

กล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อก
ผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)

AIoT Camera for Analog Water Meter



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม


คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AIoT Camera for Analog Water Meter

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, pagoda-like structures. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text in the center of the seal reads: NARINTIP SEWEEWANLOP, PEEMAPOT PATCHAIYO, and THANAWIT MANUSON.

NARINTIP SEWEEWANLOP
PEEMAPOT PATCHAIYO
THANAWIT MANUSON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	กล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ต ทุกสรรพสิ่ง (IoT) AIOT CAMERA FOR ANALOG WATER METER		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวนรินทร์ทิพย์	เสวีวัลลภ	รหัสนักศึกษา 64015067
	นายกัมปศ	แพทย์ไชโย	รหัสนักศึกษา 64015110
	นายธนวิทย์	มานุสนธิ์	รหัสนักศึกษา 64015175
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อาจินต์	น่วมสำราญ	
ปีการศึกษา	2566		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ เพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่ใช้โดยมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านแอปพลิเคชันมือถือและระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) จากมาตรวัดน้ำ ชุดข้อมูลภาพการใช้น้ำที่เป็นตัวเลขจะถูกรวบรวมและใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการจำแนกที่แม่นยำ รวบรวม และดาวน์โหลดแบบจำลองการจัดประเภท เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ผ่านการฝึกฝนโดยมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเข้ามาช่วยในการตัดสินใจคือ FOMO (Faster object, more object) ที่ได้รับความแม่นยำถึง 98.6 เปอร์เซ็นต์ และตรวจสอบแล้วลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML TinyML สำหรับการจำแนกข้อมูลการใช้น้ำเป็นตัวเลขตามเวลาจริง แอปพลิเคชันมือถือได้รับการออกแบบให้ใช้งานง่ายและสนับสนุนในส่วนของ 9 ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ยืดหยุ่น ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ยั่งยืน และครบวงจร

Thesis Title	AIOT CAMERA FOR ANALOG WATER METER
Authors	Ms. Narintip Seweewanlop Mr. Peemapot Patchaiyo Mr. Thanawit Manuson
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Arjin Numsomran
Year	2023

ABSTRACT

This project presents an AIoT Camera for Analog Water Meter, an innovation that employs artificial intelligence to monitor the quantity of water utilized by an analog water meter via a mobile application and an IoT system. From the water meter, numerical water usage image datasets are collected and used to develop an accurate classification model. Compiling and downloading a trained and validated AI classification model FOMO (Faster object, more object) accuracy of 98.6% into the microcontroller board Arducam Pico4ML TinyML for real-time numerical water usage data classification. The mobile application is designed to be user-friendly and to support Section 9 of the Sustainable Development Goals (SDGs), which involves developing resilient infrastructure. Promote sustainable and comprehensive industrial development.

กิจกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยมีคำแนะนำ คำปรึกษาตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโครงการจาก รศ.ดร.อาจินต์ น่วมสำราญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปริญญาานิพนธ์ และเป็นอาจารย์ผู้ให้คำแนะนำวิธีคิด ทักษะคิดตลอดจนเป็นกำลังใจ และเป็นผู้สนับสนุนในการทำโครงการให้แก่ผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในสาขาภาควิชาวัดคุมทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจในการทำโครงการนี้ ซึ่งมีคุณค่า และประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI).....	3
2.1.1 การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning : ML).....	4
2.1.1.1 Supervised Learning.....	4
2.1.1.2 Unsupervised Learning.....	4
2.1.1.3 Reinforcement Learning.....	4
2.1.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning : DL).....	4
2.1.2.1 การจำแนกภาพ (Image Classification).....	5
2.2 Fast object, more object (FOMO) และ MobileNetV2.....	5
2.3 Transfer learning.....	7
2.4 Edge impulse.....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 MQTT	8
2.5.1 ส่วนประกอบของ MQTT.....	9
2.5.2 หลักการทำงานของ MQTT	9
2.6 User Interface (UI)	11
2.7 User Experience (UX).....	12
2.8 Thunkable.....	12
2.9 Arducam Pico4ML TinyML.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	14
3.1 กล่าวนำ	14
3.2 องค์ประกอบหลักของระบบ.....	14
3.3 การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ	16
3.4 การออกแบบการเรียนรู้ของเครื่องจักร.....	18
3.4.1 ชุดข้อมูล (Dataset)	19
3.4.2 Edge impulse	20
3.4.2.1 การได้มาซึ่งของข้อมูล (Data acquisition).....	20
3.4.2.2 การฝึกฝนโมเดล (Training model)	23
3.4.2.2.1 Create impulse	23
3.4.2.2.2 Image	24
3.4.2.2.3 Object detection	25
3.4.2.3 การทดสอบโมเดล (Testing model).....	27
3.4.2.4 การใช้งาน (Deployment).....	28
3.4.2.4.1 Create library.....	28
3.4.2.4.2 Select optimizations.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ThingSpeak.....	29
3.5.1 การสมัครสมาชิก ThingSpeak.....	29
3.5.2 การใช้งาน ThingSpeak.....	30
3.5.3 ThingSpeak API คีย์เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล.....	32
3.5.4 ตั้งค่าการเชื่อมต่ออุปกรณ์ MQTT.....	33
3.6 Thunkable.....	34
3.6.1 การออกแบบแอปพลิเคชันโดย Thunkable.....	34
3.6.1.1 สร้างบัญชีใช้งาน Thunkable.....	34
3.6.1.2 สร้างโปรเจคบน Thunkable.....	34
3.6.1.3 การออกแบบหน้าต่างลงชื่อเข้าใช้ (Log in).....	35
3.6.1.4 การออกแบบหน้าต่างสมัครสมาชิก (Sign up).....	36
3.6.1.5 การออกแบบหน้าต่างมอนิเตอร์ (Monitoring).....	37
3.6.1.6 การออกแบบหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog).....	38
3.7 หลักการทำงานของกระบวนการทั้งหมด.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	43
4.1 กล่าวนำ.....	43
4.2 ผลการฝึกฝนโมเดล.....	43
4.3 ผลการทดสอบโมเดล.....	45
4.4 ผลการทดลองนำไปใช้จริง.....	46
4.5 ผลการบันทึกข้อมูลบน ThingSpeak.....	53
4.6 ผลการมอนิเตอร์บนแอปพลิเคชัน.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	56
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก	61
ประวัติผู้เขียน.....	84



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการจำแนก Confusion matrix	44
4.2 ผลการทดลองจริง (ตัวเลขเดียวกัน).....	47
4.3 ผลการทดลองจริง (ตัวเลขแตกต่างกัน).....	52



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่องจักร 3 และการเรียนรู้เชิงลึก	3
2.2 แสดงสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม CNN สำหรับการจำแนกภาพ 5	5
2.3 แสดงสถาปัตยกรรม MobileNet V2 6	6
2.4 แสดงสถาปัตยกรรม Fast object, more object (FOMO) 6	6
2.5 แสดงโครงสร้าง Transfer learning 7	7
2.6 แสดงไดอะแกรม Edge impulse 8	8
2.7 แสดงหลักการทำงานของ MQTT 10	10
2.8 แสดงการเชื่อมต่อแบบ MQTT 11	11
2.9 แสดง UX/UI 12	12
2.10 แสดงเว็บไซต์ Thunkable 13	13
2.11 แสดง Arducam Pico4ML TinyML 14	14
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่าน 15 มาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)	15
3.2 แสดงการออกแบบกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่าน 16 อินเทอร์เน็ตทุก สรรพสิ่ง (IoT) มุมมองจากด้านบน	16
3.3 แสดงการออกแบบกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่าน 17 อินเทอร์เน็ตทุก สรรพสิ่ง (IoT) มุมมองจากด้านข้าง	17
3.4 แสดงโครงสร้างกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่าน 17 อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ในโปรแกรม AutoCAD	17
3.5 แสดงแผนภาพ Wiring Diagram 18	18
3.6 แสดงชิ้นงานสมบูรณ์ของกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่าน 18 มาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)	18
3.7 แสดงการแยกรูปภาพจากชุดข้อมูล MNIST 19	19
3.8 แสดงการรูปภาพจากชุดข้อมูล MR-AMR 19	19

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 แสดงกระบวนการสร้างโมเดลการจำแนกประเภทของภาพ	20
3.10 แสดงหน้าต่างอัปโหลดชุดข้อมูลตัวเลขของมาตรวัดน้ำ.....	20
3.11 แสดงอัตราการแบ่งชุดข้อมูลฝึกฝน 80 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบ 20 เปอร์เซ็นต์.....	21
3.12 แสดงการเลือกติดฉลากคิว (Labeling queue)	22
3.13 แสดงการติดตามวัตถุ (Object tracking).....	22
3.14 แสดงจำนวนรูปในชุดข้อมูลฝึกฝน และทดสอบ	23
3.15 แสดงการกำหนดสถาปัตยกรรมใน Impulse design.....	24
3.16 แสดงการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับข้อมูลดิบ	24
3.17 แสดง Feature explorer ของชุดข้อมูล.....	25
3.18 แสดงการกำหนดอุปกรณ์เป้าหมายอุปกรณ์ (Target device).....	26
3.19 แสดงผลการฝึกฝนโมเดล.....	26
3.20 แสดง Confusion matrix.....	27
3.21 แสดงผลการทดสอบโมเดล.....	27
3.22 แสดงหน้าต่างการเลือก C++ ไบบริารี.....	28
3.23 แสดงการเลือก Quantized (int8).....	29
3.24 แสดงตำแหน่งปุ่มสมัครสมาชิก ThingSpeak.....	30
3.25 แสดงหน้าต่างการสมัครสมาชิก ThingSpeak.....	31
3.26 แสดงการสร้าง Channels	31
3.27 แสดงฟอร์มสร้าง Channel.....	31
3.28 แสดงตัวอย่างการเพิ่มหน้าต่างแสดงผลต่าง ๆ	32
3.29 แสดงหน้าต่างคีย์ API.....	33
3.30 แสดงหน้าต่าง MQTT Devices	33
3.31 แสดงหน้าต่าง Thunkable	34
3.32 แสดงการสร้างโปรเจคใหม่บน Thunkable.....	35
3.33 แสดงการออกแบบหน้าต่างลงชื่อเข้าใช้ (Log in).....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.34 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างลงชื่อเข้าใช้ (Log in).....	36
3.35 แสดงการออกแบบหน้าต่างสมัครสมาชิก (Sign up).....	36
3.36 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างสมัครสมาชิก (Sign up).....	37
3.37 แสดงการออกแบบหน้าต่างมอนิเตอร์(Monitoring).....	37
3.38 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างมอนิเตอร์(Monitoring).....	38
3.39 แสดงการออกแบบหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) แบบตัวเลข.....	38
3.40 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) แบบตัวเลข.....	39
3.41 แสดงการออกแบบหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) แบบกราฟ.....	39
3.42 แสดง Flowchart การเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ของทาง ThingSpeak.....	40
3.43 แสดง Flowchart การทำงานของอุปกรณ์ของกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่าน มาตรวัดน้ำแบบออนไลน์ผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT).....	41
3.44 แสดง Sequence diagram การทำงานของแอปพลิเคชัน.....	42
4.1 แสดงผลการทดสอบโมเดลชุดข้อมูลทดสอบ MNIST และ MR-AMR.....	45
4.2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์บนมาตรวัดน้ำ และแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ.....	46
4.3 แสดงผลการบันทึกข้อมูลบน ThingSpeak.....	53
4.4 แสดงผลมอนิเตอร์บนแอปพลิเคชัน (คอมพิวเตอร์).....	54
4.5 แสดงผลมอนิเตอร์บนแอปพลิเคชัน (โทรศัพท์มือถือ).....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญญาประดิษฐ์

เนื่องจากปัจจุบันเจ้าหน้าที่ภาครัฐของการประปาหรือเจ้าของหอพักนั้นต้องเดินทางมาตรวจมาตรวัดน้ำทุกเดือนและเดินทางมาตรวจมาตรวัดน้ำในหลายสถานที่อีกทั้งบางสถานที่ยังมีความยากลำบากในการเข้าถึงเพื่อตรวจวัดเนื่องจากมีปัญหาเหล่านี้ ผู้จัดทำจึงได้เกิดความคิดที่จะแก้ไขปัญหาและสร้างนวัตกรรมที่สามารถตรวจวัดมาตรน้ำ ซึ่งจะมีการตรวจสอบตัวเลขบนหน้าปัดของมาตรวัดน้ำ ประกอบกับสามารถส่งข้อมูลไปยังโทรศัพท์มือถือ เพื่อที่จะช่วยในเรื่องของความสะดวกสบาย และมีความรวดเร็วในการตรวจวัด โดยจะใช้หลักการของปัญญาประดิษฐ์ (AI) [2][13] เข้ามาเป็นส่วนช่วยในการตรวจจับภาพ มีการประมวลผลเพื่อที่จะอ่านตัวเลขบนมาตรวัด และสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สายหรืออินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ซึ่งจะตรงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG's) ในหัวข้อที่ 9 [1] คือ การสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่มีความทนทาน ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมและยั่งยืน โดยมีเป้าประสงค์ที่ประกอบด้วย 3 ด้านหลัก คือ ด้านโครงสร้างพื้นฐาน อุตสาหกรรม และนวัตกรรม ซึ่งเป้าประสงค์ในเป้าหมายนี้จะเน้นไปที่การพัฒนาอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมและยั่งยืน นอกจากนี้ เป้าหมายที่ 9 ยังมีเป้าประสงค์ที่มุ่งเน้นให้มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่มีคุณภาพ และเข้าถึงได้โดยประชาชนทุกคน เพื่อที่จะสนับสนุนการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ ความเป็นอยู่ของมนุษย์ เพิ่มการเข้าถึงเทคโนโลยีด้านข้อมูลข่าวสาร และอินเทอร์เน็ต อีกทั้งยังพัฒนาประเทศจาก 4.0 ก้าวต่อไปเป็น 5.0

1.2 วัตถุประสงค์ปัญญาประดิษฐ์

1. เพื่อศึกษาและเรียนรู้เกี่ยวกับองค์ความรู้ในด้านการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับกล้อง
2. เพื่อศึกษาการเขียนอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (AI) บนไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML TinyML
3. เพื่อศึกษาการเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์ผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)
4. เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องอ่านมาตรวัดน้ำผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)
5. เพื่อออกแบบ และสร้างแอปพลิเคชันบนมือถือที่แสดงผลลัพธ์ค่าตัวเลขของมาตรวัดน้ำ

1.3 ขอบเขตปริญญาพนธ์

1. ออกแบบ และเขียนอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อที่จะอ่านค่ามาตรวัดน้ำบน ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico 4ML
2. สร้างอุปกรณ์อ่านค่ามาตรวัดน้ำด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
3. สร้างอุปกรณ์อ่านค่ามาตรวัดน้ำโดยใช้ห้องปฏิบัติการ Control System Lab และในหอพักนักศึกษา
4. ออกแบบ และสร้างแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับระบบปฏิบัติการ IOS และ Android
5. สามารถแสดงผลข้อมูลบนแอปพลิเคชัน และเก็บบันทึกข้อมูลลงในระบบคลาวด์ผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเกี่ยวกับการเขียนอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ (AI)
2. ศึกษาเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)
3. ศึกษาเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico 4ML
4. ศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ และพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
5. ศึกษาเกี่ยวกับการทำแอปพลิเคชัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

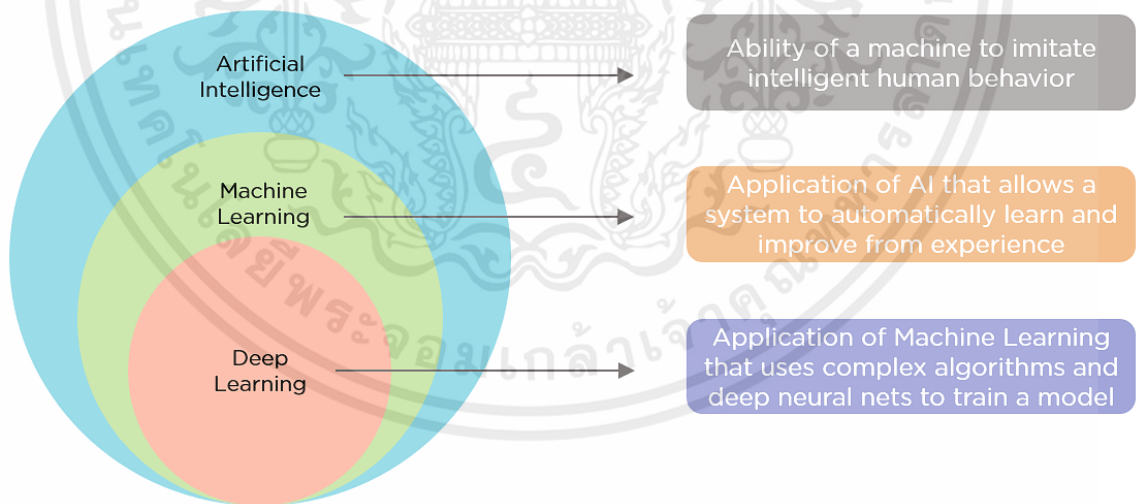
1. สามารถนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาช่วยในการวัด
2. สามารถสร้างอุปกรณ์อ่านค่ามาตรวัดน้ำผ่านระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT)
3. สามารถนำความรู้ในด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) ไปต่อยอดเพื่อสร้างรายได้
4. สามารถใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ เพื่อดูค่ามาตรวัดน้ำได้ในระยะไกล
5. สามารถประหยัดเวลา และเพิ่มความความสะดวกสบายให้แก่บุคลากร หรือเจ้าหน้าที่ที่มาตรวจสอบ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI)

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) [13] หมายถึง เทคโนโลยีการสร้างเครื่องจักรให้มีคุณลักษณะทางด้านสติปัญญาและความฉลาดเหมือนมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็น การคิดได้แบบมนุษย์ การกระทำได้แบบมนุษย์ การคิดอย่างมีเหตุผล และการกระทำอย่างมีเหตุผล โดยศาสตร์ที่เป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) มีความสามารถทางสติปัญญาและการเรียนรู้เหมือนมนุษย์ คือ การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning: ML) ที่สร้างโมเดลที่สามารถทำนายผลลัพธ์จากข้อมูลต้นฉบับได้อย่างแม่นยำ โดยใช้วิธีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ และสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) [3][4] ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เพื่อเรียนรู้ และสร้างโมเดลการจำแนกหรือการทำนายที่มีความซับซ้อน และเป็นซับเซตของการเรียนรู้ของเครื่องจักร



รูปที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่องจักร และการเรียนรู้เชิงลึก
ที่มา : <https://www.mandalasystem.com/blog/th/297/What-is-artificial-intelligence-AI>

2.1.1 การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning : ML)

เป็นการใช้อัลกอริทึม (Algorithm) ในการแยกแยะและวิเคราะห์ข้อมูล เรียนรู้จากข้อมูลนั้น เพื่อสร้างโมเดลในการตัดสินใจหรือคาดการณ์เกี่ยวกับบางสิ่งบางอย่างซึ่งการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ถูกใช้งานเสมือนเป็นสมองของปัญญาประดิษฐ์ อาจกล่าวได้ว่าปัญญาประดิษฐ์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรในการสร้างความฉลาด ซึ่งการสร้างโมเดลหรือรูปแบบการเรียนรู้จะมาจากข้อมูลที่มีอยู่โดยการเรียนรู้ด้วยตนเอง การเรียนรู้ของเครื่องจักรสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักตามอัลกอริทึมที่ใช้ ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 Supervised Learning

เป็นการสอนเครื่องจักรให้เรียนรู้การแบ่งชุดข้อมูลเพื่อสร้างโมเดลการอนุมาน โดยทำตามแบบจากชุดข้อมูลในอดีตที่มีการระบุ Input และ Output ไว้อย่างชัดเจน

2.1.1.2 Unsupervised Learning

เป็นการสอนเครื่องจักรให้เรียนรู้จากชุดข้อมูลที่ไม่มีการแบ่งกลุ่ม หรือระบุความสัมพันธ์ของข้อมูลไว้ชัดเจน เพราะฉะนั้นการเรียนรู้แบบนี้เครื่องจักรมีหน้าที่ต้องหาความสัมพันธ์และแบ่งกลุ่มของข้อมูลก่อนที่จะสร้างโมเดลการอนุมานขึ้นมา

2.1.1.3 Reinforcement Learning

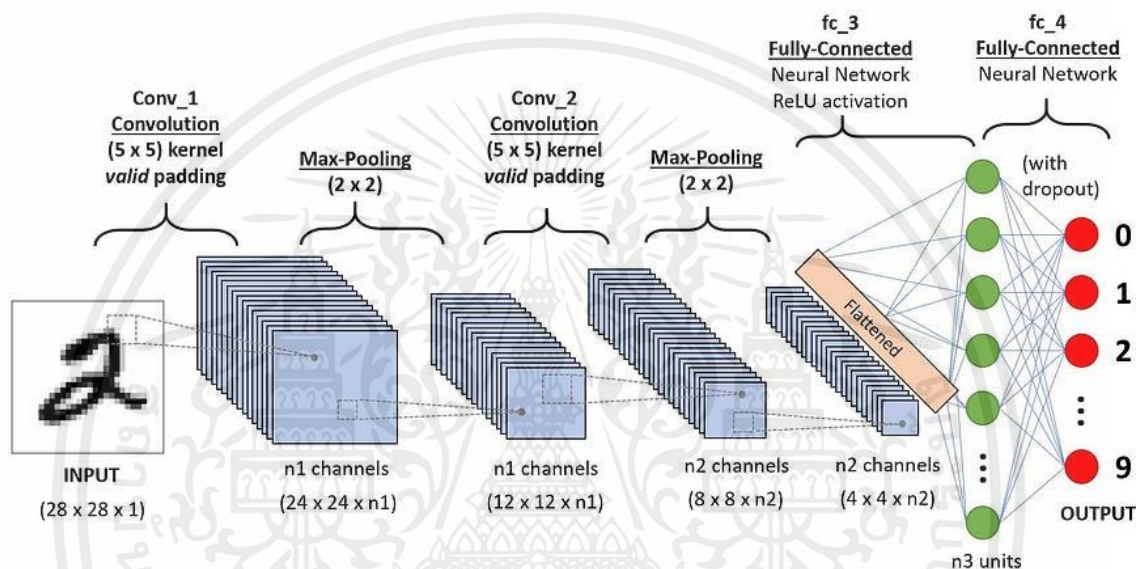
เป็นการสอนให้เครื่องจักรเรียนรู้ที่จะคิดหากลยุทธ์ที่ดีที่สุดจากสภาพแวดล้อมเพื่อที่จะได้รับ “รางวัล” หรือ สิ่งตอบแทนที่กำหนดไว้

2.1.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning : DL)

เป็นศาสตร์แขนงย่อยอยู่ใน Machine Learning อีกชั้นหนึ่ง ที่มีเป้าหมายเช่นเดียวกับ Machine Learning คือทำให้คอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้ แล้วนำความรู้ขึ้นมาใช้งานแต่ Deep Learning ใช้วิธีการหรือเทคนิคลักษณะเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มีความลึกหลายชั้น (Deep Neural Network: DNN) ที่เลียนแบบการทำงานของเซลล์เครือข่ายสมอง การประยุกต์ใช้ AI ที่กล่าวมาแล้วนั้น ความสำเร็จได้มาจากองค์ประกอบหลายส่วนด้วยกัน การเรียนรู้เชิงลึกก็เป็นหัวใจที่ขับเคลื่อนส่วนหนึ่งที่สำคัญของ AI ตัวอย่างเด่น ๆ ที่ใช้การเรียนรู้เชิงลึกในปริญญานิพนธ์ คือ การจำแนกภาพ (image Classification)

2.1.2.1 การจำแนกภาพ (Image Classification)

การวิเคราะห์ และจำแนกภาพ เช่น ภาพที่เป็นแมว/ไม่เป็น ภาพที่เป็นตัวเลข ภาพชิ้นส่วนที่ผิดปกติจากการผลิต ภาพที่เป็นโรคพืช/ไม่เป็น ฯลฯ โดยโมเดลสำหรับงานจำแนกภาพตัวเลขในปัญหานี้คือ FOMO (Fast object, more object) ที่มีพื้นฐานมาจาก MobileNetV2 ซึ่งก็คือ Convolutional Neural Network (CNN) [18] ที่ใช้ได้ดีสำหรับอุปกรณ์ขนาดเล็ก



รูปที่ 2.2 แสดงสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม CNN สำหรับการจำแนกภาพ

ที่มา : <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

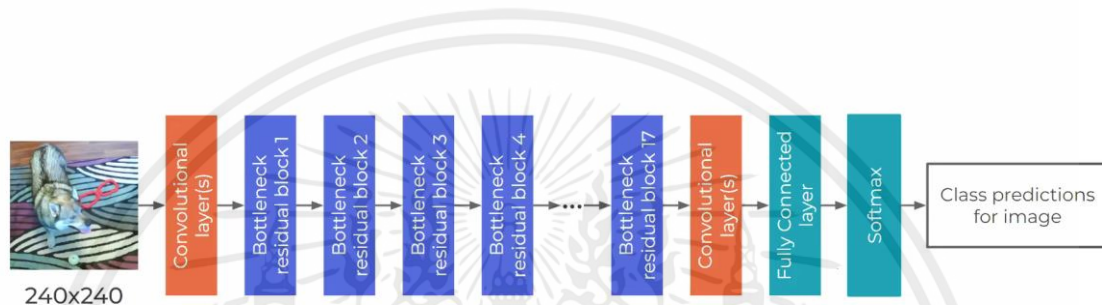
2.2 Fast object, more object (FOMO) และ MobileNetV2 [11]

FOMO (Faster Objects, More Objects) [9][10] เป็นอัลกอริทึมใหม่ของทาง Edge impulse ได้พัฒนาขึ้นมาที่นำเสนอในการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่นำไปใช้ในอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดมาก มันช่วยให้คุณสามารถนับวัตถุ, หาตำแหน่งของวัตถุในภาพ และติดตามวัตถุหลาย ๆ วัตถุในเวลาที่เป็นเรียลไทม์โดยใช้พลังงานประมวลผลและหน่วยความจำน้อยลงถึง 30 เท่า น้อยกว่า MobileNet SSD หรือ YOLOv5 และทำงานที่หน่วยความจำน้อยกว่า 200K ได้ โดย FOMO สามารถนำไปใช้ร่วมกับ MobileNetV2 [11] ที่เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบ CNN ซึ่งเป็นโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกที่ยอดนิยมสำหรับการจำแนกรูปภาพบนอุปกรณ์ประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

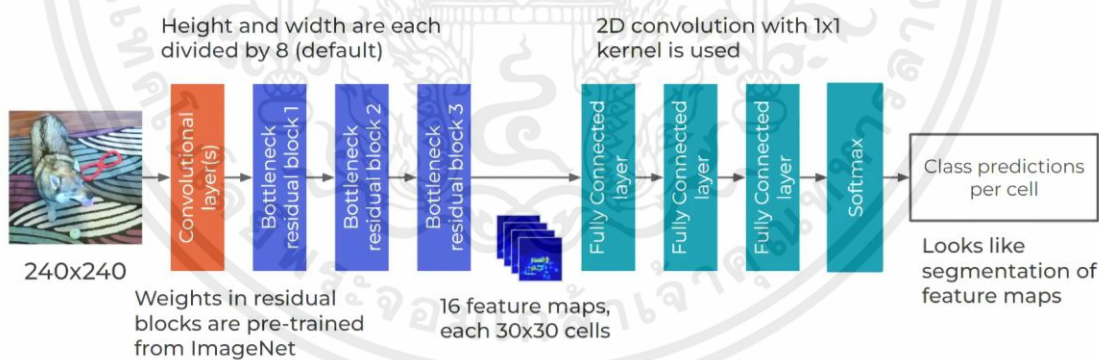
ตัวอย่างเช่น ใช้เครือข่ายประสาทเทียม FOMO ตรวจจับวัตถุที่ 30 เฟรมต่อวินาทีบน Arduino Nicla Vision ที่มีหน่วยความจำมากกว่า 200 KB หรือบน Raspberry Pi 4 นั้น FOMO สามารถตรวจจับวัตถุที่ 60fps ตรงข้ามกับประสิทธิภาพ 2fps ของ MobileNet SSD

