หุ่นยนต์ลอยน้ำเก็บและแยกขยะด้วยการเรียนรู้เชิงลึก

FLOATING ROBOT COLLECTS AND SEPARATES WASTE USING DEEP LEARNING

โดย

นายทิวัตถ์ พวงขุนทด

นางสาวธัญกร ลำพรรณโพธิ์ศรี

นายภูริเดช กรรณบูรพา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ลอยน้ำเก็บและแยกขยะด้วยการเรียนรู้เชิงลึก

FLOATING ROBOT COLLECTS AND SEPARATES WASTE USING DEEP LEARNING

โดย

นายทิวัตถ์	พวงขุนทด	64010294
นางสาวธัญกร	ลำพรรณโพธิ์ศรี	64010358
นายภูริเดช	กรรณบูรพา	64011237

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์ลอยน้ำเก็บและแยกขยะด้วยการเรียนรู้เชิงลึก

FLOATING ROBOT COLLECTS AND SEPERATES WASTE USING DEEP LEARNING

ผู้จัดทำ

1. นายทิวัตถ์ พวงขุนทด 64010294
2. นางสาวธัญกร ลำพรรณโพธิ์ศรี 64010358
3. นายภูริเดช กรรณบูรพา 64011237

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “หุ่นยนต์ลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เก็บและแยกขยะด้วยการเรียนรู้เชิงลึก” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คือ รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง ที่กรุณาให้คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาตลอดระยะเวลาในการจัดทำปริญญานิพนธ์ รวมทั้งสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในระหว่างการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบพระคุณในความห่วงใยและความหวังดีที่มีให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน อาทิ บิดา มารดา และเพื่อนนักศึกษา ที่คอยสนับสนุน แนะนำช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา จนกระทั่งปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง ไปได้ด้วยดี

นายทิวัตถ์ พวงขุนทด

นางสาวธัญกร ลำพรรณโพธิ์ศรี

นายภูริเดช กรรณบูรพา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ลอยน้ำเก็บและแยกขยะด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
FLOATING ROBOT COLLECTS AND SEPERATES WASTE USING DEEP LEARNING

โดย นาย ทิวัตถ์ พวงขุนทด 64010294
นางสาว ธัญกร ลำพรรณโพธิ์ศรี 64010358
นาย ภูริเดช กรรณบูรพา 64011237

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากขยะ ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำลดลงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ ผู้พัฒนาจึงริเริ่มโครงการหุ่นยนต์เก็บขยะลอยน้ำเพื่อช่วยแก้ไขปัญหานี้ หุ่นยนต์นี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อรวบรวมขยะลอยน้ำที่สะสมอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ หุ่นยนต์ยังสามารถเพิ่มระดับออกซิเจนในน้ำได้โดยการหมุนมอเตอร์ขณะเคลื่อนที่เพื่อรวบรวมขยะ หุ่นยนต์เก็บขยะลอยน้ำใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึกที่ผสานกับกล้องและระบบประมวลผลภาพเพื่อระบุและจำแนกขยะรีไซเคิล หุ่นยนต์สามารถควบคุมผ่าน Wi-Fi ช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้จากระยะไกล

ABSTRACT

Due to the water pollution problem caused by waste, which reduces water quality and affects the aquatic environment, the developers have initiated a floating waste collection robot project to help solve this issue. This robot is designed to collect floating waste that accumulates in the water. Additionally, it can increase the oxygen levels in the water by rotating its motor while moving to collect waste. The floating waste-collecting robot uses deep learning technology integrated with cameras and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

image processing systems to identify and classify recycled waste. It can be controlled via Wi-Fi, allowing users to control the robot's operations remotely.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		IV
สารบัญรูป		VI
สารบัญตาราง		IX
บทที่ 1	**บทนำ**	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 อุปกรณ์	2
	2.2 โปรแกรมที่ใช้	7
	2.3 การตรวจจับวัตถุ	9
	2.4 การเรียนรู้ของเครื่อง	9
	2.5 อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก	10
	2.6 เฟรมเวิร์คการเรียนรู้เชิงลึก	10
	2.7 การประเมินประสิทธิภาพ	12
	2.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน	14
	2.9 ตัวเพิ่มประสิทธิภาพ	15
	2.10 อัลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์และการทำงาน	16
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์**	
	3.1 การออกแบบ	17
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	27
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบการเตรียมข้อมูลของโมเดล 29

4.2 ผลการทดสอบการเรียนรู้เชิงลึกด้วยชุดตรวจสอบความถูกต้อง 32

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ 33

4.4 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ 38

4.5 ผลการทดลองโปรแกรมควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย 42

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล 44

5.2 ข้อเสนอแนะ 44

บรรณานุกรม 45

ภาคผนวก ก โปรแกรมการเรียนรู้เชิงลึก 48

ภาคผนวก ข โปรแกรมการตรวจจับวัตถุด้วยการประมวลผลภาพ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	Raspberry Pi 3 B+	2
2.2	Motor Drive Module L298N	3
2.3	มอเตอร์ JGY-370	4
2.4	C270 HD WEBCAM	4
2.5	Lithium Battery 18650	5
2.6	Battery Management System	6
2.7	Ultrasonic Sensor	6
2.8	โลโก้โปรแกรม Blender	7
2.9	โลโก้โปรแกรม Roboflow	8
2.10	โลโก้ Python	8
2.11	โลโก้ Pytorch	11
2.12	สถาปัตยกรรม YOLO	11
2.13	Confusion Matrix	12
2.14	Feature Map	15
2.15	Stride และ Padding	15
2.16	อัลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์และการทำงาน	16
3.1	Block Diagram	17
3.2	วงจรอุปกรณ์	18
3.3	แผนผังโปรแกรมฝึกสอน	19
3.4	ตัวอย่างการปรับแต่งชุดข้อมูล	22
3.5	โครงสร้างหุ่นยนต์เก็บขยะที่ออกแบบ	23
3.6	ภาพมุมมองด้านหน้าของแบบหุ่นยนต์	23
3.7	ภาพมุมมองด้านบนของแบบหุ่นยนต์	24
3.8	ภาพมุมมองด้านข้างของแบบหุ่นยนต์	24
3.9	การทดสอบวงจรก่อนประกอบใส่กล่อง	25
3.10	การทดสอบวงจรหลังประกอบใส่กล่อง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.11	แผนผังโปรแกรมควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย	26
4.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากชุดทดสอบ	29
4.2	Confusion Matrix	30
4.3	กราฟ F1-Confidence	30
4.4	กราฟ Precision-Confidence	31
4.5	กราฟ Recall-Confidence	31
4.6	ตัวอย่างการติดฉลากรูป	32
4.7	ตัวอย่างการคาดเดาจากชุดทดสอบความถูกต้อง	33
4.8	แผนผังแสดงการวัดแรงดันของมอเตอร์	34
4.9	ตำแหน่งที่ทำการวัดแรงดันของมอเตอร์	35
4.10	วัดแรงดันที่ออกจาก L298N drive motor module	35
4.11	แรงดันที่เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ขณะทำงาน	35
4.12	แรงดันที่เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ขณะหยุดทำงาน	36
4.13	วัดสัญญาณพัลส์ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร	36
4.14	วัดสัญญาณพัลส์ที่ระยะห่าง 40 เซนติเมตร	37
4.15	สัญญาณของพัลส์ของอัลตราโซนิคที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร	37
4.16	สัญญาณของพัลส์ของอัลตราโซนิคที่ระยะห่าง 40 เซนติเมตร	37
4.17	การลอยตัวของหุ่นยนต์หลังทำการประกอบวงจรและอุปกรณ์	39
4.18	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปขวดพลาสติก	39
4.19	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปกระป๋อง	39
4.20	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปฝาขวดพลาสติก	40
4.21	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปกล่องกระดาษ	40
4.22	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปขวดแก้ว	40
4.23	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปกระดาษ	41
4.24	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปถุงพลาสติก	41
4.25	ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปสไตโรโฟม	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.26	แผงควบคุมโปรแกรม	42
4.27	ขั้นตอนการเข้าสู่ระบบเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์	42
4.28	เทอร์มินอลเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1	พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของ Raspberry Pi Model 3 B+	2
2.2	คุณสมบัติของ Motor Drive Module L298N	3
2.3	คุณสมบัติของ มอเตอร์ JGY-370	4
2.4	คุณสมบัติของ C270 HD WEBCAM	5
2.5	พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของ Lithium Battery 18650	5
2.6	คุณสมบัติของ Battery Management System	6
2.7	คุณสมบัติของ Ultrasonic Sensor	7
3.1	ตัวอย่างชุดข้อมูล	20
4.1	คาบเวลาของสัญญาณพัลส์เทียบกับระยะห่าง	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดจากขยะในแหล่งน้ำในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม ผู้จัดทำได้คิดค้นวิธีแก้ไขปัญหานี้โดยการพัฒนาหุ่นยนต์เก็บขยะที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หุ่นยนต์เก็บขยะนี้สามารถเก็บขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำและเพิ่มออกซิเจนในแหล่งน้ำโดยการเคลื่อนที่บนผิวน้ำ ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำและส่งเสริมการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ หุ่นยนต์เก็บขยะสามารถแยกขยะได้โดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก หุ่นยนต์จะสามารถทำงานได้ถูกต้องโดยการใช้กล้องร่วมกับการประมวลผลภาพและเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์จากปีการศึกษา 2566
2) เพื่อศึกษาการประมวลผลภาพ
3) เพื่อศึกษาการใช้กระบวนการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกวัตถุ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ศึกษาอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้ข้อมูลภาพเพื่อจำแนกวัตถุโดยใช้กล้อง จะมีการจำแนกข้อมูลในการตรวจจับออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ขยะรีไซเคิล และขยะไม่รีไซเคิล โดยขยะรีไซเคิลมีชุดข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดได้แก่ ฝาขวดพลาสติก, ขวดพลาสติก, ขยะพลาสติก, เศษกระดาษ, กล่องกระดาษ, กระป๋อง, และขวดแก้ว และขยะไม่รีไซเคิลมีข้อมูลทั้งหมด 1 ชุดได้แก่ สไตโรโฟม จะใช้หลักการเตรียมข้อมูลเพื่อปรับปรุงรูปภาพของข้อมูลมาช่วยเพื่อให้การจำแนกวัตถุมีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการประยุกต์ใช้กับกล้องเพื่อทำการเก็บขยะบนผิวน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

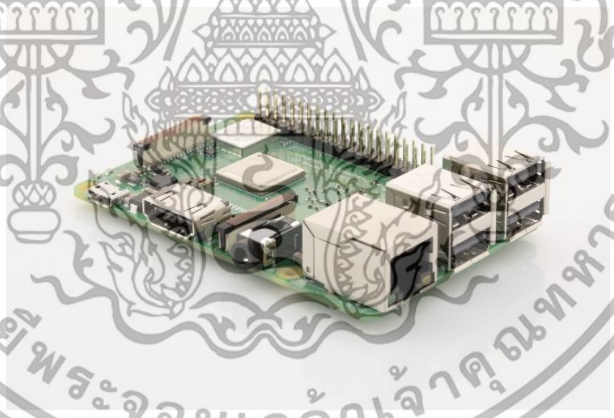
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “หุ่นยนต์ลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เก็บและแยกขยะด้วยการเรียนรู้เชิงลึก” ได้ทำการออกแบบและพัฒนา ซึ่งอุปกรณ์นี้ผู้สามารถช่วยแก้ปัญหาขยะบนผิวน้ำ ซึ่งอุปกรณ์และซอฟต์แวร์มีทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 Raspberry Pi 3 B+

บอร์ด Raspberry Pi 3 B+ แสดงดังรูปที่ 2.1 เป็น Single Board Computer สามารถทำงานได้เหมือนคอมพิวเตอร์ แต่อยู่ในขนาดที่กะทัดรัดกว่า สามารถเชื่อมต่อจอคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต HDMI เชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่าน USB และเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตผ่านการเชื่อมต่อ Wi-fi สามารถเล่นไฟล์มัลติมีเดียต่างๆ และรองรับระบบปฏิบัติการ Linux ดังตารางที่ 2.1 [1]



รูปที่ 2.1 Raspberry Pi 3 B+

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของ Raspberry Pi 3 B+

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
หน่วยประมวลผล	Cortex-A53 64 บิต
หน่วยความจำ	1 กิกะไบต์
การ์ดหน่วยความจำ	32 กิกะไบต์
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	5 โวลต์
อุณหภูมิขณะทำงาน	0 – 50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของ Raspberry Pi 5 (ต่อ)

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
การเชื่อมต่อ	พอร์ต USB 2.0 จำนวน 4 ช่อง การเชื่อมต่อไร้สาย 802.11b/g/n/ac ที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 5 กิกะเฮิร์ตซ์ บลูทูธพลังงานต่ำ
วิดีโอ	พอร์ต HDMI จำนวน 1 ช่อง
พอร์ตเอนกประสงค์	จำนวน 40 ช่อง
ขนาด	85 x 56 มิลลิเมตร

2.1.2 Motor Drive Module L298N

โมดูล L298N ขับมอเตอร์ได้ 2 ตัวแบบแยกกันได้อย่างอิสระ แสดงดังรูปที่ 2.2 สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ เลี้ยงบอร์ดได้สามารถรับไฟเข้า 7 ถึง 35 โวลต์ ขับมอเตอร์ได้ ขับกระแสสูงสุดได้ 2 แอมป์ โดยมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2.3 [2]

รูปที่ 2.2 Motor Drive Module L298N

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ Motor Drive Module L298N

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	5 โวลต์
กระแสไฟขณะทำงาน	2 แอมป์
ขนาด	43 x 43 × 27 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 มอเตอร์ JGY-370

JGY-370 เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีชุดทดเกียร์ประกอบร่วมมาสำเร็จแสดงดังรูปที่ 2.3 ฟันเฟืองตัวหนอนมีคุณสมบัติการหยุดฟันเฟืองอัตโนมัติ และไม่สามารถทำงานผ่านด้านโหลดได้ เมื่อเฟืองไปถึงมุมที่ต้องการแล้วจะไม่เคลื่อนที่จนกว่าจะถึงจุดตั้งค่าที่ต้องการถัดไป โดยมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2.7 [3]

รูปที่ 2.3 มอเตอร์ JGY-370

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของ มอเตอร์ JGY-370

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
ความเร็ว	150 รอบต่อนาที
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	12 โวลต์
กระแสไฟขณะทำงาน	150 – 300 มิลลิแอมป์
ขนาด	46 × 32 มิลลิเมตร

2.1.4 C270 HD WEBCAM

กล้องเว็บแคมแสดงดังรูปที่ 2.4 ถูกใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลรูปภาพและวิดีโอที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง โดยมีความละเอียด 720 พิกเซลซึ่งพอเพียงสำหรับการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไปดังตารางที่ 2.4 [4]

