กล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกพลาสติกสำหรับระบบรีไซเคิลขยะแบบอัตโนมัติ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAMERA FOR PLASTIC SORTING OF AUTOMATIC TRASH RECYCLING SYSTEM

ชุติเทพ คำจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAMERA FOR PLASTIC SORTING OF AUTOMATIC TRASH RECYCLING SYSTEM

CHUTITHEP KUMJAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERRING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2565

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	กล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกพลาสติกสำหรับระบบรีไซเคิลขยะแบบอัตโนมัติ ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAMERA FOR PLASTIC SORTING OF AUTOMATIC TRASH RECYCLING SYSTEM
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชุติเทพ คำจันทร์ **รหัสนักศึกษา** 63015042
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา	2565

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อาจินต์ น่วมสำราญ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	กล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกพลาสติกสำหรับระบบรีไซเคิลขยะแบบอัตโนมัติ ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAMERA FOR PLASTIC SORTING OF AUTOMATIC TRASH RECYCLING SYSTEM
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายชุติเทพ คำจันทร์ รหัสนักศึกษา 63015042
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อาจินต์ น่วมสำราญ
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกสำหรับระบบรีไซเคิลขยะแบบอัตโนมัติ โดยพัฒนาชุดทดลองต้นแบบกระบวนการการคัดแยกขยะ ซึ่งมุ่งเน้นขวดพลาสติกประเภทต่างๆ ที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิลสื่อถึงประเภทเรซินต่างชนิดกัน เช่น PETE/PET, HDPE, PVC และอื่นๆ โดยภาพสัญลักษณ์เหล่านี้จะถูกคัดแยกด้วยกล้องซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการคัดแยก องค์ความรู้ในด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และปัญญาประดิษฐ์ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความความอัจฉริยะให้กับโมดูลกล้อง Raspberry Pi ที่มีราคาย่อมเยา ที่ถูกนำมาสร้างชุดข้อมูลภาพของขยะแต่ละประเภท และทำการฝึกโมเดล (Training model) และสร้างโมเดลที่มีความแม่นยำ ขึ้นมา จากนั้นเมื่อกล้องสามารถที่จะแยกแยะขยะแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ชุดทดลองต้นแบบยังสามารถควบคุมการคัดแยกประเภทขยะให้อยู่ในตำแหน่งถังที่ถูกต้องสำหรับชนิดของขยะพลาสติกที่แตกต่างการโดยการควบคุมของเซอร์โวมอเตอร์ การแสดงผลและส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ถูกพัฒนาโดย Node Red เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน และการเก็บบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAMERA FOR PLASTIC SORTING OF AUTOMATIC TRASH RECYCLING SYSTEM
Authors	Mr. Chutithep Kumjan
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Dr. Arjin Numsomran
Year	2022

ABSTRACT

This project introduces an artificial intelligence camera for plastic sorting of automatic trash recycling system. The prototype of plastic sorting process focuses on various types of plastic bottles with the recycling marks representing the different types of plastic resin, such as PETE/PET, HDPE, PVC, etc. These symbolic images are classified by camera which is the significant part of the classification. Machine learning knowledge and artificial intelligence is applied for creating intelligence capability of low-cost Raspberry Pi camera module which is utilized to create the datasets of various plastic recycling marks for developing the accurate trained model. Then, the AI camera module is able to classify each type of plastic bottles accurately. In addition, the proposed prototype can control the correct bucket locations of each plastic wastes bottles using servo motors. The visualization and user interfaces developed by Node Red which expects to simplify usage and data gathering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิจกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยคำแนะนำคำปรึกษาต่างๆตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำโครงงานจาก รศ.ดร.อาจินต์ น่วมสำราญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์และเป็นอาจารย์ผู้ให้คำแนะนำวิธีคิด ทัศนคติตลอดจนเป็นกำลังใจ และผู้สนับสนุนในการทำโครงงานให้แก่ผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สาขาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในสาขาวิชาทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการทำโครงงานนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 รหัสรีไซเคิลพลาสติก 3
2.1.1 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 1 3
2.1.2 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 2 4
2.1.3 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 3 4
2.1.4 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 4 5
2.1.5 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 5 5
2.1.6 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 6 6
2.1.7 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 7 6
2.2 Edge Impulse 6
2.3 Transfer learning 7
2.4 Convolutional Neural Network 7
2.5 Raspberry PI 4 9
2.5.1 คุณสมบัติ Raspberry Pi 4 9
2.5.2 การติดตั้ง Raspberry Pi 4 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 MQTT 14
2.7 Node-Red 15

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 17
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ 17
3.2 Hardware Software 17
3.3 Edge Impulse 18
3.3.1 Login Edge Impulse 18
3.3.2 Create new Project 19
3.3.3 Device 20
3.3.3.1 Connect a new device 20
3.3.3.2 Officially supported CPU/GPU targets Raspberry Pi 4 20
3.3.3.3 Installing dependencies 21
3.3.4 Data Acquisition 23
3.3.4.1 Connect Edge Impulse 23
3.3.4.2 Training data 25
3.3.4.3 Test data 25
3.3.5 Impulse design 26
3.3.5.1 Create impulse 26
3.3.5.2 Image 27
3.3.5.3 Transfer learning 27
3.3.6 Model testing 29
3.3.7 Download model 29
3.4 Servo Control 30
3.4.1 Download driver 30
3.5 Node Red 31
3.5.1 ขั้นตอนการติดตั้ง Node-Red 31
3.5.2 ทำการติดตั้ง node-red-dashboard 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.3 ออกแบบ Flow-based programming 32
3.5.4 Node-Red graphical user interface 33
3.6 Thing Speak 33
3.6.1 ตั้งค่าการเชื่อมต่อ Internet of thing แบบ MQTT ผ่าน Node-Red 33
3.6.2 การแสดงผลบน Thing Speak 35

บทที่ 4 ผลการทดลอง 36
4.1 ผลการ Transfer learning 36
4.2 ผลการ Model testing 36
4.3 ผลความถูกต้องของการคัดแยก 37
4.4 ผลการคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง 43
4.4 ผลความถูกต้อง Graphical User Interface เปรียบเทียบ Thing Speak 50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 52
5.1 สรุปผลการทดลอง 52
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 52
5.2 ข้อเสนอแนะ 53

บรรณานุกรม 54

ภาคผนวก 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ผลการคัดแยก Confusion matrix 36
4.2 Model testing results Confusion matrix 36
4.3 ผลความถูกต้องของการคัดแยกตัวอย่างขวด 37
4.4 ผลการคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องของตัวอย่างขวด 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polyethylene Terephthalate 3
2.2 แสดงสูตรโมเลกุลของ High Density Polyethylene....4
2.3 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polyvinyl Chloride 4
2.4 แสดงสูตรโมเลกุลของ Low Density Polyethylene 5
2.5 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polypropylene....5
2.6 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polystyrene....6
2.7 แสดงโครงสร้าง Transfer Learning....7
2.8 เครือข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน....8
2.9 แสดง Raspberry Pi 4....9
2.10 แสดงขั้นตอนการ format SD card.... 10
2.11 แสดงการติดตั้ง OS.... 10
2.12 แสดงการสร้าง Text Document สำหรับ Secure Shell.... 11
2.13 แสดงการเชื่อมต่อผ่าน PuTTY.... 11
2.14 แสดงการล็อกอิน Raspberry Pi 4.... 12
2.15 แสดงการตั้งค่า Interface Option.... 12
2.16 แสดงการเปิดใช้งาน VNC.... 13
2.17 แสดงการล็อกอิน Raspberry Pi 4 ผ่าน VNC.... 13
2.18 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของ Raspberry Pi 4.... 13
2.19 แสดงการเชื่อมต่อแบบ MQTT.... 15
2.20 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของ Node-Red.... 16
3.1 แสดงการออกแบบการทำงาน.... 17
3.2 แสดงหน้าต่างแรกของแพลตฟอร์ม Edge Impulse.... 18
3.3 แสดงหน้าต่างสำหรับ Log in ใช้งานแพลตฟอร์ม Edge Impulse.... 18
3.4 แสดงหน้าต่างสำหรับสร้าง project บนแพลตฟอร์ม Edge Impulse.... 19
3.5 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งชื่อ project.... 19
3.6 แสดงหน้าต่างสำหรับใช้งานแพลตฟอร์ม Edge Impulse.... 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.7 แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกชนิดของการอัปโหลดข้อมูล 20
3.8 แสดงรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Edge Impulse 20
3.9 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (1) 21
3.10 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (2) 21
3.11 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (3) 22
3.12 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (4) 22
3.13 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (5) 23
3.14 แสดงขั้นตอนการเชื่อมต่อ Raspberry Pi 4 กับ Edge Impulse 23
3.15 แสดงการเชื่อมต่อ Raspberry Pi 4 กับ Edge Impulseสำเร็จ 24
3.16 แสดงการกำหนดขั้นตอนการเก็บข้อมูล 24
3.17 แสดงข้อมูล Training ที่เก็บจาก Raspberry Pi 4 25
3.18 แสดงข้อมูล Test ที่เก็บจาก Raspberry Pi 4 25
3.19 แสดงการกำหนดสถาปัตยกรรมของ Edge Impulse 26
3.20 แสดงการกำหนดขั้นตอน Image 27
3.21 แสดง Feature explorer ของชุดข้อมูล 27
3.22 แสดงการกำหนดขั้นตอนการเทรน 28
3.23 แสดงผลการเทรน 28
3.24 แสดง Data explorer 28
3.25 แสดงผลการ Model testing 29
3.26 แสดงการ Download Model 29
3.27 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Servo (1) 30
3.28 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Servo (2) 30
3.29 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Servo (3) 31
3.30 แสดงการติดตั้ง Node-Red 31
3.31 แสดงการติดตั้ง node-red-dashboard 32
3.32 แสดงการออกแบบ Flow-based programming 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.33 แสดง graphical user interface 33
3.34 แสดงการตั้งค่าการเชื่อมต่อ Internet of thing แบบ MQTT ผ่าน Node-Red (1)..... 34
3.35 แสดงการตั้งค่าการเชื่อมต่อ Internet of thing แบบ MQTT ผ่าน Node-Red (2)..... 34
3.36 แสดง MQTT Devices ของ Thing Speak 35
3.37 แสดง Channels ของ Thing Speak..... 35
4.1 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อไม่มีการคัดแยก 50
4.2 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 1 ขวด..... 50
4.3 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 1 ขวด HDPE 1 ขวด 51
4.4 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 2 ขวด HDPE 1 ขวด 51
4.5 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 2 ขวด HDPE 2 ขวด 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากปัญหาจากการทิ้งขยะแบบไม่แยกประเภทของขยะนั้น ทำให้ขยะรีไซเคิล ขยะย่อยสลาย ขยะทั่วไป และขยะอันตราย ถูกทิ้งรวมกันทำให้ไม่สามารถนำขยะรีไซเคิลมาใช้งานได้ และก่อให้เกิดความสกปรก ส่งกลิ่นรบกวน และยังก่อให้เกิดความเป็นอันตรายจากขยะอันตราย ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำได้มองเห็นถึงปัญหาและสร้างนวัตกรรมที่สามารถคัดแยกขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทด้วยกล้องในการตรวจสอบประเภทของขยะ เพื่อระบุประเภท เพื่อช่วยในการคัดแยกประเภทของขยะที่ถูกทิ้งมา โดยใช้หลักการของปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการจับภาพและประมวลผลเพื่อคัดแยกและเข้าสู่ขั้นตอนการจัดการขยะต่อไป ซึ่งตรงกับ Sustainable Development Goals–SDGs “เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน” ในหัวข้อของ Sustainable Cities and Communities ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีความปลอดภัยทั่วถึง พร้อมรับความเปลี่ยนแปลง และการพัฒนาอย่างยั่งยืน เป็นการสร้างความปลอดภัยของการใช้งานถังขยะที่สามารถแยกขยะแต่ละประเภทได้ สร้างความสะอาดให้กับชุมชนและสังคม Responsible Consumption and Production รับรองแผนการบริโภค และการผลิตที่ยั่งยืน เป็นการนำวัตถุประสงค์ของการ Recycle ขยะแต่ละประเภทมาใช้ในการควบคุมประเภทในการคัดแยกขยะ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษา เรียนรู้ เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ และศาสตร์ทางด้าน Machine learning ที่นำมาประยุกต์ใช้กับกล้องโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse
2. เพื่อสามารถออกแบบระบบการควบคุม Servo ให้สามารถทำงานตามการจำแนกประเภทขยะรีไซเคิลด้วยกล้อง
3. เพื่อศึกษาการออกแบบและเขียนโปรแกรม Node-Red สำหรับกระบวนการคัดแยกขยะรีไซเคิล
4. เพื่อศึกษาการบันทึกเก็บข้อมูลผ่านระบบ IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถคัดแยกขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทที่กำหนดไว้ด้วยสัญลักษณ์รีไซเคิลโดยใช้กล้อง
2. สามารถออกแบบระบบควบคุมกับ Servo เพื่อแยกขยะแต่ละประเภทไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องตามความแม่นยำของกล้องปัญญาประดิษฐ์
3. สามารถแสดงผลโดยออกแบบ GUI โดยใช้ Node-Red
4. สามารถออกแบบและสร้างโมเดลในการคัดแยกขยะโดยใช้ Edge Impulse
5. สามารถออกแบบระบบแสดงผล และบันทึกข้อมูลผ่านระบบ IoT

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. การศึกษาเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ และศาสตร์ทาง Machine learning เพื่อใช้ในการสร้างโมเดลด้วยแพลตฟอร์ม Edge Impulse
2. การประยุกต์ใช้งาน Raspberry Pi 4 กับกล้องเพื่อใช้ในการสร้างกล้องปัญญาประดิษฐ์
3. การควบคุม Servo ตามการคัดแยกของกล้องปัญญาประดิษฐ์
4. การเชื่อมต่อ Node-Red เพื่อสร้าง graphical user interface กับผู้ใช้งาน
5. การเชื่อมต่อ IoT ด้วย Protocol MQTT ไปยัง Cloud ของ Thing Speak

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถแยกแยะขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทได้อย่างอัจฉริยะอัตโนมัติ
2. สามารถแสดงผลและบันทึกข้อมูลได้แบบเรียลไทม์
3. สามารถนำไปประยุกต์ในการแก้ไขปัญหาในด้านความปลอดภัยในการจำแนกประเภทของขยะให้เหมาะสมกับแต่ละประเภท
4. สามารถออกแบบระบบการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ในการคัดแยกขยะแต่ละประเภท
5. สามารถนำไปประยุกต์ในการแก้ไขปัญหาในด้านของความสะอาดของถังขยะ
6. สามารถจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลผ่านระบบ IoT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

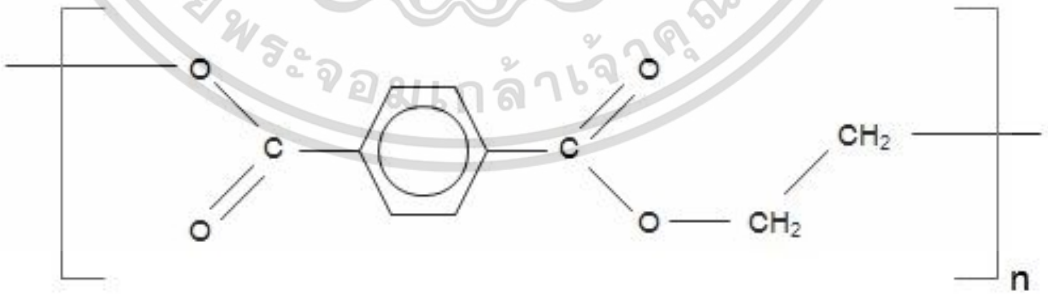
บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 รหัสรีไซเคิลพลาสติก

โดยทั่วไป ขวดพลาสติก ภาชนะ และบรรจุภัณฑ์จะมีสัญลักษณ์ระบุประเภทของเม็ดพลาสติกที่ใช้ทำชิ้นงาน การใช้งานรหัสเรซินถูกนำมาใช้ในปี 1988 โดยสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) เพื่อระบุประเภทของพลาสติกที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ และไม่ใช่ว่าพลาสติกทุกชนิดจะนำไปรีไซเคิลหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกจำนวนมากที่ไม่สามารถย่อยสลายและไม่สามารถรีไซเคิลได้ [1]

2.1.1 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 1

คำย่อ PET มักใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อกำหนดวัสดุพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต ซึ่งสามารถเขียนเป็นโพลี PET เป็นคำย่อที่องค์กรมาตรฐานยอมรับ ได้แก่ American Society for Testing and Materials International, ASTM International และองค์การระหว่างประเทศเพื่อการมาตรฐาน (ISO) มีคุณสมบัติ ความเหนียว แข็งแรง ทนความร้อน กั้นความชื้นและแก๊ส ความหนาแน่น 1.35-1.38 ก./ซีซี C6H5 ในสูตรโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน ในปี 2542 PET คิดเป็น 48% ของเรซินขวดพลาสติกยอดขายทำให้เป็นเรซินที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในขวดพลาสติก เป็นที่นิยมวัสดุบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารเพราะเป็นราคาไม่แพง น้ำหนักเบา ปิดผนึกได้ กันกระแทกและรีไซเคิลได้ PET มีความใสและกันความชื้นและก๊าซได้ดี