Edge Impulse FOMO จะให้ความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่รวดเร็วและมีความแม่นยำทำให้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำนายวัตถุในรูปภาพ โดยใช้ทรัพยากรการประมวลผลและหน่วยความจำน้อยลง



รูปที่ 2.3 แสดงสถาปัตยกรรม MobileNet V2

ที่มา : <https://forums.tinyml.org/t/tinyml-talks-on-april-5-2022-constrained-object-detection-on-microcontrollers-with-fomo-by-shawn-hymel/865>

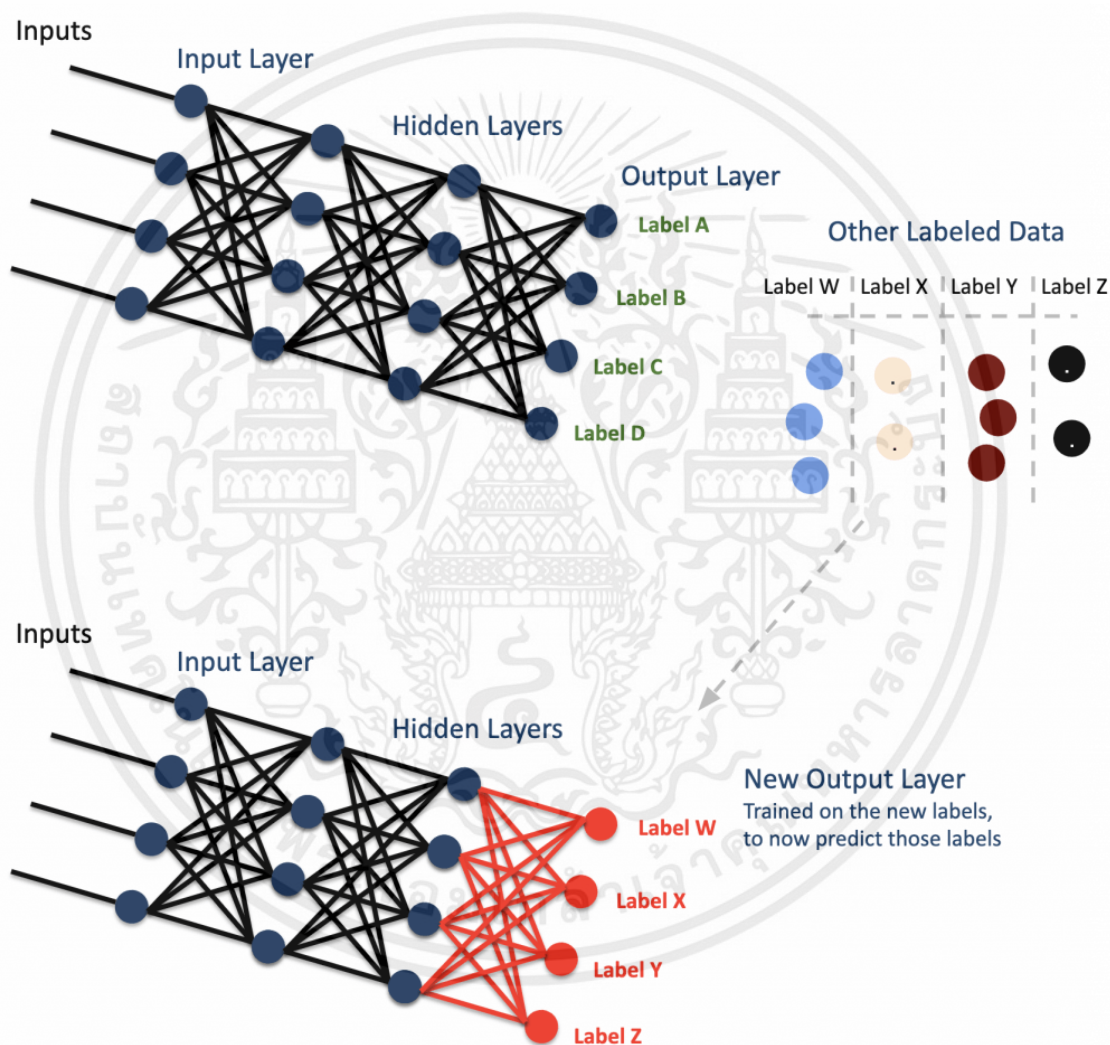


รูปที่ 2.4 แสดงสถาปัตยกรรม Fast object, more object (FOMO)

ที่มา : <https://forums.tinyml.org/t/tinyml-talks-on-april-5-2022-constrained-object-detection-on-microcontrollers-with-fomo-by-shawn-hymel/865>

2.3 Transfer learning

Transfer learning [5] เป็นการนำ Weight ของโมเดลที่ถูกฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลในงาน (pre-trained model) กลับมาใช้ใหม่กับอีกงาน แทนที่ต้องฝึกฝนด้วยตัวเองตั้งแต่ต้น ซึ่งอาจจะใช้เวลาเป็นวัน ๆ หรืออาทิตย์ โดยนอกจากเป็นทางเลือกที่ช่วยประหยัดเวลา การทำ Transfer Learning ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโมเดลในงานใหม่ด้วย



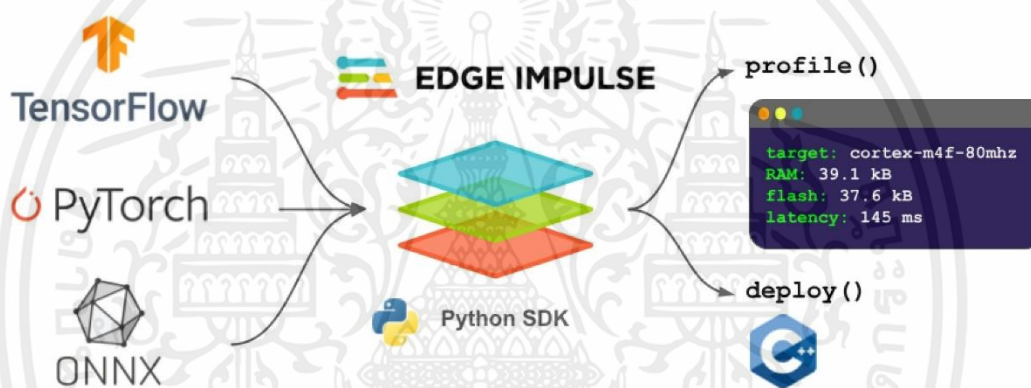
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้าง Transfer learning

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Edge impulse

Edge impulse [12] เป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาชั้นนำสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องจักรบนอุปกรณ์บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่าง ๆ ซึ่งฟรีสำหรับนักพัฒนา และได้รับความไว้วางใจจากองค์กรชั้นนำ ได้รับความไว้วางใจจากนักพัฒนาที่ดำเนินโครงการการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่สำคัญจากตัวอย่างข้อมูลนับล้านที่ Edge impulse เปิดใช้งานด้วยโซลูชันที่เป็นนวัตกรรมใหม่เพื่อสร้าง และปรับใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning) ที่ทำงานบนอุปกรณ์ฝังตัวด้วย Cortex-M MCU – RAM น้อยกว่า 128K เป็นเรื่องยากมากเพื่อสร้าง ทดสอบ และปรับใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่ฝังตัวในการแก้ปัญหานี้ Edge impulse ได้พัฒนา Edge Optimized คอมไพเลอร์ประสาท (EON)



รูปที่ 2.6 แสดงไดอะแกรม Edge impulse

ที่มา : <https://www.prnewswire.com/news-releases/edge-impulse-launches-bring-your-own-model-for-ml-engineers-301789120.html#>

2.5 MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) [6][7] คือโพรโตคอลในการส่งข้อมูลที่พัฒนา มาเพื่อใช้ในระบบ IOT มันทำงานแบบ Broker and Clients Network มันถูกออกแบบให้สามารถส่ง ข้อมูลแบบ Real-Time ในปริมาณข้อมูลทีน้อย ทำให้ใช้พลังงานต่ำมันถูกพัฒนามาจาก TCP/IP ที่มีการส่ง ข้อมูลแบบ One-To-One ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรมากซึ่งไม่เหมาะกับระบบ IOT เนื่องจากในระบบ IOT 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 เป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพสูง ส่งข้อมูลขนาดไม่มาก ใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากมันต้องเชื่อมต่อผ่านดาวเทียมซึ่งมีราคาการส่งข้อมูลสูงมากในขณะนั้น

2.5.1 ส่วนประกอบของ MQTT [19]

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

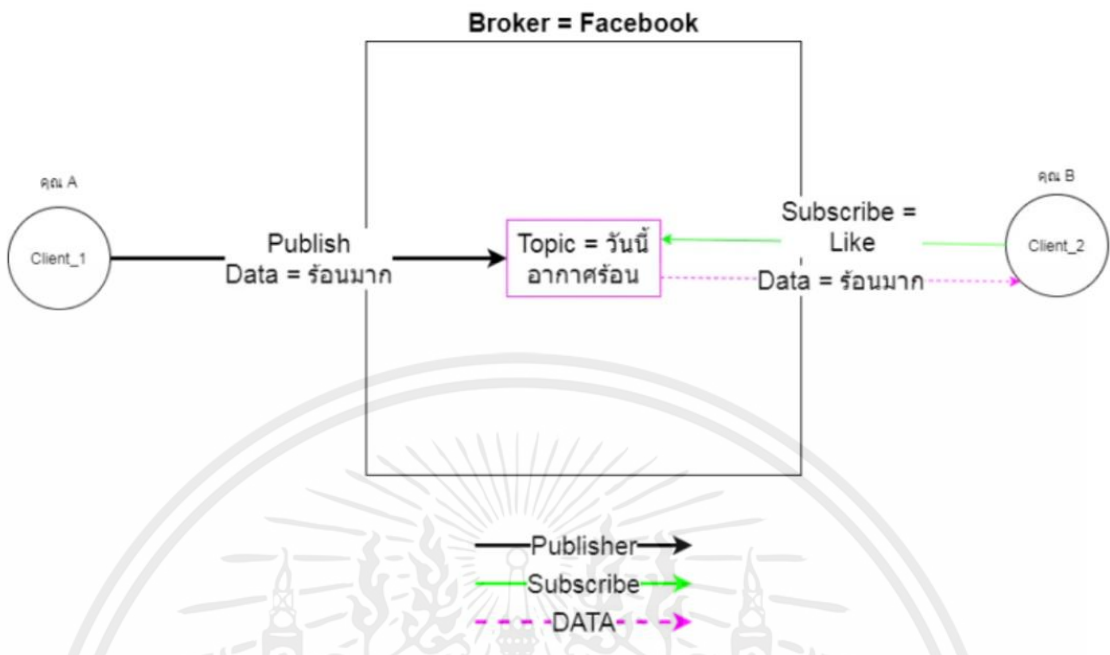
2.5.1.1 ไคลเอ็นต์ (Clients) MQTT คืออุปกรณ์ใดๆ ตั้งแต่เซิร์ฟเวอร์ไปจนถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกใช้ไลบรารี MQTT หากไคลเอ็นต์ส่งข้อความ มันทำหน้าที่เป็นผู้เผยแพร่ และหากไคลเอ็นต์รับข้อความ มันทำหน้าที่เป็นผู้รับ โดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์ใดๆ ที่สื่อสารโดยใช้ MQTT ผ่านเครือข่ายก็จะสามารถเรียกว่าเป็นอุปกรณ์ไคลเอ็นต์ MQTT

2.5.1.2 โบรกเกอร์ (Broker) เซิร์ฟเวอร์ MQTT เป็นระบบแบ็กเอนด์ที่ประสานงานการรับส่งข้อความระหว่างไคลเอ็นต์ต่างๆ หน้าที่ของโบรกเกอร์นั้นรวมถึงการรับและการกรองข้อความ การระบุไคลเอ็นต์ที่สมัครรับข้อความแต่ละข้อความ และการส่งข้อความไปที่ไคลเอ็นต์เหล่านั้น นอกจากนี้ยังมีหน้าที่งานอื่น ด้วย เช่น การอนุญาตและการรับรองความถูกต้องให้ไคลเอ็นต์ MQTT, การส่งต่อข้อความไปยังระบบอื่นเพื่อการวิเคราะห์เพิ่มเติม

2.5.1.3 การจัดการข้อความที่พลาดไป และเซสชันของไคลเอ็นต์

2.5.2 หลักการทำงานของ MQTT

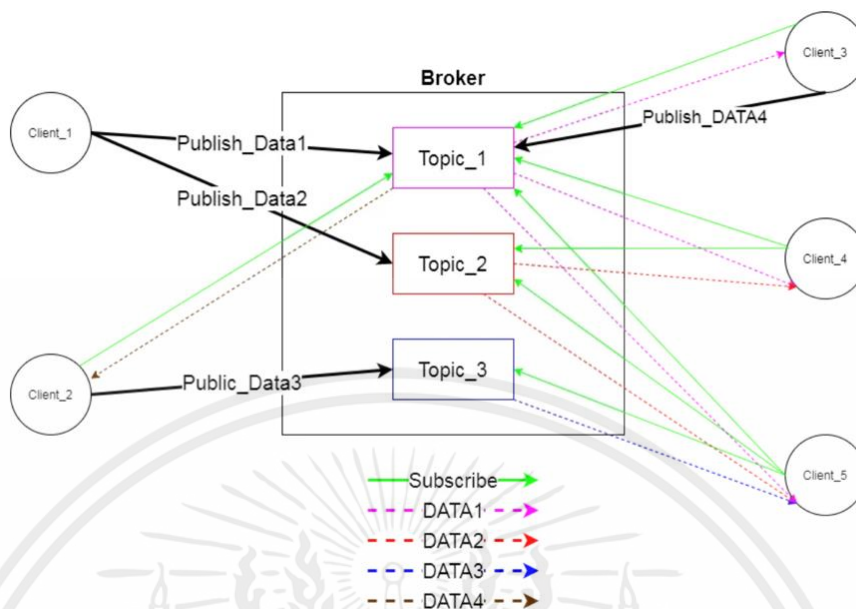
หลักการทำงานของ MQTT คือการรับส่งข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์โบรกเกอร์ และ ไคลเอ็นต์ (Publisher/Subscriber) โดยการประกาศหัวข้อการรับส่งข้อมูลเรียกว่า Topic ไว้ในโบรกเกอร์จากนั้น Publisher จะส่งข้อมูลไปยัง Topic นั้น ๆ และ Subscriber ก็จะได้รับข้อมูลทั้งหมดใน Topic นั้น ๆ เช่นกัน



รูปที่ 2.7 แสดงหลักการทำงานของ MQTT

ที่มา : <https://iiot.riverplus.com/mqtt/>

จากรูปที่ 2.7 จะเห็นถึงหลักการทำงานของ MQTT แต่ยังสามารถเชื่อมต่อได้หลากหลายรูปแบบ ไม่จำเป็นต้องมี Publisher หรือ Subscriber เพียงตัวเดียว ซึ่งสามารถนำหลายตัวมาเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูลกับโบรกเกอร์ได้ และไคลเอ็นต์สามารถเป็นทั้ง Publisher และ Subscriber ไปพร้อม ๆ กันได้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการเชื่อมต่อแบบ MQTT

ที่มา : <https://iiot.riverplus.com/mqtt/>

MQTT นั้นได้กลายเป็นหัวใจในการรับส่งข้อมูลของระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) แทน TCP/IP, HTTP เนื่องด้วยการสื่อสารของ HTTP นั้นเป็นแบบ Request and response มีข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลโดยฝั่ง Client ต้องทำการ request ไปยัง server ทุกครั้งที่ต้องการข้อมูลโดยในระบบอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) บางกรณีต้องการรับข้อมูลตลอดเวลาแบบ Real-Time จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการรับข้อมูล และนอกจาก HTTP และ TCP/IP ยังเป็นการรับส่งข้อมูลแบบ One-To-One มันเป็นการยากที่จะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังทุกอุปกรณ์ มันกินทรัพยากร และพลังงานอย่างมากซึ่งใน IOT นั้นเป็นเรื่องปกติที่จะส่งข้อมูลแบบ One-To-All

2.6 User Interface (UI)

ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน หรือ ส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน กล่าวคือ ส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถโต้ตอบกับการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่เรื่องของหน้าตา การออกแบบ และการดีไซน์ ยกตัวอย่างเช่น หน้าจอ แพลตฟอร์ม เมนู ฟอนต์ต่าง ๆ การวางภาพ ขนาดตัวอักษร ปุ่ม แป้นพิมพ์ เสียง หรือแม้แต่แสงไฟ เป็นต้น โดยการออกแบบหน้าจอผู้ใช้งานในแอปพลิเคชันสำหรับปริญญาบัตรต้องดูสะอาด เข้าใจง่าย ใช้งานง่าย มีมาตรฐานและเป็นมิตรต่อผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 User Experience (UX)

ประสบการณ์ของผู้ใช้งานในด้านความรู้สึกที่ตอบสนองต่อการใช้งานผลิตภัณฑ์ หรือระบบต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ความสะดวกสบาย ใช้งานง่าย ความสนุกสนาน จนเกิดเป็นความพึงพอใจสูงสุดหรือเกิดประสบการณ์ที่ดีของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.9 แสดง UX/UI

ที่มา : <https://www.bitmotion.co.th/2019/08/12/ux-ui-design/>

2.8 Thunkable [16]

เป็นเครื่องมือสร้างโมบายแอปพลิเคชัน เพื่อติดตั้งบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android และ iOS โดย Thunkable มีหลักการการทำงานเหมือนกับ MIT App Inventor โดยใช้หลักการเขียนโปรแกรมแบบ Visual Programming Language ซึ่งเป็นแนวทางการเขียนโปรแกรมมิ่งรุ่นใหม่ เน้นความง่ายต่อการเขียน และใช้หลักการต่อแบบบล็อก คือต่อเป็นบล็อก ๆ (Blockly) โดยยังรักษาหลักการการเขียนโปรแกรมมิ่งทุกอย่าง Thunkable มีเครื่องมือต่าง ๆ ให้ใช้ได้อย่างครบครันมากขึ้น อาทิเช่น ผู้ใช้สามารถเพิ่ม front ได้หลากหลายยิ่งขึ้น, มีสีให้เลือกมากยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับนักพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

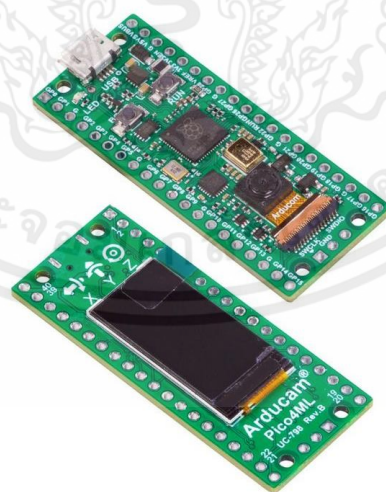


รูปที่ 2.10 แสดงเว็บไซต์ Thunkable

ที่มา : <https://www.scimath.org/article-technology/item/9099-thunkable>

2.9 Arducam Pico4ML TinyML

บอร์ดพัฒนาขนาดกะทัดรัดที่ใช้เทคโนโลยีของ Raspberry Pi RP2040 ที่มีชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex M0+ สองคอร์ที่ใช้พลังงานต่ำ Pico4ML รวม RP2040 เป็นตัวควบคุมหลัก, กล้อง QVGA เป็นเซ็นเซอร์ภาพ, Inertia Measurement Unit (IMU), หน้าจอกราฟิกขนาด 0.96 นิ้ว เพื่อแสดงข้อความเป็นผลลัพธ์, และไมโครโฟนสำหรับการรับเสียง. เป็นบอร์ดที่ทนทานและกะทัดรัดสำหรับ TFLite Micro ซึ่งใช้สำหรับการรันและการฝึกตัวอย่างการเรียนรู้ของเครื่องจักร ซึ่งเป็นบอร์ดที่ประหยัดพลังงาน



รูปที่ 2.11 แสดง Arducam Pico4ML TinyML

ที่มา : https://static.cytron.io/image/catalog/products/ADU-TINY4ML-2040/ADU-TINY4ML-2040_f.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานการจัดทำการออกแบบและสร้างกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) โดยจะแสดงโครงสร้างและองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบกล่องปัญญาประดิษฐ์ที่มีการทำการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการอ่านตัวเลขจากมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อก โดยในบทนี้จะกล่าวถึงในส่วนการออกแบบโมบายแอปพลิเคชันสำหรับมอนิเตอร์เพื่ออ่านค่าตัวเลขของมาตรวัดน้ำในรูปแบบเรียลไทม์ และการเก็บบันทึกข้อมูลมายังคลาวด์

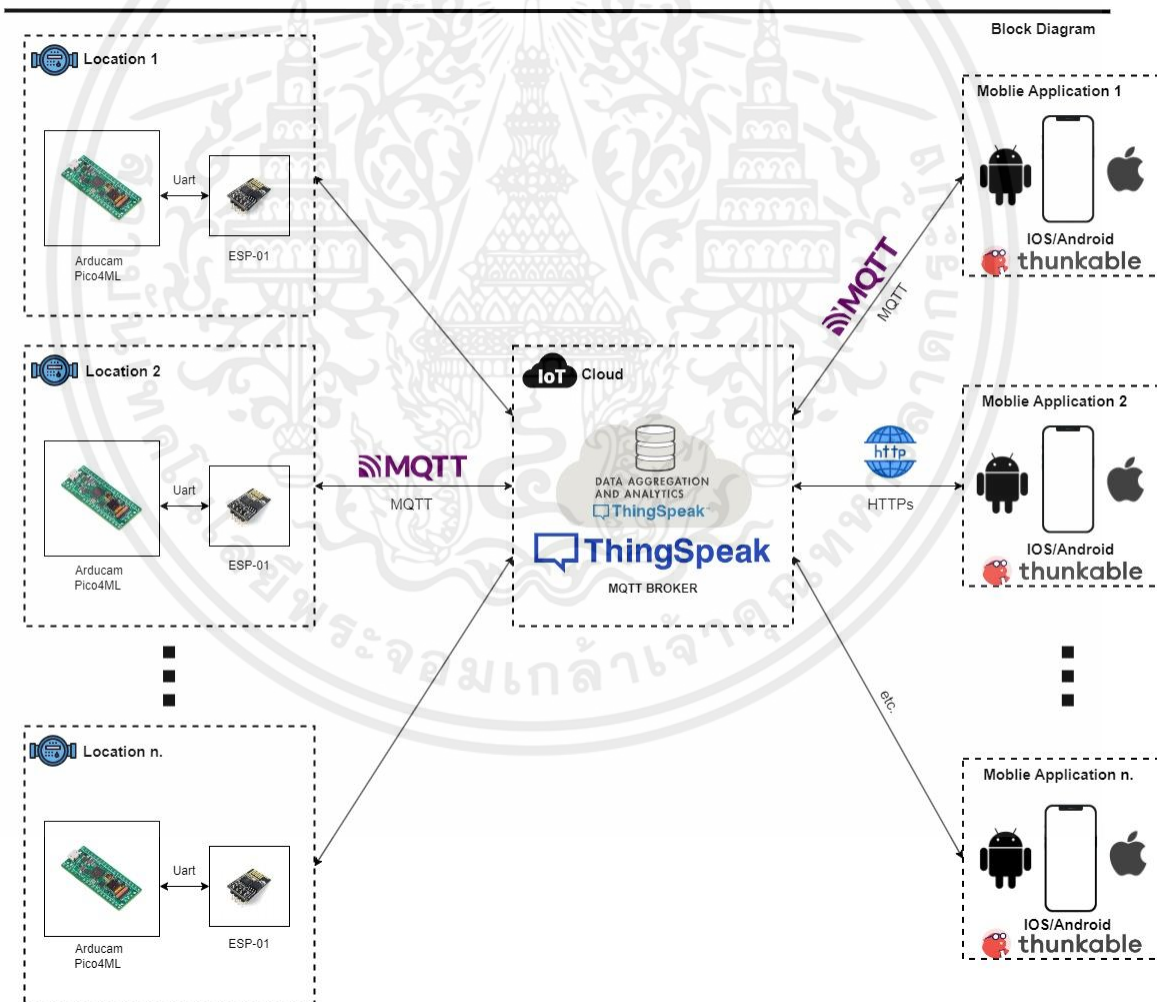
3.2 องค์ประกอบหลักของระบบ

ในการออกแบบกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) เพื่ออ่านตัวเลขจากมาตรวัดน้ำให้มาแสดงบนแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือโดยมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 สามารถแบ่งองค์ประกอบหลัก ๆ ได้เป็น 3 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ได้ดังนี้

1. ฮาร์ดแวร์ ส่วนเริ่มแรกของกระบวนการที่มีการสัมผัสหรือติดอยู่ที่บริเวณมาตรวัดน้ำโดยตรง ซึ่งทำหน้าที่อ่าน และจำแนกประเภทของตัวเลขจากมาตรวัดน้ำโดยวิธีการจำแนกของภาพ (Image Classification) อุปกรณ์สำหรับการทำงานในที่นี้เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML TinyML และ ESP-01 เป็นโมดูลไร้สายขนาดเล็กทำหน้าที่เชื่อมต่อกับไวไฟเพื่อให้อ่านและส่งข้อมูลไปมากับแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือ และแหล่งจ่ายไฟที่เป็นอุปกรณ์จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าคือแบตเตอรี่ความจุ 450 mAh แรงดันไฟ 3.7 V ขนาดเล็ก
2. ซอฟต์แวร์ เป็นส่วนหนึ่งของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลซึ่งเป็นชุดคำสั่งที่บอกวิธีการทำงานของคอมพิวเตอร์ ในการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมหรือขั้นตอนวิธี ให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้โปรแกรม Visual Studio Code ในการพัฒนาอัลกอริทึมของระบบ และการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ บนแพลตฟอร์ม Edge impulse ที่จะเข้ามาช่วยพัฒนาและสร้างโมเดลจำแนกประเภทของตัวเลข ส่วนการสร้างแอปพลิเคชัน

3. สำหรับแสดงผลของข้อมูล โดยเครื่องมือที่มีชื่อว่า Thunkable ที่เป็นเว็บไซต์พัฒนาและสร้างแอปพลิเคชันสำหรับผู้เริ่มต้น ซึ่งเป็นมิตรกับผู้ใช้เนื่องจากง่ายต่อการเรียนรู้มีเครื่องมือและชุดคำสั่งที่ใช้รูปแบบของ Blockly เป็นการสร้างบล็อกเหมือนการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างโค้ด
4. อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ส่วนที่นำข้อมูลที่ได้จากการอ่านตัวเลขจากมาตรวัดน้ำมาเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์รวมไปถึงสร้างรายงานเก็บข้อมูลได้แบบอัตโนมัติ ในที่นี่ใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า ThingSpeak เว็บไซต์ผู้ให้บริการระบบคลาวด์ให้เก็บข้อมูลและสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ได้

