การตรวจจับรถไฟสำหรับการเตือนทางข้ามทางรถไฟโดยใช้ Image Classification ด้วยหลักการ Deep Learning

TRAINS DETECTION FOR RAILROAD CROSSING WARNING USING AN IMAGE CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING METHOD

ปรัชญ์เมธี สมสกุล

ศุภวิชญ์ อภินิลบงกช

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRAINS DETECTION FOR RAILROAD CROSSING WARNING USING AN IMAGE CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING METHOD

PRACHMETEE SOMSAKUL

SUPAWICH APININBONGKOAD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจจับรถไฟสำหรับการเตือนทางข้ามทางรถไฟโดยใช้ Image Classification ด้วยหลักการ Deep Learning

TRAINS DETECTION FOR RAILROAD CROSSING WARNING USING AN IMAGE CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING METHOD

ผู้จัดทำ

1. นาย ปรัชญ์เมธี สมสกุล 61010633
2. นาย ศุภวิชญ์ อภินิลบงกช 61011057

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจับรถไฟสำหรับการเตือนทางข้ามทางรถไฟโดยใช้ Image Classification ด้วยหลักการ Deep Learning

นาย ปรัชญ์เมธี สมสกุล 61010633

นาย ศุภวิชญ์ อภินิลบงกช 61011057

ผศ.ดร. เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการตรวจจับรถไฟสำหรับการเตือนทางข้ามโดยใช้ Image Classification ด้วยหลักการ Deep Learning เพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนการมาของรถไฟในจุดตัดรถไฟและเพิ่มความปลอดภัยในจุดตัดรถไฟโดยเฉพาะทางลักผ่าน โดยที่การตรวจจับรถไฟจะต้องสามารถตรวจจับและแจ้งเตือนได้ภายในระยะที่สามารถเห็นรถไฟและสัญญาณแจ้งเตือนรถถึงการมาของรถไฟแล้วสามารถตัดสินใจข้ามทางได้อย่างปลอดภัย โดยนำภาษาไพธอน (Python) เข้ามาช่วยในการตรวจจับรถไฟโดยสร้างโมเดลการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Machine Learning) และสร้างโมเดลบน Jupyter Notebook แล้วให้ข้อมูลชุดภาพกับโมเดลเพื่อฝึกให้ทำนายภาพให้ได้อย่างแม่นยำ โดยทำการทดลองในบริเวณสถานีรถไฟพระจอมเกล้าและจุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้า College Town Ladkrabang พบว่าโมเดลสามารถตรวจจับรถไฟได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน แต่การทดลองยังสามารถพัฒนาได้อีกโดยอาจนำ Raspberry Pi มาใช้แทนอุปกรณ์และติดตั้งเสาต่อกล้องวงจรปิดเพื่อให้สามารถตรวจจับรถไฟได้ดียิ่งขึ้น

คำหลัก: รถไฟ; การแจ้งเตือน; จุดตัดทางรถไฟ; ทางลักผ่าน; Deep learning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRAINS DETECTION FOR RAILROAD CROSSING WARNING USING AN IMAGE CLASSIFICATION WITH DEEP LEARNING METHOD

Mr. Prachmetee Somsakul 61010633

Mr. Supawich Apininbongkoad 61011057

Asst.Prof.Dr. Akapot Tantrapiwat Advisor

Year 2021

Abstract

This thesis is to study train detection for crossing warning using image classification using deep learning principles to create a warning system for the arrival of trains at railway crossings and to increase safety at railway crossings, especially on railroad crossings. stealth through Where train detection must be able to detect and alert within a range of seeing trains and warning signs of trains coming and then be able to decide to cross the road safely. It uses Python to help detect trains by creating a supervised machine learning model using transfer learning techniques and building a model on a Jupyter Notebook and then providing visual data to the model to train to accurately predict the image. In our project, we conducting experiments at the Phra Chom Klao train station and the railway crossings in front of College Town Ladkrabang, It was found that the model could detect trains both during the day and at night But the experiment could be further developed, possibly using the Raspberry Pi as a replacement for the device and installing pole mounts for surveillance cameras to better detect trains.

Keywords: Train; Warning; Railraod crossing; Illegal crossing; Deep learning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจาก เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ สั่งสอน และให้คำปรึกษา รวมถึงถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างสูง รวมทั้งขอขอบพระคุณคณาจารย์ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอย่างยิ่งที่ให้การสนับสนุนการศึกษา และสถานที่ในการจัดทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัว น.ส. เกวลิน ตันติพิสิทธิ์และเพื่อนๆ ที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณยิ่ง

นาย ปรัชญ์เมธี สมสกุล 61010633

นาย ศุภวิชญ์ อภินิลบงกช 61011057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

Abstract II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง X

สารบัญรูป IX

สารบัญรูป(ต่อ) X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 สมมติฐาน 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่ข้อง 5

2.1 บทนำ 5

2.1.1 องค์ประกอบของการควบคุมในการเดินรถ 5

2.1.2 ประเภทของการตรวจจับตำแหน่งรถไฟ 6

2.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) 7

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) 7

2.4 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (CNN : Convolutional Neural Network) 7

2.4.1 Convolution Layer 8

2.4.2 การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Pooling Layer 8
2.4.4 Fully-Connected Layer 9
2.5 การจำแนกภาพ (Image Classification) 9
2.6 Arduino 10
2.7 พิกเซล (Pixel) 10
2.8 ภาพระดับสีเทา (Grayscale) 9
2.9 ภาพสี (RGB Color) 10
2.10 การแปลงภาพสี (RGB) เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) 11
2.11 เฟรมเรต (Frame rate) 11
2.12 อุปกรณ์รับภาพ 12
2.12.1 IP Camera (Internet Protocol Camera) 13
2.12.2 Web Server 14
2.12.3 RTSP (Real Time Streaming Protocol) 14
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
2.14 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 16
2.14.1 ลักษณะทางกายภาพของจุดตัดทางรถไฟตามมาตรฐานทางวิศวกรรม 16
2.14.2 ระยะหยุดรถไฟที่ปลอดภัย(Clearing Sight Distance) 19
2.14.3 ไพธอน(Python) 19
2.14.3.1 Tensorflow 2.0 20
2.14.3.2 Keras 20
2.14.3.3 OpenCV 20
2.14.3.4 Cvzone 21
2.15 การวัดประสิทธิภาพของโมเดล 21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 23
3.1 อุปกรณ์การทดลอง 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 อุปกรณ์รับภาพ 23
3.1.1.1 กล้องวงจรปิด Hikvision รุ่น DS-2CD1027G0-L(IP Camera) 23
3.1.2 อุปกรณ์ประมวลผล 23
3.1.2.1 คอมพิวเตอร์ 23
3.1.3 อุปกรณ์ส่งสัญญาณภาพและพลังงาน 23
3.1.4 อุปกรณ์ส่งสัญญาณภาพและพลังงาน 23
3.1.5 แบบจำลองเสาติดกล้อง 23
3.2 วิธีการดำเนินงาน 26
3.2.1. การสร้างโมเดล 26
3.2.1.1 การเตรียมชุดข้อมูล 26
3.2.1.1.1 การเก็บข้อมูลรูปภาพ 26
3.2.1.1.2 การแปลงรูปภาพ 26
3.2.1.1.3 การแบ่งชุดข้อมูล 27
3.2.2 การสร้างและฝึกโมเดล 27
3.2.3 การทดสอบความแม่นยำของโมเดล 28
3.3 การทดลองไปใช้ในสถานการณ์จริง 28
3.3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้ง 28
3.3.2 โปรแกรม 30
3.3.3 พื้นที่ที่ทำการศึกษา 30
บทที่ 4 ผลการทดลอง 33
4.1 ผลลัพธ์ของโมเดล 35
4.1.1 ความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึก 33
4.1.2 ความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการทดสอบ 34
4.2 ผลลัพธ์การตรวจจับรถไฟ 35
4.1.1. กรณีพบรถไฟ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองระบบแจ้งเตือน 35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 44
5.1 สรุปผลการทดลอง 35
5.2 ข้อจำกัดของโมเดล 35
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง 35
5.4 ข้อเสนอแนะ 35
เอกสารอ้างอิง 47
ภาคผนวก ก. 51
ภาคผนวก ข. 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การทดลอง..... 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 1.1 จำนวนจุดตัดทางรถไฟ 2
รูปที่ 1.2 สถิติอุบัติเหตุจุดตัดทางรถไฟ ปี58-62 2
รูปที่ 2.1 ภาพแสดงโครงสร้างโครงข่ายประสาทสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ 7
รูปที่ 2.2 แสดงการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผังคุณลักษณะ 8
รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของ Pooling layer 9
รูปที่ 2.4 แสดงแนวคิดของการจำแนกภาพ 9
รูปที่ 2.5 Arduino UNO 10
รูปที่ 2.6 พิกเซล (Pixel) 11
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงระดับสีเทา 11
รูปที่ 2.8 ภาพสี (RGB) 12
รูปที่ 2.9 การแปลงภาพสี(RGB) เป็นภาพระดับสีเทา(Grayscale) 12
รูปที่ 2.10 เฟรมเรต(Frame rate) 13
รูปที่ 2.11 The IP camera setup diagram 13
รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของ RTSP 14
รูปที่ 2.13 Corner Sight Distance บริเวณจุดตัดทางรถไฟ 17
รูปที่ 2.14 Coner Sight Distance บริเวณจุดตัดทางรถไฟ กรณีที่ 3 19
รูปที่ 2.15 Confusion Matrix 19
รูปที่ 3.1 กล้องวงจรปิด Hikvision รุ่น DS-2CD1027G0-L(IP Camera) 23
รูปที่ 3.2 สาย UTP 24
รูปที่ 3.3 แบตเตอร์รีทดแทน 24
รูปที่ 3.4 Buzzer และ LED 25
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ต่อวงจร 25
รูปที่ 3.6 แบบจำลองเสาติดกล้อง 26
รูปที่ 3.7 ภาพตัวอย่างชุดข้อมูล 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.8 แสดงการทำนายจากโปรแกรมตรวจสอบความแม่นยำ 28
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ในการทดลอง 29
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้วัดองศา 29
รูปที่ 3.11 Flow Chart การทำงานของโปรแกรม 30
รูปที่ 3.12 สถานีรถไฟพระจอมเกล้า 31
รูปที่ 3.13 จุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้าCollege Town Ladkrabang 31
รูปที่ 3.14 จุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้าCollege Town Ladkrabang 32
รูปที่ 4.1 แสดงผลการฝึกโมเดลบน Jupyter Notebook 33
รูปที่ 4.2 แผนภูมิเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำกับจำนวนอีพอคช์ 34
รูปที่ 4.3 แสดงตาราง Confusion Matrix ของการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ 35
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเที่ยงตรง, ค่าความถูกต้อง และ f1-score ของการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ 35
รูปที่ 4.5 แบบจำลองการแจ้งเตือนแจ้งเตือนเมื่อตรวจเจอรถไฟ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ระบบขนส่งทางรางในประเทศไทยมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก ใช้ทั้งการขนส่งผู้คนและสินค้าทั่วทั้งประเทศ โดยจะเห็นได้จากข้อมูลที่การรถไฟแห่งประเทศไทย[20]ได้เปิดเผยถึงสถิติการให้บริการด้านการโดยสารและการขนส่งสินค้าทางรถไฟในปีงบประมาณ 2564 ช่วง 6 เดือนแรก พบว่ามีจำนวนผู้โดยสารใช้บริการไม่น้อยกว่า 2 ล้านคนและใช้บริการด้านการขนส่งสินค้าอีกเป็นจำนวนมาก จะเห็นได้ว่าจากจำนวนการให้บริการของรถไฟจึงมีรถไฟวิ่งทั่วประเทศตลอดทั้งวันผ่านจุดตัดรถไฟมากมายซึ่งอาจเกิดอุบัติเหตุได้ในทุกเวลา

ปัจจุบันประเทศไทยมีจุดตัดรถไฟทั้งหมด 2684 แห่งโดยแบ่งได้เป็น ทางข้าม 192 จุด (คิดเป็น 7.16%), ทางลอด 214 จุด (คิดเป็น 7.97%) และ ทางเสมอระดับ 2,278 จุด (คิดเป็น 84.87%) จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาก่อนหน้าจะพบว่าทางเสมอระดับมีจำนวนเยอะมากที่สุด โดยทางเสมอระดับที่ได้รับการอนุญาตอย่างถูกต้องตามกฎหมายรถไฟมี 1,675 จุด (คิดเป็น 61.73%) ส่วนที่เหลืออีก 621 จุด (คิดเป็น 23.14%) เป็นทางลักผ่านที่ไม่ถูกต้องตามกฎหมาย

จากข้อมูลที่นายศักดิ์สยาม ชิดชอบ[1] รัฐมนตรีว่าการกระทวงคมนาคม เปิดเผยว่า จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าสถิติอุบัติเหตุทางรถไฟในช่วง 5 ปี ระหว่างปีงบประมาณ 2558-2562 ที่ผ่านมาพบว่ามีอุบัติเหตุบริเวณจุดตัดจำนวน 383 ครั้ง มีผู้ได้รับบาดเจ็บ 371 ราย และผู้เสียชีวิต 138 ราย หรือเฉลี่ยในแต่ละปีเกิดอุบัติเหตุจุดตัดเสมอระดับปีละประมาณ 77 ครั้ง มีผู้บาดเจ็บ 74 ราย มีผู้เสียชีวิต 28 ราย นอกจากนี้ พบว่าอุบัติหตุส่วนใหญ่เกิดบริเวณทางลักผ่าน เช่น ปี 2562 เกิดอุบัติเหตุรวม 86 ครั้ง แบ่งเป็น ทางผ่านไม่มีเครื่องกั้น 8 ครั้ง, ทางลักผ่าน 39 ครั้ง, มีเครื่องกั้น 33 ครั้ง และล้ำในเขตทาง 6 ครั่ง ส่งผลให้มีผู้บาดเจ็บ 64 คน และเสียชีวิต 34 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 จำนวนจุดตัดทางรถไฟ

(ที่มา www.thebangkokinsight.com)

รูปที่ 1.2 สถิติอุบัติเหตุจุดตัดทางรถไฟ ปี58-62

(ที่มา www.thebangkokinsight.com)

จะเห็นได้ว่าเมื่ออิงจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุบริเวณจุดตัดทางรถไฟ จะพบว่าเกิดอุบัติเหตุมาแล้วไม่น้อยกว่า400ครั้ง โดยสถานที่เกิดเหตุบ่อยที่สุดคือ ระหว่างทางที่รถไฟวิ่ง ส่วนจุดเกิดเหตุบ่อยที่สุดคือ ทางลักผ่าน ซึ่งเกิดอุบัติเหตุแล้ว ไม่น้อยกว่า 150 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเพื่อให้ทางจุดตัดเสมอระดับเกิดความปลอดภัยที่มากขึ้น ช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุและเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับรถไฟในทางจุดตัดเสมอระดับ ผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบชุดคำสั่งโดยใช้ Python โดยใช้การประมวลภาพด้วย Image Processing เพื่อหวังให้ช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อเพิ่มความปลอดภัยบริเวณจุดตัดทางรถไฟโดยเฉพาะทางลักผ่าน

1.2.2 เพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนการมาของรถไฟบริเวณจุดตัดทางรถได้โดยใช้ Image Processing

1.3 สมมติฐาน

สามารถตรวจจับรถไฟที่เคลื่อนที่ผ่านทางข้ามรถไฟได้ด้วยการประมวลผลภาพด้วย Image Processing

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาเกี่ยวกับแมชชีนเลิร์นนิ่งเพื่อสร้างโมเดลสำหรับการตรวจจับขบวนรถไฟ

1.4.2 สร้างโมเดลและฝึกให้มีความแม่นยำในระดับที่ใช้งานได้จริง

1.4.3 ติดตั้งและใช้งานร่วมกับสัญญาณเตือนบริเวณทางข้ามได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 กำหนดหัวข้อ วัตถุประสงค์ และขอบเขตงานวิจัย

1.5.2 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับข้อมูลพื้นฐาน สถิติต่างๆเกี่ยวกับทางข้ามรถไฟ

1.5.3 ศึกษาการเขียนชุดคำสั่งและการใช้งาน Python

1.5.4 เขียนชุดคำสั่งตามที่ได้ศึกษามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.5 ทดสอบชุดคำสั่งกับข้อมูลตัวอย่างที่เตรียมไว้

