียงองค์กรเดียวเท่านั้น ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานลงชื่อเข้าใช้งาน ระบบจะสามารถรู้ได้ว่าจะต้องดึงข้อมูลขององค์กรใด



ภาพที่ 14-4 หน้าลงชื่อเข้าใช้ระบบ (Log-in screen)

14.4.2 หน้าหลัก (Home screen)

หลังจากผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบแล้ว เว็บไซต์จะแสดงหน้าหลักเป็นหน้าแรก โดยที่หน้าหลักจะแสดงข้อมูลภาพรวมเกี่ยวกับถนนขององค์กร ซึ่งแสดงข้อมูล 4 ส่วน ดังนี้

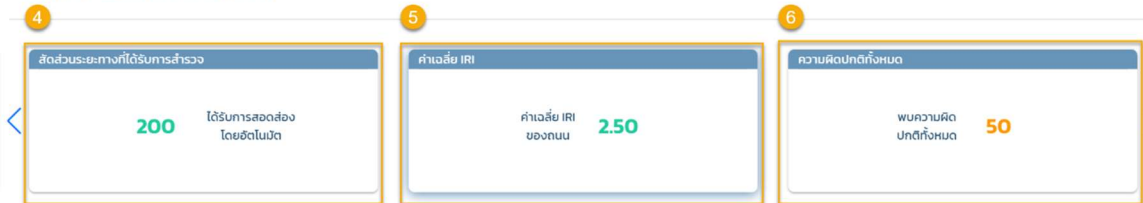
- ตัวส่ง (link) ไปที่หน้าแสดงแผนที่ของถนนในความดูแลของหน่วยงาน
- สถิติเกี่ยวข้องกับถนนของหน่วยงาน
- ตารางถนนในความดูแลของหน่วยงาน
- บทวิเคราะห์สภาพถนนในความดูแลของหน่วยงาน

โดยตัวส่ง (link) ไปที่หน้าแสดงแผนที่ของถนนในความดูแลของหน่วยงาน แสดงในภาพที่ 14-2 จุดที่ (1) สถิติต่าง ๆ เกี่ยวข้องกับถนนของหน่วยงาน กล่าวคือ

- จำนวนถนนที่ได้รับแจ้ง แสดงในภาพที่ 14-5 จุดที่ 2
- ระยะทางที่ได้รับการสำรวจ แสดงในภาพที่ 14-5 จุดที่ 3
- ระยะทางที่ได้รับการสำรวจ แสดงในภาพที่ 14-5 จุดที่ 4
- ค่าเฉลี่ย IRI แสดงในภาพที่ 14-6 จุดที่ 5
- จำนวนความผิดปกติที่ตรวจพบทั้งหมด แสดงในภาพที่ 14-6 จุดที่ 6



ภาพที่ 14-5 สถิติเกี่ยวข้องกับถนนของหน่วยงาน แสดงการ์ดส่วนที่ 1 ในหน้าหลัก



รายการถนนทั้งหมดของ เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

ภาพที่ 14-6 สถิติเกี่ยวข้องกับถนนของหน่วยงาน แสดงการ์ดส่วนที่ 2 ในหน้าหลัก

14.4.3 ถนนในความดูแลของหน่วยงาน

รายการถนนในความดูแลของหน่วยงานแสดงดังภาพที่ 14-7 และตารางที่ 14-1 โดยเว็บไซต์จะให้ความสามารถแก่ผู้ใช้งานในการ ค้นหาและคัดกรองข้อมูลถนนที่สนใจ และควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล โดยมีความสามารถดังต่อไปนี้

- ช่องค้นหา แสดงในภาพที่ 14-7 จุดที่ (7)
- ปุ่มล้างตัวกรองทั้งหมด แสดงในภาพที่ 14-7 จุดที่ (8)
- เครื่องมือกรองข้อมูล IRI แสดงในภาพที่ 14-7 จุดที่ (9)
- การควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล แสดงในภาพที่ 14-7 ในจุดที่ (10)
- เครื่องมือสามารถเรียงลำดับข้อมูล IRI แสดงในภาพที่ 14-7จุดที่ (11)



รายการถนนทั้งหมดของ เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

| รหัสสายทางหรือโครงการ | ชื่อสายทางหรือโครงการ | ชนิดผิวจราจร | ระยะทาง (กิโลเมตร) | IRI | Smooth Streets Index | แผนที่ | จำนวนความผิดปกติที่พบ |
|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------------|-----|----------------------|--------|-----------------------|
| ภท.ถ-0057 | ซอยสะพานหิน | คอนกรีต | 0 | 2 | | | 1 |
| ภท.ถ20036 | ถนนแม่เหิยน | คอนกรีต | 0.58 | 2 | 5 | | 1 |
| ภท.ถ20037 | ถนนดำรง | คอนกรีต | 1.71 | 2 | 5 | | 1 |
| ภท.ถ20041 | ถนนสุรินทร์ | คอนกรีต | 1.09 | 3.2 | 4 | | 1 |
| ภท.ถ20042 | ถนนจำเริญ | คอนกรีต | 0.57 | 2 | 5 | | 1 |
| ภท.ถ20050 | ถนนเมืองอินทผาไซ | คอนกรีต | 2 | 2 | 3 | | 1 |

ภาพที่ 14-7 รายการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

ตารางที่ 14-1 คำอธิบายหัวข้อตารางถนนในความดูแลของหน่วยงาน

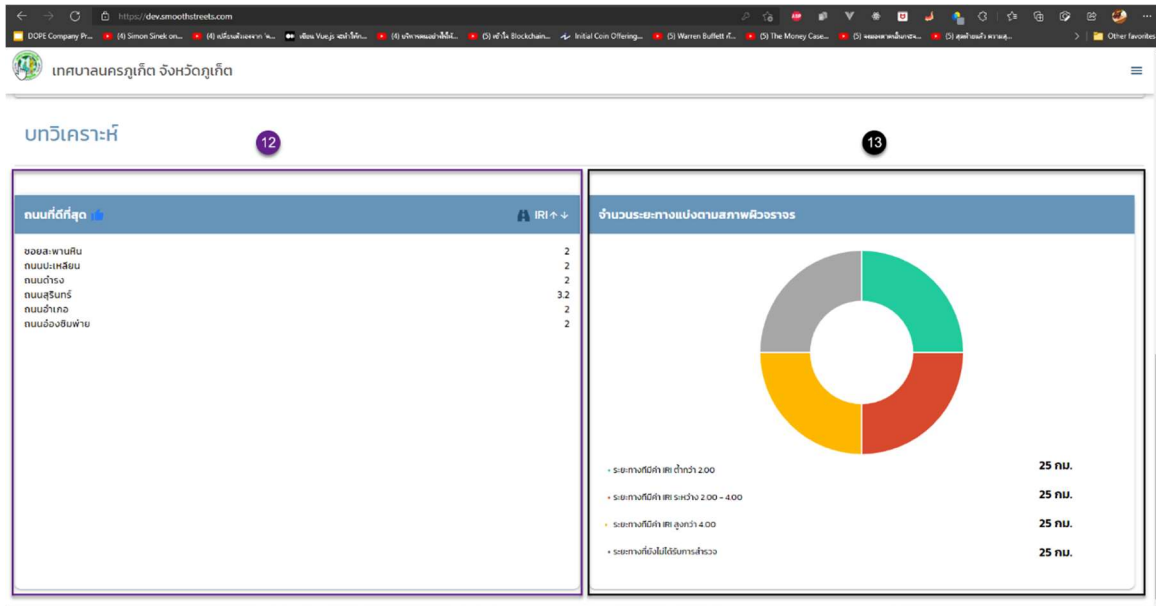
| หัวข้อตาราง | คำอธิบาย | หมายเหตุ |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| รหัสสายทางหรือโครงการ | รหัสสายทางของถนน | |
| ชื่อสายทางหรือโครงการ | ชื่อถนน | |
| ชนิดผิวจราจร | ชนิดพื้นผิวถนน เช่น คอนกรีต, แอสฟัลท์ | สามารถกรองข้อมูลได้ |
| ระยะทาง (กิโลเมตร) | ระยะทางของถนน | |
| IRI | ค่า IRI เฉลี่ยของทั้งสายทาง | สามารถกรองเรียงลำดับข้อมูลได้ |
| แผนที่ | กดเพื่อแสดงแผนที่ตำแหน่งของสายทาง | |
| จำนวนความผิดปกติที่พบ | จำนวนความผิดปกติที่พบบนเส้นถนนนั้น | |

14.4.4 บทวิเคราะห์สภาพถนนของหน่วยงาน

บทวิเคราะห์สภาพถนนของหน่วยงาน มี 2 ส่วน คือ

- ข้อมูลถนนที่ดีที่สุด โดยจะแสดงชื่อถนน และจำนวน IRI ที่ได้ แสดงในภาพที่ 14-8 จุดที่ (12)

- แผนภูมิโดนัทที่แสดงการกระจายตัวของคุณภาพผิวจราจรตามช่วงของ IRI แสดงในภาพที่ 14-8 จุดที่ (13)

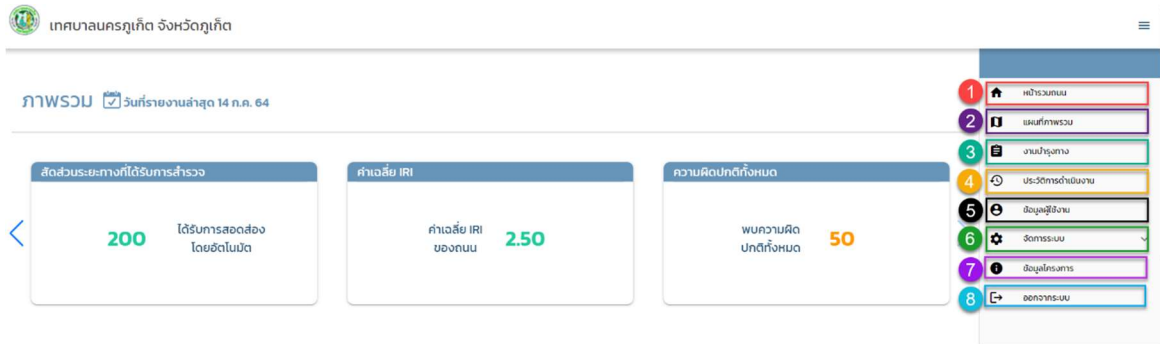


ภาพที่ 14-8 บทวิเคราะห์สภาพถนนของหน่วยงาน

14.4.5 เมนูสำหรับไปที่หน้าต่าง ๆ (Menu)

จากหน้าใดก็ตาม หากผู้ใช้งานต้องการดูหน้าอื่น หรือต้องการทำงานในส่วนอื่น ใช้งานสามารถเลือกเมนูสำหรับไปที่หน้าต่าง ๆ ได้ โดยการกดที่สัญลักษณ์เมนูที่ด้านขวาบน โดยเมนู มีรายการดังต่อไปนี้

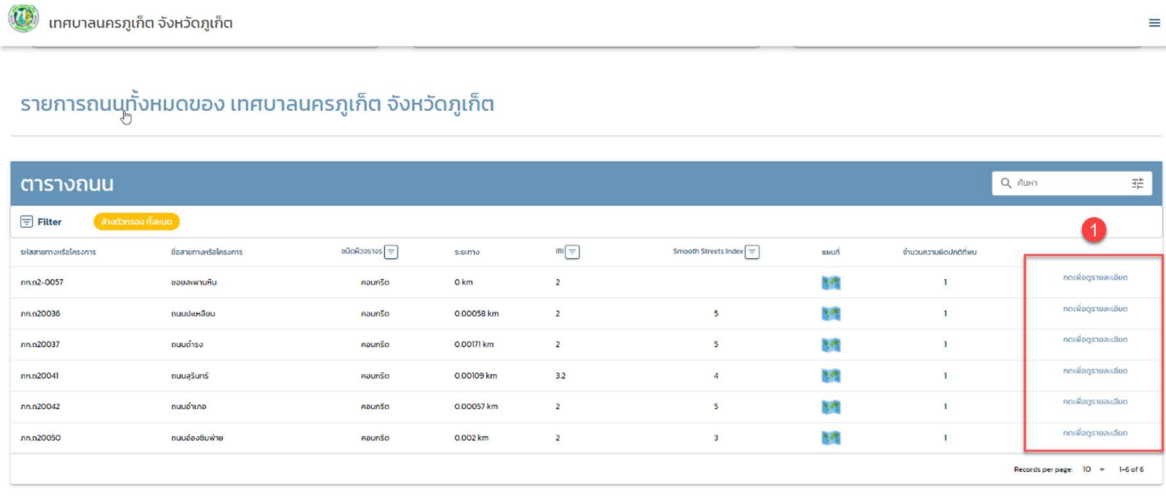
- หน้ารวมถนน แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (1)
- แผนที่ภาพรวม แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (2)
- งานบำรุงทาง แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (3)
- ประวัติการดำเนินงาน แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (4)
- ข้อมูลผู้ใช้งาน แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (5)
- จัดการระบบ แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (6)
- ข้อมูลโครงการ แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (7)
- ออกจากระบบ แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (8)



ภาพที่ 14-9 เมนูสำหรับไปที่หน้าต่าง ๆ

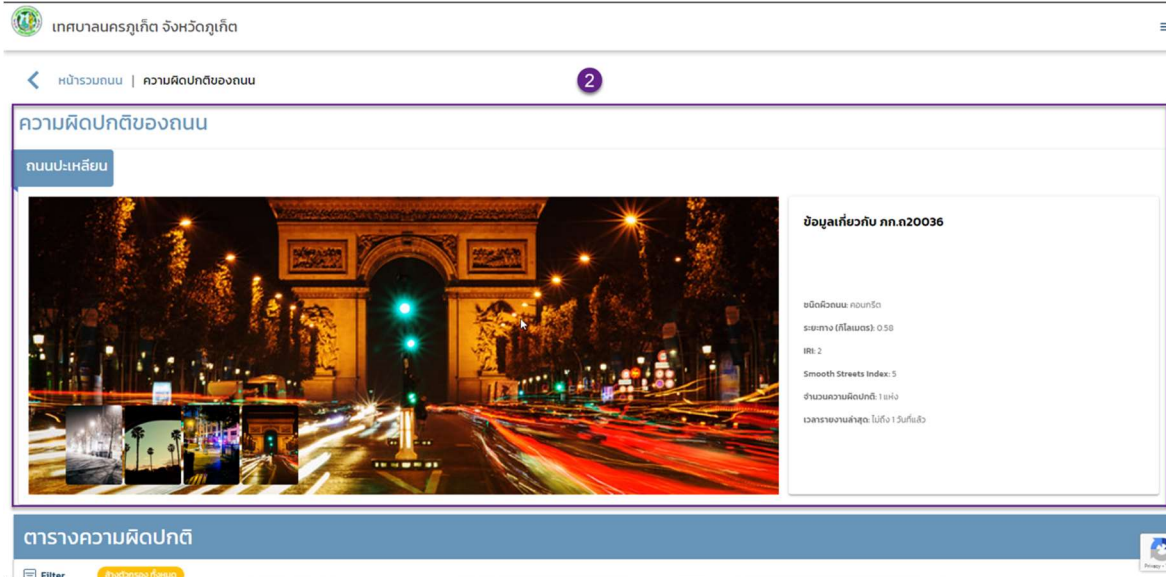
14.4.6 หน้าความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น (Irregularities on a road screen)

จากหน้าหลัก ในส่วนที่เป็นตารางถนนในการดูแลของหน่วยงาน หากผู้ใช้งานต้องการดูความผิดปกติของถนนเส้นใด ผู้ใช้งานสามารถกดคำว่า “กดเพื่อดูรายละเอียด” ที่อยู่ด้านขวามือของแต่ละแถวได้ แสดงในภาพที่ 14-10 จุดที่ 1

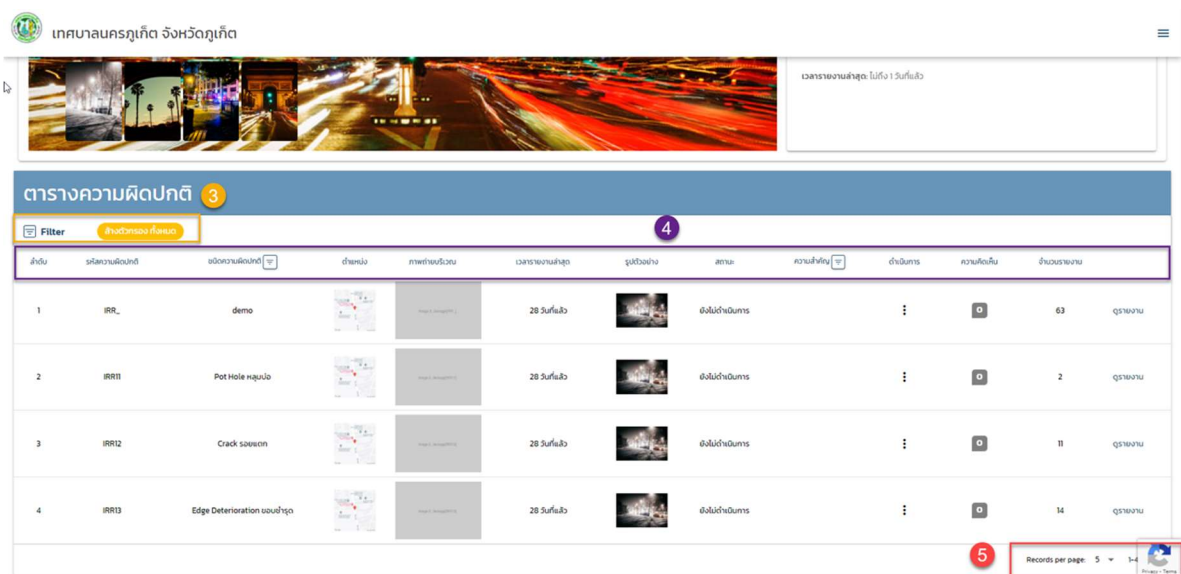


ภาพที่ 14-10 การกดเพื่อดูรายละเอียดความผิดปกติของถนนจากรายการถนนในการดูแลของหน่วยงาน

เว็บไซต์ฯ จะแสดงหน้าความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับถนนเส้นนั้น ตามภาพที่ 14-11 และตารางรายการความผิดปกติที่เจอบนถนนเส้นนั้น ตามภาพที่ 14-12



ภาพที่ 14-11 หน้าความผิดปกติบนถนนแต่ละเส้น ส่วนที่เกี่ยวข้องกับถนน



ภาพที่ 14-12 หน้าความผิดปกติบนถนนแต่ละเส้น ส่วนที่เป็นตารางรายการความผิดปกติ

ความผิดปกติของถนน หมายถึงส่วนที่ไม่เรียบ ส่วนที่ชำรุด และ/หรือ เป็นอุปสรรคต่อการสัญจรของผู้ใช้ถนน เช่นหลุมบ่อ รอยแตก ฝาท่อระบายน้ำที่ล้ำเขตถนนเข้ามา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลบนยานพาหนะ อาจเจอและรายงานความผิดปกติเดิมหลายครั้ง เว็บไซต์จึงได้พยายามสรุปข้อมูลจากรายงานความผิดปกติที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลส่ง ที่น่าจะเป็นความผิดปกติเดียวกันรวมไว้ด้วยกัน เป็นรายการความผิดปกติหนึ่งรายการในตารางนี้

โดยตารางรายการความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น แสดงข้อมูลแสดงข้อมูลในหัวข้อตาราง ดังแสดงในตารางที่ 14-2 จุดที่ (4) ดังนี้

ตารางที่ 14-2 ความผิดปกติ แสดงข้อมูลดังต่อไปนี้

| หัวข้อตาราง | คำอธิบาย |
|------------------|---|
| ลำดับ | ลำดับที่ใช้ในการแสดงข้อมูล |
| รหัสความผิดปกติ | รหัสของความผิดปกติ |
| ชนิดความผิดปกติ | ชนิดของคสามผิดปกติ |
| ตำแหน่ง | รูปภาพตำแหน่งของความผิดปกติ สามารถคลิกได้ และจะขยายรูป |
| ภาพถ่ายบริเวณ | ภาพถ่ายบริเวณของความผิดปกติ สามารถคลิกได้ และจะขยายรูป |
| เวลารายงานล่าสุด | เวลาของรายงานล่าสุด |
| รูปตัวอย่าง | รูปภาพแรกของรูปตัวอย่างของความผิดปกติ สามารถคลิกได้ และจะขยายรูป โดยจะแสดงรูปทั้งหมด |
| สถานะ | สถานะงานซ่อมบำรุงของความผิดปกติ มีดังต่อไปนี้ 1.ยังไม่ดำเนินการ 2.ถูกปฏิเสธ 3.กำลังดำเนินการ 4.ดำเนินการแล้ว |
| ความสำคัญ | ความสำคัญของงานซ่อมบำรุง |
| ดำเนินการ | แสดงไอคอน เมื่อคลิกไอคอนจะแสดงเมนูดังต่อไปนี้ เมนูแก้ไขความสำคัญ เมนูสร้างงาน เมนูปฏิเสธ 4. เมนูแสดงความคิดเห็น |
| ความคิดเห็น | จำนวนของความคิดเห็น |
| จำนวนรายงาน | จำนวนของรายงานจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล ที่ได้ส่งข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติซึ่งได้ถูกรวบรวมว่าเป็นความผิดปกติเดียวกันรายการนี้ |

ในหัวข้อ “ดำเนินการ” ของแต่ละรายการ ผู้ใช้งานสามารถคลิกไอคอน และเลือกดำเนินการดังต่อไปนี้กับความผิดปกติ จากเมนูที่ปรากฏขึ้นดังตารางที่ 14-3

- แก้ไขความสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 14-13 จุดที่ (6)
- สร้างงาน ดังแสดงในภาพที่ 14-13 จุดที่ (7)
- ปฏิเสธ ดังแสดงในภาพที่ 14-13 จุดที่ (8)
- แสดงความคิดเห็น ดังแสดงในภาพที่ 14-13 จุดที่ (9)

เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

| ลำดับ | รหัสความผิดปกติ | ชื่อถนน/สถานที่ | ตำแหน่ง | ภาพถ่ายบริเวณ | เวลารายงานล่าสุด | รูปตัวอย่าง | สถานะ | ความถี่ | จำนวนความเห็น | จำนวนรายงาน |
|-------|-----------------|-----------------------------|---------|---------------|------------------|-------------|-----------------|---------|---------------|-------------|
| 1 | IRR_ | demo | | | 28 วันที่แล้ว | | ยังไม่ดำเนินการ | 6 | 0 | 64 |
| 2 | IRR11 | Pot Hole หาดใหญ่ | | | 28 วันที่แล้ว | | ยังไม่ดำเนินการ | 7 | 0 | 76 |
| 3 | IRR12 | Crack sponcon | | | 28 วันที่แล้ว | | ยังไม่ดำเนินการ | 8 | 0 | 42 |
| 4 | IRR13 | Edge Deterioration หนองย่าง | | | 28 วันที่แล้ว | | ยังไม่ดำเนินการ | 9 | 0 | 96 |

Records per page: 5 1-4 of 4

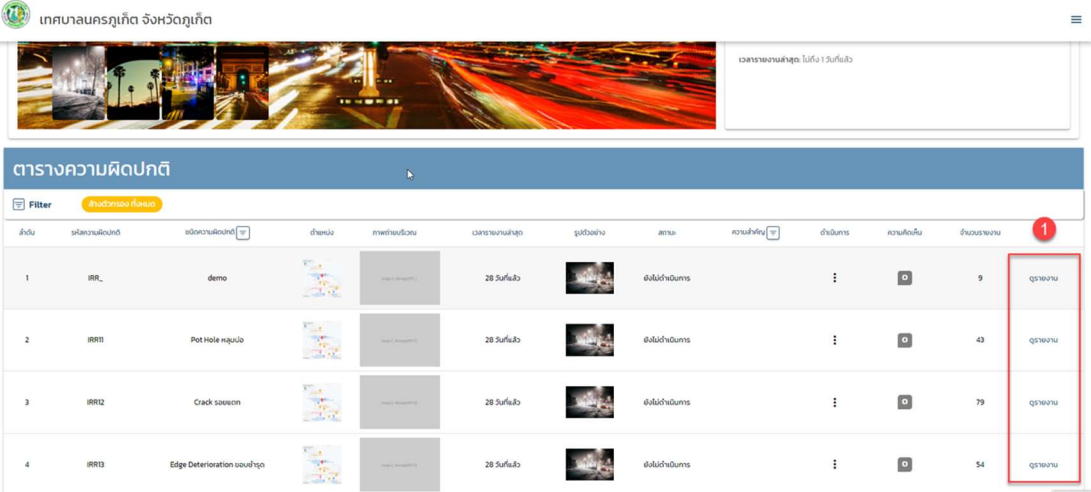
ภาพที่ 14-13 เมนูดำเนินการกับความผิดปกติ ในตารางรายการความผิดปกติ
ในหน้ารายการความผิดปกติบนถนนเส้นหนึ่ง

นอกจากนี้ในส่วนของตารางรายการความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น เว็บไซต์ฯ ให้ความสามารถแก่ผู้ใช้งานในการ ค้นหาและคัดกรองความผิดปกติที่สนใจ และควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล โดยมีความสามารถต่อไปนี้

- ปุ่มล้างตัวกรองทั้งหมด แสดงในภาพที่ 14-9 จุดที่ (3)
- เครื่องมือกรองข้อมูล ชนิดความผิดปกติ แสดงในภาพที่ 14-9
- เครื่องมือกรองข้อมูล ความสำคัญที่ผู้ใช้งานกำหนดให้ความผิดปกติ แสดงในภาพที่ 14-9
- การควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล แสดงในภาพที่ 14-9 ในจุดที่ (5)

หน้ารายการการรายงานความผิดปกติบนถนนจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Reports screen)

จากตารางรายการความผิดปกติที่เจอบนถนนแต่ละเส้น ในหน้าความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น หากผู้ใช้งานต้องการดูรายการรายงานความผิดจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลโดยตรง ที่ระบบได้นำมารวบรวมสรุปว่าเป็นความผิดปกติรายการนี้ในตารางข้างต้นนั้น สามารถทำได้โดย กดคำว่า “ดูรายงาน” ซึ่งแสดงอยู่ทางขวาสุดของตาราง ในแต่ละแถวของตารางความผิดปกติ แสดงในภาพที่ 14-14 จุดที่ (1)



เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต

เวลารายงานล่าสุด: 10:16:18 28/11/2564

ตารางความผิดปกติ

Filter: ภูเก็ตนครภูเก็ต

| ลำดับ | บริเวณถนน | ชื่อความผิดปกติ | สถานะ | ภาพพยาน | เวลารายงานล่าสุด | รูปถ่าย | สถานะ | ความถี่ | จำนวน | จำนวน |
|-------|-----------|-----------------------------|-------|---------|------------------|---------|-------|---------|-------|----------|
| 1 | RR1 | demo | ปิด | | 28 5:16:18 | | ปิด | 0 | 9 | ดูรายงาน |
| 2 | RR1 | Pet Hole nguib | ปิด | | 28 5:16:18 | | ปิด | 0 | 43 | ดูรายงาน |
| 3 | RR12 | Crack sawom | ปิด | | 28 5:16:18 | | ปิด | 0 | 79 | ดูรายงาน |
| 4 | RR13 | Edge Deterioration sawaiyay | ปิด | | 28 5:16:18 | | ปิด | 0 | 54 | ดูรายงาน |

ภาพที่ 14-14 ตารางรายการความผิดปกติ ในหน้ารายการความผิดปกติบนถนนแต่ละเส้น

หลังจากคลิกคำว่า “ดูรายงาน” ของรายการความผิดปกติหนึ่ง ๆ เว็บไซต์จะแสดงหน้าการรายงานความผิดปกติ ที่ระบบนำมารวบรวมสรุปว่าเป็นความผิดปกติรายการนั้น ดังแสดงในภาพที่ 14-15 และตารางการรายงานความผิดปกติ แสดงข้อมูลในตารางที่ 14-3

การรายงานความผิดปกติ

ตารางการรายงานความผิดปกติ

| idการรายงาน | idอุปกรณ์ | วันที่รายงาน | เวลาที่รายงาน | ตำแหน่ง | รูปถ่าย | สถานะ | Notes | ความคิดเห็น |
|--|---------------|--------------|---------------|---------|---------|-------------|-------|-------------|
| fa05a50d890205a78eccc702fa2f9166c16583a7d32d90d2m091681259b333 | mock-device-3 | 2022-02-06 | 02:02:37 | | | NT(98.4038) | | |
| fa05a50d890205a78eccc702fa2f9166c16583a7d32d90d2m091681259b333 | mock-device-3 | 2022-02-06 | 02:02:37 | | | | | |
| fa05a50d890205a78eccc702fa2f9166c16583a7d32d90d2m091681259b333 | mock-device-3 | 2022-02-06 | 02:02:37 | | | | | |
| fa05a50d890205a78eccc702fa2f9166c16583a7d32d90d2m091681259b333 | mock-device-3 | 2022-02-06 | 02:02:37 | | | | | |

Records per page 5 1-4 of 4

ภาพที่ 14-15 ตารางรายการการรายงานความผิดปกติ
 ในหน้ารายการการรายงานความผิดปกติบนถนนจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล

ตารางที่ 14-3 คำอธิบายหัวข้อตารางรายงานความผิดปกติ

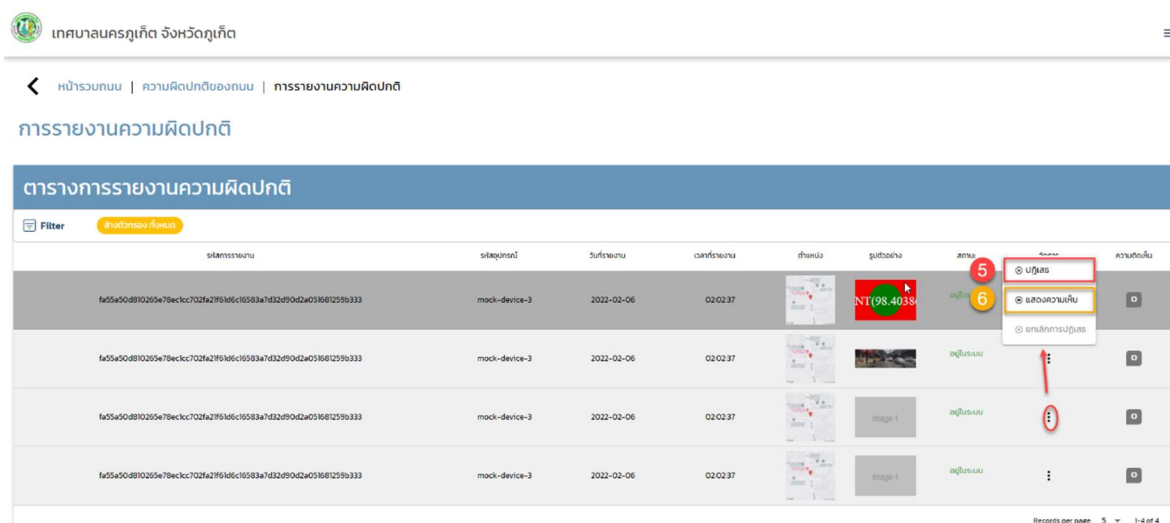
| หัวข้อตาราง | คำอธิบาย |
|---------------|--|
| รหัสการรายงาน | รหัสของรายงาน |
| รหัสอุปกรณ์ | รหัสของอุปกรณ์ |
| วันที่รายงาน | วันที่รายงาน |
| เวลาที่รายงาน | เวลาที่รายงาน |
| ตำแหน่ง | รูปภาพตำแหน่งของความผิดปกติ สามารถคลิกได้ และจะขยายรูป |
| รูปตัวอย่าง | รูปภาพแรกของรูปตัวอย่างของความผิดปกติ สามารถคลิกได้ และจะขยายรูป โดยจะแสดงรูปทั้งหมด |
| สถานะ | สถานะภายในระบบ ซึ่งมีสถานะดังต่อไปนี้ 1. อยู่ในระบบ 2. ถูกปฏิเสธ |
| จัดการ | แสดงไอคอน เมื่อคลิกไอคอนจะแสดงเมนูดังต่อไปนี้ ปฏิเสธ 2. แสดงความคิดเห็น |
| ความคิดเห็น | จำนวนของความคิดเห็น |

ผู้ใช้งานสามารถใช้วิจารณ์งานในการพิจารณาว่าการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์ เป็นการรายงานที่ชอบหรือไม่ หากผู้ใช้งานประสงค์ที่จะไม่รวมผลของการรายงานใดการรายงานหนึ่งเข้าในสารระบบข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถเลือกที่จะปฏิเสธรายงาน ได้โดยกดที่ ใต้หัวข้อ “จัดการ” ในบรรทัดของรายงานนั้น และเลือก “ปฏิเสธ” แสดงในภาพที่ 14-16 จุดที่ (5)

ผู้ใช้งานสามารถแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์ได้ โดยกดที่ ใต้หัวข้อ “จัดการ” ในบรรทัดของรายงานนั้น และเลือก “แสดงความคิดเห็น” แสดงภาพที่ 14-16 จุดที่ (6)

นอกจากนี้ในส่วนของตารางการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์ เว็บไซต์ฯ ให้ความสามารถแก่ผู้ใช้งานในการ ค้นหาและคัดกรองการรายงานความผิดปกติจากอุปกรณ์ที่สนใจ และควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล โดยมีความสามารถต่อไปนี้

- ปุ่มล้างตัวกรองทั้งหมด
- เครื่องมือกรองข้อมูล รหัสอุปกรณ์
- การควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล



ภาพที่ 14-16 เมนูต่าง ๆ จากการกดไอคอนในตารางการรายงานความผิดปกติ

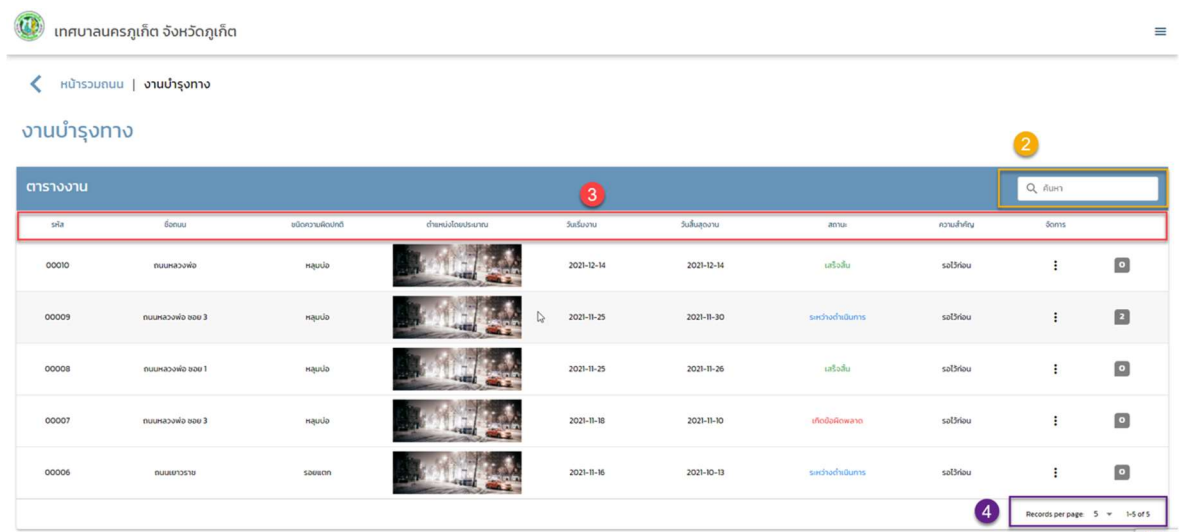
14.4.7 หน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง (Jobs screen)