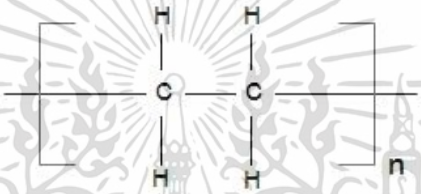


รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polyethylene Terephthalate
ที่มา : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/recycle_plastic-pic/PET.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 2

ขวดที่ทำจาก HDPE มีทั้งแบบเม็ดสีและไม่มีสี ที่เรซินที่ไม่มีสีเป็นสีโปร่งแสง คุณสมบัติความเหนียว ความแข็งแรง ความฝืด ความง่ายในการขึ้นรูป ความง่ายของการแปรรูป ความทนทานต่อความชื้นและสารเคมี การซึมผ่านของแก๊ส ความหนาแน่น 0.94-0.96 ก./ซีซี ในปี 2542 HDPE คิดเป็น 47% ของเรซินขวดพลาสติกยอดขายทำให้เป็นเรซินที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นอันดับสองในขวดพลาสติกHDPE และ PETE รวมกันคิดเป็น 95% ของเรซินขวดพลาสติกการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีความแข็งและคุณสมบัติการป้องกันสารที่ดี ดังนั้นจึงเป็นเหมาะสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น เช่น นม สารเคมีที่ดีของ HDPE ช่วยให้สามารถใช้ในภาชนะที่บรรจุสารเคมีในครัวเรือนหรือสารเคมีที่เหนี่ยวนำได้

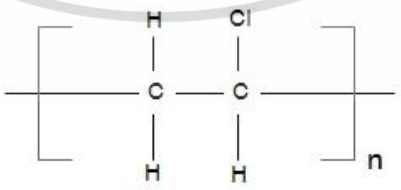


รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโมเลกุลของ High Density Polyethylene

ที่มา : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/recycle_plastic-pic/PE.jpg

2.1.3 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 3

ไวนิลหรือโพลีไวนิลคลอไรด์มีไฟฟ้าที่เสถียรและคุณสมบัติทางกายภาพ มีความทนทานต่อสารเคมีและทุกสภาพอากาศ เหมาะสำหรับการฉีดขึ้นรูป มีความเหนียว แข็งแรง การแปรรูป ความทนทานต่อจารบี น้ำมัน และสารเคมี ความใส ความหนาแน่น:1.32-1.42 ก./ซีซี ในปี 2542 พีวีซีคิดเป็น 2% ของยอดขายเรซินขวดพลาสติก อะตอมของคลอรีน Cl ในสูตรโมเลกุลทำให้ PVC เป็นพิษได้วัสดุเมื่อถูกเผา การเผาไหม้ของ PVC ทำให้เกิดไดออกซินวัสดุที่ถือว่าเป็นสารก่อมะเร็งสูง



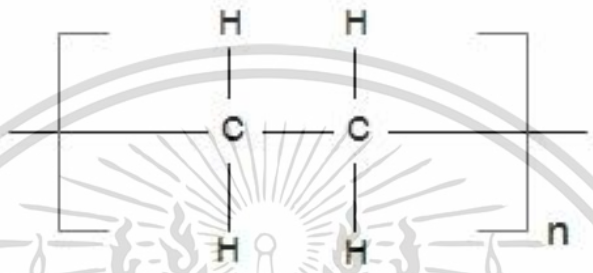
รูปที่ 2.3 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polyvinyl Chloride

ที่มา : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/recycle_plastic-pic/PVC.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 4

เอทิลีนความหนาแน่นต่ำมีคุณสมบัติ ความเหนียว ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ง่ายต่อการปิดผนึก ความสะดวกของการแปรรูปสิ่งกีดขวางความชื้น ความหนาแน่น: 0.91-0.93 ก./ซีซี ในปี 2542 LDPE มีสัดส่วนเพียง 1% ของยอดขายเรซินขวดพลาสติก เนื่องจากมีความเหนียว ยืดหยุ่น และความโปร่งใส จึงมักใช้ LDPE ในการใช้งานที่จำเป็นต้องมีการปิดผนึกด้วยความร้อน นอกจากนี้ยังใช้กันอย่างแพร่หลายในสายไฟและสายเคเบิลฉนวน

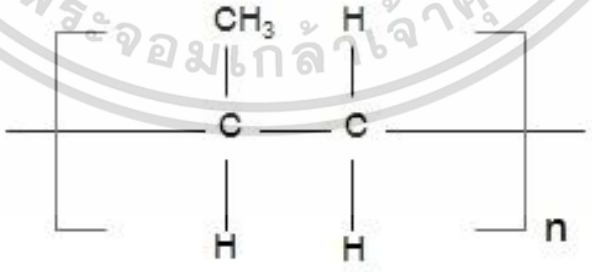


รูปที่ 2.4 แสดงสูตรโมเลกุลของ Low Density Polyethylene

ที่มา : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/recycle_plastic-pic/PE.jpg

2.1.5 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 5

โพรพิลีนมีความเหนียว แข็งแรง ทนความร้อน จารบี น้ำมัน และสารเคมีกั้นความชื้น ความหนาแน่น: 0.90-0.92 ก./ซีซี ในปี 2542 PP คิดเป็น 2% ของยอดขายเรซินขวดพลาสติก โพรพิลีนมีความหนาแน่นต่ำสุดของเรซินที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ มันแข็งแกร่งและทนต่อสารเคมี เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูงจึงสามารถนำไปใช้งานได้ต้องการให้ภาชนะบรรจุของเหลวร้อน



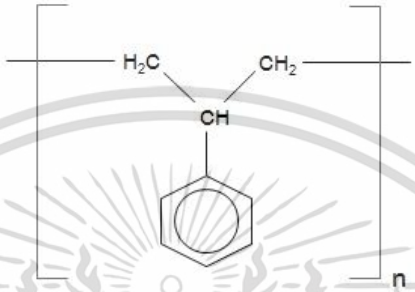
รูปที่ 2.5 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polypropylene

ที่มา : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/recycle_plastic-pic/PP.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 6

โพลีสไตรีนมีคุณสมบัติ ขึ้นรูปง่าย ใส ถ่ายเทความร้อนต่ำ ความร้อนดีฉนวนกันความร้อน ความหนาแน่น: 1.03-1.06 ก./cc ในปี 2542 ไม่มีการใช้ PS เป็นเรซินขวดพลาสติก โพลีสไตรีนสามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์แข็งหรือโฟมได้ จุดหลอมเหลวสูง การใช้งานบรรจุภัณฑ์เช่น จาน ถ้วย ช้อนส้อม ถาดเนื้อ กล่องไข่



รูปที่ 2.6 แสดงสูตรโมเลกุลของ Polystyrene

ที่มา : http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/recycle_plastic-pic/PS.jpg

2.1.7 รหัสรีไซเคิลหมายเลข 7

มีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบเรซิน ในปี 2542 มีการใช้เรซินชนิดนี้น้อยที่ในหมวดหมู่ในขวดพลาสติก หมวดหมู่นี้รวมถึงเรซินใดๆ ที่ไม่ได้ระบุหมายเลข 1, 2, 3, 4, 5,หรือ 6 หรือการรวมกันของเรซินเหล่านี้อย่างน้อยหนึ่งชนิด การบรรจุหีบห่อ ขวดน้ำสามและห้าแกลลอน, ขวดผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล ไม้แปรรูปพลาสติก, สินค้าสั่งทำพิเศษ

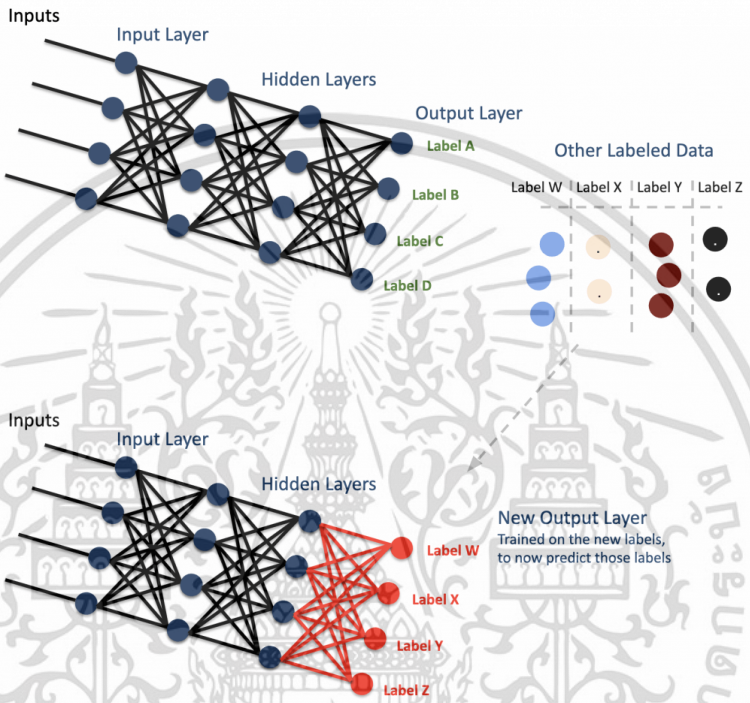
2.2 Edge Impulse

Edge Impulse เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาชั้นนำสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องบนอุปกรณ์ Edge ฟรีสำหรับนักพัฒนาและได้รับความไว้วางใจจากองค์กร ได้รับความไว้วางใจจากผู้ฝังหลายพันรายนักพัฒนาที่ดำเนินโครงการการเรียนรู้ของเครื่องที่สำคัญจากตัวอย่างข้อมูลนับล้านที่ Edge Impulse เปิดใช้งานนักพัฒนาด้วยโซลูชันที่เป็นนวัตกรรมใหม่เพื่อสร้างและปรับใช้โมเดล Machine learning ที่ทำงานบนอุปกรณ์ฝังตัว ด้วยความทรงจำที่หายากมากในอาร์ม Cortex-M MCU – RAM น้อยกว่า 128K - เป็นเรื่องยากมากเพื่อสร้าง ทดสอบ และปรับใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องที่ฝังตัว ถึงแก้ปัญหานี้ Edge Impulse ได้พัฒนา Edge Optimizedคอมไพเลอร์ประสาท (EON™) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Transfer learning

Transfer Learning เป็นการนำ Weight ของ Model ที่ถูก Train ด้วย Dataset ในงานหนึ่ง (Pre-trained Model) กลับมาใช้ใหม่กับอีกงาน แทนที่จะต้อง Train ด้วยตัวเองตั้งแต่ต้น ซึ่งอาจจะใช้เวลาเป็นวันๆ หรือเป็นอาทิตย์ โดยนอกจากเป็นทางลัดที่ช่วยประหยัดเวลาแล้ว การทำ Transfer Learning ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของ Model ในงานใหม่ด้วย [3]



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้าง Transfer Learning

ที่มา : https://www.bualabs.com/wp-content/uploads/2020/01/An-example-of-Transfer-Learning-1024x951.png

2.4 Convolutional Neural Network

เครือข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (convolutional neural network (CNN))จุดเริ่มต้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันถูกใช้โดย LeCun et al. (1990) ได้นำวิธีการคำนวณแบบคอนโวลูชันมาใช้ร่วมกับเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อที่จะใช้คำนวณหาลักษณะเฉพาะของรูปภาพ โดยชั้นที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีคอนโวลูชันเรียกว่า ชั้น ลักษณะเฉพาะ (Feature Map) และได้นำมาใช้ทดสอบกับข้อมูลตัวเลข (Digit) โดยเก็บรวบรวม รหัสไปรษณีย์สหรัฐฯ จากซองจดหมาย ต่อมาในปี 1998 (LeCun et al., 1998)ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันชื่อ LeNet-5 โดยในโครงสร้างนี้ได้เพิ่มชั้นที่เรียกว่า “Full Connection” หรือเรียกว่า “Fully

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connected Layer” ซึ่งในชั้นนี้เปรียบเสมือนชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP (Input Hidden-Output) ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา

convolutional neural network ประกอบด้วยชั้น (layer) ต่างๆสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. Input layerคือชั้นนำเข้า input data เป็นรู ปภาพ matrix ขนาด 32×32×1pixel เป็นรูปภาพแบบ grayscale

2. Convolutional layer (C1) ชั้นแรกคือชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) โดยกำหนดให้มี filter ทั้งหมด 6 แต่ละfilter มีขนาด 5×5 และมีการ stride ไปทีละ1unit ดังนั้นจะทำให้เกิด output ทั้งหมด 6 feature map ขนาดภาพเปลี่ยนจาก 32 ×32×1 เป็น 28×28×6 pixel

3. Subsampling (S2) ชั้นที่2คือ Sub-Sampling Layer ที่กำหนดให้มีfilter ทั้งหมด 6แต่ละ filter มีขนาด 2×2และมีการ stride ไปทีละ 2unit ดังนั้นจะทำให้เกิด output ทั้งหมด 6 feature map ขนาดภาพเปลี่ยนจาก 28×28×6 เป็น 14×14×6 pixel

4. Convolution layer (C3) ชั้น ที่3คือชั้นคอนโวลูชันที่กำหนดให้มี filter ทั้งหมด 16แต่ละ filter มีขนาด 5×5 และมีการ stride ไปทีละ 1unit ดังนั้นจะทำให้เกิด output ทั้งหมด 16 feature map ขนาดภาพเปลี่ยนจาก 14×14×6เป็น 10×10×16pixel

5. Subsampling layer (S4) ชั้นที่ 4 คือ Sub-Sampling Layer ที่กำหนดให้มีfilter ทั้งหมด

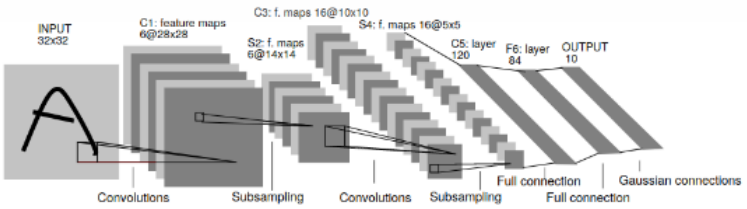
16แต่ละ filter มีขนาด 2×2 และมีการ stride ไปทีละ 2unit ดังนั้นจะทำให้เกิด output ทั้งหมด 16 feature map ขนาดภาพเปลี่ยนจาก 10×10×16 เป็น 5×5×16 pixel

6. Convolution layer (C5) ชั้นที่5คือชั้น คอนโวลูชัน ที่กำหนดให้Feature Map จำนวน

120 ชั้น

7. Fully Connected layer ประกอบด้วย 84unit และทำหน้าที่เชื่อมกับชั้น C5

8. Output layer ชั้นแสดงผลลัพธ์ในชั้นนี้จะนำ Layer F6 ที่ประกอบด้วย 84unit มาคำนวณด้วยวิธี Euclidean Radial Basis Function units (RBF) เพื่อหาคา ตอบของแต่ละ Unit Output Layer ประกอบด้วย 10 unit (ตัวเลข 0-9) [4]



รูปที่ 2.8 เครือข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

ที่มา : https://miro.medium.com/max/720/1*HMP8TthpVRljInDPoNHS5A.webp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Raspberry Pi 4

2.5.1 คุณสมบัติ Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 Model B เป็น Single Board คอมพิวเตอร์จาก Raspberry Pi Foundation ใช้ชิพ Broadcom BCM2711 Quad-Core ARM Cortex-A72 ความเร็ว 1.5 GHz มีหน่วยความจำ LPDDR4-2400 ขนาด 4 GB มาพร้อมชิพ Wireless LAN แบบ Dual-Band รองรับ 2.4 GH และ 5 GHz พร้อมรองรับ Bluetooth 5.0 BLE มีพอร์ต LAN รองรับ Gigabit Ethernet พอร์ต USB 3.0 Host Type A จำนวน 2 พอร์ต และ USB 2.0 Host Type A จำนวน 2 พอร์ต มีพอร์ต micro-HDMI จำนวน 2 พอร์ต รองรับการเชื่อมต่อจอ 4K60P

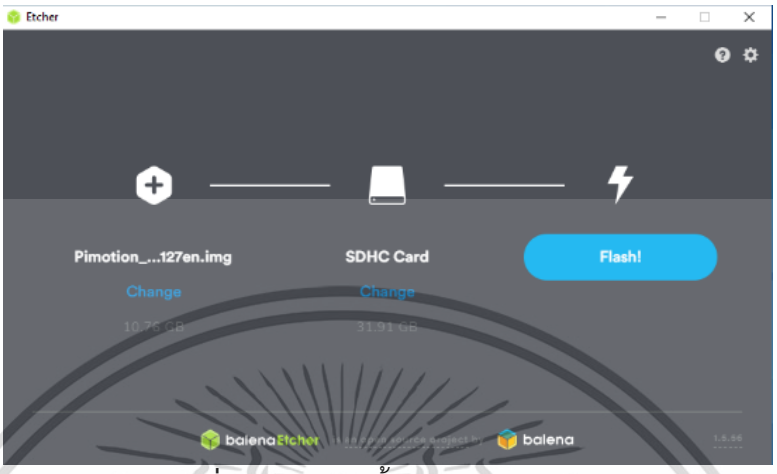
รูปที่ 2.9 แสดง Raspberry Pi 4

ที่มา : https://th.element14.com/productimages/large/en_GB/3051885-40.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การติดตั้ง Raspberry Pi 4