1.5.6 แก้ไขและปรับปรุงการทำงานให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.5.7 สรุปผลและให้ข้อเสนอแนะเพื่อต่อยอดงานวิจัยในอนาคต

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 สามารถนำชุดคำสั่งที่พัฒนานี้ไปต่อยอดหรือประยุกต์กับการใช้งานจริงได้

1.6.2 ได้รับทักษะในการเขียนโปรแกรม Python

1.6.3 เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการแจ้งเตือนรถไฟในจุดตัดทางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

รถไฟ เป็นกลุ่มของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปตามรางเพื่อการขนส่งสินค้าหรือผู้โดยสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง รางส่วนใหญ่มักจะประกอบด้วยราง 2 เส้นขนานกัน แต่ยังหมายรวมถึงประเภทรางเดี่ยวหรือประเภทที่ใช้พลังแม่เหล็กด้วย รถไฟจะขับเคลื่อนด้วยหัวรถจักรหรือขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์หลายๆตัวที่ติดอยู่ใต้ท้องรถ รถไฟสมัยใหม่จะใช้กำลังจากหัวรถจักรดีเซลหรือจากไฟฟ้าที่ส่งมาตามสายไฟที่อยู่เหนือตัวรถหรือตามรางสาม (Third Rail)

โดยรถไฟที่เราจะนำมาวิเคราะห์คือ รถดีเซลราง (Diesel Multiple Unit) ซึ่งเป็นรถโดยสารที่มีเครื่องยนต์ดีเซลขับเครื่องด้วยตนเอง เป็นรถไฟที่ใช้วิ่งทั่วไปในประเทศไทย โดยพื้นที่ที่เราสนใจศึกษาเพื่อตรวจจับรถไฟคือบริเวณจุดตัดทางรถไฟซึ่งในจุดตัดทางรถไฟบางแห่งเป็นทางลักผ่านที่ไม่มีการควบคุมความปลอดภัยทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นบ่อยครั้งจากที่ได้กล่าวไปก่อนหน้า

ทีมพีอาร์การรถไฟแห่งประเทศไทย[4] ได้กล่าวว่าจุดตัดทางรถไฟที่พบเห็นในปัจจุบันที่ได้กล่าวไปในบทที่ 1 สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ จุดตัดทางรถไฟแบบต่างระดับ จุดตัดทางรถไฟแบบมีเครื่องกั้น จุดตัดทางรถไฟแบบควบคุมด้วยเครื่องหมายจราจร และจุดตัดทางรถไฟที่เป็นทางลักผ่าน

ทางลักผ่าน (Illegal Crossing) คือ ทางตัดผ่านทางรถไฟที่เป็นทางเข้า-ออกประจำของเอกชนหรือผู้อยู่อาศัยบริเวณนั้น ๆ ผู้ทำทางตัดผ่านอาจจะเป็นประชาชนหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เช่น เทศบาล องค์การบริหารส่วนตำบล แต่ไม่ได้มีการขออนุญาตทำทางตัดผ่านจากการรถไฟแห่งประเทศไทยหรือไม่ได้รับอนุญาตจากการรถไฟแห่งประเทศไทย จึงเป็นทางตัดผ่านที่ไม่มีการควบคุมด้านความปลอดภัย

2.1.1 องค์ประกอบของการควบคุมในการเดินรถ

การควบคุมการเดินรถสามารถบ่งออกเป็น 6 ส่วนดังนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ภาคสนาม (Field Element) เช่นเสาสัญญาณ ตัวสัญญาณ ระบบเคลียร์รางระบบการสับราง ระบบป้องกันรถไฟบนรางอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ควบคุม (Element Control Level เช่นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและตรวจรู้ รวมถึงส่งสัญญาณมายังจุดต่างๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ในส่วนที่ใช้ภาคสนามจะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและส่งสัญญาณเป็นระบบด้วยอุปกรณ์ควบคุมนี้

3. ระบบสัญญาณและการควบคุมทำงาน (Signaling and Operation Control Level) ในระบบุควบคุมส่วนนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่อหรือความสัมพันธ์ในการทำงานระหว่างผู้ควบคุมและเครื่องจักร (Man-Machine Interface) ผู้ส่งสัญญาณจะเป็นผู้ควบคุมการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟโดยตรง เขาจะรู้ตารางเวลาการหยุดรถ การเข้าสถานี

4. ระบบ Interlocking Level ในส่วนนี้ระบบจะทำหน้าที่ติดต่อคำสั่งควบคุมจากสถานีควบคุมส่วนกลางเพื่อควบคุมขบวนรถฟโดยผ่านระบบสัญลักษณ์หรือสัญญาณต่างโดยที่พนักงานขับรถจะรับหราบภายหลัง

5. ระบบ Interlocking Station ในส่วนนี้ระบบ Interlocking Station จะทำหน้าที่ควบคุมดูแลสัญญาณ Interlocking โดยขึ้นอยู่กับระยะทางและระยะห่างของแต่ละสถานี

6. ผู้ควบคุมการเดินรถ (Dispatcher) จะเป็นผู้ที่ดูแลและจัดการทุกอย่างของขบวนรถไฟตั้งแต่ตารางเวลาการเดินรถ การหยุด การจอดรถในแต่ละสถานีรวมถึงการส่งสัญญาณสื่อสารกับพนักงานขับรถ

2.1.2 ประเภทของการตรวจจับตำแหน่งรถไฟ

การตรวจจับเฉพาะจุด (Spot detection) เช่น การตรวจจับที่ล้อโดยใช้วงจรแม่เหล็กหรือใช้การเหนี่ยวนำเป็นต้น

การตรวจจับเชิงเส้น หรือการตรวจจับเป็นช่วง บางแบบเป็นการตรวจจับแบบจุดหลายๆ ตำแหน่ง (Linear Detection or Quasi Spot) เช่น วงจรไฟตอน (Track Circuit)

การตรวจเป็นพื้นที่ เช่นการใช้คลื่นแม่เหล็ก (Electromagnetic Wave Length) ซึ่งแบบนี้ไม่เพียงจับรถไฟได้ แต่รวมถึงวัตถุอื่นที่เข้ามาในพื้นที่ด้วย

การตรวจจับแบบสามมิติ เช่นการติดตั้งกล้องที่ทางข้ามต่าง ๆ หรือเทคนิคใหม่ๆ อย่างกล้องตรวจจับวัตถุอัตโนมัติ (Automatic Image Procession) โดยกล้องจะสามารถหมุนไปจับภาพวัตถุที่นอกเหนือจากที่มีอยู่โดยปกติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

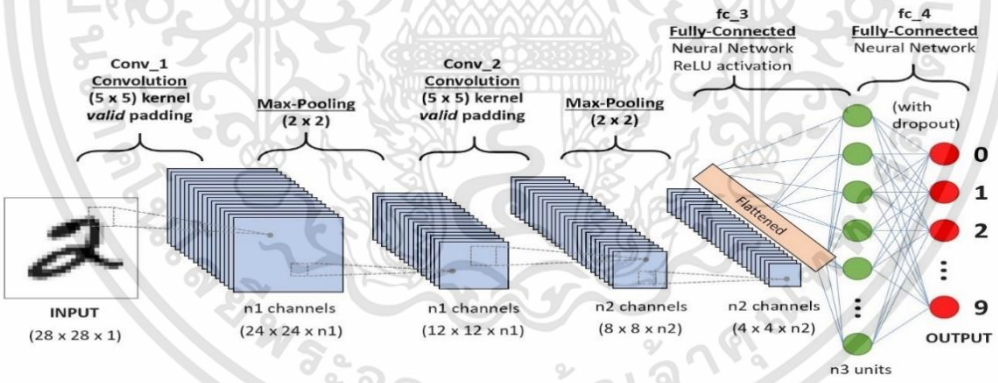
2.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

การเรียนรู้เชิงลึก คือเทคนิคการเรียนรู้แบบอัตโนมัติของคอมพิวเตอร์ ด้วยการ เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Neural Network) โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มาซ้อนกันมากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป ทำให้เกิดความลึกของโครงข่ายประสาทเทียม เป็นที่มาของชื่อ Deep Learning โดยทำการเรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจับรูปแบบ (Pattern) หรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล (Classify the Data)

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) คือ ระบบคอมพิวเตอร์จากโมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองการทำงานโครงข่ายประสาทชีวภาพที่อยู่ในสมองของสัตว์ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ที่จะทำงานที่มอบหมายได้ จากการเรียนรู้ผ่านตัวอย่าง โดยไม่ถูกโปรแกรมด้วยกฎเกณฑ์ตายตัวแบบระบบอัตโนมัติ

2.4 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (CNN : Convolutional Neural Network)



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงโครงสร้างโครงข่ายประสาทสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ

(ที่มา: https://www.thinkautomation.com/eli5/eli5-what-is-image-classification-in-deep-learning/)

โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network) คือโครงข่ายประสาทเทียมแบบหนึ่งที่มักถูกนำมาใช้ในงานวิเคราะห์รูปภาพ(Image Processing) เช่น จำแนกประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

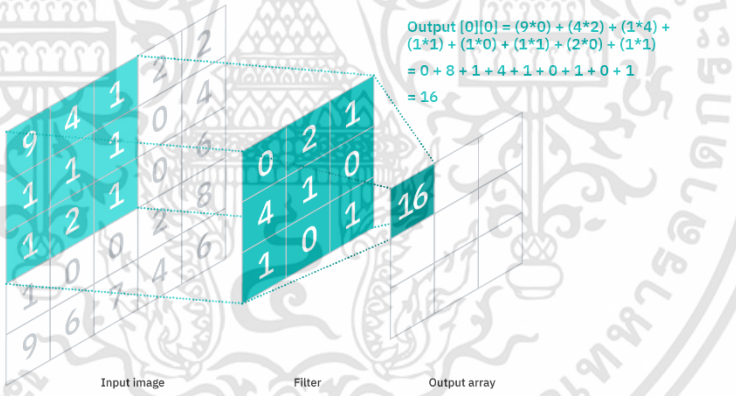
ข้อมูลภาพ (Image Classification), ตรวจจับวัตถุ (Object Detection), จดจำใบหน้า (Face Recognition)

2.4.1 Convolution Layer

โดยที่แนวคิดหลักของโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันคือการใช้ชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดพิเศษ ที่เรียกว่า Convolution Layer ซึ่งทำหน้าที่สกัด (Extraction) เอาส่วนต่างๆของภาพออกมา เช่น เส้นขอบของวัตถุต่างๆ เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ลักษณะ (Feature) ของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ มาทำงานร่วมกับ Layer ชนิดอื่น เช่น Pooling Layer

2.4.2 การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction)

การคำนวณนี้จะเริ่มจากการกำหนดค่าใน ตัวกรอง (Filter) หรือ เคอร์เนล (Kernel) ที่ช่วยดึงคุณลักษณะที่ใช้ในการรู้จำวัตถุออกมาได้เป็นผังคุณลักษณะ (Feature Map) โดยปกติตัวกรอง/เคอร์เนลอันหนึ่งจะดึงคุณลักษณะที่สนใจออกมาได้หนึ่งอย่าง เราจึงจำเป็นต้องตัวกรองหลายตัวกรองด้วย เพื่อหาคุณลักษณะทางพื้นที่หลายอย่างประกอบกัน



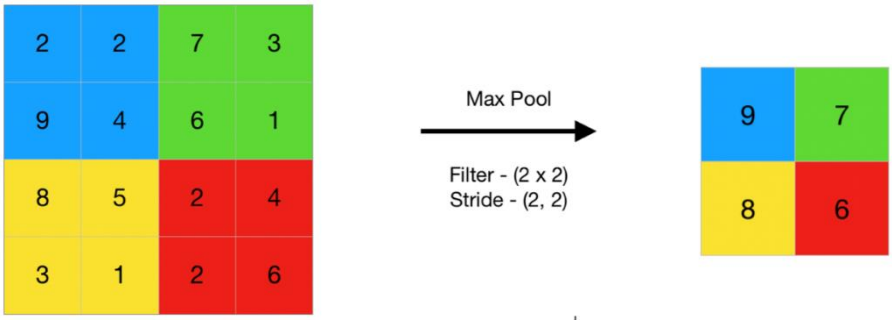
รูปที่ 2.2 แสดงการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผังคุณลักษณะ

(ที่มา: https://www.ibm.com/cloud/learn/convolutional-neural-networks)

2.4.3 Pooling Layer

หลังจากที่ข้อมูลผ่าน Convolution Layer แล้ว บ่อยครั้งที่จะถูกส่งเข้า Layer อีกแบบหนึ่งที่เรียกว่า Pooling Layer เพื่อลดขนาดข้อมูลโดยการสกัดเอาเฉพาะส่วนที่สำคัญ ที่สุดของข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลให้รวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานของ Pooling layer

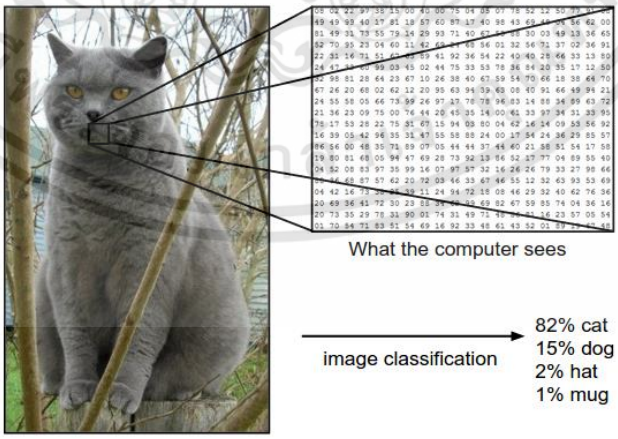
(ที่มา: https://www.geeksforgeeks.org/cnn-introduction-to-pooling-layer/)

2.4.4 Fully-Connected Layer

เป็นชั้นที่เชื่อมโยงระหว่าง Feature Map และ Output แบบสมบูรณ์ นั่นหมายถึงทุกๆ Neuron ที่อยู่ในชั้นสุดท้ายของ Feature Map จะถูกนำไปเปลี่ยนรูปหรือเรียกว่า Flatten เพื่อส่งไปคำนวณต่อในชั้นถัดไป ซึ่งก็คือชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP (Multi-layer Perceptron) ดังนั้น Feature Map ในชั้นสุดท้ายจึงเปรียบเสมือน Input เข้าไปยังโครงข่ายประสาทเทียม

2.5 การจำแนกภาพ (Image Classification)

กระบวนการในการจำแนกภาพของคอมพิวเตอร์ว่าภาพนั้นๆเป็นภาพประเภทใดจากการเทียบความใกล้เคียงของลักษณะของข้อมูลในภาพและลักษณะของข้อมูลแต่ละประเภทซึ่งได้มาจากกระบวนการฝึกแบบจำลองจากตัวอย่างข้อมูล โดยประเภทคือชื่อของข้อมูลภาพกลุ่มนั้นๆ อย่างเช่น รถ, แมว, หมา



รูปที่ 2.4 แสดงแนวคิดของการจำแนกภาพ

(ที่มา: https://miro.medium.com/max/540/1*uqueS5es63fscKvtpr4CLQ.png)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Arduino

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

โดยได้เลือกใช้ Arduino UNO เป็นบอร์ดโอเพนซอร์สไมโครคอนโทรลเลอร์ ใช้กันอย่างแพร่หลายบนพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P บอร์ดมีชุด Pin อินพุต/เอาท์พุต (I / O) แบบดิจิตอลและอนาล็อก ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดขยาย (Shields) ต่างๆและวงจรอื่นๆ ได้

บอร์ดนี้มี Analog pin 6 ขา และ Digital pin 14 ขา โดยมี 6 ขา สามารถใช้เป็น output แบบ PWM ได้ สามารถโปรแกรมด้วย Arduino IDE (Integrated Development Environment) สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้ adaptor AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งาน

รูปที่ 2.5 Arduino UNO

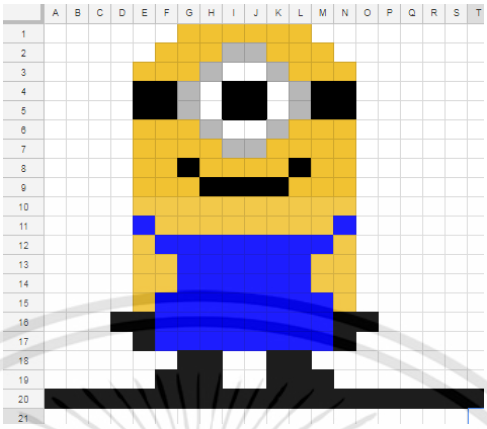
(ที่มา: https://sites.google.com/site/karanwinatktech/unit1)