ในหน้าความผิดปกติของถนนแต่ละเส้น ในหัวข้อ 14.4.4 นั้น ผู้ใช้งานสามารถ สร้างงานบำรุงทางอันสืบเนื่องจากการตรวจเจอความผิดปกติหนึ่ง ๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขความผิดปกติได้ ซึ่งเมื่อผู้ใช้งานได้สร้างงานบำรุงทาง หลังจากนั้นผู้ใช้งานสามารถขอดูรายการงานบำรุงทางที่สร้างไว้ทั้งหมดสำหรับองค์กรของผู้ใช้งานได้ โดยไปที่เมนูที่ที่แท็บด้านขวาบน จากนั้น เลือก “งานบำรุงทาง” ดังแสดงในภาพที่ 14-17 จุดที่ (1)



ภาพที่ 14-17 เมฆงานบำรุงทาง ในเมนู

เว็บไซต์จะนำผู้ใช้งานไปที่หน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง ดังแสดงในภาพที่ 14-18 หน้ารายการงานซ่อมบำรุงทางแสดงข้อมูลในรูปแบบตาราง โดยมีในหัวข้อมตาราง ดังแสดงในภาพที่ 14-18 จุดที่ (3) และตารางที่ 14-4



ภาพที่ 14-18 ตารางรายการงานซ่อมบำรุงทาง ในหน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง

ตารางที่ 14-4 คำอธิบายหัวข้อมตารางงานซ่อมบำรุงทางของหน่วยงาน






| | |
|-----------------|---------------------|
| หัวข้อมตาราง | คำอธิบาย |
| รหัส | รหัสของงานซ่อมบำรุง |
| ชื่อถนน | ชื่อของถนน |
| ชนิดความผิดปกติ | ชนิดความผิดปกติ |

| | |
|------------------|---|
| ตำแหน่งโดยประมาณ | รูปภาพตำแหน่งของความผิดปกติโดยประมาณ ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของความผิดปกติที่ตรวจพบและเป็นที่มาของงานบำรุงทางงานนี้ สามารถคลิกเพื่อขยายเป็นรูปใหญ่ได้ |
| วันเริ่มงาน | วันที่เริ่มงานซ่อมบำรุง |
| วันสิ้นสุดงาน | วันที่สิ้นสุดงานซ่อมบำรุง |
| สถานะ | สถานะของงานซ่อมบำรุง มีดังนี้ เสร็จสิ้น ระหว่างดำเนินงาน เกิดข้อผิดพลาด 4. ยังไม่ดำเนินการ |
| ความสำคัญ | ความสำคัญของงาน มีดังนี้ รอไว้ก่อน ด่วน 3. ทำไต่รมาสนี้ |
| จัดการ | แสดงไอคอน เมื่อคลิกไอคอนจะแสดงเมนูดังต่อไปนี้ อัปเดตงาน 2. แสดงความคิดเห็น |

ซึ่งในหัวข้อ “จัดการ” ผู้ใช้งานสามารถคลิกไอคอน และเลือกดำเนินการดังต่อไปนี้กับงานซ่อมบำรุงทางหนึ่ง ๆ จากเมนูที่ผุดขึ้น

- อัปเดตงาน ซึ่งสามารถแก้ไขสาระของงาน วันเริ่มงาน วันสิ้นสุดงาน สถานะ และระดับความสำคัญของงาน ดังแสดงในภาพที่ 14-19 จุดที่ (5)
- แสดงความคิดเห็น ดังแสดงในภาพที่ 14-19 จุดที่ (6)

งานบำรุงทาง

| ตารางงาน | ค้นหา | | | | | | | |
|----------|--------------|-----------------|---|-------------|---------------|-------------|-------------|---|
| รหัส | ชื่อถนน | ชนิดความเสียหาย | ภาพก่อนซ่อมแซม | วันเริ่มงาน | วันสิ้นสุดงาน | สถานะ | ความเสียหาย | จัดการ |
| 00010 | ถนนหลวง | หลุมบ่อ |  | 2021-12-14 | 2021-12-14 | เสร็จสิ้น | รอประเมิน | 5 6 <ul style="list-style-type: none"> ดูข้อมูลงาน แสดงการประเมิน |
| 00009 | ถนนหลวงสาย 3 | หลุมบ่อ |  | 2021-11-25 | 2021-11-30 | รอดำเนินการ | รอประเมิน | <ul style="list-style-type: none"> ดูข้อมูลงาน |
| 00008 | ถนนหลวงสาย 1 | หลุมบ่อ |  | 2021-11-25 | 2021-11-26 | เสร็จสิ้น | รอประเมิน | <ul style="list-style-type: none"> ดูข้อมูลงาน |
| 00007 | ถนนหลวงสาย 3 | หลุมบ่อ |  | 2021-11-18 | 2021-11-30 | รอดำเนินการ | รอประเมิน | <ul style="list-style-type: none"> ดูข้อมูลงาน |
| 00006 | ถนนยาว | รอยแตก |  | 2021-10-16 | 2021-10-18 | รอดำเนินการ | รอประเมิน | <ul style="list-style-type: none"> ดูข้อมูลงาน |

Records per page: 5 | 1-5 of 5

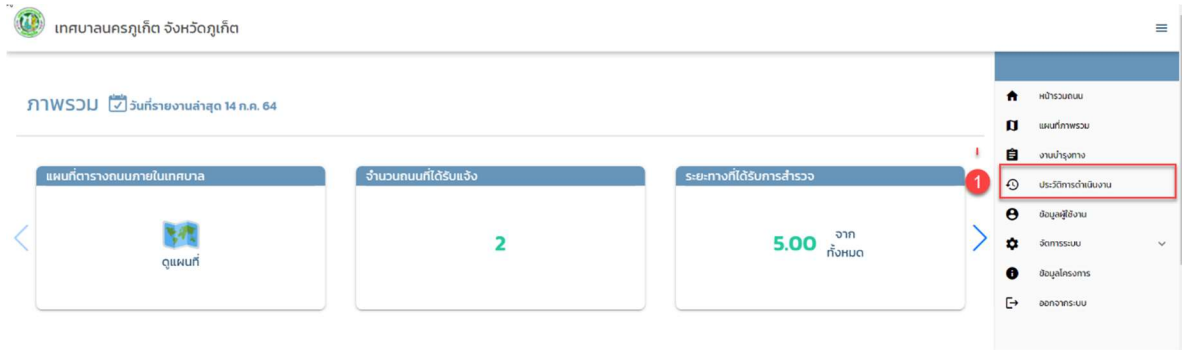
ภาพที่ 14-19 เมนูจัดการงานซ่อมบำรุงในตารางงานซ่อมบำรุง ในหน้ารายการงานซ่อมบำรุงทาง

นอกจากนี้ในส่วนของตารางรายการงานซ่อมบำรุง เว็บไซต์ฯ ให้ความสามารถแก่ผู้ใช้งานในการ ค้นหา และคัดกรองงานซ่อมบำรุงที่สนใจ และควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล โดยมีความสามารถต่อไปนี้

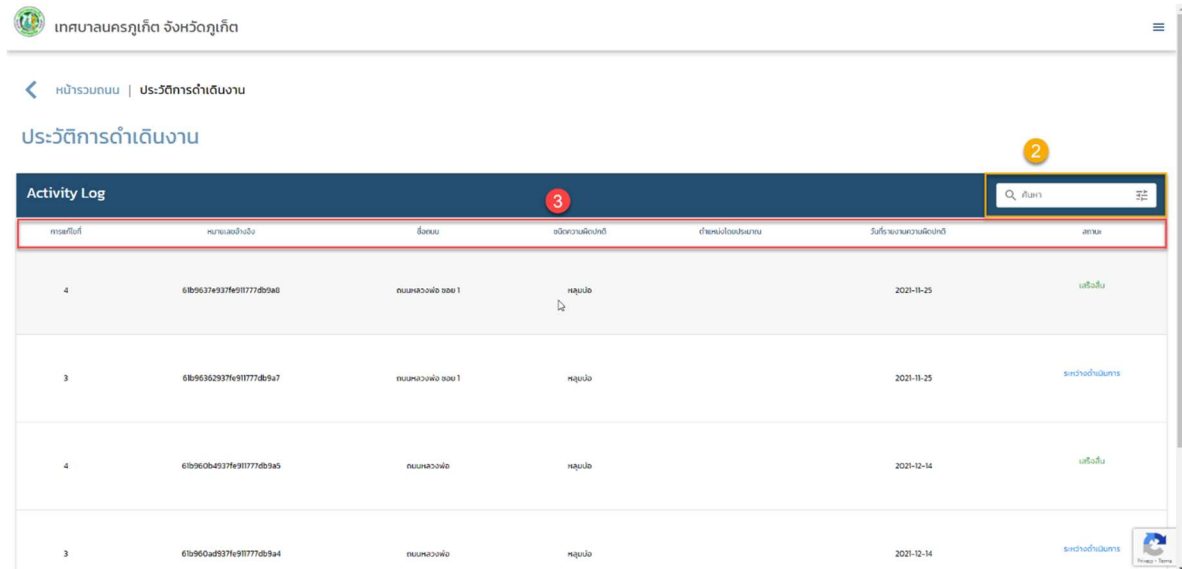
- ช่องค้นหาข้อมูล
- การควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล

14.4.8 หน้ารายการประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุง (Job activities history screen)

คณะวิจัยคาดการณ์ว่าหน่วยงานผู้ใช้งาน หรือ ตัดสินใจ บริหาร และดำเนินการต่าง ๆ กับงานซ่อมบำรุงอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ได้สร้างงานซ่อมบำรุงสืบเนื่องจากการตรวจเจอความผิดปกติ จนกระทั่งได้ทำการซ่อมบำรุงจนความผิดปกตินั้นหายไป ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะแก้ไขอัปเดตข้อมูลเกี่ยวกับงานซ่อมบำรุงต่าง ๆ ให้เป็นปัจจุบัน จึงเป็นประโยชน์ที่ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุงบนเว็บไซต์ฯ (Job Activity Log) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถทำได้โดยไปที่เมนูที่แท็บด้านขวาบน จากนั้นเลือก “ประวัติการดำเนินการ” ดังแสดงในภาพที่ 14-20 จุดที่ (1) จากนั้นเว็บไซต์จะนำผู้ใช้งานไปที่หน้าประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุงทาง ดังแสดงในภาพที่ 14-21 ซึ่งหน้าประวัติการดำเนินการซ่อมบำรุงทาง (Job Activity Log) แสดงข้อมูลในรูปแบบตาราง โดยมีหัวข้อตารางดังแสดงในตารางที่ 14-5



ภาพที่ 14-20 การไปที่ไปที่หน้าประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุงทางจากเมนูหลัก



ภาพที่ 14-21 หน้าประวัติการดำเนินการซ่อมบำรุงทาง แสดงตารางประวัติการดำเนินการ

ตารางที่ 14-5 คำอธิบายหัวข้อตารางประวัติการดำเนินการซ่อมบำรุงทาง (Job Activity Log)

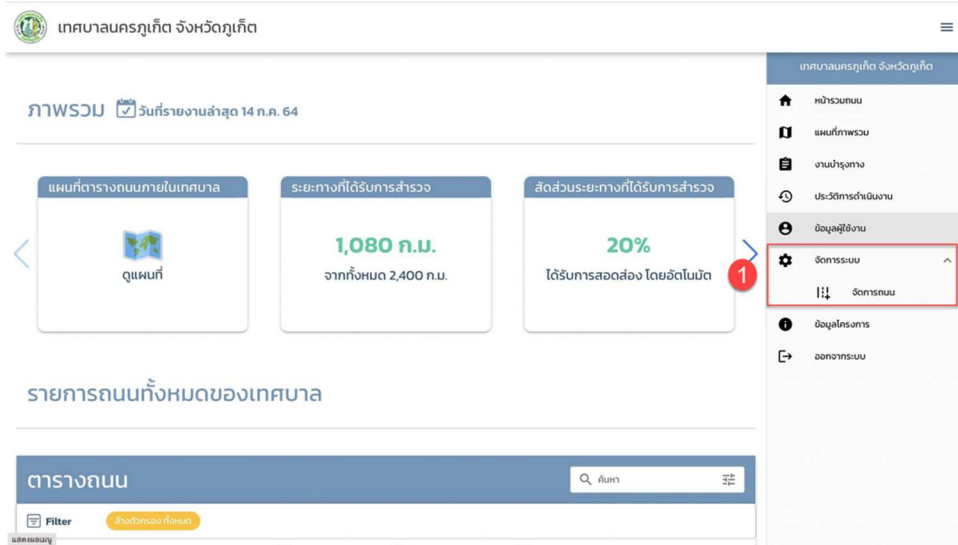
| หัวข้อตาราง | คำอธิบาย |
|-------------------------|---|
| การแก้ไขที่ | เวอร์ชันของการแก้ไข |
| หมายเลขอ้างอิง | หมายเลขอ้างอิงของงาน |
| ชื่อถนน | ชื่อของถนน |
| ชนิดความผิดปกติ | ชนิดของความผิดปกติ |
| ตำแหน่งโดยประมาณ | รูปภาพตำแหน่งของความผิดปกติโดยประมาณ สามารถคลิกได้ และจะขยายรูป |
| วันที่รายงานความผิดปกติ | วันที่รายงานความผิดปกติ |
| สถานะ | สถานะของงาน |

14.4.9 หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน (Manage roads screen)

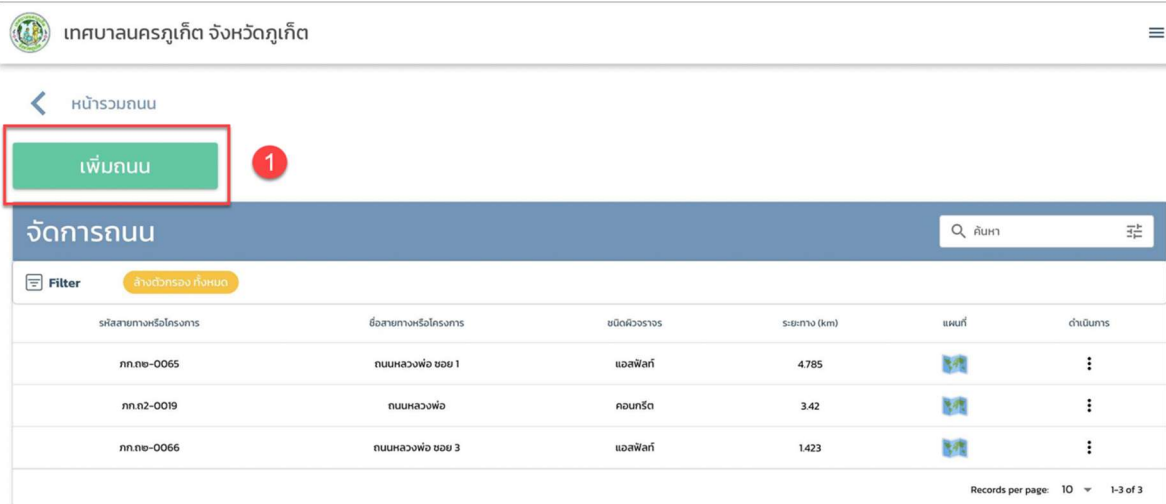
เมื่อหน่วยงาน ได้สร้างถนนใหม่ หรือได้รับโอนถนน หรือต้องการเพิ่มหรือแก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับถนน ในความดูแลของหน่วยงานในสารระบบข้อมูลของหน่วยงาน เพื่อให้ระบบฯ สามารถตรวจพบความผิดปกติ และ เชื่อมโยงความผิดปกติที่ตรวจพบกับถนนของหน่วยงานได้อย่างแม่นยำ ผู้ใช้งานสามารถบริหารจัดการข้อมูล เกี่ยวกับถนนได้ในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

ซึ่งผู้ใช้งานสามารถไปที่หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน โดยไปที่เมนูที่ที่แท็บด้านขวาบน จากนั้นเลือก “จัดการถนน” ดังแสดงในภาพที่ 14-22 จุดที่ (1) จากนั้นเว็บไซต์จะนำผู้ใช้งานไปที่หน้า จัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน ดังแสดงในภาพที่ 14-23 ซึ่งหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน แสดงตารางถนนในความดูแลของหน่วยงาน เป็นชุดข้อมูลย่อยที่มีค่าข้อมูลเดียวกับตารางถนนในความ ดูแลของหน่วยงาน ในหน้าหลัก และแสดงปุ่ม “เพิ่มถนน” เพื่อใช้ในการเพิ่มถนน ดังแสดงในภาพที่ 14-24 จุดที่ (1)

เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม “เพิ่มถนน” เว็บไซต์จะแสดงป๊อปอัพสำหรับใส่ข้อมูลสร้างที่ต้องการเพิ่ม ดังแสดงใน ภาพที่ 14-24 ซึ่งในการระบุตำแหน่งของถนน ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้เครื่องมือแผนที่ โดยกดปุ่ม “แผนที่” ดัง แสดงในภาพที่ 14-24 จุดที่ (5) และหลังจากกดปุ่ม “แผนที่” เว็บไซต์จะแสดงเครื่องมือแผนที่สำหรับกำหนดเส้น ถนน โดยในแผนที่แสดงบริเวณพื้นที่ในความดูแลของหน่วยงาน ดังแสดงในภาพที่ 14-25



ภาพที่ 14-22 การไปที่ไปที่หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงานจากเมนูหลัก



ภาพที่ 14-23 หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

สร้างถนน

ชื่อถนน 1

ชื่อถนน

รหัสสายทาง 2


รหัสสายทาง

ชนิดพื้นผิว 3

ชนิดพื้นผิว

ตำแหน่ง 4

เส้นทาง

5 แผนที่ 

6 ยืนยัน ยกเลิก

ภาพที่ 14-24 ป๊อปอัพเพิ่มถนน บนหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน



ภาพที่ 14-25 แผนที่สำหรับกำหนดเส้นทางถนนในป๊อปอัพเพิ่มถนน

ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเส้นทางโดยการเพิ่มเส้นทางย่อยๆ ทีละเส้นทาง ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วประกอบเป็นสายทางที่ต้องการจะเพิ่ม ซึ่งการเพิ่มเส้นทางย่อยเส้นหนึ่งๆ นั้น ทำได้โดยกดที่ปุ่มเพิ่มเส้นทางย่อย ดังแสดงในภาพที่ 14-25 จุดที่ (7) จากนั้นผู้ใช้งานสามารถปกรหมุดบนแผนที่ เพื่อกำหนดจุดสำคัญสำหรับเส้นทางย่อยนี้

ผู้ใช้งานสามารถลบเส้นทางย่อยใดๆ ที่ได้สร้างขึ้นแล้วด้วยการกดปุ่มลบเส้นทางย่อยนั้นแสดงในภาพที่ 14-25 จุดที่ (8) และ ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขการปกรหมุดบนแผนที่สำหรับเส้นทางย่อยนั้น โดยกดปุ่มแก้ไขเส้นทางย่อย ดังแสดงในภาพที่ 14-25 จุดที่ (9) แล้วทำการปกรหมุดเพื่อกำหนดจุดสำคัญสำหรับเส้นทางย่อยนั้นบนแผนที่ใหม่

เมื่อผู้ใช้งานได้สร้างเส้นทางย่อยต่างๆ ที่รวมกันประกอบเป็นสายทางที่ต้องการจะเพิ่มจนเป็นที่พอใจแล้ว ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มยืนยันการเลือกเส้นทาง ดังแสดงในภาพที่ 14-25 จุดที่ (10) และระบบจะนำผู้ใช้งานกลับมาที่ป๊อปอัพเพิ่มถนน ซึ่งเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม “ยืนยัน” ดังแสดงในภาพที่ 14-24 จุดที่ (6) ระบบฯ ก็จะทำการส่งข้อมูลถนนที่เพิ่มใหม่ไปที่ Data Platform เพื่อทำการเพิ่มถนนเข้าสู่สารบบของหน่วยงาน และระบบฯ จะนำผู้ใช้งานกลับไปหน้าจอจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

นอกจากปุ่ม” เพิ่มถนน” แล้ว หน้าจอจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน แสดงตารางรายการถนน ซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 14-6

ตารางที่ 14-6 หัวข้อในรายการถนน ในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

| หัวข้อรายงาน | คำอธิบาย |
|-----------------------|---|
| รหัสสายทางหรือโครงการ | รหัสสายทางของถนน |
| ชื่อสายทางหรือโครงการ | ชื่อถนน |
| ชนิดผิวจราจร | ชนิดพื้นผิวถนน เช่น คอนกรีต, แอสฟัลท์ ฯ |
| ระยะทาง (กิโลเมตร) | ระยะทางของถนน |
| แผนที่ | แผนที่ที่ใช้แสดงแต่ละเส้นถนน |
| ดำเนินการ | แสดงไอคอน โดยสามารถคลิกได้และจะแสดงเมนูดังต่อไปนี้ 1.แก้ไข 2.ลบ |

ซึ่งในหัวข้อ “ดำเนินการ” ผู้ใช้งานสามารถคลิกไอคอน และเลือกดำเนินการดังต่อไปนี้กับถนนหนึ่งๆ ในความดูแลของหน่วยงาน จากเมนูที่ผุดขึ้น

- แก้ไข ดังแสดงในภาพที่ 14-26 จุดที่ (15) ซึ่งจะแสดงป๊อปแก้ไขข้อมูลถนน คล้ายกับป๊อปอัพเพิ่มถนน ในภาพที่ 14-18 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไข ชื่อถนน รหัสสายทาง ชนิดพื้นผิว และตำแหน่ง ได้ด้วย กระบวนการเช่นเดียวกับกระบวนการเพิ่มถนนข้างต้น
- ลบ ดังแสดงในภาพที่ 14-26 จุดที่ (16) ซึ่งจะทำให้การลบสายทางทางดังกล่าวออกจากสารบบข้อมูลของหน่วยงาน



ภาพที่ 14-26 เมนูจัดการดำเนินการกับถนนตารางจัดการถนน ในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

นอกจากนี้ในส่วนของการรายงานการถนน ในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน เว็บไซต์ฯ ให้ความสามารถแก่ผู้ใช้งานในการ ค้นหาถนนที่สนใจ และควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล โดยมีความสามารถต่อไปนี้

- ช่องค้นหาข้อมูล แสดงในภาพที่ 14-27 จุดที่ (11)
- ปุ่มล้างตัวกรองทั้งหมด แสดงในภาพที่ 14-27 จุดที่ (12)
- การควบคุมการแบ่งหน้าในการแสดงผล แสดงในภาพที่ 14-27 จุดที่ (14)

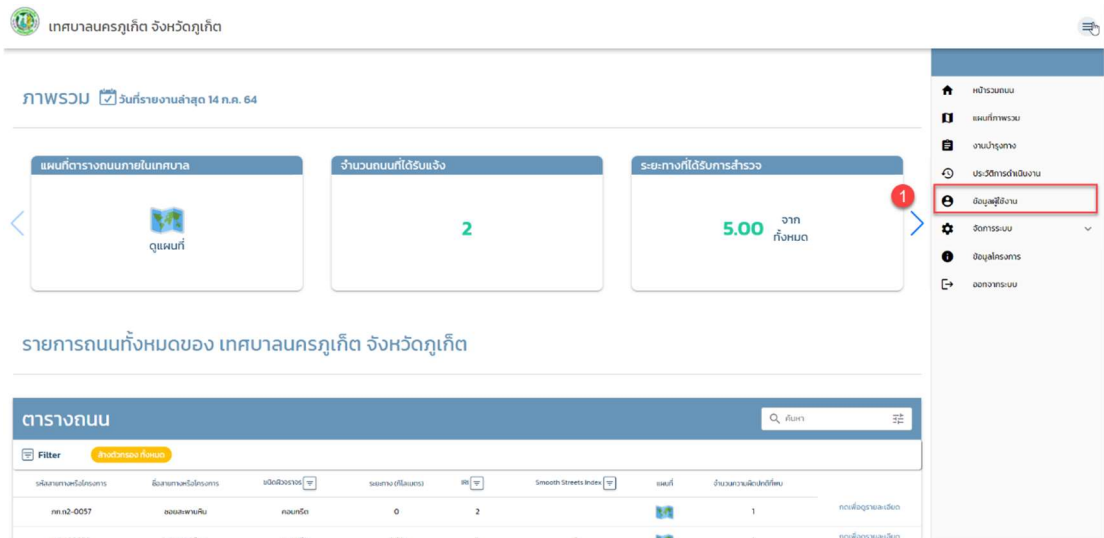
The screenshot shows a web application interface for road management. At the top, there is a header with a logo and the text 'เทศบาลนครภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต'. Below the header, there is a navigation bar with a back arrow and the text 'หน้ารวมถนน'. A green button labeled 'เพิ่มถนน' is visible. The main content area is titled 'จัดการถนน' and contains a table of roads. The table has columns for 'รหัสสายทางโครงการ', 'ชื่อสายทางโครงการ', 'ชนิดผิวจราจร', 'ระยะทาง (km)', 'แผนที่', and 'ดำเนินการ'. There are three rows of data. A search bar is located at the top right of the table area, and a filter button is on the left. A pagination bar at the bottom right shows 'Records per page: 10' and '1-3 of 3'.

| รหัสสายทางโครงการ | ชื่อสายทางโครงการ | ชนิดผิวจราจร | ระยะทาง (km) | แผนที่ | ดำเนินการ |
|-------------------|-------------------|--------------|--------------|--------|-----------|
| กท.๓๕-๐๐๖๕ | ถนนหลวงพ้อ ๑๖๖ 1 | แอสฟัลท์ | 4.785 | | ⋮ |
| กท.๓2-๐๐19 | ถนนหลวงพ้อ | คอนกรีต | 3.42 | | ⋮ |
| กท.๓๕-๐๐๖๖ | ถนนหลวงพ้อ ๑๖๖ 3 | แอสฟัลท์ | 1.423 | | ⋮ |

ภาพที่ 14-27 ตารางรายการถนนในหน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน

14.4.10 หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ (User profile screen)

ผู้ใช้งานสามารถจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้งาน (User profile) ในหน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้ ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ผ่านเมนูหลักในรายการ “ข้อมูลผู้ใช้งาน” ดังแสดงในภาพที่ 14-28 จุดที่ (1)



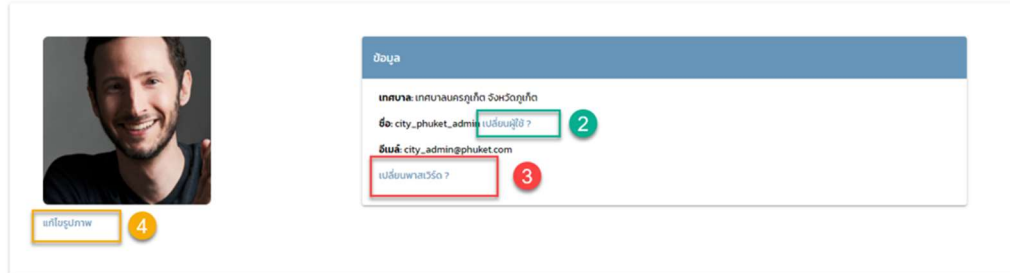
ภาพที่ 14-28 เมนูไปหน้าข้อมูลผู้ใช้งานในเมนูหลัก

หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้งาน แสดงข้อมูลเกี่ยวกับตัวผู้ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 14-29 กล่าวคือ ชื่อผู้ใช้ รหัสผ่าน และรูปภาพของผู้ใช้

ซึ่งในหน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขข้อมูลเกี่ยวกับตัวผู้ใช้งานได้ดังต่อไปนี้

- เปลี่ยนชื่อผู้ใช้ ดังแสดงในภาพที่ 14-29 จุดที่ (2) ซึ่งจะทำการเปลี่ยนชื่อผู้ใช้ตามที่ผู้ใช้ระบุ ที่ไม่ซ้ำกับชื่อผู้ใช้อื่นที่มีอยู่ในระบบแล้ว
- เปลี่ยนรหัสผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 14-29 จุดที่ (3) ซึ่งจะทำการเปลี่ยนรหัสผ่านผู้ใช้ตามที่ผู้ใช้ระบุ
- แก้ไขรูป ดังแสดงในภาพที่ 14-29 จุดที่ (4) ซึ่งจะทำการแก้ไขรูปภาพของผู้ใช้ตามที่ผู้ใช้ระบุ

ข้อมูลผู้ใช้งาน

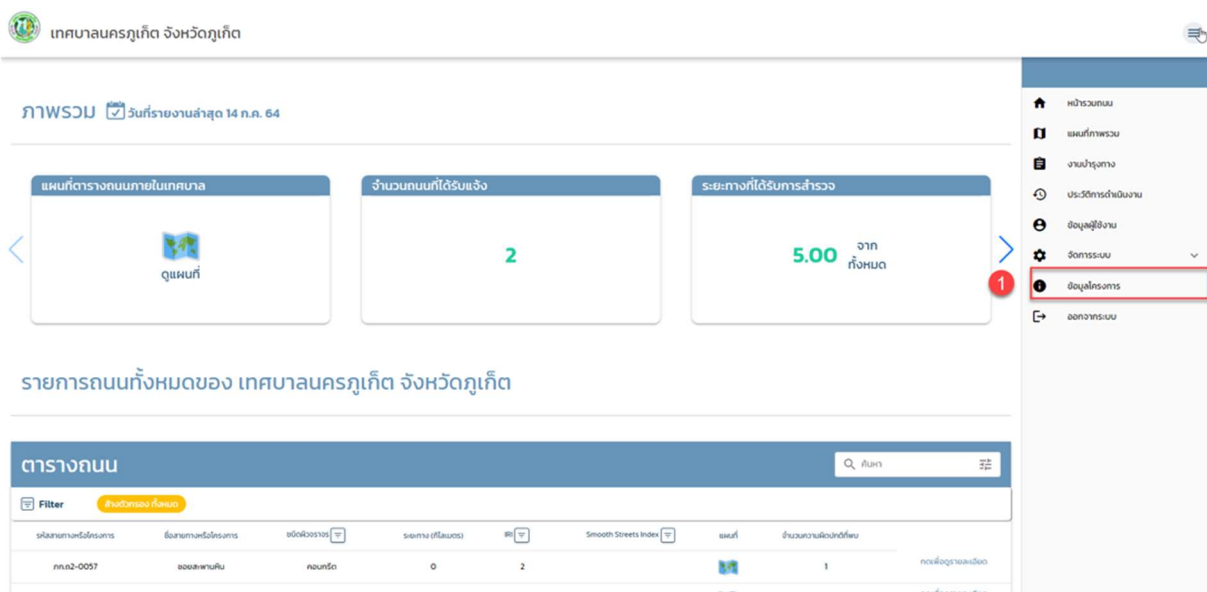


ภาพที่ 14-29 หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้

14.4.11 หน้าข้อมูลโครงการ (About project screen)

หากผู้ใช้งานต้องการข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการ ผู้ใช้งานสามารถกดเลือกเมนู “ข้อมูลโครงการ” จากเมนูหลักที่มุมขวาบน ดังแสดงในภาพที่ 14-30 จุดที่ (1) ซึ่งเว็บไซต์จะพาผู้ใช้งานไปที่หน้าข้อมูลโครงการจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับโครงการในหัวข้อต่อไปนี้เป็นลำดับ

- บทนำ ซึ่งแนะนำชื่อโครงการ ผู้สนับสนุนให้ทุนวิจัย และสถาบันที่เกี่ยวข้อง
- ความเป็นมาและความสำคัญ
- วัตถุประสงค์
- ประโยชน์
- ภาพรวมการทำงานของระบบ
- ความแตกต่าง
- คณะวิจัย
- ติดต่อเรา



ภาพที่ 14-30 เมนูข้อมูลโครงการ ในเมนู

14.4 บทสรุป

เว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร เป็นองค์ประกอบของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ที่นำเสนอข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ตรงประเด็น และเข้าใจง่าย ให้แก่หน่วยงานและเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในการสำรวจและบำรุงถนนให้รับทราบถึงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับผิวจราจร และให้สามารถที่จะแก้ปัญหาได้ตรงตามจุดประสงค์ของโครงการ

ในการออกแบบเว็บไซต์ฯ คณะวิจัยได้คำนึงถึง บริบทของการใช้งาน ลักษณะของปัญหาซึ่งระบบฯ พยายามแก้ไข อีกทั้งความรู้ ความสามารถ และพฤติกรรมเดิมของผู้ใช้ โดยจากความเข้าใจข้างต้น คณะวิจัยได้ตั้งโจทย์เว็บไซต์ฯ ให้มีความสามารถในการใช้งานในหมวดหมู่ดังต่อไปนี้

- การควบคุมการเข้าถึงและการระบุตัวผู้ใช้
- การสอดส่องดูแลสภาพถนนโดยรวมของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน
- การตรวจดูและจัดการข้อมูลความผิดปกติต่างๆ บนถนนเส้นหนึ่งๆ
- การสร้างและบริหารงานบำรุงทางโดยบูรณาการจากรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบ
- การสืบดูข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติหนึ่งๆ
- การจัดการข้อมูลสายทางในความดูแลของหน่วยงาน

และจากโจทย์ข้างต้น คณะวิจัยได้ออกแบบเว็บไซต์ฯ โดยคำนึงถึงความสมดุลของการสนองความต้องการของผู้ใช้งานทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ความต้องการด้านความสามารถและฟังก์ชัน ด้านความคงเส้นคงวาและความเชื่อถือได้ในการใช้งาน ด้านการเข้าถึงฟังก์ชันการใช้งานโดยง่าย และด้านสุนทรียภาพในการใช้งาน ได้ผลลัพธ์เป็นแบบเว็บไซต์ฯ ที่มีองค์ประกอบหลัก 11 หน้า ดังที่ได้นำเสนอในเนื้อหาของรายงานในบพนี้ ได้แก่

1. หน้าลงชื่อเข้าระบบ
2. หน้าหลัก สถิติเกี่ยวกับถนนของหน่วยงาน บทวิเคราะห์สภาพถนนของหน่วยงาน รายการถนนในความดูแลของหน่วยงาน
3. หน้าแผนที่แสดงตำแหน่งถนนเส้นต่างๆ
4. หน้าแผนที่ภาพรวมพื้นที่ในความดูแลของหน่วยงาน
5. หน้ารายการความผิดปกติบนถนนเส้นต่างๆ
6. หน้ารายการการรายงานความผิดปกติบนถนนจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล
7. หน้ารายการงานซ่อมบำรุง
8. หน้ารายการประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุง
9. หน้าจัดการถนนในความดูแลของหน่วยงาน
10. หน้าจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้
11. หน้าข้อมูลโครงการ

14.5 สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

การพัฒนาเว็บไซต์ฯ เป็นการนำองค์ความรู้เดิมมาประยุกต์ใช้กับความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการสารสนเทศในการสอดส่องและบำรุงรักษาผิวเส้นทางจราจรของกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมาย เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้แก่ผู้ใช้งาน และเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของการใช้งานในบริบทของกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมาย ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

14.6 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคตสำหรับ เว็บไซต์ฯ เริ่มด้วยการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานจริงในภาคปฏิบัติของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ในสถานะที่เป็นโครงการนำร่อง และนำข้อมูลเกี่ยวกับ การที่ผู้ใช้งานเป้าหมายได้มีปฏิสัมพันธ์ด้วยโดยตรงกับเว็บไซต์ฯ สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร มาวิเคราะห์ เพื่อเข้าใจจุดที่ใช้งานได้ดี และ

อุปสรรคต่างๆ ของเว็บไซต์ จากนั้นจึงวางแผนพัฒนาต่อไปเพื่อแก้ไขอุปสรรคเหล่านั้น เพื่อให้ผู้ใช้งานเป้าหมายของโครงการฯ นำระบบฯ ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้คณะวิจัยคาดเดาว่า โอกาสในการวิจัยและพัฒนาในอนาคต น่าจะตกอยู่ในหัวข้อดังต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย

- การวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมการเข้าถึง ให้ตอบสนองความต้องการที่หลากหลายมากขึ้นของหน่วยงานท้องถิ่นในระดับต่างๆ ตั้งแต่เล็กถึงใหญ่ เช่น ความสามารถที่หน่วยงานสามารถสร้างผู้ใช้งาน หลากๆ คนของหน่วยงานเองได้ ความสามารถในการกู้รหัสผ่านอย่างปลอดภัยในกรณีที่ผู้ใช้งานลืมรหัสผ่านของตนเอง
- การวิจัยและพัฒนารูปแบบการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน ในกรณีใช้งานนอกนอกสำนักงาน กล่าวคือทำให้เว็บไซต์สามารถใช้งานได้ อย่างคล่องตัวบนอุปกรณ์มือถือสมาร์ทโฟน
- การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการบูรณาการข้อมูลเกี่ยวกับถนน จากฐานข้อมูลหลายๆ ฐานข้อมูลให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบฯ ได้อย่างราบรื่นมากขึ้น
- การวิจัยและพัฒนาวิธีการที่ดีขึ้นในการระบุตำแหน่งของความผิดปกติที่ตรวจเจอบนถนน ซึ่งปัจจุบันใช้พิกัดบนแผนที่อิเล็กทรอนิกส์พร้อมภาพถ่ายบริเวณ แต่ยังขาดหลักกิโลเมตร
- การวิจัยและพัฒนาการระบบบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงถนนในชั้นสูงขึ้น เพื่อให้สามารถทดแทน หรือบูรณาการกับระบบอื่นที่หน่วยงานท้องถิ่นใช้อยู่ได้ อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- การวิจัยและพัฒนาความสามารถในการบริหารจัดการอุปกรณ์เก็บข้อมูลต้นทาง ที่หน่วยงานท้องถิ่นแต่ละแห่ง อาจมีอุปกรณ์ดังกล่าวหลายอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

Walter, A., & Spool, J. M. (2011). *Designing for emotion*. New York, N.Y: A Book Apart/Jeffrey Zeldman.