รูปที่ 2.4 C270 HD WEBCAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของ C270 HD WEBCAM

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
ความละเอียด	1280 x 720 พิกเซล สูงสุด 720 พิกเซล 30 เฟรมต่อวินาที
การเชื่อมต่อ	สาย USB 2.0 จำนวน 1 สาย ความยาว 1.5 เมตร
ขนาด	32 × 73 x 67 มิลลิเมตร

2.1.5 Lithium Battery 18650

แบตเตอรี่ 18650 แสดงดังรูปที่ 2.5 เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบชาร์จซ้ำได้ซึ่งใช้กันทั่วไปในอุปกรณ์และแอปพลิเคชันมากมาย 18650 หมายถึงขนาดของแบตเตอรี่ ดังตารางที่ 2.5 [5]

รูปที่ 2.5 Lithium Battery 18650

ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของของ Lithium Battery 18650

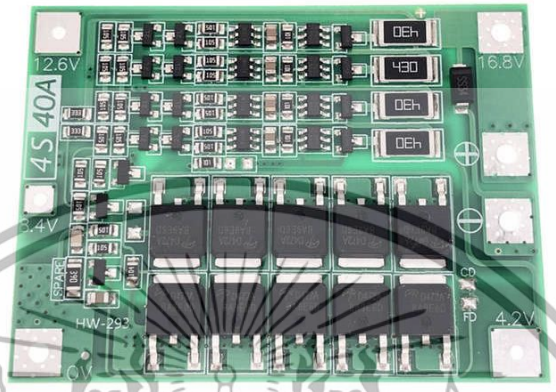
ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	4.2 โวลต์
ความจุแบตเตอรี่	2300 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง
อุณหภูมิขณะทำงาน	0 - 45 องศาเซลเซียส
ขนาด	18 x 65 มิลลิเมตร

2.1.6 BMS (Battery Management System)

BMS หรือ Battery Management System แสดงดังรูปที่ 2.6 มีหน้าที่ในการควบคุมความปลอดภัยเหมือนกับ PCM หรือ Protection Circuit Module คือแผงวงจรที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการชาร์จเกิน, การคายประจุเกิน, กระแสเกิน และไฟฟ้าลัดวงจร อีกทั้งยังมีระบบตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ ซึ่งทำให้แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 2.6 [6]



รูปที่ 2.6 Battery Management System

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของ Battery Management System

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	4.2 โวลต์
อุณหภูมิขณะทำงาน	-40 - +65 องศาเซลเซียส
ขนาด	61 × 61 x 3 มิลลิเมตร

2.1.7 Ultrasonic Sensor

เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic HC-SR04 แสดงดังรูปที่ 2.7 ใช้เสียงสะท้อนกลับในการคำนวณวัดระยะทาง แม่นยำที่ 2 - 400 เซนติเมตร สามารถต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย ใช้พลังงานต่ำ เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ หรืองานด้านหุ่นยนต์[7]

รูปที่ 2.7 Ultrasonic Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของ Ultrasonic Sensor

ข้อมูลทางเทคนิค	คำอธิบาย
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	5 โวลต์
กระแสไฟฟ้าขณะทำงาน	15 มิลลิแอมป์
ระยะทางที่สามารถตรวจจับได้	2 – 400 เซนติเมตร

2.2 โปรแกรมที่ใช้

2.2.1 Blender

Blender คือชุดโปรแกรมสร้าง 3D แสดงดังรูปที่ 2.8 สร้างแบบจำลอง การสร้างโครงการจำลอง และการจัดองค์ประกอบ เพื่อปรับแต่งแอปพลิเคชันและเขียนเครื่องมือเฉพาะทาง ซึ่งมักจะรวมอยู่ใน Blender รุ่นต่อๆ ไป Blender เป็นแพลตฟอร์มที่เหมาะสำหรับบุคคลทั่วไปและสตูดิโอขนาดเล็กที่ได้รับประโยชน์จากกระบวนการรวมและกระบวนการพัฒนาที่ตอบสนอง [8]

รูปที่ 2.8 โลโก้โปรแกรม Blender

2.2.2 RoboFlow

Roboflow เป็น Web Application แสดงดังรูปที่ 2.9 เพื่อสร้างและใช้งาน Computer Vision Model เชื่อมต่อ Roboflow ในทุกขั้นตอนของกระบวนการด้วย API หรือใช้อินเทอร์เฟซแบบครบวงจรเพื่อทำให้กระบวนการทั้งหมดเป็นอัตโนมัติตั้งแต่ภาพจนถึงการอนุมาน ไม่ว่าจะต้องการการติดฉลากข้อมูล การฝึกโมเดล หรือการปรับใช้โมเดล Roboflow เพื่อนำ Solution Vision Computer แบบกำหนดเองมาใช้กับความต้องการ [9] ผู้จัดทำได้ทำการใช้เป็นแพลตฟอร์มออนไลน์สำหรับสร้างและจัดการชุดข้อมูลสำหรับการฝึกโมเดล Machine Learning โดยเฉพาะ Object Detection และ Image Classification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 ขั้นตอนการสร้างโมเดลด้วย Roboflow

1) จัดการชุดข้อมูล

อัปโหลดรูปภาพ วิดีโอ หรือชุดข้อมูลที่มีอยู่แปลงรูปแบบข้อมูล แบ่งชุดข้อมูล จัดการแอนโนเทชั่น เพิ่มจำนวนข้อมูลด้วย Image Augmentation

2) ฝึกโมเดล

เลือกรูปแบบโมเดล Object Detection และ Image Classification ที่หลากหลาย ปรับแต่งโมเดลด้วย Hyperparameters ฝึกโมเดลบน GPU หรือ CPU ตรวจสอบประสิทธิภาพโมเดล

3) ใช้งานโมเดล

ทำการทดลองโมเดลบนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เว็บเบราว์เซอร์, โทรศัพท์เคลื่อนที่, อุปกรณ์ IoT ผสานรวม โมเดลกับแอปพลิเคชันที่มีอยู่ ปรับแต่งโมเดลให้เหมาะกับการใช้งานเฉพาะ

รูปที่ 2.9 โลโก้โปรแกรม RoboFlow

2.2.3 Python

Python เป็นภาษาเขียนโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 2.10 ถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่าย โดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยกรณ์ของภาษาออกไป ในส่วนของการแปลงชุดคำสั่งที่เขียนให้เป็นภาษาเครื่อง Python มีการทำงานแบบ Interpreter คือการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัดเพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้ตามที่ต้องการ [10]

รูปที่ 2.10 โลโก้ Python

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 HTML

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของเอกสารบน website หรือที่เราเรียกกันว่าเว็บเพจ ถูกพัฒนาและกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร World Wide Web Consortium (W3C) และจากการพัฒนาทางด้าน Software ของ Microsoft [11]

2.2.5 CSS

CSS คือ ภาษาที่ใช้สำหรับตกแต่งเอกสาร HTML/XHTML ให้มีหน้าตา สีสัน ระยะห่าง พื้นหลัง เส้นขอบและอื่นๆ ตามที่ต้องการ CSS ย่อมาจาก Cascading Style Sheets มีลักษณะเป็นภาษาที่มีรูปแบบในการเขียน Syntax แบบเฉพาะและได้ถูกกำหนดมาตรฐานโดย W3C [12]

2.2.6 Shellinabox

Shell In A Box เป็นโปรแกรมจำลองเทอร์มินอลบนเว็บที่สร้างโดย Markus Gutschke มีเว็บเซิร์ฟเวอร์ในตัวที่ทำงานเป็น client SSH บนเว็บบน พอร์ต ที่ระบุและสามารถใช้โปรแกรมจำลองเว็บเทอร์มินัลเพื่อเข้าถึงและควบคุม [13]

2.3 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

Object Detection หรือ การตรวจจับวัตถุ คือ เทคโนโลยีในทางคอมพิวเตอร์ ใช้หลักการที่เกี่ยวกับ Computer Vision และ Image Processing ที่ใช้ในงาน AI ตรวจจับวัตถุชนิดที่กำหนด เช่น มนุษย์ รถยนต์ อาคาร ที่อยู่ในรูปภาพ หรือวิดีโอ งาน Object Detection การตรวจจับวัตถุในรูปภาพ สามารถเจาะลึกลงไปได้อีกหลายแขนง เช่น การทำ Face Detection ตรวจจับหน้าคน Pedestrian Detection ตรวจจับคนเดินถนน สามารถประยุกต์ใช้ได้ หลากหลาย เช่น ใช้ในงานรักษาความปลอดภัย และรถยนต์ไร้คนขับ ตัวอย่างอัลกอริทึมที่มีการนำมาใช้ในการตรวจจับวัตถุได้แก่ Fast R-CNN, R-FCN, HOG, SSD, SPP-net YOLO [14]

2.4 การเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่องหรือ Machine Learning คือการใช้วิธีการเรียนรู้ของ AI [15] โดยที่ AI จะสามารถเรียนรู้โดยมีการใส่ข้อมูลที่มนุษย์ต้องการที่จะสอนหรือเรียกกันว่า Training AI โดยให้โมเดลได้เรียนรู้จากชุดข้อมูล และสามารถนำไปใช้งานกับข้อมูลใหม่ที่ถูกใช้ในการเรียนรู้ก่อนหน้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 รูปแบบการเรียนรู้

1) Supervised Learning

การเรียนรู้แบบมีผู้สอน เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ด้วยตัวเอง หลังจากเรียนรู้จากชุดข้อมูลตัวอย่างไปแล้วระยะหนึ่งจากนั้นคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลดังกล่าวไปประมวลผล

2) Unsupervised Learning

การเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน เป็นการเรียนรู้ที่ให้เครื่องจักรนั้นสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองโดยไม่ต้องมีค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูล ซึ่งมนุษย์จะเป็นผู้กำหนดข้อมูลและสิ่งที่ต้องการต่างๆ ทำให้เครื่องจักรวิเคราะห์การจำแนกและสร้างแบบแผนจากข้อมูลที่ได้รับมา

3) Reinforcement Learning

การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง เป็นวิธีการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่ใช้การเรียนรู้จากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนรู้กับสิ่งแวดล้อมที่มีการเรียนรู้สิ่งต่างๆ จากผู้เรียนรู้ภายใต้การเลือกกระทำสิ่งต่างๆ ให้ได้ผลลัพธ์ที่มากที่สุด ผ่านการลองผิดลองถูกภายใต้ระบบจำลอง

2.5 อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก

วิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยหลายชั้นมาทำการเรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่าง [16] โดยทั่วไประบบโครงข่ายประสาทจะเรียนรู้ได้เพียงไม่กี่ชั้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านปริมาณข้อมูลและความสามารถในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ การพัฒนาระบบโครงข่ายประสาททำให้สามารถสร้างโครงข่ายที่ซับซ้อนและลึกขึ้น อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกสามารถรับข้อมูลดิบได้ทันที และประมวลผลโดยอัตโนมัติเพื่อค้นหาข้อมูลตัวอย่างที่จำเป็นในการตรวจจับหรือวิเคราะห์

2.6 เฟรมเวิร์คของการเรียนรู้เชิงลึก

2.6.1 PyTorch

PyTorch คือ Machine Learning Framework แสดงดังรูปที่ 2.11 นำมาใช้ในการสร้างโมเดล Machine Learning และ Neural Network มีเครื่องมือให้สามารถควบคุมการทำงานของโมเดลที่หลากหลาย และสามารถนำโมเดลไปปล่อยเพื่อใช้งานจริง เป็น Open Source ภายใต้ Linux Foundation [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 โลโก้ PyTorch

2.6.2 AI Framework

AI Framework เป็นตัวช่วยที่มีองค์ประกอบหลักคือการออกแบบโครงสร้าง การเทรนโมเดล และปรับใช้ผ่านโปรแกรมมิ่งอินเทอร์เฟสระดับสูง เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์งานที่มีความซับซ้อน และเปรียบเสมือนกระดูกสันหลังของปัญญาประดิษฐ์ มีเครื่องมือต่างๆที่ช่วยให้ผู้พัฒนาออกแบบ เทรนโมเดล และตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลที่มีความซับซ้อน

2.6.3 YOLO

You Only Look Once (YOLO) เป็นอัลกอริทึมการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ แสดงดังรูปที่ 2.12

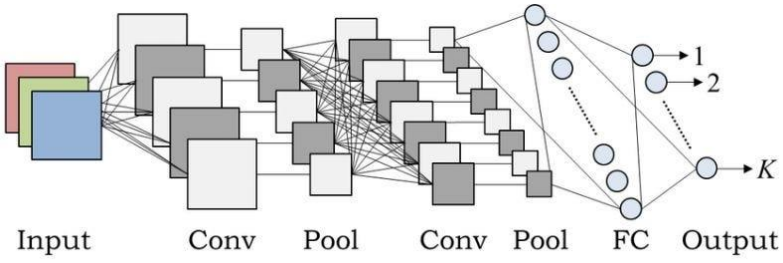
2.6.3.1 หลักการทำงานของ YOLO

หลักการทำงานของ YOLO คือการแบ่งภาพออกเป็นช่องขนาด N x N กำหนดขอบเขตที่ต้องการและใช้อัลกอริทึมคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเซลล์ ทำการตีความและทำนายวัตถุว่าอยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่ [18]

2.6.3.2 YOLOv11

Ultralytics YOLOv11 คือเฟรมเวิร์คการเรียนรู้เชิงลึกด้วยที่เพิ่มความแม่นยำ ความเร็ว และประสิทธิภาพที่ล้ำสมัย แสดงดังรูปที่ 2.12 โดยอาศัยความก้าวหน้าของ YOLO เวอร์ชันก่อนหน้า YOLOv11 นำเสนอการปรับปรุงที่สำคัญในสถาปัตยกรรมและวิธีการเรียนรู้เชิงลึก ทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

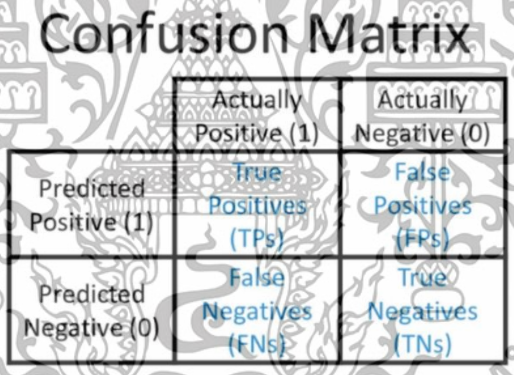


รูปที่ 2.12 สถาปัตยกรรม YOLO

2.7 การประเมินประสิทธิภาพ

2.7.1 Confusion Matrix

Confusion Matrix ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนาย **หรือ** Prediction การทำนายจาก Model ที่เราสร้างขึ้น ใน Machine learning โดยมีไอเดียจากการวัดว่าสิ่งที่เราใช้โมเดลทำนายกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง [19] แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Confusion Matrix