2.7 พิกเซล (Pixel)

ส่วนประกอบของรูปภาพๆทุกภาพประกอบด้วยชุดพิกเซล โดยปกติพิกเซลถือเป็น "สี" หรือ "ความเข้ม" ของแสงที่ปรากฏในตำแหน่งที่กำหนดในภาพ สมมติให้รูปภาพเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละช่องในตารางจะมีพิกเซลเดียว พิกเซลส่วนใหญ่แสดงเป็นสองลักษณะ คือ ระดับสีเทา (Gray Scale) และสี (RGB)



รูปที่ 2.6 พิกเซล (Pixel)

(ที่มา: https://dasintergroup.com /blog/พิกเซล-pixel-คืออะไร-และเกี่ยวข้องอะไรกับกล้องวงจรปิด/)

2.8 ภาพระดับสีเทา (Grayscale)

ในภาพระดับสีเทาแต่ละพิกเซลมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 โดยที่ค่า 0 จะตรงกับ "ดำ" และ 255 เป็น "สีขาว"

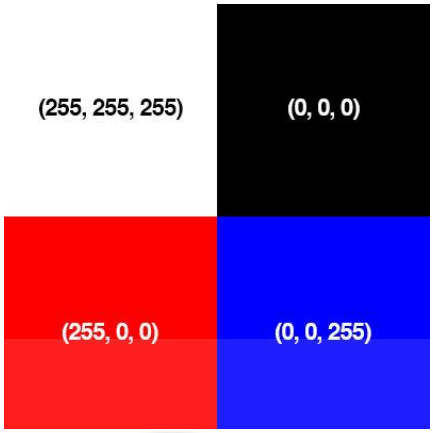
รูปที่ 2.7 ภาพแสดงระดับสีเทา

(ที่มา: https://gurus.pyimagesearch.com/wp-content/uploads/2015/03/image_gradient.jpg)

2.9 ภาพสี (RGB Color)

ในหนึ่งพิเซลจะประกอบไปด้วย 3 ค่า คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) โดยทั้งสามค่าจะมีค่าความเข้มอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับภาพระดับสีเทา สามารถเขียยนให้อยู่ในรูป tuple ได้ดังนี้ (R,G,B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพสี (RGB)

(ที่มา: https://gurus.pyimagesearch.com/wp-content/uploads/2015/03/color_examples.jpg)

2.10 การแปลงภาพสี (RGB) เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale)

ใช้คำสั่ง cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY) โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์

Grayscale = (0.299*R) + (0.587*G) + (0.114*B)

เนื่องจากภาพระดับสีเทาเป็นข้อมูลที่มีขนาดเล็กกว่าภาพสีทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น

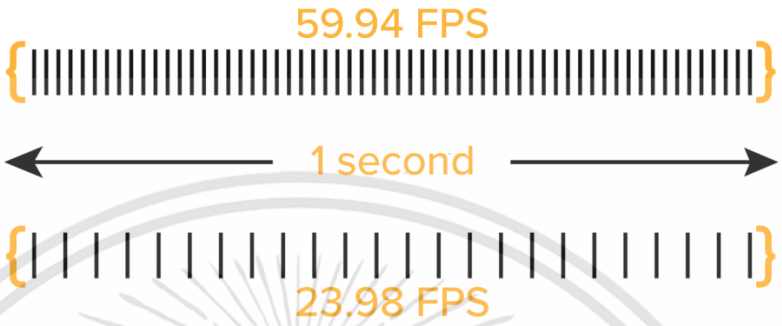
รูปที่ 2.9 การแปลงภาพสี(RGB) เป็นภาพระดับสีเทา(Grayscale)

(ที่มา: https://helpx.adobe.com/th_th/photoshop-elements/key-concepts/grayscale.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 เฟรมเรต (Frame rate)

ในสื่อภาพเคลื่อนไหวทุกชนิด จะมี **frame rate** ซึ่งหมายถึง จำนวนเฟรม (จำนวนภาพนิ่ง) โดยมีหน่วยเป็นต่อวินาที **(Per Second)** เรียกย่อๆว่า **FPS (Frame Per Second)** เช่น 30 **FPS** คือ ใน 1 วินาทีจะมีภาพนิ่งต่อเนื่องกัน 30 ภาพ



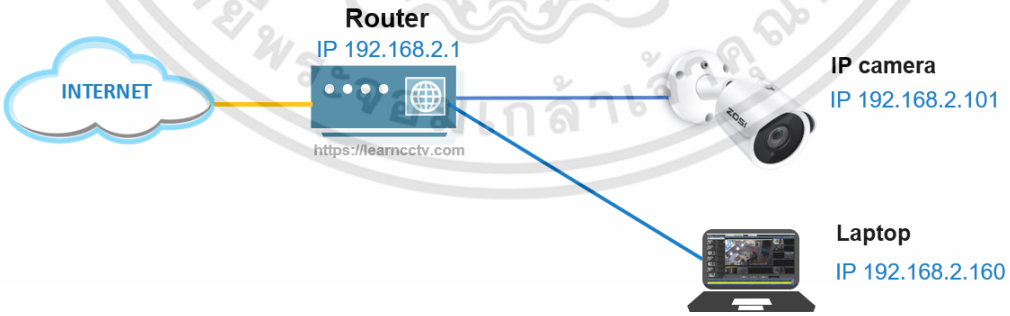
รูปที่ 2.10 เฟรมเรต(Frame rate)

(ที่มา: https://i0.wp.com/www.bettereditor.be/wp-content/uploads/2020/02/frame-rates-made-easy_frame-rate-diagram.png?resize=1024%2C380&ssl=1)

2.12 อุปกรณ์รับภาพ

2.12.1 IP Camera (Internet Protocol Camera)

กล้องวงจรปิด (CCTV:Closed Circuit Television System) ที่รวมเอาคุณสมบัติของ Web Server ไว้ในตัวกล้อง (คล้ายกับเป็นการนำเอาความสามารถบางส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์บรรจุลงไปในตัวกล้องวงจรปิด) เพื่อให้สามารถ ดูภาพสดบนระบบ Internet หรือ ระบบเครือข่ายได้



รูปที่ 2.11 The IP camera setup diagram

(ทีมา: https://learncctv.com/wp-content/uploads/2020/03/Zosi-IP-network-diagram-final.png)

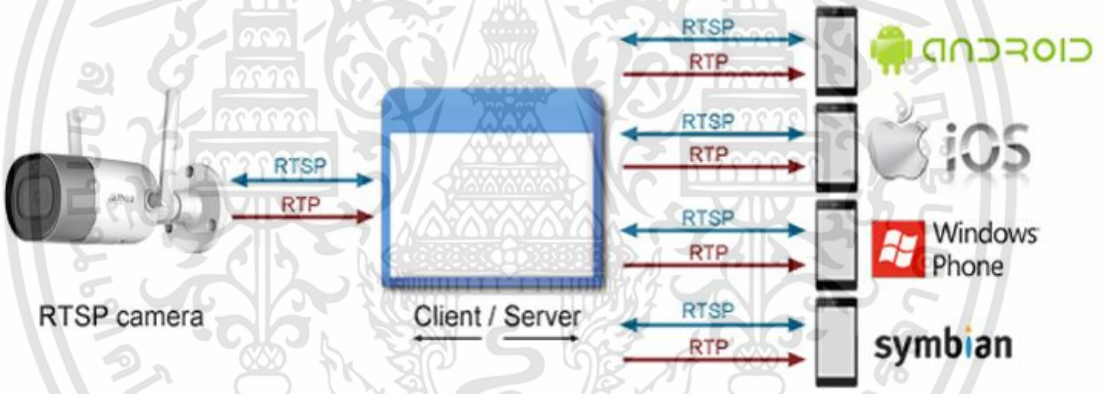
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 Web Server

เซิร์ฟเวอร์ประเภท Web Server นั้น คือ ซอฟต์แวร์ และ ฮาร์ดแวร์ ที่ใช้ภาษาโพรโท-คอลแบบ HTTP (Hypertext Transfer Protocol) และอื่นๆ ในการตอบสนองและสื่อสารกับเครื่องลูก (Client) ในเครือข่าย ในแพลตฟอร์ม World Wide Web หน้าที่หลักของเว็บเซิร์ฟเวอร์ คือ แสดงผลข้อมูลและเนื้อหา Website ด้วยการจัดเก็บ, ประมวลผล และ นำเสนอออกมาแก่ User ในลักษณะ Webpage นั่นเอง

2.12.3 RTSP (Real Time Streaming Protocol)

เป็นโปรโตคอลที่ใช้รับส่งข้อมูล มัลติมีเดียระหว่างเซิร์ฟเวอร์กับคอมพิวเตอร์ปลายทาง ซึ่งจะทำให้การรับส่งข้อมูลต่อเนื่องผ่าน อินเตอร์เน็ต โดยตัวเซิร์ฟเวอร์ด้านผู้ส่งสามารถส่งข้อมูลไปให้ผู้รับปลายทางเพียงคนเดียว หรือจะส่งไปให้ผู้รับหลายๆคนในลักษณะเป็นกลุ่มก็ได้ ใช้ในการดูภาพวิดีโอ จากกล้องวงจรปิดแบบ Realtime ซึ่งตัวกล้องต้องรองรับฟังก์ชันนี้ด้วย



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของ RTSP

(ที่มา: https://4.bp.blogspot.com/-_qa6SHd7Qus/Wt1Fwhvcpyl/AAAAAAAAA70/fV2bx9dfXpMmGpwqhI2H5R0bQIUUWq5GQCLcBGAs/s1600/dds.jpg)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชูไฮดี สนิ, ธีรพงษ์ ฉิมเพชร, นราธร สังข์ประเสริฐ และ จรูญ เจริญเนตรกุล [6] ได้ศึกษาวิธีการประมวลภาพเคลื่อนไหวเพื่อประยุกต์ใช้ในงานคมนาคมทางรางและเพื่อพัฒนาเป็นเครื่องมือด้านวิศวกรรมในการช่วยป้องกันอุบัติเหตุสำหรับจุดตัดผ่านทางรถไฟ โดยการนำกล้องวงจรปิดติดตั้งที่ข้างรางรถไฟโดยมีระยะห่างจากจุดตัดผ่านทางรถไฟและเครื่องกั้นทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภาพที่ได้เข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้วทำการประมวลภาพด้วยโปรแกรมโดยอาศัยฟังก์ชันในการตรวจจับรถไฟ ได้แก่ ฟังก์ชันน้ำหนักของสีที่มีหน้าที่แยกแยะสีของวัตถุ ฟังก์ชันความเหมือนที่มีหน้าที่เปรียบเทียบวัตถุกับภาพในฐานข้อมูล และฟังก์ชันการเคลื่อนไหวด้วยขนาดพิกเซลของภาพที่มีหน้าที่ในการดูการเคลื่อนที่ของวัตถุ เมื่อระบบตรวจจับรถไฟได้จะส่งสัญญาณให้เครื่องกั้นทำงาน ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบสามารถตรวจจับรถไฟดีเซลได้เป็นอย่างดีและมีความแม่นยำเมื่อขบวนรถเคลื่อนที่เข้าสู่ระยะ 50 เมตรจากตัวกล้อง โดยเครื่องกั้นทางสามารถทำงานได้ก่อนขบวนรถเคลื่อนที่มาถึงจุดตัดผ่านทางรถไฟ

ภากร วงศ์สูงเนิน, นิภาพร ขันทะ และ นิธิศภูมิ ชัยอำนาจ [7] ได้ศึกษา ออกแบบ และติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณแจ้งเตือนทางพาดรถไฟแบบสื่อสารไร้สายอัตโนมัติที่มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับวัตถุ เชื่อมต่อกับชุดควบคุม เพื่อแจ้งเตือนเมื่อมีรถไฟผ่านทางพาด โดยระบบแจ้งเตือนภัยจะประกอบด้วยชุดควบคุม เป็นตัวควบคุมการรับ-ส่ง สัญญาณ จากอุปกรณ์ตรวจจับ ขณะที่รถไฟวิ่งผ่านจะทำการส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณระยะไกลไปยังชุดควบคุมเพื่อให้อุปกรณ์แจ้งเตือนแสดงผล ขณะเดียวกันเมื่อรถไฟขบวนเดิมวิ่งผ่านทางพาดรถไฟไปแล้วระยะหนึ่งอุปกรณ์แจ้งเตือนจะหยุดทำงาน ในการทดลองได้ทดลองกับขบวนรถไฟจริงที่วิ่งผ่าน จำนวน 30 ครั้ง ผลปรากฏว่า อุปกรณ์ตรวจจับวัตถุ อุปกรณ์ส่งสัญญาณระยะไกลและอุปกรณ์แจ้งเตือนแสดงผลการทำงานทุกครั้งที่ทดลองและทำงานได้ไม่ผิดพลาดเลยที่ระยะทางตั้งแต่ 5 – 1,000 เมตร

วิไลลักษณ์ กุลรัตน์, จักรพงศ์ กาสี และ สุรสิทธิ์ ทุมวรรณ์ [8] ได้ศึกษาระบบเตือนทางข้ามรถไฟโดยใช้บอร์ดRaspberry Pi และตัวตรวจรู้ Ultrasonicเพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนการมาของรถไฟตามบริเวณจุดตัดทางรถไฟโดยการเขียนโปรแกรม Python ให้บอร์ด Raspberry Pi สามารถส่งสัญญาณและคำนวณความยาวของ Pulse และส่งสัญญาณไป-กลับกับตัวตรวจรู้ Ultrasonic เพื่อแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณไฟสีโดยผู้จัดทำได้ทำแบบจำลองทางลักผ่านออกมาเพื่อทำการวิจัย ได้ผลสรุปว่าจากการทดลอง 100 ครั้งอุปกรณ์ทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่วางไว้ พร้อมทั้งแจ้งเตือนว่ากำลังมีรถไฟมาและแจ้งเตือนกรณีที่มีรถค้างอยู่บนรางรถไฟทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยบริเวณทางลักผ่านได้

Gregoire S. Larue, Ashleigh J. Filtness, Sebastien Demmel, Christopher N. Watling,Anjum Naweed และ Andry Rakotonirainy [14] กล่าวถึงปัญหาการข้ามจุดตัดทางรถไฟแบบไม่มีสัญญาณเตือนเพื่อช่วยให้ผู้ใช้ถนนตัดสินใจได้อย่างปลอดภัยเพราะผู้ใช้ถนนจะตัดสินใจจากการทองเห็นขบวนรถไฟด้วยตาเปล่าและคาดการณ์เอาเองเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุตามมาได้ โดยงานวิจัยนี้มีผู้เข้าร่วมการทดลอง 36 คน โดยให้รายงานเมื่อมองเห็นรถไฟ ผลออกมาว่าผู้เข้าร่วมการทดลองจะมองเห็นรถไฟที่ระยะทาง 2กิโลเมตร และรู้ว่ารถไฟกำลังเคลื่อนที่เมื่อมองเห็นจากระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 กิโลเมตร และผู้เข้าร่วมการทดลองส่วนใหญ่จะประเมินความเร็วของรถไฟต่ำกว่าความเป็นจริง และผู้เข้าร่วมการทดลองยังมีความมั่นใจในการตัดสินใจของตัวเองมากเพราะผู้เข้าร่วมการส่วนใหญ่ทดลองจะตัดสินใจข้ามจุดตัดทางรถไฟอยู่ดีแม้สัญญาณเตือนจะเปิดอยู่ในกรณีที่จุดตัดนั้นมีสัญญาณเตือนก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำให้รู้ว่าปัญหาอุบัติเหตุที่จุดตัดทางรถไฟบางส่วนมาจากความผิดพลาดของผู้ใช้ถนน ไม่ว่าจะเป็นการประเมินความเร็วรถไฟต่ำไปเพราะเป็นจุดตัดที่ไม่มีสัญญาณเตือน และการไม่ปฏิบัติตามสัญญาณเตือนอย่างเคร่งครัดในกรณีที่จุดตัดมีสัญญาณเตือน

