

การประมวลผลถ่ายภาพความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบ
เซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม

Thermal imaging processing using Artificial Intelligence for lithium
battery cell inspection



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermal imaging processing using Artificial Intelligence for lithium
battery cell inspection



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2021

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การประมวลผลถ่ายภาพความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบเซลล์
ของแบตเตอรี่ลิเทียม

Thermal imaging processing using Artificial Intelligence for lithium
battery cell inspection

นักศึกษาผู้จัดทำ นายตรีวุฒิ ฤทธิมาศ รหัสนักศึกษา 63015052


นายธนภัทร คงขาว รหัสนักศึกษา 63015065

นางสาวสุพิชชา อัมพาพันธ์ รหัสนักศึกษา 63015193

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2564

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัจย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประมวลผลถ่ายภาพความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม		
	Thermal imaging processing using Artificial Intelligence for lithium battery cell inspection		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายตรีวุฒิ	ฤทธิมาศ	รหัสนักศึกษา 63015052
	นายธนภัทร	คงขาว	รหัสนักศึกษา 63015065
	นางสาวสุพิชชา	อำพาพันธ์	รหัสนักศึกษา 63015193
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ทวีพล ชี้อัสตย์		
ปีการศึกษา	2564		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาที่เกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม ยังเกิดความผิดพลาดอยู่บ่อยครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการประมวลผลถ่ายภาพความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม โดยใช้การวิเคราะห์ถ่ายภาพความร้อนที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนแบบเวลาจริง ด้วยการเรียนรู้เชิงลึกด้วยโปรแกรม CIRA Core และ ใช้ MQTT ในระบบตรวจจับของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียม เพื่อแสดงสถานะของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมผ่านทางไฟแสดงผล ในการประมวลผลภาพแบบเวลาจริง อาศัยกล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด FLUKE TI 400 ในการจับภาพผ่านตัวแปลงสัญญาณ HDMI To USB 3.0 เข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อจำแนกค่าอุณหภูมิจากการเรียนรู้อุณหภูมิด้วยเฉดสีของภาพถ่ายความร้อน จากผลการทดลองเมื่อทำการตรวจเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม พบว่าสามารถแยกสถานะของเซลล์แบตเตอรี่ได้โดยการวิเคราะห์จากเฉดสีภาพถ่ายความร้อนโดย เมื่อตรวจพบเจอสถานะอุณหภูมิปกติ (Normal Temperature) จะแสดงไฟแสดงผลสีเขียว เมื่อเจอสถานะเริ่มมีความร้อนสะสม (Heat Build-Up) จะแสดงไฟแสดงผลสีเหลือง และเมื่อเจอสถานะอุณหภูมิผิดปกติ (Abnormal Temperature) จะแสดงไฟแสดงผลสีแดง

Thesis Title	Thermal imaging processing using Artificial Intelligence for lithium battery cell inspection	
Authors	Mr. Traiwut	Rittmat
	Mr. Thanapat	Khongkhao
	Miss Supitcha	Amphaphan
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Taweepol	Suesut
Year	2021	

ABSTRACT

Currently, problems related to cell quality inspection of lithium batteries are often failed. Especially, the damage due to heat cannot be seen by the eye. Therefore, this thesis presents thermal imaging processing with artificial intelligence for inspecting lithium battery cells by using the thermal imaging analysis obtained from the thermal imaging camera in real time. The deep learning technique by using CIRA Core programming with MQTT to detect lithium battery cells then displaying the status of lithium battery cells through indicator lights. The real-time image processing based on the FLUKE TI 400 infrared thermal imaging camera to capture images via the HDMI To USB 3.0 converter into the computer for the temperature classification learning the temperature from thermal imaging shade has been applied. The experiment result shows the examining lithium battery cells. It was found that the status of the battery cells could be distinguished by thermal imaging shade analysis, when it detects normal temperature status (Normal Temperature), it will display a green display light. When the Heat Build-Up state is reached, it will display a yellow indicator light and when it encounters abnormal temperature status (Abnormal Temperature), it will display a red display light.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ทวีพล ชี้อัสตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ให้ความรู้ คำแนะนำรวมถึงช่วยแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ทำให้ปริญญาโทสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้ความรู้และสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ นางสาว ชนิตรนันท์ แสนบูรณพันธ์ ที่ให้คำปรึกษาด้านโปรแกรม CiRA CORE ตลอดจนให้ความรู้เกี่ยวกับชิ้นงานสำหรับสร้างชุดทดลอง ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ให้การความสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้เขียนขอบแต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน และขอให้ทุก ๆ ท่านจงประสบแต่ความสุขความเจริญตลอดไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	4
2.1.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	5
2.1.2 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	6
2.1.3 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน.....	6
2.1.4 การดูแลรักษาแบตเตอรี่แบบลิเธียมไอออน.....	8
2.2 อุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อความเสียหายของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	8
2.3 สาเหตุการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียม.....	9
2.4 กล้องถ่ายภาพความร้อน.....	10
2.5 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน.....	10
2.6 การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อน.....	11
2.6.1 ความถูกต้อง.....	11
2.6.2 ค่าแผ่รังสี.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 อัตราส่วนระยะทางต่อเป้าหมาย.....	12
2.6.4 การถ่ายโอนหน่วยความจำและข้อมูล.....	12
2.7 การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์.....	12
2.8 การทำงานของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์.....	13
2.8.1 ปัญญาประดิษฐ์.....	13
2.8.1.1 ปัญญาประดิษฐ์เชิงแคบ.....	13
2.8.1.2 ปัญญาประดิษฐ์ทั่วไป.....	13
2.8.1.3 ปัญญาประดิษฐ์แบบเข้ม.....	13
2.8.2 Machine Learning.....	14
2.8.3 Deep Learning.....	14
2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน.....	14
2.9.1 ชั้นคอนโวลูชัน.....	15
2.9.2 ชั้นพูลลิง.....	15
2.9.3 ชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์.....	16
2.10 อัลกอริทึมโวลที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง.....	17
2.10.1 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชัน 1.....	18
2.10.2 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชัน 2.....	18
2.10.3 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชัน 3.....	19
2.10.4 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชัน 4.....	19
2.11 เปรียบเทียบระหว่างโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันกับอัลกอริทึมโวล.....	20
2.12 การใช้งานโปรแกรม CiRA Core.....	21
2.13 Message Queue Telemetry Transport (MQTT).....	22
2.14 ESP32.....	23
2.15 Relay Module.....	23
2.16 regulator.....	25
2.17 งานวิจัยเกี่ยวข้อง.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง.....	27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.1.1 คอมพิวเตอร์.....	27
3.1.2 โครงสร้างชิ้นงาน.....	27
3.1.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti400.....	28
3.1.4 บอร์ด ESP32.....	28
3.1.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต.....	29
3.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินการ.....	30
3.2.1 CiRA CORE.....	30
3.2.2 กล้องเครื่องมือพื้นฐานในแพลตฟอร์ม CiRA CORE ที่ใช้ดำเนินการ.....	31
3.2.3 Mqtt box.....	32
3.2.4 Arduino IDE.....	32
3.2.5 แผนผังการดำเนินการให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้โดยใช้ข้อมูลมาสอน.....	33
3.3 การเตรียมตัวอย่างและการถ่ายภาพความร้อน.....	34
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ชุดข้อมูล.....	34
3.3.2 การถ่ายภาพความร้อน.....	35
3.4 ขั้นตอนการสอนให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูลมาสอน.....	36
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	42
4.1 ค่า AVG ของโปรแกรม CiRA CORE.....	42
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสามทินนี้และ อัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสี่ทินนี้.....	42
4.2.1 อัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสามทินนี้เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ.....	43
4.2.2 อัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสี่ทินนี้เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ.....	43
4.3 การทดสอบโปรแกรมระหว่างเทคนิคอัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสามทินนี้และ เทคนิคอัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสี่ทินนี้.....	44
4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับและแยกสถานะถูกประเภท.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลดำเนินงาน.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน.....	7
2.2 แสดงขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อของ Relay Module 4 Channels.....	24
2.3 ตารางแสดงข้อดีและข้อเสียของไอซีเรกูเลเตอร์.....	25
3.1 คอมพิวเตอร์ใช้งานและใช้ Train AI ต้องมีคุณสมบัติ.....	27
3.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์.....	28
3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์บอร์ด ESP32.....	28
3.4 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต.....	29
4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสามทินนี้ และอัลกอริทึมแบบโวลเทจชันสี่ทินนี้.....	44
4.2 ผลการทดสอบของโปรแกรม.....	45
4.4 แสดงผลการสอบทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อความผิดพลาดของการตรวจจับ.....	47

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	4
2.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	5
2.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....	6
2.4 แสดงลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ตามอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความร้อนต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับ.....	9
2.4 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ.....	11
2.5 ชนิดของ AI.....	13
2.6 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน.....	14
2.8 ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer).....	15
2.8 ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer).....	15
2.9 ชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ (Fully- Connected Layer).....	16
2.10 สถาปัตยกรรม VGG16.....	17
2.11 อัลกอริทึมโยโล.....	17
2.12 อัลกอริทึมโยโลเวอร์ชัน 1 (YOLO v1).....	18
2.13 อัลกอริทึมโยโลเวอร์ชัน 2 (YOLO v2).....	18
2.14 อัลกอริทึมโยโลเวอร์ชัน 3 (YOLO v3).....	19
2.15 อัลกอริทึมโยโลเวอร์ชัน 4 (YOLO v4).....	20
2.16 วิเคราะห์ข้อผิดพลาดระหว่างโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันกับอัลกอริทึมโยโล.....	20
2.17 หลักการทำงานของ CiRA Core.....	21
2.18 ตัวอย่างการทำงานของ CiRA Core.....	21
2.19 แสดงการทำงานของ MQTT.....	22
2.20 บอร์ดESP32.....	23
2.21 บอร์ด relay module.....	24
2.22 บอร์ดregulator.....	25
3.1 คอมพิวเตอร์.....	27
3.2 โครงสร้างชิ้นงาน.....	27
3.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti400.....	28

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.4 บอร์ด ESP32.....	28
3.5 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต.....	29
3.6 หน้าจอหลังจากติดตั้งโปรแกรม CiRA CORE.....	30
3.7 ลักษณะของโปรแกรม CiRA CORE.....	30
3.8 กล่องเครื่องมือในแพลตฟอร์ม CiRA CORE.....	31
3.9 โปรแกรม Mqtt box.....	32
3.10 โปรแกรม Arduino IDE.....	32
3.11 แผนผังการดำเนินการให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูลมาสอน.....	33
3.12 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิปกติ.....	34
3.13 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิความร้อนสะสม.....	34
3.14 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิมืดปกติ.....	34
3.15 ตัวอย่างการปรับอุณหภูมิ.....	35
3.16 กำหนดขอบเขตอุณหภูมิ.....	35
3.17 หน้าจอการทำงานของกล่อง Deep Train.....	36
3.18 ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้าและ Label ของข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่.....	36
3.19 ขั้นตอนในการ Generate และ Train ข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่.....	37
3.20 ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่.....	37
3.21 ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ข้อมูลรูปภาพแบตเตอรี่ โดยค่า Avg อยู่ที่ 0.02.....	38
3.22 รูปแสดงการตรวจจับ.....	38
3.23 รูปโครงสร้างชิ้นงาน.....	39
3.24 ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ.....	39
3.25 ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม.....	39
3.26 ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิมืดปกติ.....	40
3.27 ตัวอย่างการตรวจจับแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติพร้อม LED แสดงสถานะสีเขียว.....	40
3.28 ตัวอย่างการตรวจจับแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสมพร้อม LED แสดงสถานะสีแดง.....	41
3.29 ตัวอย่างการตรวจจับแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิมืดปกติพร้อม LED แสดงสถานะสีเหลือง.....	41
4.1 กราฟแสดงค่า AVG จากการเรียนรู้เชิงของโปรแกรม.....	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.2 อัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินี่เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ.....	43
4.3 อัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินี่เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ.....	43
4.4 เปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจจับระหว่าง.....	45
เทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินี่ และเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินี่	
4.5 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิปกติ.....	46
4.6 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิความร้อนสะสม.....	46
4.7 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิผิดปกติ.....	46



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ เริ่มมีบทบาทมากขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่ได้มีการพัฒนาด้านระบบไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็นกำลังสำรองไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อน ระบบอัดประจุเพื่อการใช้งานใหม่อีกครั้ง โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเมื่อใช้งานไปนานๆ อุปกรณ์ต่างๆจะเริ่มเสื่อมตามสภาพการใช้งาน ซึ่งประสิทธิภาพการ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จะสูงขึ้นเมื่อมีการรักษาอุณหภูมิขณะใช้งานให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่นั้นมาจากการใช้งานการอัด ประจุกลับ การถูกกระทำทางกายภาพเช่นการอัด บด ทิ่มแทงจากอุบัติเหตุ รวมถึงปัญหาทางระบบไฟฟ้า-เคมีของแบตเตอรี่ ปัญหาทางความร้อนที่หากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดการระเบิดจากปรากฏการณ์ Thermal Runaway ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่จะพบในกลุ่มแบตเตอรี่ลิเทียม ดังนั้นการตรวจสอบการทำงานของแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นนั้นจึงมีความสำคัญ ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ริเริ่มพัฒนาระบบการประมวลผลถ่ายเทความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายที่จะเกิดกับแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพ

ปัญหาที่เกี่ยวกับการตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม ยังเกิดความผิดพลาดอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งแบตเตอรี่ลิเทียมล้วนมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน บางครั้งอาจเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบ เนื่องจากความร้อนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ถ้าหากไม่มีการสัมผัสหรือการใช้เครื่องมือวัดจึงไม่สามารถรู้ได้เลยว่าแบตเตอรี่นั้นมีความร้อนหรือไม่ อาจทำให้ผู้ประกอบการขาดทุนหรือเสียหายจากส่วนนี้ได้ โดยเฉพาะความเสียหายจากความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียม ที่ทำให้การตรวจสอบนั้นไม่มีความแม่นยำในการระบุระดับความร้อน ซึ่งถ้าหากแบตเตอรี่ลิเทียมนั้นมีความร้อนสะสมมากเกินไป อาจจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ thermal runaway ได้

ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการประมวลผลถ่ายเทความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเทียม โดยใช้การวิเคราะห์ถ่ายเทความร้อนที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนแบบเวลาจริง ด้วยการเรียนรู้เชิงลึกและเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบวัตถุ (Object Detection) โดยใช้ อัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทีนนี่ (YOLO Version 4-Tinny Algorithm) เปรียบเทียบกับเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network) ซึ่งมีการทำงานที่มีข้อผิดพลาดน้อยมาก ให้ผลการตรวจจับที่แม่นยำ ซึ่งใช้เวลาในการตรวจจับและสอนข้อมูลมีความเร็วมากกว่า ซึ่งเป็นผลที่ติดต่อกับผู้ประกอบการหากนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลถ่ายภาพความร้อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเธียม
2. เพื่อศึกษาระบบ Cira Core
3. เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายของแบตเตอรี่ลิเธียม
4. เพื่อความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน
5. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ลิเธียม

1.3 ขอบเขตของปฏิญานิพนธ์

1. ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนแบบพกพา ยี่ห้อ FLUKE รุ่น TI400
2. ศึกษาการทำงานการตรวจจับวัตถุจากโปรแกรม Cira Core (Center of Industrial Robots and Automation) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่เป็น Core Technology
3. แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟตแบบเกลียว (LiFePO₄) 3.2 V 5500 mAh ขนาด 3.2 x 8.5 CM

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการความเสียหายของแบตเตอรี่ลิเธียมที่ความร้อนตรวจจับได้ การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อน การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์การทำงานของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และการใช้งานโปรแกรม CIRA Core (Center of Industrial Robots and Automation)
2. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม ประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์ การเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และอัลกอริทึมโบลที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง
3. ออกแบบระบบคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับชุดทดลองที่ใช้ในการตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม รวมทั้งเก็บข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม ที่ความร้อนปกติ ความร้อนสะสมและความร้อนผิดปกติ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความร้อนของแบตเตอรี่ลิเธียมรวมทั้งใช้เทรนนิ่งและทดสอบโมเดลของเทคนิคอัลกอริทึมแบบโบลเวอร์ชันสี่ขั้นตอนนี้
4. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลและโปรแกรม
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้โปรแกรมสำหรับการตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย ความร้อน ด้วยเทคนิคอัลกอริทึมแบบโวลเทจเรชันส์ที่ทันสมัย
2. ได้โมเดลสำหรับการตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน ด้วย เทคนิคอัลกอริทึมแบบโวลเทจเรชันส์ที่ทันสมัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium Li-ion)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูงมีน้ำหนักเบาเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีความปลอดภัยอีกด้วยเนื่องมาจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีวงจรป้องกัน (protection circuit) ในการจำกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า โดยวงจรป้องกันจะจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเซลล์ขณะอัดประจุไฟฟ้าและป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำเกินไปขณะคายประจุไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ไม่ให้สูงเกินไปอีกด้วย คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีความหนาแน่นของพลังงานสูงเป็นแบตเตอรี่ที่มีการดูแลรักษาต่ำ ไม่มี memory effect นอกจากนี้ยังมีผลของการคายประจุด้วยตนเอง (Self- discharge) ต่ำอีกด้วย

สาเหตุการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้นได้แก่ การใช้งานแบตเตอรี่จนถึงจำนวนไซเคิลที่แบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเองตามปกติ หรือแบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพเองเมื่อถึงเวลาที่แบตเตอรี่เสื่อม โดยเวลาที่ว่าเป็นเวลาที่นับตั้งแต่การผลิต ไม่ใช่เวลาในการใช้งานนอกจากนี้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ก็ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติได้