1) True Positives (TPs)

หมายถึงโมเดลทำนายว่าข้อมูลอยู่ในกลุ่มที่ต้องการตรวจจับ และผลลัพธ์คือข้อมูลนั้นอยู่ในกลุ่มดังกล่าว ซึ่งเป็นการทำนายที่ถูกต้อง

2) False Positives (FPs)

หมายถึงโมเดลทำนายว่าข้อมูลอยู่ในกลุ่มที่ต้องการตรวจจับ แต่ผลลัพธ์คือข้อมูลนั้นไม่ได้อยู่ในกลุ่มดังกล่าว ซึ่งเป็นการทำนายที่ผิดพลาด

3) False Negatives (FNs)

หมายถึงโมเดลทำนายว่าข้อมูลไม่อยู่ในกลุ่มที่ต้องการตรวจจับ แต่ผลลัพธ์คือข้อมูลนั้นอยู่ในกลุ่มดังกล่าว ซึ่งเป็นการทำนายที่ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) True Negatives (TNs)

หมายถึงโมเดลทำนายว่าข้อมูลไม่อยู่ในกลุ่มที่ต้องการตรวจจับ และผลลัพธ์คือข้อมูลนั้นไม่ได้อยู่ในกลุ่มดังกล่าว ซึ่งเป็นการทำนายที่ถูกต้อง

2.7.2 Accuracy

Accuracy คือสัดส่วนของจำนวนผลลัพธ์ที่ทำนายได้ถูกต้องทั้งหมดเมื่อเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด คำนวณได้จากสูตร (2.1)

$$\frac{(TPs + TNs)}{(TPs + TNs + FPs + FNs)} \quad (2.1)$$

2.7.3 Precision

Precision เป็นการเปรียบเทียบการทำนายว่าจริงและสิ่งที่เกิดขึ้นคือจริง และการทำนายว่าจริงแต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือไม่จริง คำนวณได้จากสูตร (2.2)

$$\frac{TPs}{(TPs + FPs)} \quad (2.2)$$

2.7.4 Recall

Recall เป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องของการทำนายว่าจริงต่อจำนวนเหตุการณ์ที่ทำนายและเกิดขึ้นว่าจริง คำนวณได้จากสูตร (2.3)

$$\frac{TPs}{(TPs + FNs)} \quad (2.3)$$

2.7.5 F1 score

F1 score คือค่าเฉลี่ยของ Accuracy และ Recall ซึ่งจะวิเคราะห์ทั้งค่า TP และ FP ซึ่ง F1-score ช่วยสะท้อนถึงประสิทธิภาพของโมเดลได้ดีกว่า Accuracy คำนวณได้จากสูตร (2.4)

$$2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (2.4)$$

2.7.6 Box Loss

Box Loss คือค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดในการทำนายตำแหน่งของกล่องที่บรรจุวัตถุในภาพ มีค่าสูงแสดงว่าโมเดลมีความไม่แม่นยำในการทำนายตำแหน่งของวัตถุ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.7 Classification loss

Classification Loss คือค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดในการทำนายประเภทของวัตถุที่อยู่ในกล่อง หากมีค่าสูงแสดงว่าโมเดลไม่สามารถแยกประเภทวัตถุได้อย่างถูกต้อง [19]

2.7.8 dfl loss

dfl loss หรือ distribution-focused localization loss คือค่าความผิดพลาดในการทำนายค่าการกระจายความลึกของข้อมูล และช่วยให้โมเดลสามารถจำแนกประเภทวัตถุที่มีความไม่สมดุลในข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น [19]

2.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

Convolutional Neural Network (CNN) หรือ โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน เป็นโครงข่ายประสาท เทียมหนึ่งในกลุ่ม bio-inspired โดยที่ CNN จะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองพื้นที่เป็นที่ย่อย ๆ และนำกลุ่มของพื้นที่นั้นมาผสานกัน โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างของโครงข่ายประสาทประกอบด้วย ชั้นนำเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นแสดงผลลัพธ์ (Output Layer) หรือเรียกว่า Multi-Layer Perceptron (MLP) [20]

2.8.1 คอนโวลูชัน

คือการคำนวณแบบ Dot Product ระหว่างพื้นที่ส่วนย่อยของรูปภาพ กับเคอร์เนล (kernel) เพื่อดึงลักษนะเด่นออกมาจากรูปภาพ โดยเคอร์เนลที่นำมาคำนวณจะมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ส่วนย่อยของรูปภาพ โดยกำหนดเป็นเมทริกซ์จัตุรัส

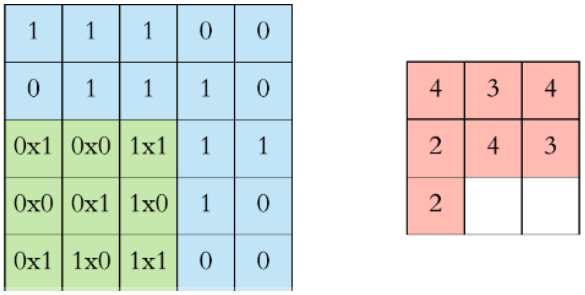
2.8.2 การดึงลักษณะเด่น

ความซับซ้อนของ CNN คือการคำนวณที่สอดคล้องกับหลักการของ CNN และใช้คณิตศาสตร์มารองรับในการคำนวณโดยใช้หลักการเดียวกับการคอนโวลูชันเชิงพื้นที่ การคำนวณนี้จะกำหนดค่าในตัวกรองที่ช่วยดึงคุณลักษณะที่ใช้ในการจดจำวัตถุออก [21]

1) ลักษณะของฟิลเตอร์

โดยปกติฟิลเตอร์จะเป็นตารางสองมิติที่มีขนาดตามพื้นที่ที่อยากพิจารณา ฟิลเตอร์เลื่อนออกไปนอกภาพเรื่อย ๆ เมื่อเราเลื่อนฟิลเตอร์ไปจนครบทุกพิกเซลที่สามารถเลื่อนได้สิ่งที่เราได้คือ Feature Map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

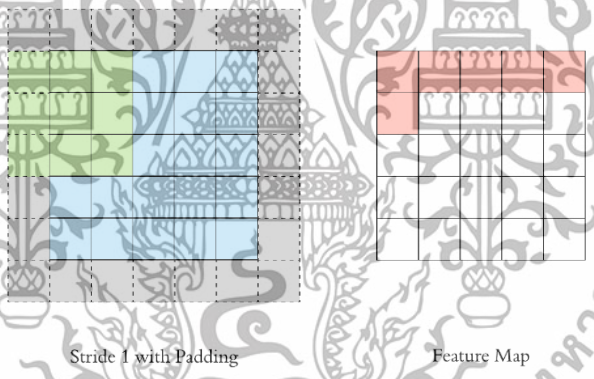


รูปที่ 2.14 Feature Map

2) Stride และ Padding

Stride เป็นตัวกำหนดว่าฟิลเตอร์จะเลื่อนไปกี่ขั้นต่อ 1 ครั้ง เราสามารถกำหนดค่า stride เองได้แต่ค่า stride ที่มากขึ้นจะทำให้ feature map มีขนาดเล็กลง

Padding จะเป็นค่าที่เราเติมเข้าไปเพื่อให้ feature map ที่ได้ มีขนาดเท่ากับ Input เพื่อแก้ปัญหา Input ที่อยู่ตามขอบภาพอาจมีความสำคัญต่อการตัดสินใจ



รูปที่ 2.15 Stride และ Padding

3) Pooling

Pooling คือความสามารถในการลดขนาดข้อมูลซึ่งช่วยลดจำนวนพารามิเตอร์และคำนวณได้เร็วขึ้น โดยยังคงรักษาคุณลักษณะสำคัญของข้อมูลไว้ ยกตัวอย่างเช่น Max Pooling และ Mean Pooling โดย Max Pooling ทำงานโดยแบ่ง Feature Map ออกเป็นช่องย่อย ๆ และเลือกค่าที่มากที่สุดจากแต่ละช่องมาเป็นตัวแทนของพื้นที่นั้น และ Mean Pooling จะทำงานโดยแบ่ง Feature Map ออกเป็นช่องย่อย แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าภายในแต่ละช่อง จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปแทนค่าของช่องนั้น และทำการเลื่อนฟิลเตอร์ไปตาม Stride ที่กำหนดไว้ นิยมเรียกว่า Pooling Size

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ตัวเพิ่มประสิทธิภาพ

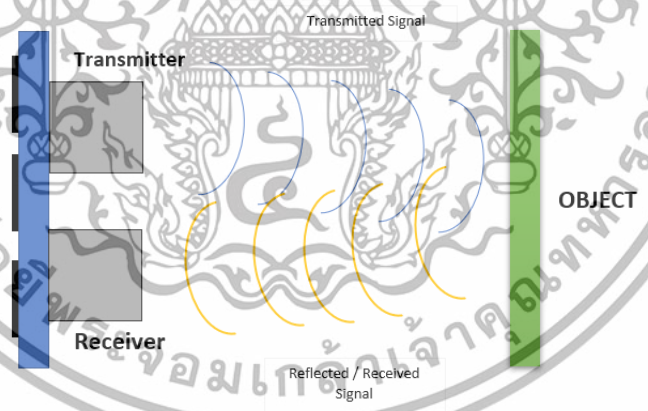
ตัวเพิ่มประสิทธิภาพหรือวิธีการเพื่อลดฟังก์ชันข้อผิดพลาดหรือเพิ่มประสิทธิภาพผลิตให้สูงสุด

2.9.1 Adaptive Moment Estimation (Adam)

Adam optimizer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในระบบการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก โดยการใช้ประโยชน์จาก SGD เพื่อเร่งการบรรจบกัน ซึ่งจะทำให้เวลาในการฝึกเร็วขึ้นและลดปัญหาการแกว่งของกราฟ เมื่อเทียบกับ SGD [22]

2.10 อัลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์และการทำงาน

เซ็นเซอร์อัลตร้าโซนิคประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ตัวส่งเสียงและตัวรับเสียง โดยการทำงานจะใช้หลักการสะท้อนไป-กลับของคลื่นเสียงจากเซ็นเซอร์ไปยังวัตถุที่ต้องการตรวจจับ จากนั้นจะทำการแปลงค่าที่ตรวจจับได้ออกมาเป็นในรูปสัญญาณทางไฟฟ้า โดยตัวส่งจะส่งคลื่นความถี่ 40 kHz ออกไปในอากาศด้วยความเร็วประมาณ 346 เมตรต่อวินาที และตัวรับจะคอยรับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากวัตถุ แสดงดังรูปที่ 2.16 [23]



รูปที่ 2.16 อัลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์และการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

3.1.1.1 การทำงานของอุปกรณ์

ระบบจะเริ่มต้นด้วยการดึงโมเดลที่ผ่านการเรียนรู้เชิงลึกมาแล้วจากคอมพิวเตอร์ โมเดลนี้จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการตรวจจับวัตถุผ่านกล้อง โดยโปรแกรมจะทำการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหาวัตถุที่เป็นขยะบนผิวน้ำ โปรแกรมการตรวจจับวัตถุจะถูกสั่งการผ่าน Raspberry Pi ที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบทั้งหมด ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 Block Diagram

3.1.2 การออกแบบวงจร

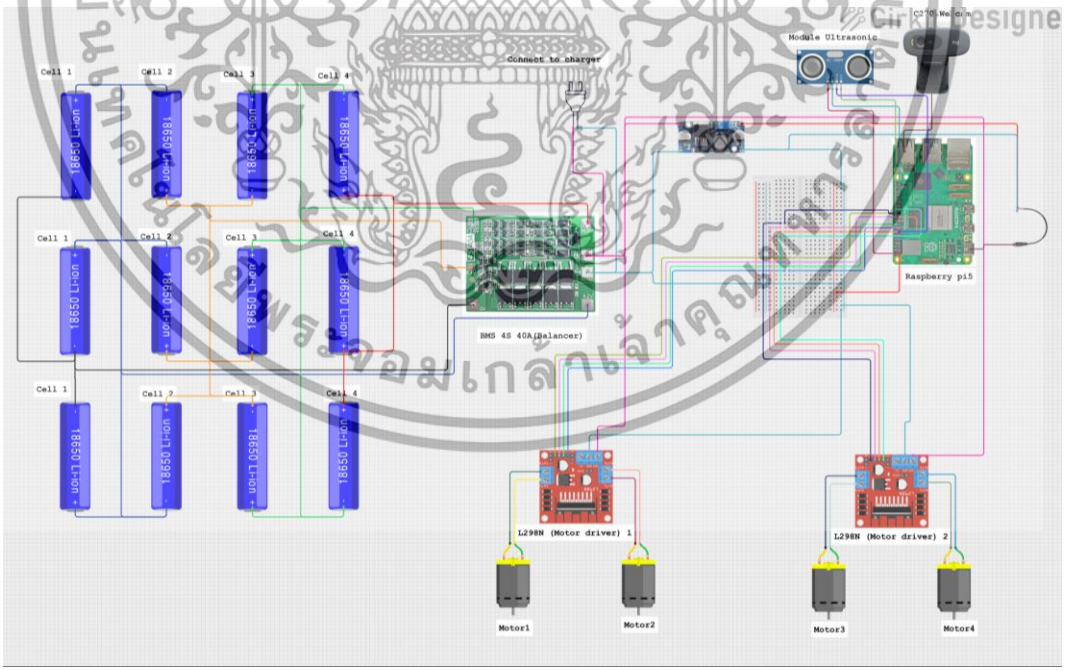
การออกแบบวงจรแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

