

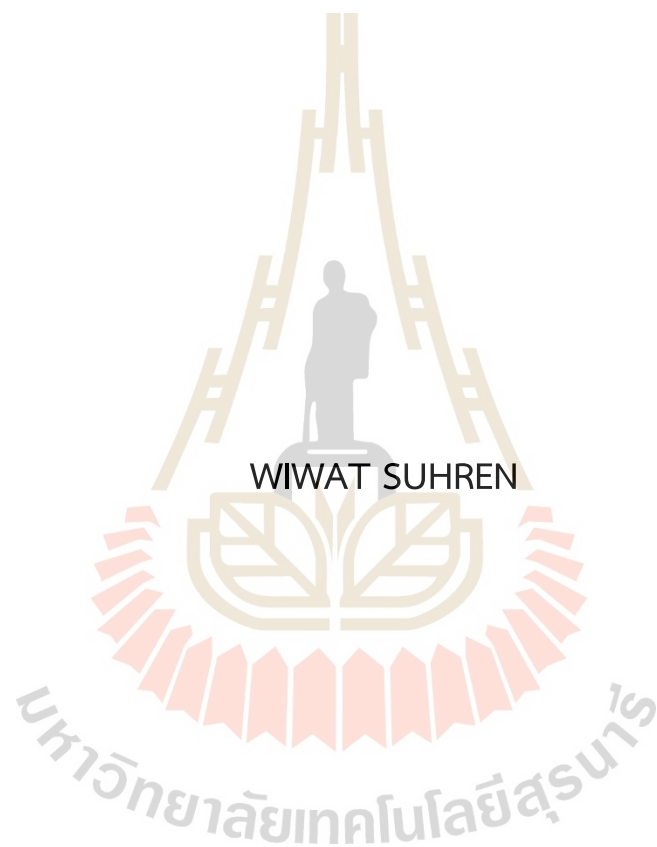
การพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารของ
โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายจิรธรณ์ สุเทริน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2566

DEVELOPMENT OF UNMANNED MEDICAL-SUPPLY-DELIVERY
ELECTRIC VEHICLE BETWEEN BUILDINGS FOR SUT HOSPITAL



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2023

การพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารของโรงพยาบาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร.กฤษดา มงคลดี)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ทศพล รัตน์นิยมชัย)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ



(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

กรรมการ



(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลวัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิวรรณ สุहरิน: การพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายใน
โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(DEVELOPMENT OF UNMANNED MEDICAL-SUPPLY-DELIVERY ELECTRIC VEHICLE
BETWEEN BUILDINGS FOR SUT HOSPITAL)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล รัตนนิยมชัย, 144 หน้า

คำสำคัญ : คอมพิวเตอร์วิทัศน์, การเรียนรู้เชิงลึก, เทคนิคการแบ่งส่วน Instance
Segmentation, ระบบนำทางอัตโนมัติ



วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอการพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคาร
ภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเน้นออกแบบและดัดแปลงรถไฟฟ้าด้วย
เทคโนโลยีนำทางอัตโนมัติ เพื่อใช้ขนส่งเวชภัณฑ์ต่าง ๆ ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล ซึ่ง
องค์ประกอบหลักในการพัฒนาระบบนำทางอัตโนมัติของรถไฟฟ้าไร้คนขับที่ใช้รูปแบบการเรียนรู้เชิง
ลึก (Deep Learning) ด้วยเทคนิคการแบ่งส่วน Instance Segmentation ลำดับขั้นตอนของการ
ออกแบบรถไฟฟ้าไร้คนขับมี 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) กำหนดข้อกำหนดในการออกแบบและพัฒนา 2)
การออกแบบและพัฒนาโครงสร้าง 3) การออกแบบหาขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อน 4) การออกแบบหา
ขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยว 5) การประยุกต์ใช้เทคนิคการแบ่งส่วน Instance Segmentation 6) การ
ออกแบบระบบนำทางอัตโนมัติและตรวจจับสิ่งกีดขวาง และ 7) การออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์
ขับเคลื่อนและมอเตอร์บังคับเลี้ยว ในการทดสอบขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีระยะทางเฉลี่ย 526 m วิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.7 m/s โดยแบ่งการ
ทดสอบออกเป็น 2 กรณี ซึ่งกรณีแรก คือ การทดสอบขนส่งเวชภัณฑ์จากอาคารโภชนาการไปยัง
อาคารศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ (ขาไป) และกรณีที่สอง คือ การทดสอบขนส่งเวชภัณฑ์จาก
อาคารศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์กลับมายังอาคารโภชนาการ (ขากลับ) โดยทั้ง 2 กรณี ได้
ทดสอบสมรรถนะความแม่นยำในการวิ่งนำทางอัตโนมัติ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าการใช้โมเดล
YOLOv8n มีค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (mAP0.5) เท่ากับ 0.868 และ
0.9 ตามลำดับ ซึ่งการพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับสามารถใช้เป็นระบบขนส่งได้ตามเป้าหมายที่กำหนด
นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างวิ่งขนส่ง พบว่าพลังงานไฟฟ้าในการวิ่งขาไป
และขากลับ มีค่าเท่ากับ 255 W และ 255.02 W ตามลำดับ

สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา : 2566

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

WIWAT SUHREN : DEVELOPMENT OF UNMANNED MEDICAL-SUPPLY-DELIVERY
ELECTRIC VEHICLE BETWEEN BUILDINGS FOR SUT HOSPITAL.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TOSAPHOL RATNIYOMCHAI, 144 PP.

Keyword : COMPUTER VISION, DEEP LEARNING, INSTANCE SEGMENTATION,
AUTOMATIC NAVIGATION SYSTEM

This thesis presents the development of driverless electric vehicles for transporting medical supplies between buildings within Suranaree University of Technology Hospital and focuses on designing and modifying driverless electric vehicles with automatic navigation technology. To be used to transport various medical supplies between buildings within the hospital. The main component in the development of an automatic navigation system for a driverless electric vehicle uses a deep learning model using the instance segmentation technique. The sequence of steps in designing has 7 steps: 1) set requirements for design and development 2) design and development of structures 3) design for sizing of driving motors 4) design for sizing of steering motors 5) application of Instance Segmentation techniques 6) design of automatic navigation systems. and detect obstacles and 7) design of drive motor and steering motor control systems. In testing the transportation of medical supplies between buildings within the Hospital. It has an average distance of 526 m and an average speed of 0.7 m/s. The first case is a test of transporting medical supplies from the nutrition building to the medical excellence center building and the second case is testing from the medical excellence center building back to the nutrition building. The test results showed that using the YOLOv8n model, the precision and mean accuracy (mAP0.5) were equal to 0.868 and 0.9, respectively. Driverless electric vehicles can be used as a transportation system according to the specified goals. Electrical power used for both running away and returning is 255 watts and 255.02 watts, respectively.

School of Electrical Engineering

Academic Year 2023

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล รัตน์นิยมชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการทำงานและแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้าน ให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา และให้กำลังใจอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณกลุ่ม เพื่อน ๆ และรุ่นพี่ของผู้ทำวิจัยที่ให้กำลังใจ อีกทั้งช่วยเหลือให้คำปรึกษาทั้ง ในด้านวิชาการ และด้านการใช้ชีวิตของผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ให้ความรู้ด้านวิชาการทั้งในอดีต และ ปัจจุบัน ขอขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่ให้กำลังใจในการทำวิจัย และกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด รวมทั้ง ญาติมิตร ที่คอยให้กำลังใจและดูแลส่งเสริมทางการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัย ประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

วิวรรณ สุเหริน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 ข้อยกเว้นเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	4
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ.....	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว.....	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง.....	12
2.5 สรุป.....	17
3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	18
3.1 บทนำ.....	18
3.2 รถไฟฟ้าอัตโนมัติ.....	18
3.2.1 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า.....	19
3.3 ระบบบังคับเลี้ยว.....	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Power Steering)	25
3.3.2 ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า (Electric Power Steering: EPS)	25
3.3.3 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า	26
3.4 แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า.....	27
3.4.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว (lead acid Battery).....	28
3.4.2 แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (Nickel-Cadmium Battery).....	28
3.4.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery)	28
3.4.4 ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด (Supercapacitors).....	29
3.4.5 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า.....	29
3.5 ระบบนำทางอัตโนมัติ.....	30
3.5.1 การนำทางด้วยเลเซอร์	31
3.5.2 การนำทางด้วยเทปแม่เหล็ก	31
3.5.3 การนำทางด้วย GPS	32
3.5.4 การนำทางด้วยแสง	32
3.5.5 การนำทางด้วย SLAM	33
3.5.6 การนำทางทางภาพ.....	34
3.6 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)	35
3.6.1 การเรียนรู้ของเครื่อง.....	35
3.6.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)	36
3.6.3 Convolution Neural Network (CNN).....	37
3.6.4 Instance Segmentation.....	39
3.7 YOLO	40
3.8 ROBOFLOW	42
3.9 Node-RED	44
3.10 Python	45
3.11 สรุปร	47
4 การออกแบบรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล	48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1	บทนำ	48
4.2	ข้อกำหนดของการออกแบบและพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับ	50
4.3	การออกแบบโครงสร้างของรถอัตโนมัติ	51
4.4	การออกแบบหาขนาดมอเตอร์ของรถไฟฟ้าไร้คนขับ	54
4.5	การออกแบบหาขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยวของรถไฟฟ้าไร้คนขับ	57
4.6	การออกแบบหาขนาดแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าไร้คนขับ	63
4.7	การตรวจจับเลนส์สิ่งกีดขวางด้วย Instance Segmentation	66
4.7.1	การตรวจจับเลนส์และสิ่งกีดขวางด้วยการเรียนรู้เชิงลึกโดยการแบ่งส่วนภาพด้วยเทคนิค Instance Segmentation	66
4.8	การพัฒนาแบบระบบนำทางอัตโนมัติและตรวจจับสิ่งกีดขวาง	73
4.9	การควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว	79
4.9.1	การตั้งค่าตำแหน่งการตรวจจับวัตถุ	79
4.9.2	การตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วย LIDAR	82
4.8.3	การควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว	83
4.10	สรุป	86
5	การทดสอบระบบนำทางและรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่าง อาคารโรงพยาบาล	87
5.1	บทนำ	87
5.2	ผลการตรวจจับวัตถุด้วยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation	87
5.2.1	การประเมินผลโมเดล	87
5.2.2	ผลการตรวจจับในระหว่างการเดินรถ	98
5.3	ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถ	101
5.4	สรุป	106
6	สรุปและข้อเสนอแนะ	108
6.1	สรุปผลการดำเนินงาน	108
6.2	ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต	109
	รายการอ้างอิง	110

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation.....	115
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	120
ประวัติผู้เขียน.....	144



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ.....	7
2.2 การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง	12
3.1 ความหนาแน่นของอากาศกับอุณหภูมิที่ 1 atm หรือ 101.325 kPa	22
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานล้อกับพื้น	23
3.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรถแต่ประเภท	24
3.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบนำทาง.....	34
4.1 ขนาดโครงสร้างของรถ.....	53
4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาแรงบิดและกำลังขับของมอเตอร์.....	54
4.3 รายละเอียดคุณสมบัติของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114.....	59
4.4 การตั้งค่าการควบคุมรอบของTB6600.....	62
4.5 การตั้งค่าการควบคุมกระแสเอาต์พุตของTB6600	63
4.6 ค่าพารามิเตอร์ระยะทาง ความเร็ว และกำลังไฟฟ้ามอเตอร์.....	63
4.7 ค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพมอเตอร์อินเวอเตอร์และการคายประจุของแบตเตอรี่.....	64
4.8 รายละเอียดข้อมูล.....	69
4.9 คำสั่งต่าง ๆ ในการฝึกฝนโมเดลด้วย YOLO.....	72
4.10 รายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติมของกล้อง HIKVISION รุ่น DS-2CD2625FWD-IZS	74
4.11 รายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติมของ LIDAR SLAMTEC รุ่น RPLIDAR A3.....	75
4.12 รายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติมของ GK3 Mini PC CPU Intel N5105/N100.....	76
4.13 อุปกรณ์สำหรับออกแบบระบบควบคุมของรถขนส่งอัตโนมัติ	78
4.14 ตำแหน่งถนนและการส่งค่า.....	84
4.15 การสื่อสารระหว่าง PC และไมโครคอนโทรลเลอร์.....	84
5.1 ผลการทดสอบโมเดล	90

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รถไฟฟ้าแบบใช้คนขับขนส่งเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	2
1.2 เส้นทางการขนส่งระหว่างอาคารของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	3
3.1 มาตรฐานจาก The Society of Automotive Engineers (SAE)	19
3.2 ความชันของพื้นผิวที่พิจารณา	20
3.3 การคำนวณหาแรงฉุดลากของตัวรถแบบไม่มีทางชัน	20
3.4 การคำนวณหาแรงฉุดลากของตัวรถแบบมีทางชัน	20
3.5 รูปแบบระบบบังคับเลี้ยวแบบไฮดรอลิก	25
3.6 รูปแบบระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า	26
3.7 รูปแบบระบบบังคับที่ใช้มอเตอร์ Stepper	27
3.8 การนำทางด้วยเลเซอร์	31
3.9 เซนเซอร์ตรวจจับแม่เหล็กไฟฟ้า	32
3.10 การนำทางด้วย GPS	32
3.11 การนำทางด้วยแสง	33
3.12 การนำทางด้วย SLAM	33
3.13 AI และ Machine Learning	36
3.14 กระบวนการการทำงานของ Machine Learning และ Deep Learning	37
3.15 การทำงานคอนโวลูชัน	38
3.16 รูปแบบการ Pooling	39
3.17 หลักการของ Mask R-CNN	40
3.18 กราฟเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของ YOLOv8	41
3.19 กราฟเปรียบเทียบความเร็วประมวลผลของ YOLOv8	41
3.20 โครงสร้างของ YOLOv8	42
3.21 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงการใช้งานซอฟต์แวร์ Roboflow	43
3.22 ตัวอย่างการ Labelling บนซอฟต์แวร์ Roboflow	43
3.23 การเพิ่มรูปภาพ (Image Augmentation) บนซอฟต์แวร์ Roboflow	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 การเรียกใช้ Node-RED.....	45
3.25 หน้าต่างการใช้งานของ Node-RED.....	45
3.26 ตัวอย่างการใช้งาน Visual Studio Code.....	46
4.1 แผนที่การเดินทาง.....	48
4.2 (ก) จุดจอดและ(ข) วัตถุที่ต้องการ Label.....	49
4.3 (ก) จุดข้ามถนนและ(ข) วัตถุที่ต้องการ Label.....	49
4.4 (ก) จุดเลี้ยวและ(ข) วัตถุที่ต้องการ Label.....	49
4.5 สภาพแวดล้อมของโรงพยาบาลมทส.....	51
4.6 โครงสร้างของรถอัตโนมัติ.....	52
4.7 โครงสร้าง 3D ของรถขนส่งอัตโนมัติที่ปรับปรุง.....	52
4.8 แบบโครงสร้างขนาดเฉพาะของตัวรถ.....	53
4.9 มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน.....	57
4.10 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114.....	58
4.11 Planetary Gearbox ยี่ห้อ OUKEDA รุ่น OKD57-HG20.....	60
4.12 รายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติมของ Planetary Gearbox ยี่ห้อ OUKEDA.....	61
4.13 ไดรเวอร์ TB6600.....	62
4.14 โครงสร้างการทำงาน.....	67
4.15 ตัวเลือกการทำ Image Augmentation ใน Roboflow.....	68
4.16 หน้าต่างการ Label.....	69
4.17 ภาพการ Label.....	70
4.18 สั่งการเทรนโมเดลด้วย YOLO.....	71
4.19 การฝึกฝนโมเดล.....	71
4.20 กล้อง HIKVISION รุ่น DS-2CD2625FWD-IZS.....	73
4.21 LIDAR SLAMTEC รุ่น RPLIDAR A3.....	75
4.22 GK3 Mini PC CPU Intel N5105/N100.....	76
4.23 Raspberry Pi Pico.....	77
4.24 Raspberry Pi Pico pinout.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 การเชื่อมต่อการทำงานของฮาร์ดแวร์	79
4.26 การเรียกใช้โมเดล	80
4.27 การใช้โมเดลทำนายผล	81
4.28 การดึงค่าตำแหน่งถนนเพื่อสร้างขอบเขตการหยุดรถ	81
4.29 การสร้างเงื่อนไขการหยุดเมื่อมีสิ่งกีดขวางมาให้ขอบเขต	82
4.30 การส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์	82
4.31 โปรแกรม LIDAR	83
4.32 รูปแบบการตรวจจับผลสม	85
4.33 แผนผังการทำงานของระบบนำทาง	86
5.1 ตาราง Confusion Matrix	88
5.2 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8s	90
5.3 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8s	91
5.4 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8n	91
5.5 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8n	92
5.6 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8m	92
5.7 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8m	93
5.8 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8l	93
5.9 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8l	94
5.10 ผลการทดสอบของโมเดล YOLOv8s	95
5.11 ผลการทดสอบของโมเดล YOLOv8n	96
5.12 ผลการทดสอบของโมเดล YOLOv8m	97
5.13 ผลการทดสอบของโมเดล YOLOv8l	98
5.14 กล้องหน้ารถขณะทางตรง	99
5.15 กล้องหน้ารถขณะทางเลี้ยวซ้าย	100
5.16 กล้องหน้ารถขณะทางเลี้ยวขวา	100
5.17 กล้องหน้ารถขณะมีสิ่งกีดขวางที่รู้จัก	101
5.18 ภาพการเคลื่อนที่ของรถ	102

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.19 การหยุดหารเคลื่อนที่เมื่อมีสิ่งกีดขวาง	102
5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลา.....	103
5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับเวลา	104
5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับเวลา	104
5.23 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า กรณีรถหยุด	105
5.24 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า กรณีรถเคลื่อนทางตรง	105
5.25 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า กรณีรถเข้าโค้ง.....	106
ก.1 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8s	116
ก.2 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8n.....	117
ก.3 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8m	118
ก.4 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8l.....	119

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีการขนส่งเอกสาร พัสตุการแพทย์ เวชภัณฑ์ และอาหารสำหรับผู้ป่วยเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ในโรงพยาบาลเกิดความคล่องตัวต่อภาระหน้าที่ เนื่องจากในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีส่วนมากมีหน่วยงานที่ต้องเปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง และมีความจำเป็นต้องมีการขนส่งเอกสาร พัสตุ และเวชภัณฑ์ต่าง ๆ หมุนเวียนตลอดเวลาด้วยรถไฟฟ้าแบบใช้คนขับขนส่งเอกสาร พัสตุ และเวชภัณฑ์ต่าง ๆ ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังรูปที่ 1.1 สำหรับการขนส่งดังกล่าวด้วยรถไฟฟ้าแบบใช้คนขับมีความล่าช้าและผิดพลาดในเรื่องของการตรงต่อเวลาพอสมควร อันเนื่องมาจากความผิดพลาดของเจ้าหน้าที่ หรือ หน่วยงานที่รับผิดชอบในการขนส่ง ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดความผิดพลาดในเรื่องของเวลาในการขนส่ง เริ่มมีการพัฒนาการขนส่งให้มีระบบอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้น เช่น ให้รถขนส่งทำหน้าที่วิ่งจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทางแบบอัตโนมัติ หรือ ไร้คนขับ โดยสามารถเลือกจุดหมายปลายทางที่ต้องการได้ และยังคงตอบโจทย์กับนโยบายของทางภาครัฐในการประหยัดพลังงาน (Energy Saving) และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Reduce Greenhouse Gas Emissions) ซึ่งเน้นให้ความสำคัญของการพัฒนาระบบขนส่งแบบใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงที่เป็น ก๊าซ น้ำมันเบนซิน หรือ น้ำมันดีเซล เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีแนวคิดในการพัฒนาระบบขนส่งระหว่างอาคารด้วยรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับ เพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดของการขนส่งเอกสาร พัสตุการแพทย์ เวชภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งเดิมที่มีการขนส่งดังกล่าวระหว่างอาคารค่อนข้างมากภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และนำไปสู่การลดภาระค่าใช้จ่ายของเจ้าหน้าที่รับผิดชอบที่ตามมา โดยข้อมูลค่าใช้จ่ายบุคลากร หรือ เจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2564 (อ้างอิงข้อมูลจาก <https://www.suth.go.th/2901-2>) ทั้งนี้ทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้มีมติเห็นชอบพร้อมทั้งสนับสนุนการใช้รถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนส่งระหว่างอาคาร เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานและสอดคล้องกับนโยบายของภาครัฐให้มีการพัฒนาระบบให้เป็นแบบ Smart Thailand 4.0 รวมถึงเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบขนส่งให้กับหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ หรือ หน่วยงานเอกชนที่เกี่ยวข้อง และใช้เป็นแนวทางด้านระบบขนส่งระหว่างอาคาร

ภายในหน่วยงาน ซึ่งส่งผลต่อภาพลักษณ์ของประเทศให้สามารถยกระดับขึ้นไปได้ โดยมีการบริหารจัดการลดการใช้พลังงานให้เหมาะสม และสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้อย่างยั่งยืนต่อไป

สำหรับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เน้นพัฒนาการขนส่งด้วยระบบนำทางอัตโนมัติ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการออกแบบและพัฒนารถไฟฟ้าแบบไร้คนขับ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ส่วนแรก คือ รูปแบบการนำทางอัตโนมัติ โดยนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ที่ใช้กล้อง (Camera) และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับเลนถนนสำหรับรถวิ่งและเลนถนนสำหรับทางเดินด้วยเท้า และในส่วนที่สอง คือ รูปแบบการตรวจจับสิ่งกีดขวาง โดยนำเทคโนโลยีการตรวจจับด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้กล้องควบคู่กับการใช้เซ็นเซอร์ไลดาร์ (Lidar) ที่สามารถตรวจจับวัตถุได้มุม 360 องศา ในรอบทิศทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุและมีความปลอดภัย ของพื้นที่บริเวณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้แก่ เสาไฟ มนุษย์ เตี้ยงผู้ป่วย และรถเข็น เป็นต้น ซึ่งแสดงตัวอย่างเส้นทางการขนส่งระหว่างอาคาร ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 รถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนส่งเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 1.2 เส้นทางรถขนส่งระหว่างอาคารของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้กล้อง และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบนำทางอัตโนมัติด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation สำหรับรถไฟฟ้าไร้คนขับ

1.2.3 เพื่อพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ออกแบบและดัดแปลงโครงสร้างรถไฟฟ้าขนส่งเวชภัณฑ์ โดยใช้รถไฟฟ้าดันแบบของทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.2 ชุดข้อมูลที่นำมาใช้ทดสอบด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation เป็นชุดข้อมูลเส้นทางเดินรถไฟฟ้าขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคาร ภายในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.3 รูปแบบการนำทางอัตโนมัติใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้กล้องด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation และวัดระยะความปลอดภัยสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวางควบคู่กับเซ็นเซอร์ไลดาร์

1.3.4 วิ่งทดสอบรถไฟฟ้าไร้คนขับ ภายในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เท่านั้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเส้นทางการวิ่งขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคาร

1.4.2 ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมใช้งานจริงของเส้นทางการวิ่งขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคาร

1.4.3 ออกแบบระบบควบคุมการวิ่งนำทางอัตโนมัติของรถไฟฟ้าไร้คนขับ โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้กล้องด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation และตรวจจับสิ่งกีดขวางควบคู่กับเซ็นเซอร์ไลดาร์

1.4.4 ทดสอบสมรรถนะรถไฟฟ้าไร้คนขับวิ่งขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคาร โดยกำหนดความเร็วในการวิ่งสูงสุด 2 m/s และมีทางลาดชันของพื้นไม่เกิน 10 องศา

1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบความสามารถของรถไฟฟ้าไร้คนขับ สำหรับการวิ่งนำทางอัตโนมัติและการตรวจจับสิ่งกีดขวางของวัตถุ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบรถไฟฟ้าไร้คนขับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ใช้กล้อง และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation

1.5.3 สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation สำหรับรถไฟฟ้าไร้คนขับ

1.6 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 6 บท 2 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัย ตลอดจนกำหนดขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงการสำรวจและสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำผลจากการสำรวจและสืบค้นเป็นแนวทางสำหรับประยุกต์ใช้และพัฒนางานวิจัยในวิทยานิพนธ์

บทที่ 3 นำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ได้แก่ ระบบบังคับลิ้วของรถยนต์ เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก และโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบและพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับ สำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้แก่ การออกแบบระบบบังคับลิ้วระบบนำทางอัตโนมัติ เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation และการตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยเซ็นเซอร์ไลดาร์ เพื่อนำไปทดสอบสมรรถนะการวิ่งขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคาร

บทที่ 5 กล่าวถึงระบบทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไร้คนขับ รวมทั้งวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทดสอบความแม่นยำด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation และทดสอบวัดระยะเวลาความปลอดภัยโดยการตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยเซ็นเซอร์ไลดาร์ เพื่อนำไปสู่เป้าหมายหลักของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะพร้อมงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อในอนาคต

ภาคผนวก ก. ผลการตรวจจับสิ่งกีดขวางของวัตถุที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation

ภาคผนวก ข. เป็นการรวบรวมผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ในระหว่างดำเนินการศึกษาและประวัติของผู้ทำวิจัย

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นในบทที่ 1 งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล โดยนำเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation มาประยุกต์ใช้เป็นระบบนำทางอัตโนมัติและระบบตรวจจับวัตถุสิ่งกีดขวางควบคู่กับเซ็นเซอร์ไลดาร์ เพื่อทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าไร้คนขับในการขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งใช้เป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพัฒนางานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ทั้งนี้จากผลดำเนินงานวิจัยในอดีตที่ถูกพัฒนาตลอดจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งกล่าวถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีการค้นคว้าจากแหล่งรวมงานวิจัยในฐานข้อมูล หรือ เว็บไซต์ต่าง ๆ ที่ได้รับการยอมรับ เช่น IEEE, EECOM, EENET และ Science Direct เป็นต้น จากผลการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถนำมาประยุกต์ใช้พัฒนาต่อยอดงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ โดยแบ่งรายละเอียดการสืบค้นงานวิจัยออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ 1) ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ 2) ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว และ 3) ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิชั่น ซึ่งทั้ง 3 หัวข้อหลัก แสดงรายละเอียดข้อมูลการสืบค้นงานวิจัยสรุปโดยย่อในหัวข้อที่ 2.2 ถึง 2.4 ตามลำดับ ดังนี้

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ

สำหรับการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีของระบบนำทางอัตโนมัติ โดยนำทฤษฎีและหลักการในการดำเนินงานประยุกต์ใช้ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อพัฒนาต้นแบบรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล ซึ่งในการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่อดีตตลอดจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยโดยย่อที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติในรูปแบบตาราง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2016	C. Zhou และ คณะ	กล่าวถึงการนำทางอัตโนมัติรถ AGV โดยใช้รูปแบบการนำทางด้วยการจดจำรูปภาพบาร์โค้ดแบบ 2 มิติ ในการระบุตำแหน่งของรถ AGV ซึ่งรูปแบบดังกล่าวมีการตอบสนองความแม่นยำอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งรถ AGV
2018	M. N. Tamara และ คณะ	กล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของรถเอจิวีรูปแบบรถ Fork Lift โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คือบอร์ด Arduino ควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยวของรถ AGV ซึ่งในการออกแบบระบบใช้เซ็นเซอร์ไลดาร์นำทางอัตโนมัติ เพื่อให้มีการนำทางอัตโนมัติที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพ
2018	L. Lynch และ คณะ	บทความนี้รวบรวมปัจจัยในการเลือกใช้ประเภทและการนำทางของรถ AGV ควรจะเลือกให้เหมาะสมกับงานและสภาพแวดล้อม โดยการรวบรวมข้อมูลประเภทของรถ AGV คือ Towing, Unit Load, Pallet Truck และ Fork Lift รวมถึงระบบนำทางและเซ็นเซอร์ที่ใช้งานดังนี้ การนำทางด้วยเลเซอร์ การนำทางด้วยเส้น การนำทางด้วยหมุดแม่เหล็ก และการนำทางด้วยบาร์โค้ดซึ่งจะเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ เช่น ข้อดี ข้อเสีย เป็นต้น พบว่าระบบนำทางด้วยเลเซอร์มีประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่น ความง่ายต่อการใช้งานสูงที่สุดและยังง่ายต่อการติดตั้งได้ง่าย แต่ก็มีต้นทุนในการติดตั้งสูงเมื่อเทียบกับระบบนำทางรูปแบบอื่น
2019	A. J. Moshayedi และ คณะ	กล่าวถึงระบบนำทางอัตโนมัติและการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของรถ AGV โดยมีการเปรียบเทียบระบบนำทางอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ได้แก่ สายไฟ แถบแม่เหล็ก คิวอาร์โค้ด แผ่นติดสะท้อนแสง จีพีเอส เลเซอร์ กล้อง และไลดาร์

ตารางที่ 2.1 การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ (ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2019	Z. Ma และ คณะ	กล่าวถึงการใช้อุปกรณ์ Raspberry Pi และเซ็นเซอร์ไลดาร์ ตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวางสำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก โดยมีการคำนวณหาความเร็วการเคลื่อนที่และรัศมีที่ใช้ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ในระยะ 0.1 m ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ แบบเรียลไทม์
2019	S. Gatesichapakorn และ คณะ	กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ระบบนำทางอัตโนมัติของหุ่นยนต์ ด้วยระบบปฏิบัติการ ROS โดยใช้เซ็นเซอร์ไลดาร์แบบ 2 มิติ ควบคู่กับกล้องรูปแบบ RGB-D ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ความปลอดภัยเป็นหลักในระหว่างนำทางอัตโนมัติของหุ่นยนต์ รวมทั้งสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางในสภาพแวดล้อมแบบ พลวัต
2020	S. Zhou และ คณะ	กล่าวถึงระบบนำทางอัตโนมัติของรถ AGV โดยการนำ เซ็นเซอร์ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน ซึ่งแบ่งรูปแบบ การพัฒนาของรถ AGV ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของ ระบบนำทางอัตโนมัติ ส่วนของระบบขับเคลื่อน และส่วน ของระบบขนส่ง
2020	G. Ren และคณะ	บทความนี้นำเสนอเทคโนโลยีการนำทางด้วยการใช้งาน LiDAR SLAM และ GNSS รวมกัน ในบทความนี้จะแบ่งการ นำทางเป็น 2 โหมด คือ ภายนอกอาคารและภายในอาคาร โหมดภายนอกจะเป็นการใช้ GNSS ในการระบุตำแหน่งและ นำทางไปยังจุดหมาย และภายในอาคารจะใช้อัลกอริทึม SLAM ของ LiDAR ในการนำทาง โดยในการเปลี่ยนโหมด การทำงานจะมีการวัดความแรงของสัญญาณ GNSS หาก พบว่าสัญญาณต่ำจะมีการเปลี่ยนโหมดการทำงาน

ตารางที่ 2.1 การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบนำทางอัตโนมัติ (ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2020	I. T. Lakmal และ คณะ	กล่าวถึงการพัฒนาาระบบนำทางอัตโนมัติของเก้าอี้รถเข็นไฟฟ้าภายในอาคาร โดยสแกนสิ่งกีดขวางรอบ ๆ พื้นที่ด้วยเซ็นเซอร์ไลดาร์แบบ 2 มิติ จากนั้นสร้างแผนที่พร้อมทั้งระบุตำแหน่งเก้าอี้รถเข็นไฟฟ้าบนแผนที่ในขณะที่เคลื่อนที่
2022	J. D. Choi และ คณะ	กล่าวถึงการใช้กล้องอินฟราเรดควบคู่กับเซ็นเซอร์ไลดาร์ในการตรวจจับวัตถุและระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบ เช่น แสงน้อย แสงจ้า หรือสภาพอากาศที่มีผลต่อทัศนวิสัย เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุและการระบุตำแหน่งของวัตถุ และมีความแม่นยำในสภาวะกลางวันและกลางคืน

จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่ได้สรุปในตารางที่ 2.1 สามารถช่วยให้ผู้วิจัยได้นำไปดำเนินงานศึกษาหรือพัฒนาต่อยอดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งเป็นแนวทางในการเลือกใช้ระบบนำทางอัตโนมัติให้มีความเหมาะสมกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ลักษณะของงานสภาพแวดล้อม และสิ่งกีดขวาง เป็นต้น ทั้งนี้ยังนำไปประยุกต์ใช้กับระบบนำทางอัตโนมัติเพื่อเป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบขนส่งทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร อีกทั้งยังเป็นการเลือกระบบนำทางให้เหมาะสมกับปัจจัยดังกล่าวเพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานหรือผู้ใช้บริการ ดังนั้นรูปแบบการนำทางอัตโนมัติเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับ เนื่องจากรูปแบบการนำทางอัตโนมัติแต่ประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป โดยจากงานวิจัยที่ผู้วิจัยมีการสืบค้นและยังมีการเสริมข้อมูลถึงผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนั้น ๆ โดยย่อ ดังนี้

เริ่มต้นจากงานวิจัยของ A.J. Moshayedi และ คณะ (2019) ได้กล่าวถึงการพัฒนาาระบบนำทางอัตโนมัติและการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของรถ AGV โดยมีการเปรียบเทียบระบบนำทางอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ได้แก่ สายไฟ แถบแม่เหล็ก คิวอาร์โค้ด แผ่นติดสะท้อนแสง จีพีเอส เลเซอร์ กล้อง และไลดาร์ ผลปรากฏว่าได้มีการเสนอแนะวิธีการเลือกใช้เซ็นเซอร์แต่ละชนิดของรถ AGV ให้สอดคล้องกับปัจจัยต่าง ๆ และเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการใช้งาน ลำดับถัดมางานวิจัยของ M. N. Tamara และ คณะ (2018) ได้กล่าวถึงการออกแบบระบบควบคุมการทำงานของรถ AGV รูปแบบรถ Fork Lift โดยใช้บอร์ด Arduino เป็นอุปกรณ์ประมวลผลควบคู่กับเซ็นเซอร์ไลดาร์ในการควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยวของรถเอจิวีให้มีการนำทางอัตโนมัติ ผลปรากฏว่าการใช้

อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ดังกล่าวมีการนำทางอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายที่กำหนด ทั้งนี้งานวิจัยของ S. Zhou และ คณะ (2020) ได้กล่าวถึงการพัฒนาระบบนำทางอัตโนมัติของรถ AGV ด้วยการนำเซ็นเซอร์ต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน โดยแบ่งรูปแบบการพัฒนาของรถ AGV ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของระบบนำทางอัตโนมัติ ส่วนของระบบขับเคลื่อน และส่วนของระบบขนส่งสินค้า ผลปรากฏว่าการนำอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ดังกล่าวประยุกต์ใช้งานร่วมกัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในระบบนำทางอัตโนมัติของรถ AGV ในการขนส่งสินค้าได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งงานวิจัยของ G. Ren และ คณะ (2020) ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนำทางอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ไลดาร์ โดยนำเทคนิค SLAM และ GNSS มาประยุกต์ใช้ควบคู่กัน ซึ่งแบ่งการนำทางอัตโนมัติออกเป็น 2 โหมด โหมดแรก คือ โหมดภายนอกอาคารเป็นการใช้เทคนิค GNSS ในการนำทางอัตโนมัติ และโหมดที่สอง คือ โหมดภายในอาคารเป็นการใช้เทคนิค SLAM ในการนำทางอัตโนมัติ ผลปรากฏว่าการนำทางอัตโนมัติด้วยเทคนิค SLAM สามารถทำงานด้วยเซ็นเซอร์ไลดาร์ในบริเวณที่เป็นภายในอาคารและสร้างแผนที่สำหรับพื้นที่ขอบเขตการวิ่งนำทางได้ และเทคนิค GNSS ถูกนำมาใช้ภายนอกอาคารเพื่อระบุตำแหน่งในการนำทางอัตโนมัติได้ และในงานวิจัยของ J. D. Choi และ คณะ (2022) ได้กล่าวถึงการใช้อัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุกับเซ็นเซอร์ไลดาร์ในการตรวจจับวัตถุและระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบ เช่น แสงน้อย แสงจ้า หรือ สภาพอากาศที่มีผลต่อทัศนวิสัย เป็นต้น ผลปรากฏว่าการใช้อัลกอริทึมและเซ็นเซอร์ดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุและการระบุตำแหน่งของวัตถุ และมีความแม่นยำในสภาวะกลางวันและกลางคืน รวมทั้งมีความปลอดภัยในการทดสอบใช้งานของระบบมากยิ่งขึ้น

2.3 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนและบังคับลิฟต์

ในการสำรวจปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับลิฟต์ เพื่อใช้พัฒนาต้นแบบรถไฟไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายในโรงพยาบาล โดยมีการศึกษาทฤษฎีและหลักการดำเนินงานจากการสืบค้นปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตั้งแต่อดีตตลอดจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปรายละเอียดการดำเนินงานวิจัยโดยย่อที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ในรูปแบบตาราง ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2005	Y. Cheng และคณะ	กล่าวถึงหลักการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีการแสดงการคำนวณหาแรงบิดและกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อใช้ในการเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า และมีการนำค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้คำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า
2019	Ajay M. Tayde และคณะ	กล่าวถึงการออกแบบกระปุกเกียร์ของ Rack และ Pinion ในระบบบังคับเลี้ยว เพื่อให้อัตราทดของพวงมาลัยให้เป็นไปตามที่ออกแบบ ทั้งยังมีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทั้งสองส่วนในระบบบังคับเลี้ยวเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และยังสามารถเพิ่มความปลอดภัยได้อีกด้วย
2021	K.Chatwongtong และคณะ	กล่าวถึงการออกแบบการจำลองผลการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าแบบออนบอร์ด และยังมีการคำนวณหาแรงฉุดลาก (Traction Force) รถไฟฟ้า MRT และมีการติดตั้งตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบออนบอร์ดซึ่งสามารถลดการกระจายพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 22.10% และการสูญเสียพลังงานในตัวนำได้ถึง 73.91%
2023	ศุภชัย แก้วพวง และคณะ	กล่าวถึงการแสดงการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อน เพื่อใช้ในการพัฒนารถอัตโนมัติสำหรับการขนส่งแ่งมันสำปะหลัง โดยมีความเร็วสูงสุดที่ 1 เมตร/วินาที ทั้งยังมีการหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน

การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับประกอบด้วยหลายองค์ประกอบ โดยการออกแบบมอเตอร์ขับเคลื่อน ระบบบังคับเลี้ยวก็เป็นหนึ่งในองค์ประกอบของการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีการสำรวจและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบมอเตอร์สำหรับการขับเคลื่อน และมอเตอร์สำหรับระบบบังคับเลี้ยว เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบมอเตอร์ทั้งสองระบบ ให้นยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับสามารถขับเคลื่อนไปยังจุดหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อน และมอเตอร์ที่ใช้ในระบบบังคับเลี้ยว ดังตารางที่ 2.2 โดยสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

เริ่มต้นจาก Y. Cheng และคณะ (2005) ออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้าของการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าจากค่าแรงบิด และยังมีการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลในการเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมและสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ผลปรากฏว่าสามารถใช้หลักการในการออกแบบมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยของ K.Chatwongtong และคณะ (2019) มีการแสดงตัวอย่างการคำนวณหาแรงฉุดลากของรถไฟฟ้า MRT ของประเทศไทย และมีการใช้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดในการเก็บพลังงานจากการเบรกและนำมาวิเคราะห์ผลจากการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าอีกด้วย ผลปรากฏว่าสามารถแสดงการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าและช่วยลดพลังงานและในงานวิจัยของ ศุภชัย แก้วพวง และคณะ (2023) มีการแสดงการออกแบบมอเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าอัตโนมัติสำหรับบรรทุกแบงก์น้ำมันสำปะหลัง ซึ่งในรูปแบบอัตโนมัติด้วยการเติมตามเส้น ผลปรากฏว่าสามารถออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับบรรทุกแบงก์น้ำมันสำปะหลังในรูปแบบอัตโนมัติ

จากงานวิจัยของ Ajay M. Tayde และ คณะ (2019) มีการออกแบบกระปุกเกียร์ของ Rack และ Pinion ในระบบบังคับเลี้ยว นอกจากนี้ยังมีการคำนวณหาค่าความเค้น จำนวนฟันบน Rack และ Pinion และ safety factor ผลปรากฏว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบังคับเลี้ยวได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง

งานวิจัยในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง ดังตารางที่ 2.3
 ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2018	L. Xu และคณะ	บทความนี้นำเสนอการใช้การตรวจจับใบไม้ การสกัดภาพและการนับจำนวนใบไม้ด้วยการใช้อัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุและการแบ่งส่วน Mask R-CNN พบว่าการเรียนรู้เชิงลึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) มีผลลัพธ์ที่ดี และสามารถนำไปพัฒนาต่อได้
2019	R. S. Mamidala และคณะ	บทความนี้นำเสนอการใช้อัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับเลน โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ด้วยโครงสร้างแบบ SegNet encoder-decoder ซึ่งมีชุดข้อมูลจาก Google street view จำนวน 2000 รูป ในการฝึกฝนโมเดล โดยมีการทดสอบแบบเรียลไทม์โดยมีการเชื่อมต่อกับ Google API

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเส้นและสิ่งกีดขวาง(ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2020	G. M. Gad และคณะ	บทความนี้กล่าวถึงวิธีการตรวจจับเส้นด้วยการเรียนรู้เชิงลึกและได้รับการฝึกฝนด้วยการแบ่งส่วนเลนแบบพิกเซล ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า และสามารถสรุปสภาพถนนและสภาพอากาศได้เป็นวงกว้าง ในการใช้งานจริงอัลกอริทึมจะต้องมีการใช้ทรัพยากรของตัวประมวลผลที่ไม่สูงมาก เนื่องจากมีทรัพยากรที่จำกัดบนแพลตฟอร์มที่ใช้ยานพาหนะ แต่ยังคงต้องแม่นยำเพื่อให้เป็นไปตามมาตรการด้านความปลอดภัย ในแนวทางนี้ สถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกของตัวเข้ารหัสและตัวถอดรหัสจะสร้างการแบ่งส่วนแบบไบนารีของเลน
2021	S. Sultana และคณะ	บทความนี้นำเสนอการตรวจจับเส้นภายใต้สภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ในสภาพที่เกิดฝนตก ซึ่งมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อทัศนวิสัย เป็นต้น และนำการตรวจจับเส้นโดยใช้ threshold ที่สามารถปรับค่าได้ (AAT) ซึ่งจะช่วยให้การใช้ตัวตรวจจับขอบ Canny ตรวจจับเครื่องหมายเลน กัดเซาะ และเบลอ มีการใช้ Probabilistic Hough Transform (PHT) เพื่อตรวจจับตำแหน่งเส้นเลน
2021	A. Sharma และคณะ	บทความนี้เสนอการตรวจจับเส้นด้วยการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา python ซึ่งใช้ไลบรารี OpenCV และนำเทคนิคการตรวจจับขอบแบบ Canny มาใช้ในการตรวจจับขอบภาพและแยกระหว่างเส้นถนนและถนน ในการจับเส้นเลนนั้นมีการนำ Hough Transform มาใช้งาน โดยยังมีการอธิบายถึงหลักการของอัลกอริทึม RANSAC และ Sobel

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง(ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2022	H. G. C และคณะ	กล่าวถึงการตรวจจับเลนและแถบหยุดรถ ในการตรวจจับเลนจะใช้ไลบรารี OpenCV สำหรับการไล่ระดับสีและเกณฑ์สี โดยจะมีการนำ Fully Convolutional Network (FCN) มาใช้รวมกันกับโมเดล Yolov5 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ
2022	M. S และคณะ	กล่าวถึงการใช้อัลกอริทึมการแบ่งส่วนรูปภาพแบบ Instance ร่วมกับการตรวจจับวัตถุ ซึ่งใช้สถาปัตยกรรมที่เป็นการปรับปรุงมาจากอัลกอริทึมการตรวจจับ Faster R-CNN ด้วยการเพิ่มมาสก์ให้กับโมเดล Faster R-CNN ทำให้โมเดล Mask R-CNN ได้รับการพัฒนา
2022	I. F. E. Babila และคณะ	กล่าวถึงการสร้างโปรแกรมตรวจจับกล้องโทรศัพท์มือถือได้แก่ รุ่น Cherry Aqua S9 และ Cherry Flare S8 ในการเตรียมข้อมูล มีการใช้แอปพลิเคชัน Roboflow ในการแบ่งชุดข้อมูลอัตโนมัติทั้งหมด 1623 ภาพ การตรวจจับได้นำอัลกอริทึม You Only Look Once v5 (YOLOv5) มาใช้ ซึ่งในบทความนี้แสดงให้เห็นว่า YOLO เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่ดีในการตรวจจับ และพบว่ามีความแม่นยำสำหรับ S9 และ 8 อยู่ที่ 0.7, 0.93 ตามลำดับ
2022	X. Lu และคณะ	กล่าวถึงการตรวจจับเครื่องหมายเลน เพื่อใช้ในการนำทาง โดยการใช้อัลกอริทึม You Only Look Once v5 s (YOLOv5s) ซึ่งมีการปรับปรุงโครงสร้างโดยการใช้ DWConv เข้ากับ GhostBottleneck เพื่อแทนที่โครงสร้าง CSP ใน YOLOv5s

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเลนและสิ่งกีดขวาง(ต่อ)

ปี ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2022	N. R. G และคณะ	กล่าวถึงการตรวจจับและติดตามทารกแรกเกิดแบบเรียลไทม์ โดยการเสนอแนวทางการใช้ IoT และการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อแก้ปัญหา โดยการใช้โมเดล YOLOv4-Tiny และ YOLOv7 ซึ่งมีค่า mAP อยู่ที่ 36.02% และ 67.4%
2023	D. Deepa และคณะ	กล่าวถึงการตรวจจับหลุมบนพื้นถนนด้วยการใช้เทคนิค image processing เช่น CNN และมีการนำ YOLO ใช้ในการตรวจจับด้วยเทคนิคการทำ segmentation โดยมีการใช้แอปพลิเคชัน Roboflow ในการจัดเตรียมข้อมูล
2023	Y.Anebarassane และคณะ	กล่าวถึงการพัฒนา ORB-SLAM3 ร่วมกับ YOLOv8 เพื่อการประมาณค่าท่าทางแบบเรียลไทม์และการแบ่งส่วนภาพ ORB SLAM3 เป็นระบบ Visual SLAM ใช้ตัวตรวจจับและสร้างแผนที่ 3 มิติ อย่างไรก็ตาม ORB-SLAM3 มีความล่าช้าในการตรวจจับและแบ่งส่วนภาพ ซึ่งไม่สามารถใช้งานที่ในระบบหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มีการแก้ไขด้วยการรวม YOLOv8 ซึ่งเป็นเฟรมเวิร์กการตรวจจับวัตถุและการแบ่งส่วนประสิทธิภาพสูง เข้ากับ ORB-SLAM3

ในการออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับ การตรวจจับวัตถุเพื่อทราบสภาพแวดล้อมโดยรอบมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีความจำเป็นที่ต้องรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบ เพื่อให้ยานยนต์ไฟฟ้าตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสารสนเทศมีผู้ใช้บริการและบุคลากรอยู่ในพื้นที่ ดังนั้นการรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบจึงจำเป็นอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ทางร่วมกันหรือผู้อยู่ในใกล้พื้นที่การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า ในการตรวจจับวัตถุผู้วิจัยได้มีการสำรวจและค้นคว้าจากงานวิจัยดังตารางที่ 2.3 โดยมีการสรุปผลการค้นคว้านี้

เริ่มต้นจาก S. Sultana และคณะ (2021) ได้เสนอการตรวจจับเลนภายใต้สภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ในสภาพที่เกิดฝนตกหนัก ซึ่งมีผลกระทบอย่างยิ่งต่อทัศนวิสัย ดังนั้นจึงมีการนำ threshold ที่สามารถปรับค่าได้ (AAT) และมีการนำตัวตรวจจับขอบ Canny ตรวจจับเครื่องหมายเลน กัดเซาะ และเบลอ มีการใช้ Probabilistic Hough Transform (PHT) เพื่อตรวจจับตำแหน่งเส้น

เลน ซึ่งมีผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่ามีอัตราการตรวจจับเฉลี่ยอยู่ที่ 94.12% และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจจับอยู่ที่ 30.24 มิลลิวินาทีต่อเฟรม และ A. Sharma และคณะ (2021) มีการใช้ภาษา python ในการเขียนคำสั่งด้วยไลบรารี OpenCV ใช้ตัวตรวจจับขอบ Canny ในการตรวจจับขอบภาพและแยกระหว่างเส้นถนนและถนน นอกจากนี้ Hough Transform ถูกนำมาใช้ในการจับเส้น โดยยังมีการอธิบายถึงหลักการของอัลกอริทึม RANSAC และ Sobel

ในงานวิจัย R. S. Mamidala และคณะ (2019) มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ด้วยโครงสร้างแบบ SegNet ซึ่งมีการ encoder-decoder โดยใช้ชุดข้อมูลจาก Google street view จำนวน 2000 รูป มาใช้ในการฝึกฝนโมเดลทำให้มีความแม่นยำถึง 96.10% ทั้งนี้วิธีนี้ยังไม่สามารถตรวจจับเลนถนนที่มีการบดบังทัศนวิสัยได้ และ H. G. C และคณะ (2022) มีการตรวจจับเลนและแถบหยุดรถ โดยการใช้เทคโนโลยี fully convolutional networks (FCNs) มาใช้ร่วมด้วยซึ่งจะมีการเทรนข้อมูลเลนถนน 1795 รูปและแถบหยุด 1870 รูป ซึ่งแถบหยุดจะถูกเทรนผ่าน YOLOv5 ซึ่งมีการทดสอบความแม่นยำ 3 กรณี ของสภาพแวดล้อมปกติ มีเงาบัง มีหลายแถบหยุด ซึ่งมีค่า 78% 65% และ 75% ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามี การนำ YOLO (You Only Look Once) มาใช้ในงานตรวจจับเลนและแถบหยุดรถ ทั้งยังเป็นที่ยอมรับอย่างมาก ในงานวิจัยของ X. Lu และคณะ (2022) มีการนำโมเดล YOLOv5s มาใช้ตรวจจับเครื่องหมายเลนถนน โดยมีการปรับปรุงโมเดลให้ดียิ่งขึ้นจากการใช้ DWConv ร่วมกับ GhostBottleneck เพื่อแทนที่โครงสร้าง CSP ใน YOLOv5s ทำให้ช่วยลดขนาดของตัวโมเดลลงได้ ช่วยทำให้สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้น และงานวิจัยของ D. Deepa และคณะ (2023) ได้ตรวจจับหลุมบนถนนในประเทศอินเดีย โดยการใช้ YOLO เข้ามาช่วยทำการตรวจจับ และยังมี การแบ่งส่วนภาพ (segmentation) และการเตรียมรูปภาพในการแบ่งส่วนภาพนั้นมีการนำแอปพลิเคชัน Roboflow มาใช้ในการช่วยจัดการภาพ พบว่าในการเปรียบเทียบโมเดล CNN มีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 93.34% และ YOLOv5 มีค่าความแม่นยำ 73.34% และในงานวิจัยของ Y. Anebarassane มีการพัฒนา ORB-SLAM3 ร่วมกับ YOLOv8 เพื่อการประมาณค่าท่าทางแบบเรียลไทม์และการแบ่งส่วนภาพ ORB SLAM3 เป็นระบบ Visual SLAM ใช้ตัวตรวจจับและสร้างแผนที่ 3 มิติ อย่างไรก็ตาม ORB-SLAM3 มีความล่าช้าในการตรวจจับและแบ่งส่วนภาพ ซึ่งไม่สามารถใช้งานกับระบบหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มีการปรับปรุงแก้ไขด้วยการรวม YOLOv8 ซึ่งเป็นเฟรมเวิร์กการตรวจจับวัตถุและการแบ่งส่วนภาพประสิทธิภาพสูง เข้ากับ ORB-SLAM3 และมีการประเมินระบบบนชุดข้อมูลที่เปิดเผยต่อสาธารณะ ผลปรากฏว่าระบบที่ได้รับการปรับปรุงมีประสิทธิภาพเหนือกว่า ORB-SLAM3 พื้นฐานในแง่ของความแม่นยำและประสิทธิภาพในการคำนวณ

2.5 สรุป

ในบทที่ 2 มีการนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ จากฐานข้อมูลต่าง ๆ เช่น IEEE ScienceDirect และ EENET เป็นต้น ซึ่งทำให้ทราบถึงแนวทางในการวิจัยของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งยังรู้ถึงระเบียบวิธีการ ผลการทดสอบ ข้อเสนอแนะของงานวิจัยเหล่านี้ เพื่อนำความรู้มาประยุกต์ใช้และพัฒนาในวิทยานิพนธ์



บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ในบทนี้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย รถไฟฟ้าอัตโนมัติ ระบบนำทางอัตโนมัติ การเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งเป็นทฤษฎีที่นำไปพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับ และยังมี การนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับวัตถุ (Objects detection) ซึ่งเป็นการนำการเรียนรู้เชิงลึกมาช่วยทำให้รถไฟฟ้าไร้คนขับมีความปลอดภัยมากขึ้น