บทที่ 15 ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วย ปัญญาประดิษฐ์ในยานพาหนะ

15.1 ที่มาและความจำเป็นในการพัฒนา

เมื่อโครงการวิจัยได้พัฒนาโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับความผิดปกติของผิวจราจรและโมเดลการคำนวณดัชนีความเรียบของผิวจราจรเสร็จสิ้นแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการนำเอาโมเดลที่พัฒนาขึ้นไปใช้งาน เพื่อเก็บข้อมูลความผิดปกติของผิวจราจรและคำนวณดัชนีความเรียบของถนนในพื้นที่ที่โครงการวิจัยได้ตั้งเป้าหมายไว้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นจะต้องพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่สามารถติดตั้งในรถสำรวจเพื่อดำเนินการสำรวจสภาพถนนในพื้นที่ดังกล่าว โดยอุปกรณ์ที่จะพัฒนาขึ้นจำเป็นจะต้องมีความสามารถต่าง ๆ ดังนี้

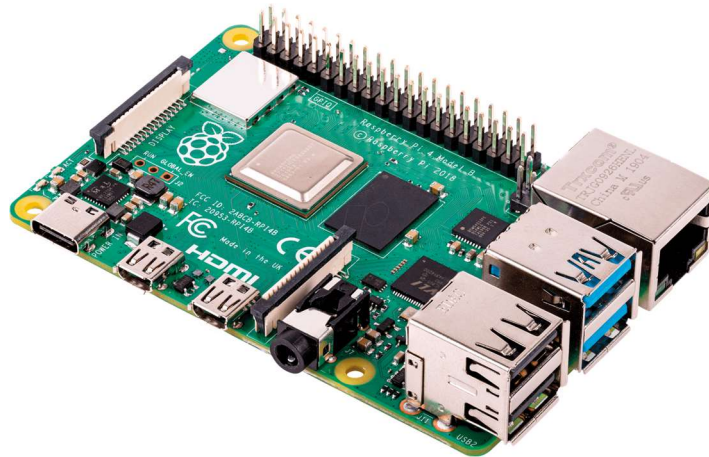
- สามารถใช้กล้องวิดีโอในการบันทึกภาพผิวจราจรและนำภาพที่ได้ผ่านการประมวลผลของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจจับและแยกประเภทความผิดปกติของผิวจราจร
- สามารถเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนจากเซนเซอร์แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปผ่านการประมวลผลของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ที่ใช้คำนวณดัชนีความเรียบของผิวจราจร (IRI Classifier Model)
- สามารถเชื่อมโยงข้อมูลความผิดปกติที่พบและค่าดัชนีความเรียบของผิวจราจรที่คำนวณได้กับตำแหน่งพิกัดจีพีเอสแล้วส่งข้อมูลไปเก็บยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลเป็นสารสนเทศเชิงแผนที่สำหรับบริหารจัดการการดูแลและซ่อมบำรุงต่อไป
- สามารถติดตั้งใช้งานภายในรถสำรวจเพื่อใช้งานในการสำรวจถนนในพื้นที่ที่กำหนดได้

15.2 แนวคิดการออกแบบ

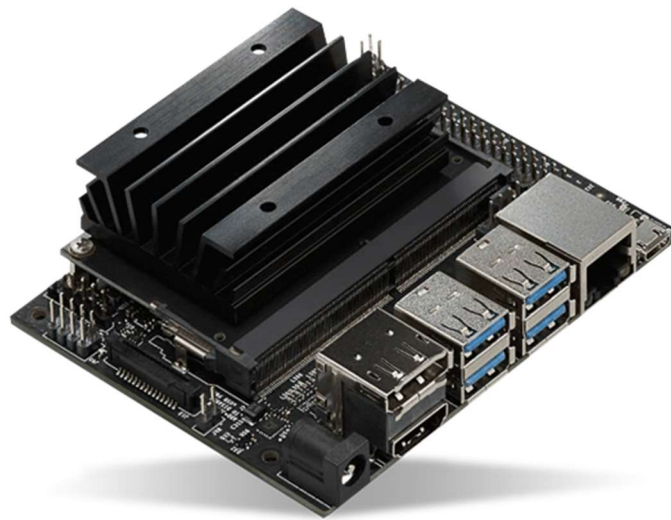
15.2.1 การเลือกใช้ฮาร์ดแวร์

จากความสามารถของอุปกรณ์ต้นแบบเก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรที่ต้องการพัฒนาขึ้นนั้น คณะวิจัยได้พิจารณาถึง ความเป็นไปได้ ตัวเลือกในการพัฒนาอุปกรณ์ และสถาปัตยกรรมของระบบ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบดังกล่าวโดยมีหลักการที่สำคัญคือ ต้นแบบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะต้องสามารถใช้งานโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความแม่นยำ ความเร็วในการประมวลผล และขนาดของอุปกรณ์ที่สะดวกในการติดตั้งใช้งาน โดยมีการพิจารณาถึงเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ 2 ชนิดคือ คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Single-board Computer) และ สมาร์ทโฟน (Smartphone)

คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Singed-board Computer) สำหรับคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวนั้นถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาอุปกรณ์ที่มีการใช้งานโมเดลปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพงขนาดกระทัดรัดและมีความสามารถในการประมวลผลโมเดลปัญญาประดิษฐ์ โดยคณะวิจัยได้ทดลองและพิจารณาสองตัวเลือกย่อย คือ Raspberry Pi 4 Model B และ NVIDIA Jetson Nano แสดงดังภาพที่ 15-1 และภาพที่ 15-2



ภาพที่ 15-1 Raspberry Pi 4 Model B

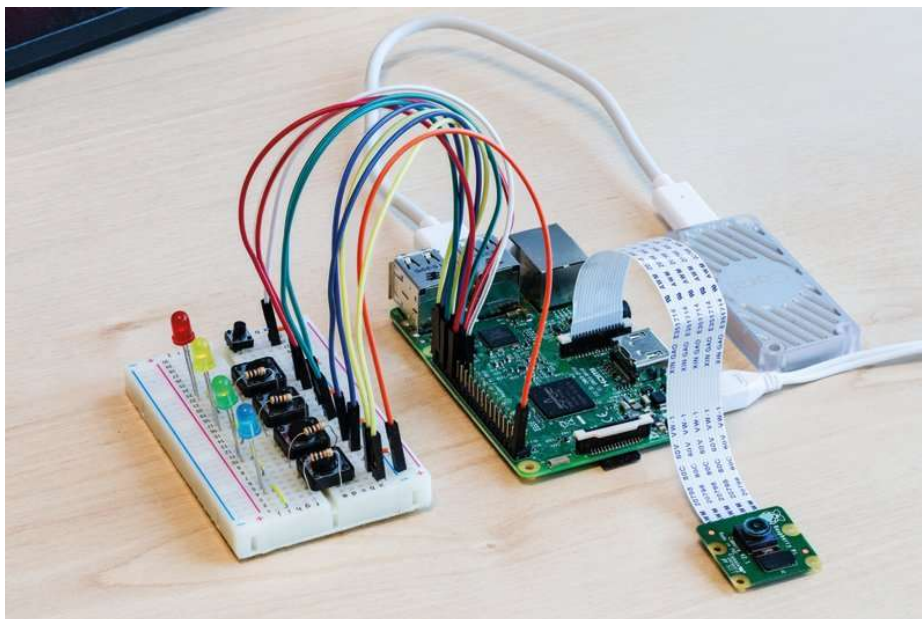


ภาพที่ 15-2 NVIDIA Jetson Nano

1. Raspberry Pi 4 Model B เป็นคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว ที่ได้รับความนิยม ในการประยุกต์ใช้ งานหลายด้าน เช่น งานด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ด้านการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ รวมทั้งงาน

ด้านปัญญาประดิษฐ์ด้วย เนื่องจาก สามารถใช้งานอุปกรณ์ต่อพ่วง เช่นกล้องคุณภาพสูง หรือ เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ได้ทั้งหมด และตัวอุปกรณ์มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถติดตั้ง ใช้งานได้สะดวก ในเวอร์ชันล่าสุดนี้ ได้เพิ่มความสามารถในการประมวลผล ด้านปัญญาประดิษฐ์ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่า Raspberry Pi 4 Model B มีข้อจำกัดดังนี้

- **ความสามารถในการประมวลผลไม่เพียงพอ** จากการทดลองใช้งาน โมเดล ปัญญาประดิษฐ์ สำหรับการตรวจจับความผิดปกติ ของผิวจราจร พบว่า การทำงานของ โมเดล บนอุปกรณ์ Raspberry Pi 4 Model B สามารถทำงาน ประมวลผลภาพ ได้ไม่เกิน 10 เฟรมต่อวินาทีเท่านั้น ซึ่งทำให้ประสบการณ์การใช้งาน ในกรณีที่ติดตั้งในรถสำรวจ อยู่ในระดับที่ไม่น่าพึงพอใจ จากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ในหลายโครงการที่ใช้ งาน Raspberry Pi 4 Model B และเน้นด้านการทำงานเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ จะต้องมีการใช้อุปกรณ์เสริม เช่น Coral's USB Accelerator เพื่อเพิ่มพลังการ ประมวลผลเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ แสดงดังภาพที่ 15-3



ภาพที่ 15-3 การใช้งาน Coral's USB Accelerator กับ Raspberry Pi 4 Model B

- **ต้องมีการติดตั้งเซ็นเซอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม** เนื่องจาก Raspberry Pi 4 Model B เป็นบอร์ดที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานเท่านั้น การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งเซ็นเซอร์เพิ่มเติมได้แก่
 - กล้องคุณภาพสูงสำหรับการบันทึกภาพวิดีโอของผิวจราจร

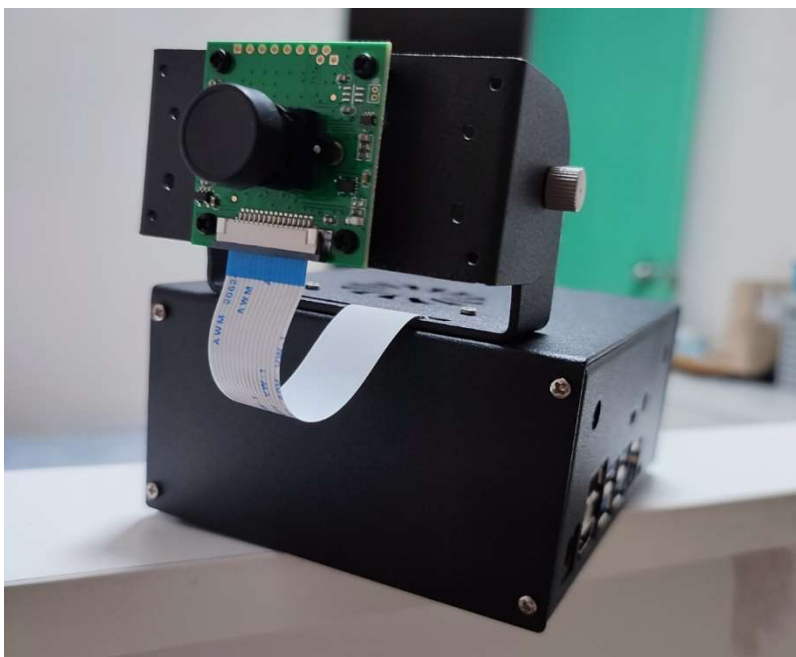
- จีพีเอสเซนเซอร์สำหรับบันทึกตำแหน่งของรถสำรวจ
- เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนสำหรับใช้คำนวณค่าดัชนีความเรียบของผิวจราจร
- จอภาพแบบสัมผัสเพื่อแสดงการทำงานและควบคุมการทำงาน

นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องมีการจัดการเรื่องระบบการจ่ายพลังงาน ระบบการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยโครงข่าย 4G/5G และอุปกรณ์เสริมสำหรับป้องกันตัวอุปกรณ์และอำนวยความสะดวกในการติดตั้งในรถสำรวจ อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ Raspberry Pi 4 Model B ในการพัฒนา แสดงดังภาพที่ 15-4



ภาพที่ 15-4 อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ Raspberry Pi 4 Model B ในการพัฒนา

2. NVIDIA Jetson Nano มีลักษณะสถาปัตยกรรมและระบบการทำงานที่ คล้ายกันกับ Raspberry Pi 4 Model B แต่ด้วยพลังการประมวลผลด้านปัญญาประดิษฐ์ที่มีอย่างเพียงพอทำให้สามารถใช้งานโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ NVIDIA Jetson Nano เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ ก็ยังประสบกับปัญหา เรื่องการติดตั้ง เซ็นเซอร์และอุปกรณ์อื่นๆเพิ่มเติม เช่นเดียวกันครับ กรณีของ Raspberry Pi 4 Model B แสดงดังภาพที่ 15-5



ภาพที่ 15-5 อุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ NVIDIA Jetson Nano ในการพัฒนา

3. **สมาร์ทโฟนและโมบายแอปพลิเคชัน** เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ เนื่องจากความสามารถของสมาร์ทโฟนในปัจจุบันเน้นการประมวลผลด้านปัญญาประดิษฐ์ เช่นการจดจำใบหน้า การประมวลผลภาษาธรรมชาติ ทำให้สมาร์ทโฟนส่วนใหญ่มีการติดตั้งหน่วยประมวลผลเฉพาะทางด้านปัญญาประดิษฐ์ จากเหตุผลนี้ทำให้โครงการวิจัยเชื่อว่า จะสามารถใช้ประโยชน์จากหน่วยประมวลผลเหล่านี้ในการทำงานร่วมกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สมาร์ทโฟนในปัจจุบันยังมีเซนเซอร์ที่จำเป็น การใช้งานของอุปกรณ์ต้นแบบติดตั้งอยู่แล้วได้แก่ กล้องคุณภาพสูงสำหรับการบันทึกภาพวิดีโอของผิวจราจร จีพีเอสเซนเซอร์สำหรับบันทึกตำแหน่งของรถสำรวจ เซ็นเซอร์วัดความเร่งแบบสามแกนสำหรับใช้คำนวณค่าดัชนีความเรียบของผิวจราจร และจอภาพแบบสัมผัสเพื่อแสดงการทำงานและควบคุมการทำงาน ทำให้มีความเหมาะสมในการใช้งานเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ ความเหมาะสมอีกด้านหนึ่งของการเลือกใช้สมาร์ทโฟนในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบคือ สมาร์ทโฟนมีระบบการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพและมีระบบการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่พร้อมใช้งานอยู่แล้วการติดตั้งใช้งานบนรถสำรวจจึงสามารถทำได้ง่าย เช่นเดียวกับการติดตั้งใช้งานโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในรถยนต์ทั่วไป เหตุผลสำคัญอีกประการคือ โครงการวิจัยได้ทดลองใช้สมาร์ทโฟนและโมบายแอปพลิเคชันในการเก็บข้อมูลตัวอย่าง และผลที่ได้เป็นที่น่าพึงพอใจ จึงมีความมั่นใจว่าการใช้สมาร์ทโฟนและโมบายแอปพลิเคชันในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับ

การตรวจสอบสภาพผิวจราจรจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับโครงการวิจัย

ด้วยเหตุนี้ โครงการวิจัยจึงตั้งเป้าการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันที่มีการใช้งานโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนก่อนหน้า โดยจะนำแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้ไปติดตั้งในโทรศัพท์สมาร์ทโฟนเพื่อนำไปติดตั้งในรถสำรวจทำการสำรวจในการลงพื้นที่สำรวจตามเป้าหมายของโครงการวิจัยต่อไป

15.2.2 การรวบรวมและวิเคราะห์ความต้องการของระบบ

ในส่วนของการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันมีการเก็บรวบรวมความต้องการจากผู้ใช้งาน 2 กลุ่มคือ

1. **นักวิจัย** จากการระดมความคิดของคณะวิจัยได้มีการวิเคราะห์ว่า เนื่องจากโครงการนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ จึงต้องการให้โมบายแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนนี้สามารถแสดงรายละเอียดการทำงานเพื่อการตรวจสอบและปรับปรุงในอนาคต โดยให้แสดงรายละเอียดข้อมูลได้แก่ ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ การตีกรอบความผิดปกติที่พบ ทรัพยากรของโทรศัพท์สมาร์ทโฟนขณะกำลังใช้งาน และการตั้งค่าเพื่อทดสอบการทำงานของแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล
2. **เจ้าหน้าที่สำรวจถนน** จากการลงพื้นที่และเข้าสังเกตกระบวนการสำรวจถนนของหน่วยงานภาครัฐในปัจจุบันพบว่าการพัฒนารถสำรวจจากการดัดแปลงรถตู้หรือรถกระบะโดยมีการติดตั้งอุปกรณ์การสำรวจเช่น กล้องวิดีโอ เลเซอร์วัดความเร็ว และเซ็นเซอร์อื่น ๆ ซึ่งทำให้การสำรวจต้องใช้ทรัพยากรบุคคลในการดูแล ตั้งค่า และฝึกอบรมการใช้งานเป็นพิเศษ คณะวิจัยจึงต้องการให้ประเด็นความง่ายในการติดตั้งและใช้งานเป็นความต้องการหลักในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน

15.3 รายละเอียดการออกแบบและพัฒนา

15.3.1 สถาปัตยกรรมของระบบ

สถาปัตยกรรมของระบบประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

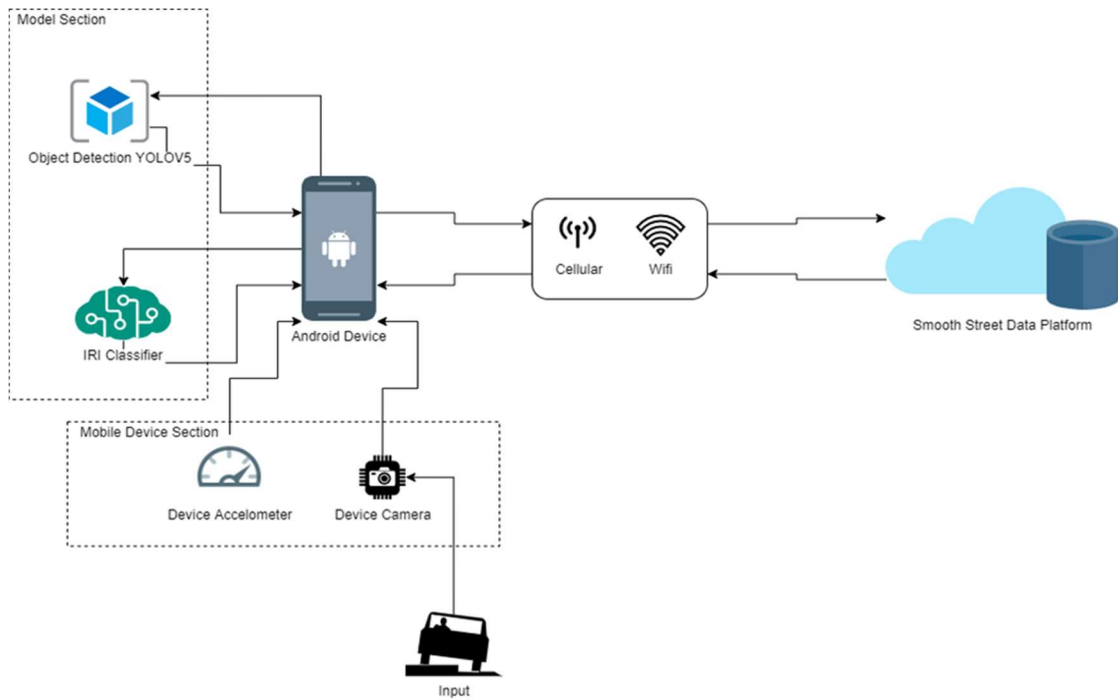
Android Device คืออุปกรณ์ที่นำไปติดตั้งยังรถสำรวจเพื่อทำเก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ในยานพาหนะ

Object Detection Model คือโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการผิดปกติของผิวจราจร

IRI Classifier Model คือโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้สำหรับคำนวณดัชนีความเรียบของผิวจราจร (IRI: International roughness index) ซึ่งจะเป็นการคำนวณดัชนีความสั่นสะเทือนของผิวจราจรต่อระยะทาง ดัชนีนี้เป็นค่ามาตรฐานที่หน่วยงานด้านการบำรุงทางในประเทศไทยใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของถนน

Smooth Street Data Platform คือคลาวด์แพลตฟอร์มของโครงการวิจัยที่ใช้สำหรับรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

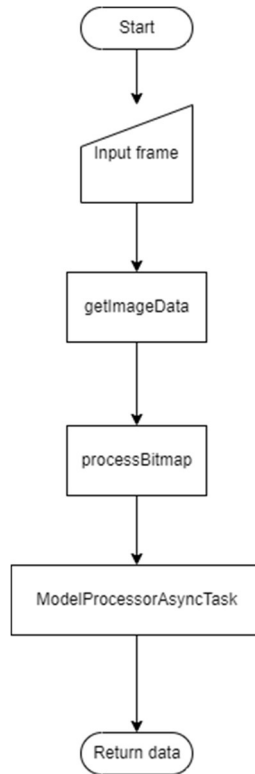
ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ในยานพาหนะใช้การพัฒนา Mobile Application ในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ด้วย React Native Platform โดยรับค่าอินพุตที่เป็นภาพจากกล้องของอุปกรณ์ นำมาเข้ากระบวนการ pre-processing เข้าสู่กระบวนการ Inference Object Detection แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงผลภาพ รวมถึงการทำการรวบรวมการรับค่าอินพุตจากเซนเซอร์ความเร่งแบบสามแกนของอุปกรณ์ เข้าสู่กระบวนการ Inference IRI Classifier ไปพร้อมกัน จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มารวมกันเป็นข้อมูลประเภท JSON 1 ชุด เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ในกระบวนการบันทึกข้อมูลจะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ บันทึกไว้ในเครื่อง หรือส่งขึ้น Smooth Street Data Platform ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ แสดงดังภาพที่ 15-6



ภาพที่ 15-6 ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ

15.3.2 การประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับการผิดปกติของผิวจราจร

ก่อนการประมวลผลภาพ โดยใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ จำเป็นจะต้อง มีการแปลง รูปภาพ ที่ได้จากกล้องของอุปกรณ์ ให้อยู่ในรูปแบบที่ ตรงตามความต้องการ ของโมเดลปัญญาผลิต โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 15-7



ภาพที่ 15-7 ภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับการผิดปกติของผิวจราจร

ขั้นตอนการประมวลผลภาพก่อนใช้งานกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์เริ่มต้นที่การรับอินพุตภาพจาก กล้องของอุปกรณ์ แล้วส่งภาพเป็นพารามิเตอร์ในรูปแบบ TextureView ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ไปยังฟังก์ชัน getImageData เพื่อสร้างรูปภาพมีขนาดพอดีกับอินพุตของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ตรวจจับความผิดปกติของผิวจราจร โดยมีส่วนการทำงานย่อยคือ ฟังก์ชัน processBitmap ที่ถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ สำหรับระบุ ขนาดความกว้างและความยาวของภาพ (mModelImageDimX และ mModelImageDimY) เพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียด ความกว้าง ความยาว ในหน่วยพิกเซลตรงกับความต้องการของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ พร้อมกันนี้ กระบวนการที่เริ่มต้นไปด้วยกันคือฟังก์ชัน setupModelProcessor เป็นกระบวนการที่เตรียมหน่วยความจำไว้ให้พอสำหรับโมเดลโดยขนาดของอินพุตและเอาต์พุตในโครงการนี้จะถูกกำหนดตามพารามิเตอร์ดังนี้

`mModelInput` = ขนาดของอินพุต

ถูกกำหนดให้จัดสรรพื้นที่ความจำไว้ในรูปแบบ Bytebuffer ที่กำหนดเป็น

$$1 * mModelImageDimX * mModelImageDimY * 3 * 4$$

mModelOutput = ขนาดของเอาต์พุต

ถูกกำหนดให้จัดสรรพื้นที่ความจำไว้ในรูปแบบ ByteBuffer ที่กำหนดเป็น

$mModelOutputDim * (mModelOutputClass + 5) * 4$

mModelOutputClass = ขนาดของเอาต์พุตคลาสมีค่าเท่ากับลาเบลคลาส

mModelProcessor = โหลด Object Detection Model เก็บไว้ในตัวแปรนี้

mModelLabel = โหลด Label เก็บไว้ในตัวแปรนี้

TextureView

TextureView คือ ไลบรารีอุปกรณ์ (Library) ด้านการแสดงรูปภาพแบบสตรีมจากกล้องของอุปกรณ์
ที่มีเฉพาะในระบบปฏิบัติการ Android โดยไลบรารีนี้เปรียบดั่ง Instance Object
เป้าหมายเพื่อการจัดการรูปภาพให้เหมาะสำหรับการพัฒนา

กระบวนการ getImageData

หลังการรับข้อมูลรูปภาพในรูปแบบ TextureView จะแปลงข้อมูลเป็น Bitmap ในฟังก์ชัน

processBitmap หลังได้รับข้อมูล Bitmap

จะนำข้อมูลที่ถูกรายละเอียดของภาพมาเข้าสู่แปลงข้อมูลเป็น ByteBuffer เก็บไว้ในตัวแปร

mModelInput

กระบวนการ processBitmap

เป้าหมายของกระบวนการนี้คือการสร้างข้อมูลรูปภาพที่เหมาะสมกับโมเดล โดยรับพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ
ข้อมูลรูปภาพในรูปแบบ Bitmap, DimensionX, DimensionY หลังจากการเตรียมค่าตัวแปรจนเสร็จสิ้น
จะส่งพารามิเตอร์เหล่านี้ไปยังกระบวนการต่อไปสำหรับการ Inference Object Detection Model
บนอุปกรณ์

15.3.3 การใช้งานโมเดลปัญญาประดิษฐ์

ฟังก์ชันการ Inference Model เริ่มต้นจากกระบวนการก่อนหน้า โดยมีพารามิเตอร์ แสดงดังตารางที่

ตารางที่ 15-1 พารามิเตอร์สำหรับการประมวลผลโมเดล

| Parameter Name | Type of Parameter | Description |
|-----------------|---------------------------------|---|
| mDelegate | ModelProcessorAsyncTaskDelegate | คลาสสำหรับการเตรียมพารามิเตอร์ |
| mModelProcessor | Interpreter | คลาสสำหรับการใช้งานไลบรารีของ Tensorflow |
| mInputBuf | ByteBuffer | ขนาดของการจองพื้นที่ความจำสำหรับอินพุตภาพที่เหมาะสมกับโมเดล |
| mOutputBuf | ByteBuffer | ขนาดของเอาต์พุตที่จองพื้นที่ความจำไว้ให้เหมาะสมกับโมเดล |
| mModelMaxFreqms | Int | ตัวแปรสำหรับการกำหนดระยะเวลาของ fps |
| mWidth | Int | ขนาดความกว้างของภาพ |
| mHeight | Int | ขนาดความสูงของภาพ |
| mRotation | Int | ขนาดของภาพที่ถูกหมุน |
| mOutputDim | Int | ขนาดเอาต์พุตที่เหมาะสมกับโมเดล |
| mOutputClass | Int | ขนาดเอาต์พุตคลาส |
| labels | Vector<String> | คลาสสเกลสำหรับกำหนดชื่อคลาสของการตรวจจับ |
| outputMap | Map<Integer, Object> | ตัวแปรสำหรับรองรับเอาต์พุตที่ได้จากโมเดล |

ก่อนเข้าประมวลผลด้วยโมเดลจะมีการเตรียมตัวแปรต่าง ๆ ให้มีโครงสร้างข้อมูลตรงกับ Tensorflow โดยเริ่มต้นแปลง mInputBuf ให้อยู่ในรูปแบบ Object Array ตามที่ Library ของ Tensorflow กำหนด และสร้างตัวแปร outputMap เพื่อรองรับ output ที่ได้จากโมเดล โดยระบุขนาดของพื้นที่ความจำไว้ที่ตำแหน่ง [0] เมื่อผ่านการประมวลผลด้วยคำสั่ง runForMultipleInputsOutputs(Input,Output) จะอ่านข้อมูลเอาต์พุตได้ด้วยการประกาศตัวแปร float ที่เป็น Array 3 มิติขึ้นมารับค่า โดยจะวนลูปรับค่าไปจนครบ แสดงดังภาพที่ 15-8 และภาพที่ 15-9

```

ประกาศตัวแปร Map<Integer, Object> ในชื่อ outputMap
นำค่าของตัวแปร mOutputBuf ใส่ในช่องที่ [0] ของ outputMap
ประกาศตัวแปร Object[] inputArray
นำ mInputBuf มาแปลงเป็น object และใส่เข้าไปในตัวแปร inputArray
ประมวลผลข้อมูลด้วยคำสั่ง runForMultipleInputsOutputs(Input, Output) ที่มีอินพุต คือ
inputArray และเอาท์พุต outputMap
ประกาศตัวแปร ByteBuffer ชื่อ res_bytebuffer มารับ outputMap ที่แปลงค่าเป็น ByteBuffer

```

ภาพที่ 15-8 ตัวอย่าง Pseudocode ของการเรียกใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์

```

ประกาศตัวแปร Float 3 มิติ float[][][] ในชื่อ out
โดยค่าแต่ละช่องคือ out[1][ mOutputDim ][ mOutputClass + 5]
วนลูปนำค่าจาก res_bytebuffer ใส่เข้าไปใน out
for (int i = 0; i < mOutputDim; ++i) {
    for (int j = 0; j < mOutputClass + 5; ++j) {
        out[ 0 ][ i ][ j ] = res_bytebuffer.getFloat();
    }
}

```

ภาพที่ 15-9 ตัวอย่าง Pseudocode ขั้นตอนการรับค่าผลลัพธ์จากโมเดล

จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Localization เพื่อหาตำแหน่งของ Object ได้อย่างถูกต้องในฟังก์ชัน extractObjectBlock ที่มีการวนลูปรับค่าพารามิเตอร์จาก out เข้าไป ตัวอย่าง Psuedocode แสดงดังภาพที่ 15-10


```

สร้างรูปเพื่อนำค่าจากตัวแปร out เข้าสู่ฟังก์ชันชื่อ extractObjectBlock
for (int i = 0; i < mOutputDim; ++i)
{
    ObjectBlock objectblock = extractObjectBlock(out[0][i]);
    if(objectblock!=null)
    {
        detections.add(objectblock);
    }
}

```

ภาพที่ 15-10 ตัวอย่าง Pseudocode ขั้นตอนการหาตำแหน่งของความผิดปกติ

กระบวนการนี้จะเป็นการหาประเภทของ Object ที่ถูกต้องการจากประเมินค่าจากตัวแปร confidenceInClass มากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold จากนั้นจะเก็บค่าตำแหน่งของการตีกรอบไว้เป็น Object และวนลูปไปจนครบเงื่อนไข แสดงดังภาพที่ 15-11

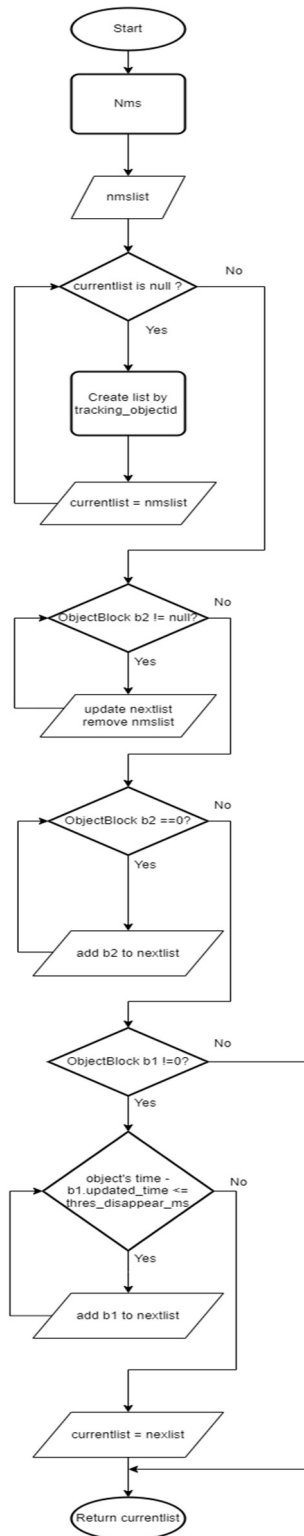
หลังเสร็จสิ้นกระบวนการหาตำแหน่งของ Object จนครบจะเริ่มกระบวนการ ติดตามอ็อบเจกต์ (Object Tracking) โดยภายในฟังก์ชันนี้จะใช้วิธีการ Non Maximum Suppression(NMS) เพื่อตัดสินใจเลือกตำแหน่งของ Object ที่ดีที่สุดในการทำการติดตามอ็อบเจกต์

ตัวอย่าง Pseudocode ของการเรียกใช้ Class MultiTracking แสดงดังภาพที่ 15-12

```

ArrayList<ObjectBlock>detections_head = MultiTracking.track(detections, mOutputClass);

```



ภาพที่ 15-11 Flowchart ของการติดตามอ็อบเจกต์

ประกาศตัวแปร `Nmslist = detectionslist`

1. ค้นหา object ที่มีค่า confidence สูงที่สุด โดยการนำมาจัดเรียงไว้ตัวแรก
2. จัดการทำ Non Maximum Suppression ด้วยการนำค่าที่มี confidence สูงสุดมาเทียบกับค่าอื่น ด้วยเงื่อนไขของ Intersect over Union (IoU) จนครบ
3. นำค่าที่ได้ใส่ตัวแปรที่เป็น `ArrayList` ในชื่อ `nmsList`