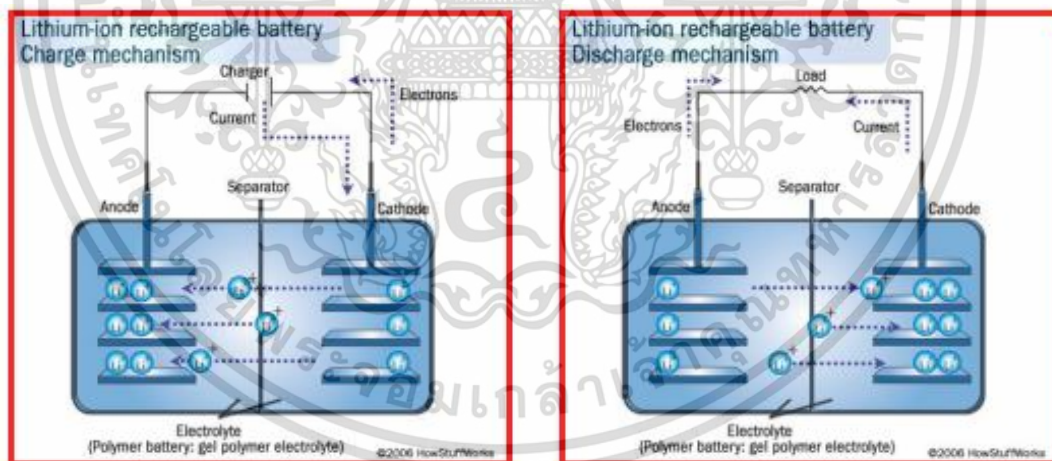


<https://www.blog.bru.ac.th> [online]

รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium Li-ion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนทำงานโดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี โดยขณะที่ประจุไฟ พลังงานไฟฟ้าที่เราประจุไฟเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ ซึ่งจะบังคับให้ลิเทียมไอออนไหลออกจากโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด แล้วไหลผ่านอิเล็กโทรไลต์แล้วผ่าน Separator และเข้าไปสอดตัว (Intercalate) อยู่ในโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลของปฏิกิริยานี้จะทำให้วัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด และวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด เช่น C, Sn, Si อยู่ในสภาวะไม่เสถียร ส่วนในขณะที่ใช้งาน (คายประจุ) ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่จะสามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous reaction) กล่าวคือ ลิเทียมไอออนที่ไหลออกจากโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทด และไปแทรกตัวอยู่ที่ขั้วแอโนดนั้น จะไหลออกจากโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด และเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ทำขั้วแคโทดตามเดิม ทำให้ระบบมีสภาพเสถียรอีกครั้งพร้อมกับให้อิเล็กตรอนผ่านวงจรไฟฟ้า (โดยที่อิเล็กตรอนจะไหลผ่านโลหะ current collector) และให้พลังงานไฟฟ้าออกมา เมื่อใดก็ตามที่ลิเทียมไอออนไหลกลับไปเต็มหมด ปฏิกิริยาก็จะสิ้นสุดหรือถ่านหมดนั่นเอง หากต้องการนำแบตเตอรี่ไปใช้ใหม่อีกต้องประจุไฟอีกครั้ง และเกิดเป็นเช่นนี้ต่อเนื่องไปจนกว่าแบตเตอรี่จะหมดสภาพและอายุการใช้งาน



<https://www.blog.bru.ac.th> [online]

รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ขั้วไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วแคโทด (Cathode) และขั้วแอโนด (Anode)
2. Separator เป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้ขั้วแคโทดสัมผัสกับขั้วแอโนด จนเกิดการลัดวงจร
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารละลายเกลือของลิเทียมซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้ไอออนไหลผ่านแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่าน จึงเป็นตัวนำไอออนิกที่ดี
4. Current collector เป็นส่วนโลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนไหลผ่านออกสู่วงจรภายนอกและเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้



<https://www.blog.bru.ac.th> [online]

รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.1.3 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่มีใช้ในปัจจุบันมี 6 ประเภทหลัก โดยทั่วไปจะแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำขั้วบวก ส่วนขั้วลบทำจากแกรไฟต์เป็นหลัก แต่จะมีประเภท LTO (Lithium Titanate) ที่แตกต่างออกไปคือ มีขั้วลบเป็นลิเทียมไททาเนต ทั้งนี้ เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภทมีสมบัติแตกต่างกัน จึงเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน

ประเภทที่	วัสดุขั้วบวก	วัสดุขั้วลบ	การใช้งาน
1.	Lithium Cobalt Oxide (LCO)	แกรไฟต์	โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล
2.	Lithium Manganese Oxide (LMO)	แกรไฟต์	เครื่องมือไฟฟ้า (Power tools) อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า
3.	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC, NCM)	แกรไฟต์	จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (มักใช้ในรถไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า
4.	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)	แกรไฟต์	อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังใน ยานพาหนะไฟฟ้า ระบบสำรองไฟฟ้า
5.	Lithium Iron Phosphate (LFP)	แกรไฟต์	ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่กรดตะกั่วใน รถยนต์ (Start-Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแส และความทนทานสูง
6.	แกรไฟต์ หรือ LMO	Lithium Titanate	ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่งกำลังใน ยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

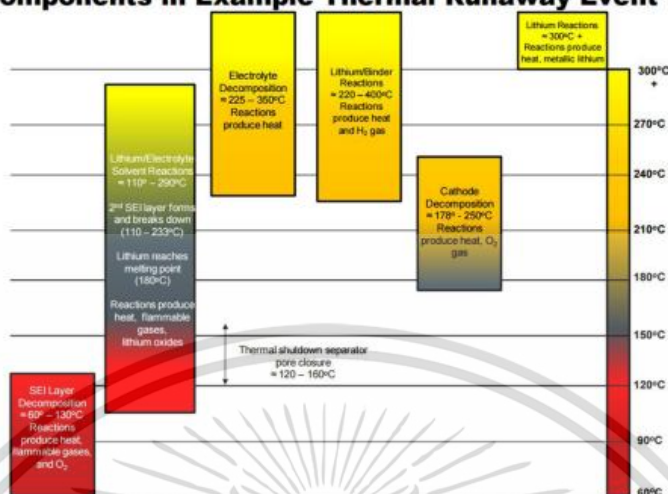
2.1.4 การดูแลรักษาแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน

1. เก็บแบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ให้อยู่ภายในอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม หลีกเลี่ยงการชาร์จไฟภายในอุณหภูมิที่สูง (เพราะจะยิ่งทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น)
2. อย่าใช้งานจนแบตเตอรี่หมดเกลี้ยง หรือใกล้หมดสุดๆ ควรหมั่นชาร์จให้มีไฟเลี้ยงตัวแบตเตอรี่อยู่บ่อยๆ เพราะการชาร์จไฟบ่อยๆ ไม่ได้มีผลต่อการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่
3. ใช้อุปกรณ์ชาร์จไฟที่ได้มาตรฐาน มีการจ่ายไฟเข้าแบตเตอรี่ที่นิ่ง และคงที่ ไม่ควรชาร์จไฟในรถบ่อยๆ เพราะไฟในรถไม่ค่อยนิ่งเท่าไรหรอก

2.2 อุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อความเสียหายของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจะมีความปลอดภัยสูงกว่าแบตเตอรี่ที่ใช้โลหะลิเทียมเป็นขั้ว แต่บางครั้ง ก็อาจมีอันตรายได้เช่นกัน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอาจเกิดความร้อนสูงได้จากหลายสาเหตุ เช่น การกักเก็บ หรือ ใช้งานแบตเตอรี่ในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูง การที่แบตเตอรี่ได้รับแรงกระแทกหรือถูกของมีคมเจาะจนทำให้ได้รับ ความเสียหาย อาจเกิดขึ้นได้ทั้งระหว่างการขนส่งและการใช้งาน หรือแบตเตอรี่อาจมีตำหนิจากขั้นตอนการผลิต เช่น เยื่อเลือกผ่านมีการฉีกขาด หรือมีโลหะปนเปื้อน ทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรจากภายในแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นการอัดหรือคายประจุแบตเตอรี่โดยปกติก็เกิดความร้อนอยู่แล้ว แต่หากแบตเตอรี่ หรือเครื่องประจุแบตเตอรี่ (charger) มีความผิดปกติ ก็อาจทำให้เกิดอันตรายได้ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดไฟไหม้ ได้ คือ การที่แบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุเกินกว่าที่รับได้ (overcharge) ซึ่งอาจเกิดในกรณีเช่นเครื่องประจุ แบตเตอรี่มีความบกพร่องทำให้ไม่หยุดการอัดประจุแม้ว่าแบตเตอรี่จะเต็มแล้ว หรือแบตเตอรี่เสื่อมสภาพทำให้ รับประจุได้น้อยลง สาเหตุอีกประการคือการใช้งานแบตเตอรี่อย่างหนัก เช่น การอัดหรือคายประจุด้วยกระแส สูงเป็นเวลานาน นอกจากนี้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ก็ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงก็จะส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ ก็ยังมี ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ได้สูง หากแบตเตอรี่มีอุณหภูมิภายในถึง 60°C จะเริ่มมีความร้อนสูงขึ้นที่ขั้วลบและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีปฏิกิริยาข้างเคียงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สต่างๆ ที่อาจติดไฟได้ และเกิดความร้อนขึ้นด้วยส่งผลให้เกิด ปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องจนในที่สุดอาจเกิดไฟลุกไหม้ หรือระเบิดได้ เหตุการณ์ดังกล่าวเรียกว่าการเกิดความร้อน ต่อเนื่องแบบกู่ไม่กลับ (thermal runaway) ในบางกรณีอุณหภูมิอาจเพิ่มสูงถึง 900°C ได้

Illustration of Chemical Breakdown of Li-Ion Cell Components in Example Thermal Runaway Event



<https://www2.mtec.or.th> [online]

รูปที่ 2.4 แสดงลำดับเหตุการณ์ต่างๆ ตามอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความร้อนต่อเนื่องแบบกุ้มไม่กลับ

2.3 สาเหตุการเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม

การเกิดความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียมจะแบ่งออกเป็น 2 ปัจจัย คือ

2.3.1 ปัจจัยภายใน

เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการผลิต เช่น เยื่อเลือกผ่านมีการฉีกขาด, มีโลหะปนเปื้อน หรือขั้วบวกกับขั้วลบอยู่ใกล้กันเกินไป จึงทำให้เกิดไฟฟ้าลัดวงจรภายในแบตเตอรี่ โดยเริ่มจาก 1 เซลล์ ก่อน และลุกลามประทุหลายๆ เซลล์ จนเกิดการลุกไหม้หรือระเบิดได้

2.3.2 ปัจจัยภายนอก

- 1) การกักเก็บหรือการใช้งานแบตเตอรี่ในสถานที่ที่อุณหภูมิสูง
- 2) การที่แบตเตอรี่ได้รับแรงกระแทกหรือถูกของมีคมเจาะจนได้รับความเสียหาย อาจเกิดขึ้นได้ทั้งระหว่างการขนส่งและการใช้งาน
- 3) การใช้งานแบตเตอรี่ เช่น การอัดประจุเกินกว่าที่รับได้ (overcharge), การชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าสูงๆ หรือการลัดวงจรของแบตเตอรี่ลิเทียม
- 4) การประกอบแบตเตอรี่ มีการอัดเซลล์แน่นเกินไป ไม่มีการไหลเวียน หรือการถ่ายเทความร้อนออก จึงทำให้เกิดความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กล้องถ่ายภาพความร้อน

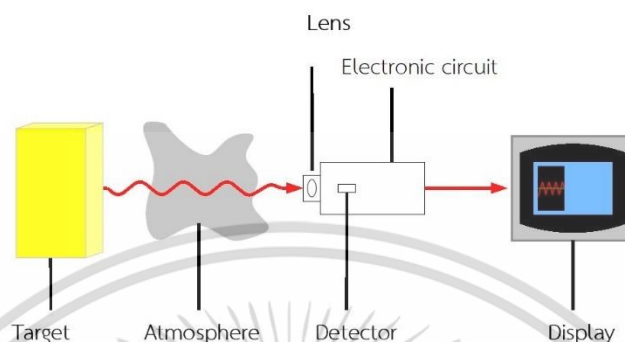
กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imager) หรือกล้องถ่ายภาพด้วยแสงอินฟราเรด กล้องถ่ายภาพนี้สามารถสร้างภาพจากการแผ่รังสีอินฟราเรด ซึ่งเปรียบเทียบกับกล้องถ่ายภาพธรรมดาแตกต่างกันที่กล้องถ่ายภาพธรรมดาใช้การสร้างภาพจากแสงที่มองเห็นได้ซึ่งมีความยาวคลื่น อยู่ใน ช่วง 450 - 750 นาโนเมตร แต่กล้องถ่ายภาพความร้อนทำงานกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 14000 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ารังสีอินฟราเรดหรือเรียกว่าคลื่นรังสีความร้อน

รังสีอินฟราเรด (Infrared, IR) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า รังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงมีความถี่ในช่วง 1011 - 1014 เฮิร์ตซ์ มีความถี่ในช่วงเดียวกับ ไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200 องศาเซลเซียสถึง 4,000 องศาเซลเซียส ที่แตกต่างกันก็คือคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็สูงขึ้นด้วย

2.5 การวิเคราะห์ภาพถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image camera หรือ Thermography) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุและเป็นการวัดอุณหภูมิแบบพื้นที่ ส่วนประกอบสำคัญของกล้องถ่ายภาพความร้อน ประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (Infrared detector) หรือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared sensor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic circuit) และส่วนแสดงผล (Display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (Target) ผ่านเลนส์ของเครื่องมือวัด แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตัวตรวจจับรับไปนั้นประกอบด้วยรังสีที่วัตถุเป้าหมายแผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย จากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่ได้รับมาจากตัวตรวจจับและนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล ซึ่งอาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข สี หรือกราฟหรือทั้ง 3 รูปแบบสำหรับกล้องถ่ายภาพความร้อนประกอบด้วยเซนเซอร์ ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไป สีแดงแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และ โทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า "ภาพถ่ายความร้อน (Thermal Image)" ซึ่งการแปลงรังสีอินฟราเรดที่

เซนเซอร์ตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิอาศัยกฎของแพล็ค (Planck's Law) และ กฎของสตีเฟน (Stefan-Bolizman's Law) ลักษณะการทำงานของไพโรมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด



<https://www.foodnetworksolution.com> [online]

รูปที่ 2.4 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ

2.6 การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imager) เป็นเทคนิคที่ตรวจจับพลังงานอินฟราเรด (ความร้อน) โดยไม่ต้องสัมผัสและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อสร้างภาพความร้อนของวัตถุและกำหนดอุณหภูมิของวัตถุ การถ่ายภาพความร้อนมีการใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรมอาหาร กล้องถ่ายภาพความร้อนในย่านแสงอินฟราเรด เป็นอุปกรณ์สร้างภาพจากการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุทำให้สามารถวัดอุณหภูมิของวัตถุได้หลายพันจุดในวงกว้างในเวลาเดียวกัน เพื่อให้สามารถทราบได้ถึงลักษณะอุณหภูมิของวัตถุได้อย่างละเอียด เพื่อสนับสนุนการทำงานทางวิศวกรรม และวิทยาศาสตร์ได้หลากหลาย เช่น การวัดความร้อนจากร่างกาย หรือโครงการการตรวจหาการรั่วไหลของความร้อนในฉนวนความร้อน หรือโครงการอื่น ๆ ที่ต้องการแยกแยะลักษณะการเกิดความร้อนในจุดต่าง ๆ ของวัตถุ เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดใช้ในการวัดอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสพื้นผิวของวัตถุ เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำ ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดจะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของการใช้งาน

2.6.1. ความถูกต้อง (Accuracy)

เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดแต่ละเครื่องจะมีข้อกำหนดความแม่นยำของตัวเองซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่วัด โดยปกติแล้วเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าจะมาพร้อมกับป้ายราคาที่สูงกว่า ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงการใช้งานจริงและความแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2. ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)

เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดอาจมีข้อเสีย ข้อเสียอย่างหนึ่งคือความจำเป็นในการทราบค่าการแผ่รังสีของวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ การแผ่รังสีของวัสดุคือความสามารถของพื้นผิวในการปล่อยหรือดูดซับพลังงานการแผ่รังสี สามารถดูตารางค่าการแผ่รังสีของวัสดุแต่ละชนิดได้จากคู่มือของเครื่องวัด

2.6.3. อัตราส่วนระยะทางต่อเป้าหมาย (D.S = Distance to Spot ratio)

เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดทุกตัวมีอัตราส่วนระยะห่างต่อเป้าหมายหรือ (D / S) ข้อมูลนี้ได้มาจาก Specification ของเครื่องวัดแต่ละรุ่น ค่าเหล่านี้สามารถแสดงเป็น x: y ซึ่งหมายความว่าจุดวัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อระยะทางถึงพื้นผิวคือ x ตัวอย่างเช่นมีอัตราส่วนระยะทางต่อเป้าหมายเท่ากับ 20: 1 คุณสามารถยืนห่างจากเป้าหมายได้ 20 เซนติเมตรหรือ 20 นิ้วและวัดอุณหภูมิของวงกลมหนึ่งเซนติเมตรหรือหนึ่งนิ้ว ลักษณะคล้ายกับรูปกรวยของแสงที่เปล่งออกมาจากไฟฉาย

2.6.4. การถ่ายโอนหน่วยความจำและข้อมูล

ผลิตภัณฑ์เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรดบางตัวจะบันทึกการอ่านอุณหภูมิลงในหน่วยความจำในหรือหน่วยความจำการ์ด SD ขนาดของหน่วยความจำสามารถแสดงเป็นจำนวน GB หรือเป็นจำนวนการอ่านสูงสุดที่จัดเก็บไว้ หน่วยความจำนี้

2.7 การประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์

การประมวลผลภาพเป็นการแปลงภาพดิจิทัลที่ผ่านกระบวนการจัดการภาพ เช่น การแยกส่วนภาพ (Segmentation) และการเพิ่มความคมชัด (Contrast enhancement) เป็นต้น เพื่อให้ได้ภาพที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ต่างกัน เทคนิคการประมวลผลภาพสามารถ แบ่งเป็น 2 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคอนาล็อก (Analog techniques) เป็นลักษณะการตีความหมายภาพและการวิเคราะห์ภาพที่ได้มีการตีพิมพ์ออกมาผ่านการวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ และเทคนิคการประมวลผลดิจิทัล (Digital processing techniques) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ในการปรับแต่งภาพให้มีความเหมาะสมตามแต่ละการประยุกต์ใช้งานด้วยกระบวนการจัดการภาพ สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ภาพและประมวลผลภาพดิจิทัล

โดยการประมวลผลภาพพื้นฐานประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การได้มาของภาพจากการสแกนหรือการถ่ายภาพดิจิทัล
2. การวิเคราะห์และกระบวนการจัดการภาพ
3. ผลลัพธ์ของภาพที่ผ่านกระบวนการจัดการหรือการวิเคราะห์ภาพ