3.2 รถไฟฟ้าอัตโนมัติ

จากความก้าวหน้าทางวิทยาการและเทคโนโลยีในด้านปัญญาประดิษฐ์หรือ Artificial Intelligence (AI) ได้มีผลทำให้วิถีชีวิตของมนุษย์มีความสะดวกสบาย และมีความปลอดภัยในการดำเนินชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีของปัญญาประดิษฐ์ในการสร้างนวัตกรรมรถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Self-Driving Car) หรือที่เรียกว่ารถยนต์ไร้คนขับ เป็นยานพาหนะที่สามารถเดินทางได้โดยไม่ต้องอาศัยมนุษย์ โดยระบบควบคุมการขับที่ถูกออกแบบและโปรแกรมให้สามารถรับรู้และตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมและสถานการณ์ต่าง ๆ ได้เอง โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ รวมถึงเซ็นเซอร์ ระบบประมวลผลข้อมูล ระบบนำทาง และการใช้ปัญญาประดิษฐ์หลาย ๆ อย่าง เช่น คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) ซึ่งเปรียบเสมือนตาเพื่อรับรู้สภาพแวดล้อมโดยรอบ ได้แก่ กล้อง และ Lidar การเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ทำหน้าที่วิเคราะห์สภาพแวดล้อมโดยรอบ ตามมาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นจากองค์กร The Society of Automotive Engineers (SAE) ของสหรัฐอเมริกา ดังรูปที่ 3.1 สามารถแบ่งระดับของรถยนต์ไร้คนขับเป็น 6 ระดับ ดังนี้

ระดับ 0 No Automation : ระบบรถยนต์ไม่มีความสามารถในการควบคุมหรือช่วยเหลือการขับขี่

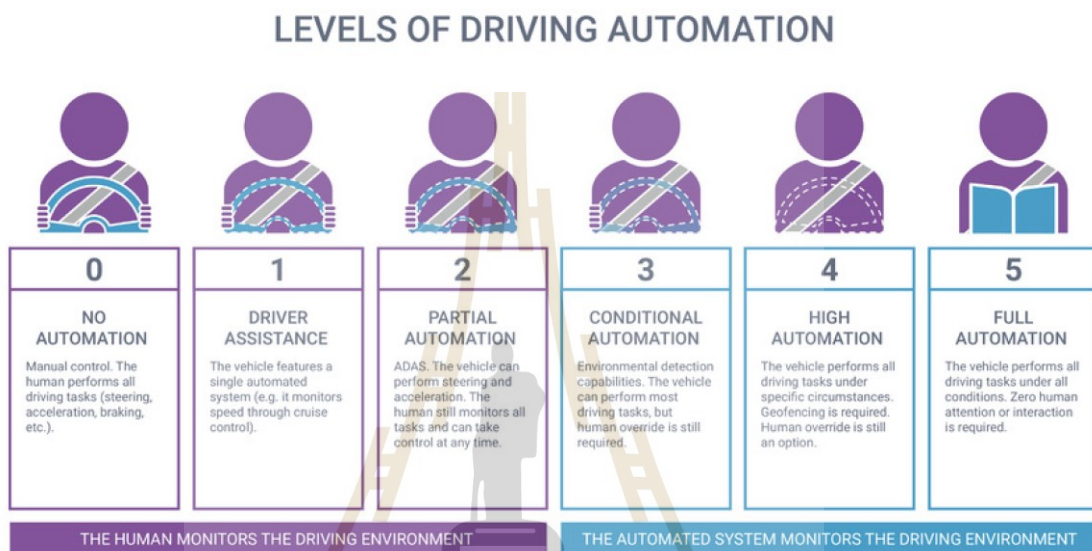
ระดับ 1 Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) : ระบบช่วยผู้ขับขี่ในบางส่วน เช่น ระบบควบคุมความเร็ว และระบบช่วยจอดรถ

ระดับ 2 Partial Automation : ระบบสามารถทำงานบางอย่างเพิ่มเติม แต่ผู้ขับขี่ต้องอยู่ในที่นั่งขับและพร้อมที่จะขับยังตลอดเวลา

ระดับ 3 Conditional Automation : ระบบสามารถทำงานโดยอิสระในสถานการณ์บางอย่าง และผู้ขับขี่สามารถทิ้งการควบคุมได้ในบางสภาวะ

ระดับ 4 High Automation : รถยนต์สามารถทำงานโดยอิสระในสถานการณ์ที่กำหนดไว้ แต่ในบางเงื่อนไขจำเป็นต้องมีการควบคุมโดยมนุษย์

ระดับ 5 Full Automation : รถยนต์สามารถทำงานโดยอิสระทุกสถานการณ์โดยไม่ต้องมีผู้ขับขี่

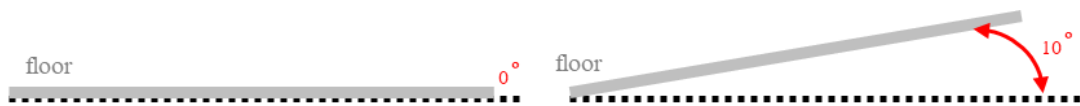


รูปที่ 3.1 มาตรฐานจาก The Society of Automotive Engineers (SAE)

ที่มารูปภาพ: https://www.3cems.com/the-6-levels-of-vehicle-autonomy_n69

3.2.1 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า

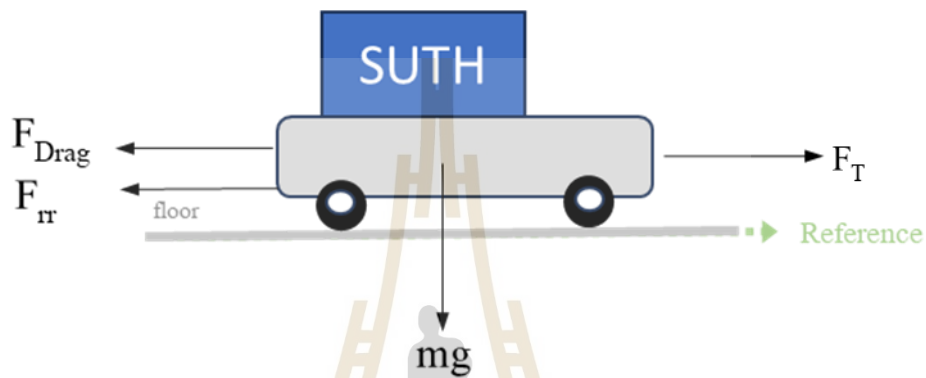
สำหรับการออกแบบหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า จำเป็นต้องทราบค่าแรงฉุดลากของตัวรถ ดังนั้นจึงมีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์และออกแบบ เพื่อให้ได้แนวทางในการคำนวณหาแรงฉุดลาก โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีไม่มีความชันและกรณีมีความชัน ทำให้รถจะมีการเคลื่อนที่สองกรณีนี้ ในกรณีไม่มีความชันหรือความชันเท่ากับ 0 องศา ตัวรถจะต้องเคลื่อนที่บนพื้นที่ที่เรียบหรือมีความชันเท่ากับ 0 องศา และกรณีที่มีความชัน ตัวรถจะต้องเคลื่อนที่บนพื้นที่ที่มีความชันมากกว่า 0 องศา ซึ่งตัวอย่างในกรณีที่มีความชันนี้จะแสดงที่ 10 องศา ตัวอย่างความชันของพื้นผิวจะแสดงในรูปที่ 3.2 เมื่อทราบรูปแบบพื้นผิวทำให้ทราบรูปแบบการเคลื่อนที่ของรถและแรงที่เกี่ยวข้อง ทำให้แบ่งออกได้เป็นสองกรณี คือ การเคลื่อนที่บนพื้นที่ราบ ดังรูปที่ 3.3 และบนพื้นที่ทางชัน ดังรูปที่ 3.4



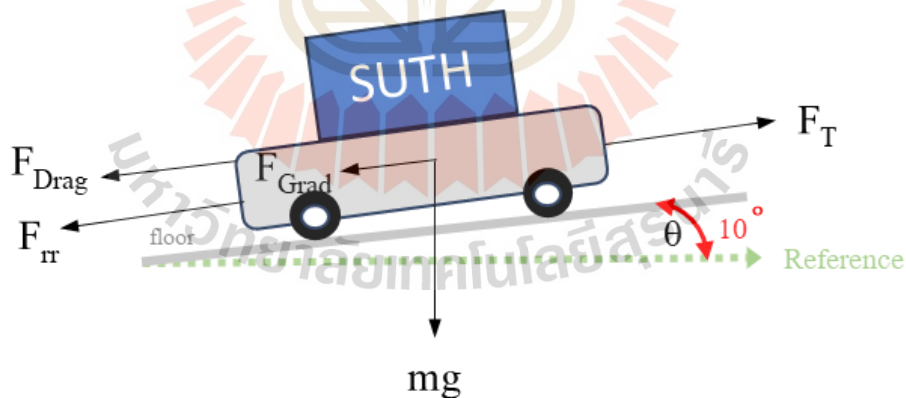
(กรณีไม่มีทางชัน)

(กรณีมีทางชัน)

รูปที่ 3.2 ความชันของพื้นผิวที่พิจารณา



รูปที่ 3.3 การคำนวณหาแรงฉุดลากของตัวรถแบบไม่มีทางชัน



รูปที่ 3.4 การคำนวณหาแรงฉุดลากของตัวรถแบบมีทางชัน

เมื่อทราบแรงที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของรถทั้งหมด ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 พบว่าสามารถแบ่งแรงที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถออกเป็น 2 รูปแบบ คือ กรณีแรกรถเคลื่อนที่บนพื้นผิวราบและในกรณีที่สองรถเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความชัน โดยมีแรงที่เกี่ยวข้องได้แก่ F_T คือแรงฉุดลาก (Traction force) เป็นแรงที่กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ ที่สามารถคำนวณจาก

สมการที่ 3.1 F_A คือ แรงต้านผิวนตัวของวัตถุในขณะเร่งความเร็ว (Acceleration Resistance) คำนวณได้ ดังสมการที่ 3.2 F_R คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ (Resistance to Movement) สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 3.3 โดยในการคำนวณหา F_R จำเป็นต้องทราบค่า f_r คือ คุณสมบัติของสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ (Coefficient of Friction) ซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 F_D คือ แรงต้านอากาศ (Drag Force) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โดยจะสร้างความต้านทานต่อวัตถุสามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 3.4 ซึ่งในการคำนวณแรงต้านอากาศต้องอาศัยค่า ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมินั้น ๆ จากข้อมูล ดังตารางที่ 3.2 และค่า C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient) จากข้อมูล ดังตารางที่ 3.3 F_G คือ แรงเกรเดียนต์ (Gradient Force) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.5 โดยในกรณีแรกพบว่ามีค่าเป็น 0 เนื่องจากไม่มีความชัน (Y. Cheng และ คณะ, ค.ศ. 2005)

$$F_T = F_A + F_R + F_D + F_G \quad (3.1)$$

$$F_A = ma \quad (3.2)$$

$$F_R = f_r mg \cos \theta \quad (3.3)$$

$$F_D = f_r C_d A_F v^2 \quad (3.4)$$

$$F_G = mg \sin \theta \quad (3.5)$$

โดยที่	m	คือ น้ำหนักตัวรถรวมบรรทุกโหลด (kg)
	a	คือ อัตราเร่งของรถ (m/s^2)
	g	คือ อัตราเร่งโน้มถ่วง (m/s^2)
	f_r	คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานล้อกับพื้น
	C_d	คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ
	A_F	คือ พื้นที่หน้าตัดหน้าตัวรถ (m^2)
	v	คือ ความเร็วรถ (m/s)
	ρ	คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)
	θ	คือ องศาความชันของพื้นผิว (องศา)

ตารางที่ 3.1 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานล้อกับพื้น

Rolling Resistance Coefficient (f_r)	Detail
0.001 - 0.002	Railroad Steel Wheels on Steel Rails
0.001	Bicycle Tire on Wooden Track
0.002 - 0.005	Low Resistance Tubeless Tires
0.002	Bicycle Tire on Concrete
0.004	Bicycle Tire on Asphalt Road
0.005	Dirty Tram Rails
0.006 - 0.01	Truck Tire on Asphalt
0.008	Bicycle Tire on Rough Paved Road
0.010 - 0.015	Ordinary Car Tires on Concrete, New Asphalt, Cobbles Small New
0.020	Car Tires on Tar or Asphalt
0.020	Car Tires on Gravel-Rolled New
0.030	Car Tires on Cobbles-Large Worn
0.040 - 0.080	Car Tire on Solid Sand, Gravel Loose Worn, Soil Medium Hard
0.200 - 0.400	Car Tire on Loose Sand

(หมายเหตุ : ตารางที่ 3.1 อ้างอิงข้อมูลจาก https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html)

ตารางที่ 3.2 ความหนาแน่นของอากาศกับอุณหภูมิที่ 1 atm หรือ 101.325 kPa

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น ของอากาศ (kg/m ³)
35	1.145
30	1.164
25	1.183
20	1.204
15	1.225
10	1.246
5	1.269
0	1.292
-5	1.316
-10	1.341
-15	1.367
-20	1.394
-25	1.422

(หมายเหตุ : ตารางที่ 3.2 อ้างอิงข้อมูลจาก https://hmong.in.th/wiki/Density_of_air)

ตารางที่ 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรถแต่ละประเภท

Type of vehicle	C_d
Six-Car Passenger Train	1.80
Tractor-Trailer Truck	0.96
SUV	0.80
Sedan	0.45
Car (Minimum)	0.15

(หมายเหตุ : ตารางที่ 3.3 อ้างอิงข้อมูลจาก E. Aziz และ คณะ, ค.ศ. 2008)

เมื่อทราบค่าแรงฉุดลากรถ (F_T) จากการคำนวณแล้วจึงสามารถคำนวณหา คือ แรงบิดของมอเตอร์ (T) ซึ่งแรงบิดของมอเตอร์ถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะทำให้สามารถเลือกมอเตอร์มาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังช่วยลดค่าไฟของมอเตอร์ได้อีกด้วย โดยหาได้จากสมการที่ 3.6 นอกจากนี้ยังสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ (P_m) ได้จากสมการที่ 3.7

$$T = F_T R_f r \quad (3.6)$$

$$P_m = (F_T v) / \eta \quad (3.7)$$

โดยที่ r คือ รัศมีล้อรถ (m)
 R_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเพลากับลูกปืน
 η คือ ประสิทธิภาพของการแปลงผันพลังงาน
 v คือ ความเร็วรถ (m/s)

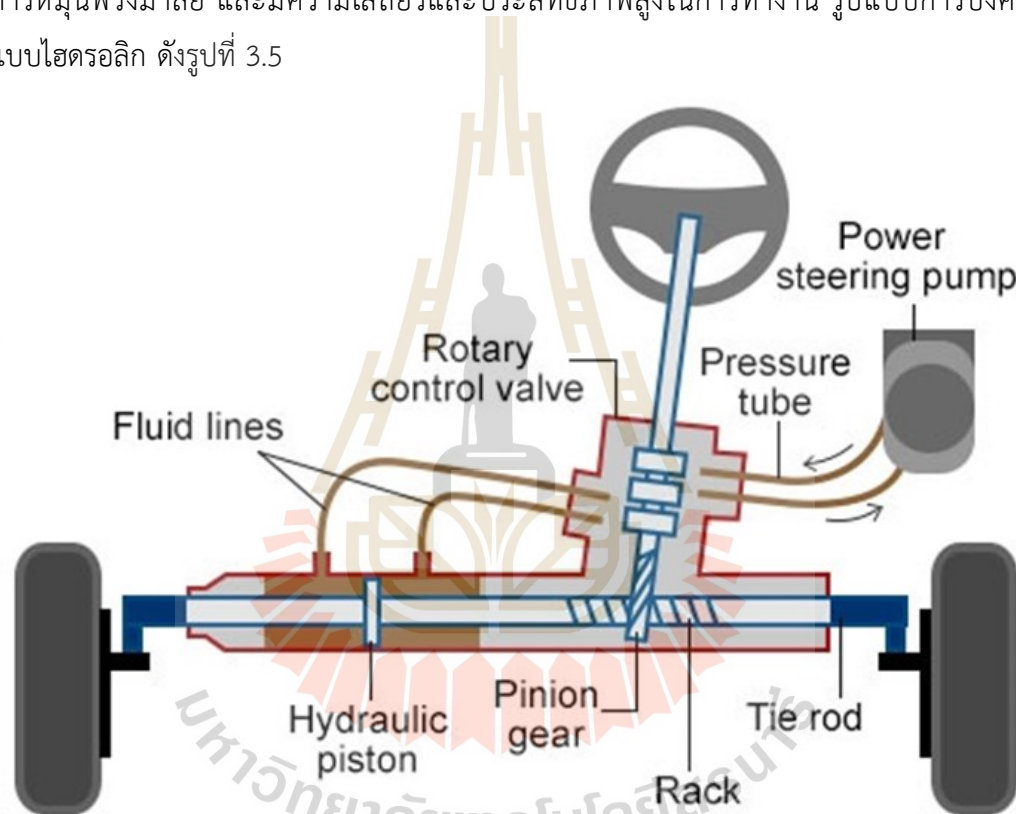
3.3 ระบบบังคับเลี้ยวของยานยนต์

ระบบบังคับเลี้ยว (Steering System) ในยานยนต์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยานยนต์ทุกประเภทสามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัยและมีเสถียรภาพในขณะที่เคลื่อนที่ ระบบบังคับเลี้ยวสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ คือ ระบบพวงมาลัยแบบกระปุก (Linkage Steering) เป็นระบบที่สามารถควบคุมการเลี้ยวของล้อหน้า โดยมีการส่งกำลังผ่านคันชักไปยังจุดเชื่อมต่อ ซึ่งพิตแมนอาร์ม (Pitman-Arm) ที่ได้รับแรงบิดจะเปลี่ยนทิศทาง แบบที่สอง คือ ระบบพวงมาลัยแบบ Rack & Pinion Steering ที่มีความนิยมอย่างแพร่หลายมากกว่าแบบแรก เนื่องจากมีความแม่นยำและตอบสนองได้ดี

ในการทำงานจะอาศัยพวงมาลัยแบบ Rack ที่ติดตั้งเชื่อมต่อกับแกนเพลาล้อคู่หน้าของรถ และ Pinion ที่ติดตั้งต่อกับเพลापวงมาลัย โดยผ่านเฟืองย่อย เมื่อหมุนพวงมาลัยจะเคลื่อนที่ตามแกน Rack และเพลาก็จะหมุนตามแกน Pinion ทำให้ล้อหมุนตามทิศทางที่ต้องการ

3.3.1 ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Power Steering)

เป็นระบบที่ใช้ น้ำมันไฮดรอลิกเพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถควบคุมการเลี้ยวของรถได้อย่างสะดวกและสมบรูณ์มากขึ้น โดยมีลักษณะการทำงานที่มีปั๊มไฮดรอลิกสร้างความดันในระบบ น้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งกำลังไปยังลูกล้อ และวาล์วควบคุมการไหลของน้ำมัน ช่วยทำให้ลดแรงที่ใช้ในการหมุนพวงมาลัย และมีความเสถียรและประสิทธิภาพสูงในการทำงาน รูปแบบการบังคับเลี้ยวแบบไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปแบบระบบบังคับเลี้ยวแบบไฮดรอลิก

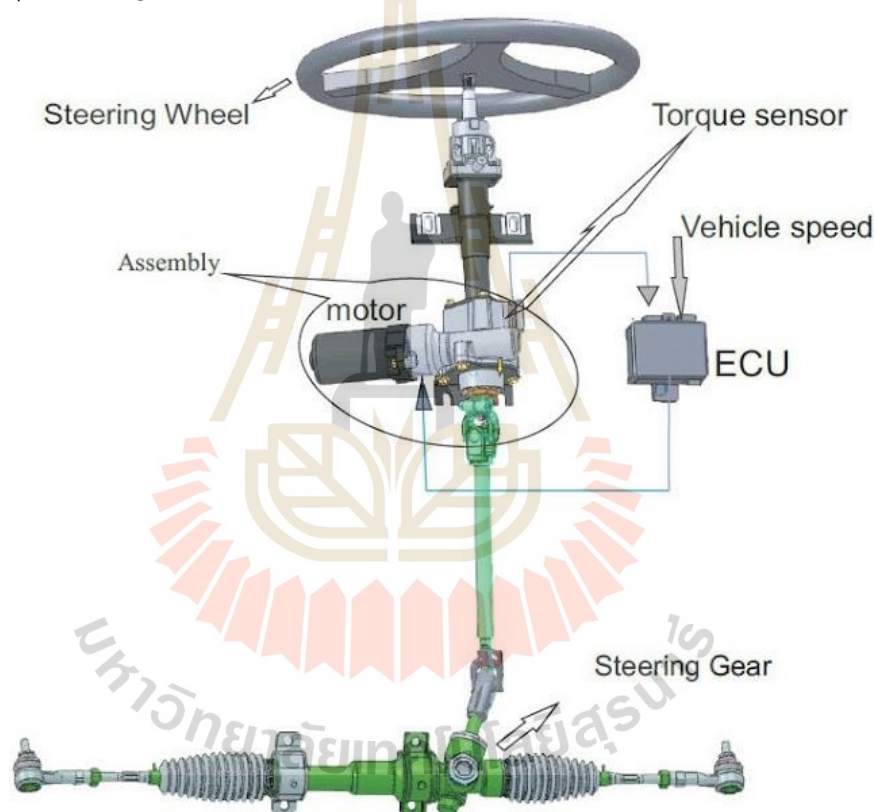
ที่มารูปภาพ: Buzzle.com

3.3.2 ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า (Electric Power Steering: EPS)

ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.6 ใช้พลังงานไฟฟ้าในการช่วยบังคับเลี้ยวของยานยนต์ โดยมีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับพวงมาลัย ทำให้การเลี้ยวออกแรงน้อยลงและง่ายขึ้น ทั้งยังมีความสะดวกสบายและประหยัดพลังงาน

ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้าใช้โปรโตคอลการสื่อสาร CANbus ในการควบคุมการบังคับเลี้ยวผ่านทาง ECU (Electronic Control Unit) ซึ่งเป็นหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์

โพรโตคอล CANbus เป็นมาตรฐานการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในรถยนต์ เช่น เซ็นเซอร์และอุปกรณ์ควบคุม เป็นต้น ซึ่งช่วยให้ข้อมูลส่งผ่านระหว่างอุปกรณ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เมื่อระบบ EPS ต้องการปรับความหน่วงของการเลี้ยวพวงมาลัยเพื่อให้เหมาะสมกับความเร็วของรถ ข้อมูลควบคุมจะถูกส่งผ่านระบบ CANbus ไปยัง ECU เพื่อปรับการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าให้ทำงานอย่างเหมาะสมในสภาวะของรถที่กำลังเดินทางอยู่ นอกจากนี้ ระบบ CANbus ยังช่วยให้สามารถทำการตรวจจับและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ทำให้ระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพและความเสถียรสูงในการทำงาน (ข้อมูลหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 อ้างอิงจาก <https://rabbitcare.com/how-a-steering-system-works.car-parts.car-guide>)



รูปที่ 3.6 รูปแบบระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า

3.3.3 การคำนวณขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า

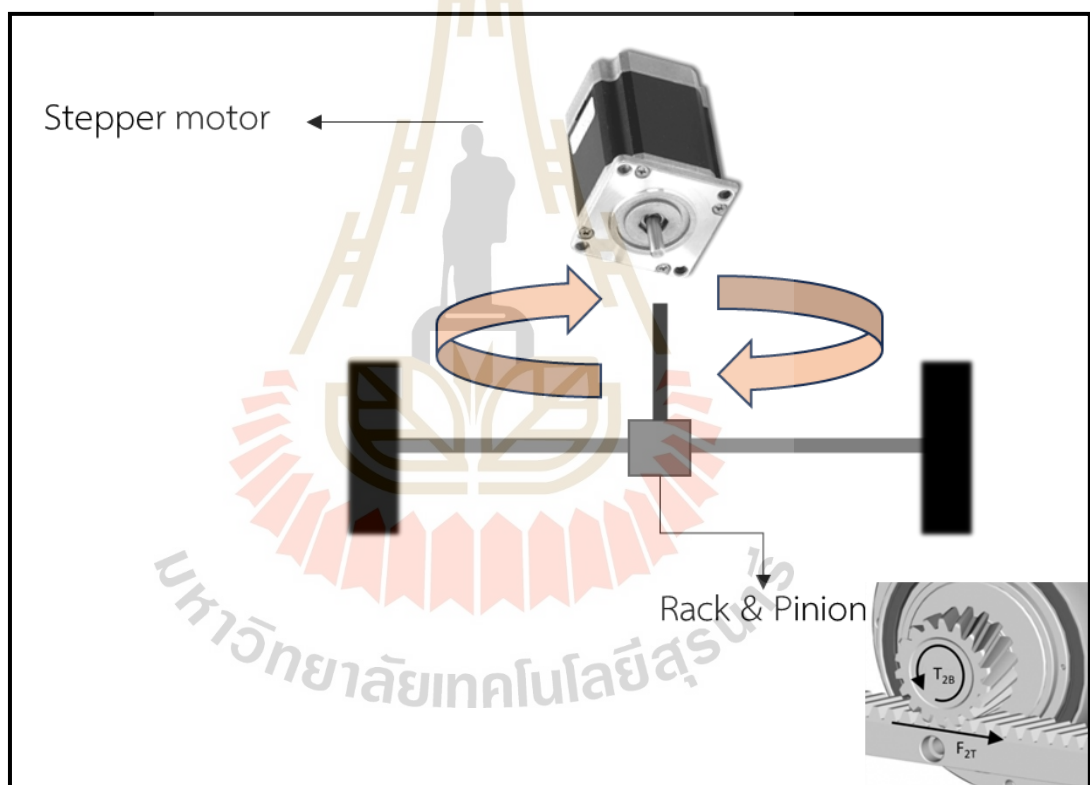
ในการคำนวณขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยว จะใช้มอเตอร์ Stepper ดังรูปที่ 3.7 โดยมีหลักการการออกแบบตามระบบบังคับเลี้ยวแบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นระบบบังคับเลี้ยวที่มีประสิทธิภาพสูง ทั้งยังทำให้ผู้ขับขี่สามารถบังคับเลี้ยวได้อย่างง่ายดายและนุ่มนวล จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการทำงาน ในการเลือกขนาดมอเตอร์สามารถเลือกได้จากการหาแรงบิดของมอเตอร์ (T_m) ดังสมการที่ 3.8

เพื่อนำไปใช้ออกแบบในระบบบังคับเคลื่อน และสามารถหาแรง (F) จากสมการที่ 3.9 ซึ่งแรง F มีทิศทางดังรูปที่ 3.7 (อ้างอิงข้อมูลจาก <https://www.gearservo.com/rack-pinion>)

$$T_m = Fr \quad (3.8)$$

$$F = ma \quad (3.9)$$

โดยที่ m คือ น้ำหนักของชุดล้อหน้า หรือ น้ำหนักที่แบกรับของแร็คแอนด์พิเนียน (kg)
 a คือ อัตราเร่ง (m/s^2)
 r คือ รัศมี Pinion Pitch (mm)



รูปที่ 3.7 รูปแบบระบบบังคับเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์ Stepper

3.4 แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่เป็นหัวใจสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้า เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถ ดังนั้นการออกแบบขนาดแบตเตอรี่ให้เหมาะสมเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้ยานยนต์ไฟฟ้าที่ออกแบบมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานของยานยนต์

ไฟฟ้า ในการออกแบบแบตเตอรี่มีการคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ในการออกแบบ เช่น ค่าใช้จ่าย การดูแลรักษา ความปลอดภัย และวิธีการในการชาร์จ ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีรูปแบบการใช้งานและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยมีการรวบรวมชนิดของแบตเตอรี่ที่มีความนิยมในการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้า ดังนี้ แบตเตอรี่ตะกั่ว (Lead Acid Battery), แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (Nickel-Cadmium Battery), แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery) และตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด (Supercapacitors)

3.4.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว (Lead Acid Battery)

แบตเตอรี่ตะกั่วเป็นแบตเตอรี่ที่เก่าแก่ที่สุดและปัจจุบันก็ยังถูกใช้งานอยู่ เนื่องจากราคาถูกและง่ายต่อการใช้งาน แต่ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือ จะมีอายุการใช้งานสั้นมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีน้ำหนักมากทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานบางประเภทที่ไม่ต้องการการถ่วงน้ำหนัก แบตเตอรี่ตะกั่วจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนขณะชาร์จ ทำให้ต้องมีห้องสำหรับชาร์จไฟเฉพาะและยังใช้เวลาในการชาร์จนาน

3.4.2 แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (Nickel-Cadmium Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียมถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี 1960 โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถนำมาอัดประจุไฟฟ้าซ้ำในการใช้งานใหม่ได้เมื่อมีการใช้งานในการคายประจุแบตเตอรี่จนหมดเกลี้ยง และยังมีจุดเด่นในด้านความทนทานที่สามารถใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมที่เย็นหรือร้อนจัดได้ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีรอบการชาร์จ (Charge Cycle) อยู่ที่ 500-1000 ครั้ง โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อเสียที่ส่งผลกับหน่วยความจำ (Memory Effect) จึงจำเป็นต้องคายประจุให้หมดก่อนแล้วจึงจะนำมาชาร์จใหม่ได้ และเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้ประกอบด้วยสารแคดเมียมซึ่งมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ทำให้ยากในการกำจัด และการผลิตอาจทำให้สารดังกล่าวรั่วไหลได้ ปัจจุบันมีการห้ามผลิตเพื่อใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยต่อมนุษย์

3.4.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่ปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างมากด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความปลอดภัย ต้นทุนในระยะยาว และการรักษาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ (Reusable) แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้มากและยังมีอายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ และในปัจจุบันมีการรองรับเทคโนโลยีชาร์จเร็ว (Fast Charge) นอกจากนี้ยังมีระบบการจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System) ทำให้ไม่พบปัญหาที่มีผลกับหน่วยความจำ จึงสามารถชาร์จขณะที่แบตเตอรี่ยังไม่เต็ม โดยมีรอบชาร์จอยู่ที่ 500-10,000 ครั้ง โดย

ข้อเสียหลักของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีราคาที่ยังค่อนข้างแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอุณหภูมิช่วง 20 °C ถึง 60 °C

3.4.4 ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด (Supercapacitors)

ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่ถูกวางในแนวขนานกัน โดยมีฉนวนที่ดูดซับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) กั้นกลางขั้วไฟฟ้าทั้งสอง การเก็บพลังงานของอุปกรณ์นี้จะถูกจัดเก็บไว้ในชั้นไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) สองชั้น โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดมีค่ากำลังจำเพาะ (specific power) สูงกว่าแบตเตอรี่ ซึ่งมีค่า 500 ถึง 10,000 วัตต์/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และสามารถอัดประจุไฟฟ้าด้วยเครื่องชาร์จได้เร็วกว่าแบตเตอรี่ที่ทดสอบเร็วที่สุดถึง 1,000 เท่า รอบการชาร์จของตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดสามารถมีได้ถึง 1,000,000 ครั้ง ในการใช้งานในระบบไฮบริดจะมีการนำอุปกรณ์ชนิดนี้มาใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น เนื่องจากตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดมีพลังงานจำเพาะ (specific energy) อยู่ที่ 0.2 ถึง 5 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) ซึ่งต่ำกว่าแบตเตอรี่

3.4.5 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

ในการออกแบบขนาดแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้กำลังขับของมอเตอร์ ดังสมการที่ 3.7 มาใช้ในการคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แปรผันตามระยะทางและเวลา ซึ่งสามารถแบ่งอัตราการใช้พลังงานรวมในกรณีวิ่งเดินหน้าและวิ่งกลับได้ E_T ดังสมการที่ 3.10 ในกรณีวิ่งเดินหน้าสามารถคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดเส้นทางที่รถวิ่ง E_{FT} ดังสมการที่ 3.11 โดยใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ 4 ช่วง ในกรณีวิ่งเดินหน้า ได้แก่ E_{F1} ช่วงเร่งออกตัว (Acceleration) E_{F2} ช่วงความเร็วคงที่ (Constant Speed) E_{F3} ช่วงปล่อยไหล (Coasting) และ E_{F4} ช่วงเบรก (Braking) ในทางกลับกันเมื่อรถมีการวิ่งถอยหลังลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ 4 ช่วง ในกรณีวิ่งถอยหลังสามารถคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดเส้นทางที่รถวิ่ง E_{RT} ดังสมการที่ 3.12 โดยใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ 4 ช่วง ในกรณีวิ่งกลับ ได้แก่ E_{R1} ช่วงเร่งออกตัว E_{R2} ช่วงความเร็วคงที่ E_{R3} ช่วงปล่อยไหล และ E_{R4} ช่วงเบรก รวมทั้งคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงพิจารณาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระยะทางทั้งหมดรวมทุกช่วงในกรณีวิ่งเดินหน้า E_{Fi} และวิ่งถอยหลัง E_{Ri} ดังสมการที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ โดยที่ i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 4 นอกจากนี้ทั้งการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่เพื่อให้รองรับการใช้งานต่อเนื่องของการวิ่งทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแปรผันตามจำนวนรอบ E_{batt} ดังสมการที่ 3.15 (Z. Yu และ คณะ, ค.ศ. 2009)

$$E_T = E_{FT} + E_{RT} \quad (3.10)$$

$$E_{FT} = E_{F1} + E_{F2} + E_{F3} + E_{F4} \quad (3.11)$$

$$E_{RT} = E_{R1} + E_{R2} + E_{R3} + E_{R4} \quad (3.12)$$

$$E_{Fi} = (P_{Fi} / \eta_m \eta_{inv}) \times (S_{Fi} / 3,600 DoD_{batt} v_{Fi}) \quad (3.13)$$

$$E_{Ri} = (P_{Ri} / \eta_m \eta_{inv}) \times (S_{Ri} / 3,600 DoD_{batt} v_{Ri}) \quad (3.14)$$

$$E_{batt} = E_T \times N \quad (3.15)$$

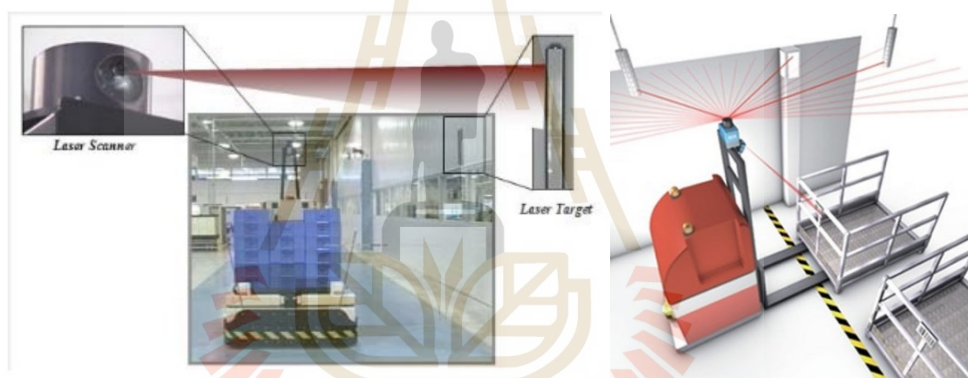
โดยที่	P_{Fi}	คือ กำลังขับของมอเตอร์ (kW) ช่วงที่ i กรณีวิ่งเดินหน้า
	P_{Ri}	คือ กำลังขับของมอเตอร์ (kW) ช่วงที่ i กรณีวิ่งถอยหลัง
	S_{Fi}	คือ ระยะทาง (m) ช่วงที่ i กรณีวิ่งเดินหน้า
	S_{Ri}	คือ ระยะทาง (m) ช่วงที่ i กรณีวิ่งถอยหลัง
	v_{Fi}	คือ ความเร็ว (m/s) ช่วงที่ i กรณีวิ่งเดินหน้า
	v_{Ri}	คือ ความเร็ว (m/s) ช่วงที่ i กรณีวิ่งถอยหลัง
	η_m	คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์
	η_{inv}	คือ ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์
	DoD_{batt}	คือ ประสิทธิภาพการคายประจุของแบตเตอรี่
	N	คือ จำนวนรอบในการวิ่งรถ

3.5 ระบบนำทางอัตโนมัติ

ระบบนำทางอัตโนมัติเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างหรือออกแบบรถไฟฟ้าอัตโนมัติเนื่องจากต้องมีการเลือกใช้ให้เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมที่ถูกนำไปใช้ เช่น บริเวณแสงเยอะ บริเวณแสงน้อย บริเวณในร่มหรือบริเวณด้านนอกอาคาร เป็นต้น เนื่องจากปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมมีผลเป็นอย่างมาก เพราะว่าการระบบการนำทางแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยทางผู้วิจัยได้รวบรวมดังตารางที่ 3.4 ในการออกแบบระบบนำทางมีเทคนิคที่สำคัญในการนำทางประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การวางตำแหน่ง การรับรู้ด้านสิ่งแวดล้อม และการวางแผนเส้นทาง ด้วยเทคนิคเหล่านี้จึงสามารถกำหนดพื้นที่ที่เข้าถึงได้และพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนเส้นทาง ทำให้ลดผลกระทบจากสภาพสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด ประเภทของการนำทางที่ได้สำรวจมีดังนี้

3.5.1 การนำทางด้วยเลเซอร์

ระบบนำทางด้วยเลเซอร์จำเป็นต้องมีแผ่นสะท้อนแสงที่ต้องติดตั้งไว้ในพื้นที่ที่ถูกใช้งาน ปกติแผ่นสะท้อนแสงจะถูกติดตั้งในตำแหน่งที่สูงจากพื้นและต้องไม่ถูกบดบัง ตำแหน่งที่แผ่นสะท้อนแสงถูกติดตั้งจะถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ของตัวรถ และจะมี Laser scanner ที่จะทำหน้าที่ในการปล่อยและรับแสงเลเซอร์ซึ่งจะต้องถูกติดตั้งบนตัวรถ โดยตำแหน่งที่ถูกติดตั้งควรอยู่บนสุดของตัวรถเพื่อให้ปล่อยและรับเลเซอร์อย่างมีประสิทธิภาพ มีหลักการทำงานโดยมีการยิงแสงเลเซอร์ออกจากเครื่อง Laser scanner ไปกระทบกับแผ่นสะท้อนแสงหลาย ๆ แผ่นที่วางไว้ แสงเลเซอร์จะถูกสะท้อนกลับมายังเครื่อง Laser scanner ทำให้รับรู้ตำแหน่งและท่าทางของตัวเองจากการคำนวณค่ามุม และการจับคู่กับตำแหน่งของแผ่นสะท้อนแสงที่อยู่ในหน่วยความจำบนตัวรถ มักถูกใช้ในอาคารและไม่สามารถใช้ในพื้นที่โล่งแจ้งได้เนื่องจากไม่สามารถติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงในตำแหน่งที่เหมาะสมได้ซึ่งอาจทำให้ความแม่นยำลดลง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การนำทางด้วยเลเซอร์
ที่มารูปภาพ:(L. Lynch et al., 2018)

3.5.2 การนำทางด้วยเทปแม่เหล็ก

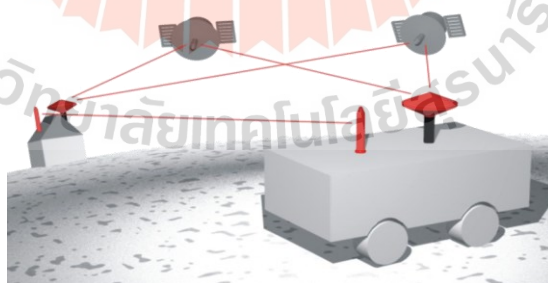
ทำการติดตั้งเทปแม่เหล็กในเส้นทางการเดินรถ บนพื้นผิว ซึ่งบนตัวรถจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์แม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.9 เพื่อช่วยในการตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากเทปแม่เหล็ก โดยสามารถควบคุมทิศทางได้ด้วยเทปแม่เหล็ก การนำทางรูปแบบนี้มีการติดตั้งที่ง่าย มีเส้นทางการวิ่งที่ชัดเจน และต้นทุนต่ำ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากเทปแม่เหล็กจะถูกกลดทอนหรือรบกวนได้



รูปที่ 3.9 เซนเซอร์ตรวจจับแม่เหล็กไฟฟ้า

3.5.3 การนำทางด้วย GPS

อาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อนำไปใช้ประมวลผลในเชิงตำแหน่ง ซึ่งประสิทธิภาพในการนำทางจะขึ้นกับการสื่อสารกับดาวเทียม โดย GPS เป็นส่วนหนึ่งของ GNSS (Global Navigation Satellite System) ซึ่งเป็นระบบนำทางด้วยดาวเทียม ดังรูปที่ 3.10 โดยมีหลักการทำงาน คือ จะวัดเวลาของสัญญาณที่เดินทางระหว่างดาวเทียมจนถึงตัวรับสัญญาณและนำมาคำนวณเพื่อหาตำแหน่งจากข้อมูลพิกัด เช่น ค่าละติจูด (latitude) ลองจิจูด (longitude) เป็นต้น เมื่อสัญญาณเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ GPS ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ทั่วไปจะอยู่ที่ 2-4 m ในยานยนต์ขนาดเล็กจำเป็นต้องปรับปรุงและตัดแปลงเนื่องจากพิกัดที่ได้นั้นกว้างเกินไป และเนื่องจากอาศัยสัญญาณจากดาวเทียมจึงไม่เหมาะกับการใช้ในพื้นที่ที่มีสัญญาณน้อย เช่น ภายในอาคาร เป็นต้น



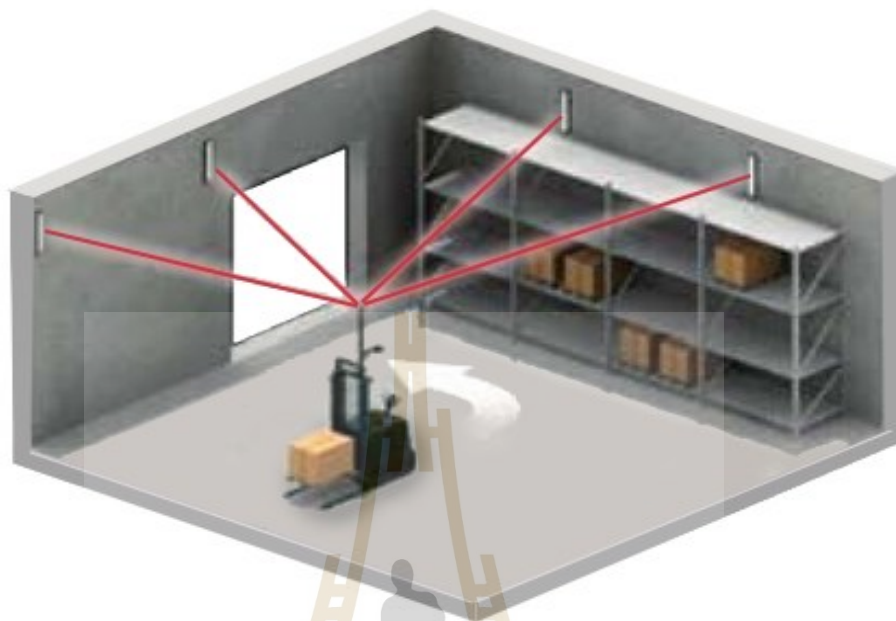
รูปที่ 3.10 การนำทางด้วย GPS

ที่มารูปภาพ: <https://www.goetting-agv.com/solutions>

3.5.4 การนำทางด้วยแสง

อาศัยการตรวจจับและประมวลผลจากแสงที่ได้รับด้วยกล้องหรือเซนเซอร์รับแสงในการนำทาง ดังรูปที่ 3.11 โดยใช้วิธีการวางเทปสีหรือทาสี เพื่อให้ยานยนต์อัตโนมัติตรวจจับและ

เคลื่อนที่ไปตามจุดหมายที่ต้องการ การนำทางด้วยแสงมีความยืดหยุ่นและสะดวกต่อการใช้งาน แต่ก็ถูกรบกวนได้ง่ายมาก และยังต้องการการดูแลเนื่องจากการสึกหลอหรือเปลี่ยนแปลงของสีบนเส้นทาง



รูปที่ 3.11 การนำทางด้วยแสง

ที่มารูปภาพ: <https://www.cisco-eagle.com/blog/2023/02/16/comparing-agv-navigation-methods/>

3.5.5 การนำทางด้วย SLAM

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการนำทางอัตโนมัติ โดยทำการสร้างแผนที่ของสภาพแวดล้อมในเวลาเดียวกัน โดยมักใช้เซนเซอร์ LIDAR (Light Detection and Ranging) เป็นเซนเซอร์หลักในการระบุตำแหน่งและสร้างแผนที่ เนื่องจาก LIDAR สามารถวัดระยะทางได้แม่นยำและมีความแม่นยำในการสร้างภาพของสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การนำทางด้วย SLAM

3.5.6 การนำทางทางภาพ

อาศัยข้อมูลจากวิดีโอและรูปภาพเพื่อใช้ระบบประมวลผลของยานยนต์อัตโนมัติระบุตำแหน่ง และปรับทิศทางการเคลื่อนที่ เพื่อให้ยานยนต์เคลื่อนที่ไปยังจุดหมาย เป็นรูปแบบการนำทางที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ และยังสามารถรับรู้สิ่งแวดล้อมที่เจาะจงได้ เช่น การตรวจจับวัตถุ การรับรู้เส้นทางและสิ่งกีดขวาง แต่มีข้อจำกัด คือ การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ เช่น แสง ฝุ่น อาจมีผลต่อความแม่นยำ จึงไม่เหมาะสมกับทุกสภาพแวดล้อม เป็นต้น (ที่มาข้อมูลหัวข้อที่ 3.5.1-3.5.6 A.J. Moshayedi, 2019)

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบนำทาง

รูปแบบการนำทาง	ข้อดี	ข้อเสีย
การนำทางด้วยเลเซอร์	<ul style="list-style-type: none"> ● ความแม่นยำสูง ● มีความยืดหยุ่น 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีข้อกำหนดพิเศษในการใช้ ● ต้นทุนสูง
การนำทางด้วยเทปแม่เหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> ● ราคาถูก ● ติดตั้งง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ● ต้องการการบำรุงรักษา ● ไม่ค่อยยืดหยุ่น
การนำทางด้วย GPS	<ul style="list-style-type: none"> ● ยืดหยุ่น ● ติดตั้งง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความไม่ชัดเจน ● ไม่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในร่ม
การนำทางทางภาพ	<ul style="list-style-type: none"> ● ยืดหยุ่น ● มีความแม่นยำสูง 	<ul style="list-style-type: none"> ● มีความไม่ชัดเจน ● ไม่ได้เหมาะสมในสภาพแวดล้อมที่มีการบดบังวิสัยทัศน์
การนำทางด้วยแสง	<ul style="list-style-type: none"> ● ยืดหยุ่น ● ติดตั้งง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ● ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแสง

3.6 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

ในปัจจุบันปัญญาประดิษฐ์หรือ AI (Artificial Intelligence) มีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตขั้นพื้นฐานของมนุษย์ และงานต่าง ๆ ในหลากหลายแขนง เนื่องจาก AI มีความฉลาดที่สามารถวิเคราะห์ คิดและตัดสินใจ โดยการใช้ข้อมูลเป็นฐานในการตัดสินใจ ซึ่งการพัฒนาของ AI มีเบื้องหลังที่สำคัญ คือ การเรียนรู้เชิงลึกหรือ Deep Learning เป็นหนึ่งในเทคนิคของ Machine Learning ที่เป็นส่วนหนึ่งของ AI ดังรูปที่ 3.13

3.6.1 การเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่อง หรือ Machine Learning (ML) เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์หรือสมองเกิดการเรียนรู้จากข้อมูล แล้วนำความรู้ไปใช้วิเคราะห์ หรือคาดการณ์ หลักการทำงานของ Machine Learning เบื้องต้นจะต้องมีการเรียนรู้จากชุดข้อมูลตัวอย่างก่อน (Dataset) จากนั้นผู้พัฒนาจำเป็นต้องหาคุณลักษณะเด่น (Feature) ด้วยตัวเอง เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้ (Train) และสร้าง Model ขึ้นมาเพื่อนำไปใช้ตัดสินใจ หรือคาดการณ์ โดยสามารถแบ่ง Machine Learning ออกเป็น 3 ประเภท

1. Supervised Learning หรือการเรียนรู้แบบมีผู้สอน

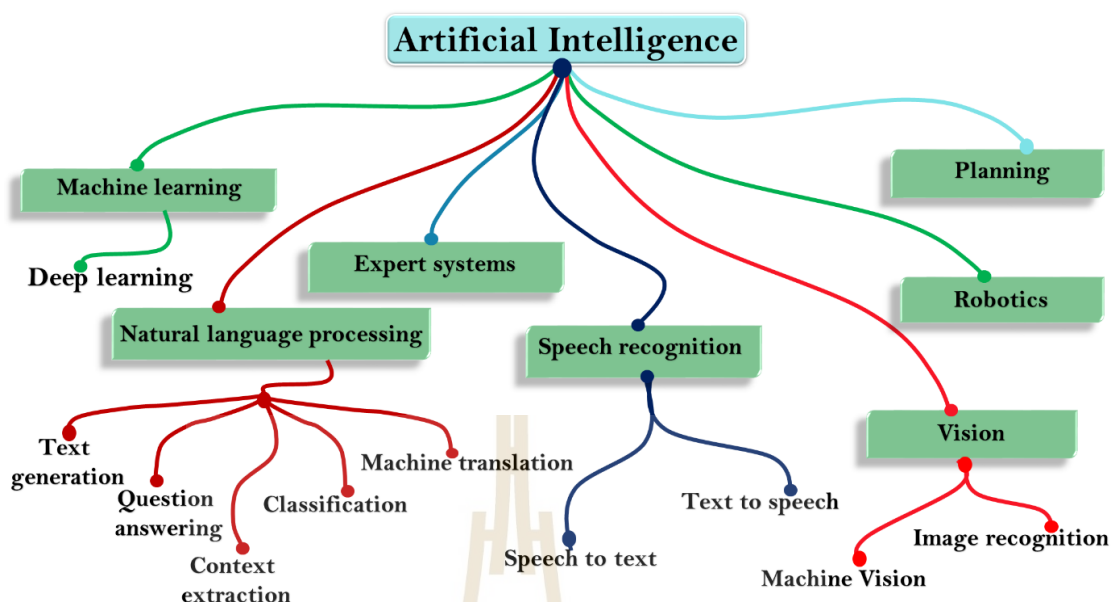
การเรียนรู้แบบมีผู้สอน คือ การเรียนรู้ที่แนวคิดและหลักการที่เข้าใจง่ายที่สุด ซึ่งอาจเปรียบได้จากการที่เป็นนักเรียนแล้วมีครูมาสอน โดยลักษณะของการเรียนรู้ประเภทนี้จะจำเป็นต้องมีการ Label ข้อมูล ซึ่งเป็นการระบุข้อมูลไว้อย่างชัดเจนว่ามีเป้าหมายเป็นอย่างไร เช่น การฝึกฝนโมเดลเพื่อจำแนกวัตถุจำเป็นต้องสอนหรือให้ข้อมูลว่าภาพนั้นเป็นวัตถุแบบใด

2. Unsupervised Learning หรือ การเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน

Unsupervised Learning หรือ การเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน เป็นการเรียนรู้โดยไม่มี Label ข้อมูล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหารูปแบบหรือโครงสร้างของข้อมูลนั่นเอง

3. Reinforcement Learning หรือ การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง

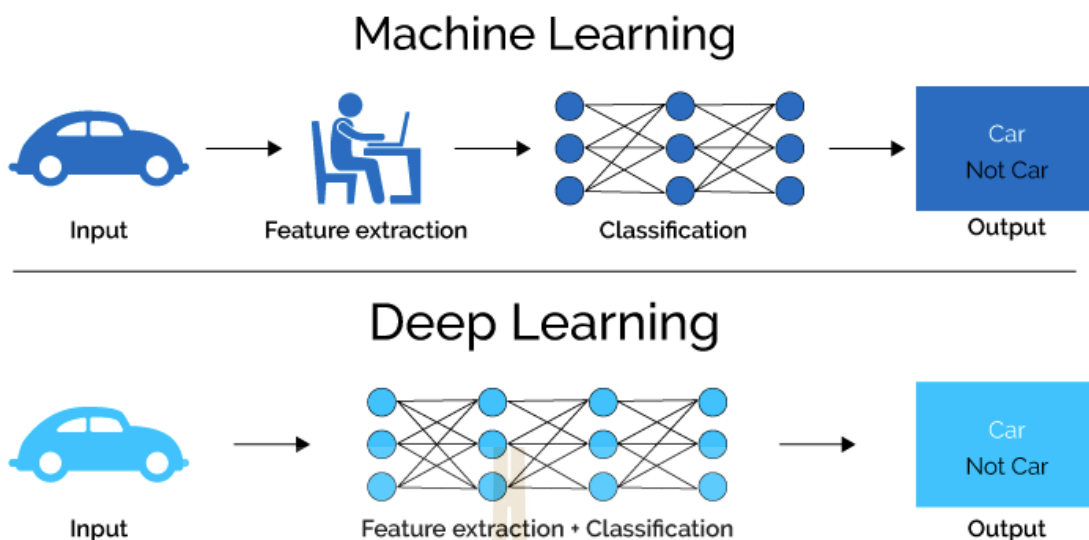
Reinforcement Learning หรือ การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง มีลักษณะที่ไม่ต้องการการ Label ข้อมูลเหมือนการเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน แต่จะแตกต่างกันโดยไม่จำเป็นต้องหาโครงสร้างเอง แต่เป็นเลือกการตัดสินใจและให้รางวัลตัวเอง ในเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น คล้ายกับการลองผิดลองถูก



รูปที่ 3.13 AI และ Machine Learning
ที่มารูปภาพ: javatpoint.com/subsets-of-ai

3.6.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

Deep Learning เป็นส่วนหนึ่ง Machine Learning และยังมีเป้าหมายเช่นเดียวกัน คือ การทำให้คอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้และนำมาใช้งาน แต่ Deep Learning จะมีการใช้เทคนิค ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ที่มีความลึกหลายชั้นที่เลียนแบบจากการทำงานของเซลล์เครือข่ายสมอง โดย Deep Learning จะมีหลักการคล้ายคลึงกับ Machine Learning แต่ต่างกันว่า Deep Learning จะมีการหา Feature ด้วยคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.14 Deep Learning มีโครงข่ายหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีดังนี้ Convolution Neural Network (CNN) , Recurrent Neural Network (RNN) , Long Short-Term Memory (LSTM)