ทำการ format SD card ที่ต้องการใช้งานกับ Raspberry Pi 4



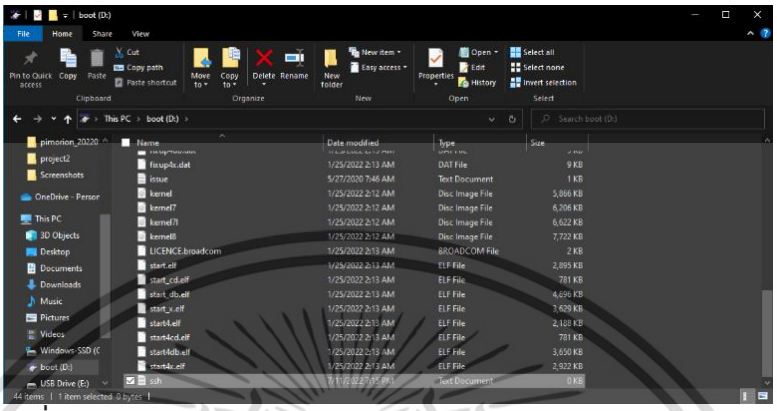
รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการ format SD card

ทำการติดตั้งไฟล์ IMG เพื่อติดตั้ง OS สำหรับ Raspberry Pi 4

รูปที่ 2.11 แสดงการติดตั้ง OS

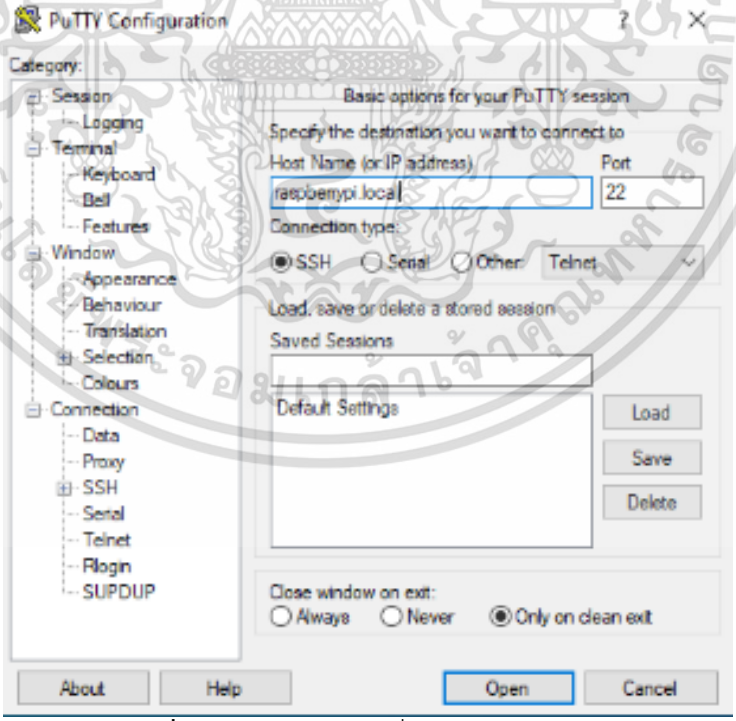
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้าง Text Document สำหรับใช้งานด้วย Secure Shell เป็นช่องทางที่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยช่องทางที่ปลอดภัย Secure Channel ระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่บนเน็ตเวิร์คเดียวกัน



รูปที่ 2.12 แสดงการสร้าง Text Document สำหรับ Secure Shell

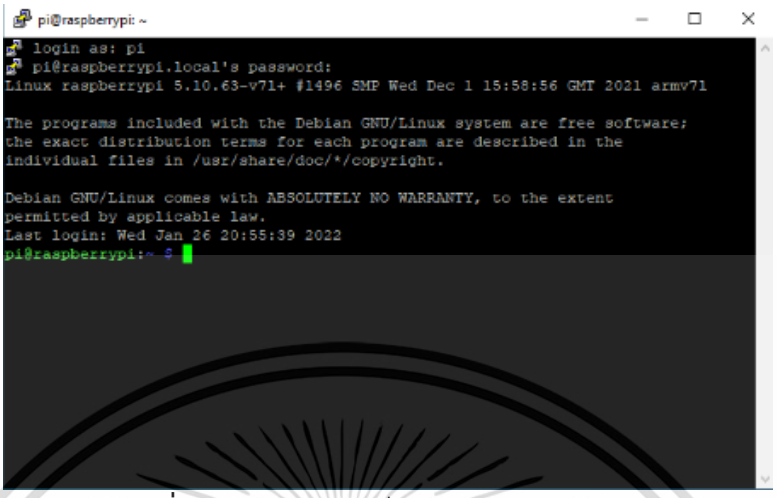
เข้าใช้งานด้วย PuTTY Configuration โดยการเชื่อมต่อ raspberrypi.local เชื่อมต่อด้วย Secure Shell



รูปที่ 2.13 แสดงการเชื่อมต่อผ่าน PuTTY

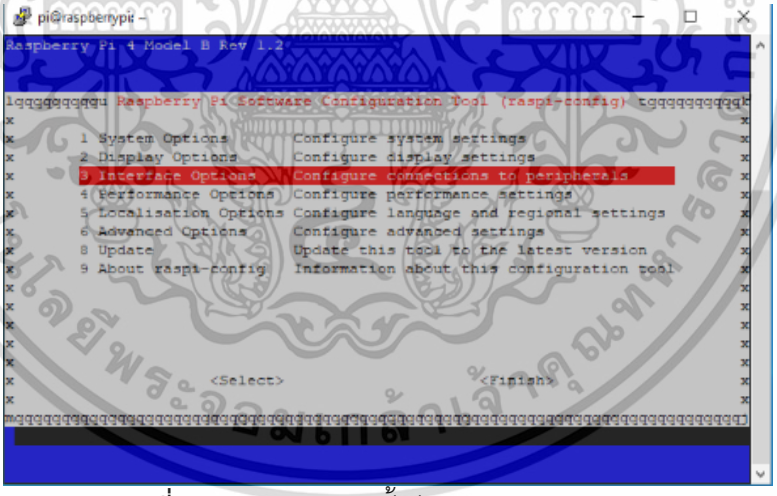
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Login เพื่อทำการตั้งค่าการรีโมท Raspberry Pi 4



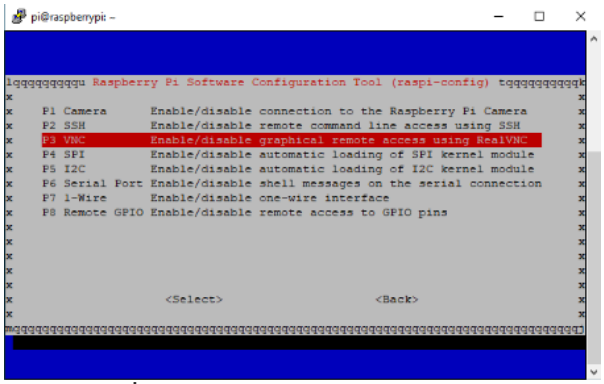
รูปที่ 2.14 แสดงการล็อกอิน Raspberry Pi 4

ตั้งค่าการ Interface Option ของ Raspberry Pi 4 ด้วย VNC เพื่อที่สามารถรีโมทเข้าไปใช้งาน Raspberry Pi 4 จากคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นที่เชื่อมต่อเน็ตเวิร์คเดียวกัน



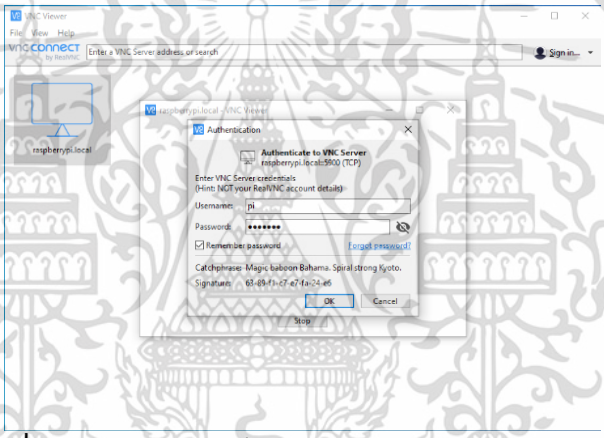
รูปที่ 2.15 แสดงการตั้งค่า Interface Option

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



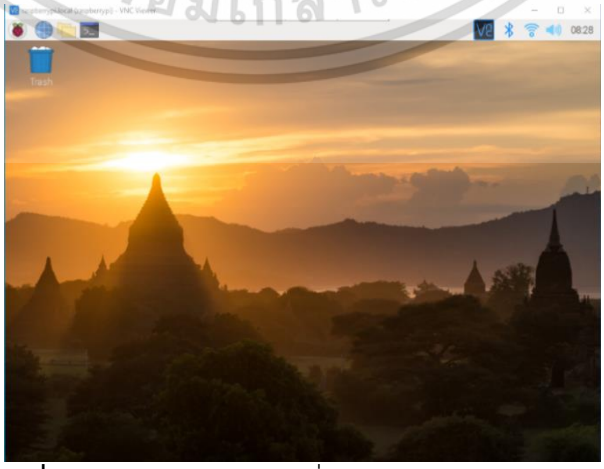
รูปที่ 2.16 แสดงการเปิดใช้งาน VNC

ทำการล็อกอินเข้าใช้งาน Raspberry Pi 4 โดย VNC ด้วยคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมเน็ตเวิร์คเดียวกัน



รูปที่ 2.17 แสดงการล็อกอิน Raspberry Pi 4 ผ่าน VNC

หน้าต่างเริ่มต้นสำหรับการใช้งาน Raspberry Pi 4



รูปที่ 2.18 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของ Raspberry Pi 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) คือโปรโตคอลในการส่งข้อมูลที่พัฒนามาเพื่อใช้ในระบบ PYTHON มันทำงานแบบ Broker and Clients Network มันถูกออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลแบบ Real-Time ในปริมาณข้อมูลที่น้อย ทำให้ใช้พลังงานต่ำมันถูกพัฒนามาจาก TCP/IP ที่มีการส่งข้อมูลแบบ One-To-One ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรณ์มากซึ่งไม่เหมาะกับระบบ PYTHON เนื่องจากในระบบ PYTHON มีการส่งข้อมูลตลอดเวลา และ 1 อุปกรณ์อาจรับหรือส่งข้อมูลไปยังหลายอุปกรณ์ หรือการส่งข้อมูลแบบ One-To-All โดยอุปกรณ์ทุกตัวที่ทำการ Subscriber ไปยัง Topic ใดๆ บน Broker จะได้รับข้อมูลที่ Publisher ส่งให้ Topic นั้นๆบน Broker ทั้งหมด โดยมันถูกคิดค้นขึ้นมาในปี 1999 โดย Andy Stanford-Clark จาก IBM และ Arlen Nipper จาก Cirrus Link โดยมันถูกใช้เพื่อตรวจสอบท่อส่งน้ำมันในทะเลทรายโดยเป้าหมายคือ เป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธภาพสูง ส่งข้อมูลขนาดไม่มาก ใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากมันต้องเชื่อมต่อผ่านดาวเทียมซึ่งมีราคาการส่งข้อมูลสูงมากในขณะนั้น MQTT ประกอบไปด้วย

Broker (Server) คือตัวกลางในการรับข้อมูลจาก Publisher และส่งข้อมูลให้กับ Subscriber Clients (Subscriber / Publisher)

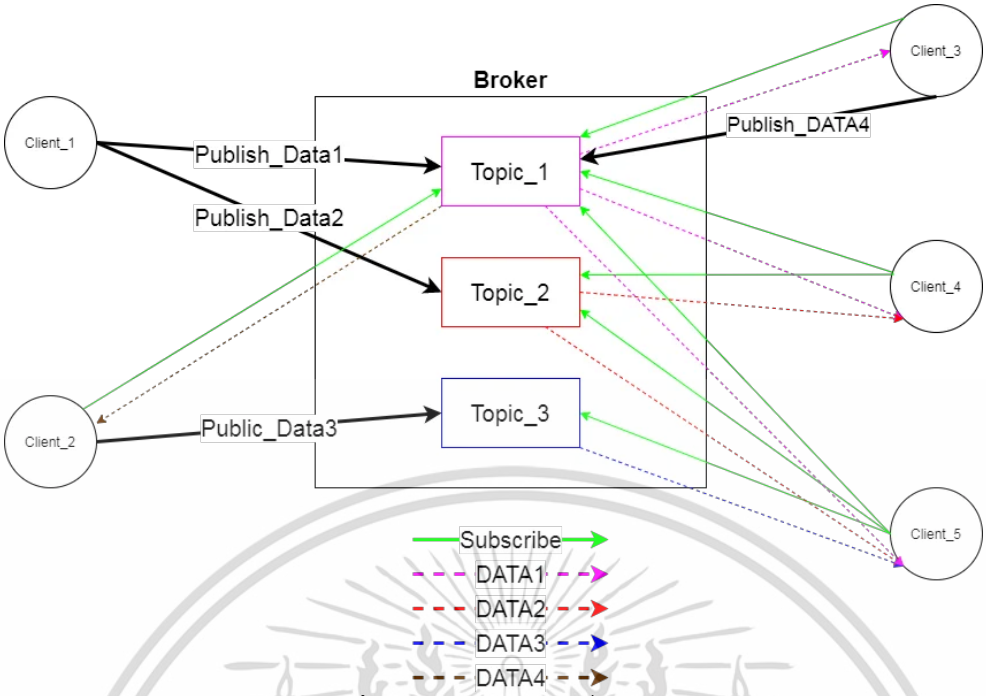
Publisher คือตัวส่งข้อมูลให้กับ Topic ที่อยู่ใน Broker เรียกว่าการ Publish

Subscriber คือตัวรับข้อมูลจาก Topic ที่อยู่ใน Broker เรียกว่าการ Subscribe

Topic คือหัวเรื่องที่เราต้องการรับส่งข้อมูล ระหว่าง Publisher กับ Subscriber

MQTT นั้นได้กลายเป็นหัวใจในการรับส่งข้อมูลของ PYTHON แทน TCP/IP, HTTP เนื่องด้วยการสื่อสารของ HTTP นั้นเป็นแบบ Request and response มีข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลโดยฝั่ง Client ต้องทำการ request ไปยัง server ทุกครั้งที่ต้องการข้อมูลโดยในระบบ Python บางกรณีเราต้องการรับข้อมูลตลอดเวลาแบบ Real-Time จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการรับข้อมูล และนอกจาก HTTP และ TCP/IP ยังเป็นการรับส่งข้อมูลแบบ One-To-One มันเป็นการยากที่จะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังทุกอุปกรณ์ เพราะใช้ทรัพยากร และพลังงานอย่างมากซึ่งใน PYTHON นั้นเป็นเรื่องปรกติที่จะส่งข้อมูลแบบ One-To-All [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการเชื่อมต่อแบบ MQTT

ที่มา : https://iiot.riverplus.com/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2020/05/MQTT_Diagram2-1.png.webp

2.7 Node Red

Node-RED เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมการต่อรวมกันของอุปกรณ์ Hardware, API, และบริการออนไลน์ต่างๆเข้าด้วยกันในรูปแบบใหม่ โดยมีตัวแก้ไขบนบราวเซอร์ที่ง่ายต่อการเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อ Flow โดยใช้ Node ที่หลากหลายที่นำมาปรับใช้ และสามารถปรับใช้กับรันไทม์ได้ในคลิกเดียว

Node-Red สามารถใช้งานฟังก์ชัน JavaScript โดยใช้ rich text editor โดยไลบรารีในตัว ทำให้สามารถช่วยให้บันทึกฟังก์ชันเทมเพลต หรือ Flow ที่เป็นประโยชน์เพื่อนำมาใช้ได้

การสร้าง Runtime บน Node.js โดยใช้ประโยชน์จากการไม่ติดขัดของกรณีที่เกิดขึ้น ทำให้เหมาะสมกับการรันบน Hardware ต้นทุนต่ำเช่น Raspberry Pi รวมถึงระบบคลาวด์ ด้วยโมดูลมากกว่า 225,000 โมดูล ที่เก็บแพ็คเกจของ Node ทำให้ง่ายต่อการขยายช่วงของ Node ต่างๆ เพื่อเขียนความสามารถ

Flow ที่สร้างขึ้นใน Node-Red จะถูกจัดเก็บโดย JSON ซึ่งมาจากการนำเข้าและส่งออกเพื่อแชร์ให้ผู้อื่นได้อย่างง่ายดาย library flow online สามารถแบ่งปัน ช่วยให้คุณได้รับ flow ที่ดีที่สุด