AIoT Camera for Analog Water Meter



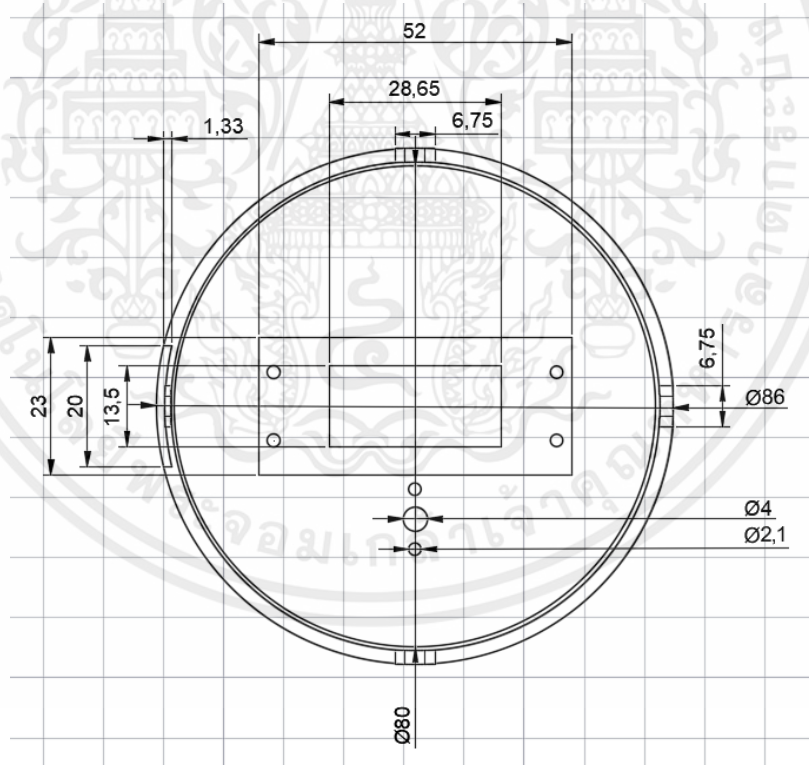
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

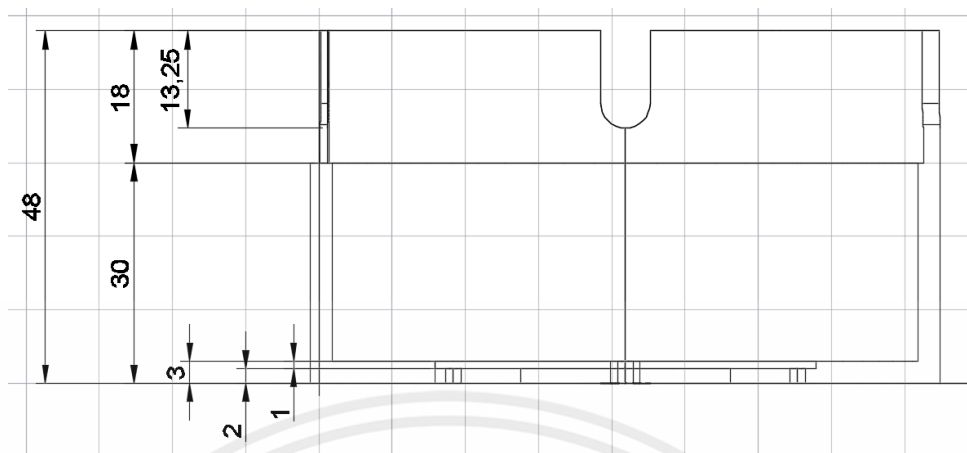
3.3 การออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ

เดิมการเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML TinyML ที่มีโมดูลกล้อง HiMax HM01B0, QVGA (320x240 @60fps) และหน่วยความจำ 264KB จึงทำให้การออกแบบกล่อง ปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) นี้ มีการออกแบบโครงสร้างให้เสมือนเป็นตัวฝาครอบมาตรวัดน้ำของยี่ห้อ SANWA รุ่น SV 15 ขนาด 1/2 นิ้วสีเขียวที่มีจำนวนตัวเลขสีหลักโดยใช้โปรแกรม AutoCAD สำหรับการออกแบบจำลองชิ้นงานในลักษณะ 3 มิติ โดยมีเป้าหมายในการใช้โปรแกรม UltiMaker Cura หรือเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อพิมพ์ชิ้นงานโมเดล 3 มิติ ที่จับต้องได้

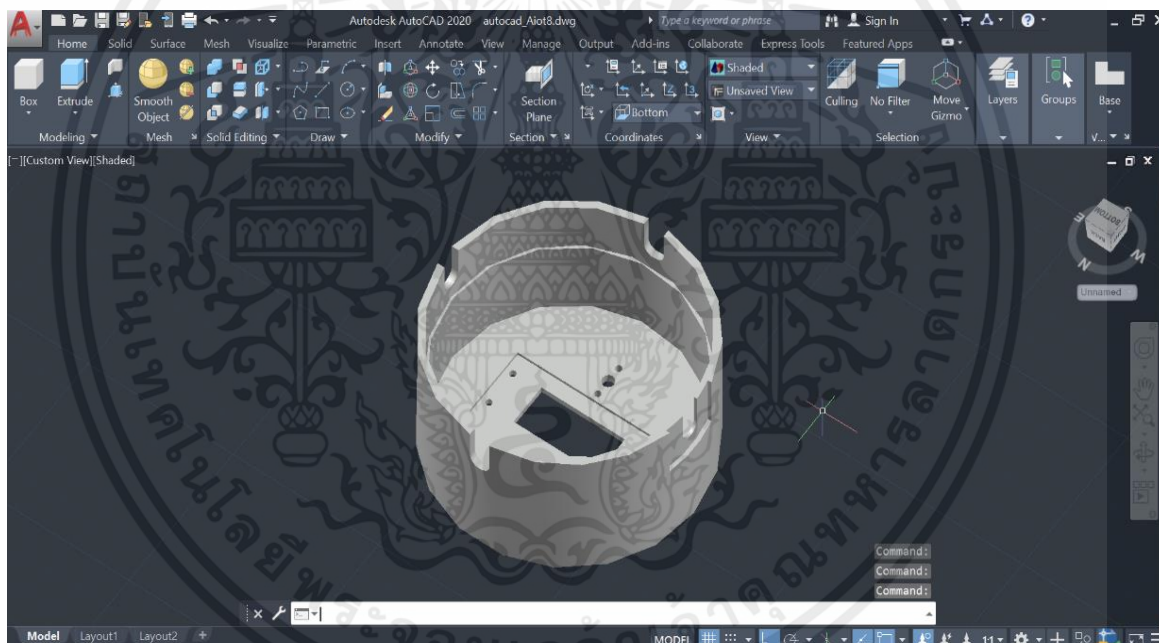
แนวคิดในการออกแบบโครงสร้าง มีการคำนึงถึงการยึดติดของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับชิ้นงานระยะเลนส์หรือระยะโฟกัสของกล้อง รวมไปถึงความสามารถของการบรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้ภายใน เช่น สายไฟ แบตเตอรี่ เป็นต้น และการสวมใส่เข้ากับมาตรวัดน้ำได้พอดี ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) มุมมองจากด้านบน



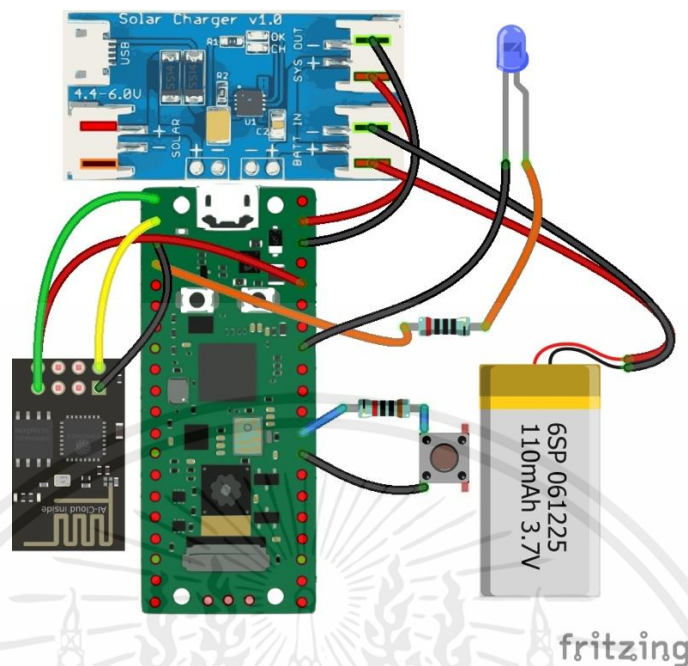
รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) มุมมองจากด้านข้าง



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ในโปรแกรม AutoCAD

หลังจากการออกแบบโครงสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดไปเป็นการใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อพิมพ์ชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานมาประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ ดังรูปที่ 3.5 เพื่อสร้างกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) โดยจะรวมอุปกรณ์ตัวประมวลผลข้อมูลเพื่อการสื่อสารและการควบคุมระบบอัตโนมัติของกล่องปัญญาประดิษฐ์ ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพ Wiring Diagram



รูปที่ 3.6 แสดงชิ้นงานสมบูรณ์ของกล่องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อก ผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)

3.4 การออกแบบการเรียนรู้ของเครื่องจักร

ในการออกแบบการทำให้คอมพิวเตอร์หรือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเรียนรู้และจำแนกสิ่งต่าง ๆ ได้ด้วยตัวเองนั้นจะต้องเข้าใจการทำงานของระบบการเรียนรู้ของเครื่องจักรก่อนว่ามีการทำงานได้กี่รูปแบบ และการทำงานแบบใดที่จะเหมาะสมกับงานที่ทำอยู่ซึ่งในกรณีการอ่านตัวเลขมาตรวัดน้ำที่มีการจำแนกประเภทของตัวเลขทำให้ต้องมีการระบุเป้าหมาย (Target) หรือโจทย์ให้ชัดเจน สอดคล้องกับ

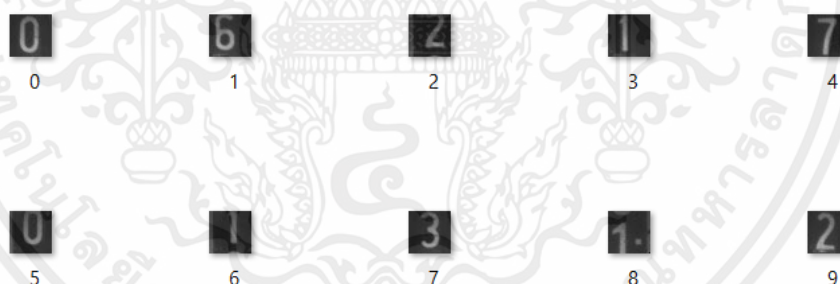
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ด้วยตัวเอง หลังจากเรียนรู้จากชุดข้อมูลตัวอย่างที่ถูกระบุเป้าหมายของแต่ละชุดข้อมูลแล้วคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลไปประมวล หรือจัดหมวดหมู่ (Classification) เพื่อจำแนกประเภทของข้อมูลต่อไป ในการออก

แบบการเรียนรู้ของเครื่องจักรส่วนนี้ได้นำแพลตฟอร์ม Edge impulse มาใช้สำหรับออกแบบและสร้างโมเดลการจำแนกประเภทของภาพตัวเลข (Image Classification) โดยจะมีการเตรียมชุดข้อมูล (Dataset) ของตัวเลขมาตรวจวัดนำก่อนนำไปยังแพลตฟอร์มสร้างโมเดลต่อไป

3.4.1 ชุดข้อมูล (Dataset)

ในการเก็บชุดข้อมูลตัวเลขของมาตรวัดน้ำตั้งแต่ตัวเลข 0 ไปถึงตัวเลขที่ 9 มีจำนวนทั้งหมด 2000 รูป ที่ประกอบไปด้วยชุดข้อมูล 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ชุดข้อมูล MNIST และ ชุดข้อมูล MR-AMR ดังรูปที่ 3.7 รูปที่ 3.8 ตามลำดับ โดยวิธีการได้มาซึ่งชุดข้อมูลมาจากโมดูลกล้อง HiMax HM01B0, QVGA (320x240 @60fps) ของบอร์ด Arducam Pico4ML Tiny ที่ได้ลงโปรแกรมไว้ให้สามารถถ่ายรูปตัวเลขมาตรวัดน้ำร่วมกับโปรแกรมที่มีชื่อว่า Processing



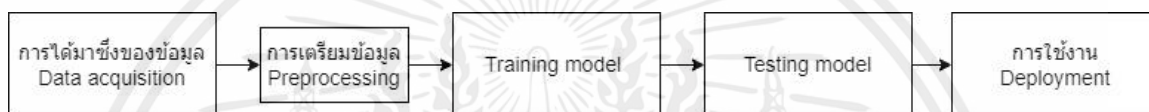
รูปที่ 3.7 แสดงการแยกรูปภาพจากชุดข้อมูล MNIST



รูปที่ 3.8 แสดงการแยกรูปภาพจากชุดข้อมูล MR-AMR

3.4.2 Edge impulse

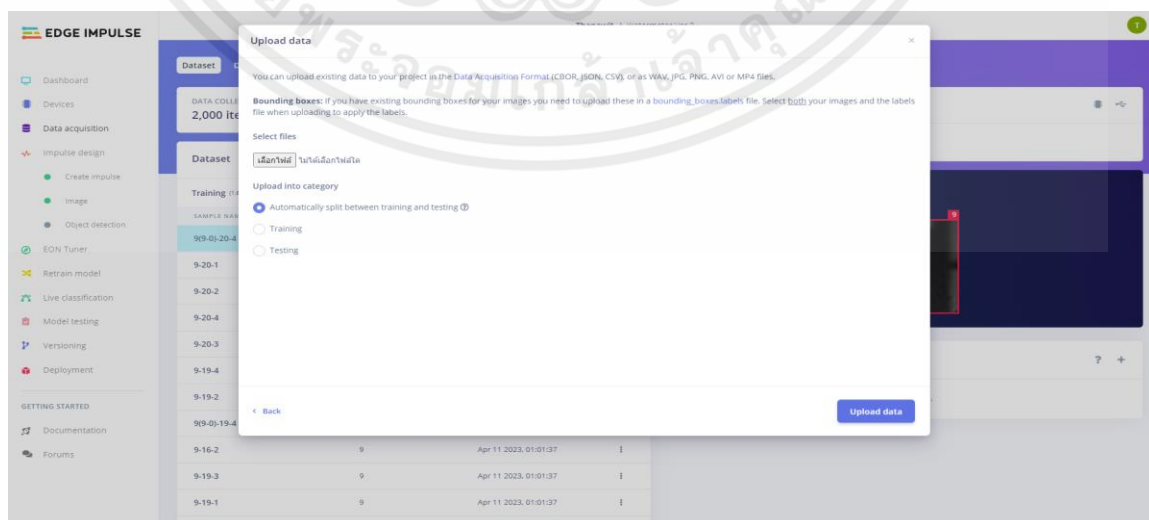
แพลตฟอร์มสำหรับการทำการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ในระบบการประมวลผลอยู่บนอุปกรณ์ (edge devices) เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งฟรีสำหรับนักพัฒนาและเป็นมิตรต่อผู้เริ่มต้นศึกษารวมไปถึงได้รับความไว้วางใจจากองค์กรต่าง ๆ ดังนั้น กระบวนการสร้างโมเดลจำแนกประเภทของภาพตัวเลขจะมี 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ 1. การได้มาซึ่งของข้อมูล (Data acquisition) 2. การฝึกฝนโมเดล (Training model) 3. การทดสอบโมเดล (Testing model) และ 4. การใช้งาน (Deployment) ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงกระบวนการสร้างโมเดลการจำแนกประเภทของภาพ

3.4.2.1 การได้มาซึ่งของข้อมูล (Data acquisition)

การนำเข้าชุดข้อมูลต่าง ๆ สู่แพลตฟอร์ม Edge impulse จากการเก็บข้อมูลผ่านแพลตฟอร์ม หรือจากการอัปโหลดชุดข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ในที่นี้ใช้วิธีการอัปโหลดชุดข้อมูลตัวเลขของมาตรวัดน้ำที่มีอยู่แล้ว จำนวน 2000 รูป ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลได้มีการถูกแบ่งเป็นชุดการฝึก (Train) และการทดสอบ (Test) อัตราการแบ่งชุดข้อมูลเป็นชุดฝึกและทดสอบอยู่ที่ประมาณ 80/20 ที่ทางแพลตฟอร์มแนะนำ ดังรูปที่ 3.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 แสดงหน้าต่างอัปโหลดชุดข้อมูลตัวเลขของมาตรวัดน้ำ

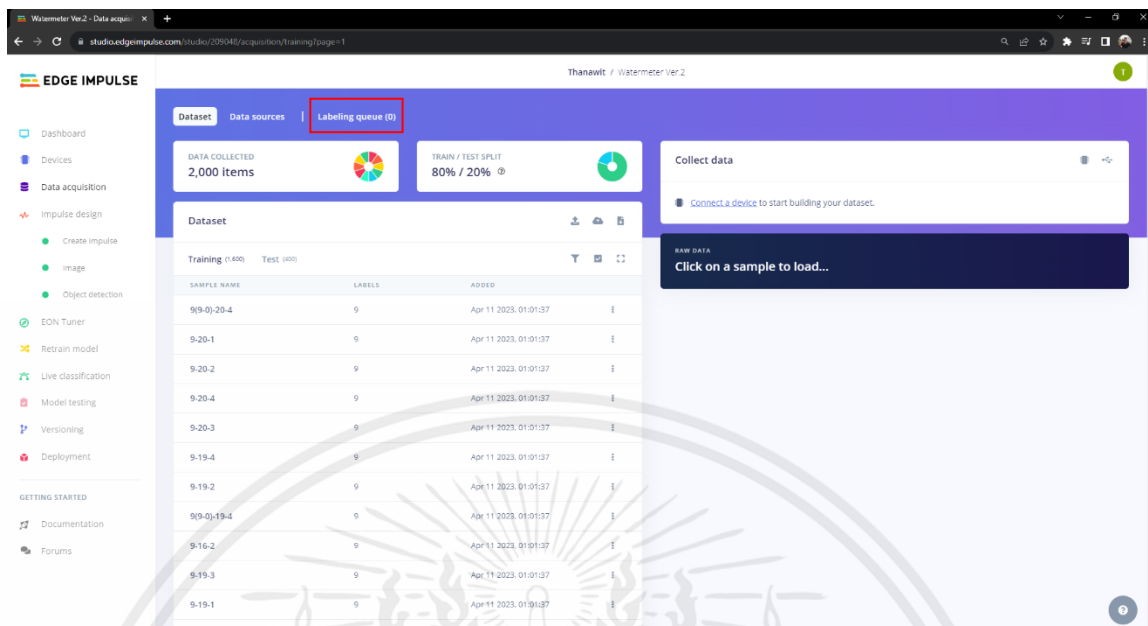
The screenshot shows the EDGE IMPULSE software interface. At the top, it displays 'EDGE IMPULSE' and 'Thanawit / Watermeter Ver.2'. The main area is divided into sections: 'Dataset' (Data sources | Labeling queue (0)), 'DATA COLLECTED' (2,000 items), and 'TRAIN / TEST SPLIT' (80% / 20%). Below this is a table of dataset samples:

SAMPLE NAME	LABELS	ADDED
9-9-01-20-4	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-20-1	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-20-2	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-20-4	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-20-3	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-19-4	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-19-2	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-9-01-19-4	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-16-2	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-19-3	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-19-1	9	Apr 11 2023, 01:01:37
9-16-3	9	Apr 11 2023, 01:01:37

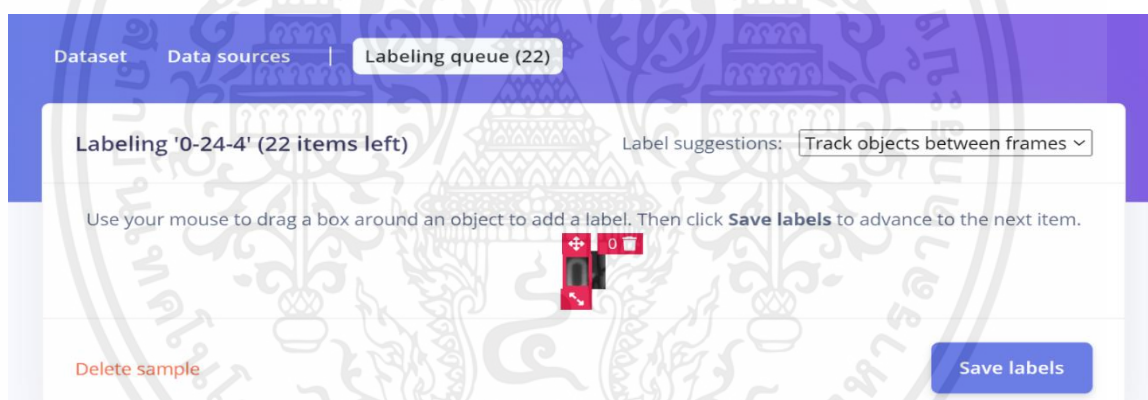
On the right, there is a 'Collect data' section with a 'Connect a device to start building your dataset.' button, and a 'RAW DATA' section with a 'Click on a sample to load...' button.

รูปที่ 3.11 แสดงอัตราการแบ่งชุดข้อมูลฝึกฝน 80 เปอร์เซ็นต์ และทดสอบ 20 เปอร์เซ็นต์

จากได้นำชุดข้อมูลเข้ามาเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะทำการกรอกรงการเก็บข้อมูลโดยตั้งชื่อ (Label) สำหรับชุดข้อมูล MNIST ให้กับตัวเลขแต่ละตัว และชุดข้อมูลที่เป็นตัวเลข MR-AMR ยกตัวอย่างเช่น การตั้งชื่อให้กับชุดข้อมูล MR-ARM เมื่อตัวเลขที่ 9 กำลังจะเปลี่ยนไปเป็นตัวเลข 0 จะยังคงตั้งชื่อให้เป็น 9 เนื่องจากตัวเลขยังไม่เป็น 0 ที่แท้จริง ในการตั้งชื่อมีการใช้วิธีติดตามวัตถุ (Labeling queue) ด้วยการติดตามวัตถุ (Object tracking) ดังรูปที่ 3.12 รูปที่ 3.13 แสดงถึงกระบวนการติดตามวัตถุและการติดตามวัตถุที่ใช้ในการตั้งชื่อข้อมูลของชุดข้อมูลทั้งสองเนื่องจากการตั้งชื่อมีความสำคัญในการระบุตัวเลขที่อยู่ในรูปภาพอย่างถูกต้องและควรจะถูกดำเนินการอย่างรอบคอบ เพราะว่าการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ถ้าสามารถกำหนดขอบเขตวัตถุที่สนใจได้ก็จะทำให้การตรวจจับวัตถุทำได้อย่างรวดเร็ว

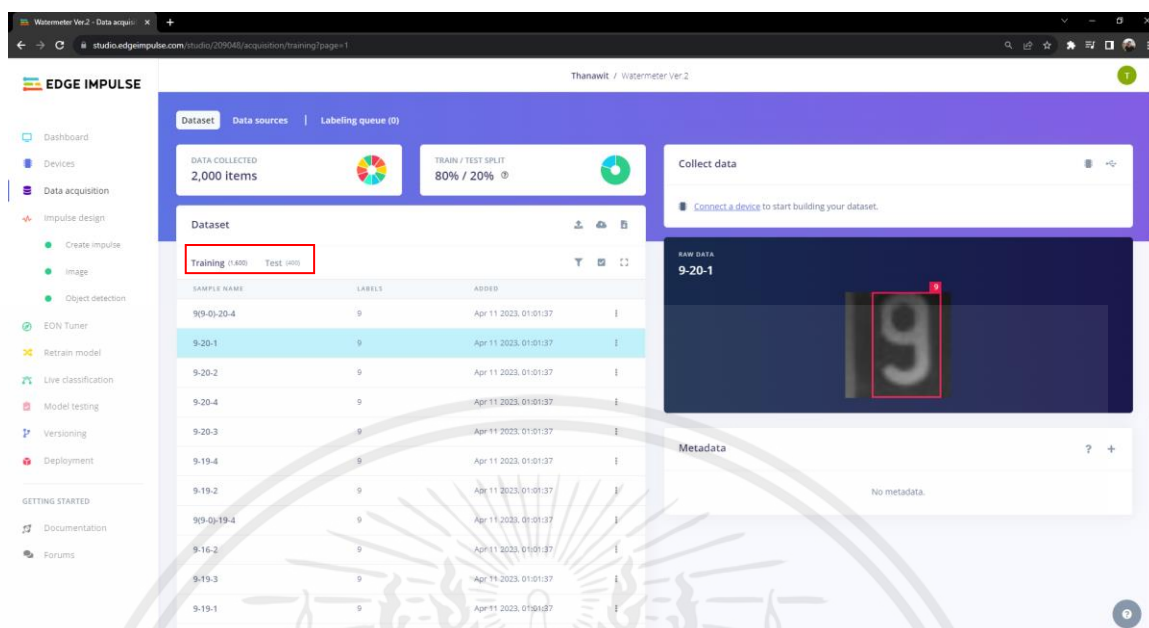


รูปที่ 3.12 แสดงการเลือกติดฉลากคิว (Labeling queue)



รูปที่ 3.13 แสดงการติดตามวัตถุ (Object tracking)

ดังนั้น ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนโมเดลมีข้อมูลจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ ของชุดข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเท่ากับ 1600 รูป และชุดข้อมูลทดสอบมีข้อมูลจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ ของชุดข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเท่ากับ 400 รูป ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.14 โดยชุดข้อมูลประกอบด้วยภาพตัวเลข 0-9 ในชุดข้อมูล MNIST และ MR-AMR ทั้งหมด 10 ตัวเลข



รูปที่ 3.14 แสดงจำนวนรูปในชุดข้อมูลฝึกฝน และทดสอบ

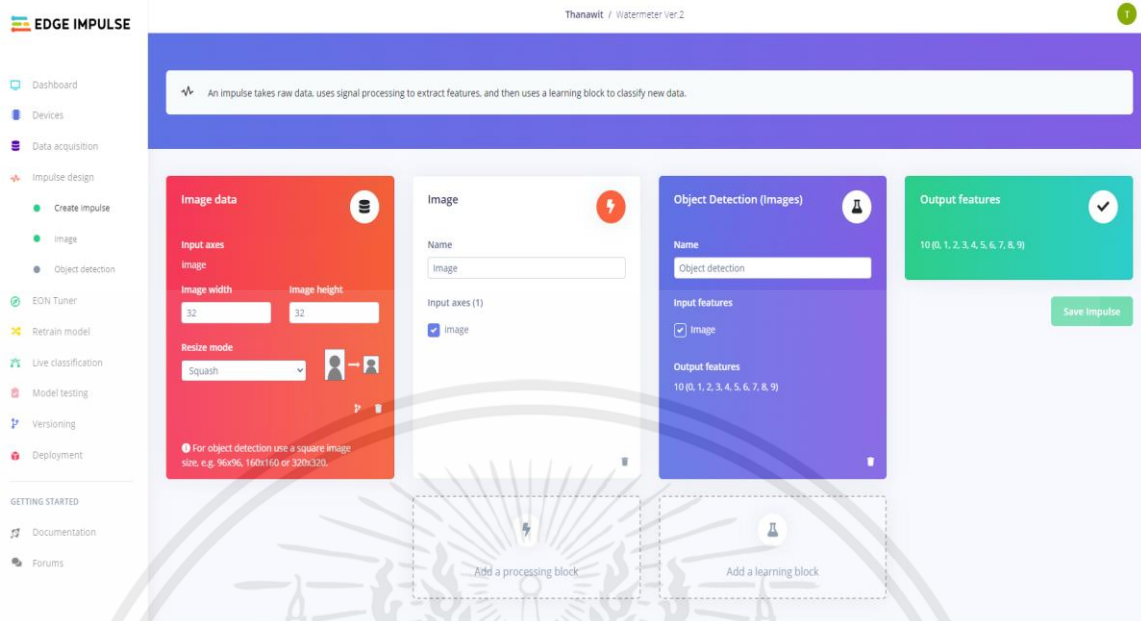
3.4.2.2 การฝึกฝนโมเดล (Training model)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อสร้างหรือปรับปรุงโมเดลคอมพิวเตอร์ เช่น โมเดลเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) หรือ โมเดลปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) ให้สามารถทำงานตามความต้องการหรือแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ โดยโมเดลจะถูกปรับแต่งพารามิเตอร์หรือค่าภายในตัวโมเดลเองเพื่อให้สามารถทำนายหรือแยกแยะข้อมูลอย่างถูกต้อง