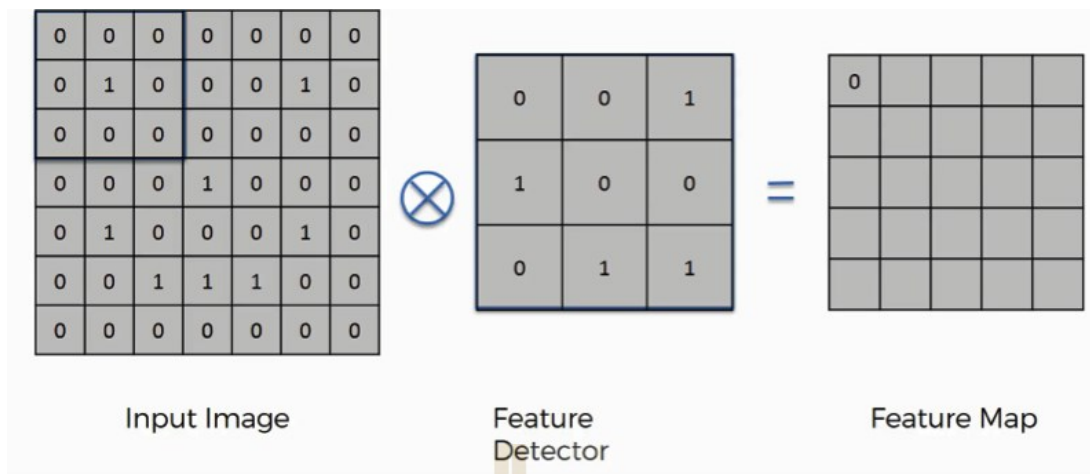
รูปที่ 3.14 กระบวนการการทำงานของ Machine Learning และ Deep Learning
ที่มารูปภาพ: medium.com/investic/deep-learning

3.6.3 Convolution Neural Network (CNN)

Convolution Neural Network (CNN) เป็นโครงข่ายที่เลียนแบบจากระบบประสาททางการมองเห็นของมนุษย์ ที่จะมองภาพเป็นพื้นที่ย่อย ๆ เพื่อที่จะแยกลักษณะเด่นออกมา ทำให้สามารถคาดการณ์วัตถุที่เห็นได้ว่าเป็นอะไร ซึ่งมักถูกนำมาใช้กับงานด้านรูปภาพ โดยมีองค์ประกอบหลัก ดังนี้

3.6.3.1 Convolutional layer

Convolutional layer โดยมีการนำข้อมูลเข้า (Input) มาดำเนินการคอนโวลูชัน ด้วย kernel โดยการนำ kernel มาทับกับข้อมูลภาพ จากนั้นนำข้อมูลทั้งสองมาคูณกัน ทำการเลื่อนออกไป 1 ช่องหรือตามที่กำหนด ขั้นตอนนี้เรียกว่า Stride การกระทำนี้จะทำให้ได้ Feature Map ที่มีขนาดเล็กลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมขอบหรือเติม 0 เข้าไปก่อนการทำคอนโวลูชันเรียกว่า Padding จะทำให้ Feature Map ที่ได้มีขนาดเท่ากับ Input การทำคอนโวลูชัน ดังรูปที่ 3.15 Padding มีด้วยกัน 2 โหมด คือ Mode = "valid" ซึ่งสามารถหามิติของเอาต์พุตได้จากสมการที่ 3.16 และ Mode = "same" จากสมการที่ 3.17 นอกจากนี้ในการทำคอนโวลูชันสามารถปรับค่าช่วงก้ำวหรือ Strip ซึ่งจะช่วยให้คอร์เนลของการทำคอนโวลูชันเลื่อนตามที่กำหนด เช่น ถ้า Strip = 1 คอร์เนลก็จะเลื่อนไป 1 ช่องสามารถคำนวณเอาต์พุตเมื่อใช้ Strip ได้ ดังสมการที่ 3.18



รูปที่ 3.15 การทำงานคอนโวลูชัน

ที่มารูปภาพ: superdatascience.com/blogs/the-ultimate-guide-to-convolutional-neural-networks-cnn

$$O = (n - f + 1) \quad (3.16)$$

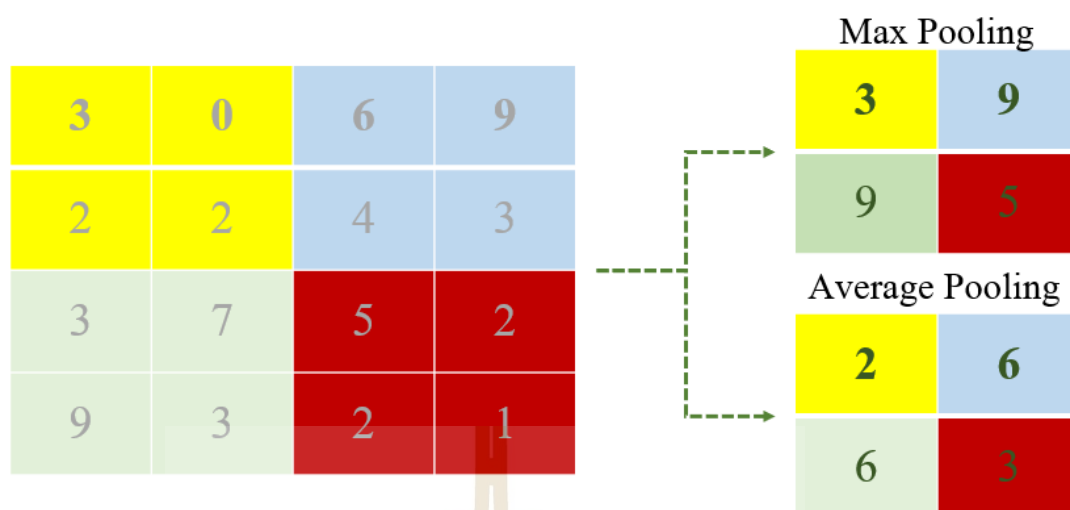
$$O = (n + 2p - f + 1) \quad (3.17)$$

$$O = (n + 2p - fs + s) / s \quad (3.18)$$

โดยที่ O คือ ขนาดมิติของเอาต์พุต
 n คือ มิติของอินพุต
 f คือ มิติของฟิลเตอร์
 p คือ ขนาดพิกเซลของแต่ละด้านของการ Padding
 s คือ ค่าการ Strip

3.6.3.2 Pooling Layer

เป็นชั้นที่ช่วยลดขนาดของ Feature Map ให้มีขนาดเล็กลง และเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลให้รวดเร็วยิ่งขึ้น แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ Max Pooling สำหรับการสกัดเอาค่าสูงสุด และ Average Pooling สำหรับการสกัดเอาค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 3.16



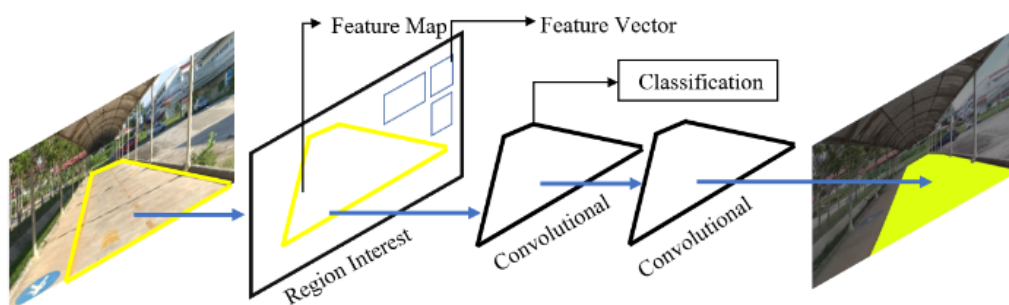
รูปที่ 3.16 รูปแบบการ Pooling

3.6.3.3 Fully Connected Layer (FC)

เป็นชั้นที่เชื่อมโยงระหว่าง Feature Map และผลลัพธ์ แบบสมบูรณ์ หมายถึง Neuron Network ทั้งหมดที่อยู่ในชั้นสุดท้ายของ Feature Map จะถูกนำไปเปลี่ยนรูปแบบเป็น Vector (Reshape) หรือเรียกว่า Flatten โดยมีหน้าที่จำแนกประเภท (Classification) มักพบในงานประเภท Classification การตรวจจับ (Object Detection) ในส่วนของการใช้งานประเภท Sematic Segmentation ชั้นนี้จะถูกแทนที่ด้วยชั้น Convolutional layer เนื่องจากต้อง Feature Map ในรูปแบบพื้นที่ และงานประเภท Instance segmentation จะนำ Mask R-CNN ซึ่งพัฒนามาจากทั้ง Faster R-CNN และ FCN มาใช้ (หัวข้อที่ 3.6.3 อ้างอิงจาก <https://guopai.github.io/ml-blog19.html>)

3.6.4 Instance Segmentation

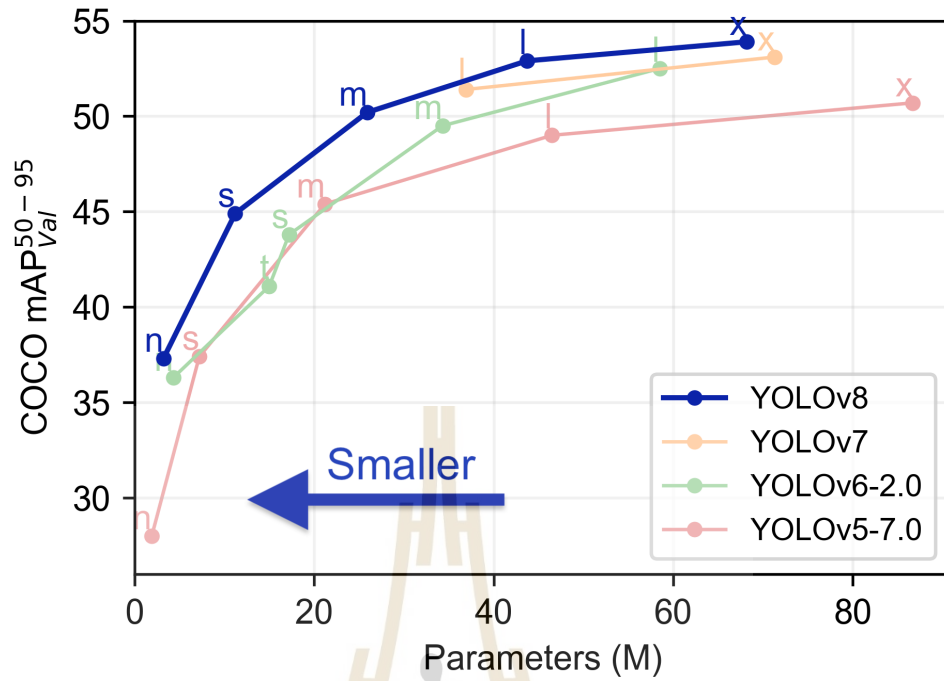
สำหรับ Instance Segmentation เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการจำแนก Pixel ของรูปภาพจำนวนมากได้ ประยุกต์ใช้หลักการของ Mask R-CNN ดังรูปที่ 3.17 เพื่อนำมาแก้ปัญหาการแบ่งกลุ่มกรณีตัวอย่าง (Instance) โดยการเพิ่มเป้าหมายของวัตถุในรูปภาพควบคู่ไปกับการจดจำกล่องขอบเขต และหลักการของ Mask R-CNN ยังเป็นส่วนที่ใช้งานง่ายของ Faster R-CNN รวมทั้งเป็นการนำตำแหน่งที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ของผังคุณลักษณะ (Feature Map) ที่มีขนาดแตกต่างกันเพื่อหาเวกเตอร์คุณลักษณะ (Feature Vector) ที่มีขนาดคงที่เข้าไปดำเนินการในชั้น Fully Connected Layer และฟังก์ชัน SoftMax เพื่อเข้าสู่กระบวนการจำแนก (Classification) และได้ค่าของกลุ่มของวัตถุ และสามารถกำหนดเป้าหมายในการระบุตำแหน่งของ Convolutional ในภาพ หรือ วิดีโอ ด้วยการสร้างกรอบและระบายสี



รูปที่ 3.17 หลักการของ Mask R-CNN

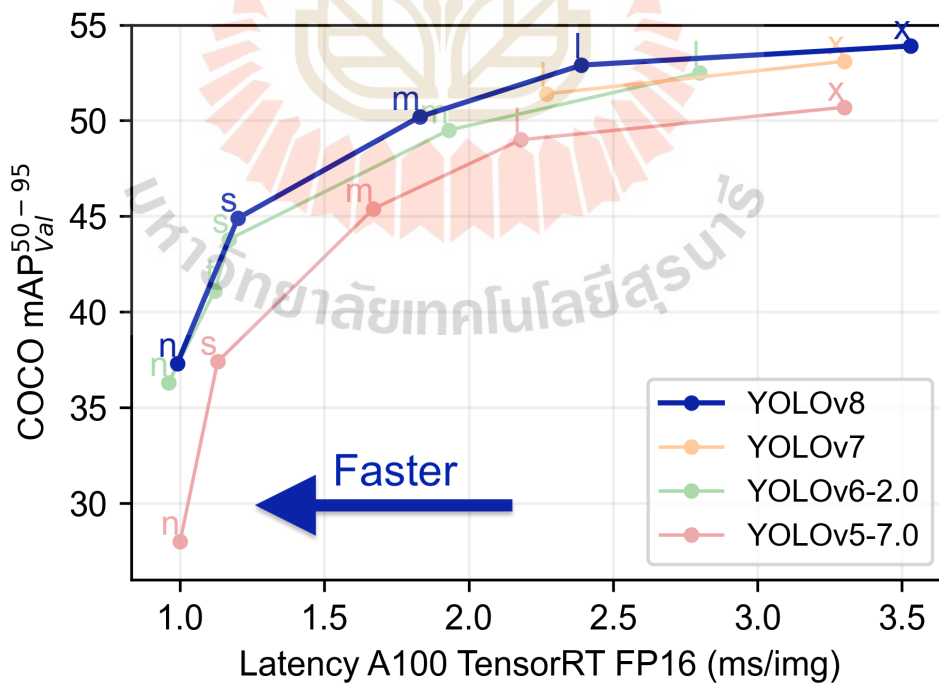
3.7 YOLO

นำอัลกอริทึม YOLO (You Only Look Once) มาใช้ในการฝึกสอน ซึ่ง YOLO นับเป็นหนึ่งในกลุ่มโมเดล CNN ซึ่งนิยมใช้ในการตรวจจับวัตถุ เนื่องจากมีความรวดเร็ว และใช้ทรัพยากรของเครื่องน้อยโดยใช้การประมวลผลบนหน่วยประมวลผลภาพกราฟิก (Graphics Processing Unit: GPU) ซึ่งทำให้นักพัฒนาหลายกลุ่มสามารถเข้าถึงได้ง่าย และยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงเวอร์ชันปัจจุบัน ได้แก่ YOLOv8 ที่พัฒนาขึ้นบนเฟรมเวิร์ค PyTorch ซึ่งมีหลายโมเดลมีข้อดี ขนาดพารามิเตอร์และความเร็วในการประมวลผลที่ต่างกันไป ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19 YOLOv8 เป็นโมเดลที่ใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว รวมทั้งมีความโดดเด่นในเรื่องของความแม่นยำ โดยหลักการทำงานของ YOLO จะแบ่งภาพออกเป็นเส้นตามพื้นที่ที่เป็นบล็อก (grid cell) และสำหรับแต่ละเส้น จะทำการคาดเดาหรือตรวจจับวัตถุที่อยู่ในพื้นที่นั้น ๆ รวมถึงตำแหน่งของวัตถุ ขนาดของวัตถุ และความมั่นใจในการตรวจจับ และมีจุดเด่นในการมองภาพหรือประมวลผลได้ในครั้งเดียว โครงสร้างของ YOLOv8 ดังรูปที่ 3.20

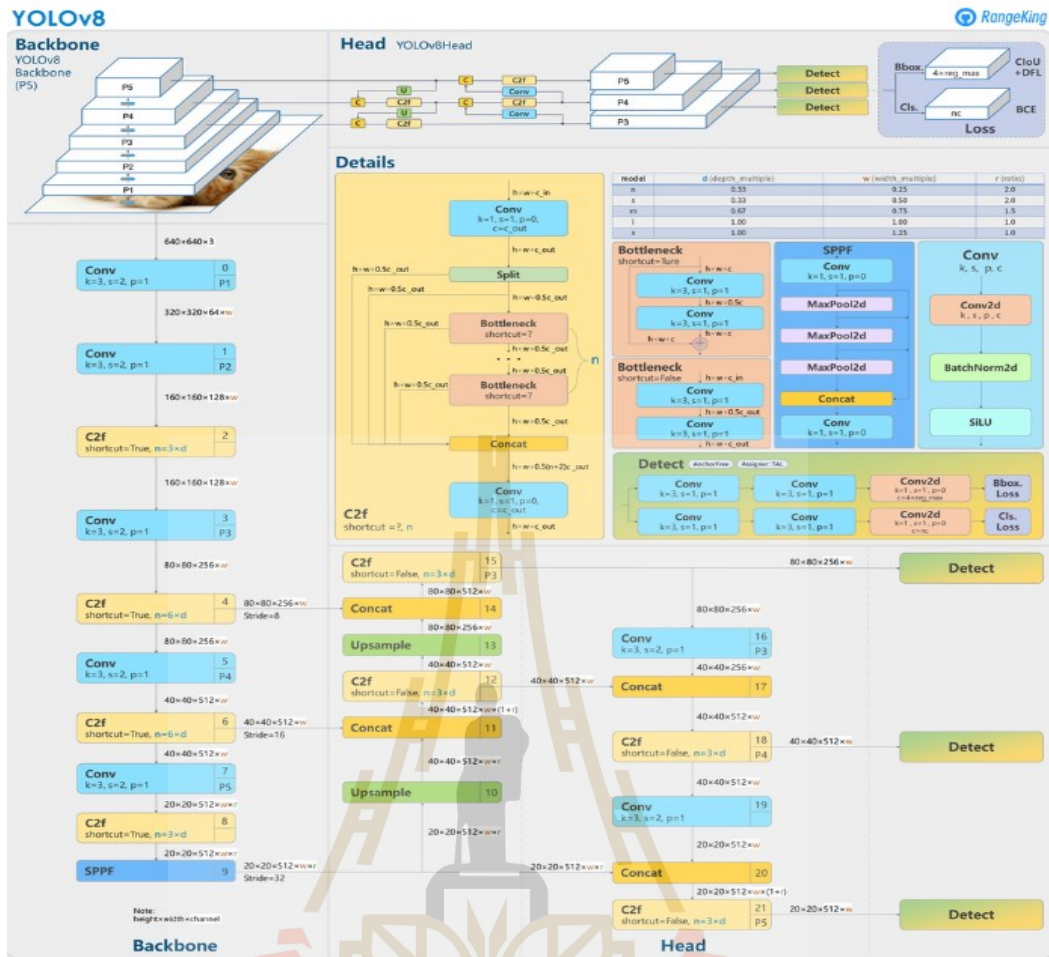


รูปที่ 3.18 กราฟเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของ YOLOv8

ที่มารูปภาพ: <https://raw.githubusercontent.com/ultralytics/assets/main/yolov8>



รูปที่ 3.19 กราฟเปรียบเทียบความเร็วประมวลผลของ YOLOv8



YOLOv8 Architecture, visualisation made by GitHub user RangeKing

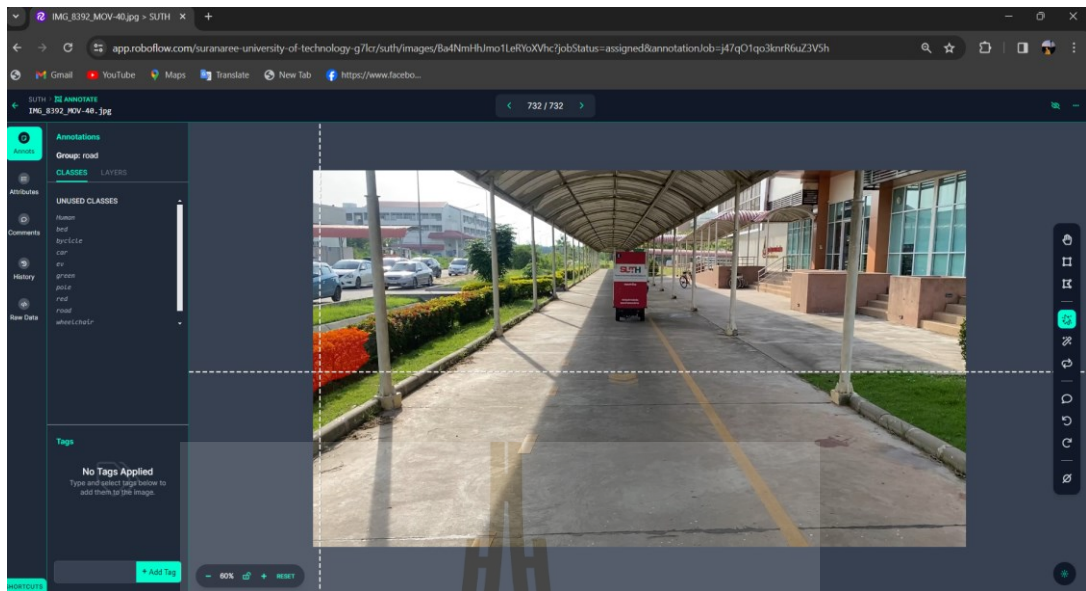
รูปที่ 3.20 โครงสร้างของ YOLOv8

ที่มารูปภาพ: <https://github.com/ultralytics/ultralytics/issues/189>

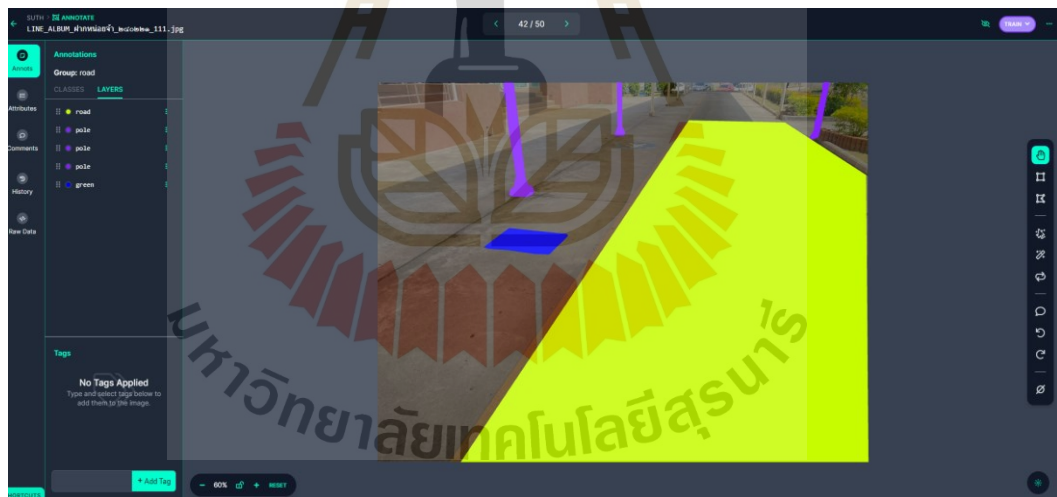
3.8 ROBOFLOW

Roboflow เป็นซอฟต์แวร์ ซึ่งหน้าตาการใช้งาน ดังรูปที่ 3.21 และเป็นเครื่องมือให้บริการ ในการทำ Labelling ดังรูปที่ 3.22 สามารถแบ่งงานออกเป็นหลายส่วนเพื่อเตรียมชุดข้อมูล (Dataset) ของงานในกลุ่มของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ได้พร้อมกันหลายส่วน และมีรูปแบบการทำงาน ร่วมกันของ Roboflow ในการเพิ่มรูปภาพ (Image Augmentation) ดังรูปที่ 3.23 และเครื่องมือที่ ใช้ส่งออกชุดข้อมูล (Export Dataset) มีความสะดวกในการใช้งานได้ง่าย ด้วยเหตุนี้ชุดข้อมูลถูก แบ่งส่วน และระบุคำอธิบายประกอบ (Annotate) ด้วย Roboflow ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการ

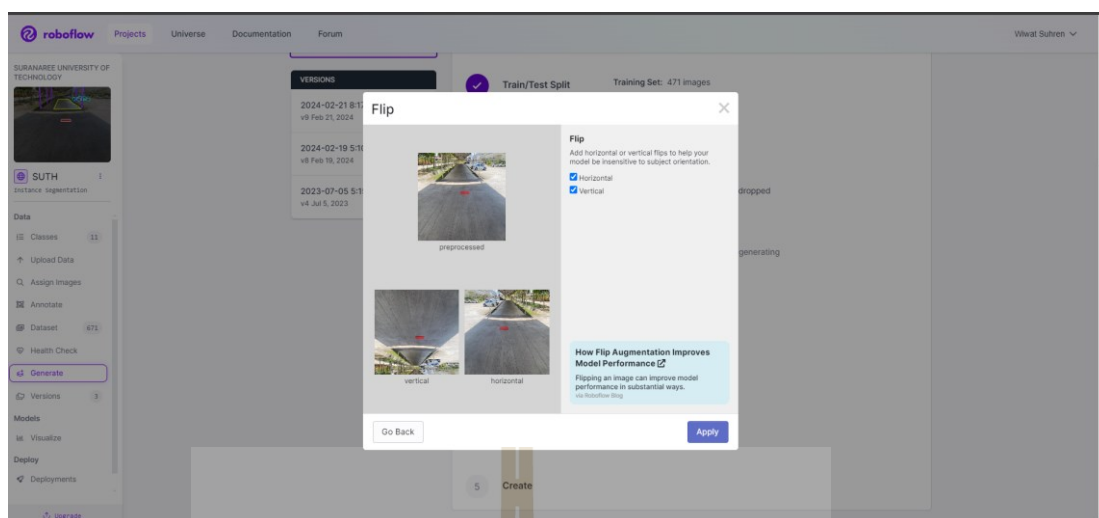
จัดการรูปภาพในด้านต่าง ๆ เช่น การปรับขนาดและใส่คำอธิบายส่วนประกอบของภาพ และ ยังสามารถแปลงข้อมูลไปยังรูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการได้อีกด้วย



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างหน้าต่างแสดงการใช้งานซอฟต์แวร์ RoboFlow



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการ Labelling บนซอฟต์แวร์ RoboFlow



รูปที่ 3.23 การเพิ่มรูปภาพ (Image Augmentation) บนซอฟต์แวร์ Roboflow

3.9 Node-RED

โพรโตคอล Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) หรือ Node-RED ถูกออกแบบเชื่อมต่อแบบ M2M (machine to machine) คือ การที่ติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรืออุปกรณ์สื่อสารกับอุปกรณ์ ส่งผลให้ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งยังควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ในระยะใกล้และไกล เนื่องจากความนิยมอย่างแพร่หลาย Node-RED จึงถูกพัฒนาให้รองรับระบบปฏิบัติการทั้ง Window และ Linux โพรโตคอล MQTT มีส่วนประกอบหลัก 3 อย่าง คือ ผู้ส่ง (publish) ผู้รับ (subscribe) และ ตัวกลาง (MQTT broker) โดยการรับส่งจะสามารถทำผ่านอุปกรณ์ที่รองรับ MQTT ได้เท่านั้น (อ้างอิงข้อมูลจาก <https://medium.com/mmp-li/%E0% -2018-3fca5ed140f9>)

การใช้งาน Node-RED ในระบบปฏิบัติการ Window โดยหลังจากติดตั้ง Node-RED แล้วนั้นสามารถเรียกใช้งานผ่าน CLI ได้โดยการพิมพ์คำสั่ง `node-red` ดังรูปที่ 3.24 จากนั้นนำ url ที่ได้ไปพิมพ์ค้นหาใน google จะได้น้ำต่างการทำงานของ Node-RED ดังรูปที่ 3.25 นอกจากนี้ Node-RED ยังสามารถติดตั้งไลบรารี (Library) ต่าง ๆ เพื่อช่วยในการทำงานให้สะดวกมากยิ่งขึ้น

```

node-red
(node) C:\Users\Acer>conda activate sut
(sut) C:\Users\Acer>node-red
22 Feb 08:00:04 - [info]
Welcome to Node-RED
=====
22 Feb 08:00:04 - [info] Node-RED version: v3.1.5
22 Feb 08:00:04 - [info] Node.js version: v20.9.0
22 Feb 08:00:04 - [info] Windows_NT 10.0.22631 x64 LE
22 Feb 08:00:08 - [info] Loading palette nodes
22 Feb 08:00:10 - [info] Settings file : C:\Users\Acer\.node-red\settings.js
22 Feb 08:00:10 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
22 Feb 08:00:10 - [info] User directory : \Users\Acer\.node-red
22 Feb 08:00:10 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
22 Feb 08:00:10 - [info] Flows file : \Users\Acer\.node-red\flows.json
22 Feb 08:00:10 - [warn]

Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.

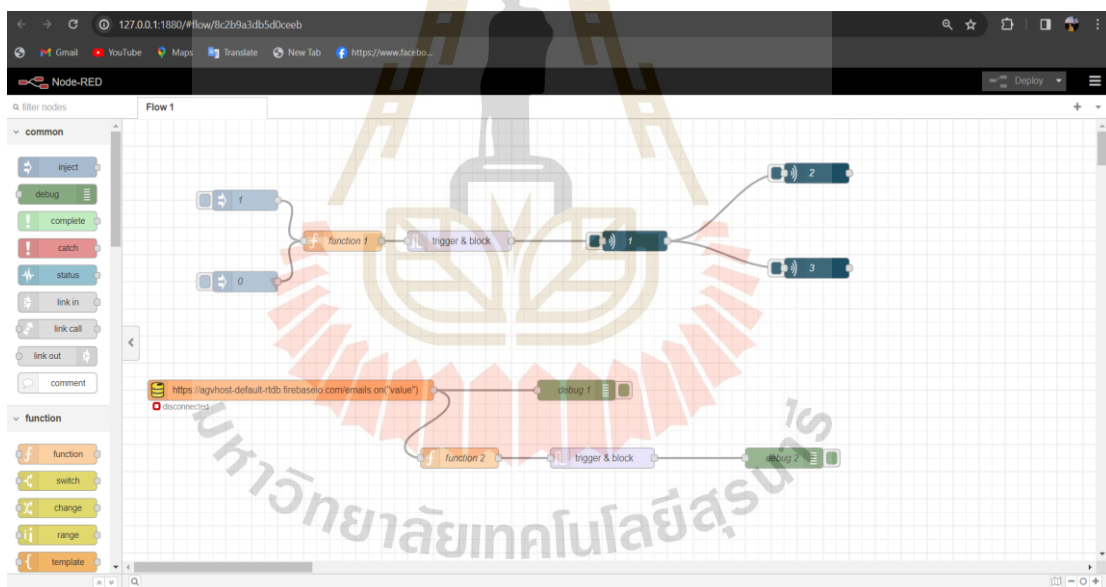
If the system-generated key is lost for any reason, your credentials
file will not be recoverable, you will have to delete it and re-enter
your credentials.

You should set your own key using the 'credentialSecret' option in
your settings file. Node-RED will then re-encrypt your credentials
file using your chosen key the next time you deploy a change.

22 Feb 08:00:10 - [info] Server now running at http://127.0.0.1:1880/
22 Feb 08:00:10 - [info] Starting flows
22 Feb 08:00:10 - [info] Started flows
FIREBASE WARNING: The Firebase database 'agvhost-default-rtdb' has been deactivated. (https://agvhost-default-rtdb.firebaseio.com<a7a6227d6d93e8

```

รูปที่ 3.24 การเรียกใช้ Node-RED



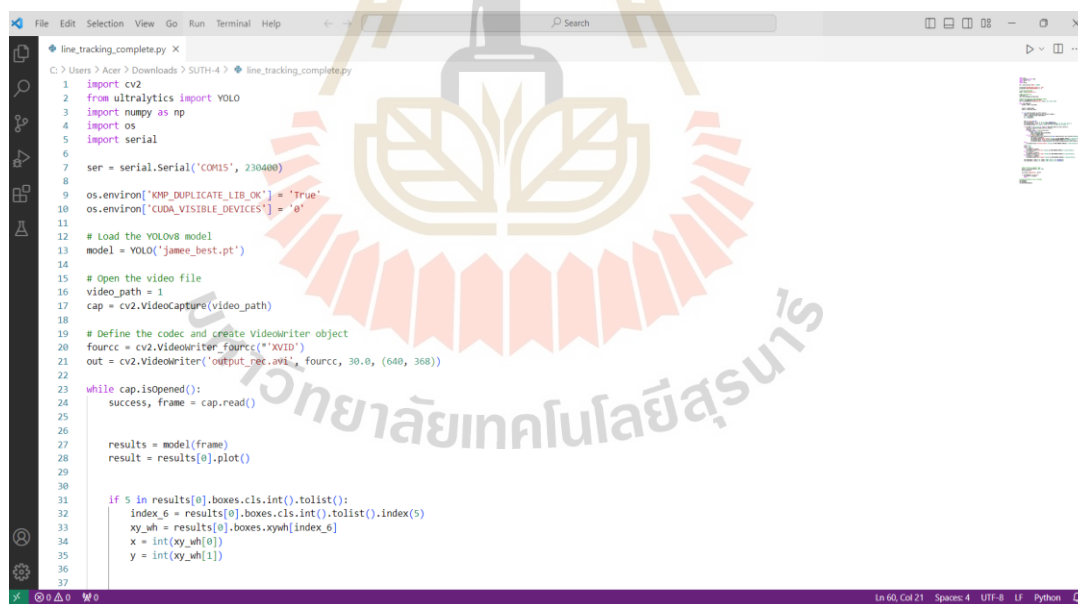
รูปที่ 3.25 หน้าต่างการใช้งานของ Node-RED

3.10 Python

ในปี 1991 โปรแกรมเมอร์คอมพิวเตอร์ชาวเนเธอร์แลนด์ ชื่อ Guido Van Rossum เป็นผู้สร้าง Python เนื่องจากที่ภาษา Python ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่นั้นมา ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการใช้งานที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพ เช่น การพัฒนาเว็บไซต์ (Web Development) การพัฒนาซอฟต์แวร์ การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) การสร้างแอปพลิเคชัน (App Development) การทำ Machine Learning และ AI (Artificial Intelligence) เป็น

ต้น โดย Features ของ Python มีดังนี้ Python is Beginner-Friendly, Python is Easy to Learn, Python is Highly Versatile, Python is Super Flexible และ Free and Open-Source ทั้งนี้ก็ด้วยความเป็นที่นิยมของ Python ดังที่กล่าวมาจึงมีผู้พัฒนาไลบรารีของ Python เป็นจำนวนมาก ทำให้ง่ายต่อการใช้งานทั้งสำหรับผู้พัฒนาเก่าและผู้เริ่มต้นใหม่ โดย Python มีไลบรารีมากกว่า 137,000 รายการสำหรับการประยุกต์ใช้งาน ไลบรารีที่นิยมใน Python มีดังนี้ Matplotlib, Pandas, NumPy, OpenCV-Python และ Keras

Python ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง Python จึงมี Python IDE คือ เครื่องมือหรือสิ่งแวดล้อมที่สามารถใช้งาน Python ได้อย่างครบถ้วน ไม่ว่าจะเป็นการเขียน การแก้ไข และการทดสอบ Python IDE ที่ได้รับความนิยม เช่น PyCarm, IDE, Spyder และ Visual Studio Code เป็นต้น (อ้างอิงข้อมูลจาก <https://aws.amazon.com/th/what-is/python/>) ตัวอย่างการใช้งาน Visual Studio Code ดังรูปที่ 3.26 ในส่วนของ Python Syntax ก็ถูกออกแบบมาให้คล้ายกับภาษาอังกฤษ โดย Python Syntax จะอาศัยการเยื้องเพื่อให้เกิดลูปหรือขอบเขตในการวนรอบ (อ้างอิงข้อมูล https://www.w3schools.com/python/python_intro.asp)



```

1 import cv2
2 from ultralytics import YOLO
3 import numpy as np
4 import os
5 import serial
6
7 ser = serial.Serial('COM15', 230400)
8
9 os.environ['OMP_DUPLICATE_LIB_OK'] = 'True'
10 os.environ['CUDA_VISIBLE_DEVICES'] = '0'
11
12 # Load the YOLOv8 model
13 model = YOLO('jamee_best.pt')
14
15 # Open the video file
16 video_path = 1
17 cap = cv2.VideoCapture(video_path)
18
19 # Define the codec and create VideoWriter object
20 fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'XVID')
21 out = cv2.VideoWriter('output_rec.avi', fourcc, 30.0, (640, 368))
22
23 while cap.isOpened():
24     success, frame = cap.read()
25
26
27     results = model(frame)
28     result = results[0].plot()
29
30
31     if 5 in results[0].boxes.cls.int().tolist():
32         index_6 = results[0].boxes.cls.int().tolist().index(5)
33         xy_wh = results[0].boxes.xywh[index_6]
34         x = int(xy_wh[0])
35         y = int(xy_wh[1])
36
37

```

รูปที่ 3.26 ตัวอย่างการใช้งาน Visual Studio Code

3.11 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ในการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมีหัวข้อดังนี้ ยานยนต์อัตโนมัติ การคำนวณพลวัตของรถอัตโนมัติไร้คนขับ ระบบบังคับเลี้ยว ระบบนำทางอัตโนมัติ การเรียนรู้เชิงลึก อัลกอริทึม YOLO ซอฟต์แวร์ Roboflow โปรโตคอล Node-RED และ Python การศึกษาค้นคว้าทฤษฎีเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ต่อไป



บทที่ 4

การออกแบบรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารภายใน โรงพยาบาล

4.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการออกแบบและดัดแปลงรถไฟฟ้าไร้คนขับ โดยการใช้รูปแบบการนำทางด้วยเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก ด้วยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance ให้สามารถตรวจจับได้ในรูปแบบเรียลไทม์ ในบริเวณพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีลำดับการเดินทางไปจากอาคารโชนนาการไปยังอาคารทันตกรรม และจากอาคารทันตกรรม ไปยังอาคารศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ และขากลับเริ่มจากอาคารศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ไปยังอาคารทันตแพทย์ และจากอาคารทันตแพทย์กลับไปยังอาคารโชนนาการ แผนที่การเดินทาง ดังรูปที่ 4.1 โดยเส้นทางสีเหลืองจะเป็นขาไป และเส้นทางสีแดงจะเป็นขากลับ โดยจุดเขียว คือ จุดจอดของยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับ ดังรูปที่ 4.2 (หมายเหตุ อาจไม่ได้จอดตามที่กำหนดไว้ทุกจุดเนื่องจากจะเสียเวลาในการเดินทางของรถ) จุดสีแดง คือ จุดข้ามถนน ดังรูปที่ 4.3 และจุดสีเหลือง คือ ทางแยก ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งมีการ Label วัตถุและสิ่งกีดขวางที่ต้องการตรวจจับ ประกอบด้วย ป้ายสีแดง ป้ายสีเขียว ป้ายสีเหลือง เสา คน และเลน



รูปที่ 4.1 แผนที่การเดินทาง



(ก) จุดจอดยานยนต์ไฟฟ้า

(ข) การ Label วัตถุที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 4.2 (ก) จุดจอดของยานยนต์ไฟฟ้า และ (ข) วัตถุที่ต้องการ Label



(ก) จุดข้ามถนนของยานยนต์ไฟฟ้า

(ข) การ Label วัตถุที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 4.3 (ก) จุดข้ามถนนของยานยนต์ไฟฟ้า และ (ข) วัตถุที่ต้องการ Label



(ก) จุดเลี้ยวของยานยนต์ไฟฟ้า

(ข) การ Label วัตถุที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 4.4 (ก) จุดเลี้ยวของยานยนต์ไฟฟ้า และ (ข) วัตถุที่ต้องการ Label

4.2 ข้อกำหนดของการออกแบบและพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับ

เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าไร้คนขับถูกออกแบบและพัฒนามาใช้ส่งเวชภัณฑ์สำหรับผู้ป่วย ยา อาหาร และเอกสารต่าง ๆ ซึ่งถูกใช้งานในบริเวณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และโรงพยาบาลมีข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ควรกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ เพื่อความชัดเจนและเข้าใจในวิทยานิพนธ์นี้ โดยการเดินรถจะเดินรถตามแผนที่ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นว่าไม่มีการเข้าอาคาร เพราะว่ายานยนต์ไฟฟ้ามีขนาดใหญ่จึงเข้าอาคารได้ยาก และทางโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีการปิดกั้นทางเดินรถด้วยกรวยเพื่อไม่ให้รถขนาดใหญ่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปได้ เมื่อสุดทางเดินจึงไม่มีพื้นที่กว้างพอให้กลับรถได้อย่างสะดวก ซึ่งยากที่จะทำการกลับรถได้ ทั้งนี้จึงมีข้อกำหนดที่ได้ตั้งไว้เบื้องต้นแล้วทั้ง 4 ข้อดังนี้

- 4.2.1) รถไฟฟ้าอัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดได้
- 4.2.2) รถไฟฟ้าอัตโนมัติสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางและหยุดรถได้
- 4.2.3) ความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้าอัตโนมัติไม่เกิน 2 เมตร/วินาที
- 4.2.4) ความชันของทางวิ่งไม่เกิน 10 องศา

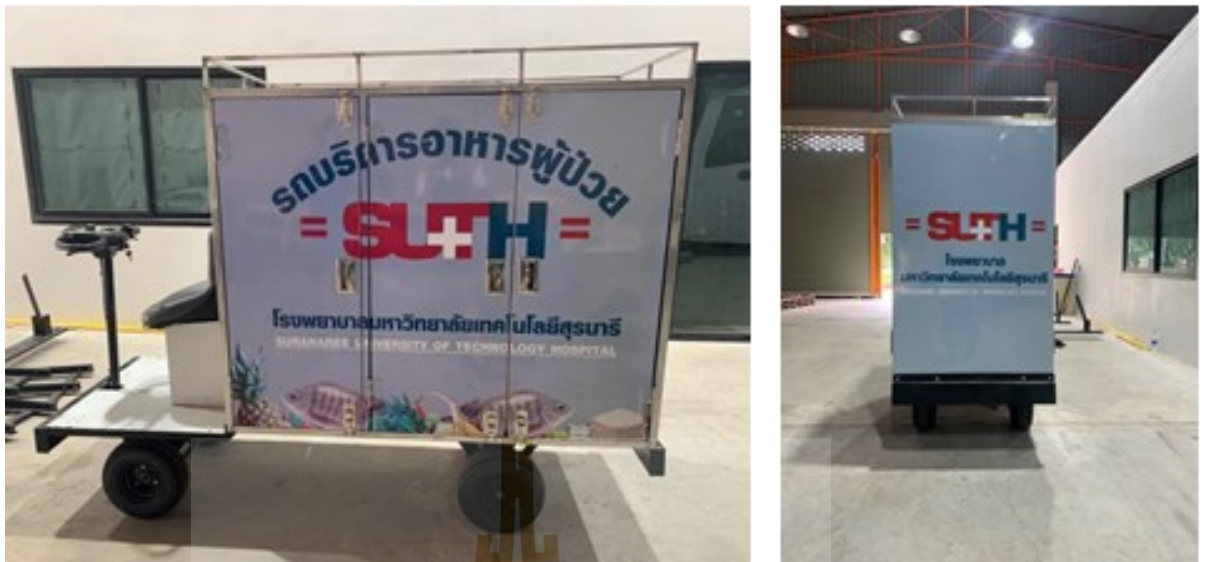
บริเวณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังรูปที่ 4.5 สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ บริเวณที่เป็นส่วนทางเดินรถหรือเลนถนน และบริเวณสำหรับทางเท้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแยกเลนถนนออกจากทางเดินรถเพื่อกำหนดพื้นที่การเดินรถ และเนื่องจากบริเวณโรงพยาบาลมีผู้คนและสิ่งกีดขวางจำนวนมากที่ขัดขวางการทำงานของรถไฟฟ้าอัตโนมัติจึงจำเป็นต้องเพิ่มการตรวจจับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เข้าไปอีกด้วยซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป จากที่กล่าวข้างต้นนอกเหนือจากการตรวจจับเลนถนนแล้ว จึงจำเป็นต้องตรวจจับวัตถุอื่น ๆ ด้วย โดยวิธีการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance และเนื่องจากการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance มีการใช้ทรัพยากรของคอมพิวเตอร์มาก จึงมีการลดจำนวนคลาสการตรวจจับที่ไม่จำเป็น เช่น หลังคา นก ท่อน้ำ เป็นต้น สำหรับด้วยมาตรการความปลอดภัยจึงมีการเพิ่ม LIDAR เพื่อตรวจจับวัตถุที่ไม่สามารถตรวจจับด้วยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance



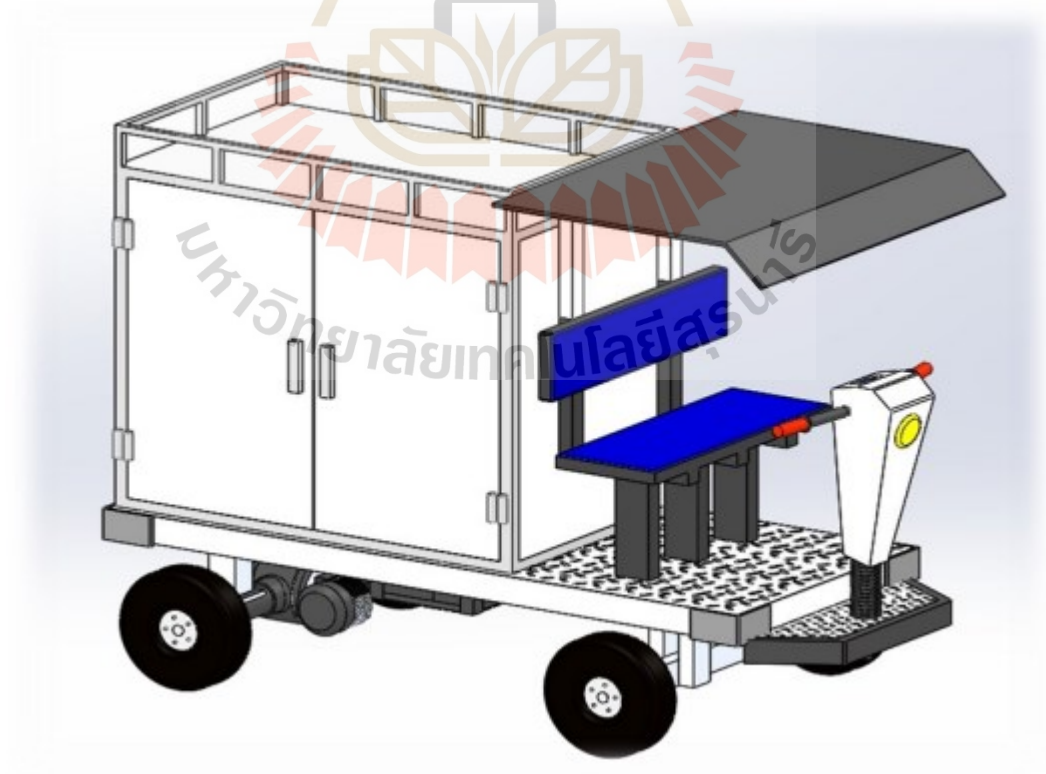
รูปที่ 4.5 สภาพแวดล้อมของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3 การออกแบบโครงสร้างของรถอัตโนมัติ

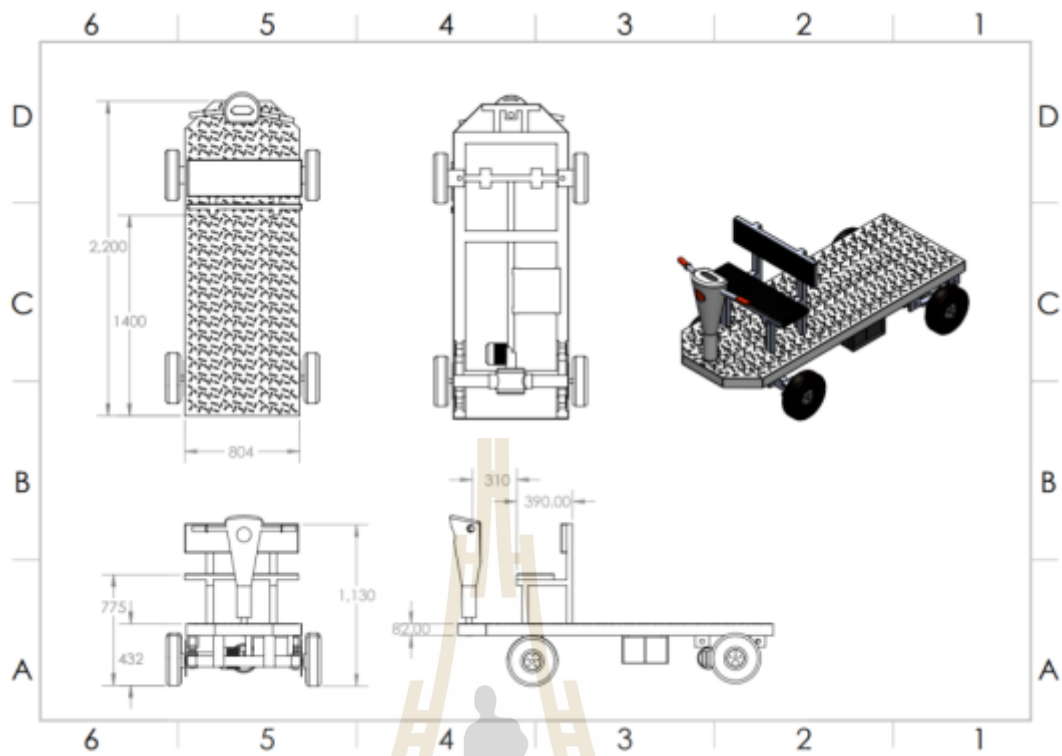
รถต้นแบบที่พัฒนาในวิทยานิพนธ์คือ รถไฟฟ้าแบบอาศัยผู้ขับขี่ ดังรูปที่ 4.6 โดยขนาดโครงสร้างของรถ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ต้องการดัดแปลงและพัฒนารถไฟฟ้าแบบอาศัยผู้ขับขี่เป็นรถอัตโนมัติที่ใช้สำหรับการขนส่งเวชภัณฑ์ เนื่องจากที่รถต้นแบบมีการออกแบบโครงสร้างรถมาแล้วได้แก่ แบตเตอรี่ มอเตอร์ขับเคลื่อน ระบบบังคับเลี้ยว ดังนั้นจึงใช้โครงสร้างรูปแบบเดิมของคือ แบตเตอรี่และขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อน แต่ดำเนินการออกแบบและคำนวณเพื่อเลือกขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อนเพื่อในกรณีที่ไม่สามารถใช้ร่วมกันได้ และมีอุปกรณ์บางส่วนที่ต้องมีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงเป็นยานยนต์ไร้คนขับจึงมีการเปลี่ยนแปลงระบบต่าง ๆ ดังนี้ ระบบบังคับเลี้ยว การควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน ระบบนำทางอัตโนมัติ และการตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) นอกจากการแก้ไขและดัดแปลงแล้วทางผู้วิจัยได้ออกแบบโมเดล 3 มิติของรถ ดังรูปที่ 4.7 โดยการเขียนแบบด้วยโปรแกรม SolidWork เพื่อใช้จำลองขนาดของรถที่ จากนั้นดำเนินการขั้นตอนการออกแบบและดัดแปลงจากโมเดล 3 มิติสู่การดัดแปลงตามแบบโครงสร้างขนาดเฉพาะของตัวรถ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของรถไฟฟ้าแบบอาศัยผู้ขับขี่



รูปที่ 4.7 โครงสร้าง 3D ของรถไฟฟ้าอัตโนมัติที่ปรับปรุง



รูปที่ 4.8 แบบโครงสร้างขนาดเฉพาะของตัวรถ

ตารางที่ 4.1 ขนาดโครงสร้างของรถ

โครงสร้าง	ขนาด (เซนติเมตร)
ความสูงของตัวรถจากพื้น	37
เส้นผ่านศูนย์กลาง ล้อหน้า และ ล้อหลัง	31
ความกว้าง	75
ความยาว	226
ความสูง	120
ระยะห่างระหว่างล้อ	66
ระยะห่างจากกันชนหน้าถึงล้อหน้า (จุดศูนย์กลาง)	42.5
ระยะห่างจากกันชนหลังถึงล้อหลัง (จุดศูนย์กลาง)	54

4.4 การออกแบบหาขนาดมอเตอร์ของรถไฟฟ้าไร้คนขับ

การออกแบบหาขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อนของรถอัตโนมัติมีการคำนึงถึงปัจจัยหลายปัจจัยตามหัวข้อที่ 3.2.1 ซึ่งจากการคำนวณหาแรงฉุดลาก แรงบิด และกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ 3.1, 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ เพื่อหาขนาดพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนให้ได้ขนาดเหมาะสม ซึ่งการคำนวณจะพิจารณาทั้งสองกรณี คือ กรณีรถเคลื่อนบนพื้นที่ที่ไม่มีความชัน และกรณีรถเคลื่อนบนพื้นที่ที่มีความชัน ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาแรงบิดและกำลังขับของมอเตอร์

พารามิเตอร์	ความหมาย	เท่ากับ	หน่วย
m	น้ำหนักตัวรถรวมบรรทุกทุกโหลดสูงสุด	300	kg
g	อัตราเร่งโน้มถ่วง	9.81	m/s^2
f_r	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานล้อกับพื้น	0.015	-
θ	ความชันของพื้น	10	องศา
ρ	ความหนาแน่นอากาศ (อุณหภูมิเฉลี่ย 30 องศาเซลเซียส)	1.164	kg/m^3
C_d	สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (ขากลับ) รถเปล่า	0.45	-
A_F	พื้นที่หน้าตัดเฉพาะด้านหน้ารถ	0.759	m^2
v	ความเร็วรถ (ช่วงความเร็วคงที่)	1	m/s
a	อัตราเร่งของรถ	0.2	m/s^2
r	รัศมีล้อรถ	0.15	m