3.1.2.1 การออกแบบวงจรอุปกรณ์

วงจรอุปกรณ์ที่ทำการเชื่อมต่อในขั้นตอนนี้จะทำการเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi เข้ากับกล้อง, L298N Driver motor module, Converter 12 V to 5 V DC, และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ultrasonic Sensor เพื่อทำการตรวจจับวัตถุผ่านชุดข้อมูลที่ทำการฝึกผ่านโปรแกรมการเรียนรู้เชิงลึก โดยทำการรายงานผ่านหน้าจอแสดงผลและบันทึกผลเป็นวิดีโอ แสดงดังรูปที่ 3.2 ในส่วนของการควบคุมมอเตอร์ ระบบใช้ L298N Driver Motor Module จำนวน 2 ตัว เพื่อควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งแบ่งออกเป็นมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการขับเคลื่อนระบบจำนวน 2 ตัว และมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำงานของกลไกเก็บขยะอีก 2 ตัว การเชื่อมต่อของ L298N กับ Raspberry Pi ถูกออกแบบให้รองรับการควบคุมมอเตอร์แต่ละตัวอย่างอิสระ โดยใช้สัญญาณควบคุมจากขา IN1, IN2, IN3 และ IN4 เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ในขณะที่ขา ENA และ ENB ถูก จัมพ์ไว้เพื่อให้มอเตอร์ทำงานที่กำลังสูงสุดตลอดเวลา นอกจากนี้ระบบยังมีการใช้งาน Ultrasonic Sensor เพื่อวัดระยะห่างของหุ่นยนต์จากวัตถุที่ต้องการเก็บ เซ็นเซอร์จะทำงานโดยการส่งคลื่นเสียงความถี่สูงและวัดเวลาที่เสียงสะท้อนกลับมา ซึ่งระยะห่างที่ได้จะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi เพื่อใช้ในการประมวลผลและตัดสินใจในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยหากวัตถุอยู่ในระยะที่กำหนดไว้ในโปรแกรมระบบจะสั่งงานให้มอเตอร์ที่ใช้สำหรับการเก็บขยะทำงานทันที แต่หากวัตถุอยู่นอกระยะที่กำหนดระบบจะสั่งงานให้มอเตอร์ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ทำงานแทน เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเข้าหาวัตถุ วงจรควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดได้รับการออกแบบให้ใช้ แรงดันไฟฟ้า 12V DC สำหรับมอเตอร์ และ 5V DC สำหรับ Raspberry Pi และเซนเซอร์ โดยใช้โมดูล Converter 12V to 5V DC



รูปที่ 3.2 วงจรอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 การออกแบบโปรแกรมการเรียนรู้เชิงลึก

การออกแบบโปรแกรมฝึกสอนโดยในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการเลือกใช้สถาปัตยกรรม Yolov11 เนื่องจากต้องการใช้ตรวจจับฟีเจอร์ที่มีความคล้ายกับข้อมูลที่ได้ทำการฝึกสอนโดยจะทำการหาจุดกึ่งกลางของวัตถุและทำการล้อมกรอบวัตถุที่ต้องการตรวจจับ และสามารถบ่งบอกได้ว่าวัตถุนั้นคืออะไร โดยการฝึกสอนจะทำการแบ่งเป็น 3 ชุด ได้แก่ชุดฝึกสอน (Training Set) ชุดทดสอบ (Test set) และชุดทดสอบความถูกต้อง (Validation set)

รูปที่ 3.3 แผนผังโปรแกรมฝึกสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การเตรียมข้อมูล

คณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากภาพถ่ายในอินเตอร์เน็ต และทำการดาวน์โหลดจาก Open source ซึ่งจำแนกข้อมูลในการตรวจจับออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ขยะรีไซเคิล และขยะไม่รีไซเคิล โดยขยะรีไซเคิลมีชุดข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดได้แก่ ฝาขวดพลาสติก, ขวดพลาสติก, ขยะพลาสติก, เศษกระดาษ, กล่องกระดาษ, กระป๋อง, และขวดแก้ว และขยะไม่รีไซเคิลมีข้อมูลทั้งหมด 1 ชุดได้แก่ สไตโรโฟม ตัวอย่างของชุดข้อมูลจะถูกแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอน (Training set) ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing set) และชุดข้อมูลสำหรับตรวจความถูกต้อง (Validation set) มีสัดส่วนเท่ากับ 70%, 15%, และ 15% ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างชุดข้อมูล

ชุดข้อมูล	**ตัวอย่างรูป**
ขวดพลาสติก	
ฝาขวดพลาสติก	
ขยะพลาสติก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างชุดข้อมูล (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ตัวอย่างรูป
กระดาษ	
กล่องกระดาษ	
ขวดแก้ว	
กระป๋อง	
สไตโรโฟม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) การปรับแต่งเพื่อขยายชุดข้อมูล

คณะผู้จัดทำได้ทำการใช้ Web Application : Roboflow ในการกำหนดชื่อและทำการปรับขนาดภาพให้มีขนาดเท่ากับ 256x256x3 พิกเซล, ทำการเพิ่มรูปในรูปแบบขาว-ดำ 20% จากภาพทั้งหมด, ปรับเอียงรูปความสว่างของภาพ เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับวัตถุจากโมเดลให้มีความหลากหลายมากขึ้น ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการปรับแต่งชุดข้อมูล

1.2) การดึงลักษณะเด่น

การดึงลักษณะเด่นเป็นขั้นตอนสำคัญในการประมวลผลภาพ ซึ่งเกี่ยวกับการระบุและแสดงโครงสร้างที่มีลักษณะเฉพาะภายในภาพ กระบวนการนี้จะทำการแปลงข้อมูลที่ได้รับเป็นคุณลักษณะเชิงตัวเลขที่รักษาข้อมูลสำคัญไว้ โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ทำหน้าที่ดึงลักษณะเด่น

1.3) การเขียนโปรแกรมการเรียนรู้เชิงลึก

การเขียนโปรแกรมจะทำการดาวน์โหลดโมเดลที่มีการฝึกมาแล้ว และรูปภาพที่ทำการแบ่งสัดส่วนเป็น 70%, 15%, 15% โดยทำการแบ่งและกำหนดค่าของรูปผ่านทางเว็บ app.roboflow.com ที่ทำการแบ่งมาทั้งหมด 10 คลาสจากนั้นจะเริ่มการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม yolo ที่ทำการฝึกมาแล้ว มาช่วยในการเรียนรู้เชิงลึก โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ Epochs = 10, Image Size = 256, Batch = 16, Learning Rate =0.002, Patience=5, Optimizer= SGD และ ADAM โดยจำนวนรูปทั้งหมดคือ 23136 รูป เมื่อทำการเรียนรู้เชิงลึกเสร็จสิ้น ตัวผลลัพธ์ที่ได้จะถูกจัดเก็บเป็นไฟล์ pytorch

1.4) พารามิเตอร์ประเมินผลที่ได้จากการฝึกโมเดล

เมื่อทำการเรียนรู้เชิงลึกเสร็จสิ้น จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆออกมา รวมทั้งผลลัพธ์ และพารามิเตอร์เพื่อประเมินความแม่นยำจากโมเดลที่ได้ออกมา เช่น F1-score, Precision confidence, Recall confidence, Confusion Matrix, และ Confusion Matrix Normalized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

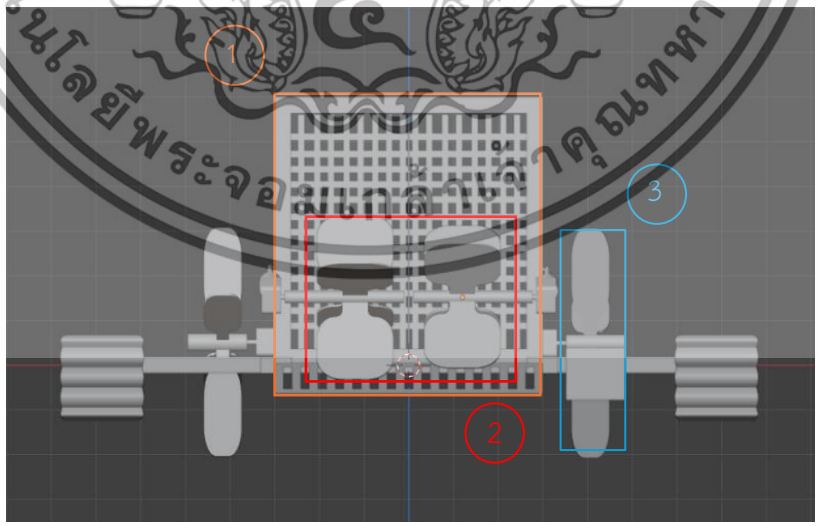
3.1.3 การออกแบบจำลองหุ่นยนต์เก็บขยะ

โดยการออกแบบจำลองจะออกแบบผ่านโปรแกรม Blender ดังรูปที่ 3.5 - 3.8

3.1.3.1 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

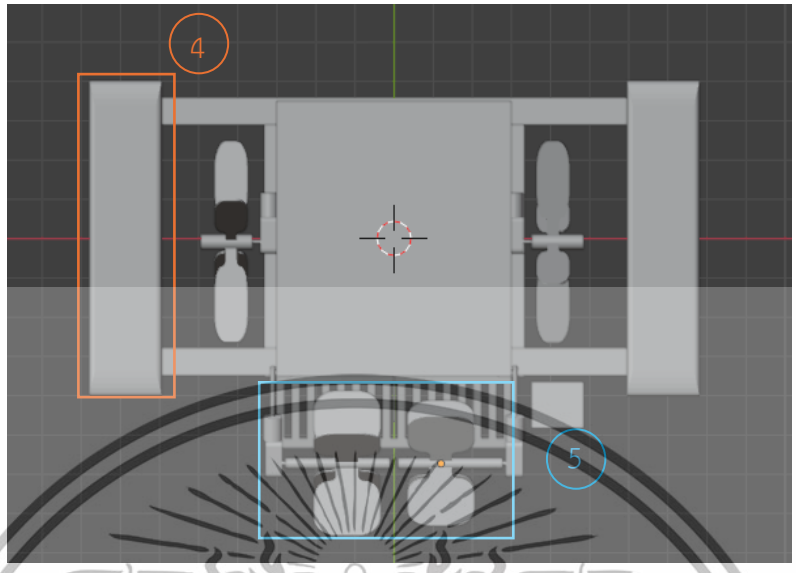
การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ โดยในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการเลือกใช้โปรแกรม Blender ในการออกแบบเพื่อนำไปเป็นแบบในการประดิษฐ์โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ โครงสร้างหุ่นยนต์ประกอบด้วย ที่พักขยะ ใบพัดสำหรับกวาดขยะ ใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์ อุปกรณ์สำหรับการช่วยพยุงตัวหุ่นยนต์ให้สามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้ และแผ่นสำหรับกวาดขยะ

รูปที่3.5 โครงสร้างหุ่นยนต์เก็บขยะที่ออกแบบ



รูปที่ 3.6 ภาพมุมมองด้านหน้าของแบบหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ภาพมุมมองด้านบนของแบบหุ่นยนต์

รูปที่ 3.8 ภาพมุมมองด้านข้างของแบบหุ่นยนต์

โดยหมายเลข 1 ถึง 6 ที่ระบุไว้ในภาพคือ ที่พักขยะ, ใบพัดสำหรับกวาดขยะ, ใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่, อุปกรณ์สำหรับการลอยตัว, ตะแกรงที่ทำการติดตั้งในมุมเอียงเพื่อช่วยให้ขยะไหลเข้า, และแผงกั้นระหว่างช่องเก็บขยะรีไซเคิลและไม่รีไซเคิล ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การทดสอบการทำงานโดยรวม

ทดสอบและเขียนโปรแกรมให้ทำงานสอดคล้องกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.1.4.1 เมื่อเริ่มการทำงานระบบจะเปิดกล้องและเริ่มทำการตรวจจับผ่านโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่ตรวจจับได้ผ่านหน้าจอที่ทำการป้อนคำสั่งเพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ตรวจพบ

3.1.4.2 เมื่อภาพที่กล้องตรวจพบวัตถุที่มีอยู่ในชุดข้อมูลที่ทำการจัดเตรียมไว้ มอเตอร์จะเริ่มทำงานโดยจะเริ่มจาก การเคลื่อนไหวหากอยู่ภายนอกระยะที่อัลตร้าโซนิคอ่านได้ ระบบจะสั่งการให้มอเตอร์ด้านข้าง 2 ตัวหมุนเพื่อให้อยู่ภายในระยะที่สามารถเก็บขยะได้ และจะทำการสั่งมอเตอร์เก็บขยะเริ่มทำงานโดยจะหมุนกวาดขยะเข้ามาภายในตะแกรงของตัวเรือ

3.1.4.3 เมื่อทำการเก็บขยะเรียบร้อยระบบจะทำการตรวจสอบต่อเนื่องเพื่อทำการตรวจจับผ่านกล้องว่ายังพบขยะอยู่ภายในมุมกล้องอีกหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 การทดสอบวงจรก่อนประกอบใส่กล่อง

3.1.4.4 เมื่อทำการทดสอบการทำงานโดยรวมหลังการประกอบลงกล่อง พบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามที่ทำการทดสอบก่อนการประกอบลงกล่อง แสดงดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 การทดสอบวงจรหลังประกอบใส่กล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 การออกแบบโปรแกรมควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย

ทำการออกแบบโปรแกรมควบคุมเพื่อทำการควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สายที่เป็นเครือข่ายเดียวกัน โดยตัวโปรแกรมที่ทำการออกแบบจะช่วยให้สามารถทำการควบคุม Raspberry pi ผ่านเครือข่ายไร้สายผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ได้โดยใช้ Shell In A Box ทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม

รูปที่ 3.11 แผนผังโปรแกรมควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 Raspberry Pi 5

ใช้ในการควบคุมมอเตอร์และเชื่อมต่อกับกล้องเพื่อตรวจจับวัตถุ โดยสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ผ่านระบบปฏิบัติการ Raspbian หรือระบบปฏิบัติการอื่น ๆ ที่รองรับ

3.2.2 C270 HD Webcam

ใช้ในการตรวจจับวัตถุ โดยเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi เพื่อให้สามารถรับภาพและประมวลผลการตรวจจับวัตถุได้อย่างแม่นยำ

3.2.3 Ultrasonic Sensor

ใช้ในการวัดระยะทาง โดยทำการติดตั้งที่ด้านหน้าของหุ่นยนต์เพื่อใช้ตรวจสอบระยะห่างจากวัตถุที่ต้องการเก็บ

3.2.4 L298N Drive Motor Module

ใช้ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยมีการขับมอเตอร์จำนวน 4 ตัวแบบแยกกันได้อย่างอิสระ ผ่านการควบคุมมอเตอร์ 2 ตัวต่อ Drive Module หนึ่งตัว

3.2.5 โปรแกรม Blender

ใช้ในการออกแบบและจำลองหุ่นยนต์ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้งานจริงได้

3.2.6 Roboflow web application

ใช้สำหรับการจัดเตรียมข้อมูลการฝึก การทดสอบ และการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลการตรวจจับวัตถุ โดยการแบ่งสัดส่วนข้อมูลอย่างเหมาะสม จะช่วยให้โมเดลมีความแม่นยำและลดความเสี่ยงต่อการเกิด Overfitting

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบการเตรียมข้อมูล

ทำการทดสอบการฝึกโมเดลด้วยการปรับค่า Hyperparameter และทำการขยายชุดข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังนี้ ทำการปรับขนาดรูปภาพเป็น 256 x 256 พิกเซล, เพิ่มรูปที่ทำการหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15 และ -15 องศา, เพิ่มรูปขาว-ดำ 20% ของชุดข้อมูลทั้งหมด, และเพิ่มภาพที่ทำการปรับแสง 15% ของชุดข้อมูลทั้งหมด โดยชุดข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นมีทั้งหมด 8793 รูป หลังจากทำการขยายชุดข้อมูลจำนวนทั้งหมดจะมี 21089 รูป

3.3.2 การประเมินประสิทธิภาพของการเรียนรู้เชิงลึก

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการเรียนรู้เชิงลึกด้วยชุดทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่มีการตั้งค่าไว้

3.3.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

เมื่อทำการเรียนรู้เชิงลึกเสร็จสิ้นจะได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดออกมา และทำการใช้ผลลัพธ์นั้นมาทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีการจัดเตรียมไว้คือ กล้องเว็บแคม, บอร์ด Raspberry Pi 5, Ultrasonic Sensor, และ L298N drive motor module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองเป็นส่วนๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบการเตรียมข้อมูลของโมเดล

ผู้จัดทำได้ทำการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการจำแนกวัตถุในการตรวจจับออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ขยะรีไซเคิล และขยะไม่รีไซเคิล โดยขยะรีไซเคิลมีชุดข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดได้แก่ ฝาขวดพลาสติก, ขวดพลาสติก, ขยะพลาสติก, เศษกระดาษ, กล่องกระดาษ, กระป๋อง, และขวดแก้ว และขยะไม่รีไซเคิลมีข้อมูลทั้งหมด 1 ชุดได้แก่ สไตโรโฟม และทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุดได้แก่ ชุดข้อมูลฝึกสอน (Training set), ชุดข้อมูลทดสอบ (Testing set), ชุดข้อมูลทดสอบความถูกต้อง (Validation set) โดยแบ่งสัดส่วนเป็น 70%, 15% และ 15% ตามลำดับ นอกเหนือจากนี้ยังมีการใช้หลักการ Early Stopping เพื่อทำการป้องกันโมเดล Overfitting และจะหยุดทำการเรียนรู้เชิงลึกเมื่อทำงานได้ประสิทธิภาพไม่ดี ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจะมีการเตรียมความพร้อมข้อมูลให้เหมาะสมกับโมเดล และมีการเสริมข้อมูลเพื่อสร้างความหลากหลายให้กับข้อมูล ปริญญานิพนธ์นี้การเตรียมข้อมูลมีความสำคัญมาก จึงทำการเสริมข้อมูลเพื่อให้โมเดลที่ได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

4.1.1 ผลการทดสอบการเรียนรู้เชิงลึก

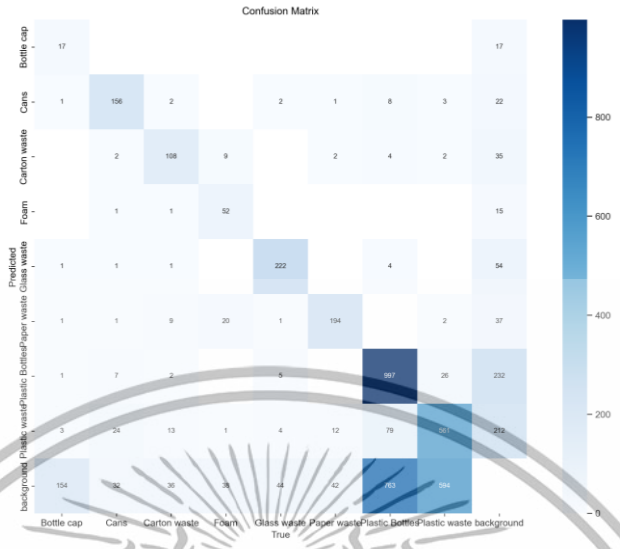
ผลการทดสอบการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้ตัวเพิ่มประสิทธิภาพ Adam มีการกำหนดค่า Hyperparameter ได้แก่ Learning Rate = 0.002, Batch size = 16, Epochs = 50, Patience = 5, Optimizer = Adam และใช้โมเดล YOLOv11 โดยมีผลการทดลองดังนี้ Accuracy สังเกตุได้จากคอลัมน์ Precision (P) แสดงถึงค่าความแม่นยำของโมเดลที่ทำการเรียนรู้เชิงลึกมีค่าเท่ากับ 0.76 หรือ 76 เปอร์เซนต์ แสดงดังรูปที่ 4.1

Class	Images	Instances	Box(P	R	mAP50	mAP50-95): 100%
all	1475	4682	0.76	0.505	0.582	0.415

รูปที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากชุดทดสอบ

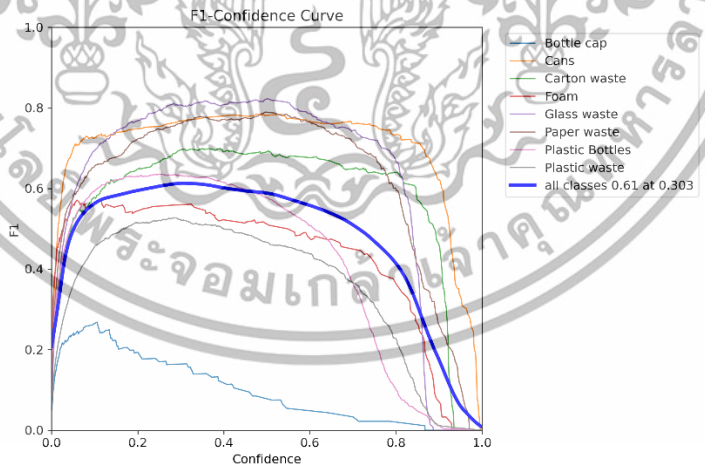
Confusion Matrix แสดงดังรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นผลลัพธ์ของโมเดลที่ใช้ในการจำแนกประเภทของขยะ โดยโมเดลมีความแม่นยำสูงสำหรับบางประเภท เช่น Plastic Bottle และ Glass waste และมีโมเดลที่มีการจำแนกผิดพลาด เช่น Plastic waste ที่มีการจำแนกปะปนไปกับ Plastic Bottle และ Paper waste อาจต้องปรับปรุงโมเดลโดยเพิ่มข้อมูลฝึกที่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Confusion Matrix

กราฟ F1-Confidence แสดงดังรูปที่ 4.3 ที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของโมเดลการจำแนกขยะ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า F1-score กับระดับความถูกต้องของโมเดล โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดจากโมเดลนี้คือ 0.303 ซึ่งให้ค่า F1-score ที่ 0.61 ซึ่งหมายความว่าโมเดลจะทำนายว่าภาพที่ตรวจพบเป็นประเภทขยะบางประเภทได้ง่ายขึ้น แต่ก็มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดสูง และโมเดลสามารถแยกประเภทขยะได้ดีที่สุดเมื่อใช้ค่า Confidence นี้

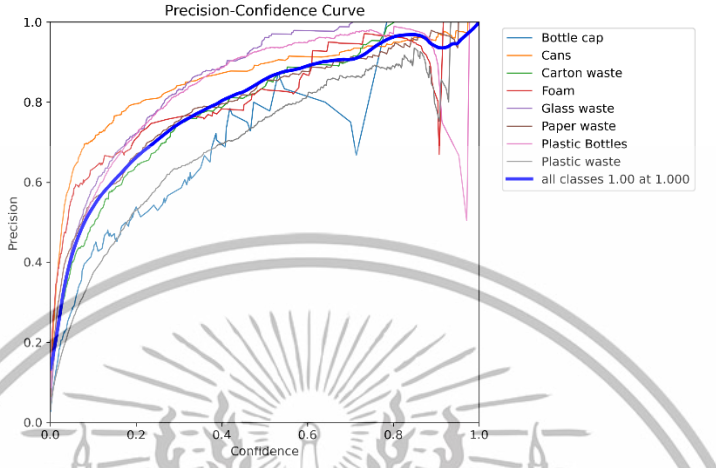


รูปที่ 4.3 กราฟ F1-Confidence

กราฟ Precision-Confidence แสดงดังรูปที่ 4.4 ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลลัพธ์ของโมเดลจำแนกประเภทขยะ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Precision กับ Confidence พบว่าโมเดลสามารถทำนายผลลัพธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สังเกตุได้จากรูปที่แสดงแสดง ค่า Precision เพิ่มขึ้นตามค่า

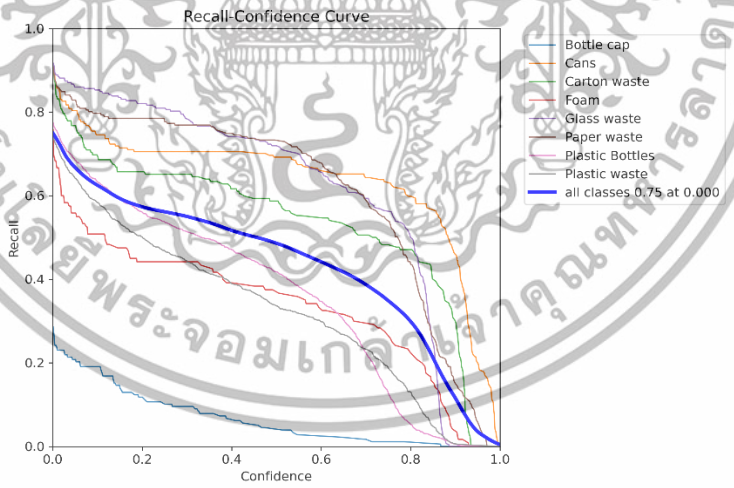
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Confidence ซึ่งหมายความว่าหากค่า Confidence สูง โมเดลจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากขึ้นแต่จะทำนายได้น้อยลง



รูปที่ 4.4 กราฟ Precision-Confidence

จากกราฟ Recall-Confidence แสดงดังรูปที่ 4.5 สามารถเห็นว่าค่า Recall ลดลงเมื่อค่า Confidence เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าโมเดลจะสามารถทำนายตัวอย่างขยะได้มากขึ้นเมื่อใช้ค่า Confidence ต่ำ แต่จะทำนายได้น้อยลงเมื่อ Confidence สูง



รูปที่ 4.5 กราฟ Recall

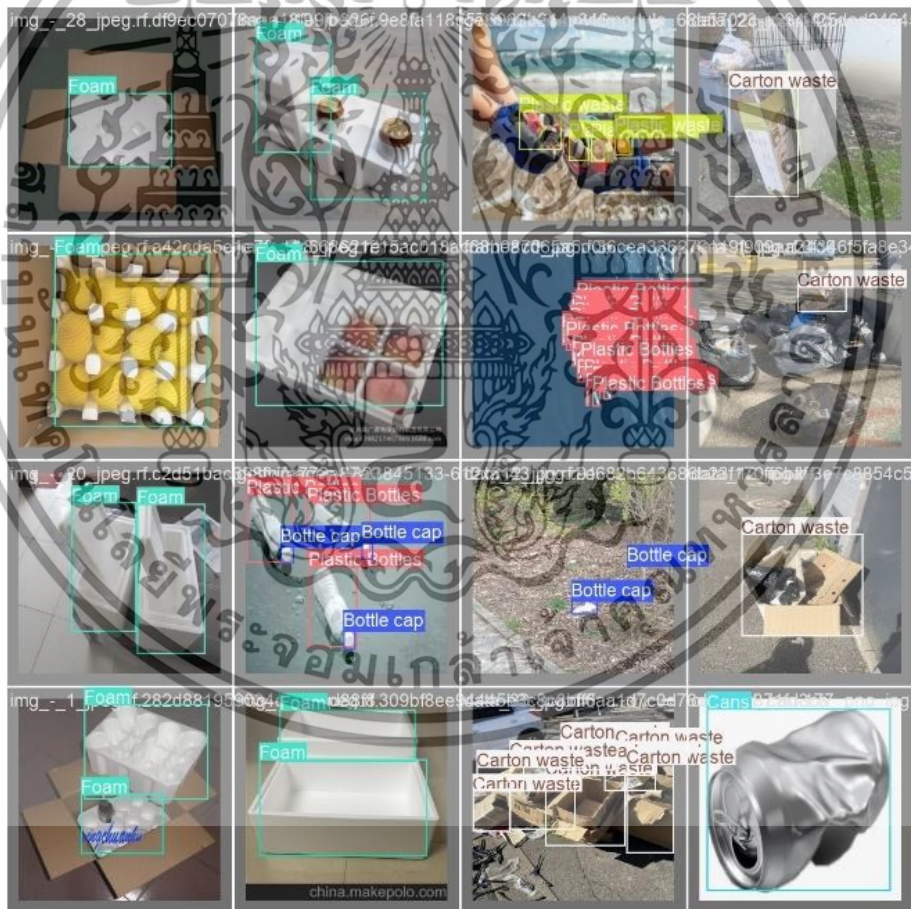
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบการเรียนรู้เชิงลึกด้วยชุดตรวจสอบความถูกต้อง

ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบโมเดลด้วยการใช้ชุดตรวจสอบความถูกต้องมาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลที่ได้ทำการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้ตัวเพิ่มประสิทธิ Adam

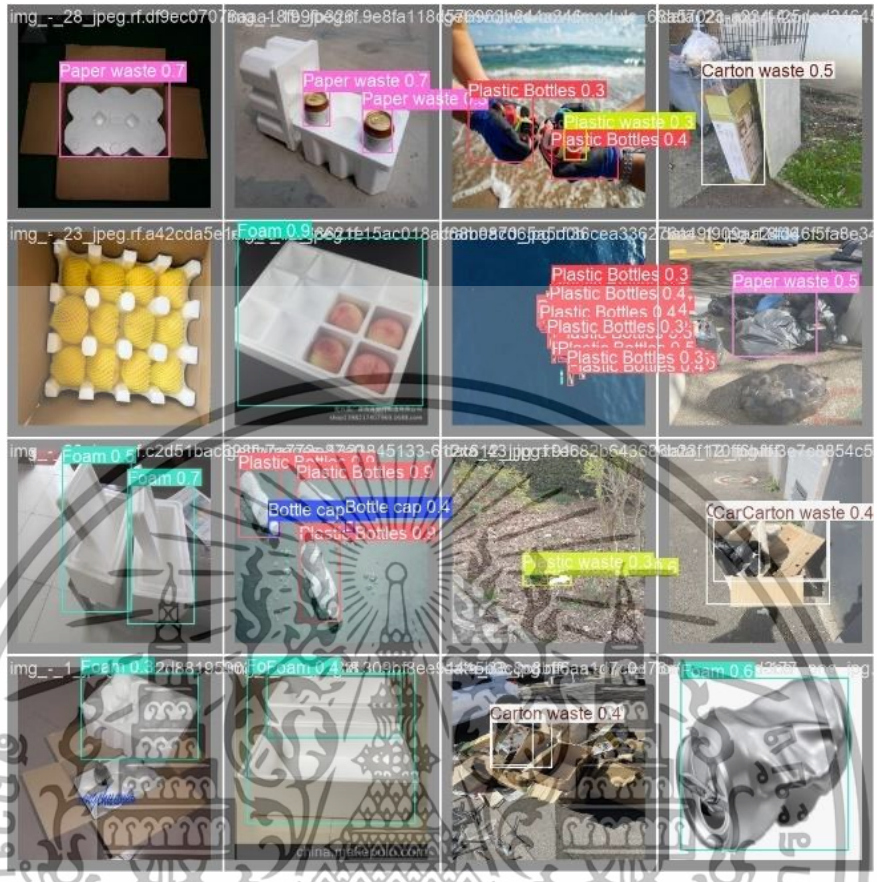
4.2.1 ตรวจสอบความถูกต้องของโมเดล

ทำการใช้โมเดลที่ทำการเรียนรู้เชิงลึกมาทดสอบกับชุดตรวจสอบความถูกต้อง โดยมีค่า Hyperparameter ตามหัวข้อ 4.1.1 รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างการติดฉลากวัตถุในภาพ โดยใช้กรอบล้อมรอบวัตถุและระบุประเภทของวัตถุที่ตรวจพบ และที่รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างภาพจากชุดข้อมูลตรวจสอบความถูกต้องที่ถูกนำมาผ่านโมเดลที่ได้รับการฝึกสอน พร้อมทั้งแสดงผลการคาดเดาวัตถุโดยโมเดล



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการติดฉลากรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



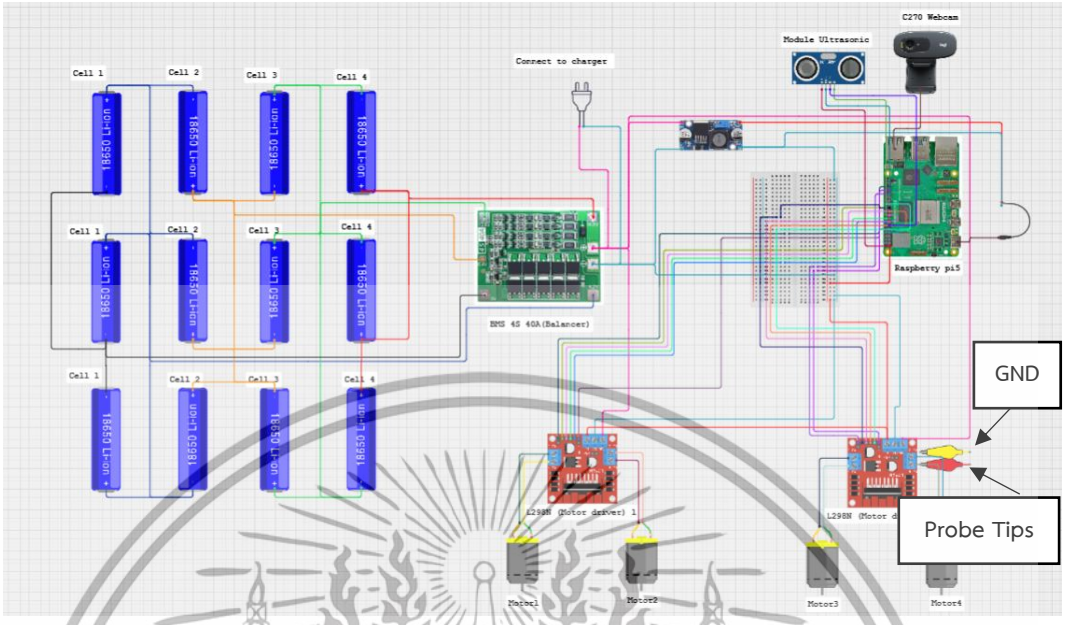
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการคาดเดาจากชุดทดสอบความถูกต้อง

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์

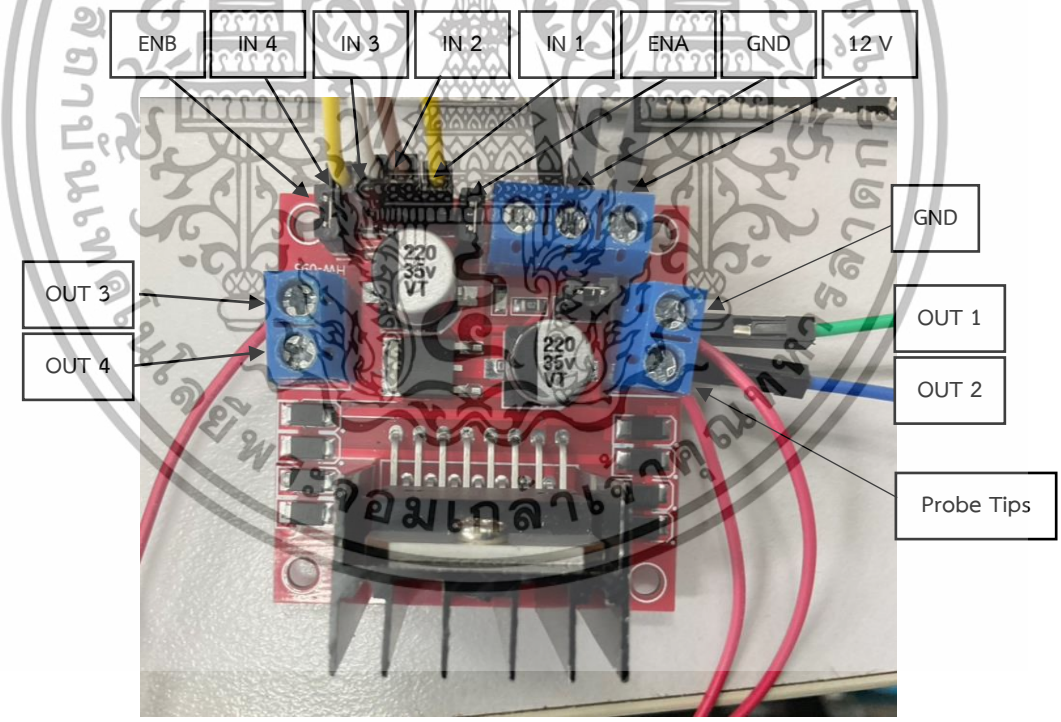
จากการทดลองการทำงานของมอเตอร์พบว่ามอเตอร์ของหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามที่ทำการออกแบบไว้ โดยหุ่นยนต์จะขับมอเตอร์ด้านข้าง 2 ตัว เมื่อโปรแกรมที่ทำการออกแบบไว้ตรวจพบวัตถุที่อยู่ในชุดข้อมูลและทำการวัดระยะผ่านเซ็นเซอร์อัลตราโซนิค หากอยู่ไกลกว่าระยะที่ 30 เซนติเมตร ระบบจะทำการขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์เพื่อเข้าไปในระยะ 30 เซนติเมตรเพื่อทำการขับมอเตอร์เก็บขยะ

จากการทดลอง ได้ทำการวัดแรงดันขณะหยุดทำงานของมอเตอร์และแรงดันขณะทำงาน โดยทำการวัดแรงดันที่ออกจาก L298N Drive Motor Module อ้างอิงตำแหน่งในการวัดตามที่แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 และทำการวัดสัญญาณที่แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.11 จะแสดงถึงแรงดันของมอเตอร์ขณะทำงาน โดยมีค่าแรงดันเท่ากับ 7.5 โวลต์ ส่วนกราฟในรูปที่ 4.12 จะแสดงถึงแรงดันของมอเตอร์ขณะหยุดทำงาน โดยมีค่าแรงดันเท่ากับ 80 มิลลิโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

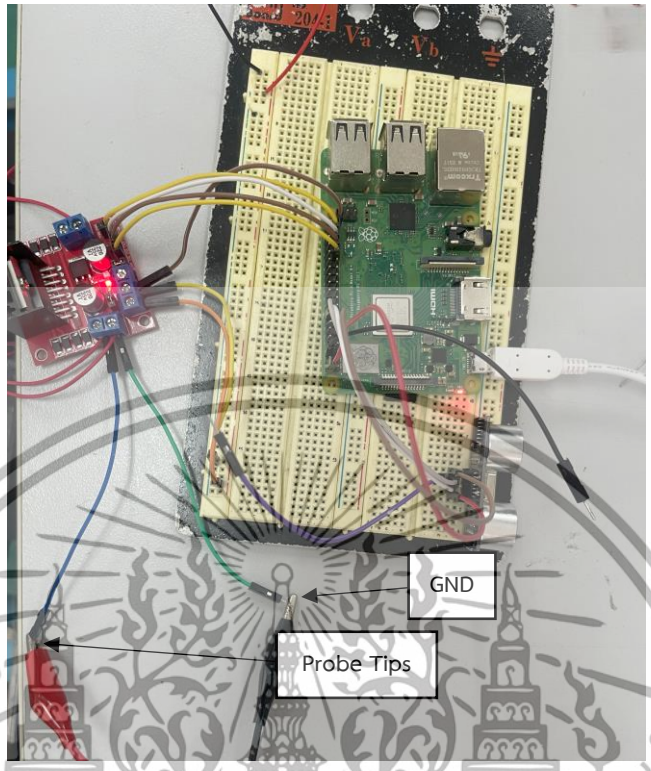


รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงการวัดแรงดันของมอเตอร์



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งที่ทำการวัดแรงดันของมอเตอร์

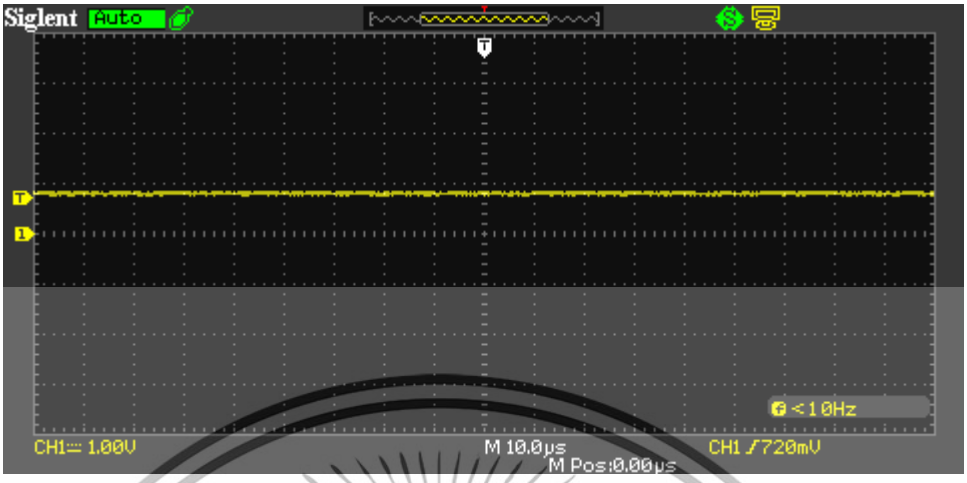
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 วัดแรงดันที่ออกจาก L298N drive motor module

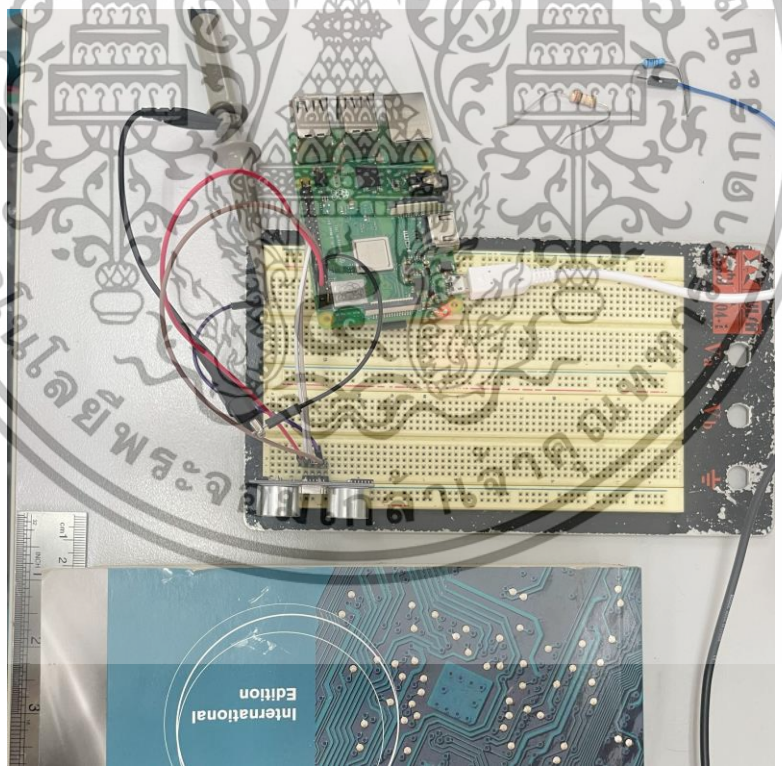
รูปที่ 4.11 แรงดันที่เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ขณะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



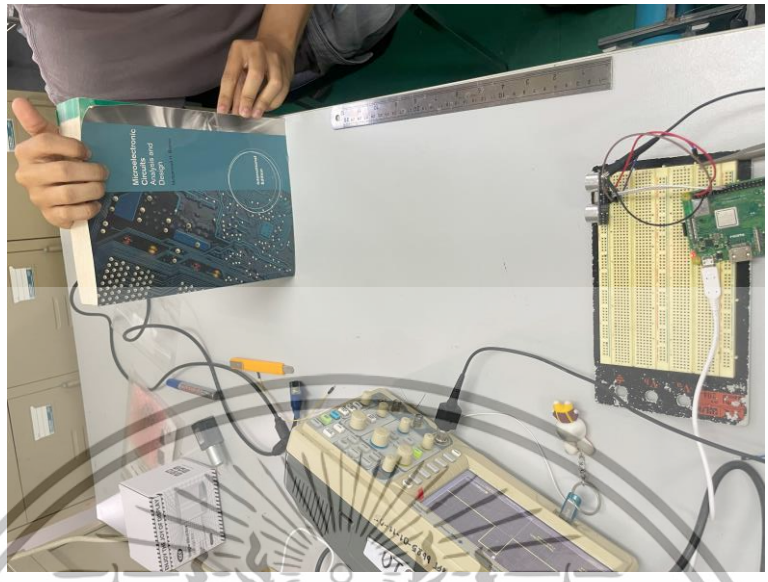
รูปที่ 4.12 แรงดันที่เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ขณะหยุดทำงาน

จากการทดลองการใช้งานอัลตราโซนิค จะทำการวัดและแสดงสัญญาณพัลส์เทียบกับระยะห่างที่ทำการวัดโดยใช้ไม้บรรทัด โดยจะทำการวัดตั้งแต่ 2 เซนติเมตร จนถึง 40 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