Running on Raspberry Pi

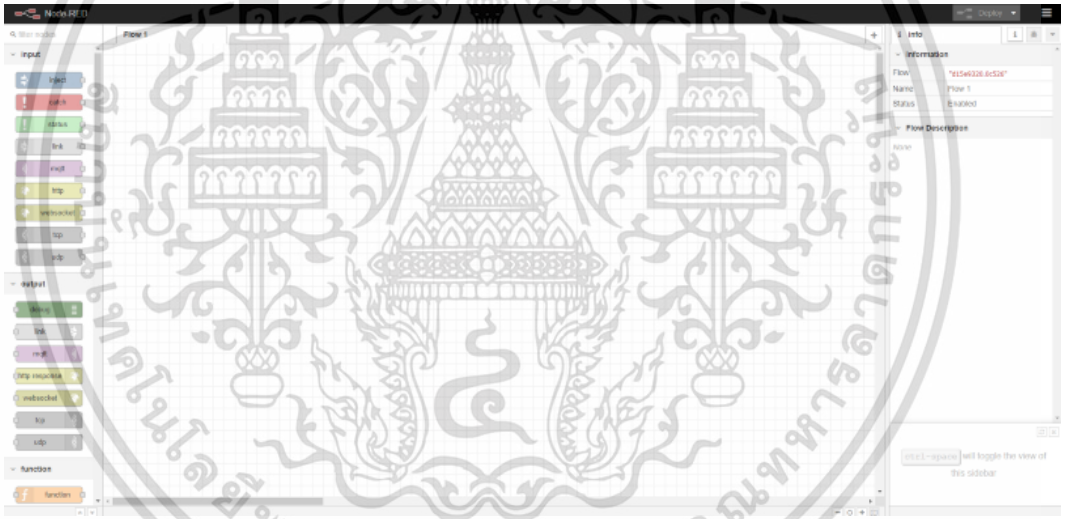
Install and upgrading Node-Red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สคริปต์สำหรับติดตั้ง Node.js, NPM, Node-Red ลงบน Raspberry Pi โดยสามารถใช้เพื่ออัพเกรดการติดตั้งที่มีอยู่

bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)

- ลบเวอร์ชั่นที่มีอยู่ของ Node-Red
- หากมีการติดตั้ง Node.js ไว้แล้ว จะตรวจสอบว่าเป็น V14 ขึ้นไป แต่ตัวต่ำกว่าระบบจะหยุดการทำงาน และให้ผู้ใช้ตัดสินใจว่าจะใช้ Node-Red V1 ต่อไปหรืออัปเกรด Node.js เป็นเวอร์ชั่น LTS ที่ใหม่กว่า หากไม่พบสิ่งใดจะติดตั้ง Node.js 16 LTS release ดดยใช้แพ็คเกจ Nodesource
- ติดตั้ง Node-Red เวอร์ชั่นล่าสุดโดยใช้ NPM
- เลือกที่จะติดตั้งคอลเลกชั่นของโหนดเฉพาะ Pi ที่เป็นประโยชน์
- ตั้งค่า Node-Red เพื่อทำงานเป็นบริหารและจัดเตรียมชุดคำสั่งเพื่อทำงานร่วมกัน [6]



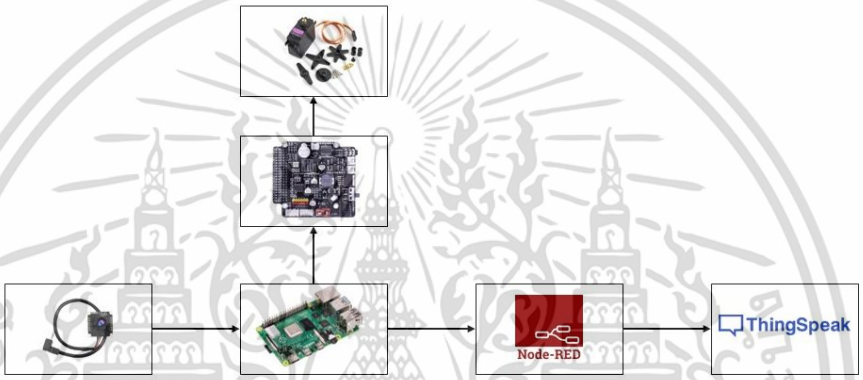
รูปที่ 2.20 แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของ Node-Red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในขั้นตอนการออกแบบการทำงานของกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกพลาสติกสำหรับระบบรีไซเคิลขยะแบบอัตโนมัติประกอบไปด้วยอุปกรณ์ และแพลตฟอร์มดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทำงาน

3.2 Hardware Software

ในการสร้างกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่อการคัดแยกพลาสติกสำหรับระบบรีไซเคิลขยะแบบอัตโนมัตินั้น จะมีอุปกรณ์หลักคือ Raspberry Pi 4 ที่ใช้ในการ รับข้อมูล ประมวลผล และควบคุมอุปกรณ์ ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยเมื่อกล้องสามารถที่จะคัดแยกประเภทของขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทได้ด้วยปัญญาประดิษฐ์ที่สร้างด้วยแพลตฟอร์ม Edge Impulse แล้ว จะมีชุดคำสั่งเพื่อควบคุม Servo ในการคัดแยกขยะไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง เมื่อมีการคัดแยกก็จะแสดงผลที่จอ LCD โดยแสดงผ่าน node-red-dashboard และยังมีการเชื่อมต่อโดยใช้ Protocol MQTT ในการส่งข้อมูลไปเก็บที่ Think speak

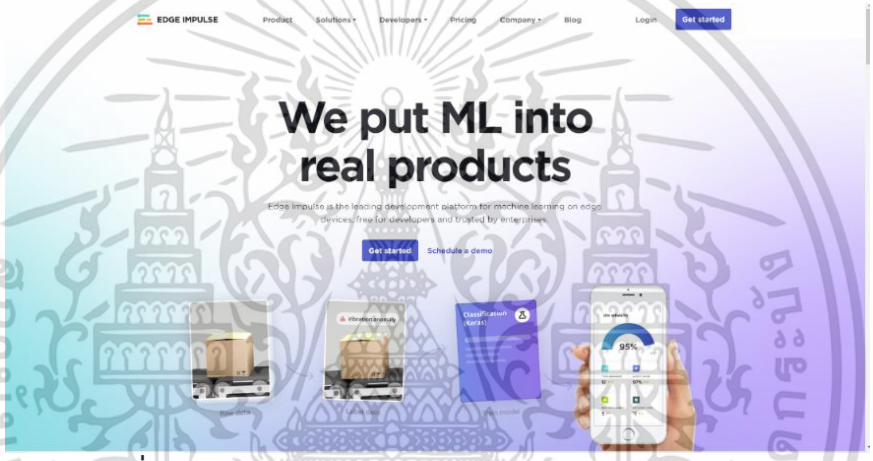
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Edge Impulse

แพลตฟอร์ม Edge Impulse เป็นแพลตฟอร์มสำหรับการทำ Machine learning บนอุปกรณ์ได้ฟรีสำหรับนักพัฒนา และได้รับความไว้วางใจจากองค์ต่างๆ

3.3.1 Login Edge Impulse

ทำการสร้างบัญชีผู้ใช้งานสำหรับ Edge Impulse โดยจะเป็นบัญชีที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 เพื่อทำการอับโหลดข้อมูลรูปภาพ ทำโมเดล Machine learning และใช้ในการดาวน์โหลดโมเดลที่สร้างขึ้นกับ Edge Impulse



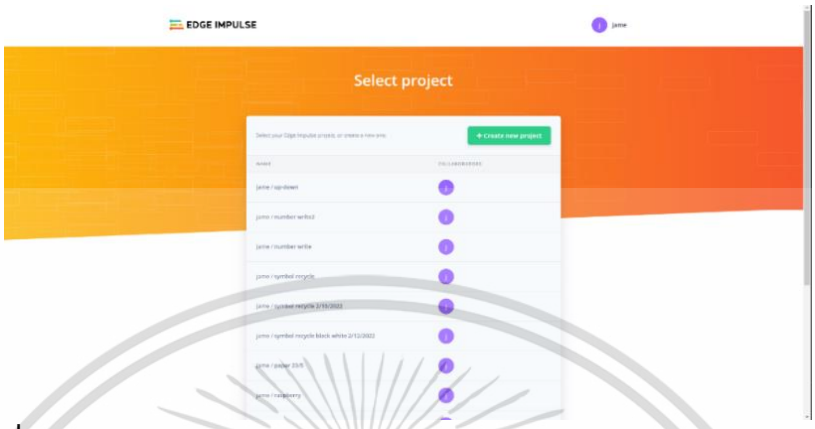
รูปที่ 3.2 แสดงหน้าต่างแรกของแพลตฟอร์ม Edge Impulse

รูปที่ 3.3 แสดงหน้าต่างสำหรับ Log in ใช้งานแพลตฟอร์ม Edge Impulse

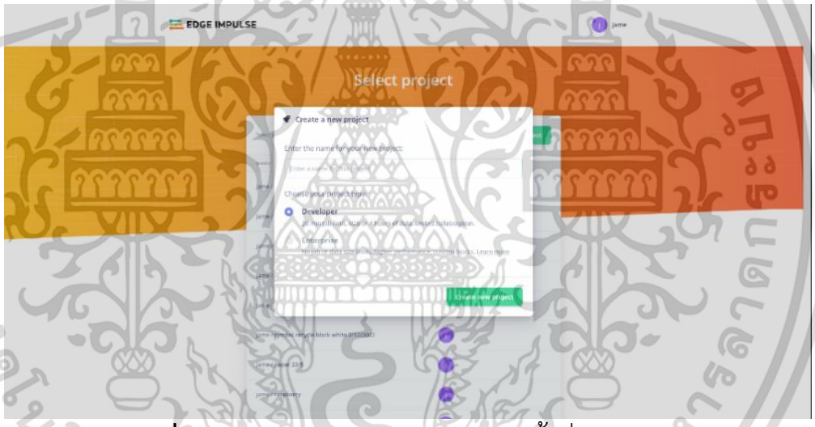
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 Create new project

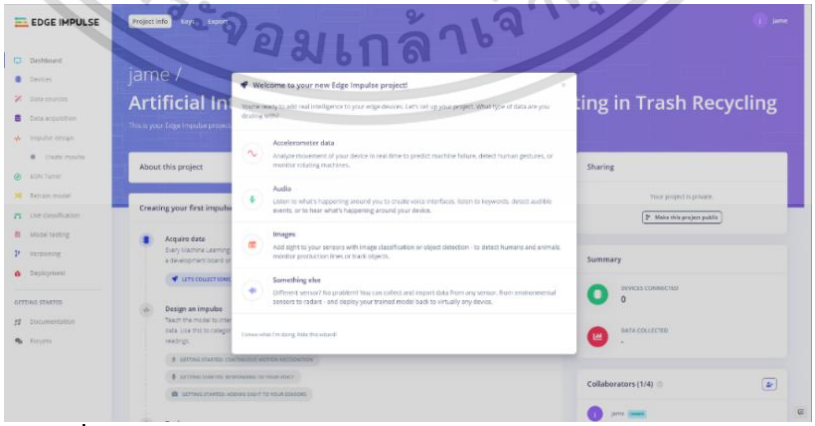
สร้างโปรเจคใหม่ และทำการตั้งชื่อโปรเจคสำหรับใช้งานแพลตฟอร์ม Edge Impulse



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่างสำหรับสร้าง project บนแพลตฟอร์ม Edge Impulse



รูปที่ 3.5 แสดงหน้าต่างสำหรับการตั้งชื่อ project



รูปที่ 3.6 แสดงหน้าต่างสำหรับใช้งานแพลตฟอร์ม Edge Impulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 Device

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ Edge Impulse โดยสามารถรวบรวมข้อมูลจากบอร์ดที่ได้รับการพัฒนา, จากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือโดยการอัปโหลดชุดข้อมูลที่มีอยู่

3.3.3.1 Connect a new device

ทำการตั้งค่าไดรเวอร์ โดยเลือกไปที่ Device Connect a fully supported development board เพื่อทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ โดยในการสร้างชุดกล้องปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกเพื่อการรีไซเคิลขยะอัตโนมัติ โดยในที่นี้ใช้บอร์ด Raspberry pi 4 ในการสร้าง

รูปที่ 3.7 แสดงหน้าต่างสำหรับเลือกชนิดของการอัปโหลดข้อมูล

3.3.3.2 Officially supported CPU/GPU targets Raspberry Pi 4

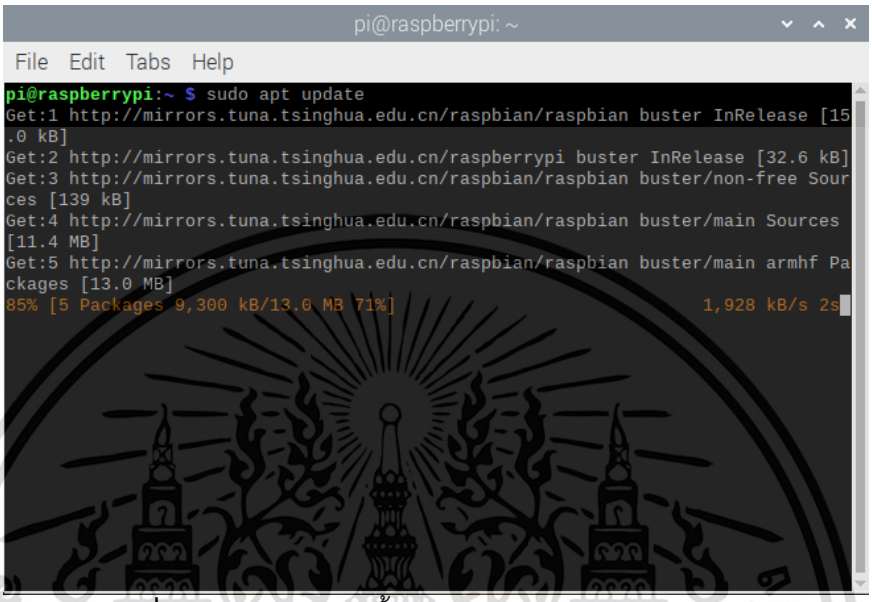
เลือกขั้นตอนของ Raspberry pi 4 เพื่อทำการติดตั้งไดรเวอร์ที่จะเชื่อมต่อ Edge Impulse กับ Raspberry Pi 4

รูปที่ 3.8 แสดงรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับ Edge Impulse

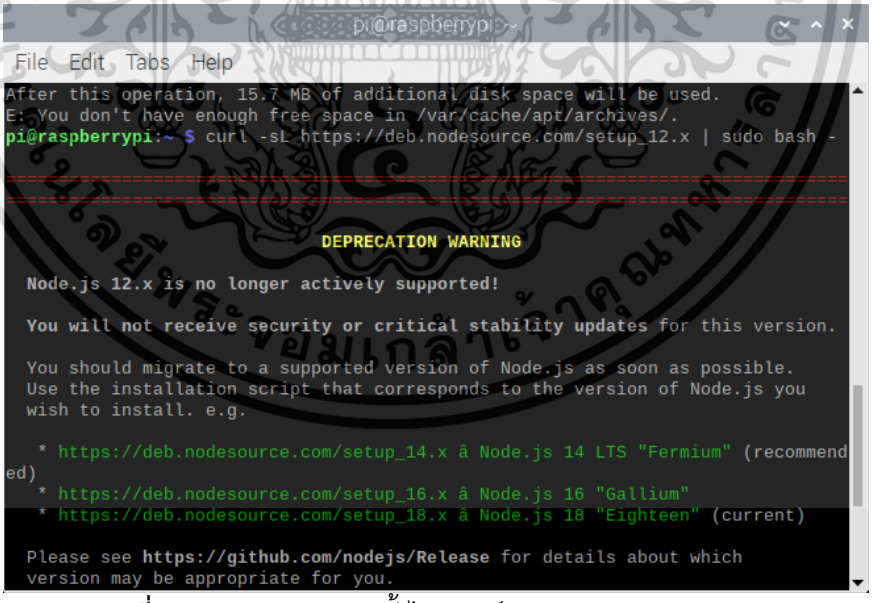
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 Installing dependencies

กรอกชุดคำสั่งของ Raspberry pi 4 ที่ Terminal เพื่อทำการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse ลงบนบอร์ด Raspberry Pi 4