การคำนวณหาพิกัดมอเตอร์: กรณีเคลื่อนบนพื้นที่ไม่มีความชัน

คำนวณหาแรงฉุดลาก จาก $F_T = F_A + F_R + F_D + F_G$

เนื่องจากความเร็วที่ใช้มีค่าน้อยมากดังนั้นจึงให้ $F_D = 0$ N

กำหนดให้ $m = 300$ Kg , $a = 0.2$ m/s² , $f_r = 0.015$, $g = 9.81$ m/s² , $\theta = 0^\circ$ แทนค่า

$$F_T = 300(0.2) + 0.010 (300)(9.81) + 0$$

$$\text{ดังนั้น } F_T = 104.145 \text{ N}$$

คำนวณหาแรงบิด จาก $T = F_T R_f r$

กำหนดให้ $F_T = 104.145$ N $R_f = 1.1$ และ $r = 0.15$ m แทนค่า

$$T = 104.145 \times (0.15) \times 1.1$$

$$\text{ดังนั้น } T = 82.0193 \text{ N}$$

คำนวณหากำลังมอเตอร์ จาก $P = (F_T v) / \eta$

กำหนดให้ $F_T = 104.15$ N และ $v = 1$ m/s $\eta = 0.9$ แทนค่า

$$P = 104.15 (1) / 0.9$$

$$\text{ดังนั้น } P = 115.722 \text{ W}$$

การคำนวณหาพิกัดมอเตอร์: กรณีเคลื่อนบนพื้นที่มีความชันและช่วงเร่งเพื่อออกตัว

คำนวณหาแรงฉุดลาก จาก $F_T = F_A + F_R + F_D + F_G$

เนื่องจากความเร็วที่ใช้มีค่าน้อยมากดังนั้นจึงให้ $F_D = 0$ N

กำหนดให้ $m = 300$ Kg , $a = 0.2$ m/s² , $f_r = 0.015$, $g = 9.81$ m/s² , $\theta = 10^\circ$ แทนค่า

$$F_T = 300(0.2) + 0.015(300)(9.81)(0.985) + 300(9.81)(\sin\theta)$$

$$\text{ดังนั้น } F_T = 615.480 \text{ N}$$

คำนวณหาแรงบิด จาก $T = F_T R_f r$

กำหนดให้ $F_T = 615.480$ N $R_f = 1.1$ และ $r = 0.15$ m แทนค่า

$$T = 615.480 \times (0.15) \times 1.1$$

$$\text{ดังนั้น } T = 101.554 \text{ N}$$

คำนวณหากำลังมอเตอร์ จาก $P = (F_T v) / \eta$

กำหนดให้ $F_T = 615.480$ N และ $v = 1$ m/s $\eta = 0.9$ แทนค่า

$$P = 615.480 (1) / 0.9$$

$$\text{ดังนั้น } P = 683.87 \text{ W}$$

การคำนวณหาพิกัดมอเตอร์: กรณีเคลื่อนบนพื้นที่ที่มีความชันและช่วงความเร็วคงที่

คำนวณหาแรงฉุดลาก จาก $F_T = F_A + F_R + F_D + F_G$

เนื่องจากความเร็วที่ใช้มีค่าน้อยมากดังนั้นจึงให้ $F_D = 0$ N

กำหนดให้ $m = 300$ Kg , $a = 0$ m/s² , $f_r = 0.015$, $g = 9.81$ m/s² , $\theta = 10^\circ$ แทนค่า

$$F_T = 300(0) + 0.015(300)(9.81)(0.985) + 300(9.81)(\sin\theta)$$

$$\text{ดังนั้น } F_T = 555.480 \text{ N}$$

คำนวณหาแรงบิด จาก $T = F_T R_f r$

กำหนดให้ $F_T = 555.480$ N $R_f = 1.1$ และ $r = 0.15$ m แทนค่า

$$T = 555.48 \times (0.15) \times 1.1$$

$$\text{ดังนั้น } T = 91.654 \text{ N}$$

คำนวณหากำลังมอเตอร์ จาก $P = (F_T v) / \eta$

กำหนดให้ $F_T = 555.480$ N และ $v = 1$ m/s $\eta = 0.9$ แทนค่า

$$P = 555.480 (1) / 0.9$$

$$\text{ดังนั้น } P = 617.2 \text{ W}$$

การเลือกขนาดมอเตอร์

โดยเผื่อการ Overload เป็น 1.25 เท่า

$$\text{ดังนั้น ขนาดมอเตอร์} = 683.87 \times 1.25 = 854.8375 \text{ W}$$

การเลือกขนาดมอเตอร์ต้องพิจารณาที่มากกว่า 854.8375 W

เนื่องจากมอเตอร์ที่มีอยู่แล้วเป็น 1400 W

โดยมีพิกัดดังนี้ 1400 W, 24 Vdc, 4500 r/min, 60 A ดังรูปที่ 4.8



ดั่งรูปที่ 4.9 มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

4.5 การออกแบบหาขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยวของรถไฟฟ้าไร้คนขับ

ในการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว สามารถออกแบบได้โดยการใช้ค่า T_m ที่ได้จากการคำนวณ มาใช้ในการเลือกขนาดมอเตอร์ โดยในการคำนวณนั้นจำเป็นต้องทราบแรง F โดยในที่นี้ผู้วิจัยได้จากการวัดแรงดึงด้วยการใช้ตาชั่งสปริง ซึ่งพบว่ามามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 180 N จากนั้นจึงมีการนำมาใช้ในการออกแบบในรูปแบบการบังคับเลี้ยวแบบแร็คแอนด์พินเนียน

การคำนวณแรงบิด

จากสมการ $T_m = rF$

แทนค่า $F = 180 \text{ N}$, $r = 0.14$

$$T_m = 180 \text{ N} \times 0.14$$

$$T_m = 25.2 \text{ Nm}$$

ให้ Safety factor 200% ดังนั้น

$$T_m (200\%) = 50.4 \text{ Nm}$$

สรุปการคำนวณ

สรุปผลการคำนวณ : $T_m = 50.4 \text{ Nm}$

พิจารณาการคำนวณหาขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยว

การเลือกขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยว สามารถเลือกได้จากค่าแรงบิดที่ได้คำนวณไว้ พบว่าไม่สามารถหาขนาดมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กที่มีค่าแรงบิด 44.8 Nm

ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกมอเตอร์ขนาด 2.8 Nm

แล้วใช้เกียร์ทดรอบ โดยมีอัตราส่วนที่มีจำหน่ายท้องตลาดดังนี้ 10:1 20:1 40:1

จึงพิจารณาที่อัตราส่วน 20:1 ซึ่งให้แรงบิดใกล้เคียงกับแรงบิดที่ได้จากการคำนวณ

$$T_m = 2.8 \times 20$$

$$T_m = 56 \text{ Nm}$$

ดังนั้น มอเตอร์บังคับเลี้ยวที่ใช้มีขนาด 2.8 Nm 3.5 A

สำหรับสตีปเปอร์มอเตอร์ที่เลือกใช้ในชุดบังคับเลี้ยวของแร็คแอนด์พีนเนียน ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114 ดังรูปที่ 4.10 เนื่องจากได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ใช้งานง่าย นอกจากนี้ยังมีราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเซอร์โวมอเตอร์ จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับชุดบังคับเลี้ยวของรถไฟฟ้าไร้คนขับ และมีรายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติม ดังตารางที่ 4.3 (อ้างอิงข้อมูลจาก <https://www.zonemaker.com/>)



รูปที่ 4.10 สตีปเปอร์มอเตอร์ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดคุณสมบัติของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114

Item	detail
Input Supply Voltage	DC 24 V
Rated Current/Peak Current	3.5 A
Step angle accuracy	$\pm 5 \%$
Ambient temperature	20 – 50 C
Max. Torque	2.8 Nm
Length	114 mm
Mass	1750 g

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าแรงบิดสูงสุดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114 มีค่าเท่ากับ 2.8 Nm ไม่เพียงพอสำหรับใช้เป็นชุดบังคับความเร็วของรถไฟฟ้าไร้คนขับ ซึ่งในการคำนวณแรงบิดที่ต้องการ คือ 44.8 Nm ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มอัตราทดให้กับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ทำให้แรงบิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เพิ่มขึ้น โดยมีการเลือกใช้ Planetary Gearbox ยี่ห้อ OUKEDA รุ่น OKD57-HG20 ดังรูปที่ 4.11 โดยเลือกใช้ที่อัตราทดรอบอยู่ที่ 20:1 ทำให้แรงบิดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 2.8 Nm เป็น 56 Nm ทำให้เพียงพอต่อการใช้งาน และมีรายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติม ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 Planetary Gearbox ยี่ห้อ OUKEDA รุ่น OKD57-HG20
(ที่มารูปภาพ: <https://www.zonemaker.com>)

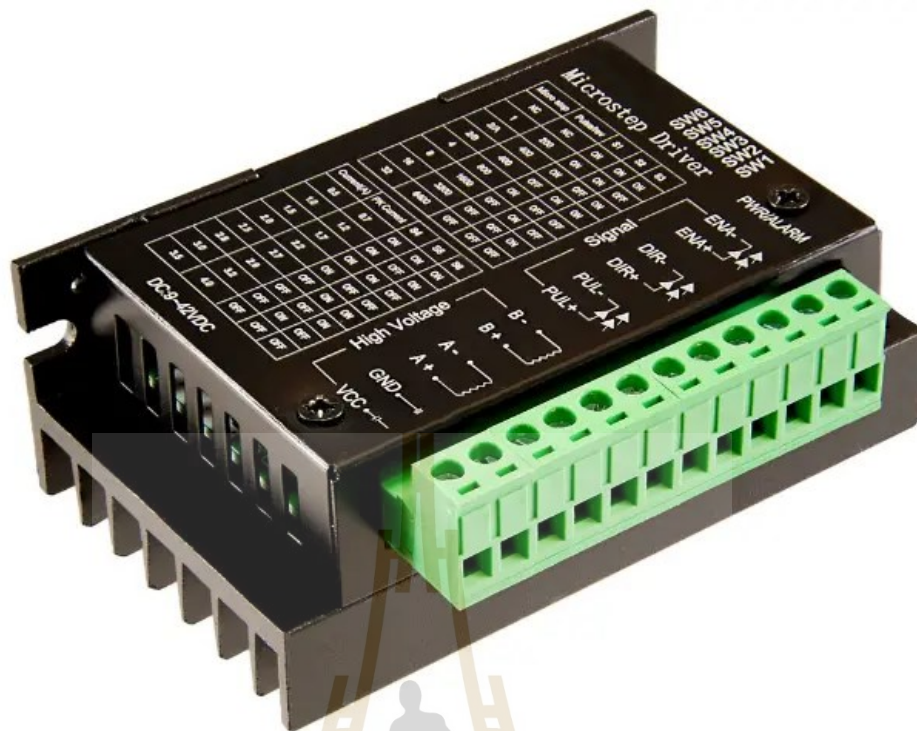


技术参数 Technical and Performance Date		1级 1-stage	2级 2-stage
减速比: Ratio:		5, 10	15,20,25,30,40,50,100
长度: L:	mm	53	70
额定负载: Rated load:	Nm	6	25
最大负载: Max load:	Nm	12	40
效率: Efficiency:	%	95	90
回差: Backlash:	arcmin	≤15	≤25
重量: Weight:	KG	0.8	1.1
储存温度: Storage temperature:	°C	-30~+60	
储存湿度: Storage humidity:	%	~80	
使用环境温度: Running environment temperature:	°C	-10~+90	
额定输入转速: Rated input speed:	rpm	3000	
最大输入转速: Max input speed:	rpm	5000	
防护等级: Protect class:	IP	65	
润滑: Lubrication:		油脂 (终身润滑) life grease lubrication	
噪音: Noise:	dB	≤45	
寿命: Service life:	h	~8,000	

备注: 接受客户定制需求。
Note: If need special specification, pls contact with us.

ดั่งรูปที่ 4.12 รายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติมของ Planetary Gearbox ยี่ห้อ OUKEDA
(ที่มารูปภาพ: <https://www.zonemaker.com>)

นอกจากการหาขนาดพิกัดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ยี่ห้อ Hengyuan รุ่น HY57DJ114 ในการใช้งานสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ยังจำเป็นต้องใช้ไดรเวอร์ในการควบคุมให้มอเตอร์หมุนตามจำนวนรอบ หรือตามทิศทางที่ต้องการ โดยมีการเลือกใช้งาน ไดรเวอร์สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบสองเฟส ดังนั้นได้นำไดรเวอร์สเต็ปเปอร์มอเตอร์ TB6600 ดั่งรูปที่ 4.13 มาใช้ในการควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ TB6600 นั้นสามารถควบคุมได้ทั้งความเร็ว จำนวนรอบ และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ในการใช้งาน TB6600 จำเป็นต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ 2 ชนิด คือ ไมโครสเต็ป และกระแส ของมอเตอร์ โดยจะมี ขา DIP 6 ขาที่ใช้ในการตั้งค่า ในขาแรกถึงขาที่สามเป็นการตั้งค่าไมโครสเต็ป และขาที่สี่ถึงหกเป็นการตั้งค่ากระแสไหลเข้ามอเตอร์ โดยการตั้งค่ารอบ ดั่งตารางที่ 4.4 และตั้งค่ากระแส ดั่งตารางที่ 4.5 (การใช้งาน TB6600 อ้างอิงข้อมูลจาก:<https://manuals.plus/th/dfrobot/tb6600-stepper-motor-driver-manual#ixzz8SXiqlajH>)



รูปที่ 4.13 ไดรเวอร์ TB6600

ตารางที่ 4.4 การตั้งค่าการควบคุมรอบของ TB6600

ไมโครสเต็ป	รอบ	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2 / A	400	ON	OFF	ON
2 / B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

ตารางที่ 4.5 การตั้งค่าการควบคุมกระแสเอาต์พุตของ TB6600

กระแส	S1	S2	S3
NC	ON	ON	ON
0.5	ON	ON	ON
1	ON	OFF	OFF
1.5	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	ON
2.5	OFF	ON	ON
2.8	OFF	OFF	OFF
3.5	OFF	OFF	OFF

4.6 การออกแบบหาขนาดแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าไร้คนขับ

ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้ารวมของรถไฟฟ้าอัตโนมัติไร้คนขับจากอาคารโภชนาการไปยังอาคารความเป็นเลิศทางการแพทย์มีระยะทางรวมกัน 440 m ซึ่งการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าอัตโนมัติมีระยะทางรวมทั้งขาไปและกลับ 880 m การคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ให้เหมาะสมต่อการใช้งานสามารถลดต้นทุนสำหรับการพัฒนารถไฟฟ้า ซึ่งพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.1 การคำนวณหาพลังงานรวมของรถไฟฟ้าอัตโนมัติไร้คนขับมีการพิจารณาเพียงช่วงที่รถเคลื่อนที่โดยไร้สิ่งกีดขวางและช่วงที่เส้นทางมีความชัน ทั้งนี้รถไฟฟ้าอัตโนมัติไร้คนขับมีความเร็วที่ใช้ 1 m/s ในช่วงเร่งและช่วงที่ความเร็วคงที่ ดังนั้นจึงไม่พิจารณาพลังงานในช่วงปล่อยไหล ($E_{F3} = 0$, $E_{R3} = 0$) และ ช่วงเบรก ($E_{F4} = 0$, $E_{R4} = 0$) โดยข้อมูลพารามิเตอร์ในช่วงเร่งและช่วงความเร็วคงที่ ซึ่งแสดงค่าระยะทาง ความเร็ว และกำลังไฟฟ้ามอเตอร์ ดังตารางที่ 4.6 โดยข้อมูลค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพมอเตอร์ ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพการคายประจุของแบตเตอรี่ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ระยะทาง ความเร็ว และกำลังไฟฟ้ามอเตอร์

ช่วงความเร็ว	ระยะทาง (m)	ความเร็ว (m/s)	กำลังไฟฟ้ามอเตอร์ (kW)
ช่วงเร่ง	5	1	0.684
ช่วงความเร็วคงที่	435	1	0.617
ช่วงเร่ง	5	1	0.684
ช่วงความเร็วคงที่	435	1	0.617

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพมอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ และการคายประจุของแบตเตอรี่

ค่าพารามิเตอร์	ความหมาย	เท่ากับ	หน่วย
η_m	ประสิทธิภาพมอเตอร์	0.83	-
η_{inv}	ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	0.97	-
DoD_{batt}	ประสิทธิภาพการคายประจุของแบตเตอรี่	0.80	-

พิจารณาการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่: กรณีวิ่งเดินหน้า

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า: ขาไป (ช่วงเร่ง E_{F1}) i มีค่าเท่ากับ 1

จากสมการ $E_{Fi} = (P_{Fi} / \eta_m \eta_{inv}) \times (S_{Fi} / 3,600 DoD_{batt} v_{Fi})$ โดยที่ i เท่ากับ 1

กำหนดให้ $P_{F1} = 0.688$ kW , $S_{F1} = 5$ m , $v_{F1} = 1$ m/s , $\eta_m = 0.83$, $\eta_{inv} = 0.97$,

$$DoD_{batt} = 0.80$$

แทนค่า $E_{F1} = [(0.688)/(0.83)(0.97)] \times [(5)/(3,600)(0.8)(1)]$

$$\text{ดังนั้น } E_{F1} = 0.0015 \text{ kWh}$$

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า: ขาไป (ช่วงความเร็วคงที่ E_{F2}) i มีค่าเท่ากับ 2

จากสมการ $E_{Fi} = (P_{Fi} / \eta_m \eta_{inv}) \times (S_{Fi} / 3,600 DoD_{batt} v_{Fi})$ โดยที่ i เท่ากับ 2

กำหนดให้ $P_{F2} = 0.617$ kW , $S_{F2} = 435$ m , $v_{F2} = 1$ m/s , $\eta_m = 0.83$, $\eta_{inv} = 0.97$,

$$DoD_{batt} = 0.80$$

แทนค่า $E_{F2} = [(0.617)/(0.83)(0.97)] \times [(435)/(3,600)(0.8)(1)]$

$$\text{ดังนั้น } E_{F2} = 0.1158 \text{ kWh}$$

สรุปผลการคำนวณ

จากสมการ $E_{FT} = E_{F1} + E_{F2} + E_{F3} + E_{F4}$ โดยที่ $E_{F3} = 0$, $E_{F4} = 0$

แทนค่า $E_{FT} = 0.0015 + 0.1158$

$$\text{ดังนั้น พลังงานไฟฟ้ารวม (ขาไป) } E_{FT} = 0.1173 \text{ kWh}$$

พิจารณาการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่: กรณีวิ่งกลับ (ซากลับ)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า: ซากลับ (ช่วงเร่ง E_{R1}) i มีค่าเท่ากับ 1

จากสมการ $E_{Ri} = (P_{Ri} / \eta_m \eta_{inv}) \times (S_{Ri} / 3,600 DoD_{batt} v_{Ri})$ โดยที่ i เท่ากับ 1

พบว่า $E_{R1} = E_{F1}$

ดังนั้น $E_{R1} = 0.0015$ kWh

การคำนวณพลังงานไฟฟ้า: ซาไป (ช่วงความเร็วคงที่ E_{R2}) i มีค่าเท่ากับ 2

จากสมการ $E_{Ri} = (P_{Ri} / \eta_m \eta_{inv}) \times (S_{Ri} / 3,600 DoD_{batt} v_{Ri})$ โดยที่ i เท่ากับ 2

พบว่า $E_{R2} = E_{F2}$

ดังนั้น $E_{R2} = 0.1158$ kWh

สรุปผลการคำนวณ

จากสมการ $E_{RT} = E_{R1} + E_{R2} + E_{R3} + E_{R4}$ โดยที่ $E_{R3} = 0, E_{R4} = 0$

แทนค่า $E_{RT} = 0.0015 + 0.1158$

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้ารวม (ซากลับ) $E_{RT} = 0.1173$ kWh

การคำนวณพลังงานไฟฟ้ารวมต่อรอบ

จากสมการ $E_T = E_{FT} + E_{RT}$

กำหนดให้ $E_{FT} = 0.1173$ kWh และ $E_{RT} = 0.1173$ kWh

แทนค่า $E_T = 0.1173 + 0.1173$

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้ารวม ต่อ รอบ $E_T = 0.2346$ kWh

การเลือกขนาดแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยพิจารณาจากค่าพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งซาไปและซากลับ ต่อ รอบ ซึ่งจำนวนรอบในการวิ่งขนส่งเวชภัณฑ์ และอาหารของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยปกติอยู่ที่ 3 ถึง 5 รอบ ต่อ วัน สามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ต่อ วัน ดังสมการที่ 3.15

การคำนวณพลังงานไฟฟ้ารวมต่อจำนวนรอบในหนึ่งวัน

จากสมการ $E_{batt} = E_T \times N$

กำหนดให้ $E_T = 0.2346$ kWh และ $N = 5$ รอบ

แทนค่า $E_{batt} = 5 \times 0.2346$

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้ารวม $E_{batt} = 1.1730$ kWh

สำหรับการพิจารณาเลือกขนาดแบตเตอรี่ ซึ่งมีการคำนวณพลังงานรวม ต่อ หนึ่งวันพบว่า E_{batt} มีค่าเท่ากับ 1.1730 kWh โดยการเลือกใช้ขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อนจากหัวข้อที่ 4.4 ซึ่งมีแรงดันพิกัดอินพุต 24 Vdc ดังนั้นขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้ต้องมีค่าพลังงานมากกว่า 1.1730 kWh และมีขนาดแรงดันเท่ากับ 24 Vdc ซึ่งขนาดแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในรถไฟฟ้าอัตโนมัติได้มีการเลือกขนาดจากผู้ออกแบบโครงสร้างรถไฟฟ้า โดยมีขนาด 24Vdc 48 Ah ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน

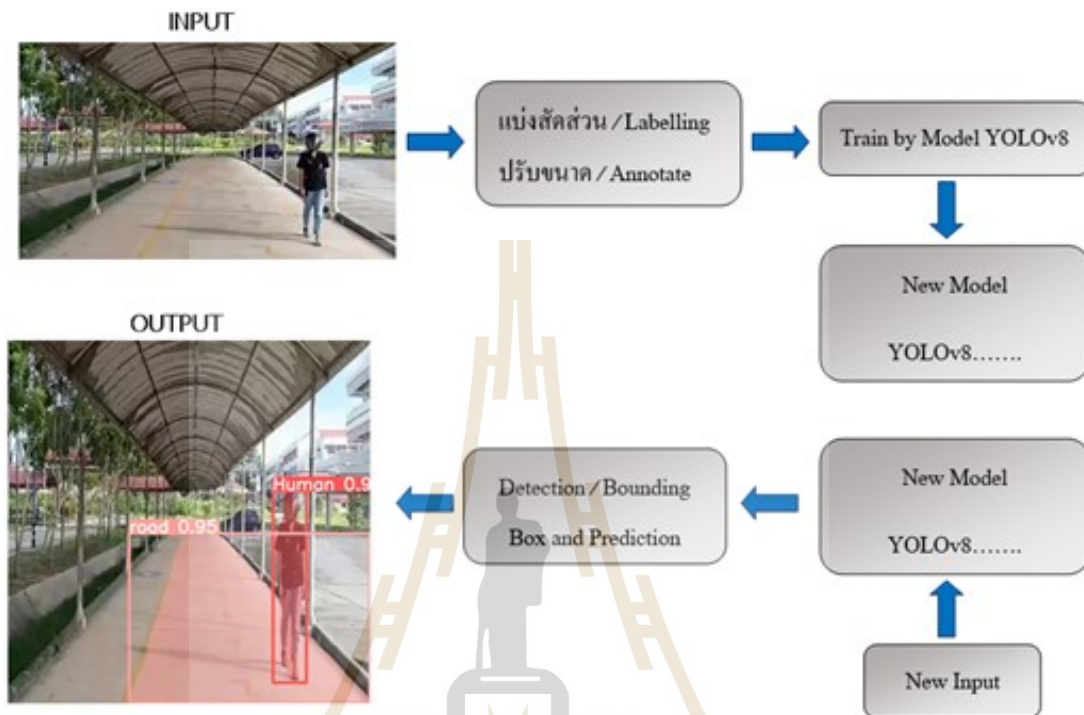
4.7 การตรวจจับเลนส์กีดขวางด้วย Instance Segmentation

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการตรวจจับ เนื่องด้วยความนิยมอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทำให้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งความแม่นยำ ความรวดเร็วในการประมวลผล ซึ่งก็มีผลจากการเข้ามาของเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ร่วมกับยานยนต์ไร้คนขับ (Self-Driving Car) เพื่อใช้ในการตรวจจับเลนส์ โดยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกพัฒนาขึ้น เนื่องจากสามารถใช้ได้ทั้งงานที่ทำการตรวจจับแล้ววาดกรอบ (bounding box) และสามารถแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) ที่มีการตรวจจับในระดับพิกเซลของภาพ มีความแม่นยำสูง จึงมีนำโมเดล CNN เข้ามาใช้ในการตรวจจับนี้ด้วย โดยการใช้งานโมเดล CNN ทางผู้วิจัยได้ใช้โมเดลสำเร็จรูปของ YOLOv8 มาใช้ในการตรวจจับเลนส์ เนื่องจากมีความสะดวกและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีขนาดโมเดลให้เลือกหลายรูปแบบ ซึ่งขั้นตอนในการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation ทำได้ดังนี้

4.7.1 การตรวจจับเลนส์และสิ่งกีดขวางด้วยการเรียนรู้เชิงลึกโดยการแบ่งส่วนภาพด้วยเทคนิค Instance Segmentation

ในการแบ่งส่วนรูปภาพด้วย Instance Segmentation มีจุดประสงค์ในการแยกทางเดินรถออกจากทางเท้า มีอัลกอริทึมโครงสร้างการทำงาน ดังรูปที่ 4.14 เพื่อระบุตำแหน่งของทางเดินรถ โดยจะนำตำแหน่งที่หาได้ไปควบคุมมอเตอร์ต่อไป และยังเพิ่มคลาสอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของรถไว้ หลายประเภท คือ มนุษย์ จักรยาน รถ รถไฟฟ้า (รถขนส่งอาหารของโรงพยาบาล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) วีลแชร์ เสา และเตียงผู้ป่วย เพื่อป้องกันการชน ทั้งนี้ความแม่นยำใน

การตรวจจับเป็นจุดประสงค์หลักของงานวิจัย เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายได้รวดเร็ว และปลอดภัยมากที่สุด



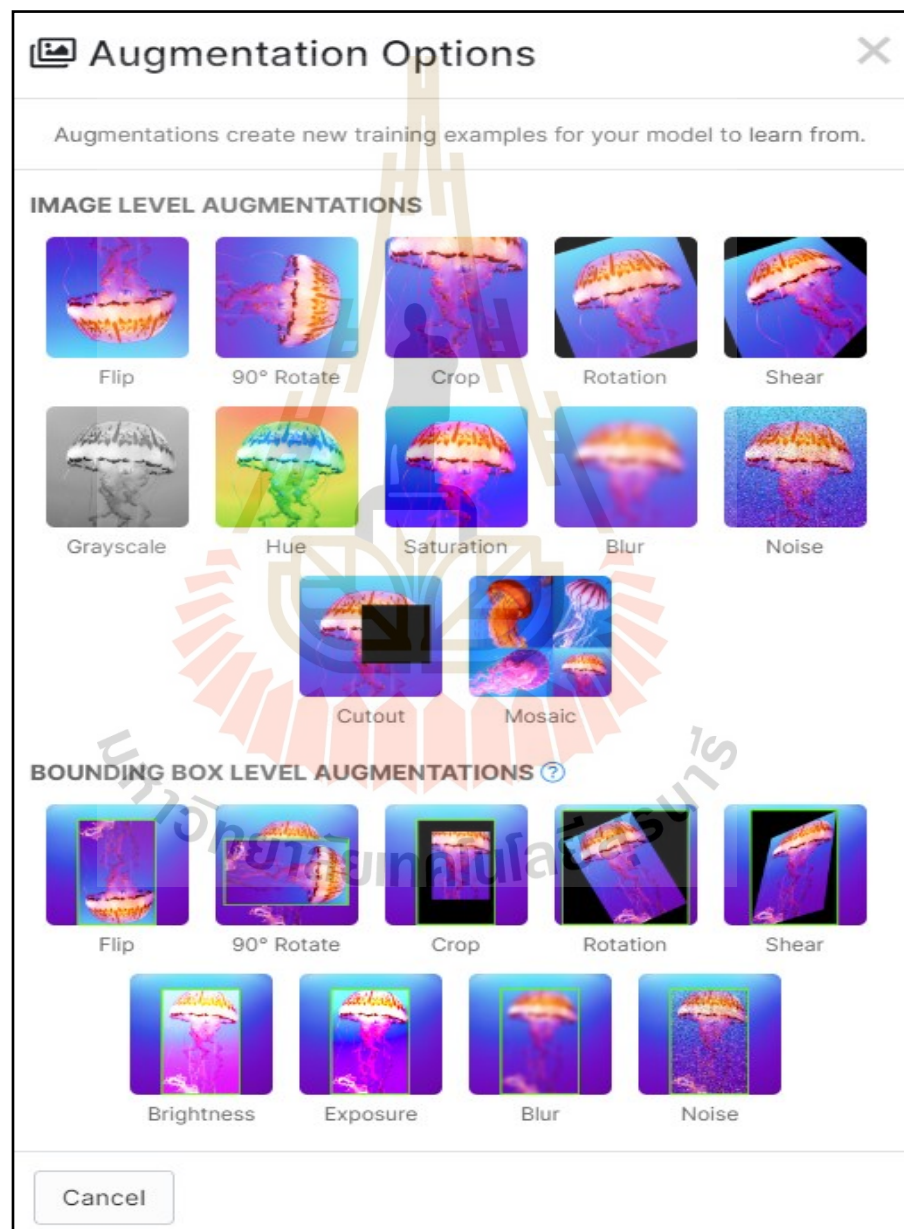
รูปที่ 4.14 โครงสร้างการทำงาน

(1) การเตรียมชุดข้อมูลทดสอบ

ในการเตรียมชุดข้อมูลที่จะใช้ในการทำ Instance Segmentation จำเป็นต้องนำเข้าภาพ RGB เข้ามาทำการระบุค่าอธิบายประกอบเพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุก่อน แล้วจึงจะนำเข้าไปให้โมเดลเรียนรู้ จึงมีการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Roboflow มาใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนา

Roboflow เป็นซอฟต์แวร์และเครื่องมือให้บริการในการทำ Label โดยสามารถแบ่งงานออกเป็นหลายส่วนเพื่อเตรียมชุดข้อมูล (Dataset) ของงานในกลุ่มของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ได้พร้อมกันหลายส่วน และมีรูปแบบการทำงานร่วมกันของ Roboflow ในการเพิ่มรูปภาพ (Image Augmentation) โดยขั้นตอนในการ Image Augmentation จะมีการเลือกรูปแบบการ Image Augmentation เช่น หมุน ลดเพิ่มแสง ครอบตัดออกบางส่วน พลิกรูป หรือเบลอรูป เป็นต้น ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งจุดประสงค์ในการทำ Image Augmentation นั้นคือการเพิ่มข้อมูลให้มากขึ้น นอกจากนี้ Roboflow ยังสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ส่งออกชุดข้อมูล (Export Dataset) ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน

ชุดข้อมูลที่ถูกจัดเตรียมนี้มีการแบ่งข้อมูลทดสอบไว้ และเป็นสามชุด คือ ข้อมูลสำหรับการฝึกฝนโมเดล (Train) ข้อมูลสำหรับตรวจสอบโมเดล (Validation) ข้อมูลสำหรับทดสอบโมเดล (Test) ซึ่งแบ่งได้เป็นอัตราส่วนดังนี้ คือ 88:8:4 โดยมีจำนวนภาพในข้อมูลสำหรับการฝึกฝนโมเดล (Train) 1413 ภาพ ข้อมูลสำหรับตรวจสอบโมเดล (Validation) 131 ภาพ ข้อมูลสำหรับทดสอบโมเดล (Test) 69 ภาพ รายละเอียดข้อมูลทดสอบดังตารางที่ 4.8 ซึ่งจากตารางมี 10 คลาส คือ มนุษย์ เตียง รถ จักรยาน ถนน วีลแชร์ รถไฟฟ้า(รถส่งอาหาร) ป้ายแดง ป้ายเหลือง และป้ายเขียว



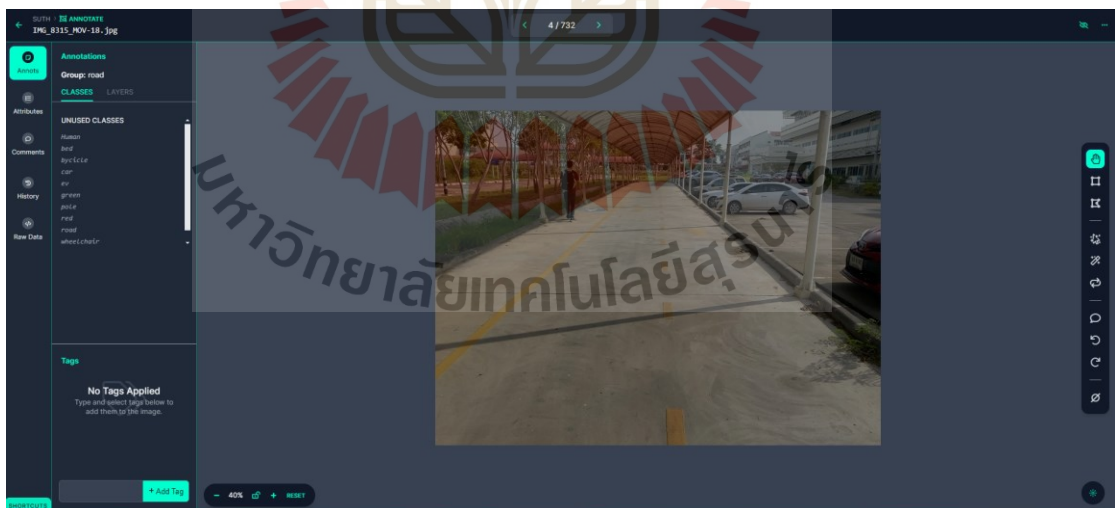
รูปที่ 4.15 ตัวเลือกการทำ Image Augmentation ใน Roboflow

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดข้อมูลทดสอบ

คำอธิบาย	จำนวน
คลาส	10
จำนวนภาพทั้งหมด	1613
รูปภาพสำหรับการเทรน (Training Images)	1413
รูปภาพสำหรับการตรวจสอบ (Validation Images)	131
รูปภาพสำหรับการทดสอบ (Testing Images)	69

(2) การระบุคำอธิบายประกอบ (Annotate)

เนื่องจากการทำ Instance Segmentation เป็นส่วนของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) ซึ่งต้องการการ Label ดังนั้นจึงต้องระบุคำอธิบายให้กับรูปภาพก่อนการนำไปฝึกฝนผ่านโมเดล ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ Roboflow ในการระบุคำอธิบายเพื่อบอกว่าวัตถุในภาพคืออะไร หน้าต่างการระบุคำอธิบายของ Roboflow ดังรูปที่ 4.16 มีแถบเครื่องมือต่าง ๆ ให้ใช้มากมาย ทำให้สะดวกในการใช้งาน และจะพบว่าภาพที่ทำการระบุแล้วนั้นจะมีการถล่มสีต่าง ๆ ไว้ เพื่อป้องกันว่าภาพส่วนนั้นในภาพได้ระบุคำอธิบายไว้แล้ว ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 หน้าต่างการ Label



(ก) รูปภาพที่ยังไม่ Label

(ข) ภาพที่ Label

รูปที่ 4.17 ภาพการ Label

(3) กระบวนการฝึกสอน

ในการกระบวนการฝึกสอนในงานวิจัยนี้ จะใช้อัลกอริทึม YOLO (You Only Look Once) มาใช้ในการฝึกสอน ซึ่ง YOLO นับเป็นหนึ่งในกลุ่มโมเดล CNN ซึ่งนิยมใช้ในการตรวจจับวัตถุ เนื่องจากมีความรวดเร็ว และใช้ทรัพยากรของ CPU ไม่มากโดยใช้การประมวลผลบนหน่วยประมวลผลภาพกราฟิก (Graphics Processing Unit: GPU) ซึ่งทำให้นักพัฒนาหลายกลุ่มสามารถใช้งานได้ง่าย และยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงเวอร์ชันปัจจุบัน ได้แก่ YOLOv8 ที่พัฒนาขึ้นบนเฟรมเวิร์ค PyTorch ซึ่งมีข้อดี คือ ใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว รวมทั้งมีความโดดเด่นในเรื่องของความแม่นยำ โดยหลักการทำงานของ YOLO จะแบ่งภาพออกเป็นเส้นตามพื้นที่ที่เป็นบล็อก (grid cell) และสำหรับแต่ละเส้นจะคาดเดาหรือตรวจจับวัตถุที่อยู่ในพื้นที่นั้น ๆ รวมถึงตำแหน่งของวัตถุ ขนาดของวัตถุ และความมั่นใจในการตรวจจับ และมีจุดเด่นในการมองภาพหรือประมวลผลได้ในครั้งเดียว

ในการฝึกฝนโมเดลผ่าน YOLO จำเป็นต้องติดตั้งไลบรารีของ YOLO ให้เรียบร้อยและสามารถสั่งใช้งาน YOLO ได้โดยการฝึกฝนโมเดลผ่าน YOLO ดังรูปที่ 4.18 ในชุดคำสั่งจะมีโหมดต่าง ๆ ให้เลือกใช้และปรับเปลี่ยนได้อย่างอิสระ ดังตารางที่ 4.9 เมื่อเรียกใช้ชุดคำสั่งแล้วโมเดลจะถูกฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลที่เราให้ได้โดยในรันตามจำนวน epochs โปรแกรมก็จะแสดงข้อมูลต่าง ๆ ออกมา ดังรูปที่ 4.19 จากกรอบสีแดงภาพที่ 4.19 ค่าการสูญเสียของโมเดลในแต่ละรอบ


```
(sut) C:\Users\Acer\Downloads\SUTH-4>yolo task=segment mode=train model=yolov8n-seg.pt data=data.yaml epochs=500 imgsz=640 batch=8 conf=0.5 device=0
```

รูปที่ 4.18 ส่งการเทรนโมเดลด้วย YOLO

Epoch	GPU_mem	box_loss	seg_loss	cls_loss	dfl_loss	Instances	Size	100%	140/140	[00:32<00:00, 4.27it/s]	7/7
1/500	1.99G	1.303	2.173	2.588	1.326	7	640	100%	140/140	[00:32<00:00, 4.27it/s]	7/7
Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)	Mask(P)	R	mAP50	mAP50-95): 100%	7/7
all	102	559	0.527	0.296	0.421	0.334	0.526	0.295	0.42	0.336	7/7
Epoch	GPU_mem	box_loss	seg_loss	cls_loss	dfl_loss	Instances	Size	100%	140/140	[00:28<00:00, 4.98it/s]	7/7
2/500	2.08G	1.137	1.517	1.487	1.196	7	640	100%	140/140	[00:28<00:00, 4.98it/s]	7/7
Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)	Mask(P)	R	mAP50	mAP50-95): 100%	7/7
all	102	559	0.639	0.49	0.584	0.422	0.634	0.486	0.58	0.441	7/7
Epoch	GPU_mem	box_loss	seg_loss	cls_loss	dfl_loss	Instances	Size	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.18it/s]	7/7
3/500	2.05G	1.081	1.36	1.317	1.169	13	640	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.18it/s]	7/7
Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)	Mask(P)	R	mAP50	mAP50-95): 100%	7/7
all	102	559	0.679	0.52	0.606	0.455	0.681	0.521	0.611	0.43	7/7
Epoch	GPU_mem	box_loss	seg_loss	cls_loss	dfl_loss	Instances	Size	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.17it/s]	7/7
4/500	2.07G	1.023	1.258	1.195	1.134	6	640	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.17it/s]	7/7
Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)	Mask(P)	R	mAP50	mAP50-95): 100%	7/7
all	102	559	0.768	0.604	0.691	0.547	0.762	0.6	0.691	0.538	7/7
Epoch	GPU_mem	box_loss	seg_loss	cls_loss	dfl_loss	Instances	Size	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.08it/s]	7/7
5/500	1.98G	1.004	1.278	1.139	1.134	3	640	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.08it/s]	7/7
Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)	Mask(P)	R	mAP50	mAP50-95): 100%	7/7
all	102	559	0.735	0.743	0.761	0.589	0.734	0.742	0.761	0.562	7/7
Epoch	GPU_mem	box_loss	seg_loss	cls_loss	dfl_loss	Instances	Size	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.15it/s]	7/7
6/500	1.96G	0.998	1.212	1.094	1.118	2	640	100%	140/140	[00:27<00:00, 5.15it/s]	7/7
Class	Images	Instances	Box(P)	R	mAP50	mAP50-95)	Mask(P)	R	mAP50	mAP50-95): 100%	7/7

รูปที่ 4.19 การฝึกฝนโมเดล



ตารางที่ 4.9 คำสั่งต่าง ๆ ในการฝึกฝนโมเดลด้วย YOLO

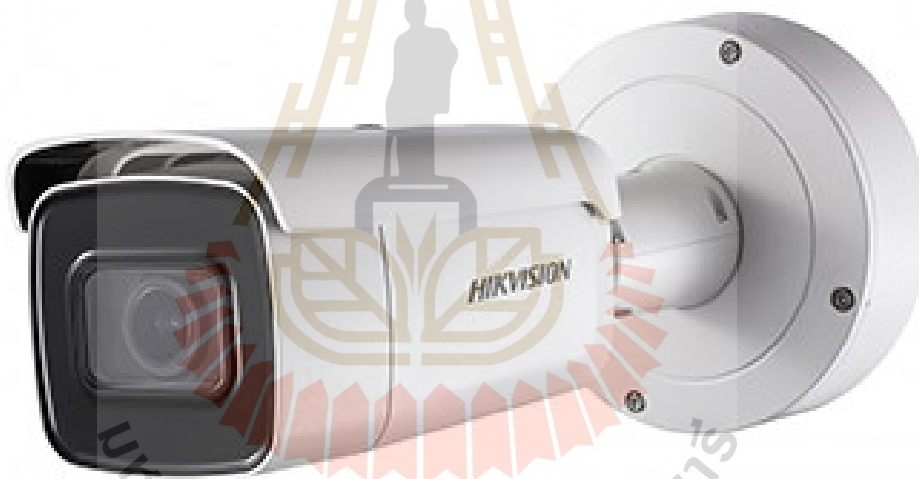
Key	Default	Description
model	None	ตำแหน่งโมเดลสำหรับฝึก ไฟล์ .pt หรือ .yaml
data	None	ตำแหน่งหรือเส้นทางของไฟล์ชุดข้อมูล
epochs	100	จำนวนรอบการเทรน
time	None	ระยะเวลาสูงสุดในการฝึกฝน
patience	100	จำนวนรอบที่ต้องรอระหว่างการฝึกฝนแต่ละรอบ
batch		ขนาดของ Batch
imgsz	640	ขนาดรูป
save	True	ช่วยให้บันทึกข้อมูลที่ผ่านการฝึกฝน
save_period	-1	ความถี่ในการบันทึก checkpoints ของโมเดล
cache	False	การเปิดการใช้งานการแคชรูป
device	None	ระบุอุปกรณ์คำนวณสำหรับการฝึกอบรวม: single GPU (device=0), multiple GPUs (device=0,1), CPU (device=cpu), MPS for Apple silicon (device=mps).
optimizer	'auto'	การเลือก optimizer สำหรับการเทรน เช่น SGD, Adam, AdamW, NAdam, RAdam, RMSProp เป็นต้น
plots	False	สร้างและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เมื่อฝึกฝนจบ
box	7.5	น้ำหนักของค่าสูญเสียของ box
cls	0.5	น้ำหนักของค่าสูญเสียของ Class

(ตารางที่ 4.7 อ้างอิงจาก <https://docs.ultralytics.com/modes/train/#arguments>)

4.8 การพัฒนาแบบระบบนำทางอัตโนมัติและตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ในการพัฒนาระบบนำทางที่ใช้ คือ การนำทางด้วยการใช้การเรียนรู้เชิงลึก และการตรวจจับด้วยภาพ ดังนั้นจึงมีการเลือกใช้กล้อง โดยเลือกใช้กล้อง HIKVISION รุ่น DS-2CD2625FWD-IZS ดังรูปที่ 4.20 และมีรายละเอียดคุณสมบัติกล้อง ดังตารางที่ 4.10

จากที่กล่าวไปข้างต้น การตรวจจับด้วยการแบ่งส่วนภาพนั้นต้องการทรัพยากรบนตัวประมวลผลจำนวนมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยรอบได้ทั้งหมดและเหลือไว้เพียงสิ่งกีดขวางที่สำคัญเท่านั้น สิ่งที่ขาดไปจึงเป็นความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งสามารถทดแทนด้วยการใช้เซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับและวัดระยะของวัตถุได้อย่างแม่นยำ LIDAR จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุด ในการเลือกใช้เป็นรุ่น RPLIDAR A3 ดังรูปที่ 4.21 สามารถสแกนตรวจจับวัตถุได้ 360 องศาพร้อมวัดระยะที่สแกนได้ไกลถึง 25 m (สำหรับวัตถุสีขาว) และ 10 m (สำหรับวัตถุสีดำ) และมีรายละเอียดคุณสมบัติ ดังตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.20 กล้อง HIKVISION รุ่น DS-2CD2625FWD-IZS

ตารางที่ 4.10 รายละเอียดคุณสมบัติของกล้อง HIKVISION รุ่น DS-2CD2625FWD-IZS

Item	detail
Image Sensor	1/2.8" Progressive Scan CMOS
Signal System	PAL/NTSC
Min. Illumination	Color: 0.0068 Lux @ (F1.4, AGC ON), 0 Lux with IR)
Shutter Time	1/3 s to 1/100,000 s
Focus	Auto
Video Compression	H.265+/H.265/H.264+/H.264/MJPEG
Wide Dynamic Range	120 dB
Day& Night	IR Cut Filter
IR Range	Up to 50m
Max. Image Resolution	1920 x 1080
Image Enhancement	BLC/3D DNR/BLC
Communication Interface	1 RJ45 10M / 100M Ethernet interface
Power Supply	12 VDC \pm 25%, PoE (802.3af Class3)
Operating Conditions	-30 $^{\circ}$ C \sim 60 $^{\circ}$ C (-22 $^{\circ}$ F \sim 140 $^{\circ}$ F)
Weather Proof	IP67
Dimensions	Φ 144.13x332.73 mm (Φ 5.67"x 13.10")
Weight	1.89 kg



รูปที่ 4.21 LIDAR SLAMTEC รุ่น RPLIDAR A3

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดคุณสมบัติของ LIDAR SLAMTEC รุ่น RPLIDAR A3

Item	detail
Distance Range	0.15 - 25 m
Angular Range	0-360 degree
Distance Resolution	< 0.5 (0.15~1.5 m)
Angular Resolution	0.9 degree
Sample Duration	0.25 ms
Sample Frequency	≥ 4000 Hz
Scan Rate	10 Hz
Weight	0.430 kg
Port	USB
Working Area	Indoor/outdoor

ในการนำทางด้วยระบบนำทางอัตโนมัติที่ออกแบบมานั้น การประมวลผลจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่สามารถประมวลผลรูปภาพได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เนื่องด้วยมีความต้องการประมวลผลได้ในแบบเรียลไทม์ และการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance ต้องการทรัพยากรที่สูง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการประมวลผล ดังนั้นจึงมีการเลือกใช้ใช้มินิพีซี (Mini PC) หรือ คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สามารถรองรับรูปแบบการพัฒนาซอฟต์แวร์ในระบบปฏิบัติการ Windows รุ่น GK3 Mini PC CPU Intel N5105/N100 ดังรูปที่ 4.22 และมีรายละเอียดคุณสมบัติ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 รายละเอียดคุณสมบัติของ GK3 Mini PC CPU Intel N5105/N100

Item	detail
Processor Type Series	Intel CPU Series
Graphic Card Series	Intel UHD Graphics
System Memory	8 GB RAM 128 GB
Operating System	Windows/Linux
Processor Frequency	3.4 GHz
Ports	HDMI, USB 2.0, USB 3.0, Ethernet LAN (RJ-45)
Storage Type	SSD + HDD
Processor Type	Quad-core
Power Supply	12 Vdc, 2.5 A



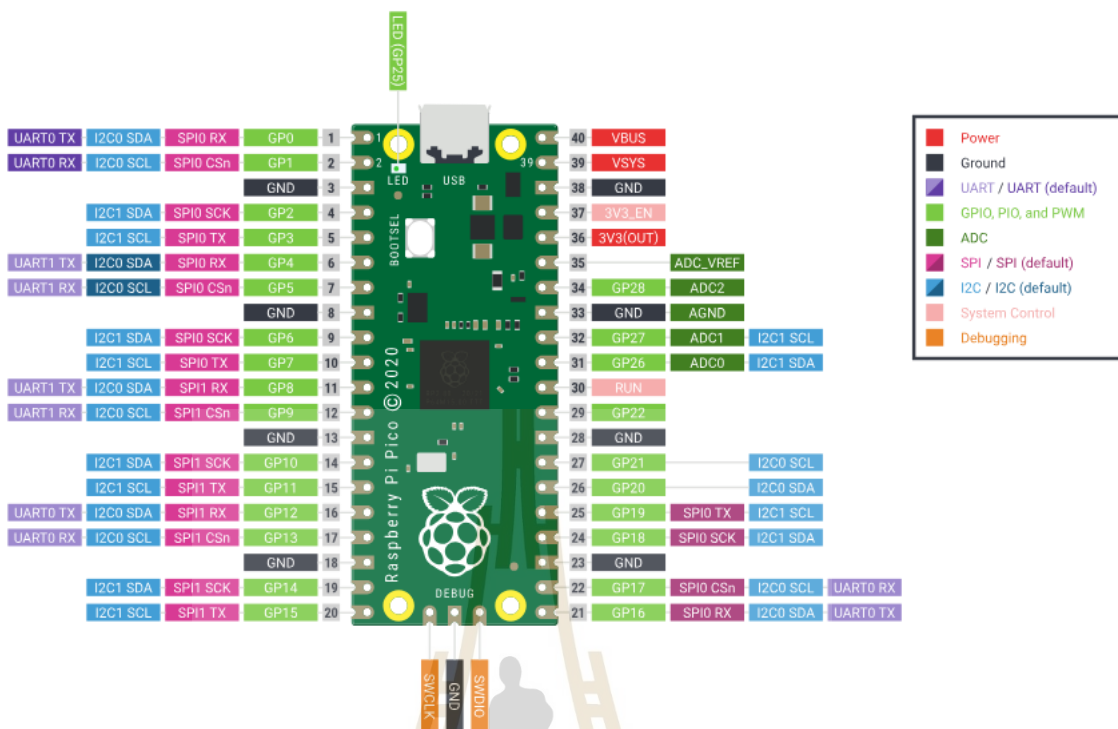
รูปที่ 4.22 GK3 Mini PC CPU Intel N5105/N100

ในการควบคุมมอเตอร์ของรถไฟฟ้าไร้คนขับทั้งในระบบบังคับและระบบขับเคลื่อนจะถูกสั่งใช้งานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ คือ Raspberry Pi Pico ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์จาก Raspberry Pi Foundation ใช้ RP2040 เป็น microcontroller chip ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมมีด้วยกัน 2 ภาษา คือ C/C++ และภาษา MicroPython การอัปเดตโปรแกรมสามารถดำเนินการการ Flash โปรแกรมผ่านพอร์ต USB ดังรูปที่ 4.23 และมีรายละเอียดพิน ดังรูปที่ 4.24 สามารถสรุปรายละเอียดอุปกรณ์ได้ดังตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.23 Raspberry Pi Pico





รูปที่ 4.24 Raspberry Pi Pico pinout

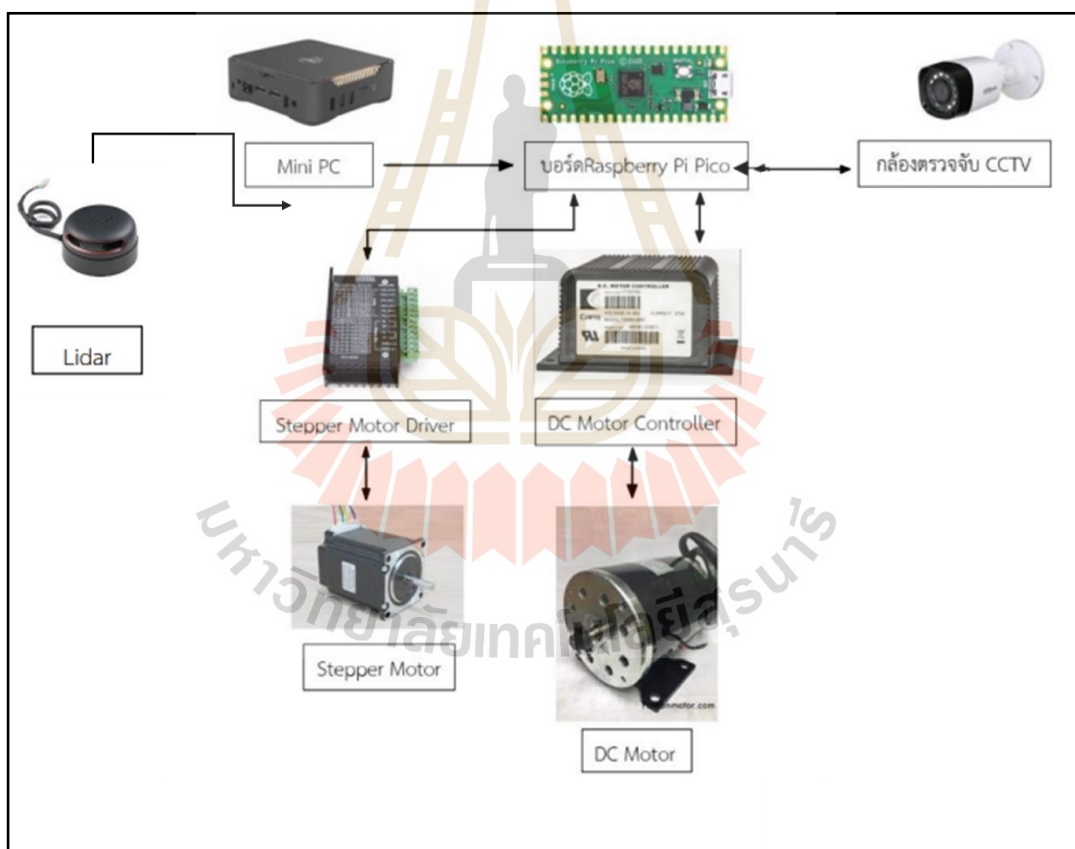
ที่มารูปภาพ: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html>