การฝึกฝนโมเดลในแพลตฟอร์ม Edge impulse จะเรียกว่า Impulse design ซึ่งเป็นส่วนที่เลือกสถาปัตยกรรมในการออกแบบโมเดลและกำหนดการตั้งค่าของโมเดลสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องจักรให้เหมาะสมกับระบบการประมวลผลอยู่บนอุปกรณ์ (edge devices) โดยใช้ข้อมูลที่เตรียมไว้

3.4.2.2.1 Create impulse

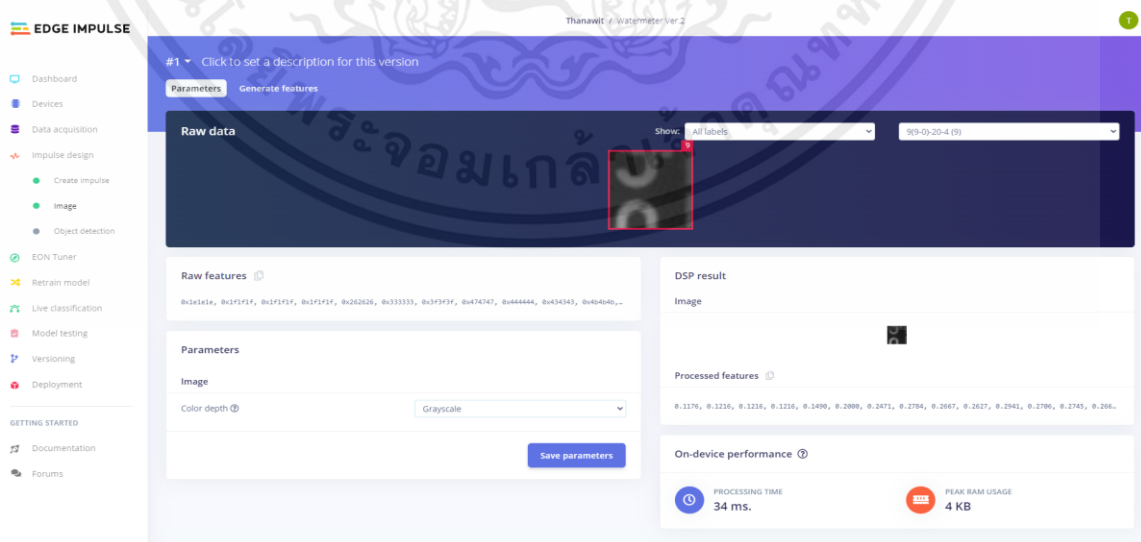
ในหัวข้อ Image data ทำการเปลี่ยนขนาดภาพชุดข้อมูลทั้งหมด ให้กลายเป็นขนาด 32* 32 โหมดปรับขนาดเป็น Squash โดยเลือกกระบวนการประมวลผลเป็น Image วิธีการเรียนรู้ด้วย Object Detection (Images) และ Output features จำนวน 10 ประเภท



รูปที่ 3.15 แสดงการกำหนดสถาปัตยกรรมใน Impulse design

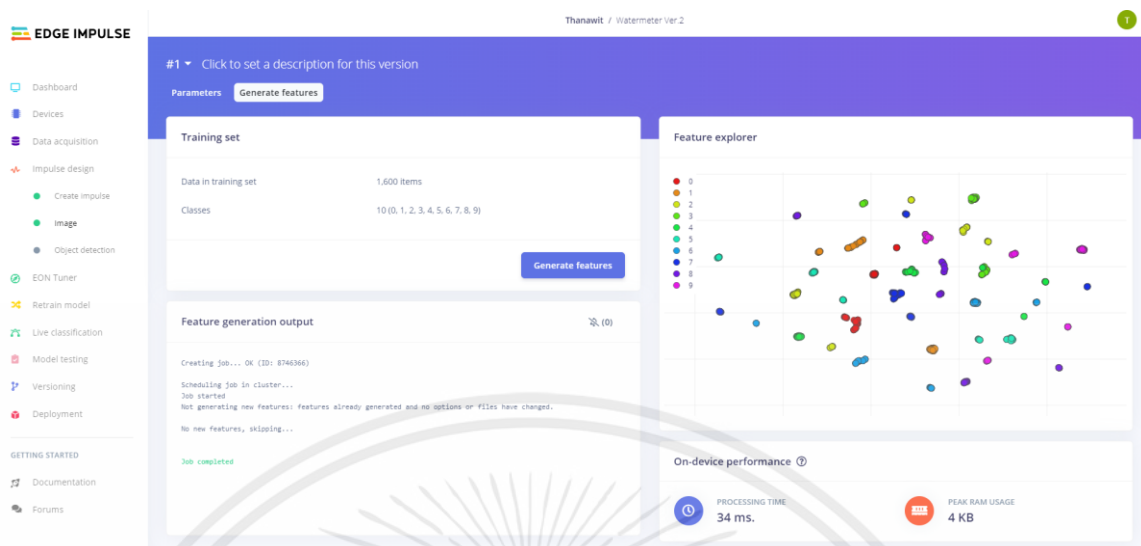
3.4.2.2.2 Image

การกำหนดพารามิเตอร์ให้สำหรับข้อมูลดิบหรือชุดข้อมูลที่ได้นำเข้ามา โดย Color depth เป็น Grayscale เพราะชุดข้อมูลรูปภาพตัวเลขเป็นขาว-ดำ เมื่อกำหนดพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อมาจะทำการ Generate features เพื่อให้เห็นว่าชุดข้อมูลมีการเกาะกลุ่มมากน้อยเพียงใดก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning) ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 แสดงการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับข้อมูลดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

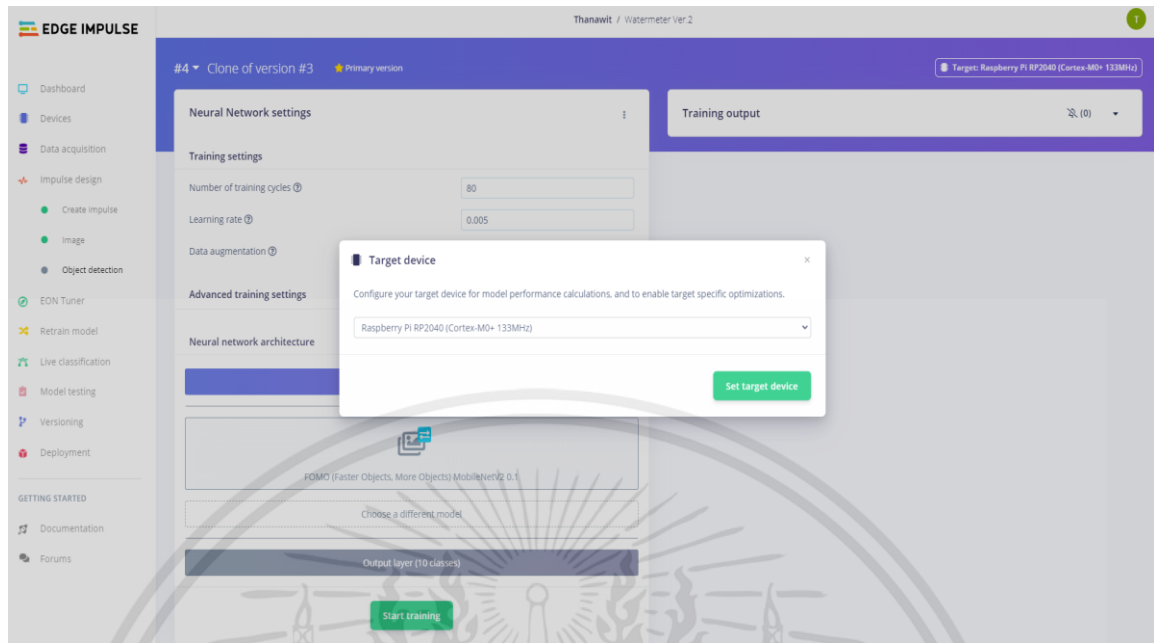


รูปที่ 3.17 แสดง Feature explorer ของชุดข้อมูล

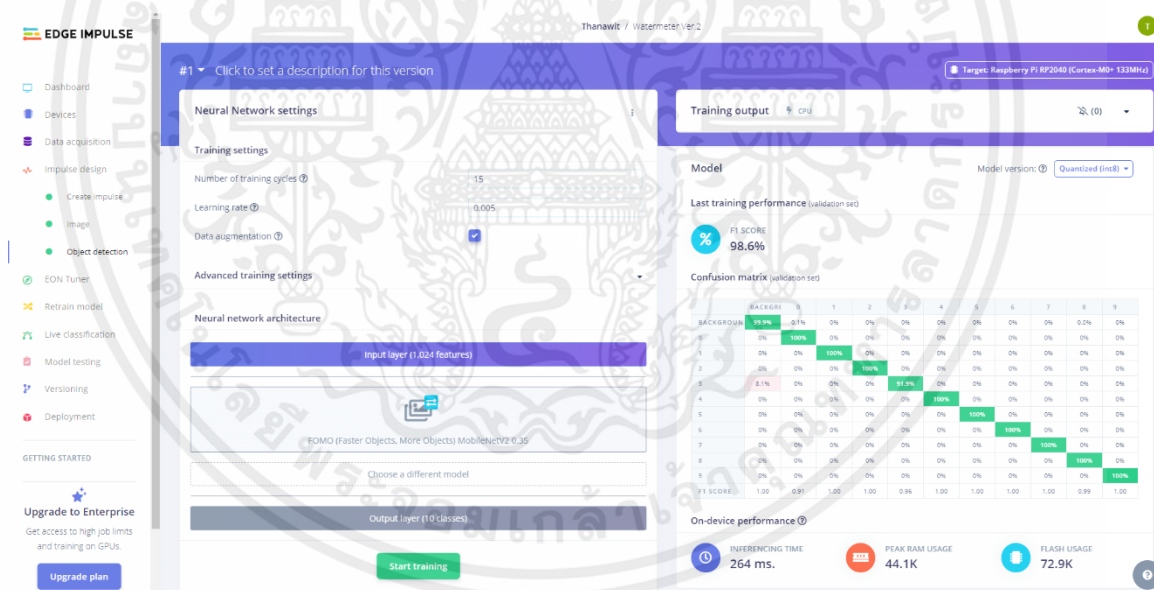
3.4.2.2.3 Object detection

ขั้นตอนการฝึกฝนโมเดลให้อุปกรณ์รู้จำตัวเลข 0 ถึง 9 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) โดยการกำหนดพารามิเตอร์ รอบการเทรน 15 รอบ อัตราการเรียนรู้ 0.005 ชุดการตรวจสอบ 20% โดยมีอินพุตเลเยอร์ทั้งหมด 1024 พิวเจอร์ สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมเป็น FOMO (Faster Object, More Object) MobileNetV2 alpha 0.1 และเอาต์พุตเลเยอร์ทั้งหมด 10 คลาส

ต่อมาจะกำหนดอุปกรณ์เป้าหมาย (Target device) สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของโมเดลและเปิดใช้งานการปรับให้เหมาะสมเฉพาะเป้าหมาย เลือก Raspberry Pi RP2040 (Cortex-M0+ 133MHz) และเริ่มการเทรนโมเดล ดังรูปที่ 3.18 รูปที่ 3.19 ตามลำดับ

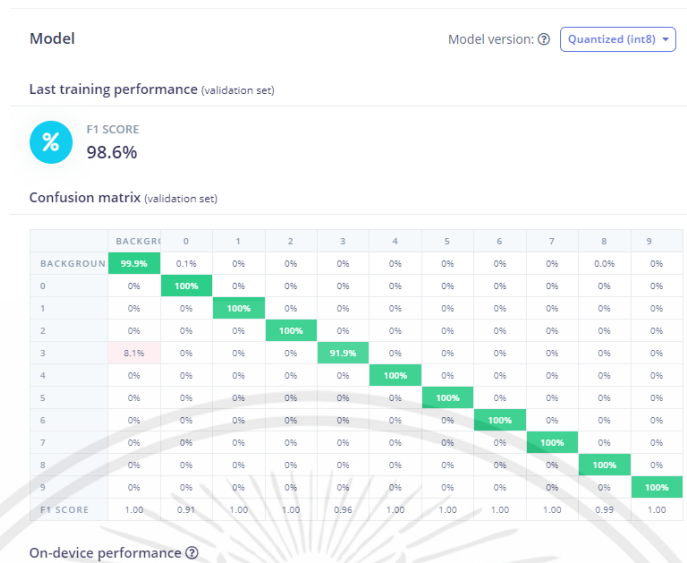


รูปที่ 3.18 แสดงการกำหนดอุปกรณ์เป้าหมายอุปกรณ์ (Target device)



รูปที่ 3.19 แสดงผลการฝึกฝนโมเดล

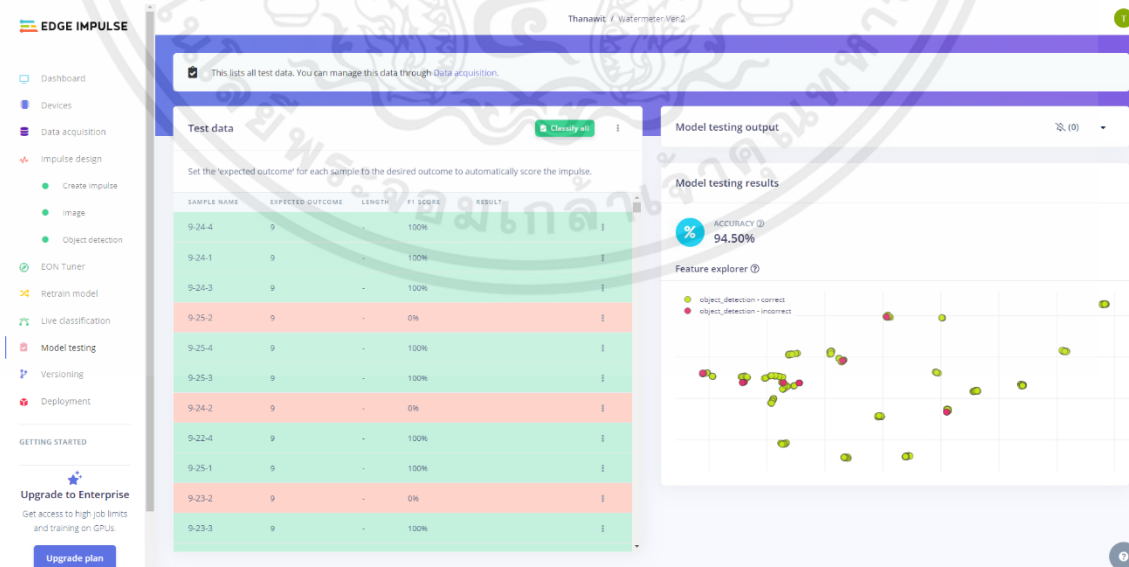
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดง Confusion matrix

3.4.2.3 การทดสอบโมเดล (Testing model)

นำโมเดลที่ได้รับการฝึกฝนให้รู้จำตัวเลข 0-9 กับชุดข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพโมเดล ซึ่งผลการทดสอบพบว่าโมเดลมีความแม่นยำ 94.50 เปอร์เซ็นต์ กับชุดข้อมูลทดสอบ



รูปที่ 3.21 แสดงผลการทดสอบโมเดล

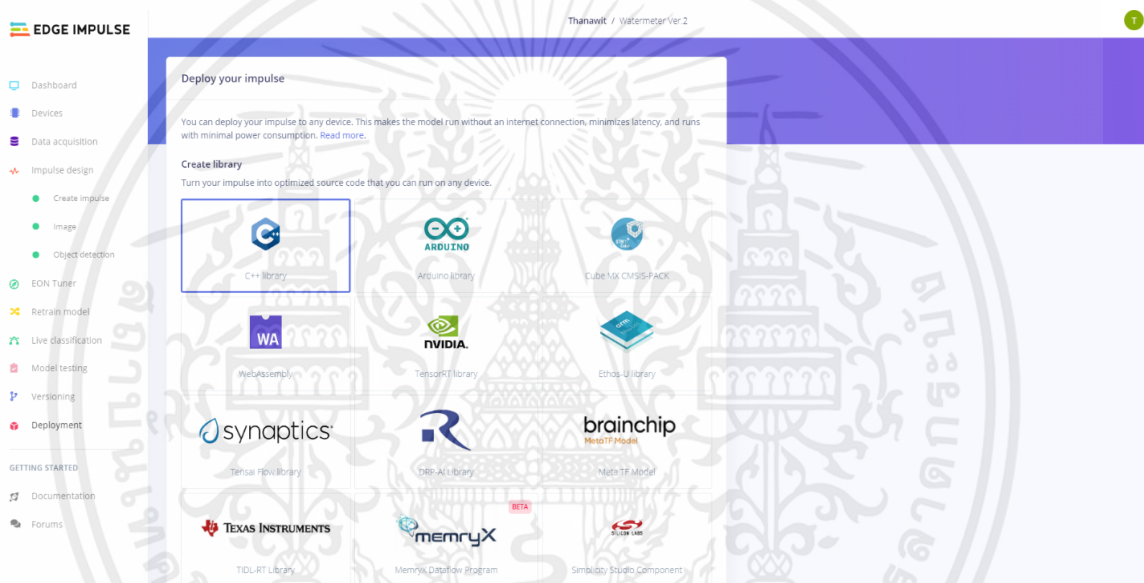
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.4 การใช้งาน (Deployment)

การทำให้โมเดลที่ได้รับการเทรนเปลี่ยนให้เป็นซอร์สโค้ดที่สามารถนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ใดก็ได้ที่สร้างขึ้นบนแพลตฟอร์ม Edge impulse โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.4.2.4.1 Create library

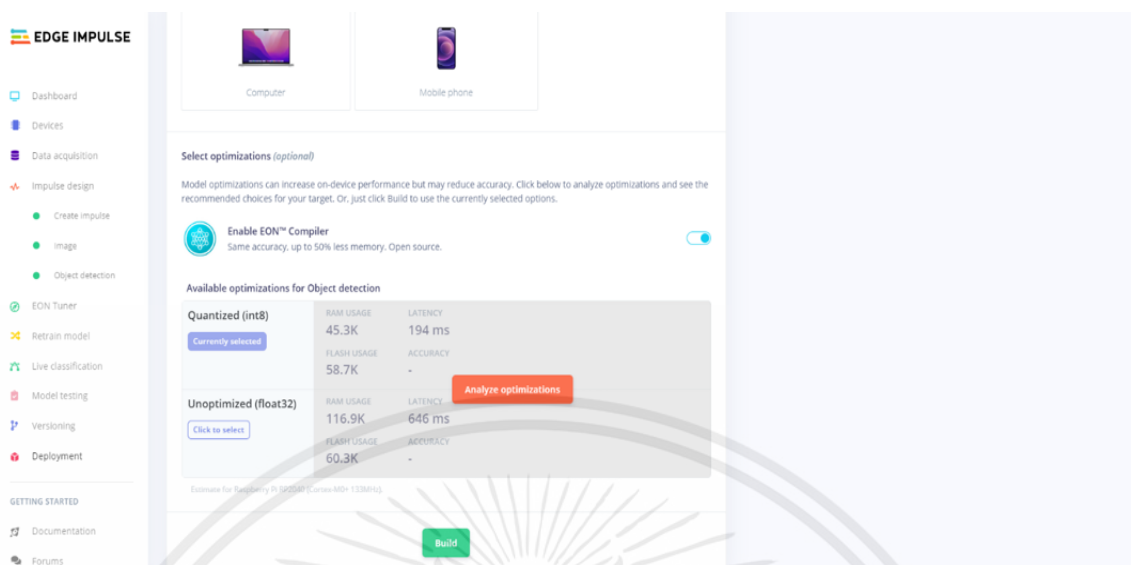
เลือก C++ ไลบรารีในการสร้างซอร์สโค้ด เพราะว่าภาษา C เป็นภาษาโครงสร้างที่เข้าถึงทรัพยากรได้สูงสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพในพื้นที่จัดเก็บที่น้อย



รูปที่ 3.22 แสดงหน้าต่างการเลือก C++ ไลบรารี

3.4.2.4.2 Select optimizations

เลือก Quantized (int8) ที่ Ram usage 45.3KB, Latency 194 ms, Flash usage 58.7KB ซึ่งเหมาะสมกับ Arducam Pico 4ML ที่ใช้ชิปประมวลผล RP2040 มี Ram 264KB



รูปที่ 3.23 แสดงการเลือก Quantized (int8)

3.5 ThingSpeak

ผู้ให้บริการคลาวด์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการจัดการข้อมูล โดยสามารถรับข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอที และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และบันทึกข้อมูลนั้นไว้ในรูปแบบของฐานข้อมูล (database) บนเว็บไซต์เซิร์ฟเวอร์ของ ThingSpeak ซึ่งสามารถถูกใช้เพื่อการวิเคราะห์ และการแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ในรูปแบบกราฟหรือตาราง ThingSpeak โดยเป็นแพลตฟอร์มฟรีและมีรูปแบบการใช้งานที่ง่าย ทำให้เหมาะสำหรับทำโปรเจกต์เกี่ยวกับ IoT ที่ต้องการเก็บข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลในเวลาจริง (real time)

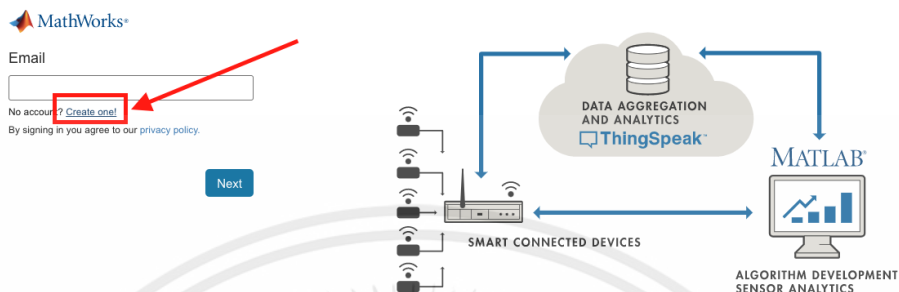
3.5.1 การสมัครสมาชิก ThingSpeak

การสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานเว็บไซต์ของ ThingSpeak ทำการกรอกข้อมูลอีเมล, ประเทศ, ชื่อ-นามสกุล และคลิกปุ่มต่อไป (Continue) ระบบจะส่งลิงก์ยืนยันไปยังอีเมลที่ใช้สมัครให้ทำการยืนยันให้เรียบร้อยก่อนการใช้งาน ดังรูปที่ 3.24 และรูปที่ 3.25

To use ThingSpeak, you must sign in with your existing MathWorks account or create a new one.

Non-commercial users may use ThingSpeak for free. Free accounts offer limits on certain functionality. Commercial users are eligible for a time-limited free evaluation. To get full access to the MATLAB analysis features on ThingSpeak, log in to ThingSpeak using the email address associated with your university or organization.

To send data faster to ThingSpeak or to send more data from more devices, consider the [paid license options](#) for commercial, academic, home and student usage.



รูปที่ 3.24 แสดงตำแหน่งปุ่มสมัครสมาชิก ThingSpeak

To use ThingSpeak, you must sign in with your existing MathWorks account or create a new one.

Non-commercial users may use ThingSpeak for free. Free accounts offer limits on certain functionality. Commercial users are eligible for a time-limited free evaluation. To get full access to the MATLAB analysis features on ThingSpeak, log in to ThingSpeak using the email address associated with your university or organization.

To send data faster to ThingSpeak or to send more data from more devices, consider the [paid license options](#) for commercial, academic, home and student usage.

Create MathWorks Account

Email Address

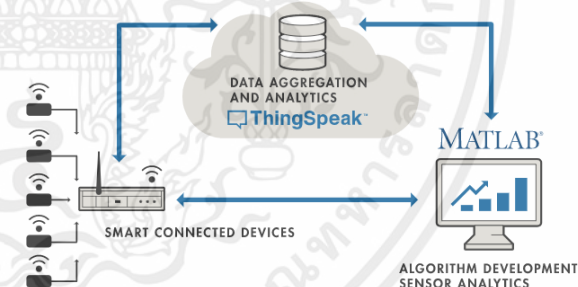
Missing required information

i To access your organization's MATLAB license, use your school or work email.

Location

First Name

Last Name



รูปที่ 3.25 แสดงหน้าต่างการสมัครสมาชิก ThingSpeak

3.5.2 การใช้งาน ThingSpeak

หลังจากลงชื่อเข้าใช้งานเรียบร้อยแล้วถัดมาทำการสร้างแชนเนล (Channels) โดยคลิกไปที่ปุ่ม New Channel ดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ThingSpeak™ Channels - Apps - Devices - Support - Commercial Use How to Buy PP

Signed in successfully. X

My Channels

New Channel Search by tag

Name	Created	Updated
Command 1	2023-02-02	2023-03-22 14:19
อุณหภูมิความชื้น	2023-02-11	2023-02-12 08:00
AioT Water Meter No.1	2023-04-26	2023-04-26 19:20

Help

Collect data in a ThingSpeak channel from a device, from another channel, or from the web.

Click **New Channel** to create a new ThingSpeak channel.

Click on the column headers of the table to sort by the entries in that column or click on a tag to show channels with that tag.

Learn to create channels, explore and transform data.

Learn more about ThingSpeak Channels.

Examples

- Arduino
- Arduino MKR1000
- ESP8266
- Raspberry Pi
- Netduino Plus

Upgrade

Need to send more data faster?
Need to use ThingSpeak for a commercial project?

รูปที่ 3.26 แสดงการสร้าง Channels

จากนั้นจะพบกับหน้าแบบฟอร์มสร้างแชนเนล โดยในตัวอย่างภาพจะมี 2 ส่วน ดังรูปที่ 3.27 ที่เป็นพื้นฐานการตั้งค่า ซึ่งในส่วน A ให้ทำการตั้งชื่อแชนเนลที่จะเป็นที่ใช้เก็บข้อมูลและส่วน B ทำการเลือก Field ตามจำนวนที่ต้องการใช้งาน เช่น หากต้องการเก็บค่าอุณหภูมิให้เก็บใน Field 1 และหากต้องการเก็บค่าความชื้นให้แยกเก็บใน Field 2 เป็นต้น

ThingSpeak™ Channels - Apps - Devices - Support - Commercial Use How to Buy PP

New Channel

A Name: AioT Water Meter No.1

Description:

B

Field	Field Label	Enabled
Field 1	Field Label 1	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 2	Field Label 2	<input checked="" type="checkbox"/>
Field 3		<input type="checkbox"/>
Field 4		<input type="checkbox"/>
Field 5		<input type="checkbox"/>
Field 6		<input type="checkbox"/>
Field 7		<input type="checkbox"/>
Field 8		<input type="checkbox"/>

Help

Channels store all the data that a ThingSpeak application collects. Each channel includes eight fields that can hold any type of data, plus three fields for location data and one for status data. Once you collect data in a channel, you can use ThingSpeak apps to analyze and visualize it.