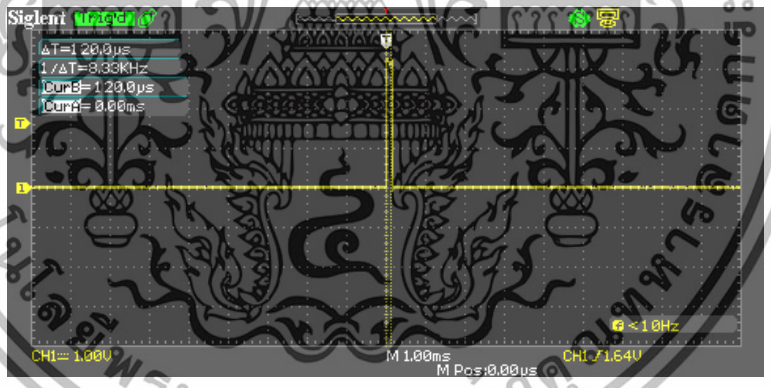
รูปที่ 4.13 วัดสัญญาณพัลส์ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

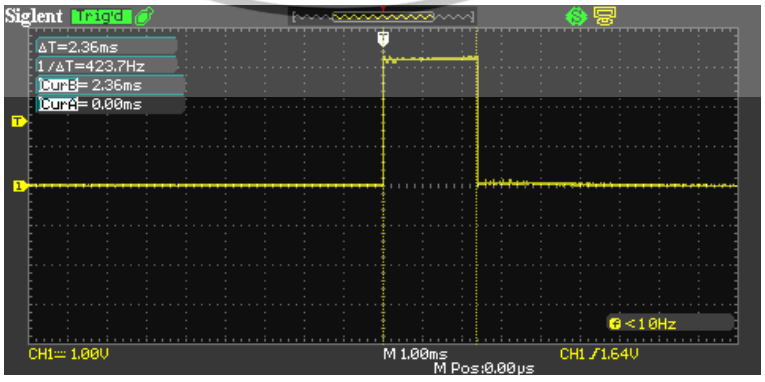


รูปที่ 4.14 วัดสัญญาณพัลส์ที่ระยะห่าง 40 เซนติเมตร

โดยสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 และขนาดของสัญญาณพัลส์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.15 สัญญาณพัลส์ของอัลตราโซนิคที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร



รูปที่ 4.16 สัญญาณพัลส์ของอัลตราโซนิคที่ระยะห่าง 40 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คาบเวลาของสัญญาณพัลส์เทียบกับระยะห่าง

ระยะห่าง (เซนติเมตร)	คาบเวลาของสัญญาณพัลส์ (มิลลิวินาที)
2	240
3	360
4	480
5	600
10	1200
15	1800
20	2400
25	3000
30	3600
35	4200
40	4800

หมายเหตุ : ขนาดของสัญญาณพัลส์มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ±5 เปอร์เซนต์

4.4 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกับอุปกรณ์

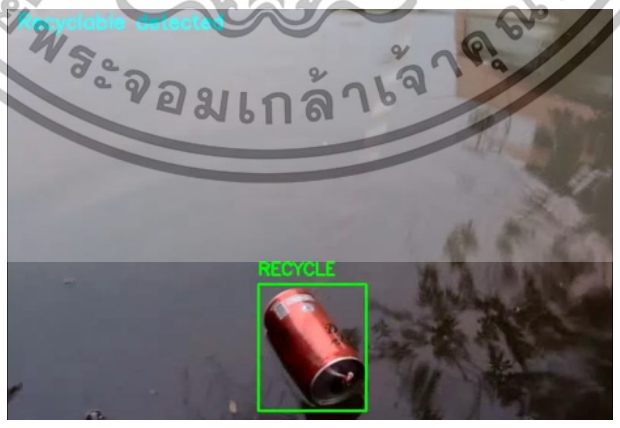
ผู้จัดทำได้ทำการเลือกโมเดลที่มีตัวเพิ่มประสิทธิภาพ Adam จากการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลได้มากที่สุด โดยจะนำโมเดลมาใช้สำหรับการจำแนกวัตถุในการตรวจจับออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ขยะรีไซเคิล และขยะไม่รีไซเคิล โดยขยะรีไซเคิลมีชุดข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดได้แก่ ฝาขวดพลาสติก, ขวดพลาสติก, ขยะพลาสติก, เศษกระดาษ, กล่องกระดาษ, กระป๋อง, และขวดแก้ว และขยะไม่รีไซเคิลมีข้อมูลทั้งหมด 1 ชุดได้แก่ สไตโรโฟม เมื่อทำการทดสอบการใช้งานพบว่า อุปกรณ์สามารถใช้ตรวจจับวัตถุได้ และสามารถควบคุมมอเตอร์ให้หมุนเมื่อพบขยะได้

จากการทดลองทำให้เห็นได้ว่าการลอยตัวของหุ่นยนต์สามารถลอยตัวได้อย่างสมดุล โดยใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำและโครงสร้างที่ช่วยกระจายแรงลอยตัวอย่างเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4.17 และรูปตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากกล้องและโปรแกรมที่ทำการทดลองเมื่อนำไปลอยน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.18 ถึง 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 การลอยตัวของตัวหุ่นยนต์หลังทำการประกอบวงจรและอุปกรณ์

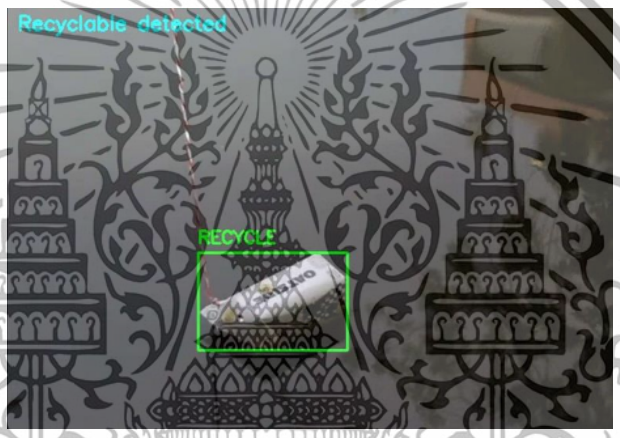
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปขวดพลาสติก



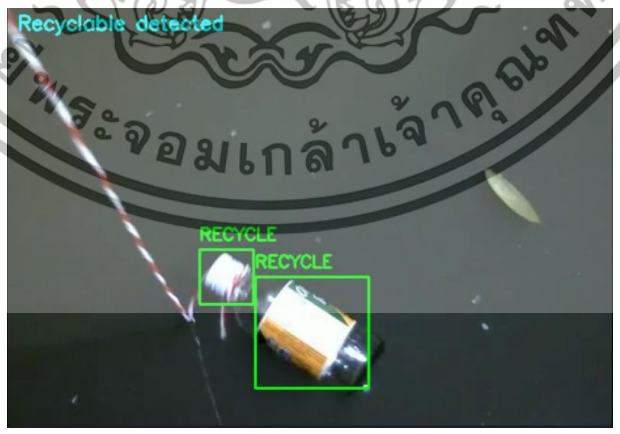
รูปที่ 4.19 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปกระป๋อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปฝาขวดขวดพลาสติก



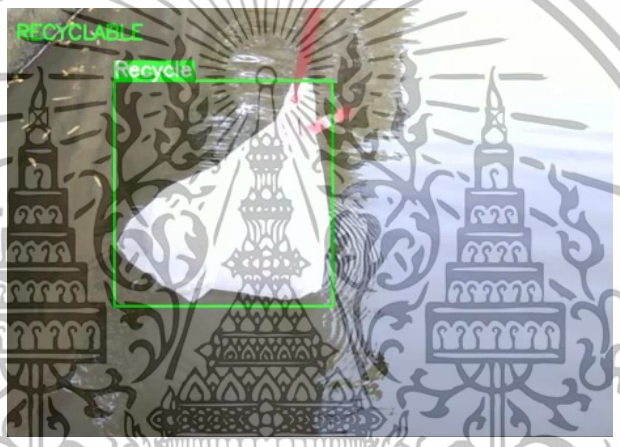
รูปที่ 4.21 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปกล่องกระดาษ



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปขวดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปกระดาษ



รูปที่ 4.24 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปถุงพลาสติก

รูปที่ 4.25 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำแนกรูปสไตโรโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

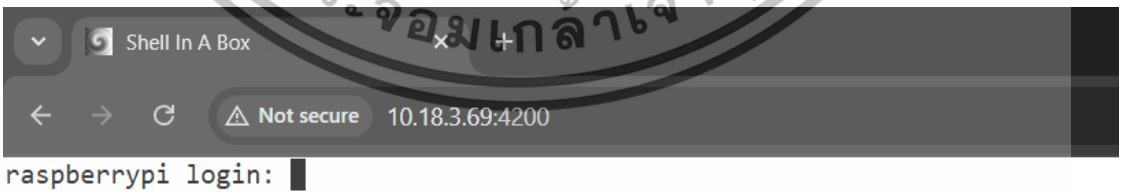
4.5 ผลการทดลองโปรแกรมควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย

จากการทดลองพบว่า โปรแกรมควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สายสามารถทำงานได้ตามที่ทำการคาดหมาย ผู้ใช้สามารถเข้าถึง Raspberry Pi ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้โดยใช้ Shell In A Box ทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม ผู้จัดทำได้ออกแบบโปรแกรมเพื่อทำการควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สายที่เป็นเครือข่ายเดียวกันเพื่อทำการควบคุมผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

4.5.1 เมื่อทำการเปิดเว็บบราวเซอร์ด้วย IP ของอุปกรณ์ลงท้ายด้วยการเชื่อมต่อพอร์ต 8080 จะแสดงดังรูปที่ 4.26 เพื่อทำการเชื่อมต่อเข้าสู่เทอร์มินอลของอุปกรณ์เพื่อทำการป้อนคำสั่งในแผงการควบคุม

รูปที่ 4.26 แผงควบคุมโปรแกรม

4.5.2 ในหน้าควบคุมมีปุ่ม Launch Terminal ซึ่งเมื่อกดปุ่มระบบจะนำทางไปที่ พอร์ต 4200 ระบบจะเปิดใช้งาน เพื่อล็อกอินเข้าสู่ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ขั้นตอนการเข้าสู่ระบบเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์

4.5.3 ผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบโดยใช้ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านของ Raspberry Pi เมื่อล็อกอินสำเร็จ จะสามารถใช้งาน Terminal ได้ตามปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 เทอร์มินอลเพื่อทำการควบคุมอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อประมวลผลรูปภาพ โดยการศึกษาการเตรียมข้อมูล การแยกคุณลักษณะ การปรับค่า Hyperparameter เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำของโมเดล และการออกแบบหุ่นยนต์เพื่อทำการเก็บขยะ ซึ่งการประมวลผลรูปภาพ จะมีการจำแนกวัตถุในการตรวจจับออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ขยะรีไซเคิล และขยะไม่รีไซเคิล โดยขยะรีไซเคิลมีชุดข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดได้แก่ ฝาขวดพลาสติก, ขวดพลาสติก, ขยะพลาสติก, เศษกระดาษ, กล่องกระดาษ, กระป๋อง, และขวดแก้ว และขยะไม่รีไซเคิลมีข้อมูลทั้งหมด 1 ชุดได้แก่ สไตโรโฟม และทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดฝึกสอน (Training Set) ชุดทดสอบ (Test set) และชุดทดสอบความถูกต้อง (Validation set) โดยแบ่งสัดส่วนเป็น 70%, 15%, 15% ตามลำดับ ทำการฝึกโมเดลด้วยการปรับค่า Hyperparameter และทำการขยายชุดข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังนี้ ทำการปรับขนาดรูปภาพเป็น 256 x 256 พิกเซล, เพิ่มรูปที่ทำการหมุน 15 และ -15 องศา, เพิ่มรูปขาว-ดำ 20% ของชุดข้อมูลทั้งหมด, และเพิ่มภาพที่ทำการปรับแสง 15% ของชุดข้อมูลทั้งหมด โดยชุดข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นมีทั้งหมด 8793 รูป หลังจากทำการขยายชุดข้อมูลจำนวนทั้งหมดจะมี 21089 รูป เพื่อให้ข้อมูลมีความหลากหลายมากขึ้น แล้วจึงนำข้อมูลไปทำการเรียนรู้เชิงลึก โดยผู้จัดทำได้ทำการเลือกใช้ตัวเพิ่มประสิทธิภาพ Adam และค่าความแม่นยำที่ได้จากการฝึกสอนมีค่าเท่ากับ 76 เปอร์เซนต์ นอกจากนั้นยังสามารถควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สายในวงการเชื่อมต่อเดียวกันทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมผ่านอุปกรณ์ใดก็ได้ที่ทำการเชื่อมต่อเครือข่ายนั้น และเนื่องจากตัวหุ่นยนต์ได้ทำการประกอบได้ไม่ดีพอให้สามารถวิ่งและเก็บขยะบนผิวน้ำได้ ผู้จัดทำจึงไม่สามารถใส่ผลการทดสอบการวิ่งและเก็บขยะบนผิวน้ำได้ จึงเรียนมาเพื่อทราบว่าในรายงานเล่มนี้มีเพียงผลการทดสอบของโปรแกรมแยกขยะบนผิวน้ำเท่านั้น และจากการทดลองหากตรวจพบวัตถุที่ไม่อยู่ในชุดข้อมูลที่ทำการเรียนรู้เชิงลึกระบบจะไม่ทำการจำแนกวัตถุนั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำได้ทำการจำแนกวัตถุในการตรวจจับออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ขยะรีไซเคิล และขยะไม่รีไซเคิล โดยขยะรีไซเคิลมีชุดข้อมูลทั้งหมด 7 ชุดได้แก่ ฝาขวดพลาสติก, ขวดพลาสติก, ขยะพลาสติก, เศษกระดาษ, กล่องกระดาษ, กระป๋อง, และขวดแก้ว และขยะไม่รีไซเคิลมีข้อมูลทั้งหมด 1 ชุดได้แก่ สไตโรโฟมแต่การจัดเตรียมให้จำนวนที่เท่ากันไม่สามารถทำได้เนื่องจากบางคลาสของข้อมูลไม่สามารถที่จะหารูปมาจัดเตรียมเป็นชุดข้อมูลได้มากพอ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจจับวัตถุในแต่ละคลาสไม่ดีเท่าที่ควร และเนื่องจากการออกแบบตัวหุ่นยนต์ไม่ดีพอที่จะทำการวิ่งเพื่อเก็บขยะในน้ำจึงมีผลการทดลองการลอยตัวของหุ่นยนต์ประกอบร่วมกับโปรแกรมตรวจจับเพียงอย่างเดียว ทำให้ไม่สามารถเก็บผลของการใช้มอเตอร์ร่วมกับตัวโปรแกรมในการเดินหน้าและเก็บขยะบนผิวน้ำ ในรายงานเล่มนี้จึงไม่สามารถใส่ผลการทดลองการทดสอบโปรแกรมการเก็บขยะบนผิวน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Cytron Marketplace. “Raspberry Pi 3”. 2567.
htttps://th.cytron.io/p-raspberry-pi-3-model-b-plus?gclid=CjwKCAiAw5W-BhAhEiwApv4goLLaFVNn0jqUaU0pQ-WEtBKFCWo4auCFiFuq0eQHRzbGPqDD-WxEcRoC_DQQAvD_BwE