ตารางที่ 4.13 อุปกรณ์สำหรับออกแบบระบบควบคุมของรถขนส่งอัตโนมัติ

รายการ	รายละเอียด
มอเตอร์ขับเคลื่อน (Electric Motor)	1400 W, 24 Vdc, 4500 r/min, 60 A
แบตเตอรี่ (Battery Lithium)	Lithium-ion Battery 24 Vdc
มินิพีซี (Mini PC Windows)	GK3 Mini PC CPU Intel N5105/N100
กล้องวงแหวน (Forward Camera)	HIKVISION IP Camera DS-2CD2625FWD-IZS
เซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง (RP Lidar 2D)	RPLIDAR A3 SLAMTEC
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	Raspberry Pi Pico
สตีปเปอร์มอเตอร์	Hengyuan รุ่น HY57DJ114

4.9 การควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว

จากการออกแบบระบบนำทางอัตโนมัติ เมื่อได้รูปแบบการนำทางและตรวจจับสิ่งกีดขวางแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงเป็นการควบคุมรถให้เคลื่อนที่ตามความเร็ว และการเลี้ยวตามมุมที่กำหนด ทำให้รถไฟฟ้าไร้คนขับ สามารถขับเคลื่อนได้ตามที่กำหนด ในการควบคุมมอเตอร์ทั้งสองระบบจะควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico โดยที่จะมีการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ที่มีการรับข้อมูลระยะห่างระหว่างวัตถุกับตัวรถจาก LIDAR และ ตำแหน่งการตรวจจับภาพในเฟรมกล้องและการเรียนรู้เชิงลึก มีการสื่อสารกันด้วยรูปแบบ Serial โดยมีการกำหนดความเร็วในการส่ง (Baudrate) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi Pico โดยมีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การเชื่อมต่อการทำงานของฮาร์ดแวร์

4.9.1 การตั้งค่าตำแหน่งการตรวจจับวัตถุ

ในการตรวจจับวัตถุใช้รูปแบบการตรวจจับแบบ Instance Segmentation จากอัลกอริทึม YOLOv8 ในการตั้งค่าต่าง ๆ ทั้งรูปแบบ Mask (พื้นที่) และ Box (กรอบ 2 มิติ) จะเป็นไปตามคำสั่งการใช้งานที่ผู้พัฒนา YOLO ออกแบบ ซึ่งในการตั้งค่าตำแหน่งจาก YOLO ในวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ รูปแบบแรกจะมีการตั้งค่าวัตถุสิ่งกีดขวางรูปแบบ Box เนื่องจากนำมาใช้เพียงค่าการติดตาม (Tracking) เป้าหมายอยู่ในตำแหน่งใด และเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่เข้ามาใกล้รถไฟฟ้าวัดคนขับจะถูกออกแบบให้หยุดจนกว่าเป้าหมายเคลื่อนที่ออกไป และอีกส่วนเป็นการตั้งค่าจาก Mask ซึ่งจะมีค่าในรูปแบบของพื้นที่ โดยในการตั้งค่า Mask มาใช้มีเพียงแค่คลาสถนนเท่านั้น ส่วนคลาสอื่น ๆ ใช้การตั้งค่าตำแหน่งจาก Box โดยมีการดำเนินการดังนี้ดังนี้

เริ่มจากที่มีการฝึกฝนโมเดลแล้ว จากนั้นจะนำโมเดลมาทำนายผล ดังรูปที่ 4.26 ด้วยคำสั่ง “Mode = YOLO(“Jamee_best.pt”)” ต่อไปจึงมีการตั้งค่าต่าง ๆ ไปเก็บไว้ในตัวแปรชื่อ results ดังรูปที่ 4.27 จากนั้นจึงเข้าสู่เงื่อนไขการตรวจจับวัตถุเข้ามาในบริเวณถนนจะให้รถหยุดก่อน โดยจะมีการสร้างกรอบจากจุดศูนย์กลางของถนน เพื่อกำหนดเป็นบริเวณไม่ให้สิ่งกีดขวางเข้ามา ดังรูปที่ 4.28 และจากนั้นจึงเป็นการตรวจจับคลาสอื่น ๆ (ทุกคลาสยกเว้นถนน) อยู่ในบริเวณที่ติดกรอบไว้หรือไม่ ดังรูปที่ 4.29

```
import cv2
from ultralytics import YOLO
import numpy as np
import os
import serial

ser = serial.Serial('COM15', 230400)

os.environ['KMP_DUPLICATE_LIB_OK'] = 'True'
os.environ['CUDA_VISIBLE_DEVICES'] = '1'

# Load the YOLOv8 model
model = YOLO('Jamee_best.pt')
```

รูปที่ 4.26 การเรียกใช้โมเดล

```
while cap.isOpened():  
    success, frame = cap.read()  
  
    results = model(frame)  
    result = results[0].plot()
```

รูปที่ 4.27 การใช้โมเดลทำนายผล

```
if 7 in results[0].boxes.cls.int().tolist():  
    index_6 = results[0].boxes.cls.int().tolist().index(7)  
    xy_wh = results[0].boxes.xywh[index_6]  
    x = int(xy_wh[0])  
    y = int(xy_wh[1])
```

รูปที่ 4.28 การดึงค่าตำแหน่งถนนเพื่อสร้างขอบเขตการหยุดรถ


```

if any(value in [0,1,2,4,6] for value in
results[0].boxes.cls.int().tolist()):
    cls_list = results[0].boxes.cls.int().tolist()
    xywh_list = []
    for index, value in enumerate(cls_list):
        if value in [0,1,2,4,6]:
            xywh = results[0].boxes.xywh[index]
            xywh_list.append(xywh)
    for i in range(len(xywh_list)):
        if ((xywh_list[i][0].int().tolist()>x-200) and
(xywh_list[i][1].int().tolist()+100>y-150)):
            ser.write("4".encode())
            cv2.putText(result, "Detect
Object", (20,20), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (255,255,255), 2)
            cv2.putText(result, "Stop", (20,40), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPL
EX, 0.7, (255,255,255), 2)
            cv2.putText(result, f"{xywh_list[i][0].int().tolist(),xyw
h_list[i][1].int().tolist()+100}", (xywh_list[i][0].int().tolist(),xywh_list[
i][1].int().tolist()+100), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255,255,255), 1)

```

รูปที่ 4.29 การสร้างเงื่อนไขการหยุดเมื่อมีสิ่งกีดขวางเข้ามาให้ขอบเขต

เมื่อดึงค่าออกได้แล้วนั้นต่อไปจึงเป็นการสื่อสารและส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์โดยจะใช้ไลบรารี serial และใช้ตั้งค่าพอร์ตที่ต้องการส่งและความเร็ว (Baudrate) จากนั้นใช้คำสั่ง ser.write("x".encode()) โดยที่ "x" คือ ข้อมูลใด ๆ ดังรูปที่ 4.30

```

import serial

ser = serial.Serial('COM15', 230400)
ser.write("3".encode())

```

รูปที่ 4.30 การส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

4.9.2 การตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วย LIDAR

LIDAR เป็นเซนเซอร์ที่สามารถใช้ในการตรวจจับวัตถุและวัดระยะวัตถุได้ใช้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาระบบนำทางให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในการใช้ LIDAR

จะมีการเรียกไลบรารี RPLidar เพื่อเป็นเครื่องมือในการช่วยวัดระยะ LIDAR จะตรวจจับเพียงบริเวณด้านหน้าของรถ 60 องศา จากจุดกึ่งกลางเท่านั้น โดยจะเพิ่มเงื่อนไขให้ดึงค่าระยะทางของสิ่งที่ตรวจจับได้ในองศาที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งการกำหนดมุมจะอยู่ในเงื่อนไข if ของโปรแกรม ดังรูปที่ 4.31 นอกจากนี้เพิ่มประสิทธิภาพการนำทาง ยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยของรถไฟฟ้าไร้คนขับด้วย

```

from rplidar import RPLidar
import serial

lidar = RPLidar('COM11')

for scan in lidar.iter_scans():
    for angle in scan:
        p = angle[1]
        r = angle[2]
        s = 4000
        #tt = 1

        #q if (p > 175 and p < 180) or (p > 170 and p < 175) or (p > 165 and p < 170) or (p > 160 and p < 165) or (p > 180
and p < 185) or (p > 185 and p < 190) or (p > 190 and p < 195) or (p > 195 and p < 200):
            if (p > 0 and p < 5) or (p > 5 and p < 10) or (p > 10 and p < 15) or (p > 15 and p < 20) or (p > 20 and p < 25) or
(p > 355 and p < 360) or (p > 350 and p < 355) or (p > 345 and p < 350) or (p > 340 and p < 345) or (p > 335 and p < 340):
                if (r < s) :
                    Fstop = 1
                    print("stop")
                    servo = "1"
                    ser.write(servo.encode())
                if (r > s) :
                    print("run")
                    Fstop = 0
                    servo = "2"
                    ser.write(servo.encode())

```

รูปที่ 4.31 โปรแกรม LIDAR

4.9.3 การควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว

การควบคุมระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยวเป็นเป้าหมายสุดท้าย หลังจากการทราบสภาพแวดล้อมและสามารถตรวจจับสิ่งต่าง ๆ โดยรอบแล้ว จากที่กล่าวไปข้างต้นว่า จะใช้คอมพิวเตอร์ (PC) สื่อสารแบบ Serial กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเมื่อตรงตามเงื่อนไข หากถนนอยู่ในช่วงพิกัดหน้าจอก็จะส่งได้ส่งค่าโดยมีค่าพิกัด x, y สูงสุดคือ 640, 480 ดังตารางที่ 4.14 จะส่งค่าที่กำหนด ดังตารางที่ 4.15 ซึ่งรูปแบบการตรวจจับแบบผสมมีการใช้เซนเซอร์ร่วมกันระหว่าง LiDAR และ กล้อง ซึ่งมีรูปแบบ ดังรูปที่ 4.32 และ แผนผังการทำงานของระบบนำทาง ดังรูปที่ 4.33

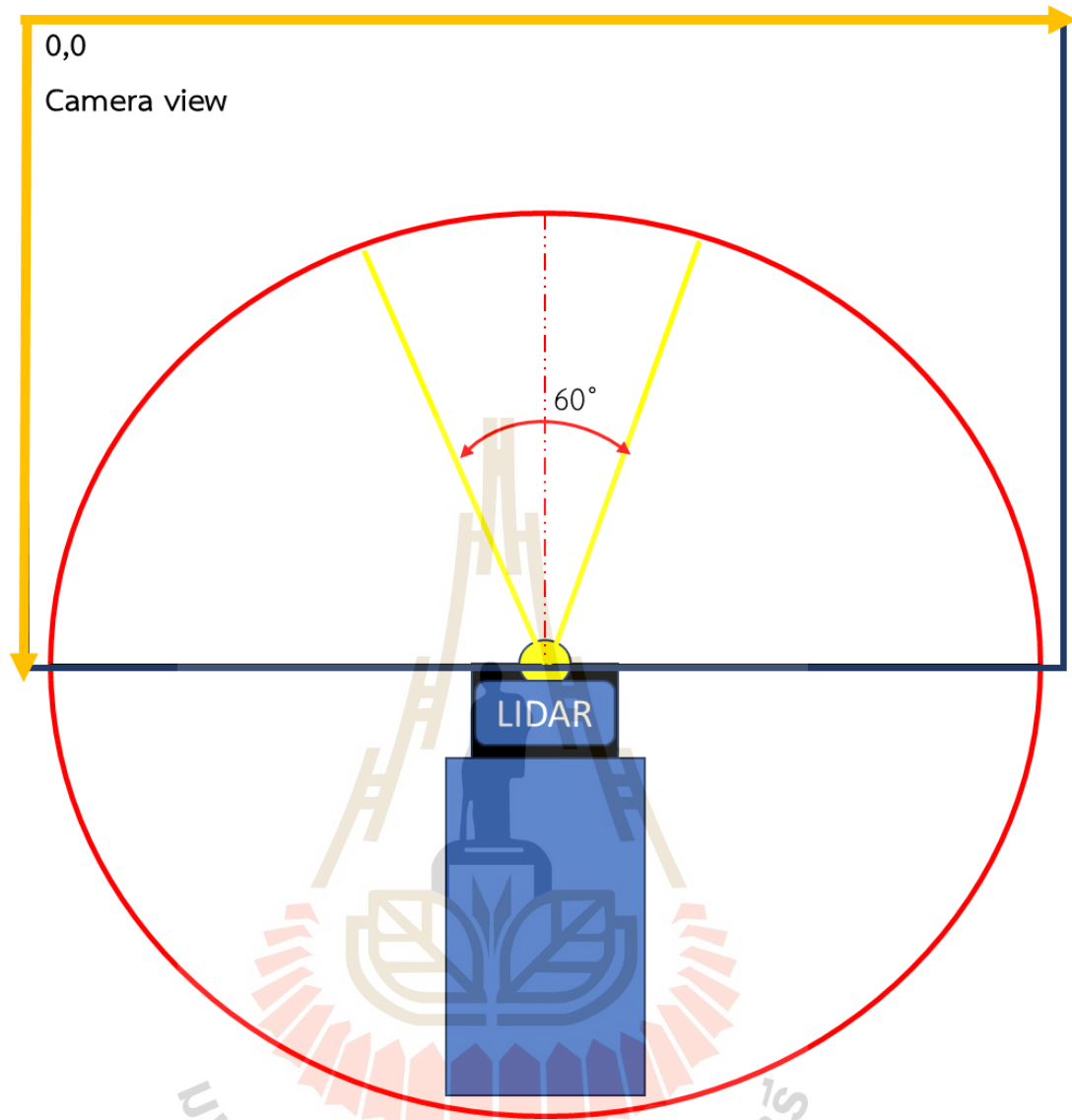
ตารางที่ 4.14 ตำแหน่งถนนและการส่งค่า

ช่วงตำแหน่ง	ค่าที่ส่ง
640-335	1
335-305	2
305-0	3
พบสิ่งกีดขวาง	4
ไม่พบสิ่งกีดขวาง	5

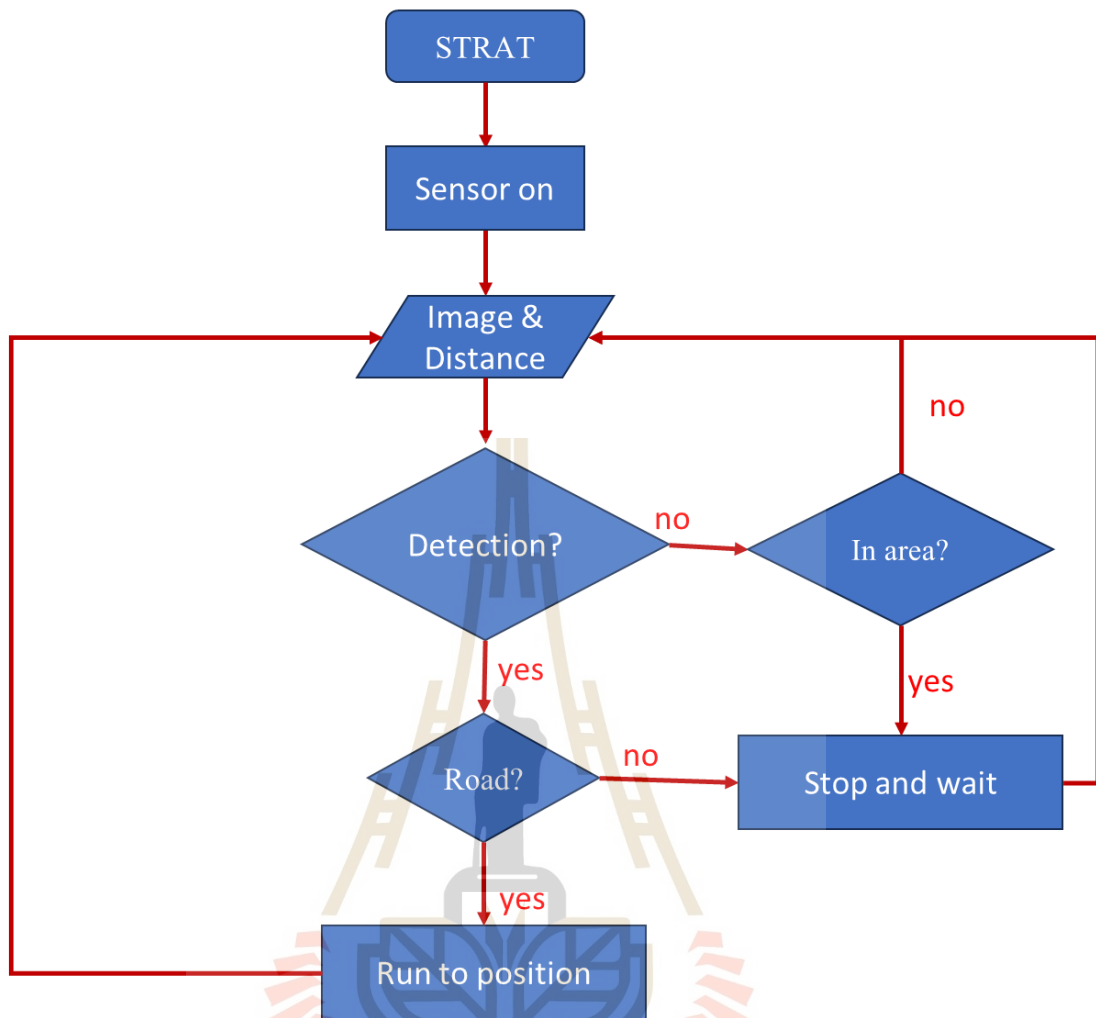
ตารางที่ 4.15 การสื่อสารระหว่าง PC และไมโครคอนโทรลเลอร์

ค่าที่ส่ง	คำสั่งควบคุมมอเตอร์	ความหมาย
1	stepper.moveTo(9600)	ล้อหมุนขวา 30 องศา
2	stepper.moveTo(0)	ล้อตรง
3	stepper.moveTo(-9600)	ล้อหมุนซ้าย 30 องศา
4	stepper.moveTo(h)	ล้ออยู่ตำแหน่งเดิม รอสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ผ่าน
5	stepper.moveTo(0)	หยุดเคลื่อนที่และล้อตรง





รูปที่ 4.32 รูปแบบการตรวจจับผลสม



รูปที่ 4.33 แผนผังการทำงานของระบบนำทาง

4.10 สรุป

รายละเอียดงานวิจัยมีการกล่าวถึงการออกแบบและคำนวณหาขนาดมอเตอร์สำหรับการขับเคลื่อน และมอเตอร์สำหรับการเลี้ยวโดยอาศัยทฤษฎีจากหัวข้อที่ 3 มาทำการออกแบบ ยังมีออกแบบระบบนำทางและตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งเขียนด้วยภาษา Python นอกจากนั้นยังมีการดึงค่าพิกัดที่ตรวจจับได้มาสร้างเป็นเงื่อนไขการทำงาน และนอกจากการตรวจจับวัตถุที่รู้จักจากกล้องแล้วยังตรวจจับวัตถุที่ไม่รู้จักจาก LIDAR ซึ่งรูปแบบการตรวจจับแบบผสมนี้เป็นการใช้เซนเซอร์ร่วมกันเพื่อระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและนำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของรถได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 5

การทดสอบระบบนำทางของรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่าง อาคารโรงพยาบาล

5.1 บทนำ

จากบทที่ผ่านมา ได้ทำการออกแบบระบบนำทางรูปแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีการตรวจจับเลนถนน และการตรวจจับด้วยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation การควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ จากที่กล่าวมาจึงจำเป็นต้องมีการประเมินผลโมเดล ด้วยการหาค่าต่าง ๆ และการทดสอบผลการเคลื่อนที่ของรถโดยมีการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบโมเดลการตรวจจับเลนถนนและสิ่งกีดขวาง
2. การทดสอบการตรวจจับเลนถนนและสิ่งกีดขวางขณะรถเคลื่อนที่
3. การทดสอบการเคลื่อนที่ของรถและการใช้พลังงาน

5.2 ผลการตรวจจับวัตถุด้วยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation

ในบทที่ 4 มีการออกแบบตรวจจับการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation โดยมีการตรวจจับ 10 คลาส แบ่งเป็น คลาสสำหรับสิ่งกีดขวาง 4 คลาส ได้แก่ รถ มนุษย์ รถไฟฟ้าส่งอาหาร เตียง วิลแชร์ และเสื่อ คลาสอื่น ๆ ได้แก่ ป้ายแดง ป้ายเขียว และป้ายเหลือง และสุดท้ายเป็น คลาสถนน โดยมีชุดข้อมูลรวม 1612 ภาพ แบ่งเป็นใช้สำหรับฝึกฝน 1412 ภาพ การตรวจสอบ 131 ภาพ และการทดสอบ 69 ภาพ

โมเดลที่ใช้ในการฝึกฝน คือ โมเดล YOLOv8 ในรุ่นต่าง ๆ เพื่อหาโมเดล YOLOv8 รุ่นที่เหมาะสมและนำไปใช้งานต่อไป ดังนั้นการประเมินโมเดลจึงจำเป็นเนื่องจากทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้สามารถเลือกโมเดล โดยการเลือกทดสอบกับโมเดล YOLOv8 4 รุ่น ได้แก่ YOLOv8s, YOLOv8n, YOLOv8m และ YOLOv8l

5.2.1 การประเมินผลโมเดล

การประเมินผลโมเดลเพื่อให้ทราบว่าโมเดลใด มีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งวิธีการการตรวจสอบโมเดลมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การใช้ Confusion Matrix ซึ่งเป็นการประเมินโมเดลจากผลการทำนายของโมเดล ด้วยอัตราส่วนของสิ่งที่คิดว่าจะเกิดต่อสิ่งที่เกิดขึ้นจริง

ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งจากแนวคิดดังกล่าวสามารถหา ค่าความถูกต้อง (*Accuracy*) ได้จากสมการที่ 5.1 ค่า *P* (*Precision*) คือ ค่าความแม่นยำ จากสมการที่ 5.2 ค่า *R* (*Recall*) คือ ค่าการเรียกคืน จากสมการที่ 5.3 ค่า *F1-Score* คือ ค่าที่ได้จากค่า *P* และ *R* มารวมกัน ใช้เพื่อวัดความสามารถของโมเดล และยังเป็นค่าที่ออกแบบมาให้เป็น Single Matrix ดังสมการที่ 5.4 และ *IoU* คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ซ้อนทับ (intersection) ของการทำนายของโมเดล (prediction) กับพื้นที่จริง (target) กับพื้นที่รวม (union) ของทั้งสอง

	Actually Positive (1)	Actually Negative (0)
Prediction Positive (1)	True Positive (TP)	False Positive (FP)
Prediction Negative (0)	False Negative (FN)	True Negatives (TN)

รูปที่ 5.1 Confusion Matrix

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad (5.1)$$

$$Precision = (TP) / (TP + FP) \quad (5.2)$$

$$Recall = (TP) / (TP + FN) \quad (5.3)$$

$$F1_Score = 2(Precision \times Recall) / (Precision + Recall) \quad (5.4)$$

$$IoU = (target \cap prediction) / (target \cup prediction) \quad (5.5)$$

โดยที่ True Positive (*TP*) คือ ค่าทำนายเป็นจริง และผลการทำนายบอกเป็นจริง
 False Positive (*FP*) คือ ค่าทำนายเป็นจริง และผลการทำนายบอกว่าเป็นจริง
 True Negative (*TN*) คือ ค่าทำนายว่าเป็นจริง และผลการทำนายบอกว่าเป็นจริง
 False Negative (*FN*) คือ ค่าทำนายว่าเป็นจริง และผลการทำนายบอกเป็นจริง

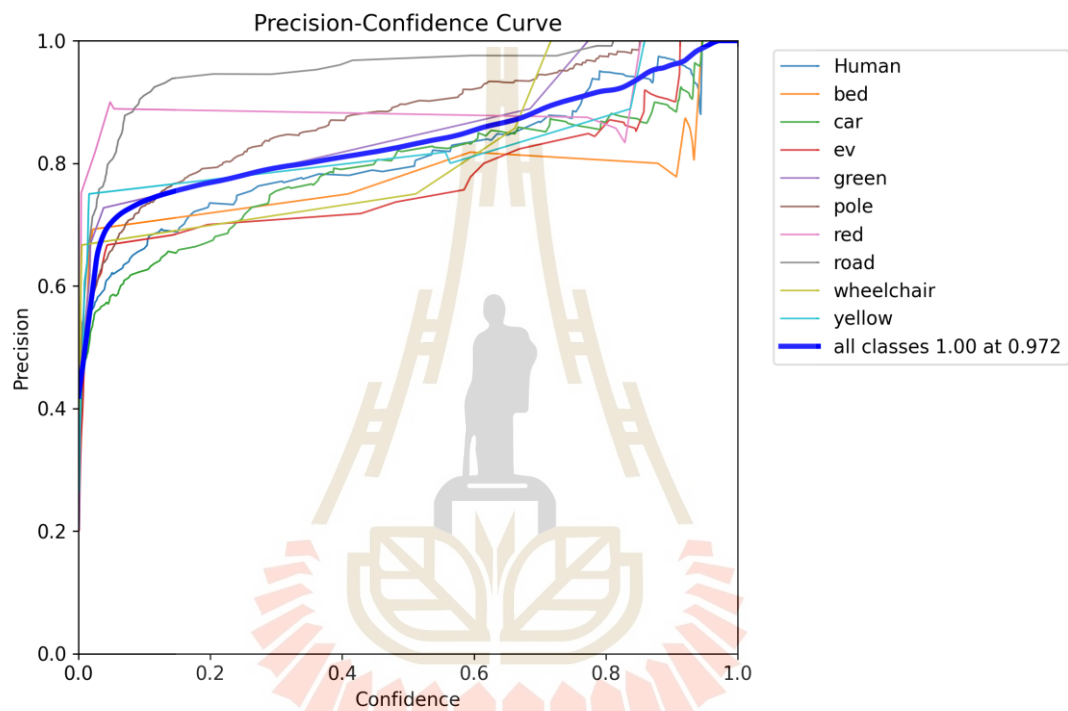
การทดสอบด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 ที่ถูกปรับเปลี่ยนให้มีน้ำหนักเพื่อเพิ่มความแม่นยำมากขึ้น โดยใช้เป็นแบบจำลองทดสอบ 4 รูปแบบ ได้แก่ YOLOv8s, YOLOv8n, YOLOv8m และ

YOLOv8l จากผลการทดสอบ ดังตารางที่ 5.1 จะได้ผลการทดสอบสำหรับแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ ดังนี้ ค่าความแม่นยำ (P) มีค่าที่ 0.877, 0.868, 0.853 และ 0.813 ตามลำดับ และค่าความลึก (R) มีค่าที่ 0.828, 0.876, 0.881 และ 0.855 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (mAP0.5) มีค่าที่ 0.891, 0.9, 0.913 และ 0.888 ตามลำดับ และพบว่าเส้นโค้งความแม่นยำ (P Curve) ที่ได้ แสดงความแม่นยำซึ่งเป็นการคาดการณ์ผลในทางเชิงบวก และในทางกลับกัน เส้นโค้งความลึก (R Curve) เป็นค่าเชิงบวกที่เกิดขึ้นจริงเมื่อคาดการณ์ว่าเป็นเชิงบวก ซึ่งมีกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความแม่นยำและความมั่นใจ และความลึกและความมั่นใจของโมเดล YOLOv8s ดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 YOLOv8n ดังรูปที่ 5.4 และ 5.5 YOLOv8m ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 และ YOLOv8l ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 พบว่าเส้นโค้งความแม่นยำมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเชื่อมั่น (Confidence) เพิ่มขึ้น ส่วนของเส้นโค้งความลึก พบว่ากราฟมีความชันลงหรือความลึกมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น แสดงว่าความลึกหรือความถูกต้องในการคาดการณ์เชิงบวกมากขึ้นตามไปด้วย ในการแยกส่วนภาพด้วย YOLO ผลการทดสอบจะมีทั้งรูปแบบของการมาร์คและแบบกล่อง เนื่องจากต้องการพิกัดของถนนในระดับพิกเซลจึงเลือกใช้เพียงแบบมาร์ค โดยตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจจับถนนและสิ่งกีดขวางที่มีการฝึกฝนผ่านโมเดล YOLOv8 พบว่าโมเดล YOLOv8s และ YOLOv8n สามารถตรวจจับถนนและสิ่งกีดขวางได้ไม่แตกต่างกัน โดยไม่สามารถตรวจจับเสาในภาพได้ครบทั้งหมด ส่วนโมเดล YOLOv8m สามารถตรวจจับถนนและสิ่งกีดขวางได้ครบถ้วน และโมเดล YOLOv8l สามารถตรวจจับถนนและสิ่งกีดขวางได้ไม่ครบถ้วนเช่นเดียวกับ โมเดล YOLOv8s และ YOLOv8n แต่มีความสามารถในการตรวจจับเสาได้มากกว่า ทั้งนี้โมเดล YOLOv8l มีพารามิเตอร์ภายในตัวโมเดลที่สูงมากกว่าโมเดล YOLOv8 เวอร์ชันอื่น ๆ ซึ่งสูงเกินกว่าที่คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการฝึกฝนสามารถทำฝึกฝนโมเดลด้วยการใช้ Batch ขนาดปกติได้ (Batch ขนาดปกติมีค่าเท่ากับ 16 อ้างอิงจากตารางที่ 4.7) ซึ่งมีการลดขนาด Batch ให้มีค่าเท่ากับ 8 ทำให้ส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำและประสิทธิภาพของโมเดล นอกจากนี้จำนวนรูปเอาต์พุตที่ผ่านการฝึกฝนด้วยโมเดล YOLOv8l มีน้อยกว่าโมเดลอื่น ๆ ดังรูปที่ 5.10 - 5.13

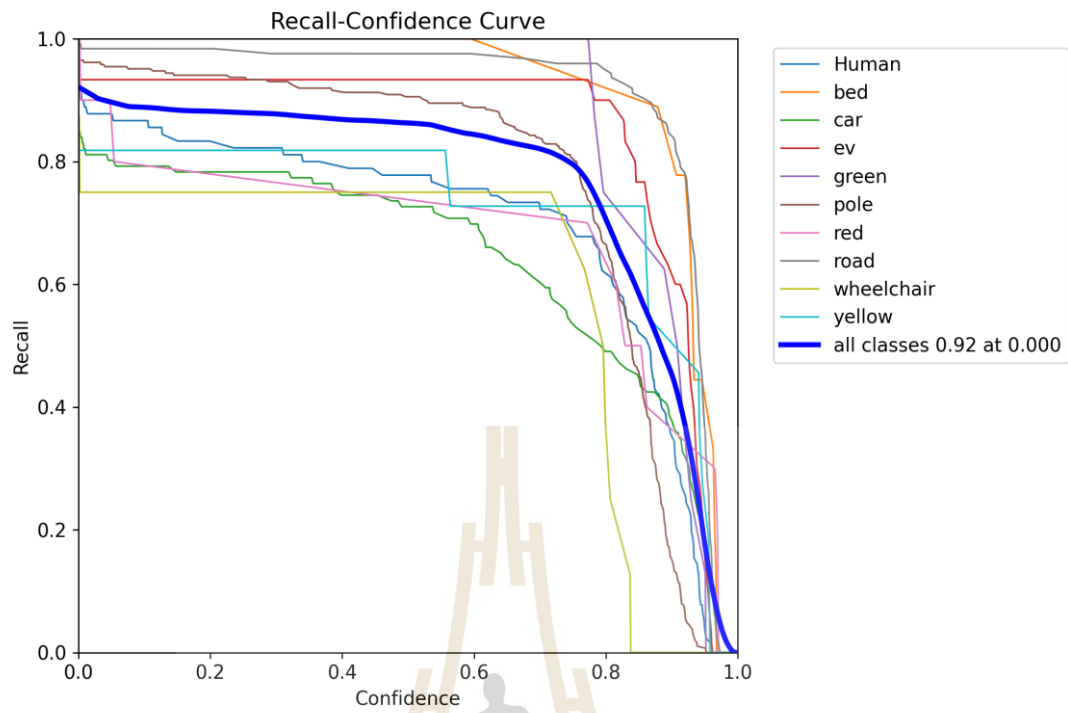
จากการเปรียบเทียบโมเดล YOLOv8 ทั้ง 4 รุ่น พบว่า โมเดลที่มีค่าความแม่นยำและค่าเฉลี่ยความแม่นยำสูงกว่าโมเดล YOLOv8 รุ่นอื่น ๆ คือ YOLOv8n และ YOLOv8m โดยในการเลือกใช้งานจริงได้เลือกใช้โมเดล YOLOv8n เนื่องจากค่าความแม่นยำและค่าเฉลี่ยความแม่นยำที่สูงกว่าโมเดล YOLOv8 รุ่นอื่น ๆ ทั้งยังมีพารามิเตอร์ภายในน้อย ทำให้สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว ซึ่งมีผลต่อการทำงานของรถไฟฟ้าไร้คนขับที่ต้องการการทำงานในรูปแบบเรียลไทม์ ทำให้รถไฟฟ้าไร้คนขับสามารถตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบโมเดล

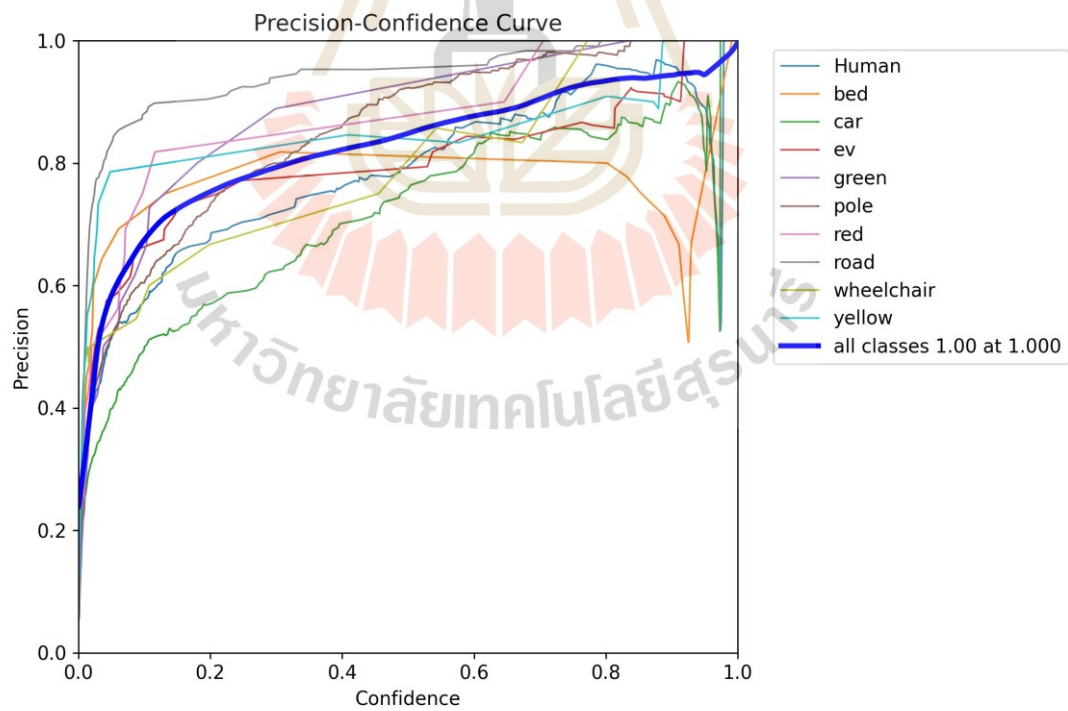
โมเดล	P	R	$mAP_{0.5}$
Yolov8s	0.877	0.826	0.891
Yolov8n	0.868	0.879	0.9
Yolov8m	0.853	0.881	0.913
Yolov8l	0.813	0.855	0.888



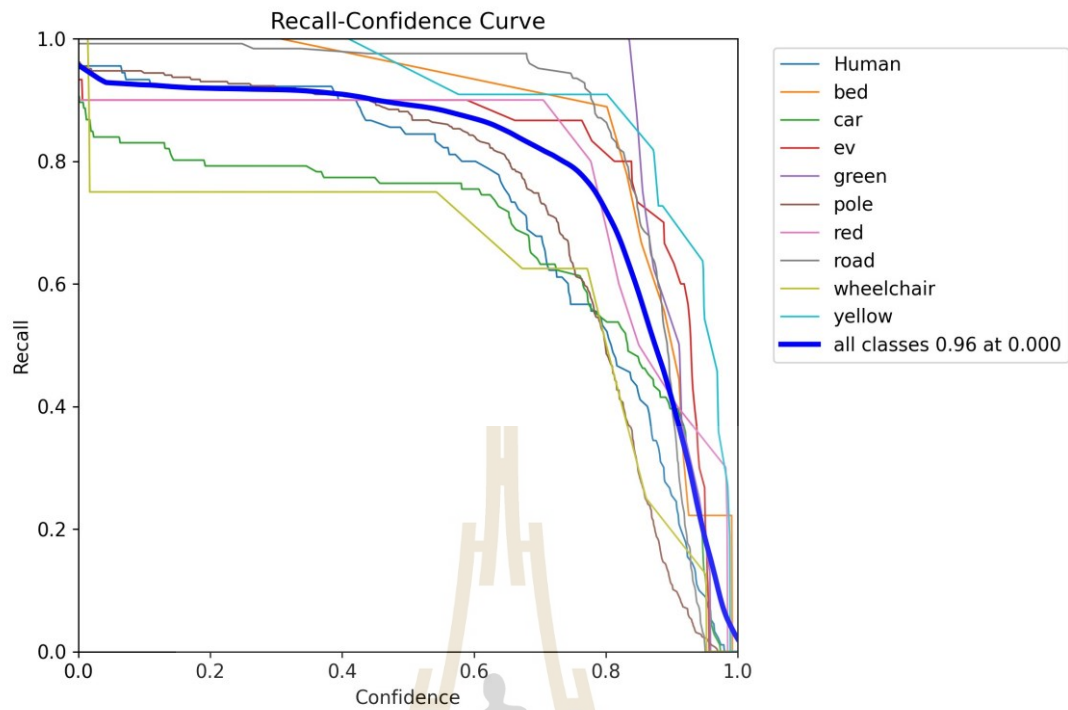
รูปที่ 5.2 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8s



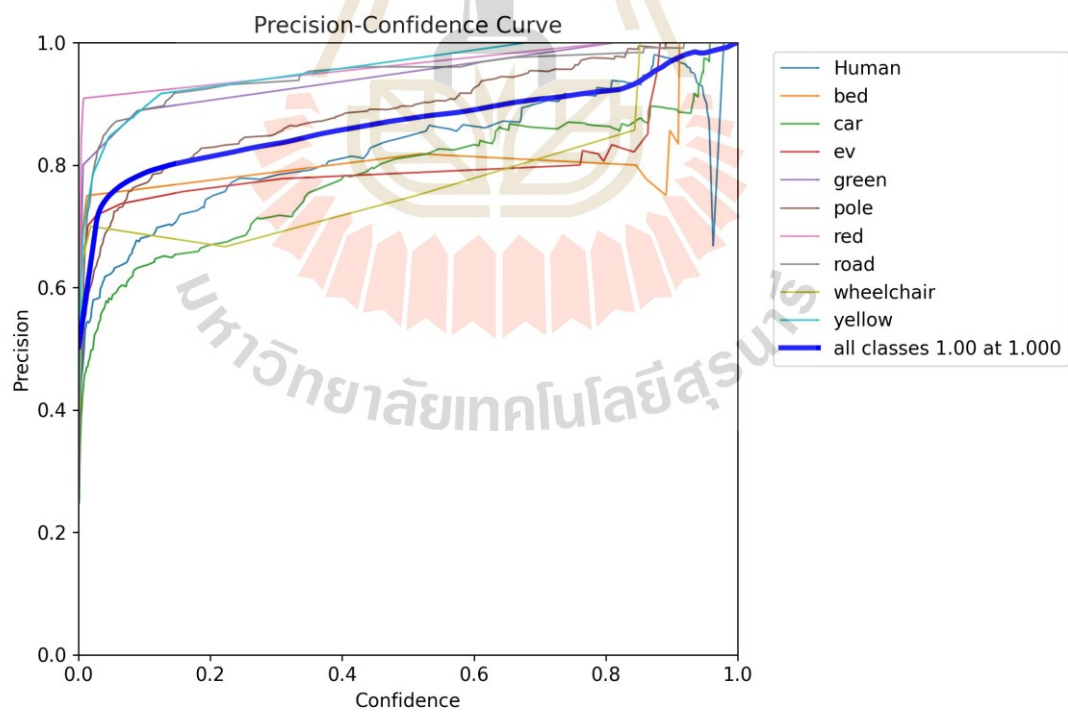
รูปที่ 5.3 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8s



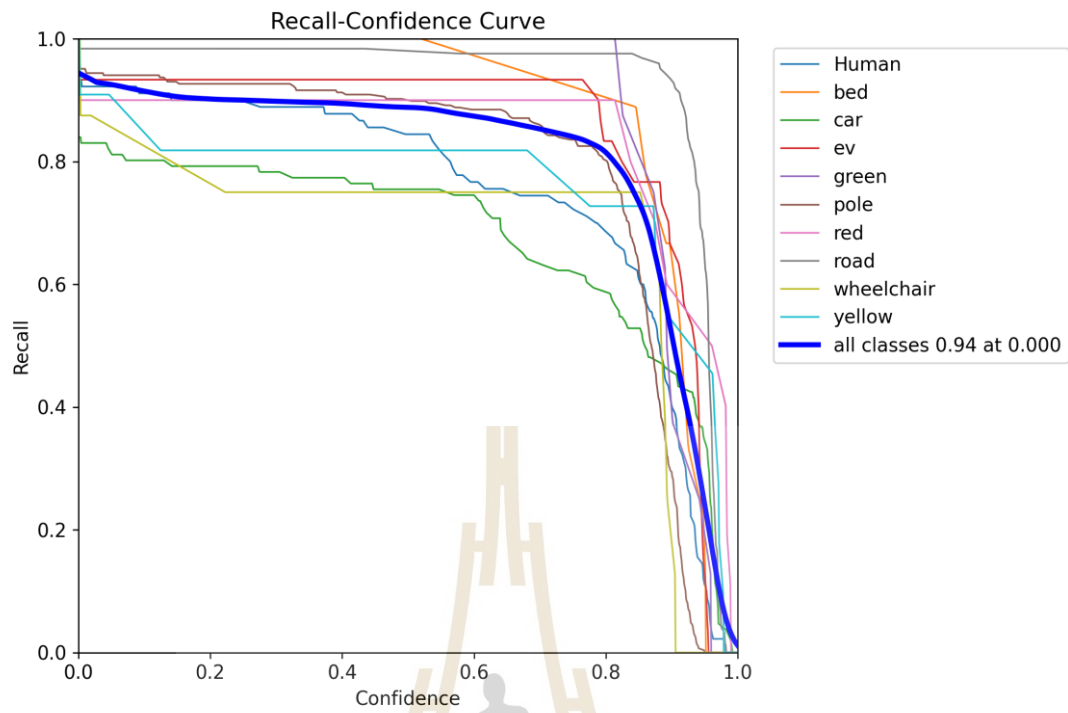
รูปที่ 5.4 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8n



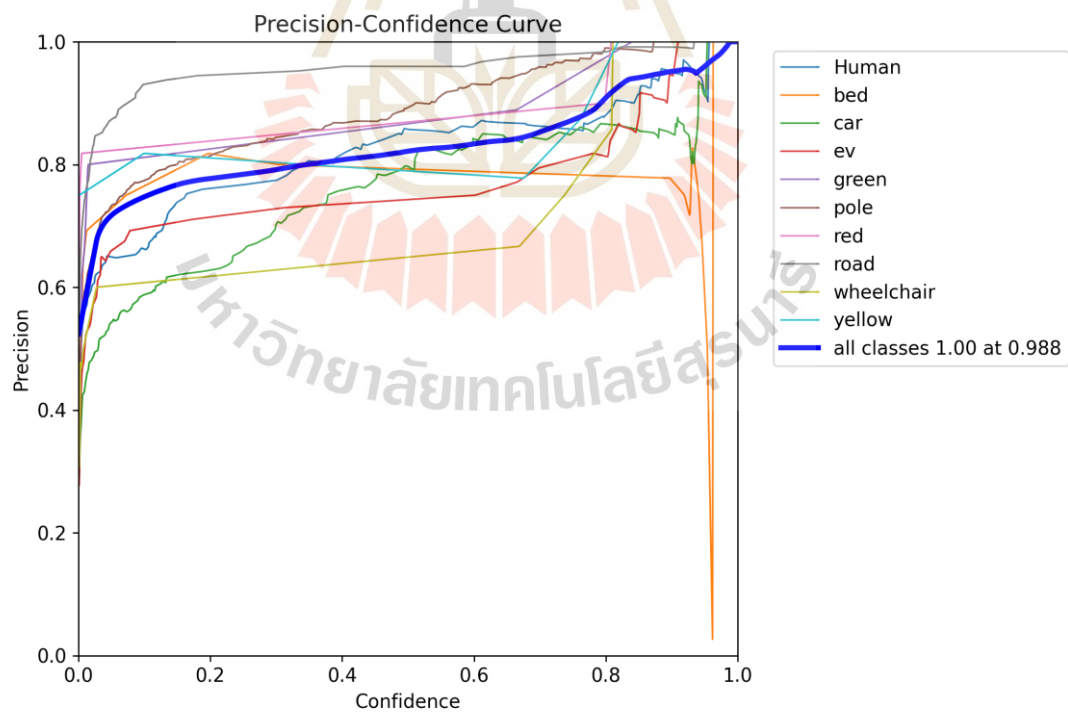
รูปที่ 5.5 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8m



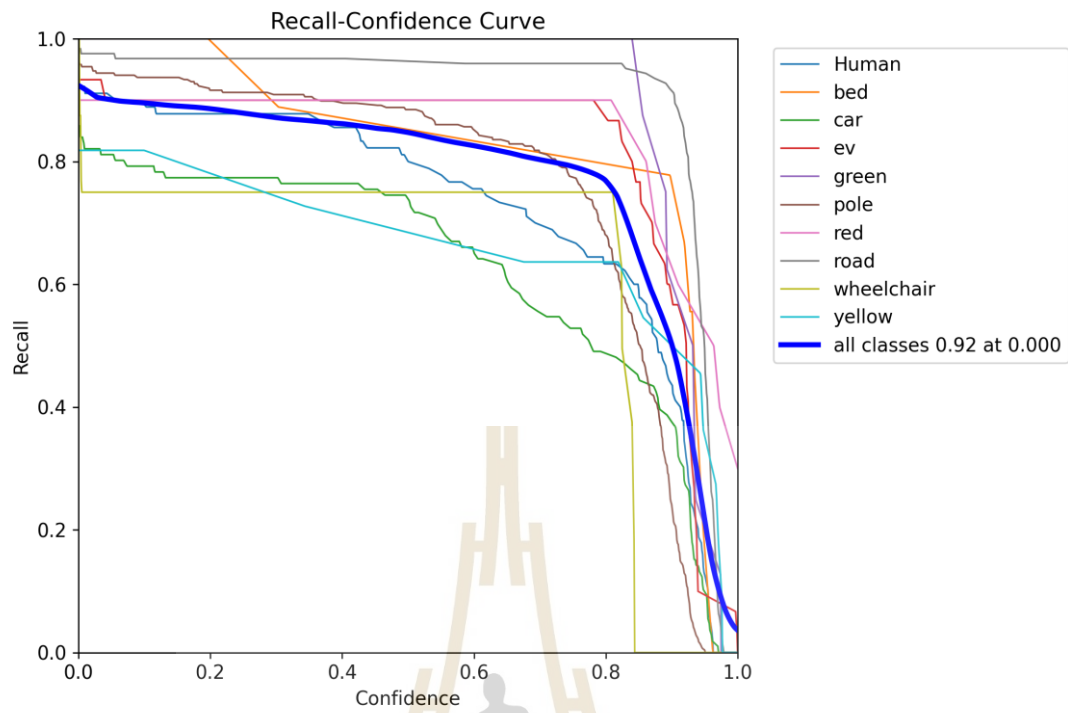
รูปที่ 5.6 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8m



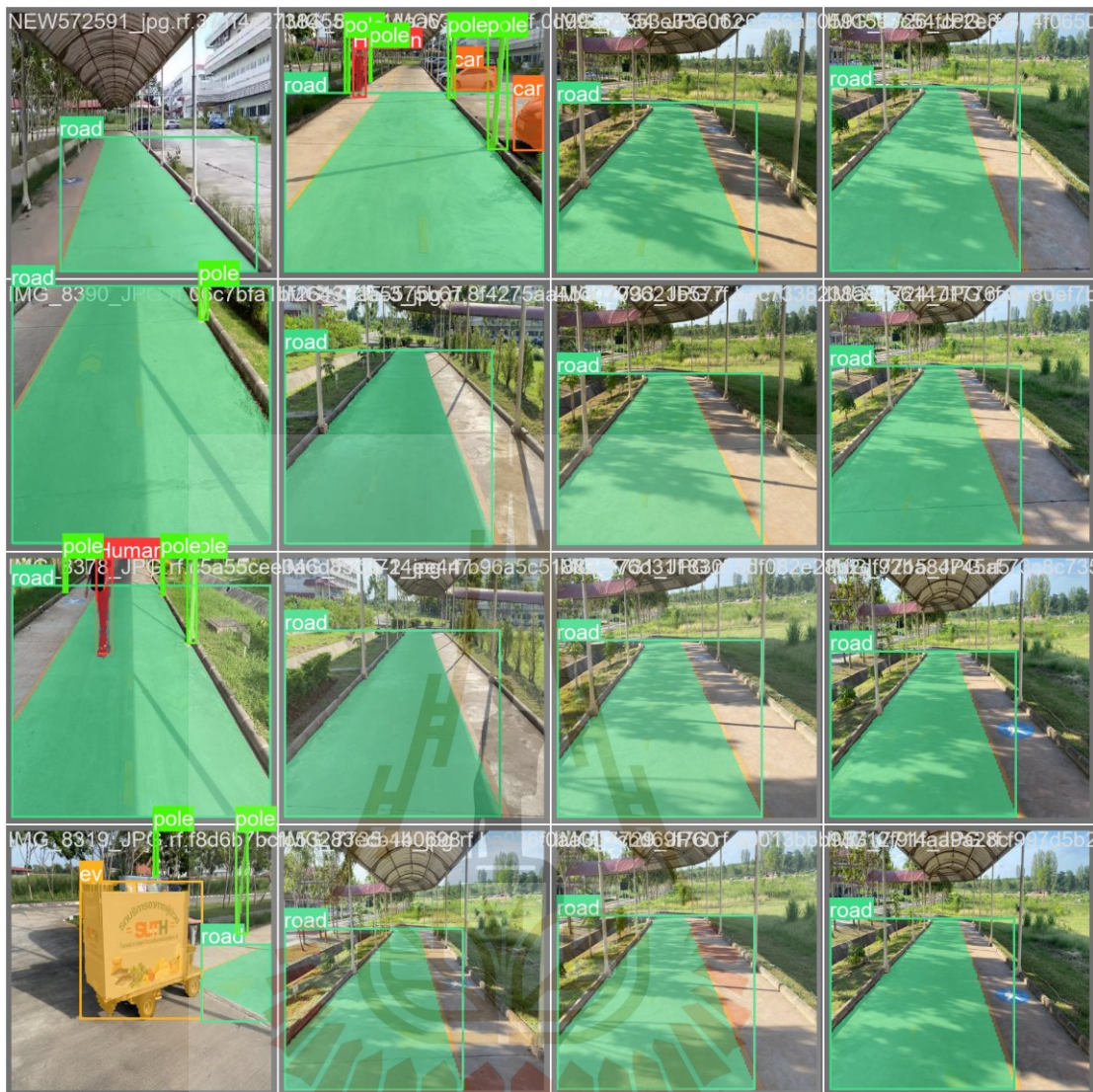
รูปที่ 5.7 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8m