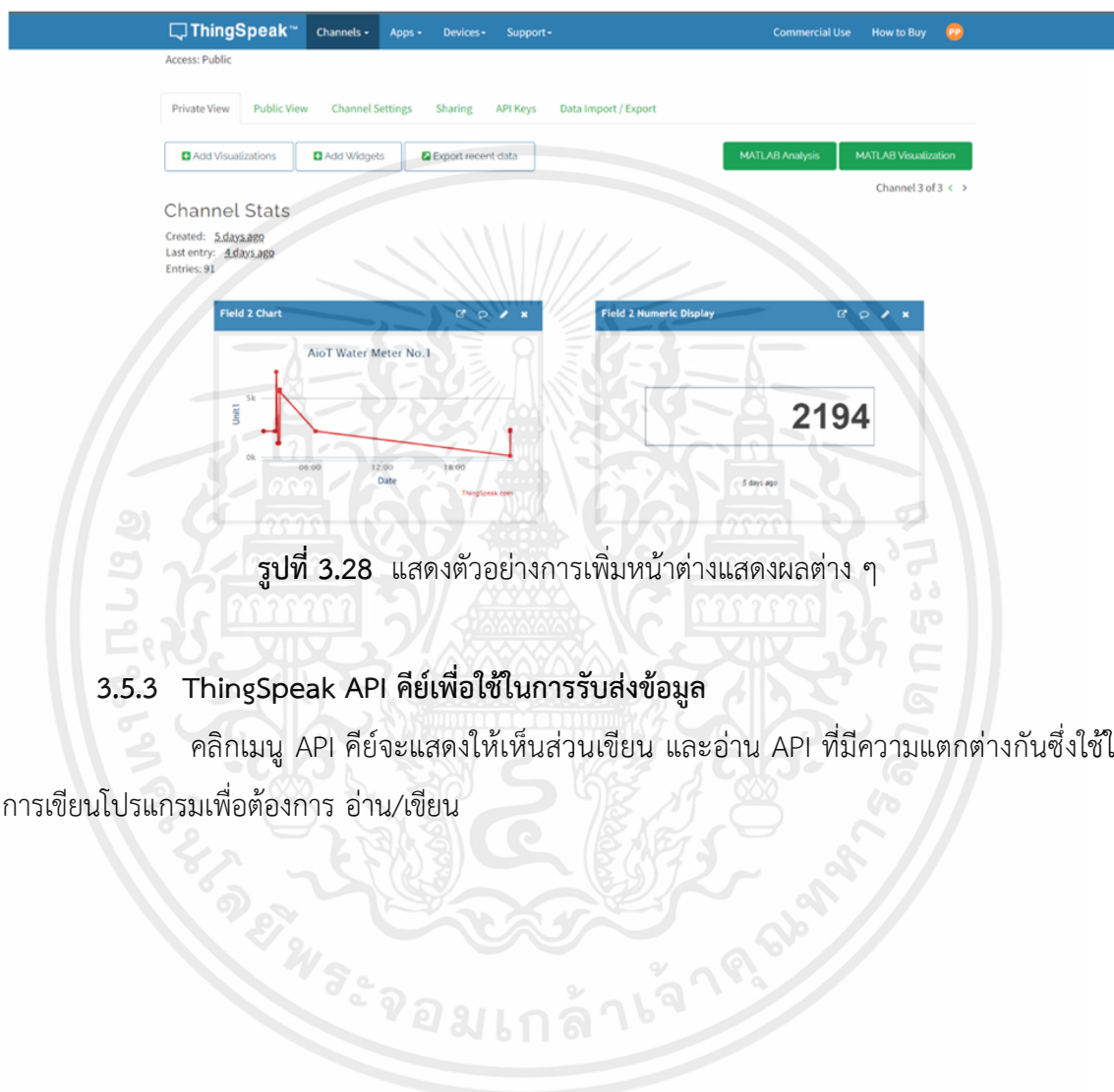
Channel Settings

- **Percentage complete:** Calculated based on data entered into the various fields of a channel. Enter the name, description, location, URL, video, and tags to complete your channel.
- **Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- **Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- **Field:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- **Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- **Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.
- **Link to External Site:** If you have a website that contains information about your ThingSpeak channel, specify the URL.
- **Show Channel Location:**
 - **Latitude:** Specify the latitude position in decimal degrees. For example, the latitude of the city of London is 51.5072.
 - **Longitude:** Specify the longitude position in decimal degrees. For example, the

รูปที่ 3.27 แสดงฟอร์มสร้าง Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากสร้างเซนเนลเรียบร้อยแล้วจะพบกับหน้าเว็บที่พร้อมส่งข้อมูลมายัง ThingSpeak ขั้นตอนต่อมาให้ทำการเพิ่มหน้าต่างแสดงผลแบบตัวเลข (Numeric Display) และหน้าต่างชาร์ต (Chart) ผ่านทาง Add Widgets ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงตัวอย่างการเพิ่มหน้าต่างแสดงผลต่าง ๆ

3.5.3 ThingSpeak API คีย์เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล

คลิกเมนู API คีย์จะแสดงให้เห็นส่วนเขียน และอ่าน API ที่มีความแตกต่างกันซึ่งใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อต้องการ อ่าน/เขียน

The screenshot displays the 'API Keys' management interface in ThingSpeak. It includes a 'Write API Key' form with a key field containing 'AQWWTDM23DZW44RZ' and a 'Generate New Write API Key' button. Below it is a 'Read API Keys' form with a key field containing 'OGHCL23PXYGWF0GZ', a 'Note' field, and 'Save Note' and 'Delete API Key' buttons. To the right, there are sections for 'API Keys Settings' with instructions and 'API Requests' showing a list of API endpoints and their methods.

รูปที่ 3.29 แสดงหน้าต่างคีย์ API

3.5.4 ตั้งค่าการเชื่อมต่ออุปกรณ์ MQTT

คลิกเมนู Devices เลือก MQTT เพื่อทำการตั้งค่า MQTT Devices ให้พร้อมรับส่งข้อมูลกับกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) โดยทาง ThingSpeak จะให้ Client ID, Username, Password ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IoT

The screenshot shows the 'MQTT Devices' management page. It features a table with columns for 'Device Details', 'Authorized Channels and Permissions', and 'MQTT Client ID'. A single device is listed with the name 'MQTT' and no description. The authorized channels and permissions are 'Aiot Water Meter No.2 (2123886)' with 'publish' and 'subscribe' permissions checked. The MQTT Client ID is 'Hy2tzcd3WvCaoz.DQMys'. There are 'Add a new device', 'Edit', and 'Delete' buttons.

รูปที่ 3.30 แสดงหน้าต่าง MQTT Devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 Thinkable

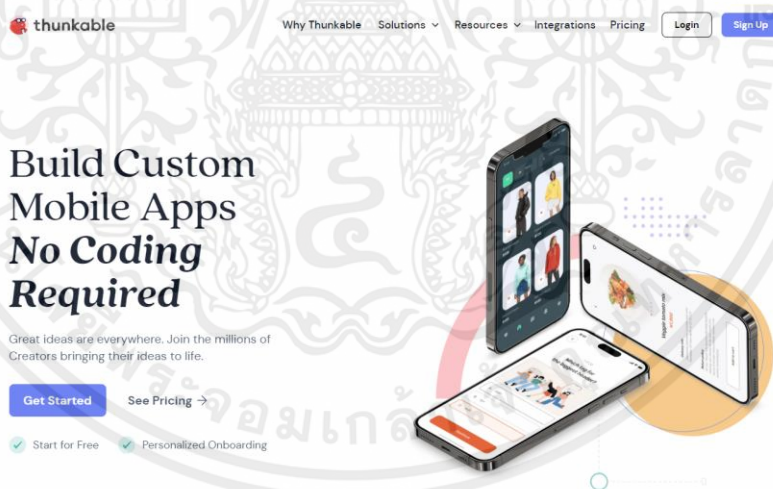
กล่าวถึงการออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับการมอนิเตอร์เพื่อดูค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดน้ำ และวิธีการสร้างในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

3.6.1 การออกแบบแอปพลิเคชันโดย Thinkable

การออกแบบหน้าจอบริการผู้ใช้ UI (User Interface) ที่เป็นส่วนของการแสดงผลที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้งานในการออกแบบต้องการเน้นความเรียบง่าย และเป็นมิตรต่อผู้ใช้ โดยฟังก์ชันภายในโมบายแอปพลิเคชันสามารถแบ่งองค์ประกอบหลัก ๆ ได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1. หน้าต่างลงชื่อเข้าใช้งาน 2. การมอนิเตอร์ (monitoring) 3. บันทึกข้อมูล (Datalog)

3.6.1.1 สร้างบัญชีใช้งาน Thinkable

การสร้างบัญชีใช้งาน Thinkable เพื่อเข้าถึงทรัพยากรต่าง ๆ ที่พร้อมสำหรับพัฒนาออกแบบและสร้างโมบายแอปพลิเคชัน

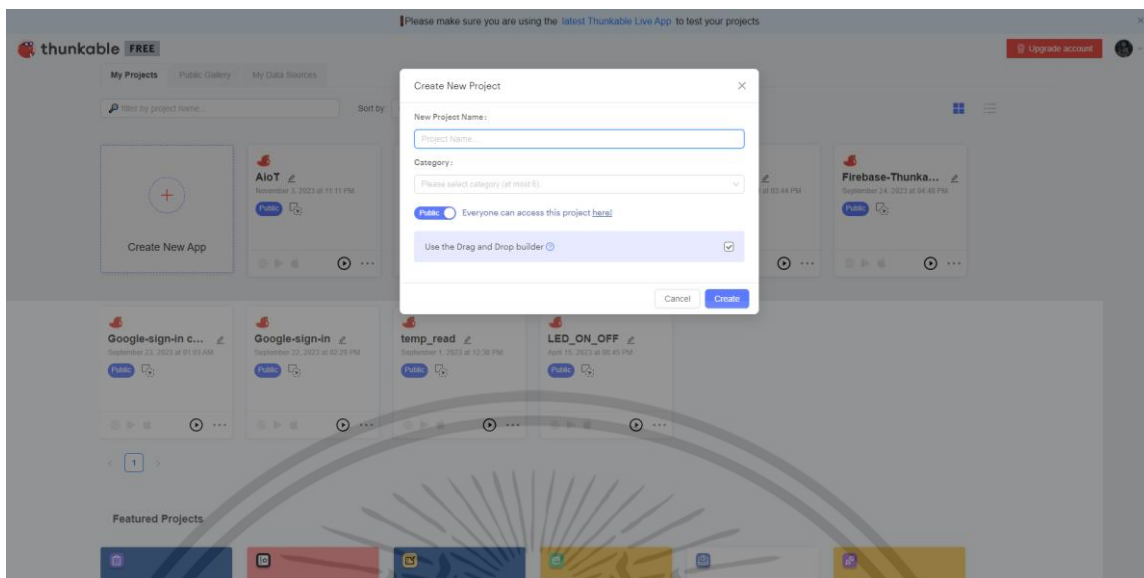


รูปที่ 3.31 แสดงหน้าต่าง Thinkable

3.6.1.2 สร้างโปรเจกต์บน Thinkable

สร้างโปรเจกต์ใหม่ และทำการตั้งชื่อสำหรับการสร้างแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 แสดงการสร้างโปรเจกต์ใหม่บน Thunkable

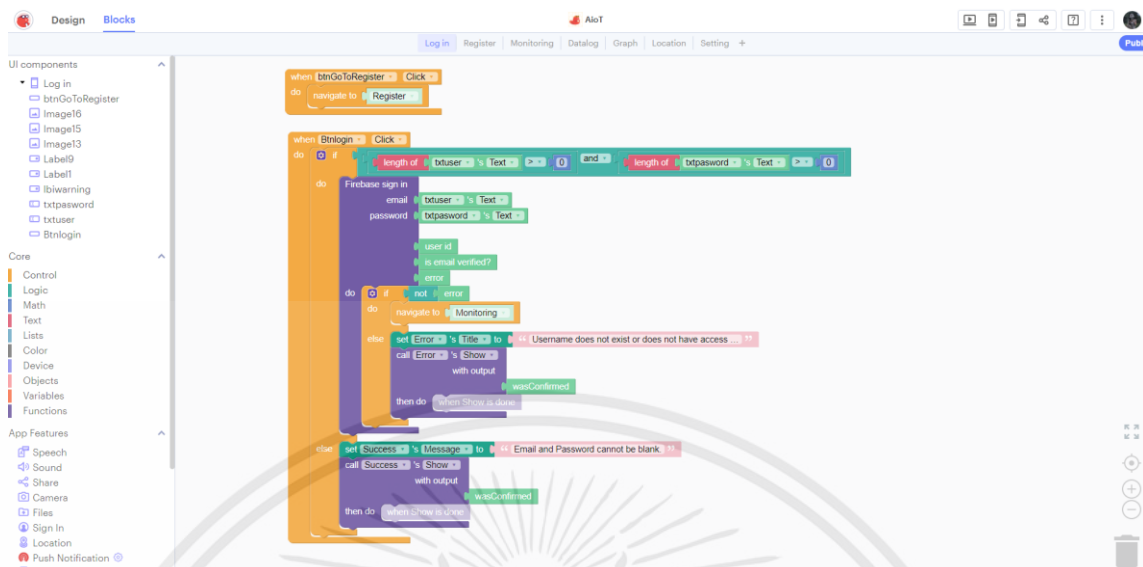
3.6.1.3 การออกแบบหน้าต่างลงชื่อเข้าใช้ (Log in)

หน้าต่างสู่ระบบมีช่องสำหรับป้อนข้อมูลชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน รวมถึงปุ่ม “เข้าสู่ระบบ” เพื่อเข้าใช้งาน หากยังไม่เป็นสมาชิกสามารถคลิกที่ปุ่ม “สมัครสมาชิก” เพื่อสร้างบัญชีใหม่



รูปที่ 3.33 แสดงการออกแบบหน้าต่างลงชื่อเข้าใช้ (Log in)

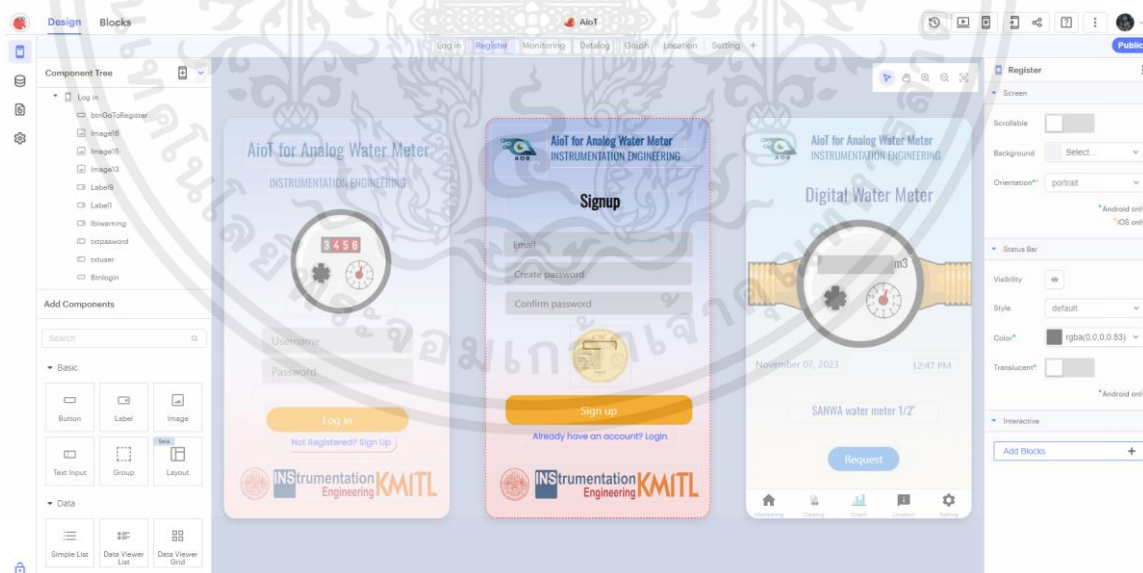
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างลงชื่อเข้าใช้ (Log in)

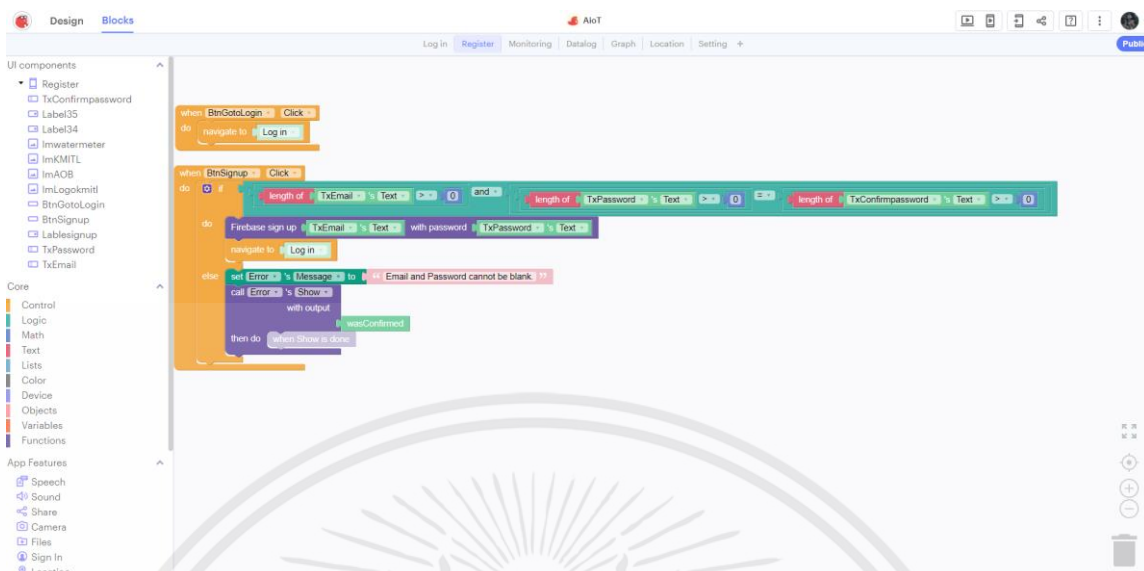
3.6.1.4 การออกแบบหน้าต่างสมัครสมาชิก (Sign up)

หน้าต่างการสมัครสมาชิกมีช่องให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลอีเมลและรหัสผ่าน เพื่อให้รักษาความปลอดภัย จะมีช่องยืนยันรหัสผ่านเพิ่มเติมเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการป้อนรหัสผ่าน



รูปที่ 3.35 แสดงการออกแบบหน้าต่างสมัครสมาชิก (Sign up)

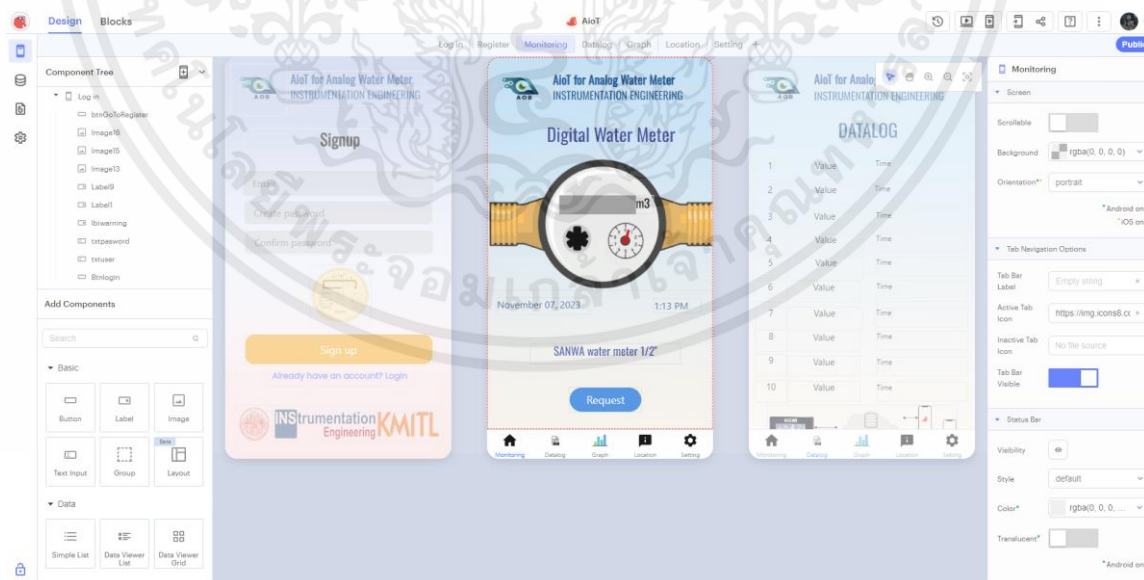
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างสมัครสมาชิก (Sign up)

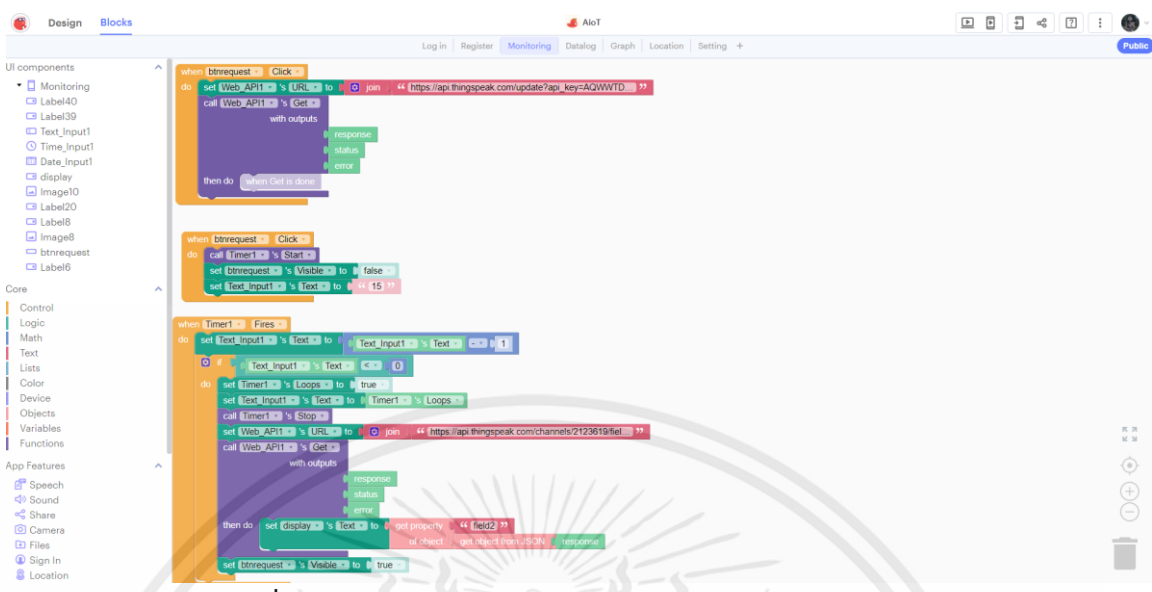
3.6.1.5 การออกแบบหน้าต่างมอนิเตอร์ (Monitoring)

หน้าต่างนี้ออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลของมาตรวัดน้ำ โดยการกดปุ่ม “Request” ครั้งเดียว และระบบจะประมวลผลข้อมูลและแสดงตัวเลขบนแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้โดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.37 แสดงการออกแบบหน้าต่างมอนิเตอร์ (Monitoring)

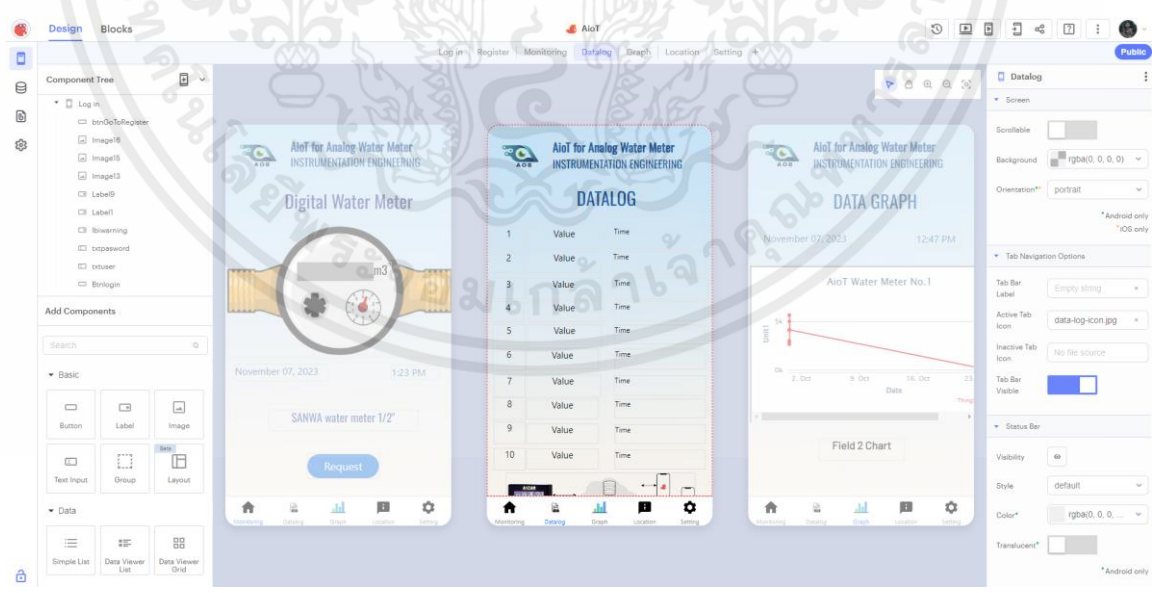
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างมอเนอริ่ง (Monitoring)

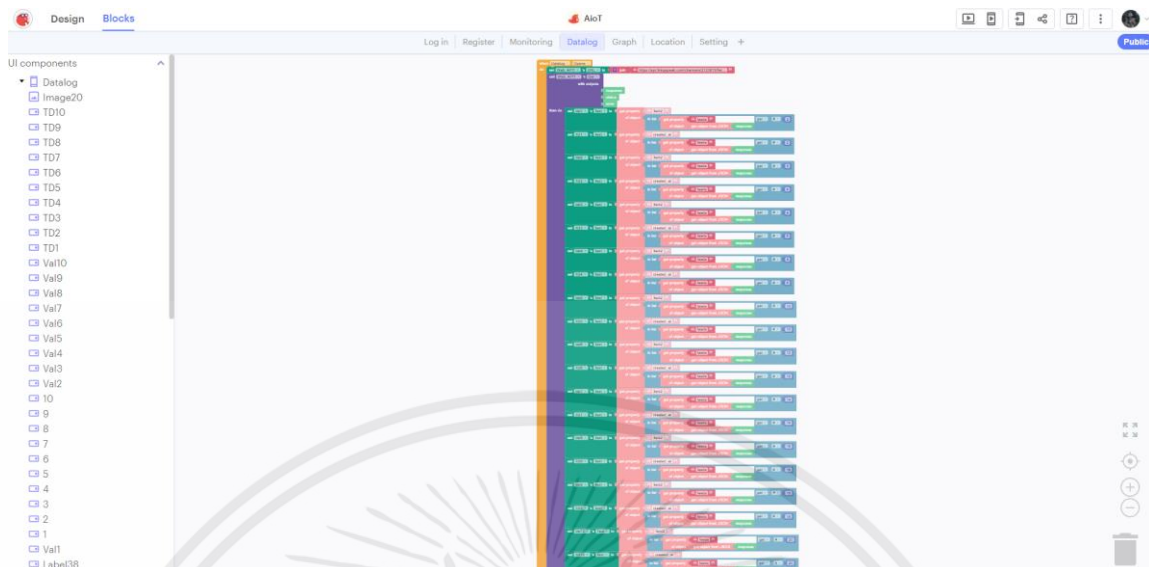
3.6.1.6 การออกแบบหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog)