[2] ThaiEasyElec. “L298N Development Board”. nd.
https://www.thaieasyelec.com/product/l298n-development-board/11000833173000367?srsltid=AfmBOooUjBmqSSe_Sms313mj6sWzHqrwfbJ1nCBk26gzHvPAv0YKHWCj

[3] Eva Richards. “แบตเตอรี่ 18650 คืออะไร” 2567.
https://insights.made-in-china.com/th/What-Is-the-18650-Battery-Key-Applications-and-Design-Considerations-for-Modern-Energy-Storage-Solutions_IfaGXjKShJlW.html

[4] Lucy Lee. “Lithium Battery Management system” nd.
https://lws-pcm.en.made-in-china.com/product/nCFxdyfvMSkl/China-3s12A-BMS-11-1V-Lithium-Battery-Management-system-with-Temperature-Sensor.html

[5] Cybertice. “เซ็นเซอร์วัดระยะทาง Ultrasonic Module HC-SR04”. 2568.
https://www.cybertice.com/product/18/%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87-ultrasonic-module-hc-sr04?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAzvC9BhADEiwAEhtlN8xAEOI08no2bgLf3FA7LfTd8LHR90FJMJNTGk9SfMM4XnBm86E96xoCqGIQAvD_BwE

[6] Agencyelectronics. “Motor JGY370”. 2567
https://www.agebkk.com/product/jgy-370-12v-150rpmมอเตอร์ทดเกียร์แรงบิดสูง-12vdc-150rpm-แกนเพลา-6-mm-รูกลางเกลียว-m3wgm4632-370high-/11000940281003935

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[7] Advice. “C270 HD WEBCAM”. nd.
https://www.advice.co.th/product/webcam/webcam-hd-/webcam-logitech-c270-?srsltid=AfmBOoo--tgwu4cSTohWm_tVdgOiTJBSP3oPpRApDzkDsAFcGxVAntJu

[8] Blender. “Blender”. nd.
https://www.blender.org/about/

[9] Roboflow. “Roboflow”. nd.
https://roboflow.com/about

[10] Python. “Python”. nd.
https://www.python.org/doc/essays/blurb/

[11] mindphp, “HTML คืออะไร”. 2565.
https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2026-html-คืออะไร.html

[12] Kapipakorn, “CSS คืออะไร”. 2560.
https://blog.sogoodweb.com/Article/Detail/79237/CSS-คืออะไร-มีประโยชน์-อย่างไร

[13] Linux-Console, “Shell in a box”. Nd.
https://th.linux-console.net/?p=2845

[14] Surapong Kanoktipsathaporn. “Object Detection”. 2567.
https://www.bualabs.com/archives/3453/what-is-object-detection-tutorial tensorflow-js-build-object-detection-machine-learning-coco-ssd-tfjs-ep-8/

[15] Bernado Lago. “What you need to know about machine learning”. 2566.
https://medium.com/lets-data/what-you-need-to-know-about-machine-learning-94ab5810236a#:~:text=Machine%20Learning%20is%20a%20form,and%20learn%20on%20their%20own.

[16] Divya Sheel. “Deep Learning”. 2563.
https://new.abb.com/news/detail/58004/deep-learning#:~:text=Deep%20Learning%20คือวิธีการ,หมู่ข้อมูล%20(Classify%20the%20Data)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[17] Yaniv Neoma. “Pytorch”. 2564.
https://medium.com/imagescv/what-is-pytorch-a-summary-guide-5c22cb25b916

[18] Zoumana Kelta. “YOLO Object Detection”. 2567.
https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained

[19] Pagon Gatchalee. “Confusion Matrix”. 2562.
https://medium.com/@pagongatchalee/confusion-matrix-เครื่องมือสำคัญในการประเมินผลลัพธ์ของการทำนาย-ในmachine-learning-fba6e3f9508c

[20] Olarik Surinta. “โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน”
https://medium.com/olarik/โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน-4e9e3a7a39bf

[21] Natthawat Phongchit, “การดึงลักษณะเด่น”
https://medium.com/@natthawatphongchit/มาลองดูวิธีการคิดของ-cnn-กัน-e3f5d73eebaa

[22] Danang Wei, “Adam Optimizer”. 2567.
https://medium.com/@weidagang/demystifying-the-adam-optimizer-in-machine-learning-4401d162cb9e

[23] Factomart, “Ultrasonic Sensor”. 2567.
https://mall.factomart.com/what-is-ultrasonic-sensor/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการเรียนรู้เชิงลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
import torch
import yaml
import sys
from pathlib import Path
model_path = 'yolov5n.pt'
data_path =  r'C:\ProjectY4\Garbage.v14i.yolov5pytorch\data.yaml'
epochs = 50
img_size = 256
batch_size = 16
learning_rate = 0.002
patience = 5 with open(data_path, 'r') as file:
    data_config = yaml.safe_load(file)
if 'train' not in data_config or 'val' not in data_config:
    raise ValueError("Data configuration file must contain 'train' and 'val' paths")
device = torch.device('cuda' if torch.cuda.is_available() else 'cpu')
print(f'Using device: {device}')
yolov5_repo_path = Path('C:\ProjectY4\Garbage.v14i.yolov5pytorch\yolov5nu.pt')
sys.path.append(str(yolov5_repo_path))
from train import parse_opt, main
args = [
    '--img', str(img_size),
    '--batch', str(batch_size),
    '--epochs', str(epochs),
    '--data', data_path,
    '--weights', model_path,
    '--device', str(device),
    '--patience', str(patience),
    '--lr', str(learning_rate)
]
opt = parse_opt(args)

main(opt)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

โปรแกรมการตรวจจับวัตถุด้วยการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
import cv2
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import random
from ultralytics import YOLO
EN = [18, 19, 13, 12
IN = [
    (23, 24),
    (25, 8),
    (7, 9),
    (10, 11)
]
TRIG = 6
ECHO = 27
COLLECTION_RANGE = 30
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(EN, GPIO.OUT)
for in1, in2 in IN:
    GPIO.setup([in1, in2], GPIO.OUT)
GPIO.setup(TRIG, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO, GPIO.IN)
model = YOLO("/home/Garbage/best.pt")
cap = cv2.VideoCapture(0)
frame_width = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
frame_height = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
out = cv2.VideoWriter('output.avi', cv2.VideoWriter_fourcc(*'MJPG'), 10, (frame_width, frame_height))
NON_RECYCLE_ITEMS = {"Cigarette butts", "Wood"}
detected_labels = set()
def measure_distance():
    """
    Measure distance using ultrasonic sensor
    Returns distance in cm
    """
    GPIO.output(TRIG, False)
    time.sleep(0.01)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    GPIO.output(TRIG, True)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(TRIG, False)
    pulse_start = time.time()
    timeout_start = time.time()
    while GPIO.input(ECHO) == 0:
        pulse_start = time.time()
        if time.time() - timeout_start > 0.1:
            return 400
    pulse_end = time.time()
    timeout_start = time.time()
    while GPIO.input(ECHO) == 1:
        pulse_end = time.time()
        if time.time() - timeout_start > 0.1:
            return 400
    pulse_duration = pulse_end - pulse_start
    distance = pulse_duration * 17150
    distance = round(distance, 2)
    return distance
def set_motor_direction_and_speed(index, speed):
    """
    Sets motor direction and speed using direct GPIO control.
    index: Motor index (0-3)
    speed: Speed (-100 to 100)
    """
    in1, in2 = IN[index]
    en = EN[index]
    if index == 1:
        if speed > 0:
            GPIO.output(in1, GPIO.LOW)
            GPIO.output(in2, GPIO.HIGH)
            GPIO.output(en, GPIO.HIGH)
        elif speed < 0:
            GPIO.output(in1, GPIO.LOW)
            GPIO.output(in2, GPIO.HIGH)
            GPIO.output(en, GPIO.HIGH)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            else:
                GPIO.output(en, GPIO.LOW)
                GPIO.output(in1, GPIO.LOW)
                GPIO.output(in2, GPIO.LOW)
        else:
            # Standard motor control for other motors
            if speed > 0:
                GPIO.output(in1, GPIO.HIGH)
                GPIO.output(in2, GPIO.LOW)
                GPIO.output(en, GPIO.HIGH)
            elif speed < 0:
                GPIO.output(in1, GPIO.LOW)
                GPIO.output(in2, GPIO.HIGH)
                GPIO.output(en, GPIO.HIGH)
            else:
                GPIO.output(in1, GPIO.LOW)
                GPIO.output(in2, GPIO.LOW)
                GPIO.output(en, GPIO.LOW)
        print(f"Motor {index} set to {'ON' if speed != 0 else 'OFF'}")
    def move_robot(left_speed, right_speed):
        """
        Control the movement of the robot using the two drive motors.
        left_speed: Speed for the left motor (-100 to 100)
        right_speed: Speed for the right motor (-100 to 100)
        """
        print(f"Moving robot: left={left_speed}, right={right_speed}")
        set_motor_direction_and_speed(0, left_speed)   # Left wheel
        set_motor_direction_and_speed(1, right_speed)  # Right wheel

    def collect_recyclable(speed):
        """
        Control the recyclable garbage collection motor.
        speed: Speed for the collection motor (0 to 100)
        """
        set_motor_direction_and_speed(2, speed)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
def collect_non_recyclable(speed):
    """
    Control the non-recyclable garbage collection motor.
    speed: Speed for the collection motor (0 to 100)
    """
    set_motor_direction_and_speed(3, speed)
def stop_all_motors():
    """Stop all motors"""
    for i in range(4):
        set_motor_direction_and_speed(i, 0)
    print("All motors stopped")
def run_motors_based_on_detection(labels, distance):
    """
    Control motors based on detected labels and distance from ultrasonic sensor
    New logic:
    - Motors 1&2 (wheels) only move when garbage is detected
    - Motor 3 activates only for recyclable objects within range
    - Motor 4 activates only for non-recyclable objects within range
    """
    if not labels:
        stop_all_motors()
        print("No garbage detected - all motors stopped")
        return
    is_in_range = distance <= COLLECTION_RANGE
    if "Recycle" in labels:
        if is_in_range:
            move_robot(0, 0)
            print(f"♻ Recyclable garbage in range ({distance:.1f}cm)! Collecting...")
            collect_recyclable(75)
            collect_non_recyclable(0)
        else:
            print(f"♻ Recyclable garbage detected at {distance:.1f}cm - moving toward it")
            move_robot(40, 40)
            collect_recyclable(0)
            collect_non_recyclable(0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    elif "Non-recycle" in labels:
        if is_in_range:
            move_robot(0, 0)
            print(f"🚫 Non-recyclable garbage in range ({distance:.1f}cm)! Collecting...")
            collect_recyclable(0)
            collect_non_recyclable(75)
        else:
            print(f"🚫 Non-recyclable garbage detected at {distance:.1f}cm - moving toward it")
            move_robot(40, 40
            collect_recyclable(0)
            collect_non_recyclable(0)
def motor_test():
    """Run a quick motor test at startup"""
    print("Testing motors...")
    print("Testing left wheel (Motor 1)")
    set_motor_direction_and_speed(0, 50)
    time.sleep(1)
    set_motor_direction_and_speed(0, 0)
    time.sleep(0.5)
    print("Testing right wheel (Motor 2)")
    set_motor_direction_and_speed(1, 50)
    time.sleep(1)
    set_motor_direction_and_speed(1, 0)
    time.sleep(0.5)
    print("Testing recyclable collection (Motor 3)")
    set_motor_direction_and_speed(2, 50)
    time.sleep(1)
    set_motor_direction_and_speed(2, 0)
    time.sleep(0.5)
    print("Testing non-recyclable collection (Motor 4)")
    set_motor_direction_and_speed(3, 50)
    time.sleep(1)
    set_motor_direction_and_speed(3, 0)
    print("Testing ultrasonic sensor")
    distance = measure_distance()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    print(f"Measured distance: {distance}cm")
    print("Motor test complete")
try:
    print("Starting garbage detection and separation robot...")
    print(f"Collection range set to {COLLECTION_RANGE}cm")
    motor_test()
    stop_all_motors()
    while cap.isOpened():
        success, frame = cap.read()
        if not success:
            print("Failed to read from camera")
            break
        distance = measure_distance()
        print(f"Current distance: {distance:.1f}cm")
        results = model(frame)
        detected_labels.clear()
        for result in results:
            if result.boxes is not None:
                for box in result.boxes:
                    class_id = int(box.cls)
                    original_label = model.names[class_id]
                    if original_label in NON_RECYCLE_ITEMS:
                        new_label = "Non-recycle"
                    else:
                        new_label = "Recycle"
                    result.names[class_id] = new_label
                    detected_labels.add(new_label)
                    print(f"Detected: {original_label} --> Classified as: {new_label}")
        annotated_frame = results[0].plot()
        status_text = "No garbage detected"
        status_color = (0, 0, 255)
        if "Recycle" in detected_labels:
            if distance <= COLLECTION_RANGE:
                status_text = "COLLECTING RECYCLABLE"
                status_color = (0, 255, 0)
            else:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                status_text = "Moving to recyclable"
                status_color = (255, 255, 0)
            elif "Non-recycle" in detected_labels:
                if distance <= COLLECTION_RANGE:
                    status_text = "COLLECTING NON-RECYCLABLE"
                    status_color = (0, 255, 0)
                else:
                    status_text = "Moving to non-recyclable"
                    status_color = (255, 255, 0)
            cv2.putText(
                annotated_frame,
                f"Distance: {distance:.1f}cm",
                (10, 30),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
                0.7,
                (255, 255, 255),
                2
            )
            cv2.putText(
                annotated_frame,
                status_text,
                (10, 60),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
                0.7,
                status_color,
                2
            )
            out.write(annotated_frame)
            run_motors_based_on_detection(detected_labels, distance)
            time.sleep(0.1)
    except KeyboardInterrupt:
        print("\nStopped by user.")
    except Exception as e:
        print(f"Error: {e}")
    finally:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    stop_all_motors(
cap.release()
    if 'annotated_frame' in locals():
        out.write(annotated_frame)
    out.release()
    GPIO.cleanup()
    print("Process completed.")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้