รูปที่ 5.8 ผลทดสอบ P Curve ของ YOLOv8l

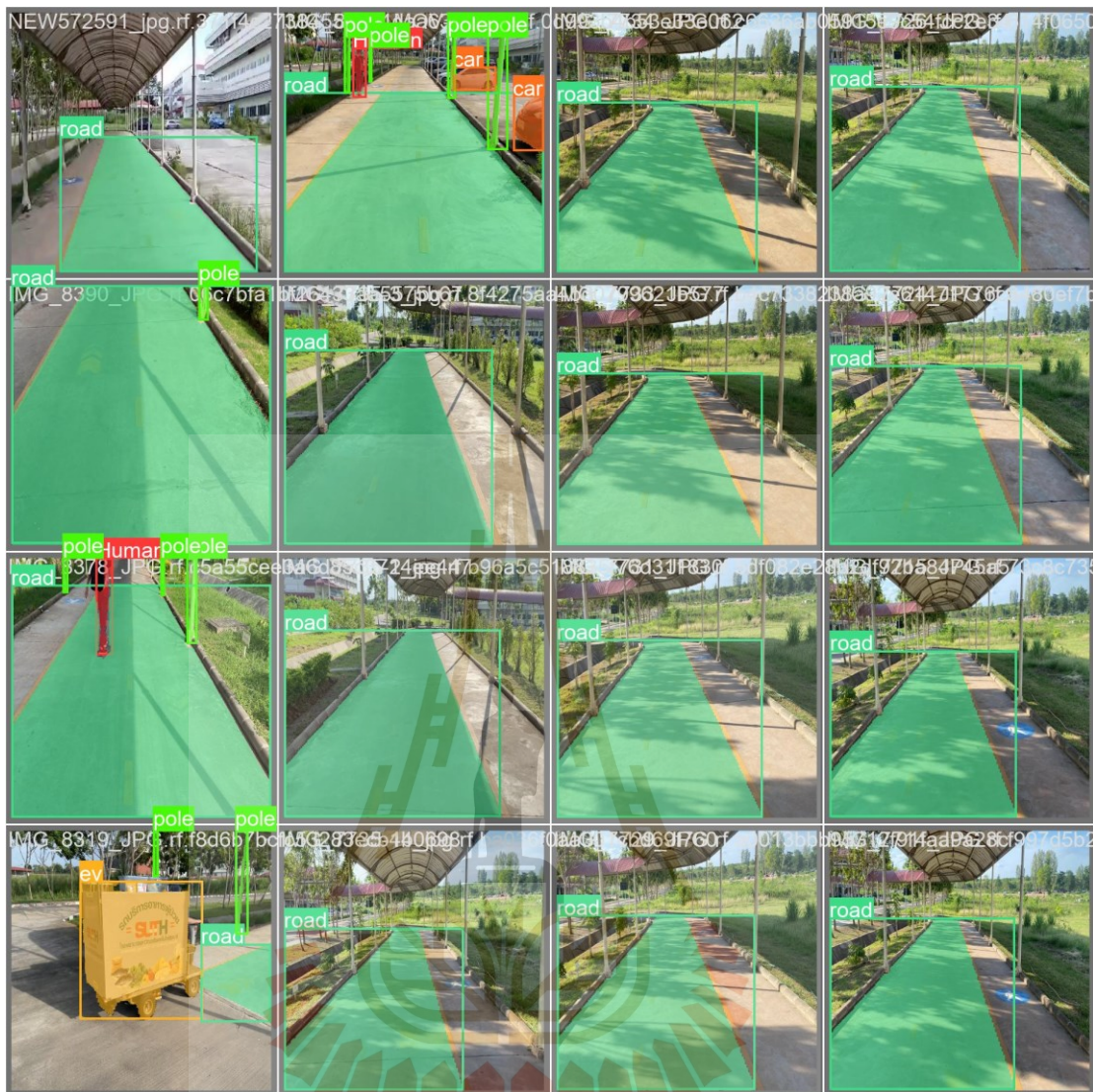


รูปที่ 5.9 ผลทดสอบ R Curve ของ YOLOv8l

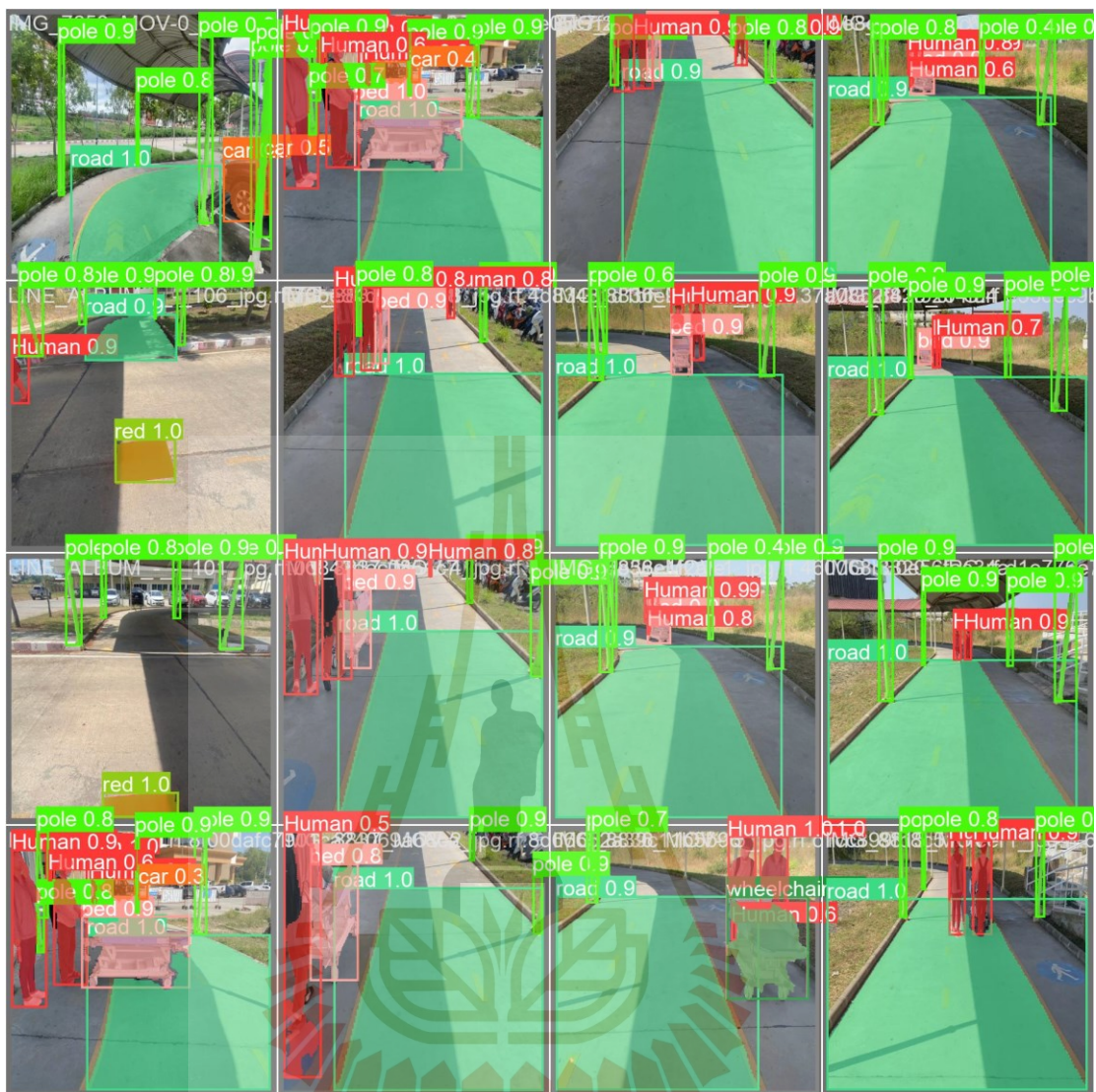


รูปที่ 5.10 ผลการทดสอบของโมเดล YOLOv8s

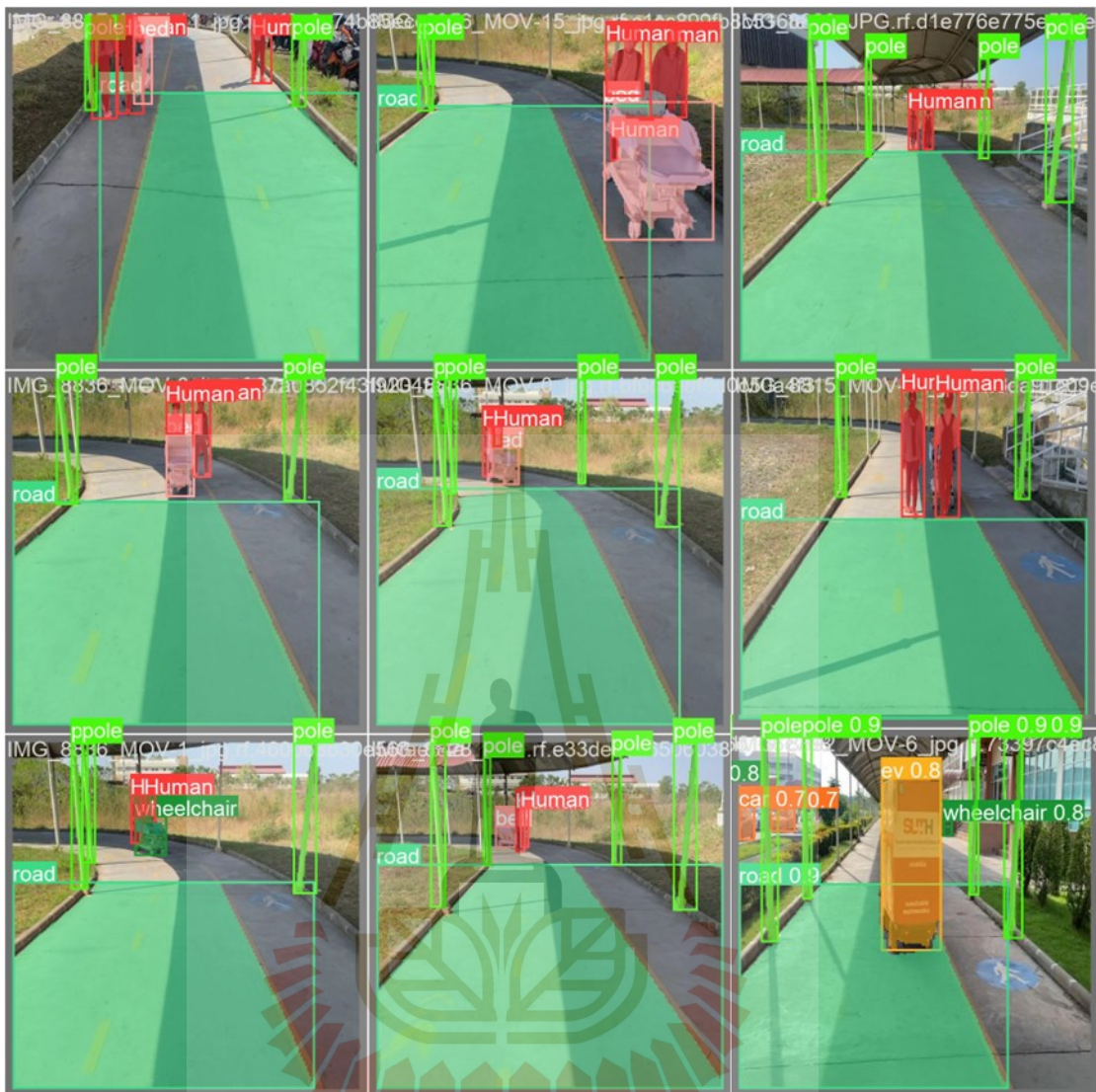
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบของโมเดล YOLOv8n



รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบของโมเดลYOLOv8m



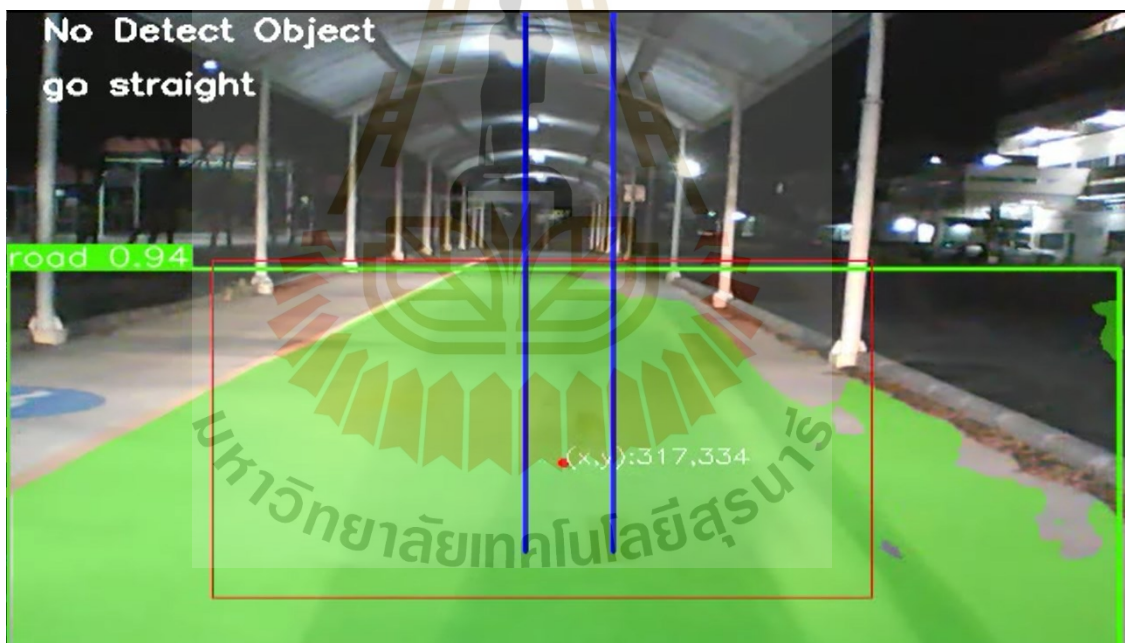
รูปที่ 5.13 ผลการทดสอบของโมเดลYOLOV8

5.2.2 ผลการตรวจจับวัตถุในระหว่างการเดินรถ

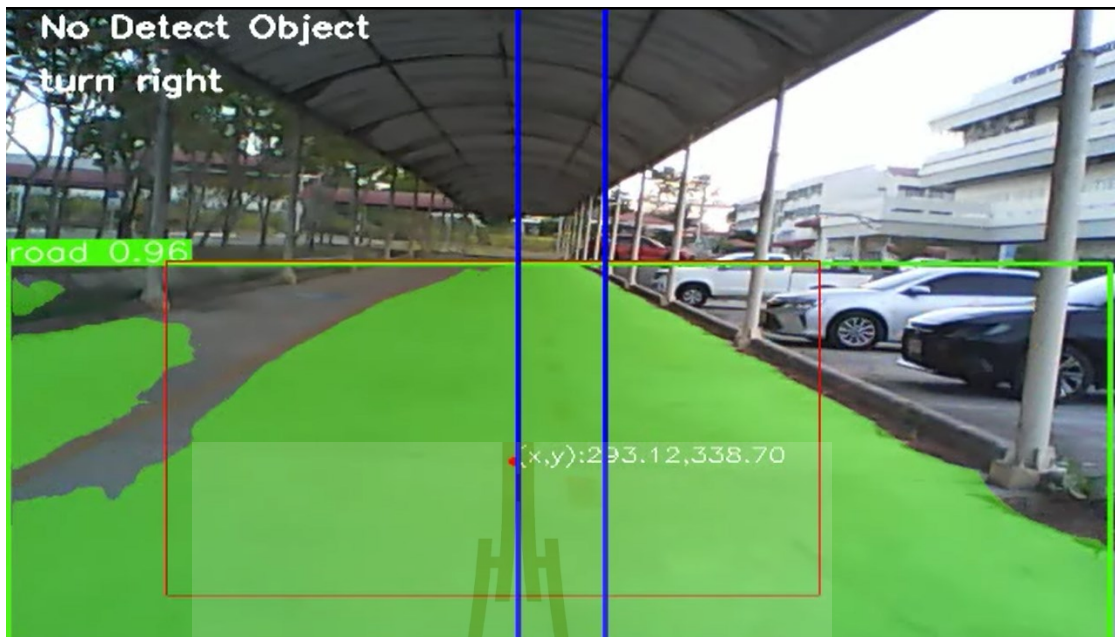
นอกเหนือจากการทดสอบหลังจากการฝึกฝนโมเดล ยังมีการเสนอการแสดงผลจากกล้องบนจอยคอมพิวเตอร์ ขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่เนื่องจากภาพที่ได้เป็นแนวทางในการสั่งการการเคลื่อนที่ ทั้งยังมีผลกับการเคลื่อนที่ เนื่องด้วยในสถานการณ์จริงมีหลายปัจจัยที่จะทำให้การแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation มีความคลาดเคลื่อนและไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้ทำให้การเคลื่อนที่ไม่ได้ตามต้องการ นอกจากนี้ยังมีความเร็วในการประมวลผลที่มีความสำคัญ เพราะการให้รถเคลื่อนที่จำเป็นต้องมีความเป็นเรียลไทม์

ในการทดสอบจะแบ่งการเคลื่อนที่ของออกเป็น 3 แบบหลัก ๆ คือ ทางตรง เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา โดยมีการสร้างกรอบแดง ซึ่งขนาดของกรอบถูกกำหนดโดยใช้จุดที่ต้องการให้รถ

เคลื่อนที่ไปเป็นจุดศูนย์กลาง ซึ่งได้จากการตรวจจับและดึงค่าตำแหน่งของถนนบนจอภาพ โดยตำแหน่งของถนนที่ตรวจจับได้จะแสดงในรูปแบบจุดสีแดงที่เป็นคู่พิกัด x และ y โดยวิธีการดึงค่าตำแหน่งของถนนกล่าวไปแล้วดังบทที่ 4 โดยกรอบแดงในภาพเป็นส่วนที่มีการติดตามผลการเคลื่อนที่ของวัตถุที่รู้จัก (วัตถุที่มีการฝึกในโมเดล) ที่จับได้จากกล้องแล้วทำตามเงื่อนไขที่ออกแบบมา โดยการหยุดรอให้มีการเคลื่อนที่ออกไปเอง นอกจากนั้นเพื่อให้ทราบว่าต้องรถเคลื่อนที่ไปในทางใดทำให้กำหนดเส้นสีน้ำเงินเพื่อแบ่งแนวทางการเคลื่อนที่ของรถเป็น 3 กรณี คือ กรณีแรกจุดแดงอยู่ตรงกลางของเส้นสีน้ำเงินรถจะเคลื่อนที่ตรง ดังรูปที่ 5.14 กรณีที่สองจุดสีแดงอยู่ด้านซ้ายของเส้นสีน้ำเงินทั้งสองเส้นรถจะเคลื่อนที่โดยการเลี้ยวซ้าย ดังรูปที่ 5.15 กรณีที่สามจุดสีแดงอยู่ด้านขวาของเส้นสีน้ำเงินทั้งสองเส้นรถจะเคลื่อนที่โดยการเลี้ยวขวา ดังรูปที่ 5.16 โดยหากตรวจจับสิ่งกีดขวางได้จะแสดงพิกัดของสิ่งกีดขวางเช่นเดียวกับถนนและค่าความมั่นใจของวัตถุที่ตรวจจับด้วย ซึ่งเมื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางและระบุพิกัดได้ว่าอยู่ในกรอบแดงจะหยุดเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.17



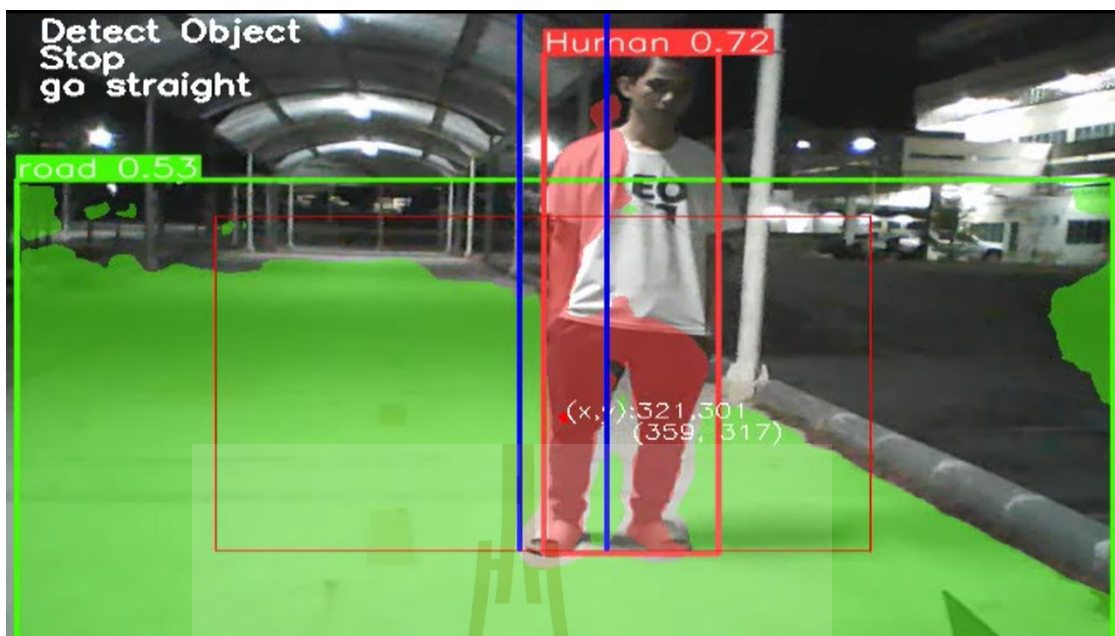
รูปที่ 5.14 กล้องหน้ารถขณะทางตรง



รูปที่ 5.15 กล้องหน้ารถขณะทางเลี้ยวซ้าย



รูปที่ 5.16 กล้องหน้ารถขณะทางเลี้ยวขวา



รูปที่ 5.17 กล้องหน้ารถขณะมีสิ่งกีดขวางที่รู้จัก

5.3 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถ

ในการเคลื่อนที่ของรถซึ่งมีความเร็ว 0.7 เมตร/วินาที ในการเคลื่อนที่ของจากอาคาร โภชนาการไปยังศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ของรถ 1 รอบ ซึ่งใช้เวลาโดยประมาณ 5-10 นาที ในระยะทาง 526 เมตร การเคลื่อนที่ของรถ ดังรูปที่ 5.18 และการทดสอบการหยุดรถเมื่อมีสิ่งกีดขวาง 5.19

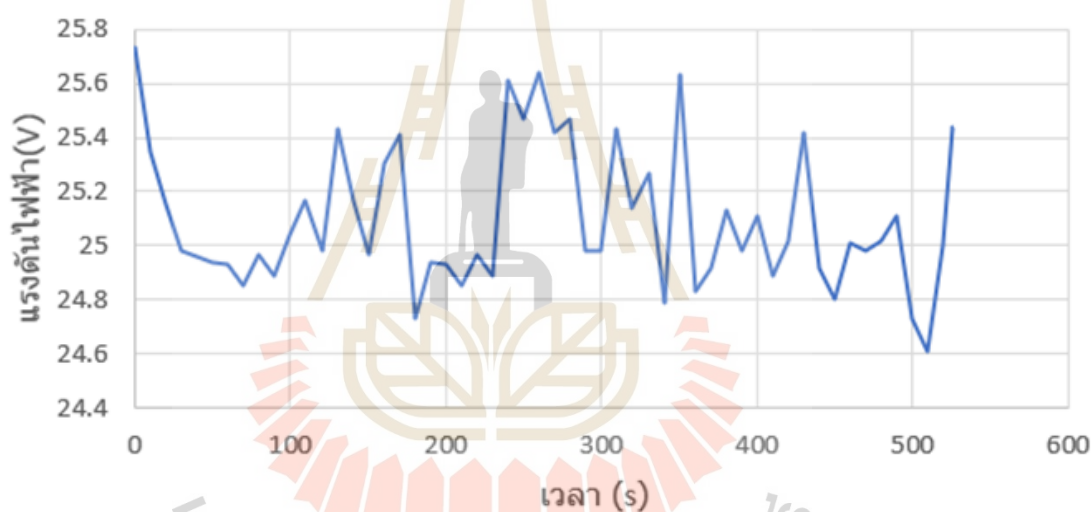


รูปที่ 5.18 ภาพการเคลื่อนที่ของรถ

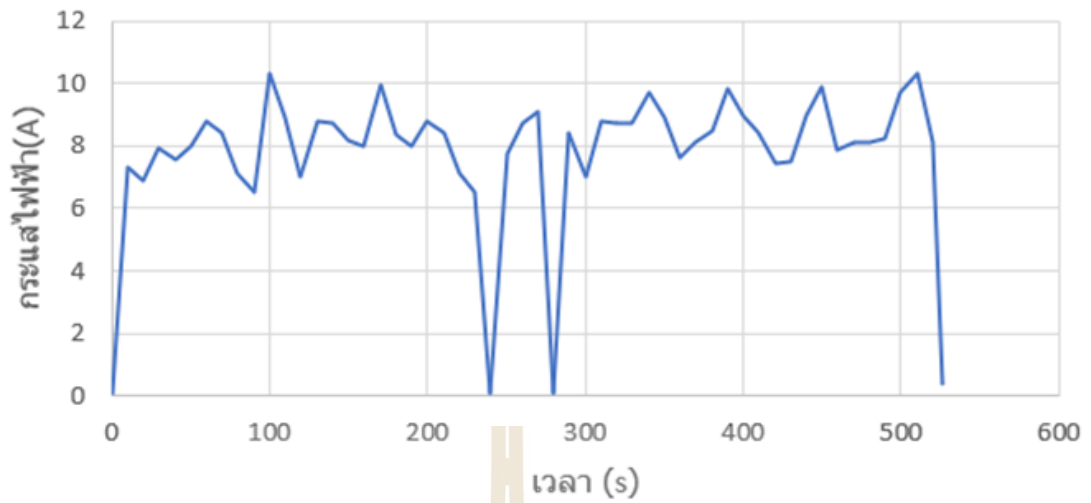


รูปที่ 5.19 การหยุดการเคลื่อนที่เมื่อมีสิ่งกีดขวาง

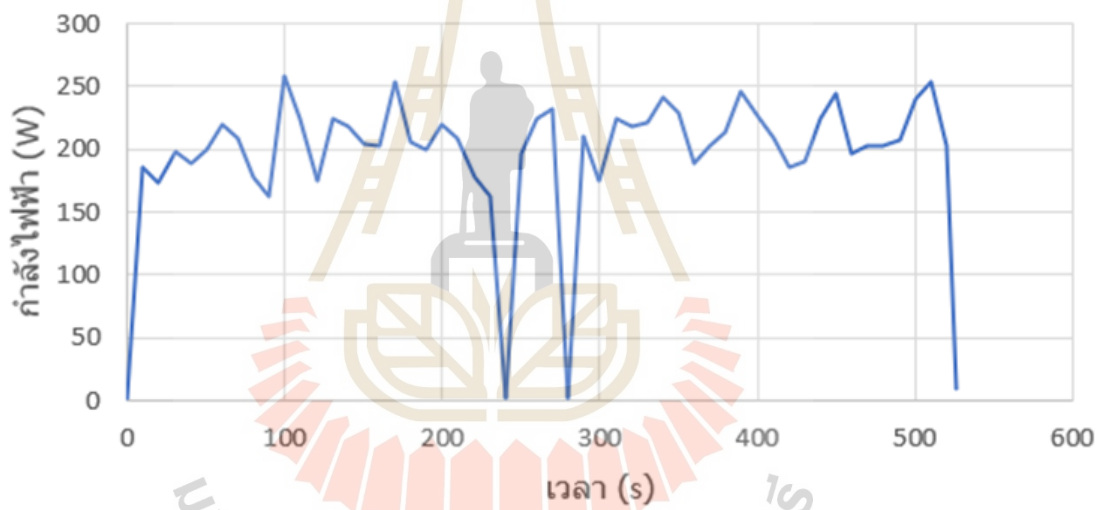
นอกจากการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถ การวัดพลังงานจากเครื่องวัดพลังงาน PZEM003/017 ดำเนินการโดยการวัดผลการเคลื่อนที่ 1 รอบ ระยะทาง 526 เมตร ค่าพลังงานจากแบตเตอรี่ โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ซึ่งเก็บค่าทุก ๆ 10 วินาที โดยมีกราฟแรงดันไฟฟ้าเทียบกับเวลา กระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา และการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา ดังรูปที่ 5.20 - 5.22 ตามลำดับ จากกราฟพบว่ารถไฟฟ้าไร้คนขับมีการใช้พลังงานที่ต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการที่อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดบนรถไฟฟ้ามีการทำงานที่ต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เช่น ในกรณีที่รถหยุดจะไม่มีมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์ขับเคลื่อน ดังนั้นจึงมีการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าด้วยซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดพลังงาน PZEM003/017 ในกรณีการเคลื่อนที่รถรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ กรณีรถหยุดการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.23 กรณีรถเคลื่อนที่ตรง ดังรูปที่ 5.24 และกรณีรถเข้าสู่ช่วงเข้าโค้ง ดังรูปที่ 5.25



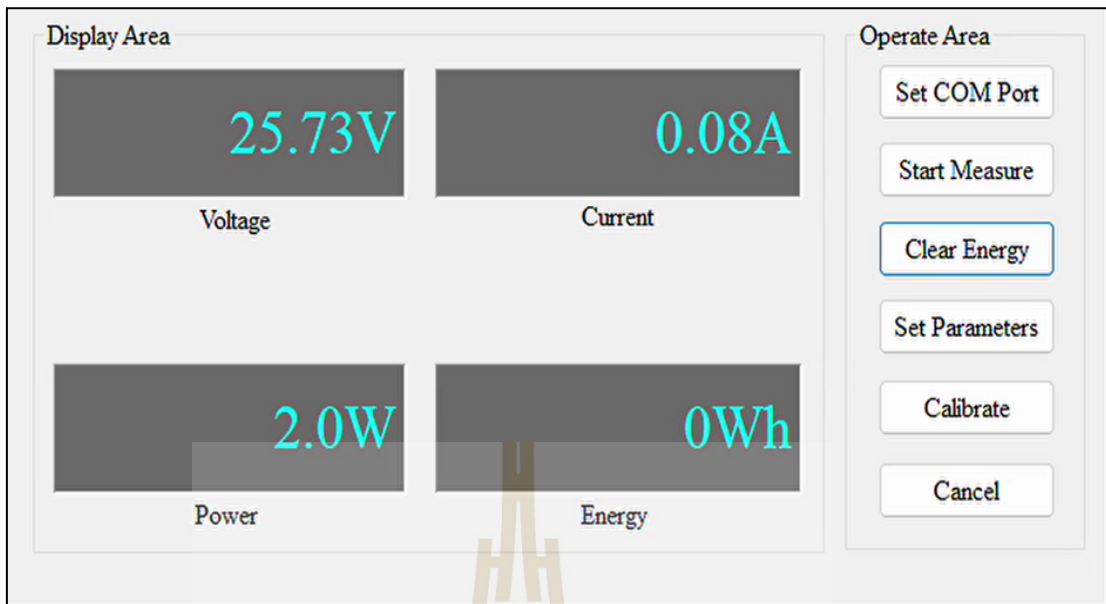
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับเวลา



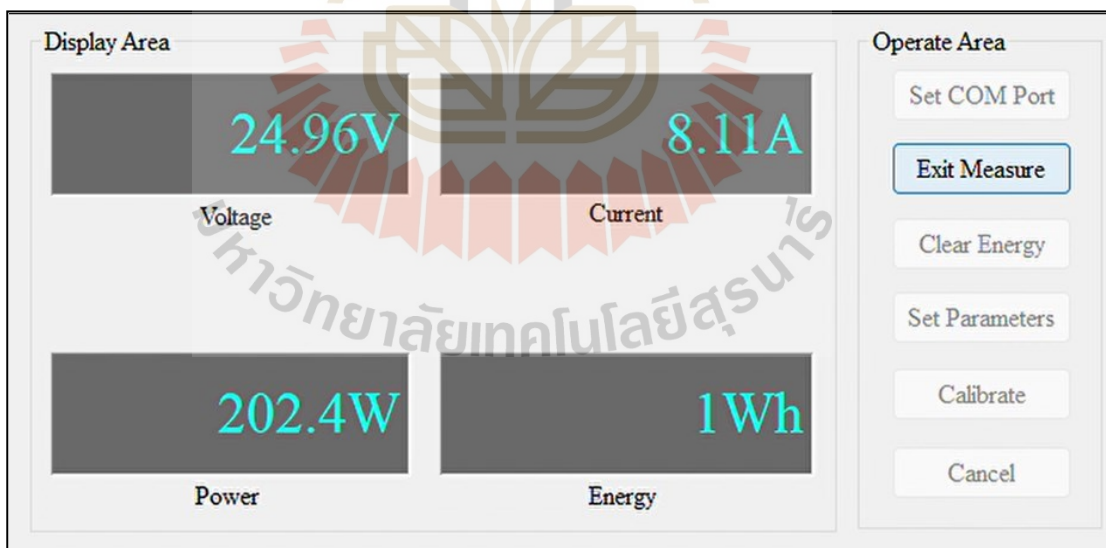
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับเวลา



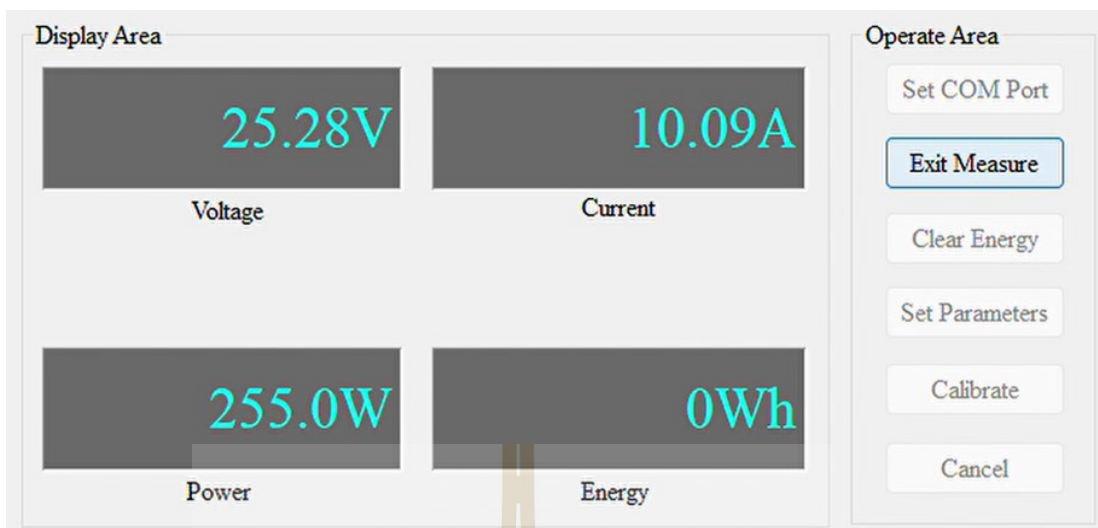
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับเวลา



รูปที่ 5.23 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า กรณีรถหยุด



รูปที่ 5.24 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า กรณีรถเคลื่อนทางตรง



รูปที่ 5.25 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า กรณีรถเข้าโค้ง

จากรูปที่ 5.23 – 5.25 พบว่ารถไฟฟ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในแต่ละกรณีมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแต่ละกรณีมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่างกัน ดังจะเห็นว่าในกรณีที่รถหยุดการเคลื่อนที่พบว่ามีกระแสดึงกระแสไฟฟ้าน้อยเนื่องจากการไม่มีการจ่ายกระแสไฟให้อุปกรณ์ไฟฟ้า ในกรณีเมื่อสั่งให้รถเคลื่อนที่จึงจะเริ่มมีการจ่ายกระแสให้อุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากนี้ในกรณีที่รถเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ต่างกันก็มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่างกัน ดังจะเห็นว่าการเคลื่อนที่ของรถในทางตรงจะมีกระแสไฟฟ้าที่ใช้ 8.11 A ส่วนในกรณีที่รถมีการเข้าโค้งจะมีกระแสไฟฟ้าถึง 10.09 A โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการพลังงานในขณะเข้าโค้ง คือ มอเตอร์สำหรับระบบบังคับเลี้ยว

5.4 สรุป

ในหัวข้อที่ 5 นำเสนอผลการทดสอบ ดังนี้ คือ ผลการทดสอบโมเดลที่ใช้ในการตรวจจับ Instance Segmentation ผลการทดสอบการตรวจจับวัตถุด้วย Instance Segmentation ในการทดสอบโมเดล YOLOv8 มีการใช้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าเรียกคืน (Recall) นอกจากนั้นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ซ้อนทับ(intersection) ของการทำนายของโมเดล(prediction) กับพื้นที่จริง (target) กับพื้นที่รวม (union) ของทั้งสอง ด้วยการใช้โมเดล YOLOv8 ทั้ง 4 แบบ คือ YOLOv8s, YOLOv8n, YOLOv8m และ YOLOv8l ซึ่งมีการประเมินโมเดลจากค่าที่กล่าวไปข้างต้น จากผลการประเมินพบว่าโมเดล YOLOv8n เหมาะสมกับการนำมาใช้งานมากที่สุด เพราะนอกจากประสิทธิภาพของโมเดลแล้วนั้นค่าพารามิเตอร์ในตัวโมเดลก็เป็นส่วนสำคัญเนื่องโมเดลที่มีจำนวนพารามิเตอร์น้อยก็จะสามารถประมวลผลได้เร็วกว่าโมเดลที่มีจำนวนพารามิเตอร์มาก

นอกจากนี้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถและวัดการใช้พลังงาน พบว่ามีค่าการใช้พลังงานในแต่ละกรณีที่แตกต่างกัน เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ในแต่ละกรณีที่แตกต่างกัน โดยในการเคลื่อนที่ของรถมีระยะ 526 เมตร ด้วยความเร็ว 0.7 เมตร/วินาที ในการเคลื่อนที่ทางตรงมีค่ากระแสไฟฟ้า 8.11 A และทางโค้งมีค่ากระแสไฟฟ้า 10.09 A



บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการพัฒนาระบบนำทางอัตโนมัติของรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีจุดประสงค์ในการพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับให้สามารถขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารของโรงพยาบาลได้โดยอัตโนมัติแทนการใช้พนักงานในการขับชี่ โดยมีลำดับขั้นตอนของการพัฒนา 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ข้อกำหนดในการออกแบบและพัฒนา 2) การออกแบบและพัฒนาโครงสร้าง 3) การออกแบบหาขนาดมอเตอร์ขับเคลื่อน 4) การออกแบบหาขนาดมอเตอร์บังคับเลี้ยว 5) การประยุกต์ใช้เทคนิคการแบ่งส่วน Instance Segmentation 6) การออกแบบระบบนำทางอัตโนมัติและตรวจจับสิ่งกีดขวาง และ 7) การออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนและมอเตอร์บังคับเลี้ยว หลังจากการพัฒนาและออกแบบรถไฟฟ้าไร้คนขับได้มีการทดสอบคุณสมบัติของรถไฟฟ้าไร้คนขับหลากหลายกรณีศึกษา โดยแบ่งเป็นการทดสอบผลการตรวจจับวัตถุและการทดสอบผลการเคลื่อนที่และพลังงานที่ใช้ของรถไฟฟ้าไร้คนขับ จากผลการทดสอบด้านการตรวจจับวัตถุ ซึ่งได้นำเสนอการตรวจจับรูปแบบการแบ่งส่วนภาพ Instance Segmentation ด้วยโมเดล YOLOv8 และเปรียบเทียบผลด้วยการใช้ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าการเรียกคืน (Recall) และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (mAP0.5) ซึ่งโมเดล YOLOv8n เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจที่สุด โดยมีค่า 0.868, 0.879 และ 0.9 ตามลำดับ นอกเหนือจากค่าที่กล่าวมา โมเดลนี้มีพารามิเตอร์จำนวนน้อยกว่าโมเดลอื่น ๆ ผลให้สามารถใช้ในระบบที่เป็นเรียลไทม์ได้มีประสิทธิภาพและในส่วนของ การทดสอบการเคลื่อนที่ทั้งในทางตรงและโค้ง ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่ออกแบบ และมีการใช้กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าของรถขนส่งอัตโนมัติมีแนวโน้มที่เป็นไปตามหลักการการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนรถตามการคำนวณในทิศทางเดียวกัน

สำหรับการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกของการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation ในการพัฒนารถไฟฟ้าไร้คนขับขนส่งเวชภัณฑ์ระหว่างอาคารในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีขั้นตอนการพัฒนา 7 ขั้นตอนดังที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งรูปแบบการนำทางของรถไฟฟ้าไร้คนขับมีการนำเซ็นเซอร์กล้องมาใช้ร่วมกันกับเซ็นเซอร์ไลดาร์ โดยมีการทำงานร่วมกันของเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิด (Sensor fusion) และมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการตรวจจับเลนถนนและ

ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation ซึ่งสามารถตรวจจับเลนถนนและสิ่งกีดขวางที่มีการฝึกฝนผ่านโมเดลได้ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนำทางอัตโนมัติ มีการนำเซ็นเซอร์ไลดาร์มาใช้ ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางนอกเหนือจากการวัดระยะที่มีการฝึกฝนผ่านโมเดล ทำให้รถไฟฟ้าไร้คนขับมีความปลอดภัยมากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

1. พัฒนางานวิจัยนี้โดยใช้ระบบ ROS (Robot Operating System) ด้วยการใช้ LIDAR ในการสร้างแผนที่ เพื่อสามารถนำทางภายในตัวอาคารได้
2. ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และตัวประมวลผลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. พัฒนาโครงสร้างของรถให้เหมาะสมกับการใช้งานในระบบนำทางอัตโนมัติ
4. พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับสั่งการและติดตามรถ



รายการอ้างอิง

- กอบเกียรติ สระอุบล. (2565). เรียนรู้ AI: Deep learning ด้วย Python. ตีพิมพ์ครั้งที่ 1. หสม สำนักพิมพ์อินเตอร์มีเดีย.
- ชญณ ชินประสาทศักดิ์, ปรีชา อินทร์สุข, นันทนัช พุสามปือก, ญัฐพล สนพะเนา. (2566). แก่นแท้ของ Deep learning : AI ฉบับอธิบายด้วยภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- มงคล ลาดชูย, ภาคิน ขบขัน, วสุพล กุลเกลี้ยง, ญัฐชัย โปธิ. (2564). การออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ. Journal of Information Science and Technology.
- โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2021). ส่วนแผนงาน. ข้อมูลงบประมาณที่. นครราชสีมา.
- วงศธร อ่างเข้ม. (2565). การพัฒนารถกอล์ฟอัตโนมัติสำหรับขนส่งผู้โดยสารระหว่างอาคาร (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- วโรดม ตูจินดา. (2556). โครงข่ายประสาทเทียมและการเรียนรู้เชิงลึก. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- ศุภชัย แก้วพวง. (2566). การพัฒนาระบบขนส่งแบ่งปันสำหรับในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยรถขนส่งอัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว, เฉลิมพล หลงจาด. (2551). การตรวจจับถนนด้วยภาพสำหรับนำวิถีอัตโนมัติในพาหนะแบบขาลูก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080>
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2555). การตรวจจับถนนด้วยภาพสำหรับระบบนำวิถีอัตโนมัติในพาหนะแบบขาลูก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080>
- Anmol Sharma, Maneesh Kumar and Rajesh Kumar, "Lane Detection Using Python," 2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N), Greater Noida, India, 2021, pp. 88-90, doi: 10.1109/ICAC3N53548.2021.9725626.
- Ata Jahangir Moshayedi, Jinsong Li and Liefu Liao, "AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance", 2019 Journal of Simulation & Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering 12

- A. M. Tayde, Sanket P. Golhar, Shital R. Ughade and Nikita Ramdas Kakde. (2019). Design of Rack and Pinion Steering System for all Terrain Vehicle. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Vol. 06, pp. (612-615).
- Chuanhong Zhou and Xinchang Liu, "The Study of Applying the AGV Navigation System Based on Two Dimensional Bar Code," 2016 International Conference on Industrial Informatics - Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICII), Wuhan, China, 2016, pp. 206-209, doi: 10.1109/ICIICII.2016.0057.
- D. Deepa, Sivasangari A, Roonwal R. and Nayan R, "Pothole Detection using Roboflow Convolutional Neural Networks," 2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, India, 2023, pp. 560-564, doi: 10.1109/ICICCS56967.2023.10142700.
- Gad M. Gad, Ahmed M. Annaby, Nermin K. Negied and Saeed M. Darweesh, "Real-Time Lane Instance Segmentation Using SegNet and Image Processing," 2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES), Giza, Egypt, 2020, pp. 253-258, doi: 10.1109/NILES50944.2020.9257977.
- Gangchang Ren, Changsheng Ai, Qiang Xu, Zhe Wang, Zhiyong Wang, and Dunyang Geng, "Research on Indoor and Outdoor Navigation Technology Based on the Combination of Differential GNSS and Lidar SLAM," 2020 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR), Asahikawa, Japan, 2020, pp. 134-139, doi: 10.1109/RCAR49640.2020.9303252.
- Heltin G. C, Rajaji P, and Rahul S, "Detection of Lane and Speed Breaker Warning System for Autonomous Vehicles using Machine Learning Algorithm," 2022 Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICT), Kannur, India, 2022, pp. 401-406, doi: 10.1109/ICICT54557.2022.9917716.
- Isaiah F. E. Babila, Shawn A. E. Villasor and Jennifer C. D. Cruz, "Object Detection for Inventory Stock Counting Using YOLOv5," 2022 IEEE 18th International Colloquium on Signal Processing & Applications (CSPA), Selangor, Malaysia, 2022, pp. 304-309, doi: 10.1109/CSPA55076.2022.9782028.

- I. Tharindu Lakmal, K. L. A. Nuwan Perera, H. A. Harindu Y. Sarathchandra and C. Premachandra, "SLAM-Based Autonomous Indoor Navigation System For Electric Wheelchairs," 2020 International Conference on Image Processing and Robotics (ICIP), Negombo, Sri Lanka, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIP48927.2020.9367336.
- Juan Dixon, "Energy storage for electric vehicles" 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology, Via del Mar, Chile, 2010, pp. 20-26, doi: 10.1109/ICIT.2010.5472647.
- Choi J. D and Kim M. Y, "A sensor fusion system with thermal infrared camera and LiDAR for autonomous vehicles and deep learning based object detection," ICT Express (2022)
- Kittapol Chatwongtong, Thanatchai Kulworawanichpong and Tosaphol Ratniyomchai, "Energy Saving with On-board Supercapacitors in MRT Purple Line, Bangkok," 2021 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), Nakhon Ratchasima, Thailand, 2021, pp. 77-80, doi: 10.1109/ICPEI52436.2021.9690672.
- L. Lynch, T. Newe, J. Clifford, J. Coleman, J. Walsh, and D. Toal, "Automated Ground Vehicle (AGV) and Sensor Technologies- A Review," 2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST), Limerick, Ireland, 2018, pp. 347-352, doi: 10.1109/ICSensT.2018.8603640.
- L. Xu, Y. Li, Y. Sun, L. Song and S. Jin, "Leaf Instance Segmentation and Counting Based on Deep Object Detection and Segmentation Networks," 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), Toyama, Japan, 2018, pp. 180-185, doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2018.00038.
- M. N. Tamara, A. Darmawan, N. Tamami, C. sugianto, S. Kuswadi and B. Pramujati, "Electronics System Design for Low Cost AGV Type Forklift," 2018 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST), Manado, Indonesia, 2018, pp. 464-469, doi: 10.1109/iCAST1.2018.8751559.

- Mohanapriya S, Mohana S. S, Sumithra P, Swathi M and Yoga P. P, "Instance Segmentation using Mask RCNN for Surveillance," 2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, India, 2022, pp. 235-241, doi: 10.1109/ICCMC53470.2022.9753924.
- Nandhakumar R G and Mohanapriya S, "Smart Baby Monitoring System using YOLO V7 Algorithm," 2022 International Conference on Information Technology Research and Innovation (ICITRI), Jakarta, Indonesia, 2022, pp. 42-47, doi: 10.1109/ICITRI56423.2022.9970217
- R. S. Mamidala, U. Uthkota, M. B. Shankar, A. J. Antony, and A. V. Narasimhadhan, "Dynamic Approach for Lane Detection using Google Street View and CNN," TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Kochi, India, 2019, pp. 2454-2459, doi: 10.1109/TENCON.2019.8929655.
- S. Gatesichapakorn, J. Takamatsu and M. Ruchanurucks, "ROS based Autonomous Mobile Robot Navigation using 2D LiDAR and RGB-D Camera," 2019 First International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP), Bangkok, Thailand, 2019, pp. 151-154, doi: 10.1109/ICA-SYMP.2019.8645984.
- S. Kaewpoung, W. Su-hren, P. Musigapong and T. Ratniyomchai. (2023). Development of Starch Transport Vehicle in Industrial Plant Using EV Technology for 4,000 kg Load. 15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023). Nakhon Phanom. Thailand. pp. (887-890).
- S. Sultana and B. Ahmed, "Lane Detection and Tracking under rainy weather challenges," 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYPMP), Jeju, Korea, Republic of, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/TENSYPMP52854.2021.9550931.
- S. Zhou, G. Cheng, Q. Meng, H. Lin, Z. Du, and F. Wang, "Development of multi-sensor information fusion and AGV navigation system," 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chongqing, China, 2020, pp. 2043-2046, doi: 10.1109/ITNEC48623.2020.9084687.

- X. Lu, X. Lv, J. Jiang, and S. Li, "An Improved YOLOv5s for Lane Line Detection," 2022 5th International Conference on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE), Changchun, China, 2022, pp. 326-330, doi: 10.1109/RCAE56054.2022.9995995.
- Y. Anebarassane, D. Kumar P, A. Chandru, P. Adithya and K. Sathiyamurthy, "Enhancing ORB-SLAM3 with YOLO-based Semantic Segmentation in Robotic Navigation," 2023 IEEE World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC), Sonbhadra, India, 2023, pp. 874-879, doi: 10.1109/AIC57670.2023.10263892.
- Y. Cheng, F. Duan and S. Cui. (2005). The design principle of electric motors and drive systems for electric vehicles. International Conference on Electrical Machines and Systems. Vol. 1, doi: 10.1109/ICEMS.2005.202647. pp. (802-805).
- Z. Ma, O. Postolache and Y. Yang, "Obstacle Avoidance for Unmanned Vehicle based on a 2D LIDAR," 2019 International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI), Lisbon, Portugal, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISSI47111.2019.9043674.