หลังจากการแสดงตัวเลขอย่างเรียบง่ายบนหน้าจอผู้ใช้งานแล้ว ข้อมูลตัวเลขนี้ จะถูกบันทึกไปยังหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) โดยที่ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลตัวเลขย้อนหลัง ไม่ว่าจะ เป็นในรูปแบบข้อมูลตัวเลขหรือกราฟข้อมูล

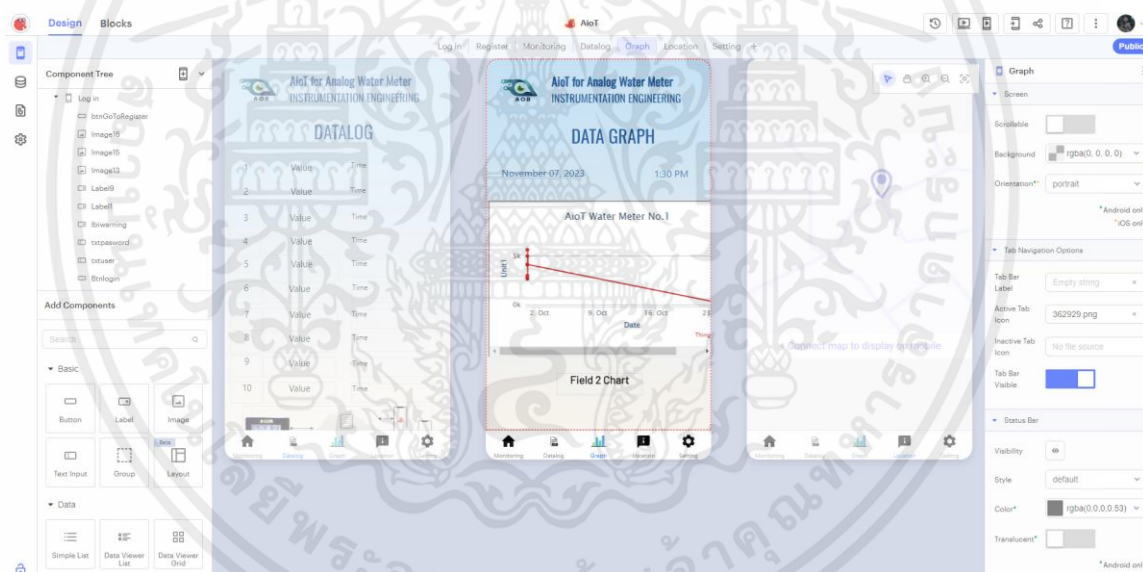


รูปที่ 3.39 แสดงการออกแบบหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) แบบตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 แสดงการต่อบล็อกหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) แบบตัวเลข



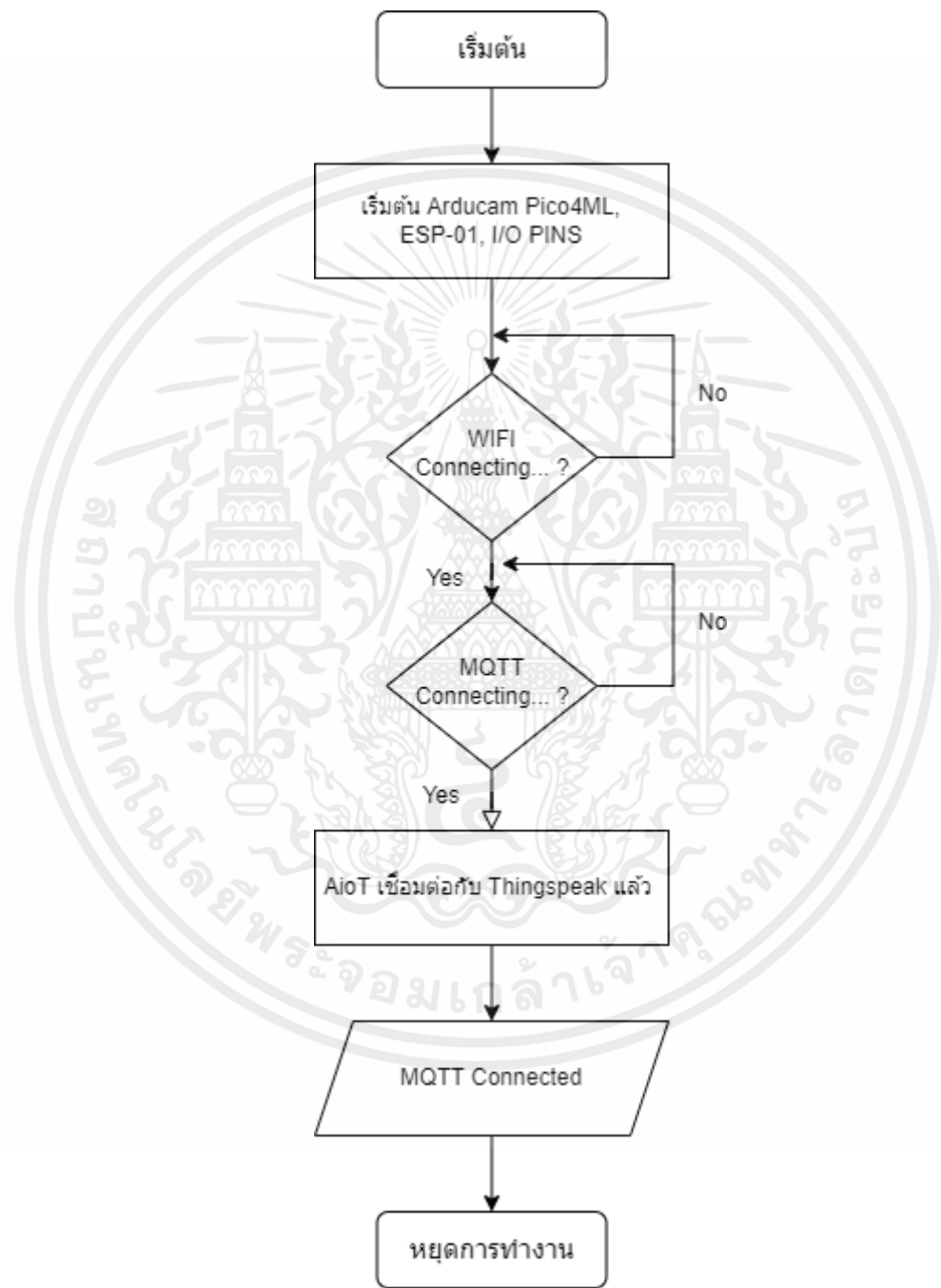
รูปที่ 3.41 แสดงการออกแบบหน้าต่างบันทึกข้อมูล (Datalog) แบบกราฟ

3.7 หลักการทำงานของกระบวนการทั้งหมด

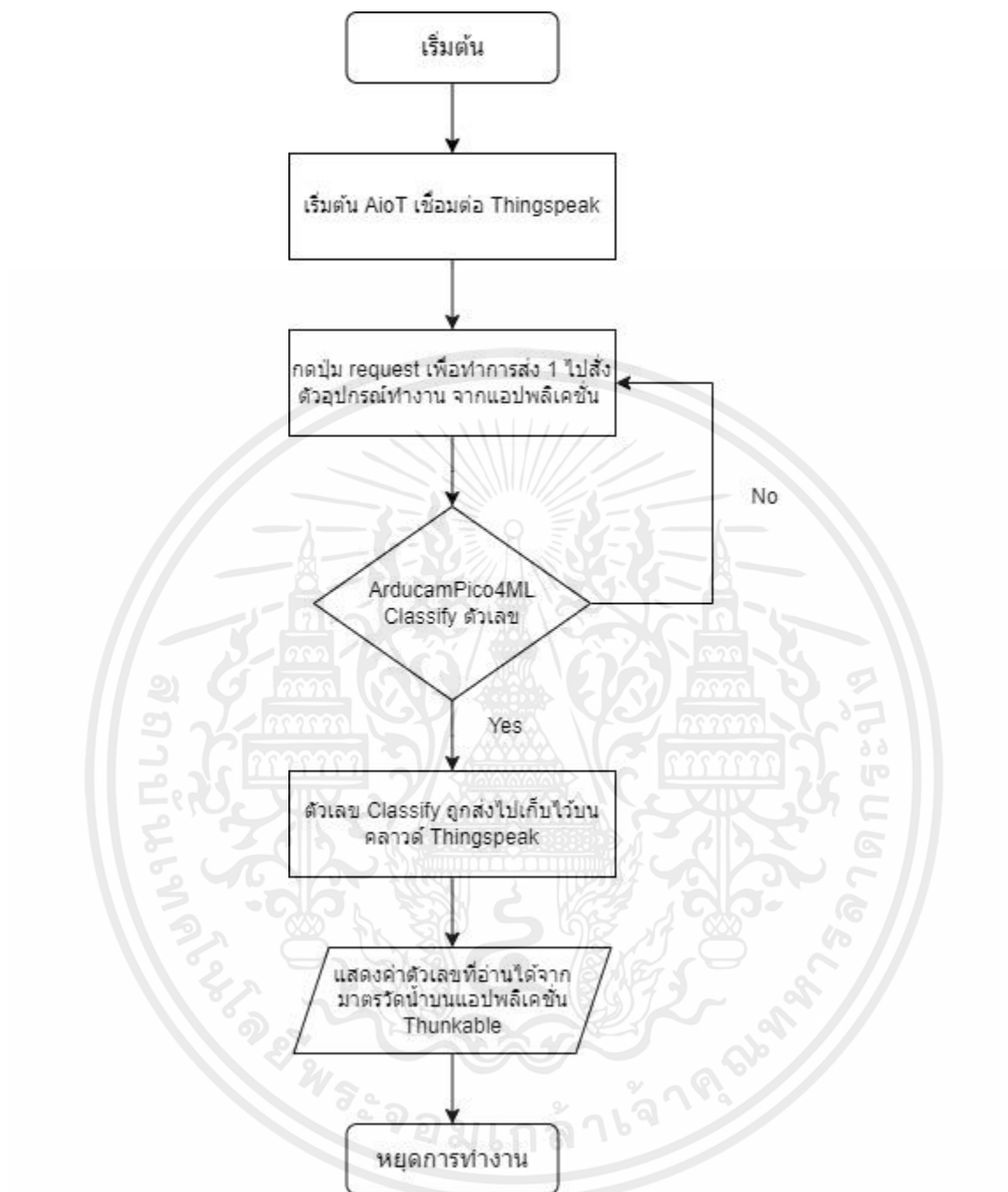
หลังจากการออกแบบ และสร้างกล่องปัญญาประดิษฐ์สำหรับการอ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) แล้ว ในส่วนของการทำงานมีโปรแกรมวนลูปที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ของ Thingspeak ตามแสดงในรูปที่ 3.40 หลังจากนั้น เมื่อผู้ใช้งานต้องการดูค่าอ่านจากมาตรวัดน้ำ สามารถทำได้โดยการเข้าสู่แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือและกดปุ่ม “Request” เพื่อสั่งให้กล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

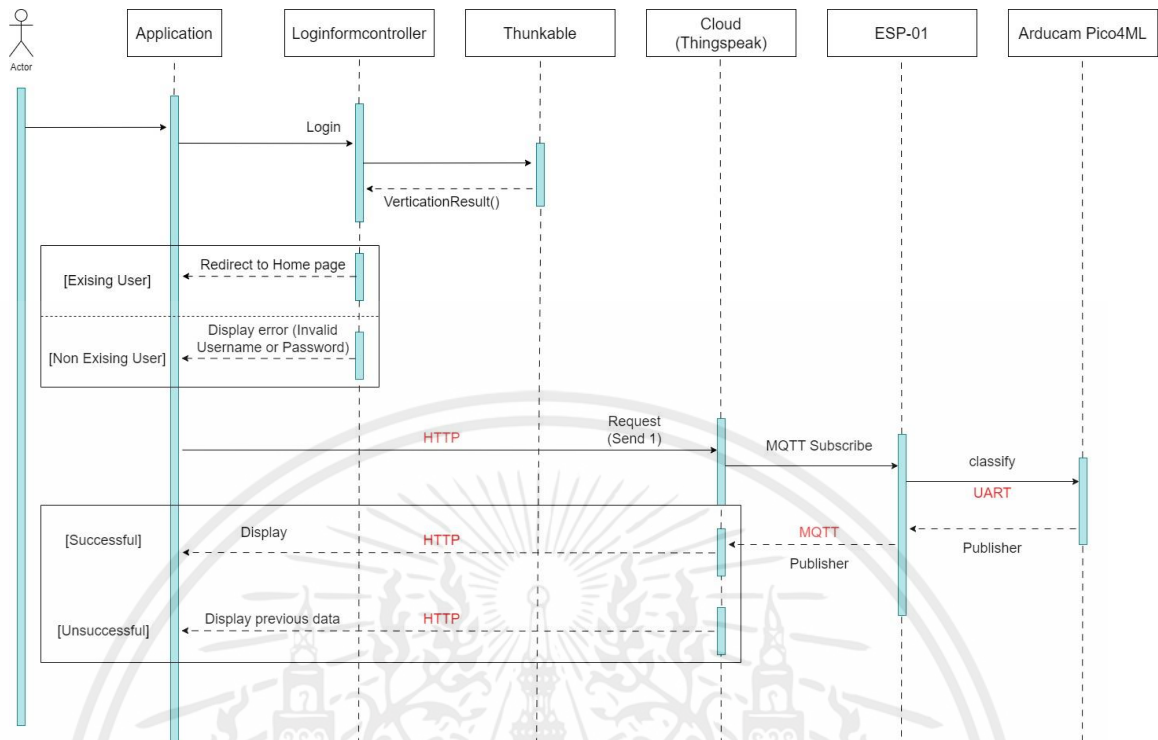
ปัญญาประดิษฐ์อ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) ทำงาน ดังรูปที่ 3.41 และ ผลการอ่านค่านั้นจะแสดงบนหน้าแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 3.42 ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจและมอนิเตอร์ข้อมูล ของมาตรวัดน้ำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว



รูปที่ 3.42 แสดง Flowchart การเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ของทาง ThingSpeak



รูปที่ 3.43 แสดง Flowchart การทำงานของอุปกรณ์ของกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)



รูปที่ 3.44 แสดง Sequence diagram การทำงานของแอปพลิเคชัน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการควบคุมกระบวนการ โดยการติดตั้งกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) กับมาตรวัดน้ำและควบคุมกระบวนการจริงด้วยแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ และจากการออกแบบโมเดลการจำแนกภาพตัวเลขที่กล่าวในบทที่ผ่านมาจากผลการทดสอบโมเดล แสดงให้เห็นว่าการออกแบบโมเดลการจำแนกภาพตัวเลขมีผลการทดสอบโมเดลด้วยความแม่นยำ 94.50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดข้อมูลทดสอบ ดังนั้นในการทดลองนี้ขอแสดงตัวอย่างการทดลองจริงที่มีการนำโมเดลฝึกฝนที่ได้ลงโปรแกรมให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 ผลการฝึกฝนโมเดล

การสร้างโมเดลจากภาพตัวเลขของมาตรวัดน้ำตั้งแต่ตัวเลข 0-9 จำนวนทั้งหมด 1600 รูป ประกอบไปด้วยชุดข้อมูล MNIST และ ชุดข้อมูล MR-AMR ที่มีการปรับขนาดภาพเป็นขนาด 32*32 โดยมีจำนวนรอบการเทรนทั้งหมด 15 รอบ มีอัตราการเรียนรู้ที่ 0.005 ชุดการตรวจสอบ 20% โดยมีอินพุตเลเยอร์ 1024 features ใช้สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมเป็น convolution neural network ชนิด FOMO (Faster Object, More Object) MobileNetV2 alpha 0.1 และเอาต์พุตเลเยอร์ทั้งหมด 10 classes ให้ค่า F1 score 98.6 เปอร์เซ็นต์

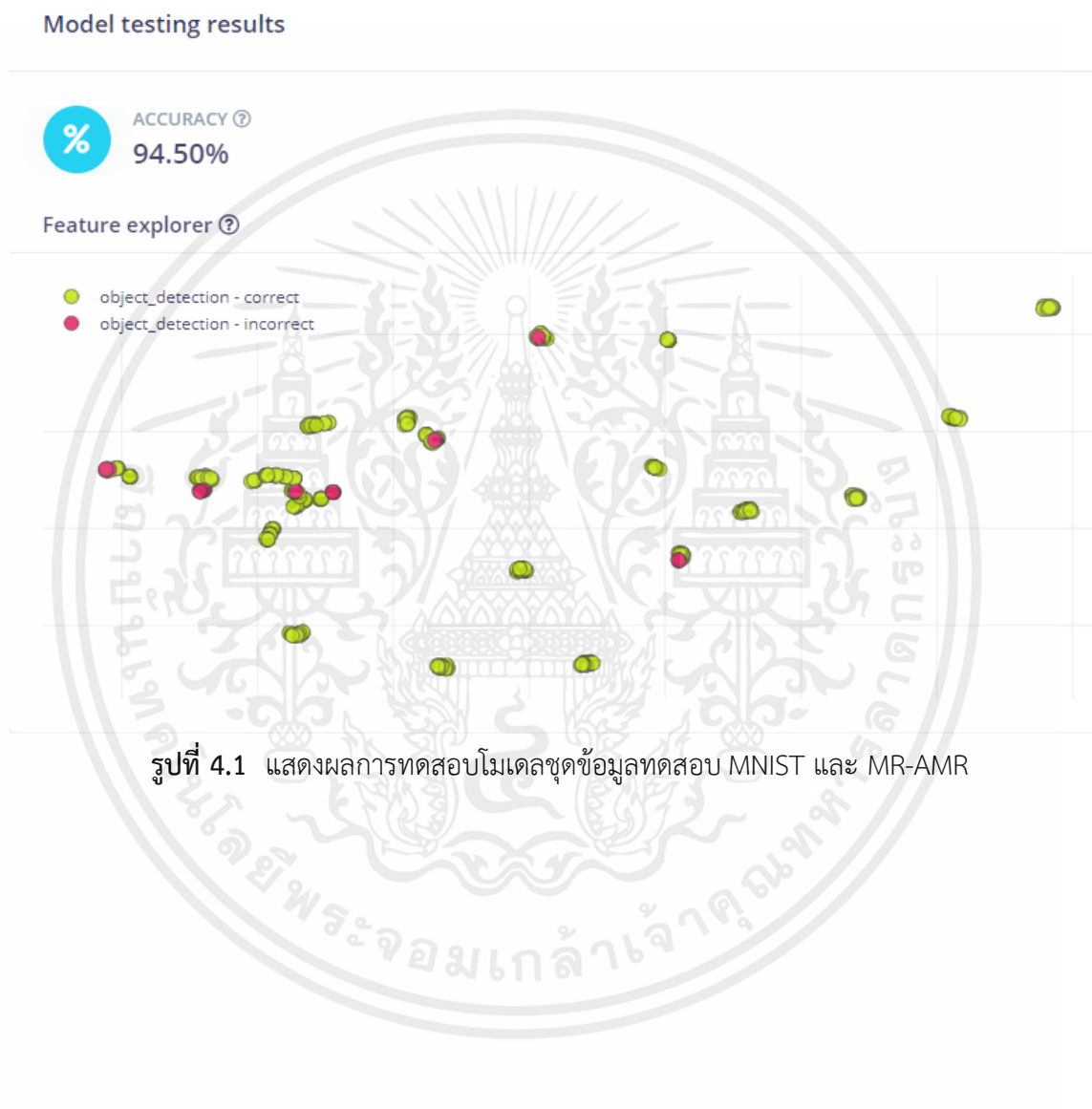
ตารางที่ 4.1 ผลการจำแนก Confusion matrix

	Background	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Background	99.9%	0.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
0	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	8.1%	0%	0%	0%	91.9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%
6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%
8	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
9	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
F1 score	1.00	0.91	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00%

ใช้ทรัพยากร Inferencing 127 ms. , Peak Ram Usage 45.3K , Flash Usage 58.7K

4.3 ผลการทดสอบโมเดล

ผลการทดสอบโมเดลสำหรับชุดข้อมูลทดสอบ ประเภทชุดข้อมูล MNIST และ ชุดข้อมูล MR-AMR จำนวน 400 รูป ที่ Edge impulse ให้ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 94.50 เปอร์เซ็นต์




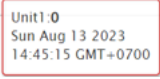















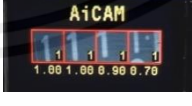
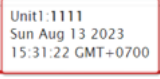

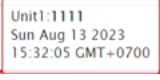

4.4 ผลการทดลองนำไปใช้จริง

เมื่อการออกแบบและสร้างกล่องปัญญาประดิษฐ์ด้วยโมเดลที่ให้ค่า F1 score 98.6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอ่านค่าตัวเลขมาตรวัดน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดมาจะทำการติดตั้งตัวอุปกรณ์เข้ากับมาตรวัดน้ำ และใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือเพื่อทำการมอนิเตอร์ให้กล่องปัญญาประดิษฐ์อ่านตัวเลขของมาตรวัดน้ำ ดังรูปที่ 4.2 โดยขั้นตอนการทดลองจะแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้ 1. ผลการทดลองจริง (ตัวเลขเดียวกัน) การตรวจสอบว่ากล่องปัญญาประดิษฐ์สามารถจำแนกตัวเลขที่เหมือนกันได้จริงและประมวลผลสำเร็จ 2. ผลการทดลองจริง (ตัวเลขแตกต่างกัน) การตรวจสอบว่ากล่องปัญญาประดิษฐ์สามารถจำแนกตัวเลขที่แตกต่างกันได้จริงและประมวลผลสำเร็จ ดังตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3

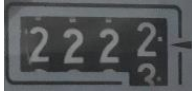













รูปที่ 4.2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์บนมาตรวัดน้ำ และแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

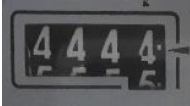


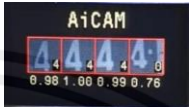
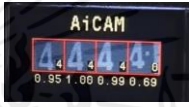







ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจริง (ตัวเลขเดียวกัน)

ตัวเลขบนมาตรวัดน้ำ	วัน/เวลา	กล้องปัญญาประดิษฐ์อ่านได้	ค่าบนแอปพลิเคชัน
 0000			0 . 0 0 m3
			0 . 0 0 m3
			0 . 0 0 m3
			0 . 0 0 m3
			0 . 0 0 m3
 1111			1 1 1 1 . m3
			1 1 1 1 . m3
			1 1 1 1 . m3
			1 1 1 1 . m3
			1 1 1 1 . m3







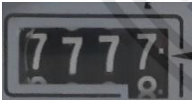





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>2222</p>	<p>Unit1:2222 Sun Aug 13 2023 16:09:55 GMT+0700</p> <p>Unit1:5222 Sun Aug 13 2023 16:10:32 GMT+0700</p> <p>Unit1:5222 Sun Aug 13 2023 16:11:18 GMT+0700</p> <p>Unit1:5222 Sun Aug 13 2023 16:12:37 GMT+0700</p> <p>Unit1:5222 Sun Aug 13 2023 16:13:49 GMT+0700</p>	    	<p>2 2 2 2 . m3</p> <p>5 2 2 2 . m3</p> <p>5 2 2 2 . m3</p> <p>5 2 2 2 . m3</p> <p>5 2 2 2 . m3</p>
 <p>3333</p>	<p>Unit1:5339 Tue Aug 15 2023 23:07:32 GMT+0700</p> <p>Unit1:5239 Tue Aug 15 2023 23:08:08 GMT+0700</p> <p>Unit1:5239 Tue Aug 15 2023 23:09:05 GMT+0700</p> <p>Unit1:5235 Tue Aug 15 2023 23:10:27 GMT+0700</p> <p>Unit1:2333 Tue Aug 15 2023 23:11:18 GMT+0700</p>	    	<p>5 3 3 9 . m3</p> <p>5 2 3 9 . m3</p> <p>5 2 3 9 . m3</p> <p>5 2 3 5 . m3</p> <p>2 3 3 3 . m3</p>











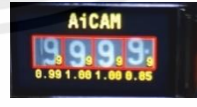

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>4444</p>	Unit1:4440 Tue Aug 15 2023 23:43:27 GMT+0700		4 4 4 0 . m3
	Unit1:4440 Tue Aug 15 2023 23:44:01 GMT+0700		4 4 4 0 . m3
	Unit1:4440 Tue Aug 15 2023 23:44:38 GMT+0700		4 4 4 0 . m3
	Unit1:4440 Tue Aug 15 2023 23:45:43 GMT+0700		4 4 4 0 . m3
	Unit1:4440 Tue Aug 15 2023 23:46:20 GMT+0700		4 4 4 0 . m3
 <p>5555</p>	Unit1:3555 Fri Aug 25 2023 12:25:17 GMT+0700		3 5 5 5 . m3
	Unit1:3555 Fri Aug 25 2023 12:26:19 GMT+0700		3 5 5 5 . m3
	Unit1:3555 Fri Aug 25 2023 12:27:01 GMT+0700		3 5 5 5 . m3
	Unit1:3555 Fri Aug 25 2023 12:27:37 GMT+0700		3 5 5 5 . m3
	Unit1:3555 Fri Aug 25 2023 12:28:11 GMT+0700		3 5 5 5 . m3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

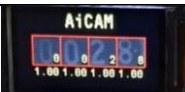









 <p>6666</p>	<p>Unit1:6669 Fri Aug 25 2023 12:53:03 GMT+0700</p> <p>Unit1:6669 Fri Aug 25 2023 12:53:45 GMT+0700</p> <p>Unit1:6669 Fri Aug 25 2023 12:54:39 GMT+0700</p> <p>Unit1:6669 Fri Aug 25 2023 12:55:25 GMT+0700</p> <p>Unit1:6669 Fri Aug 25 2023 12:56:01 GMT+0700</p>	    	<p>6 6 6 9 . m3</p> <p>6 6 6 9 . m3</p> <p>6 6 6 9 . m3</p> <p>6 6 6 9 . m3</p> <p>6 6 6 9 . m3</p> <p>6 6 6 9 . m3</p>
 <p>7777</p>	<p>Unit1:7777 Fri Aug 25 2023 13:15:50 GMT+0700</p> <p>Unit1:7777 Fri Aug 25 2023 13:16:24 GMT+0700</p> <p>Unit1:7777 Fri Aug 25 2023 13:17:15 GMT+0700</p> <p>Unit1:7777 Fri Aug 25 2023 13:17:44 GMT+0700</p> <p>Unit1:7777 Fri Aug 25 2023 13:18:33 GMT+0700</p>	    	<p>7 7 7 7 . m3</p> <p>7 7 7 7 . m3</p> <p>7 7 7 7 . m3</p> <p>7 7 7 7 . m3</p> <p>7 7 7 7 . m3</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

 <p>8888</p>	<p>Unit1:8889 Fri Aug 25 2023 13:21:45 GMT+0700</p> <p>Unit1:8889 Fri Aug 25 2023 13:25:20 GMT+0700</p> <p>Unit1:5889 Fri Aug 25 2023 13:26:13 GMT+0700</p> <p>Unit1:5889 Fri Aug 25 2023 13:26:55 GMT+0700</p> <p>Unit1:5889 Fri Aug 25 2023 13:27:42 GMT+0700</p>	    	<p>8 8 8 9 . m3</p> <p>8 8 8 9 . m3</p> <p>5 8 8 9 . m3</p> <p>5 8 8 9 . m3</p> <p>5 8 8 9 . m3</p>
 <p>9999</p>	<p>Unit1:9999 Sun Aug 13 2023 14:13:45 GMT+0700</p> <p>Unit1:9999 Sun Aug 13 2023 14:14:20 GMT+0700</p> <p>Unit1:9999 Sun Aug 13 2023 14:16:33 GMT+0700</p> <p>Unit1:9999 Sun Aug 13 2023 14:17:33 GMT+0700</p> <p>Unit1:9999 Sun Aug 13 2023 14:18:57 GMT+0700</p>	    	<p>9 9 9 9 . m3</p> <p>9 9 9 9 . m3</p> <p>9 9 9 9 . m3</p> <p>9 9 9 9 . m3</p> <p>9 9 9 9 . m3</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจริง (ตัวเลขแตกต่างกัน)

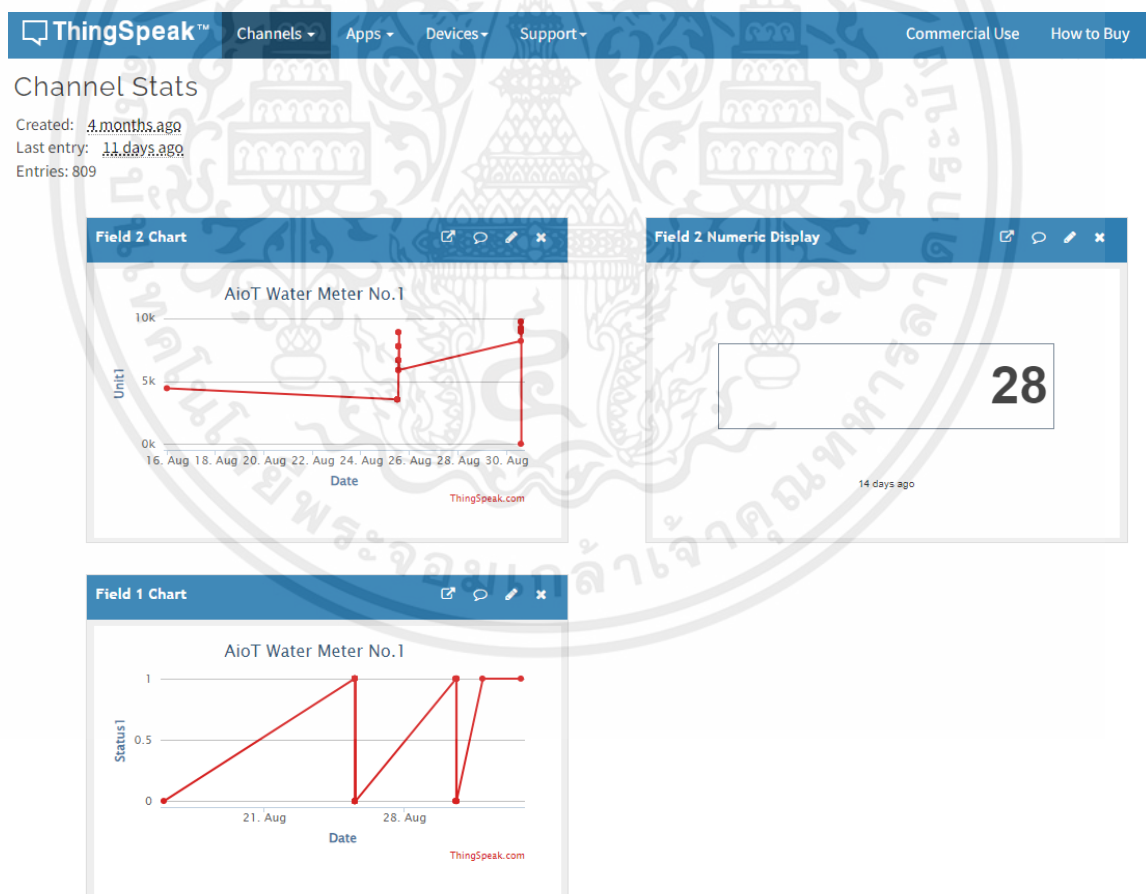
ตัวเลขบนมาตรวัดน้ำ	วัน/เวลา	กล้องปัญญาประดิษฐ์อ่านได้	ค่าบนแอปพลิเคชัน
0028	Unit1:28 Wed Aug 30 2023 14:26:50 GMT+0700		2 8 . 0 0 m ³
9042	Unit1:9042 Wed Aug 30 2023 14:20:31 GMT+0700		9 0 4 2 . m ³
0123	Unit1:123 Mon Oct 23 2023 21:51:54 GMT+0700		1 2 3 . 0 0 m ³
4567	Unit1:4567 Tue Oct 24 2023 14:28:59 GMT+0700		4 5 6 7 . 0 0 m ³
7150	Unit1:7150 Tue Oct 24 2023 14:44:10 GMT+0700		7 1 5 0 . 0 0 m ³
8913	Unit1:8913 Wed Aug 30 2023 14:12:58 GMT+0700		8 1 9 5 . m ³
3690	Unit1:5990 Tue Oct 24 2023 14:21:39 GMT+0700		5 9 9 0 . 0 0 m ³
1248	Unit1:1249 Tue Oct 24 2023 13:53:18 GMT+0700		1 2 4 9 . 0 0 m ³
5678	Unit1:5978 Tue Oct 24 2023 14:36:29 GMT+0700		5 9 7 8 . 0 0 m ³
9235	Unit1:9255 Wed Aug 30 2023 14:23:40 GMT+0700		9 2 5 5 . m ³

จากตารางผลการทดลองที่ 4.2 (ตัวเลขเดียวกัน) พบว่าเมื่อนำโมเดลมาใช้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML TinyML สามารถจำแนกหรืออ่านค่าตัวเลขที่แตกต่างกันได้จากมาตรวัดน้ำ อย่างไรก็ตามการจำแนกบางตัวเลขยังมีความผิดพลาดในการอ่านค่าที่ทำให้ไม่ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำตามที่คาดหวัง ได้แก่ หมายเลข 2 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 5, หมายเลข 3 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 5, 2 และ 9, หมายเลข 4 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 0, หมายเลข 5 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 3, หมายเลข 6 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 9 และหมายเลข 8 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 5, 9

จากตารางผลการทดลองที่ 4.3 (ตัวเลขแตกต่างกัน) พบว่าหมายเลข 3 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 5 มากที่สุดถึงแม้มีการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเลข และหมายเลข 6, 8 มีความผิดพลาดในการอ่านค่าเป็นหมายเลข 9 ในบางตำแหน่งซึ่งอาจเกิดจากความคล้ายคลึงในลักษณะรูปร่างของตัวเลข อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของหมายเลขอื่น ๆ ยังสามารถจำแนกได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง

4.5 ผลการบันทึกข้อมูลบน ThingSpeak

เมื่อมีการทำงานของกระบวนการนี้ ข้อมูลทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกบันทึกลงในคลาวด์ ThingSpeak โดยผลลัพธ์ของการบันทึกข้อมูลใน Field 1 จะแสดงถึงสถานะของการทำงาน โดยที่ค่า 1 หมายถึงการสั่งให้กล่องปัญญาประดิษฐ์ทำงานเพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อก และค่า 0 หมายถึงการดึงตัวเลขที่อ่านได้จากมาตรวัดน้ำที่ถูกเก็บไว้ใน Field 2 ซึ่งนำมาแสดงผลบนแอปพลิเคชัน ดังนั้น Field 2 เป็นผลลัพธ์ของการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่ามาตรวัดน้ำ

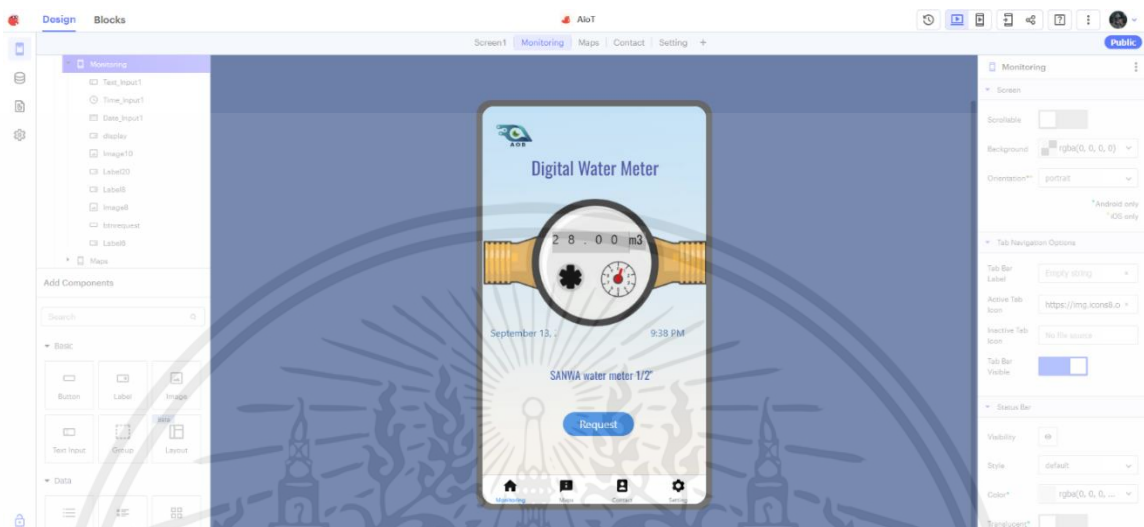


รูปที่ 4.3 แสดงผลการบันทึกข้อมูลบน ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการมอนิเตอร์บนแอปพลิเคชัน

แสดงผลการมอนิเตอร์เมื่อมีการกดปุ่ม Request บนแอปพลิเคชัน



รูปที่ 4.4 แสดงผลมอนิเตอร์บนแอปพลิเคชัน (คอมพิวเตอร์)



รูปที่ 4.5 แสดงผลมอนิเตอร์บนแอปพลิเคชัน (โทรศัพท์มือถือ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อช่วยในเรื่องความสะดวกสบาย และความเร็วในการตรวจวัดมาตรวัดน้ำ โดยจุดมุ่งหมายของปริญญาานิพนธ์นี้ คือ เพื่อการศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนอัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML TinyML ศึกษาศาสตร์ทางการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine learning) ที่นำมาประยุกต์ใช้กับกล้อง ศึกษาการเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์ผ่านอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง และออกแบบแอปพลิเคชันแสดงผลค่าตัวเลขของมาตรวัดน้ำ สำหรับการสร้างกล้องปัญญาประดิษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกจะใช้แพลตฟอร์ม Edge Impulse มาช่วยในการทำการเรียนรู้ของเครื่องจักร โดยมีการอัปโหลดข้อมูลตัวเลขของมาตรวัดน้ำที่เป็นรูปภาพจำนวน 2000 รูป เพื่อทำการสร้างโมเดล และฝึกฝนให้สามารถทำนายหรือจำแนกตัวเลขได้ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีการกำหนดพารามิเตอร์ รอบการเทรน 15 รอบ อัตราการเรียนรู้ 0.005 ชุดการตรวจสอบ 20% โดยมีอินพุตเลเยอร์ทั้งหมด 1024 พิวเจอร์ สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมเป็น FOMO (Faster Object, More Object) MobileNetV2 alpha 0.1 และเอาต์พุตเลเยอร์ทั้งหมด 10 คลาส ให้ค่า F1 Score เท่ากับ 98.6 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการเปลี่ยนโมเดลที่ได้จากการเทรนให้เป็นซอร์สโค้ด และอัปโหลดลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะที่เดียวกันบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเชื่อมต่ออยู่กับ Module Wi-Fi ESP-01 โดยจะรับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส และถูกเขียนโปรแกรมให้ทำงานเชื่อมต่อ Wi-Fi และรับข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ นำข้อมูลตัวเลขที่อ่านได้ส่งไปเก็บที่ระบบคลาวด์ ThingSpeak ผ่านการสื่อสารแบบ MQTTs จากนั้นมีการออกแบบแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ Thunkable ให้รับข้อมูลจากระบบคลาวด์ผ่านการสื่อสารแบบ HTTP นำข้อมูลตัวเลขมาแสดงบนแอปพลิเคชันเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน และมีการสร้างชิ้นงานเสมือนเป็นฝากรอบมาตรวัดน้ำเพื่อเป็นที่ยึดติดของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รวมทั้งบรรจุอุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้ภายใน

ในการทดลองและปฏิบัติได้ผลดีเป็นที่น่าพอใจที่สามารถตรวจวัดมาตรวัดน้ำผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โดยที่ผู้ใช้สามารถทำการตรวจวัดได้ทุกที่ทุกเวลาแม้ว่าอยู่ในบริเวณใดของโลกก็ตาม โดยเพียงแค่มีกการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และจากผลการทดลองพบว่าในกระบวนการจำแนกตัวเลขนั้นมีความ

ผิดพลาดเมื่ออ่านค่าบางตัวเลข ซึ่งมีการผิดพลาดที่เกิดขึ้นในบางกรณี เช่น หมายเลข 2 ที่อาจมีความผิดพลาดในการอ่านค่าและถูกตีความว่าเป็นหมายเลข 5 และหมายเลข 3 ที่มีความผิดพลาดในการอ่านค่าและถูกตีความว่าเป็นหมายเลข 5, 2 หรือ 9 และตัวเลขอื่น ๆ ยังสามารถจำแนกได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในส่วนใหญ่ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการมีชุดข้อมูลในการฝึกฝนโมเดลน้อยเกินไป จึงทำให้เมื่อมีสภาพแวดล้อมใหม่ ๆ เข้ามานอกเหนือจากชุดข้อมูลในการฝึกฝน โมเดลจึงตีความหมายเป็นเลขอื่น ๆ หรือแสงจากหลอด LED ที่มีการตกกระทบแตกต่างจากชุดข้อมูลในการฝึกฝน และอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดสูงในเรื่องหน่วยความจำ ฯลฯ สรุปผลการทดลองได้ว่าโมเดลนี้มีความสามารถในการจำแนกหรืออ่านค่าตัวเลขได้ดีในส่วนใหญ่ แม้ว่าจะมีบางความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในบางกรณีที่เฉพาะเจาะจง

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. โมเดลที่ได้จากแพลตฟอร์ม Edge Impulse นำมาบีบอัดอัปโหลดลงไมโครคอนโทรลเลอร์ Arducam Pico4ML Tiny ที่ใช้ชิปประมวลผล RP2040 ซึ่งมีข้อจำกัดของหน่วยความจำ 264KB ทำให้ความสามารถการทำนายหรือจำแนกตัวเลขมีประสิทธิภาพต่ำลง
2. ขณะทำการเก็บผลการทดลอง ระบบคลาวด์ ThingSpeak มีการเปลี่ยนแปลงของรหัสความปลอดภัยในการเข้าถึงระบบคลาวด์จึงเป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อ และรับส่งข้อมูลกับ ThingSpeak ในการแก้ไขได้ทำการอัปโหลดโปรแกรมใหม่ให้กับ Module Wi-Fi ESP-01 ที่รหัสความปลอดภัยล่าสุด
3. หน้าต่าง UI บนแอปพลิเคชันของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) มีการแสดงข้อมูลส่วนข้อความไม่สมส่วนตามที่ออกแบบบนแอปพลิเคชัน Thunkable
4. จำนวนชุดข้อมูลที่นำมาฝึกฝนโมเดลมีจำนวนน้อยเกินไป จึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดประติษฐ์เพื่ออ่านมาตรวัดน้ำแบบอนาล็อกไม่สามารถจำแนกตัวเลขได้ดี เมื่อเจอกับสภาพแวดล้อมใหม่ ๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การสร้างโมเดลให้สามารถจำแนกตัวเลขจากมาตรวัดน้ำ จำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่น ๆ เข้ามาช่วยในการตัดสินใจเพิ่มเติม
2. การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลในการฝึกฝนโมเดล โดยมีครอบคลุมครบทุกสภาพแวดล้อมสามารถช่วยให้โมเดลจำแนกตัวเลขได้ดียิ่งขึ้น
3. การออกแบบฝาครอบมาตรวัดน้ำให้มีระยะที่เหมาะสมกับเลนส์ของกล้อง
4. การออกแบบแอปพลิเคชันให้มีความสะดวกสบายมากขึ้น โดยการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลจนเกิดการรับรู้ถึงการรั่วไหลของมาตรวัดน้ำ เป็นต้น



บรรณานุกรม

- [1] United Nations Development Programme, “Sustainable Development Goals”, 2023. [Online] Available : <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (16 July 2023)
- [2] TechTarget, “artificial intelligence (AI)”, 2023. [Online] Available : <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence> (30 July 2023)
- [3] Coursera, “What Is Deep Learning?”, 2023. [Online] Available : https://www.coursera.org/articles/what-is-deep-learning?utm_source=gg&utm_medium=sem&utm_campaign=B2C_APAC__branded_FTCO_F_courseraplus_arte_PMax_set2&utm_content=Degree&campaignid=20520149492&adgroupid=&device=c&keyword=&matchtype=&network=x&devicemodel=&adpostion=&creativeid=&hide_mobile_promo&gclid=CjwKCAiA0syqBhBxEiwAeNx9N56-prpKuGcutSxVcRlTl98W4-M8REUbO5xcgXUgXSLmtO-P2n-clBoCcikQAvD_BwE (30 July 2023)
- [4] Jason Brownlee, “What is Deep Learning?”, 14 August 2020. [Online] Available : <https://machinelearningmastery.com/what-is-deep-learning/> (30 July 2023)
- [5] Witchapong Daroontham, “ทำ Image Classification/Transferred learning ด้วย Pytorch”, 29 February 2020. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://medium.com/datawiz-th/%E0%B8%97%E0%B8%B3-image-classification-transferred-learning-%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81-google-image-%E0%B8%9A%E0%B8%99-pytorch-f679f3a62f1e> (10 August 2023)
- [6] L. Atzori, A. Iera, G. Morabito, “The Internet of Things”, A survey, Comput, Netw.54 (15) (2010) 2787-2805.
- [7] J.Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT)”, A vision, architectural elements, and future directions, Future Generation Comput.Syst, 29 (7) (2013) 1645-1660.

- [8] Grappik, “User Interface Design”, 2022. [Online] Available : <https://grappikcom/user-interface-design> (1 September 2023)
- [9] Edge Impulse, “FOMO: Object detection for constrained devices”, 2023. [Online] Available : <https://docs.edgeimpulse.com/docs/edge-impulse-studio/learning-blocks/object-detection/fomo-object-detection-for-constrained-devices> (15 August 2023)
- [10] The heart of tech, “FOMO is a TinyML neural network for real-time object detection”, 24 April 2022. [Online] Available : <https://thenextweb.com/news/fomo-tinyml-neural-network-object-detection> (15 August 2023)
- [11] Sandler et al, “MobileNetV2”, 2018. [Online] Available : <https://paperswithcode.com/method/mobilenetv2> (15 August 2023)
- [12] Edge Impulse, “Build. Train. Optimize. AI for the edge”, 2023. [Online] Available : <https://docs.edgeimpulse.com/docs/edge-impulse-studio/learning-blocks/object-detection/fomo-object-detection-for-constrained-devices> (16 August 2023)
- [13] Mandala AI, “: Artificial intelligence (AI)”, 23 March 2023. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.mandalasystem.com/blog/th/297/What-is-artificial-intelligence-AI> (30 July 2023)
- [14] 20Nettikadan, David & Raj M S, Subodh, 2018, “Smart Community Monitoring System using Thingspeak IoT Platform”, International Journal of Applied Engineering Research. 13. 13402-13408.
- [15] S. Bandyopadhyay and A. Bhattacharyya, "Lightweight Internet protocols for web enablement of sensors using constrained gateway devices," 2013 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), San Diego, CA, USA, 2013, pp. 334-340, doi: 10.1109/ICCNC.2013.6504105
- [16] Thinkable, “Build Custom Mobile Apps No Coding Required”, 2023. [Online] Available : <https://thinkable.com/> (20 September 2023)
- [17] Abdessadek Aaroud, Khalid Akodadi, Chouaib El Hachimi, “A fully AI-based system to automate water meter data collection in Morocco country” Lab. LAROSERI, Dept. of Computer Science, Faculty of Science, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco. 2021

[18] Natthawat Phongchit, “Convolutional Neural Network (CNN) คืออะไร”, 19 September 2018. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา :

<https://medium.com/@natthawatphongchit/%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%98%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%84%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87-cnn-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%99-e3f5d73eebaa> (18 August 2023)

[19] RIVERPLUS, “MQTT โพรโตคอลเพื่อการสื่อสารของ IOT โดยเฉพาะ”, 2020. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://iiot.riverplus.com/mqtt/> (10 August 2023)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการใช้งานแอปพลิเคชัน การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ด้วยโทรศัพท์มือถือต่าง ๆ เพื่อให้ทำงานตามคำสั่ง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ โดยแอปพลิเคชันจะมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface หรือ UI) เพื่อที่จะเป็นตัวกลางในการใช้งานต่างๆ ภายในแอปพลิเคชันมีเมนูให้เลือกใช้งานทั้งหมด 5 เมนู คือ เมนูการตรวจสอบ (Monitoring) เมนูการบันทึกข้อมูล (data log) เมนูกราฟ (Graph) เมนูตำแหน่งที่ตั้ง (Location) และเมนูการตั้งค่า (Setting)

ตารางที่ ก.1 แสดงวิธีการสมัครใช้งานแอปพลิเคชัน

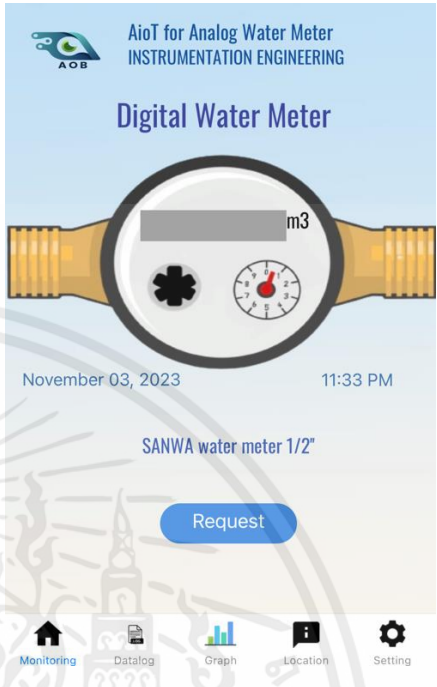

<p>1. ทำการติดตั้งแอปพลิเคชัน เมื่อติดตั้งเสร็จสมบูรณ์ให้กดเข้าแอปพลิเคชัน</p>	
<p>2. หากยังไม่มีชื่อผู้ใช้ (Username) ให้เลือก ยังไม่ได้ลงทะเบียน ลงชื่อ (Not Registered? Sign Up) เพื่อที่จะทำการสมัครเข้าใช้งาน</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>3. ทำการสมัครเข้าใช้งาน โดยการใส่อีเมล และ ตั้งรหัสผ่าน จากนั้นกด ลงชื่อ (Sign up)</p>	
<p>4. ทำการเข้าสู่ระบบโดยเป็นการใส่ ชื่อผู้ใช้ (Username) และรหัสผ่าน (Password) จากนั้น กดเข้าสู่ระบบ (Log in) เพื่อทำการเข้าสู่เมนูการใช้งานต่างๆ</p>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

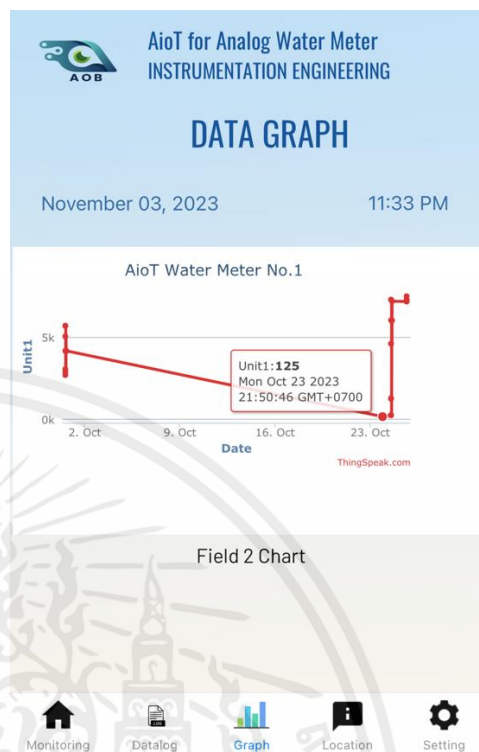
ตารางที่ ก.2 แสดงวิธีการใช้งานเมนูต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน

<p>1. เมนูการตรวจสอบ (Monitoring) เมื่อทำการกดรีเซ็ต (Request) จะเป็นการแสดงตัวเลขที่อยู่บนมิเตอร์น้ำ</p>																																		
<p>2. เมนูการบันทึกข้อมูล (data log) เป็นการแสดงค่าตัวเลขเมื่อมีการกดรีเซ็ต (Request) จำนวน 10 ค่า โดยตัวเลขล่าสุดจะแสดงอยู่ลำดับที่ 10 ไหลขึ้นมาตามลำดับ</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>ลำดับ</th> <th>ค่าตัวเลข</th> <th>เวลาที่บันทึก</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4567.00</td><td>2023-10-24T07:29:42Z</td></tr> <tr><td>2</td><td>5978.00</td><td>2023-10-24T07:36:29Z</td></tr> <tr><td>3</td><td>7150.00</td><td>2023-10-24T07:44:10Z</td></tr> <tr><td>4</td><td>7130.00</td><td>2023-10-25T09:44:14Z</td></tr> <tr><td>5</td><td>7196.00</td><td>2023-10-25T09:50:20Z</td></tr> <tr><td>6</td><td>7196.00</td><td>2023-10-25T09:51:56Z</td></tr> <tr><td>7</td><td>7196.00</td><td>2023-10-25T09:52:51Z</td></tr> <tr><td>8</td><td>7215.00</td><td>2023-10-25T09:55:35Z</td></tr> <tr><td>9</td><td>7255.00</td><td>2023-10-25T09:55:58Z</td></tr> <tr><td>10</td><td>7451.00</td><td>2023-10-25T10:10:06Z</td></tr> </tbody> </table>	ลำดับ	ค่าตัวเลข	เวลาที่บันทึก	1	4567.00	2023-10-24T07:29:42Z	2	5978.00	2023-10-24T07:36:29Z	3	7150.00	2023-10-24T07:44:10Z	4	7130.00	2023-10-25T09:44:14Z	5	7196.00	2023-10-25T09:50:20Z	6	7196.00	2023-10-25T09:51:56Z	7	7196.00	2023-10-25T09:52:51Z	8	7215.00	2023-10-25T09:55:35Z	9	7255.00	2023-10-25T09:55:58Z	10	7451.00	2023-10-25T10:10:06Z
ลำดับ	ค่าตัวเลข	เวลาที่บันทึก																																
1	4567.00	2023-10-24T07:29:42Z																																
2	5978.00	2023-10-24T07:36:29Z																																
3	7150.00	2023-10-24T07:44:10Z																																
4	7130.00	2023-10-25T09:44:14Z																																
5	7196.00	2023-10-25T09:50:20Z																																
6	7196.00	2023-10-25T09:51:56Z																																
7	7196.00	2023-10-25T09:52:51Z																																
8	7215.00	2023-10-25T09:55:35Z																																
9	7255.00	2023-10-25T09:55:58Z																																
10	7451.00	2023-10-25T10:10:06Z																																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