Michael G.Lenné, Christina M.Rudin-Brown, Jordan Navarro, Jessica Edquist, Margaret Trotter และ NebojsaTomasevic [15] กล่าวถึงพฤติกรรมการตอบสนองของผู้ใช้ถนนต่อการเตือนที่จุดตัดทางรถไฟ ทำการทดลองโดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลอง 25 คน(ชาย 19 หญิง 6) โดยให้ผู้เข้าร่วมการทดลองทำการทดลองโดยจำลองการขับรถยนต์ โดยผู้เข้าร่วมการทดลองจะเจอจุดตัดทางรถไฟทั้งหมด 3 จุดตัดประกอบไปด้วย จุดตัดที่มีการเตือนโดยใช้ป้ายหยุด, จุดตัดที่ใช้สัญญาณไฟสีแดง, และจุดตัดที่ใช้สัญญาณไฟจราจร พบว่าผู้เข้าร่วมการทดลองจะแตะเบรคเพื่อลดความเร็วรถยนต์ก่อนถึงจุดตัดเมื่อเห็นสัญญาณไฟสีแดงถี่ที่สุด และพบว่ามีการปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดต่ำที่สุดต่อจุดตัดที่ใช้เพียงป้ายหยุด

2.14 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.14.1 ลักษณะทางกายภาพของจุดตัดทางรถไฟตามมาตรฐานทางวิศวกรรม

จากบทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่19 [8] เกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพบริเวณจุดตัดทางรถไฟกรณีศึกษาจุดตัดทางรถไฟ จ.ปราจีนบุรี โดยจะยกเนื้อหาในส่วนของระยะการมองเห็นบริเวณจุดตัดทางรถไฟ

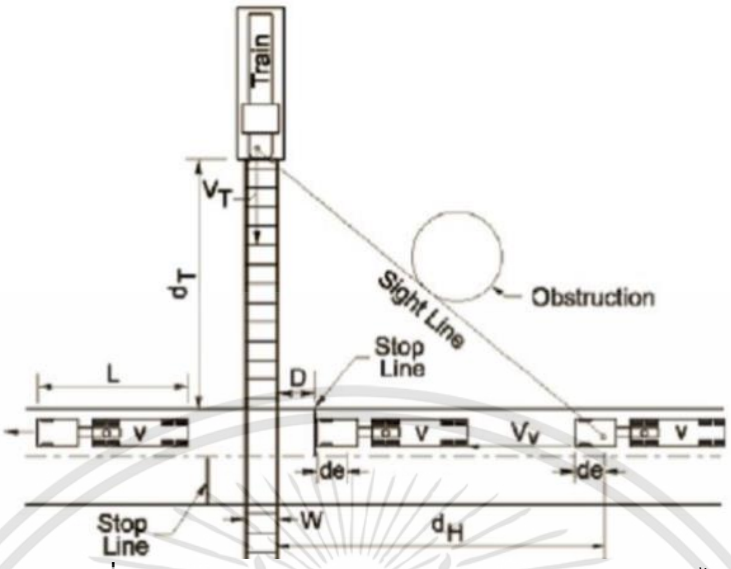
โดยในบริเวณจุดตัดทางรถไฟจะต้องรักษาระยะการมองเห็นที่ปลอดภัย โดยไม่ให้มีสิ่งกีดขวางระยะการมองเห็นดังกล่าว ระยะการมองเห็น (Comer Sight Distance) คือ ระยะที่ผู้ขับขี่สามารถสังเกตเห็นรถไฟที่กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณจุดตัดทางรถไฟ ระดับความเร็วที่ใช้ออกแบบเพื่อใช้ในการตัดสินใจเข้าสู่บริเวณจุดตัดทางรถไฟมีอยู่ 3 องค์ประกอบคือ

1.ระยะทางตามแนวถนนไปยังบริเวณจุดตัดทางรถไฟ (d_H)

2.ระยะในแนวทแยงมุมจากรถไปยังรถไฟที่กำลังเคลื่อนเข้าสู่บริเวณจุดตัดทางรถไฟ ซึ่งสัมพันธ์กับความร็วและระยะทางตามแนวถนน (d_H) และระยะทางตามแนวทางรถไฟ(d_T) ไปยังบริเวณจุดตัดทางรถไฟ

3.ระยะการมองเห็นในแนวทแยงมุมตามแนวทางรถไฟเมื่อรถจอดอยู่ที่ Stop Line ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วและระยะทางตามแนวทางรถไฟ (d_T) ไปยังบริเวณจุดตัดทางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Corner Sight Distance บริเวณจุดตัดทางรถไฟ

(ที่มา: https://www.http://trsl.thairoads.org/)

โดยจาก 3 องค์ประกอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี

กรณี 1) ผู้ขับขี่เห็นรถไฟอยู่บริเวณจุดตัดทางรถไฟหรือเห็นสัญญาณแจ้งเตือนรถไฟที่กำลังเคลื่อนเข้าในบริเวณดังกล่าว จึงตัดสินใจที่จะหยุดรถและสามารถหยุดได้อย่างปลอดภัย ระยะทางตามแนวถนนไปยังบริเวณจุดตัดทางรถไฟ (d_H) จากจุดที่ตัดสินใจหยุดรถก็คือ ระยะหยุดปลอดภัย (Stopping Sight Distance) หาได้จาก

$$d_H = AV_v t + \frac{BV_v^2}{a} + D + d_e \qquad (2.1)$$

d_H หมายถึง ระยะทางตามแนวถนนไปยัง Stop Line (m), A เป็นค่าคงที่ มีค่า 0.278, B เป็นค่าคงที่ มีค่า 0.039, V_vหมายถึง ความเร็วของรถที่วิ่งเข้าสู่จุดตัดทางรถไฟ (km/hr), t หมายถึง เวลาในการรับรู้และตัดสินใจหยุดรถ กำหนดให้เท่ากับ 2.5 sec, a หมายถึง อัตราเฉื่อยในการหยุดรถ กำหนดเท่ากับ 3.4 m/s, D หมายถึง ระยะทางจากด้านหน้ารถ หรือ Stop Line ไปขังขอบรางรถไฟที่อยู่ใกล้ที่สุด ประเทศไทย มีค่า 5.0 m และ d_e หมายถึง ระยะทางจากตำแหน่งของผู้ขับขี่ไปยังด้านหน้าของรถ มีค่า 2.4 m

กรณี 2) เมื่อผู้ขับขี่เห็นรถไฟขณะขับขี่รถกำลังเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณจุดตัดทางรถไฟด้วยอัตราเร็วของรถและรถไฟที่กำหนด ระยะทางตามแนวทางรถไฟซึ่งทำให้รถสามารถเคลื่อนผ่านไปได้อย่างปลอดภัย(d_T) จะสัมพันธ์กับการมองเห็นในแนวทแยงมุมจากรถไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟที่กำลังเคลื่อนที่และระยะทางตามแนวถนน (d_H) ไปยังบริเวณจุดตัดทางรถไฟโดยหาได้จาก

$$d_T = \frac{V_T}{V_V}(AV_v t + \frac{BV_v^2}{a} + 2D + L + W) \quad (2.2)$$

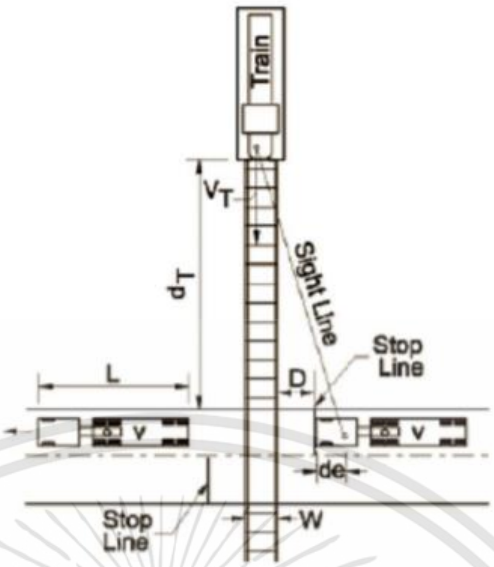
d_T หมายถึง ระยะทางตามแนวทางรถไฟซึ่งทำให้รถสามารถเคลื่อนผ่านไปได้อย่างปลอดภัย (m), A เป็นค่าคงที่ มีค่า 0.278. B เป็นค่าคงที่ มีค่า 0.039, V_T หมายถึง ความเร็วของรถไฟที่วิ่งเข้าสู่จุดตัดทางรถไฟ(km/hr), V_v หมายถึง ความเร็วของรถที่วิ่งเข้าสู่จุดตัดทางรถไฟ (km/hr), t หมายถึง เวลาในการรับรู้และตัดสินใจหยุดรถ กำหนดให้เท่ากับ 2.5 sec, a หมายถึง อัตราเฉื่อยในการหยุดรถ กำหนดเท่ากับ 3.4 m/s, D หมายถึง ระยะทางจากด้านหน้าของรถหรือ Stop Line ไปยังขอบรางรถไฟที่อยู่ใกล้ที่สุด ประเทศไทย มีค่า 5.0 m, L หมายถึง ความยาวของรถ ในโครงการนี้ใช้ค่าความยาวของรถยนต์ ให้มีค่า 5.8 m และความยาวของรถ 10 ล้อพ่วง ให้มีค่า 22.4 m และ W หมายถึง ระยะระหว่างขอบนอกของทางรถไฟในบริเวณจุดตัดทั้ง 2 ด้าน ในโครงการนี้ใช้ค่าของประเทศไทยมีค่า 1.0 m

กรณี 3) เมื่อผู้ขับขี่เห็นรถไฟขณะจอดรถที่ Stop Line กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณจุดตัดทางรถไฟด้วยอัตราเร็วของรถไฟที่กำหนดระยะทางตามแนวทางรถไฟ(d_T) จะสัมพันธ์กับ ระยะเวลาและอัตราเร่งของรถ ซึ่งทำให้รถสามารถเคลื่อนผ่านไปได้อย่างปลอดภัย โดยสามารถหาได้จาก

$$d_T = 0.28V_T(\frac{V_G}{a_1} + \frac{L+2D+W-d_a}{V_G} + J) \quad (2.3)$$

d_T หมายถึง ระยะทางตามแนวทางรถไฟซึ่งทำให้รถสามารถเคลื่อนผ่านไปได้อย่างปลอดภัย (m), V_T หมายถึง ความเร็วของรถไฟที่วิ่งเข้าสู่จุดตัดทางรถไฟ (km/hr), V_G หมายถึง ความเร็วสูงสุดของรถที่เคลื่อนผ่านจุดตัดทางรถไฟ กำหนดให้เท่ากับ 2. 7 m/s, a_1 หมายถึง อัตราเร่งในการออกรถ กำหนดเท่ากับ 0.45 m/s^2, D หมายถึง ระยะทางจากด้านหน้าของรถหรือ Stop Line ไปขังขอบรางรถไฟที่อยู่ใกล้ที่สุด ประเทศไทย มีค่า 5.0 m และใช้ระยะจริงที่ตำแหน่ง Stop Line ของแต่ละจุด, L หมายถึง ความยาวของรถ ในโครงการนี้ใช้ค่าความยาวของรถยนต์ ให้มีค่า 5.8 m และความยาวของรถ 10 ล้อพ่วง ให้มีค่า 22.4 m, W หมายถึง ระยะระหว่างขอบนอกของทางรถไฟในบริเวณจุดตัดทั้ง 2 ด้าน ในโครงการนี้ใช้ค่าของประเทศไทย มีค่า 1.0 m, J หมายถึง ระยะเวลารวมที่ใช้ในการตัดสินใจและเริ่มออกรถ กำหนดให้เท่ากับ 2.0 sec และ d_a หมายถึง ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ภายใต้อัตราเร่ง a_1 ก่อนที่จะทำความเร็วได้สูงสุด มีค่า 8.1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 Coner Sight Distance บริเวณจุดตัดทางรถไฟ กรณีที่ 3

(ที่มา: https://www.http://trsl.thairoads.org/)

2.14.2 ระยะหยุดรถไฟที่ปลอดภัย (Clearing Sight Distance)

ระยะหยุดรถไฟที่ปลอดภัย คือ จุดแรกที่พนักงานขับรถไฟสามารถสังเกตเห็นรถ หรือ สิ่งกีดขวางอื่นใดที่บริเวณจุดตัดทางรถไฟ และสามารถตัดสินใจหยุดรถไฟได้อย่างปลอดภัย โดยขึ้นกับอัตราเร่ง ความยาวและปัจจัยต่างๆของรถแต่ละประเภทที่จะเคลื่อนออกจากบริเวณดังกล่าวด้วยจึงต้องรักษาระยะการมองเห็นที่ปลอดภัยทางวิศวกรรมในการออกแบบจุดตัดทางรถไฟต่างๆ โดยไม่ให้มีอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางระยะการมองเห็น

2.14.3 ไพธอน (Python)

ไพธอน (Python) คือหนึ่งในภาษาโปรแกรมระดับสูงที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ถูกออกแบบเพื่อให้มีโครงสร้างและ ไวยากรณ์ของภาษาที่ไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย นำข้อดีของภาษาต่างๆมารวมไว้ด้วยกัน มีโค้ดคำสั่งเข้าใจง่ายและเขียนได้สั้นกว่าภาษาอื่นๆ ทำให้สามารถนำไปพัฒนาโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนได้อย่างสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3.1 Tensorflow 2.0

เป็นไลบรารีโอเพนซอร์สแบบครบวงจรสำหรับใช้พัฒนาการเรียนรู้ของเครื่อง โดยเฉพาะการสร้างโครงข่ายปนะสาทเทียม มีความครบครันและยืดหยุ่นของเครื่องมือในระบบ ทั้งไลบรารีและทรัพยากรณ์จากชุมชนนักพัฒนา เดิมถูกพัฒนาโดยทีมกูเกิลเบรน (Google Brain) เพื่อใช้ภายในบริษัทกูเกิล (Google Inc.) แต่ต่อมาเปิดให้สาธารณชนได้ใช้งาน, ดัดแปลง และเผยแพร่เวอรชั่นที่ดัดแปลงโดยไม่ต้องกังวลเรื่องลิขสิทธิ์ ภายใต้ Apache License 2.0 เมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน ค.ศ. 2015

โดย Tensorflow 2.0 จะผูกกับไลบรารี Keras มากยิ่งขึ้น และปรับให้กระบวนการพัฒนาเหมือนกันการเขียนโปรแกรมไพธอน (Python) ทั่วไปมากขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น

2.14.3.2 Keras

Keras เป็นไลบรารีโอเพนซอร์ซของภาษาไพทอนสำหรับการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม สามารถทำงานบน TensorFlow เคราสถูกออกแบบมาให้สามารถพัฒนาโปรแกรมด้วยการเรียนรู้เชิงลึกได้อย่างรวดเร็ว จึงใช้งานง่าย มีฟังก์ชันให้เลือกหลากหลาย ทำงานเป็นสัดเป็นส่วน แต่มีความสามารถในการปรับแต่งได้น้อย

Keras ถูกพัฒนาขึ้นโดย François Chollet วิศวกรของกูเกิล โดย Chollet อธิบายว่าเคราสเป็นเหมือนส่วนต่อประสานมากกว่าเป็นเฟรมเวิร์กเดี่ยวๆสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง เคราสมีฟังก์ชันระดับสูงที่เข้าใจง่าย ทำให้การพัฒนาโมเดลด้วยการเรียนรู้เชิงลึกทำได้ง่าย

2.14.3.3 OpenCV

เป็นไลบรารีโอเพนซอร์สโดยจะมุ่งเป้าไปที่การแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ (Real-Time Computer Vision) ใช้สำหรับการประมวลผลภาพขั้นพื้นฐาน เช่น การเบลอภาพ การผสมภาพ การเพิ่มคุณภาพของภาพ เพิ่มคุณภาพของวิดีโอ การรู้จำวัตถุต่าง ๆ ในภาพ หรือการตรวจจับใบหน้าหรือวัตถุต่าง ๆ ในภาพและวิดีโอได้ และยังสนับสนุนเฟรมเวิร์กการเรียนรู้เชิงลึกได้แก่ TensorFlow, Torch/PyTorch และ Caffe

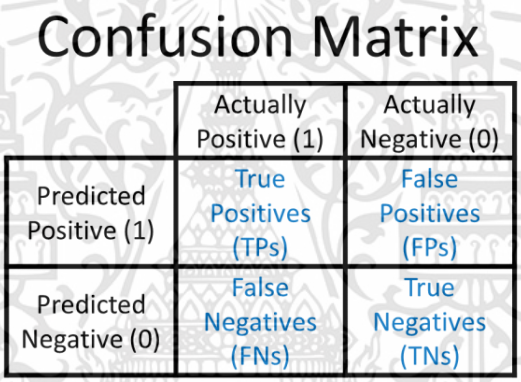
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3.4 Cvzone

คือไลบรารีที่ช่วยให้การประมวลผลภาพและฟังก์ชั่น AI ทำได้ง่าย เช่น การตรวจจับใบหน้า การติดตามมือ การประมาณท่าทาง ฯลฯ รวมถึงการประมวลผลภาพและฟังก์ชัน AI อื่นๆ โดยพื้นฐานแล้วจะใช้ไลบรารี OpenCV และ MediaPipe เป็นแกนหลัก

2.15 การวัดประสิทธิภาพของโมเดล

Confusion Matrix คือตารางที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพการทำนายของโมเดลจำแนกประเภทข้อมูล โดยการเปรียบเทียบสิ่งที่โมเดลทำนายกับค่าจริงของข้อมูล ว่ามีความถูกต้องหรือผิดพลาดเป็นอย่างไร



รูปที่ 2.15 Confusion Matrix

(ที่มา: https://miro.medium.com/max/1400/1*GPrgyxOQDoKwTW8_AreUjQ.png)

โดยที่ True Positive (TP) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “จริง” และ มีค่าเป็น “จริง”

True Negative (TN) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “ไม่จริง” และ มีค่า “ไม่จริง”

False Positive (FP) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “จริง” แต่ มีค่าเป็น “ไม่จริง”

False Negative (FN) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “ไม่จริง” แต่ มีค่าเป็น “จริง”

โดย ทั่วไปแล้วจะมีตัววัดที่นิยมใช้กันอยู่ 3 ค่า คือ

1. ค่าความเที่ยงตรง (Precision) เป็นการนำค่าที่โมเดลทำนายข้อมูลประเภทนั้นๆถูกต้องเทียบกับค่าที่โมเดลทำนายข้อมูลประเภทนั้นๆทั้งผิดและถูก สามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{TP}{TP+FP} \tag{2.4}$$

2. ค่าความถูกต้อง (Recall) เป็นการนำค่าที่โมเดลทำนายข้อมูลประเภทนั้นๆถูกต้องเทียบกับค่าจริงของข้อมูลประเภทนั้นๆทั้งผิดและถูก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{TP}{TP+FN} \tag{2.5}$$

3. ค่าความแม่นยำ (Accuracy) เป็นการนำค่าที่โมเดลทำนายถูกต้องทั้งหมดมาเทียบกับค่าที่โมเดลทำนายไปทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{2.6}$$

และอีกหนึ่งวิธีที่นำมาใช้คือ F1-Score

F1-Score คือค่าเฉลี่ยแบบฮาโมนิกระหว่าง ค่าความเที่ยงตรง และ ค่าความถูกต้อง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F1 = 2 * (\frac{precision*recall}{precision+recall}) \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์รับภาพ

3.1.1.1 กล้องวงจรปิด Hikvision รุ่น DS-2CD1027G0-L(IP Camera)

ทำหน้าที่รับภาพแล้วส่งข้อมูลภาพไปยังคอมพิวเตอร์โดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวกล้อง และกล้องรุ่นนี้มีฟังก์ชันภาพสี 24 ชั่วโมง ทำให้สีเพี้ยนน้อยลงเมื่อแปลงเป็นภาพขาวดำในกระบวนการเตรียมข้อมูล ความละเอียดกล้อง 2 ล้านพิกเซล ต้องการพลังงานกระแสตรง 12 โวลต์ ป้องกันฝุ่นและน้ำมาตรฐาน IP67 ซึ่งเหมาะกับการใช้งานนอกอาคาร

รูปที่ 3.1 กล้องวงจรปิด Hikvision รุ่น DS-2CD1027G0-L(IP Camera)

(ที่มา: www.hikvision.com)

3.1.2 อุปกรณ์ประมวลผล

3.1.2.1 คอมพิวเตอร์

ทำหน้าที่รับข้อมูลจากกล้องแล้วนำภาพมาผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลเพื่อส่งให้โมเดลทำนายชนิดของรูปภาพ รวมถึงการฝึกและการเตรียมชุดข้อมูล โดยผู้วิจัยใช้โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ของตนในการวิจัย ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

รุ่น: Asus TUF Gaming FX504GD-E4342T

CPU: Intel Core i7-8750H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GPU: GeForce GTX 1050

RAM: 8 GB DDR4 2400 MHz

STORAGE: 1 TB 5400 RPM

OS: Windows 10 Home (64 Bit)

3.1.3 อุปกรณ์ส่งสัญญาณภาพและพลังงาน

ใช้สาย UTP (Unshield Twisted Pair) หรือสาย LAN ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากกล้องวงจรปิดไปยังคอมพิวเตอร์ เนื่องจากตัวกล้องต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่สถานที่ที่ทำการทดลองไม่มีแหล่งจ่ายพลังงาน จึงต้องใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่ทดแทน ซึ่งตัวกล้องต้องการพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

รูปที่ 3.2 สาย UTP

(ที่มา: https://www.xn--12cg1cxchd0a2gzc1c5d5a.net/lan/)

รูปที่ 3.3 แบตเตอร์รี่ทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

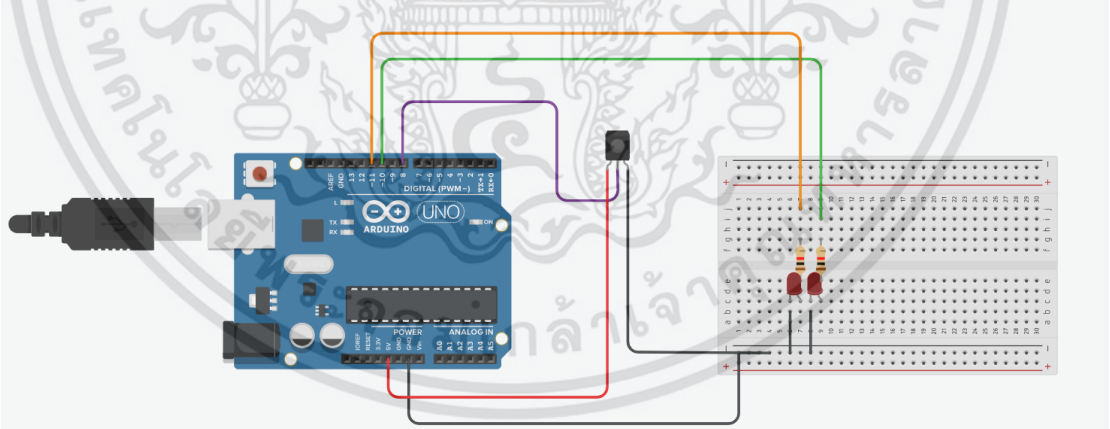
3.1.4 แบบจำลองการแจ้งเตือน

โดยแบ่งการทำเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 Arduino Code โดยทำแบบจำลองการแจ้งเตือนโดยการใช้บอร์ด Arduino ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมสัญญาณไฟและลำโพง Buzzer แบบ Passive Buzzer Module Low Level Trigger เป็นตัวแปรตามในการทดลองนี้

โดยเขียนโปรแกรมการทำงานของบอร์ด Arduino ให้ทำงานเมื่อได้รับค่าจากการตรวจจับรถไฟแล้วจะทำการสั่งให้ไฟ LED กระพริบและลำโพงส่งเสียง โดยโค้ดการทำงานสามารถดูได้ที่ภาคผนวก และอุปกรณ์มีการต่อวงจรดังนี้

รูปที่ 3.4 Buzzer และ LED

(ที่มา: https://www.analogread.com/article/155/สอนการใช้งานบอร์ด-arduino-กับ-buzzer-ชนิด-active-พร้อมโค้ดตัวอย่าง)



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ต่อวงจร

(สร้างแผนภาพจาก https://www.tinkercad.com/)

ส่วนที่ 2 เป็นการเชื่อมต่อระหว่าง Python กับ Arduino ในส่วนนี้จะทำการใช้ Cvzone ซึ่งจะทำให้สามารถเชื่อมต่อ Arduino กับ python

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 แบบจำลองเสาติดกล้อง

เสาที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเสาที่ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 ซม. สูง 1 เมตร 2 ท่อน โดยนำมาต่อกันโดยใช้ข้อต่อตรงให้ได้ความสูง 2 เมตรเพื่อใช้ในการติดกล้องเพื่อควบคุมความสูงของกล้อง, องศาของกล้องและความคงที่ของภาพที่ผ่านเข้ากล้องในการทดลอง

รูปที่ 3.6 แบบจำลองเสาติดกล้อง

3.2 วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 การสร้างโมเดล

3.2.1.1 การเตรียมชุดข้อมูล

3.2.1.1.1 การเก็บข้อมูลรูปภาพ

เนื่องจากโมเดลนี้เป็นโมเดลจำแนกประเภทรูปภาพ โดยการทำนายรูปภาพว่าเป็นข้อมูลประเภทใด ในที่นี้มีข้อมูล 2 ประเภทคือ รูปภาพที่มีรถไฟ และรูปภาพที่ไม่มีรถไฟ โดยผู้ทำการวิจัยเก็บข้อมูลจาก 2 แหล่งคือ ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตโดยดาวน์โหลดรูปภาพจากโปรแกรมค้นหา (Search Engine) และข้อมูลที่เก็บเองจากการถ่ายวิดีโอด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ โดยรูปภาพประเภทที่มีรถไฟจะเป็นภาพที่มีรถไฟอยู่ในรูป และรูปภาพประเภทที่ไม่มีรถไฟจะเป็นภาพที่ไม่มีรถไฟอยู่ในรูป ประกอบด้วยภาพทางรถไฟที่ว่างเปล่า, ภาพถนนที่มีรถยนต์, ภาพมนุษย์ในกิจกรรมต่างๆ

3.2.1.1.2 การแปลงรูปภาพ

สำหรับข้อมูลที่เก็บเองจากการถ่ายวิดีโอด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือจะถูกแปลงเป็นรูปภาพก่อน แต่ข้อมูลจากอินเตอร์เน็ตจะเป็นรูปภาพมาอยู่แล้ว จากนั้นจะนำภาพทั้งหมดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงจากภาพสีเป็นระดับสีเทาและกำหนดประเภทข้อมูล (Class/Category) ของแต่ละภาพโดยการตั้งชื่อไฟล์รูปภาพตามประเภทของรูปภาพนั้นๆ โดยมีรายละเอียดการตั้งชื่อไฟล์ดังต่อไปนี้

trains.0.jpg

trains/notrains = ประเภทของรูปภาพ

0 = รูปภาพลำดับที่ 1

Jpg = นามสกุลไฟล์

รูปที่ 3.7 ภาพตัวอย่างชุดข้อมูล

3.2.1.1.3 การแบ่งชุดข้อมูล

แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (Training Dataset) จำนวน 1060 รูปภาพ, ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ (Validation Dataset) จำนวน 120 รูปภาพ และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Dataset) จำนวน 50 รูปภาพ

3.2.2 การสร้างและฝึกโมเดล

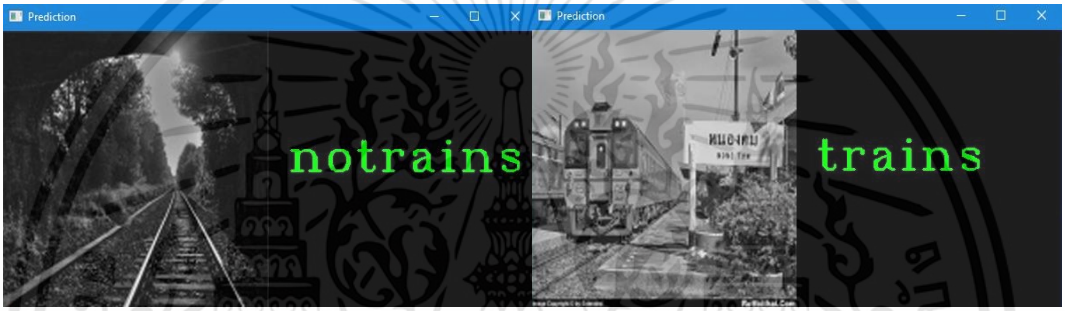
ใช้ไลบรารี Tensorflow ร่วมกับ Keras สำหรับการสร้างโมเดลการจำแนกรูปภาพโดยเรียนรู้จากชุดข้อมูลสำหรับการฝึก กำหนดให้ input Size = 150 x 150 พิกเซล โดยกำหนด แบทช์ไซส์ (Batch Size) เท่ากับ 16 และทำการฝึกทั้งหมด 25 อีพอคช์ (Epoch) เมื่อโมเดลฝึกกับชุดข้อมูลสำหรับการฝึกเสร็จในแต่ละอีพอคช์ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบ และนำผลลัพธ์ไปปรับปรุงการตัดสินใจของโมเดล โดยจะใช้ความแม่นยำที่ได้จากการทดสอบกับชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ เป็นความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึก

3.2.3 การทดสอบความแม่นยำของโมเดล

ทำการแสดงความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการทดสอบด้วยตาราง Confusion Matrix ที่ได้จากการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลการทดสอบ ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่โมเดลยังไม่เคยเห็นมาก่อน โดยจะนำค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึกมาเปรียบเทียบกับค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการทดสอบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของโมเดล



รูปที่ 3.8 แสดงการทำนายจากโปรแกรมตรวจสอบความแม่นยำ

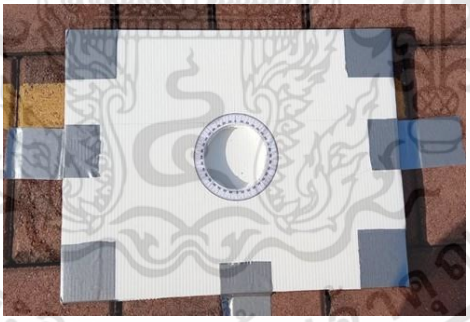
3.3 การทดลองไปใช้ในสถานการณ์จริง

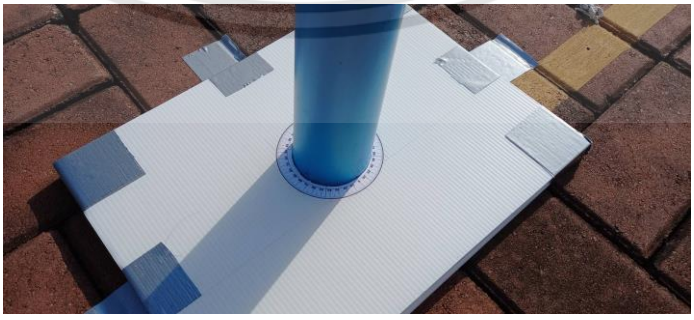
3.3.1 อุปกรณ์ที่ติดตั้ง

ต่อกล้องวงจรปิดเข้ากับคอมพิวเตอร์และแหล่งพลังงานพร้อมกับติดกล้องที่ตัวเสาดังรูป โดยวางตัวเสาห่างจากรางรถไฟ 193 cm และกล้องหันหน้าเข้าหารถไฟทำมุม 30-60 องศา เพราะเป็นมุมที่ทำให้กล้องเห็นรถไฟได้มากที่สุดโดยวัดจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดองศาที่ทำขึ้นเองโดยใช้ และมีความสูงของกล้องจากพื้นดินที่มีรางรถไฟ 196 cm โดยมาจากความสูงของชานชาลารวมกับความสูงของระยะติดกล้องที่เสา เนื่องจากเป็นระยะที่ทำให้เห็นรถไฟในแนวตั้งทั้งคัน ตั้งแต่หลังคาถึงล้อรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ในการทดลอง



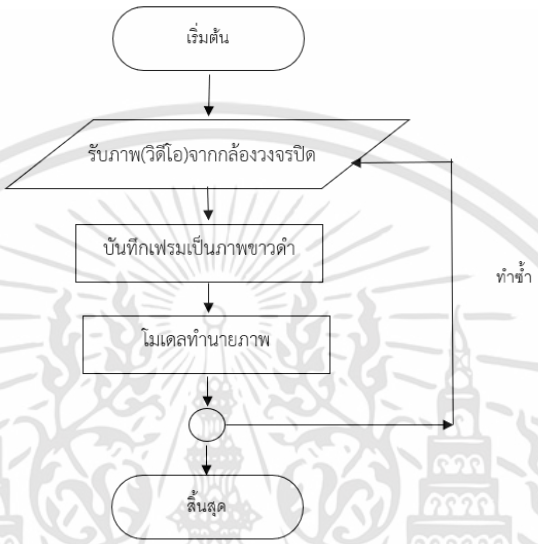


รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ที่ใช้วัดองศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 โปรแกรม

เนื่องจากการใช้งานจริงจะต้องทำให้ส่วนต่างๆของโปรแกรมสามารถทำงานร่วมกับโมเดลแบบวนซ้ำได้อย่างอัตโนมัติ จึงต้องเขียนโปรแกรมใหม่ที่มีฟังก์ชันการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.11 Flow Chart การทำงานของโปรแกรม

โดยการทำงานทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นในทุกๆ 1 วินาที และทำงานวนซ้ำไปเรื่อยๆ เพื่อสามารถตรวจจับรถไฟได้แบบเรียลไทม์

3.3.3 พื้นที่ที่ทำการศึกษา

ผู้ทดลองได้ทำการทดลองโดยใช้ตัวผู้ทดลองเองในการถืออุปกรณ์ในการทดลองทั้งหมด โดยได้มีจุดตัดทางรถไฟที่ใช้ในการทดลองในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน เป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

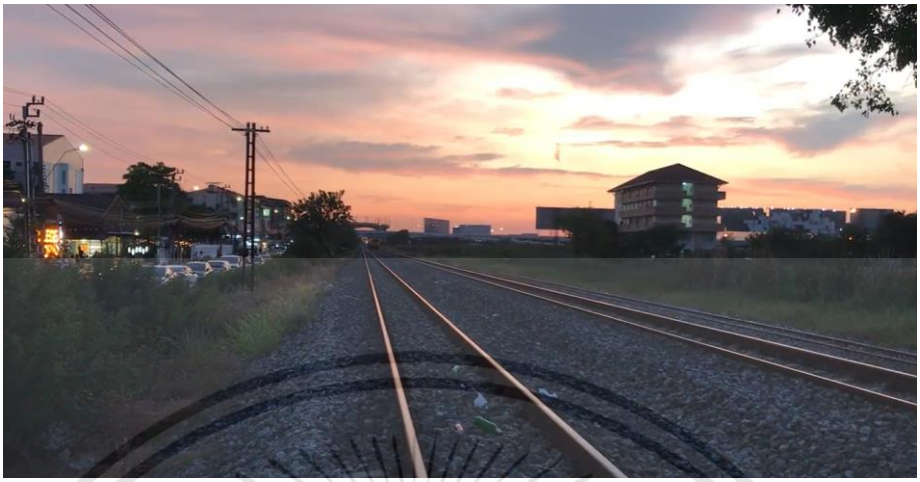
1. สถานีรถไฟพระจอมเกล้า

รูปที่ 3.12 สถานีรถไฟพระจอมเกล้า

2. จุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้า College Town Ladkrabang

รูปที่ 3.13 จุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้าCollege Town Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 จุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้าCollege Town Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

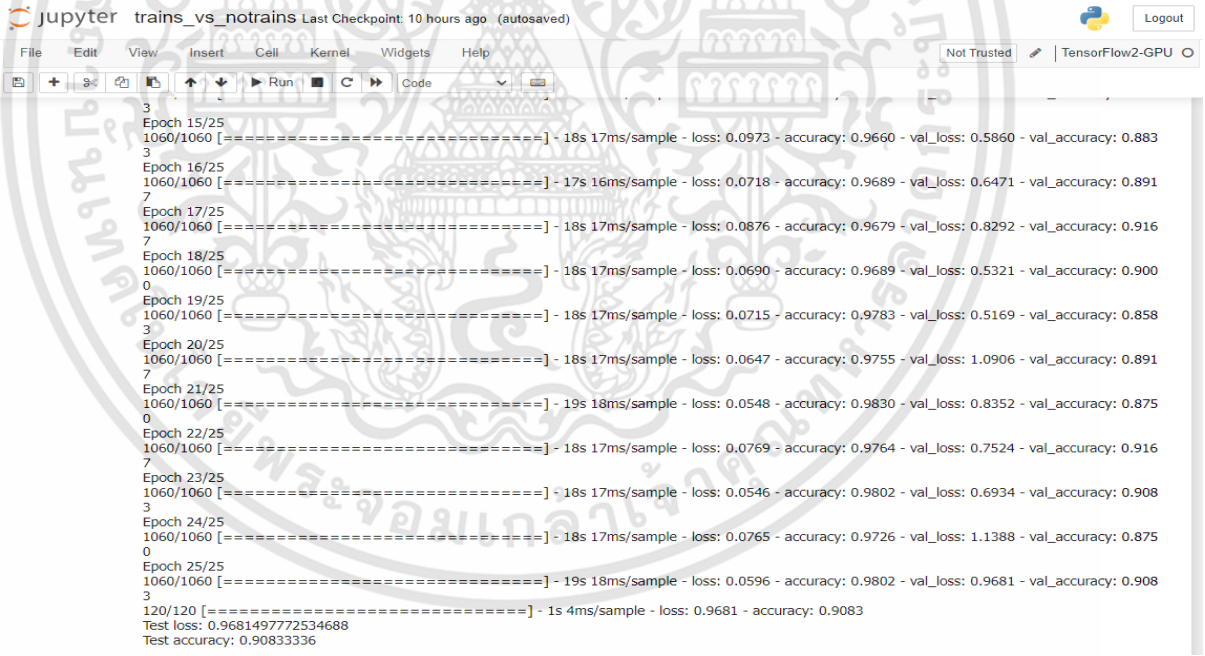
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการทดลองสำหรับงานวิจัยการตรวจจับรถไฟสำหรับการเตือนทางข้ามทางรถไฟโดยใช้ Image Classification ด้วยหลักการ Deep Learning จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ผลลัพธ์ของโมเดล 2) ผลลัพธ์ของการตรวจจับรถไฟ 3) ผลลัพธ์ของโมเดลในการแจ้งเตือน โดยเลือกเส้นทางที่รถจักรดีเซลวิ่งด้วยความเร็วในช่วงที่รถไฟมีความเร็วสูงและความเร็วต่ำ และอาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ในการทำงานของระบบ ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลลัพธ์ของโมเดล

4.1.1 ความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึก

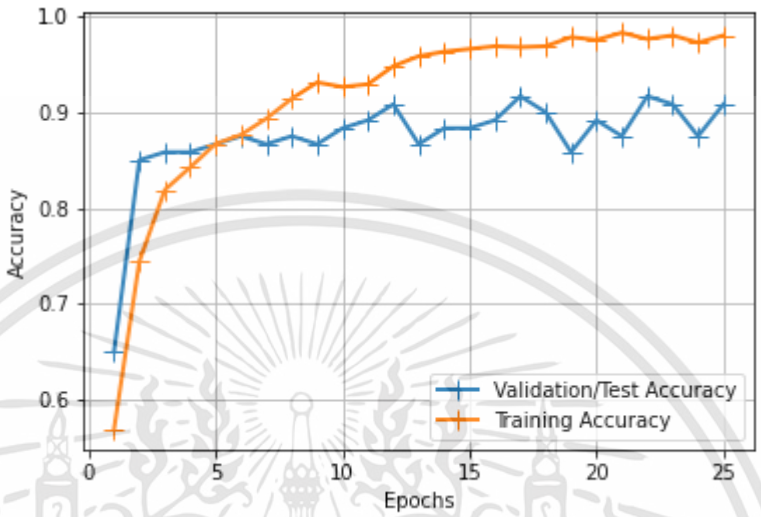


รูปที่ 4.1 แสดงผลการฝึกโมเดลบน Jupyter Notebook

จากรูปที่ 4.1 ผลการฝึกโมเดลการจำแนกประเภทด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึกจำนวน 1060 รูปภาพ และชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ 120 รูปภาพ โดย GPU (Nvidia GeForce GTX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1050 บนคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป) โดยใช้เวลาในการฝึกทั้ง 25 อีพอคช์เท่ากับ 7 นาที 30 วินาที ได้ค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึก เท่ากับ 0.908



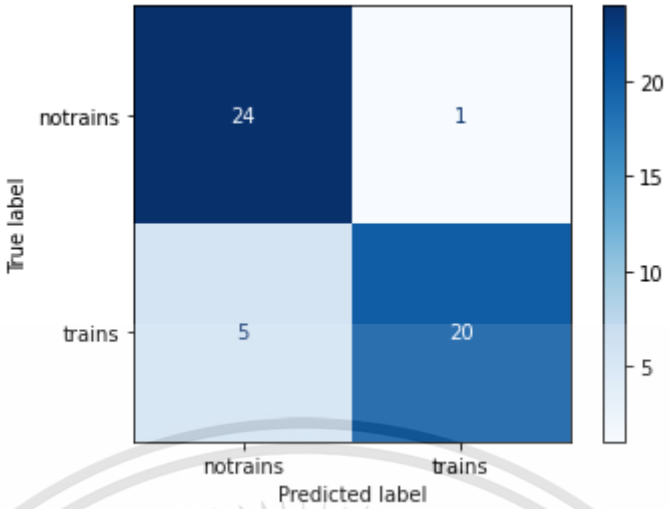
รูปที่ 4.2 แผนภูมิเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำกับจำนวนอีพอคช์

จากรูปที่ 4.2 แผนภูมิเส้นสีส้มแสดงความแม่นยำของโมเดลต่อชุดข้อมูลสำหรับการฝึกกับจำนวนอีพอคช์ จากแผนภูมิจะเห็นว่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สูงในอีพอคช์ที่ 1 ถึง 9 และลดลงหลังจากนั้น และแผนภูมิเส้นสีฟ้าแสดงความแม่นยำของโมเดลต่อชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบกับจำนวนอีพอคช์ จากแผนภูมิจะเห็นว่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สูงในอีพอคช์ที่ 2 หลังจากนั้นจะค่อยๆไต่ขึ้นช้าๆ และมีบางจุดที่ควาแมม่นยำลดต่ำลงและกลับเพิ่มขึ้นในภายหลัง โดยเราจะใช้ความแม่นยำนี้เป็นความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึกนั่นเอง

4.1.2 ความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการทดสอบ

นำโมเดลที่ผ่านการฝึกมาทดสอบกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบจำนวน 50 รูป ประกอบด้วยรูปประเภทรถไฟ 25 รูป และรูปประเภทไม่มีรถไฟ 25 รูป แสดงผลการทดสอบด้วยตาราง Confusion Matrix ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงตาราง Confusion Matrix

ของการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ

	precision	recall	f1-score	support
0	0.83	0.96	0.89	25
1	0.95	0.80	0.87	25
accuracy			0.88	50
macro avg	0.89	0.88	0.88	50
weighted avg	0.89	0.88	0.88	50

รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเที่ยงตรง, ค่าความถูกต้อง และ f1-score

ของการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ

จากรูปที่ 4.3 ตาราง Confuison Matrix ของการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ อธิบายได้ว่า โมเดลทำการทำนายถูกต้อง 20 (TP: True Positive) + 24 (TN: True Negative) เท่ากับ 44 ครั้งจากทั้งหมด 50 ครั้ง ได้ค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการทดสอบเท่ากับ 0.88 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึกที่เท่ากับ 0.908

จากรูปที่ 4.4 การทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบได้ค่าความเที่ยงตรง (Precision) เท่ากับ 0.89, ค่าความถูกต้อง (Recall) เท่ากับ 0.88 และ f1 score เท่ากับ 0.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลลัพธ์การตรวจจับรถไฟ

ทำการเก็บผลการทดลองเพื่อหาความสามารถการตรวจจับรถไฟที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ความเร็วสูง ณ ทางลักผ่าน College Town Ladkrabang จำนวน 9 และความเร็วต่ำ ณ บริเวณสถานีรถไฟพระจอมเกล้า จำนวน 11 ครั้ง ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน โดยจะทำการนับว่าโมเดลตรวจจับรถไฟได้ หากโมเดลตรวจจับรถไฟได้ตั้งแต่หนึ่งเฟรมขึ้นไป โดยจากการทดลองเก็บสถิติ 20 ครั้งพบว่าโมเดลสามารถทำงานได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การทดลอง

ครั้งที่	เวลา/สถานที่	รูปภาพผลลัพธ์	การตรวจจับ	ระยะทางที่เริ่มตรวจจับได้(m)
1	18.00/สถานีพระจอมเกล้า		ได้	10
2	07.00/สถานีพระจอมเกล้า		ไม่ได้	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	09.00/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	6
4	16.12/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	0
5	08.11/สถานีพระจอมเกล้า		ได้	16
6	8.59/สถานีพระจอมเกล้า		ได้	16

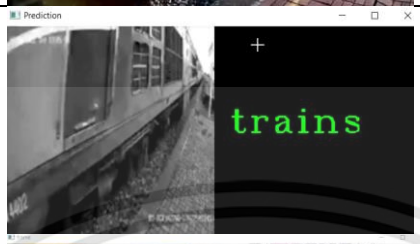
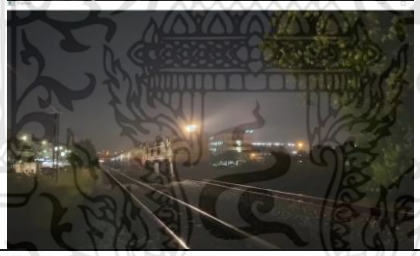
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	13.46/ สถานีพระจอมเกล้า	 	ได้	6
8	16.48/ สถานีพระจอมเกล้า	 	ได้	7
9	17.08/ สถานีพระจอมเกล้า	 	ได้	0

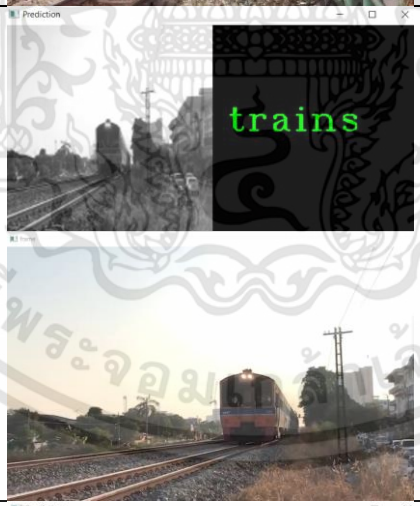
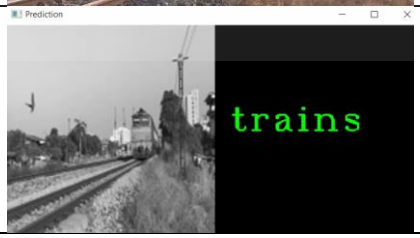
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	17.59/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	6
11	18.06/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	0
12	19.13/สถานีพระจอมเกล้า		ได้	7
13	17.37/สถานีพระจอมเกล้า		ได้	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	18.04/ สถานีพระจอมเกล้า		ได้	0
15	19.22/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	6
16	19.10/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17	19.29/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	0
18	16.11/สถานีพระจอมเกล้า		ไม่ได้	-
19	07.05/จุดลักผ่านทางรถไฟ			6
20	9.11/จุดลักผ่านทางรถไฟ		ได้	8

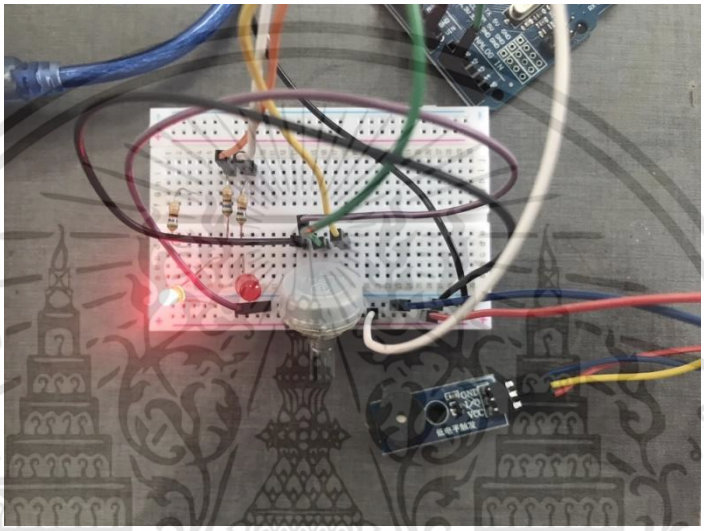
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากผลการทดลองที่ทำการเก็บสถิติทั้งหมด 20 ครั้ง พบว่าสามารถตรวจจับได้ 19 ครั้ง คิดเป็นความแม่นยำเท่ากับ 95% โดยโมเดลสามารถตรวจจับได้ตั้งแต่ระยะ 0-16 เมตร โดยระยะตรวจจับจะขึ้นอยู่กับความเร็วของรถไฟ ยิ่งรถไฟมีความเร็วต่ำระยะตรวจจับจะยิ่งมากขึ้น คาดว่าเป็นเพราะความเบลอของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ (Motion Blur) รถไฟที่มีความเร็วมากจะทำให้กล้องจับภาพชัดได้ยากขึ้น ส่วนในกรณีที่โมเดลไม่สามารถตรวจจับได้ คาดว่าเกิดจากการที่มีองค์ประกอบอื่นๆ ในภาพอย่างเช่นสะพานลอย ทำให้โมเดลสับสนและทำนายผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองระบบแจ้งเตือน

เมื่อรถไฟเคลื่อนที่เข้าในระยะการตรวจจับของกล้องวงจรปิด ภาพจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดยโมเดลที่ได้ให้ในการทดลอง เพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังบอร์ด Arduino UNO โดยเป็นข้อมูลตัวเลขโดยเลข 1 เมื่อตรวจเจอรถไฟจะสั่งให้ไฟLEDกระพริบและลำโพงส่งเสียงแจ้งเตือนเป็นเวลา 10 วินาทีและเลข 0 เมื่อตรวจไม่เจอรถไฟจะสั่งให้การทำงานของแบบจำลองระบบแจ้งเตือนปิด โดยเวลาการแจ้งเตือนเป็นเวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.5 แบบจำลองการแจ้งเตือนแจ้งเตือนเมื่อตรวจเจอรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากหัวข้อการวิจัยได้รับและวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้จัดทำได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ Deep Learning เพื่อเข้ามาช่วยในการทำโมเดลการตรวจจับรถไฟและแจ้งเตือนการมาของรถไฟ โดยได้ทำการฝึกโมเดลด้วยชุดข้อมูลที่มาจากหลากหลายแหล่งข้อมูลเพื่อให้โมเดลเรียนรู้และทดสอบโมเดลด้วยชุดข้อมูลที่โมเดลไม่เคยเรียนรู้มาก่อนเพื่อทดสอบความถูกต้องของโมเดลแล้ววัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วย Confusion Matrix ซึ่งได้ค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการทดสอบเท่ากับ 0.88 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแม่นยำของโมเดลในกระบวนการฝึกที่เท่ากับ 0.908 ผลการทดสอบโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบได้ค่าความเที่ยงตรง (Precision) เท่ากับ 0.89, ค่าความถูกต้อง (recall) เท่ากับ 0.88 และ f1 score เท่ากับ 0.88

ผู้จัดทำโปรแกรมให้โมเดลสามารถทำงานต่อเนื่องได้ในสถานที่จริงเพื่อการทำงานได้ในเรียลไทม์ในสภาวะการทำงานจริง โดยสถานที่ทดลองที่ทางผู้จัดทำได้ทดลองคือสถานีรถไฟพระจอมเกล้าและจุดลักผ่านทางรถไฟบริเวณหน้า College Town Ladkrabang โดยจากการทดลอง 20 ครั้ง พบว่าโมเดลสามารถตรวจจับรถไฟได้อย่างถูกต้องคิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการมาของรถไฟ โมเดลสามารถตรวจจับการมาของรถไฟได้ในช่วงระยะ 0-16 เมตรแต่ไม่สามารถตรวจจับได้ทุกเฟรมที่รถไฟอยู่ในเฟรมโดยคาดว่าเป็นเพราะความเบลอของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ (Motion Blur) รถไฟที่มีความเร็วมากจะทำให้กล้องจับภาพชัดได้ยากขึ้นและองค์ประกอบอื่นๆ ในภาพอย่างเช่นสะพานลอยที่ทำให้โมเดลสับสนและทำนายผิดพลาด

เมื่อโมเดลสามารถตรวจจับรถไฟได้โมเดลจะส่งสัญญาณเป็นข้อมูลตัวเลขให้แบบจำลองการแจ้งเตือนโดยเมื่อโมเดลตรวจจับรถไฟได้ แบบจำลองจะทำการแจ้งเตือนโดยมีการกระพริบไฟ LED และ Buzzer ส่งเสียงเตือน เป็นเวลา 10 วินาที ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ผ่านมาพบว่าโมเดลสามารถตรวจจับรถไฟและแจ้งเตือนด้วยชุดการแจ้งเตือนที่ออกแบบไว้ได้โดยสามารถที่จะตรวจจับรถไฟได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการจะสร้างการตรวจจับรถไฟในบริเวณจุดลักผ่านและแจ้งเตือนเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับบริเวณลักผ่านทางรถไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อจำกัดของโมเดล

5.2.1 การใช้งานในช่วงเวลาฝนตก

เนื่องจากทางผู้จัดทำไม่สามารถเก็บข้อมูลในช่วงเวลาขณะฝนตกได้และไม่สามารถทำการทดสอบขณะฝนตกได้เนื่องจากอุปกรณ์ไม่สามารถกันน้ำได้ ผู้จัดทำจึงไม่สามารถบอกได้ว่าโมเดลที่ทางผู้จัดทำทำขึ้นมาจะสามารถใช้งานในขณะที่ฝนตกได้

5.2.2 ไม่สามารถบอกทิศทางของรถไฟได้

เมื่อโมเดลตรวจจับรถไฟได้ โมเดลไม่สามารถบอกได้ว่ารถไฟวิ่งเข้าหากล้องหรือวิ่งออกจากกล้อง

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

5.3.1 ความแม่นยำของโมเดล

ในช่วงแรกของการนำโมเดลไปใช้งานในสถานที่จริง พบว่าโมเดลไม่สามารถแยกแยะได้ว่ารถไฟอยู่ในเฟรมหรือไม่ โดยได้วิเคราะห์ว่าโมเดลนั้นคิดว่าสิ่งแวดล้อมอื่นๆในภาพที่รับเข้ามาเป็นรถไฟ เช่น สะพานลอย, เสาไฟ, อาคารบ้านเรือน เป็นต้น จึงได้แก้ปัญหาโดยให้โมเดลได้เรียนรู้ภาพของสิ่งแวดล้อมอื่นๆเพื่อให้โมเดลได้เรียนรู้ว่าไม่ใช่รถไฟและฝึกฝนรูปรถไฟเพิ่มเพื่อความแม่นยำของโมเดล

5.2.2 การรับภาพของกล้องวงจรปิด

ในการทดลองในช่วงแรกผู้จัดทำได้ทำการถือกล้องวงจรปิดเองเพื่อรับภาพเข้าโมเดล ทำให้การทดลองไม่มีประสิทธิภาพหรือความเที่ยงตรงเพียงพอ ผู้จัดทำจึงได้ทำเสาขึ้นมาเพื่อติดกล้องวงจรปิดให้คงที่หรือไม่เกิดการสั่นของกล้องวงจรปิด

5.4 ข้อเสนอแนะ

โดยทางผู้ทำการวิจัยได้เห็นถึงปัญหาในการทดลองนี้คือการที่อุปกรณ์มีจำนวนมากและมีน้ำหนักเยอะแล้วผู้จัดทำต้องเป็นคนควบคุมการมองเห็นของกล้องเองจึงอาจทำให้ในบางครั้งที่ทดลองมีความผิดพลาดในการตรวจจับและการเคลื่อนย้ายสถานที่ในการทดลองที่ไม่สะดวก ผู้จัดทำจึงอยากเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาคือการใช้บอร์ด Raspberry pi ซึ่งเป็น Embedded Computer มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนที่คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองและสร้างเสาติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดให้รวมกันในชิ้นเดียว เพื่อความเที่ยงตรงของการรับภาพโดยกล้องวงจรปิดและการทำงานที่สะดวกมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] THE BANGKOK INSIGHT EDITORIAL TEAM (2563),ย้อนรอยสถิติอุบัติเหตุ 'จุดตัดทางรถไฟ'เกิดเฉลี่ยปีละ77 ครั้ง,แหล่งที่มา https://www.thebangkokinsight.com/news/business/economics/453489/, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/09/2564

[2] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2564), รถไฟ, แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/รถไฟ, เข้าดูเมื่อ 17/09/2564

[3] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2564), รถไฟดีเซลราง, แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/รถดีเซลราง#ขบวนรถที่ใช้รถดีเซลรางทำขบวน, เข้าดูเมื่อ 17/09/2564

[4] ทีมพีอาร์การรถไฟแห่งประเทศไทย (2557),ทางลักผ่าน, แหล่งที่มา https://www.facebook.com/pr.railway/photos/a.871839802830892/935605019787703/?type=3935605019787703/, เข้าดูเมื่อ 20/09/2564

[5] นายอภิสิทธิ ทุมรัตน์ (2559), รายงานสรุปการฝึกอบรมภายนอกประจำปี 2559, แหล่งที่มา http://edoc.mrta.co.th/HRD/Attach/public/1459410063_1.pdf, เข้าดูเมื่อ 20/09/2564

[6] ชูไฮดี สนิ, ธีรพงษ์ ฉิมเพชร, นราธร สังข์ประเสริฐ และ จรูญ เจริญเนตรกุล (2563), ตัวตรวจจับหลักการประมวลผลสัญญาณวิดีโอสำหรับเครื่องกั้นทางอัตโนมัติ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

[7] ภากร วงศ์สูงเนิน, นิภาพร ขันทะ และ นิธิศภูมิ ชัยอำนาจ (2020), เครื่องส่งสัญญาณแจ้งเตือนทางพาดรถไฟแบบสื่อสารไร้สายอัตโนมัติ, มหาวิทยาลัยเทคนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

[8] ยุทธนา โนนศรีชัย, อาทิตยา นิ่มอนงค์, โชคชัย ปัดถามา และ ธนกร วัฒนสมบัติถุล (2557), แนวทางการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพบริเวณจุดตัดทางรถไฟกรณีศึกษาจุดตัดทางรถไฟ จ.ปราจีนบุรี,การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19,จังหวัด ขอนแก่น

[9] Krongkaew Phompanya (2563), ปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial Intelligence) คืออะไร ???, แหล่งที่มา http://km.prd.go.th/ปัญญาประดิษฐ์-ai-artificial-intelligence/,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าดูเมื่อวันที่ 30/09/2564

[10] Vithan Minaphinant(2561), Machine Learning คืออะไร?,แหล่งที่มา https://medium.com/investic/machine-learning-คืออะไร-fa8bf6663c07 , เข้าดูเมื่อวันที่ 30/09/2564

[11] Divya Sheel (2563), Deep Learning คืออะไร?, แหล่งที่มา https://new.abb.com/news/detail/58004/deep-learning, เข้าดูเมื่อวันที่ 30/09/2564

[12] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2564), โครงข่ายประสาทเทียม, แหล่งที่มา https://th.wikipedia.org/wiki/โครงข่ายประสาทเทียม, เข้าดูเมื่อ 01/10/2564

[13] Keng Surapong(2562), Convolutional Neural Network คืออะไร, แหล่งที่มา https://www.bualabs.com/archives/2461/what-is-convolutional-neural-network-cnn-convnet-mnist-deep-learning-convnet-ep-1/, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/10/2564

[14] Gregoire S. Larue, Ashleigh J. Filtness, Sebastien Demmel, Christopher N. Watling, Anjum Naweed และ Andry Rakotonirainy(2560), Process standardization and error reduction: A revisit from a choice approach,แหล่งที่มา https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753517306689,เข้าดูเมื่อวันที่ 01/10/2564

[15] Michael G.Lenné, Christina M.Rudin-Brown, Jordan Navarro, Jessica Edquist, Margaret Trotter และ NebojsaTomasevic(2554), Driver behaviour at rail level crossings: Responses to flashing lights, traffic signals and stop signs in simulated rural driving, แหล่งที่มา https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687010001250, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/10/2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[16] Prasit Tongpradit(2561), มาทำความรู้จัก Tensorflow, แหล่งที่มา https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/มาทำความรู้จัก-tensorflow/, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/10/2564

[17] Nuttakan Chuntra(2561), OpenCV คืออะไร?, แหล่งที่มา https://medium.com/@nut.ch40/opencv-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-8771e2a4c414, เข้าดูเมื่อวันที่ 01/10/2564

[18] อนุชิต ไกรวิจิตร(2563),เปิดสถิติอุบัติเหตุ ‘ทางลักผ่าน’ จุดตัดรถไฟ-ถนน 6 ปีที่ผ่านมาเกิดเหตุบ่อยแค่ไหน,แหล่งที่มา https://thestandard.co/accident-statistics-railroad-and-road-intersection/,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/11/2564

[19] nessessence(2561),อะไรคือ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)? (ฉบับมือใหม่), แหล่งที่มา https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/อะไรคือ-การเรียนรู้ของเ/ ,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/11/2564

[20] การรถไฟแห่งประเทศไทย(2564),สถิติการให้บริการ,แหล่งที่มา https://www.railway.co.th/AboutUs/Performance_detail?value1, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/11/2564

[21] purich.v,พิกเซล (Pixel) คืออะไร และเกี่ยวข้องอะไรกับกล้องวงจรปิด, แหล่งที่มา https://dasintergroup.com/blog/พิกเซล-pixel-คืออะไร-และเกี่ยวข้องอะไรกับกล้องวงจรปิด/, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[22] Siam University,การวิเคราะห์และออกแบบระบบ, แหล่งที่มา http://research.siam.edu/wp-content/uploads/2013/12/10_บทท_3.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[23] อาจารย์กรัณวิณัฐ วงษ์ไชยมูล, Arduino คืออะไร ?, แหล่งที่มา https://sites.google.com/site/karanwinatktech/unit1,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[24] Advance Innovation Centre, Pixel and Color, แหล่งที่มา https://docs.aic-eec.com/artificial-intelligence-ai/computer-vision-for-python/lab-2-basic-cv/image-basics, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[25] ตั้มม, Image processing, แหล่งที่มา https://medium.com/@loved_pastel_alpaca_906/image-processing-445f856d62cc,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[26] thaiware, Frame Rate คืออะไร ?, แหล่งที่มา https://tips.thaiware.com/1773.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[27] learncctv, The IP camera setup, แหล่งที่มา https://learncctv.com/ip-camera-setup-for-dummies/,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[28] UNNOTE, Web Server คืออะไร ใช้ทำงานแบบไหน มีวิธีการทำงานอย่างไร และตัวอย่างการใช้งาน, แหล่งที่มา https://addin.co.th/blog/web-server/,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[29] KMUTNB, Protocols & Wireshark Traffic, แหล่งที่มา https://sites.google.com/a/email.kmutnb.ac.th/protocols-wireshark-traffic-project/rtsp,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