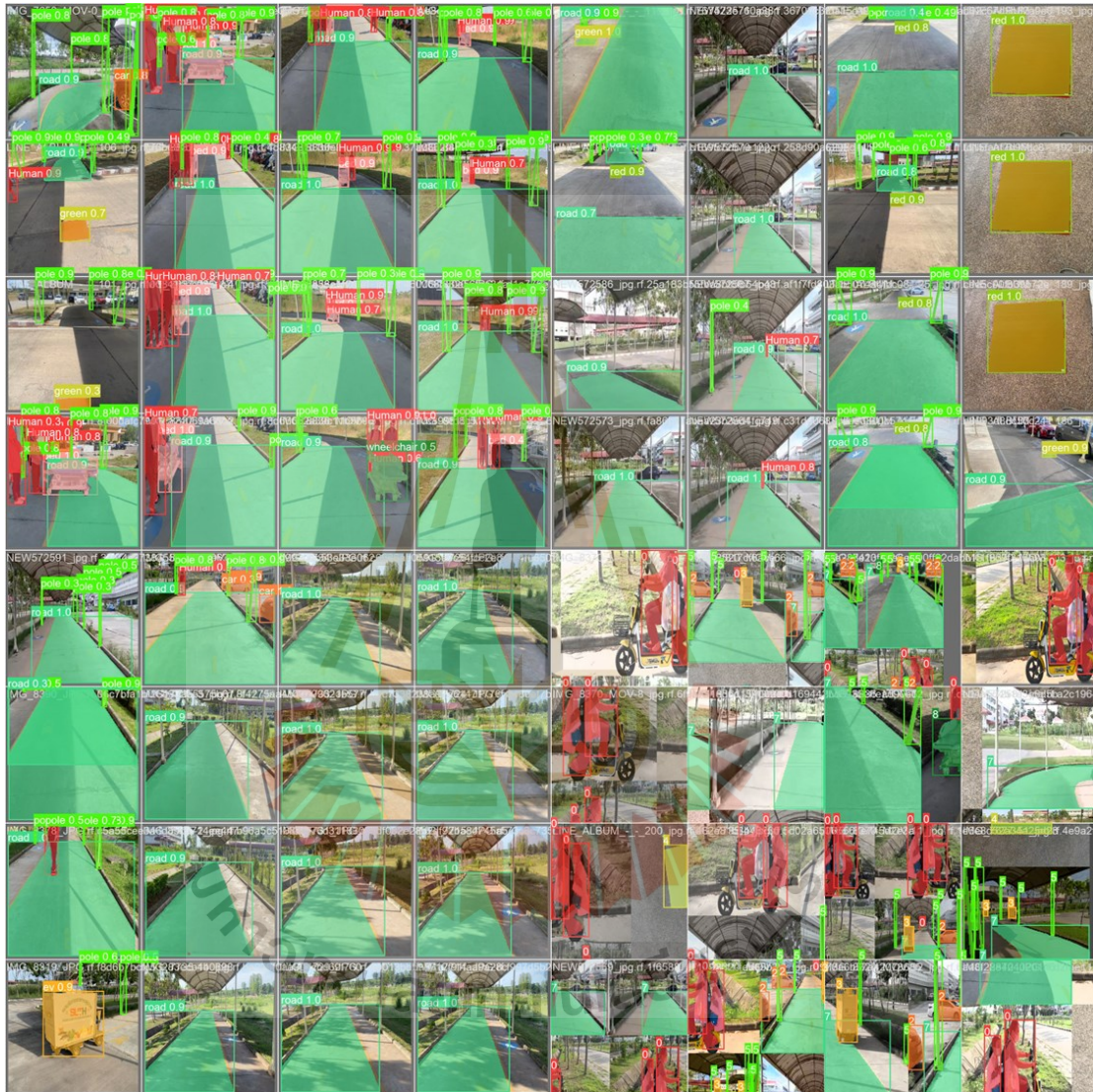
ภาคผนวก ก

ผลการการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation

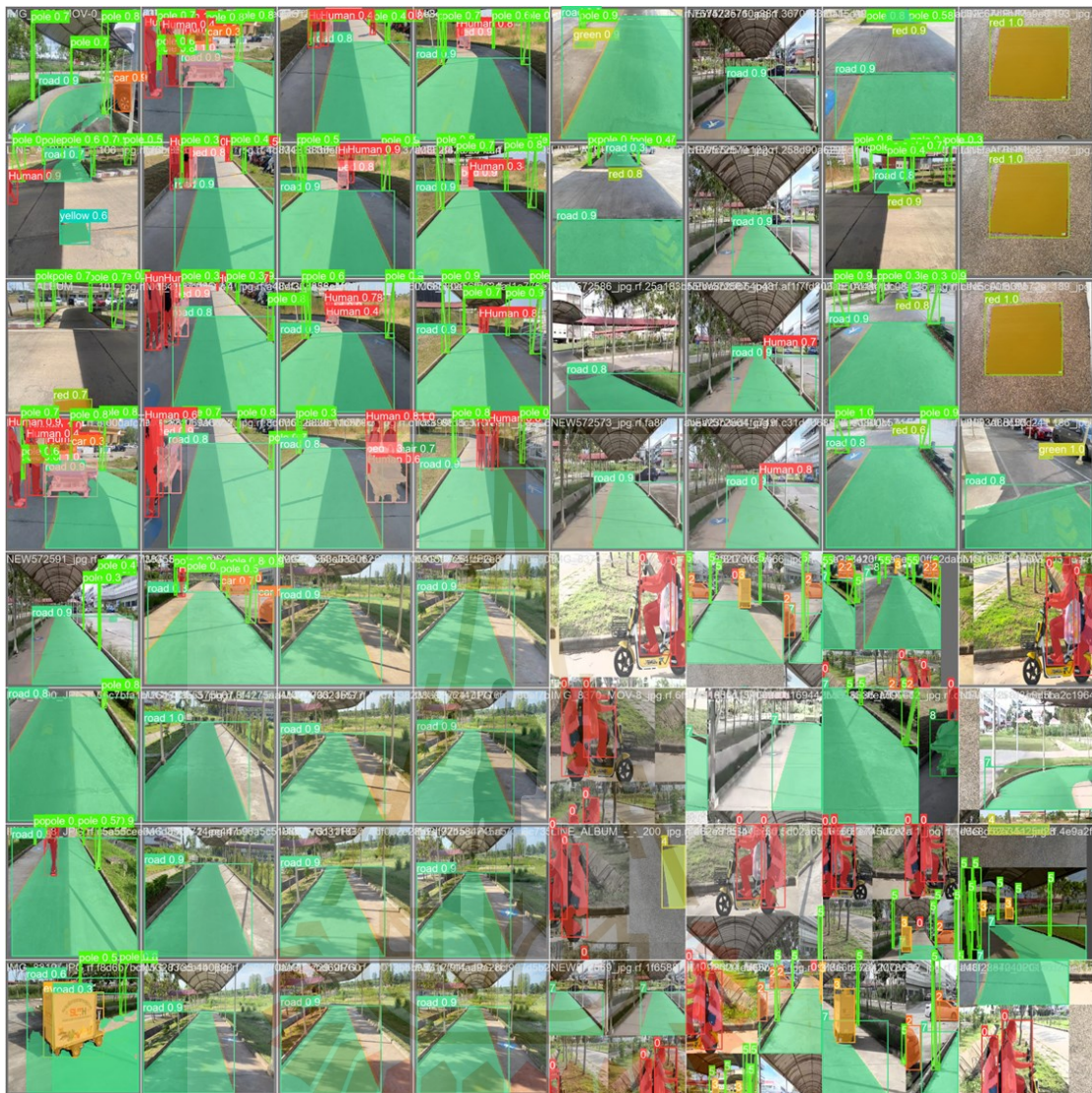
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 ผลการการแบ่งส่วนภาพแบบ Instance Segmentation ด้วย YOLO

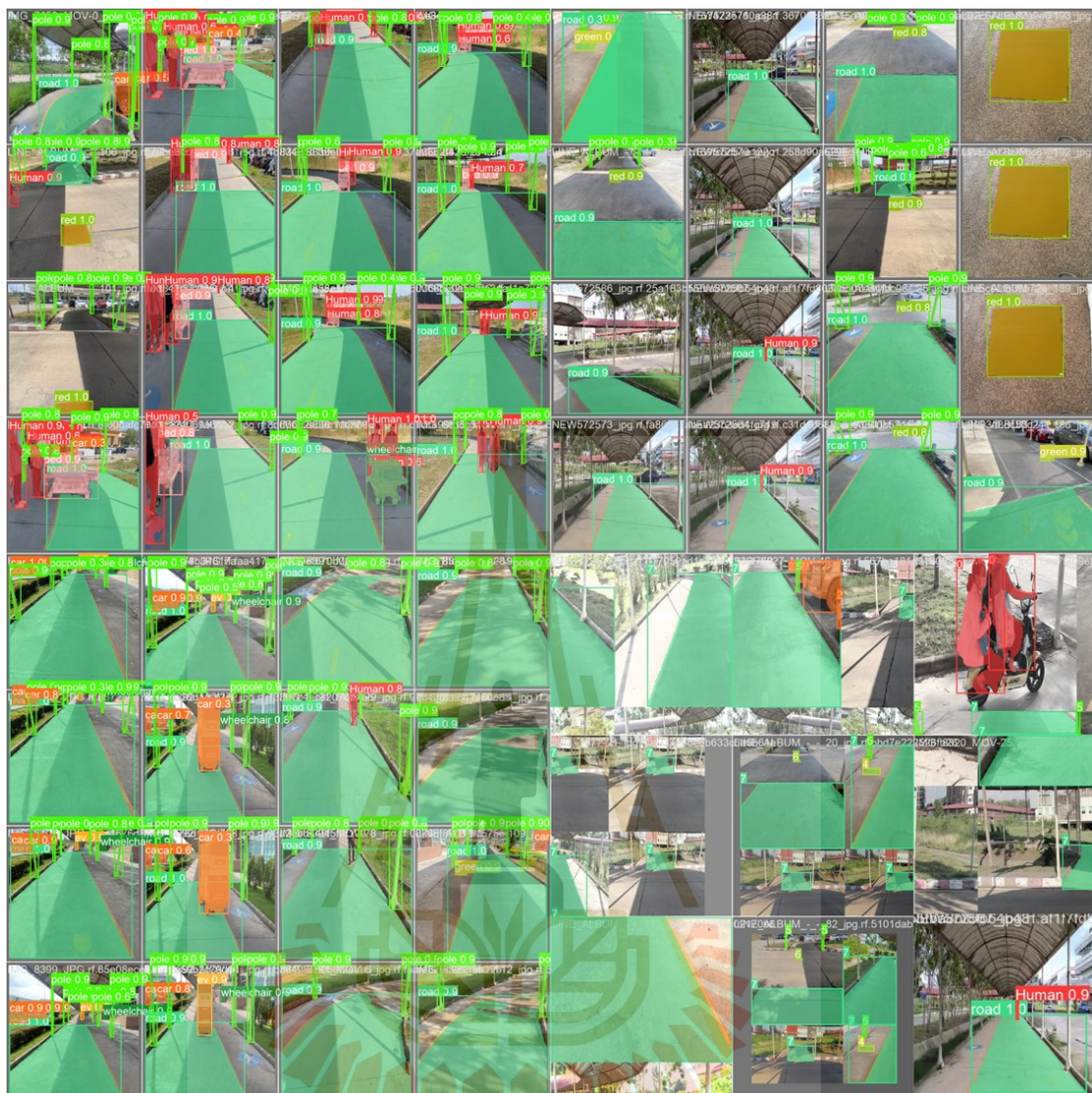
ผลการตรวจจับภาพของ โมเดล YOLOv8 ในรุ่นต่าง ๆ ที่ไม่ได้ได้กล่าวไว้บทที่ 5 มีดังนี้ YOLOv8s, YOLOv8n, YOLOv8m, YOLOv8l ดังรูปที่ ก.1 - ก.4



รูปที่ ก.1 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8s



รูปที่ ก.2 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8n
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.3 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8m

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.4 ผลการตรวจจับภาพด้วยโมเดล YOLOv8I
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

- ผู้ประพันธ์หลัก

วิวรรธน์ สุहरินทร์, ศุภชัย แก้วพวง และ ทศพล รัตน์นิยมชัย. การตรวจจับช่องทางจราจรแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคตัวกรองโซเบล. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 ประจำปี 2566 (EENET 2023), 1-3 พฤษภาคม 2566.

วิวรรธน์ สุहरินทร์, ศุภชัย แก้วพวง, อุเทน ลีตัน และ ทศพล รัตน์นิยมชัย. การพัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 สำหรับรถไฟฟ้าไร้คนขับ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46 ประจำปี 2566 (EECON-46), 15-17 พฤศจิกายน 2566.

- ผู้ประพันธ์ร่วม

Supachai Kaewpoung, Wiwat Su-hren, Uthen Leeton and Tosaphol Ratniyomchai. (2023). Modbus TCP/IP Protocol Development of a Driverless EV Control System for Autonomous Cassava Starch Transport. GMSARN International Journal. Thailand.

ศุภชัย แก้วพวง, วิวรรธน์ สุहरินทร์, พิรัชฎา มุสิกะพงค์ และ ทศพล รัตน์นิยมชัย. การพัฒนารถขนส่งแป้งมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าพิักัดบรรทุก 4,000 kg. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 ประจำปี 2566 (EENET 2023), 1-3 พฤษภาคม 2566.

ศุภชัย แก้วพวง, วิวรรธน์ สุहरินทร์, พิรัชฎา มุสิกะพงค์ และ ทศพล รัตน์นิยมชัย. การพัฒนารถขนส่งแป้งมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าพิักัดบรรทุก 4,000 kg. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 ประจำปี 2566 (EENET 2023), 1-3 พฤษภาคม 2566.(บทความดีเด่น)

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)



การตรวจจับช่องทางจราจรแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคตัวกรองโซเบล

Real-time Traffic Lane Detection using Sobel Filter Techniques

วิวรรณ สุหรณ์¹ ศุภชัย แก้วหวง² และ ทศพล รัตน์นิยมชัย³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 E-mail: jamewivat2542@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 E-mail: peper.supachai@gmail.com

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 E-mail: tosaphol@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้เทคนิคตัวกรองโซเบลตรวจจับช่องทางจราจรแบบเรียลไทม์ เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับพัฒนาระบบควบคุมการนำทางของรถขนส่งแบบไร้คนขับ พัฒนาโดยใช้ฟังก์ชัน OpenCV ด้วย Python จำลองผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ทดสอบตรวจจับช่องทางจราจรในกรณีทางตรง ทางโค้งซ้าย และทางโค้งขวา รวมทั้งเปรียบเทียบการปรับเปลี่ยนค่า ROI ให้มีความแตกต่าง 2 รูปแบบ ดั้งนั้นการจำลองเพื่อทดสอบหาค่า ROI ที่เหมาะสม แบบแรก 95.79% และแบบที่สอง 89.74% นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมการนำทางแบบไร้คนขับในสภาพแวดล้อมช่องทางจราจรที่มีความซับซ้อนได้

คำสำคัญ: ตัวกรองโซเบล, ช่องทางจราจร, รถขนส่งแบบไร้คนขับ

Abstract

This paper proposes a real-time traffic lane detection technique using Sobel filter, which is applied for developing the traffic lane detection control of the driverless transportation vehicle. The application of the Sobel filtering algorithm uses Python's OpenCV library and tests its technique on a self-driving simulation using Visual Studio Code. The simulation includes three scenarios: forward direction, turn left, and turn right. As the results, the accuracy comparison between two region of interest (ROI) configurations for traffic lane detection have been obtained by 95.79% and 89.74%, respectively. This technique shows promising performance and robustness in different driving situations. In additions, this technique can be further improved and applied to more complex traffic lane environments under more testing data and optimizations.

Keywords: Sobel Filter, Traffic Lane, Driverless Transportation Vehicle

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบขนส่งอัตโนมัติถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะเทคโนโลยีทางด้านรถไร้คนขับ ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่นิยมมากที่สุดสำหรับนำไปพัฒนารถไฟฟ้าแบบไร้คนขับ และขนส่งแบบอัตโนมัติในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง หรือทำงานในพื้นที่เสี่ยงภัยอันตรายต่อมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โกดังสินค้า สถานที่สาธารณะ เป็นต้น รวมทั้งสถานที่เสี่ยงภัยอันตราย เช่น โรงพยาบาล และโรงงานเคมี เป็นต้น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ง่าย ดังนั้นการใช้รถขนส่งแบบไร้คนขับใช้ทดแทนพนักงาน ทำให้สามารถลดความเสี่ยงเหล่านั้นได้ สำหรับการเลือกใช้ระบบขนส่งแบบอัตโนมัติหรือรถขนส่งแบบไร้คนขับให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อให้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น การนำระบบขนส่งแบบไร้คนขับมาใช้จึงมีหลากหลายชนิด นอกจากนั้นระบบนำทางอัตโนมัติเป็นสิ่งสำคัญอีกอย่างที่ต้อคำนึงถึงอีกด้วย [1]

นอกจากนี้การตรวจจับช่องทางจราจรคือองค์ประกอบสำคัญของกล้องเพื่อตรวจจับเส้นขอบทางวิ่ง ซึ่งนิยมใช้พัฒนาในกรณีศึกษาเบื้องต้นจากกล้องจำนวนหนึ่งตัวไปสู่การพัฒนาโดยใช้กล้องสองแบบหลายตัวชนิดกล้อง Stereo [2], [3] การใช้เทคโนโลยีการตรวจจับช่องทางจราจรมาประยุกต์ใช้เป็นระบบนำทางของรถไร้คนขับ สามารถทำให้มีความเสถียรภาพมากขึ้น เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบเซ็นเซอร์อื่น ๆ เช่น ระบบ QR code , Electromagnetic Sensors , RFID และ LIDAR เป็นต้น [4], [5] และยังเป็นระบบนำทางสำหรับการตรวจจับช่องทางจราจรที่ช่วยผู้ขับขี่ในพหุแบบเบกถึงอัตโนมัติ โดยนำเทคนิคตรวจจับขอบถนนต่าง ๆ เข้ามาใช้ เช่น Canny Edge Detector , Sobel Edge Detector หรือ Threshold แบบปรับค่าได้ [6]

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15
 15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)

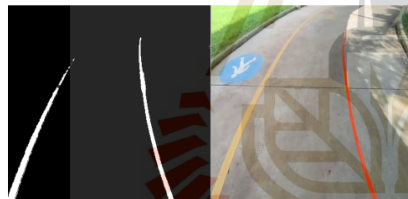


2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแยกจุดภาพที่เป็นเส้นขอบออกจากจุดภาพอื่น ๆ

ในการแยกจุดภาพ (Pixel) มีจุดประสงค์เพื่อใช้ตัดสินใจว่า ส่วนใด คือ พื้นที่ที่สำคัญที่ต้องการตรวจจับ โดยการแยกส่วนจุดภาพใช้วิธี Thresholding เพื่อแยกจุดภาพในส่วนที่ต้องการ สำหรับการ ใช้วิธี Thresholding ในฟังก์ชัน OpenCV นั้นจะใช้คำสั่ง cv2.threshold ซึ่งมี 5 รูปแบบ การเลือกใช้รูปแบบ cv2.THRESHOLD_BINARY ซึ่งมีหลักการ ทำงานโดยกำหนดค่าคงที่ไว้หนึ่งค่า จากนั้นกำหนดค่าสีมากที่สุดมีค่า เป็น 255 และค่าสีน้อยที่สุดมีค่าเป็น 0 ซึ่งสามารถช่วยลบสิ่งรบกวนใน การตรวจจับเส้นขอบถนนและทำให้ตรวจจับได้ง่ายขึ้น [6], [7]

การแปลงสีแบบ RGB ซึ่งประกอบด้วย สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีฟ้า (Blue) เป็นสีแบบ HLS เนื่องจากตรวจจับสีแบบ HLS ดีกว่าแบบ RGB โดยแบบ HLS แบ่งสีออกเป็นค่า สี (Hue) ความ อิ่มตัว (Saturation) และความสว่าง (Lightness) ในการกำจัดปัญหา ด้าน แสงออกไปสำหรับการกำหนดค่าสีแบบ HLS ที่เหมาะสมปกติ คือ เส้นสี ขาวและสีส้มที่เป็นเส้นที่บนขอบถนนมีค่า Saturation ที่สูง นอกจากนี้ ค่าสีขาวและสีเหลืองมีค่าสีแดงสูงมาก ดังรูปที่ 1 สามารถกำหนด ช่วงสีแดงน้อยกว่าระดับที่ตั้งไว้ให้เป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม่ใช้เส้น ขอบถนนที่ต้องการตรวจจับ [7]



รูปที่ 1 การแยกจุดภาพเส้นขอบถนนด้วยวิธี Thresholding

2.2 การตรวจจับขอบถนน

การตรวจจับขอบของภาพมีหลายวิธี ได้แก่ Sobel, Canny, Prewitt และ Roberts เป็นต้น ในการเลือกวิธีการตรวจจับขอบแบบตัว กรองโซเบลจากในภาพหรือในวิดีโอ ซึ่งปกติระดับของภาพสีเทาจะมีค่า แตกต่างกันบ้างในแต่ละจุดในภาพ ดังนั้นการตรวจจับขอบถนนจึงเป็น การหาจุดภาพที่ไม่ต่อเนื่อง ทำให้การตรวจจับขอบถนนแบบตัวกรองโซ เบล นิยมใช้ Sobel mark เทมเพลตแบบ 3x3 จำนวนสองเทมเพลต คือ เทม เพลตแนวอนน (G_x) และแนวตั้ง (G_y) ดังรูปที่ 2 [8], [9]

-1	0	1	-1	-2	-1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	1	2	1

G_x

G_y

รูปที่ 2 Sobel mark

2.3 ROI Select

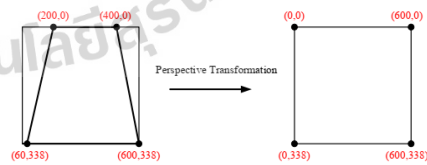
ROI (Region of Interest) หรือบริเวณพื้นที่สนใจ โดยปกติ บริเวณตรงกลางของภาพและวิดีโอมักเป็นส่วนของขอบถนน ซึ่งการ กำหนด ROI มุ่งเน้นไปในพื้นที่เป็นขอบถนน ซึ่งกำหนดเป็นรูป สี่เหลี่ยมคางหมู สำหรับการกำหนดบริเวณ ROI ที่เหมาะสม ยังสามารถ ช่วยกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ถนนออกไป [7]

2.4 การแปลงมุมมอง

เนื่องจากการแปลงมุมมองปกติที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ไม่ สามารถใช้งานสำหรับการคำนวณได้ ดังนั้นจึงแปลงมุมมองจากมุมปกติ ให้เป็นมุมสูง ดังรูปที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นผลการแปลงมุมมองจากมุมอง ปกติเป็นมุมสูง เพื่อใช้คำนวณความโค้งของเส้นขอบถนน และการ คำนวณความโค้งจำเป็นต้องทราบสมการความโค้ง โดยสมการ ความโค้งสามารถหาได้โดยใช้เทคนิค Sliding Window พิจารณาจาก จุดภาพที่สนใจถูกเก็บไว้ในช่องสี่เหลี่ยมขนาดคงที่ และทำการเพิ่มจุดลง ในภาพ สุดท้ายทำการเฉลี่ยค่า x ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จากนั้นได้สัมประสิทธิ์ ของพหุนามดีกรี 2 เป็นค่า A, B และ C ดังสมการที่ (1) และสมการของ เส้นโค้ง ซึ่งมีรัศมี R ดังสมการที่ (2)

$$f(y) = Ay^2 + By + C \tag{1}$$

$$R = \frac{[1 + (\frac{dy}{dx})^2]^{3/2}}{2|A|} \tag{2}$$

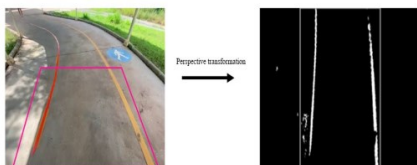


รูปที่ 3 การแปลงมุมมองปกติที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)



รูปที่ 4 ผลจริงของการแปลงมุมมองปกติที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

นอกจากนี้การแสดงผลการตรวจจับมีการสร้างเส้นจำลองเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมซ้อนทับบนขอบจริง เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลการตรวจจับอยู่ตำแหน่งใด

3. เปรียบเทียบวิธีการและผลการทดสอบ

ในการทดสอบ เป็นการจำลองผลในโปรแกรม Visual Studio Code บนซีพียู Intel Core i5 2.30GHz พร้อมกับ RAM ขนาด 16 GB ข้อมูลเอาต์พุตมีความละเอียด 1,080x1,920 ที่ 20 fps และการใช้งานจริง โดยการนำรถขนส่งของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมาดัดแปลงและติดตั้งกล้องเพิ่มเติมให้เป็นรถอัตโนมัติ ดังรูปที่ 5 และข้อมูลของรถที่ดัดแปลงดังตารางที่ 1 วิธีการที่นำเสนอนี้ใช้ในการตรวจจับในพื้นที่โรงพยาบาลของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังรูปที่ 4 ในการทดสอบทั้ง 2 กรณี ใช้สภาพแวดล้อมในการรันแบบเดียวกัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลรถอัตโนมัติที่ใช้ในการทดสอบ

รายการ	ขนาด
แบตเตอรี่	24 V
กล้อง CCTV	1920 × 1080 / 30fps
DC motor	24 V / 1400W
Stepper motor	12 V
TB6600 (Motor Driver)	9 – 48 V



รูปที่ 5 ก่อนและหลังการดัดแปลงรถขนของอัตโนมัติ

การทดสอบพิจารณาให้ CDF (Correctly detected frame) คือ จำนวนเฟรมที่ตรวจจับได้ โดยจะนับเฉพาะส่วนที่สร้างพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่งเป็นการจำลองขอบถนนมากกว่า 80 % หรือ ไม่ขาดเกิน 20 % สำหรับการคำนวณ Detection Rate ดังสมการที่ (3) [6]

$$DR = (CDF/TF) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ DR (detection rate) คือ อัตราการตรวจจับ CDF คือ จำนวนเฟรมที่ตรวจจับได้ถูกต้อง และ TF (Total frames) คือ จำนวนเฟรมทั้งหมด วิธีการนำเสนอนี้สามารถตรวจหาความโค้งของเส้นขอบได้ทั้งเส้นซ้าย และขวา หากความโค้งเพื่อควบคุมระบบบังคับเลี้ยวของรถและพบว่าค่า ROI มีผลต่อการตรวจจับเส้นขอบและหาความโค้งเป็นอย่างมาก ดังตารางที่ 2 แสดงการกำหนดจุด ROI เป็น 2 จุด ซึ่งผลการทดสอบ ดังรูปที่ 6(ก) และ (ข) เนื่องจากค่า ROI เป็นตัวกำหนดพื้นที่ที่สนใจเมื่อค่า ROI มีค่าแตกต่างกันทำให้ผลการทดสอบแตกต่างกัน สังเกตว่า ROI รูปแบบที่ 2 กว้างกว่ารูปแบบที่ 1 ทำให้การตรวจจับเส้นขอบทำได้ไกลกว่าเช่นกัน แต่พบว่ามีการสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมเกินออกมาเล็กน้อยจากพื้นที่ที่เป็นเส้นขอบ อย่างไรก็ตามค่าความโค้งไม่ได้แตกต่างกัน โดยค่า DR ของทั้ง 2 รูปแบบแตกต่างกัน คือ 95.79 % และ 89.74 % ตามลำดับ

การทดสอบจริงโดยใช้รถอัตโนมัติที่ได้ทำการดัดแปลง ในการควบคุม Stepper และ DC Motor ด้วยบอร์ด Raspberry Pi Pico ซึ่งให้เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งที่ 2 ดังรูปที่ 7 เป็นระยะทาง 239.91 เมตร กำหนดความเร็วเป็น 2 ระดับ 1. ทางตรงมีความเร็ว 1 เมตรต่อวินาที 2. ขณะเข้าโค้ง 0.5 เมตรต่อวินาที ในการเดินทางไปและกลับ 1 รอบใช้เวลา 8-10 นาที และมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.7 เมตรต่อวินาที รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วและเวลาในช่วงที่ความเร็วลดลงไปนั้น คือ ช่วงที่รถกำลังเข้าโค้ง การทดสอบจริงเลือกใช้ค่า ROI ตามรูปแบบที่ 1 ทั้งนี้ในการทดสอบจริงแสงและเงายังเป็นปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้อย่างแม่นยำ

ตารางที่ 2 ค่าจุด ROI ที่ใช้ในการทดสอบ

จุด ROI	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
A (ล่าง-ซ้าย)	32,479	32,479
B (ล่าง-ขวา)	613,479	613,479
C (บน-ขวา)	464,180	464,740
D (บน-ซ้าย)	163,180	163,740

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)

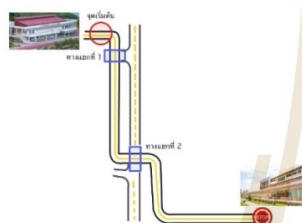


(ก)

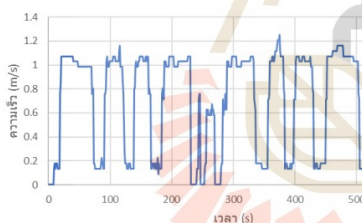


(ข)

รูปที่ 6 ผลการตรวจจับและแสดงความโค้ง ROI แบบที่ 1(ก) และ 2(ข)



รูปที่ 7 แผนที่การเดินรถของรถอัตโนมัติ



รูปที่ 8 ความเร็วรถเทียบกับเวลาในการเดินรถ 1 รอบ

4. สรุป

การตรวจจับและหาความโค้งด้วยวิธีเทคนิคตัวกรองไขว้ผล
 ตรวจจับช่องทางจราจรแบบเรียลไทม์ พัฒนาโดยใช้ฟังก์ชัน OpenCV
 ด้วย Python จำลองผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ในบทความนี้
 สามารถตรวจจับเส้นขอบถนนได้ในพื้นที่ที่ต้องการได้ แต่ยังไม่ทั้งหมด
 เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องที่สามารถแก้ไขหรือลดผลกระทบลง
 ได้ เช่น แสง เงา แก้ไขโดยการเปลี่ยนเส้นขอบเป็นเส้นทึบเพื่อให้การ

ตรวจจับเสถียรขึ้น และจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า การเลือกใช้ค่า
 ROI ที่เหมาะสม สามารถช่วยให้การตรวจจับขอบถนนมีความถูกต้อง
 แม่นยำมากขึ้น โดยค่า Detection Rate ของการเปลี่ยน ROI ทั้ง 2 รูปแบบ
 อยู่ที่ 95.79 % และ 89.74 % ตามลำดับ ในการทดสอบใช้จริงด้วยรถที่
 ดัดแปลงพบว่าสามารถทำความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 0.7 เมตรต่อวินาที และใช้
 เวลาการเดินรถหนึ่งรอบ 8-10 นาที

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. J. Moshayedi, J. Li and L. Liao, "AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance," Journal of Simulation & Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering, vol. 12, no. 4, pp.5-18, 2019.
- [2] Y. Lee and H. Kim, "Real-time lane detection and departure warning system on embedded platform," 2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics – Berlin (ICCE-Berlin), 2016, pp.1-4.
- [3] M. Bertozzi and a. Broggi, "Real-time lane and obstacle detection on the GOLD system," Proc. Conf. Intell. Veh., 1996.
- [4] A. Borkar, M. Hayes, and M. T. Smith, "A novel lane detection system with efficient ground truth generation," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 13, no. 1, pp.365-374, 2012.
- [5] J. C. McCall and M. M. Trivedi, "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation," IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 7, no. 1, pp. 20-37, 2006.
- [6] S. Sultana and B. Ahmed, "Lane Detection and Tracking under rainy weather challenges," 2021 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), 2021, pp. 1-6.
- [7] Automaticaddison, (2021, April 12). The ultimate guide to real-time Lane detection using opencv. Automatic Addison. Retrieved January 10, 2023, from <https://automaticaddison.com/the-ultimate-guide-to-real-time-lane-detection-using-opencv/>
- [8] G. Deng and Y. Wu, "Double Lane Line Edge Detection Method Based on Constraint Conditions Hough Transform," 17th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES), 2018, pp.107-110.
- [9] A. Sharma, M. Kumar and R. Kumar, "Lane Detection Using Python," 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N), 2021, pp.88-90.



การพัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 สำหรับรถไฟฟ้าไร้คนขับ

Development of Image Segmentation Using YOLOv8 Algorithm for Unmanned Electric Vehicles

วิวรรณ สุหริน¹ สุภชัย แก้วพวง² อุเทน ลีตัน³ และ ทศพล รัตน์นิยมชัย⁴

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี jamewiwat2542@gmail.com

²สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี peper.supachai@gmail.com

³สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี uthenleeton@sut.ac.th

⁴สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี tosaphol@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการพัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 ใช้แบ่งส่วนรูปภาพที่เป็นทางเดินรถและทางเดินเท้า มีเป้าหมายเพื่อนำเทคโนโลยีไปพัฒนาระบบนำทางของรถไฟฟ้าไร้คนขับสำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ อาหาร ยา และเครื่องมือการแพทย์ระหว่างอาคารในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ประมวลผลรูปภาพจากกล้องและตรวจจับเลนถนนและวัตถุที่สำคัญ โดยใช้ซอฟต์แวร์ RoboFlow เข้ามาช่วยจัดการรูปภาพของถนน และประยุกต์ใช้การพัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพด้วยแบบจำลองรุ่นใหม่ ได้แก่ YOLOv8s จากผลการทดสอบพบว่ามีความแม่นยำ และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ เท่ากับ 99.4% และ 85.1% ตามลำดับ จากเส้นโค้งความแม่นยำพบว่า ความแม่นยำเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น และเส้นโค้งความลึกมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบในเชิงประเภทของวัตถุพบว่า ประเภทของถนนมีความแม่นยำค่อนข้างสูง ในขณะที่ประเภทของมนุษย์มีความแม่นยำต่ำ

คำสำคัญ: การแบ่งส่วนรูปภาพ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ การตรวจจับวัตถุ อัลกอริทึม YOLOv8

Abstract

This paper presents the development of image segmentation using the YOLOv8 algorithm to segment images that are driveway and pedestrian. The goal is to use the technology to develop a navigation system for unmanned electric vehicles for transporting pharmaceuticals, food, drugs and medical equipment between buildings in the Suranaree University of Technology Hospital. It uses computer vision technology to process images from cameras and detect important road lanes and key objects by using RoboFlow software to handle the image of the road. In addition, it applies the development of image segmentation with a new model as YOLOv8s. From the test results, it was found that the accuracy and the mean accuracy were 99.4% and 85.1%, respectively. Regarding the accuracy curve, it was found that the accuracy increases as confidence

increases and the recall curve was found when the recall value is reduced while the confidence value increases. Furthermore, when comparing in terms of object types, it was found that the type of road is quite accurate while human types have low accuracy.

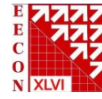
Keywords: Image Segmentation, Computer Vision, Object Detection, YOLOv8 Algorithm

1. บทนำ

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) เป็นเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) อีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถเรียนรู้และวิเคราะห์รูปภาพหนึ่ง หรือรูปภาพเคลื่อนไหวอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์ การพัฒนาและการก้าวกระโดดของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ได้รับความนิยมน้อยอย่างมากในการเพิ่มขีดความสามารถให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับกล้องในเรื่องของการมองเห็นและเข้าใจรูปภาพเสมือนจริงได้มากขึ้น สำหรับการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์มีหลากหลายรูปแบบตามลักษณะการใช้งานในด้านต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงวิธีการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ในรูปภาพ หรือวิดีโอ เช่น วิธีการตรวจจับใบหน้า (Face Detection) เพื่อประยุกต์ใช้ในระบบการรู้จำแบบและการระบุตัวตน เป็นต้น และวิธีการตรวจจับวัตถุ เพื่อใช้ในการติดตามและตรวจจับตามวัตถุในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น รถยนต์ไร้คนขับ (Self-Driving Cars) เป็นต้น

นอกจากนี้การจำแนกจุดภาพ (Pixel) ในรูปภาพ หรือ Instance Segmentation เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญในเรื่องของการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ และยังเป็นส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อเน้นการตรวจจับและแบ่งส่วนของวัตถุแต่ละส่วนในรูปภาพ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการนำไปใช้ควบคู่กับระบบต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์ การขับรถอัตโนมัติ และการตรวจสอบความปลอดภัย เป็นต้น สำหรับการทำงานของเทคโนโลยี Instance Segmentation เป็นการระบุเส้นขอบของวัตถุแต่ละส่วนในรูปภาพระดับ Pixel และมีความละเอียดของรูปภาพสูง ทำให้การนำเทคโนโลยีประยุกต์ใช้การเรียนรู้ในเชิงลึก (Deep Learning) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks : CNN) มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงวิธีการเพื่อนำไปใช้เป็นหลักวิเคราะห์ สำหรับ

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46
The 46th Electrical Engineering Conference (EECON-46)
วันที่ 15-17 พฤศจิกายน 2566 ณ หอประชุม อาคาร 6 ชั้น อ่างทอง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา



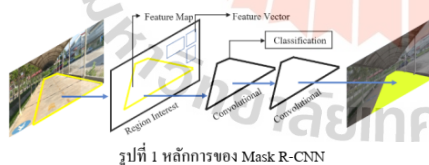
เทคโนโลยี Instance Segmentation เป็นรูปแบบการจำแนกจุดภาพในรูปภาพที่เชื่อถือได้และมีกระบวนการทำงานที่ชัดเจน ได้แก่ หลักการของ Mask R-CNN (Mask Region-based Convolutional Neural Network) [1] เป็นเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งถูกพัฒนาจากหลักการของ Faster R-CNN (Faster Region Convolution Neural Networks) และ FCN (Fully Convolutional Network) [2] และอีกวิธีการที่ได้รับความนิยมใช้พัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพ ได้แก่ You Only Look Once (YOLO) เนื่องจากมีรูปแบบการใช้งานง่าย รวดเร็ว และมีความแม่นยำ [3,4]

ในบทความนี้มีวัตถุประสงค์โดยเน้นการใช้อัลกอริทึม YOLOv8 ตรวจสอบหุ่นยนต์และเส้นทางเดินรถ เพื่อนำไปพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนำทางอัตโนมัติของรถไฟฟ้าไร้คนขับใช้สำหรับขนส่งเวชภัณฑ์ อาหาร และยา รวมทั้งเครื่องมือการแพทย์ ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ให้ระบบมีความปลอดภัยในการนำทาง และตรวจจับสิ่งกีดขวางของวัตถุแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยซอฟต์แวร์และอัลกอริทึมที่ใช้พัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพนำเสนอในหัวข้อที่ 2 ระเบียบวิธีการที่ใช้ทดสอบนำเสนอในหัวข้อที่ 3 และหัวข้อที่ 4 แสดงผลของการทดสอบ และสุดท้ายนำเสนอบทสรุปในหัวข้อที่ 5

2. ซอฟต์แวร์และอัลกอริทึม

2.1 ซอฟต์แวร์ Instance Segmentation

สำหรับ Instance Segmentation เป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถในการจำแนก Pixel ของรูปภาพจำนวนมาก ได้ประยุกต์ใช้หลักการของ Mask R-CNN เพื่อนำมาแก้ปัญหาการแบ่งกลุ่มกรณีตัวอย่าง (Instance) โดยการเพิ่มเป้าหมายของวัตถุในรูปภาพควบคู่ไปกับการจัดฉากสองขอบเขต และหลักการของ Mask R-CNN ยังเป็นส่วนเสริมที่ใช้งานง่ายของ Faster R-CNN [1] รวมทั้งเป็นการนำตำแหน่งที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ของฟังก์ชันลักษณะ (Feature Map) ที่มีขนาดแตกต่างกันเพื่อหาเวกเตอร์คุณลักษณะ (Feature Vector) ที่มีขนาดคงที่เข้าไปดำเนินการในชั้น Fully Connected Layer และฟังก์ชัน SoftMax เพื่อเข้าสู่กระบวนการจำแนก (Classification) และได้ค่าของกลุ่มวัตถุ และสามารถกำหนดเป้าหมายในการระบุตำแหน่งของ Convolutional ในภาพ หรือวิธีใด ด้วยการสร้างกรอบและระบายสีเหลือง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการของ Mask R-CNN

2.2 ซอฟต์แวร์ Roboflow

Roboflow เป็นซอฟต์แวร์และเครื่องมือให้บริการในการทำ Labelling สามารถแบ่งงานออกเป็นหลายส่วนเพื่อเตรียมชุดข้อมูล

(Dataset) ของงานในกลุ่มของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ได้พร้อมกันหลายส่วน และมีรูปแบบการทำงานร่วมกันของ Roboflow ในการเพิ่มรูปภาพ (Image Augmentation) และเครื่องมือที่ใช้ส่งออกชุดข้อมูล (Export Dataset) มีความสะดวกในการใช้งานได้ง่าย และสะดวกมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ชุดข้อมูลถูกแบ่งส่วน และระบุคำอธิบายประกอบ (Annotate) ด้วย Roboflow ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการจัดการรูปภาพในด้านต่าง ๆ เช่น การปรับขนาดและใส่คำอธิบายส่วนประกอบของภาพ และยังสามารถแปลงข้อมูลไปยังรูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการได้อีกด้วย [2]

2.3 อัลกอริทึม YOLO

YOLO เป็นอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุที่เร็วที่สุด โดยใช้การประมวลผลบนหน่วยประมวลผลภาพกริก (Graphics Processing Unit: GPU) ซึ่งทำให้นักพัฒนาหลายกลุ่มสามารถเข้าถึงได้ง่าย และยังถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงเวอร์ชันปัจจุบัน ได้แก่ YOLOv8 แต่ก่อนหน้านั้น อัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ เวอร์ชัน YOLOv5 และเวอร์ชัน YOLOv3 ที่พัฒนาขึ้นบนเฟรมเวิร์ก PyTorch ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว รวมทั้งมีความโดดเด่นในเรื่องของความแม่นยำ [3]

ในปัจจุบันเวอร์ชัน YOLOv8 ถูกนำมาใช้แทนเวอร์ชัน YOLOv5 มากขึ้น โดยสองรุ่นนี้มีความเร็วและแม่นยำในการตรวจจับที่แตกต่างกัน ซึ่งเวอร์ชัน YOLOv8 จะมีความเร็วและความแม่นยำสูงกว่า เนื่องจากโครงสร้างถูกปรับปรุงและพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ [4] ในการหาความแม่นยำ ความลึก และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ [5]

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$mAP0.5 = \frac{\sum_{i=0}^n \text{Precision}_{class_i}}{n} \quad (3)$$

โดยที่ P คือ ค่าความแม่นยำ
 R คือ ค่าความลึก
 TP คือ ค่าบวกจริง (True positive)
 FP คือ ค่าบวกเท็จ (False positive)
 FN คือ ค่าลบเท็จ (False negative)
 $mAP0.5$ คือ ค่าเฉลี่ยของความแม่นยำ
 $\text{Precision}_{class_i}$ คือ ค่าความแม่นยำของแต่ละ Class
 n คือ จำนวน Class

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 46
 The 46th Electrical Engineering Conference (EECON-46)
 วันที่ 15-17 พฤศจิกายน 2566 ณ วิทยาลัยอาชีวศึกษา อ่าวม่วง จังหวัดกระบี่



3. ระเบียบวิธีการ

ชุดข้อมูลในการพัฒนา Instance segmentation ได้มาจากการลงพื้นที่สำรวจโดยใช้กล้องถ่ายภาพบนบริเวณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พบว่ามีเพียงมนุษย์เท่านั้นที่มีการเดินข้ามบนถนน ทำให้ถูกจัดเป็นสิ่งกีดขวางและแบ่งส่วนที่มีกระเบื้องสีของพื้นที่เหลืองคือ เป็นส่วนที่เป็นทางเดินรถ และอีกส่วนเป็นทางเดินสำหรับทางเดินเท้า ดังรูปที่ 2 (ก) สภาพแวดล้อมจริง และ (ข) การแยกส่วนทางเดินรถออกจากทางเดินเท้า สำหรับข้อมูลชุดนี้สามารถแบ่งประเภท (Class) ของรูปภาพออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ถนน (Road) และมนุษย์ (Human) โดยมีรูปภาพถ่ายจำนวนทั้งหมด 419 รูป แบ่งเป็นรูปภาพสำหรับการฝึก (Training) การตรวจสอบ (Validation) และการทดสอบ (Testing) มีอัตราส่วน 87:8:5 ตามลำดับ และคิดเป็นจำนวนรูปภาพถ่ายสำหรับ Training 366 รูป Validation 34 รูป และ Testing 19 รูป ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แสดงประเภทของจำนวนรูปภาพถ่ายที่ใช้ทั้งหมดและจำนวนภาพที่อธิบายในแต่ละประเภทและเครื่องมือที่ใช้ทดสอบในบทความนี้ ดังตารางที่ 3



(ก) สภาพแวดล้อมจริง (ข) การแยกส่วนทางเดินรถออกจากทางเดินเท้า
 รูปที่ 2 สภาพแวดล้อมจริงของกรงพื้นที่ที่สำรวจ

ตารางที่ 1 ภาพรวมของชุดข้อมูล

Title	Description
Number of Class	2
Total Number of Input Images	419
Training Images	366
Validation Images	34
Testing Images	19

ตารางที่ 2 ประเภทของจำนวนภาพถ่ายที่ใช้ทั้งหมด

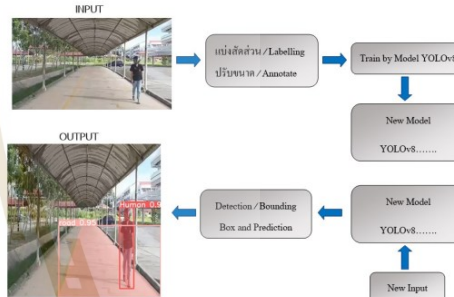
Class	Number of Raw images	Number of annotated images
Road	419	350
Human	35	19

ตารางที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

Operating environment	Version
Operating System	Window 11
Language	Python 3.10
CUDA	11.8
GPU	GTX2060
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-10300H

4. ผลการทดสอบ

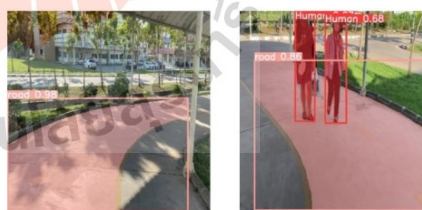
ในบทความนี้การพัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพ เพื่อช่วยแยกส่วนที่เป็นทางเดินรถออกจากทางเดินเท้า มีอัลกอริทึมโครงสร้างการทำงาน ดังรูปที่ 3 และการทดสอบด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 ที่ถูกปรับเปลี่ยนให้มีน้ำหนักเพื่อเพิ่มความแม่นยำมากขึ้น โดยใช้เป็นแบบจำลองทดสอบรุ่นใหม่ (New Model) 4 รูปแบบ ได้แก่ YOLOv8s, YOLOv8n, YOLOv8m และ YOLOv8x จากผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4 จะได้ผลการทดสอบสำหรับแบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ ดังนี้ ค่าความแม่นยำ (P) มีค่าค่อนข้างสูงที่ 0.994, 0.960, 0.994 และ 0.986 ตามลำดับ และค่าความลึก (R) มีค่าไม่สูงมากนักที่ 0.788, 0.650, 0.819 และ 0.807 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (mAP0.5) มีค่าสูงเช่นกันที่ 0.851, 0.717, 0.832 และ 0.845 ตามลำดับ



รูปที่ 3 อัลกอริทึมโครงสร้างการทำงาน



(ก) ทางตรง (ข) ทางโค้งซ้าย



(ค) ทางโค้งขวา (ง) ทางเดินมนุษย์เดินผ่าน

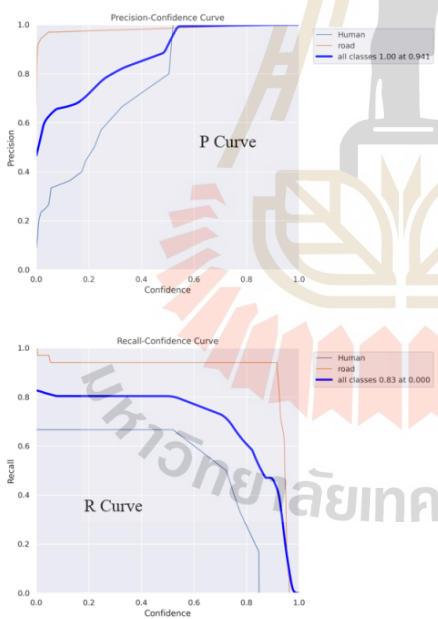
รูปที่ 4 ผลการทดสอบการแบ่งส่วนรูปภาพ



ตารางที่ 4 ผลทดสอบ New Model ของอัลกอริทึม YOLOv8 4 รูปแบบ

Model	P	R	mAP0.5
Yolov8s	0.994	0.788	0.851
Yolov8n	0.960	0.650	0.717
Yolov8m	0.994	0.819	0.832
Yolov8x	0.986	0.807	0.845

สำหรับผลการทดสอบการแบ่งส่วนรูปภาพทางเดินรถและทางเดินเท้า โดยมีมนุษย์เดินผ่านในพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังรูปที่ 4 พบว่าทางเดินรถมีทั้งทางตรง (n) ทางโค้งซ้าย (ซ) ทางโค้งขวา (ค) และทางเดินมนุษย์เดินผ่าน (ง) สามารถตรวจจับและแยกทางเดินออกจากทางเดินเท้าได้ชัดเจนและแม่นยำ โดยที่เส้นโค้งความแม่นยำ (P Curve) แสดงความแม่นยำซึ่งเป็นการคาดการณ์ผลในทางเชิงบวก และในทางกลับกัน เส้นโค้งความลึก (R Curve) เป็นค่าเชิงบวกที่เกิดขึ้นจริงเมื่อคาดการณ์ว่าเป็นเชิงบวก ดังรูปที่ 5 พบว่าเส้นโค้งความแม่นยำมีความแม่นยำเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเชื่อมั่น (Confidence) เพิ่มขึ้น ส่วนของเส้นโค้งความลึก พบว่ากราฟมีความชันลงหรือความลึกมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น แสดงว่าความลึกหรือความถูกต้องในการคาดการณ์เชิงบวกมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 5 ผลทดสอบ P Curve และ R Curve

5. สรุป

การพัฒนาการแบ่งส่วนรูปภาพด้วยอัลกอริทึม YOLOv8 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแม่นยำค่อนข้างสูง โดยรูปแบบอัลกอริทึม YOLOv8 ที่ถูกปรับเปลี่ยนให้มีน้ำหนักเพื่อเพิ่มความแม่นยำใช้เป็นแบบจำลองรุ่นใหม่ ได้แก่ รูปแบบ YOLOv8s จากการทดสอบพบว่าค่าความแม่นยำ (P) และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (mAP0.5) เท่ากับ 99.4% และ 85.1% ตามลำดับ และจากเส้นโค้ง (P Curve) ความแม่นยำพบว่า ความแม่นยำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น และเส้นโค้งความลึก (R Curve) มีค่าลดลง โดยที่ค่าความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น แสดงว่าความลึกหรือความถูกต้องและความแม่นยำในการคาดการณ์เชิงบวกมากขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประเภทของการตรวจจับวัตถุ พบว่า ประเภทของถนนมีความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ประเภทของมนุษย์มีความแม่นยำไม่สูงมากนัก แต่ก็สามารถแยกประเภทของวัตถุได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Bolya, C. Zhou, F. Xiao, and Y. J. Lee, "YOLACT: Real-Time Instance Segmentation," in *Proc. 2019 IEEE/CVF Int. Conf. on Computer Vision (ICCV)*, Seoul, Korea (South), 2019, pp. 9156-9165, doi: 10.1109/ICCV.2019.00925.
- [2] D. Deepa, A. Sivasangari, R. Roonwal and R. Nayan, "Pothole Detection using Roboflow Convolutional Neural Networks," in *Proc. 2023 7th Int. Conf. on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India, 2023, pp. 560-564, doi: 10.1109/ICICCS56967.2023.10142700.
- [3] I. F. E. Babila, S. A. E. Villasor and J. C. Dela Cruz, "Object Detection for Inventory Stock Counting Using YOLOv5," in *Proc. 2022 IEEE 18th Int. Colloquium on Signal Processing & Applications (CSPA)*, Selangor, Malaysia, 2022, pp. 304-309, doi: 10.1109/CSPA55076.2022.9782028.
- [4] M. Mostafa, S. Sadi, S. A. Anamika, M. S. Hussain and R. Khan, "Automatic Vehicle Classification and Speed Tracking," in *Proc. 2023 2nd Int. Conf. on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAIC)*, Salem, India, 2023, pp. 972-977, doi: 10.1109/ICAIC56838.2023.10140935.
- [5] X. Lu, X. Lv, J. Jiang and S. Li, "An Improved YOLOv5s for Lane Line Detection," in *Proc. 2022 5th Int. Conf. on Robotics, Control and Automation Engineering (RCAE)*, Changchun, China, 2022, pp. 326-330, doi: 10.1109/RCAE56054.2022.9995995.



Modbus TCP/IP Protocol Development of a Driverless EV Control System for Autonomous Cassava Starch Transport

Supachai Kaewpoung¹, Wiwat Su-hren², Uthen Leeton²
and Tosaphol Ratniyomchai^{2,*}

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 3 September 2023

Revised: 3 September 2023

Accepted: 3 September 2023

Keywords:

Driverless EV control system

Modbus TCP/IP protocol

Cassava starch transport

Autonomous navigation

Open CV line detection

ABSTRACT

This paper describes the use of the Modbus TCP/IP protocol in the development of a driverless EV control system. The goal is to use autonomous navigation to move cassava starch from one building to another during the production process. The four main parts of the design and development are as follows: (1) communication via Modbus TCP/IP protocol; (2) Node-RED processing for the central control unit; (3) Python software and Open CV for line detection; and (4) Node-RED connection for dashboard HMI control. The operation of PLC control equipment is dependent on various components, including the electric motor of the drivetrain, servo motor, and rack-and-pinion steering, which is accountable for Ackermann steering control. EVs with a maximum load capacity of 4,800 kg carried cassava starch autonomously over a 200-meter forward distance during testing at General Starch Co., Ltd. Additionally, 2,400 kg of cassava starch that failed quality inspection were loaded over a 200-meter reverse distance. The EVs were controlled via the Modbus TCP/IP protocol and ran at an average speed of 1 m/s. The test showed that when the dashboard HMI mode is chosen, the EV can automatically transport 4,800 kg of cassava starch in the forward range. Additionally, it was discovered that [285, 390] is the center value [X, Y] of the 24-meter guide line position distance on the road surface. EV is able to transport 2,400 kg of automatic cassava starch that does not pass quality control during the reverse period. It was found that the position distance of 113-meter of the guide line on the road surface corresponded to the center value [X, Y] of [348, 395]. Furthermore, by illustrating the connection between the frame center X and the turning angle servo motor, the autonomous navigation EV's performance can be evaluated over a 200-meter distance.

1. INTRODUCTION

Currently, engineers create the majority of EV technologies in a range of control systems. It relies on the equipment choice and equipment protocol model utilized for system development. The majority of devices that have received industry certification using standardized communication protocols, including Profinet, EtherCAT, Modbus RTU, Modbus TCP/IP, and CANbus [1]. At the next level of control, control cables are employed in both digital and analog PLC devices. To create cutting-edge energy-saving management systems and EV control systems, real-time data acquisition systems must be employed, and the Modbus TCP/IP construction for the data packet protocol must be used in the design to connect data transfer with the HMI [2, 3]. It could also be used to establish GPRS wireless connections and centralized long-distance communication to show off the performance stability and dependability of the Modbus TCP/IP protocol [4].

In addition to the nature of applications in different sectors that employ ethernet models and the development of automatic control systems [5]. Remote monitoring and control applications for equipment and sensors are frequently used in industrial automation between SCADA systems and signal transmission across routers using IoT protocols like Node-RED or CoAP, among others. For the purpose of developing hardware and software solutions that link Node-RED and facilitate the quick deployment of applications across industries, industrial IoT gateways running on Linux operating systems are being developed. To make the creation of algorithms for use with different device frameworks easier [6]. Additionally, it is essential for the creation of wireless sensor network communication protocols that work well for IoT applications [7]. The device is controlled at a lower level using a raspberry pi, and it reads parameters by writing software that uses Python to send data via the Modbus TCP/IP protocol [8].

¹School of Energy and Logistics Management Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

²School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

*Corresponding author: Tosaphol Ratniyomchai: +66-5-145-6159; Email: tosaphol@sut.ac.th.

The use of cameras in navigation systems is becoming more and more common as a result of the development of autonomous navigation systems for electric vehicles. YOLOv5 libraries in the form of deep learning and Open CV Python are the primary software development tools that use cameras [9, 10]. These libraries were used to create new channel detection and tracking algorithms to identify merged lines based on the geometric properties of lines from the best lane pairs, as well as lane detection algorithms based on hough line transform using the fundamental Open CV Python algorithm [11, 12]. Additionally, it shows that the algorithm used in actual road environments is precise and produces stable detection results. It suggests using an ego-lane detection algorithm first, followed by lateral lane detection, allowing for the detection of multiple lane pairs [13].

Furthermore, the vehicle's structure plays a significant role in autonomous driving. If EV technology currently relies on automatic or driverless steering, then Ackermann steering is the system in place. This is also referred to as parallel steering, and it assesses the best possible steering performance through control techniques [14]. As a result, the rack-and-pinion steering gearbox was designed and developed to be used as a steering system with the required steering ratio. It also underwent elemental analysis to guarantee the highest level of safety and efficiency [15].

This paper proposes how to design and develop a Modbus TCP/IP-based control system for unmanned electric vehicle autonomous transportation that transports cassava starch automatically between industrial warehouses. By installing a library and optional tools like Python and Modbus TCP/IP protocol, being controlled via dashboard HMI for processing in Python files, running Open CV in line detection format of cassava starch transit, and utilizing automatic navigation, it is possible to connect via Node-RED by using the design principles of technology that uses industrial certification equipment.

2. INFORMATION AND METHODS

2.1. Modbus protocol

The Modbus protocol, which is separated into two types: Modbus RTU and Modbus TCP/IP, is the most commonly used protocol across a variety of industries. However, compared to Modbus, there are currently other protocols that are more empathetic. However, the Modbus type is still a well-known protocol that has grown in popularity. In order to provide industrial automation control systems, Modicon Incorporated created the Modbus protocol in 1979. Additionally, it has been the accepted way in the sector to link digital and analog data streams [16].

Use the master-slave or client-server approach for communicating with devices that use the Modbus TCP/IP protocol. The other device serves as a server or slave to the single device that serves as the master or client. A slave

might be any number of auxiliary devices, including an I/O transducer, PLC, valve, inverter, or other measurement tools. To process and transmit data to the master, each slave device must issue a special ID, as illustrated in Fig. 1.

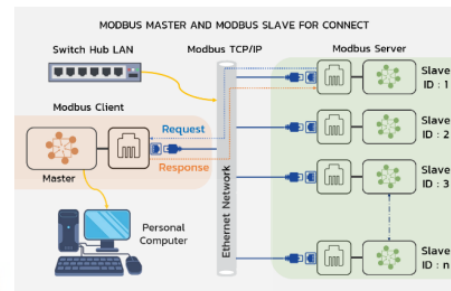


Fig. 1. Communication between Master and Slave

According to Fig. 2, Modbus TCP/IP (PDU) construction is an ethernet-based protocol that uses serial communication and transmission control protocol (TCP/IP). A Modbus application protocol (MBAP) header, which contains a transaction identification, protocol identifier, length field, and unit identifier, is used to begin the dataset. Function code is a protocol data unit (PDU) created from Modbus RTU to convert data segments to ethernet format. It ranges from 0x01 to 0x23. Using a device that can establish communication over a wireless or local area network connection, such as a router or access point, as a bridge.