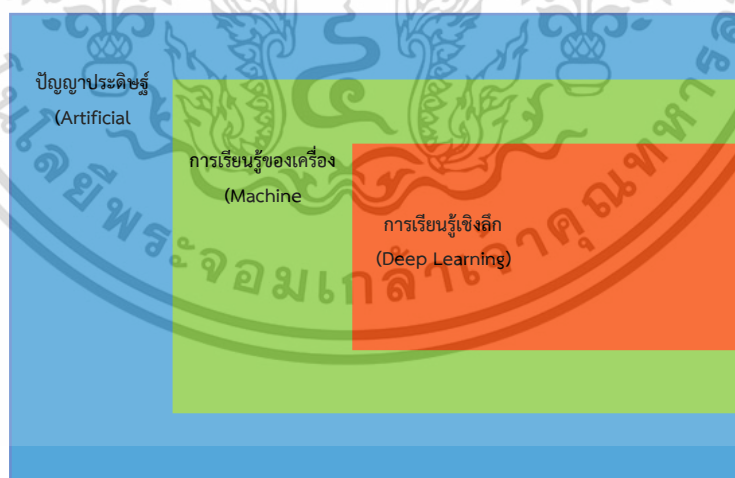
2.8 การทำงานของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

2.8.1 ปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial Intelligence) คือเครื่องจักร (machine) ที่มีฟังก์ชันที่มีความสามารถในการทำความเข้าใจ เรียนรู้องค์ความรู้ต่างๆ อาทิเช่น การรับรู้ การเรียนรู้ การให้เหตุผล และการแก้ปัญหาต่างๆ เครื่องจักรที่มีความสามารถเหล่านี้ก็ถือว่าเป็น ปัญญาประดิษฐ์ นั่นเอง เพราะฉะนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า AI ถือกำเนิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรมีความสามารถที่จะเรียนรู้ตัวเอง ซึ่ง AI ก็ถูกแบ่งออกเป็นหลายระดับตามความสามารถหรือความฉลาด โดยจะวัดจากความสามารถในการ ให้เหตุผล การพูด และทัศนคติของ AI ตัวนั้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ AI ถูกจำแนกเป็น 3 ระดับตามความสามารถ หรือความฉลาดดังนี้

2.8.1.1 ปัญญาประดิษฐ์เชิงแคบ (Narrow AI) ปัญญาประดิษฐ์แบบอ่อน คือ AI ที่มีความสามารถเฉพาะทางได้ดีกว่ามนุษย์ก็คือ AI ที่เก่งในเรื่องแคบๆหรือเรื่องเฉพาะทางนั่นเอง อาทิ เช่น AI ที่ช่วยในการผ่าตัด (AI-assisted robotic surgery) ที่อาจจะเชี่ยวชาญเรื่องการผ่าตัดกว่าคุณหมอยุคปัจจุบัน แต่แน่นอนว่า AI ตัวนี้ไม่สามารถที่จะทำอาหาร ร้องเพลง หรือทำสิ่งอื่นที่นอกเหนือจากการผ่าตัดได้นั่นเอง ซึ่งผลงานวิจัยด้าน AI ณ ปัจจุบัน ยังอยู่ที่ระดับนี้

2.8.1.2 ปัญญาประดิษฐ์ทั่วไป (General AI) คือ AI ที่มีความสามารถระดับเดียวกับมนุษย์ สามารถทำทุกๆ อย่างที่มนุษย์ทำได้และได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับมนุษย์

2.8.1.3 ปัญญาประดิษฐ์แบบเข้ม (Strong AI) คือ AI ที่มีความสามารถเหนือมนุษย์ในหลายๆ ด้าน จะเห็นได้ว่าวิทยาการของมนุษย์ ปัจจุบันอยู่ที่จุดเริ่มต้นของ AI เพียงเท่านั้น



<https://www.thaiprogrammer.org> [online]

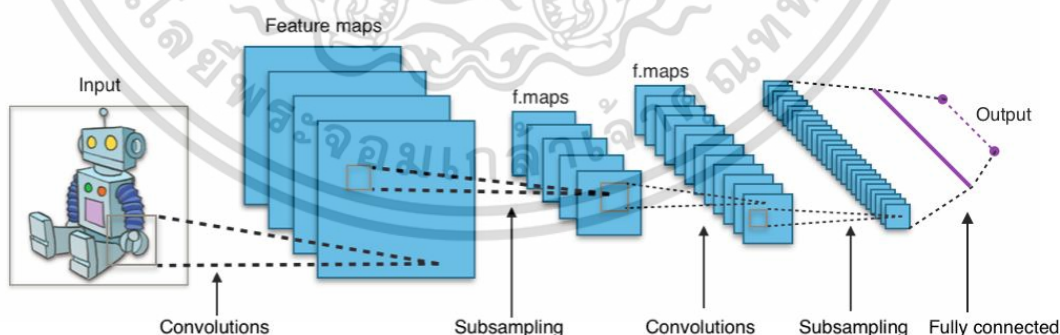
รูปที่ 2.5 ชนิดของ AI

2.8.2 Machine Learning คือ ศาสตร์ของการศึกษา วิธีการคิด (algorithm) ที่ใช้ในการเรียนรู้ (learn) จากตัวอย่าง (example) และ ประสบการณ์ (experience) โดยมีพื้นฐานมาจากหลักการที่เชื่อว่า ทุกสิ่งอย่างมีรูปแบบหรือแบบแผน (pattern) ที่สามารถบ่งบอกความเป็นไปของสิ่งนั้นๆ ซึ่งเราสามารถที่จะนำแบบแผนนี้ มาประยุกต์ใช้เพื่อทำการทำนายถึงความเป็นไปในอนาคตได้ (prediction) อาทิเช่น การใช้ machine learning ในการทำนายราคาหุ้นในอนาคต จากข้อมูลกราฟในอดีตและปัจจุบัน

2.8.3 Deep Learning คือเป็นซัพเซตของ Machine Learning โดย Deep Learning นั้นไม่ได้หมายความว่า มันคือการทำความเข้าใจองค์ความรู้(knowledge)ในเชิงลึก แต่หมายถึงการใช้เครื่องจักร (machine) ใช้หลายๆเลเยอร์(layer/ที่แตกต่างกัน ในการทำความเข้าใจหรือเรียนรู้ข้อมูลโดยความซับซ้อนของโมเดล(model) ก็แปรผันตามจำนวนของเลเยอร์ (layer) ยกตัวอย่างเช่นบริษัทกูเกิล ใช้ LeNet model ในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจภาพ (Image recognition) โดยมีการใช้เลเยอร์ทั้งหมด 22 เลเยอร์ โดยใน Deep learning , จะมีเฟสของการเรียนรู้ (learning phase) ที่ถูกสร้างขึ้นโดย Neural Network ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นสถาปัตยกรรมของ layer ที่แต่ละ layerซ้อนทับกันอยู่ (stack)

2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

Convolutional Neural Network (CNN) หรือ โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน เป็นโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งในกลุ่ม bio-inspired โดยที่ CNN จะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองเห็นที่เบลอๆ และนำกลุ่มของพื้นที่ย่อยๆมาผสานกัน เพื่อดูว่าสิ่งที่เห็นอยู่เป็นอะไรกันแน่ การมองเห็นที่เบลอของมนุษย์จะมีการแยกคุณลักษณะ (feature) ของพื้นที่ย่อยนั้น เช่น ลายเส้น และการตัดกันของสี ซึ่งการที่มนุษย์รู้ว่าพื้นที่ตรงนี้เป็นเส้นตรงหรือสี่เหลี่ยม เพราะมนุษย์ดูทั้งจุดที่สนใจและบริเวณรอบ ๆ ประกอบกัน

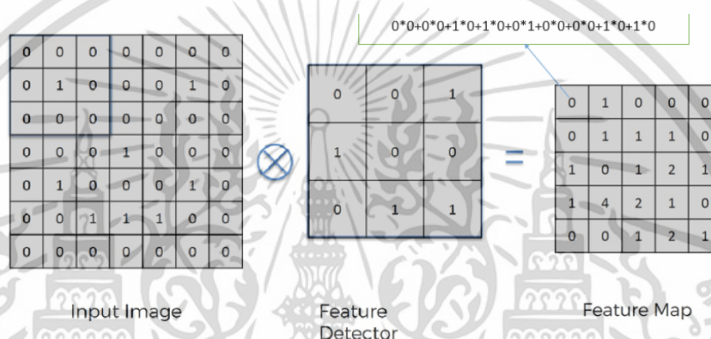


<https://ethesis.lib.ku.ac.th> [online]

รูปที่ 2.6 โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน

ในส่วนของ Filter ของภาพดิจิทัลนั้น โดยปกติแล้วจะเป็นตารางสองมิติที่มีขนาดตามพื้นที่ย่อยๆ ที่เราอยากพิจารณา และทำได้ทั้งสกัดคุณลักษณะพิเศษ (Feature Extraction) และจำแนกประเภท (Classification) ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเด่นของโครงข่ายนี้ โดยทั่วไปโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันจะประกอบไปด้วย 3 ชั้นที่สำคัญดังนี้

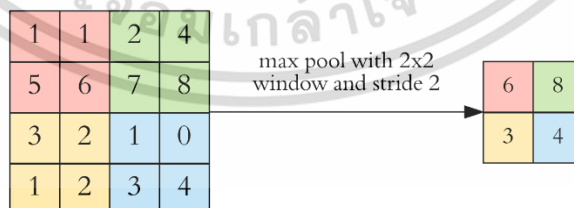
2.9.1 ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer) เป็นการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ของนิวรอน (Neuron) ที่เชื่อมต่อ (Connected) มาจากพื้นที่ส่วนย่อย (Local Region) ของรูปภาพด้วยวิธีการคอนโวลูชัน ซึ่งเป็นการคำนวณแบบ dot product กับเคอร์เนลแบบจัตุรัสขนาดเล็ก เช่น 3x3, 5x5, หรือ 7x7 เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเรียกว่า "Feature Map"



<https://medium.com> [online]

รูปที่ 2.7 ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer)

2.9.2 ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer) เป็นชั้นที่อยู่คั่นกลางระหว่างชั้นคอนโวลูชัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดขนาด (Downsampling) ของ Feature Map ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งสามารถใช้ฟังก์ชันค่าเฉลี่ย ฟังก์ชันค่าต่ำสุด และ ฟังก์ชันค่าสูงสุดในการคำนวณ ดังนั้น หากเลือกใช้ฟังก์ชันค่าสูงสุดในการคำนวณจะเรียกว่า "Max Pooling"

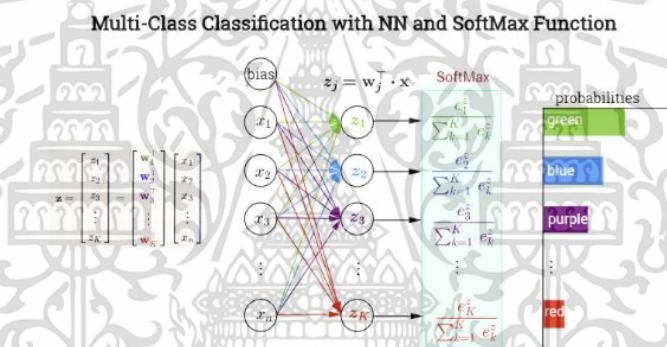


<https://medium.com> [online]

รูปที่ 2.8 ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer)

การทำ Max Pooling สามารถทำได้โดยนำ Feature Map มาแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อย (Local Region) โดยกำหนดให้มีขนาดเป็น PxP ส่วน (จากตัวอย่างกำหนดให้มีขนาด 2x2 ส่วน) - จากนั้นหาค่าที่มากที่สุดในแต่ละพื้นที่ย่อย หรือ Pool จากพื้นที่แรกที่ประกอบด้วยตัวเลข 1, 2, 3, 5 สังเกตได้ว่าตัวเลขที่มากที่สุดคือ 5 ดังนั้นใน Pool นี้จึงเลือกค่า 5 มาพิจารณา

2.9.3 ชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully-Connected Layer) เป็นชั้นที่เชื่อมโยงระหว่าง Feature Map และ Output แบบสมบูรณ์ นั่นหมายถึงทุก ๆ Neuron ที่อยู่ในชั้นสุดท้ายของ Feature Map จะถูกนำไปเปลี่ยนรูป (Reshape) หรือเรียกว่า Flatten เพื่อส่งไปคำนวณต่อในชั้นถัดไป ซึ่งก็คือชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP ดังนั้น Feature Map ในชั้นสุดท้ายจึงเปรียบเสมือนข้อมูลนำเข้า (Input) ไปยังโครงข่ายประสาทเทียมรูปของ nonlinear เป็นส่วนที่ต้องระบุ "อัลกอริทึม (Activation) ที่จะใช้ในการจำแนกคุณลักษณะของข้อมูล สำหรับงานทางด้าน Multi-Class Classification โครงข่าย Neural Network จะใช้ Softmax Function เพื่อคำนวณหาคำตอบ

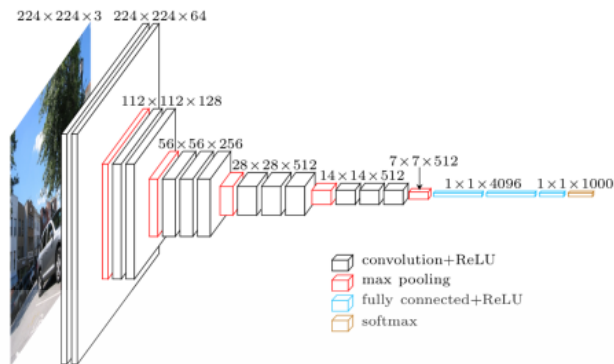


<https://medium.com> [online]

รูปที่ 2.9 ชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully- Connected Layer)

ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ก็ได้พัฒนาโมเดลมาใช้งานสำหรับการทางการจำแนกวัตถุซึ่งตัวที่เป็นที่นิยมคือ VGG16 เป็นสถาปัตยกรรม Convolution Neural Net (CNN) ซึ่งใช้ในการชนะการแข่งขัน ILSVR (Imagenet) ในปี 2014 ถือได้ว่าเป็นหนึ่งในสถาปัตยกรรมแบบจำลองการมองเห็นที่ยอดเยี่ยมจนถึงปัจจุบัน สิ่งที่เป็นเอกลักษณ์ที่สุดเกี่ยวกับ VGG16 คือแทนที่จะมีไฮเปอร์พารามิเตอร์จำนวนมาก แต่มุ่งเน้นไปที่การมีเลเยอร์คอนโวลูชันของฟิลเตอร์ 3×3 ที่มีสไตรด์ 1 และใช้แพดดิ้งเดียวกันเสมอและแมกซ์พูลเลเยอร์ 2×2 ของสไตรด์ 2 ตามการจัดเรียงของ Convolution และชั้นพูลสูงสุดอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งสถาปัตยกรรม ในที่สุดก็มี 2 FC ตามด้วย SoftMax สำหรับเอาต์พุต 16 ใน VGG16 หมายถึงมี 16 ชั้นที่มีน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

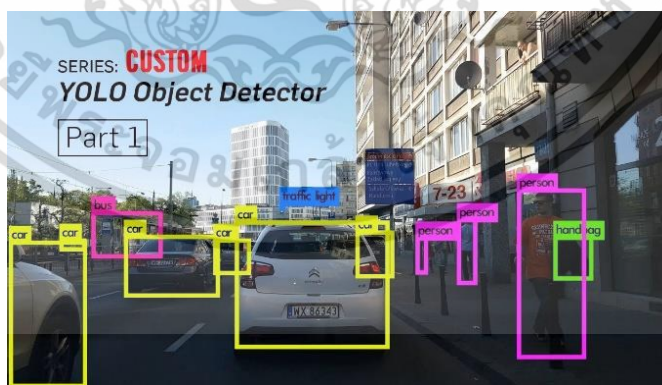


<https://www.i2tutorials.com> [online]

รูปที่ 2.10 สถาปัตยกรรม VGG16

2.10 อัลกอริทึมโยโลที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง

YOLO (You Only Look Once) เป็นอัลกอริทึมที่นำแนวความคิดของการทำนายตำแหน่งและขนาดของกล่อง จากความน่าจะเป็นที่กล่องนั้น จะเป็นกรอบล้อมวัตถุ แต่สิ่งที่ YOLO สามารถและความเร็วเหนือกว่าอัลกอริทึมอื่น เช่น Faster R-CNN ที่มีการทำงานในลักษณะที่จะทำนายตำแหน่งของกรอบล้อมวัตถุและค้อยนำวัตถุในกล่องนั้น ไปผ่านแบบจำลองเพื่อทำนายวัตถุในกล่อง แต่ YOLO นั้นจะทำนายทั้งกรอบล้อมวัตถุ และความน่าจะเป็นของวัตถุบางส่วนที่อยู่ในกรอบออกมาพร้อมกันทีเดียว จัดว่าเป็นเทคนิคการตรวจจับวัตถุในภาพซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เปิดสำหรับแก้ปัญหาประดิษฐ์แบบโครงข่ายประสาท (Neural Network) ที่พัฒนาด้วยโปรแกรมภาษา C++ และสามารถทำงานบนหน่วยประมวลผล CUDA ของ GPU ได้เป็นอย่างดี เหมาะกับการประมวลผลภาพแบบ Real Time ภาพจากกล้องหรือวิดีโอ

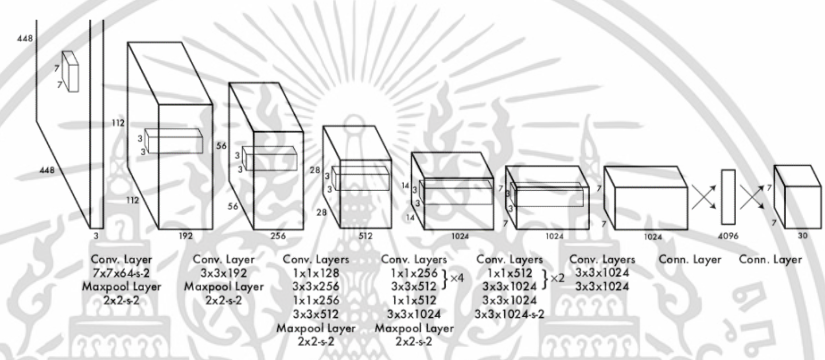


<https://blog.paperspace.com> [online]

รูปที่ 2.11 อัลกอริทึมโยโล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

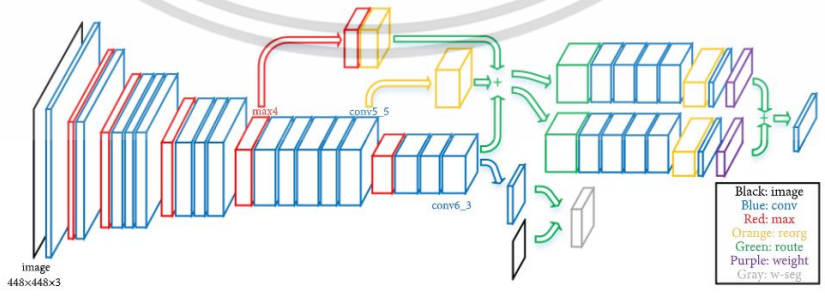
2.10.1 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 1 (YOLO v1) แบ่งภาพอินพุตออกเป็นตาราง $S \times S$ และถ้าจุดศูนย์กลางของเซลล์กริดตรงกับจุดศูนย์กลางของเซลล์กริดทำงานบนการตรวจจับวัตถุ [41] เซลล์กริดคือ Bounding Box คำนวณความมั่นใจสำหรับแต่ละตาราง (Confidence Score) และความน่าจะเป็นของชั้นเรียน คำทำนายเหล่านี้คือเทนเซอร์ $S \times S \times (B \times 5 + C)$ คำนวณโดย B คือขอบเขตจำนวนเซลล์ C แสดงถึงจำนวนคลาสที่มีเงื่อนไขของเซลล์ คำนวณความน่าเชื่อถือสามารถคาดการณ์ได้ว่าวัตถุอยู่นอกกรอบขอบเขตหรือไม่เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงระดับความเชื่อมั่นและความถูกต้อง สถาปัตยกรรมโครงข่ายของ YOLO v1 ได้รับการออกแบบมาสำหรับการจัดประเภทรูปภาพอิงตามโมเดล GoogleNet ที่มี 24 เลเยอร์แบบ Convolutional และสองชั้นที่เชื่อมต่ออย่างเต็มที่ เลเยอร์การรวมคือไม่ได้ใช้



<https://medium.com/> [online]

รูปที่ 2.12 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 1 (YOLO v1)

2.10.2 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 2 (YOLO v2) ออกแบบมาเพื่อใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่เป็นความลับจำนวนมาก วิธีนี้ข้อมูลการจัดหมวดหมู่เท่านั้นการฝึกอบรมเครื่องตรวจจับวัตถุก็เช่นเดียวกับเป็นไปได้ เพื่อปรับปรุงความถูกต้องและความเร็วของโซลูชันเพิ่มขึ้นและความเสถียรของการเรียนรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานแม้กับอินพุตที่มีความละเอียดสูงและการทำนายของกล่องขอบเขตเป็นชั้นที่เชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์ในขณะที่ลดโครงข่ายโดยดำเนินการในกล่องสมอความละเอียดเอาต์พุตดีขึ้น

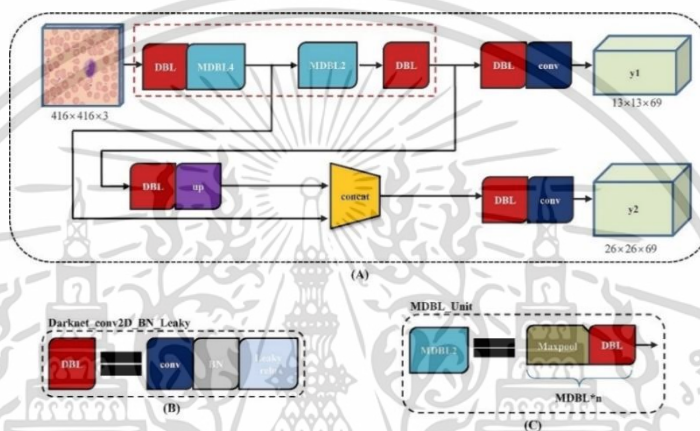


<https://medium.com/> [online]

รูปที่ 2.13 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 2 (YOLO v2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 3 (YOLO v3) เรียกว่า Darknet-53 (มี 52 convolutions) เป็นการใช้ Logistic Regression กับทำนายคะแนนของขอบเขต การจับคู่นี้มีวัตถุประสงค์อยู่ในกรอบแต่ละกล่อง การคำนวณคะแนนความเที่ยงธรรมที่คำนวณว่า Cross-overlapping union (IOU) ของกล่องความจริง พื้นสูงที่สุดตรงกับกล่องที่ 1 กล่องขอบเขตที่กำหนดไว้ล่วงหน้า การคาดคะเนสามารถละเว้นได้หากไม่ซ้อนทับกับเกณฑ์ที่กำหนดทั้งหมด นอกจากนี้ Bounding Box Prediction, Class Prediction, Feature Detector และ Antiปรับปรุงการป้องกันการตรวจหารายการซ้ำ คุณลักษณะ



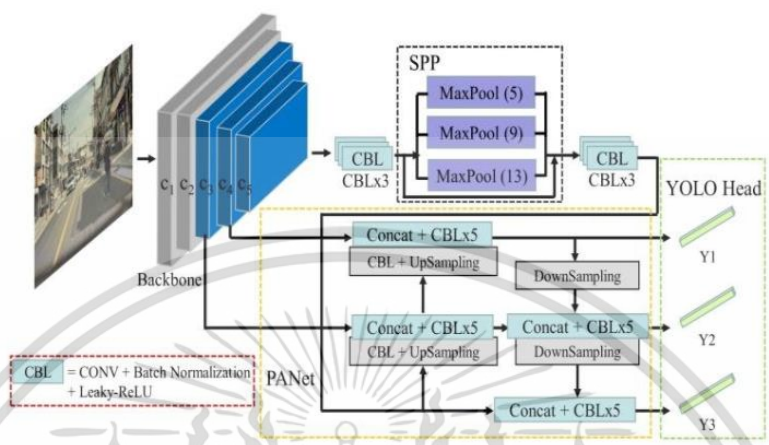
<https://medium.com/> [online]

รูปที่ 2.14 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 3 (YOLO v3)

2.10.4 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชั้น 4 (YOLO v4) มีคุณสมบัติมากมายที่กล่าวกันว่าปรับปรุงความแม่นยำของ Convolutional Neural Network (CNN) จำเป็นต้องมีการทดสอบเชิงปฏิบัติของการผสมผสานคุณลักษณะดังกล่าวกับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ และการให้เหตุผลเชิงทฤษฎีของผลลัพธ์คุณลักษณะบางอย่างทำงานเฉพาะกับบางรุ่นเท่านั้นและสำหรับปัญหาบางอย่างเท่านั้น หรือสำหรับชุดข้อมูลขนาดเล็กเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติบางอย่าง เช่น การทำให้เป็นมาตรฐานของแบทช์และการเชื่อมต่อที่เหลือนสามารถใช้ได้กับแบบจำลอง งาน และชุดข้อมูลส่วนใหญ่ เราคิดว่าคุณสมบัติสากลดังกล่าวรวมถึง Weighted-Residual-Connections (WRC), Cross-Stage-Partial-connections (CSP), Cross mini-Batch Normalization (CmBN), Self-adversarial-training (SAT) และ Mish-activation เราใช้คุณสมบัติใหม่: WRC, CSP, CmBN, SAT, การเปิดใช้งาน Mish, การเพิ่มข้อมูลโมเสค, CmBN, การทำให้เป็นมาตรฐานของ DropBlock และการสูญเสีย CloU และรวมบางส่วนเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ล้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

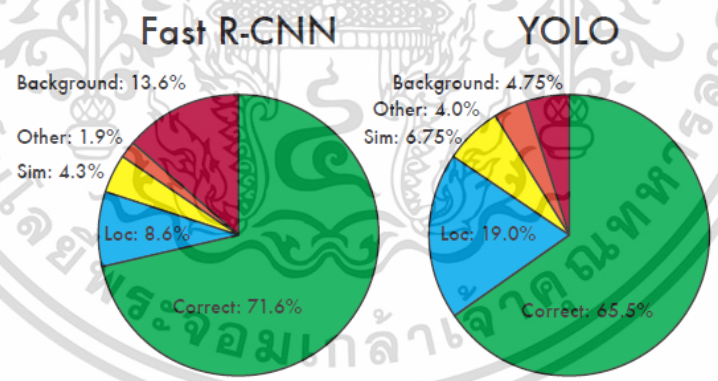
สมัย: 43.5% AP (65.7% AP50) สำหรับชุดข้อมูล MS COCO ที่ความเร็วแบบเรียลไทม์ ~65 FPS บน Tesla V100 ซอร์สโค้ดอยู่ที่ [https URL นี้](https://github.com/yolov4/yolov4-tensorflow)



<https://medium.com/> [online]

รูปที่ 2.15 อัลกอริทึมโวลเวอร์ชัน 4 (YOLO v4)

2.11 เปรียบเทียบระหว่างโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันกับอัลกอริทึมโวล



<https://medium.com/> [online]

รูปที่ 2.16 วิเคราะห์ข้อผิดพลาดระหว่างโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันกับอัลกอริทึมโวล

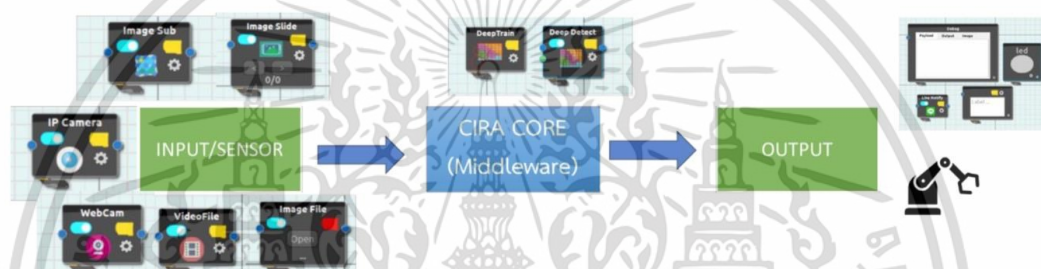
การแปลวัตถุ: YOLO พยายามแปลวัตถุอย่างถูกต้องเมื่อเทียบกับ Fast R-CNN

ข้อผิดพลาดพื้นหลัง: YOLO มีข้อผิดพลาดในพื้นที่หลังน้อยกว่า R-CNN ที่รวดเร็วมี 13.6% ที่ตรวจจับด้านบนเป็นค่าบวกที่ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

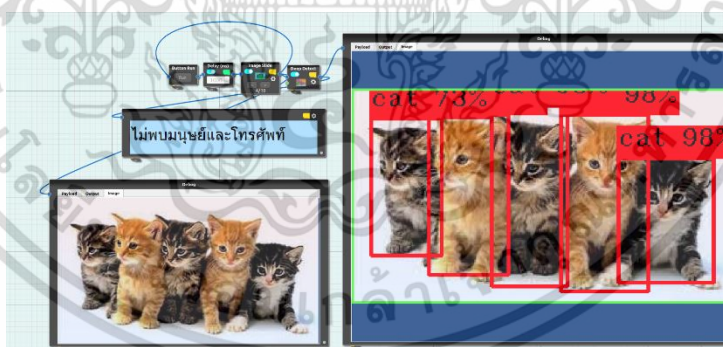
2.12 การใช้งานโปรแกรม CiRA Core

CiRA Core คือแพลตฟอร์มที่เป็น Core Technology ซึ่งถ้าเทียบกับเทคโนโลยีที่คล้ายๆ กัน เช่น ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่สามารถเข้าไปอยู่ในสมาร์ทโฟน นาฬิกา กล้องดิจิทัล รวมถึงสมาร์ททีวี โดยเราสามารถสร้างอัลกอริทึมหรือแอปพลิเคชันต่างๆ เช่น Deep Learning ใส่เข้าไป เพื่อสร้างการเรียนรู้จดจำให้แก่ระบบ เช่น สร้างให้จดจำว่าซองจดหมายรูปร่างหน้าตาเป็นแบบนี้ หลังจากเรียนรู้จดจำแล้ว เมื่อนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมก็ต้องมีการสั่งงาน อาทิ การสั่งหุ่นยนต์ให้หยิบซองจดหมายออกจากสายพาน ดังนั้น CiRA Core คือแพลตฟอร์มกลางที่เชื่อมโยงแอปพลิเคชันต่างๆ ไปสู่การใช้งานจริง หรือก็คือตัวกลางระหว่างการเรียนรู้จดจำความคิดไปสู่การสั่งงาน”



<https://techsauce.co/> [online]

รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของ CiRA Core

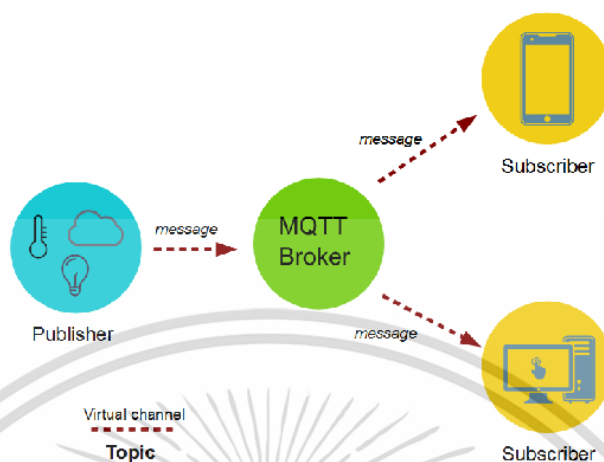


<https://techsauce.co/> [online]

รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการทำงานของ CiRA Core

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 Message Queue Telemetry Transport



<https://iiot.riverplus.com> [online]

รูปที่ 2.19 แสดงการทำงานของ MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) คือโพรโตคอลในการส่งข้อมูลที่พัฒนามาเพื่อใช้ในระบบ IOT มันทำงานแบบ Broker and Clients Network มันถูกออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลแบบ Real-Time ในปริมาณข้อมูลที่น้อย ทำให้ใช้พลังงานต่ำมันถูกพัฒนามาจาก TCP/IP ที่มีการส่งข้อมูลแบบ 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 เป็นโพรโตคอลที่มีประสิทธิภาพสูง ส่งข้อมูลขนาดไม่มาก ใช้พลังงานต่ำ เนื่องจากมันต้องเชื่อมต่อผ่านดาวเทียมซึ่งมีราคาการส่งข้อมูลสูงมากในขณะนั้น ประกอบไปด้วย

2.13.1 Broker(Server) คือตัวกลางในการรับข้อมูลจาก Publisher และส่งข้อมูลให้กับ Subscriber

2.13.2 Clients(Subscriber / Publisher)

2.13.3 Publisher คือตัวส่งข้อมูลให้กับ Topic ที่อยู่ใน Broker เรียกว่าการ Publish

2.13.4 Subscriber คือตัวรับข้อมูลจาก Topic ที่อยู่ใน Broker เรียกว่าการ Subscribe

2.13.5 Topic คือหัวเรื่องที่เราต้องการรับส่งข้อมูล ระหว่าง Publisher กับ Subscriber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของ MQTT คือการการรับส่งข้อมูลระหว่าง Server (Broker) และ Clients (Publisher/Subscriber) โดยการประกาศหัวข้อการรับส่งข้อมูลเรียกว่า Topic ไว้ใน Broker จากนั้น Publisher จะส่งข้อมูลไปยัง Topic นั้นๆ และ Subscriber ก็จะได้รับข้อมูลทั้งหมดใน Topic นั้นๆ เช่นกัน

2.14 ESP32

เป็น Micro Controller ที่รองรับการเชื่อมต่อ WiFi , Bluetooth – BLE ในตัว ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคือ ภาษา C หรือ Python ภาษา Python ต้องทำการอัปเดตเฟิร์มแวร์ให้รองรับ Python การพัฒนาโปรแกรมขึ้นอยู่กับผู้ที่พัฒนา โปรแกรม IDE ที่ใช้พัฒนาคือ Arduino IDE หรือ Visual Studio สำหรับ Visual Studio จำเป็นต้องติดตั้ง Plugin Espressif IDF หรือ PlatformIO IDE และต้อง Enable (Arduino)



<https://v89infinity.com/esp32/> [online]

รูปที่ 2.20 บอร์ด ESP32

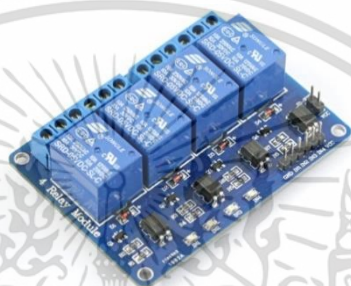
2.15 Relay Module

รีเลย์โมดูล (Relay Module) คือ Module ที่ประกอบด้วย Relay จำนวนหลาย ๆ ตัวต่ออยู่ในชุดเดียวกัน สำหรับรับ-ส่งสัญญาณ AC/DC Control Voltage แบบไม่ต้องต่อร่วมกับ Socket โดย Input จะเป็น Common ร่วม ใช้สายเพียง 1 เส้น ประเภท NPN หรือ PNP มีให้เลือกหลายรุ่นตามจำนวน Relay ที่ใช้งาน ตั้งแต่ 2,4,8,12,16 Relay เป็นต้น มีทั้งรุ่นแบบหน้าคอนแทก SPDT (Single Pole Double Throw) และแบบ DPDT (Double Pole Double Throw) มี LED แสดงสถานะการทำงานของ Relay แต่ละตัว มีขนาดกะทัดรัด ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้งบนราง Din Rail ได้เลย โดยรีเลย์โมดูล (Relay Module) มีโครงสร้างลักษณะทั่วไป คือ Input และ Output จะถูกแยกกันคนละฝั่ง จึงง่ายต่อการเข้าสายไฟ ทำให้ประหยัดเวลา ลดค่าใช้จ่าย โดย Relay Module มีหลักการทำงานดังนี้

หลักการทำงานของวงจรีเลย์โมดูล (Relay Module) คือ การเปิด-ปิดวงจรด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อขดลวดเหนี่ยวนำมีกระแสไหลผ่านจะมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก สามารถส่งแรงผลักหรือดูดเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งสวิตช์ได้ โดยมีสวิตช์เปิด-ปิดวงจรตามแรงดูดของขดลวด หน้าสัมผัสของสวิตช์มี 2 ชนิด คือ

2.15.1 หน้าสัมผัสปกติเปิดหรือ NO (Normally Open) หมายถึง หน้าสัมผัสที่เปิดในภาวะขดลวดไม่เหนี่ยวนำ

2.15.2 หน้าสัมผัสปกติปิดหรือ NC (Normally Closed) หมายถึง หน้าสัมผัสที่ปิดในภาวะขดลวดไม่เหนี่ยวนำ



<https://www.primusthai.com> [online]

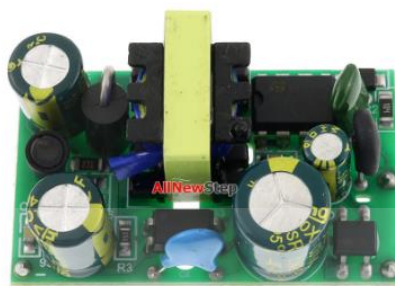
รูปที่ 2.21 บอร์ด relay module

ตารางที่ 2.2 แสดงขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อของ Relay Module 4 Channels

ขาที่	คำอธิบาย
1.	+VCC ขาไฟ 5VDC
2.	GND
3.	ขาสัญญาณอินพุต Relay 1 (IN1)
4.	ขาสัญญาณอินพุต Relay 2 (IN2)
5.	ขาสัญญาณอินพุต Relay 3 (IN3)
6.	ขาสัญญาณอินพุต Relay 4 (IN4)
7.	COM (คอมมอนของ OPTO)
8.	GND (กราวด์ของบอร์ดเป็นกราวด์เดียวกันกับขาที่ 2)
9.	NC (Normal Close) ซึ่งหมายถึงหน้าสัมผัสแบบปกติปิด
10.	COM (Common) ที่จะตัดหรือต่อวงจรจากขา NC, NO
11.	NO (Normal Open) ซึ่งหมายถึงหน้าสัมผัสแบบปกติเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 regulator



<http://www.indynator.com> [online]

รูปที่ 2.21 บอร์ดregulator

เรกูเลเตอร์แบบธรรมดาและไอซีเรกูเลเตอร์มีจุดประสงค์เดียวกันคือ ควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ออกจากอัลเทอร์เนเตอร์ โดยควบคุมกระแสไฟฟ้าซึ่งไหลผ่านเข้าไปในขดลวดโรเตอร์ ไอซีเรกูเลเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และไวใจได้อย่างมากในการทำงาน เมื่อเปรียบเทียบกับเรกูเลเตอร์แบบธรรมดา

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงข้อดีและข้อเสียของไอซีเรกูเลเตอร์

ข้อดี	ข้อเสีย
<p>2.14.1 ไม่มีอุปกรณ์ใดๆ ที่เคลื่อนที่ได้จึงทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี</p> <p>2.14.2 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัลเทอร์เนเตอร์จะผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลง การควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ จึงเป็นไปอย่างถูกต้อง</p>	<p>มันจะเสียได้ง่ายเมื่อเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงเกินไปและอุณหภูมิสูงเกินไป</p>

2.17 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

Akash Singh Chaudhary. นำเสนอวิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนสำหรับอุณหภูมิสูงที่มีการแบ่งสัดส่วนรูปภาพและสามมิติของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำภาพถ่ายความร้อนที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะถูกรวมผ่านขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ โดยใช้เครื่องหมายเพื่อให้ได้

ภาพที่มีการซ้อนทับ ภาพความร้อนแบบบ่งกลุ่มซ้อนทับนี้จะเน้นบริเวณที่มีความร้อนในแบตเตอรี่ โดยจะใช้ Matlab สำหรับการวิเคราะห์การประมวลผลภาพ

Andrzej Lebkowski. นำเสนอผลการวิจัยอุณหภูมิ การชาร์จเกิน และการลัดวงจรของแบตเตอรี่ที่ใช้กันมากที่สุดในยานพาหนะไฟฟ้า จากการทดสอบที่ดำเนินการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดและลิเธียม ผลการการทดลองแบตเตอรี่ลิเธียมบางประเภทที่ใช้ในยานพาหนะไฟฟ้า ทำให้เกิดความเสียหายในการเกิดไฟไหม้

Tomas Vaantuch. นำเสนอวิธีการตรวจสอบความเกี่ยวข้องของคุณสมบัติการระบายความร้อนในงานตรวจจับข้อผิดพลาดของแบตเตอรี่ โดยเครื่องเทอร์โมสแกนความละเอียดสูง ถูกบันทึกเพื่อค้นหาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างการทำงานผิดปกติของแบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 คอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 คอมพิวเตอร์

ตารางที่ 3.1 คอมพิวเตอร์ใช้งานและใช้ Train AI ต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1.cpu	Intel(R) Core (TM) i5-2400 CPU @ 3.10GHz
2.Ram	4GB
3.Graphics	GeForce GTX 1050Ti
4.Disk	HDD 230 GB
5.Os	Windows 10PRO 64 bit

3.1.2 โครงสร้างชิ้นงาน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.2 โครงสร้างชิ้นงาน

(ก)โครงสร้างด้านบนข้าง

(ข)โครงสร้างด้านหน้า

(ค)โครงสร้างด้านหน้าข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti400



รูปที่ 3.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti400

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของอุปกรณ์

Temperature measurement range (not calibrated below -10 °C)	-20 °C to +1200 °C (-4 °F to +2192 °F)
Temperature measurement accuracy	± 2 °C or 2 %
Total pixels	76,800
Image capture frequency	9 Hz refresh rate or 60 Hz
Battery charge time	2.5 hours to full charge

3.1.4 บอร์ด ESP32



รูปที่ 3.4 บอร์ด ESP32

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์บอร์ด ESP32

MCU	Dual-Core 32bit
ความเร็ว (ปกติ / สูงสุด)	160MHz / 240MHz
Wi-Fi (802.11b/g/n)	HT40
SRAM	512kB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต



รูปที่ 3.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

Nominal Voltage	3.2V
Nominal Capacity	5Ah
Impedance	$\leq 10\text{m}\Omega$
Charge Temperature	$0^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$
Discharge Temperature	$-20^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature	$-20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$
Expected Cycle Life	More than 2000 cycles, with 1C charge and discharge rate, at 25°C
Max. Charge Voltage	3.65V
Discharge Cut-off Voltage	2.5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินการ

3.2.1 CiRA CORE

แพลตฟอร์มที่ใช้ในกระบวนการในการประมวลผลแบบ Deep Learning สำหรับ Train สถานะของแบตเตอรี่ลิเทียม และใช้งานร่วมกับกล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti400 เพื่อตรวจจับความร้อนของแบตเตอรี่ลิเทียม โดยใช้กับกล้องตรวจจับในการรับภาพและส่งไปประมวลผลในตัวโปรแกรม โดยหลักการการทำงานของแพลตฟอร์ม CiRA CORE ใช้เครือข่ายประสาทเทียม VGG ของโครงสร้าง CNN



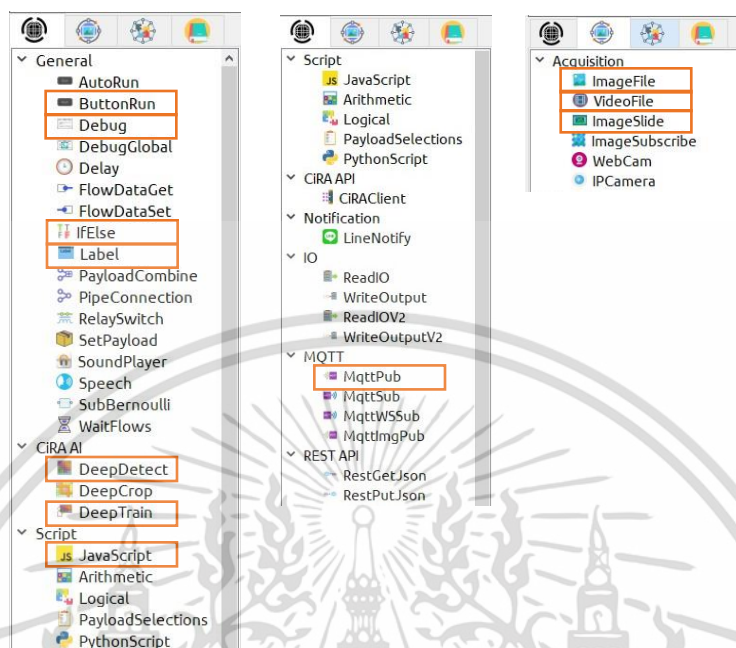
รูปที่ 3.6 หน้าจอหลังจากติดตั้งโปรแกรม CiRA CORE



รูปที่ 3.7 ลักษณะของโปรแกรม CiRA CORE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 กล่องเครื่องมือพื้นฐานในแพลตฟอร์ม CIRA CORE ที่ใช้ดำเนินการ



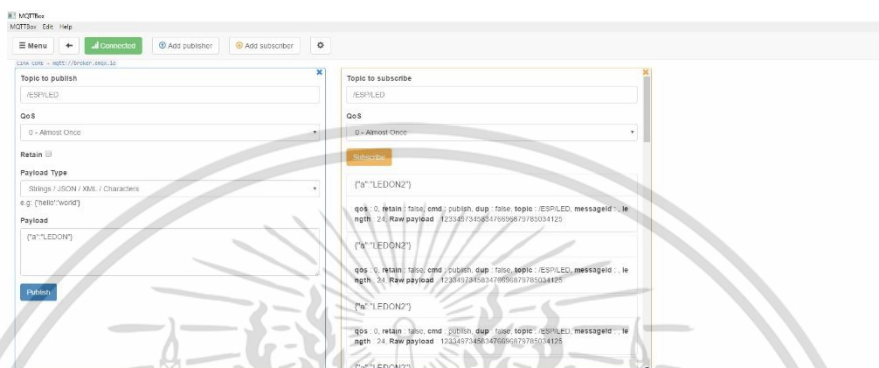
รูปที่ 3.8 กล่องเครื่องมือในแพลตฟอร์ม CIRA CORE

โดยหน้าที่ของแต่ละกล่องเครื่องมือ

- 1) Button Run คือ สำหรับกดเพื่อเริ่มต้นการทำงาน
- 2) Debug คือ แสดงผลและข้อมูลของการทำงาน
- 3) If Else คือ กำหนดเงื่อนไข/ทางเลือก If Else
- 4) Label คือ แสดงข้อความของข้อมูลที่กำหนดป้ายชื่อไว้
- 5) Deep Detect คือ ตรวจสอบการทำงานเชิงลึก
- 6) Deep Train คือ สอนให้โปรแกรมเกิดการเรียนรู้ โดยป้อนข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่
- 7) Java Script คือ ใช้เขียนโปรแกรมJava Script
- 8) Mqtt pub คือ ส่งข้อมูลจาก CIRA CORE ผ่านโปรโตคอล Mqtt แบบPublish
- 9) Image File คือ นำข้อมูลรูปภาพเข้ามาในโปรแกรม
- 10) Video File คือ นำข้อมูลวิดีโอเข้ามาในโปรแกรม
- 11) Image Slide คือ นำรูปภาพหลายๆรูปมาแสดงแบบสไลด์

3.2.3 Mqtt box

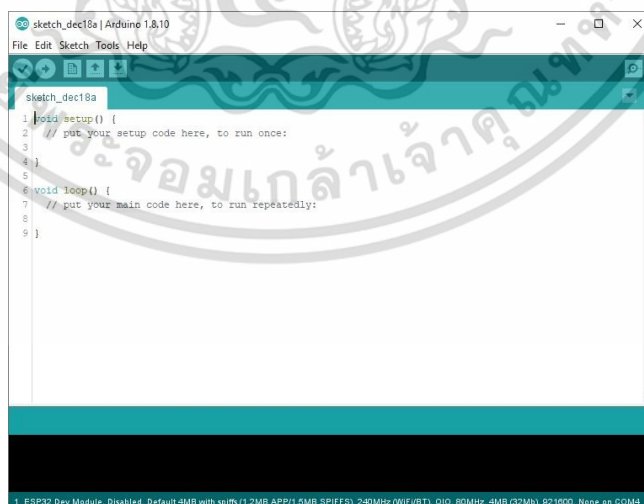
MQTTBox เป็นเครื่องมือสำหรับนักพัฒนาที่ช่วยให้การตรวจสอบเซิร์ฟเวอร์ MQTT ของคุณเป็นเรื่องง่าย คุณสามารถสมัครและเผยแพร่หัวข้อโดยใช้ MQTTBox รวมทั้งสร้างอุปกรณ์ MQTT เสมือนสำหรับการทดสอบและการดีบั๊ก ส่วนที่ดีที่สุดคือคุณสามารถใช้เซิร์ฟเวอร์เดียวกันเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ



รูปที่ 3.9 โปรแกรม Mqtt box

3.2.4 Arduino IDE

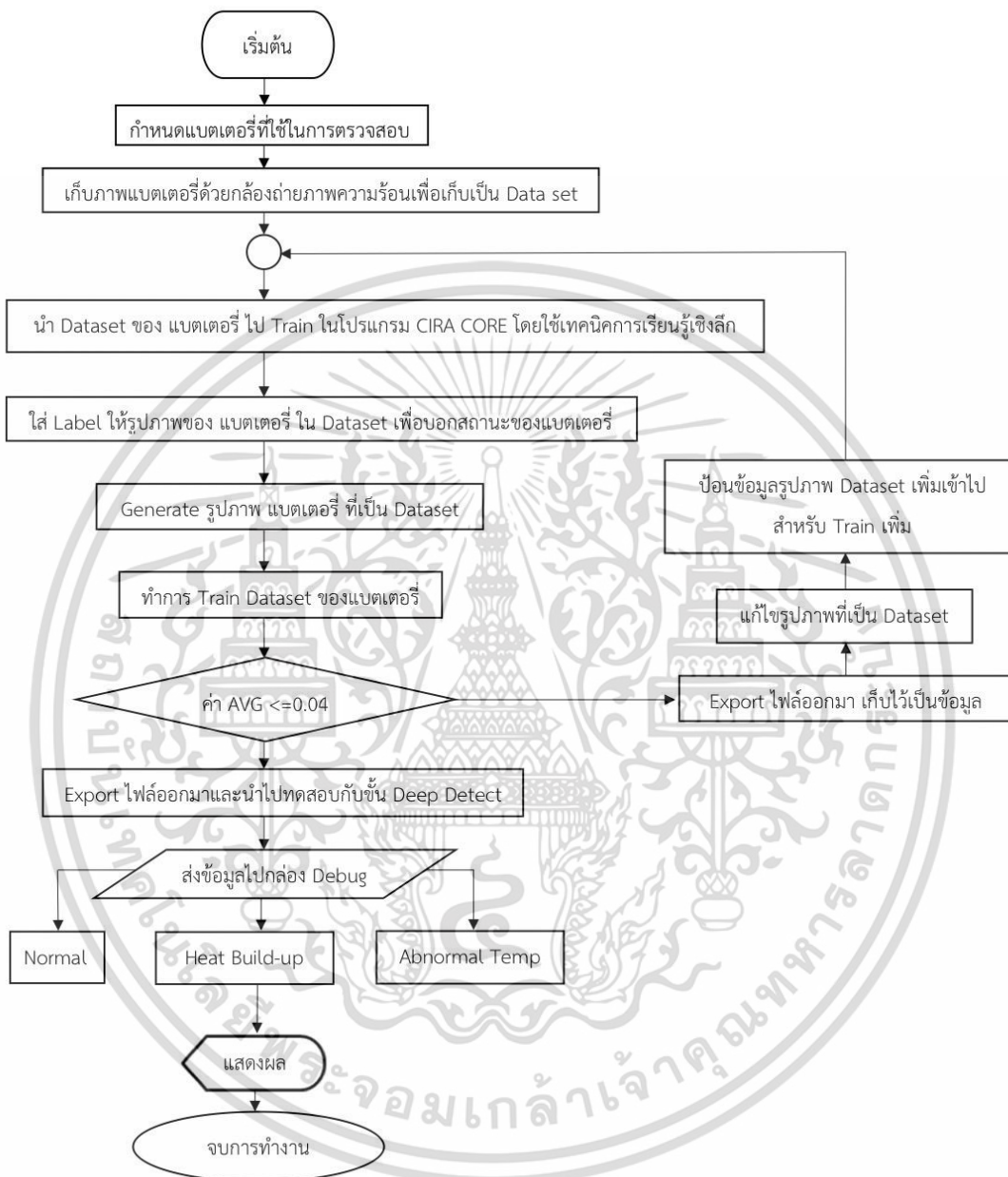
Arduino เป็นแพลตฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์แบบโอเพนซอร์สบนพื้นฐานของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ง่ายต่อการใช้งาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายอย่าง เช่น ควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก อ่านค่าเซ็นเซอร์วัดสภาพแวดล้อมต่างๆ แล้วแสดงค่าที่เซ็นเซอร์สามารถอ่านได้ ออกมาทางจอแสดงผลนำไปประยุกต์เข้าเป็นชิ้นงานทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่ออำนวยความสะดวก



รูปที่ 3.10 โปรแกรม Arduino IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 แผนผังการดำเนินการให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูลมาสอน



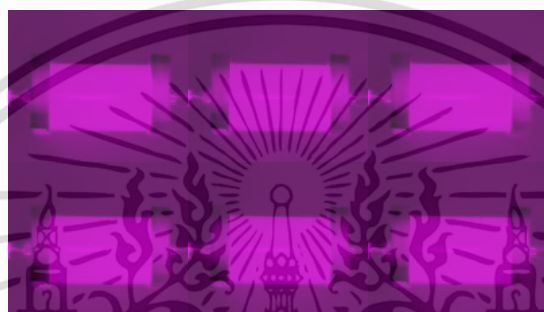
รูปที่ 3.11 แผนผังการดำเนินการให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูลมาสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

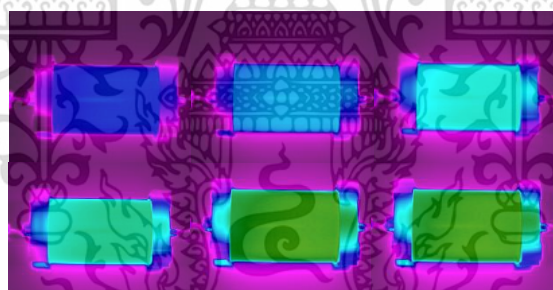
3.3 การเตรียมตัวอย่างและการถ่ายภาพความร้อน

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ชุดข้อมูล

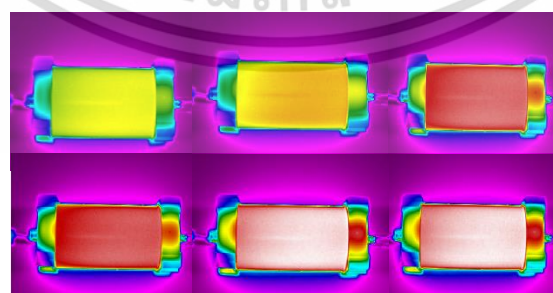
ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่ จำนวน ภาพ แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม และแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิผิดปกติ โดย แบตเตอรี่มีขนาด 32 x 65 มิลลิเมตร โดยจะแบ่งช่วงอุณหภูมิของแต่ละชุดข้อมูล แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ 25-40 °C แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม °C แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิผิดปกติเกิน 60 °C



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิปกติ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิความร้อนสะสม

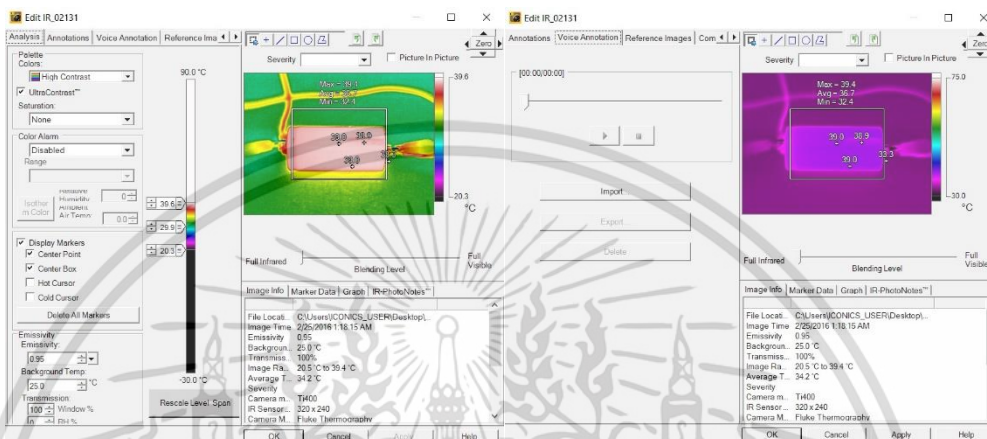


รูปที่ 3.14 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

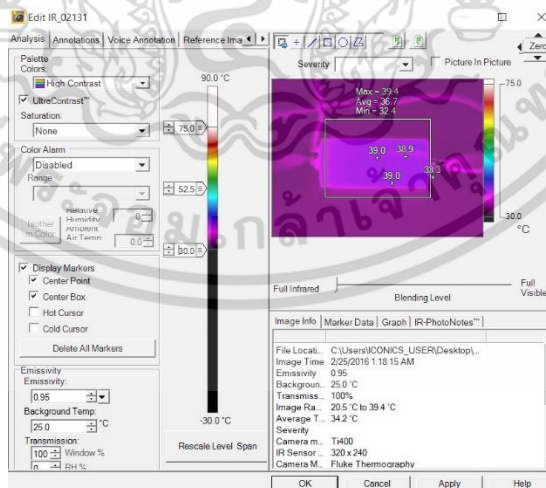
3.3.2 การถ่ายภาพความร้อน

ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน จะมีช่วงอุณหภูมิที่ต่างกันสูงโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งแต่การจ่ายไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสมและแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิผิดปกติโดยสามารถปรับระดับของอุณหภูมิในช่วงที่ต้องการได้



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการปรับอุณหภูมิ

การกำหนดช่วงแสดงค่าของอุณหภูมิ (Level/Span) เป็นการกำหนดขอบเขตอุณหภูมิให้มีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากภาพถ่ายความร้อนที่เจดสีอุณหภูมิต่างกันของแบตเตอรี่ลิเทียมที่อุณหภูมิปกติและแบตเตอรี่ลิเทียมที่อุณหภูมิผิดปกติในช่วง 30-75 °C

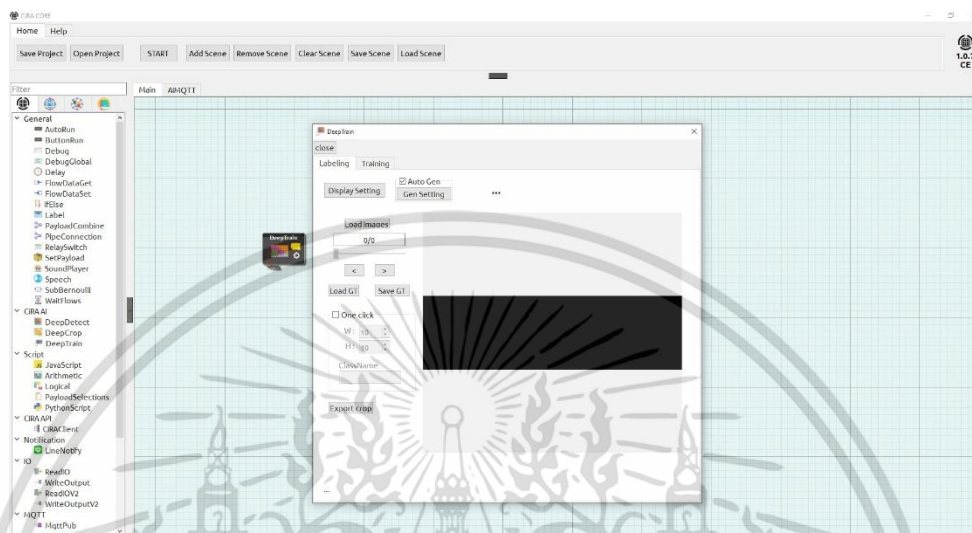


รูปที่ 3.16 กำหนดขอบเขตอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

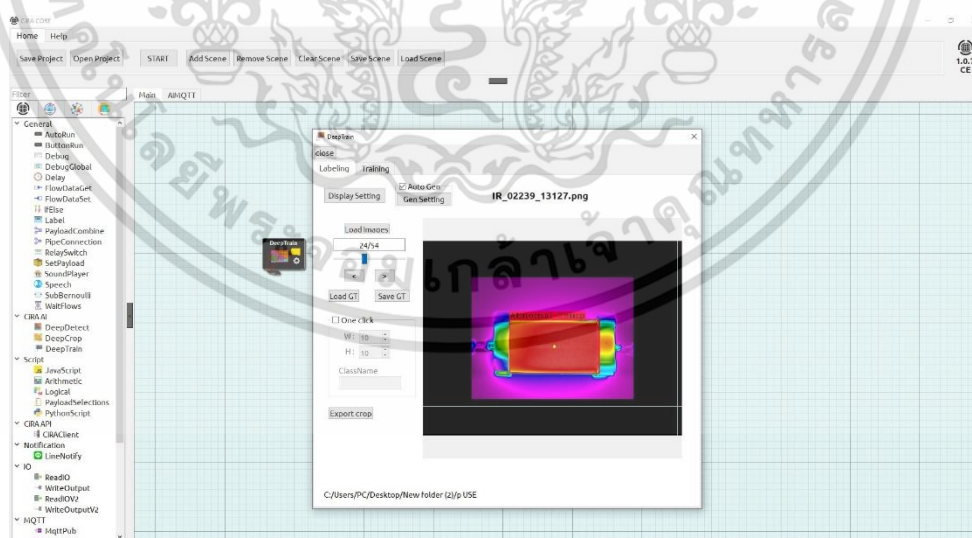
3.4 ขั้นตอนการสอนให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูลมาสอน

1) เลือกกล่องเครื่องมือ Deep Train ออกมาที่ส่วนของ Workspace



รูปที่ 3.17 หน้าจอการทำงานของกล่อง Deep Train

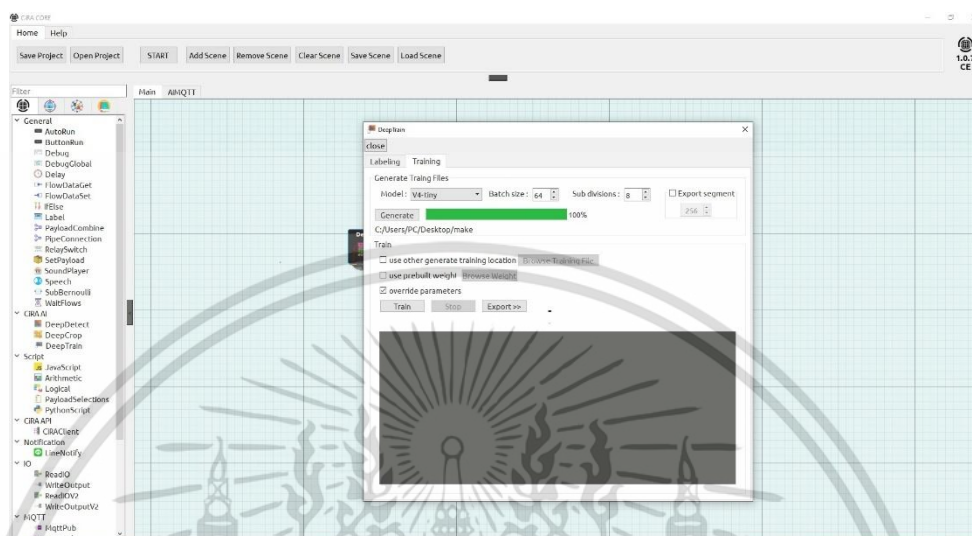
2) นำข้อมูลรูปภาพที่เตรียมไว้เข้ามาใน Labeling ตีกรอบข้อมูลรูปภาพเพื่อบ่งบอกสถานะของแบตเตอรี่และทำการ Label



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้าและ Label ของข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่

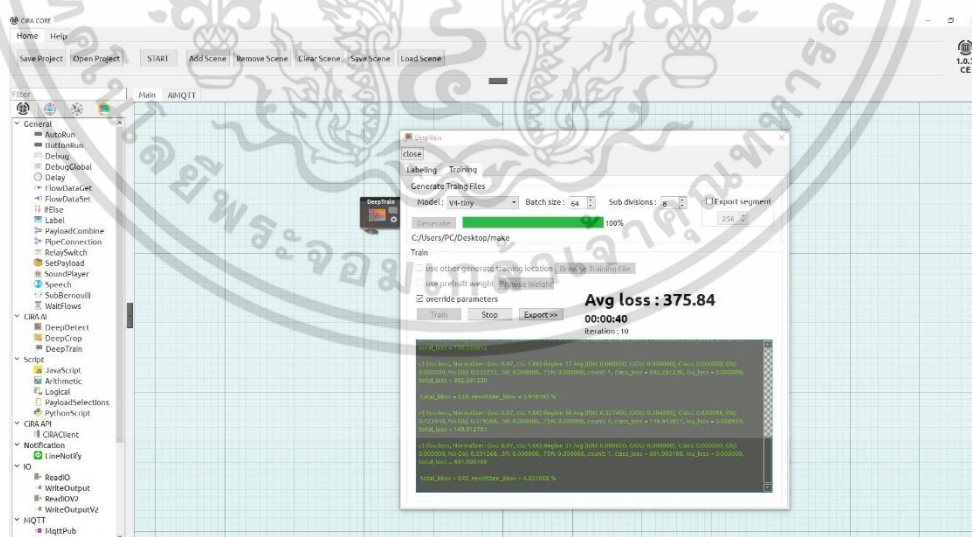
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) Generate ข้อมูลรูปภาพ เพื่อทำการ Train ให้ระบบคอมพิวเตอร์ โดยเลือก model เป็น V4 - tiny ซึ่งมีความละเอียดสูง หลังจากนั้นกดปุ่ม Train เพื่อให้คอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้



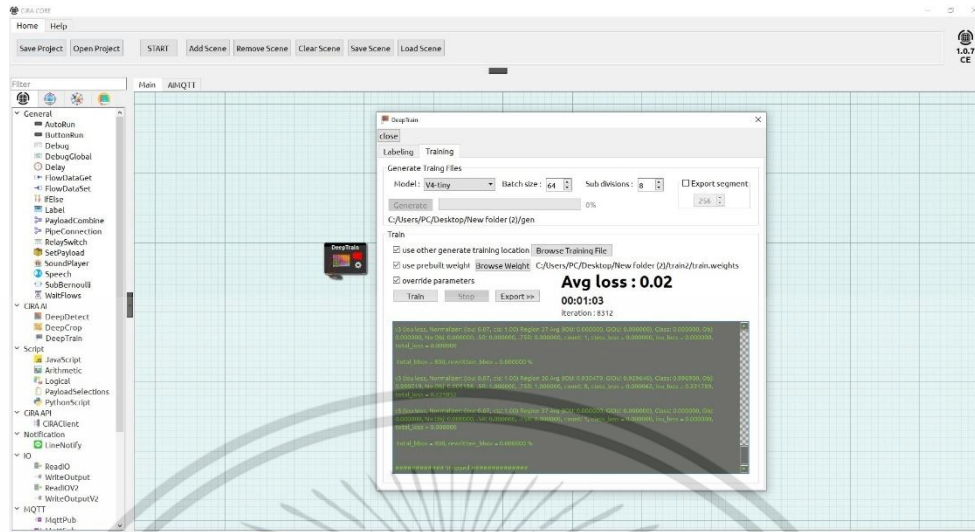
รูปที่ 3.19 ขั้นตอนในการ Generate และ Train ข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่

- 4) ระบบคอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้เชิงลึกจากข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่ที่นำเข้าไป เมื่อค่า Avg loss ใกล้เคียง 0.00 ทำการ Export ไฟล์ Train ออกมา



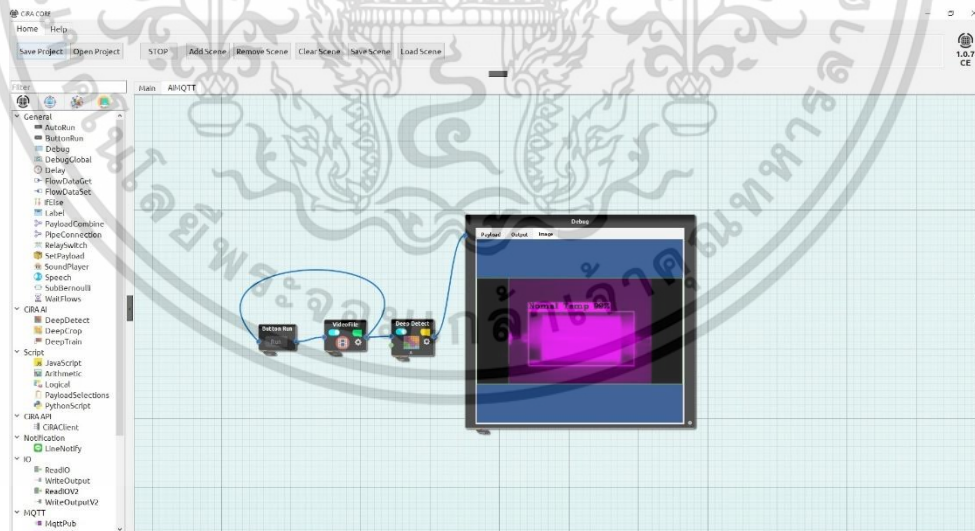
รูปที่ 3.20 ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ข้อมูลรูปภาพแบตเตอรี่ โดยค่า Avg อยู่ที่ 0.02

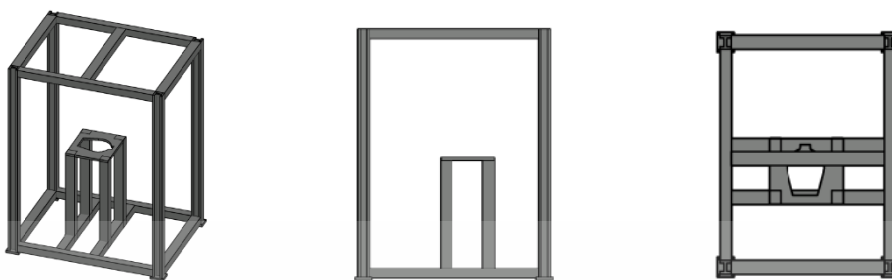
- 5) หลังจากระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ข้อมูลรูปภาพแบตเตอรี่เสร็จ เริ่มทำการทดสอบการตรวจจ็รูปภาพแบตเตอรี่ โดยกล่องเครื่องมือที่ใช้สำหรับขั้นตอนนี้ คือ Button Run (ปุ่มเพื่อกดเริ่มต้นการทำงาน), Webcam (กล้องวิดีโอที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อ), Deep Detect (ประมวลผลการตรวจจ็) และ Debug (แสดงผลข้อมูลออกมา)



รูปที่ 3.22 รูปแสดงการตัวจ็

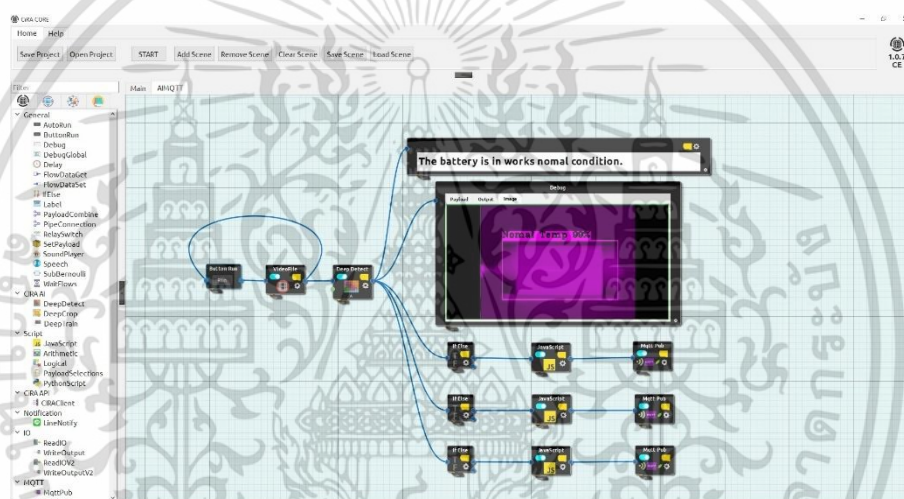
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน

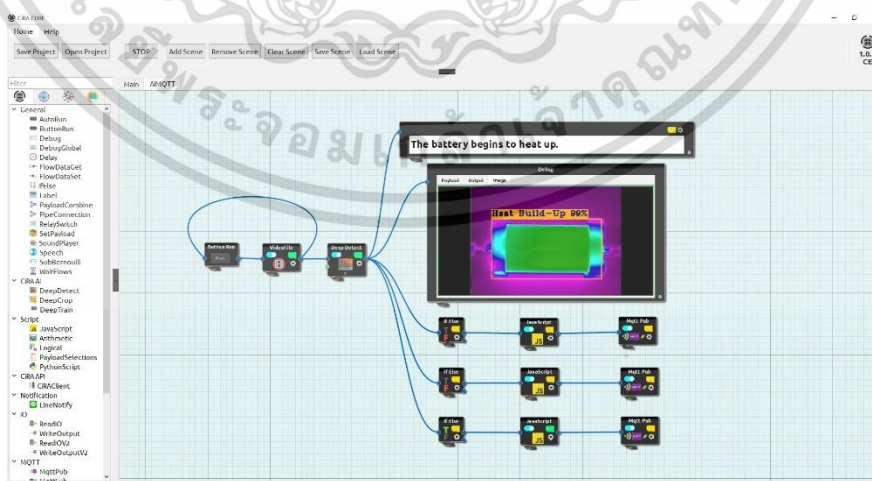


รูปที่ 3.23 รูปโครงสร้างชิ้นงาน

7) ออกแบบโปรแกรมการทำงานตรวจจับความร้อนของแบตเตอรี่เพื่อแยกสถานะของแบตเตอรี่

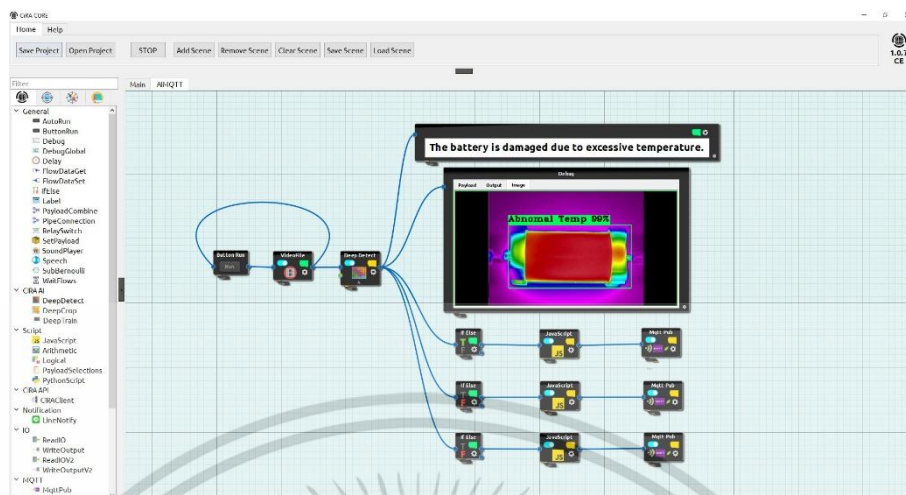


รูปที่ 3.24 ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ



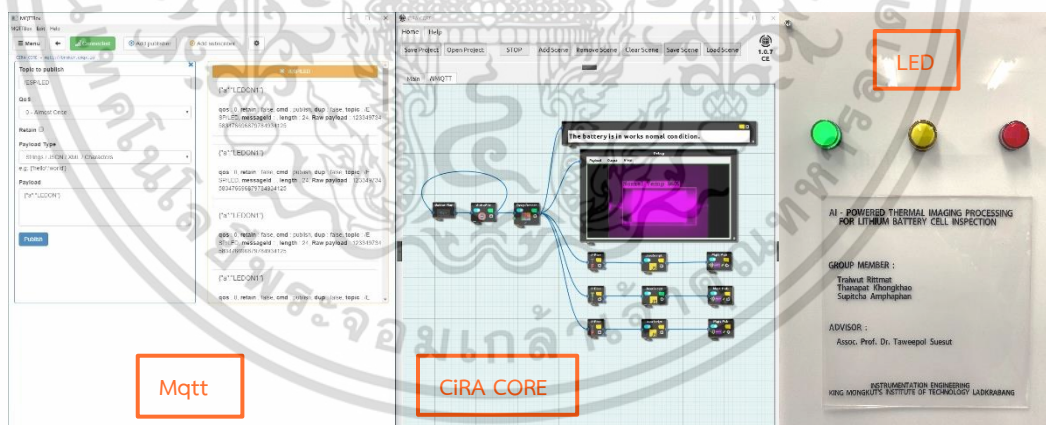
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างโปรแกรมการตรวจจับสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิผิดปกติ

8) จัดวางกล้องถ่ายภาพความร้อน และทำการปรับความคมชัดของภาพ จากนั้นเปิด DC Power Supply เพื่อทำการ Overcharge แบตเตอรี่จะเริ่มมีความร้อนสะสม โปรแกรม CIRA CORE จะตรวจจับความร้อนเพื่อแยกสถานะของแบตเตอรี่ว่าอยู่ในสถานะใด จากนั้นจะส่งข้อมูลไปยัง Mqtt และแสดงผลผ่านทางหลอดไฟ LED ตามสถานะของแบตเตอรี่

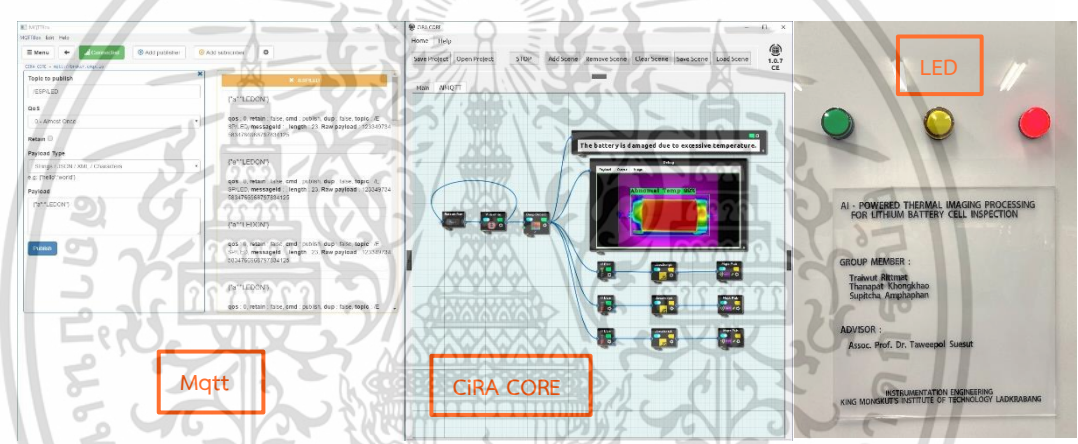


รูปที่ 3.27 ตัวอย่างการตรวจจับแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติพร้อม LED แสดงสถานะสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 ตัวอย่างการตรวจจบบatteryที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสมพร้อม LED แสดงสถานะสีเหลือง



รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการตรวจจบบatteryที่มีอุณหภูมิผิดปกติพร้อม LED แสดงสถานะสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ค่า AVG ของโปรแกรม CiRA CORE

เป็นการแสดงค่าการเรียนรู้เชิงลึกของโปรแกรม CiRA CORE ว่ามีความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุมากแค่ไหน โดยการเทรนจะใช้ชุดข้อมูลที่เตรียมไว้และทำการดูค่าในระหว่างการเทรน โดยดูจากค่า Average loss หากมีค่าที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดหรือมีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงให้ทำการหยุดเทรนได้



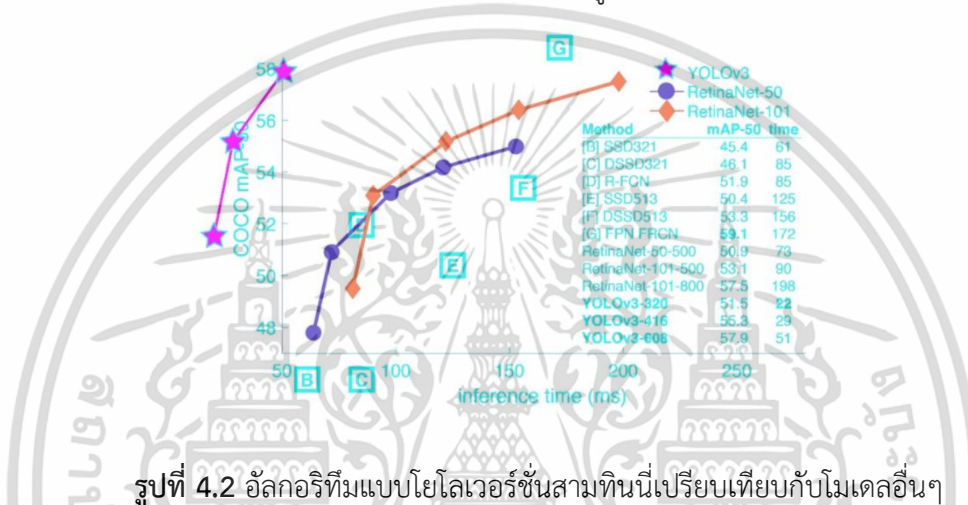
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า AVG จากการเรียนรู้เชิงลึกของโปรแกรม

สรุปผลการทดลองได้ว่าการทำการเทรนข้อมูลครั้งที่ 1 นั้น จะได้ค่า AVG loss อยู่ที่ 0.08 ทำให้ค่าความแม่นยำในการตรวจจับอยู่ที่เฉลี่ยอยู่ที่ 92.27% ครั้งที่ 2 นั้น จะได้ค่า AVG loss อยู่ที่ 0.05 ทำให้ค่าความแม่นยำในการตรวจจับอยู่ที่ 95.43% ครั้งที่ 3 นั้น จะได้ค่า AVG loss อยู่ที่ 0.04 ทำให้ค่าความแม่นยำในการตรวจจับอยู่ที่ 96.61% และ ครั้งที่ 4 นั้น จะได้ค่า AVG loss อยู่ที่ 0.02 ทำให้ค่าความแม่นยำในการตรวจจับอยู่ที่ 98.83% ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ค่าจากการเทรน ครั้งที่ 4 เพราะมีค่า AVG loss น้อยที่สุด ทำให้มีความแม่นยำในการตรวจได้ดีที่สุด

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบบโวลเวอร์ชั้นสามทินนี้และอัลกอริทึมแบบโวลเวอร์ชั้นสี่ทินนี้

4.2.1 อัลกอริทึมแบบโวลเวอร์ชั้นสามทินนี้เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ

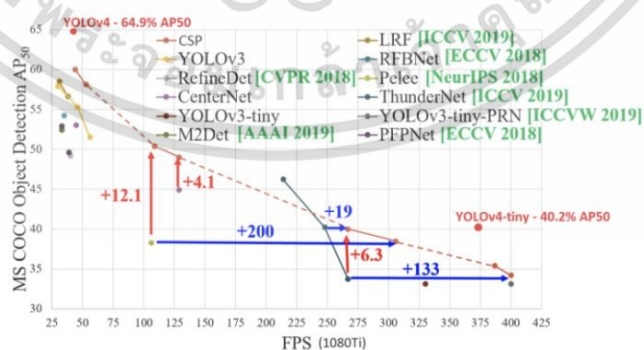
YOLOV3 นั้นรวดเร็วและแม่นยำอย่างยิ่ง ใน mAP -.50 เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา YOLOV3 เร็วกว่าประมาณ 4 เท่า ยิ่งไปกว่านั้น สามารถแลกเปลี่ยนระหว่างความเร็วและความแม่นยำได้อย่างง่ายดายโดยการเปลี่ยนขนาดของโมเดล ไม่จำเป็นต้องทำการเรียนรู้ใหม่



รูปที่ 4.2 อัลกอริทึมแบบโวลเวอร์ชั้นสามทินนี้เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ

4.2.2 อัลกอริทึมแบบโวลเวอร์ชั้นสี่ทินนี้เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ

YOLOv4 กับ YOLOv4 tiny มีความแตกต่างกันตรงที่ YOLOv4 tiny มีขนาดเครือข่ายที่เล็กกว่า ทำให้มีการ Trian ได้รวดเร็วกว่าถึง 8 เท่า แต่ YOLOv4 tiny จะมีค่าความถูกต้องที่น้อยกว่า YOLOv4 เพราะมีจำนวนชั้น Layer ที่มากกว่าตัว YOLOv4 tiny



รูปที่ 4.3 อัลกอริทึมแบบโวลเวอร์ชั้นสี่ทินนี้เปรียบเทียบกับโมเดลอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินนี่และอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่

Performance	YOLOv3 tiny	YOLOv4 tiny
Precision	0.87	0.92
Recall	0.94	0.95
F1-score	0.91	0.94
Average IoU (%)	72.91%	85.73%
mAP (%)	95.56%	98.87%

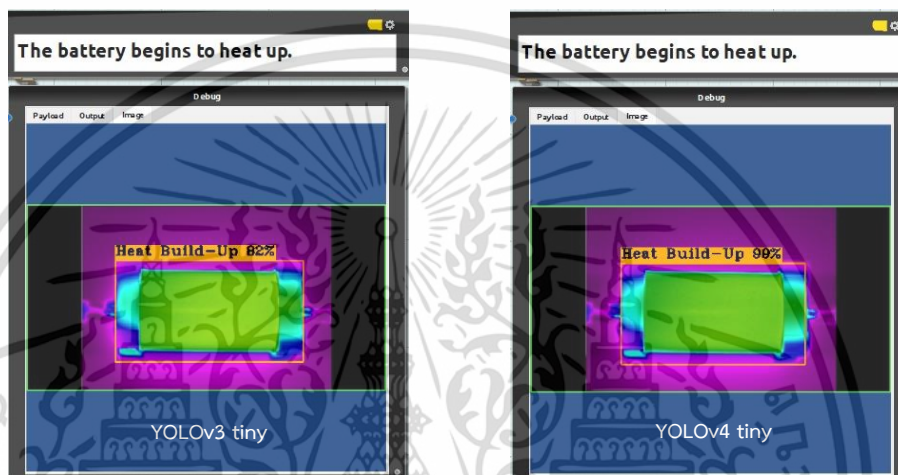
จากตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชันสามทินนี่ และอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่ โดยได้ทำการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูล Dataset เดียวกัน จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่ มีค่า Precision ค่า Recall ค่า F1 Score และมีค่า Average IoU สูงกว่าอย่างไรก็ตาม อัลกอริทึมโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่ และ อัลกอริทึมโยโลเวอร์ชันสามทินนี่ มีค่า mAP ที่ใกล้เคียงกัน

4.3 การทดสอบโปรแกรมระหว่างเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินนี่และเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่

การทดสอบโปรแกรมโดยเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินนี่ และเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่ จากข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิปกติ ภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิความร้อนสะสม และภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิผิดปกติ จำนวน 100 รูป พบว่าเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่ สามารถตรวจสอบได้ถูกต้องถึง 98.87% มากกว่าเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินนี่ที่สามารถตรวจจับได้เพียง 95.56% เมื่อเทียบเวลาที่ใช้ในการสอนข้อมูลพบว่า เทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสี่ทินนี่ใช้เวลา ประมาณ 3 ชั่วโมง ในการสอนข้อมูลชุดนี้ แต่เทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชันสามทินนี่ใช้เวลาโดยประมาณ 6 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องคำนึงถึงความเร็วในการประมวลผลเวลาจริง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบของโปรแกรม

เทคนิค	เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบ (วินาที)	ความถูกต้องเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
อัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชั้นสามทินนี่	0.03	95.56%
อัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชั้นสี่ทินนี่	0.01	98.87%



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความถูกต้องของการตรวจจับระหว่างเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชั้นสามทินนี่ และเทคนิคอัลกอริทึมแบบโยโลเวอร์ชั้นสี่ทินนี่

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบของโปรแกรมพบว่าเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบของเทคนิคอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชั้นสี่ทินนี่ 0.01 วินาที ซึ่งสามารถตรวจจับได้ไวกว่าเทคนิคอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชั้นสามทินนี่ที่ได้เวลาที่ใช้ในการตรวจจับเพียง 0.03 วินาที และเทคนิคอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชั้นสี่ทินนี่สามารถตรวจจับได้ความถูกต้องถึง 98.83% มากกว่าเทคนิคอัลกอริทึมโยโลเวอร์ชั้นสามทินนี่ที่สามารถตรวจจับได้ความถูกต้องเพียง 95.56%

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับและแยกสถานะถูกประเภท

สำหรับชุดข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบของโปรแกรม CIRA CORE มีทั้งหมด 15 ชุด ข้อมูลโดยจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้งเพื่อหาความผิดพลาดจะแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

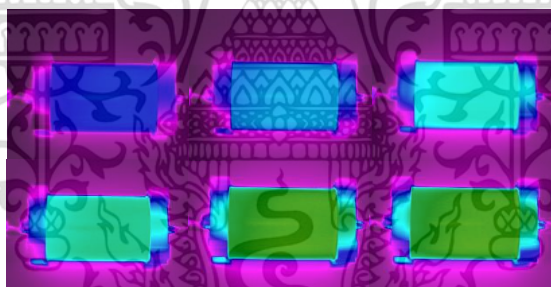
4.3.1 ประเภทสถานะแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ

4.3.2 ประเภทสถานะแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม

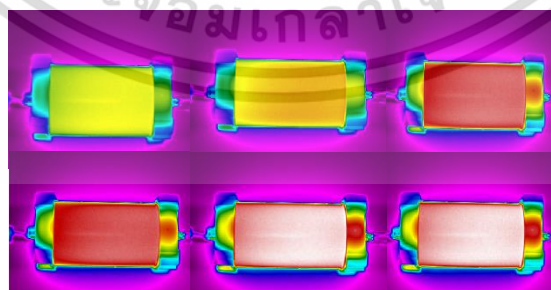
4.3.3 ประเภทสถานะแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิผิดปกติ



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิปกติ



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิความร้อนสะสม



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างชุดข้อมูลภาพถ่ายความร้อนของแบตเตอรี่อุณหภูมิผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการสอบทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อความผิดพลาดของการตรวจจับ

การทดสอบครั้งที่	สถานะของแบตเตอรี่	ตรวจจับในโปรแกรมถูกต้อง	หลอดไฟแสดงสถานะถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยเฉลี่ย (%)	ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของแต่ละครั้ง (%)
1	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ	✓	✓	98.53	94.98
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม	✓	✗	92.27	
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิลดปกติ	✓	✗	94.15	
2	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ	✓	✓	98.71	96.89
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม	✓	✗	93.48	
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิลดปกติ	✓	✓	98.47	
3	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ	✓	✓	98.82	96.94
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม	✓	✓	98.41	
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิลดปกติ	✓	✗	93.59	
4	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ	✓	✓	98.83	98.76
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม	✓	✓	98.76	
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิลดปกติ	✓	✓	98.69	
5	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิปกติ	✓	✓	98.87	98.87
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสม	✓	✓	98.56	
	แบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิลดปกติ	✓	✓	98.42	

จากตารางที่ 4.4 แสดงสรุปผลการทดลอง 5 ครั้ง

จากการทดลองครั้งที่ 1 การตรวจจับสามารถทำได้ถูกต้องแต่หลอดไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสมและแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิลดปกตินั้นยังแสดงผลผิดอยู่ ทำให้มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องทั้งหมดอยู่ที่ 94.98%

จากการทดลองครั้งที่ 2 การตรวจจับสามารถทำได้ถูกต้องแต่หลอดไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิความร้อนสะสมนั้นยังแสดงผลผิดอยู่ ทำให้มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องทั้งหมดอยู่ที่ 96.89%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองครั้งที่ 3 การตรวจจับสามารถทำได้ถูกต้องแต่หลอดไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่ที่มีอุณหภูมิผิดปกตินั้นยังแสดงผลผิดอยู่ทำให้มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องทั้งหมดอยู่ที่ 96.94%