[30] SAS, ทคโนโลยี Computer Vision นิยามและความสำคัญ, แหล่งที่มา https://www.sas.com/th_th/insights/analytics/computer-vision.html,เข้าดูเมื่อวันที่ 10/4/2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โค้ดที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. โปรแกรมฝึกโมเดล

```
from os import listdir

from os.path import isfile, join

mypath = "./datasets/trainsvsnotrains/images/"

file_names = [f for f in listdir(mypath) if isfile(join(mypath, f))]

print(str(len(file_names)) + ' images loaded')

import cv2

import numpy as np

import sys

import os

import shutil

trains_count = 0

notrains_count = 0

training_size = 530

test_size = 60

training_images = []

training_labels = []

test_images = []

test_labels = []

size = 150

trains_dir_train = "./datasets/trainsvsnotrains/train/trains/"

notrains_dir_train = "./datasets/trainsvsnotrains/train/notrains/"

trains_dir_val = "./datasets/trainsvsnotrains/validation/trains/"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
notrains_dir_val = "./datasets/trainsvsnotrains/validation/notrains/"
def make_dir(directory):
        if os.path.exists(directory):
            shutil.rmtree(directory)
        os.makedirs(directory)
make_dir(trains_dir_train)
make_dir(notrains_dir_train)
make_dir(trains_dir_val)
make_dir(notrains_dir_val)
def getZeros(number):
    if(number > 10 and number < 100):
        return "0"
    if(number < 10):
        return "00"
    else:
        return ""
for i, file in enumerate(file_names):
    if file_names[i][0] == "t":
        trains_count += 1
        image = cv2.imread(mypath+file)
        image = cv2.resize(image, (size, size), interpolation = cv2.INTER_AREA)
        if trains_count <= training_size:
            training_images.append(image)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            training_labels.append(1)
            zeros = getZeros(trains_count)
            cv2.imwrite(trains_dir_train + "trains" + str(zeros) + str(trains_count) + ".jpg",
image)
        if trains_count > training_size and trains_count <= training_size+test_size:
            test_images.append(image)
            test_labels.append(1)
            zeros = getZeros(trains_count-590)
            cv2.imwrite(trains_dir_val + "trains" + str(zeros) + str(trains_count-590) +
".jpg", image)
    if file_names[i][0] == "n":
        notrains_count += 1
        image = cv2.imread(mypath+file)
        image = cv2.resize(image, (size, size), interpolation = cv2.INTER_AREA)
        if notrains_count <= training_size:
            training_images.append(image)
            training_labels.append(0)
            zeros = getZeros(notrains_count)
            cv2.imwrite(notrains_dir_train + "notrains" + str(zeros) + str(notrains_count) +
".jpg", image)
        if notrains_count > training_size and notrains_count <= training_size+test_size:
            test_images.append(image)
            test_labels.append(0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            zeros = getZeros(notrains_count-590)
            cv2.imwrite(notrains_dir_val + "notrains" + str(zeros) + str(notrains_count-590)
+ ".jpg", image)
    if trains_count == training_size+test_size and notrains_count ==
training_size+test_size:
        break
np.savez('notrains_vs_trains_training_data.npz', np.array(training_images))
np.savez('notrains_vs_trains_training_labels.npz', np.array(training_labels))
np.savez('notrains_vs_trains_test_data.npz', np.array(test_images))
np.savez('notrains_vs_trains_test_labels.npz', np.array(test_labels))
def load_data_training_and_test(datasetname):
    npzfile = np.load(datasetname + "_training_data.npz")
    train = npzfile['arr_0']
    npzfile = np.load(datasetname + "_training_labels.npz")
    train_labels = npzfile['arr_0']
    npzfile = np.load(datasetname + "_test_data.npz")
    test = npzfile['arr_0']
    npzfile = np.load(datasetname + "_test_labels.npz")
    test_labels = npzfile['arr_0']
    return (train, train_labels), (test, test_labels)
(x_train, y_train), (x_test, y_test) = load_data_training_and_test("notrains_vs_trains")
y_train = y_train.reshape(y_train.shape[0], 1)
y_test = y_test.reshape(y_test.shape[0], 1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
x_train = x_train.astype('float32')

x_test = x_test.astype('float32')

x_train /= 255

x_test /= 255

from __future__ import print_function

from tensorflow import keras

from tensorflow.keras.preprocessing.image import ImageDataGenerator

from tensorflow.keras.models import Sequential

from tensorflow.keras.layers import Dense, Dropout, Activation, Flatten

from tensorflow.keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D

import os

batch_size = 16

epochs = 25

img_rows = x_train[0].shape[0]

img_cols = x_train[1].shape[0]

input_shape = (img_rows, img_cols, 3)

model = Sequential()

model.add(Conv2D(32, (3, 3), input_shape=input_shape))

model.add(Activation('relu'))

model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))

model.add(Conv2D(32, (3, 3)))

model.add(Activation('relu'))

model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
model.add(Conv2D(64, (3, 3)))
model.add(Activation('relu'))
model.add(MaxPooling2D(pool_size=(2, 2)))
model.add(Flatten())
model.add(Dense(64))
model.add(Activation('relu'))
model.add(Dropout(0.5))
model.add(Dense(1))
model.add(Activation('sigmoid'))
model.compile(loss='binary_crossentropy',
              optimizer='rmsprop',
              metrics=['accuracy'])
print(model.summary())
history = model.fit(x_train, y_train,
          batch_size=batch_size,
          epochs=epochs,
          validation_data=(x_test, y_test),
          shuffle=True)
model.save("trainsvsnotrainsV7e25newdataset.h5")
scores = model.evaluate(x_test, y_test, verbose=1)
print('Test loss:', scores[0])
print('Test accuracy:', scores[1])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. โปรแกรมทำนายรูปภาพ

```
import cv2
import numpy as np
from tensorflow.keras.models import load_model
classifier = load_model('trainsvsnotrainsV7e25newdataset.h5')
def draw_test(name, pred, input_im):
    BLACK = [0,0,0]
    if pred == "[0]":
        pred = "notrains"
    if pred == "[1]":
        pred = "trains"
    expanded_image = cv2.copyMakeBorder(input_im, 0, 0, 0, imageL.shape[0]
,cv2.BORDER_CONSTANT,value=BLACK)
    cv2.putText(expanded_image, str(pred), (320, 150) ,
cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL,2.5, (0,255,0), 2)
    cv2.imshow(name, expanded_image)
for i in range(0,50):
    rand = np.random.randint(0,len(x_test))
    input_im = x_test[rand]
    imageL = cv2.resize(input_im, None, fx=2, fy=2, interpolation = cv2.INTER_CUBIC)
    cv2.imshow("Test Image", imageL)
    input_im = input_im.reshape(1,150,150,3)
    res = str(classifier.predict_classes(input_im, 1, verbose = 0)[0])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

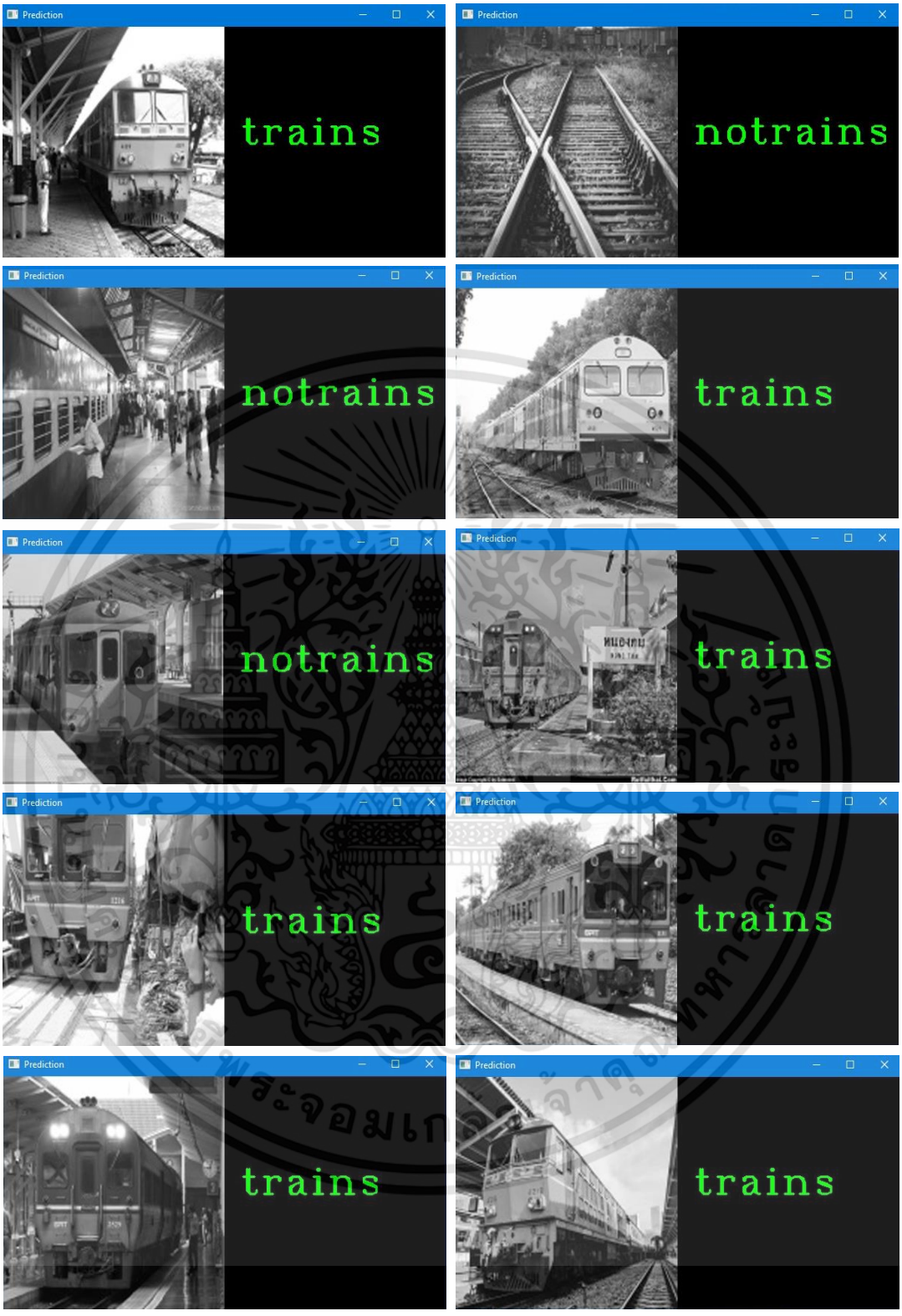
```
        draw_test("Prediction", res, imageL)
        cv2.waitKey(0)
    cv2.destroyAllWindows()
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

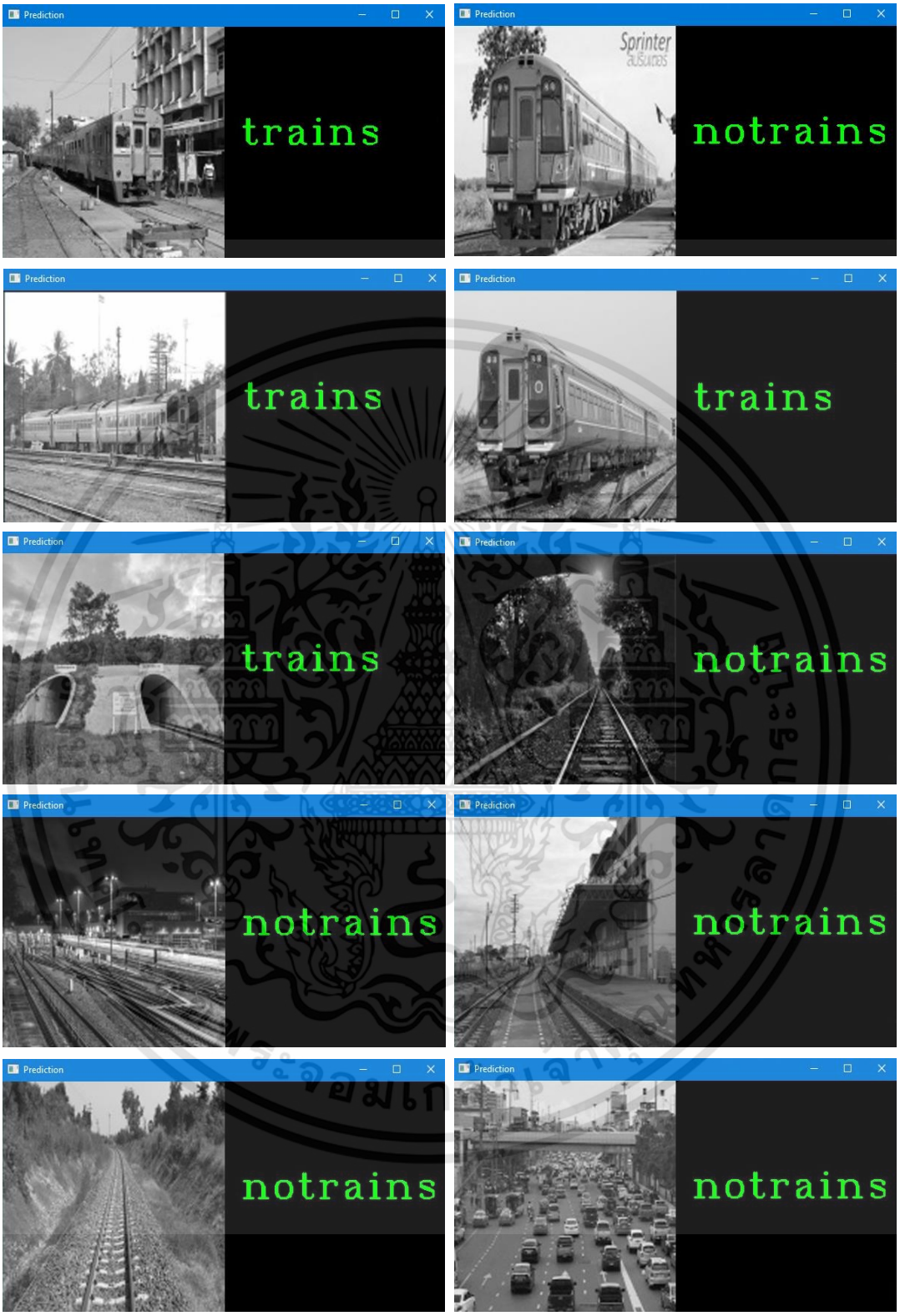
ภาคผนวก ข.

การทำนายของโมเดลกับชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

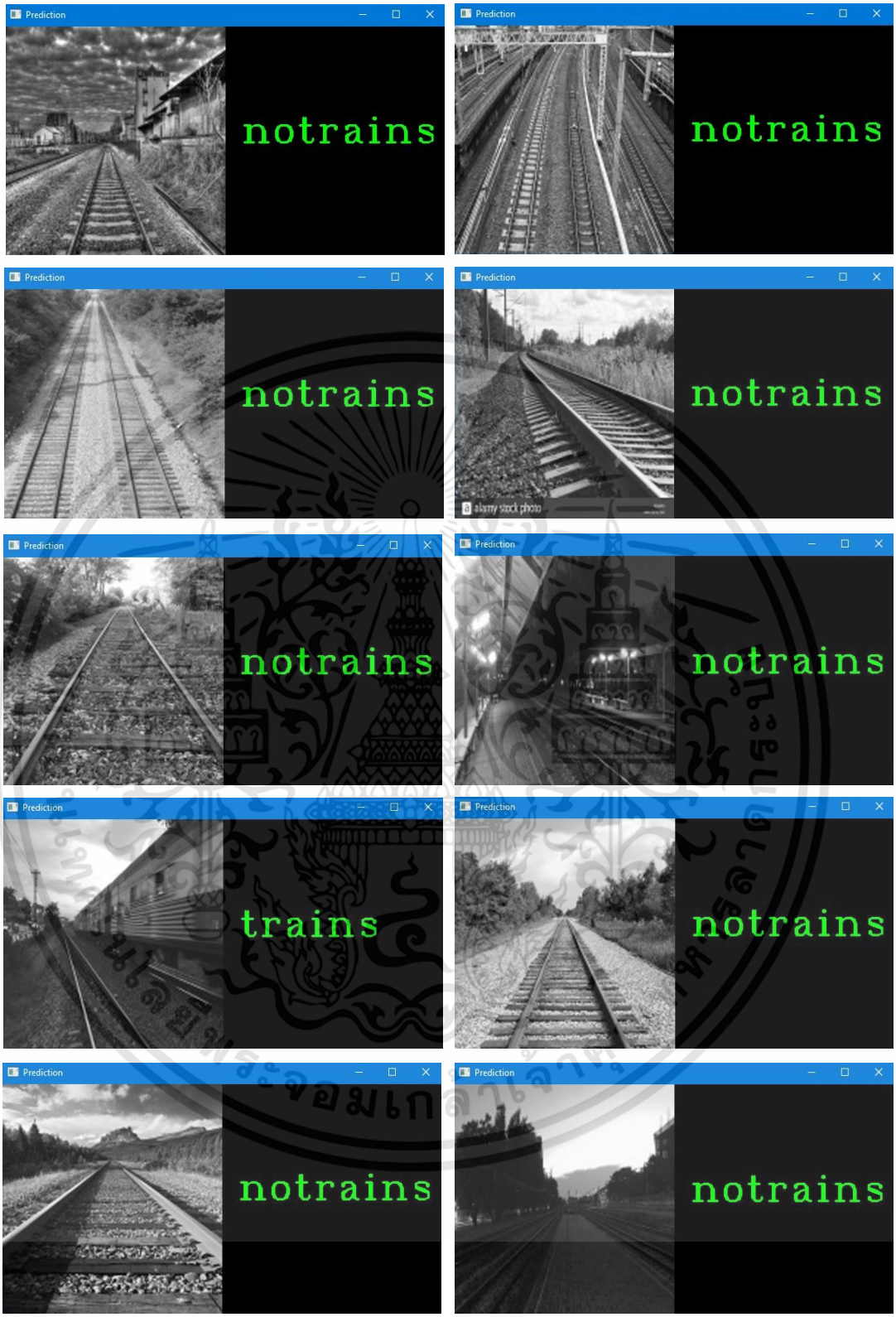


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้