ภาพที่ 15-12 ตัวอย่าง Psuedocode ของฟังก์ชัน `nms`

เมื่อได้ Object ที่เป็นผลลัพธ์จากการค้นหาที่อยู่ของ object แล้วจะเข้าสู่การ Track Object แสดงดังภาพที่ 15-13 และภาพที่ 15-14

ประกาศตัวแปร `currentlist` ในรูปแบบ Object แบบเดียวกับ `nmsList`

ประกาศตัวแปร `nextlist` ในรูปแบบ Object แบบเดียวกับ `nmsList`

ประกาศตัวแปร Global `int tracking_objectid = 0`

// ใช้ครายการ object ปัจจุบัน

If `currentlist==null`

For `int i = 0; i < nmsList.size(); i++`

`tracking_objectid++`

`nmsList(i).id = tracking_objectid`

`currentlist = nmsList`

`return currentlist`

// #####

// ใช้ครายการ object tracking ปัจจุบัน

For `int i = 0; i < currentlist.size(); i++`

`Object b1 = currentlist.get(i)`

`Object b2 = findnearest(b1 , nmsList)`

if `b2 != null`

`b2.id = b1.id`

`b2.update_time = now`

ภาพที่ 15-13 ตัวอย่าง Psuedocode ของการติดตามอ็อบเจกต์

```

nextlist.add( b2 )

        nmsList.remove( b2 )
        b1.id = 0
// #####
// สร้าง object tracking ใหม่
For int i = 0; i < nmsList.size(); i++
    Object b2 = nmsList.get( i )
    if( b2.id !=0 )
    {
        tracking_objectid++
        b2.id = tracking_objectid
        b2.update_time = now
        nextlist.add( b2 )
    }
// #####
// เก็บ tracking id ไว้หรือลบทิ้ง
For int i = 0; i < currentlist.size(); i++
    Object b1 = currentlist.get( i )
    if b1.id != 0
    {
        if( now - b1.update_time <= thres_disappear )
        {
            nextlist.add( b1 )
        }
    }
currentlist = nextlist
return currentlist

```

ภาพที่ 15-14 Psuedocode ของฟังก์ชัน nms

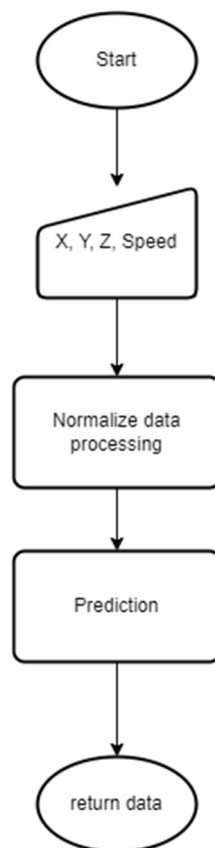
จากฟังก์ชัน Object tracking ใน Pseudocode จะมีอยู่ 3 แบบคือ

- อัปเดตตำแหน่งของ object หากเป็น id เดิม
- สร้างการ track object ขึ้นมาใหม่
- ตรวจสอบระยะเวลาของ object นี้ว่ายังใช้ object ตัวเดิมหรือไม่

หลังจบกระบวนการ Tracking จะได้ข้อมูลมาเป็น ArrayList<ObjectBlock> จากนั้นจะเข้าสู่จัดระเบียบข้อมูลเพื่อใส่ลาเบลคลาส และส่งข้อมูลที่เสร็จสิ้นกลับไป

15.3.4 การประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน (IRI Classifier Model)

ขั้นตอนแรกคือการ Normalize Input ที่ได้มาจากอุปกรณ์เพื่อให้ได้ค่าที่อยู่ในช่วงของ IRI score จะมีตัวแปรสำคัญที่ใช้คือ X, Y, Z และ Speed โดย X, Y, Z จะได้จาก Sensor ในอุปกรณ์ ส่วน Speed จะได้รับมาจากคำนวณค่าจาก GPS ขั้นตอนการประมวลผลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน แสดงดังภาพที่ 15-15



ภาพที่ 15-15 ขั้นตอนการประมวลผลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน

ตัวอย่าง Pseudocode แสดงดังภาพที่ 15-16

```
ประกาศ input เป็น Float[ 4 ]
นำค่า x, y, z, speed ใส่ใน input
ประกาศตัวแปร Map<Integer,Object> ในชื่อ outputMap
นำค่าของตัวแปร mOutputBuf ใส่ในช่องที่ [0] ของ outputMap
ประกาศตัวแปร Object[] inputArray
นำ input มาแปลงเป็น object และใส่เข้าไปในตัวแปร inputArray
ประมวลผลข้อมูลด้วยคำสั่ง runForMultipleInputsOutputs(Input,Output) ที่มีอินพุต คือ
inputArray และเอาที่พุด outputMap
ประกาศตัวแปร ByteBuffer ชื่อ res_bytebuffer มารับ outputMap ที่แปลงค่าเป็น ByteBuffer
จากนั้นประกาศตัวแปร Float[][] ชื่อ out มารับค่า res_bytebuffer ที่ถูกแปลงเป็น float
```

ภาพที่ 15-16 ตัวอย่าง Psuedocode ของการประมวลผลจากเซนเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบสามแกน

เมื่อได้เอาท์พุดคือ IRI Score จะนำไปเข้ารหัสรูปแบบ JSON และแปลงเป็น Bytebuffer ส่งข้อมูลกลับไปยังส่วนหลักที่รวบรวมข้อมูลจากทุกส่วนเพื่อเตรียมส่งไปยัง Data Platform API

15.3.5 การเชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล

กระบวนการการเชื่อมต่อ Data Platform API Integration จะเริ่มต้นเมื่อมีข้อมูลจากเอาท์พุด Object Detection และ IRI Score และสามารถเชื่อมต่อกับ API ตาม URL ของแพลตฟอร์มสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล โดยรูปแบบข้อมูลจะถูกสร้างในรูปแบบ JSON ที่มีโครงสร้างดังตัวอย่าง

```
{
  app_version: "0.0.1",
  data:
  {
    app_version: "0.0.1",
    device_id: "dd96cba38c70e722",
    local_time: "2022-03-08T11:06:10.125Z",
    location:
    {
      latitude: 13.8485448,
```

```
        longitude: 100.6836185
    },
    model_version: "0.0.1",
    report:
    [ {
        heading: 0,
        lastN_IRI: -2.86616261740177e+35,
        lastN_count: 3,
        lastN_distance: 0.5616177757799105,
        lastN_location:
        {
            latitude: 13.8485474,
            longitude: 100.6836141
        },
        lastN_sec: 60.124,
        location:
        {
            accuracy: 20,
            altitude: -24.30000114440918,
            latitude: 13.8485448,
            longitude: 100.6836185
        },
        smoothness_score: 0,
        speed: 0,
        trip_IRI: -1.7967400004613493e+35,
        trip_distance: 4.6719038093887955,
        trip_time: 124.575
    } ]
},
device_id: "dd96cba38c70e722",
```

```
item_count: 1,
latitude: 13.8485448,
local_time: "2022-03-08T11:06:10.125Z",
location:
{
    latitude: 13.8485448,
    longitude: 100.6836185
},
longitude: 100.6836185,
model_version: "0.0.1",
report:
[
{
    heading: 0,
    lastN_IRI: -2.86616261740177e+35,
    lastN_count: 3,
    lastN_distance: 0.5616177757799105,
    lastN_location:
    {
        latitude: 13.8485474,
        longitude: 100.6836141
    },
    lastN_sec: 60.124,
    location:
    {
        accuracy: 20,
        altitude: -24.30000114440918,
        latitude: 13.8485448,
        longitude: 100.6836185
    },
}
```



```

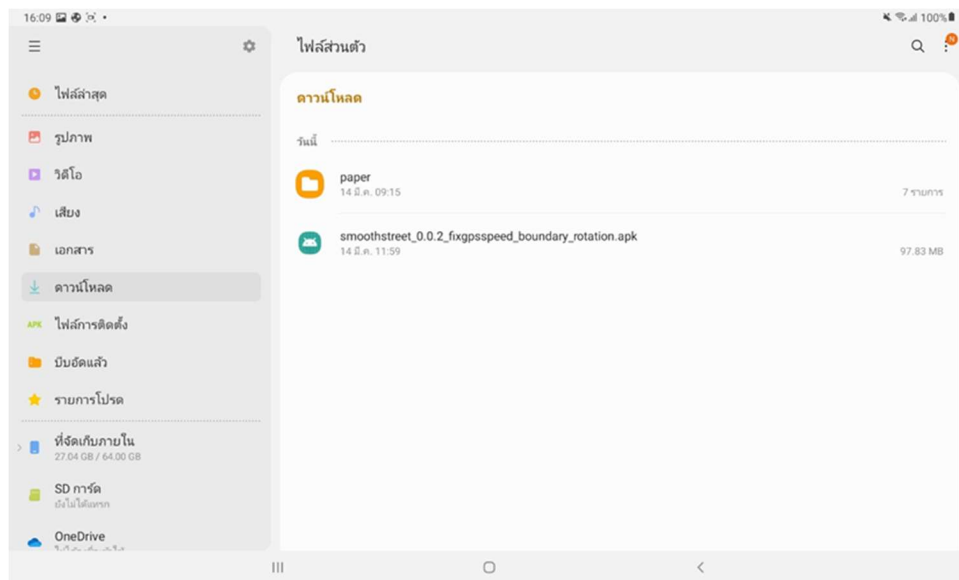
smoothness_score: 0,
speed: 0,
trip_IRI: -1.7967400004613493e+35,
trip_distance: 4.6719038093887955,
trip_time: 124.575
}
]
}

```

15.4 ผลการพัฒนา

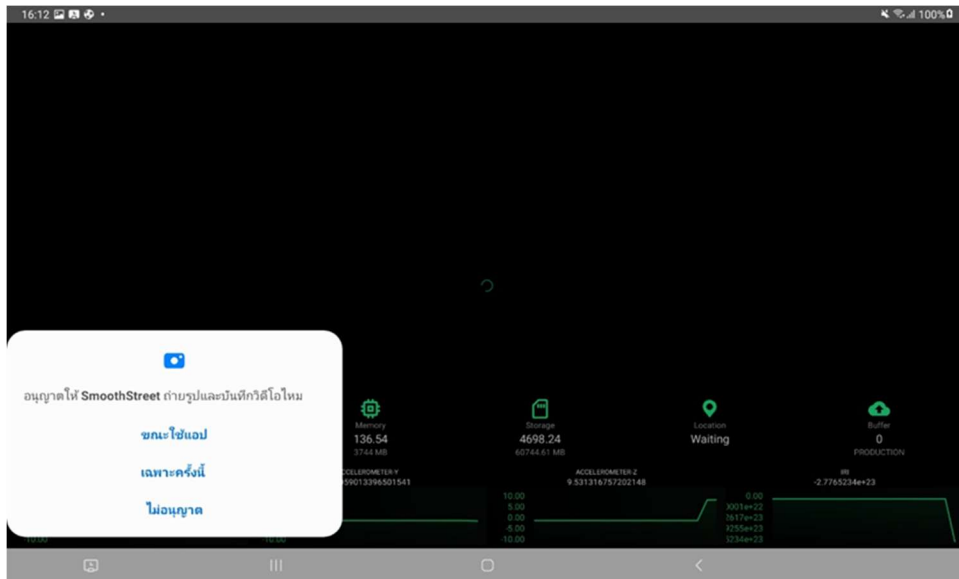
15.4.1 การติดตั้งและใช้งาน

แอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ จะถูกสร้างออกมาในรูปแบบ Android Package File (APK) เพื่อความสะดวกในการติดตั้งบนอุปกรณ์เก็บข้อมูล โดยสามารถดาวน์โหลดไฟล์ดังกล่าวจากเว็บไซต์ของโครงการวิจัยและทำการติดตั้งโดยแตะที่ไฟล์ APK หลังการดาวน์โหลดเสร็จสิ้นเพื่อทำการติดตั้งแอปพลิเคชันหลังติดตั้งเสร็จสิ้นไอคอนของแอปพลิเคชันจะปรากฏที่หน้า Home Screen แสดงดังภาพที่ 15-17



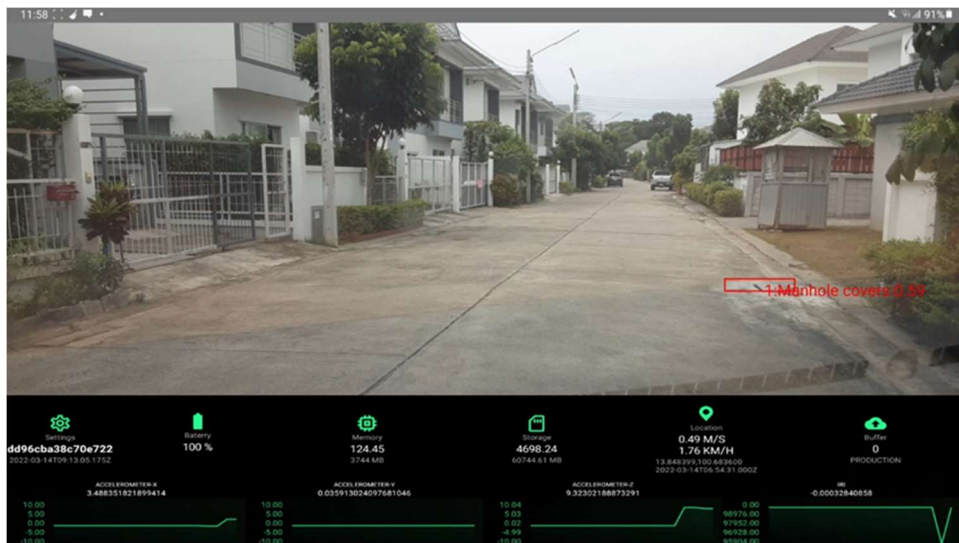
ภาพที่ 15-17 การดาวน์โหลดแอปพลิเคชันสำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจร

เมื่อเข้ามาขั้นตอนแรกคือการขออนุญาตให้เข้าถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตัวอุปกรณ์ดังแสดงภาพที่ 15-18

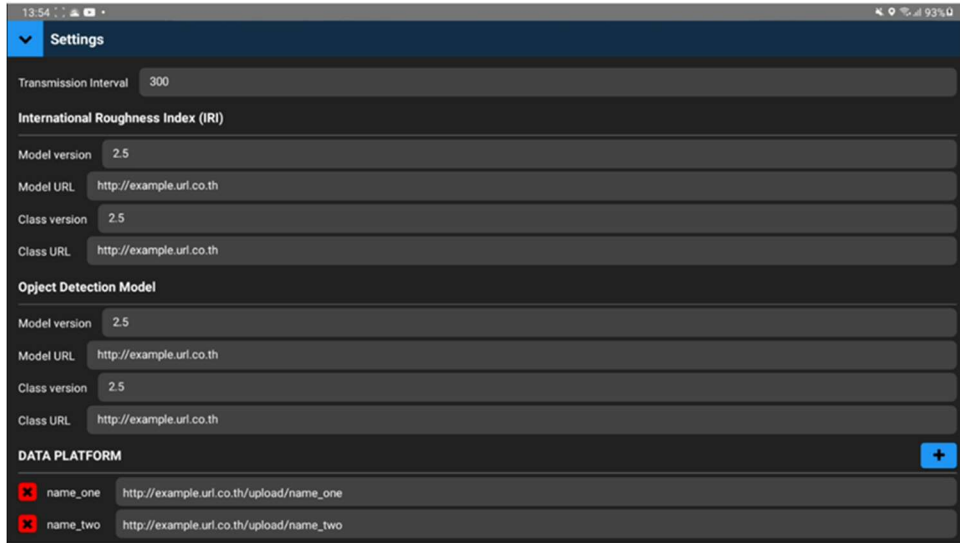


ภาพที่ 15-18 การขออนุญาตให้เข้าถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตัวอุปกรณ์

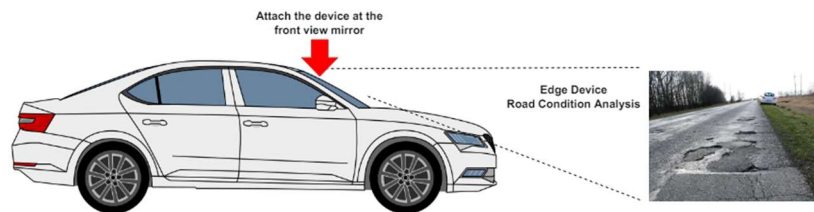
เมื่อเริ่มใช้งานหน้าหลัก ระบบจะทำงานโดยทันที ในหน้าจอนี้มีเพียงการแตะที่รูปเฟือง คือการไปสู่หน้าการตั้งค่า Setting Screen แสดงดังภาพที่ 15-19 และภาพที่ 15-20 และการติดตั้งอุปกรณ์บนรถสำรวจบนรถสำรวจสามารถติดตั้งได้โดยใช้อุปกรณ์ยึดเกาะโทรศัพท์มือถือที่พกติดตัวที่สามารถใช้ยึดกับกระจกหน้ารถในตำแหน่งที่กล้องของมือถือสามารถเห็นภาพของพื้นผิวการจราจรอย่างชัดเจนเพื่อผลการทำงานที่ดีที่สุด แผนภาพการติดตั้งและตัวอย่างการติดตั้งแสดงดังภาพที่ 15-21



ภาพที่ 15-19 การเริ่มต้นทำงานของอุปกรณ์



ภาพที่ 15-20 การตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์



ภาพที่ 15-21 แผนภาพและตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์บนรถสำรวจ

15.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรได้ถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานโดยการเก็บข้อมูลถนนในจังหวัดภูเก็ตดังแสดงรายการในตาราง

| วันที่ | พื้นที่ / ถนน | ระยะทาง (กม.) |
|----------------|----------------------------------|---------------|
| 24 มีนาคม 2565 | ภูเก็ต / ถนนกะทู้-นาเกาะ (3030) | 10 |
| 24 มีนาคม 2565 | ภูเก็ต / ถนนบ้านบางป็น | 3 |
| 24 มีนาคม 2565 | ภูเก็ต / ถนนเหมืองเจ้าฟ้า (4010) | 2 |

จากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ต้นแบบสามารถตรวจสอบความผิดปกติของผิวจราจรและรายงานผลไปยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลได้ในลักษณะการทำงานแบบใกล้เคียงเรียลไทม์โดยวัดจากเวลาการรายงานข้อมูลที่ถูกบันทึกในแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการทำงานและการแสดงผลบนอุปกรณ์ต้นแบบมีอาการหน่วงโดยสังเกตจากจำนวนเฟรมต่อวินาที (frame per second) ของภาพวิดีโอที่แสดงจากกล้องที่อุปกรณ์ต้นแบบกำลังตรวจจับความผิดปกติ จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดการหน่วงเวลา ได้แก่

- ความเร็วของการประมวลผลของเครื่องโทรศัพท์
- จำนวนความผิดปกติที่พบในหนึ่งช่วงเวลา
- การแสดงผลการตรวจจับบันทึกหน้าจอการทำงานไปพร้อมกัน
- ความเร็วของอินเทอร์เน็ตบนเครื่องโทรศัพท์ ณ พื้นที่สำรวจ

ซึ่งเป็นผลการทำงานที่ได้ในปัจจุบันตรงตามความคาดหวังของคณะวิจัย เนื่องในการปฏิบัติงานจริงการสำรวจสภาพถนนนั้นไม่มีความจำเป็นต้องรายงานข้อมูลแบบเรียลไทม์ คณะสำรวจจะทำการเก็บข้อมูลและประมวลผลเพื่อรายงานไปยังหน่วยงานต้นสังกัดภายใน 1 วัน ทำให้รูปแบบการรายงานผลของอุปกรณ์ต้นแบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคณะสำรวจได้ อย่างไรก็ตามคณะวิจัยต้องการปรับปรุงการประมวลผลและการแสดงผลการตรวจจับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรืออาจพิจารณาพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบให้ทำการตรวจจับความผิดปกติโดยไม่ต้องแสดงภาพวิดีโอเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

15.5 อภิปรายและสรุปผล

ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ในยานพาหนะได้ถูกพัฒนาเสร็จสมบูรณ์ในรูปแบบแอนดรอยด์แอปพลิเคชันโดยใช้ React Native ในการพัฒนาและใช้ TensorFlow Lite เป็นส่วนเชื่อมต่อในการนำเอาโมเดลปัญญาประดิษฐ์สำหรับการตรวจจับความผิดปกติของผิวจราจร แอนดรอยด์แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นได้ถูกติดตั้งในโทรศัพท์สมาร์ทโฟนเพื่อสร้างเป็นต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของผิวจราจรจำนวน 5 เครื่องเพื่อนำไปใช้ติดตั้งในรถสำรวจสำหรับการเก็บข้อมูลยังพื้นที่ที่โครงการวิจัยกำหนด ข้อมูลที่เก็บได้ในระหว่างการใช้งานจะถูกส่งไปยังแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลโดยมีการส่งประเภทความผิดปกติพร้อมรูปประกอบ ดัชนีความเรียบของผิวจราจร และพิกัดจีพีเอส เพื่อนำข้อมูลไปรวบรวมและนำเสนอในลักษณะสารสนเทศเชิงแผนที่เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการถนนให้กับหน่วยงานผู้รับผิดชอบต่อไป

บทที่ 16 ต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT

16.1 วัตถุประสงค์

จากข้อเสนอโครงการ ที่มีแนวทางในการวิจัยและพัฒนาวิธีเก็บข้อมูลความสั่นและวิถีทัศน โดยมีการประมวลผลในอุปกรณ์ติดในยานพาหนะ เป็นสารสนเทศเกี่ยวกับความผิดปกติของผิวจราจร และส่งข้อมูลกลับมาประมวลผลที่ศูนย์ประมวลผลกลาง และมีระบบบริหารจัดการสารสนเทศเกี่ยวกับความผิดปกติที่เข้าถึงง่ายกว่าระบบที่หน่วยงานขนาดใหญ่ใช้อยู่ในปัจจุบันและมีต้นทุนที่ต่ำลง เพื่อให้หน่วยงานเป้าหมายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสำรวจและบำรุงรักษาผิวทางได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น ส่งผลให้ประสบการณ์การเดินทางของประชาชนดีขึ้น

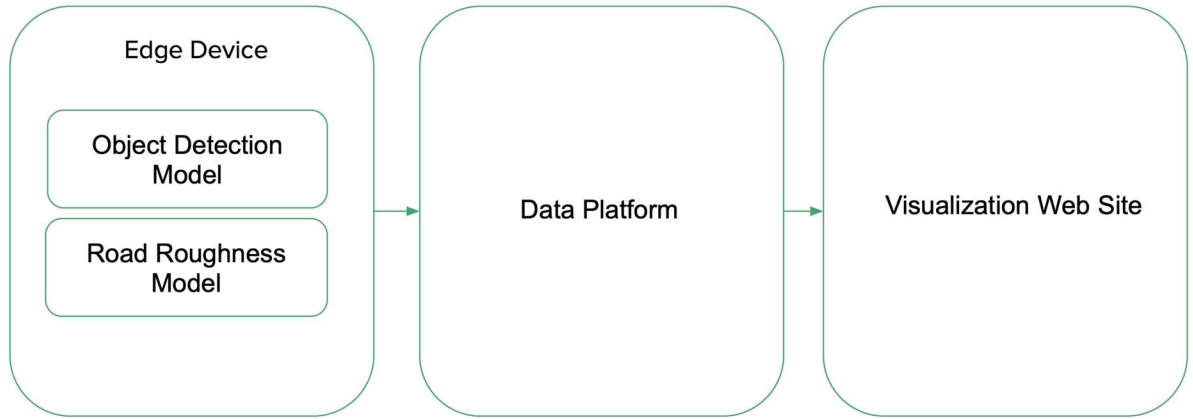
คณะวิจัยได้นำผลการวิจัยดังที่ได้รายงานในบทที่ผ่านมา มาบูรณาการเป็นต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ซึ่งมีองค์ประกอบและรายละเอียดของการทำงานดังต่อไปนี้

16.2 ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ

ต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT มีองค์ประกอบหลัก 5 องค์ประกอบ กล่าวคือ

1. อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล (Edge Device)
2. ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model)
3. ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการประมาณค่า IRI (Road Roughness Model)
4. แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform)
5. เว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร (Visualization Web Site)

โดยองค์ประกอบหลัก 5 องค์ประกอบ มีความสัมพันธ์ ระหว่างกันดังแสดงในภาพที่ 16-1



ภาพที่ 16-1 ภาพรวมสถาปัตยกรรมของระบบ

ความสัมพันธ์และการทำงานร่วมกันขององค์ประกอบข้างต้น กล่าวคือ ตัวจำแนก Machine Learning ใช้สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model) และตัวจำแนกสำหรับการประเมินค่า IRI (Roughness Model) นั้นได้รับการติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบในการเก็บข้อมูลนี้ ได้รับการติดตั้งในห้องโดยสารของยานพาหนะของเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานส่วนท้องถิ่นที่วิ่งไปตามถนนต่างๆ ภายใต้ความรับผิดชอบของหน่วยงาน และกลไกการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล อำนวยความสะดวกให้อุปกรณ์เก็บข้อมูลและตัวจำแนกทั้งสอง จะทำการเก็บและประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นจะส่งข้อมูลไปที่แพลตฟอร์มสำหรับการรวบรวมข้อมูล และแปรสภาพข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมให้บริการแก่เว็บไซต์ และเข้าใจง่าย เพื่อให้เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานส่วนท้องถิ่นที่มีหน้าที่ดูแลถนนสามารถดูข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวจราจรภายใต้ความรับผิดชอบของหน่วยงานนั้น เพื่อให้นำไปสู่การซ่อมบำรุงถนนส่วนที่สึกหรอ ตามที่อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลได้ตรวจพบ

16.3 ภาพรวมการทำงานของระบบ

รายละเอียดของการวิจัยและพัฒนาองค์ประกอบ ทั้ง 5 ส่วนนี้ ได้กล่าวไว้แล้วในรายงานบทก่อนนี้ และคณะวิจัยสรุปภาพรวม การทำงานของระบบโดยสรุป หลักการทำงานของแต่ละองค์ประกอบ และการทำงานร่วมกันระหว่างองค์ประกอบ ดังนี้

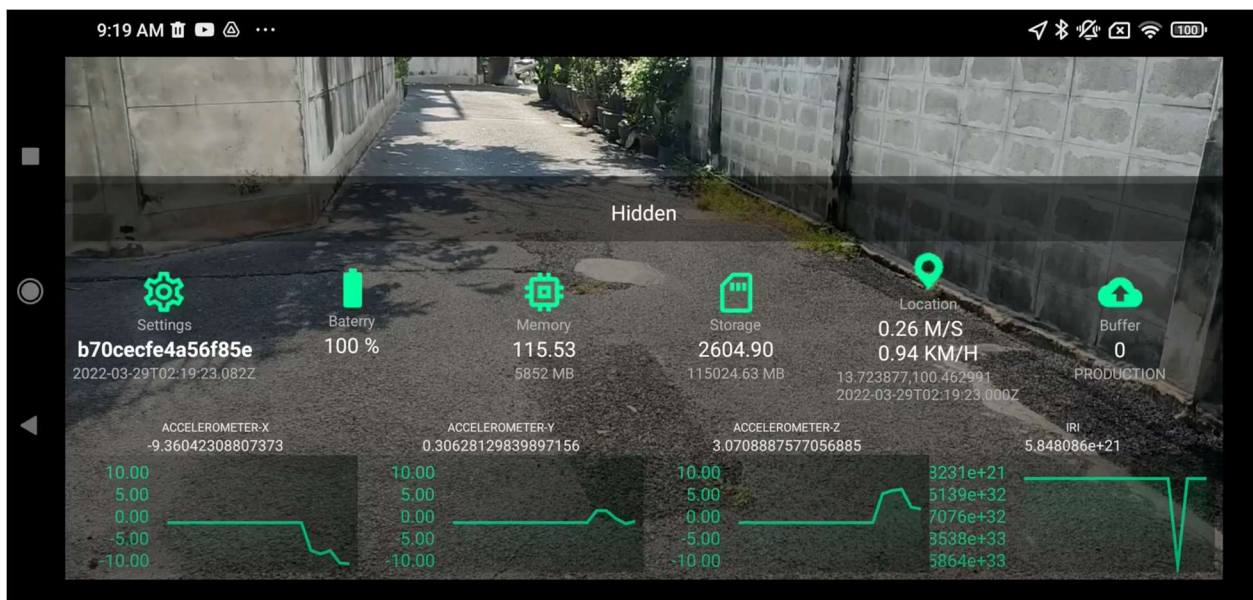
16.3.1 อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล (Edge Device)

อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล (Edge Device) เป็นอุปกรณ์ที่พร้อมไปด้วยเครื่องตรวจจับและเก็บข้อมูลหลายประเภท รวมไปถึงรูปภาพวิดีโอ ความสั่นสะเทือน เป็นอุปกรณ์ซึ่งมีทรัพยากรเพียงพอรองรับการประมวลผลของตัวจำแนก Machine Learning เพื่อกรันกรองข้อมูลดิบให้เป็นสารสนเทศในเวลาจริง อีกทั้ง

สามารถสื่อสารสารสนเทศที่ประมวลผลเบื้องต้นแล้วไปที่ศูนย์รวมข้อมูลกลางได้ในเวลาจริง และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย

คณะวิจัยได้เลือกใช้ โทรศัพท์มือถืออัจฉริยะ ตระกูลแอนดรอยด์ เพราะว่า ฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ดังกล่าว มีอุปกรณ์ตรวจจับทุกประเภทที่คณะวิจัยต้องการ และมีขีดความสามารถในการประมวลผลเพียงพอ อีกทั้งมีศักยภาพพื้นฐานในการสื่อสารสารสนเทศเบื้องต้นไปที่ศูนย์รวมข้อมูลกลางได้ ทำให้คณะวิจัยสามารถต่อยอดจากขีดความสามารถเหล่านี้โดยการมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาซอฟต์แวร์ อันเป็นหัวใจของการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล

ซอฟต์แวร์อันเป็นหัวใจของการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลมีหน้าที่สำคัญคือ การเก็บข้อมูลความผิดปกติบนท้องถนน อ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ ของระบบโทรศัพท์ อาทิ ความสั่นสะเทือน ตำแหน่ง พิกัด ความเร็วทิศทาง และกระแสวิดิตัทซ์ จากนั้น ซอฟต์แวร์ฯ อำนาจการให้ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปร่าง (Object Detection Model) และตัวจำแนกสำหรับการประเมินค่า IRI (Roughness Model) นำข้อมูลจากเซนเซอร์ของระบบโทรศัพท์ ไปดำเนินงาน ได้ผลลัพธ์เป็นสารสนเทศเบื้องต้น ซึ่งซอฟต์แวร์ฯ จัดเรียงเข้าลำดับ Packets ข้อมูลเพื่อสื่อสารไปที่ศูนย์รวมข้อมูลกลาง ทั้งนี้ ซอฟต์แวร์ฯ ได้กำหนดตั้งค่าระบบปฏิบัติการของโทรศัพท์มือถือของโทรศัพท์มือถืออัจฉริยะตระกูลแอนดรอยด์ ให้กลายเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เพียงหนึ่งเดียว คือการเก็บข้อมูลความผิดปกติบนท้องถนน หน้าจอของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล แสดงดังภาพที่ 16-2



ภาพที่ 16-2 หน้าจอของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์

16.4.1. ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model)

ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model) ได้รับการพัฒนา จากสถาปัตยกรรม Yolo 5 ซึ่งคณะวิจัย คัดเลือกจากหลายสถาปัตยกรรม เนื่องจาก มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสำหรับการใช้ดำเนินงานบนโทรศัพท์มือถือ ตัวจำแนกดังกล่าว ได้รับป้อนข้อมูลจากซอฟต์แวร์ของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล ในรูปแบบกระแสวีดิทัศน์ จากนั้นตัดกระแสวีดิทัศน์ เป็นเฟรมรูปภาพ และตรวจหาความผิดปกติบนท้องถนนตามประเภทที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว ซึ่งความผิดปกติแต่ละประเภทที่กำหนดไว้นั้น คณะวิจัยได้สอนให้ตัวจำแนกสามารถแยกแยะได้โดยการแยกแยะให้ดูจากตัวอย่างรูปความผิดปกติบนท้องถนนในประเภทนั้น โดยคัดเลือกจากรูปภาพมากกว่า 200,000 รูปภาพของท้องถนนที่มีความผิดปกติประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือหลายๆ ประเภท

เมื่อนำตัวจำแนกที่ได้รับการสอนแล้วมาใช้งาน ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวจำแนกฯ คือ รูปถ่ายที่ได้รับการระบุว่ามี ความผิดปกติของท้องถนน ประเภทของความผิดปกติบนท้องถนน ที่จำแนกได้โดยระบุประเภท ระดับความมั่นใจว่าการระบุประเภทนั้นถูกต้อง จากนั้นข้อมูลดังกล่าวถูกนำมารวมกับ ข้อมูลอื่นๆ จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล อาทิ ตำแหน่งพิกัด และ นำเข้าคิวในอุปกรณ์เก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อไปให้ศูนย์รวบรวมข้อมูล ตัวอย่างการทำงานของตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model) แสดงดังภาพที่ 16-3



ภาพที่ 16-3 การทำงานของตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model)

16.3.2 ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการประมาณค่า IRI (Roughness Model)

ทางคณะวิจัยได้พัฒนาตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการประมาณค่า IRI (Roughness Model) โดยคัดเลือกจากหลายสถาปัตยกรรมเนื่องจากตัวจำแนกดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสำหรับการใช้ดำเนินงานบนโทรศัพท์มือถือ ดังนั้นตัวจำแนกดังกล่าวจะได้รับป้อนข้อมูลจากซอฟต์แวร์ของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล ในรูปแบบ ค่าความสั่นสะเทือนจาก 3 แกน คือแกนแนวตั้ง แกนแนวขวาง และแกนแนวราบ ต่อเนื่องกันด้วยความถี่สูง จากนั้นตัวจำแนกทำการประมาณค่า IRI (International Roughness Index) จากค่าความสั่นสะเทือน 3 แกนดังกล่าว ซึ่งการประมาณค่า IRI จากค่าความสั่นสะเทือน 3 แกนนั้น คณะวิจัยได้สอนให้ตัวจำแนกสามารถประมาณค่าได้โดยการเทียบค่าความสั่นสะเทือน 3 แกน กับค่า IRI จริงๆ ที่เก็บโดยอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานของกรมทางหลวง และของกรมทางหลวงชนบท ที่เกิดขึ้นพร้อมกับการได้ค่าความสั่นสะเทือนสามแกนดังกล่าว จากการวิ่งบนท้องถนนจริงเป็นระยะทางกว่า 200 กิโลเมตร

เมื่อนำตัวจำแนกที่ได้รับการสอนแล้วมาใช้งาน ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวจำแนกฯ คือ ค่า IRI สำหรับทุกระยะ 1 เมตร ที่ตัวจำแนกประมาณได้ และระดับความมั่นใจ จากนั้นข้อมูลดังกล่าวถูกนำมารวมกับข้อมูลอื่นๆ จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล อาทิ ตำแหน่งพิกัด และ นำเข้าคิวในอุปกรณ์เก็บข้อมูลเพื่อส่งต่อไปให้ศูนย์รวบรวมข้อมูล

16.3.3 แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform)

แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform) ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ Edge Device จากนั้นทำการประมวลผลข้อมูล เพื่อเตรียมให้บริการเมื่อเว็บไซต์แสดงผลเรียกใช้ข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้

ข้อมูลที่ไหลผ่านแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลมีจำนวนมากและหลายประเภท อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าข้อมูลจะไหลผ่านเส้นทางใด ในแต่ละเส้นทางตั้งแต่จุดที่ข้อมูลไหลเข้าไปจนถึงการแสดงผลนั้น ข้อมูลจะผ่านกระบวนการหลักๆ ดังนี้

1. Ingest การรับข้อมูลเข้าสู่แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลผ่านโครงข่าย IoT
2. Enrich การปรับปรุงความละเอียดข้อมูล
3. Analyze การวิเคราะห์และประมวลผลรายงานผล

ในภาพรวมการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 16-4 แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล รับข้อมูลจากอุปกรณ์ Edge Device จากหน่วยงานเป้าหมายหลายหน่วยงาน ซึ่งแต่ละหน่วยงานอาจมีอุปกรณ์ Edge Device หลายอุปกรณ์

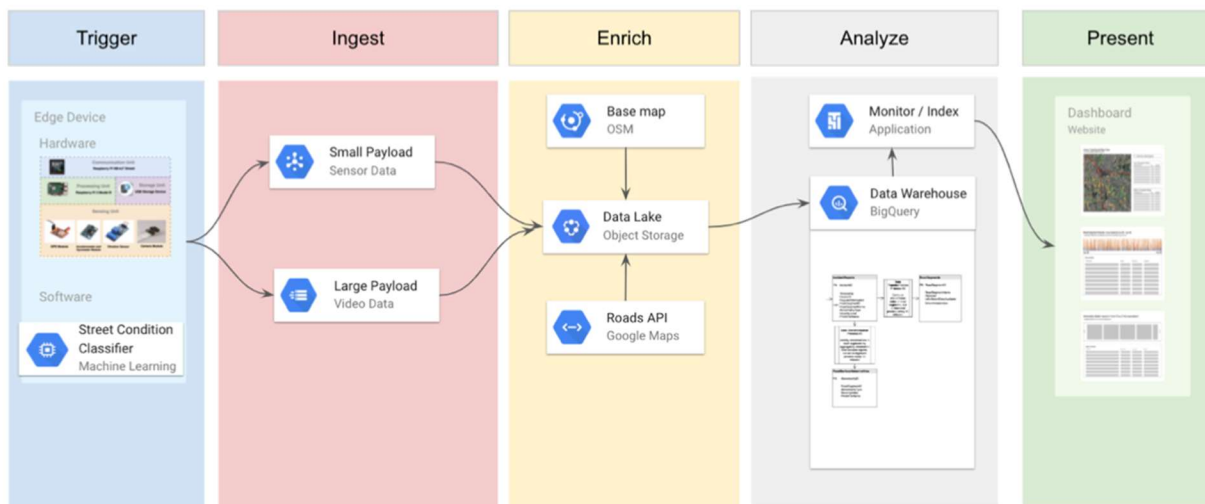
ข้อมูลที่บันทึกได้ ประกอบด้วย ค่าพิกัด GPS ของอุปกรณ์เพื่อวัดเทียบกับฐานข้อมูลของเส้นถนน สำหรับหาเส้นถนนที่จะรายงานความผิดปกติ การรายงานแยกประเภทและค่าเชิงปริมาณของประเภทความผิดปกติที่ตัวจำแนกพบจากผิวถนนที่ยานพาหนะซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วิ่งผ่าน และภาพนิ่งเพื่อประกอบการรายงานในแต่ละครั้ง

จากนั้น แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูลตรวจสอบข้อมูลที่ได้รับมา จากนั้นทำการดึงข้อมูลอ้างอิงเสริมโดยการแปลงพิกัดให้เป็นตำแหน่งบนถนนโดยการวัดเทียบกับฐานข้อมูลของเส้นถนน และประมวลผลข้อมูลเพิ่มเติมที่จำเป็น เช่น ในการรวบรวมสถิติเฉพาะท้องถิ่น และแปรสภาพข้อมูลให้ได้รับการจัดเก็บในรูปแบบที่พร้อมให้บริการแก่เว็บไซต์แสดงข้อมูลต่อไป

การทำงานภายในของแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล อาศัยองค์ประกอบที่ทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดหลายองค์ประกอบ อาทิ

- ระบบคลังข้อมูลในคลาวด์ (Cloud-based data warehouse) ซึ่งมีสถาปัตยกรรมฐานข้อมูล แบบ massively parallel processing (MPP)
- ระบบฐานข้อมูล OLTP พร้อมชุดคำสั่งประมวลผล SQL/MM ที่รองรับการทำงานของซอฟต์แวร์ GIS
- ระบบฐานข้อมูลแบบ Document-oriented / NoSQL ซึ่งทำการจัดเก็บระเบียบข้อมูลในรูปแบบ JSON
- บริการประมวลผลข้อมูลแบบ Functional ฝั่งเครื่องแม่ข่าย (server-side)
- บริการประมวลผลข้อมูลทั่วไปฝั่งเครื่องแม่ข่าย (server-side)
- ระบบจัดเก็บไฟล์ข้อมูลแบบแบ่งพื้นที่ได้ (Object Storage)
- บริการเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแบบเสมือน

นอกจากนี้แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลยังมีบทบาทสำคัญในการกำหนดช่องทางการและรูปแบบข้อมูลที่สื่อสารระหว่างจุดต่างๆ ของระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ให้เป็นมาตรฐาน โดยใช้ API (application programming interface) เพื่อให้ระบบย่อยๆ ที่ทำงานโดยอิสระจากกัน สามารถบูรณาการความสามารถของกันและกันได้ภายหลัง



ภาพที่ 16-4 ภาพรวมการทำงานของแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform)

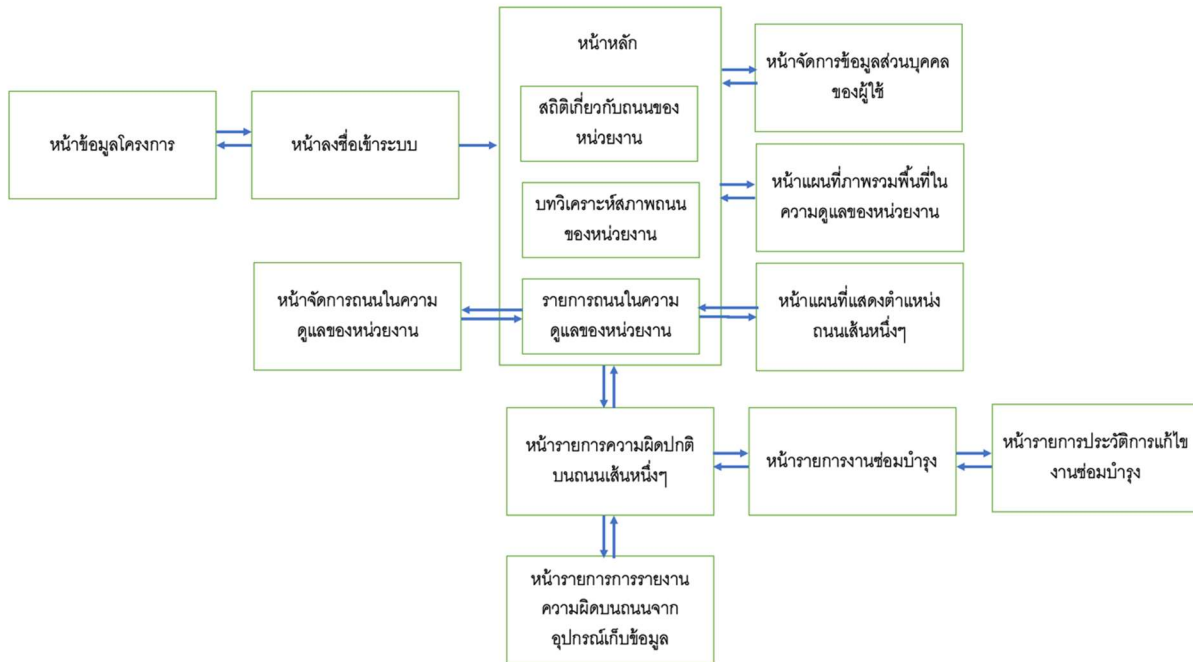
16.3.4 เว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร (Visualization Web site)

เว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร มีหน้าที่นำเสนอข้อมูลจากแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล ให้แก่หน่วยงานและเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในการสำรวจและบำรุงถนน ให้รับทราบถึงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับผิวจราจรในพื้นที่รับผิดชอบของตน และให้สามารถที่จะแก้ปัญหาได้ตรงตามจุดประสงค์ของโครงการ

โดยเว็บไซต์สำหรับนำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร มีความสามารถในหมวดหมู่ต่อไปนี้

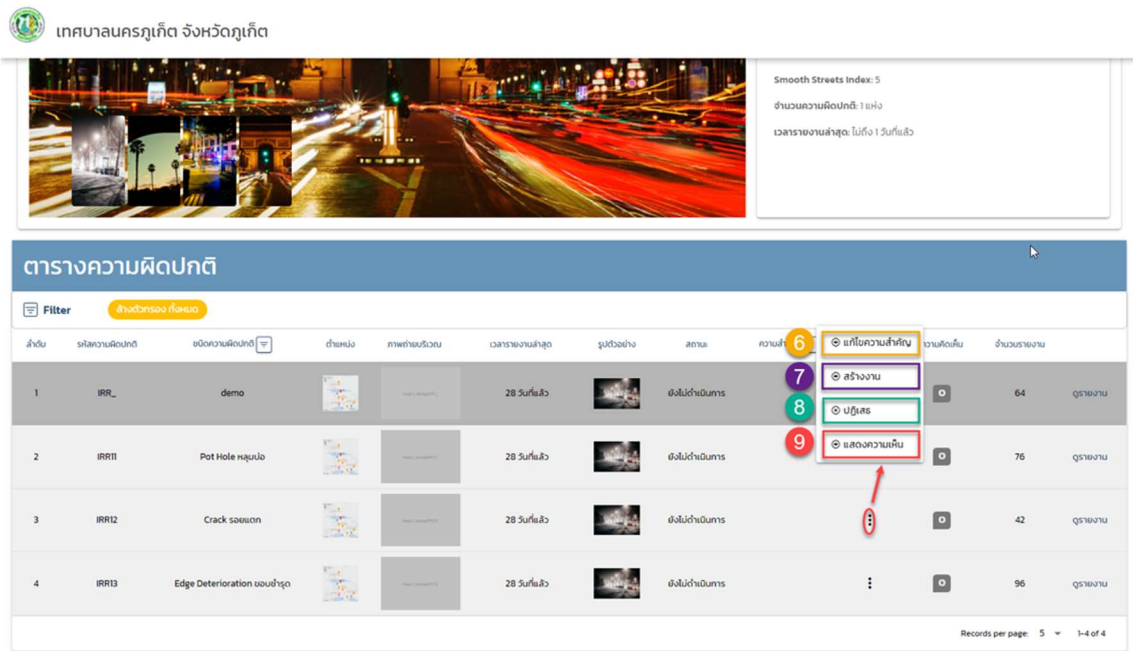
1. การควบคุมการเข้าถึงและการระบุตัวผู้ใช้ (Access control)
2. การสอดส่องดูแลสภาพถนนโดยรวมของสายทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน
3. การตรวจดูและจัดการข้อมูลความผิดปกติต่างๆ บนถนนเส้นหนึ่งๆ
4. การสร้างและบริหารงานบำรุงทางโดยบูรณาการจากรายการความผิดปกติที่ระบบตรวจพบ
5. การสืบดูข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติหนึ่งๆ
6. การจัดการข้อมูลสายทางในความดูแลของหน่วยงาน

ซึ่งความสามารถที่กล่าวข้างต้นของเว็บไซต์ฯ ถูกออกแบบให้เข้าถึงได้โดยง่ายผ่านโครงสร้าง ที่จัดเว็บไซต์ให้ประกอบไปด้วย 11 หน้า ดังแสดงในภาพที่ 16-5



ภาพที่ 16-5 ผังโครงสร้างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าต่างๆ ของเว็บไซต์ (Site Structure Overview)

ตัวอย่าง เช่น การตรวจดูและจัดการข้อมูลความผิดปกติต่างๆ บนถนนเส้นหนึ่งๆ ถูกจัดให้เข้าถึงได้ผ่านหน้ารายการความผิดปกติบนถนนเส้นหนึ่งๆ ดังแสดงในภาพที่ 16-6



ภาพที่ 16-6 ตัวอย่างหน้ารายการความผิดปกติบนถนนเส้นหนึ่งๆ

16.4 อภิปรายและสรุปผล

ต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT มีองค์ประกอบหลัก 5 องค์ประกอบมาบูรณาการกัน ซึ่งแต่ละองค์ประกอบเป็นผลของงานวิจัยและพัฒนาที่ได้รายงานในบทที่ผ่านมา กล่าวคือ

4. อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล (Edge Device)
5. ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model)
6. ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการประมาณค่า IRI (Road Roughness Model)
7. แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform)
8. เว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร (Visualization Web Site)

โดยต้นแบบระบบฯ มีทำงานโดยสังเขป กล่าวคือ ตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ (Object Detection Model) และตัวจำแนกสำหรับการประเมินค่า IRI (Roughness Model) ได้รับการติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบในการเก็บข้อมูลนี้ได้รับการติดตั้งในห้องโดยสารของยานพาหนะของเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานส่วนท้องถิ่น ที่วิ่งไปตามถนนต่างๆ ภายใต้อำนาจรับผิดชอบของหน่วยงาน และกลไกการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูล อำนวยความสะดวกให้อุปกรณ์เก็บข้อมูลและตัวจำแนกทั้งสองทำการเก็บและประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น จากนั้นส่ง สารสนเทศเบื้องต้นไปที่แพลตฟอร์มสำหรับการรวบรวมข้อมูล ซึ่งดึงข้อมูลอ้างอิงเสริม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแปลงพิกัดให้เป็นตำแหน่งบนถนนโดยการวัดเทียบกับฐานข้อมูลของเส้นถนน ประมวลผลข้อมูลเพิ่มเติมที่จำเป็น เช่นในการรวบรวมสถิติเฉพาะท้องที่ และแปรสภาพข้อมูลให้ได้รับการจัดเก็บในรูปแบบที่พร้อมให้บริการแก่เว็บไซต์ และเมื่อใดที่เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานส่วนท้องถิ่นที่มีหน้าที่ดูแลถนนต้องการดูข้อมูลเกี่ยวกับสภาพผิวจราจรภายใต้ความรับผิดชอบของหน่วยงานนั้น ก็จะเข้าไปที่เว็บไซต์นำเสนอข้อมูลการวิเคราะห์สภาพผิวจราจร ซึ่งดึงข้อมูลและทำการประมวลผลเพื่อเรียบเรียงข้อมูลให้เป็นที่เข้าใจง่ายนำเสนอต่อผู้ใช้งาน เพื่อให้นำไปสู่การซ่อมบำรุงถนนส่วนที่สึกหรอ ตามที่อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลได้ตรวจพบ

จากการได้สร้างต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT โดยการบูรณาการจากองค์ประกอบย่อยทั้งหมดของโครงการวิจัยนี้ พบว่าระบบฯ

นี่มีความเป็นไปได้จริงในเชิงวิศวกรรม โดยได้ความชัดเจนมากขึ้นเกี่ยวกับโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบอย่างเฉพาะเจาะจงตามองค์ประกอบต่างๆ เพื่อให้นำไปใช้จริงได้ และพบว่ายังต้องศึกษาความเป็นไปได้ในด้านอื่นๆ อาทิ การตอบรับของหน่วยงานท้องถิ่นที่ดูแลถนนหนทาง และพันธมิตรที่อาจจะสนใจนำอุปกรณ์ไปติดตั้ง เพื่อประเมินประโยชน์ที่จะได้รับกับต้นทุนที่จำเป็นต้องลงเพิ่ม ในการต่อยอดจากโครงการนำร่องนี้ ให้บรรลุเป้าหมายตามวิสัยทัศน์ของโครงการ

16.5 สรุปองค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

ในการพัฒนาต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT คณะวิจัยได้สรุปความรู้ใหม่ ไว้ในแต่ละบทที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่างๆ ของต้นแบบระบบฯ

16.6 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคตสำหรับ ต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วย Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT เริ่มด้วยการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานจริงในภาคปฏิบัติของระบบฯ และนำข้อมูลเกี่ยวกับการที่ผู้ใช้งานเป้าหมายได้มีปฏิสัมพันธ์องค์ประกอบต่างๆ ของต้นแบบระบบฯ มาวิเคราะห์ เพื่อเข้าใจจุดที่ใช้งานได้ดี และอุปสรรคต่างๆ ของต้นแบบระบบฯ จากนั้นจึงวางแผนพัฒนาต่อไปเพื่อแก้ไขอุปสรรคเหล่านั้น เพื่อให้ผู้ใช้งานเป้าหมายของโครงการฯ นำระบบฯ ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

บทที่ 17 การวิเคราะห์สภาพผิวจราจรในพื้นที่เป้าหมายด้วยอุปกรณ์ต้นแบบ

17.1 ที่มา

ในบทนี้ เป็นการนำต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ไปทดสอบทำการสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรในพื้นที่จริง โดยกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 พื้นที่ กล่าวคือพื้นที่ในเขตเมือง พื้นที่ในเขตชนบท และ พื้นที่ระหว่างเมือง โดยมีจุดประสงค์คือ การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบโดยรวมทั้งระบบ หลังจากที่ได้บูรณาการองค์ประกอบย่อยแต่ละองค์ประกอบของระบบเข้าด้วยกันแล้ว

17.2 วิธีการวัดผล

ในการวัดผลประสิทธิภาพของระบบ คณะวิจัยใช้วิธีวัดประสิทธิภาพที่มีพื้นฐานจาก Confusion Matrix โดยประเมินประสิทธิภาพของระบบสำหรับความผิดปกติแบบแยกประเภท โดยประเภทความผิดปกติที่สนใจมีดังนี้

1. รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack)
2. หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole)
3. ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole)
4. รอยปูถนนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching)
5. ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration)

นอกจากนี้ ความผิดปกติแต่ละประเภท จะถูกบันทึกผลของการจำแนกความผิดปกติ ดังนี้

- จำนวนความผิดปกติที่สนใจที่คนนับได้จริงและแบบจำลองตรวจพบและทายว่าเป็นความผิดปกติที่สนใจ (True Positive)
- จำนวนความผิดปกติที่สนใจที่คนนับได้จริงแต่แบบจำลองตรวจไม่พบหรือทายว่าเป็นความปกติประเภทอื่น (False Negative)
- จำนวนความปกติประเภทอื่นหรือพื้นที่ของถนนที่เรียบร้อยดีแต่แบบจำลองนับเป็นความผิดปกติที่สนใจ (False Positive)

ส่วนจำนวนความผิดปกติประเภทอื่นหรือถนนที่เรียบบ่อยดีและแบบจำลองก็ไม่ได้ทายว่าเป็นความผิดปกติที่สนใจ (True Negative) นั้น ไม่เป็นค่าสถิติที่นับได้ในบริบทนี้ เนื่องจากอยู่ในมิติที่ต่อเนื่อง (Continuous) ในขณะที่ค่าสถิติที่นับได้ในบริบทนี้อยู่ในมิติที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete) จึงไม่นำมาใช้

ในการนี้ คณะวิจัยติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล Edge Device ภายในห้องโดยสารของยานพาหนะ โดยใช้ที่ยึดจับโทรศัพท์มือถือที่ใช้หลักสัญญาณในการยึดติดกับกระจกหน้ารถ เนื่องจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล แสดงการตรวจพบความผิดปกติต่าง ๆ โดยการตีกรอบรอบความผิดปกติที่ตรวจพบนั้น ซ้อนทับภาพจากวิดีโอที่บันทึกในเวลาจริง ดังแสดงในภาพที่ 17-1 คณะวิจัยจึงใช้ โปรแกรม Screen Recorder ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ บันทึกสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนหน้าจอของเครื่องอุปกรณ์เก็บข้อมูล บันทึกลงเป็นไฟล์วิดีโอ แล้วนำไฟล์วิดีโอนี้มาเล่นกลับ ในการนับและวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ใน Confusion Matrix



ภาพที่ 17-1 อุปกรณ์เก็บข้อมูลแสดงการตรวจพบความผิดปกติต่าง ๆ โดยการตีกรอบรอบความผิดปกติที่ตรวจพบนั้นซ้อนทับภาพจากวิดีโอที่บันทึกในเวลาจริง

ทั้งนี้ การบันทึกวิดีโอผ่านโปรแกรม Screen Recorder ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ มีการเสียความละเอียดของภาพไปพอสมควร และการแสดงผลล่าช้าไปบ้างหลังจากมีการตรวจจับความผิดปกติ เนื่องจากการตรวจจับความผิดปกติต้องการพลังประมวลผลสูง ดังนั้น เพื่อให้ได้มาซึ่งแหล่งข้อมูลคู่เทียบอ้างอิงที่ถือว่าเป็น “ความจริง” คณะวิจัยติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายวิดีโอ (ซึ่งในกรณีนี้คือโทรศัพท์สมาร์ทโฟนอีกเครื่องหนึ่งที่ทำหน้าที่อย่างเดียวคือการถ่ายวิดีโอ) ไว้ข้าง ๆ กับอุปกรณ์เก็บข้อมูล Edge Device โดยใช้ที่ยึดจับโทรศัพท์มือถือที่ใช้หลักสัญญาณในการยึดติดกับกระจกหน้ารถเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 17-2 ให้ถ่ายวิดีโอของสิ่งที่ระบบได้รับรู้ในสถานที่และเวลาเดียวกันกับระบบที่กำลังทำงาน จากนั้นนำวิดีโอที่บันทึกได้มาเล่นกลับพร้อม ๆ กับวิดีโอจากโปรแกรม Screen Recorder เพื่อช่วยให้การนับค่าต่าง ๆ ใน Confusion Matrix แม่นยำขึ้น



ภาพที่ 17-2 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลของระบบฯ คู่กับอุปกรณ์ถ่ายวิดีโอซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งความจริงสำหรับเทียบอ้างอิง

ในการนับความผิดปกติที่ระบบจำแนกได้หรือไม่ได้นั้น คณะวิจัยถือความผิดปกติจริงเป็นหลัก โดยถ้าระบบมีการตรวจพบความผิดปกติที่จุดเดิมซ้ำ เช่น นับหลุมบนผิวจราจรขณะหยุดรถสัญญาณไฟจราจรจุดเดิมซ้ำ จะนับเป็นหนึ่งครั้งเท่านั้น

จากนั้นนำสถิติ True Positive (TP), False Positive (FP), และ False Negative (FN) ที่นับได้จากข้างต้นมาคำนวณหาค่าประเมินประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งค่าประเมินประสิทธิภาพของระบบที่คณะวิจัยสนใจมี 3 ค่า คือ

$$Accuracy = \frac{\text{ทายถูก}}{\text{ทายถูก} + \text{ทายผิด}} = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (17-1)$$

โดย

True Positive (TP) หมายถึง สิ่งที่ทำนาย ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง

False Positive (FP) หมายถึง สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น โดยทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง

False Negative (FN) หมายถึง สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่ที่เกิดขึ้นจริง โดยทำนายว่าไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

ซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์จาก

$$Accuracy = \frac{TP+T}{TP+TN+FN+FP} = \frac{TP+TN}{P+N} \quad (17-2)$$

และมีค่าเท่ากันเพราะ True Negative เป็นค่าสถิติที่นับไม่ได้ในบริบทนี้ เนื่องจากอยู่ในมิติที่ต่อเนื่อง (Continuous) ในขณะที่ค่าสถิติที่นับได้ในบริบทนี้อยู่ในมิติที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete) จึงไม่นำมาใช้

นอกจาก Accuracy แล้ว คณะวิจัยยังสนใจค่า Precision และ Sensitivity ด้วย โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$Precision = \frac{TP}{TP+F} \quad (17-3)$$

$$Recall \text{ หรือ Sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{TP}{P} \quad (17-4)$$

17.3 การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการตรวจจับความผิดปกติในพื้นที่เป้าหมาย

ทดสอบทำการทดสอบส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรในพื้นที่จริง โดยกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 พื้นที่ กล่าวคือพื้นที่ในเขตเมือง พื้นที่ในเขตชนบท และ พื้นที่ระหว่างเมือง โดยคณะวิจัยได้เลือกพื้นที่ตามเกณฑ์ดังกล่าว ดังนี้

- พื้นที่ในเขตเมือง ใช้ถนนต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร อย่างน้อย 10 กิโลเมตร
- พื้นที่ในเขตชนบท ใช้ถนนต่าง ๆ ในส่วนที่เป็นพื้นที่ชนบทของจังหวัดภูเก็ต อย่างน้อย 10 กิโลเมตร
- พื้นที่ระหว่างเมือง ใช้ถนนระหว่างเมือง สายพระราม 2 จากกรุงเทพมหานครไปจังหวัดสมุทรสงคราม อย่างน้อย 10 กิโลเมตร

17.3.1 พื้นที่ในเขตเมือง

ข้อมูลที่คณะวิจัยใช้ทดสอบประกอบด้วย 2 sessions รวมระยะทาง 10 กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 17-1

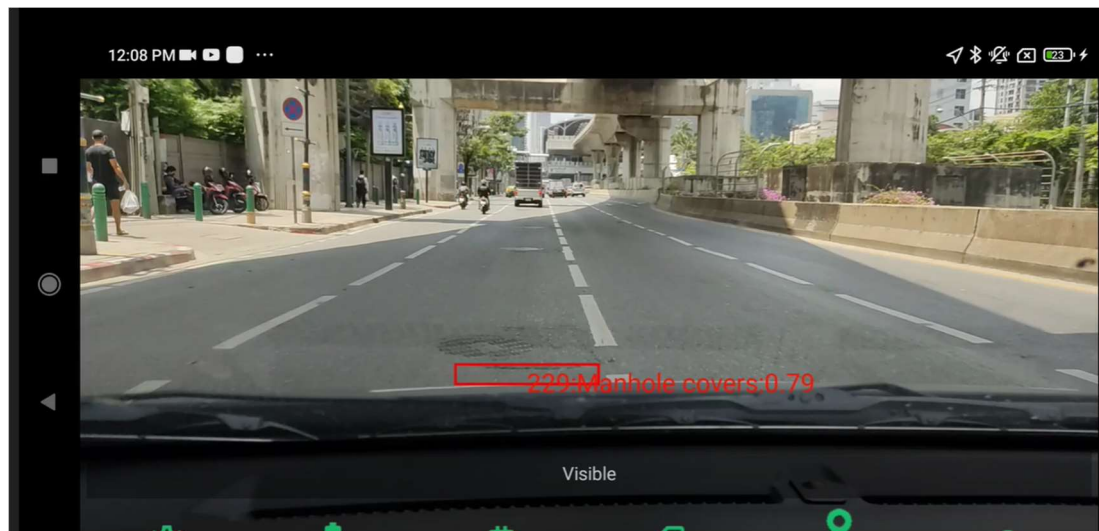
ตารางที่ 17-1 Sessions ในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตเมือง

| Session | วันที่เก็บข้อมูล | ถนน/พื้นที่ | ระยะทาง (กิโลเมตร) |
|---------|------------------|--------------|--------------------|
| 1 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนนราธิวาส | 2 |
| 2 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนเพชรเกษม | 4 |
| 3 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนกัลปพฤกษ์ | 4 |
| รวม | | | 10 |

จากข้อมูลการทดสอบระบบฯ ข้างต้น คณะวิจัยนับจำนวนความผิดปกติที่ระบบจำแนกได้หรือไม่ได้เป็นค่าสถิติ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 17-2 และตัวอย่างการตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนน แสดงดังภาพที่ 17-3

ตารางที่ 17-2 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตเมือง

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าสถิติ | True Positive | False Positive | False Negative |
|---|---------------|----------------|----------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 5 | 3 | 91 |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 1 | 0 | 48 |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 56 | 55 | 95 |
| รอยปูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 1 | 2 | 40 |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0 | 0 | 9 |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 63 | 60 | 283 |



ภาพที่ 17-3 การตรวจจับความผิดปกติบนผิวจราจรของถนนเพชรเกษม

จากค่าที่นับได้ข้างต้น คณะวิจัยคำนวณหาค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบ กล่าวคือ Accuracy, Precision, และ Sensitivity แสดงดังตารางที่ 17-3

ตารางที่ 17-3 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ ในพื้นที่ในเขตเมือง

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าชี้วัดประสิทธิภาพ | Accuracy | Precision | Sensitivity |
|---|---------------|---------------|---------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 5.05% | 62.50% | 5.21% |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 2.04% | 100.00% | 2.04% |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 27.18% | 50.45% | 37.09% |
| รอยปูถนนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 2.33% | 33.33% | 2.44% |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0.00% | N/A | 0.00% |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 15.52% | 51.22% | 18.21% |

17.3.2 พื้นที่ในเขตชนบท

ข้อมูลที่คณะวิจัยใช้ทดสอบประกอบด้วย 3 เส้นทาง รวมระยะทาง 15 กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 17-4

ตารางที่ 17-4 Sessions ในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตชนบท

| Session | วันที่เก็บข้อมูล | ถนน/พื้นที่ | ระยะทาง (กิโลเมตร) |
|------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนกะทู้-นาเกาะ (3030) | 10 |
| 2 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนบ้านบางป็น | 3 |
| 3 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนเหมืองเจ้าฟ้า (4010) | 2 |
| รวม | | | 15 |

จากข้อมูลการทดสอบระบบฯ ข้างต้น คณะวิจัยนับจำนวนความผิดปกติที่ระบบจำแนกได้หรือไม่ได้เป็นค่าสถิติ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 17-5 และตัวอย่างการตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนน แสดงดังภาพที่ 17-4

ตารางที่ 17-5 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ในเขตชนบท

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าสถิติ | True Positive | False Positive | False Negative |
|--|---------------|----------------|----------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 0 | 0 | 102 |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 1 | 15 | 110 |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 15 | 15 | 52 |
| รอยปูดนูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 0 | 0 | 37 |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0 | 0 | 32 |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 16 | 30 | 333 |



ภาพที่ 17-4 การตรวจจับความผิดปกติบนผิวจราจรของถนนกะทู้-นาเกาะ

จากค่าที่นับได้ข้างต้น คณะวิจัยคำนวณหาค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบ กล่าวคือ Accuracy, Precision, และ Sensitivity แสดงดังตารางที่ 17-6

ตารางที่ 17-6 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ ในพื้นที่ในเขตชนบท

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าชี้วัดประสิทธิภาพ | Accuracy | Precision | Sensitivity |
|---|--------------|---------------|--------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 0.00% | N/A | 0.00% |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 0.79% | 6.25% | 0.90% |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 18.29% | 50.00% | 22.39% |
| รอยปูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 0.00% | N/A | 0.00% |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0.00% | N/A | 0.00% |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 4.22% | 34.78% | 4.58% |

17.3.3 พื้นที่ระหว่างเมือง

ข้อมูลที่คณะวิจัยใช้ทดสอบประกอบด้วย 3 เส้นทาง รวมระยะทาง 20 กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 17-7

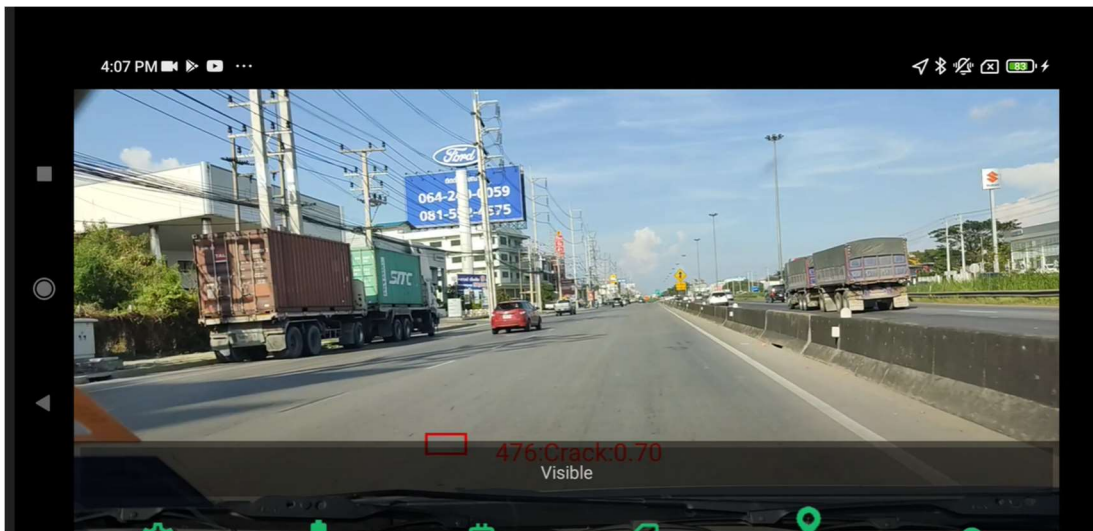
ตารางที่ 17-7 Sessions ในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ระหว่างเมือง

| Session | วันที่เก็บข้อมูล | ถนน/พื้นที่ | ระยะทาง (กิโลเมตร) |
|------------|------------------|---|--------------------|
| 1 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนพระราม 2 มุ่งหน้าตะวันตก | 7 |
| 2 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนพระราม 2 มุ่งหน้าตะวันออก | 9 |
| 3 | 24 มี.ค. 2565 | ถนนพระราม 2 มุ่งหน้าตะวันออก ช่วงมีการก่อสร้างทางยกระดับ | 4 |
| รวม | | | 20 |

จากข้อมูลการทดสอบระบบฯ ข้างต้น คณะวิจัยนับจำนวนความผิดปกติที่ระบบจำแนกได้หรือไม่ได้เป็นค่าสถิติ แสดงดังตารางที่ 17-8 และตัวอย่างการตรวจจับความผิดปกติบนผิวถนน แสดงดังภาพที่ 17-5

ตารางที่ 17-8 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ในพื้นที่ระหว่างเมือง

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าสถิติ | True Positive | False Positive | False Negative |
|--|---------------|----------------|----------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 12 | 9 | 135 |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 0 | 4 | 46 |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 6 | 75 | 14 |
| รอยปูดนูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 0 | 5 | 48 |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0 | 1 | 10 |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 18 | 94 | 253 |



ภาพที่ 17-5 การตรวจจับความผิดปกติบนผิวจราจรของถนนพระราม 2 มุ่งหน้าตะวันออก

จากค่าที่นับได้ข้างต้น คณะวิจัยคำนวณหาค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบ กล่าวคือ Accuracy, Precision, และ Sensitivity แสดงดังตารางที่ 17-9

ตารางที่ 17-9 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ ในพื้นที่ระหว่างเมือง

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าชี้วัดประสิทธิภาพ | Accuracy | Precision | Sensitivity |
|---|--------------|---------------|--------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 7.69% | 57.14% | 8.16% |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 6.32% | 7.41% | 30.00% |
| รอยปูคูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 4.93% | 16.07% | 6.64% |

17.3.4 ทุกพื้นที่รวมกัน

เมื่อนับค่าสถิติของทุกพื้นที่ทั้ง 3 ชำรงต้นรวมกัน แสดงดังตารางที่ 17-10 และ ตารางที่ 17-11

ตารางที่ 17-10 การนับค่าเพื่อวัดผลในการทดสอบระบบฯ ทุกพื้นที่รวมกัน

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าสถิติ | True Positive | False Positive | False Negative |
|---|---------------|----------------|----------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 17 | 12 | 328 |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 2 | 19 | 204 |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 77 | 145 | 161 |
| รอยปูคูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 1 | 7 | 125 |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0 | 1 | 51 |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 97 | 184 | 869 |

ตารางที่ 17-11 ค่าชี้วัดประสิทธิภาพของระบบฯ เฉลี่ยทุกพื้นที่รวมกัน

| ประเภทความผิดปกติ / ค่าชี้วัดประสิทธิภาพ | Accuracy | Precision | Sensitivity |
|---|--------------|---------------|---------------|
| รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) | 4.76% | 58.62% | 4.93% |
| หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) | 0.89% | 9.52% | 0.97% |
| ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) | 20.10% | 34.68% | 32.35% |
| รอยปูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) | 0.75% | 12.50% | 0.79% |
| ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration) | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| รวมทุกประเภทความผิดปกติ | 8.43% | 34.52% | 10.04% |

17.4 อภิปรายและสรุปผล

จากการนำต้นแบบระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ไปทดสอบทำการสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรในพื้นที่จริง เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบโดยองค์รวมทั้งระบบ หลังจากที่ได้บูรณาการองค์ประกอบย่อยแต่ละองค์ประกอบของระบบเข้าด้วยกันแล้ว ในพื้นที่เป้าหมายที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 พื้นที่ กล่าวคือพื้นที่ในเขตเมือง (กรุงเทพฯ) พื้นที่ในเขตชนบท (พื้นที่ชนบทในจังหวัดภูเก็ต) และ พื้นที่ระหว่างเมือง (ถนนพระราม 2 ระหว่างกรุงเทพฯ และจังหวัดสมุทรสงคราม) และในแต่ละพื้นที่แยกทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดปกติโดยแยกประเภทของความผิดปกติ 5 ประเภท กล่าวคือ

- รอยแตกในช่องทางจราจร (Crack)
- ความเสียหายตามขอบ (Edge Deterioration)
- หลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole)
- ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole)
- รอยปูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching)

จากนั้นนับความผิดพลาดที่ระบบจำแนกได้หรือไม่ได้เป็นค่าสถิติ True Positive (TP), False Positive (FP), และ False Negative (FN) และจากนั้นนำค่าสถิติที่นับได้จากข้างต้นมาคำนวณหาค่าประเมินประสิทธิภาพของระบบ กล่าวคือ Accuracy, Precision, และ Sensitivity นั้น พบข้อสังเกตพร้อมการอภิปรายดังต่อไปนี้

การใช้งานของระบบโดยรวมเป็นไปใกล้เคียงกับที่คาดหวัง โดยผู้ทดสอบใช้งานอุปกรณ์เก็บข้อมูลได้โดยง่าย เนื่องจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล เป็นแอปพลิเคชันแบบ Embedded บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งประกอบไปด้วยตัววัดค่าและกล้องคุณภาพดี ซึ่งบูรณาการกับหน่วยประมวลผล และหน่วยสื่อสารไว้อย่างดีแล้ว อีกทั้งตัวแอปพลิเคชันได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงประสบการณ์ของผู้ใช้งาน มีการแสดงผลการตรวจจับความผิดปกติประเภทต่างในเวลาจริง โดยมีการล่าช้าในการตรวจจับบ้างเนื่องจากพลังประมวลผลของอุปกรณ์ตรวจจับในงบประมาณที่กำหนดไว้มีสมรรถนะต่ำกว่าความต้องการทรัพยากรในสถานการณ์จริง อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ฯ ส่งข้อมูลขึ้นไปที่คลาวด์แพลตฟอร์มได้อย่างราบรื่นและครบถ้วน แม้ว่าบางช่วงจะไม่มีสัญญาณโทรศัพท์ก็ตาม

จากการทดลองใช้งานจริง พบว่าประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดปกติทั้ง 5 ประเภทต่ำกว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของตัวจำแนกก่อนการบูรณาการอย่างมีนัย คณะวิจัยคาดว่าสาเหตุดังนี้

1. ในการบูรณาการตัวจำแนกกับอุปกรณ์ต้นแบบเก็บข้อมูลนั้น จำเป็นต้องแปลงตัวจำแนกจากแบบจำลองตั้งต้น Yolo V5 ซึ่งพัฒนาบนสภาพแวดล้อมการทำงานของเฟรมเวิร์ค PyTorch ในภาษา Python ให้เป็นแบบจำลองที่มีขนาดเล็กที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่โดยใช้เฟรมเวิร์ค TensorFlow Lite สำหรับระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งคณะวิจัยมีสมมุติฐานว่าในขั้นตอนการแปลงแบบจำลองอาจจะมีส่วนทำให้ความแม่นยำของการทำงานของตัวจำแนกลดลงอย่างมีนัย

2. สมรรถภาพในการประมวลผลของโทรศัพท์ แอนดรอยด์ ที่ใช้ ซึ่งเป็นรุ่นในกลุ่มราคาปานกลาง อยู่ในระดับที่ประมวลผลภาพได้ด้วยความสะดวกน้อย ซึ่งถ้าเพิ่มความละเอียดของภาพที่ใช้ในการประมวลผล ก็อาจจะสามารถตรวจจับความผิดปกติได้ดีขึ้น

3. มีผลส่วนหนึ่งมาจากการที่ข้อมูลที่ใช้ในการสอนแบบจำลองมีความแตกต่างจากข้อมูลจริงที่แบบจำลองไม่เคยเห็นมาก่อน อย่างไรก็ตาม คณะวิจัยได้นำวีดิทัศน์ที่ถ่ายคู่กับอุปกรณ์เก็บข้อมูลมาป้อนกลับให้แบบจำลองตั้งต้น

Yolo V5 บนสภาพแวดล้อมการทำงานของเฟรมเวิร์ค PyTorch ในภาษา Python บนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง พบว่าค่า Accuracy อยู่ที่ร้อยละ 81.30, Precision อยู่ที่ร้อยละ 92.16, และ Sensitivity อยู่ที่ร้อยละ 81.30

และพบว่า จากการทดลองใช้งานจริง ประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดปกติทั้ง 5 ประเภท ต่างกันอย่างมาก โดยประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดปกติที่สูงสุดในประเภทฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole) แต่ประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดปกติประเภทอื่นยังต่ำกว่าประสิทธิภาพในการตรวจจับฝาท่อมาก อันเนื่องมาจาก จำนวนรูปที่ใช้ในการสอนแบบจำลองมีจำนวนและความหลากหลายไม่เท่ากันระหว่างความผิดปกติทั้ง 5 ประเภท เนื่องจากความผิดปกติประเภทต่างๆ เกิดขึ้นไม่เท่ากัน

ทั้งนี้ เหตุผลทั้งหมดข้างต้นมีเหตุหลักร่วมกันคือข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากรของโครงการนำร่อง เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป็นโครงการนำร่อง มีจุดมุ่งหมายในการสร้างต้นแบบระบบฯ เพื่อศึกษาแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาในการสำรวจความผิดปกติของผิวจราจร นำไปสู่การนำไปใช้งานจริงในที่สุด แต่ไม่ได้มีจุดมุ่งหมายโดยตรงเพื่อสร้างระบบที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ทันที เนื่องจากงบประมาณเป็นงบประมาณสำหรับโครงการนำร่องเท่านั้น

อย่างไรก็ดี ระบบต้นแบบดังกล่าวได้แสดงให้เห็นว่า หากมีเวลาและทรัพยากรเพียงพอที่จะเก็บและ label ข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในการสอนแบบจำลองมากขึ้น และพัฒนาวิธีแปลงตัวจำแนกจากแบบจำลองตั้งต้น ให้เป็นแบบจำลองที่มีขนาดเล็กสำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ และเพิ่มพลังประมวลผลของอุปกรณ์เก็บข้อมูล ก็จะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจจับของความผิดปกติใด ๆ ให้ถึงค่าขั้นต่ำที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ เพื่อการใช้งานจริงในอนาคต โดยอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมาจะเหมาะสมกับสภาพถนนที่มีความคล้ายคลึงกับถนนที่เลือกมาทดสอบในงานวิจัยนี้ กล่าวคือ เป็นถนนที่มีฝาท่อ แต่ยังไม่มียุคหลุมบ่อมากนัก โดยในอนาคตอาจจะต้องมีการเก็บข้อมูลถนนที่มีหลุมบ่อมากยิ่งขึ้น เพื่อให้แบบจำลองสามารถตรวจจับถนนที่มีความเสียหายประเภทหลุมบ่อได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้ เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานที่ว่าแนวทางการวิจัยสามารถนำไปสู่การนำไปใช้งานจริงในที่สุด ถ้าได้รับการสนับสนุนต่อไป คณะวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีที่ค้น และนำไปจำแนกด้วยตัวโมเดลอันเป็นผลงานของโครงการวิจัยนี้ บนสถาปัตยกรรมที่มีทรัพยากรเพียงพอ พบว่าความแม่นยำของตัวโมเดลอยู่ที่ 92% ซึ่งนับว่าอยู่

ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงเมื่อได้รับการต่อยอดที่เหมาะสม โดยมีข้อมูลที่เก็บและวิเคราะห์ได้ แสดงดัง ตารางที่ 17-12 และตารางที่ 17-13

ตารางที่ 17-12 Sessions ในการทดสอบระบบฯ บนสถาปัตยกรรมที่มีทรัพยากรณเพียงพอ

| Session | วันที่เก็บข้อมูล | ถนน/พื้นที่ | ระยะทาง (กิโลเมตร) |
|------------|------------------|--|-----------------------|
| 1 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนประชาอุทิศ | 0.3 |
| 2 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนเยาวราช | 0.7 |
| 3 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนเยาวราช | 1.9 |
| 4 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนเยาวราช/ถนนทุ่งคา | 0.9 |
| 5 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนดำรง/ถนนสุรินทร์ | 1.3 |
| 6 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนสุรินทร์ | 0.6 |
| 7 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนอนุภาษฎีเกิดการ | 0.55 |
| 8 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนศรีเสนา | 0.5 |
| 9 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนอำเภอ/ถนนนริศร | 1.6 |
| 10 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนสุทัศน์ | 0.3 |
| 11 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนดำรง/ถนนทุ่งคา | 0.9 |
| 12 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนแม่หลวน | 0.45 |
| 13 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนเฉลิมพระเกียรติรัชกาลที่ 9/ถนนพระ ภูเกิดแก้ว | 3.1 |
| 14 | 29 กรกฎาคม 2565 | ถนนวิจิตรสงคราม | 1.3 |
| รวม | | | 14.4 |

ตารางที่ 17-13 การวัดค่า Accuracy ของตัวโมเดลบนสถาปัตยกรรมที่มีทรัพยากรเพียงพอ

| วิดีโอ | True Positive | False Positive | False Negative | True Negative |
|------------------------------|--|----------------|----------------|---------------|
| session-1642817347.mp4 | 23 | 4 | 2 | 71 |
| session-1658884518.mp4 | 80 | 13 | 5 | 148 |
| session-1658884657.mp4 | 149 | 2 | 24 | 280 |
| session-1658884909.mp4 | 67 | 2 | 8 | 82 |
| session-1658885076.mp4 | 107 | 10 | 15 | 181 |
| session-1658885314.mp4 | 158 | 3 | 6 | 81 |
| session-1658885427.mp4 | 34 | 2 | 16 | 92 |
| session-1658886696.mp4 | 23 | 2 | 9 | 46 |
| session-1658886831.mp4 | 130 | 2 | 15 | 172 |
| session-1658887078.mp4 | 10 | 0 | 2 | 10 |
| session-1658887123.mp4 | 64 | 2 | 5 | 72 |
| session-1658887311.mp4 | 48 | 2 | 6 | 46 |
| session-1658892215.mp4 | 128 | 4 | 21 | 24 |
| session-1658892585.mp4 | 136 | 2 | 26 | 89 |
| รวม | 1021 | 50 | 160 | 1394 |
| Accuracy รวมทุกวิดีโอ | $(TP+TN)/(TP+FP+FN+TN) = 92.0\%$ | | | |

นอกจากนี้ การนำต้นแบบระบบฯ ไปทดสอบในพื้นที่จริง ทำให้คณะวิจัยได้พบว่ามีปัจจัยจากสภาพแวดล้อมหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อประสิทธิภาพของระบบ ทั้งที่ได้คาดหมายมาก่อนและที่ไม่ได้คาดหมายมาก่อน กล่าวคือ

1. ความเร็วของยานพาหนะ โดยคณะวิจัยคาดว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงภายใต้ความเร็วไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น แต่ในการทดสอบจริงพบว่าระบบยังมีประสิทธิภาพสูงอยู่จนกระทั่งความเร็วถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อความเร็วมากกว่านั้นการตรวจจับจะมีประสิทธิภาพต่ำลง

2. สภาพอากาศ เช่น ถ้าเกิดฝนตก จะทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทำให้การตรวจจับจะมีประสิทธิภาพต่ำลง
3. เวลา โดยเวลากลางวันเป็นเวลาที่การตรวจจับจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากมีแสงสว่างพอเพียงแก่การประมวลผลของแบบจำลอง
4. แสงสะท้อนจากกระจกหน้ารถ ซึ่งทำให้เห็นวัตถุบางอย่างอยู่ตลอดเวลาที่อาจรบกวนการตรวจจับ อาทิ ที่ปัดน้ำฝน ฝาปิดห้องเครื่อง ทำให้ภาพบิดเบือน และแบบจำลองตรวจจับผิดพลาดได้

17.5 แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นจะเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่จะช่วยเสริมการรายงานความเสียหายของผิวทาง เพื่อให้ตอบโจทยตามความต้องการของหน่วยงานแล้วนั้น แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นควรจะเน้นไปที่ false negative (มีหลุมบ่อจริง แต่ตรวจไม่พบ) มากกว่า false positive (ไม่มีหลุมบ่อ แต่แจ้งเตือนว่ามีหลุมบ่อ) ซึ่งแบบจำลองในปัจจุบัน ได้ถูกพัฒนาขึ้นตามความต้องการของหน่วยงานแล้ว และแนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคตสำหรับระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับนำไปใช้จริง อาทิ

- เพิ่มประเภท และ/หรือ แบ่งกลุ่มความผิดปกติที่สนใจแบบใหม่
- เพิ่มจำนวนรูปและความหลากหลายที่ใช้ในการสอนแบบจำลอง ในประเภทความผิดปกติที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อให้ระบบฯ สามารถตรวจจับความผิดปกติประเภทที่ต้องการ ได้ด้วยประสิทธิภาพสูงขึ้น
- ทดลองวิธีสอนตัวจำแนกให้เรียนรู้การตรวจจับความผิดปกติด้วยวิธีอื่นๆ เช่น Segmentation ที่อาจจะเหมาะกับการ ตรวจจับความผิดปกติบางประเภทมากกว่าวิธีที่ใช้อยู่
- ทำการทดลองเพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับโมเดลตัวจำแนก จากปัจจุบันที่ขนาด 320 x 320 pixels เป็น 1920 x 1080 pixels เพื่อให้ได้ความแม่นยำของการตรวจจับและการจำแนกที่สูงขึ้น
- ทำการทดลองเพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์สำหรับการแปลงโมเดลตัวจำแนกให้อยู่ในรูปแบบ TensorFlow Lite ให้มีความแม่นยำใกล้เคียงกับโมเดลตัวจำแนกต้นฉบับให้มากที่สุด และปรับแต่งเพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานบนอุปกรณ์เก็บข้อมูลให้สูงขึ้น

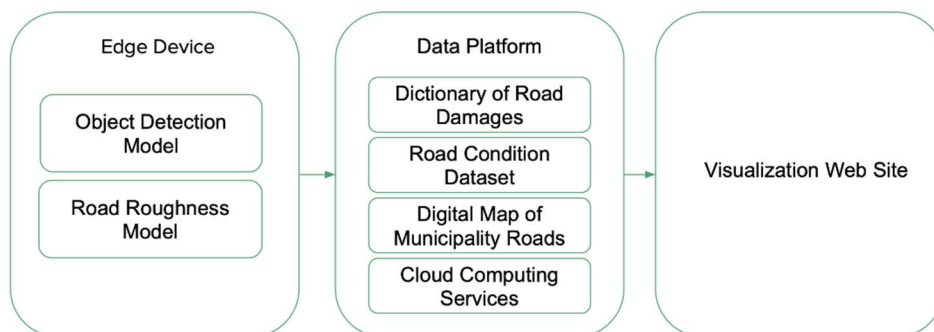
- ทดลองจัดกลุ่มการตรวจจับและแยกแยะความผิดปกติประเภทต่าง ๆ จากที่อยู่ในตัวจำแนกตัวเดียวกัน ให้อยู่ในตัวจำแนกหลายตัวซึ่งปฏิบัติการคู่ขนานกันในอุปกรณ์ตรวจจับ (Edge Device)
- ทดลองใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ใช้ประโยชน์จากระบบประมวลผลแบบคู่ขนานมากขึ้น ซึ่งเหมาะสมกับการประมวลผลเพื่อตรวจจับความผิดปกติโดย Machine Learning
- เพิ่มการควบคุมความเร็วในการเปิด/ปิดรับแสงของกล้อง เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพที่ได้
- เพิ่มการควบคุมอัตราเก็บข้อมูล (Sampling Rate) ให้แปรผันไปกับความเร็วของยานพาหนะ เช่น การเก็บข้อมูลให้ถี่ขึ้น เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่เร็วขึ้น
- ทดลองใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลในมิติที่เพิ่มขึ้น เช่น LIDAR และ Stereo Camera
- พัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับ (Edge Device) แบบเฉพาะทาง ให้มีต้นทุนต่ำลง

บทที่ 18 สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ

18.1 ภาพรวมของโครงการ

ในโครงการนี้ ทางคณะวิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT เพื่อใช้คัดกรองสภาพพื้นผิวถนนที่มีความเสียหาย โดยระบบประกอบไปด้วย 7 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 18-1 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. Machine Learning Models - Machine Learning Models ที่ได้รับการฝึกฝนเพื่อใช้ในหน่วยคำนวณแบบเคลื่อนที่ในรถยนต์เพื่อตรวจจับและรายงานสภาพถนนและสิ่งผิดปกติ
2. Dictionary of Road Damages - ชุดคลาสความเสียหายทางถนนที่กำหนดไว้ ซึ่งโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจะได้รับการฝึกให้ตรวจจับเมื่อมีสิ่งผิดปกติดังกล่าวปรากฏขึ้น
3. Road Condition Dataset - ชุดข้อมูลสภาพถนนที่รวบรวมไว้สำหรับฝึกโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง
4. Edge Device - อุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่างที่เชื่อมต่อกับยานพาหนะและส่งรายงานไปยังคลาวด์เมื่อตรวจพบความเสียหายบนท้องถนน
5. Digital Map of Municipality Roads - แผนที่ดิจิทัลของเครือข่ายถนนซึ่งตำแหน่ง GPS ของความเสียหายที่รายงานจะสัมพันธ์กัน เพื่อกำหนดส่วนถนนและองค์กรบำรุงรักษาถนนที่เหมาะสม
6. Cloud Computing Services - ศูนย์ประมวลผลข้อมูลในระบบคลาวด์สำหรับรับรายงานจากอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลตัวอย่าง และส่งต่อข้อมูลไปยัง Dashboard Website ของเทศบาล
7. Dashboard Website – เลเยอร์การนำเสนอสำหรับแต่ละเขตเทศบาลเพื่อดูความเสียหายที่รายงานและจัดการข้อมูลที่ได้รับเพื่อให้สามารถซ่อมแซมถนนได้



ภาพที่ 18-1 ภาพรวมของระบบ

การทำงานของระบบทั้ง 7 ส่วนมีดังนี้

- ยานพาหนะที่ติดตั้ง Edge Device ทำการเก็บข้อมูลและประมวลผลภายในอุปกรณ์
- เมื่อ Edge Device ตรวจพบความผิดปกติบนพื้นถนน อุปกรณ์จะส่งรายละเอียดความผิดปกติ ภาพถ่าย และพิกัดไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ผ่านเครือข่ายสื่อสารแบบ 4G
- ระบบส่วนกลางทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้จาก Edge Device หลายแหล่ง
- ระบบ Visualization Website จะแสดงผลให้เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบถนน เพื่อตรวจสอบและทำการแก้ไขต่อไป

ในระหว่างการทำเนิโครงการ คณะวิจัยมีขั้นตอนในการพัฒนาระบบฯ ดังนี้

- การเก็บข้อมูลผู้ใช้งาน ทางคณะวิจัยได้เก็บข้อมูลกระบวนการตรวจสอบและบำรุงรักษาผิวทาง ด้วยการสัมภาษณ์และจากเอกสาร รายงานต่าง ๆ โดยหน่วยงานที่ได้เข้าไปสัมภาษณ์เพื่อเก็บข้อมูล ได้แก่ 1) ศูนย์ก่อสร้างและบูรณาการถนน กรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร 2) สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท 3) เทศบาลเมืองแสนสุข จังหวัดชลบุรี 4) สำนักงานบริหารเทศบาลเมืองปาดอง จังหวัดภูเก็ต และ 5) ฝ่ายกองช่าง เทศบาลนครภูเก็ต
- การออกแบบและพัฒนา Edge Device ทางคณะวิจัยได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับเก็บข้อมูลในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจะใช้ข้อมูลจากกล้องของโทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการเก็บข้อมูลภาพความผิดปกติของถนน
- การสร้างแบบจำลอง Convolutional Neural Network เริ่มจากการเก็บข้อมูลสภาพผิวถนนที่จังหวัดจังหวัดกรุงเทพมหานคร จังหวัดภูเก็ต จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยองและจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีความยาวถนนรวม 1,118.13 กม. จากนั้น ได้นำข้อมูลวิดีโอมาถอดข้อมูลโดยแยกตามประเภทของสิ่งที่เราสนใจ มี 5 ประเภท ได้แก่ รอยแตก (Crack) หลุมบ่อ (Pothole) รอยแตกกริมถนน (Edge deterioration) รอยปะ (Patching) และฝาที่ระบบสาธารณูปโภค (Manhole) รวมทั้งสิ้น 32,929 ตัวอย่าง
- การสร้างแบบจำลอง International Roughness Index (IRI) ทางคณะวิจัยได้เก็บข้อมูลร่วมกับรถสำรวจผิวทางของ 3 หน่วยงาน ได้แก่ 1) สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง 2) สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง และ 3) สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท ในพื้นที่จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา และระยอง รวมข้อมูลทั้งสิ้น 436 กม. เพื่อนำเอาข้อมูลจาก Accelerometer ไปใช้ในการประมาณค่า IRI
- การพัฒนาระบบประมวลผลแบบ Cloud แพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล (Data Platform) ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ Edge Device จากนั้นทำการประมวลผลข้อมูล เพื่อเตรียมให้บริการเมื่อเว็บไซต์แสดงผลเรียกใช้ข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้

- การทดสอบระบบฯ ทางคณะวิจัยได้ทำการวิ่งสำรวจด้วยอุปกรณ์ Edge Device ที่พัฒนาขึ้นในโครงการ บน 3 พื้นที่หลัก ได้แก่ พื้นที่ในเขตเมือง โดยใช้ถนนในจังหวัดกรุงเทพมหานคร พื้นที่ในเขตชนบท โดยใช้ถนนในส่วนที่เป็นพื้นที่ชนบทของจังหวัดภูเก็ต และพื้นที่ระหว่างเมือง โดยใช้ถนนระหว่างเมือง สายพระราม 2 จากกรุงเทพมหานครไปจังหวัดสมุทรสงคราม รวมเป็นระยะทาง 45 กม.

ในการใช้งานระบบโดยรวมนั้นใกล้เคียงกับที่คาดไว้ โดยที่แบบจำลองนี้สามารถทำงานบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์ แต่การตรวจจับบางอย่างอาจล่าช้าเนื่องจากกำลังประมวลผลของเครื่องตรวจจับ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์อย่างราบรื่นและสมบูรณ์ แม้ว่าจะไม่มีสัญญาณโทรศัพท์ในบางช่วงเวลา และด้วยการปรับปรุงเซ็นเซอร์และชิปประมวลผลภายในสมาร์ตโฟนอย่างรวดเร็ว ทำให้ประสิทธิภาพของโมเดลสามารถปรับปรุงได้ในอนาคต

18.2 การนำไปใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันนั้นการตรวจสอบความเสียหายหรือความผิดปกติบนผิวจราจรนั้น ไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดโดยตรง แต่สามารถได้รับข้อมูลโดย 2 วิธี คือ 1. การรายงานความเสียหายหรือความผิดปกติโดยตรงจากผู้ขับขี่ถนน และ 2. การเก็บข้อมูลการสำรวจค่าดัชนีความเรียบของผิวจราจรของกรมทางหลวง ซึ่งวิธีการเก็บข้อมูลสำรวจนี้ ต้องใช้งบประมาณในการเก็บข้อมูล จำนวน 30 ล้านบาทต่อปี โดยหากเฉลี่ยค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลต่อกิโลเมตรแล้วนั้น จะมีค่าใช้จ่าย 577 บาทต่อกิโลเมตร ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง

ด้วยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นผิวที่สามารถใช้งานได้บนสมาร์ตโฟนทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้จะช่วยลดต้นทุนในการเก็บข้อมูลความเสียหายหรือความผิดปกติดังกล่าวได้ โดยค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลความเสียหายและความผิดปกติของอุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น มีค่าใช้จ่ายประมาณ 300 บาทต่อกิโลเมตร และอาจลดลงได้อีกเมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้น จึงทำให้ในอนาคตหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลลงได้ และนอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังสามารถทำงานได้แบบเรียลไทม์ทำให้หน่วยงานต่าง ๆ สามารถเข้าตรวจสอบและซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอีกด้วย

18.3 สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการดำเนินงานวิจัย

ทางคณะวิจัยได้สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากการดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาาระบบระบบสอดส่องคุณภาพผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT ดังนี้

18.3.1 การออกแบบ พัฒนา และทดสอบแพลตฟอร์มสำหรับรวบรวมข้อมูล

คุณภาพของพิกัดอ้างอิงจากข้อมูล GPS จากอุปกรณ์ภาคสนามกับเส้นถนนในฐานะข้อมูลแผนที่พื้นฐาน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องกับแผนที่และพิกัดจริงวัดของเส้นถนนที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของแต่ละหน่วยงานที่จะนำข้อมูลไปใช้งาน และการประมวลผลข้อมูล GPS บนคลาวด์มีความสะดวกเพราะเป็นการรวบรวมความต้องการประมวลข้อมูลไว้ที่เดียวกัน อย่างไรก็ตาม ความสะดวกสบายของชุดข้อมูลที่ระบบประกอบเป็นสารสนเทศสำหรับจัดเก็บในคลังข้อมูลเพื่อนำไปใช้ให้บริการแปรผันตรงกับความสะดวกสบายถูกต้องของฐานข้อมูลเส้นถนนที่ใช้ข้อมูลแผนที่พื้นฐาน และคุณภาพของข้อมูลเชิงตำแหน่งจากอุปกรณ์ภาคสนาม

การใช้บริการคลาวด์ มีความคล่องตัวสูงในการ จัดหาและจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็น โดยเฉพาะการสร้างระบบเครือข่ายการจัดให้มีพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและทรัพยากรคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสำหรับประมวลผลข้อมูลและทรัพยากรคลาวด์ที่มีการใช้บริการอยู่จำเป็นต้องมีการควบคุมและเฝ้าติดตาม เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายรายเดือนซึ่งกระทบงบประมาณที่ได้รับจัดสรรโดยตรง

สถาปัตยกรรมคลาวด์ของโครงการวิจัยนี้ใช้ หลักการสื่อสารที่มุ่งเน้นการกระจายข้อมูลดิจิทัลสู่พื้นที่ คือ ให้บริการสารสนเทศที่ประมวลผลแล้วแก่เจ้าหน้าที่ ประจำท้องถิ่นและใช้การรับเข้าข้อมูลดิบจากพื้นที่เป้าหมายโดยตรง โดยปริมาณการใช้ข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานที่ เกิดขึ้นแปรผันตามปริมาณการใช้งานระบบ ดังนั้นคุณภาพของบริการโทรคมนาคมในแต่ละท้องถิ่นจึงมีผลกระทบ ต่อความสามารถในการทำงานของระบบนี้โดยตรง

18.3.2 การเตรียมความพร้อมของข้อมูลภาพ

เนื่องจากโทรศัพท์มือถือที่มีการติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับเก็บข้อมูล (Smooth street recorder) ต้องมีการยึดอุปกรณ์ให้แน่นเพื่อป้องกันสั่นของกล้อง ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้และจำนวนภาพที่ใช้ในการแยกข้อมูลวิดีโอเป็นภาพนั้นอยู่ที่ 10 ภาพต่อวินาที เนื่องจากภาพจะไม่ซ้ำจนเกินไป และเมื่อนำไปใช้ในการตรวจจับก็สามารถตรวจจับได้ เพื่อลดการประมวลผลของภาพที่มากจนเกินไป

18.3.3 การกำหนดความผิดปกติบนผิวถนนที่สนใจ

ในงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ถึงความผิดปกติที่สนใจ จำนวน 5 ความผิดปกติโดยมีการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ ประเภทความเสียหายในด้านโครงสร้าง (Structure Failure) ประกอบด้วย (i) ความเสียหายชนิดหลุมบ่อบนผิวถนน (Pot Hole) (ii) ความเสียหายชนิดรอยแตกในช่องทางจราจร (Crack) และ (iii) ความเสียหายตามขอบถนน (Edge Deterioration) และความเสียหายในด้านการใช้งาน (Functional Failure) ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานถนน ในด้านความสะดวกสบายและความปลอดภัย ได้แก่ (iv) รอยปูดนูนหรืองานปะซ่อมผิวทาง (Shoving or Patching) และ (v) ฝาท่อระบายน้ำที่อยู่ในช่องทางจราจร (Manhole)

18.3.4 การวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา และประเมินผลตัวจำแนก Machine Learning สำหรับการจำแนกประเภทความผิดปกติจากรูปภาพ

เนื่องจากข้อมูลภาพที่ใช้ในการสร้างโมเดลเพื่อตรวจจับความผิดปกตินั้นมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการลาเบลความผิดปกติ (กำหนดพื้นที่ความผิดปกติในภาพ) จึงต้องมีการดำเนินงานโดยใช้เทคนิค Cloud Sourcing คือช่วยดำเนินงานโดยผู้ใช้หลายคน ซึ่งมีแอปพลิเคชันที่เหมาะสมได้แก่ Laberu (www.laberu.tech) และเนื่องจากการดำเนินงานโดยผู้ใช้หลายคน จึงต้องมีการจัดทำแนวทางในการลาเบลและชี้แจงให้กับผู้ดำเนินการทุกคน

ในการสร้างโมเดลสำหรับการดำเนินการตรวจจับความผิดปกติ (object detection) บนผิวจราจรนี้ ซึ่งจะใช้การเรียนรู้เชิงลึกในเทคโนโลยี Transfer Learning ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้กระบวนการ Transfer Learning หลายเทคนิคด้วยกันเช่น YOLO V3, YOLO V4, YOLO V5 เป็นต้น ซึ่งจากการวิจัยพบว่า YOLO V5 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ในการสร้างโมเดลมีการทดลองปรับรูปแบบภาพ Input ก่อนที่จะนำไปสร้างโมเดลหลากหลาย เช่น การปรับขนาด การตัดเฉพาะส่วนของภาพ ซึ่งพบว่า ภาพขนาด 1920x1920 พิกเซล และไม่มีการตัดส่วนของภาพให้ประสิทธิภาพของการตรวจจับดีที่สุด

18.4 สรุปผลผลิตที่ได้จากโครงการ

18.4.1 การดึงค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ภายในสมาร์ทโฟนมาเพื่อใช้ตรวจจับสภาพผิดปกติของผิวถนน

งานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจความผิดปกติของผิวจราจร โดยมีการพัฒนาในรูปแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่ดึงข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ได้แก่ กล้องถ่ายภาพวิดีโอ, GPS เซ็นเซอร์ และเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร่งแบบ 3 แกน เพื่อนำข้อมูลมาจากเซ็นเซอร์เหล่านี้มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้น โดยมีการแปลงโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้งานในสมาร์ทโฟนได้โดยใช้ TensorFlow เฟรมเวิร์คและพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนโดยใช้ React Native

18.4.2 การประมวลผลภาพความเสียหายของพื้นผิวถนนแบบอัตโนมัติ ด้วยวิธี CNN

ในงานวิจัยนี้ข้อมูลที่รับเป็นข้อมูลวิดีโอ ที่ถือว่าเป็นข้อมูลแบบ Unstructured Data ดังนั้นในการตรวจจับความเสียหายบนพื้นผิวถนน จึงได้นำเทคนิคการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) มาใช้ โดยมีการนำเครือข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Networks: CNNs) ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ของเครื่อง ที่สามารถใช้เพื่อพัฒนาโมเดลสำหรับตรวจจับวัตถุได้

สำหรับสถาปัตยกรรม CNNs ที่ใช้ในงานนี้คือ YOLO (You Only Look Once) ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานกับการจำแนกความเสียหายของพื้นผิวถนนได้

18.4.3 Cloud platform แพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูล

การทดสอบระบบเบื้องต้นภายในโครงการระยะแรกและประสบการณ์จากการพัฒนาระบบต้นแบบนี้ ทำให้ทีมนักวิจัยได้ทราบถึงขีดความสามารถ ข้อจำกัด และโครงสร้างสถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศที่เหมาะสม สำหรับการประมวลผลข้อมูล ในรูปแบบและเพื่อวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังที่ได้กล่าวมา

ระบบต้นแบบที่งานวิจัยนี้ได้มีพัฒนาขึ้นสามารถให้บริการการเชื่อมต่อและประมวลผลข้อมูลสำหรับระบบงานฝึกสอนตัวจำแนกและระบบงานคลังข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ภาพความเสียหายของพื้นผิวถนนและฐานข้อมูลความเสียหายที่ตรวจพบโดยการใช้สมาร์ตโฟน

โดยคณะวิจัยได้วางแผนและออกแบบขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าว พร้อมกับพัฒนาและทดสอบกรรมวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อฝึกสอนตัวจำแนกและการรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคสนามเพื่อการรายงานผลการตรวจพบความผิดปกติบนท้องถนน ซึ่งระบบต้นแบบนี้ทำงานโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์ หรือ การประมวลผลบนกลุ่มเมฆ ของผู้ให้บริการ Google Cloud Platform

ระบบต้นแบบมีความสามารถในการรองรับการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการฝึกสอนตัวจำแนก และความสามารถในการจัดการข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคสนามเพื่อนำสารสนเทศไปรายงานบนเว็บไซต์แสดงผลสำหรับหน่วยงานผู้ใช้ข้อมูล โดยสามารถปรับแต่งสารสนเทศให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและเหมาะแก่การนำไปใช้ดำเนินการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของเมืองอัจฉริยะ

อย่างไรก็ตามระบบต้นแบบนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดและแนวทางการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีคลาวด์ในงานบูรณาการข้อมูลแบบครบวงจร ในขอบเขตพื้นที่ที่กำหนดขึ้นโดยเฉพาะสำหรับการทดสอบประเมินผลระบบและความหลากหลายของข้อมูลที่จำกัดในกรอบของโครงการนี้เท่านั้น

18.4.4 Visualization tool

ทางคณะวิจัยได้นำเสนอการวิเคราะห์สภาพผิวจราจรในรูปแบบของเว็บไซต์ โดยมีการคำนึงถึงบริบทของการใช้งาน ลักษณะของปัญหา รวมถึงความรู้ ความสามารถและพฤติกรรมของผู้ใช้ เพื่อให้การออกแบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในปัจจุบัน โดยข้อมูลที่แสดงผลบนเว็บไซต์นั้น ประกอบด้วยข้อมูลที่ เป็นประโยชน์ต่อการทำงานของหน่วยงานที่เข้าถึงการใช้งาน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ในความดูแลของแต่ละหน่วยงาน ข้อมูลรายงานความผิดปกติของถนนในแต่ละเส้น รายงานการซ่อมบำรุง ประวัติการแก้ไขงานซ่อมบำรุง

รวมถึงข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้งาน เพื่อให้เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานท้องถิ่นสามารถเข้าถึงและบริหารจัดการข้อมูลเกี่ยวกับสภาพและความจำเป็นในการซ่อมบำรุงสายทางในความรับผิดชอบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ภาคผนวก
บทความวิชาการ

Road Surface Monitoring System using smartphones: A Crowdsourcing Approach

Saroch Boonsiripant¹, Kwankamon Dittakan², Korawit Prutsachainimmit², Choedpong

Khannabha, Chayapan Khannabha, Kann Vearasilp

¹Department of Civil Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

²College of Computing, Prince of Songkla University, Phuket, Thailand

Abstract

Road surface damages affect the driving comfort of road users as well as road safety. Early detection of cracks, potholes, and uneven pavements not only can save lives but also reduce maintenance costs. However, monitoring the whole road network is a daunting task for road authorities, especially for municipalities with limited resources and expertise. Consequently, local authorities often rely on road damage reports from local residents, which might not cover the whole jurisdiction. With a high smartphone adoption and rapid improvement in sensor technology, smartphone can be used to crowdsource relevant data and detect anomalies automatically. In this study, we developed a novel road surface monitoring system using smartphone data. The system comprises seven main components including machine learning models, dictionary of road damages, road condition dataset, edge device, digital map of municipality roads, cloud computing services, and dashboard website. More than 30,000 pictures were used to train the deep learning-based road damage detection models. There are 5 types of damage such as crack, edge deterioration, pot hole, manhole, and shoving or patching. The models were installed in the smartphone. The users were required to turn on the phone camera for the real-time detection and classification. The results were then sent to the cloud server where it processes data from multiple smartphones and visualize the damage locations and details on the user terminal. The results showed that the crowdsourcing approach has its potential in automating the road surface monitoring task for the road authorities and municipalities.