จากการทดลองครั้งที่ 4 การตรวจจับสามารถทำได้ถูกต้องแต่หลอดไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่สามารถแสดงสถานะได้ถูกต้อง ทำให้มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องทั้งหมดอยู่ที่ 98.76%

จากการทดลองครั้งที่ 4 การตรวจจับสามารถทำได้ถูกต้องและหลอดไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่สามารถแสดงสถานะได้ถูกต้อง ทำให้มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องทั้งหมดอยู่ที่ 98.87%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบการตรวจจับของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยการแยกสถานะของแบตเตอรี่ลิเธียมเป็น 3 สถานะ ด้วยโปรแกรม CiRA CORE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และอัลกอริทึมแบบโวลเวอ์ชันสี่ทินนี้ อีกทั้งยังใช้การติดต่อสื่อสารไร้สายโดยใช้ MQTT ในการติดต่อสื่อสารไร้สายระหว่างระบบตรวจจับของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม โดยจะเก็บรูปภาพของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อเก็บเป็นข้อมูลและใช้สำหรับทำการทดสอบ ซึ่งเมื่อได้ทำการกำหนดและตั้งค่ากับของรูปภาพเรียบร้อยแล้วนั้น จะใช้การทำงานของกล่อง DETECT ที่อยู่ในโปรแกรม CiRA CORE เพื่อช่วยการประมวลผลของวิดีโอ โดยใช้ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน และอัลกอริทึมแบบโวลเวอ์ชันสี่ เพื่อกำหนดสิ่งที่ต้องการจะตรวจสอบนั้นคือเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียม และเมื่อทำการทดสอบจะต้องทำการติดต่อสื่อสารทาง MQTT โดยใช้ ESP 32-WROOM เป็นตัวช่วยในการสื่อสารที่สำคัญระหว่าง CiRA CORE และ MOTT เมื่อทำการตรวจเซลล์ของแบตเตอรี่ลิเธียม พบว่าสามารถแยกสถานะของเซลล์แบตเตอรี่ได้โดยการวิเคราะห์จากเฉดสีภาพถ่ายความร้อนโดยเมื่อตรวจพบเจอสถานะ Normal Temp จะแสดงไฟ LED สีเขียว เมื่อเจอสถานะ Heat Build-Up จะแสดงไฟ LED สีเหลือง และเมื่อเจอสถานะ Abnormal Temp จะแสดงไฟ LED สีแดง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากในการตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่สามารถตรวจสอบได้เพียง แบตเตอรี่ลิเธียม ไอออนฟอสเฟต แบบรูปทรงกระบอก ถ้าต้องการตรวจสอบแบตเตอรี่ชนิดอื่น จะต้องทำการเตรียมชุดข้อมูล Dataset ของแบตเตอรี่ชนิดที่ต้องการ

5.2.2 เนื่องจาก Broker ของ MQTT ไม่ค่อยมีความเสถียรจึงทำให้การเชื่อมต่อของ ESP32 – WROOM ,Cira Core และ MQTT ไม่ค่อยเสถียร จึงควรวางเน็ตเวิร์คที่เสถียรและอยู่ในวงโครงข่ายเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้สามารถติดต่อกันได้

บรรณานุกรม

- [1] ณัฐพงษ์ ศรีเมือง.2018. **Lithium-Ion Battery** [online].
Available : <https://www.blog.bru.ac.th/>
- [2] ผศ.ดร.นวกัทธา หนูนาท.2012. **thermal imager** / กล้องถ่ายภาพความร้อน [online].
Available : <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7311/thermal-imager>
- [3] Navapat Jesadapatrakul.2019. **Image Processing** [online].
Available : <https://medium.com/tni-university/image-processing-981c65c26289>
- [4] Electronic Transactions Development.2021. **การทำงานและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์** [online]. Available : <https://www.eta.or.th/th/Useful-Resource/>
- [5] Olarik Surinta.2020.**Neural Network** [online].
Available : <https://medium.com/olarik>
- [6] Jędrzej swieżewski, Ph.D.2020. **YOLO Algorithm and YOLO Object Detection**. [online].
Available : <https://www.i2tutorials.com>
- [7] Techsauce Team.2021. **CIRA CORE แพลตฟอร์ม AI สัญชาติไทย** [online].
Available : <https://techsauce.co/tech-and-biz/cira-core-thai-ai-platform#>
- [8] RIVERPLUS.2020. **What is MQTT ? โพรโทคอลเพื่อการสื่อสารของ IOT โดยเฉพาะ** [online].
Available : <https://iiot.riverplus.com/mqtt/>
- [9] V89INFINITY. **ESP32 ทำงานอย่างไร Pin I/O พื้นฐาน** [online].
Available : <https://v89infinity.com/esp32/>
- [10] Pm PRIMUS.2022. **ข้อดีของการใช้รีเลย์โมดูล (Relay Module)** [online].
Available : <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/>
- [11] LnwShop.2022. **หลักการทำงานของเรกูเรเตอร์**. [online].
Available : <http://www.indynator.com/article/>

ภาคผนวก

Code การทำงาน

ก.1 Code ของโปรแกรม Cira Core ในกล่อง If Else

```

If Else
JS
1 var objs = payload.DeepDetect.objects
2
3 var len = objs.length
4
5 var detect = false
6
7 for(var i=0; i<len; i++) {
8
9 if(objs[i].name == 'Nomal Temp')
10 {
11 detect = true
12
13 break;
14
15 }
16
17 ifelse = detect

```

รูปที่ ก.1.1

```

If Else
JS
1 var objs = payload.DeepDetect.objects
2
3 var len = objs.length
4
5 var detect = false
6
7 for(var i=0; i<len; i++) {
8
9 if(objs[i].name == 'Heat-Build-Up')
10 {
11 detect = true
12
13 break;
14
15 }
16
17 ifelse = detect

```

รูปที่ ก.1.2

```

If Else
JS
1 var objs = payload.DeepDetect.objects
2
3 var len = objs.length
4
5 var detect = false
6
7 for(var i=0; i<len; i++) {
8
9 if(objs[i].name == 'Abnomal Temp')
10 {
11 detect = true
12
13 break;
14
15 }
16
17 ifelse = detect

```

รูปที่ ก.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 Code ของโปรแกรม Cira Core ในกล่อง JavaScript

```

JavaScript
JS
1 var objs = payload.DeepDetect.objects
2 var len = objs.length
3 var a = 0
4 for(var i = 0; i < len; i++) {
5   if(objs[i].name == "Nomal Temp") {
6     a = "LEDON1"
7     break
8   }
9 }
10 payload = {}
11 payload.a = a

```

รูปที่ ก.2.1

```

JavaScript
JS
1 var objs = payload.DeepDetect.objects
2 var len = objs.length
3 var a = 0
4 for(var i = 0; i < len; i++) {
5   if(objs[i].name == "Heat Build-Up") {
6     a = "LEDON2"
7     break
8   }
9 }
10 payload = {}
11 payload.a = a

```

รูปที่ ก.2.2

```

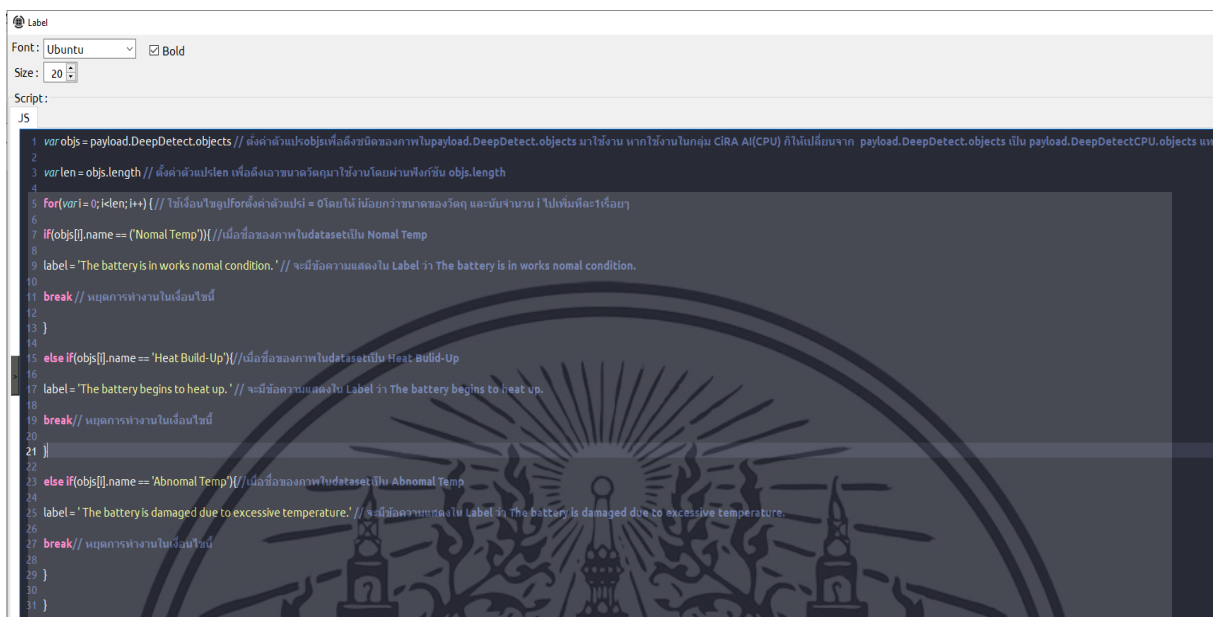
JavaScript
JS
1 var objs = payload.DeepDetect.objects
2 var len = objs.length
3 var a = 0
4 for(var i = 0; i < len; i++) {
5   if(objs[i].name == "Abnomal Temp") {
6     a = "LEDON"
7     break
8   }
9 }
10 payload = {}
11 payload.a = a

```

รูปที่ ก.2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 Code ของโปรแกรม Cira Core ในกล่อง Lable



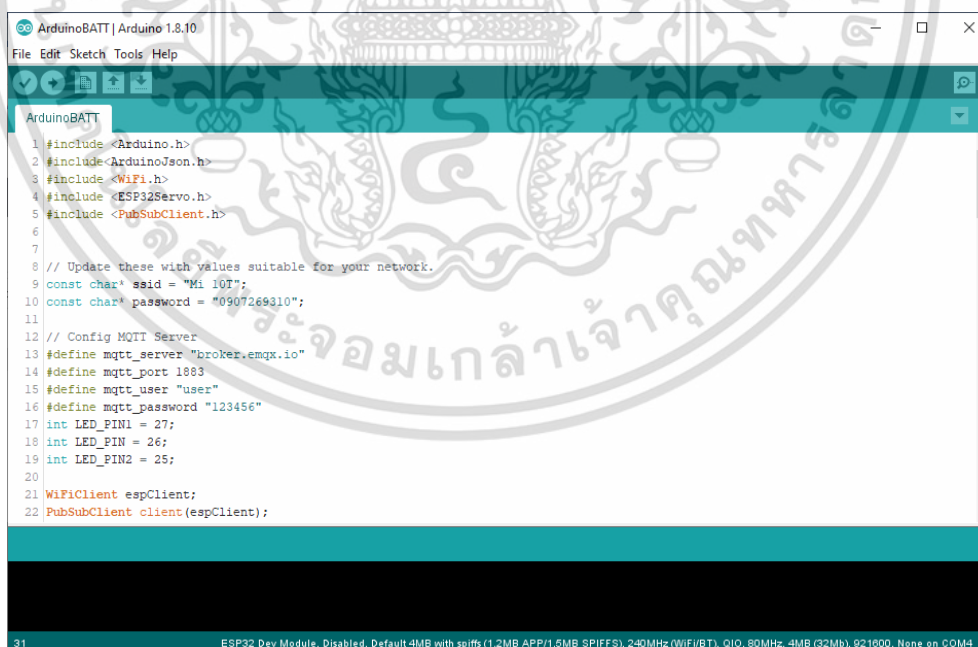
```

1 var objs = payload.DeepDetect.objects // ตั้งค่าตัวแปรobjsเพื่อกำหนดชื่อของภาพในpayload.DeepDetect.objects มาใช้งาน หากใช้งานในกลุ่ม CIRA AI(CPU) ก็ให้เปลี่ยนจาก payload.DeepDetect.objects เป็น payload.DeepDetectCPU.objects แทน
2
3 var len = objs.length // ตั้งค่าตัวแปรlen เพื่อกำหนดจำนวนวัตถุที่มาใช้งานโดยผ่านฟังก์ชัน objs.length
4
5 for(var i = 0; i < len; i++) { // ใช้เงื่อนไขloopเพื่อตรวจสอบค่าตัวแปร i = 0 โดยให้ น้อยกว่าขนาดของวัตถุ และนับจำนวน i ไปเพิ่มทีละเรื่งมา
6
7   if(objs[i].name == '(Nomal Temp)') { // เมื่อชื่อของภาพในdatasetเป็น Nomal Temp
8
9     label = 'The battery is in works normal condition.' // จะมีข้อความแสดงใน Label ว่า The battery is in works normal condition.
10
11    break // หยุดการทำงานในเงื่อนไขนี้
12
13   }
14
15   else if(objs[i].name == 'Heat Build-Up') { // เมื่อชื่อของภาพในdatasetเป็น Heat-Build-Up
16
17     label = 'The battery begins to heat up.' // จะมีข้อความแสดงใน Label ว่า The battery begins to heat up.
18
19     break // หยุดการทำงานในเงื่อนไขนี้
20
21   }
22
23   else if(objs[i].name == 'Abnomal Temp') { // เมื่อชื่อของภาพในdatasetเป็น Abnomal Temp
24
25     label = 'The battery is damaged due to excessive temperature.' // จะมีข้อความแสดงใน Label ว่า The battery is damaged due to excessive temperature.
26
27     break // หยุดการทำงานในเงื่อนไขนี้
28
29   }
30
31 }

```

รูปที่ ก.3.1

ก.4 Code ของโปรแกรม Arduino IDE



```

ArduinoBATT
1 #include <Arduino.h>
2 #include <ArduinoJson.h>
3 #include <WiFi.h>
4 #include <ESP32Servo.h>
5 #include <PubSubClient.h>
6
7
8 // Update these with values suitable for your network.
9 const char* ssid = "Mi 10T";
10 const char* password = "0907269310";
11
12 // Config MQTT Server
13 #define mqtt_server "broker.emqx.io"
14 #define mqtt_port 1883
15 #define mqtt_user "user"
16 #define mqtt_password "123456"
17 int LED_PIN1 = 27;
18 int LED_PIN = 26;
19 int LED_PIN2 = 25;
20
21 WiFiClient espClient;
22 PubSubClient client(espClient);

```

รูปที่ ก.4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ArduinoBATT | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help
ArduinoBATT
23
24 void setup() {
25   pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
26   pinMode(LED_PIN1, OUTPUT);
27   pinMode(LED_PIN2, OUTPUT);
28
29   Serial.begin(115200);
30   delay(10);
31
32   Serial.println();
33   Serial.print("Connecting to ");
34   Serial.println(ssid);
35
36   WiFi.begin(ssid, password);
37   digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
38   digitalWrite(LED_PIN1, HIGH);
39   digitalWrite(LED_PIN2, HIGH);
40
41   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
42     delay(500);
43     Serial.print(".");
44   }
37 ESP32 Dev Module. Disabled. Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WiFi/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 921600, None on COM4

```

รูปที่ ก.4.2

```

ArduinoBATT | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help
ArduinoBATT
45 Serial.println("");
46 Serial.println("WiFi connected");
47 Serial.println("IP address: ");
48 Serial.println(WiFi.localIP());
49
50
51 client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
52 client.setCallback(callback);
53
54 }
55
56
57 void loop() {
58   if (!client.connected()) {
59     Serial.print("Attempting MQTT connection...");
60     if (client.connect("ESP32Client", mqtt_user, mqtt_password)) {
61       Serial.println("connected");
62       client.subscribe("/ESP/LED"); // ESP Topic
63     } else {
64       Serial.print("failed, rc=");
65       Serial.print(client.state());
66       Serial.println(" try again in 5 seconds");
67       delay(5000);
68     }
69   }
63 ESP32 Dev Module. Disabled. Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WiFi/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 921600, None on COM4

```

รูปที่ ก.4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ArduinoBATT | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help
ArduinoBATT
68     return;
69   }
70 }
71 client.loop();
72 }
73
74 void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
75   Serial.print("Message arrived [");
76   Serial.print(topic);
77   Serial.print("] ");
78   String msg = "";
79   int i = 0;
80   while (i < length) msg += (char)payload[i++];
81   if (msg == "GET") {
82     client.publish("/ESP/LED", (digitalRead(LED_PIN) ? "LEDON" : "LEDOFF"));
83     client.publish("/ESP/LED", (digitalRead(LED_PIN1) ? "LEDON1" : "LEDOFF1"));
84     client.publish("/ESP/LED", (digitalRead(LED_PIN2) ? "LEDON2" : "LEDOFF2"));
85     Serial.println("Send !");
86     return;
87   }
88 // Cira
89
ESP32 Dev Module, Disabled, Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WiFi/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 921600, None on COM4

```

รูปที่ ก.4.4

```

ArduinoBATT | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help
ArduinoBATT
90 const size_t capacity = JSON_OBJECT_SIZE(1); //? Object Size
91 DynamicJsonDocument doc(capacity); //? Declare variable for store json
92 deserializeJson(doc, payload, length); //? deserialize JSON
93 String msg_cira = doc["a"]; //? Store key title to title
94 Serial.println(msg_cira);
95 digitalWrite(LED_PIN, (msg_cira == "LEDON" ? HIGH : LOW));
96 digitalWrite(LED_PIN1, (msg_cira == "LEDON1" ? HIGH : LOW));
97 digitalWrite(LED_PIN2, (msg_cira == "LEDON2" ? HIGH : LOW));
98 //
99 //digitalWrite(LED_PIN, (msg == "LEDON" ? HIGH : LOW));
100 /*
101 ////////////////////////////////////////////////////////////////////
102 //if (topic == "/ESP/LED")
103 // {
104 //   Serial.println("--- JSON Process ---");
105 //   const size_t capacity = JSON_OBJECT_SIZE(1); //? Declare variable for store json
106 //   DynamicJsonDocument doc(capacity); //? Declare variable for store json
107 //   deserializeJson(doc, payload, length); //? deserialize JSON
108 //   String check = doc["a"]; //? Store key title to title
109 //   Serial.println("cira = " + check);
110 //   Serial.println("--- END JSON Process ---");
111 //}*/
ESP32 Dev Module, Disabled, Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WiFi/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 921600, None on COM4

```

รูปที่ ก.4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้