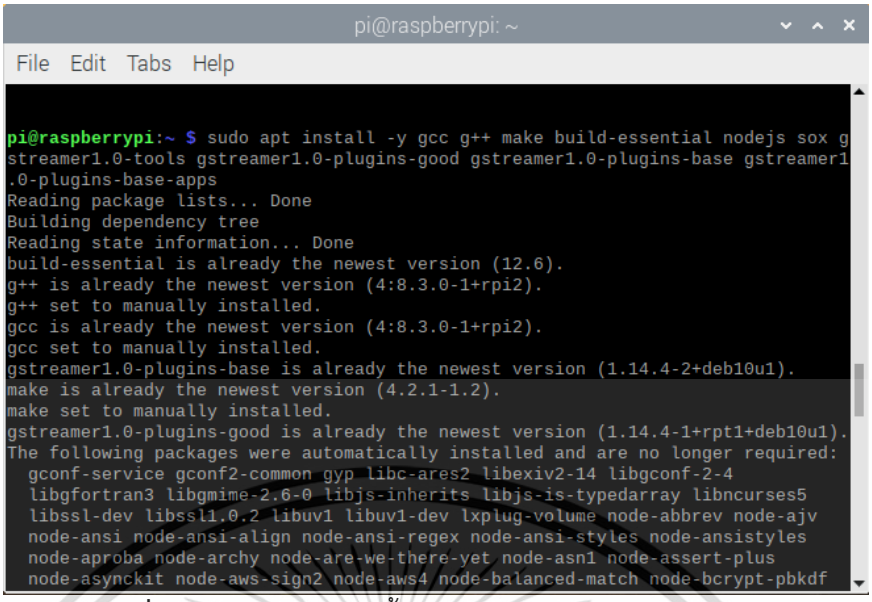


รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (1)

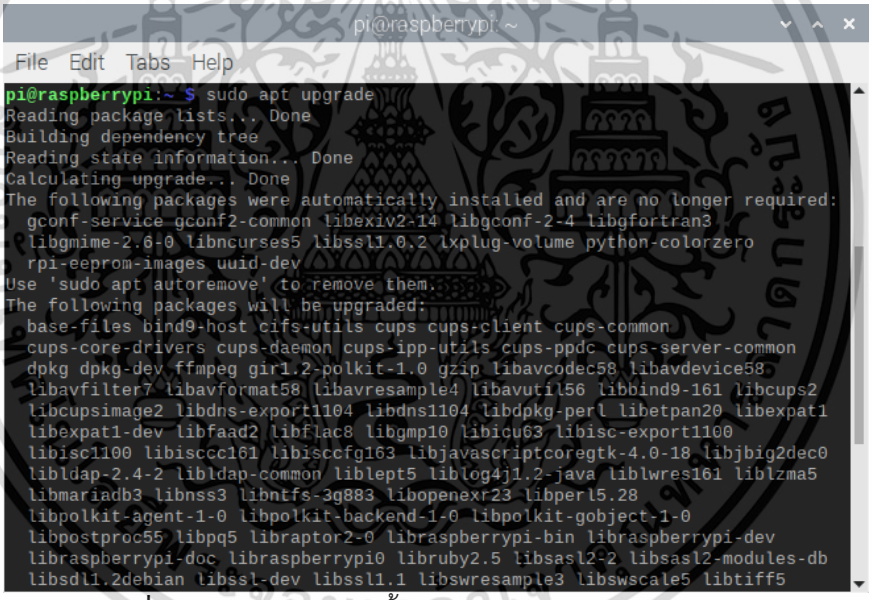


รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

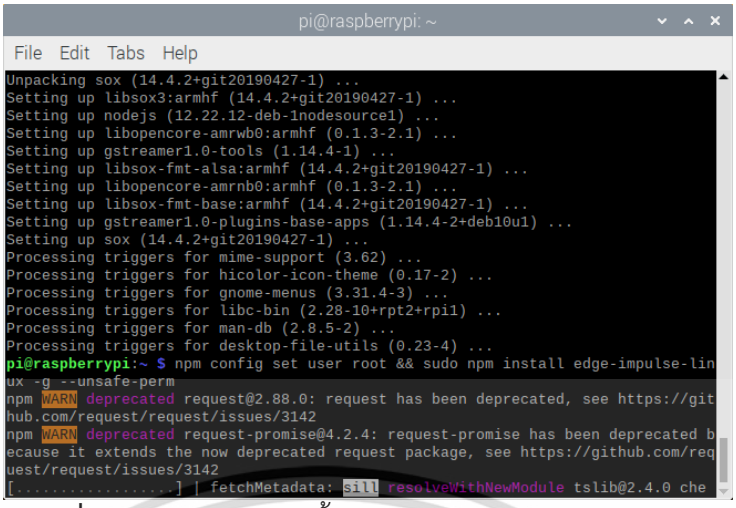


รูปที่ 3.11 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (3)



รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



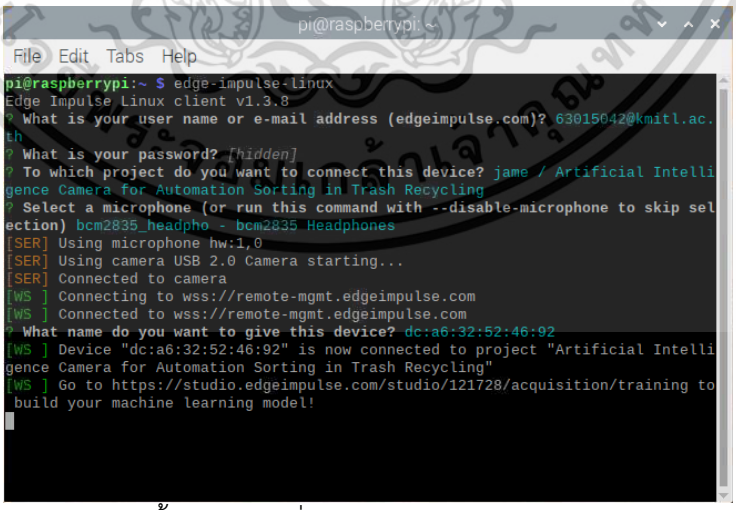
รูปที่ 3.13 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Edge Impulse (5)

3.3.4 Data Acquisition

เป็นการเก็บข้อมูลสำหรับนำมาสร้าง Machine learning ด้วยแพลตฟอร์ม Edge Impulse โดยแบ่งชุดข้อมูลเป็นสำหรับการเทรนโมเดล และการทดสอบโมเดล

3.3.4.1 Connect Edge Impulse

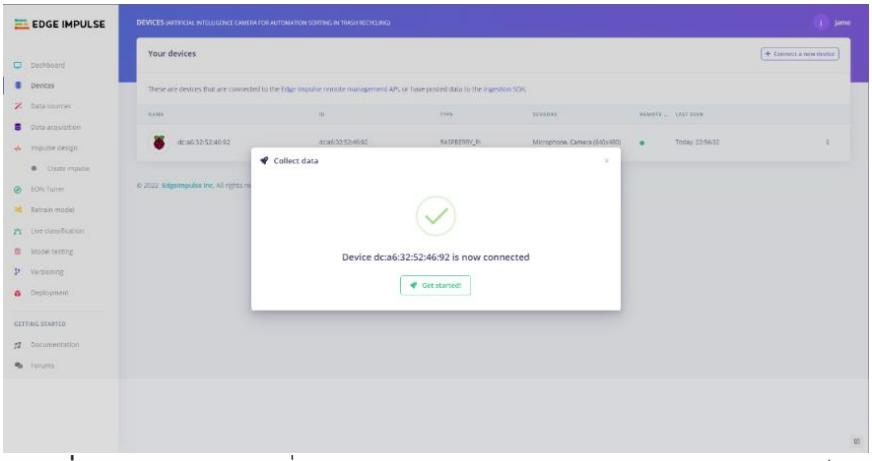
ทำการเชื่อมต่อ Raspberry Pi 4 กับ Edge Impulse โดยการใส่อีเมล์ รหัสผ่าน ทำการเลือกโปรเจคที่ต้องการพัฒนา และเลือกอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 เพื่อที่จะใช้ในการสร้างชุดข้อมูลสำหรับการสร้างโมเดล



รูปที่ 3.14 แสดงขั้นตอนการเชื่อมต่อ Raspberry Pi 4 กับ Edge Impulse

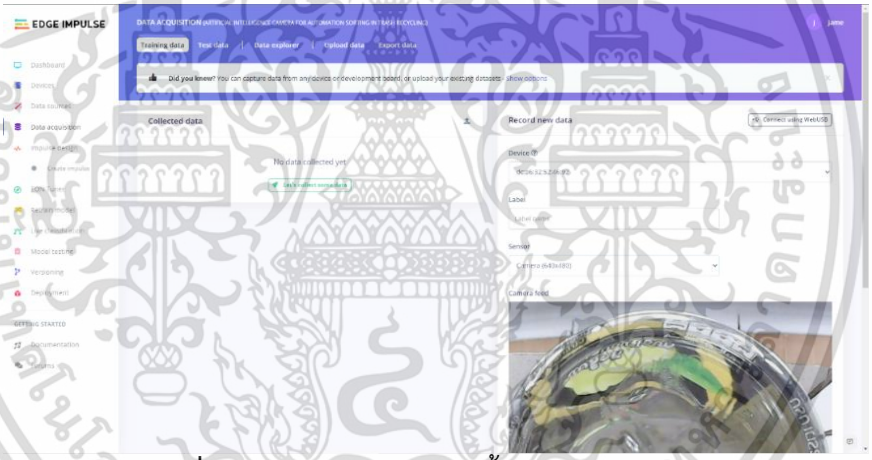
เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จ จะมีการแสดงขึ้นที่ Your Devices โดยจะระบุข้อมูลต่างๆที่ทำการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่อ Raspberry Pi 4 กับ Edge Impulseสำเร็จ

ทำการเลือก sensor กล้องที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 เพื่อทำการเก็บข้อมูลภาพขยะรีไซเคิล โดยการใส่ Label ของแต่ละประเภทที่ต้องการเก็บตัวอย่างข้อมูล

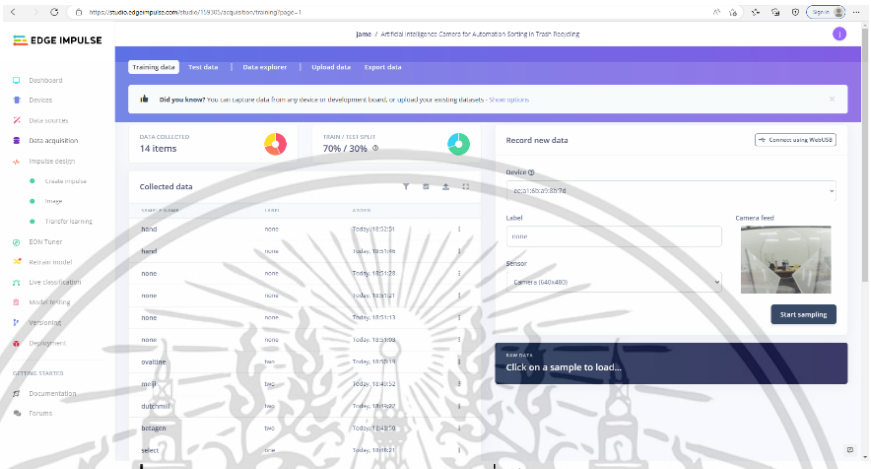


รูปที่ 3.16 แสดงการกำหนดขั้นตอนการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 Training data

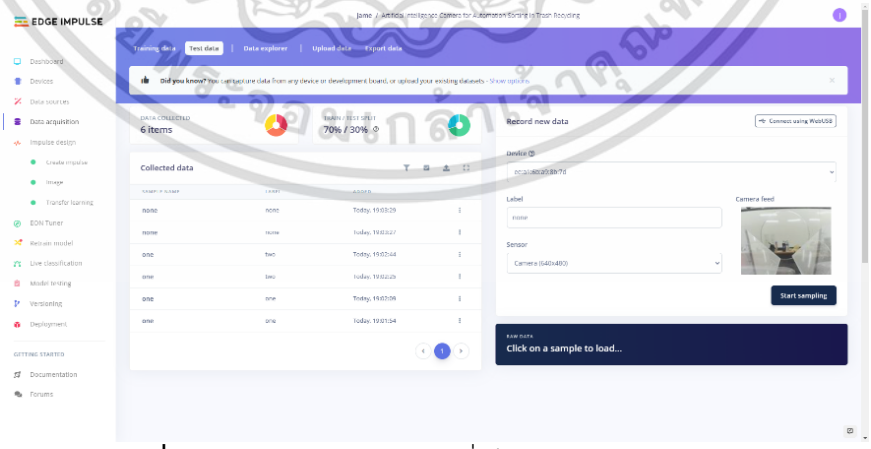
เป็นชุดภาพที่ใช้ในการสร้างโมเดล ทั้งหมด 14 ภาพ โดยมีข้อมูล 3 ประเภท ได้แก่ ภาพขวด polyethylene terephthalate จำนวน 4 ภาพ ภาพขวด high density polyethylene จำนวน 4 ภาพ ภาพขณะไม่มีขวดจำนวน 6 ภาพ



รูปที่ 3.17 แสดงข้อมูล Training ที่เก็บจาก Raspberry Pi 4

3.3.4.3 Test data

เป็นชุดภาพที่ใช้ในการทดสอบโมเดล ทั้งหมด 6 ภาพ โดยมีข้อมูล 3 ประเภทได้แก่ ภาพขวด polyethylene terephthalate จำนวน 2 ภาพ ภาพขวด high density polyethylene จำนวน 2 ภาพ ภาพขณะไม่มีขวดจำนวน 2 ภาพ



รูปที่ 3.18 แสดงข้อมูล Test ที่เก็บจาก Raspberry Pi 4

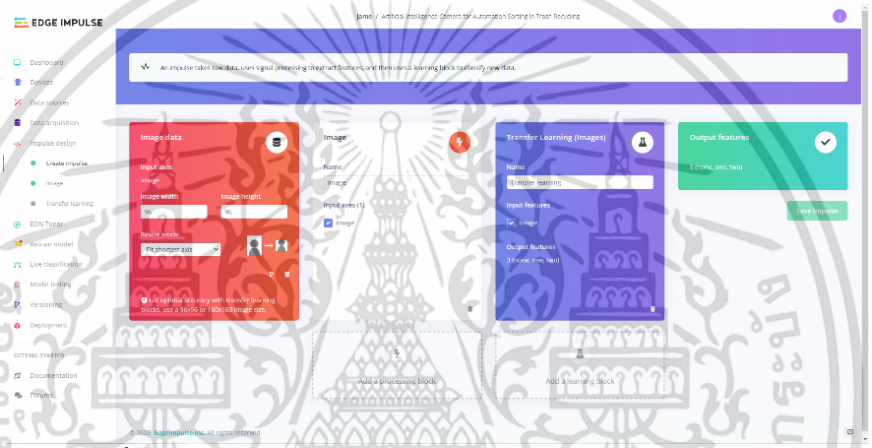
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 Impulse design

ขั้นตอนการเลือกสถาปัตยกรรมของ Edge Impulse ในการออกแบบวิธีการสร้างโมเดล โดยใช้ชุดข้อมูลภาพที่เก็บข้อมูลสำหรับ training

3.3.5.1 Create impulse

Image data จะทำการเปลี่ยนขนาดภาพชุดข้อมูลทั้งหมดให้กลายเป็นขนาด 96*96 โดยเลือกกระบวนการประมวลผลเป็น Image เลือกวิธีการเรียนรู้ด้วย Transfer Learning (Images) และได้ Output features จำนวน 3 ประเภท

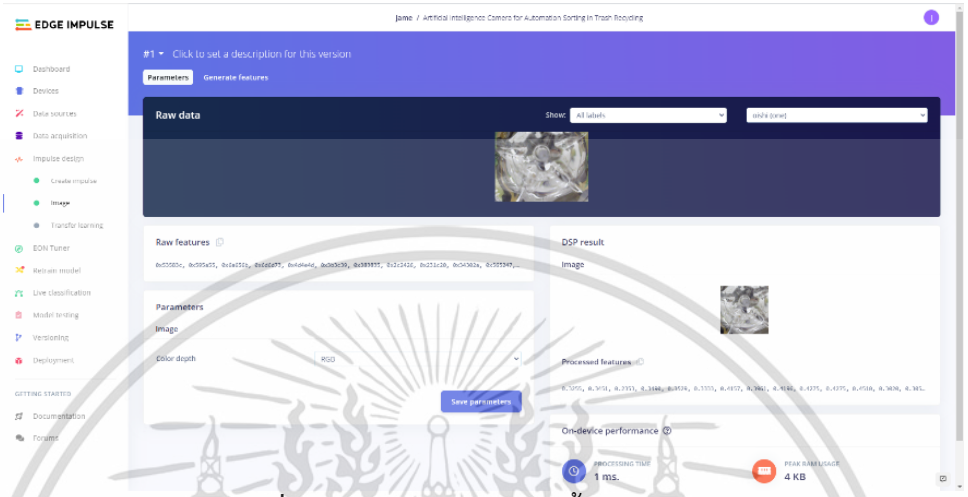


รูปที่ 3.19 แสดงการกำหนดสถาปัตยกรรมของ Edge Impulse

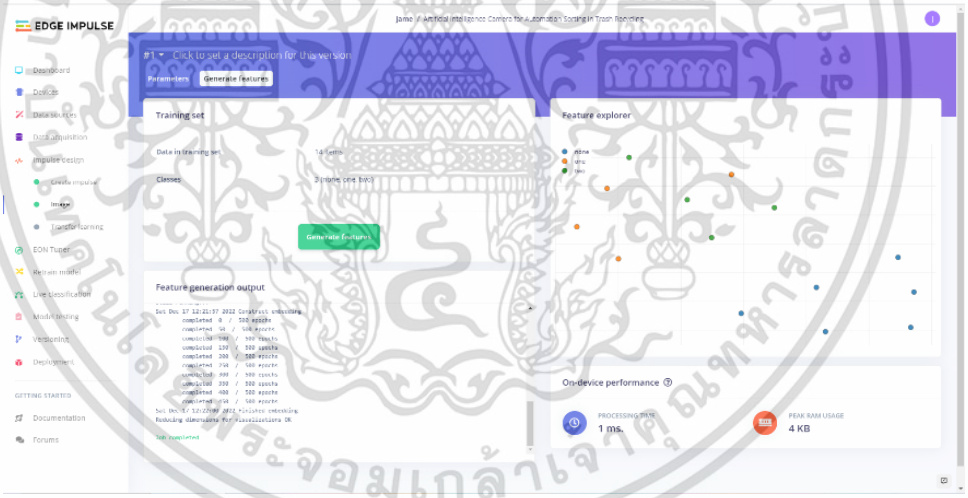
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.2 Image