Keywords: Road maintenance, Deep learning, Crowdsourcing

1. Introduction

Road surface damages affect the driving comfort of road users as well as road safety. Early detection of cracks, potholes, and uneven pavements not only can save lives but also save the maintenance budget. However, monitoring the whole road network is a daunting task for road authorities, especially for municipalities with limited resources and expertise. Consequently, local authorities often rely on road damage reports from local residents, which might not cover the whole jurisdiction. With a high smartphone adoption and rapid improvement in sensor technology, smartphone can be used to crowdsource relevant data and detect anomalies automatically. The objective of this study is to develop a novel road surface monitoring system based on individual's smartphones.

2. Previous Studies

2.1. Technology for road anomaly detection

In the past few years, the technology for road anomaly detection has become more versatile. CHEN et al. [1] detected a road anomaly by learning scale-invariant features from crowdsourcing-based acceleration data. Wirthmueller et al. [2] detect potholes and report them to a centralized back-end application. Ishimwe et al. design a system that will accurately predict road damages using a smartphone . Data collection, data pre-processing, model training and optimization, and evaluation of results and they collected 3039 images and used 80% of them to train the model, 10% for validation, and 10% for testing. As a result, they achieved a Mean Average Precision (mAP) of 0.85 over 30 epochs [3].

2.2. Road damage detection using image processing

Over the last few years, many advanced technology have lower cost such as image processing, artificial intelligence, wireless sensor, communication system, etc. Image processing was used to detect road damage. Sulistyowati et al. One study [4] used the edge detection in digital image processing to detect potholes on the roads by testing at different times and and type of roads. Gajjar et al. [5] established a real-time pothole detection system integrated with a cloud and maps service. can be created to allow drivers to avoid potholes. Ale et al. [6] leveraged deep learning models to analyze the road images to detect road damages efficiently and trained and tested several one-stage models. It was found that a fast model called RetinaNet can detect road damages with relatively high accuracy.

2.3. Road damage detection using smartphones

Currently advances in technology, it is feasible to conveniently monitor urban roads using various cameras [7]. A camera in smartphone was used to detect road damage. Maeda et al [8] install smartphone on a car. It is mounted on the dashboard of a general passenger car. The road damage was collected 9,053 image capture, with 15,435 instance of road surface. The photographed image of 600 x 600 pixel once per second because it is without leakage or duplicate while traveling on the road. Alfarrarjeh et al. [7] using smartphone images crowdsourced by city crews or the public and developed an image-based solution for monitoring urban streets. Our solution uses YOLO for training a model to detect various types of road damages as distinguishable objects in the analyzed images.

3. Overall system framework

This research aims to develop a proof-of-concept system of an ICT solution for municipalities in Thailand to monitor its road condition and detect damages with machine learning technology that will help automate maintenance reporting and increase information awareness for the parties involved. The main idea is to use in-vehicle mobile computing unit and its sensors to capture the road condition data, which is the ground truth, for each moment the vehicle is traveling on the road and report any detected irregularities to the cloud-based data processing center so that this information can be forwarded to the responsible organization via the presentation layer in form of a dashboard web site.

With this general statement, the overall scope of the system would seem too broad and deep, however in this phase of the research we focus on several key elements to only prove that our solution can be realized and able to put to use in a real world environment. Several key essential elements and enabling technologies for the proposed system are identified here:

1. Machine Learning Models - the trained machine learning models for use in the in-vehicle mobile computing unit to detect and report road conditions and irregularities.
2. Dictionary of Road Damages - a well-defined set of road damage classes for which a machine learning model will be trained to detect when such abnormalities appear.
3. Road Condition Dataset - a curated set of road condition data for training the machine learning models.
4. Edge Device - the edge computing units that attach to vehicles and send reports to the cloud when road damages are detected.
5. Digital Map of Municipality Roads - a digital map of road network for which the GPS locations of the reported damage will be correlated against in order to determine the road segment and the appropriate maintenance organization of that road.

6. Cloud Computing Services - the data processing center in the cloud for receiving reports from edge devices and forwarding the information to the dashboard website for the municipalities.
7. Dashboard Website - the presentation layer for each municipality to view the reported damages and manage the information received so that its road can be repaired.

To train the machine learning classifier, sample data of road condition from field trips across the country are recorded and form the dataset for machine learning models development. Two models for deploying in edge devices were created. The first model uses video data for road pavement damage detection using object detection technique, the second model uses signal processing and the device's accelerometer output to detect bumpiness of the road.

Our project is specifically developed for the road infrastructure of Thailand and there are two main types of road pavement construction methods: concrete or asphalt. Among these two pavement construction methods, the maintenance handbook from the Department of Highway defines 24 damage types for which can be grouped into four classes. These four classes are the target classes to train the multi-class classifier machine learning model using object detection technique.

After determining the condition of the road the vehicle is traveling through and finding irregularities to report, the location of the damage or irregularities found need to be established so that the information is complete for use by the responsible road maintenance organization. For this purpose a digital map of the road network belonging to the municipality is needed in order to check whether the damage found on the road surface belongs to which road and which organization is responsible for repairing it. The digital map of the road network for each municipality also provides essential information for the dashboard presentation. With each road segment data available in digital format the statistics for each segment and for a group of segments under the same organization are also compiled for reporting.

To implement a machine learning system for a real-world use case, we adopt a single-shot learning approach with continuous improvement in the software stack to incrementally improve the performance of the production system. Initially, the system is put together by using a centralized cloud computing service to allow for network connectivity for all related components. The format of the data and the types of information needed for realizing the targeted system are then gradually shaped during the project in order to achieve the end goal. The result is a working prototype with software artifacts, process documentation, and data types

specification that provide a reference architecture for future projects or similar systems.

4. Data

4.1. Data collection

This sub-section presents the detail of data collection process with respect to the work presented in this paper. As aforementioned, the aim of this research is to develop the artificial intelligence models in order to detect the road damage conditions. There are two main data used in this research (i) video data, and (ii) sensor data. The video and sensor data were collected using a camera and accelerometer mounted on the mobile devices used in this research. The smooth street recorder was installed in each device. The smooth street application system design is shown in Figure 1.

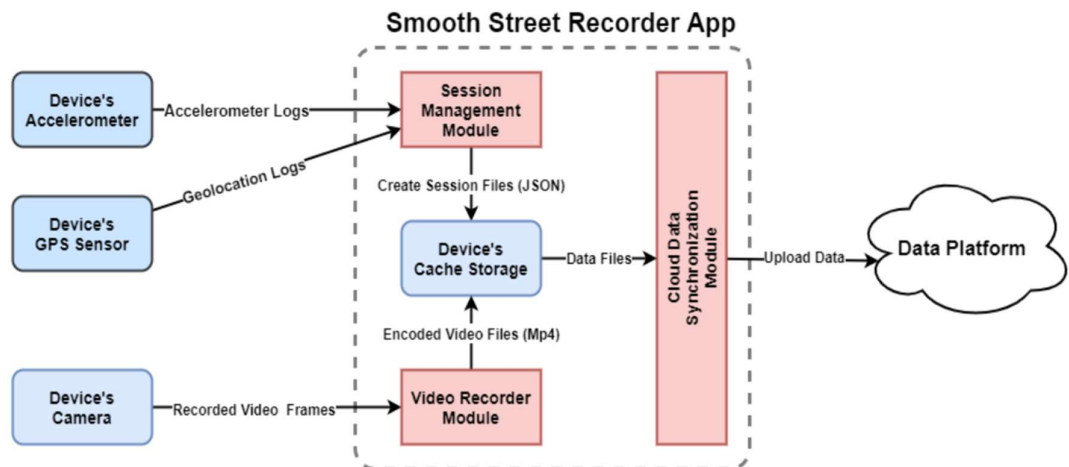


Figure 1 Smooth Street Recorder Application System Design

From the Figure 1, there are three inputs of the smooth street recorder application: (i) accelerometer data, (ii) GPS data, and (iii) video data. Once the accelerometer data and GPS data are obtained, the session file is created in JSON format. But for video data, because the file size is large thus it needs to encode into MP4 format. Both JSON file and video data (MP4) are then uploaded to the data platform.

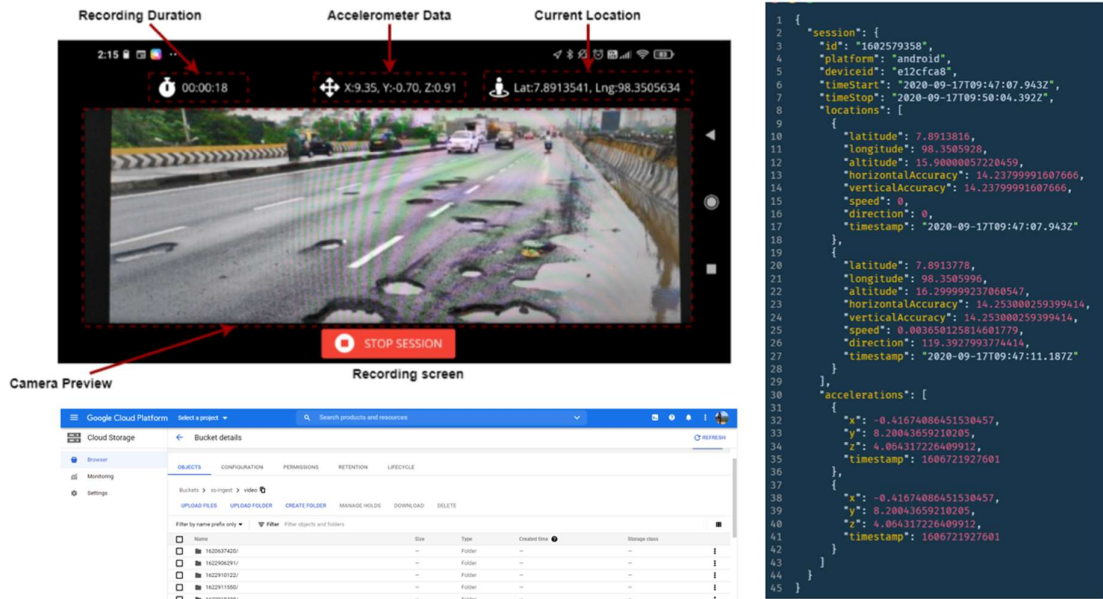












Figure 2 Examples of JSON file and Video Data

Figure 2 shows the examples of JSON file and video data obtained from smooth street recorder. The data used for model generation process with respect to this study presented in this paper was collected in Phuket, Bangkok, Chonburi, Trat, Rayong.

4.2. Data category

We identify difference damage types based on the manual published by the Department of Highways [9]. In this article, each damage type is represented with 5 types of road damage including: crack, edge deterioration, pot hole, manhole, and shoving or patching see Table 1.

Table 1 Sample of road damage types

| Road damage type | Image | Study area |
|---------------------|--|---|
| Crack |  |  |
| Edge deterioration |  |  |
| Pot hole |  |  |
| Manhole |  |  |
| Shoving or Patching |  |  |

5. Model Development for Video Data

The main objective with respect to the work presented in this paper is to generate desired classifiers that can be used to detect road damage conditions from video and sensor data. This

section describes the process of generating the object detection models from video data obtained from the data collection process.

5.1. Model Development for Video Data Methodology

In this sub-section, the proposed framework with respect to the work presented in this paper is presented. A schematics of the proposed framework of road damage condition detection on the road surface using deep learning technology is illustrated in Figure 3.

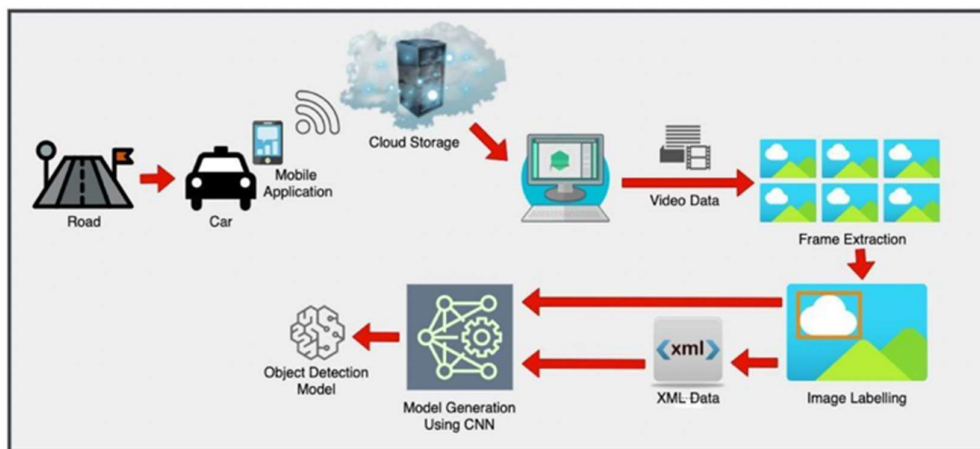


Figure 3 Road damage condition detection framework

Figure 3 shows the framework of the model generation process for road damage condition detection. Once a collection of data was obtained using a smooth street recorder application developed by the research team (the detail was mentioned in the previous section).

The data obtained from the smooth street application includes (i) session-id, (ii) location (latitude and longitude), (iii) date/time, (iv) video data, and (v) accelerometer sensor data. The data was uploaded into the cloud storage system. Then the data was ready to download for model generation purposes. Once a set of data was obtained then the data pre-processing process was then commenced. The pre-processing process is the process of preparing the video data into appropriate formats in order to facilitate the next process. In the context of the research work presented in this paper, the pre-processing process was consists of two main steps (i) frame extraction, and (ii) the road damage conditions identification in the sample video. Laberu labelling platform was adopted in order to label interesting road conditions. The interesting road

damage conditions in this research include (i) potholes, (ii) cracks on road surfaces, (iii) edge deterioration (iv) shoving or patching, and (v) manhole cover. When the road damage conditions were identified in the images, the XML file format was then automatically generated in order to describe the road damage conditions in each image. The generated XML files together with a collection of extracted images (from video data) were then used as the input to create the detection model which can be later used to identify the road surface irregularities.

With respect to the work in this research, the convolutional neural networks were applied to build the detection models. In order to obtain the most appropriate detection models, three different convolutional neural networks were adopted (i) YOLO V3, (ii) YOLO V4, and (iii) YOLO V5. The detection performance was recorded in terms of mAP (mean Average Precision)

5.2. Data Pre-processing

From the Figure 3, it can be noticed here that before the model generation process can be commenced, the data pre-processing process was adopted. There were two main steps were implemented in this research. In this research, the video data length of one second can be split into 10 images. This process was implemented using python language.

As mentioned in the previous sub-section, the interesting road damage conditions in this research include (i) potholes, (ii) cracks on road surfaces, (iii) edge deterioration (iv) shoving or patching, and (v) manhole cover. Once the video data was extracted into a collection of images. It is necessary to determine the interesting road surface damage conditions before its can be used in the detection model construction process. Because the video data was obtained using the smooth street recorder application installed on mobile phones and mounted at the windshield in the passenger compartment. Thus some areas in the images were unusable. The interested damage condition must be on the road surface about four centimetres from the bonnet in the image. To label the damage condition, the rectangle area must be covered fit to the interesting damage condition without overlapping. With respect to this study, in order to label road damage conditions in the image. Three labelling tools were adopted: (i) LabelMe¹ (ii) LabelImg², and (iii) Laberu³ Once the road damage conditions were labelled as shown in Figure 4.

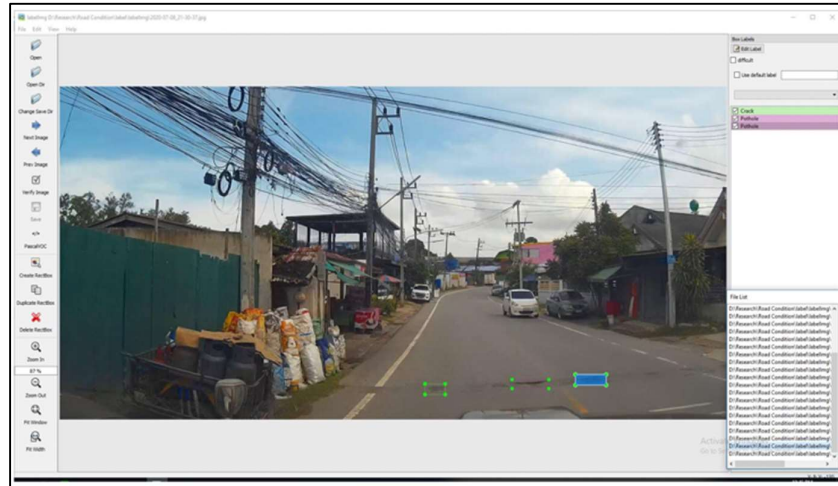


Figure 4 Example of road damage labelling method

Figure 5 shows an example of an XML file obtained from labelling software. The file information consists of a session name, file name, image detail information (image size, width, height, and the number of layers), and anomaly information. It consists of x_{min} , x_{max} , y_{min} , and y_{max} , each of which is a number representing the position in (x, y) coordinates of the x and y from the top-left corner of the frame, and x and y from the bottom-right corner of the box surrounding the interesting road damage condition.

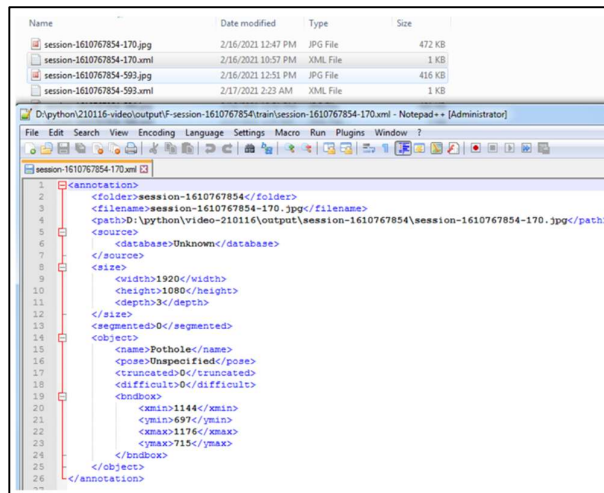


Figure 5 Example of XML generated after labelled the road damage

From the conducted experiments, Laberu was found to be the most suitable labelling tool in the context of this work because (i) Laberu was able to work with multiple people at the same time, (ii) it was easy to use by drag and drop rectangular box surrounding the road damage

condition using the diagonal line, and (iii) it was able to export XML or JSON file format of all images in the same time.

5.3. Convolutional Neural Network

This sub-section describes the basic idea of the Convolutional Neural Network (CNN). CNN is a network that mimics the human neural network with intercellular connections. CNN comes after machine learning, which is part of artificial intelligence (AI). In general, CNN is applied with unstructured data such as images, signals or videos data. CNN uses convolution layers to extract parts of the image, allowing the classifier to characterise the image. Convolution is a process for extracting important aspects of an image. The pixel values are derived from the general information of the image such as red, green, and blue, with each point can be represented by a number. In addition, another matrix has been defined in order to be used as a filter to store values in a smaller set of matrices. This set of matrices is known as Filter, Kernel or Feature Detector. The pixel values are then calculated with the filter and stored in a new set of matrices, called Convolved Feature or Feature Map. In the linearity elimination process, rectified linear activation unit or ReLU is applied after image convolution has been performed and the Feature Map is obtained. The Feature Map value is non-linearised by using a ReLU, which replaces the effect of the pixel value. is negative with 0 so that CNN learns non-linear information from the image. The next layer of CNN is the Pooling layer, which is responsible for extracting the most important parts and make more efficient in processing and working faster [10]. Pooling reduces the dimensionality of the Feature Map while trying to preserve important information. There are two methods of popular pooling: (i) Max Pooling and (ii) Average Pooling. Pulling is to make the resulting smaller, more manageable results. It also reduces the parameters and computations that are required in CNNs. The Fully Connected Layer is a process that which the convolution, linearity elimination, and pooling are repeated until each layer is completely connected. By using the results obtained from the above process to be associated with the results [11], [12].

The convolutional neural network was adopted in this research in order to generate the desired detection model for the road damage conditions. For this study, convolutional neural networks used to detect road surface damages were (i) YOLO V3, (ii) YOLO V4 and (iii) YOLO V5.

YOLO V3 was developed from YOLO V2 and presented by Joseph and Ali in 2018

[13]. The backbone of YOLO V3 is based on the 53-layer Darknet. YOLO V3 has 106 layers, making it more accurate and spending more time processing compare to YOLO V2.

YOLO V4 was introduced by Bochkovskiy et al [14] in April 2020. And it is also based on the Darknet 53 as a backbone. YOLO V4 uses Spatial Pyramid Pooling (SPP) and Spatial Attention Module (SAM) at the tail part of the architecture while using YOLO V3 at the head part of the architecture.

YOLO V5 was introduced in June 2020 by Jocher [15]. It is the first architecture in the YOLO family running on PyTorch (where YOLO V3 and V4 run on Darknet), making it easier to work with. and easy to use on mobile devices. It also works fast but the accuracy is comparable when compared to YOLO V3 and YOLO V4.

5.4. Experiment and Evaluation

In this sub-section, details of the data used in the research, experiment and evaluations are presented. A collection of video data was collected using a developed application Smooth Street Recorder. The data was collected from March to November 2021. The 125 data sessions from the Bangkok, Phuket, Chonburi, Rayong, and Chachoengsao were selected. The mobile phone devices were installed in the car using the windshield mounts. The speed of the cars was limited to 30-50 kilometres per hour.

The video data has been extracted into a series of image frames. One second of video data was split into ten frames. Once the set of images resulting from the video extraction process has been obtained. The images consisting of the road damage conditions have been selected. From the 125 session data, it can be concluded in approximately: (i) a total of 1,118.13 kilometres, (ii) 134,176 seconds, or 37 hours 16.16 minutes, (iii) the total number of isolated frames, (iv) 1,341,760 images, and (v) 32,939 images with the road damage conditions.

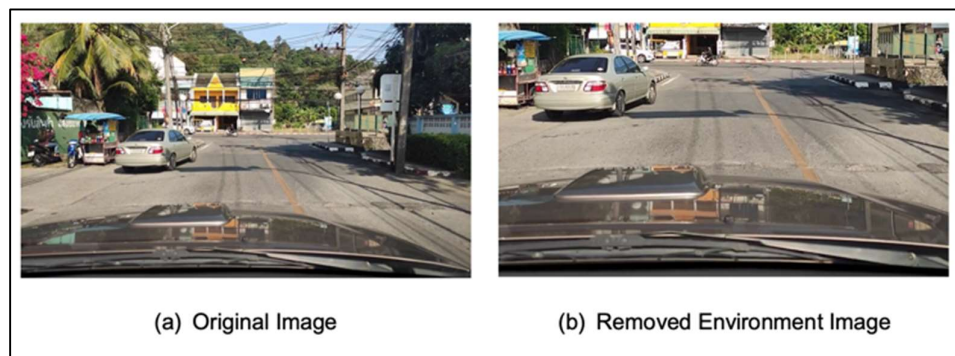
Once the video data was extracted into a collection of images. To label the irregularities on the road surface, the Laberu application was adopted. with respect to the research study presented in this paper multiple participants were incorporated in order to label the images. Table I presents the number of interesting damages.

Table 2 The number of labelled damages

| No | Damage Type | Number of Damage |
|----|--------------------|------------------|
| 1 | Crack | 17,391 |
| 2 | Pothole | 3,573 |
| 3 | Edge Deterioration | 1,080 |
| 4 | Patching | 7,454 |
| 5 | Manhole | 14,606 |

5.4.1. Experiment using different learning methods

This sub-section presents the detail of experiments conducted on different parameters. This sub-section presents the detail of experiments conducted on different parameters. The different image environments were tested. Figure 6 shows the example of different image environments. From the figure, it can be seen that Figure 6 (a) is the original image obtained from the video while Figure 6(b) is the image that removed the unnecessary environment such as the sky.

**Figure 6 Example images with different environments**

To evaluate the object detection performances, five sets of experiments have been carried out: (i) Experiment 1 trained on 200 epochs with original images and batch size was set to 8 , (ii) Experiment 2 trained on 500 epochs with original images and batch size was set to 8 , (iii) Experiment 3 trained on 500 epochs with original images, batch size was set to 16 and added the images without interesting damages, (iv) Experiment 4 trained with the removed environment images on 200 epochs and batch size was set to 8 , and (v) Experiment 5 trained on 500 epochs with removed environment images and batch size was set to 8 .

Three object detection methods have been carried out (i) YOLO v3, (ii) YOLO V4, and (iii) YOLO V5. A collection of 26,469 images was used as a training image set and a set of 6,470 images was used as a test image set. To evaluate the object detection performance in terms of the mAP evaluation measure. The obtained results are shown in Table 3.

Table 3 The experiment results on different learning methods (percent)

| Experiment | YOLO V3 | YOLO V4 | YOLO V5 |
|--------------|---------|---------|---------|
| Experiment 1 | 11.50 | 14.00 | 68.80 |
| Experiment 2 | 38.86 | 43.58 | 82.30 |
| Experiment 3 | 34.27 | 41.67 | 72.80 |
| Experiment 4 | 50.38 | 56.17 | 69.60 |
| Experiment 5 | 31.57 | 39.41 | 78.60 |

From Table 3, it can be observed that (i) YOLO V3 produced the best results in all experiments, (ii) the data from the Experiment 5 produced the best result using YOLO V5 with a recorded mAP value of 82.30 %, (iii) with respect to YOLO V5, original images trained on 200 epochs and batch size 8 produced lowest mAP value of 68.80 %.

5.4.2. Experiment using different image sizes

This sub-section presents the experiments using different image sizes as the input data. The original image with five different image sizes were implemented (i) 320 x 320 , (ii) 640 x 640 , (iii) 736 x 736 , (iv) 1024 x 1024 , and (v) 1920 x 1920 . To perform the experiments, YOLO V5 with 100 epochs were carried out. Again, a collection of 26,469 images was used as a training image set and a set of 6,470 images was used as a test image set. The mAP measure was recorded in terms of object detection performance. The obtained results are shown in Table 4.

Table 4 The experiment results on different image size

| Image Size | Batch Size | mAP value (%) |
|-------------|------------|---------------|
| 320 x 320 | 16 | 73.16 |
| 640 x 640 | 16 | 70.70 |
| 736 x 736 | 16 | 70.10 |
| 1024 x 1024 | 16 | 85.80 |
| 1920 x 1920 | 4 | 92.40 |

From Table 4, it can be concluded that (i) image size 1920x1920 produced the best result with an mAP value of 92.40%, and (ii) image size 736 x 736 produced the lowest result with an mAP value of 70.10%

6. Edge Device Development

Once the research project has developed an artificial intelligence model for detecting road surface damages and a model for calculating the road surface smoothness index, the next step is building prototype edge devices that implement the developed AI model for analysing road damage and collecting data in the area that the research project has targeted. The prototype edge device must have the following features:

- Capture road surface images and use the artificial intelligence model to detect and classify the type of road damage.
- Collect the vehicle vibration data and use the artificial intelligence model to calculate the smoothness index of the road surface.
- Combine the road damage data and the calculated smoothness index value with GPS coordinates and send the data to the data collection platform to be processed into geographic information.

The prototyped edge devices have been developed as an AI-powered mobile application using React Native, an open-source software framework for developing a cross-platform mobile application, and TensorFlow Lite, a machine learning framework to deploy machine learning models on mobile devices. that can be installed on a smartphone as a typical mobile application. A prototype edge device can be attached to a survey vehicle to conduct road surveys in the target areas. Figure 7 shows the overview of the architecture and components of the prototype edge devices. The prototyped edge device consists of 3 components:

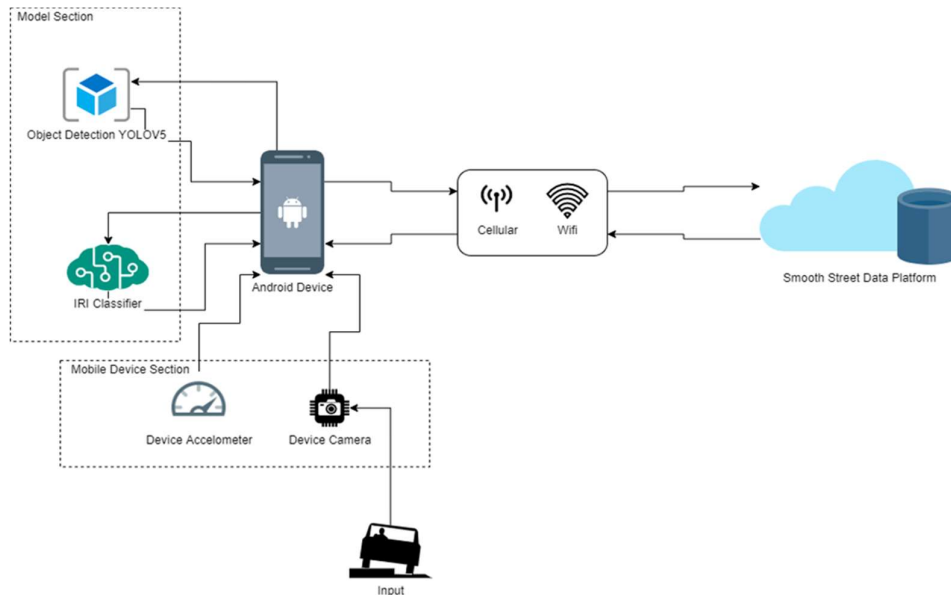


Figure 7 Overview of the architecture and components of the prototype edge devices

1. **Mobile Device Section:** The input unit is responsible for gathering required data from the mobile device to use as input for the AI model. The photos of the road surface are captured using a video camera of the mobile device. The recorded video is extracted into images and transformed to the scale and dimension that fit with the input specification of the AI model for detecting road surface damages. The vibration signals that can reflect the smoothness of the road are captured by using the 3-axis accelerometer sensor of the mobile device. This information is normalized to suit the input specification of the AI model for calculating the road surface smoothness index.
2. **AI Model Section:** AI inferencing is the process that takes input data to an AI model to perform classification and calculation. The AI model for detecting road surface damages uses the photos from the input unit as input to classify the type of damage and calculate the position of the damage as output. This output coordination can be used to create a rectangle overlay to show the damage position to the user. The AI model for calculating the road surface smoothness index use stream of normalized 3-axis accelerometer sensor data to calculate the smoothness index as a time series value. This value is used to calculate the overall smoothness score that can represent the road damage condition.
3. **Smooth Street Data Platform:** The prototyped edge device will constantly publish the output data from AI inferencing to the cloud platform by aligning the location of the detected damage and smoothness index value with the GPS location. The data platform processes this information into geographic information that can be visualized as an interactive map.

Users must install the “Smooth Street” mobile application on a smartphone and confirm the required permission to start using the prototyped edge devices for road damage survey. After the application is successfully launched, the application will show the video preview

screen to allow the user to see the recording video. The bottom panel of the user interface will display the hardware-related information of prototyped edge devices e.g., device id, battery level, available memory, remaining storage, current GPS location, and raw data from the 3-axis accelerometer sensor. Once the video preview appears, the prototyped edge devices will start detecting road damage and calculate the smoothness index at the same time. If there is an internet connection, the prototyped edge devices will stream the output data to the smooth street data platform. Figure 8 shows an example user interface of “Smooth Street” mobile application on a prototyped edge device.

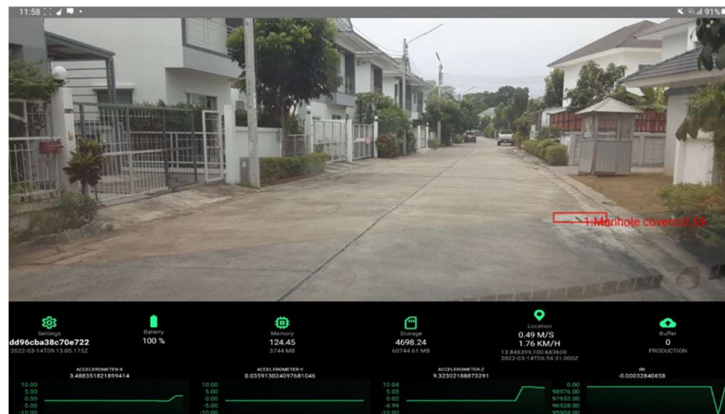


Figure 8 A User interface of “Smooth Street” mobile application on a prototyped edge device.

7. Experimental Deployment

Having integrated all components together, the prototype system was deployed in real conditions for testing. Edge device is mounted on the inside of the windshield of ordinary vehicles, seeing the road as the vehicle’s driver does (see Figure 9) because detection of interested object is shown in real time on the edge device’s screen, such detections could be checked for accuracy, precision, and sensitivity by determining the trueness or falseness of such detection or the absence thereof, using the Confusion Matrix. The application Screen Recorder was used to record detections in all test sessions. As the source of “truth” for such determination, another device is mounted side-by-side the edge device to record in high resolution, producing videos corresponding exactly to the videos produced in each of the sessions by the application Screen Recorder (see Figure 10). Both videos were then played back at the same time, session by session, while initial statistics were tallied for each of the five interested categories of road irregularities: true positive, false positive, and false negative (see

Table 5).



Figure 9 Edge device showing detection by superimposing red rectangle around road irregularity in real time



Figure 10 Cross-checking device mounted side-by-side with Edge Device to provide source of truth for reference

Table 5 Statistics of the five interested categories of road irregularities

| Type of road irregularity / Counts | True Positive | False Positive | False Negative |
|------------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Crack | 17 | 12 | 328 |
| Pot Hole | 2 | 19 | 204 |
| Manhole | 77 | 145 | 161 |
| Shoving or Patching | 1 | 7 | 125 |
| Edge Deterioration | 0 | 1 | 51 |
| Total | 97 | 184 | 869 |

Nine test sessions were conducted, three for each of the following three areas: Bangkok inner city, Phuket rural area, and inter-provincial highway between Bangkok and Samutsakorn province. The total distance for the nine sessions is 45 kilometers.

Calculating accuracy, precision, and sensitivity from the above initial statistics yield the following performance indicators (see Table 6).

Table 6 Accuracy of the five interested categories of road irregularities

| Type of road irregularity/Performance Indicators | Accuracy | Precision | Sensitivity |
|--|----------|-----------|-------------|
| Crack | 4.76% | 58.62% | 4.93% |
| Pot Hole | 0.89% | 9.52% | 0.97% |
| Manhole | 20.10% | 34.68% | 32.35% |
| Shoving or Patching | 0.75% | 12.50% | 0.79% |
| Edge Deterioration | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Total | 8.43% | 34.52% | 10.04% |

8. Discussion and Conclusion

From Table 3, five experiments from YOLO V5 showed high accuracy using the parameters from Experiment 5. The original images trained on 500 epochs with a batch size of 8. The recorded performance was recorded with the highest mAP value of 82.30%.

From Table 4, it was found that images size 1920 x 1920 image with a batch size of 4 gave an mAP value of 92.40%, which was considered the highest obtained results. However,

the results from section 8 showed significantly lower performance due to limitations in the porting of the model from PyTorch to TensorFlow Lite as well as in the hardware resources available in the current Edge Device prototype. Nevertheless, the system works smoothly in capturing the detections and transmitting those detections to the Cloud Platform as designed.

In this study, we demonstrated that road damage detection by using off-the-shelf IoT devices. We chose smartphones as our IoT device due to their wide adoption and relatively low cost. Overall system utilization was close to expected, seven key components in the proposed system include machine learning models, dictionary of road damages, road condition dataset, edge device, digital road maps, cloud computing services, and dashboard website. The convolutional neural network was used to develop the object type classifier to detect cracks, potholes, edge deteriorations, patchings, and manholes on the roads. The model was run on smartphones in real-time but some detection delays due to the processing power of the detector. However, the device sends data to the cloud platform smoothly and completely. Even if there is no phone signal at certain times and with the rapid improvement of sensors and processing chips inside the smartphones, the model performance can be improved in the future.

9. Acknowledgment

Support for this research work was provided by the Office of The National Broadcasting and Telecommunications Commission (under the research Project Number B2-040_1-1-62).

10. References

- [1] Y. CHEN, MINGXUAN ZHOU, ZENGWEI ZHENG, and MEIMEI HUO, “Toward Practical Crowdsourcing-Based Road Anomaly Detection With Scale-Invariant Feature,” 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8721045> (accessed Apr. 03, 2022).
- [2] F. Wirthmueller, J. Hipp, K.-U. Sattler, and M. Reichert, “CPD: Crowd-based Pothole Detection,” 2019, doi: 10.5220/0007626700330042.
- [3] R. Ishimwe and J. B. Kwizera, “Real-Time Road Damage Detection Using Deep Convolutional Neural Networks And A Smartphone: Project Report,” 2021, Accessed: Apr. 03, 2022. [Online]. Available: <https://www.roadex.org/e-learning/lessons/permanent-deformation/survey-and-monito>.
- [4] R. Sulistyowati, A. Suryowinoto, H. A. Sujono, and I. Iswahyudi, “Monitoring of road damage detection systems using image processing methods and Google Map,” 2022, doi: 10.1088/1757-899X/1010/1/012017.
- [5] K. Gajjar, T. van Niekerk, T. Wilm, and P. Mercorelli, “Vision-Based Deep Learning Algorithm for Detecting Potholes,” 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2162/1/012019.
- [6] L. Ale, N. Zhang, and L. Li, “Road Damage Detection Using RetinaNet,” *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Big Data, Big Data 2018*, pp. 5197–5200, Jan. 2019, doi: 10.1109/BIGDATA.2018.8622025.
- [7] A. Alfarrarjeh, D. Trivedi, S. H. Kim, and C. Shahabi, “A Deep Learning Approach for Road Damage Detection from Smartphone Images,” *Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Big Data, Big Data 2018*, pp. 5201–5204, Jan. 2019, doi: 10.1109/BIGDATA.2018.8621899.
- [8] H. Maeda, Y. Sekimoto, T. Seto, T. Kashiyama, and H. Omata, “Road Damage Detection and Classification Using Deep Neural Networks with Smartphone Images,” *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 33, no. 12, pp. 1127–1141, Dec. 2018, doi: 10.1111/MICE.12387.
- [9] Department of Highways, *Pavement Distress Identification Manual*. 2007.

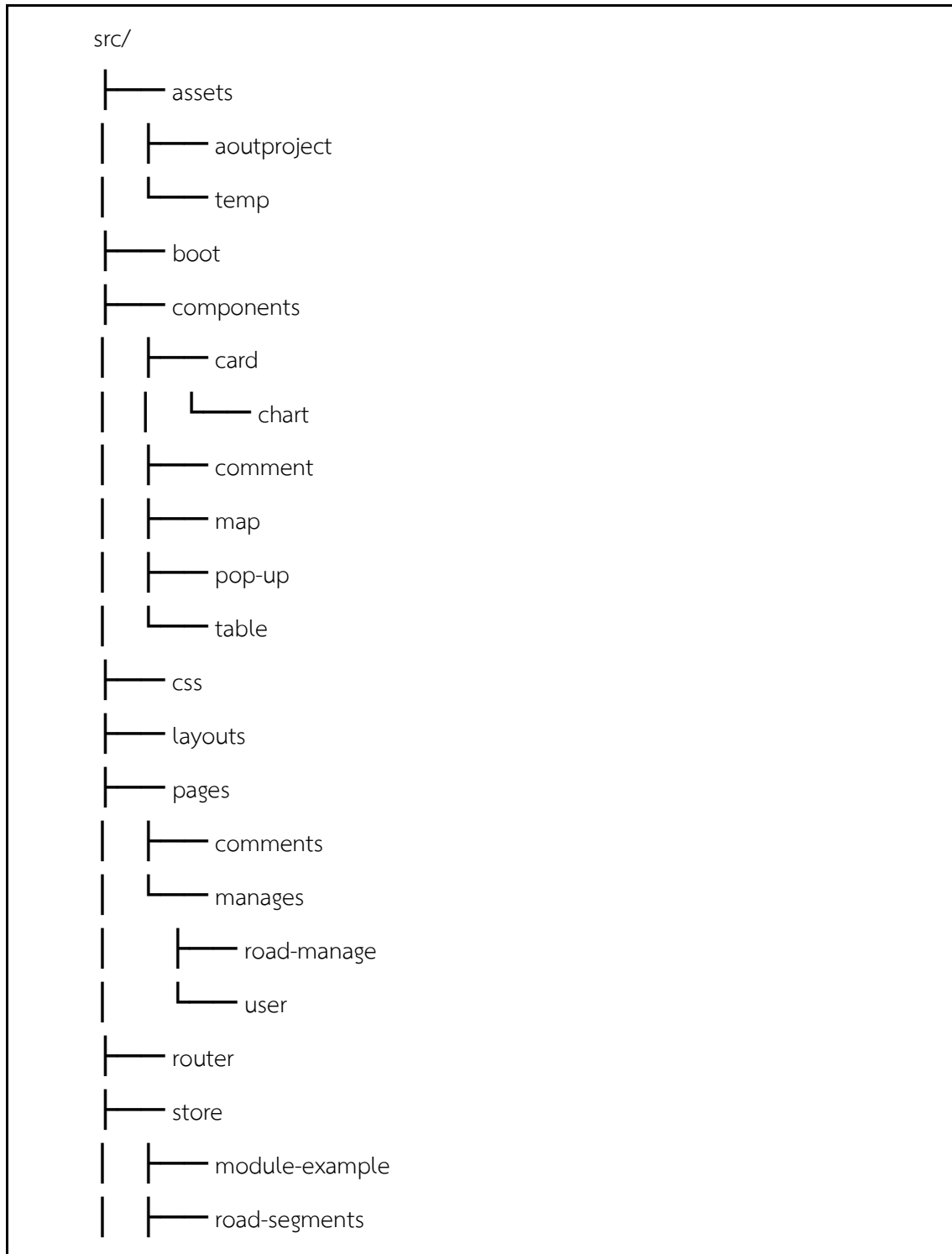
- [10] S. H. Wang *et al.*, “Multiple sclerosis identification by 14-layer convolutional neural network with batch normalization, dropout, and stochastic pooling,” *Front. Neurosci.*, vol. 12, no. NOV, p. 818, Nov. 2018, doi: 10.3389/FNINS.2018.00818/BIBTEX.
- [11] H. Habibi Aghdam and E. Jahani Heravi, “Guide to Convolutional Neural Networks,” *Guid. to Convolutional Neural Networks*, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-57550-6.
- [12] T. Ozcan and A. Basturk, “Transfer learning-based convolutional neural networks with heuristic optimization for hand gesture recognition,” *Neural Comput. Appl.* 2019 3112, vol. 31, no. 12, pp. 8955–8970, Aug. 2019, doi: 10.1007/S00521-019-04427-Y.
- [13] J. Redmon and A. Farhadi, “YOLOv3: An Incremental Improvement,” Apr. 2018, doi: 10.48550/arxiv.1804.02767.
- [14] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, and H.-Y. M. Liao, “YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection,” Apr. 2020, doi: 10.48550/arxiv.2004.10934.
- [15] G. Jocher *et al.*, “ultralytics/yolov5: v6.0 - YOLOv5n ‘Nano’ models, Roboflow integration, TensorFlow export, OpenCV DNN support,” Oct. 2021, doi: 10.5281/ZENODO.5563715.

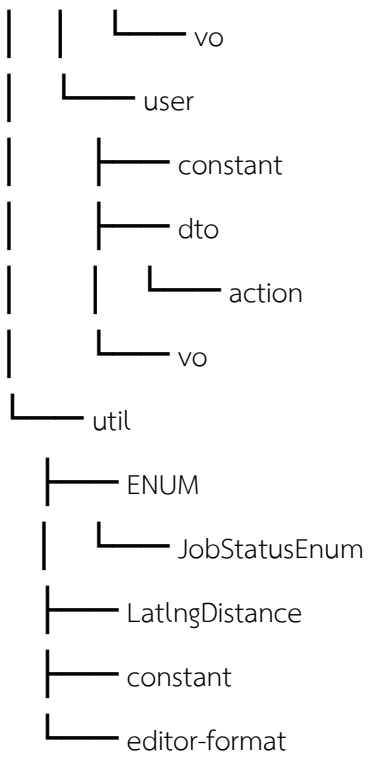
ภาคผนวก
รหัสต้นฉบับ

รหัสต้นฉบับ (Source Code)

รหัสต้นฉบับ (Source Code) ของเว็บไซต์สำหรับรายงานผลการสำรวจการผิดปกติของพื้นผิวจราจร พัฒนาโดยใช้ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ประกอบด้วยสองโมดูลคือ ส่วนแสดงผล (Web-Frontend) และส่วนบริการข้อมูล (Web-API)

รายชื่อไฟล์ Source Code ที่เป็นส่วนประกอบของเว็บไซต์ มีรายการดังนี้





โครงสร้างไฟล์เตอร์ของเว็บไซต์

src/pages/

- About.vue
- EmailChange.vue
- Error404.vue
- FullMap.vue
- History.vue
- Index.vue
- Irregular.vue
- IrregularReport.vue
- IrregularitySender.vue
- JobList.vue
- Legal.vue
- Login.vue

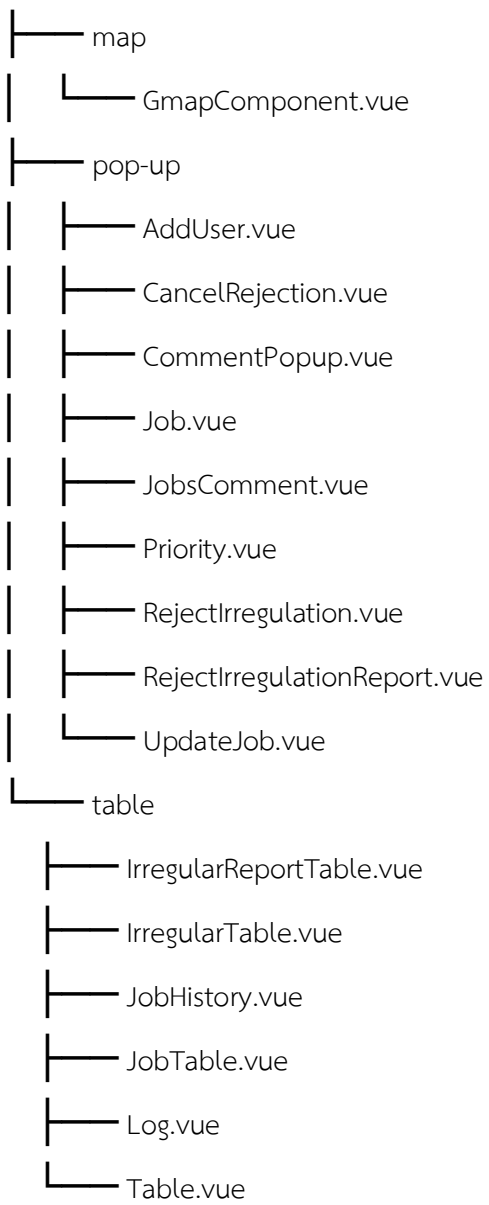
```
├── PasswordChange.vue
├── UserProfile.vue
├── comments
│   ├── IrregularityComment.vue
│   ├── IrregularityReportComment.vue
│   └── JobComment.vue
├── manages
│   ├── road-manage
│   │   └── RoadManage.vue
│   └── user
│       └── User.vue
```

4 directories, 19 files

ไฟล์ source code ของ web-frontend

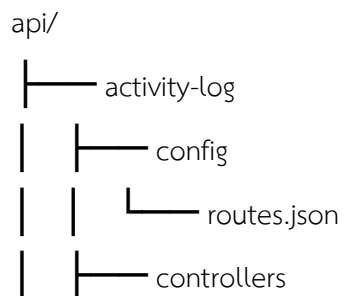
src/components/

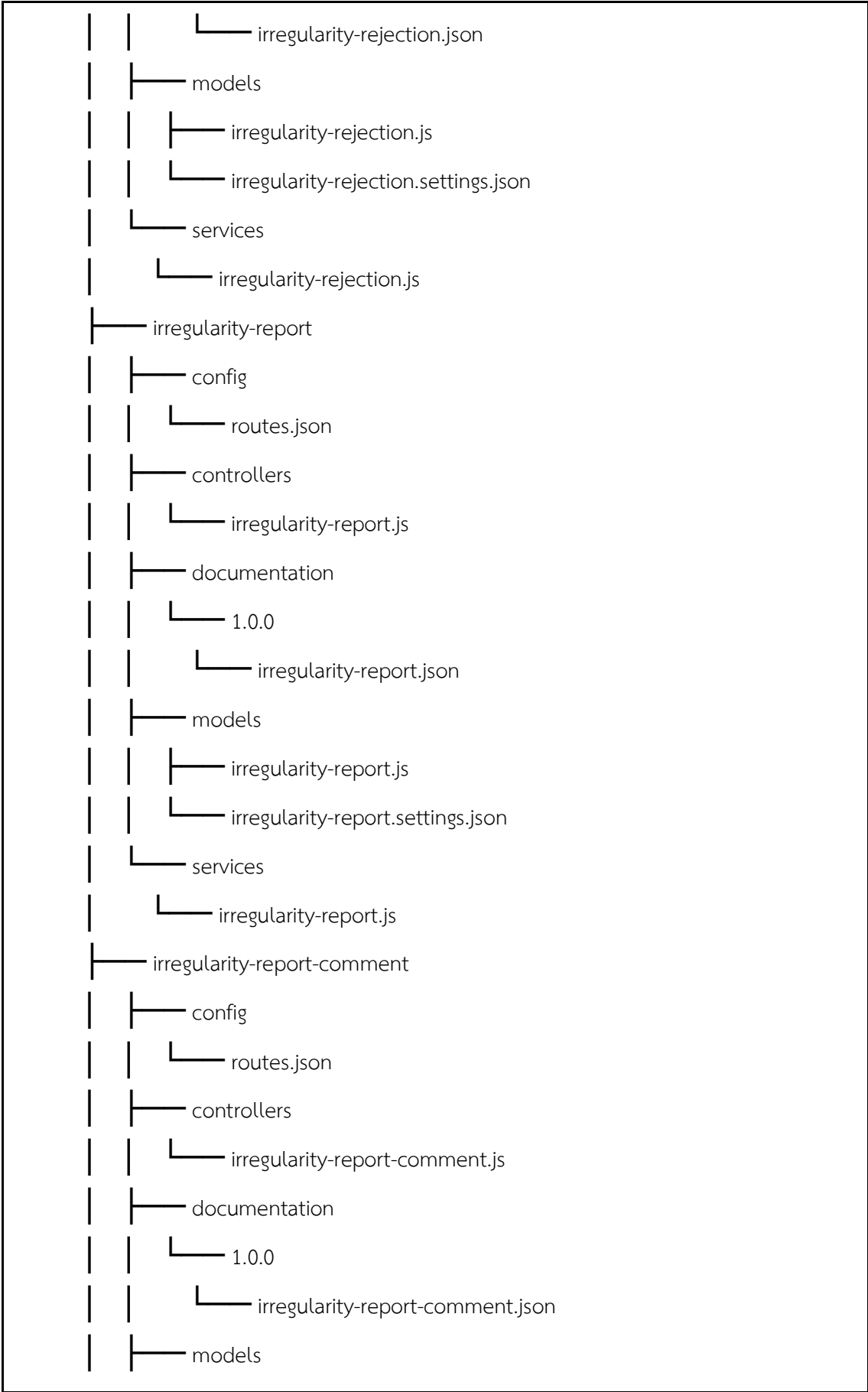
```
├── EssentialLink.vue
├── card
│   ├── DamagedRoad.vue
│   ├── ProfileCard.vue
│   ├── ReportCard.vue
│   ├── RoadReportCard.vue
│   ├── SummaryReportCard.vue
│   └── chart
│       └── DoughnutChart.vue
├── comment
│   ├── CommentDetail.vue
│   └── CommentSection.vue
```

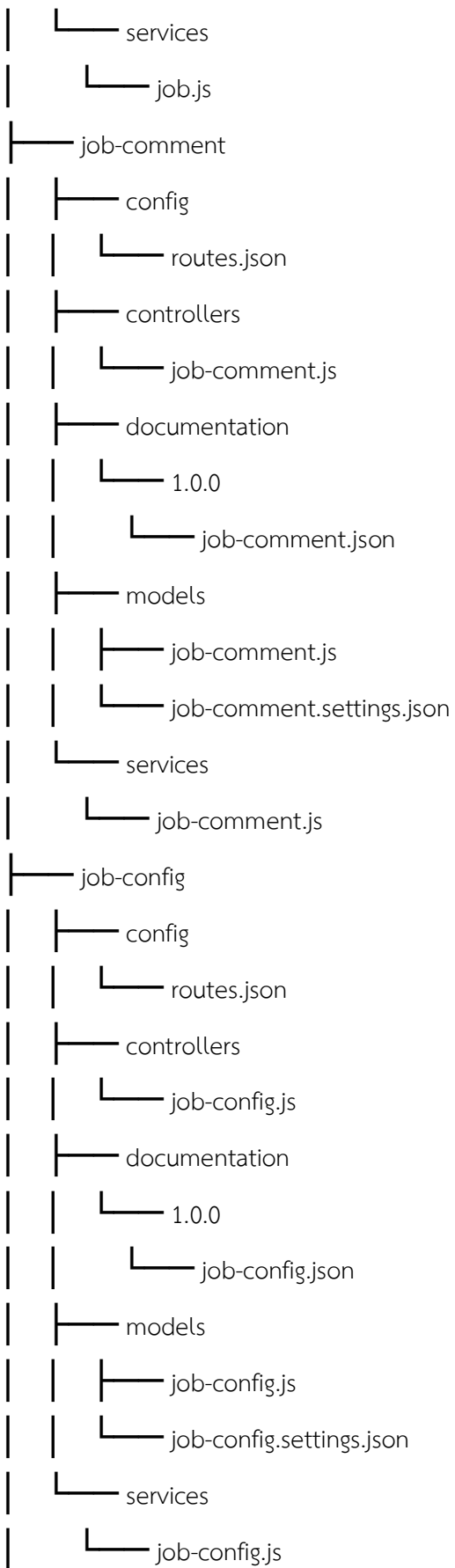


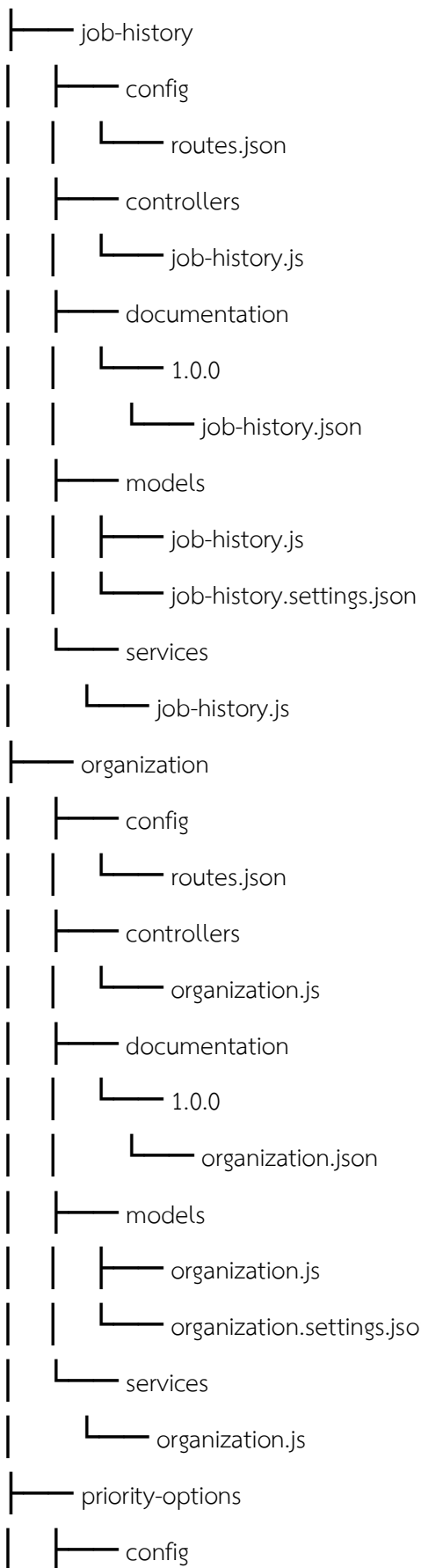
6 directories, 25 files

ไฟล์ source code ของ web-frontend









โดยผลิต source code จากโครงการวิจัยจะถูกนำไปเผยแพร่ที่ <https://github.com/Smooth-Streets>

ภาคผนวก

สรุปความเห็นคณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการ



สรุปความเห็นคณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการ (ครั้งที่ ๒)

ชื่อโครงการ : โครงการระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT

ชื่อผู้รับทุน : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลงานประจำงวดที่ ๔ (งวดสุดท้าย) : รายงานฉบับสมบูรณ์

คณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการฯ ไม่เห็นชอบผลงานของผู้รับทุน โดยมีความเห็นและข้อสังเกตให้ผู้รับทุนนำไปพิจารณาปรับปรุงผลงานต่อไป ดังนี้

- ความเห็นต่อผลงานที่ส่งมอบ

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|---|---|--|
| ๑. | รายงานเบื้องต้นและรายงานความก้าวหน้าโครงการ ฉบับที่ ๑ และฉบับที่ ๒ | - | - |
| ๒. | รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) ประกอบด้วย - รายละเอียดการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลผลการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวจราจรพื้นที่เป้าหมายของโครงการ - รายงานสรุปผลการดำเนินงานของโครงการ | <ul style="list-style-type: none"> ไม่ควรใช้รูปภาพสำหรับการนำเสนอในรูปแบบ Equation Equation No. ไม่ควรซ้ำซ้อนกัน ควรมีการระบุให้ชัดเจนว่าเป็น equation ที่เท่าไร ของบทที่เท่าไร การใช้ภาพหรือตารางจากแหล่งอื่นควรมีข้อมูล Citation การขาดหายไปของบทที่ ๑๒ | <ul style="list-style-type: none"> ทางคณะวิจัยได้ทำการตรวจสอบและแก้ไขการนำเสนอรูปแบบของสมการในรูปแบบรายงานเรียบร้อยแล้ว ทางคณะวิจัยได้ทำการระบุ Equation no. แยกตามบทของรายงานเรียบร้อยแล้ว ทางคณะวิจัยได้ตรวจสอบแหล่งที่มาของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ทางคณะวิจัยได้ทำการตรวจสอบและเพิ่มเติมเนื้อหาของรายงานบทที่ 12 ในเล่มรายงานเรียบร้อยแล้ว |



กทปส.

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|--|--|---|
| ๓. | ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของพื้นผิวจราจรและ ประมาณข้อมูลด้วย ปัญญาประดิษฐ์ในยานพาหนะ จำนวน ๕ ชิ้น | - | - |
| ๔. | ต้นแบบระบบการสอดส่อง คุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูล จาก Sensor ในยานพาหนะ ผ่านโครงข่าย IoT จำนวน ๑ เทคโนโลยี | <ul style="list-style-type: none"> • แม้ว่าทีมนักวิจัยจะเน้นให้ระบบมีความผิดพลาดด้าน False Positive ให้น้อยที่สุดแล้ว โดยยอมให้มี False Negative มากตามความต้องการของผู้ใช้งานแล้ว แต่จำนวน False Positive ก็ยังใกล้เคียงหรือสูงกว่า True Positive อยู่ ทำให้ไม่สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง Machine Learning ไปใช้งานจริงได้ หรือยากต่อการใช้งานจริง เนื่องจากผู้ใช้งานจริงต้องมาตรวจสอบผลอีกครั้งว่ามี false positive หรือไม่ก่อนที่จะเชื่อผลลัพธ์จากแบบจำลอง | <ul style="list-style-type: none"> • งานวิจัยนี้มีเป็นโครงการนำร่อง มีจุดมุ่งหมายในการสร้างต้นแบบระบบฯ เพื่อศึกษาแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาในการสำรวจความผิดปกติบนถนน ซึ่งนำไปสู่การนำไปใช้งานจริงในที่สุด แต่ไม่ได้มีจุดมุ่งหมายโดยตรงเพื่อสร้างระบบที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ทันที เนื่องจากงบประมาณเป็นงบประมาณสำหรับโครงการนำร่อง ซึ่งผลการวิจัยพบว่าสามารถสร้างตัวโมเดลที่มีความแม่นยำเพียงพอกับการใช้งานจริงได้ (คณะวิจัยได้เพิ่มผลการทดสอบตัวโมเดล ในบทที่ 17) และในการวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาในการสำรวจความผิดปกติบนถนน โดยทดลองการสร้างระบบที่มีองค์ประกอบหลายองค์ประกอบทำงานด้วยกันด้วยความซับซ้อน เป็นเรื่องธรรมดาของการทำสิ่งที่ไม่เคยมีคนอื่นทำมาก่อนที่ต้องได้พบอุปสรรค ทั้งนี้คณะวิจัยได้ศึกษาพบปัญหาและแนวทางแก้ไข เพื่อนำไปต่อยอดต่อไป โดยปัญหาสำคัญที่พบอยู่ที่การที่โมเดลต้องทำงานบน Smartphone ซึ่งเป็น |

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|-------------------------|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> จากหน้าที่ ๑๗-๑๓ ภายใต้หัวข้อ ๑๗.๔ ข้อ ๓ ทีมนักวิจัยกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ได้จาก YOLOv5 บนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง จะเป็นไปได้หรือไม่ที่จะเพิ่มการประมวลผลบน cloud ทุกคืนจากการบันทึกภาพและข้อมูลต่าง ๆ ของวันนั้น ๆ ด้วย ทีมวิจัยควรปรึกษาผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้าน Machine Learning สำหรับ Computer Vision ที่มีประสบการณ์พัฒนาระบบที่ถูกใช้งานจริงอยู่ในปัจจุบันเพิ่มเติมเนื่องจาก มีวิธีอื่นที่สามารถช่วยแก้ปัญหาที่ ทีมผู้วิจัยพบได้ นอกเหนือจากการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้งานจริงได้ | <p>สถาปัตยกรรม ที่มีทรัพยากรจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> การประมวลผลสำหรับการตรวจจับวัตถุด้วย YOLOv5 ซึ่งให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง เนื่องด้วยข้อจำกัดของทรัพยากรบนอุปกรณ์ Edge Device จึงทำให้มีการตรวจจับได้ไม่ดีเทียบเท่ากับการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง ซึ่งอาจจะมีการพิจารณาปรับโครงสร้างของระบบแทนการประมวลผลที่ Edge Device มาเป็นการประมวลผลเป็นการเก็บภาพวิดีโอของถนนที่ต้องการตรวจหาความผิดปกติแล้วนำมาตรวจจับด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นบนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง แล้วจึงนำความผิดปกติที่พบส่งต่อไปยังระบบรวบรวมข้อมูลต่อไป จากการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญสามารถเกี่ยวกับปัญหาที่โครงการวิจัยพบคือประสิทธิภาพของการใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบความผิดปกติของผิวจราจรในลักษณะการประมวลผลแบบ Real-Time กล่าวคือโครงการวิจัยนี้ต้องการให้ระบบที่พัฒนาขึ้นรับภาพจากกล้องวิดีโอที่มีความละเอียดของ |

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|-------------------------|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ทีม นักวิจัย ได้ มีการวัด ผล ประสิทธิภาพ ของ IRI Model หรือไม่ว่างไร | <p>เฟรมภาพขนาด 30 เฟรมต่อวินาที และทำการตรวจจับความผิดปกติและทำการตีกรอบส่วนที่ตรวจจับเพื่อแสดงภาพให้กับผู้ใช้งานแบบแสดงภาพต่อเนื่องตลอดการทำงาน ซึ่งในส่วนนี้ผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่าสถาปัตยกรรมของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่เลือกใช้ในปัจจุบัน (Yolov5) เป็นสถาปัตยกรรมของโมเดลที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนทำให้ไม่สามารถใช้งานในลักษณะ Realtime กับวิดีโอขนาด 30 เฟรมต่อวินาทีได้ ผู้เชี่ยวชาญจึงแนะนำให้เปลี่ยนวิธีการประมวลผลเป็นการเก็บภาพวิดีโอของถนนที่ต้องการตรวจหาความผิดปกติแล้วนำมาตรวจจับด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นบนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง แล้วจึงนำความผิดปกติที่พบส่งต่อไปยังระบบรวบรวมข้อมูลต่อไป</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) คณะวิจัยได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ IRI ที่ได้จากแบบจำลองกับค่า IRI ที่เก็บได้จากรถสำรวจของกรมทางหลวง ซึ่งถือว่าเป็นค่า ground truth โดยมีตัวชี้วัด ได้แก่ Mean Absolute Error (MAE) และ Mean Square Error (MSE) ได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 12-5 |

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|--|---|---|
| | | | <p>2) อย่างไรก็ตาม เมื่อคณะวิจัยได้พัฒนา Edge device และติดตั้งแบบจำลองประมาณค่า IRI แล้วทางรถสำรวจของกรมทางหลวงได้สำรวจทางหลวงครบทั่วประเทศไปแล้ว ในปีงบประมาณ 2565 ทำให้คณะวิจัยไม่สามารถติดตั้ง Edge device ในรถสำรวจของกรมทางหลวง เพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องของแบบจำลองเมื่อเทียบกับการวัดด้วยอุปกรณ์เลเซอร์ได้ ซึ่งคณะผู้วิจัยคาดว่าแบบจำลอง IRI ที่ทำงานบน Edge device จะทำงานได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างจากแบบจำลองที่ประมวลผลบนเซิร์ฟเวอร์เนื่องจากแบบจำลองไม่ได้ใช้พลังในการประมวลผลมากนัก</p> |
| ๕. | Source code ของเว็บไซต์สำหรับรายงานผลการสำรวจการผิดปกติของพื้นผิวจราจร | <ul style="list-style-type: none"> ไม่พบ source code บน https://github.com/Smooth-Streets จึงไม่สามารถตรวจสอบได้ | <ul style="list-style-type: none"> คณะวิจัยได้นำ source code ขึ้นเผยแพร่แล้ว ที่ URL https://github.com/Smooth-Streets/web-api รายละเอียดและโปรแกรมบางส่วนไม่สามารถเปิดให้เข้าถึงจากสาธารณะเพราะมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของระบบ |

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|---|-------------------------------------|---|
| ๖. | รายงานผลการดำเนินงานฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช. อย่างน้อย ๑ ฉบับ | - | - |

คณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensorฯ (แก้ไขครั้งที่ ๒)

กรกฎาคม ๒๕๖๕



กทปส.

สรุปความเห็นคณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการ (ครั้งที่ ๒)

ชื่อโครงการ : โครงการระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT

ชื่อผู้รับทุน : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลงานประจำงวดที่ ๔ (งวดสุดท้าย) : รายงานฉบับสมบูรณ์

คณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการฯ เห็นชอบผลงานของผู้รับทุน โดยมีความเห็นและข้อสังเกตให้ผู้รับทุนนำไปพิจารณาปรับปรุงผลงานต่อไป ดังนี้

- ความเห็นต่อผลงานที่ส่งมอบ

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|---|---|---|
| ๑. | รายงานเบื้องต้นและรายงานความก้าวหน้าโครงการ ฉบับที่ ๑ และฉบับที่ ๒ | - | - |
| ๒. | รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) ประกอบด้วย - รายละเอียดการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์นำเสนอข้อมูลผลการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวจราจรพื้นที่เป้าหมายของโครงการ - รายงานสรุปผลการดำเนินงานของโครงการ | - | - |
| ๓. | ต้นแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลการผิดปกติของพื้นผิวจราจรและประมาณข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ในยานพาหนะจำนวน ๕ ชั้น | - | - |
| ๔. | ต้นแบบระบบการสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensor ในยานพาหนะผ่านโครงข่าย IoT จำนวน ๑ เทคโนโลยี | <ul style="list-style-type: none"> • ตาราง 17-12 ควรมีการระบุว่า video ที่ใช้วัดผลกับโมเดลสถาปัตยกรรมที่มีทรัพยากรเพียงพอมาจากพื้นที่ใด เป็นวิดีโอเดียวกันกับตาราง 17-1 ถึง 17-11 หรือไม่อย่างไร | <ul style="list-style-type: none"> • คณะวิจัยได้ระบุที่มาของวิดีโอที่ใช้วัดผลกับโมเดลเรียบร้อยแล้ว โดยแสดงผลอยู่ในตารางที่ 17-12 |
| ๕. | Source code ของเว็บไซต์สำหรับรายงานผลการสำรวจการผิดปกติของพื้นผิวจราจร | - | - |



กทปส.

| ลำดับ | รายละเอียดผลงานงวดที่ ๔ | ข้อสังเกต คณะกรรมการพิจารณาผลงาน | สรุปรายละเอียดที่แก้ไข (พร้อมระบุหน้าในเล่มรายงาน) |
|-------|---|-------------------------------------|---|
| ๖. | รายงานผลการดำเนินงานฉบับย่อสำหรับลงตีพิมพ์ในวารสารสำนักงาน กสทช. อย่างน้อย ๑ ฉบับ | - | - |

คณะกรรมการพิจารณาผลงานการดำเนินโครงการระบบสอดส่องคุณภาพพื้นผิวจราจรโดย Machine Learning ด้วยข้อมูลจาก Sensorฯ (แก้ไขครั้งที่ ๒)

กันยายน ๒๕๖๕