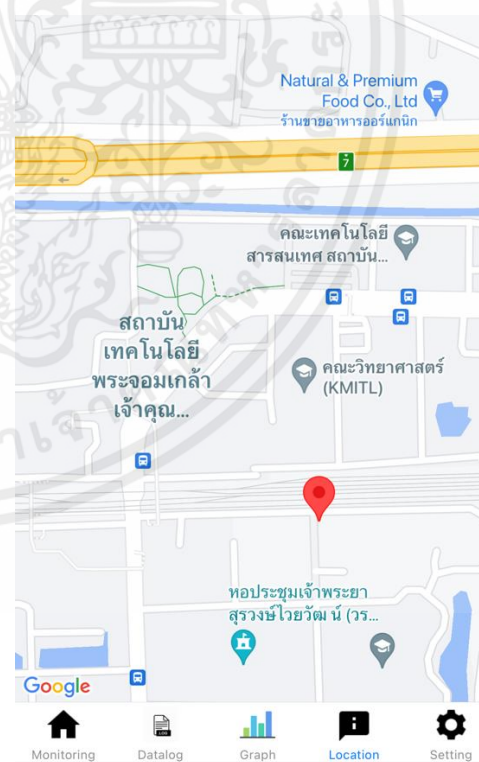
3. เมนูกราฟ (Graph)

เป็นการแสดงกราฟที่พล็อตได้จากข้อมูลที่มี
ซึ่งจะเป็นการดึงข้อมูลจากอิงสพีค (ThingSpeak)
มาใช้งาน



4. เมนูตำแหน่งที่ตั้ง (Location)

เป็นการแสดงตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมนูตั้งค่า (Setting)
เป็นการแสดงข้อมูลของมิเตอร์ และบอกคุณสมบัติต่างๆ ของมิเตอร์

Meter Details	
Dynamic rang (Q3/Q1)	50
Max. Flow Rate 1 Hr/day	2
Pressure loss	< 0.63
Permanet flow rate	1.6
Transition flow rate	0.0152
Min. flow	0.032
Starting flow rate	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลภาษาซี ในการเขียนโปรแกรม

```

const byte numChars = 32;
char receivedChars[numChars];
char tempChars[numChars];    // temporary array for use when parsing
char messageFromPC[numChars] = {0};

int integerFromPC = 0;
float floatFromPC=0.0;
int flag=0;
boolean newData = false;
//=====
void recvWithStartEndMarkers() {
    static boolean recvInProgress = false;
    static byte ndx = 0;
    char startMarker = '<';
    char endMarker = '>';
    char rc;
    while (Serial.available() > 0 && newData == false) {
        rc = Serial.read();
        if (recvInProgress == true) {
            if (rc != endMarker) {
                receivedChars[ndx] = rc;
                ndx++;
                if (ndx >= numChars) {
                    ndx = numChars - 1;
                }
            }
        }
        else {
            receivedChars[ndx] = '\0'; // terminate the string

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        recvInProgress = false;
        ndx = 0;
        newData = true;
    }
}
else if (rc == startMarker) {
    recvInProgress = true;
}
}
}
//=====
void parseData() { // split the data into its parts
    char * strtokIdx; // this is used by strtok() as an index
    strtokIdx = strtok(tempChars, ","); // get the first part - the string
    strcpy(messageFromPC, strtokIdx); // copy it to messageFromPC
    strtokIdx = strtok(NULL, ","); // this continues where the previous call left off
    integerFromPC = atoi(strtokIdx); // convert this part to an integer
    strtokIdx = strtok(NULL, ",");
    floatFromPC = atof(strtokIdx); // convert this part to a float
}
#include "mqtt_secrets.h"
// Ensure correct credentials to connect to your WiFi Network.
char ssid[] = "TP-Link_48F1";
char pass[] = "38171697";
// Ensure that the credentials here allow you to publish and subscribe to the
ThingSpeak channel.
#define channelID 2123619

```

```

char mqttUserName[] = SECRET_MQTT_USERNAME; // Change to your MQTT device
username.

char mqttPass[] = SECRET_MQTT_PASSWORD; // Change to your MQTT device
password.

char clientID[] = SECRET_MQTT_CLIENT_ID; // Change to your MQTT device clientID.

// It is strongly recommended to use secure connections. However, certain hardware
does not work with the WiFiClientSecure library.

// Comment out the following #define to use non-secure MQTT connections to
ThingSpeak server.

#define USESECUREMQTT
// Comment the following line if not using an ESP8266.
#define ESP8266BOARD
#include <PubSubClient.h>
#ifndef ESP8266BOARD
#include <ESP8266WiFi.h>
//const char* PROGMEM thingspeak_cert_thumbprint =
"271892dda426c30709b97ae6c521b95b48f716e1";
//const char* PROGMEM thingspeak_cert_thumbprint =
"9780C25078532FC0FD03DAE01BFD8C923FFF9878";
const char* PROGMEM thingspeak_cert_thumbprint =
"6D2BDAA629BDFB924CB783332230A13F53AF51F6";
#else
#include <WiFi.h>

const char * PROGMEM thingspeak_ca_cert = \
"-----BEGIN CERTIFICATE-----\n" \
"MIIDxTCCAq2gAwIBAgIQAxqcJmoLQJuPC3nyrkYldzANBgkqhkiG9w0BAQUFADBBS\n" \

```

```

"MQswCQYDVQQGEwJVUzEVMBMGA1UEChMMRGlnaUNlcnQgSW5jMRkwFwYDVQQLExB3\n
" \
"d3cuZGlnaWNLcnQuY29tMSswKQYDVQQDEyJEaWdpQ2VydCBlaWdoleFzc3VyYW5j\n" \

"ZSBFViBSb290IENBMB4XDTA2MTEwMDAwMDAwMFoXDTMxMTEwMDAwMDAwMFowbDEL\n
n" \

"MAKGA1UEBhMCVVMxFTATBgNVBAoTDERpZ2lDZXJ0IEluYzEZMBCGA1UECxMQd3d3\n" \
"LmRpZ2ljZXJ0LmNvbTErMCKGA1UEAxMiRGlnaUNlcnQgSGlnaCBBc3N1cmFuY2Ug\n" \
"RVYgUm9vdCBDQTCCASlwdQYJKoZIhvcNAQEBBQADggEPADCCAQoCggEBAMbM5XPm\n" \
\
"+9S75S0tMqbf5YE/yc0lSbZxKsPVLDRnogocsF9ppkCxxLeyj9CYpKlBWTrT3JTW\n" \
"PNT0OKRKzE0lgvdKpVMSOO7zSW1xkX5jtqumX8OkhPhPYLG++MXs2ziS4wblCJEM\n" \
"xChBVfLWokVfnHoNb9Ncgk9vjo4Uft3MRuNs8ckRZqnrG0AFFoEt7oT61EKmEFB\n" \
"lk5LYeBQVCmeVyJ3hLKV9Uu5l0cUyx+mM0aBhakaHPQNAQTXKFx01p8VdteZOE3\n" \
"hzbWBOURtCmAeVf5OYiiAhF8J2a3iLd48soKqDirCmTCv2ZdLYTBoSUeh10aUAsg\n" \
"EsxBu24LUTi4S8sCAwEAAaNjMGEwDgYDVR0PAQH/BAQDAgGGMA8GA1UdEwEB/wQF\n" \
"MAMBAf8wHQYDVR0OBBYEFLE+w2kD+L9HAdSYJholAu9jZCvDMB8GA1UdlwQYMBaA\n" \
"FLE+w2kD+L9HAdSYJholAu9jZCvDMA0GCSqGSIb3DQEBBQUAA4IBAQAAGGaX3Nec\n" \
"nzyIZgYIVyHblUf4KmeqvxygdkAQV8GK83rZEWwONfqe/EW1ntlMMUu4kehDLI6z\n" \
"eM7b41N5cdbllZQB2LWHmiRk9opmzN6cN82oNLFpmyPlnngiK3BD41VHMWEZ71jF\n" \
"hs9OMPagMRYjyOfiZRYzy78aG6A9+MpeizGLYAiJLQwGXFk3xPkKmNEVX58Svnw2\n" \
"Yzi9RKR/5CYrCsSxaQ3pjOLAEFe4yHYSkVXySgnYvCoCWw9E1CAx2/S6cCZdkGCe\n" \
"vEsXCS+0yx5DaMkJ8HSXPfqlbloEpw8nL+e/IBcm2PN7EeqJsdnoDfzAIJ9VNep\n" \
"+OkuE6N36B9K\n" \
"-----END CERTIFICATE-----\n";

#endif

#ifdef USESECUREMQTT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <WiFiClientSecure.h>
#define mqttPort 8883
WiFiClientSecure client;
#else
#define mqttPort 1883
WiFiClient client;
#endif

const char* server = "mqtt3.thingspeak.com";
int status = WL_IDLE_STATUS;
long lastPublishMillis = 0;
int connectionDelay = 1;
int updateInterval = 15;
PubSubClient mqttClient( client );
// Function to handle messages from MQTT subscription.
void mqttSubscriptionCallback( char* topic, byte* payload, unsigned int length ) {
    // Print the details of the message that was received to the serial monitor.
    //Serial.print("Message arrived [");
    //Serial.print(topic);
    //Serial.print("] ");
    char recv[length+1];
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        recv[i]=(char)payload[i];
    }
    flag = atoi(recv);
    Serial.print("<Successful.      ,");
    Serial.print(flag);
    Serial.print(">");
    while(flag==1){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

recvWithStartEndMarkers();
if (newData == true) {
    strcpy(tempChars, receivedChars);
    parseData();
    if(integerFromPC==1){
        // Update ThingSpeak channel periodically. The update results in the message to
the subscriber.

        //if ((millis() - lastPublishMillis) > updateInterval*1000) {
        //mqttPublish( channelId,
(String("field1=")+String(WiFi.RSSI()+String("&field2=")+String(WiFi.RSSI())));
        mqttPublish( channelId, (String("field1=")+String(integerFromPC-
1)+String("&field2=")+String(floatFromPC)));
        Serial.print("<Published.      ,");
        Serial.print(integerFromPC-1);
        Serial.print(">");
        integerFromPC=0;
        flag=0;
        //lastPublishMillis = millis();
        //}
    }
    newData = false;
}
}
}

// Subscribe to ThingSpeak channel for updates.
void mqttSubscribe( long subChannelID ){
    //String myTopic = "channels/"+String( subChannelID )+"/subscribe";
    String myTopic = "channels/"+String( subChannelID )+"/subscribe+"/fields+"/field1";

```

```

mqttClient.subscribe(myTopic.c_str());
}
// Publish messages to a ThingSpeak channel.
void mqttPublish(long pubChannelID, String message) {
    String topicString = "channels/" + String( pubChannelID ) + "/publish";
    mqttClient.publish( topicString.c_str(), message.c_str() );
}
// Connect to WiFi.
void connectWifi()
{
    Serial.print("<Connecting to Wi-Fi... ,0>");
    // Loop until WiFi connection is successful
    #ifdef ESP8266BOARD
        while ( WiFi.waitForConnectResult() != WL_CONNECTED ) {
    #else
        while ( WiFi.status() != WL_CONNECTED ) {
    #endif
        WiFi.begin( ssid, pass );
        delay( connectionDelay*1000 );
        //Serial.print( WiFi.status() );
    }
    Serial.print("<Connected to Wi-Fi. ,0>");
}
// Connect to MQTT server.
void mqttConnect() {
    // Loop until connected.
    while ( !mqttClient.connected() )
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Connect to the MQTT broker.
if ( mqttClient.connect( clientID, mqttUserName, mqttPass ) ) {
  //Serial.print( "MQTT to " );
  //Serial.print( server );
  //Serial.print ( " at port " );
  //Serial.print( mqttPort );
  //Serial.println( " successful." );
  Serial.print("<MQTT Connected.      ,0>");
  }
else {
  Serial.print("<MQTT connection failed ,0>");
  //Serial.print( "MQTT connection failed, rc = " );
  // See https://pubsubclient.knolleary.net/api.html#state for the failure code
  explanation.
  //Serial.print( mqttClient.state() );
  //Serial.println( " Will try again in a few seconds" );
  delay( connectionDelay*1000 );
  }
}
}

void setup() {
  Serial.begin( 115200 );
  // Delay to allow serial monitor to come up.
  delay(3000);
  // Connect to Wi-Fi network.
  connectWifi();
  // Configure the MQTT client
  mqttClient.setServer( server, mqttPort );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Set the MQTT message handler function.
mqttClient.setCallback( mqttSubscriptionCallback );

// Set the buffer to handle the returned JSON. NOTE: A buffer overflow of the message
buffer will result in your callback not being invoked.

mqttClient.setBufferSize( 2048 );

// Use secure MQTT connections if defined.
#ifdef USESECUREMQTT

// Handle functionality differences of WiFiClientSecure library for different boards.
#ifdef ESP8266BOARD
    client.setFingerprint(thingspeak_cert_thumbprint);
#else
    client.setCACert(thingspeak_ca_cert);
#endif
#endif
}

void loop() {
// Reconnect to WiFi if it gets disconnected.
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    connectWifi();
}

// Connect if MQTT client is not connected and resubscribe to channel updates.
if (!mqttClient.connected()) {
    mqttConnect();
    mqttSubscribe( channelID );
}

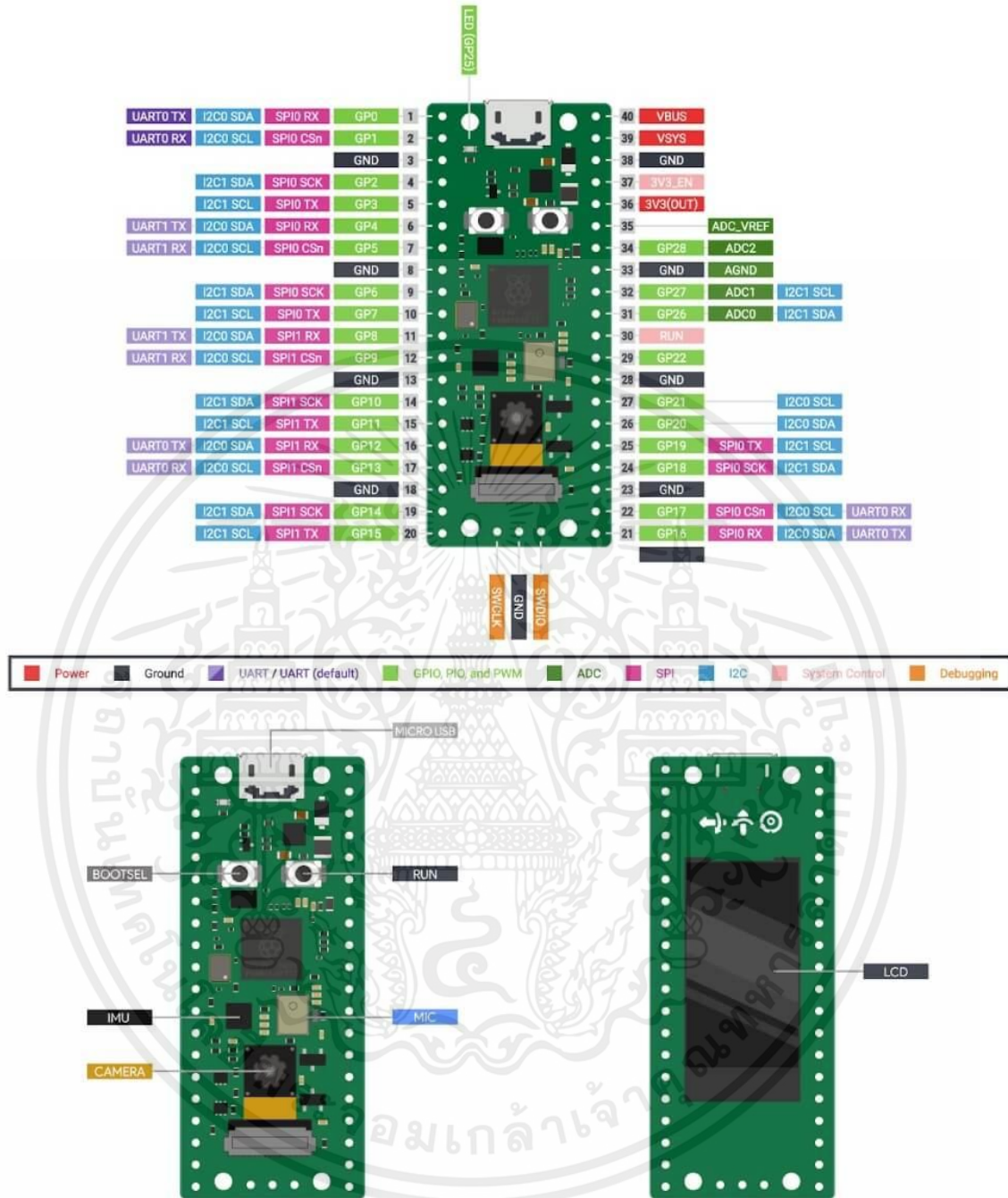
// Call the loop to maintain connection to the server.
mqttClient.loop();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



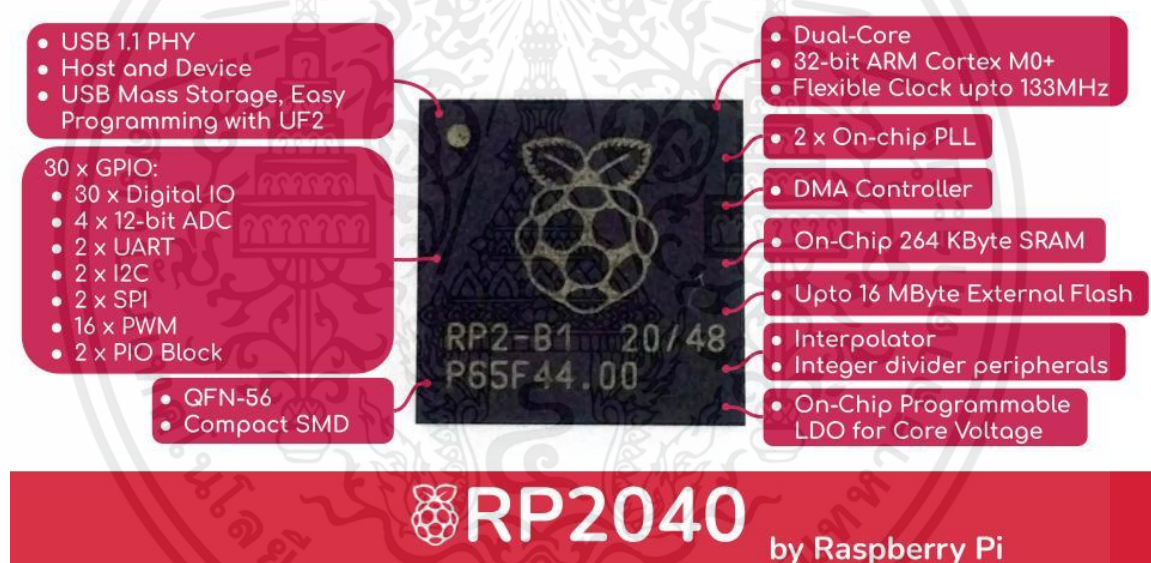
รูปที่ ค.1 แสดงไดอะแกรมขั้วต่อ Arducam Pico4ML TinyML

ที่มา : https://static.cytron.io/image/catalog/products/ADU-TINY4ML-2040/ADU-TINY4ML-2040_g.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลจำเพาะของ Arducam Pico4ML Tiny

Microcontroller	Raspberry Pi RP2040
IMU	ICM-20948
Camera Module	HiMax HM01B0, Up to QVGA (320 x 240 @60fps)
Screen	0.96 inch LCD SPI Display (160 x 80, ST7735)
Operating	Voltage: 3.3V
Input Voltage	VBUS: 5VDC +/- 10% VSYS Max: 5.5VDC
Length	51 mm
Width	21 mm



รูปที่ ค.2 แสดงสเปค RP2040

ที่มา : https://static.cytron.io/image/catalog/products/V-RPI-RP2040/RP2040_Features_b.jpg

1st Microcontroller Silicon designed by Raspberry Pi (Raspberry Pi Silicon)

Proven with Raspberry Pi Pico

Dual-Core, 32-bit ARM Cortex M0+ **Processor**

Flexible clock, configurable max to 133MHz

On-chip 264KB of SRAM

Support up to 16MB of external Flash (QSPI)

12 Channels of DMA (Direct Memory Access)

Ready with USB 1.1 PHY, **supports** Host and Device

Connected to the USB port and it will appear as USB Mass Storage **by default, no driver is needed**

Supports MicroPython, CircuitPython, C, C++, C alike in Arduino IDE **Programming Language**

Drag and Drop Program loading method, just like moving file in Windows Explorer

Peripheral rich :

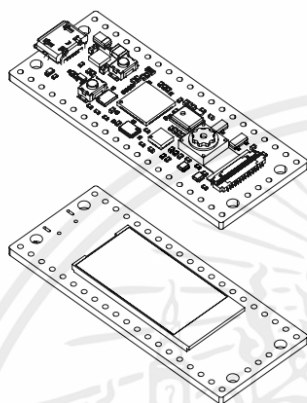
- 30 GPIO (4 reserves for QSPI interface to external Flash IC)
 - 26 multifunction 3.3V General Purpose I/O (GPIO)
 - 23 GPIO are digital-only
 - 5 x 12-bit ADC capable of 500Ksps, Analog to Digital Converter
 - 4 x ADC extended to GPIO
 - 1 x ADC tied to an internal temperature sensor
- 2 x UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- 2 x SPI (Serial Peripheral Interface)
- 2 x I2C (Inter IC)
- 16 x PWM (Pulse Width Modulation)
- 1 x Timer with 4 alarms
- 1 x Real Time Counter
- 2 x Programmable IO (PIO) blocks that can emulate high-speed interfaces such as SD card or VGA

3-pin ARM Serial Wire Debug (SWD) port

Accelerated floating-point libraries on-chip

Arducam Pico4ML TinyML Dev Kit

RP2040 Board w/ QVGA Camera, LCD Screen, Onboard Audio, Reset Button & More



SKU: B0302

Instruction Manual

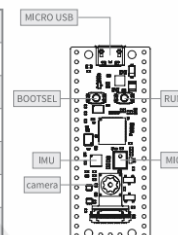
Introduction

Pico4ML is a microcontroller board based on RP2040 for on-device machine learning. It also packs a camera, microphone, IMU, and display to help you get started with TensorFlow Lite Micro, which has been ported to RP2040.

We've included 3 pre-trained TensorFlow Lite Micro examples, including Person Detection, Magic Wand, and Wake-Word Detection. You can also build, train and deploy your models on it.

Specs

Microcontroller	Raspberry Pi RP2040
IMU	ICM-20948
Camera Module	HiMax HM01B0, Up to QVGA (320 x 240@60fps)
Screen	0.96 inch LCD SPI Display (160 x 80, ST7735)
Operating Voltage	3.3V
Input Voltage	VBUS:5V+/-10%,VSYS Max:5.5V
Dimension	51x21mm



Quick Start

We've provided some pre-built binaries that you can just drag and drop onto your Pico4ML to make sure everything is working even before you start writing your code.

Pre-trained Models

Wake-word detection

A demo where Pico4ML provides always-on wake-word detection on whether someone is saying yes or no, using its onboard microphone and pre-trained speech detection model.

Magic Wand (Gesture Detection)

A demo where Pico4ML casts several types of spells in one of the following three gestures: "Wing", "Ring" and "Slope", using its IMU and pre-trained gesture detection model.

รูปที่ ค.3 แสดงข้อมูลจำเพาะ Arducam Pico4ML TinyML (1)

ที่มา : https://www.arducam.com/downloads/b0302_pico4ml_user_manual.pdf

Person Detection

A demo where pico4ml predicts the probabilities of the presence of a person with a Himax HM01B0 camera module.

First Use

Go to the <https://github.com/ArduCAM/pico-tflmicro/tree/main/bin> page, then you will find the .uf2 files for the 3 pre-trained models.

Wake-word Detection

1. Click on the corresponding uf2 file
2. Click on the "Download" button. This file will be downloaded to your computer.
3. Go grab your Raspberry Pi or laptop, then press and hold the BOOTSEL button on your Pico4ML while you plug the other end of the micro USB cable into the board.
4. Release the button after the board is plugged in. A disk volume called RPI-RP2 should pop up on your desktop.
5. Double-click to open it, and then drag and drop the UF2 file into it. The volume will automatically unmount and the screen should light up.
6. Hold your Pico4ML closer and say "yes" or "no". The screen will display the corresponding word.

Magic Wand (Gesture Detection)

1. Repeat the first 5 steps mentioned in "Wake-word Detection Using" to light up the screen with the .uf2 file for magic wand.
2. Wave your Pico4ML quickly in a W (wing), O (ring), or L (slope) shape. The screen will display the corresponding mark.

Person Detection

1. Repeat the first 5 steps mentioned in "Wake-word Detection Using" to light up the screen with the .uf2 file for person detection.
2. Hold your Pico4ML to capture images. The screen will display the image and the probabilities of the presence of a person.

What's Next

Build models on your own

If you are developing your own models on Pico4ML with the Raspberry Pi 4B or Raspberry Pi 400, you can refer to:

<https://github.com/ArduCAM/pico-tflmicro>

Source file for 3D-printable enclosure

If you've got a 3D printer, you can print your own enclosure for Pico4ML with the source file in the link below.

https://www.arducam.com/downloads/arducam_pico4ml_case_file.stp

Contact Us

Email: support@arducam.com

Website: www.arducam.com

Skype: arducam

Doc: arducam.com/docs/pico/

รูปที่ ค.3 แสดงข้อมูลจำเพาะ Arducam Pico4ML TinyML (2)

ที่มา : https://www.arducam.com/downloads/b0302_pico4ml_user_manual.pdf

ประวัติผู้เขียน



Thanawit Manuson received the High Vocational Certificate in Civil Aviation Training Center in 2021, the Grade 12 in Samut Sakhon Wittayalai School in 2019. He is currently a student for the Degree of Bachelor of Instrumentation Engineering, School of Engineering, KMUTL, Bangkok.



Peemapot Patchaiyo received the High Vocational Certificate in Phetchabun Technical College in 2021, the Grade 12 in Petpittayakom School in 2019. He is currently a student for the Degree of Bachelor of Instrumentation Engineering, School of Engineering, KMUTL, Bangkok.



Narintip Saweewallop received the High Vocational Certificate in Electrical Power from Rayong Technical College in 2021, the Vocational Certificate Electrical Power from Rayong Technical College in 2019. She is currently a student for the Degree of Bachelor of Instrumentation Engineering, School of Engineering, KMUTL, Bangkok.

My Advisor



Assoc. Prof. Dr. Arjin Numsomran received the D.Eng. degree in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) in 2018, the M.Eng. degree in Electrical Engineering from KMITL in 2001, and the B.Eng. degree in Instrumentation Engineering from KMITL in 1998. He is currently an Associate Professor with the Department of Instrumentation and Control Engineering, School of Engineering, KMITL, Bangkok.

His research interests include Control System (CS) Analysis and Design, and Design, Embedded Control System (ECS), Instrumentation and Measurement System (IMS), Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT), and Safety Instrumented System (SiS).