ขั้นตอนการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับภาพ raw data เพื่อสร้าง features สำหรับข้อมูล



รูปที่ 3.20 แสดงการกำหนดขั้นตอน Image

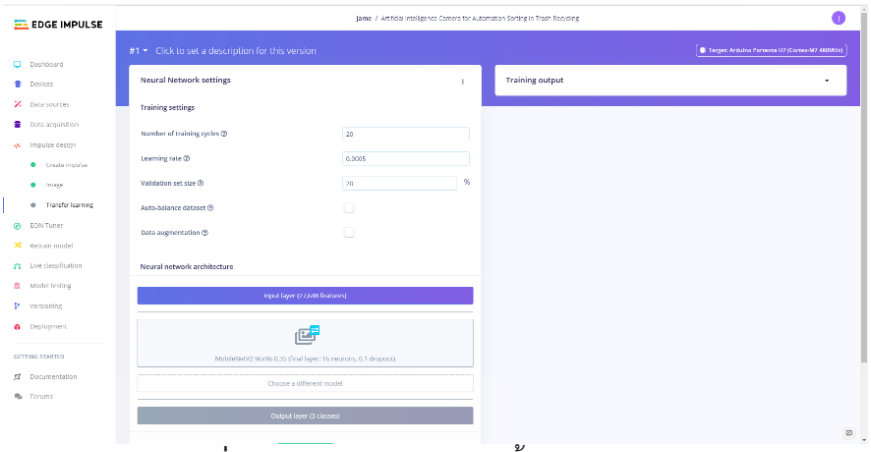


รูปที่ 3.21 แสดง Feature explorer ของชุดข้อมูล

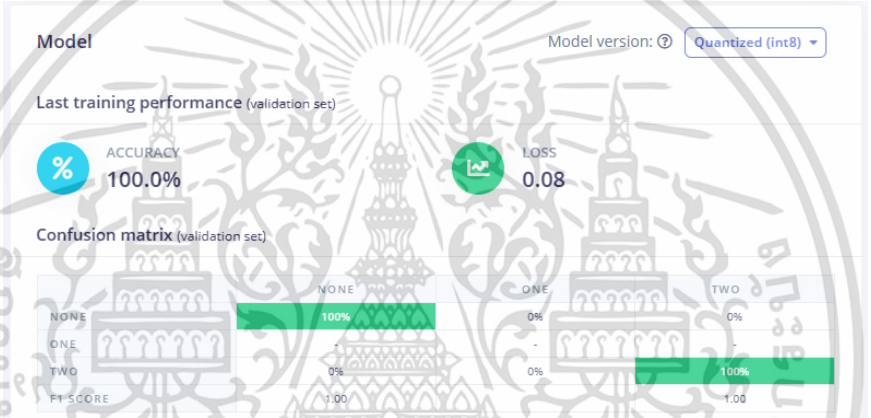
3.3.5.3 Transfer learning

ขั้นตอนการสร้างโมเดลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยมีการกำหนดรอบการเทรน 20 รอบ อัตราการเรียนรู้ 0.005 ชุดการตรวจสอบ 20% โดยมี Input layer ทั้งหมด 27,648 features ใช้ convolution neural network ชนิด MobileNetV2 โดยจะได้ Output layer ทั้งหมด 3 classes

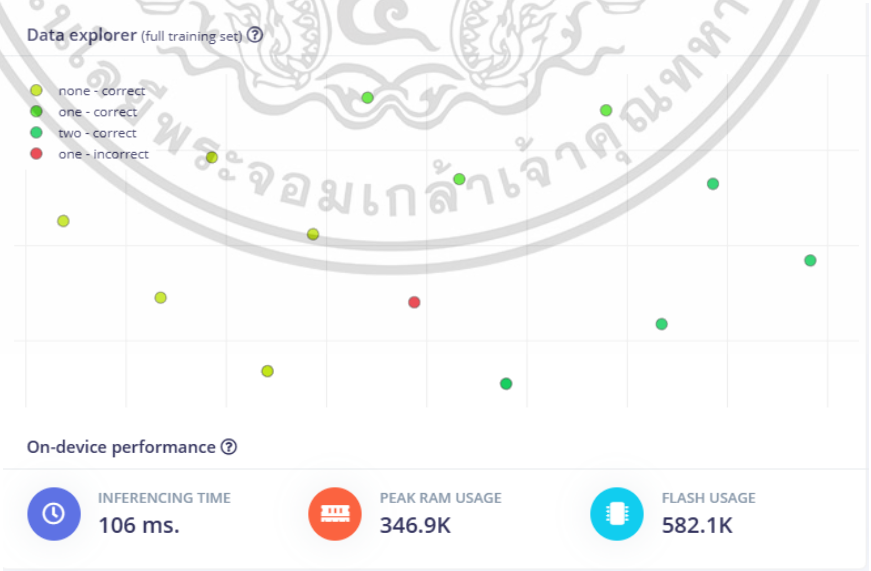
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงการกำหนดขั้นตอนการเทรน



รูปที่ 3.23 แสดงผลการเทรน

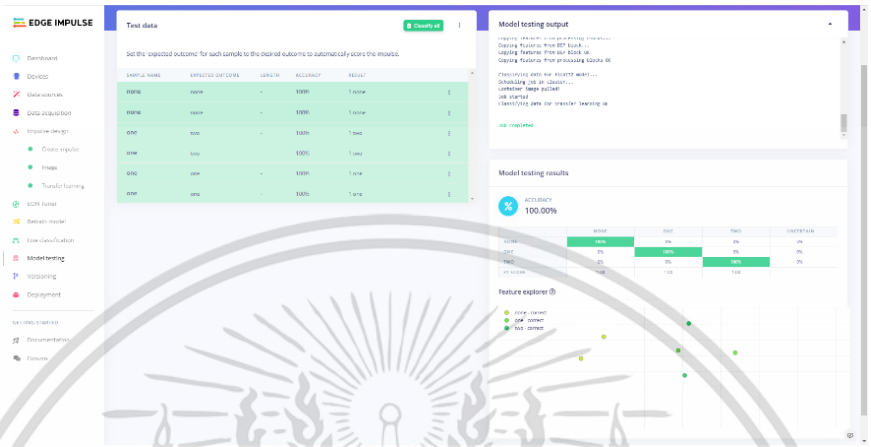


รูปที่ 3.24 แสดง Data explorer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 Model testing

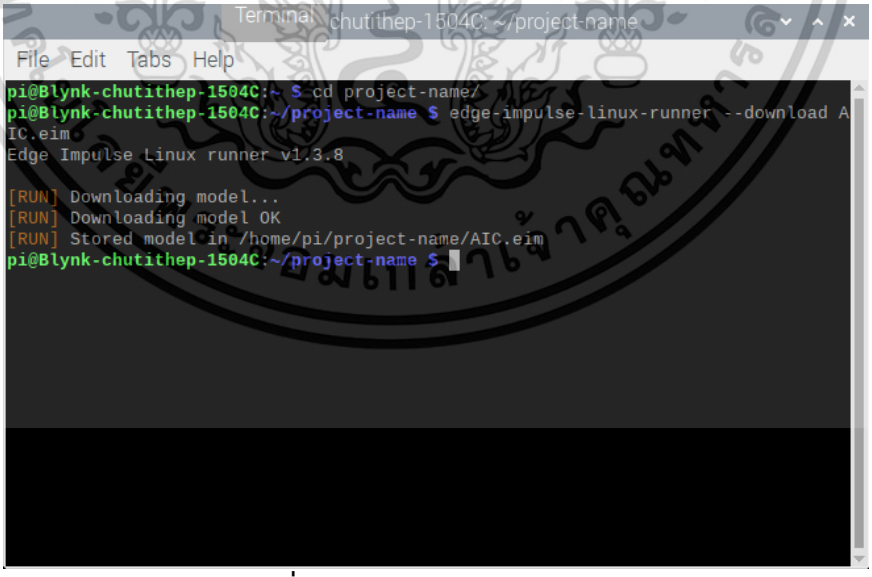
นำโมเดลภาพที่สร้างขึ้นมาทำการทดสอบ กับชุดข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อดูผลค่า F1 Score ของแต่ละตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.25 แสดงผลการ Model testing

3.3.7 Download model

การใช้ชุดคำสั่งสำหรับการดาวโหลดโมเดลที่สร้างขึ้นบนแพลตฟอร์ม Edge Impulse ลงบน Raspberry Pi



รูปที่ 3.26 แสดงการ Download Model

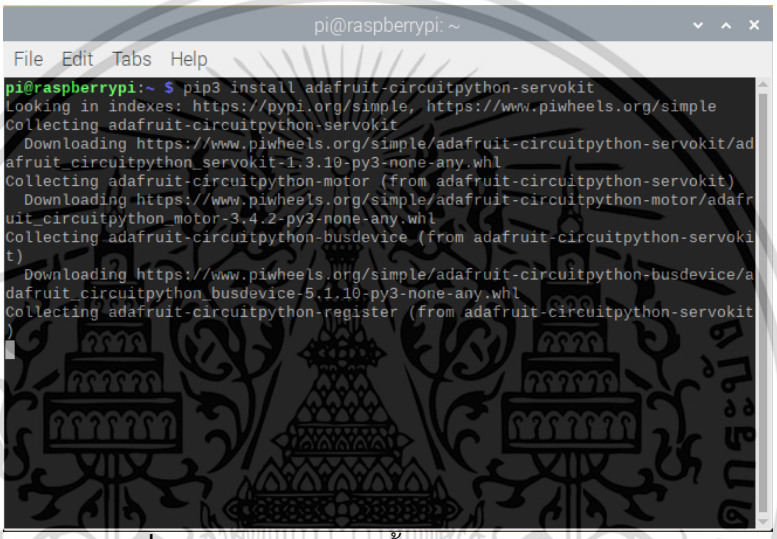
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Servo Control

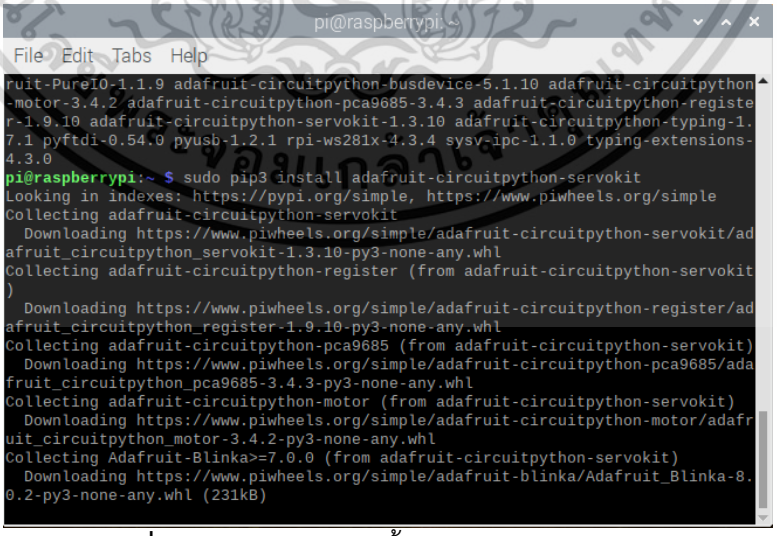
การควบคุม servo เมื่อกล้องสามารถระบุชนิดของประเภทขยะรีไซเคิลได้แล้ว servo จะทำการคัดแยกขยะไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

3.4.1 Download driver

ทำการติดตั้งไดรเวอร์ของ servo ลงบน Raspberry Pi 4 เพื่อสามารถใช้งานด้วย Python3

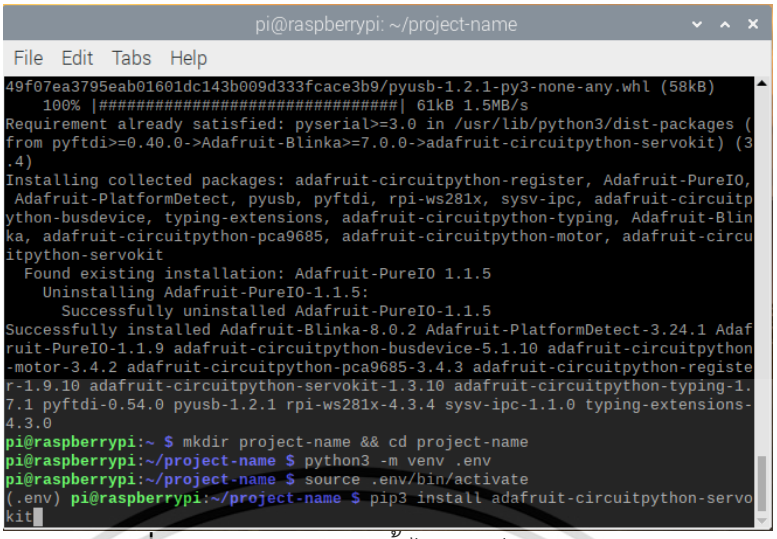


รูปที่ 3.27 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Servo (1)



รูปที่ 3.28 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Servo (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



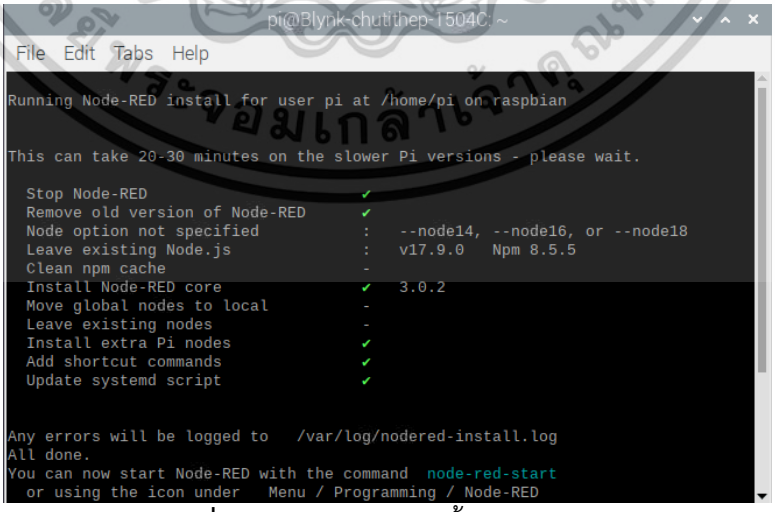
รูปที่ 3.29 แสดงการติดตั้งไดรเวอร์ของ Servo (3)

3.5 Node-Red

เป็นแนวการเขียนโค้ดแบบ Flow-Base หรือ Visual Language Programming จะใช้ Node-red แสดง Graphical User Interface จะแสดงผลที่จอ LCD 7 นิ้ว เพื่อแสดงค่าจำนวนสะสมของการคัดแยกของขวดแต่ละประเภท โดยใช้ node-red-dashboard เพื่อออกแบบการแสดงผล

3.5.1 ขั้นตอนการติดตั้ง Node-Red

ทำการติดตั้ง Node-Red เพื่อใช้งานกับ Raspberry Pi 4 จำเป็นต้องมีการติดตั้ง Node.js ที่เวอร์ชั่น 14 ขึ้นไป

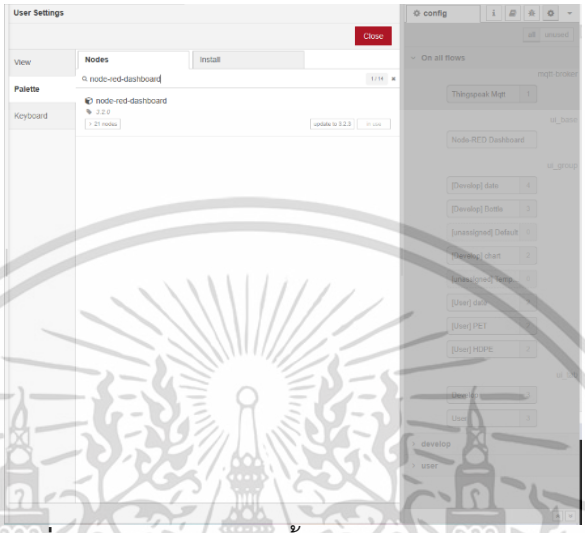


รูปที่ 3.30 แสดงการติดตั้ง Node-Red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ทำการติดตั้ง node-red-dashboard

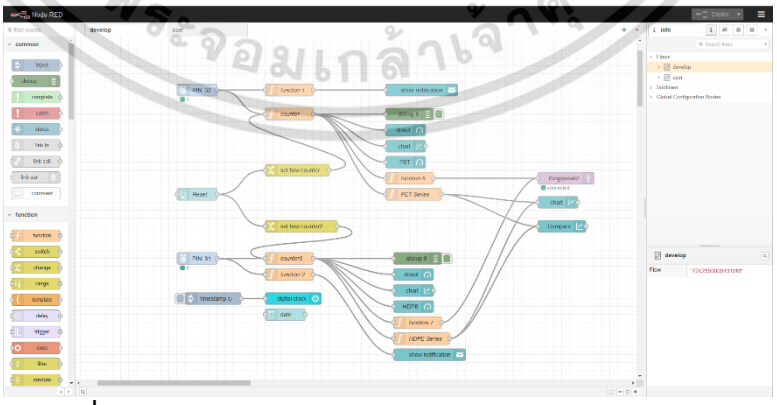
ทำการติดตั้ง node-red-dashboard เพื่อใช้งาน graphical user interface สำหรับแสดงผลบนจอ LCD



รูปที่ 3.31 แสดงการติดตั้ง node-red-dashboard

3.5.3 ออกแบบ Flow-based programming

การส่งข้อมูลจาก Raspberry Pi 4 มายัง Node-Red ทำได้โดยการใช้ขา Pin 31,32 ขณะที่มีการคัดแยกขวด เพื่อส่งสัญญาณมายัง Node-Red และแสดงผลการคัดแยก โดยเลือก Nodes จาก Dashboard ได้แก่ Gauge เพื่อแสดงจำนวนขวดสะสมแต่ละประเภท Chart เพื่อยอดสะสม และใช้เพื่อเปรียบเทียบขวดทั้งสองประเภท



รูปที่ 3.32 แสดงการออกแบบ Flow-based programming

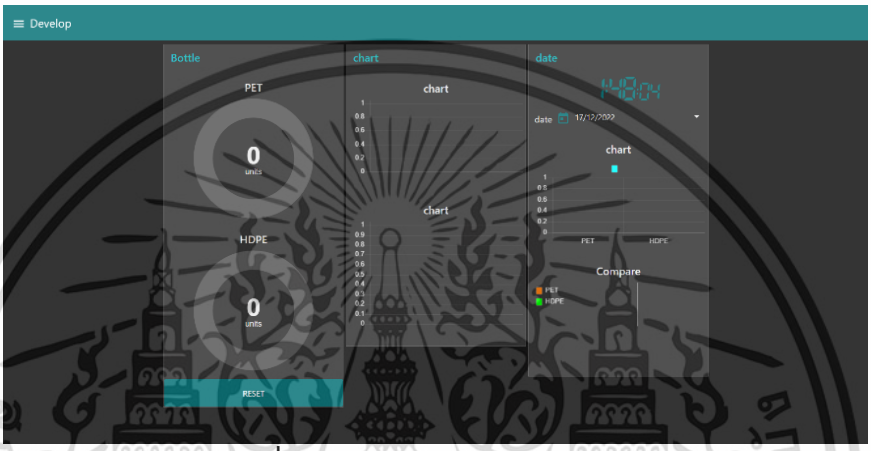
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 Node-Red graphical user interface

ในแถวที่ 1 จะแสดงเกจสะสมของขวด PET และ ขวด HDPE โดยสามารถมีจำนวนได้มากสุด 100 ขวด และมีปุ่ม Reset เพื่อทำการรีเซตค่า

ในแถวที่ 2 จะแสดงชาร์ตสะสมของขวด PET และ ขวด HDPE

ในแถวที่ 3 จะแสดงเวลา วันที่ และชาร์ตและเกจสะสมเปรียบเทียบระหว่างขวด PET และ ขวด HDPE



รูปที่ 3.33 แสดง graphical user interface

3.6 Thing Speak

การเก็บข้อมูลที่ส่งจาก Node-Red ไว้บนระบบคลาวด์ของ Thing Speak

3.6.1 ตั้งค่าการเชื่อมต่อ Internet of thing แบบ MQTT ผ่าน Node-Red

ใช้ Nodes mqtt out เพื่อใช้การส่งข้อมูลออกไปยัง Thing Speak โดยวิธีการ MQTT โดยการกำหนด

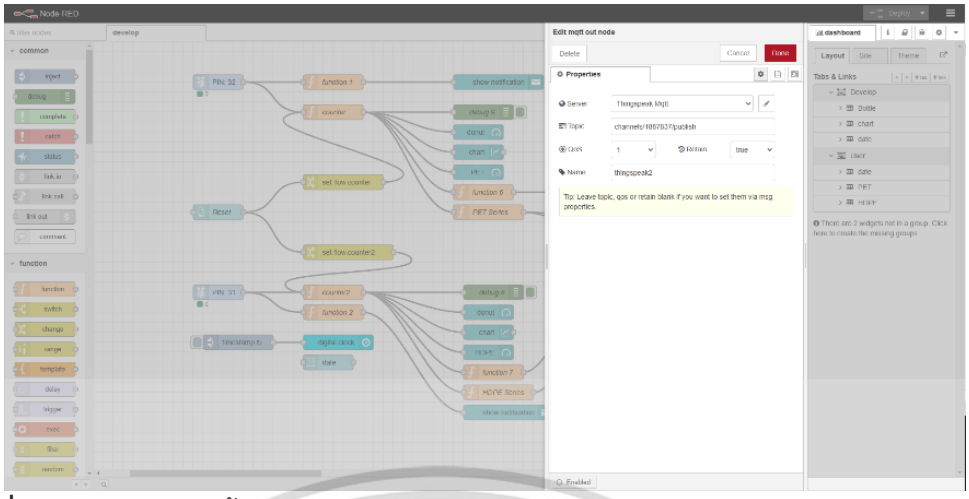
Server : mqtt3.thingspeak.com

Topic : channels/1887837/publish

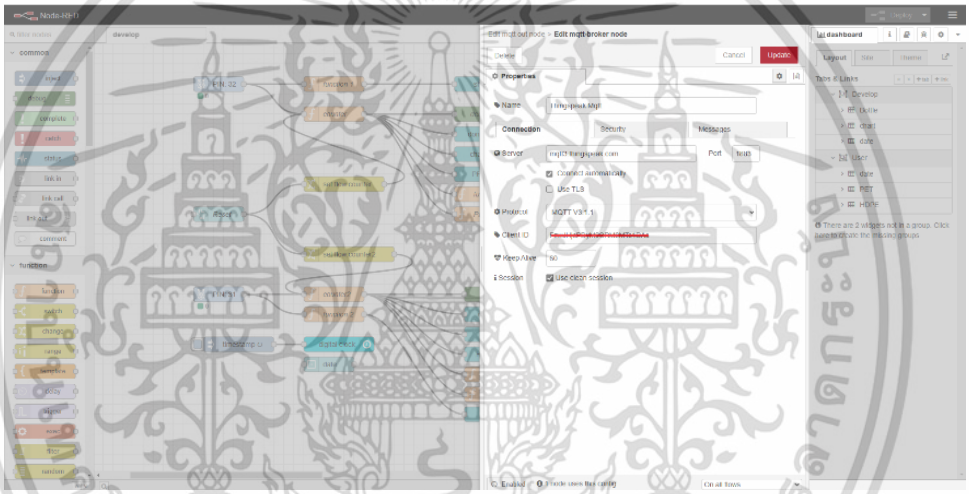
Port : 1883

Protocal : MQTT V3.1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงการตั้งค่าการเชื่อมต่อ Internet of thing แบบ MQTT ผ่าน Node-Red (1)



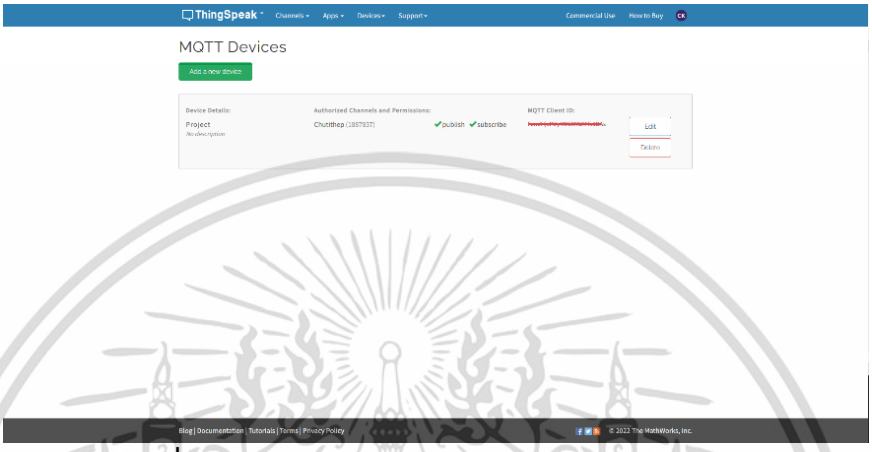
รูปที่ 3.35 แสดงการตั้งค่าการเชื่อมต่อ Internet of thing แบบ MQTT ผ่าน Node-Red (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การแสดงผลบน Thing Speak

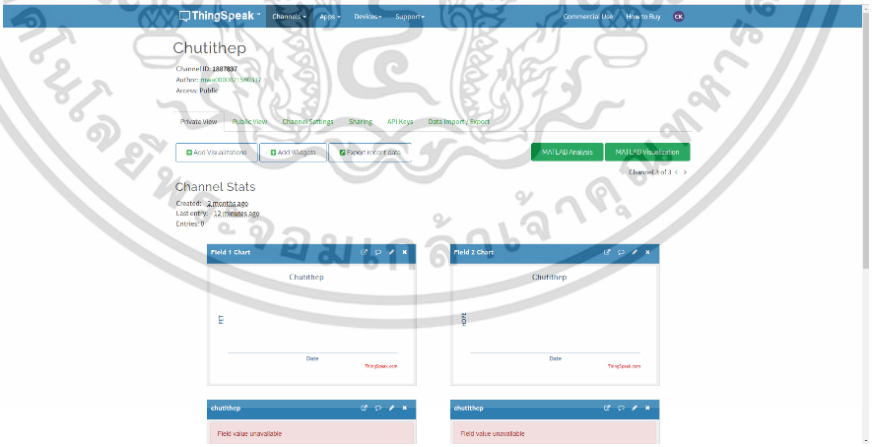
นำรหัส MQTT Client ID ของThing Speak กรอกในช่อง Client ID เพื่อทำการเชื่อมต่อ

กับ Thing Speak



รูปที่ 3.36 แสดง MQTT Devices ของ Thing Speak

สร้างชาร์ตที่ Field เพื่อเก็บค่าที่ส่งมาจาก Node-Red โดยแบ่งเป็น ชาร์ตสำหรับขวด PET และ ขวด HDPE



รูปที่ 3.37 แสดง Channels ของ Thing Speak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการ Transfer learning

การสร้างโมเดลจากภาพขวดพลาสติก ประเภท PET จำนวน 4 ภาพ ประเภท HDPE จำนวน 4 ภาพ และขณะไม่มีขวด จำนวน 6 ภาพ มีการปรับชุดภาพเป็นขนาด 96*96 ค่า alpha 0.35 (final layer: 16 neurons, 0.1 dropout) โดยมีจำนวนรอบการเทรนทั้งหมด 20 รอบ มีอัตราการเรียนรู้ที่ 0.0005 ชุดการตรวจสอบ 20% โดยมี Input layer 27,648 features ใช้ convolution neural network ชนิด MobileNetV2 โดยจะได้ Output layer ทั้งหมด 3 classes

ให้ค่า Accuracy 100% Loss 0.08

ตารางที่ 4.1 ผลการคัดแยก Confusion matrix

	None	One	Two
None	100%	0%	0%
One	-	-	-
Two	0%	0%	100%
F1 Score	1.00		1.00

ใช้ทรัพยากร Inferencing 106 ms. Peak Ram Usage 346.9K Flash Usage 582.1K

4.2 ผลการ Model testing

ผลจากการทดสอบโมเดลกับชุดภาพสำหรับการทดสอบ ประเภท PET จำนวน 2 ภาพ ประเภท HDPE จำนวน 2 ภาพ และขณะไม่มีขวด จำนวน 2 ภาพ ให้ค่า Accuracy 100%

ตารางที่ 4.2 Model testing results Confusion matrix

	None	One	Two	Uncertain
None	100%	0%	0%	0%
One	0%	100%	0%	0%
Two	0%	0%	100%	0%
F1 Score	1.00	1.00	1.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลความถูกต้องของการคัดแยก

ตารางที่ 4.3 ผลความถูกต้องของการคัดแยกตัวอย่างขวด

รายการ	รูปประกอบ	ประเภท	none	one	two
1. น้ำดื่มคริสตัล 600 มิลลิลิตร		1	0	0.99	0.01
2. น้ำดื่มเนสท์เล่ เพียวไลฟ์ 600 มิลลิลิตร		1	0.01	0.94	0.05
3. น้ำดื่มออรา 500 มิลลิลิตร		1	0.13	0.86	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำดื่มทัวริสท์ 600 มิลลิลิตร		1	0.01	0.96	0.03
5. เครื่องดื่มเกลือแร่เกเตอเรด 500 มิลลิลิตร		1	0.04	0.95	0.01
6. เครื่องดื่มกระชายขาวคูลคูลเฟส 280 มิลลิลิตร		1	0.03	0.97	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. น้ำผักผลไม้ยูนิฟ 300 มิลลิลิตร		1	0.09	0.91	0
8. น้ำชาเขียวฟูจิชะ 500 มิลลิลิตร		1	0.01	0.96	0.03
9. น้ำชาดำรสมะนาว โออิชิ 500 มิลลิลิตร		1	0.14	0.86	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. น้ำชาเขียวกลิ่นมะลิพอคคา 500 มิลลิลิตร		1	0.1	0.89	0.01
11. โยเกิร์ตพร้อมดื่มรสผลไม้รวม ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		2	0.04	0.01	0.95
12. นมโคพาสเจอร์ไรส์ ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		2	0	0.03	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. โยเกิร์ตพร้อมดื่มรสบูลเบอร์รี่ ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		2	0	0.01	0.99
14. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มไม่มีไขมันดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		2	0	0.01	0.99
15. นมเปรี้ยวชนิดโยเกิร์ตรสสตอเบอร์รี่ บีทาเก้น 300 มิลลิลิตร		2	0	0.01	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. นมเปรี้ยวชนิดโยเกิร์ตรสส้ม บีทาเก้น 300 มิลลิลิตร		2	0.01	0	0.99
17. นมเปรี้ยว บีทาเก้น 300 มิลลิลิตร		2	0	0.02	0.98
18. นมพาสเตอร์ไรส์ ดัชมิลล์ รสช็อกโกแลต 200 มิลลิลิตร		2	0	0.01	0.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. นมชนิดพร่องมันเนย พาสเจอร์ไรส์ โปรตีนสูง รสช็อกโกแลต ฮูเร่ 340 มิลลิลิตร		2	0.02	0.01	0.97
20. น้ำสรอว์เบอร์รี่ 300 มิลลิลิตร		2	0	0.01	0.99

4.4 ผลการคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

ตารางที่ 4.4 ผลการคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องของตัวอย่างขวด

รายการ	รูปประกอบ	ผลการคัดแยก
1. น้ำดื่มคริสตัล 600 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำดื่มเนสท์เล่เพียว ไลฟ์ 600 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
3. น้ำดื่มออรา 500 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
4. น้ำดื่มทัวริสท์ 600 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องดื่มเกลือแร่เกเตอเรด 500 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
6. เครื่องดื่มกระชายขาวคูลคูลเฟส 280 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
7. น้ำผักผลไม้ยูนิฟ 300 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. น้ำชาเขียวฟูจิชะ 500 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
9. น้ำชาดำรสมะนาว โออิชิ 500 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
10. น้ำชาเขียวกลิ่นมะลิ พอคคา 500 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. โยเกิร์ตพร้อมดื่มรสผลไม้รวม ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
12. นมโคพาสเจอร์ไรต์ ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
13. โยเกิร์ตพร้อมดื่มรสบูลเบอร์รี่ ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม ไม่มีไขมัน ดัชมิลล์ 400 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
15. นมเปรี้ยวชนิดโยเกิร์ตรสสตอเบอร์รี่ บีทาเก้น 300 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
16. นมเปรี้ยวชนิดโยเกิร์ตรส้ม บีทาเก้น 300 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. นมเปรี้ยว บีทาเก้น 300 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
18. นมพาสเตอร์ไรส์ ดัชมิลล์ รสช็อกโกแลต 200 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง
19. นมชนิดพร่องมันเนย พาสเจอร์ไรส์ โปรตีนสูง รสช็อกโกแลต ฮูเร่ 340 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

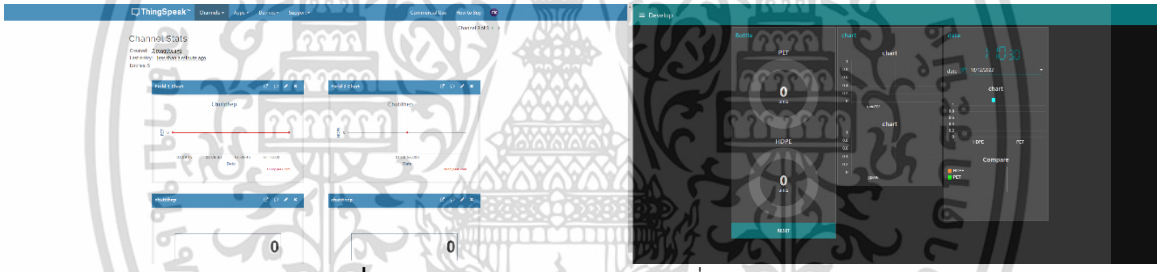
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. น้ำสรอว์เบอร์รี่ 300 มิลลิลิตร		สามารถคัดแยกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

4.5 ผลความถูกต้อง Graphical User Interface เปรียบเทียบ Thing speak

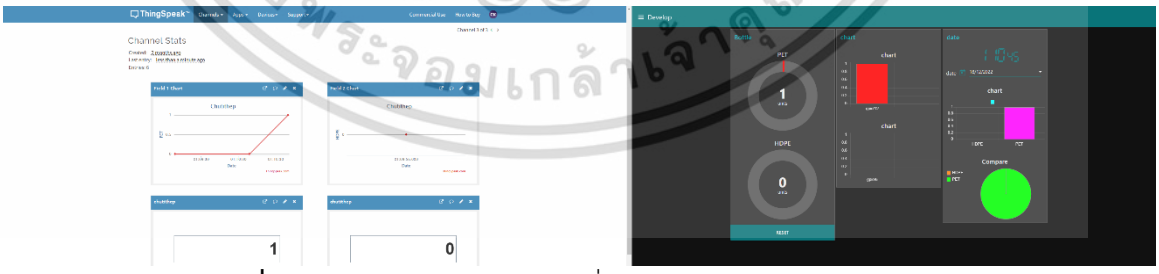
ผลของการแสดงผลเมื่อมีการคัดแยกขวด

เมื่อไม่มีการคัดแยก



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อไม่มีการคัดแยก

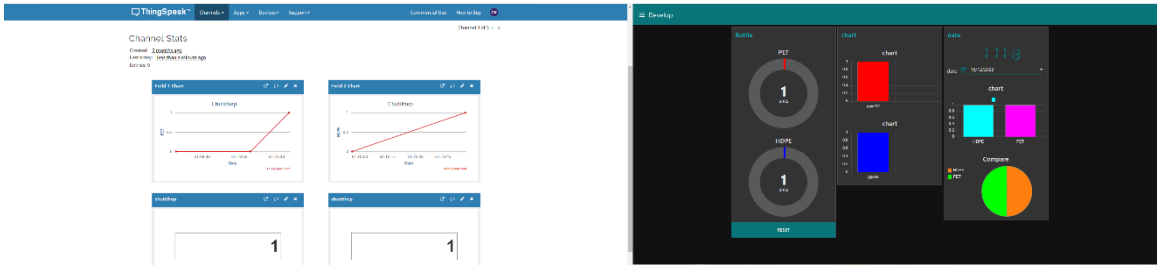
เมื่อมีการคัดแยกขวด PET 1 ขวด



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 1 ขวด

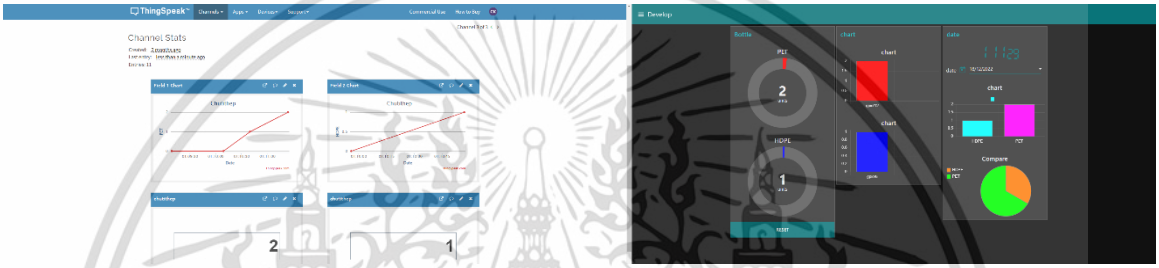
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการคัดแยกขวด PET 1 ขวด HDPE 1 ขวด



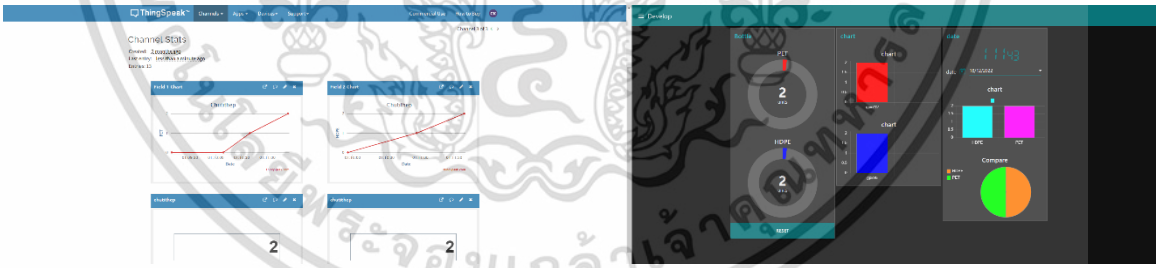
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 1 ขวด HDPE 1 ขวด

เมื่อมีการคัดแยกขวด PET 2 ขวด HDPE 1 ขวด



รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 2 ขวด HDPE 1 ขวด

เมื่อมีการคัดแยกขวด PET 2 ขวด HDPE 2 ขวด



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อมีการคัดแยกขวด PET 2 ขวด HDPE 2 ขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกล้องปัญญาประดิษฐ์สำหรับการคัดแยกเพื่อการรีไซเคิลขยะอัตโนมัติ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ และศาสตร์ทางด้าน Machine learning ที่นำมาประยุกต์ใช้กับกล้องโดยใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse เพื่อมาช่วยในการทำ Machine learning ซึ่งการทำปัญญาประดิษฐ์หรือ Artificial Intelligence นั้นมีการใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Convolutional Neural Network ได้มีการใช้งานโมเดล MobileNet V2 ได้มีการกำหนดชุดข้อมูลรูปภาพให้มีขนาด 96*96 มี Input layer 27,648 feature, alpha 0.35, final layer 19 neurons, 0.1 dropout, Number of training cycles 20,Learning rate 0.0005,Validation set size 20% จะได้ output layer 3 classes, Accuracy 100%, loss 0.08, Inferencing Time 106 ms., Peak Ram Usage 346.9K, Flash Usage 582.1K, F1 Score =1 ในขณะเดียวกันได้มีการออกแบบการควบคุม Servo ให้สามารถทำงานตามการจำแนกประเภทของกล้อง เมื่อกล้องสามารถที่จะคัดแยกประเภทได้แล้ว Servo จะทำหน้าที่ควบคุมขยะพลาสติกไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง ในขณะเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการใช้งาน ได้มีการออกแบบและเขียนโปรแกรม Node-Red เพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยมีการใช้งาน node-red-dashboard ในการแสดงผลบนจอ LCD ในขณะเดียวกัน เพื่อการบันทึกข้อมูล ได้มีการบันทึกข้อมูลผ่านระบบ IoT โดยใช้ MQTT ผ่าน Node-Red เพื่อส่งข้อมูลไปเก็บยัง Thing Speak

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. กล้องที่ใช้งานมีความละเอียดต่ำ ทำให้มีความคาดเคลื่อนในการคัดแยกประเภทขยะพลาสติกรีไซเคิล
2. สภาพแวดล้อมสถานที่ในการทดลองมีผลต่อการคัดแยกทำให้มีความคาดเคลื่อนในการคัดแยกประเภทขยะพลาสติกรีไซเคิล
3. ข้อจำกัดในการใช้ที่สามารถคัดแยกขยะพลาสติกรีไซเคิลได้แค่ ประเภทขวดในขนาดที่กำหนด
4. การแสดงผลข้อมูลผ่าน Thing Speak มีการประมวลผลที่ไม่เรียลไทม์ ทำให้เกิดความล่าช้าในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการคัดแยกขยะพลาสติกรีไซเคิลควรมีประเภทของการคัดแยกที่มากขึ้น โดยใช้เกณฑ์การวัดอย่างอื่นมาช่วยในการตัดสินใจ
2. ควรมีการจัดเก็บขยะพลาสติกรีไซเคิลที่มีการคัดแยกแล้วให้อยู่ในที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] BRIAN CLARK HOWARD,AMINA LAKE ABDELRAHMAN, Exactly What Every Plastic Recycling Symbol Really Means, Feb 18, 2022, https://www.goodhousekeeping.com/home/g804/recycling-symbols-plastics-460321/

[2] Edge-Impulse, https://www.edgeimpulse.com/

[3] Surapong Kanoktipsatharporn, Transfer Learning คืออะไร, Jan 14 2020, https://www.bualabs.com/archives/3493/what-is-transfer-learning-build-headless-mobilenet-model-transfer-learning-machine-learning-mobilenet-json-retrain-webcam-tensorflow-js-tfjs-ep-10/

[4] erikreppel, Visualizing parts of Convolutional Neural Networks using Keras and Cats, Jan 23 2017, https://hackernoon.com/visualizing-parts-of-convolutional-neural-networks-using-keras-and-cats-5cc01b214e59

[5] Riverplus, What is MQTT,May 7 2020, https://iiot.riverplus.com/mqtt/

[6] Node-Red, https://nodered.org/docs/getting-started/raspberrypi

[7] Ashish Choudhary./ 2022/Tomato Sorting Machine using Edge Impulse TinyML on Raspberry Pi/https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/tomato-sorting-machine-using-raspberry-pi

[8] Shi, C.; Tan, C.;Wang,T.;Wang,L. A Waste Classification Method Based on Multilayer Hybrid Convolution Neural Network App.Sci 2021, 11,8572. https://doi.org/10.3390/app11188572

[9] Olugboja Adedeji,Zenghui Wang ,Intelligent WasteClassification System Using Deep Learning Convolution Neural Network, The 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing,SMPM 2019

[10] Janusz Bobulski, Mariusz Kubanek,Deep Learning forPlastic Waste Classification System,5 May 2021,https://www.hindawi.com/journals/acisc/2021/6626948/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Louis Moreau, Utilize Custom Processing Blocks in Your Image ML Pipelines, September 28, 2021, from https://www.edgeimpulse.com/blog/utilize-custom-processing-blocks-in-your-image-ml-pipelines

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รหัสการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภาษา Python ในการเขียนโปรแกรม

```
import pygame
import cv2
import os
import sys, getopt
import signal
import time
from edge_impulse_linux.image import ImageImpulseRunner
import RPi.GPIO as GPIO
runner = None
show_camera = False
framee_count=0

from adafruit_servokit import ServoKit
kit = ServoKit(channels=8)

led_pin1 = 12
led_pin2 = 6
GPIO.setup(led_pin1, GPIO.OUT)
GPIO.setup(led_pin2, GPIO.OUT)

def now():
    return round(time.time() * 1000)
def get_webcams():
    port_ids = []
    for port in range(5):
        print("Looking for a camera in port %s:" %port)
        camera = cv2.VideoCapture(port)
        if camera.isOpened():
            ret = camera.read()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if ret:
                backendName =camera.getBackendName()
                w = camera.get(3)
                h = camera.get(4)
                print("Camera %s (%s x %s) found in port %s " %(backendName,h,w,
port))
                port_ids.append(port)
            camera.release()
    return port_ids
def sigint_handler(sig, frame):
    print('Interrupted')
    if (runner):
        runner.stop()
    sys.exit(0)
signal.signal(signal.SIGINT, sigint_handler)
def help():
    print('python classify.py <path_to_model.eim> <Camera port ID, only required
when more than 1 camera is present>')
def main(argv):
    framee_count=0
    try:
        opts, args = getopt.getopt(argv, "h", ["--help"])
    except getopt.GetoptError:
        help()
        sys.exit(2)
    for opt, arg in opts:
        if opt in ('-h', '--help'):
            help()
            sys.exit()
    if len(args) == 0:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        help()
        sys.exit(2)
    model = args[0]
    dir_path = os.path.dirname(os.path.realpath(__file__))
    modelfile = os.path.join(dir_path, model)
    print('MODEL: ' + modelfile)
    with ImageImpulseRunner(modelfile) as runner:
        try:
            model_info = runner.init()
            print('Loaded runner for "' + model_info['project']['owner'] + ' / ' +
model_info['project']['name'] + '"')
            labels = model_info['model_parameters']['labels']
            if len(args)>= 2:
                videoCaptureDeviceId = int(args[1])
            else:
                port_ids = get_webcams()
                if len(port_ids) == 0:
                    raise Exception('Cannot find any webcams')
                if len(args)<= 1 and len(port_ids)> 1:
                    raise Exception("Multiple cameras found. Add the camera port ID as a
second argument to use to this script")
                videoCaptureDeviceId = int(port_ids[0])
            camera = cv2.VideoCapture(videoCaptureDeviceId)
            ret = camera.read()[0]
            if ret:
                backendName = camera.getBackendName()
                w = camera.get(3)
                h = camera.get(4)
                print("Camera %s (%s x %s) in port %s selected." %(backendName,h,w,
videoCaptureDeviceId))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        camera.release()
    else:
        raise Exception("Couldn't initialize selected camera.")
    next_frame = 0 # limit to ~10 fps here
    for res, img in runner.classifier(videoCaptureDeviceId):
        if (next_frame > now()):
            time.sleep((next_frame - now()) / 1000)
        # print('classification runner response', res)
        data = []
        framee_count  = framee_count +1
        print("Frames: ", framee_count)
        if "classification" in res["result"].keys():
            print('Result (%d ms.) ' % (res['timing']['dsp'] +
res['timing']['classification']), end='')
            for label in labels:
                score = res['result']['classification'][label]
                #    print(score)
                print('%s: %.2f\t' % (label, score), end='')
                data.append(score)
            print('', flush=True)
            none = round(data[0],2)
            one = round(data[1],2)
            two= round(data[2],2)
            print(none, one, two)


            if (one >=0.80 and framee_count%10 ==0):
                while(one >=0.80):
                    kit.servo[3].angle = 95
                    one=0.01
                    time.sleep(1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                kit.servo[3].angle = 150
                pygame.mixer.init()
                pygame.mixer.music.load("PET.mp3")
                pygame.mixer.music.play()
                GPIO.output(led_pin1, GPIO.HIGH)
                time.sleep(1)
                GPIO.output(led_pin1, GPIO.LOW)
                kit.servo[3].angle = 95
            if (two >=0.80 and framee_count%10 ==0):
                while(two >=0.80):
                    kit.servo[4].angle = 85
                    GPIO.output(led_pin2, GPIO.HIGH)
                    two=0.01
                    time.sleep(1)
                    kit.servo[4].angle = 30
                    pygame.mixer.init()
                    pygame.mixer.music.load("HDPE.mp3")
                    pygame.mixer.music.play()
                    time.sleep(1)
                    kit.servo[4].angle = 85
                    GPIO.output(led_pin2, GPIO.LOW)
            else:
                time.sleep(0.01)
            # print('%s: %.2f\t' % (Green,Red,Uncertain), end ='')
            if (show_camera):
                cv2.imshow('edgeimpulse', img)
                if cv2.waitKey(1) == ord('q'):
                    break
        elif "bounding_boxes" in res["result"].keys():
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                print('Found %d bounding boxes (%d ms.)' %
(len(res["result"]["bounding_boxes"]), res['timing']['dsp'] + res['timing']['classification']))
                for bb in res["result"]["bounding_boxes"]:
                    print('\t%s (%.2f): x=%d y=%d w=%d h=%d' % (bb['label'],
bb['value'], bb['x'], bb['y'], bb['width'], bb['height']))
                next_frame = now() + 100
        finally:
            if (runner):
                runner.stop()
# framee_count=0
if __name__ == "__main__":
    main(sys.argv[1:])
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

Chutithep Kumjan received the High Vocational Certificate in Electrical Control from Kanchanaburi Technical College in 2020, the Vocational Certificate in Electrical Power from Kanchanaburi Technical College in 2018. He is currently a student for the Degree of Bachelor of Instrumentation Engineering, School of Engineering, KMIT'L, Bangkok.

My Advisor

(Approved Profiles@ Jan 1,2023)

Arjin Numsomran
arjin.nu@kmitl.ac.th

Assoc. Prof. Dr. Arjin Numsomran received the D.Eng. degree in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMIT'L) in 2018, the M.Eng. degree in Electrical Engineering from KMIT'L in 2001, and the B.Eng. degree in Instrumentation Engineering from KMIT'L in 1998. He is currently an Associate Professor with the Department of Instrumentation and Control Engineering, School of Engineering, KMIT'L, Bangkok. His research interests include Control System (CS) Analysis and Design, Embedded Control System (ECS), Instrumentation and Measurement System (IMS), Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT), and Safety Instrumented System (SiS).

.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้