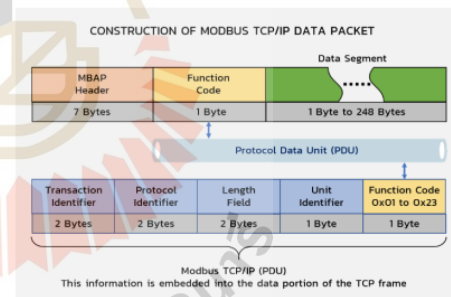


Fig. 2. Construction of Modbus TCP/IP data packet

Additionally, the Modbus TCP/IP protocol creates the Modbus RTU protocol's Rx and Tx lines as an ethernet connection, with the Modbus message structure being an application protocol that is transmitted alongside the transmission control protocol and internet protocol. Similar to the Modbus TCP/IP protocol, Table 1 displays the

function name and function code data formats used with the Modbus RTU protocol [17].

Table 1. Data formats for function name and function code

function name	function code
read discrete input	Fx02
read coils	Fx01
write single coil	Fx05
write multiple coils	Fx15
read input registers	Fx04
read multiple holding registers	Fx03
write single holding register	Fx06
write multiple holding registers	Fx16
read/write multiple registers	Fx23

2.2. Node-RED protocol

The internet of things (IoT) technology of today may link ethernet connectivity with a variety of sensor devices in industrial plants, such as power meters, flow meters, temperature sensors, PLCs, etc. [5]-[7]. Thus, the machine-to-machine (M2M) connectivity protocol known as the Node-RED protocol, also called message queuing telemetry transport (MQTT), serves as the conduit for communication between devices connected to an ethernet network. With the use of three components: publish, subscribe, and Node-RED, this enables a wide spectrum of developers to remotely operate devices running both windows and linux. As illustrated in Fig. 3, subscribe or publish can employ a number of devices, but they both need programs or apps that implement the Node-RED or MQTT protocol. For simple implementation in industrial applications, Node-RED may also enable the installation of libraries and other tools like Python, Modbus TCP/IP, cloud servers, etc. [18, 19].

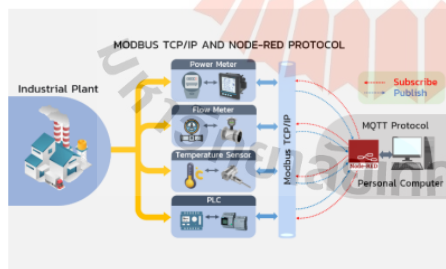


Fig. 3. Connection for Node-RED protocol communication

2.3. Python language

The Python software foundation now oversees the upkeep of the inter-programmer language that developer Guido van

Rossum created in 1990. Python is a programming language with quick writing and compilation capabilities, making it appropriate for system administration jobs. Most notably, Python, a programming language included in the Windows and Linux operating systems, is supported and may be used to program using a variety of libraries [11].

The application of the Python language, which has eight extremely well-liked framework applications for web development, software development, data analytics, machine learning, artificial intelligence, mathematical analysis, system scripting, and cyber security, has been continuously improved. Additionally, Python offers developers five features: Fig. 4 illustrates how Python is user-friendly for beginners, simple to learn, quite adaptable, incredibly flexible, and free and open-source [20].

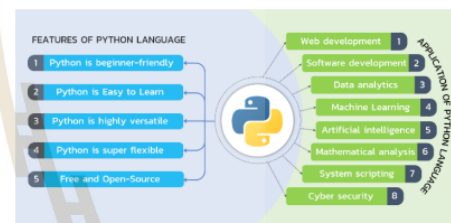


Fig. 4. Application and features for Python language

Additionally, utilizing libraries with Python lessens the workload on programmers and avoids the need to spend time writing repeated instructions, such as showing information on the screen or sending and receiving values. Using Python as a dynamic programming language with attributes, it is maintained by visual studio code software and supports several different imperative object-oriented programming languages. The open source library, which is well-liked for computer vision programming, and the Open CV library, which may construct programs primarily oriented toward real-time computer display, are two examples of the comprehensive libraries available to functional and procedural programmers. Open CV, a cross-platform library initially created by Intel, is available for free usage under the open-source BSD license [21].

2.4. Rack and pinion steering

As seen in Fig. 5, the transmission rod used for rack-and-pinion steering moves as a spindle between the rack and pinion gear. Through the tire, which has a steering mechanism coupled to the steering wheel and the servo motor, the cog travels in a linear path to be utilized for steering the wheel. The benefit of rack-and-pinion steering is that turning is moderately responsive since there is direct steering contact. The fact that it cannot be repaired when there is wear and tear between the pinion gear and the rack remains a drawback, necessitating replacement instead.

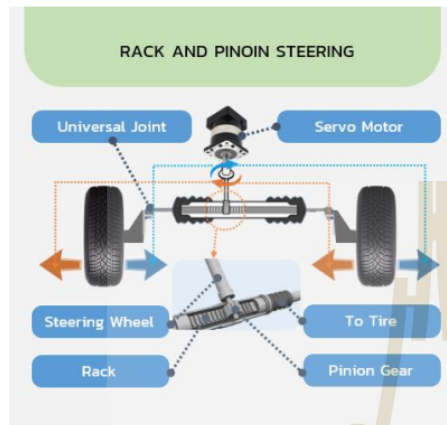


Fig. 5. Model of rack-and-pinion steering

Additionally, power steering a mix of electric systems that provide precision turning and facilitate hand turning, as well as rack and pinion steering are both increasingly utilized in modern automobiles. The usage of power steering has recently increased in the automobile sector to the point that it has forced the transition to the newest contemporary technology, namely automated steering, also known as autopilot, which is now in use and can be found in the Tesla brand, etc.

When it comes to autonomous systems or automated steering, servo motors are used in conjunction with rack and pinion steering. To be used, the control system must be built and designed. Therefore, in order to achieve the highest possible level of turning precision and efficiency, servo motor hardware technology has to be chosen in conjunction with the development of autonomous steering systems [14, 15].

3. METHODOLOGY AND RESULTS

3.1. Equipment and software for system development

The creation of autonomous EV navigation depending on the equipment capabilities chosen for processing control systems and software operations, there are technologies that can enable autonomous EV navigation in a number of ways, as well as the device's communication protocol format. The algorithms used to create EV autonomous navigation for the hardware and software chosen for this study are displayed in Tables 2 and 3, respectively [22]. After that, connect each device's connections to one another. It creates the device's communication protocol. The driving system is the first of three subsections that make up the system connection. The second component is the steering, and the third component is the autonomous navigation, as seen in Fig. 6.

Table 2. Equipment for autonomous EV navigation systems

Hardware	
Item	specification
electric motor	induction motor 5 kW 48 Vdc For EV
power converter	enpower MC3527 48 Vdc
battery lithium	48 Vdc 250 Ah lithium-ion battery
servo motor	CM3-23L50A supply 24 Vdc 5000 rpm
PLC control	TM221CE16R schneider electric M221
switch hub LAN	TP-Link model tl-sf1008d
HMI	wecon new style 7-inch HMI PI3070ie
mini PC windows	windows 10 Pro, 8GB RAM 128GB
forward camera	HIKVISION DS-2CD2625FWD-IZS
reverse camera	HIKVISION DS-2CD2625FWD-IZS

Table 3. Software for autonomous EV navigation systems

Software	
Item	Setting in Equipment
PIStudio	HMI
Node-RED	mini PC windows
Python V 3.11.0	mini PC windows
Ecostruxure Machine Expret-Basic	PLC control
enpower parameter calibrator	power converter
COOL WORKS QUICK V1.0.0	servo motor

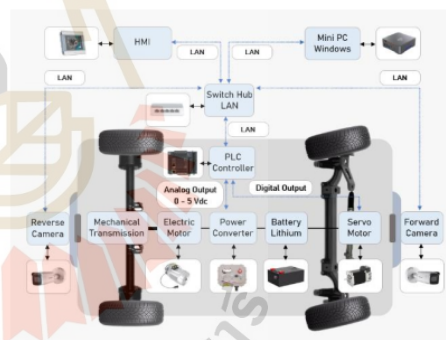


Fig. 6. Device communication protocol connection

A. Drive system

In terms of the drivetrain, Fig. 6 shows how the power converter is powered by the lithium battery at a voltage of 48 Vdc. To convert the voltage for the electric motor's power source and regulate the speed of the motor use an analog output cable format at 0 to 5 Vdc with the PLC controller's addition of the analog TM3AQ2 module and use the digital output cable format for driving forward, backward, and braking. Using the software Ecostruxure Machine Expret-Basic, a PLC controller is utilized as a control unit. Check the relationship between the voltage 0 to 5 Vdc of the PLC controller and the speed of the electric motor measured from

the power converter as shown in Table 4 and the relationship between the voltage 0 to 5 Vdc of the PLC controller and the speed of the electric motor measured from the power converter as shown in Fig. 7. Measure the speed through the serial port, which is the software of the power converter device.

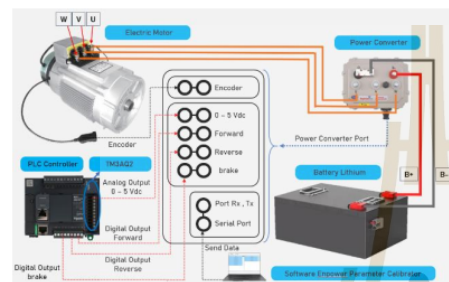


Fig. 7. Connection of the EV drive

Table 4. The relationship between voltage and speed

PLC controller voltage (Vdc)	electric motor speed (rpm)
0.00-0.78	0
0.80	318
1.00	455
1.20	690
1.40	897
1.60	1086
1.80	1341
2.00	1530
2.20	1770
2.40	1977
2.60	2181
2.80	2412
3.00	2622
3.20	2862
3.40	3148
3.60	3315
3.80	3572
4.00	3709
4.20	3997
4.40	4256
4.60	4497
4.80	4783
5.00	4980

B. Steering system

A servo motor coupled to the rack and pinion steering from Fig. 6 is used to operate the Ackermann steering model's steering system. Since the chosen servo motor has a 24 Vdc working voltage rating, a buck converter is needed to change the power supply voltage rating from battery lithium 48 Vdc

to 24 Vdc, which is equivalent to the servo motor's labor rating. Set input/output (I/O) type through the software COOL WORKS QUICK V1.0.0 to be controlled by a digital output cable using PLC control by installing the digital TM3DQ16R module for servo motor control. Along with establishing the location of the servo motor through the serial port using the software COOL WORKS QUICK V1.0.0, there is a specification of the car's construction with a maximum angle of 30 degrees left and right by splitting the turning angle into 7 ranges, as shown in Table 5, according to Fig. 8.

Table 5. The turning angle and position servo motor

turning angle (degree)	position
left angle -30	-60000
left angle -20	-40000
left angle -10	-20000
center angle 0	0
right angle 10	20000
right angle 20	40000
right angle 30	60000

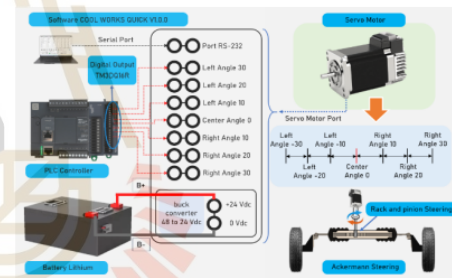


Fig. 8. Connection of the steering system

C. Automatic navigation system

The EV autonomous navigation system was developed using the mini PC's windows 10 Pro operating system. Install Node-RED and Python 3.11.0. utilizing the Open CV-Python 4.8.0.74 function package, create a method for automated navigation. Install and create a Python script that connects to a camera via a LAN wire. Use a switch hub LAN access point to connect a LAN cable to the camera, link the device signals to one another, and specify the IP addresses for both the forward camera and the reverse camera. Then, using the pyModbusTCP 0.2.0 function that has been installed and implemented in Python, the algorithm created by the autonomous navigation system is used to control PLC control through a LAN cable connected to the switch hub LAN and set an IP address to connect in Modbus TCP/IP protocol format. In addition for the master, uses an HMI to manage the system's essential functions. With the PISudio program, connect to the mini PC via a LAN cable that is

linked to the switch hub LAN using the Modbus TCP/IP connection protocol, and then set the mini PC's IP address to enable the installation of the Node-RED software's contrib-pythonshell and contrib-modbus tcp libraries. As seen in Fig. 9, it regulates the EV's Ackermann steering and propulsion. Additionally, each device's IP address must be defined as described in Table 6 in order for them to be in the same network band.

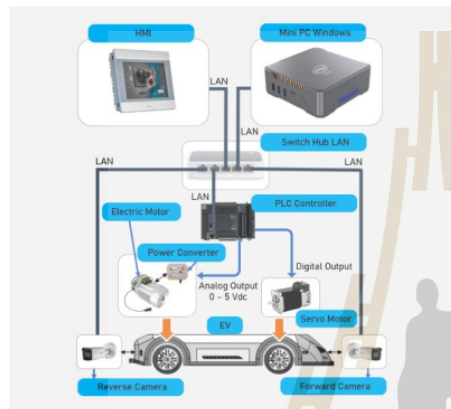


Fig. 9. Connection of automatic navigation systems

Table 6. The turning angle and position servo motor

equipment	IP address
HMI	192.168.1.10
mini PC	192.168.1.11
PLC controller	192.168.1.12
forward camera	192.168.1.13
reverse camera	192.168.1.14

3.2. Algorithms of autonomous navigation systems of EV

Designing control systems for EV devices and software that chooses to construct systems using algorithms is extremely essential to consider in order to handle complicated system design difficulties and accurately and effectively prioritize system operations. In this paper, the method for developing EV autonomous navigation is set up by first checking the network connection of the port LAN using the Modbus TCP/IP protocol format, then setting it by choosing the operating mode using the HMI. PISudio software is used to create dashboards. Fig. 10 illustrates the two primary components, the controller and monitoring. There are two operating modes: forward and reverse. Later, link data from the HMI using the software Node-RED function. In Python files for autonomous navigation using the software's line detection format, the camera continuously scans the guidance line in both forward and reverse directions. At the

end of the path, the software will advise the EV system to cease functioning and wait for the next start order if there is a slip-off as Fig. 11 depicts the flow chart diagram.



Fig. 10. Dashboard HMI for control systems

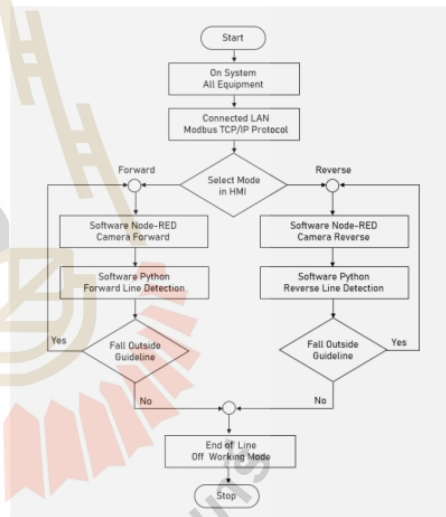


Fig. 11. Algorithm for system operation and flowchart

The system's primary functionality in forward and reverse modes is controlled by the processing software. By specifying the register address of multiple holding registers from Table 1 to match between the HMI and the master managing the operation of the system, software Node-RED may be used as a connector to exchange data from the HMI using the Modbus TCP/IP protocol format. Then, in the software Node-RED section, connect to the tool function by adding code for setting conditions, connect to the tool trigger

and block, define the wait to be reset format to wait for the value 11 from the code in the tool function, and connect to the tool pythonshell. Finally, use the tool modbustep that is a slave by defining the register address of the tool modbustep, both forward and reverse, as 1 and 2, respectively. As indicated in Figs. 12 and 13, the Python files for the forward camera and the reverse camera should be assigned to correspond with the files kept on the mini PC.

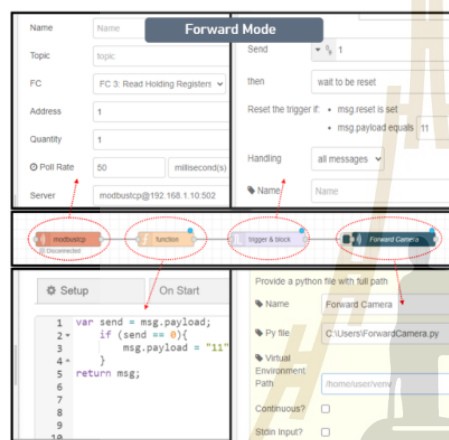


Fig. 12. Develop software Node-RED forward mode

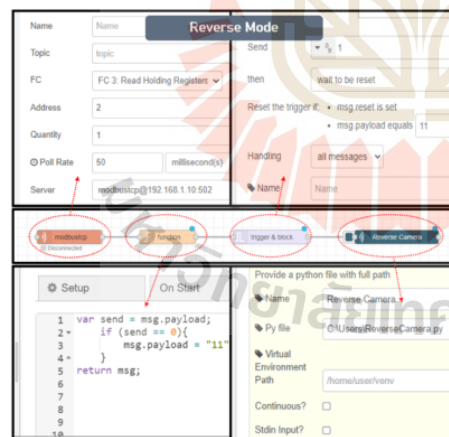


Fig. 13. Develop software Node-RED reverse mode

When employing automatic navigation, a camera is used as a sensor to find navigational markings on the route. In addition, the frame camera for both the forward camera and the reverse camera has frame [X, Y] values of [0:640,

300:480]. During the camera's startup procedure, the Open CV function is used to standby the device, detect the picture, process the colored guide lines, and locate the frame's contours in the crop center X range of 0 to 640 and the crop center Y range of 300 to 480. If true or equal to 1, locate the center X and Y lines while the EV is moving at an average speed of 1 m/s by specifying the operating range conditions in the automated steering section. In Fig. 14, a line-following detection steering diagram is used to transport cassava starch between buildings both forward and reverse.

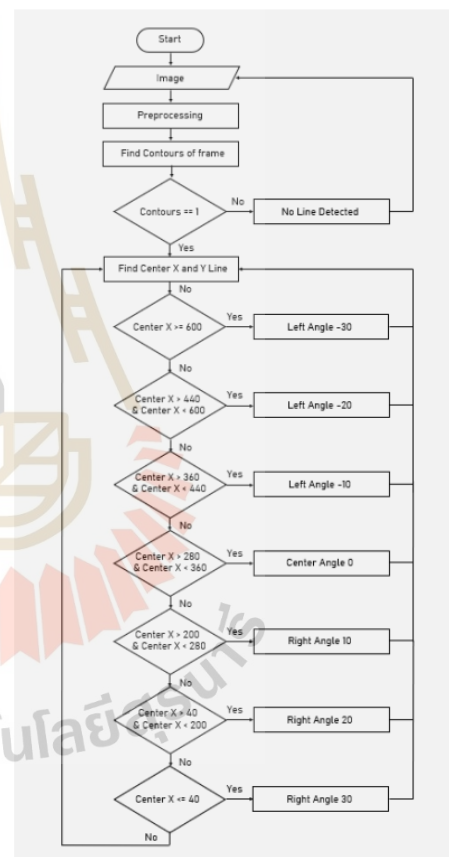


Fig. 14. Line following detection system diagram

3.3. Tests and results

Due to the requirement for autonomous navigation and the system's design to support both forward and reverse operation modes, two Python files were created during the

development of the EV operation control system. Typically, on windows operating systems, Python files must be executed one at a time using the name command of that file on the command prompt. Software Node-RED is a middleman that can link Python files with a lot of other files so that they are prepared to wait for the run command. HMI files that have produced a mode dashboard.



Fig. 15. EV for testing transportation of cassava starch

The test vehicle's development and design are depicted in Fig. 15 [22]. Transporting cassava starch among General Starch Co., Ltd. warehouses. The maximum weight it can carry while transporting cassava starch is 4,800 kg. The cassava starch is sent in large sacks that may hold up to 1,200 kg each. Test run of 200 m for forward by demand that EV's automatically go from the manufacturing line to the cassava starch warehouses after loading 4 big bags with a total weight of 4,800 kg. In addition, a test run of 200 m for reverse by 2,400 kg of cassava starch must be loaded into EV's without the use of quality control, and they must then autonomously go reverse from the warehouse to the line that makes cassava starch.

The test revealed that cassava starch was transported between warehouses using the EV's automated navigation control system. By choosing forward and sending a signal to the software Node-RED, the EV may be operated via the dashboard HMI. The processing of the EV system automatically navigates with a load capacity of 4,800 kg of 4 big bags during the forward period from the production line to the cassava starch warehouse by displaying the function Open CV in the form of line detection of the guide line on the road surface at a distance of 24 m and the actual operation result of forward mode. Fig. 16 illustrates that the center [X, Y] value is equivalent to [285, 390] from frames X [0:640] and frames Y [300:480].

When you arrive at the warehouse for cassava starch, let

the forklift remove the cassava starch from the EV and use the dashboard HMI's stop button to put an end to the operation. The forklift then loads the 2,400 kg of cassava starch that failed quality control onto the EV and pushes the dashboard HMI's reverse button, sending a signal to the software Node-RED of the EV processing to start the navigation automatically during the reverse period from the warehouse to the cassava starch for the production line. Additionally, at a distance of 113 m, it will display the real operation results of the reverse mode and function Open CV in the form of line detection of the guide line on the road surface. According to Fig. 17, the center [X, Y] is identical to [348, 395] from frames X [0:640] and Y [300:480].

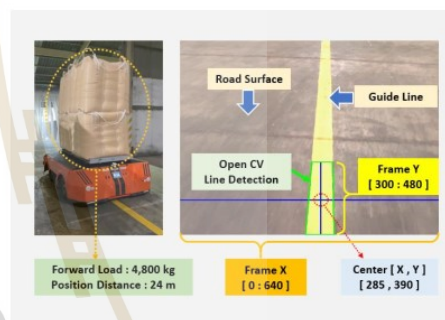


Fig. 16. EV forward line detection

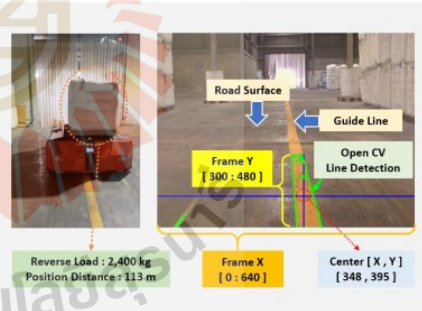


Fig. 17. EV reverse line detection

Additionally, Fig. 18 illustrates the link between frame center X and the turning angle servo motor for forward in the autonomous navigation system devised and constructed to test EV performance in the forward range. It was discovered that the turning angle of the servo motor is proportional to frame center X, which has established the circumstances as indicated in Fig. 14, with the greatest turn left angle when hauling cassava starch with a load capacity of 4,800 kg over a running distance of 200 m and a value of

-20 degrees when center X values are more than 440 and less than 600 of frame center X. As seen in Fig. 19, there is a relationship between the turning angle servo motor for reverse and the frame center X for the reverse period. It was discovered that the turning angle of the servo motor is proportional to frame center X, which has established the conditions as indicated in Fig. 14 with the greatest turn right angle when transporting cassava starch with a load capacity of 2,400 kg over a running distance of 200 m. At center X, a value of 30 degrees greater than and equal to 600 of frame center X since an EV uses a reverse camera for automatic navigation, the relationship between the turning angle of the servo motor and forward is the opposite in this case. Thus, in the turning-angle servo motor, it is alternated with the forward-running type.

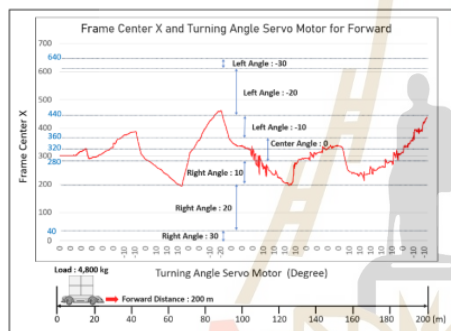


Fig. 18. Frame center X and turning angle servo motor for forward distance 200 m

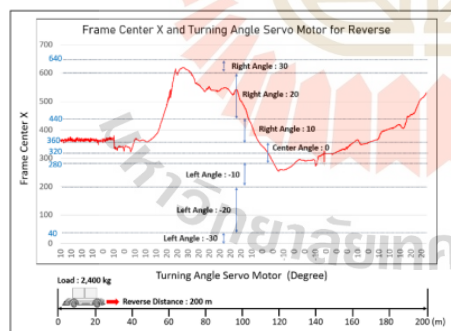


Fig. 19. Frame center X and turning angle servo motor for reverse distance 200 m

4. CONCLUSIONS

The development of EV's autonomous navigation system was focused on moving cassava starch between warehouses. It makes use of technologies that can enable EV autonomous

driving, with a focus on Modbus TCP/IP protocol-based control systems. In addition, pick a mini PC with a core CPU running windows 10 Pro and install software like Node-RED so that it can link Python files as a middleman. Install the Python V 3.11.0 program to create autonomous navigation algorithms that make use of the line detection function provided by Open CV-python 4.8.0.74. Using the dashboard created in the HMI to control the communication connection to the slave Node-RED, it manages the fundamental functions of the master system. The Ackermann steering system, controlled by a servo motor attached to the rack and pinion steering, and the electric motor of the EV are both under PLC control. Based on the results of an experiment using an automated navigation control system employing EV's Modbus TCP/IP Protocol format control system, using line detection, EV can automatically transport cassava starch at a rate of 1 m/s by selecting the forward option on the dashboard HMI. Function frames X [0:640] and Y [300:480] initiate the activation of Open CV, or 4,800 kg of load. During the forward phase, it was discovered that the center value [X, Y] of the guide line at a position distance of 24 m on the road surface is [285, 390]. And in reverse time, it was discovered that a load of cassava starch weighing 2,400 kg had a 113 m position distance on the road surface [348, 395]. In order to evaluate the performance of the EV, it can also demonstrate the relationship between frame center X and the turning angle servo motor for forward and reverse over a 200 m distance. Additionally, to improve the efficiency of cassava starch transportation between buildings in the future, the smart warehouse system can utilize the developed EV autonomous navigation system. To act as a prototype for the switch to EV for the movement of goods inside more contemporary factories that use comparable modes of transportation, like rice mills and sugar factories.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by funding from outside sources, including the Research and Development Support Fund (OROG), Suranaree University of Technology Institute, and the management team of General Starch Co., Ltd. These sources also supported the budget for prototype development and provided useful information through interviews and operational sites for case study testing.

REFERENCES

- [1] Tamboli, S., Rawale, M., Thoraiet, R. and Agashe, S. 2015. Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP communication using Siemens S7-1200 PLC for batch process. International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM). Avadi, India, 6-8 May 2015, pp. 258-263. <https://doi.org/10.1109/ICSTM.2015.7225424>.

- [2] Lin, C. and Zhaolu, S. 2019. Realization of Modern Tram Data Acquisition System Based on Labview and Modbus TCP. International Conference on Safety Produce Informatization (IICSP). Chongqing, China, 28-30 November 2019, pp. 199-201. <https://doi.org/10.1109/IICSP148186.2019.9095896>.
- [3] Mughaid, A., AlZubi, S., Alzyoud, A. and Ghazo, A.A. 2022. SCADA Authentication Identification Over The Next Generation CyberNet. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2364360/v>.
- [4] Li, B., Chen, G., Wang, L. and Hao, Z. 2017. Tower Crane Remote Wireless Monitoring System Based on Modbus/Tcp Protocol. IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC). Guangzhou, China, 21-24 July 2017, pp. 187-190. <https://doi.org/10.1109/CSE-EUC.2017.217>.
- [5] Deng, L., Peng, Y., Liu, C., Xin, X. and Xie, Y. 2016. Intrusion Detection Method Based on Support Vector Machine Access of Modbus TCP Protocol. IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). Chengdu, China, 15-18 December 2016, pp. 380-383. <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2016.90>.
- [6] Nguyen-Hoang, P. and Vo-Tan, P. 2019. Development An Open-Source Industrial IoT Gateway. International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT). Ho Chi Minh, Vietnam, 25-27 September 2019, pp. 201-204. <https://doi.org/10.1109/ISCIT.2019.8905157>.
- [7] Nguyen Thi Thanh, N. and Nguyen Kim, K. 2021. ECODA - Entropy Correlation Based Data Aggregation Protocol For Wireless Sensor Networks. GMSARN International Journal, 15(2), pp. 103-112.
- [8] Bhattacharjee, T., Saha, A. K., Ramalingam, S. P., Shanmugam, P. K. and Padmanaban, S. 2019. Server Monitoring and Priority based Automatic Load Shedding Algorithm (SEMPALS). IEEE Region 10 Conference (TENCON). Kochi, India, 17-20 October 2019, pp. 1863-1868. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2019.8929335>.
- [9] Ye, W., Yuetian, S., Yunhe, X., Shu, W. and Yuchen, Z. 2010. The Implementation of Lane Detective Based on Open CV. Second WRI Global Congress on Intelligent Systems. Wuhan, China, 16-17 December 2010, pp. 278-281. <https://doi.org/10.1109/GCIS.2010.120>.
- [10] Thanh, B. D., Khanh, G. D., Anh, M. T. and Hoa, T. T. 2024. Rice Leaf Diseases Detection Using Deep Learning Ensemble Model. GMSARN International Journal, 18(3), pp. 308-314.
- [11] Mohammed Shariff, A. S., Bhatia, R., Kuma, R. and Jha, S. 2021. Vehicle Number Plate Detection Using Python and Open CV. International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE). Greater Noida, India, 04-05 March 2021, pp. 525-529. <https://doi.org/10.1109/ICACITE51222.2021.9404556>.
- [12] Yemaydin, Y. and Schmidt, K. W. 2020. Lane Detection and Tracking based on Best Pairs of Lane Markings: Method and Evaluation. Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Gaziantep, Turkey, 05-07 October 2020, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/SIU49456.2020.9302424>.
- [13] Ma, L. Y., Zhu, H. and Duan, H. 2021. A Method of Multiple Lane Detection Based on Constraints of Lane Information. China Automation Congress (CAC). Beijing, China, 22-24 October 2021, pp. 4059-4064. <https://doi.org/10.1109/CAC53003.2021.9727491>.
- [14] Veneri, M. and Massaro, M. 2021. The effect of Ackermann steering on the performance of race cars. International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 59(6), pp. 907-927.
- [15] Ajay, M. T., Sanket, P. G., Shital, R. U. and Nikita, R. K. 2019. Design of Rack and Pinion Steering System for all Terrain Vehicle. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 6(2), pp. 612-615.
- [16] Yue, G. 2020. Design of Intelligent Monitoring and Control System Based on Modbus. International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP). Chengdu, China, 13-15 November 2020, pp. 149-153. <https://doi.org/10.1109/CCISP51026.2020.9273500>.
- [17] Nyasore, O. N., Zavorsky, P., Swar, B., Naiyeju, R. and Dabra, S. 2020. Deep Packet Inspection in Industrial Automation Control System to Mitigate Attacks Exploiting Modbus/TCP Vulnerabilities. IEEE 6th Intl Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE Intl Conference on High Performance and Smart Computing, (HPSC) and IEEE Intl Conference on Intelligent Data and Security (IDS). Baltimore, MD, USA, 25-27 May 2020, pp. 241-245. <https://doi.org/10.1109/BigDataSecurity-HPSC-IDS49724.2020.00051>.
- [18] Benyazza, H., Bouhedda, M., Faci, N., Aissani, M. and Rebouh, S. 2019. Greenhouse Monitoring and Fuzzy Control System based on WSN and IoT. International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID). Elazig, Turkey, 25-27 September 2019, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICAAID.2019.8934984>.
- [19] Okeke, D. and Musa, S. M. 2021. Energy Management and Anomaly Detection in Condition Monitoring for Industrial Internet of Things Using Machine Learning. International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS). Jakarta, Indonesia, 28-29 October 2021, pp. 65-68. <https://doi.org/10.1109/ICIMCIS53775.2021.9699352>.
- [20] Gayathri Devi, T., Neelamegam, P. and Sudha, S. 2017. Image Processing System for Automatic Segmentation and Yield Prediction of Fruits using Open CV. International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC). Mysore, India, 08-09 September 2017, pp. 758-762. <https://doi.org/10.1109/CTCEEC.2017.8455137>.
- [21] Singh, G., Gupta, I., Singh, J. and Kaur, N. 2022. Face Recognition using Open Source Computer Vision Library (Open CV) with Python. International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO). Noida, India, 13-14 October 2022, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICRITO56286.2022.9964836>.
- [22] Kaewpoung, S., Su-hren, W., Musigapong, P. and Ratiyomchai, T. 2023. Development of Starch Transport Vehicle in Industrial Plant Using EV Technology for 4,000 kg Load. Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023). Nakhon Phanom, Thailand, 1-3 May 2023, pp. 887-890.

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)



การพัฒนารถขนส่งแป้งมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าพิกัดบรรทุก 4,000 kg

Development of Starch Transport Vehicle in Industrial Plant Using EV Technology for 4,000 kg Load

ศุภชัย แก้วทอง¹, วิวรรณ สุพรรณ¹, พิรัชญา มุสิกพงษ์² และ ทศพล รัตนนิมิตชัย³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 E-mail: peper.supachai@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 E-mail: jamewivat2542@gmail.com, ³tosaphol@sut.ac.th

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์และความปลอดภัย สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000 E-mail: pirutchada@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าพัฒนา รถขนส่งแป้งมันสำปะหลังภายในโรงงาน มีเป้าหมายเพื่อใช้ขนส่งแป้งใน โรงงานที่มีกำลังผลิตแป้งต่อวันจำนวน 400,000 kg โดยกำหนดให้รถที่ ต้องการพัฒนามีน้ำหนักตัวรถ 1,000 kg สามารถบรรทุกโหลดได้สูงสุด 4,000 kg วิ่งความเร็วได้สูงสุด 1 m/s เพื่อใช้เป็นหลักการคำนวณหาพิค คมมอเตอร์และขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ การพัฒนารถไฟฟ้า และนำรถที่พัฒนาวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลือง พลังงานไฟฟ้า โดยทดสอบวิ่ง 2 กรณี ในกรณีแรกบรรทุกโหลด 4,000 kg ที่ความเร็ว 0.5 m/s พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อวัน 3.29 kWh และกรณีที่สองบรรทุกโหลด 2,000 kg ที่ความเร็ว 1 m/s พบว่ามี อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าต่อวัน 4.48 kWh ดังนั้นมอเตอร์ที่ เลือกใช้มีพิค 5 kW และแบตเตอรี่ที่เลือกใช้มีขนาด 4 kWh พิจารณาจาก การทดสอบวิ่งในกรณีแรกที่มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า กรณีที่สองร้อยละ 26.56 ซึ่งมีผลต่อปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือน กระจก ทั้งนี้ผลการศึกษาดังกล่าว โรงงานสามารถนำไปใช้เป็นหลักใน การวิเคราะห์เลือกขนาดแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: แป้งมันสำปะหลัง, โรงงานอุตสาหกรรม, ยานยนต์ไฟฟ้า

Abstract

The design of an electric vehicle for transporting tapioca starch in a factory that can generate 400,000 kg of product per day. The vehicle has a weight capacity of 1,000 kg to 4,000 kg and can travel with a maximum speed of 1 m/s. The necessary motor and battery capacity are determined using these designations. Two scenarios are taken into consideration to study the trade-off between throughput and energy use.

First, the vehicle uses 3.29 kWh per day while moving at a speed of 0.5 m/s and carrying 4,000 kg of load. Second, the vehicle uses 4.48 kWh per day while moving at a speed of 1 m/s and carrying 2,000 kg of load. The finding suggests that the first condition performs better than the alternative scenario. It can reduce the energy usage by 26.56%, which will have an influence on greenhouse gas emissions. Thus, the final design requires a 4 kWh battery and a 5 kW motor. Tapioca starch mills may decide to further examine this proposed design in an effort to maintain their competitiveness because it can potentially reduce power costs while maintaining high throughput.

Keywords: Starch, Industrial Plant, Electric Vehicle (EV)

1. บทนำ

ปัจจุบันการขนส่งแป้งมันสำปะหลังระหว่างไลน์ผลิตและคลัง เก็บสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ส่วนใหญ่มักใช้ รถบรรทุกหรือรถโฟล์คลิฟท์สำหรับการขนส่งแป้งมันสำปะหลังที่บรรจุ อยู่ในกระสอบมีกึ่งที่มีขนาด 800 kg ถึง 1,000 kg ในระหว่างทำการขนส่ง แป้งทำให้เกิดปัญหาการใช้เชื้อเพลิงที่สูญเปล่าในระหว่างที่ไม่จำเป็น เพื่อ ลดปัญหาดังกล่าวการวางแนวระบบในการผลิตมีส่วนสำคัญในการเพิ่ม ประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ ในเบื้องต้นมี 2 วิธี วิธีแรกคือ การปรับปรุง สายพานลำเลียงจากชุดบรรจุให้มีระยะสั้นลง และอีกวิธี คือ การปรับเปลี่ยน เส้นทางขนส่งแป้งใหม่ให้มีระยะทางที่สั้นลง [1],[2] เนื่องจากเทคโนโลยี ทางด้านยานยนต์ไฟฟ้าได้ก้าวเข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหา การใช้เชื้อเพลิงของรถบรรทุกและรถโฟล์คลิฟท์ [3] ดังนั้นเทคโนโลยีทางด้าน ยานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำมาพัฒนาการขนส่งสินค้า

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15
 15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)



ภายในโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนย้ายสินค้า รวมทั้งประหยัด
 ค่าใช้จ่ายการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันและแก๊สให้มากที่สุด [4]

สิ่งสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านยานยนต์ไฟฟ้า คือ
 ต้องเข้าใจหลักการออกแบบขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ เพื่อให้
 ตอบโจทย์กับความต้องการและนำไปใช้งานอย่างเหมาะสม อันดับแรก
 ที่ต้องคำนึงถึงคือ น้ำหนัก โหลดสูงสุดและความเร็วเฉลี่ยที่ใช้เป็นหลัก
 Yuan Cheng และคณะ [5] แนะนำขั้นตอนการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้า
 ของระบบยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งวิธีการคำนวณค่าพารามิเตอร์แรงบิด
 และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อเลือกใช้ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสม
 หลังจากนั้นวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้คำนวณขนาดของ
 แบตเตอรี่และออกแบบระบบสถานีชาร์จ ซึ่ง A. Nabi Akpolat และคณะ
 [6] เสนอการคำนวณขนาดแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้การ
 ทำงานสภาวะการขับขึ้นในสภาพถนนต่าง ๆ เช่น ทางเรียบ ทางลงเนิน
 และทางขึ้นเนิน เป็นต้น เพื่อใช้วิเคราะห์และสามารถเลือกขนาด
 แบตเตอรี่อย่างถูกต้อง Z. Xu และคณะ [7] เสนอการพัฒนาแบบสถานี
 ชาร์จแบตเตอรี่และการออกแบบวงจรควบคุมของโมดูลการสื่อสาร
 สำหรับการชาร์จของยานยนต์ไฟฟ้า

ในบทความนี้นำเสนอการปรับเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยียาน
 ยนต์ไฟฟ้าขนส่งแบริ่งระหว่างไลน์ผลิตไปยัง โกดังเก็บแป้ง กรณีศึกษา
 บริษัท เชนแบริล สดาร์ช จำกัด ได้นำรถที่พัฒนาทดสอบบรรทุก โหลด
 และปรับความเร็วเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลือง
 พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งคำนวณหาที่กักมอเตอร์และขนาดแบตเตอรี่ ซึ่ง
 เป็นองค์ประกอบหลักของการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพต่อการใช้งาน

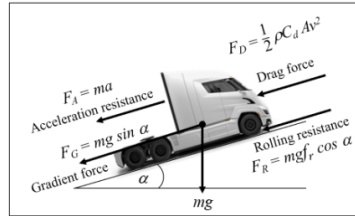
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการออกแบบขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า

การออกแบบขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ทฤษฎีกฎข้อที่
 สองของนิวตัน เริ่มต้นจากการหาแรงศูนย์กลางของตัวรถเพื่อเป็นแนวทาง
 ในการหาขนาดคันกำลัง ดังรูปที่ 1 เมื่อรถเคลื่อนที่ทำให้เกิดแรงเสียดทาน
 ระหว่างล้อกับพื้น จากกฎข้อที่สองของนิวตันเมื่อมีแรงเสียดทานเกิดขึ้น
 ผลลัพธ์ของแรงทั้งหมด F_T ที่สามารถทำได้ ดังสมการที่ (1) ได้แก่ F_R
 แรงเสียดทานล้อ (Rolling resistance) F_D แรงต้านอากาศ (Drag force)
 F_G แรงต้านจากทางลาดชัน (Gradient force) และ F_A แรงต้านผิวนิวตัน
 ของมวลในขณะเร่งความเร็ว (Acceleration resistance) แทนค่าสมการ
 ของแรงต่าง ๆ ดังสมการที่ (2)

$$F_T = F_R + F_D + F_G + F_A \quad (1)$$

$$F_T = mgf_r \cos \alpha + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 + mg \sin \alpha + ma \quad (2)$$



รูปที่ 1 ผลลัพธ์ของแรงกระทำทั้งหมดต่อตัวรถ

- โดยที่
- m คือ น้ำหนักตัวรถรวมบรรทุก โหลด (kg)
 - g คือ อัตราเร่งโน้มถ่วง (m/s^2)
 - f_r คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานล้อกับพื้น
 - α คือ ความชันของพื้น (องศา)
 - ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)
 - A คือ พื้นที่หน้าตัดหน้าตัวรถ (m^2)
 - v คือ ความเร็วรถ (m/s)
 - a คือ อัตราเร่งของรถ (m/s^2)
 - C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

นอกจากนี้แรงที่ทำให้สิ่งของหมุนในอุตสาหกรรมยานยนต์
 เรียกว่า แรงเพล่าขบ หรือ แรงบิด เมื่อเกิดแรงบิดที่เพล่าขบหมุนทำให้รถ
 เคลื่อนที่ และเกิดกำลังงานที่ใช้ต่อเนื่อง เรียกว่า แรงแม่ หรือ กำลังขับของ
 มอเตอร์ ดังนั้นใช้ผลลัพธ์ของแรงทั้งหมด จากสมการที่ (2) คำนวณหา T
 แรงบิด (Torque) ดังสมการที่ (3) และ P กำลังขับของมอเตอร์ (Power)
 ดังสมการที่ (4) [6]

$$T = \frac{F_T r}{\eta} \quad (3)$$

$$P = \frac{F_T v}{\eta} \quad (4)$$

- โดยที่
- r คือ รัศมีล้อรถ (m)
 - η คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์

2.2 หลักการออกแบบขนาดแบตเตอรี่

การออกแบบขนาดแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าสามารถใช้
 กำลังขับของมอเตอร์จากสมการที่ (4) เพื่อนำมาวิเคราะห์อัตราการใช้
 พลังงานไฟฟ้าที่แปรผันตามระยะทางและเวลา ใช้คำนวณหาอัตราการใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)



พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดเส้นทางที่รถวิ่ง E_T โดยใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ 4 ช่วง ได้แก่ E_1 ช่วงเร่งออกตัว (Acceleration) E_2 ช่วงความเร็วคงที่ (Constant speed) E_3 ช่วงปล่อยไหล (Coasting) และ E_4 ช่วงเบรก (Braking) ดังรูปที่ 2 ดังนั้นสามารถคำนวณหาการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงพิจารณาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระยะทางทั้งหมดรวมทุกช่วง โดยกำหนดเป็นตัวแปร i มีค่าเท่ากับ 1 ถึง 4 ดังสมการที่ (5) [7]

$$E_T = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{P_i}{\eta_{mv}\eta} \cdot S_i \cdot DOD_{batt} V_i \right) \quad (5)$$

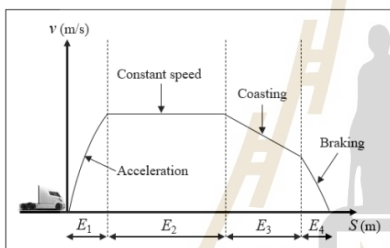
โดยที่ P_i คือ กำลังขับเคลื่อนช่วง i (kW)

S_i คือ ระยะทางวิ่งรถ ช่วง i (m)

V_i คือ ความเร็ววิ่งรถ ช่วง i (m/s)

η_{mv} คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์

DOD_{batt} คือ ประสิทธิภาพการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถในแต่ละช่วง

3. ระเบียบวิธีการและผลการทดสอบ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 1 เพื่อใช้คำนวณผลลัพท์ของแรงทั้งหมด ค่ามวลหนาทัน และกำลังขับเคลื่อนมอเตอร์ ดังสมการที่ (2)–(4) คำนวณขนาดแบตเตอรี่ โดยใช้ผลรวมของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แปรผันตามกำลังขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะทาง และความเร็วที่รถวิ่งในแต่ละช่วงที่กำหนดเป็นตัวแปร i ดังสมการที่ (5) ดังนั้นนำพิกัดมอเตอร์และขนาดแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก พัฒนาเป็นรถไฟฟ้าเพื่อใช้ขนส่งแบริ่งมันสำปะหลังภายในโรงงาน ดังรูปที่ 3

ผลการคำนวณค่ากำลังขับเคลื่อนมอเตอร์ในกรณีนี้พิจารณาช่วงเร่งเท่านั้น ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้กำลังขับเคลื่อนมอเตอร์สูงสุด พบว่า P เท่ากับ 3.26 kW และ T เท่ากับ 921.82 Nm นำค่ากำลังขับเคลื่อนมอเตอร์คำนวณต่อการรองรับโหลดเกิน 25 % ค่า พบว่า P เท่ากับ 4.07 kW พิกัดมอเตอร์ที่เลือกใช้งาน เท่ากับ 5 kW



รูปที่ 3 รถขนส่งแบริ่งมันสำปะหลังภายในโรงงานที่พัฒนา

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาแรงบิดและกำลังขับเคลื่อนมอเตอร์

พารามิเตอร์	ความหมาย	เท่ากับ	หน่วย
m	น้ำหนักตัวรวมบรรทุกโหลด	5,000	kg
g	อัตราเร่งโน้มถ่วง	9.8100	m/s^2
f_f	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลื่นกับพื้น	0.0090	-
α	ความชันของพื้น	0	องศา
ρ	ความหนาแน่นอากาศ	1.1455	kg/m^3
C_d	สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	0.1900	-
A_f	พื้นที่หน้าตัดหน้าตัวรถ	2.4780	m^2
v	ความเร็วรถ	1	m/s
a	อัตราเร่งของรถ	0.5000	m/s^2
r	รัศมีล้อรถ	0.2820	m
η	ประสิทธิภาพมอเตอร์	0.9000	-
η_m	ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	0.9000	-
DOD_{batt}	ประสิทธิภาพการคายประจุของแบตเตอรี่	0.8000	-

ผลการคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพื่อลดต้นทุนสำหรับการพัฒนารถไฟฟ้า นำหลักการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า ดังรูปที่ 2 พิจารณาเส้นทางรถวิ่ง (ในกรณีไม่มีทางชันและไม่มีสิ่งกีดขวางเท่านั้น) โดยไม่พิจารณาช่วงปล่อยไหลและช่วงเบรกเนื่องจากความเร็วที่รถวิ่งมีความเร็วต่ำ กรณีที่ลองการหยุดรถสามารถหยุดได้ทันที (ระยะเบรกน้อยมาก) ดังนั้น กำหนดระยะทางรถวิ่งขาไปและขากลับ 200 m มีระยะทางช่วงเร่ง 1 m และระยะทางช่วงความเร็วคงที่ 199 m

การทดสอบวิ่งรถขนส่งแบริ่งแบบออก 2 กรณี โดยมีเป้าหมายขนส่งแบริ่งระหว่าง ไลน์ผลิตไปยังโกดังเก็บแบริ่งต่อวันจำนวน 400,000 kg สำหรับกรณีแรก กำหนดให้เข้าไปบรรทุกโหลดที่น้ำหนักรวม 4,000 kg วิ่งในระยะทางขาไป 200 m ที่ความเร็ว 0.5 m/s และขากลับไม่บรรทุกโหลด (วิ่งรถเปล่า) ที่น้ำหนัก 1,000 kg ในระยะทาง 200 m ที่ความเร็ว 0.5 m/s เพื่อขนส่งแบริ่งให้ได้ตามเป้าหมายต่อวันใช้จำนวน 100 รอบ และกรณีที่สอง กำหนดให้เข้าไปบรรทุกโหลดที่น้ำหนักรวม 2,000 kg วิ่งในระยะทางขาไป 200 m ที่ความเร็ว 1 m/s และขากลับไม่บรรทุกโหลด (วิ่งรถเปล่า) ที่

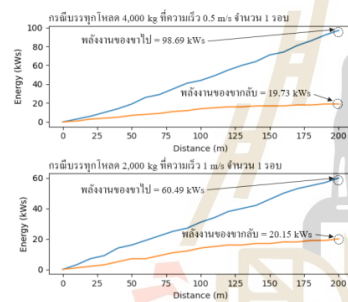
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15

15th Conference of Electrical Engineering Network 2023 (EENET 2023)



น้ำหนัก 1,000 kg ในระยะทาง 200 m ที่ความเร็ว 1 m/s เพื่อขนส่งเบี่ยงให้ได้ตามเป้าหมายต่อวันใช้จำนวน 200 รอบ โดยวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานเทียบกับระยะทางที่วิ่งทั้งขาไปและขากลับต่อรอบของทั้งสองกรณี ดังรูปที่ 4 จากการทดสอบพบว่ากรณีแรกมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน E_T เท่ากับ 3.29 kWh ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่สองร้อยละ 26.56 ที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน E_T เท่ากับ 4.48 kWh ดังนั้นแบตเตอรี่ที่เลือกใช้มีขนาด 4 kWh เพื่อความยั่งยืนของการพัฒนาและต่อ ยอดการนำไปใช้ประเด็นปัญหาเรื่องมลภาวะที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนจึงถูกนำมาพิจารณาด้วย โดยนำอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยวิธีการคำนวณของ IPCC 2007 GWP [8] พบว่า กรณีทดสอบที่ 1 และ 2 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปริมาณ 469.55 และ 639.39 kg CO₂-eq ต่อปี ตามลำดับ ดังนั้น หากเลือกใช้กรณีที่ 1 ซึ่งมีสมรรถนะในการทำงานสูง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 169.84 kg CO₂-eq ต่อปี เมื่อเทียบกับกรณีที่ 2



รูปที่ 4 การใช้พลังงานเทียบกับระยะทางทั้งขาไปและขากลับต่อรอบ

4. สรุป

การพัฒนารถขนส่งเบี่ยงมันสำปะหลังในโรงงานอุตสาหกรรมและบรรทุกโหลดสูงสุดที่คิด 4,000 kg ใช้สำหรับโรงงานมีกำลังการผลิตแป้งต่อวัน 400,000 kg สามารถนำผลผลิตของแรงที่กระทำต่อตัวรถทั้งหมด คำนวณกำลังขับและแรงบิดของมอเตอร์ จากการคำนวณเลือกใช้พิกัดมอเตอร์ 5 kW และคำนวณขนาดแบตเตอรี่โดยใช้หลักการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า ทดสอบวิ่งรถ 2 กรณี กรณีแรกบรรทุกโหลด 4,000 kg ที่ความเร็ว 0.5 m/s และกรณีที่สอง บรรทุกโหลด 2,000 kg ที่ความเร็ว 1 m/s จากการทดสอบพบว่ากรณีแรกมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 3.29 kWh ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่สองร้อยละ 26.56 ที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 4.48 kWh ดังนั้นแบตเตอรี่ที่เลือกใช้มีขนาด 4 kWh นอกจากนี้ยังใช้เป็น

หลักการวิเคราะห์เพื่อนำไปพัฒนารถขนส่งภายในโรงงานของอุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Vonolfen, M. Kofler, A. Beham, M. Affenzeller and W. Achleitner, "Optimizing assembly line supply by integrating warehouse picking and forklift routing using simulation," Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), 2012, pp. 1-12, doi: 10.1109/WSC.2012.6465077.
- [2] S. M. M. Rahman, "Forklift Routing Optimization in a Warehouse using a Clustering-based Approach," Presented in Partial Fulfillment of the Requirements For the Degree of Master of Applied Science in Industrial Engineering, May 2019.
- [3] S. López, J. Caicedo, M. Mamani, A. A. Romero and G. Rattá, "Literature review: Potential impacts of plug-in electric vehicles on electric power systems," 2014 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition - Latin America (PES T&D-LA), 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/TDC-LA.2014.6955255.
- [4] X. Sun, Z. Li, X. Wang and C. Li, "Technology Development of Electric Vehicles: A Review," All content following this page was uploaded by Chengjiang Li on 23 December 2019, Energies 2020, 13, 90, doi:10.3390/en13010090.
- [5] Yuan Cheng, Fuyi Duan and Shumei Cui, "The design principle of electric motors and drive systems for electric vehicles," 2005 International Conference on Electrical Machines and Systems, 2005, pp. 802-805 Vol. 1, doi: 10.1109/ICEMS.2005.202647.
- [6] A. Nabi Akpolat, Y. Yang, F. Blaabjerg, E. Dursun and A. Emin Kuzucuoglu, "Li-ion-based Battery Pack Designing and Sizing for Electric Vehicles under Different Road Conditions," 2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), 2020, pp.1-6, doi: 10.1109/SEST48500.2020.9203196.
- [7] Z. Yu, M. Zhang and J. Yang, "Design of Energy Management Systems for Mobile Power Station of Electric Vehicles," 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2009, pp. 250-253, doi: 10.1109/ICIM.2009.521.
- [8] กระทรวงพลังงาน. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2565). การปล่อย CO₂ สืบค้น 2 มีนาคม 2566, จาก <https://www.eppo.go.th/index.php/th/en-energystatistics/co2-statistic>

ประวัติผู้เขียน

นายวิวรรณ สุหรืณ เกิดเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2542 เกิดที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2564 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ. 2564 โดยในขณะที่กำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้เป็นผู้สอนรายวิชาปฏิบัติการต่าง ๆ ของสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลงานตีพิมพ์ดังปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ข



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี